

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

**Новозыбковский сельскохозяйственный техникум – филиал
«ФГБОУ ВО Брянский ГАУ»**



**Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования
сельскохозяйственных организаций**

Учебное пособие

Новозыбков., 2020

УДК621.31(07)

ББК 31.26

И 20

Иванов, В.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных организаций. В 2-х ч. учебное пособие / В. В. Иванов, - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. Ч.1. – 533 с.

Курс лекций составлен в соответствии с рабочей программой по ПМ 01 ПМ01 Монтаж наладка и эксплуатация электрооборудования (в т.ч. электроосвещения), автоматизация сельскохозяйственных организаций. МДК 01.01 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных организаций: учебное пособие. Помимо теоретического материала, в нем содержатся контрольные вопросы и список литературы для подготовки к занятиям.

Рекомендовано к изданию методическим советом Новозыбковского филиала Брянского ГАУ от 15 мая 2020 года, протокол №6.

© Иванов В.В., 2020

© Брянский ГАУ, 2020

Содержание

| | |
|---|-----|
| Введение | 7 |
| Раздел 1. Устройство, монтаж, наладка и эксплуатация электрических машин и аппаратов | 12 |
| Тема 1.1 Общие сведения о трансформаторах..... | 12 |
| Тема 1.2 Рабочий процесс трансформатора. | 40 |
| Тема 1.3. Определение параметров схемы замещения..... | 45 |
| Тема 1.4 Векторные уравнения и схемы замещения трансформатора..... | 53 |
| Тема 1.5 Трехфазные трансформаторы | 63 |
| Тема 1.6. Параллельная работа трансформатора..... | 83 |
| Тема 1.7. Элементы конструкции трансформаторов | 86 |
| Тема 2.1 Основные сведения о синхронных машинах | 98 |
| Тема 2.2 Системы возбуждения и схемы синхронных генераторов | 106 |
| Тема 2.3 Реакция якоря трехфазного синхронного генератора..... | 111 |
| Тема 2.4 Основные характеристики синхронных генераторов..... | 118 |
| Тема 2.5 Параллельная работа синхронного генератора с сетью | 124 |
| Тема 2.6 Синхронные двигатели и компенсаторы..... | 136 |
| Тема 2.7 Специальные синхронные машины | 146 |
| Тема 3.1 Общие сведения об асинхронных машинах | 152 |
| Тема 3.2. Рабочий процесс асинхронной машины | 159 |
| Тема 3.3 Электромагнитный момент асинхронной машины | 168 |
| Тема 3.4. Механические характеристики асинхронного двигателя..... | 171 |
| Тема 3.5 Пуск асинхронных двигателей | 176 |
| Тема 3.6. Пуск электродвигателей с фазным ротором..... | 182 |
| Тема 3.7 Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей | 187 |
| Тема 3.8 Однофазные асинхронные двигатели. Трехфазный асинхронный двигатель в режиме однофазного | 194 |
| Тема 3.9. Особенности пуска однофазных асинхронных двигателей | 196 |
| Тема 3.10. Асинхронные генераторы..... | 201 |
| Тема 3.11 Фазорегуляторы и индукционные регуляторы | 203 |

| | |
|--|------------|
| Тема 3.12 Асинхронные микромашины | 205 |
| Тема 3.13 Вращающиеся асинхронные преобразователи | 210 |
| Тема 3.14. Электромагнитные преобразователи | 212 |
| Тема 4.1 Принцип действия, устройство, область применения машины постоянного тока. Магнитная цепь машины постоянного тока..... | 213 |
| Тема 4.2 Реакция якоря машины постоянного тока. Влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока | 219 |
| Тема 4.3. Основные понятия о реакции якоря..... | 220 |
| Тема 4.4 Образование обмоток машины постоянного тока, электродвижущая сила обмотки якоря машины постоянного тока | 222 |
| Тема 4.5 Коммутация в машинах постоянного тока и способы её улучшения . | 229 |
| Тема 4.6. Виды коммутации | 232 |
| Тема 4.7; 4.8; 4.9; 4.10. Характеристики генераторов постоянного тока с различными схемами возбуждения..... | 234 |
| Тема 4.11. Двигатель постоянного тока | 240 |
| Тема 4.12. Характеристики двигателей постоянного тока | 244 |
| Тема 4.13 Потери и коэффициент полезного действия машины постоянного тока..... | 260 |
| Тема 4.14. Коэффициент полезного действия машины постоянного тока | 262 |
| Тема 4.15 Специальные машины постоянного тока | 264 |
| Тема 4.16. Бесконтактный и исполнительный двигатели постоянного тока..... | 266 |
| Раздел 2. Монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов сельскохозяйственных машин и установок..... | 268 |
| Тема 5.1. Механика электропривода. Механические характеристики электродвигателей и рабочих машин Механика электропривода механические характеристики электродвигателей и рабочих машин | 268 |
| Тема 5.2. Виды процессов электропривода | 272 |
| Тема 5.3. Электромеханические свойства электродвигателей | 277 |
| Тема 5.4. Область применения электродвигателей в сельскохозяйственном производстве..... | 282 |
| Тема 5.5. Переходные процессы в электроприводах | 285 |
| Тема 5.6. Энергетика электропривода..... | 292 |

| | |
|---|-----|
| Тема 5.7. Выбор электродвигателей по мощности..... | 298 |
| Тема 6.1. Аппаратура управления и защиты электродвигателей. Электрические аппараты ручного и дистанционного управления..... | 311 |
| Тема 6.2. Аппаратура управления электроприводами | 319 |
| Тема 6.3. Разомкнутые системы автоматического управления электроприводами. Общие принципы построения систем автоматического управления электроприводами | 328 |
| Тема 6.4. Виды блокировочных схем..... | 336 |
| Тема 6.5. Замкнутые системы автоматического управления электроприводами. Схемы замкнутых систем автоматического управления электроприводами... | 343 |
| Тема 6.6. Виды автоматического регулирования электроприводов | 348 |
| Тема 7.1. Общие вопросы использования автоматизированного электропривода в сельскохозяйственном производстве..... | 349 |
| Тема 7.2. Электропривод насосных и вентиляционных установок..... | 349 |
| Тема 7.3. Принципиальные электрические схемы и эксплуатация насосных и вентиляционных установок | 355 |
| Тема 7.4. Электропривод кормоприготовительных машин..... | 364 |
| Тема 7.5. Электропривод транспортных машин и установок..... | 371 |
| Тема 7.6. Электропривод электрокаров, кормораздатчиков | 381 |
| Тема 7.7. Электропривод машин и установок для первичной обработки сельскохозяйственной продукции. Машины для первичной обработки сельскохозяйственной продукции, особенности условий их работы | 392 |
| Тема 7.8. Эксплуатация молочных сепараторов | 398 |
| Тема 7.9. Электропривод машин и агрегатов зерноочистительно - сушильных пунктов и комплексов. Приводные характеристики режим работы машин и агрегатов зерноочистительно - сушильных пунктов и комплексов..... | 407 |
| Тема 7.10. Эксплуатация зерноочистительно-сушильных пунктов комплексов | 410 |
| Тема 7.11. Электропривод установок и механизмов ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий Приводные характеристики, режимы и особенности работы электродвигателей, кранов малой мощности | 416 |
| Тема 7.12. Электропривод ручных инструментов Ручные инструменты, их классификация и применение | 442 |
| Тема 8.1 Основы использования оптического излучения..... | 455 |

| | |
|--|-----|
| Тема 8.2. Электрические источники оптического излучения..... | 458 |
| Тема 8.3. Эксплуатация тепловых и газоразрядных светильников..... | 461 |
| Тема 9.1. Общая характеристика технологического объекта..... | 470 |
| Тема 9.2. Разработка структурной и функциональной схемы технологического объекта..... | 472 |
| Тема 9.3. Разработка принципиальной электрической схемы..... | 473 |
| Тема 9.4. Построение нагрузочной диаграммы электродвигателя и расчет эквивалентной нагрузки..... | 481 |
| Тема 9.5. Определение необходимой мощности электродвигателя..... | 483 |
| Тема 9.6. Расчет и построение механической характеристики электродвигателя..... | 487 |
| Тема 9.7. Расчет и выбор пускорегулирующей и защитной аппаратуры..... | 489 |
| Тема 9.8. Расчет и выбор приборов, элементов автоматизации и силовой проводки..... | 494 |
| Тема 9.9. Разработка схемы соединений щита или пульта автоматизации управления объектом..... | 497 |
| Тема 9.10. Составление ведомости на электромонтажные работы и комплектовочной ведомости на электрооборудование автоматизированной электроустановки. Разработка мероприятий по монтажу и наладке электрооборудования автоматизированной электроустановки на производственном объекте. Разработка мероприятий по эксплуатации автоматизированной электроустановки..... | 498 |
| Тема 9.11. Разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности при работе автоматизированной установки. Разработка экологических мероприятий на производственном объекте..... | 506 |
| Тема 9.12. Расчёт технико-экономических показателей..... | 511 |
| Тема 9.13. Графическое оформление курсового проекта..... | 527 |
| Использованная литература:..... | 532 |

Введение

Электрификация — это широкое внедрение в промышленность, сельское хозяйство, транспорт и быт электрической энергии, вырабатываемой на мощных электростанциях, объединенных высоковольтными электрическими сетями в энергетические системы.

Электрификация осуществляется посредством электротехнических изделий, производством которых занимается электротехническая промышленность. Основной отраслью этой промышленности является **электромашиностроение**, занимающееся разработкой и производством электрических машин и трансформаторов.

Электрическая машина представляет собой электромеханическое устройство, осуществляющее взаимное преобразование механической и электрической энергии. Электрическая энергия вырабатывается на электростанциях электрическими машинами — генераторами, преобразующими механическую энергию в электрическую. Основная часть электроэнергии (до 80 %) вырабатывается на тепловых электростанциях, где при сжигании химического топлива (уголь, торф, газ) нагревается вода и переводится в пар высокого давления. Последний подается в турбину, где, расширяясь, приводит ротор турбины во вращение (тепловая энергия в турбине преобразуется в механическую). Вращение ротора турбины передается на вал генератора (турбогенератора). В результате электромагнитных процессов, происходящих в генераторе, механическая энергия преобразуется в электрическую.

Процесс производства электроэнергии на атомных электростанциях аналогичен тепловым, с той лишь разницей, что вместо химического топлива используется ядерное.

Процесс выработки электроэнергии на гидравлических электростанциях состоит в следующем: вода, поднятая плотиной на определенный уровень, сбрасывается на рабочее колесо гидротурбины; получаемая при этом механическая энергия путем вращения колеса турбины передается на вал электрического генератора, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую.

В процессе потребления электрической энергии происходит ее преобразование в другие виды энергий (тепловую, механическую, химическую). Около 70 % электроэнергии используется для приведения в движение станков, механизмов, транспортных средств, т. е. для преобразования ее в механическую энергию. Это преобразование осуществляется электрическими машинами — *электродвигателями*.

Электродвигатель — основной элемент электропривода рабочих машин. Хорошая управляемость электрической энергии, простота

ее распределения позволили широко применить в промышленности многодвигательный электропривод рабочих машин, когда отдельные звенья рабочей машины приводятся в движение самостоятельными двигателями. Многодвигательный привод значительно упрощает механизм рабочей машины (уменьшается число механических передач, связывающих отдельные звенья машины) и создает большие возможности в автоматизации различных технологических процессов. Электродвигатели широко применяют на транспорте в качестве тяговых двигателей, приводящих во вращение колесные пары электровозов, электропоездов, троллейбусов и др.

1. Роль электрических машин и аппаратов в сельском хозяйстве и бытовых условиях

Сельское хозяйство является интенсивно развивающейся отраслью народного хозяйства. Развитие сопровождается увеличивающимся потреблением энергии, в общем балансе которой значительную и быстро растущую долю занимает электрическая энергия. Из всех видов энергии она наиболее легко транспортируется, преобразовывается и используется. С каждым годом появляется все больше способов и технологий ее применения. Электровооруженность труда приобретает все более распространенный характер. Новые машины, механизмы и технологии, порожденные научно-техническим прогрессом, требуют для своего осуществления электроэнергию. Развитие сельской электрификации обуславливает восприимчивость сельскохозяйственного производства к достижениям научно-технического прогресса. Электроэнергия дала жизнь (или изменила их содержание) многим сельским профессиям. Отходит в прошлое профессия доярки - благодаря механизации и электрификации ее заменил оператор машинного доения. Обработка и очистка зерна сегодня просто невыполнимы без электроагрегатов, а такой анахронизм, как профессия пастуха, вполне разрешим с помощью электроизгороди. Без электроэнергии невыполнимы сушка, электромелиорация и многие другие виды работ.

В этих условиях решающую роль играют кадры сельских электриков, осуществляющих обслуживание, ремонт, наладку и монтаж электрических сетей и электрооборудования. Их квалификация и профессионализм обуславливают нормальную работу и качество продукции практически всех систем машин в сельском хозяйстве. Фигура электрика становится одной из главных на селе. Сама работа на селе - прекрасная возможность для человека проявить себя, свои способности. Здесь широкое поле для новаторской работы, всемерного развития

мастерства и учебы, большие социальные возможности. Все это делает сельскую электрификацию настолько интересной и привлекательной, что может стать делом всей жизни.

Описаны эксплуатация, обслуживание, ремонт, наладка и монтаж электрооборудования до 1 кВ, поскольку именно таким оборудованием приходится заниматься сельскому электрику на агропромышленных предприятиях, в совхозах и колхозах. Воздушные же линии 0,4-10 кВ и трансформаторные подстанции эксплуатируют в основном организации Министерства энергетики и электрификации.

2. Содержание модуля, его назначение в подготовке техников по специальности 35.02.08.

Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования (в т.ч. электроосвещения), автоматизация сельскохозяйственных предприятий В результате изучения обязательной части учебного цикла обучающийся должен: иметь практический опыт: монтажа и наладки электрооборудования сельскохозяйственных предприятий; эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий; монтажа, наладки и эксплуатации систем централизованного контроля и автоматизированного управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства; уметь: производить монтаж и наладку приборов освещения, сигнализации, контрольно-измерительных приборов, звуковой сигнализации и предохранителей в тракторах, автомобилях и сельскохозяйственной технике; подбирать электропривод для основных сельскохозяйственных машин и установок; производить монтаж и наладку элементов систем централизованного контроля и автоматизированного управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства; проводить утилизацию и ликвидацию отходов электрического хозяйства; знать: основные средства и способы механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве; принцип действия и особенности работы электропривода в условиях сельскохозяйственного производства; назначение светотехнических и электротехнологических установок; технологические основы автоматизации и систему централизованного контроля и автоматизированного управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства. Профессиональный модуль позволяет обучить профессиональные кадры для обслуживания, ремонта, наладки и монтажа электрических сетей и электрооборудования.

3. Классификация электрических машин и аппаратов

Использование электрических машин в качестве генераторов и двигателей является их главным применением, так как связано исключительно с целью взаимного преобразования электрической и механической энергии. Применение электрических машин в различных отраслях техники может иметь и другие цели. Так, потребление электроэнергии часто связано с преобразованием переменного тока в постоянный или же с преобразованием тока промышленной частоты в ток более высокой частоты. Для этих целей применяют *электромашинные преобразователи*.

Электрические машины используют также для усиления мощности электрических сигналов. Такие электрические машины называют *электромашинными усилителями*. Электрические машины, используемые для повышения коэффициента мощности потребителей электроэнергии, называют *синхронными компенсаторами*. Электрические машины, служащие для регулирования напряжения переменного тока, называют *индукционными регуляторами*.

Очень разнообразно применение *микромашин* в устройствах автоматики и вычислительной техники. Здесь электрические машины используют не только в качестве двигателей, но и в качестве *тахогенераторов* (для преобразования частоты вращения в электрический сигнал), *сельсинов*, *вращающихся трансформаторов* (для получения электрических сигналов, пропорциональных углу поворота вала) и т. п.

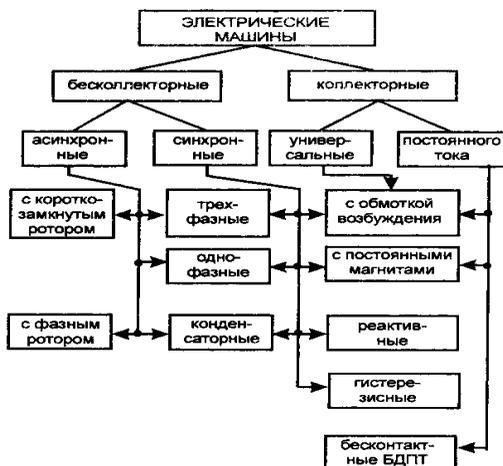
Из приведенных примеров видно, сколь разнообразно разделение электрических машин по их назначению.

Рассмотрим классификацию электрических машин по принципу действия, согласно которой все электрические машины разделяются на бесколлекторные и коллекторные, различающиеся как принципом действия, так и конструкцией. Бесколлекторные машины — это машины переменного тока. Они разделяются на асинхронные и синхронные. Асинхронные машины применяются преимущественно в качестве двигателей, а синхронные — как в качестве двигателей, так и в качестве генераторов. Коллекторные машины применяются главным образом для работы на постоянном токе в качестве генераторов или двигателей. Лишь коллекторные машины небольшой мощности делают универсальными двигателями, способными работать как от сети постоянного, так и от сети переменного тока.

Электрические машины одного принципа действия могут различаться схемами включения либо другими признаками, влияющими на эксплуатационные свойства этих машин. Например, асинхронные и синхронные машины могут быть трехфазными (включаемыми в трехфазную сеть), конденсаторными или однофазными. Асинхронные машины в зависимости от конструкции обмотки ротора разделяются на

машины с короткозамкнутым ротором и машины с фазным ротором. Синхронные машины и коллекторные машины постоянного тока в зависимости от способа создания в них магнитного поля возбуждения разделяются на машины с обмоткой возбуждения и машины с постоянными магнитами. На рис. В.4 представлена диаграмма классификации электрических машин, содержащая основные виды электрических машин, получившие наибольшее применение в современном электроприводе. Эта же классификация электрических машин положена в основу изучения курса «Электрические машины».

Курс «Электрические машины» помимо собственно электрических машин предусматривает изучение трансформаторов. Трансформаторы являются статическими преобразователями электроэнергии переменного тока. Отсутствие каких-либо вращающихся частей придает трансформаторам конструкцию, принципиально отличающую



их от электрических машин. Однако принцип Действия трансформаторов, так же как и принцип действия электрических машин, основан на явлении электромагнитной индукции, и поэтому многие положения теории трансформаторов составляют основу теории электрических машин переменного тока.

Электрические машины и трансформаторы — основные элементы любой энергетической системы или установки, поэтому для специалистов, работающих в сфере производства или эксплуатации электрических машин, необходимы знания теории и понимание физической сущности электромагнитных, механических и тепловых процессов, протекающих в электрических машинах и трансформаторах при их работе.

Раздел 1. Устройство, монтаж, наладка и эксплуатация электрических машин и аппаратов

Тема 1.1 Общие сведения о трансформаторах

Вопрос 1. Краткая историческая справка производства трансформаторов, устройство и принцип действия трансформаторов

Трансформаторы широко применяются в системах передачи и распределения электроэнергии. Известно, что передача электроэнергии на дальние расстояния осуществляется при высоком напряжении (до 500 кВ и более), благодаря чему значительно уменьшаются электрические потери в линии электропередачи. Получить такое высокое напряжение в генераторе невозможно, поэтому электроэнергия после генератора подается на повышающий трансформатор, в котором напряжение увеличивается до требуемого значения. Это напряжение должно быть тем выше, чем больше протяженность линии электропередачи и чем больше передаваемая по этой линии мощность. Например, при передаче электроэнергии мощностью 10^6 кВт на расстояние 1000 км необходимо напряжение 500 кВ. В местах распределения электроэнергии между потребителями устанавливают понижающие трансформаторы, которые понижают напряжение до требуемого значения. И, наконец, в местах потребления электроэнергии напряжение еще раз понижают посредством трансформаторов до 220, 380 или 660 В. При таком напряжении электроэнергия подается непосредственно потребителям — на рабочие места предприятий и в жилые помещения. Таким образом, электроэнергия переменного тока в процессе передачи от электростанции к потребителям подвергается трех-, а иногда и четырехкратному трансформированию. Помимо этого, основного применения трансформаторы используются в различных электроустановках (нагревательных, сварочных и т. п.), устройствах автоматики, связи и т.д.

Назначение и области применения трансформаторов

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две (или более) индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством явления электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока.

В общем случае вторичная система переменного тока может отличаться от первичной любыми параметрами: значениями напряже-

ния и тока, числом фаз, формой кривой напряжения (тока), частотой. Наибольшее применение в электротехнических установках, а также в энергетических системах передачи и распределения электроэнергии имеют *силовые трансформаторы*, посредством которых изменяют значения переменного напряжения и тока. При этом число фаз, форма кривой напряжения (тока) и частота остаются неизменными.

В зависимости от назначения трансформаторы разделяют на силовые трансформаторы общего назначения и трансформаторы специального назначения. Силовые трансформаторы общего назначения применяются в линиях передачи и распределения электроэнергии, а также в различных электроустройствах для получения требуемого напряжения. Трансформаторы специального назначения характеризуются разнообразием рабочих свойств и конструктивного исполнения. К этим трансформаторам относятся печные и сварочные трансформаторы, трансформаторы для устройств автоматики (пиктрансформаторы, импульсные, умножители частоты и т.п.), испытательные и измерительные трансформаторы и т. д.

При изучении данного раздела будем иметь в виду силовые трансформаторы общего назначения.

Принцип действия трансформаторов

Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода (рис. 1.1.1 а). Одна из обмоток, которую называют *первичной*, присоединена к источнику переменного тока Γ на напряжение U_1 . К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключен потребитель Z_H . Первичная и вторичная обмотки трансформатора не имеют электрической связи друг с другом, и мощность из одной обмотки в другую передается электромагнитным путем. Магнитопровод, на котором расположены эти обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками.

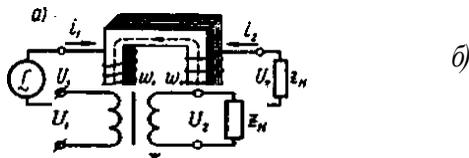


Рис. 1.1.1 Электромагнитная (а) и принципиальная (б) схемы трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток i_1 , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них ЭДС:

в первичной обмотке ЭДС *самоиндукции*

$$e_1 = -w_1(d\Phi/dt) \quad (1.1.1)$$

во вторичной обмотке ЭДС *взаимоиндукции*

$$e_2 = -w_2(d\Phi/dt), \quad (1.1.2)$$

где w_1 и w_2 — число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

При подключении нагрузки Z_n к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС e_2 в цепи этой обмотки создается ток i_2 , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$, а в понижающих $U_2 < U_1$.

Из (1.1.1) и (1.1.2) видно, что ЭДС e_1 и e_2 , наводимые в обмотках трансформатора, отличаются друг от друга лишь за счет разного числа витков w_1 и w_2 в обмотках, поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор практически на любое отношение напряжений.

Обмотку трансформатора, подключенную к сети с более высоким напряжением, называют *обмоткой высшего напряжения* (ВН); обмотку, присоединенную к сети меньшего напряжения, — *обмоткой низшего напряжения* (НН).

На рис. 1.1.1, б показано изображение однофазного трансформатора на принципиальных электрических схемах.

Трансформаторы обладают свойством *обратимости*: один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего. Но обычно трансформатор имеет определенное назначение: либо он повышающий, либо — понижающий.

Трансформатор — это аппарат переменного тока. Если же его первичную обмотку подключить к источнику постоянного тока, то магнитный поток в магнитопроводе трансформатора также будет постоянным как по величине, так и по направлению [$(d\Phi/dt)=0$], поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС, а следовательно, электроэнергия из первичной цепи не будет передаваться во вторичную.

Классифицируют трансформаторы по нескольким признакам:
 по назначению – силовые общего и специального назначения, импульсные, для преобразования частоты и т.д.;
 по виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением;
 по числу трансформируемых фаз – однофазные и трехфазные;
 по форме магнитопровода — стержневые, броневые, бронестержневые, тороидальные;
 по числу обмоток на фазу — двухобмоточные, многообмоточные.

Устройство трансформаторов

Современный трансформатор состоит из различных конструктивных элементов: магнитопровода, обмоток, вводов, бака и др. Магнитопровод с насаженными на его стержни обмотками составляет *активную часть* трансформатора. Остальные элементы трансформатора называют *неактивными* (вспомогательными) частями. Рассмотрим подробнее конструкцию основных частей трансформатора.

Магнитопровод. Магнитопровод в трансформаторе выполняет две функции: во-первых, он составляет магнитную цепь, по которой замыкается основной магнитный поток трансформатора, а во-вторых, он предназначен для установки и крепления обмоток, отводов, переключателей. Магнитопровод имеет шихтованную конструкцию, т. е. он состоит из тонких (обычно толщиной 0,5 мм) стальных пластин, покрытых с двух сторон изолирующей пленкой (например, лаком). Такая конструкция магнитопровода обусловлена стремлением ослабить вихревые токи, наводимые в нем переменным магнитным потоком, а, следовательно, уменьшить величину потерь энергии в трансформаторе.

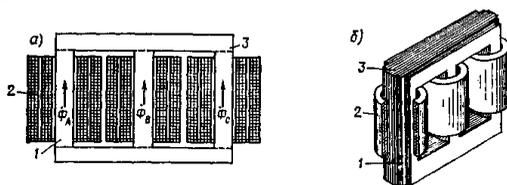


Рис. 1.1.2. Магнитопровод трехфазного трансформатора стержневого типа с обмотками

Силовые трансформаторы выполняются с магнитопроводами трех типов: стержневого, броневоего и бронестержневого.

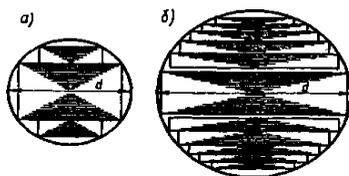


Рис. 1.1.3. Форма сечения стержней:

а – трансформаторов малой и средней мощности; б – трансформаторов большой мощности

В магнитопроводе стержневого типа (рис. 1.1.2, а) вертикальные стержни 1, на которых расположены обмотки 2, сверху и снизу замкнуты ярмами 3. На каждом стержне расположены обмотки соответствующей фазы и проходит магнитный поток этой фазы: в крайних стержнях — потоки Φ_A и Φ_C , а в среднем стержне — поток Φ_B . На рис. 1.1.2, б показан внешний вид магнитопровода. При этом стержни имеют ступенчатое сечение, вписываемое в круг диаметром d (рис. 1.1.3). Стержни трансформаторов большой мощности имеют много ступеней, что обеспечивает лучшее заполнение сталью площади внутри обмотки. Для лучшей теплоотдачи иногда между отдельными пакетами стержня оставляют воздушные зазоры шириной 5—6 мм, служащие вентиляционными каналами.

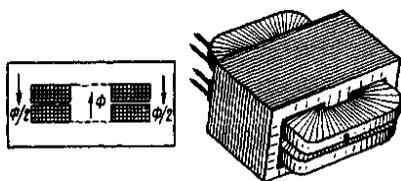


Рис. 1.1.4. Однофазный трансформатор броневоего типа: а- устройство; б- внешний вид

Магнитопровод броневоего типа представляет собой разветвленную конструкцию со стержнем и ярмами, частично прикрывающими («бронирующими») обмотки (рис. 1.1.4). Магнитный поток в стержне магнитопровода броневоего типа в два раза больше, чем в ярмах, каждое из которых имеет сечение, вдвое меньшее сечения стерж-

ня. Из-за технологической сложности изготовления магнитопроводы бронестержневые не получили широкого распространения, их применяют лишь в силовых трансформаторах весьма малой мощности (радиотрансформаторы).

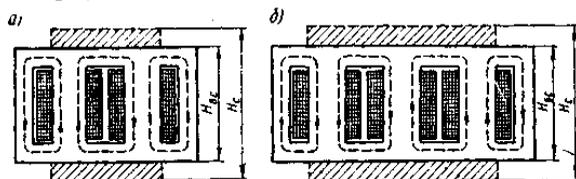


Рис. 1.1.5. Магнитопроводы бронестержневых трансформаторов: а — однофазного; б — трехфазного

В трансформаторах большой мощности применяют бронестержневую конструкцию магнитопровода (рис. 1.1.5), которая хотя и требует несколько повышенного расхода электротехнической стали, но позволяет уменьшить высоту магнитопровода ($H_{bc} < H_c$), а следовательно, и высоту трансформатора. Это имеет большое значение при транспортировке трансформаторов.

По способу сочленения стержней с ярами различают стыковую и шихтованную конструкции стержневого магнитопровода (рис. 1.1.6).

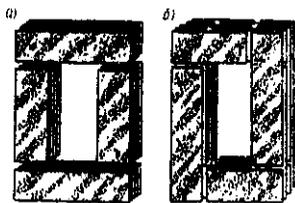


Рис. 1.6. Стыковая (а) и шихтованная (б) конструкции магнитопроводов

При стыковой конструкции (рис. 1.1.6, а) стержни и яра собирают раздельно, насаживают обмотки на стержни, а затем приставляют верхнее и нижнее яра, заранее проложив изолирующие прокладки между стыкующимися элементами, с целью ослабления вихревых токов, возникающих при взаимном перекрытии листов стержней и яр. После установки двух яр всю конструкцию прессуют и стягивают вертикальными шпильками. Стыковая конструкция хотя и облегча-

ет сборку магнитопровода, но не получила распространения в силовых трансформаторах из-за громоздкости стяжных устройств и необходимости механической обработки стыкующихся поверхностей для уменьшения магнитного сопротивления в месте стыка.

Шихтованная конструкция магнитопроводов силовых трансформаторов показана на рис. 1.1.6, б, когда стержни и ярма собирают слоями в переплет. Обычно слой содержит 2–3 листа. В настоящее время магнитопроводы силовых трансформаторов изготавливают из холоднокатаной электротехнической стали, у которой магнитные свойства вдоль направления прокатки листов лучше, чем поперек. Поэтому при шихтованной конструкции в местах поворота листов на 90° появляются «зоны несовпадения» направления прокатки с направлением магнитного потока. На этих участках наблюдаются увеличение магнитного сопротивления и рост магнитных потерь. С целью ослабления этого явления применяют для шихтовки пластины (полосы) со скошенными краями. В этом случае вместо прямого стыка (рис. 1.1.7, а) получают косой стык (рис. 1.1.7, б), у которого «зона несовпадения» гораздо меньше.

Недостатком магнитопроводов шихтованной конструкции является некоторая сложность сборки, так как для насадки обмоток на стержни приходится расшихтовывать верхнее ярмо, а затем после насадки обмоток вновь его зашихтовывать.

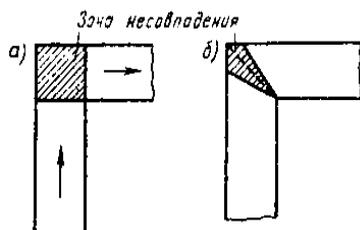


Рис. 1.1.7. «Зоны несовпадения» при прямом (а) и косом (б) стыках

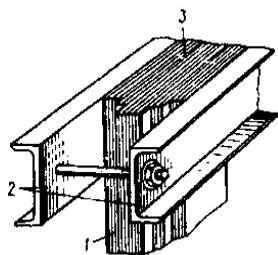


Рис. 1.1.8. Вид бондажа магнитопровода

Стержни магнитопроводов во избежание распушения спрессовывают (скрепляют). Делают это обычно наложением на стержень бондажа из стеклоленты или стальной проволоки. Стальной бондаж выполняют с изолирующей пряжкой, что исключает создание замкнутых стальных витков на стержнях. Бондаж накладывают равномерно, с определенным натягом. Для опрессовки ярм 3 и мест их сочленения со

стержнями 1 используют ярмовые балки 2, которые в местах, выходящих за крайние стержни (рис. 1.1.8), стягивают шпильками.

Во избежание возникновения разности потенциалов между металлическими частями во время работы трансформатора, что может вызвать пробой изоляционных промежутков, разделяющих эти части, магнитопровод и детали его крепления **обязательно заземляют**. Заземление осуществляют медными лентами, вставляемыми между стальными пластинами магнитопровода одними концами и прикрепляемыми к ярмовым балкам другими концами.

Магнитопроводы трансформаторов малой мощности (обычно мощностью не более 1 кВ·А) чаще всего изготавливают из узкой ленты электротехнической холоднокатаной стали путем навивки. Такие магнитопроводы делают разрезными (рис. 1.1.9), а после насадки обмоток собирают встык и стягивают специальными хомутами.

Обмотки. Обмотки трансформаторов средней и большой мощности выполняют из обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения, изолированных хлопчатобумажной пряжей или

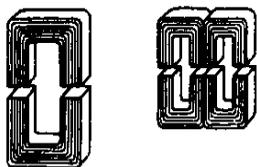


Рис. 1.1.9. Ленточные разрезные магнитопроводы

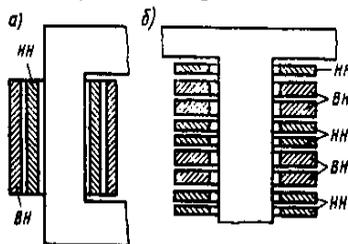


Рис. 1.1.10. Концентрическая (а) и дисковая (б) обмотки трансформаторов

кабельной бумагой. Основной обмотки в большинстве случаев является бумажно-бакелитовый цилиндр, на котором крепятся элементы (рейки, угловые шайбы и т. п.), обеспечивающие обмотке механическую и электрическую прочность.

По взаимному расположению на стержне обмотки разделяют на концентрические и чередующиеся. Концентрические обмотки выполняют в виде цилиндров, размещаемых на стержне концентрически: ближе к стержню обычно располагают обмотку НН (требующую меньшей изоляции от стержня), а снаружи – обмотку ВН (рис. 1.1.10, а).

Чередующиеся (дисковые) обмотки выполняют в виде отдельных секций (дисков) НН и ВН и располагают на стержне в чередую-

щемся порядке (рис. 1.1.10, б). Чередующиеся обмотки применяют весьма редко, лишь в некоторых трансформаторах специального назначения.

Концентрические обмотки в конструктивном отношении разделяют на несколько типов. Рассмотрим некоторые из них.

1. *Цилиндрические* однослойные или двухслойные обмотки из провода прямоугольного сечения (рис. 1.11, а) используют главным образом в качестве обмоток НН на номинальный ток до 800 А.

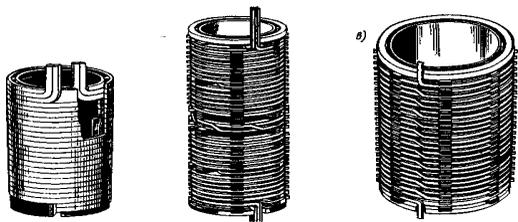


Рис. 1.1.11. Конструкция концентрических обмоток

2. *Винтовые* одно- и многоходовые обмотки выполняют из нескольких параллельных проводов прямоугольного сечения. При этом витки укладывают по винтовой линии, имеющей один или несколько ходов (рис. 1.1.11, б). Для того чтобы все параллельные проводники одинаково нагружались током, выполняют *транспозицию* (перекладку) этих проводников. При транспозиции стремятся, чтобы в пределах одного витка каждый проводник занимал все положения. Транспозиция может быть групповой (рис. 1.1.12, а), когда параллельные провода делятся на две группы и перестановка осуществляется группами, и общей, когда меняется взаимное расположение всех параллельных проводов (рис. 1.1.12, б).



Рис. 1.1.12. Транспозиция в винтовых обмотках

3. *Непрерывные обмотки* (рис. 1.1.11, в) состоят из отдельных дисковых обмоток (секций), намотанных по спирали и соединенных между собой без пайки, т.е. выполненных «непрерывно». Если обмотка выполняется несколькими параллельными проводами, то в ней применяют транспозицию проводов.

Непрерывные обмотки, несмотря на некоторую сложность изготовления, получили наибольшее применение в силовых трансформаторах как в качестве обмоток ВН, так и в качестве обмоток НН. Это объясняется их большой механической прочностью и надежностью.

В трансформаторах с масляным охлаждением магнитопровод с обмотками помещен в бак, наполненный трансформаторным маслом (рис. 1.1.13). Трансформаторное масло, омывая обмотки 2 и 3 и магнитопровод 1, отбирает от них теплоту и, обладая более высокой теплопроводностью, чем воздух, через стенки бака 4 и трубы радиатора 5 отдает ее в окружающую среду. Наличие трансформаторного масла обеспечивает более надежную работу высоковольтных трансформаторов, так как электрическая прочность масла намного выше, чем воздуха. Масляное охлаждение интенсивнее воздушного, поэтому габариты и вес масляных трансформаторов меньше, чем у сухих трансформаторов такой же мощности.

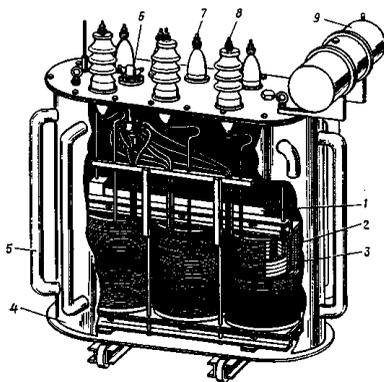


Рис. 1.1.13: Устройство трансформатора с масляным охлаждением

В трансформаторах мощностью до 20—30 кВ·А применяют баки с гладкими стенками. У более мощных трансформаторов для увеличения охлаждаемой поверхности стенки бака делают ребристыми или же применяют трубчатые баки. Масло, нагреваясь, поднимается вверх, а, охлаждаясь, опускается вниз. При этом масло циркулирует в трубах, что способствует более быстрому его охлаждению.

Для компенсации объема масла при изменении температуры, а также для защиты масла от окисления и увлажнения при контакте с воздухом в трансформаторах применяют расширитель 9, представляющий собой цилиндрический сосуд, установленный на крышке бака и сообщающийся с ним. Колебания уровня масла с изменением его тем-

пературы происходят не в баке, который всегда заполнен маслом, а в расширителе, сообщающемся с атмосферой.

В процессе работы трансформаторов не исключена возможность возникновения в них явлений, сопровождающихся бурным выделением газов, что ведет к значительному увеличению давления внутри бака, поэтому во избежание повреждения баков трансформаторы мощностью 1000 кВ·А и выше снабжают выхлопной трубой, которую устанавливают на крышке бака. Нижним концом труба сообщается с баком, а ее верхний конец заканчивается фланцем, на котором укреплен стеклянный диск. При давлении, превышающем безопасное для бака, стеклянный диск лопается и газы выходят наружу.

В трубопровод, соединяющий бак масляного трансформатора с расширителем, помещено газовое реле. При возникновении в трансформаторе значительных повреждений, сопровождаемых обильным выделением газов (например, при коротком замыкании между витками обмоток), газовое реле срабатывает и замыкает контакты цепи управления выключателя, который отключает трансформатор от сети. Обмотки трансформатора с внешней цепью соединяют вводами 7 и 8. В масляных трансформаторах для вводов обычно используют проходные фарфоровые изоляторы.

Такой ввод снабжен металлическим фланцем, посредством которого он крепится к крышке или стенке бака. К дну бака прикреплена тележка, позволяющая перемещать трансформатор в пределах подстанции. На крышке бака расположена рукоятка переключателя напряжений 6.

Свойства трансформатора определяются его *номинальными параметрами*: 1) номинальное первичное линейное напряжение $U_{1ном}$, В или кВ; 2) номинальное вторичное линейное напряжение $U_{2ном}$ (напряжение на выводах вторичной обмотки при отключенной нагрузке и номинальном первичном напряжении), В или кВ; 3) номинальные линейные токи в первичной $I_{1ном}$ и вторичной $I_{2ном}$ обмотках, А; 4) номинальная полная мощность $S_{ном}$, кВ·А (для однофазного трансформатора $S_{ном} = U_{1ном} I_{1ном}$, для трехфазного – $S_{ном} = \sqrt{3}U_{1ном}I_{1ном}$).

Номинальные линейные токи вычисляют по номинальной мощности трансформатора: для трехфазного трансформатора

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном} 10^3}{\sqrt{3}U_{1ном}}; I_{2ном} = \frac{S_{ном} 10^3}{\sqrt{3}U_{2ном}}, \quad (1.1.3)$$

где $S_{ном}$ — номинальная мощность трехфазного трансформатора, кВ·А.

Каждый трансформатор рассчитан для включения в сеть переменного тока определенной частоты. В России трансформаторы общего назначения рассчитаны на частоту $f = 50$ Гц (в некоторых других странах $f = 60$ Гц), в устройствах автоматики и связи применяют трансформаторы на частоты 50, 400 или 1000 Гц.

Пример 1.1.1 Номинальные значения первичного и вторичного напряжений однофазного трансформатора $U_{1ном} = 110$ кВ, $U_{2ном} = 6,3$ кВ, номинальный первичный ток $I_{1ном} = 95,5$ А. Определить номинальную мощность трансформатора $S_{ном}$ и номинальный вторичный ток $I_{2ном}$. Решение. Номинальная мощность трансформатора $S_{ном} = U_{1ном}I_{1ном} = 110 \cdot 95,5 = 10500$ кВ·А. Номинальный вторичный ток $I_{2ном} = S_{ном}/U_{2ном} = 10500/6,3 = 1666$ А.

Вопрос 2. Трансформаторы стержневые и броневые, трехфазные

Магнитопровод в трансформаторе выполняет две функции: во-первых, он составляет магнитную цепь, по которой замыкается основной магнитный поток трансформатора, а во-вторых, он предназначен для установки и крепления обмоток, отводов, переключателей. Магнитопровод имеет шихтованную конструкцию, т. е. он состоит из тонких (обычно толщиной 0,5 мм) стальных пластин, покрытых с двух сторон изолирующей пленкой (например, лаком).

Такая конструкция магнитопровода обусловлена стремлением ослабить вихревые токи, наводимые в нем переменным магнитным потоком, а, следовательно, уменьшить величину потерь энергии в трансформаторе.

Силовые трансформаторы выполняются с магнитопроводами

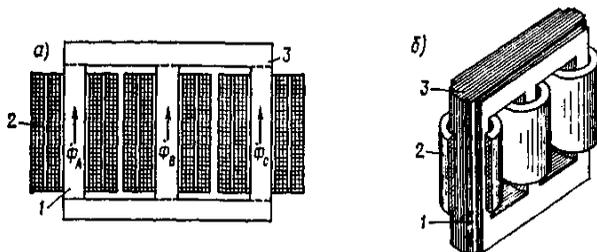


Рис. 1.1.14. Магнитопровод трехфазного трансформатора стержневого типа с обмотками

трех типов: стержневого, броневое и бронестержневого.

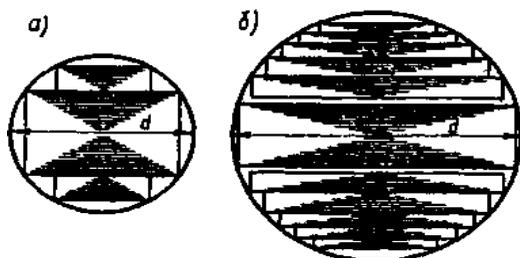


Рис. 1.1.15. Форма сечения стержней:
 а – трансформаторов малой и средней мощности;
 б – трансформаторов большой мощности

В магнитопроводе стержневого типа (рис. 1.1.14, *a*) вертикальные стержни 1, на которых расположены обмотки 2, сверху и снизу замкнуты ярмами 3. На каждом стержне расположены обмотки соответствующей фазы и проходит магнитный поток этой фазы: в крайних стержнях — потоки Φ_A и Φ_C , а в среднем стержне — поток Φ_B . На рис. 1.1.14, *б* показан внешний вид магнитопровода. При этом стержни имеют ступенчатое сечение, вписываемое в круг диаметром d (рис. 1.1.15). Стержни трансформаторов большой мощности имеют много ступеней, что обеспечивает лучшее заполнение сталью площади внутри обмотки. Для лучшей теплоотдачи иногда между отдельными пакетами стержня оставляют воздушные зазоры шириной 5—6 мм, служащие вентиляционными каналами.

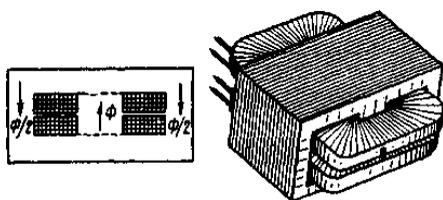


Рис. 1.1.16. Однофазный трансформатор броневое типа: а- устройство; б- внешний вид

Магнитопровод броневое типа представляет собой разветвленную конструкцию со стержнем и ярмами, частично прикрывающими («бронирующими») обмотки (рис. 1.1.16). Магнитный поток в стержне магнитопровода броневое типа в два раза больше, чем в ярмах, каждое из которых имеет сечение, вдвое меньшее сечения стерж-

ня. Из-за технологической сложности изготовления магнитопроводы броневые типа не получили широкого распространения, их применяют лишь в силовых трансформаторах весьма малой мощности (радио-трансформаторы).

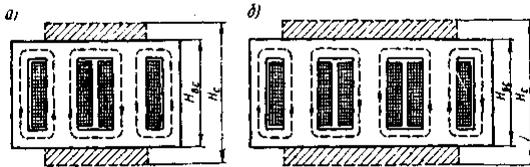


Рис. 1.1.17. Магнитопроводы бронестержневых трансформаторов: а — однофазного; б — трехфазного

В трансформаторах большой мощности применяют бронестержневую конструкцию магнитопровода (рис. 1.1.17), которая хотя и требует несколько повышенного расхода электротехнической стали, но позволяет уменьшить высоту магнитопровода ($H_{BC} < H_C$), а следовательно, и высоту трансформатора. Это имеет большое значение при транспортировке трансформаторов.

Вопрос 3. Потери в стали, способы их уменьшения

Потери и КПД трансформатора

В процессе трансформирования электрической энергии часть энергии теряется в трансформаторе на покрытие потерь. Потери в трансформаторе разделяются на электрические и магнитные.

Электрические потери. Обусловлены нагревом обмоток трансформаторов при прохождении по этим обмоткам электрического тока. Мощность электрических потерь P_{Σ} пропорциональна квадрату тока и определяется суммой электрических потерь в первичной $P_{\Sigma 1}$ и во вторичной $P_{\Sigma 2}$ обмотках:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = mI_1^2 r_1 + mI_2^2 r_2, \quad (1.1.4)$$

где m — число фаз трансформатора (для однофазного трансформатора $m = 1$, для трехфазного $m = 3$).

При проектировании трансформатора величину электрических потерь определяют по (1.1.4), а для изготовленного трансформатора

эти потери определяют опытным путем, измерив мощность к.з. при номинальных токах в обмотках $P_{к.ном}$

$$P_{\Sigma} = \beta^2 P_{к.ном}, \quad (1.1.5)$$

где P — коэффициент нагрузки.

Электрические потери называют *переменными*, так как их величина зависит от нагрузки трансформатора.

Магнитные потери. Происходят главным образом в магнитопроводе трансформатора. Причина этих потерь — систематическое перемагничивание магнитопровода переменным магнитным полем. Это перемагничивание вызывает в магнитопроводе два вида магнитных потерь: потери от гистерезиса P_H , связанные с затратой энергии на уничтожение остаточного магнетизма в ферромагнитном материале магнитопровода, и потери от вихревых токов $P_{ВТ}$, наводимых переменным магнитным полем в пластинах магнитопровода:

$$P_M = P_H + P_{ВТ}$$

С целью уменьшения магнитных потерь магнитопровод трансформатора выполняют из магнитно-мягкого ферромагнитного материала — тонколистовой электротехнической стали. При этом магнитопровод делают шихтованным в виде пакетов из тонких пластин (полос), изолированных с двух сторон тонкой пленкой лака.

Магнитные потери от гистерезиса прямо пропорциональны частоте перемагничивания магнитопровода, т. е. частоте переменного тока ($P_H = f$), а магнитные потери от вихревых токов пропорциональны квадрату этой частоты ($P_{ВТ} \equiv f^2$). Суммарные магнитные потери принято считать пропорциональными частоте тока степени 1,3, т. е. $P_M = f^{1.3}$. Величина магнитных потерь зависит также и от магнитной индукции в стержнях и ярмах магнитопровода ($P_M \equiv B^2$). При неизменном первичном напряжении ($U_1 = \text{const}$) магнитные потери *постоянны*, т.е. не зависят от нагрузки трансформатора (рис. 1.1.18, а).

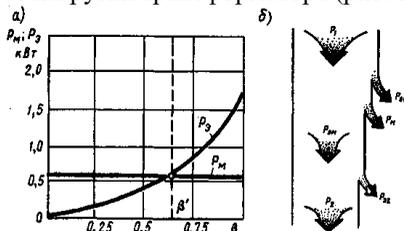


Рис. 1.1.18. Зависимость потерь трансформатора от его нагрузки (а) и энергетическая диаграмма (б) трансформатора

При проектировании трансформатора магнитные потери определяют по значению удельных магнитных потерь $P_{уд}$, происходящих в 1 кг тонколистовой электротехнической стали при значениях магнитной индукции 1,0; 1,5 или 1,7 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{уд}} (B/B_x)^2 (f/50)^{1,3} G, \quad (1.1.6)$$

где B — фактическое значение магнитной индукции в стержне или яре магнитопровода трансформатора, Тл; B_x — магнитная индукция, соответствующая принятому значению удельных магнитных потерь, например $B_x = 1,0$ или $1,5$ Тл; G — масса стержня или яра магнитопровода, кг.

Значения удельных магнитных потерь указаны в ГОСТе на тонколистовую электротехническую сталь. Например, для стали марки 3411 толщиной 0,5 мм при $B = 1,5$ Тл и $f = 50$ Гц удельные магнитные потери $P_{1,5/50} = 2,45$ Вт/кг.

Для изготовленного трансформатора магнитные потери определяют опытным путем, измерив мощность х.х. при номинальном первичном напряжении $P_{\text{ном}}$

Таким образом, активная мощность P_1 , поступающая из сети в первичную обмотку трансформатора, частично расходуется на электрические потери в этой обмотке $P_{\text{э1}}$. Переменный магнитный поток вызывает в магнитопровode трансформатора магнитные потери $P_{\text{эм}}$. Оставшаяся после этого мощность, называемая *электромагнитной мощностью* $P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{э1}} - P_{\text{м}}$, передается во вторичную обмотку, где частично расходуется на электрические потери в этой обмотке $P_{\text{э2}}$. Активная мощность, поступающая в нагрузку трансформатора, $P_2 = P_1 - \sum P$, где $\sum P = P_{\text{э1}} + P_{\text{м}} + P_{\text{э2}}$ — суммарные потери в трансформаторе. Все виды потерь, сопровождающие рабочий процесс трансформатора, показаны на энергетической диаграмме (рис. 1.40, б).

Коэффициент полезного действия трансформатора определяется как отношение активной мощности на выходе вторичной обмотки P_2 (полезная мощность) к активной мощности на входе первичной обмотки P_1 (подводимая мощность):

$$\eta = P_2/P_1 = (P_1 - \sum P)/P_1 = 1 - \sum P/P_1. \quad (1.1.7)$$

Сумма потерь $\sum P = P_{\text{ном}} + \beta_2 P_{\text{к.ном}}$.

Активная мощность на выходе вторичной обмотки трехфазного трансформатора (Вт)

$$P_2 = \sqrt{3}U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_2, \quad (1.1.8)$$

где $S_{\text{ном}} = \sqrt{3}U_{2\text{ном}} I_{2\text{ном}}$ — номинальная мощность трансформатора, В·А; I_2 и U_2 — линейные значения тока, А, и напряжения В.

Учитывая, что $P_1 = P_2 + \sum P$, получаем выражение для расчета КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{0\text{ном}} + \beta^2 P_{\text{к.ном}}} \quad (1.1.9)$$

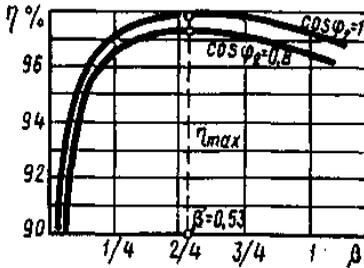


Рис.1.1.18. График зависимости КПД трансформатора от нагрузки

Анализ выражения (1.1.9) показывает, что КПД трансформатора зависит как от величины (β), так и от характера ($\cos \varphi_2$) нагрузки. Эта зависимость иллюстрируется графиками (рис. 1.1.18). Максимальное значение КПД соответствует нагрузке, при которой магнитные потери равны электрическим: $P_{0\text{ном}} = \beta'^2 P_{\text{к.ном}}$, отсюда значение коэффициента нагрузки, соответствующее максимальному КПД,

$$\beta' = \sqrt{P_{0\text{ном}} / P_{\text{к.ном}}} \quad (1.1.10)$$

Обычно КПД трансформатора имеет максимальное значение при $\beta' = 0,45 \div 0,65$. Подставив в (1.1.9) вместо P значение P' по (1.80), получим выражение максимального КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + 2P_{0\text{ном}}} \quad (1.1.11)$$

Помимо рассмотренного КПД по мощности иногда пользуются понятием КПД по энергии, который представляет собой отношение

количества энергии, отданной трансформатором потребителю W_2 (кВт·ч) в течение года, к энергии W_1 , полученной им от питающей электросети за это же время: $\eta = W_2/W_1$.

КПД трансформатора по энергии характеризует эффективность эксплуатации трансформации.

Пример 1.1.2 Определить КПД и построить графики зависимости $\eta = f(\beta)$ трехфазного трансформатора мощностью 100 кВ·А, напряжением 6,3/0,22 кВ по данным опытов х.х. (см. пример 1.1.1) и к.з.: $P_{0ном} = 605$ Вт, $P_{к.ном} = 2160$ Вт). Расчет выполнить для двух значений коэффициента мощности нагрузки: 0,8 и 1,0.

Решение. Для построения графиков $\eta = f(\beta)$ вычисляем КПД для ряда (шагов) коэффициента нагрузки β , равных 0,5; 0,50; 0,75 и 1,0. Результаты расчета приведены в табл. 1

Таблица 1.

| β | $\beta^2 P_{кном}$, Вт | ΣP , Вт | КПД, %, При $\cos\varphi_2$ | |
|---------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------|
| | | | $\cos\varphi_2$ | $\cos\varphi_2=1$ |
| 0,2 | 134 | 739 | 96,5 | 97,0 |
| 5 | 540 | 1145 | 97,3 | 97,8 |
| 0,5 | 1210 | 1815 | 97,1 | 97,6 |
| 1 | 2160 | 2755 | 96,6 | 97,3 |

Примечания: 1) $\beta^2 = \sqrt{605/2160} = 0,53$ [см. (1.80)]; 2)

$P_{0ном} = 605$ Вт.

Максимальное значение КПД по (1.81):

При $\cos\varphi_2=0,8$

$$\eta_{\max} = \frac{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 2 \cdot 605} = 0,972, \text{ или } 97,2\%;$$

При $\cos\varphi_2=1,0$

$$\eta_{\max} = \frac{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1,0 + 2 \cdot 605} = 0,978, \text{ или } 97,8\%.$$

Таким образом, КПД выше при активной нагрузке.

Вопрос 4. Холоднокатаная сталь

Холоднокатаная сталь представляет собой листы, полученные путем холодной прокатки. Их широко используют в строительстве. Основная сфера применения листов холоднокатаной стали – штамповка и гибка.

Холоднокатанные стальные листы служат также в качестве заготовок для производства оцинкованной стали или стали с полимерным покрытием. Именно из таких листов изготавливают профнастил, металлочерепицу и другие металлические отделочные материалы для стен и кровли.

Размеры листов холоднокатаной стали (сортамент) определяются по ГОСТ 19904-74, ГОСТ 16523-97. В соответствии с требованиями ГОСТ их ширина должна быть от 500 миллиметров, а толщина колеблется от 0,35 до 5,0 миллиметров. В рулонах листы выпускаются толщиной от 0,5 до 3,0 миллиметров. Кромка листов может быть обрезанной или необрезанной.

Химический состав листов регулируется ГОСТ 9045-93. Для производства холоднокатаных изделий используют следующие марки стали: 08Ю ОСВ, 08Ю ВГ, 08пс, 08Ю, 20пг, Ст. 2пс, 10 пг, Ст 3пс. Все сорта стали относятся к малоуглеродистым и отличаются высоким качеством.

Поверхность листов может быть глянцевой (гл) или матовой (м). По точности прокатки различают два типа листов: обычной точности (О) и повышенной точности (П).

Еще одной важной характеристикой листов холоднокатаной стали является их способность к вытяжению. По этим характеристикам они разделены на несколько типов.

- первый тип (ВОСВ) – листы весьма особо сложной вытяжки,
- второй тип (ОСВ) – листы особо сложной вытяжки,
- третий тип (СВ) – листы сложной вытяжки,
- четвертый тип (ВГ) – листы весьма глубокой вытяжки.

Отличается по своему качеству и отделка поверхности листов холоднокатаной стали. По этому параметру их разделяют на три сорта.

- первый сорт (I) – сталь особо высокой отделки,
- второй сорт (II) – сталь высокой отделки,
- третий сорт (III) – сталь повышенной отделки.

Холоднокатанные стальные листы имеют ряд преимуществ перед горячекатаными листами. Благодаря высокому качеству отделки поверхности эти листы могут выдерживать значительные нагрузки.

Они легко поддаются сгибанию, гофрированию и штамповке. Оцинкованные или с полимерным покрытием листы устойчивы к коррозии, что немаловажно при их использовании в качестве внешней отделки зданий или материала для заграждений.

Размеры холоднокатаных листов колеблются в достаточно больших пределах. Это облегчает выбор покупателям и позволяет использовать сталь в самых различных условиях.

Вопрос 5. Сборка магнитопровода

По способу сочленения стержней с ярами различают стыковую и шихтованную конструкции стержневого магнитопровода (рис. 1.1.19).

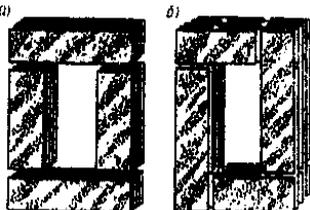


Рис. 1.1.19. Стыковая (а) и шихтованная (б) конструкции магнитопроводов

При стыковой конструкции (рис. 1.1.19, а) стержни и ярма собирают отдельно, насаживают обмотки на стержни, а затем приставляют верхнее и нижнее ярма, заранее проложив изолирующие прокладки между стыкующимися элементами, с целью ослабления вихревых токов, возникающих при взаимном перекрытии листов стержней и ярм. После установки двух ярм всю конструкцию прессуют и стягивают вертикальными шпильками. Стыковая конструкция хотя и облегчает сборку магнитопровода, но не получила распространения в силовых трансформаторах из-за громоздкости стяжных устройств и необходимости механической обработки стыкующихся поверхностей для уменьшения магнитного сопротивления в месте стыка.

Шихтованная конструкция магнитопроводов силовых трансформаторов показана на рис. 1.1.19, б, когда стержни и ярма собирают слоями в переплет. Обычно слой содержит 2–3 листа. В настоящее время магнитопроводы силовых трансформаторов изготавливают из холоднокатаной электротехнической стали, у которой магнитные свойства вдоль направления прокатки листов лучше, чем поперек. Поэтому при шихтованной конструкции в местах поворота листов на 90° появляются «зоны несовпадения» направления прокатки с направлением магнитного потока. На этих участках наблюдаются увеличение магнитного сопротивления и рост магнитных потерь. С целью ослабления этого явления применяют для шихтовки пластины (полосы) со скошенными краями. В этом случае вместо прямого стыка (рис. 1.1.20, а) получают косой стык (рис. 1.1.20, б), у которого «зона несовпадения» гораздо меньше.

Недостатком магнитопроводов шихтованной конструкции яв-

ляется некоторая сложность сборки, так как для насадки обмоток на стержни приходится расшлихтовывать верхнее ярмо, а затем после насадки обмоток вновь его зашлихтовывать.

Стержни магнитопроводов во избежание распушения спрессовывают (скрепляют). Делают это обычно наложением на стержень бандажа из стеклоленты или стальной проволоки. Стальной бандаж выполняют с изолирующей пряжкой, что исключает создание замкнутых стальных витков на стержнях. Бандаж накладывают равномерно, с определенным натягом. Для опрессовки ярм 3 и мест их сочленения со стержнями 1 используют ярмовые балки 2, которые в местах, выходящих за крайние стержни (рис. 1.1.21), стягивают шпильками.

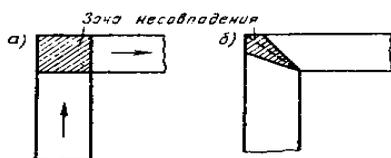


Рис. 1.1.20.

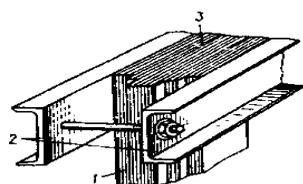


Рис. 1.1.21.

Во избежание возникновения разности потенциалов между металлическими частями во время работы трансформатора, что может вызвать пробой изоляционных промежутков, разделяющих эти части, магнитопровод и детали его крепления **обязательно заземляют**. Заземление осуществляют медными лентами, вставляемыми между стальными пластинами магнитопровода одними концами и прикрепляемыми к ярмовым балкам другими концами.

Магнитопроводы трансформаторов малой мощности (обычно мощностью не более 1 кВ·А) чаще всего изготавливают из узкой ленты электротехнической холоднокатаной стали путем навивки. Такие магнитопроводы делают разрезными (рис. 1.1.22), а после насадки обмоток собирают встык и стягивают специальными хомутами.

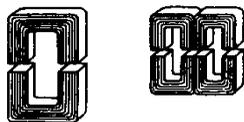


Рис. 1.1.22.

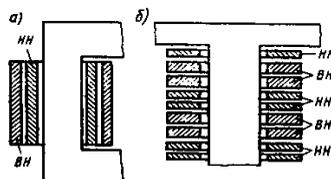


Рис. 1.1.23.

Вопрос 6. Обмотки трансформатора, их виды, расположение на стержнях

Обмотки трансформаторов средней и большой мощности выполняют из обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения, изолированных хлопчатобумажной пряжей или кабельной бумагой. Основой обмотки в большинстве случаев является бумажно-бакелитовый цилиндр, на котором крепятся элементы (рейки, угловые шайбы и т. п.), обеспечивающие обмотке механическую и электрическую прочность.

По взаимному расположению на стержне обмотки разделяют на концентрические и чередующиеся. Концентрические обмотки выполняют в виде цилиндров, размещаемых на стержне концентрически: ближе к стержню обычно располагают обмотку НН (требующую меньшей изоляции от стержня), а снаружи – обмотку ВН (рис. 1.1.23, *а*).

Чередующиеся (дисковые) обмотки выполняют в виде отдельных секций (дисков) НН и ВН и располагают на стержне в чередующемся порядке (рис. 1.1.23, *б*). Чередующиеся обмотки применяют весьма редко, лишь в некоторых трансформаторах специального назначения.

Концентрические обмотки в конструктивном отношении разделяют на несколько типов. Рассмотрим некоторые из них.

1. *Цилиндрические* однослойные или двухслойные обмотки из провода прямоугольного сечения (рис. 1.11, *а*) используют главным образом в качестве обмоток НН на номинальный ток до 800 А.

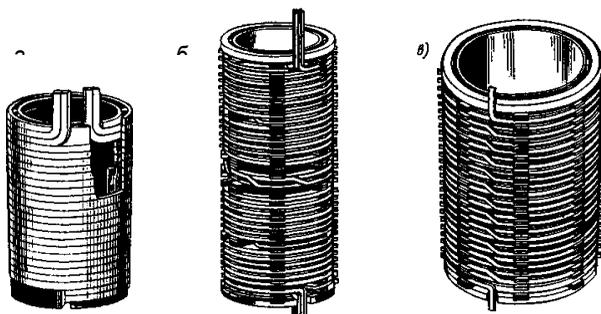


Рис. 1.1.24. Конструкция концентрических обмоток

2. *Винтовые* одно- и многоходовые обмотки выполняют из нескольких параллельных проводов прямоугольного сечения. При

этом витки укладывают по винтовой линии, имеющей один или несколько ходов (рис. 1.1.24, б). Для того чтобы все параллельные проводники одинаково нагружались током, выполняют *транспозицию* (перекладку) этих проводников. При транспозиции стремятся, чтобы в пределах одного витка каждый проводник занимал все положения. Транспозиция может быть групповой (рис. 1.1.25, а), когда параллельные провода делятся на две группы и перестановка осуществляется группами, и общей, когда меняется взаимное расположение всех параллельных проводов (рис. 1.1.25, б).



Рис. 1.1.25. Транспозиция в винтовых обмотках

3. *Непрерывные обмотки* (рис 1.1.24) состоят из отдельных дисковых обмоток (секций), намотанных по спирали и соединенных между собой без пайки, т.е. выполненных «непрерывно». Если обмотка выполняется несколькими параллельными проводами, то в ней применяются транспозицию проводов.

Непрерывные обмотки, несмотря на некоторую сложность изготовления, получили наибольшее применение в силовых трансформаторах как в качестве обмоток ВН, так и в качестве обмоток НН. Это объясняется их большой механической прочностью и надежностью.

Вопрос 7. Системы охлаждения трансформаторов

В трансформаторах с масляным охлаждением магнитопровод с обмотками помещен в бак, наполненный трансформаторным маслом (рис. 1.1.26). Трансформаторное масло, омывая обмотки 2 и 3 и магнитопровод 1, отбирает от них теплоту и, обладая более высокой теплопроводностью, чем воздух, через стенки бака 4 и трубы радиатора 5 отдает ее в окружающую среду. Наличие трансформаторного масла обеспечивает более надежную работу высоковольтных трансформаторов, так как электрическая прочность масла намного выше, чем воздуха. Масляное охлаждение интенсивнее воздушного, поэтому габариты и вес масляных трансформаторов меньше, чем у сухих трансформаторов такой же мощности.

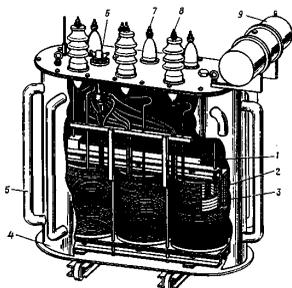


Рис. 1.1.26: Устройство трансформатора с масляным охлаждением

В трансформаторах мощностью до 20—30 кВ·А применяют баки с гладкими стенками. У более мощных трансформаторов для увеличения охлаждаемой поверхности стенки бака делают ребристыми или же применяют трубчатые баки. Масло, нагреваясь, поднимается вверх, а, охлаждаясь, опускается вниз. При этом масло циркулирует в трубах, что способствует более быстрому его охлаждению

Для компенсации объема масла при изменении температуры, а также для защиты масла от окисления и увлажнения при контакте с воздухом в трансформаторах применяют расширитель 9, представляющий собой цилиндрический сосуд, установленный на крышке бака и сообщающийся с ним. Колебания уровня масла с изменением его температуры происходят не в баке, который всегда заполнен маслом, а в расширителе, сообщающемся с атмосферой.

Вопрос 8. Изоляционные материалы

В соответствии с воздействиями, которые испытывает изоляция трансформатора в эксплуатации, и требованиями к электрической и механической прочности изоляции, ее нагревостойкости и химической стойкости в трансформаторостроении нашло применение сравнительно небольшое число различных изоляционных материалов. Эти материалы, хорошо отвечая всем требованиям, одновременно являются дешевыми, а также требуют сравнительно несложной технологической обработки. Ниже приводятся краткие характеристики этих материалов и область их применения в трансформаторостроении. В масляных трансформаторах для внутренней изоляции применяются главным образом изоляционные материалы класса нагревостойкости А.

1. Кабельная бумага (ГОСТ 23436-83). Обычная кабельная бу-

мага марок К-080, К-120 и К-170 толщиной 80, 120 и 170 мкм; многослойная марок КМ-120 и КМ-170 и многослойная упроченная марки ЕМП-120 толщиной 120 и 170 мкм соответственно. Бумага изготавливается из сульфатной небеленой целлюлозы и выпускается в рулонах шириной 500, 650, 670, 700, 750 и 1000 мм (± 3 мм) при диаметре рулона от 450 до 500 мм. В трансформаторах применяется бумага главным образом марки К-120 толщиной 120 мкм для изоляции обмоточного провода (на кабельном заводе); в виде полос разной ширины для междуслойной изоляции и в многослойных цилиндрических обмотках классов напряжения 6, 10, 20 и 35 кВ; в виде полосок шириной 20—40 мм, наматываемых вручную.

В обмотках классов напряжения ПО кВ и выше для изоляции провода и других целей применяется кабельная бумага по ГОСТ 645-79 высоковольтная многослойная марок КВМ-80, КВМ-120 и КВМ-170, а также высоковольтная многослойная стабилизированная уплотненная марок КВМСУ-80 и КВМСУ-120. Ширина рулонов 500, 650, 670 и 750 мм (± 3 мм), диаметр рулона 450—800 мм. Плотность бумаги марок К, КМ, КМП и КВМ ($720-770 \pm 50$) кг/м³, плотность марки КВМСУ — $1100 + 50$ кг/м³. При этих классах напряжения кабельная бумага используется также для изоляции отводов и элементов емкостной защиты. Кабельная бумага является одним из основных изоляционных материалов в масляных трансформаторах.

2. Телефонная бумага (ГОСТ 3553-73). Телефонная бумага марки КТ-50 изготавливается из сульфатной небеленой целлюлозы, выпускается в рулонах шириной 500, 700 и 750 мм (± 3 мм) и диаметром 500—650 мм при толщине 50 мкм; плотность 820 кг/м³. В трансформаторах применяется в качестве междуслойной изоляции и изоляции отводов и ответвлений некоторых обмоток, наматываемых из провода круглого сечения.

3. Лакоткань электроизоляционная (ГОСТ 2214-78). Вырабатывается из хлопчатобумажной ткани, прошедшей трехкратную пропитку масляным лаком. Выпускается в рулонах шириной от 800 до 920 мм. Класс нагревостойкости А (105°С). В масляных трансформаторах применяется главным образом лакоткань марки ЛХММ (лакоткань хлопчатобумажная на основе масляного лака, маслостойкая) толщиной 170, 200 и 240 мкм (допуск ± 20 мкм). В виде лент шириной 2—3 см, наматываемых вручную, лакоткань находит применение для изоляции отводов, главным образом в местах, где требуются эластичность и механическая прочность, например на местах пайки, изгиба и т. д.

В других местах изоляции отводов лакоткань вытеснена менее

эластичной, но столь же электрически прочной и значительно более дешевой кабельной и электроизоляционной крепированной бумагой.

3а. Стеклолакоткань электроизоляционная (ГОСТ 10156-78). В сухих трансформаторах, работающих при повышенной температуре и требующих изоляции повышенного класса нагревостойкости, может применяться электроизоляционная стеклолакоткань, изготавливаемая из стеклоткани на основе кремнийорганического лака марки ЛСК-155/180 классов нагревостойкости F и H и на основе битумно-масляного алкидного лака марки ЛСБ-120/130 классов нагревостойкости E и B. Ширина рулона стеклолакоткани 690, 790, 890, 940, 990, 1060 и 1140 мм (± 20 мм); толщина стеклолакоткани марки ЛСБ 120, 150, 170, 200 и 240 мкм; марки ЛСК — те же толщины и 50, 60, 80 и 100 мкм.

4. Бумага электроизоляционная крепированная (ГОСТ 12796-76). Изготавливается из сульфатной небеленой целлюлозы, толщина крепированной бумаги (440 ± 90) мкм. Поставляется в рулонах шириной 1000 и диаметром 700—800 мм, удлинение 70%, масса $1 \text{ м}^2 = (130 \pm 10)$ г. В трансформаторах успешно применяется вместо лакоткани в виде лент шириной 20—40 мм для изоляции отводов.

Вопрос 9. Маркировка и ряд номинальных мощностей трансформаторов.

Свойства трансформатора определяются его *номинальными параметрами*: 1) номинальное первичное линейное напряжение $U_{1\text{ном}}$, В или кВ; 2) номинальное вторичное линейное напряжение $U_{2\text{ном}}$ (напряжение на выводах вторичной обмотки при отключенной нагрузке и номинальном первичном напряжении), В или кВ; 3) номинальные линейные токи в первичной $I_{1\text{ном}}$ и вторичной $I_{2\text{ном}}$ обмотках, А; 4) номинальная полная мощность $S_{\text{ном}}$, кВ·А (для однофазного трансформатора $S_{\text{ном}} = U_{1\text{ном}} I_{1\text{ном}}$, для трехфазного — $S_{\text{ном}} = \sqrt{3} U_{1\text{ном}} I_{1\text{ном}}$).

Вопрос 10. Электродвижущая сила обмоток трансформатора, коэффициент трансформации.

Основной переменный магнитный поток Φ в магнитопроводе трансформатора, сцепляясь с витками обмоток w_1 и w_2 , наводит в них ЭДС

$$e_1 = -w_1(d\Phi / dt); e_2 = -w_2(d\Phi / dt).$$

Предположим, что магнитный поток Φ является синусоидальной функцией времени, т. е.

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t, \quad (1.1.11)$$

где Φ_{\max} — максимальное значение потока.

Тогда, подставив (1.1.11) в формулу ЭДС e_1 и дифференцируя, получим

$$e_1 = -\omega w_1 \Phi_{\max} \cos \omega t. \quad (1.1.12)$$

Но так как $\cos \omega t = -\sin(\omega t - \pi/2)$, то

$$e_1 = \omega w_1 \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2). \quad (1.1.13)$$

По аналогии,

$$e_2 = \omega w_2 \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2), \quad (1.1.14)$$

Из (1.1.13) и (1.1.14) следует, что ЭДС e_1 и e_2 отстают по фазе от потока Φ на угол $\pi/2$. Максимальное значение ЭДС

$$E_{1\max} = \omega w_1 \Phi_{\max}. \quad (1.1.15)$$

Разделив $E_{1\max}$ на $\sqrt{2}$ и подставив $\omega = 2\pi f$, получим действующее значение первичной ЭДС (В):

$$E_1 = E_{1\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) w_1 f \Phi_{\max} = 4,44 w_1 f \Phi_{\max}. \quad (1.1.16)$$

Аналогично, для вторичной ЭДС

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_{\max}. \quad (1.1.17)$$

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения называют *коэффициентом трансформации*:

$$k = E_1 / E_2 = w_1 / w_2. \quad (1.1.18)$$

При практических расчетах коэффициент трансформации с некоторым допущением принимают равным отношению номинальных напряжений обмоток ВН и НН:

$$k \approx U_{1ном} / U_{2ном}.$$

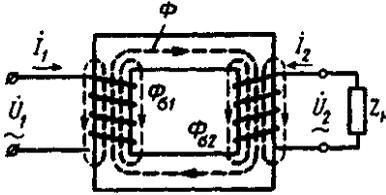


Рис. 1.1.27. Магнитные потоки в однофазном трансформаторе

Токи I_1 и I_2 в обмотках трансформатора помимо основного магнитного потока Φ создают магнитные потоки рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$ (рис. 1.1.27), каждый из которых сцеплен с витками лишь собственной обмотки и индуцирует в ней ЭДС рассеяния. Эти ЭДС в первичной и вторичной обмотках таковы:

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1}(di_1 / dt); e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2}(di_2 / dt),$$

где $L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$ — индуктивности рассеяния.

Так как магнитные потоки рассеяния замыкаются главным образом в немагнитной среде (воздух, масло, медь), магнитная проницаемость которой постоянна, то и индуктивности $L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$ можно считать постоянными.

Действующие значения ЭДС рассеяния пропорциональны токам в соответствующих обмотках:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1; \dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 x_2,$$

где x_1 и x_2 — индуктивные сопротивления рассеяния первичной и вторичной обмоток соответственно, Ом (знак минус в этих выражениях свидетельствует о реактивности ЭДС рассеяния).

Таким образом, в каждой из обмоток трансформатора индуци-

руются по две ЭДС: ЭДС от основного потока Φ и ЭДС от потока рассеяния ($\Phi_{\sigma 1}$ в первичной обмотке и $\Phi_{\sigma 2}$ во вторичной обмотке).

Контрольные вопросы:

1. В чем отличие трансформаторов стержневых от броневых?
2. Виды потерь в стали.
3. Основные качества холоднокатаной стали.
4. Виды сборок магнитопровода.
5. Перечислить основные изоляционные материалы для трансформаторостроения.
6. Перечислите ряд номинальных мощностей трансформатора.
7. Дайте определение электродвижущей силы обмоток трансформатора.

Тема 1.2 Рабочий процесс трансформатора.

Вопрос 1. Рабочий процесс трансформатора.

Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода (рис. 1.2.1, *a*). Одна из обмоток, которую называют *первичной*, присоединена к источнику переменного тока G на напряжение U_1 . К другой обмотке,

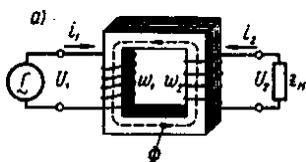


Рис. 1.2.1. Электромагнитная (*a*) и принципиальная (*б*) схемы трансформатора

называемой *вторичной*, подключен потребитель $Z_{н}$. Первичная и вторичная обмотки трансформатора не имеют электрической связи друг с другом, и мощность из одной обмотки в другую передается электромагнитным путем. Магнитопровод, на котором расположены эти обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками.

Действие трансформатора основано на явлении электромаг-

нитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток i_1 , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них ЭДС:

в первичной обмотке ЭДС *самоиндукции*

$$e_1 = -w_1(d\Phi/dt), \quad (1.2.1)$$

во вторичной обмотке ЭДС *взаимоиндукции*

$$e_2 = -w_2(d\Phi/dt), \quad (1.2.2)$$

где w_1 и w_2 — число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

При подключении нагрузки $Z_{н}$ к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС e_2 в цепи этой обмотки создается ток i_2 , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$, а в понижающих $U_2 < U_1$.

Из (1.2.1) и (1.2.2) видно, что ЭДС e_1 и e_2 , наводимые в обмотках трансформатора, отличаются друг от друга лишь за счет разного числа витков w_1 и w_2 в обмотках, поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор практически на любое отношение напряжений.

Обмотку трансформатора, подключенную к сети с более высоким напряжением, называют *обмоткой высшего напряжения* (ВН); обмотку, присоединенную к сети меньшего напряжения, — *обмоткой низшего напряжения* (НН).

На рис. 1.2.1, б показано изображение однофазного трансформатора на принципиальных электрических схемах.

Трансформаторы обладают свойством *обратимости*: один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего. Но обычно трансформатор имеет определенное назначение: либо он повышающий, либо — понижающий.

Трансформатор — это аппарат переменного тока. Если же его первичную обмотку подключить к источнику постоянного тока, то магнитный поток в магнитопроводе трансформатора также будет постоянным как по величине, так и по направлению $[(d\Phi/dt)=0]$, поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС, а следовательно, электроэнергия из первичной цепи не будет передаваться во вторичную.

Классифицируют трансформаторы по нескольким признакам: по назначению — силовые общего и специального назначения,

импульсные, для преобразования частоты и т.д.;

по виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением;

о числу трансформируемых фаз – однофазные и трехфазные;

по форме магнитопровода — стержневые, броневого, бронестержневые, тороидальные;

по числу обмоток на фазу — двухобмоточные, многообмоточные.

Вопрос 2. Испытания трехфазного двухобмоточного трансформатора

Опыт холостого хода. Холостым ходом называют режим работы трансформатора при разомкнутой вторичной обмотке ($Z_{н}=\infty, I_2=0$). В этом случае уравнения напряжений и токов принимают вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_0 x_1 + \dot{I}_0 r_1; \\ \dot{U}'_{20} &= \dot{E}'_2; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0. \end{aligned} \right\} \quad (1.2.3.)$$

Так как полезная мощность при работе трансформатора холостую равна нулю, то мощность на входе трансформатора в режиме х.х. P_0 расходуется на магнитные потери в магнитопроводе P_m (потери на перемагничивание магнитопровода и вихревые токи) и электрические потери в меди $I_0^2 r_1$, (потери на нагрев обмотки при прохождении по ней тока) одной лишь первичной обмотки. Однако ввиду небольшого значения тока I_0 , который обычно не превышает 2—10% от $I_{1ном}$, электрическими потерями $I_0^2 r_1$, можно пренебречь и считать, что вся мощность х.х. представляет собой мощность магнитных потерь в стали магнитопровода. Поэтому *магнитные потери в трансформаторе принято называть потерями холостого хода*.

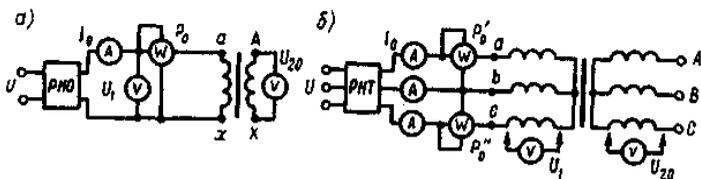
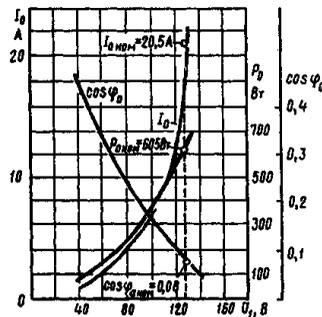


Рис. 1.2.2. Схемы опыта х.х. трансформаторов однофазного (а), трехфазного (б)

Опыт х.х. *однофазного* трансформатора проводят по схеме изображенной на рис. 1.2.2, а. Комплект электроизмерительных приборов, включенных в схему, дает возможность непосредственно измерить напряжение U_1 , подведенное к первичной обмотке; напряжение U_{20} на выводах вторичной обмотки; мощность P_0 и ток х.х. I_0 .

Напряжение к первичной обмотке, трансформатора обычно подводят через однофазный регулятор напряжения РНО, позволяющий плавно повышать напряжение от 0 до $1,15U_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока х.х. снимают показания приборов, а затем строят характеристики х.х.: зависимости тока х.х. I_0 , мощности х.х. P_0 и коэффициента мощности х.х. $\cos\varphi_0$ от первичного

$$\cos\varphi_0 = \frac{P'_0 + P''_0}{3U_1 I_0} = \frac{P_0}{3U_1 I_0}, \quad (1.44)$$



напряжения U_1 (рис. 1.2.3).

Рис. 1.2.3 Характеристики х.х. трансформатора

Опыт короткого замыкания. Короткое замыкание трансформатора — это такой режим, когда вторичная обмотка замкнута накоротко ($z_{н} = 0$), при этом вторичное напряжение $U_2 = 0$. В условиях эксплуатации, когда к трансформатору подведено номинальное напряжение $U_{ном}$, короткое замыкание является аварийным режимом и представляет собой большую опасность для трансформатора .

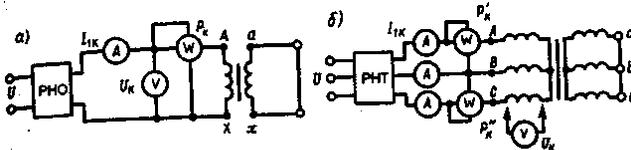


Рис. 1.2.4. Схемы опыта к.з. трансформаторов однофазного (а), трехфазного (б)

При опыте к.з. обмотку низшего напряжения однофазного трансформатора замыкают накоротко (рис. 1.2.4, а), а к обмотке высшего напряжения подводят пониженное напряжение, постепенно повышая его регулятором напряжения РНО до некоторого значения $U_{к.ном}$, при котором токи к.з. в обмотках трансформатора становятся равными номинальным токам в первичной ($I_{1к} = I_{1ном}$) и вторичной ($I_{2к} = I_{2ном}$) обмотках. При этом снимают показания приборов и строят *характеристики к.з.*, представляющие собой зависимость тока к.з. $I_{1к}$, мощности к.з. P_k и коэффициента мощности $\cos\varphi_k$ от напряжения к.з. U_k (рис. 1.2.5.).

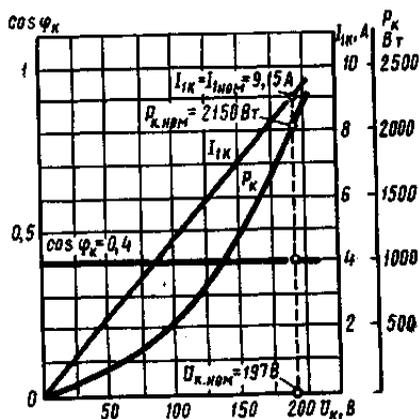


Рис. 1.2.5. Характеристики к.з. трансформатора

Вопрос 3. Определение по паспортным данным коэффициента трансформации в первичной и вторичной обмотках.

Для трансформаторов с **параллельным** подключением первичной обмотки к источнику энергии интересует, как правило, масштабирование в отношении напряжения, а значит, коэффициент трансформации n выражает отношение первичного (входного) и вторичного (выходного) напряжений :

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon \cdot W_1 + I_1 \cdot R_1}{\varepsilon \cdot W_2 - I_2 \cdot R_2}$$

где

- U_1, U_2 — входное и выходное напряжения соответственно
- ε — ЭДС наводимая в каждом витке любой обмотки данного

- трансформатора
- W_1, W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток
- I_1, I_2 — токи в первичной и вторичной цепях трансформатора
- R_1, R_2 — активные сопротивления обмоток

Если пренебречь потерями в обмотках, то есть R_1, R_2 считать равными нулю, то

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Такие трансформаторы ещё называют трансформаторами напряжения.

Тема 1.3. Определение параметров схемы замещения

Вопрос 1. Параметры схем замещения и коэффициент полезного действия.

Электромагнитная мощность вторичной обмотки реального трансформатора $E_2 I_2$ должна быть равна электромагнитной мощности вторичной обмотки приведенного трансформатора:

$$E_2 I_2 = E'_2 I'_2. \quad (1.2.4)$$

Подставив значение приведенного тока вторичной обмотки $I_2 = I_2 (w_2 / w_1)$, в (1.2.4), получим формулу приведенной вторичной ЭДС:

$$E'_2 = \frac{I_2}{I'_2} E_2 = \frac{I_2}{I_2} \frac{w_1}{w_2} E_2 = E_2 \frac{w_1}{w_2}. \quad (1.2.5)$$

Так как $U_2 I_2 \approx U'_2 I'_2$, то приведенное напряжение вторичной обмотки

$$U'_2 \approx U_2 (w_1 / w_2). \quad (1.2.6)$$

Из условия равенства потерь в активном сопротивлении вторичной обмотки имеем $I_2^2 r_2 = I_2'^2 r_2'$. Определим приведенное активное сопротивление:

$$r_2' = r_2 (I_2 / I_2')^2 = r_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.2.7)$$

Приведенное индуктивное сопротивление рассеяния вторичной обмотки определяют из условия равенства реактивных мощностей $I_2^2 x_2 = I_2'^2 x_2'$, откуда

$$x_2' = x_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.2.8)$$

Приведенное полное сопротивление вторичной обмотки трансформатора

$$Z_2' = r_2' + jx_2' = (r_2 + jx_2)(w_1 / w_2)^2 = Z_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.2.9)$$

Приведенное полное сопротивление нагрузки, подключенной на выводы вторичной обмотки, определим по аналогии с (1.32):

$$Z_n' = Z_n (w_1 / w_2)^2. \quad (1.2.10)$$

Уравнения напряжений и токов для приведенного трансформатора имеют вид

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (-\dot{E}_1) + \dot{I}_1 Z_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1; \\ \dot{U}_2' &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' Z_2' = \dot{E}_2' - j\dot{I}_2' x_2' - \dot{I}_2' r_2'; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \end{aligned} \quad (1.2.11)$$

Эти уравнения устанавливают аналитическую связь между параметрами трансформатора во всем диапазоне нагрузок от режима х.х. до номинальной.

Еще одним средством, облегчающим исследование электромагнитных процессов и расчет трансформаторов, является применение электрической *схемы замещения приведенного трансформатора*. На рис. 1.2.6, а представлена эквивалентная схема приведенного транс-

форматора, на которой сопротивления r и x условно вынесены из соответствующих обмоток и включены последовательно им. Как было установлено ранее, в приведенном трансформаторе $k = 1$, а поэтому $-\dot{E}'_1 = \dot{E}'_2$. В результате точки A и a , а также точки X и x на схеме имеют одинаковые потенциалы, что позволяет электрически соединить указанные точки, получив Т-образную схему замещения приведенного трансформатора (рис. 1.2.6, б). В электрической схеме замещения трансформатора магнитная связь между цепями заменена электрической.

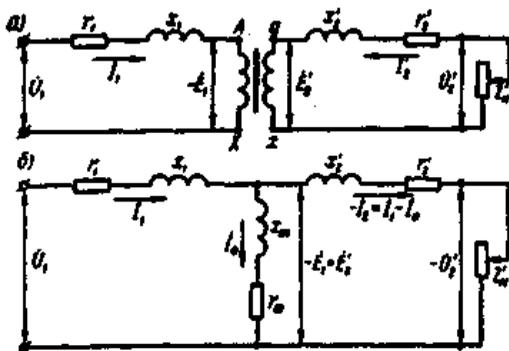


Рис. 1.2.6. Эквивалентная схема (а) и схема замещения (б) приведенного

Схема замещения приведенного трансформатора удовлетворяет всем уравнениям ЭДС и токов приведенного трансформатора (1.2.11) и представляет собой совокупность трех ветвей: *первичной* — сопротивлением $Z_1 = r_1 + jx_1$ и током \dot{I}_1 ; *намагничивающей* — сопротивлением $Z_m = r_m + jx_m$ и током \dot{I}_0 ; *вторичной* — с двумя сопротивлениями: сопротивлением собственно вторичной ветви $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$ и сопротивлением нагрузки $Z'_H = r'_H \pm jx'_H$ и током $-\dot{I}'_2$. Изменением сопротивления нагрузки Z'_H на схеме замещения могут быть воспроизведены все режимы работы трансформатора.

Параметры ветви намагничивания $Z_m = r_m + jx_m$ определяются током х.х. Наличие в этой ветви активной составляющей r_m обусловлено магнитными потерями в трансформаторе.

Все параметры схемы замещения, за исключением Z'_H , являются постоянными для данного трансформатора и могут быть определены

из опыта х.х. и опыта к.з.

Вопрос 2. Определение параметров схемы замещения в процессах холостого хода и короткого замыкания, напряжение короткого замыкания

В общем случае параметры первичной обмотки трансформатора отличаются от параметров вторичной обмотки. Эта разница наиболее ощутима при больших коэффициентах трансформации, что затрудняет расчеты и построение векторных диаграмм, так как в этом случае векторы электрических величин первичной обмотки значительно отличаются по своей длине от одноименных векторов вторичной обмотки. Указанные затруднения устраняются приведением всех параметров трансформатора к одинаковому числу витков, обычно к числу витков первичной обмотки w_1 . С этой целью все величины, характеризующие вторичную цепь трансформатора, — ЭДС, напряжение, ток и сопротивление — пересчитывают на число витков w_1 первичной обмотки.

Таким образом, вместо реального трансформатора с коэффициентом трансформации $k = w_1/w_2$ получают эквивалентный трансформатор с $k = w_1/w'_2 = 1$, где $w'_2 = w_1$. Такой трансформатор называют *приведенным*. Однако приведение вторичных параметров трансформатора не должно отразиться на его энергетических показателях: все мощности и фазовые сдвиги во вторичной обмотке приведенного трансформатора должны остаться такими, как и в реальном трансформаторе.

Напряжение короткого замыкания- это напряжение, доведенное до некоторого значения $U_{К.ном}$, при котором токи к.з. в обмотках трансформатора становятся равными номинальным токам в первичной ($I_{1к} = I_{1ном}$) и вторичной ($I_{2к} = I_{2ном}$) обмотках.

Вопрос 3. Работа трансформатора под нагрузкой

Нагрузочным или рабочим называется режим работы трансформатора, при котором к первичной обмотке подведено напряжение U_1 , а к вторичной подключены потребители Z_H (рис. 1), так что $I_2 > 0$.

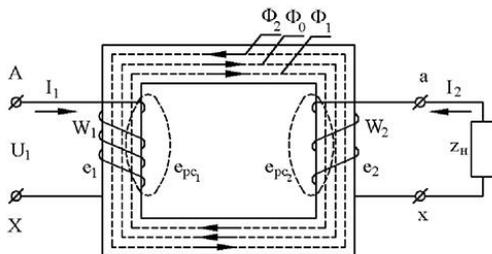


Рис. 1.2.7 — Нагрузочный режим однофазного трансформатора

Это основной режим, при котором вторичный ток изменяется в пределах $0 < I_2 \leq I_{2H}$, а коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ определяется характером нагрузки и может изменяться от нуля до 1,0. Особенности взаимодействий в рабочем режиме трансформатора определяются тем, что ток I_2 создает МДС $F_2 = I_2 W_2$ и соответствующий магнитный поток Φ_2 , действующие встречно по отношению к МДС F_1 и потоку Φ_0 , т.е. в соответствии с принципом Ленца реакция вторичной обмотки направлена на уменьшение основного магнитного потока взаимоиנדукции Φ_0 , созданного при холостом ходе. Однако, поскольку подводимое к первичной обмотке напряжение не изменяется, а оно, в основном, уравновешивается ЭДС E_{10} , то поток Φ_0 не должен изменяться, что соответствует уравнению равновесия:

$$\Phi_{0M} = \frac{U_1 \approx E_{10}}{4,44 f w_1} = const.$$

Для поддержания неизменным магнитного потока при переходе от холостого хода трансформатора к нагрузке МДС $I_0 W_1$ первичной обмотки увеличивается до такой величины $I_1 W_1$, при которой компенсируется размагничивающее действие МДС вторичной обмотки $I_2 W_2$. При этом закон Ома для магнитной цепи трансформатора в рабочем режиме записывается в виде:

$$\Phi_0 = \frac{\bar{I}_1 w_1 - \bar{I}_2 w_2}{R_\mu}.$$

Левые части соотношений одинаковы, поэтому справедливо равенство:

$$\bar{I}_0 w_1 = \bar{I}_1 w_1 - \bar{I}_2 w_2,$$

которое называют уравнением равновесия МДС трансформатора.

Из последнего равенства получают уравнения равновесия токов, которые записывают в виде:

$$\bar{I}_0 w_1 = \bar{I}_1 w_1 - \bar{I}_2 w_2,$$

или

$$I_1 = I_0 + \left(-I_2 \frac{w_2}{w_1} \right).$$

При нагрузках, близких к номинальной, током холостого хода иногда пренебрегают и уравнение второе уравнение упрощается:

$$|\bar{I}_1| \approx \left| \bar{I}_2 \frac{w_2}{w_1} \right|$$

откуда следует соотношение:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k}$$

Таким образом, соотношение токов при нагрузках, близких к номинальной, определяется соотношением числа витков, причем оно обратно пропорционально коэффициенту трансформации. Поэтому для номинального режима можно записать приближенное равенство:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2$$

из которого следует, что полная мощность, потребляемая трансформатором из сети, примерно равна полной мощности, отдаваемой потребителю.

Вопрос 4. Изменение вторичного напряжения, коэффициента полезного действия трансформатора, эксплуатационный коэффициент полезного действия

Протекание тока во вторичной обмотке трансформатора вызывает падение напряжения в ее активном и индуктивном сопротивлениях. Поэтому ЭДС - e_2 несколько отличается от напряжения U_2 на зажимах вторичной обмотки.

Отклонение величины вторичного напряжения трансформатора от напряжения холостого хода, выраженное в процентах, называется изменением напряжения трансформатора при нагрузке.

$$\Delta U \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100\%.$$

Эта величина может быть рассчитана по данным опытов холостого хода и короткого замыкания или определена по внешней характеристике, которая представляет собой зависимость вторичного напряжения от коэффициента загрузки - $U_2 = f(\beta)$. При индуктивной нагрузке вторичное напряжение уменьшается с ростом вторичного тока. При номинальной нагрузке уменьшение напряжения будет тем больше, чем больше полные сопротивления обмоток.

Величина изменения напряжения при нагрузке зависит также от характера нагрузки. У силовых трансформаторов при $\beta = 1$ изменение напряжения составляет 5-10%. Чтобы устранить нежелательное уменьшение напряжения на приемниках, трансформатор проектируют так, чтобы напряжение холостого хода U_{20} было на 5% больше номинального напряжения приемников, кроме того предусматривается возможность изменения числа витков одной из обмоток при возрастании нагрузки.

$$\eta = (P_0 + k\eta^2 \times P_k) / (k\eta \times S_n \times \cos\varphi_2 + P_0 + k\eta^2 \times P_k),$$

Анализ этого выражения показывает, что коэффициент полезного действия трансформатора имеет максимальное значение при нагрузке, когда потери в обмотках равны потерям в стали.

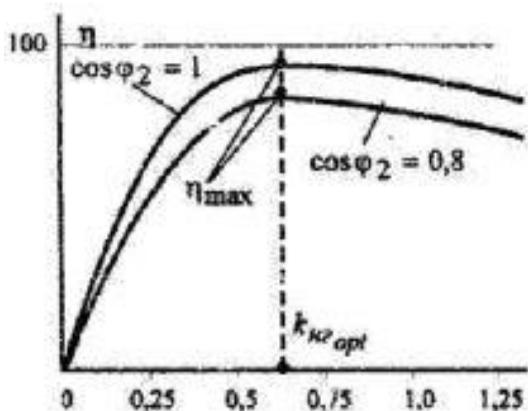


Рис. 1.2.8. Определение оптимального значения коэффициента загрузки трансформатора

Вопрос 5. Понятие о внезапном коротком замыкании в его ударном действии

Внезапное короткое замыкание на зажимах вторичной обмотки трансформатора. Оно возникает из-за различных неисправностей: механического повреждения изоляции или ее электрического пробоя при пере- напряжениях, ошибочных действий обслуживающего персонала и др. Короткое замыкание — это аварийный режим, и может привести к разрушению трансформатора.

Наиболее неблагоприятные условия КЗ могут быть в момент, когда мгновенное значение первичного напряжения равно нулю ($\dot{U}=0$). На рисунке 44 построена кривая тока КЗ i_K для этого условия. Ток внезапного КЗ (ударный ток) может достигать двойного значения установившегося тока КЗ и в 20—40 раз превышать номинальное значение тока. Переходный процесс при внезапном КЗ у трансформаторов малой мощности длится не более одного периода, а у трансформаторов большой мощности — 6—7 периодов. Затем трансформатор переходит в режим установившегося КЗ, при котором в обмотках протекают токи i_K уст, величина которых хотя и меньше тока i_K при переходном процессе, но все же во много раз превышает номинальное значение тока. Через несколько секунд срабатывают защитные устройства, отключающие трансформатор от сети. Но несмотря на кратковременность процесса КЗ, он представляет собой значительную опасность для обмоток трансформатора: во-первых, чрезмерно большой ток КЗ резко повышает температуру обмотки, что может повредить ее изоляцию; во-вторых, резко увеличиваются электромагнитные силы в обмотках трансформатора.

Вопрос 6. Термическое и динамическое действие токов короткого замыкания.

Величина электромагнитной силы, действующей на витки обмоток, определяется произведением магнитной индукции поля рассеяния B_a на величину тока i в витке обмотки: $F = iB_a$ — удельная электромагнитная сила, Н/м. Но с увеличением тока растет также и индукция поля рассеяния, поэтому сила растет пропорционально квадрату тока ($F = i^2$). Так, если ток в витке $i = 100$ А и индукция $B_a = 0,1$ Тл, то $F = 0,1 \cdot 100 = 10$ Н/м. Такая сила не вызывает заметных деформаций витков обмотки, но если при внезапном КЗ бросок тока достигнет значения i_K , превышающего номинальный ток в 30 раз, то электромагнитная сила возрастет в 900 раз и станет равной 9000 Н/м. Такая сила может вызвать значитель-

ные механические разрушения в трансформаторе.

Контрольные вопросы:

1. Какой трехфазный трансформатор называется групповым?
2. Что понимают под напряжением короткого замыкания?
3. За счет чего осуществляют регулирование вторичного напряжения трансформатора?
4. При какой нагрузке трансформатора возникают токи напряжений обратной и нулевой последовательностей?
5. При каких условиях наблюдается максимальное значение КПД трансформатора?

Тема 1.4 Векторные уравнения и схемы замещения трансформатора

Вопрос 1. Общие сведения о векторных диаграммах

Векторная диаграмма трансформатора. Она позволяет наглядно представить соотношения и углы сдвига фаз между различными величинами, характеризующими работу трансформатора.

Кроме того, ее построение полезно для вывода некоторых соотношений, которые упрощают анализ рабочих характеристик трансформатора.

Векторную диаграмму строим на основании уравнений электрического состояния и уравнения токов с учетом сдвигов фаз между магнитным потоком, ЭДС и токами для приведенного трансформатора – в этом случае масштаб всех величин вторичной обмотки одинаков с масштабом величин первичной обмотки. Диаграмма на рис. 1.3.1 для активно-индуктивной нагрузки

Вопрос 2. Векторная диаграмма

Построение векторной диаграммы удобнее начинать с вектора основного потока Φ . Отложим его по оси абсцисс. Вектор I_{10} опережает его на угол α . Далее строим векторы ЭДС E_1 и E_2' , которые отстают от потока Φ на 90° . Для определения угла сдвига фаз между E_2' и I_2' следует знать характер нагрузки. Предположим, она активно-индуктивная. Тогда I_2' отстает от E_2' на угол β_2 .

Получилась так называемая заготовка векторной диаграммы трансформатора (рисунок). Для того чтобы достроить ее, необходимо воспользоваться тремя основными уравнениями приведенного трансформатора.

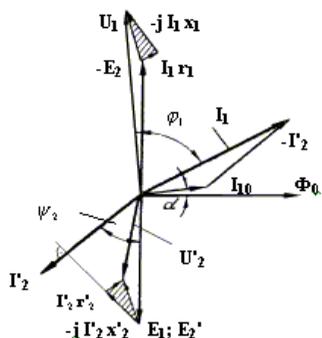


Рис 1.3.1. Векторная диаграмма трансформатора

Воспользуемся вторым основным уравнением и произведем сложение векторов:

$$U_2' = E_2' - I_2' z_2' = E_2' - j I_2' x_2' - I_2' r_2'$$

Для этого к концу вектора E_2' пристроим вектор $-j I_2' x_2'$, а к его концу — вектор $-I_2' r_2'$. Результирующим вектором U_2' будет вектор, соединяющий начало координат с концом последнего вектора. Теперь используем третье основное уравнение:

$$I_1 = I_{10} + (-I_2'),$$

из которого видно, что вектор тока I_1 состоит из геометрической суммы векторов I_{10} и $-I_2'$. Произведем это суммирование и построим векторную диаграмму трансформатора. Теперь вернемся к первому основному уравнению:

$$U_1 = (-E_1) + I_1 z_1 = (-E_1) + j I_1 x_1 + I_1 r_1$$

Чтобы построить вектор $-E_1$, нужно взять вектор $+E_1$ и направить его в противоположную сторону. Теперь можно складывать с ним и другие векторы: $+j I_1 x_1$ и $I_1 r_1$. Первый будет идти перпендикулярно току, а второй — параллельно ему. В результате получим суммарный вектор u_1 .

Построенная векторная диаграмма трансформатора имеет общий характер. По этой же методике можно осуществить ее построение как для различных режимов, так и для разных характеров нагрузки.

Вопрос 3. Векторные уравнения трансформатора

В реальном трансформаторе помимо основного магнитного потока

Φ , замыкающегося по стали и сцепленного со всеми обмотками трансформатора, имеются также потоки рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ и $\Phi_{\sigma 2}$ (рис. 2.25), которые сцеплены только с одной из обмоток. Потоки рассеяния не участвуют в передаче энергии, но создают в каждой из обмоток соответствующие ЭДС самоиндукции

$$\sigma_1 = 4,44fw_1\Phi_{\sigma 1m}; E_{\sigma 2} = 4,44fw_2\Phi_{\sigma 2m}.$$

С учетом ЭДС самоиндукции и падений напряжения в активных сопротивлениях обмоток можно составить комплексные уравнения для первичной и вторичной обмоток трансформатора. С учетом (2.13) получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} &= \dot{I}_1 R_1; \\ \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} &= \dot{I}_2 R_2 + \dot{I}_2 Z_{\text{н}}; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2 w_2 / w_1), \end{aligned} \right\} \quad (1.3.1.)$$

где $Z_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки, подключенной к трансформатору.

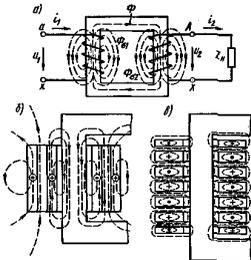


Рис. 1.3.2. Схема магнитных потоков в трансформаторе [а] и распределение потоков рассеяния при концентрической (б) и чередующейся (в) обмотках

Поскольку потоки рассеяния полностью или частично замыкаются по воздуху, они пропорциональны МДС соответствующих обмоток или соответствующим токам:

$$E_{\sigma 1} = I_1 X_1; E_{\sigma 2} = I_2 X_2. \quad (2.3.2)$$

Величины X_1 и X_2 называют *индуктивными сопротивлениями обмоток трансформатора, обусловленными потоками рассеяния*.

Так как векторы ЭДС $\dot{E}_{\sigma 1}$ и $\dot{E}_{\sigma 2}$ отстают от соответствующих потоков и токов на 90° , то

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 X_1; \dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 X_2. \quad (2.3.3)$$

При этом комплексные уравнения трансформатора примут вид

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 = \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 X_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1; \quad (2.3.4)$$

$$\dot{E}_2 + \dot{I}_2 R_2 + j\dot{I}_2 X_2 + \dot{I}_2 \underline{Z}_H = \dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{I}_2 \underline{Z}_H; \quad (2.3.5)$$

$$\dot{I}_1 + (-\dot{I}_2 w_2/w_1) = \dot{I}_0. \quad (2.3.6)$$

Замена ЭДС $\dot{E}_{\sigma 1}$ и $E_{\sigma 2}$ падениями напряжений $-j\dot{I}_1 X_1$ и $-j\dot{I}_2 X_2$ наглядно показывает роль потоков рассеяния: они создают индуктивные падения напряжения в обмотках, не участвуя в передаче энергии из одной обмотки в другую.

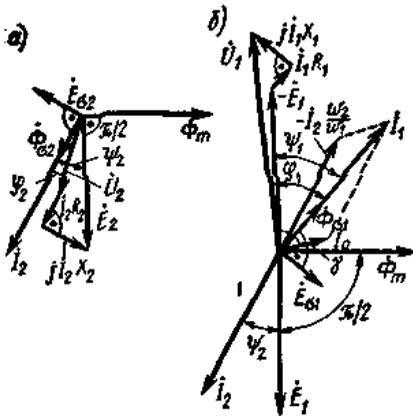


Рис. 2.3.3. Векторные диаграммы обмоток трансформатора при активно-индуктивной нагрузке

Проще становится и построение векторной диаграммы, соответствующей системе уравнений (2.3.4) - (2.3.5), в которой целесообразно также заменить падение напряжения в нагрузке величиной $U_2 = I_2 Z_H$, т.е. вторичным напряжением трансформатора, определяемым из (2.3.5):

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 R_2 - j\dot{I}_2 X_2. \quad (2.3.7)$$

Векторную диаграмму вторичной обмотки трансформатора

(рис. 2.3.3, а) строят согласно уравнению (2.3.7.). Характер диаграммы определяется током нагрузки I_2 , который принимается заданным по величине и фазе. Иными словами, задаваясь векторами вторичных тока I_2 и напряжения U_2 , можно построить вектор ЭДС

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 R_2 = j \dot{I}_2 X_2, \quad (2.3.8)$$

если известны параметры трансформатора. Вектор $I_2 R_2$ параллелен вектору тока I_2 , а вектор $j I_2 X_2$ опережает вектор ЭДС E_2 на 90° . Векторную диаграмму первичной обмотки трансформатора (рис. 2.3.3,б) строят в соответствии с уравнением

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 R_1 + j \dot{I}_1 X_1.$$

Вопрос 4. Уравнения намагничивающих сил (магнитодвижущих сил) и токов трансформатора

При холостом ходе трансформатор потребляет из сети такой ток $I_x = I_1$, который нужен для создания необходимого потока при данном напряжении U_1 .

Значение потока Φ_m всегда таково, что индуцируемая им ЭДС E_1 вместе с падением напряжения $I_1 Z_1$ в соответствии с уравнением уравновешивают приложенное напряжение U_1 .

При подключении к вторичной обмотке нагрузки в ней протекает ток I_2 . Магнитодвижущая сила вторичной обмотки (ее число витков W_2)

$$W_2 I_2 = W_1 I_2'$$

стремится создать в магнитопроводе свой поток и изменить, таким образом, поток, существовавший в режиме холостого хода. Однако, как отмечено выше, при $U_1 = \text{const}$ этот поток существенным образом измениться не может. Поэтому первичная обмотка будет потреблять из сети, кроме намагничивающего тока I_x , дополнительный ток ($-I_2'$) такой величины, что создаваемая им МДС ($-W_1 I_2'$) уравновесит МДС $W_1 I_2'$ вторичной обмотки.

Ток ($-I_2'$), уравновешивающий в магнитном отношении вторичный ток I_2' , называется нагрузочной составляющей первичного тока.

Полный первичный ток I_1 состоит из намагничивающей I_x и нагрузочной ($-I_2'$) составляющих:

$$I_1 = I_x + (-I_2').$$

Равенство называется уравнением равновесия МДС обмоток приведенного трансформатора.

Умножив равенство на число витков первичной обмотки W_1 , после несложных преобразований, запишем:

$$W_1 \underline{I}_1 + W_2 \underline{I}_2 = W_1 \underline{I}_x.$$

На основании уравнения справедливо утверждение: поток магнитопровода трансформатора создается суммой МДС первичной $W_1 \underline{I}_1$ и вторичной $W_2 \underline{I}_2$ обмоток при нагрузке трансформатора или, что тоже, - МДС первичной обмотки $W_1 \underline{I}_x$ при холостом ходе трансформатора.

Комплексные уравнения являются уравнениями равновесия ЭДС (напряжений) и МДС трансформатора при установившемся симметричном режиме работы.

Вопрос 5. Приведенный трансформатор

В общем случае параметры первичной обмотки трансформатора отличаются от параметров вторичной обмотки. Разница наиболее ощутима при больших коэффициентах трансформации, что затрудняет расчеты и (особенно) построение векторных диаграмм. Векторы электрических величин, относящиеся к первичной обмотке, значительно отличаются по своей длине от одноименных векторов вторичной обмотки. Затруднения можно устранить, если привести все параметры трансформатора к одинаковому числу витков, например, к w_1 . С этой целью параметры вторичной обмотки пересчитываются на число витков w_1 .

Таким образом, вместо реального трансформатора с коэффициентом трансформации

$$k = w_1 / w_2,$$

получают эквивалентный трансформатор с

$$k = w_1 / w_2 = 1.$$

Такой трансформатор называется *приведенным*. Приведение параметров трансформатора не должно отразиться на его энергетическом процессе, т.е. все мощности и фазы вторичной обмотки должны остаться такими же, что и в реальном трансформаторе.

Так, например, если полная мощность вторичной обмотки реального трансформатора $S_2 = E_2 I_2$, то она должна быть равна полной мощности вторичной обмотки приведенного трансформатора:

$$I_2 E_2 = I_2' E_2'$$

Используя ранее полученное выражение $I_2' = I_2 w_2/w_1$, напишем выражение для E_2' :

$$E_2' = I_2/I_2' E_2 = (I_2 w_1/I_2' w_1) E_2 = E_2 (w_1/w_2) = k E_2$$

Приравняем теперь активные мощности вторичной обмотки:

$$I_2^2 r_2 = I_2'^2 r_2'$$

Определим приведенное активное сопротивление:

$$r_2' = r_2 (I_2/I_2')^2 = r_2 (I_2/I_2')^2 (w_1/w_2) = r_2 (w_1/w_2)^2 = k^2 r_2$$

по аналогии:

$$x_2' = x_2 (w_1/w_2)^2 = k^2 x_2,$$

$$z_2' = z_2 (w_1/w_2)^2 = k^2 z_2$$

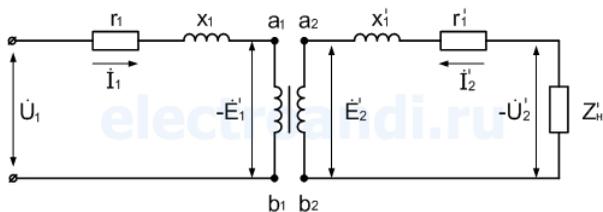
Уравнения ЭДС и токов для приведенного трансформатора теперь будут иметь вид:

$$\underline{U}_1 = (-\underline{E}_1) + \underline{I}_1 z_1 = (-\underline{E}_1) + j \underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1$$

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2' - \underline{I}_2' z_2' = \underline{E}_2' - j \underline{I}_2' x_2 - \underline{I}_2' r_2'$$

Вопрос 6. T-образная и упрощенная схемы замещения трансформатора.

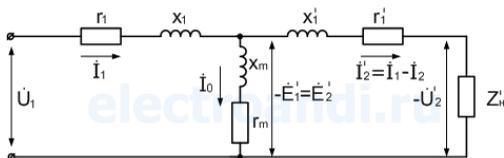
Одним из средств изучения работы трансформатора является эквивалентная схема замещения, в которой магнитная связь между обмотками трансформатора замещена электрической связью, а параметры вторичной обмотки приведены к числу витков первичной.



Эквивалентная схема замещения

Рис.2.3.4.

Так как в приведенном трансформаторе $k=1$, то и $-E_1=E_2$. В результате точки a_1 и a_2 , b_1 и b_2 имеют одинаковый потенциал, поэтому на схеме их можно соединить, получив тем самым Т-образную схему замещения трансформатора.



Т-образная схема замещения

Рис 2.3.5.

Параметры r_1 , x_1 – активное и индуктивное сопротивления первичной обмотки, соответственно.

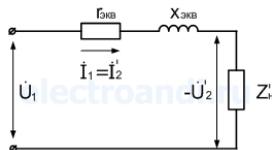
r_2 , x_2 – приведенные значения активного и индуктивного сопротивлений вторичной обмотки, соответственно.

$Z_{н}$ – полное сопротивление нагрузки.

Магнитный поток не зависит от нагрузки, поэтому его представляют как индуктивное сопротивление x_m , активное сопротивление r_m , которое обусловлено магнитными потерями и протекающий через них ток холостого хода I_0 . Эти параметры определяются в опыте холостого хода трансформатора.

Изменяя $Z_{н}$ на схеме замещения, можно получить любой режим работы трансформатора. Например, при разомкнутой вторичной обмотке $Z_{н} = \infty$, что соответствует режиму холостого хода трансформатора, а при $Z_{н} = 0$ – режиму короткого замыкания. При любых других значениях $Z_{н}$ – режим работы под нагрузкой. Режимы работы необходимы для определения параметров схемы замещения.

При практических расчетах, током холостого хода пренебрегают, тогда схема сводится к упрощенной.



Упрощенная схема замещения

Рис 2.3.6.

Где $r_{э\text{кв}}=r_1+r_2'$, $X_{э\text{кв}}=X_1+X_2'$

Вопрос 7. Векторные диаграммы трансформатора для активно-индуктивной нагрузки

Воспользовавшись схемой замещения приведенного трансформатора и основными уравнениями напряжений и токов остроим векторную диаграмму трансформатора, наглядно показывающую соотношения и фазовые сдвиги между токами, ЭДС и напряжениями трансформатора. Векторная диаграмма — графическое выражение основных уравнений приведенного трансформатора.

Построение диаграммы (рис.2.3.7., а) следует начинать с вектора максимального значения основного магнитного потока $\dot{\Phi}_{\text{max}} = E_1 / (4,44 f N_1)$.

Вектор тока \dot{I}_0 опережает по фазе вектор потока $\dot{\Phi}_{\text{max}}$ на угол δ , а векторы ЭДС \dot{E}_1' , и \dot{E}_2' отстают от этого вектора на угол 90° . Далее строим вектор \dot{I}_2' . Для определения угла сдвига фаз между \dot{E}_2' и \dot{I}_2' следует знать характер нагрузки. Предположим, что нагрузка трансформатора активно-индуктивная. Тогда вектор \dot{I}_2' . отстает по фазе от \dot{E}_2' на угол

$$\psi_2 = \arctg \frac{x_2' + x_n'}{r_2' + r_n'} \quad (2.3.9)$$

определяемый как характером внешней нагрузки, так и собственными сопротивлениями вторичной обмотки.

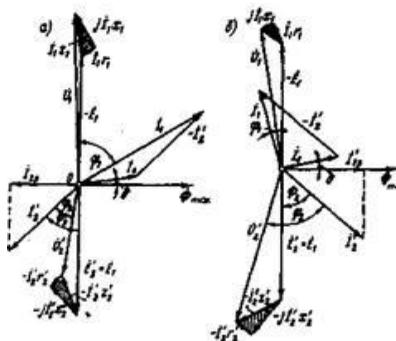


Рис. 2.3.7. Векторная диаграмма трансформатора при активно-индуктивной нагрузке

Для построения вектора вторичного напряжения \dot{U}'_2 необходимо из вектора ЭДС \dot{E}'_2 вычесть векторы падений напряжения $j\dot{I}'_2 x'_2$ и $\dot{I}'_2 r'_2$. С этой целью из конца вектора \dot{E}'_2 опускаем перпендикуляр на направление вектора тока \dot{I}'_2 и откладываем на нем вектор $-j\dot{I}'_2 x'_2$. Затем проводим прямую, параллельную \dot{I}'_2 , и на ней откладываем вектор $-\dot{I}'_2 r'_2$. Построив вектор $-\dot{I}'_2 Z'_2$, получим треугольник внутренних падений напряжения во вторичной цепи. Затем из точки О проводим вектор $\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2$, который опережает по фазе ток \dot{I}'_2 на угол $\varphi_2 = \arctg(x'_2/r'_2)$.

Вектор первичного тока строим как векторную сумму: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2)$. Вектор $-\dot{I}'_2$ проводим из конца вектора \dot{I}_0 противоположно вектору \dot{I}'_2 . Построим вектор $\dot{U}_1 = -\dot{E}'_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1$, для чего к вектору $-\dot{E}'_1$, опережающему по фазе вектор потока Φ_{\max} на 90° , прибавляем векторы внутренних падений напряжения первичной обмотки: вектор $\dot{I}_1 r_1$, параллельный току \dot{I}_1 , и вектор $j\dot{I}_1 x_1$, опережающий вектор тока \dot{I}_1 на угол 90° . Соединив точку О с концом вектора $\dot{I}_1 Z_1$, получим вектор \dot{U}_1 , который опережает по фазе вектор тока \dot{I}_1 , на угол φ_1 .

Иногда векторную диаграмму трансформатора строят с целью

определения ЭДС обмоток. В этом случае заданными являются параметры вторичной обмотки: U_2 , I_2 и $\cos\varphi_2$. Зная w_1/w_2 , определяют \dot{U}'_2 и \dot{I}'_2 а затем строят векторы этих величин под фазовым углом φ_2 друг к другу. Вектор ЭДС $\dot{E}'_2 = \dot{E}_1$ получают геометрическим сложением вектора напряжения \dot{U}'_2 с падениями напряжения во вторичной обмотке:

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + j\dot{I}'_2 x'_2 + \dot{I}'_2 r'_2.$$

Контрольные вопросы:

1. Какой трансформатор называют приведенным?
2. Запишите уравнение намагничивающих сил трансформатора.

Тема 1.5 Трехфазные трансформаторы

Вопрос 1. Основные сведения о трехфазных трансформаторах

Общие сведения. Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного (синусоидального) тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Первые трансформаторы с разомкнутым магнитопроводом предложил в 1876 г. П. Н. Яблочков, который применял их для питания электрической «свечи». В 1885 г. венгерские ученые М. Дери, О. Блати, К. Циперновский разработали однофазные промышленные трансформаторы с замкнутым магнитопроводом. Трехфазные трансформаторы появились в 1889 – 1891 гг. (М. О. Доливо-Добровольский, Н. Тесла).

Трансформаторы широко применяются в разных областях электротехники, радиотехники, электроники, в устройствах измерения, автоматического управления и регулирования.

По особенностям конструкции и применению трансформаторы можно разделить на силовые, сварочные, измерительные и специальные. Наибольшее применение в народном хозяйстве получили силовые трансформаторы, которые являются необходимым элементом промышленной электрической сети (см. рис. 3.39).

Генераторы на электростанциях вырабатывают электрическую энергию при напряжении не более 24 кВ, так как при более высоких

напряжениях возникают трудности создания достаточной изоляции в электрических машинах. Передача электрической энергии на большие расстояния при таких относительно низких напряжениях экономически невыгодна из-за больших потерь в линии. Действительно, при низких напряжениях U та же мощность ($P=UI\cos(\varphi)$) получается при большем токе, следовательно, увеличивается мощность потерь в проводах RI^2 , т. е. необходимо увеличивать сечение проводов.

Поэтому на электрических станциях устанавливаются силовые трансформаторы, повышающие напряжение до 110, 220, 500, 750 и до 1150 кВ. У потребителей напряжение при помощи трансформаторов понижается несколькими ступенями: на районных подстанциях до 35 (10) кВ, на подстанциях предприятий до 10 (6) кВ и, наконец, на подстанциях цехов и жилых районов — до 380/220 В.

По числу фаз трансформаторы подразделяются на однофазные и трехфазные. Каждая фаза трансформатора имеет первичную обмотку (к ней энергия подводится от источника) и вторичную обмотку (с нее энергия поступает к потребителю). Вторичных обмоток у трансформатора может быть несколько — в этом случае трансформаторы называются многообмоточными. Таким образом, однофазные трансформаторы имеют как минимум две обмотки, трехфазные — шесть.

Вопрос 2. Определение выводов обмоток трансформатора и группы соединения

Трехфазный трансформатор имеет две трехфазные обмотки - высшего (ВН) и низшего (НН) напряжения, в каждую из которых входят по три фазные обмотки, или фазы. Таким образом, трехфазный трансформатор имеет шесть независимых фазных обмоток и 12 выводов с соответствующими зажимами. В большинстве случаев обмотки трехфазных трансформаторов соединяют либо в звезду -Y, либо в треугольник - Δ (рис. 1.4.1).

Выбор схемы соединений зависит от условий работы трансформатора. Например, в сетях с напряжением 35 кВ и более выгодно соединять обмотки в звезду и заземлять нулевую точку, так как при этом напряжение проводов линии передачи будет в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного, что приводит к снижению стоимости изоляции.

Осветительные сети выгодно строить на высокое напряжение, но лампы накаливания с большим номинальным напряжением имеют малую световую отдачу. Поэтому их целесообразно питать от пониженного напряжения. В этих случаях обмотки трансформатора также выгодно соединять в звезду (Y), включая лампы на фазное напряжение.

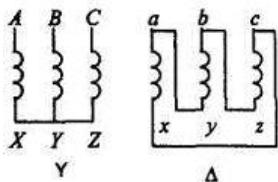


Рис.1.4.1

С другой стороны, с точки зрения условий работы самого трансформатора, одну из его обмоток целесообразно включать в треугольник (Δ).

Фазный коэффициент трансформации трехфазного трансформатора находят, как соотношение фазных напряжений при холостом ходе:

$$n_{\text{ф}} = U_{\text{фвнх}} / U_{\text{фннх}},$$

а линейный коэффициент трансформации, зависящий от фазного коэффициента трансформации и типа соединения фазных обмоток высшего и низшего напряжений трансформатора, по формуле:

$$n_{\text{л}} = U_{\text{лвнх}} / U_{\text{лннх}}.$$

Если соединений фазных обмоток выполнено по схемам "звезда-звезда" (Y/Y) или "треугольник-треугольник" (Δ/Δ), то оба коэффициента трансформации одинаковы, т.е. $n_{\text{ф}} = n_{\text{л}}$.

При соединении фаз обмоток трансформатора по схеме "звезда - треугольник" (Y/ Δ) - $n_{\text{л}} = n_{\text{ф}}\sqrt{3}$, а по схеме "треугольник-звезда" (Δ / Y) - $n_{\text{л}} = n_{\text{ф}}/\sqrt{3}$

Группы соединений обмоток трансформатора

Группа соединений обмоток трансформатора характеризует взаимную ориентацию напряжений первичной и вторичной обмоток. Изменение взаимной ориентации этих напряжений осуществляется соответствующей перемаркировкой начал и концов обмоток.

Таким образом, в однофазных трансформаторах возможны две группы соединений, соответствующих углам сдвига 0 и 180° . На практике для удобства обозначения групп используют циферблат часов. Напряжение первичной обмотки U_1 изображают минутной стрелкой, установленной постоянно на цифре 12, а часовая стрелка занимает различные положения в зависимости от угла сдвига между U_1 и U_2 . Сдвиг 0° соответствует группе 0, а сдвиг 180° - группе 6 (рис. 1.4.2).

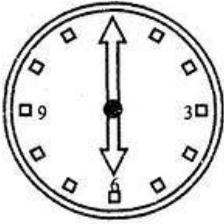


Рис.1.4.2

В трехфазных трансформаторах можно получить 12 различных групп соединений обмоток. Рассмотрим несколько примеров. Пусть обмотки трансформатора соединены по схеме Y/Y (рис. 1.4.3). Обмотки, расположенные на одном стержне, будем располагать одну под другой.

Зажимы A и a соединим для совмещения потенциальных диаграмм. Зададим положение векторов напряжений первичной обмотки треугольником ABC . Положение векторов напряжений вторичной обмотки будет зависеть от маркировки зажимов. Для маркировки на рис. 4а, ЭДС соответствующих фаз первичной и вторичной обмоток совпадают, поэтому будут совпадать линейные и фазные напряжения первичной и вторичной обмоток (рис. 1.4.3, б). Схема имеет группу $Y/Y - 0$.

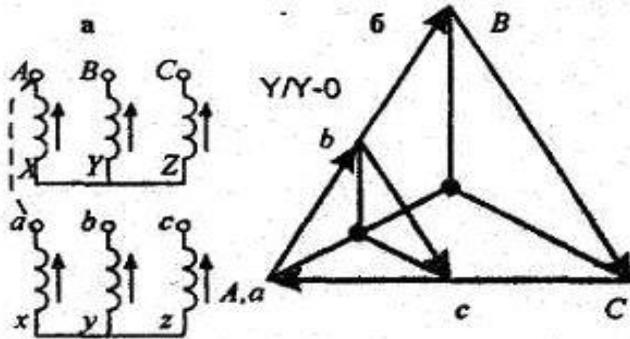


Рис. 1.4.3

Изменим маркировку зажимов вторичной обмотки на противоположную (рис. 1.4.4. а). При перемаркировке концов и начал вторичной обмотки фаза ЭДС меняется на 180° . Следовательно, номер группы меняется на 6. Данная схема имеет группу $Y/Y - 6$.

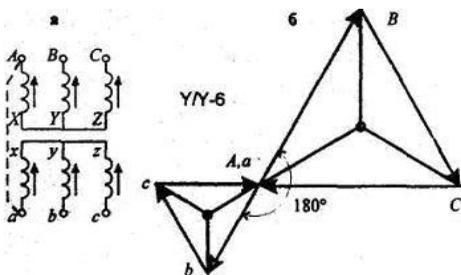


Рис. 1.4.4

Вопрос 3. Условные обозначения, маркировка и способы определения выводов обмоток трехфазного трансформатора

Начальные выводы фаз обмотки высшего напряжения обозначают буквами А, В, С, конечные выводы - X, Y, Z, а для аналогичных выводов фаз обмотки низшего напряжения применяют такие обозначения: а, b, c, x, y, z.

Стандартные обозначения начал и концов обмоток высокого и низкого напряжения показаны на рис.1.4.1

Рассмотрим вначале влияние маркировки на фазу вторичного напряжения по отношению к первичному на примере однофазного трансформатора (рис. 2 а).

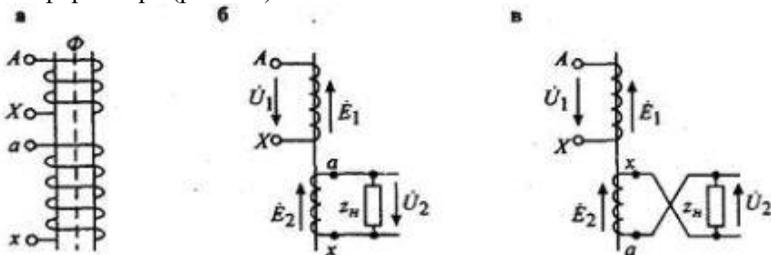


Рис.1.4.5

Обе обмотки расположены на одном стержне и имеют одинаковое направление намотки. Будем считать верхние клеммы началами, а нижние - концами обмоток. Тогда ЭДС \dot{E}_1 и E_2 будут совпадать по фазе и соответственно будут совпадать напряжение сети U_1 и напряжение на нагрузке U_2 (рис. 1.4.5 б). Если теперь во вторичной обмотке принять обратную маркировку зажимов (рис. 1.4.5 в), то по отношению к нагрузке ЭДС E_2 меняет фазу на 180° . Следовательно, и фаза напряжения U_2 меняется на 180° .

Вопрос 4. Схемы соединения трансформаторов в звезду, треугольник, зигзаг

а) Соединение обмоток в звезду

Если соединить концы или начала обмоток трех фаз вместе, то получится соединение в звезду. На рис. 1.4.6,а показаны обмотки НН, соединенные в звезду. В нулевой точке соединены все концы обмоток у, z, а к началам а, б, в — подводится напряжение от трехфазной сети или генератора. На рис. 1.4.6,б показано то же соединение обмоток НН в звезду, но только в нулевую точку соединены другие концы обмоток, которые прежде присоединялись к сети. При независимой друг от друга работе трансформаторов подобное «переворачивание» одной из обмоток, соединенной в звезду, не имеет значения, по параллельная работа таких трансформаторов, как это будет доказано далее, невозможна. В звезду могут быть соединены различные обмотки трансформатора как ВН и СН, так и НН. Нулевая точка звезды может быть выведена на крышку трансформатора (рис. 1.4.6,б).

По схеме звезда или звезда с выведенной нулевой точкой соединяются обычно обмотки ВН как повышающих, так и понижающих трансформаторов различной мощности.

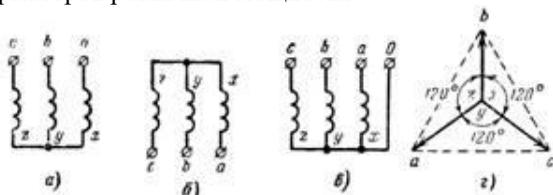


Рис. 1.4.6. Соединение обмотки НН в звезду.

а — одна схема соединения; б — другая схема соединения; в — соединение в звезду с выведенной нулевой точкой; г — векторная диаграмма линейных э. д с.

Обмотки ВН при напряжениях 110 кВ и выше предпочтительно соединять в звезду с выведенной нулевой точкой, что дает возможность заземления нейтрали. При этом можно выполнить один конец каждой из фаз, прилегающий к нейтрали, с пониженной изоляцией.

Обмотки СН соединяются большей частью по схеме Y0.

Обмотки НН соединяются в звезду с выведенной нулевой точкой у понижающих трансформаторов тогда, когда напряжение этой обмотки 230 или 400 в при мощностях до 560 кВА. В звезду без выведения нулевой точки обмотки НН соединяются крайне редко, например, у понижающих трансформаторов мощностью 1 000—5 600 кВА при сочетании напряжений обмоток ВН и НН 10 000/6 300 е.

Обычно обмотки НН повышающих трансформаторов, а также большей части понижающих мощных соединяются в треугольник.

Векторная диаграмма линейных э. д. с. для соединения обмоток в звезду строится следующим образом. Откладываем в масштабе вектор a_x (рис. 1.4.6,г). Так как мы знаем, что концы обмоток л*, //, г электрически соединены, то из точки х под углом 120° к a_x откладываем в том же масштабе вектор b_y . Далее из точки у под углом 120° к вектору b_y откладываем вектор c_g .

При соединении обмотки в звезду с выведенной нулевой точкой можно получить два напряжения (фазное и линейное). Если измерять напряжение между нулем и какой-либо фазой, то получим напряжения, называемые фазными ((Уф). На рис. 1.4.6,г они изображены векторами x_a , y_b и z_c .

Напряжения, измеренные между фазами а и ft, b и с, с и а, называются линейными (междуфазными) напряжениями (U). Так как в треугольнике abx угол между векторами x_a и y_b равен 120° , то зависимость между линейным и фазным напряжениям будет $U = U_{\phi}\sqrt{3}$, т. е. линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного. Если трансформатор, обмотки НН которого включены в звезду, имеет линейное напряжение 220 в, то фазное напряжение будет:

$$U_{\phi} = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1,73} = 127 \text{ в.}$$

б) Соединение обмоток в треугольник

Если соединить конец фазы а (точку х) с началом фазы с, конец фазы с (точка z) с началом фазы b и конец фазы b (точка у) с началом фазы а, то получится соединение в треугольник (рис. 4, а). Соединение в треугольник можно осуществить (рис. 1.4.7,б) иначе, соединяя конец фазы а с началом фазы b, конец фазы b с началом фазы с и конец фазы с с началом фазы а.

Векторная диаграмма линейных э. д. с. при соединении обмоток в треугольник по схеме рис. 1.4.7, а будет равносторонним треугольником рис. 1.4.7.,в и г. При соединении в треугольник фазные напряжения будут равны линейным.

В мощных трансформаторах принято одну из обмоток всегда соединять в треугольник. Делается это по следующим соображениям:

Как известно, намагничивающий ток трансформатора имеет несинусоидальную форму, т. е. содержит высшие гармонические. Наибольший удельный вес имеет третья гармоническая. Если все обмотки трансформатора соединить в звезду, то третья гармоническая в намагничивающем токе образоваться не может, так как она будет

направлена во всех фазах одинаково: ($3 \cdot 120^\circ = 360^\circ = 0^\circ$) и поэтому форма кривой фазного напряжения исказится, что может привести к нежелательным явлениям в эксплуатации. По этим соображениям принято одну из обмоток обязательно соединять в треугольник. Если же почему-либо требуется построить мощный двухобмоточный трансформатор или автотрансформатор с соединением обмоток звезда — звезда (например, трехфазный автотрансформатор), то он снабжается дополнительной третьей обмоткой, соединенной в треугольник, которая в некоторых случаях может даже не иметь внешних выводов.

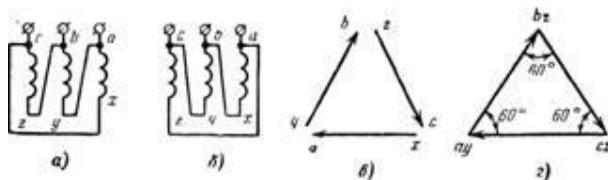


Рис. 1.4.7. Соединение обмоток НН в треугольник.

а — первая схема соединения обмоток в треугольник, б — вторая схема соединения обмоток в треугольник; в — вектора линейных э. д. с фаз а, б и с; г — векторная диаграмма линейных э. д. с

Обычно в треугольник соединяется обмотка низшего напряжения.

В мощных трансформаторах номинальный ток обмотки НН часто составляет несколько тысяч ампер и конструктивно бывает легче выполнить соединение обмотки в треугольник, так как фазный ток при той же мощности получается в $\sqrt{3}$ раз меньшим, чем при соединении в звезду.

В треугольник соединяются обмотки НН всех повышающих и понижающих двухобмоточных и трехобмоточных трехфазных трансформаторов мощностью 5 600 кВА и больше, понижающих трансформаторов мощностью до 5 600 кВА, имеющих на стороне НН напряжения 38,5; 11; 10,5; 6,6; 6,3; 3,3; 3,15 и 0,525 кВ, а также обмотки НН всех мощных однофазных двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов, предназначенных для соединения в трехфазные группы. Обмотки ВН и СН силовых повышающих и понижающих трансформаторов обычно в треугольник не соединяются.

в) Соединение обмоток в зигзаг — звезду (равноплечий и неравноплечий зигзаг)

Равноплечий зигзаг может быть получен, если соединить по одной из трех схем рис. 1.4.8., а, бив концы и начала шести полуобмоток с одинаковыми числами витков (а следовательно, и э. д. е.), расположенных по две полуобмотки на каждой фазе трансформатора.

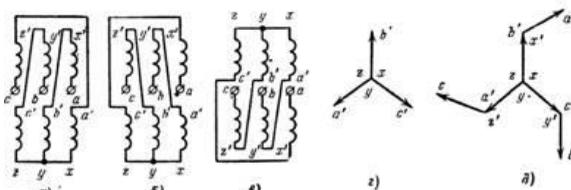


Рис. 1.4.8. Соединение обмотки НН в равноплечий зигзаг.

а — первая схема соединения; б — вторая схема соединения; в — третья схема соединения; г — векторная диаграмма Э. д. с. звезды нижних полукатушек; д — векторная диаграмма линейных Э. д. с.

Построим векторную диаграмму соединений обмоток в зигзаг согласно схеме рис. 1.4.8,а. Начнем построение с нижних полуобмоток, соединенных в звезду. Векторная диаграмма для этих полуобмоток представлена на рис. 1.4.8,г. Согласно схеме рис. 1.4.8,а начало a' нижней полуобмотки электрически соединено с концом z верхней.

Вектор $g's$ должен пойти в направлении, противоположном вектору zc' , а потому из точки $a'g'$ (рис. 1.4.8,д) откладываем вектор zgc в направлении, противоположном вектору zc' .

Аналогичным образом строим векторы остальных частей обмоток. Обмотка при соединении в зигзаг обычно выполняется двухслойной, причем каждый слой имеет свободные начала и концы.

Один из слоев обмотки наматывают правой намоткой, другой — левой. Делается это для удобства выполнения соединений в зигзаг. При соединении обмотки в зигзаг мы можем получить три различных напряжения.

Вопрос 5. Особенности трансформаторов со схемой соединения звезда-зигзаг

Принципиальное различие технических характеристик трансформаторов с разными схемами соединения обмоток заключается в разной реакции на несимметричные токи, содержащие составляющую нулевой последовательности. Это прежде всего однофазные сквозные короткие замыкания, а также и токи рабочих режимов с неравномерной загрузкой фаз.

Вопрос 6. Особенности трансформаторов со схемой соединения звезда-зигзаг с выведенной нейтралью

Чтобы получить ЭДС одного и того же значения при соедине-

нии в зигзаг, нужно на 15 % больше витков, чем при соединении обмотки НН в звезду. Из-за большей сложности изготовления и более высокой стоимости трансформаторы звезда — зигзаг применяются редко.

Вопрос 7. Группы соединения трансформаторов в соответствии с ГОСТом

Группы соединений трансформаторов характеризуются угловым смещением векторов э. д. с. в обмотках ВН, СН и НН. Смещение этих векторов определяется схемой соединения обмоток и направлением намотки обмоток. Обмотки ВН, СН и НН трансформатора могут быть соединены в различные схемы.

Соединяя обмотки ВН, СН и НН одним из этих способов и изменяя направление их намотки, можно получать различные группы соединения обмоток. Ранее было указано, что для силовых трехфазных трансформаторов применяются соединения обмоток в звезду и треугольник. При различных соединениях обмоток в звезду и треугольник можно получить 12 различных углов сдвига фаз линейных э. д. с. от 0 до 330° через каждые 30°, т. е. получить 12 различных групп.

Удобно для определения угла сдвига фаз пользоваться часовым обозначением, которое принято ГОСТ. Часовое обозначение векторов э. д. с. заключается в следующем: вектор линейной э. д. с. обмотки ВН изображается на часовом циферблате минутной стрелкой и всегда устанавливается на 12 а вектор линейной э. д. с. обмотки СН (трехобмоточного трансформатора) или НН изображается часовой стрелкой и укажет группу в часовом обозначении. Так, сдвиг фаз 0 или 360° соответствует

$$12ч \left(\frac{360}{30} = 12 \right); 330^\circ - 11ч \left(\frac{330}{30} = 11 \right);$$

$$180^\circ - 6ч \left(\frac{180}{30} = 6 \right); 150^\circ - 5ч \text{ и т. д.}$$

Вопрос 8. Методика определения группы соединения трансформатора

Рассмотрим двухобмоточный трехфазный трансформатор, обмотки ВН и НН которого соединены в звезду (рис. 1.4.9.,а). Обмотки намотаны в одном направлении, обе нулевые точки расположены внизу.

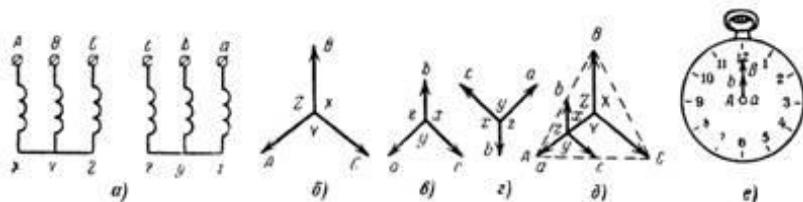


Рис 1.4.9. Соединение обмоток трансформатора по схеме Y/Y-12.

а — схема соединений обмоток ВН и НН; б — векторная диаграмма линейных э. д. с обмотки ВН; в — векторная диаграмма линейных э. д. с. обмотки НН; г — векторная диаграмма линейных э. д. с. обмотки НН для случая, если обмотки ВН и НН имеют разные направления намотки; д — совмещенные векторные диаграммы; е — угол сдвига фаз линейных э. д. с. обмоток ВН и НН в часовом обозначении.

Требуется определить группу соединений трансформатора. Для этого надо построить векторные диаграммы линейных э. д. с. обмоток. Начнем построение векторной диаграммы с обмотки ВН. Векторная диаграмма для соединения в звезду обмотки ВН дана на рис. 1.4.9.,б. Звезда при таком изображении имеет вектор ВУ, направленный по вертикали, а два других расположены под углом 30° к горизонтали или под углом 120° к вертикали.

Так же строится векторная диаграмма обмотки НН. Так как обмотки ВН и НН каждой фазы расположены на одном стержне, то их векторы должны быть параллельны.

Проводим вектор э. д. с. обмотки НН ах (рис. 14.9.,в) параллельно вектору АХ (рис. 1.4.9.,б).

Из схемы рис. 14.9.,а видно, что концы х, у и z электрически соединены и образуют нулевую точку, а потому

проводим из этой точки л: вектор бу параллельно вектору ВУ и вектор cz параллельно вектору CZ (рис. 1.4.9.,в).

Таким образом мы получаем векторные диаграммы обмоток ВН и НН. Разобранный пример относится к трансформаторам, у которых обмотки ВН и НН имеют одинаковые направления намотки, т. е. все левые или все правые.

Если обмотки ВН выполнены левыми, а обмотки НН — правыми, векторные диаграммы будут иметь другой вид. Мы условились построение диаграммы начинать с обмотки ВН, а диаграмму обмотки НН строить по отношению к ней. Таким образом, диаграмму соединения обмотки ВН всегда можно располагать произвольно. Сохраним ее прежнее расположение согласно рис. 1,б. Вектор обмоток НН распо-

ложится следующим образом: вектор ax (рис. 1.4.9.,г) — параллельно вектору Ax , но повернут относительно него на 180° , т. е. пойдет в противоположную сторону.

Из схемы соединения обмотки видно, что конец x фазы a соединен с концом y фазы b , а поэтому из точки x проводим вектор by в направлении, обратном вектору BY . В результате получаем векторную диаграмму.

Вопрос 9. Монтаж, наладка и эксплуатация силовых трансформаторов

Документация электромонтажных работ

Для сдачи трансформатора в эксплуатацию необходимо оформить техническую документацию по монтажу. Техническая документация включает в себя акты об условиях хранения трансформатора, о проверке его герметичности, об оценке увлажнения изоляции трансформатора с заключением о допустимости его включения без сушки; акты о выполнении отдельных работ по установке комплектующих узлов трансформатора и сборке системы охлаждения; протоколы по проверке приборов и аппаратуры, по испытаниям трансформаторного масла; протоколы испытаний трансформатора, наладки и проверки защит; протоколы проверок и испытаний комплектующих узлов (вводов, насосов, трансформаторов тока и др.).

Акт подписывают представители участвовавших в монтаже монтажных, наладочных, эксплуатационных организаций, шефперсонал завода-изготовителя (если предусмотрен шефмонтаж). Акт утверждает руководитель эксплуатационной организации. К основному экземпляру акта (передаваемому впоследствии организации по эксплуатации) прилагают все протоколы, перечисленные в акте, и протоколы дополнительных испытаний и измерений.

Одновременно с оформлением сдаточной документации оформляют соответствующие графы формуляра трансформатора, имеющегося в сопроводительной технической документации завода-изготовителя на все трансформаторы мощностью свыше 90 МВА и напряжением 110-750 кВ.

Расчёт и построение кривой жизни электрооборудования

Важным методическим аспектом при исследовании свойства надёжности электрической сети является понятие «отказа». Под отказом понимается непредусмотренное прекращение или утрата объектом способности выполнять в необходимом объёме (размере) свои функции свыше допустимого времени.

Причинами отказов в электрической сети в большинстве случаев могут быть повреждения в оборудовании, аппаратуре и конструкциях электросетевых объектов или появление недопустимых режимных параметров в элементах сети, требующее принятия неотложных действий по их устранению.

Случаи повреждения элементов электрической сети, недопустимых отклонений параметров технического (технологического) состояния энергетических установок, а также полных или частичных незапланированных отключений энергоустановок (в т.ч. без повреждения оборудования) и энергоприёмников относятся к технологическим нарушениям, которые в зависимости от тяжести последствий подразделяются на аварии и инциденты. Все технологические нарушения подлежат расследованию и учёту, что позволяет сформировать базу данных по аварийности в электрических сетях за продолжительный срок эксплуатации.

Можно показать, что не все технологические нарушения приводят к случаю отказа. Так, например, при обрыве провода в одной цепи 2-х цепной ВЛ имеет место технологическое нарушение, при этом, если оставшаяся в работе другая цепь линии позволяет передавать необходимую мощность, то случай отказа линии отсутствует. Не будет отказа линии и при допустимом кратковременном отключении одноцепной ВЛ, если, например, она отключилась вследствие удара молнии в линию и успешно была включена действиями АПВ.

В теории надёжности, как правило, предполагается внезапный отказ, который характеризуется скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта.

Наладка и испытания

Программа и методы испытаний силовых трансформаторов и их наиболее важных узлов указываются и нормируются в следующих стандартах: ГОСТ 11677-75, ГОСТ 17500-72, ГОСТ 3484-77, ГОСТ 1516.1-76, ГОСТ 1516.2-76, ГОСТ 8008-75. Правила приемки электротехнических изделий, в том числе и трансформаторов, регламентируются отраслевым стандартом, согласно которому для проверки соответствия трансформаторов требованиям соответствующих стандартов устанавливаются следующие категории испытаний: квалификационные - для изделий, осваиваемых в производстве, приемо-сдаточные, периодические и типовые - для изделий установившегося производства. Кроме этих испытаний в процессе производства трансформаторов производят операционные испытания. Операционным испытаниям подвергают: обмотку, магнитопровод (остов), трансформатор после первой и второй сборок.

Сигнальные контакты газовых реле при первом включении Принимаем интенсивность отказов базового элемента трансформатора следует пересоединить «на отключение» (обычно они работают «на сигнал»).

Определим t_p из уравнения

Снижение интенсивности отказов

Пробное включение трансформатора на рабочее напряжение допускается не ранее чем через 12 ч после последней доливки его маслом и продолжается не менее 30 мин. Наблюдают за состоянием трансформатора, затем его отключают, после чего включают три-четыре раза подряд для отстройки защит от бросков намагничивающего тока. Трансформаторы с дутьевой циркуляционной системой охлаждения (типа Д, ДЦ, Ц) можно включать с отключенной системой охлаждения. При этом контролируют температуру масла в верхних слоях, которая не должна превышать 75°C.

После опробования трансформатора на холостом ходу проводится его фазировка, которая заключается в проверке чередования фаз трансформатора и их соответствия фазам питающей сети. При удовлетворительных результатах пробного включения трансформатор может быть включен под нагрузку и сдан в эксплуатацию.

Объем приемо-сдаточных испытаний

В соответствии с требованиями ПУЭ объем приемо-сдаточных испытаний трансформаторов включает следующие работы

Определение условий включения трансформаторов.

Измерение характеристик изоляции.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:

а) изоляции обмоток вместе с вводами;

б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок (производят в случае осмотра активной части).

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Проверка коэффициента трансформации.

Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.

Измерение тока и потерь холостого хода:

а) при номинальном напряжении;

б) при малом напряжении.

Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы. 9. Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением.

Проверка системы охлаждения.

Проверка состояния силикагеля.

Газировка трансформаторов.

Испытание трансформаторного масла.

Испытание включением толчком на номинальное напряжение.

Испытание вводов.

Испытание встроенных трансформаторов тока.

Общие технические требования к трансформаторам и авто-трансформаторам определены ГОСТ 11677-75, в котором предусмотрены также программы приемо-сдаточных, типовых и периодических испытаний, проводимых на заводе-изготовителе. Методика испытаний регламентируется ГОСТ 3484-77, ГОСТ 22756-77, ГОСТ 8008-75. При вводе в эксплуатацию маслonaполненные трансформаторы мощностью до 1,6 МВА испытываются по п.п. 1, 2, 4, 8, 9, 11-14. Маслonaполненные трансформаторы мощностью более 1,6 МВА, а также ответственные трансформаторы собственных нужд электростанций независимо от мощности, испытываются в полном объеме, предусмотренном настоящим параграфом. Сухие и заполненные совтолом трансформаторы всех мощностей испытываются по п.п. 1-8, 12, 14. Перед началом испытаний необходимо провести внешний осмотр трансформаторов, в процессе которого проверить исправность бака и радиаторов, состояние изоляторов, уровень масла, положение радиаторных кранов и крана на маслопроводе к расширителю, целость маслоуказательного стекла, заземление трансформатора.

Определение условий включения трансформаторов

Вопрос о допустимости включения трансформатора без сушки должен решаться по результатам испытаний с учетом условий, в которых находился трансформатор до и во время монтажа. При определении условий включения трансформатора следует руководствоваться инструкцией "Трансформаторы силовые. Транспортировка, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию" (РТМ 16.800.723-80). Объем проверки состояния изоляции и условия включения без сушки зависит от мощности, напряжения и условий транспортировки трансформаторов.

-я группа. В нее входят трансформаторы мощностью до 1000 кВА напряжением до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом и расширителем.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы:

а) уровень масла - в пределах отметок маслоуказателя;

б) значение R60 /R15 не ниже 1.3 при температуре при 10-30 С;

в) характеристика масла должны соответствовать п.п. 1 - 6 табл. 2;

г) если условие "а)" не соблюдено, но обмотки трансформатора и переключателей покрыты маслом, или если не выполнены условия "б)" или "в)", но в масле нет следов воды и пробивное напряжение

масла ниже, чем требуемое, но не более чем на 5 кВ, дополнительно определяется отношение $C2 / C50$ или $tg\delta$ обмоток в масле, которые должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 3.

Достаточным для включения без сушки является соблюдение одной из следующих комбинаций:

для трансформаторов мощностью до 100 кВА

) "а", "б";

) "б", "г";

) "а", "г";

для остальных трансформаторов 1-й группы

) "а", "б", "в";

) "б", "в", "г";

) "а" "в" "г";

) "а", "б", "г".

Для трансформаторов мощностью до 100 кВА включительно достаточно провести испытание масла только на пробивное напряжение. Кроме того, в масле не должно быть следов воды.

-я группа. В нее входят трансформаторы мощностью от 1600 кВА до 6300 кВА включительно на напряжение до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом и расширителем. Условия включения без сушки трансформаторов этой группы те же, что и для трансформаторов 1-й группы. Кроме того, при испытании по п. б) значение $R60$ должно соответствовать табл. 4.

-я группа. В эту группу входят трансформаторы мощностью 10000 кВА и более, транспортируемые с маслом без расширителя. Условия включения трансформаторов этой группы без сушки:

а) трансформатор должен быть герметичным;

б) характеристики масла должны соответствовать п.п. 1 - 6 табл. 3;

в) значения $R60$, $C2 / C50$ или $tg\delta$, измеренные после заливки маслом, должны удовлетворять нормам табл. 1 или значения $R60$ и $tg\delta$, приведенные к температуре изоляции при измерении этих характеристик на заводе, не должны отличаться более чем на 30% в сторону ухудшения от значений, указанных в заводском протоколе.

Проверка коэффициента трансформации

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателю. Проверка производится на всех ступенях переключения. Коэффициент трансформации должен отличаться не более чем на 2% от значений, полу-

ченных на том же ответвлении на других фазах, или от данных завода-изготовителя. Для трансформаторов с РПН разница между коэффициентом трансформации не должна превышать значения ступени регулирования.

Проверка группы соединения обмоток однофазных трансформаторов методом импульсов постоянного тока.

При возникновении сомнения в правильности обозначения зажимов гальванометра, их полярность можно установить, подключив к гальванометру через большое сопротивление элемент батареи. Плюсовым зажимом гальванометра будет тот, при подключении к которому плюса элемента стрелка гальванометра отклонится вправо. При отсутствии на месте измерения сопротивления достаточной величины, гальванометр можно загрузить путем его шунтирования медным проводом диаметром 0.1 - 0.5 мм. Следует иметь в виду, что отсчет отклонения стрелки прибора на выводах НН необходимо производить в момент замыкания выводов обмотки ВН на батарею. В противном случае это приведет к ошибочным данным (в момент размыкания цепи батареи показания прибора на стороне НН будут обратными).

Результаты опыта сводятся в таблицу, в которой отклонение стрелки вправо отмечается знаком плюс (+), влево - знаком минус (-), а отсутствие отклонения - нулем (0).

Измерение тока и потерь холостого хода

В соответствии с требованиями ПУЭ производится одно из измерений: а) при номинальном напряжении. Измеряется ток холостого хода. Значение тока не нормируется;

Измерение производится с приведением потерь к номинальному напряжению или без приведения (метод сравнения). Опыт холостого хода трансформатора называется включение одной из его обмоток (обычно низкого напряжения) под номинальное напряжение. Потребляемый при этом ток называют током холостого хода I_{xx} (обычно выражают в % от $I_{ном}$).

Векторные диаграммы и расчетные формулы для определения группы соединения силовых трансформаторов.

Эксплуатация электрооборудования

Обслуживание электрооборудования

Техническое обслуживание (ТО) включает регулярные осмотры электрического и электромеханического оборудования в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, проводимые по графику. В состав

ТО входят также ремонты оборудования. Поскольку ТО проводится на неработающем оборудовании, то графики ТО должны быть согласованы с графиками работы основного технологического оборудования.

Электрическое и электромеханическое оборудование делится на основное и вспомогательное.

Основное оборудование - оборудование, без которого невозможно проведение нормального технологического процесса по выпуску продукции.

Вспомогательное оборудование - электрическое и электромеханическое оборудование, служащее для улучшения условий труда и повышения его производительности а также для соблюдения экологических или иных нормативов производства. Его отказ не приводит к перерывам в основном технологическом процессе.

Основная цель ТО заключается в обеспечении надежной работы, исключая поломки и отказы оборудования.

Однако аварии могут происходить и вследствие нарушения стандартов качества электрической энергии, содержащихся в ГОСТ 13109 - 97. Аварии и отказы приводят к материальным и экономическим затратам.

Поэтому выявление причин отказов и аварий также является задачей эксплуатации.

Для этого необходимо проводить мониторинг качества электроэнергии, чтобы энергоснабжающие компании несли свою долю ответственности.

Стоимость ТО входит в себестоимость готовой продукции.

Существуют три системы ТО:

- практически без обслуживания;
- планово-предупредительная система обслуживания и ремонтов (ППР);
- обслуживание с ремонтами по мере необходимости.

Первый вид ТО применяется к вспомогательному электрооборудованию типа освещения, вентиляции и электронагревательных устройств. Стоимость такого оборудования невелика, что позволяет проводить в случае надобности его замену.

Второй вид ТО является основным и применяется для основного и большей части вспомогательного оборудования. ППР предусматривает плановые осмотры и ремонты оборудования.

Недостатком ППР является возможность отправки в ремонт исправного оборудования, поскольку оценка его износа осуществляется косвенным путём по количественным показателям. Так, для коммутационных аппаратов критерием износа служит число отключений

(включений) без учета токов отключения, которые и определяют их износ. Для электрических машин и трансформаторов критерием является время работы без учета реальной нагрузки и т. д.

Третий вид ТО обеспечивает необходимый уровень надежности работы оборудования. ТО требует мониторинга режимов работы оборудования, а также контроля условий окружающей среды. Мониторинг осуществляется с помощью системы датчиков, сигналы от которых передаются на микропроцессоры и далее на ЭВМ пункта управления. Последняя с помощью математических моделей надежности обрабатывает полученную информацию и выдает данные по уровню надежности и необходимости ремонта оборудования. Достоинством этого вида ТО является выведение из эксплуатации оборудования, ремонт которого объективно необходим.

Контроль режима работы.

Периодический контроль осуществляется путем проверки нагрузки, уровня напряжения и температуры масла с помощью измерительных приборов. Результаты фиксируются в суточной ведомости: на электростанциях и подстанциях измерения производятся с периодичностью в один-два часа; на подстанциях без дежурного персонала - при каждом посещении объекта оперативным персоналом или методом телеизмерений.

Визуальный контроль состояния трансформатора

Все трансформаторы подвергаются периодическому внешнему осмотру.

Плановые осмотры главных трансформаторов электростанций и подстанций, трансформаторов в зоне загрязнения производятся не реже одного раза в сутки, с постоянным дежурством оперативного персонала и не реже одного раза в месяц без постоянного дежурства; остальные трансформаторы должны осматриваться не реже одного раза в неделю и одного раза в шесть месяцев на трансформаторных пунктах.

При плановом осмотре проверяются:

- состояние внешней изоляции - вводов трансформатора, разрядников и опорных изоляторов (целостность фарфора, степень загрязнения поверхности);
- целостность мембраны выхлопной трубы;
- состояние доступных уплотнений фланцевых соединений;
- отсутствие течи масла;
- состояние доступных для наблюдения контактных соединений.

По маслоуказателям определяют уровень масла в баке трансформатора и расширителе, а также обращают внимание на цвет масла. Потемнение масла может свидетельствовать, например, о термическом

разложении вследствие повышенного нагрева. Через смотровое стекло осматривается индикаторный силикагель в воздухоосушителях бака трансформатора и вводов. Изменение цвета от голубого до розового свидетельствует об увлажнении сорбента и необходимости перезарядки воздухоосушителя.

Показателем состояния трансформатора может служить характер издаваемого им шума (при остановленных вентиляторах), потрескивание или щелчки, которые могут быть связаны с разрядами в баке (например, из-за обрыва заземления активной части).

Осмотры трансформатора следует проводить в светлое время суток. В темноте выявляются дефекты, сами являющиеся источниками свечения: нагрев контактов, коронные разряды по поверхности изоляции и др.

Внеочередные осмотры производятся при экстремальных атмосферных условиях: резкое снижение температуры, ураган, сильный снегопад, гололед. Проверяются уровень масла, состояние вводов, системы охлаждения.

Внеочередные осмотры проводятся после короткого замыкания обмоток (КЗ) или при появлении сигнала газового реле. В первом случае проверяется состояние токоведущих цепей, а также изоляторов, перенесших воздействие динамических нагрузок, во втором - состояние газового реле и его цепей.

Устройства релейной защиты, автоматики и сигнализации. Должны реагировать на две группы событий: повреждение трансформатора и аварийные режимы работы.

К повреждениям, вызывающим срабатывание релейной защиты, относятся межфазные и однофазные замыкания в обмотках и на выводах, витковые замыкания в обмотках, частичный пробой изоляции вводов, а также повреждения, связанные с выделением газа и повышением давления в баке трансформатора и регулировочного устройства.

К аварийным режимам, на которые должны реагировать защиты трансформаторов, относятся появление сверхтоков, обусловленных внешними КЗ либо перегрузками, а также понижение уровня масла. Устройства релейной защиты устанавливаются в том же помещении, в котором находится щит управления, на специальных панелях.

Для защиты трансформатора применяются:

- дифференциальная защита. Является защитой мощных трансформаторов от внутренних повреждений; работает при КЗ внутри зоны, ограниченной двумя комплектами трансформаторов тока (принцип действия основан на сравнении значений и направления токов);

- токовая отсечка без выдержки времени. Устанавливается на трансформаторах небольшой мощности; является самой простой быст-

родействующей защитой от внутренних повреждений;

· защита от сверхтоков внешних КЗ (наиболее простой защитой этого вида является максимальная токовая защита);

· защита от перегрузки. Выполняется с действием на сигнал и состоит из реле тока и реле времени.

Широкое распространение получила газовая защита. Внутренние повреждения трансформатора сопровождаются разложением масла и других изоляционных материалов с образованием летучих газов. Газы поднимаются и попадают в расширитель через газовое реле, установленное на маслопроводе, соединяющем расширитель с баком.

Контрольные вопросы:

1. Какие трансформаторы являются трехфазными?
2. Перечислите известные вам схемы соединения трансформаторов.
3. Перечислите группы соединения трансформаторов в соответствии с ГОСТом.
4. Какова методика определения группы соединения трансформатора?

Тема 1.6. Параллельная работа трансформатора

Вопрос 1. Особенности параллельной работы трансформатора

При **параллельной работе трансформаторов** первичные их обмотки присоединяют к общей питающей сети, а вторичные к общей сети, предназначенной для электроснабжения приемников электрической энергии.

Вопрос 2. Правила включения на параллельную работу

Для лучшего использования трансформаторов при параллельной работе **необходимо нагрузки распределять между ними прямо пропорционально их номинальным мощностям**. Это достигается тождественностью групп соединения обмоток, равенством в пределах допусков соответственно номинальных первичных и вторичных напряжений, а также равенством в пределах допусков напряжений короткого замыкания.

Нарушение первого условия вызывает появление больших уравнивающих токов между обмотками трансформаторов, которые

приводят к быстрому чрезмерному их нагреву. Требование равенства соответственно номинальных первичных и вторичных напряжений сводится к установлению равенства коэффициентов трансформации, которые не должны отличаться друг от друга более чем на $\pm 0,5\%$ их среднего значения во избежание недопустимых уравнивающих токов обмоток трансформаторов.

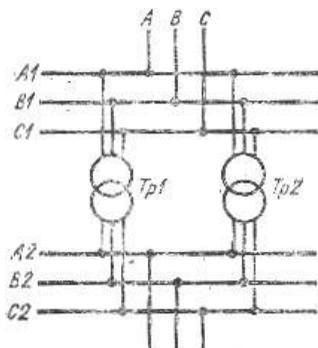


Схема включения трехфазных трансформаторов для параллельной работы

Различие между напряжениями короткого замыкания трансформаторов при параллельной работе допускают до $\pm 10\%$ их среднего значения, так как неравенство этих величин вызывает перегрузку тех трансформаторов, у которых напряжение короткого замыкания имеет меньшее значение. Помимо этого, рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей параллельно работающих трансформаторов не превышало $3 : 1$.

При параллельном включении трехфазных трансформаторов нужно, чтобы их одноименные зажимы были присоединены к одному и тому же проводу сети, а перед первоначальным включением проведена фазировка, т. е. проверка соответствия по фазе вторичных э. д. с. при подключении первичных обмоток к общей сети.

Вопрос 3. Включение на параллельную работу, нарушение правил и их результаты, распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами.

Фазировка предусматривает проверку симметрии вторичных э. д. с. каждого трансформатора в отдельности и измерение напряжений между зажимами в и В2, с и С2, которые при закороченных зажимах, а и А2 и правильном присоединении трансформатора должны быть равны нулю. Если напряжения между названными зажимами отличны от нуля, это указывает на допущенную ошибку монтажа, исключаящую,

до ее устранения, возможность включения трансформаторов на параллельную работу. Для измерения напряжений при фазировке следует применять электромагнитный вольтметр на двойное линейное вторичное напряжение трансформаторов.

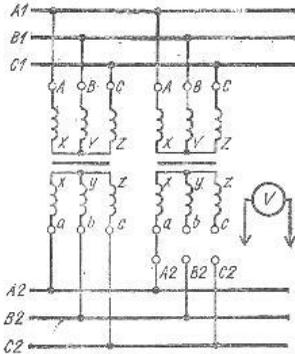


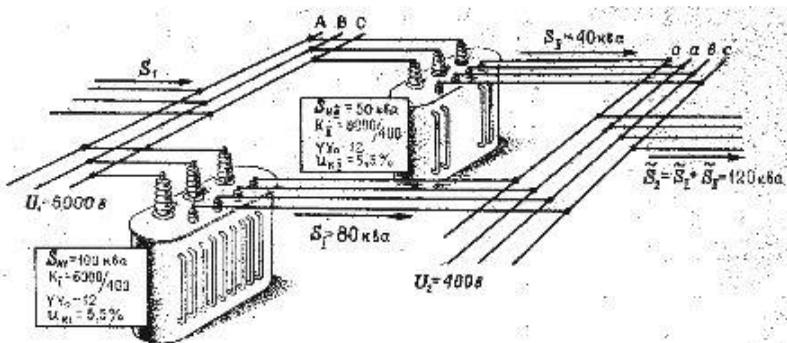
Схема фазировки трехфазных трансформаторов, включаемых на параллельную работу

Распределение нагрузок между трансформаторами, включенными на параллельную работу

Распределение нагрузок S1 и S2 между параллельно работающими трансформаторами подчинено уравнению

$$S1 / S2 = (S1_{ном} / S2_{ном}) \times (U_{к2*} / U_{к1*}),$$

где S1_{ном}, S2_{ном} - номинальные мощности, U_{к1*}, U_{к2*} - напряжение короткого замыкания трансформаторов, включаемых на параллельную работу.



Параллельная работа трансформаторов разной мощности

Некоторое перераспределение нагрузки между **параллельно работающими трансформаторами с различными напряжениями короткого замыкания** осуществляют изменением их коэффициентов трансформации путем переключения ответвлений первичных обмоток. Переключение необходимо выполнять так, чтобы у недогруженных трансформаторов вторичное напряжение при холостом ходе было выше, чем у трансформаторов, работающих с перегрузкой. В виде исключения допустима параллельная работа трансформаторов с разными коэффициентами трансформации и неодинаковыми напряжениями короткого замыкания при не переменном условии, чтобы ни один из трансформаторов не был перегружен сверх установленных норм.

Контрольные вопросы:

1. Каковы особенности параллельной работы трансформатора?
2. Каковы правила включения на параллельную работу?
3. Каковы последствия нарушения правил при включении трансформатора на параллельную работу?

Тема 1.7. Элементы конструкции трансформаторов

Вопрос 1. Устройство и конструкции Трансформаторов

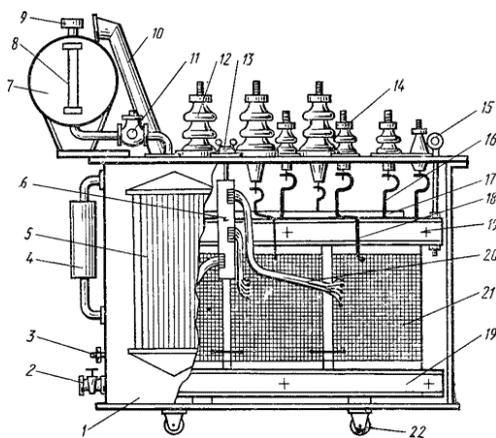


Рис. 1.6.1. Устройство силового масляного трансформатора мощностью 1000—6300 кВ·А класса напряжения 35 кВ: 1 — бак, 2 — вентиль, 3 — болт заземления, 4 — термосифонный фильтр, 5 — радиатор, 6 — переключатель, 7 — расширитель, 8 — маслоуказатель, 9 — воздухоосушитель, 10 — выхлопная труба, 11 — газовое реле, 12 — ввод

ВН, 13 — привод переключающего устройства, 14 — ввод НН, 15 — подъемный рым, 16 — отвод НН, 17 — остова, 18 — отвод ВН, 19 — ярмовая балка остова (верхняя и нижняя), 20 — регулировочные ответвления обмоток ВН, 21 — обмотка ВН (внутри НН), 22 — каток тележки

Цифры в числителе указывают мощность трансформатора (в киловольт-амперах), в знаменателе — класс напряжения обмотки ВН (в киловольтах), например: ТМ-100/6 — трехфазный, с масляным охлаждением и естественной циркуляцией, мощностью 100 кВ-А, напряжением 6 кВ; ТД-10000/110 — трехфазный, с дутьевым охлаждением, мощностью 10 000 кВ-А, напряжением 110 кВ; ТДТ-20 000/110 — трехфазный, трехобмоточный, с дутьевым охлаждением, мощностью 20 000 кВ-А, напряжением 110 кВ; ТС-630/10 — трехфазный, сухого исполнения, мощностью 630 кВ-А, напряжением 10 кВ.

В обозначении автотрансформатора добавляют букву А. Если автотрансформатор понижающий, то буква А стоит в начале обозначения, если повышающий — в конце.

В условном обозначении типа трансформатора указывают также год разработки конструкции, климатическое исполнение и категорию размещения, например: ТДЦ-63 000/110-75У1 (У — предназначен для работы в условиях умеренного климата, 1 — на открытом воздухе).

Вопрос 2. Разборка и сборка силового трехфазного трансформатора

Разборка трансформатора:

1. Очистить трансформатор от пыли и грязи.
2. Освободить крышку бака от болтов.
3. Слить трансформаторное масло до уровня ниже уплотняющей прокладки крышки.
4. Поднять выемную часть трансформатора, осмотреть и промыть струей масла для освобождения обмоток и сердечника от грязи и шлама.
5. Выемную часть разбирают в последовательности: отсоединяют крышку бака, отвинчивают подъемные штанги, распаивают выводы обмоток, снимают крепежные шпильки верхнего ярма, ярмо расшатывают (разбирают), стержни магнитопровода через отверстия для шпилек связывают киперной лентой.

Сборка трансформатора:

Трансформатор собирают в обратной последовательности по сравнению с разборкой.

Собранный трансформатор заливают чистым сухим маслом вначале через пробку в крышке бака, а затем через пробку расширителя. При этом температура масла должна равняться температуре выемной части.

Вопрос 3. Конструкция магнитопровода, обмоток, бака

В трехфазном трансформаторе стержневого типа применяют трехстержневой магнитопровод, который похож на броневой, но обмотки на нем расположены на всех трех стержнях.

Конструкции магнитопроводов по способу сочленения стержней с ярами:

- шихтованные;
- стыковые.

Форма поперечного сечения стержней зависит от мощности трансформатора: в небольших — это прямоугольник, а в средних и крупных — ступенчатое сечение.

Формы поперечного сечения стержней магнитопроводов

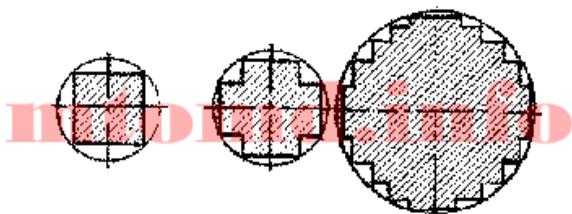


Рис. 1.6.2 Конструкции обмоток

Обмотки трансформаторов выполняют из медных проводов круглого и прямоугольного сечения, изолированных хлопчатобумажной пряжей или кабельной бумагой.

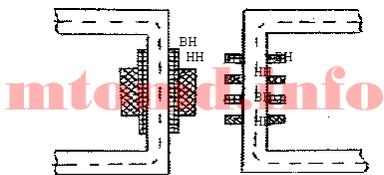


Рис. 1.6.3 Конструкции обмоток

Конструкции обмоток по взаимному расположению и по способу их размещения на стержнях:

- концентрические (рис. 1.6.3, слева);
- дисковые (рис. 1.6.3, справа).

В масляных трансформаторах магнитопровод с обмотками по-

мещается в бак, заполненный маслом, которое отбирает от них тепло, передавая его стенкам бака. Кроме того, электрическая прочность масла выше, чем у воздуха, что обеспечивает более надежную работу высоковольтных трансформаторов.

Для увеличения охлаждающей поверхности применяются трубчатые баки. При нагревании масло расширяется. Излишек его попадает из общего бака в бак-расширитель, установленный на крышке трансформатора.

Вопрос 4. Система охлаждения трансформатора

В настоящее время в отечественных масляных трансформаторах применяются системы охлаждения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Системы охлаждения масляных трансформаторов применяемые в отечественном трансформаторостроении

| Циркуляция масла | Охлаждение масла | Обозначение системы охлаждения | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------|
| | | по ГОСТ | по МЭК |
| Естественная | Естественное воздушное | М | ONAN |
| Естественная | Принудительное воздушное | Д | ONAF |
| Принудительная | Естественное воздушное | МЦ | OFAN |
| Принудительная | Принудительное воздушное | ДЦ | OFAF |
| Естественная | Принудительное водяное | МВ | ONWF |
| Принудительная | Принудительное водяное | Ц | OFWF |
| Принудительная направленная | Принудительное воздушное | НДЦ | ODAF |
| Принудительная направленная | Принудительное водяное | НЦ | ODWF |

Вопрос 5. Переключатели напряжения, термосифонный фильтр, аппаратура защиты и обслуживания

Переключающие устройства трансформаторов служат для регулирования напряжения путем изменения соединения ответвлений обмоток между собой или с вводом. Их применение связано с необходимостью обеспечения потребителей электрической энергией стандартного качества по напряжению.

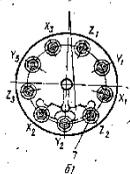
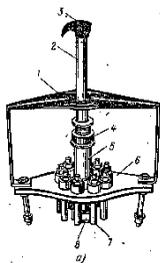
Отклонение напряжений от стандартных в сторону повышения или понижения одинаково отрицательно отражается на работе элект-

роустановок потребителей. Так, например, при снижении напряжения в сети на 10% уменьшается частота вращения электродвигателей, возрастают токи и нагрев обмоток ротора и статора, приводящие: к сокращению сроков их работы; при длительном повышении напряжения на 10% резко сокращается (примерно вдвое) срок службы электрических ламп накаливания. Для некоторых видов оборудования резкие колебания напряжения могут стать причиной аварийного выхода из строя.

Колебания напряжения в питающей электрической, сети неизбежны вследствие изменений режимов нагрузки и других причин, чем и вызвана необходимость регулирования напряжения электрической энергии в месте ее потребления. Такое регулирование осуществляется с помощью специальных переключающих устройств, устанавливаемых в трансформаторах.

Большинство находящихся в эксплуатации трехфазных силовых трансформаторов снабжено переключателями ТПСУ-9- 120/6, ТПСУ-9-120/11, ТПСУ-9-120/10, 3-50/35, ПТЛ-6-200/10 и ПТЛ-9-120/35, устройство которых кратко рассмотрено ниже.

Переключатель ТПСУ-9-120/6 (рис. 1.6.4, а, б) применяют в трехфазных силовых трансформаторах мощностью до 100 кВ А, напряжением 6 кВ на стороне ВН и без расширителей. Переключатель состоит из защитного зонтика 1, стального вала 2 с укрепленной на нем рукояткой 3, муфты 4, бумажно-бакелитовой трубки 5 и гетинаксовой плиты 6, в которой на равных расстояниях друг от друга запрессовано девять бумажно-бакелитовых втулок с установленными в них контактными стержнями 7 из латуни. Стальной вал соединен с коленчатым валом, несущим на себе два подвижных сегментных контакта 8. Переключатель крепится болтами к угольникам, установленным на верхних ярмовых балках активной части трансформатора, а его вал выведен наружу через отверстие в крышке трансформатора.



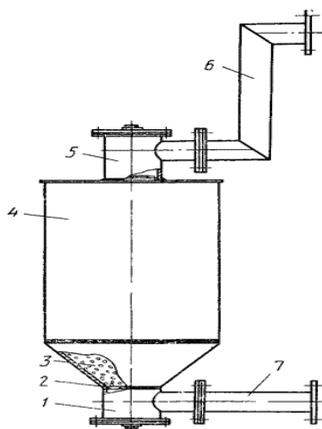
Переключение производят следующим образом: нажимая на рукоятку вертикально вниз до отката и освобождения движения вала, поворачивают его на некоторый угол, а затем, прекратив нажатие и продолжая поворачивать вал, переводят рукояткой контакты до включения их в нужное рабочее положение.

Выключатели ТПСУ-9-120/6 просты по конструкции, обслуживанию и ремонту.

Переключатель ТПСУ-9-120/11 (рис. 1.6.5, а, б) применяют в силовых трансформаторах мощностью

250—1000 кВ-А, напряжением 10 кВ. Его контактная система имеет конструктивное сходство с переключателем ТПСУ-9-120/6. Переключатель состоит из гетинаксового диска 8 с закрепленными в нем бумажно-бакелитовыми втулками 9; в которых запрессованы латунные контактные стержни 7. Управление переключателем осуществляется с помощью колпака /, соединенного с валом, к которому, в свою очередь, прикреплен коленчатый вал 6 с двумя сегментными контактами 5. Бумажно-бакелитовый цилиндр 4 соединен одним концом с гетинаксовым диском, а другим — с крышкой. Правильное положение сегментных контактов 5 определяется положением указателя на колпаке относительно цифр I, II и III и совпадением отверстий для двух стопорных болтов 2 в колпаке и крышке сальника 3. Переключатель крепится к крышке трансформатора. Рис. 1.6.4. Устройство трехфазного переключателя ТПСУ-9-120/(л) и схема работы его контактов (б). Латинскими буквами обозначены контакты

Термосифонный фильтр служит для непрерывной регенерации масла в процессе работы трансформатора и представляет собой металлический сосуд 4, заполненный силикагелем 3 и присоединенный трубами 6 и 7 к верхнему и нижнему патрубкам бака. Силикагель загружают в него через бункер 5, а отработанный высыпают через бункер 6. В бункерах установлены металлические решетки с сетками 2, предотвращающие попадание силикагеля в бак трансформатора. Циркуляция масла через фильтр основана на конвекции за счет разности температур верхнего и нижнего слоев масла. Термосифонные фильтры применяют в трансформаторах мощностью 160 кВ-А и более.



Термосифонный фильтр

В процессе работы трансформаторов не исключена возможность возникновения в них явлений, сопровождающихся бурным выделением газов, что ведет к значительному увеличению давления внутри бака, поэтому во избежание повреждения баков трансформаторы мощностью 1000 кВ·А и выше снабжают выхлопной трубой, которую устанавливают на крышке бака. Нижним концом труба сообщается с баком, а ее верхний конец заканчивается фланцем, на котором укреплен стеклянный диск. При давлении, превышающем безопасное для бака, стеклянный диск лопается и газы выходят наружу.

В трубопровод, соединяющий бак масляного трансформатора с расширителем, помещено газовое реле. При возникновении в трансформаторе значительных повреждений, сопровождаемых обильным выделением газов (например, при коротком замыкании между витками обмоток), газовое реле срабатывает и замыкает контакты цепи управления выключателя, который отключает трансформатор от сети.

Контрольные вопросы:

1. Какие функции выполняет магнитопровод трансформатора?
2. Для чего и как заземляют магнитопровод трансформатора?
3. В какой последовательности вводится в работу оборудование маслосводяного охлаждения?
4. В чем состоит обслуживание систем охлаждения масляных трансформаторов?
5. Возможно ли включение в работу трансформаторов с охлаждением ДП и Ц в зимнее время при температуре наружного воздуха ниже — 25 °С?

Тема 1.8 Специальные виды трансформаторов

Вопрос 1. Автотрансформаторы однофазные и трехфазные

Автотрансформаторы относят к трансформаторам специального назначения. Автотрансформаторы отличаются от трансформаторов тем, что у них обмотка низшего напряжения является частью обмотки высшего напряжения, т. е. цепи этих обмоток имеют не только магнитную, но и гальваническую связь.

В зависимости от включения обмоток автотрансформатора можно получить повышение или понижение напряжения.

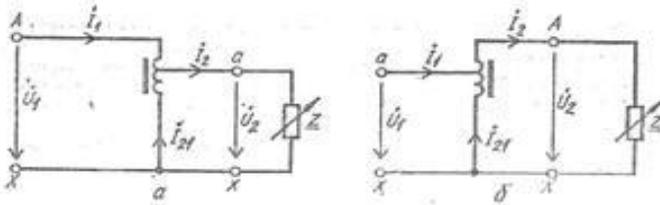


Рис. 1.7.1. Схемы однофазных автотрансформаторов: а - понижающего, б - повышающего

Если присоединить источник переменного напряжения к точкам А и Х, то в сердечнике возникнет переменный магнитный поток. В каждом из витков обмотки будет индуцироваться ЭДС одной и той же величины. Очевидно, между точками а и Х возникнет ЭДС, равная ЭДС одного витка, умноженной на число витков, заключенных между точками а и Х.

Если присоединить к обмотке в точках а и Х какую-нибудь нагрузку, то вторичный ток I_2 будет проходить по части обмотки и именно между точками а и Х. Но так как по этим же виткам проходит и первичный ток I_1 , то оба тока геометрически сложатся, и по участку аХ будет протекать очень небольшой по величине ток, определяемый разностью этих токов. Это позволяет часть обмотки сделать из провода малого сечения, чтобы сэкономить медь. Если принять во внимание, что этот участок составляет большую часть всех витков, то и экономия меди получается весьма ощутимой.

Таким образом, автотрансформаторы целесообразно использовать для незначительного понижения или повышения напряжения, когда в части обмотки, являющейся общей для обеих цепей автотрансформатора, устанавливается уменьшенный ток что позволяет выполнить ее более тонким проводом и сэкономить цветной металл. Одновременно с этим уменьшается расход стали на изготовление магнитопровода, сечение которого получается меньше, чем у трансформатора.

В электромагнитных преобразователях энергии - трансформаторах - передача энергии из одной обмотки в другую осуществляется магнитным полем, энергия которого сосредоточена в магнитопроводе. В автотрансформаторах передача энергии осуществляется как магнитным полем, так и за счет электрической связи между первичной и вторичной обмотками.

Наряду с однофазными двухобмоточными автотрансформаторами часто применяются трехфазные двухобмоточные и трехфазные трехобмоточные автотрансформаторы.

В трехфазных автотрансформаторах фазы обычно соединяют

звездой с выведенной нейтральной точкой (рис. 3). При необходимости понижения напряжения электрическую энергию подводят к зажимам А, В, С и отводят от зажимов а, b, с, а при повышении напряжения - наоборот. Их применяют в качестве устройств для снижения напряжения при пуске мощных двигателей, а также для ступенчатого регулирования напряжения на зажимах нагревательных элементов электрических печей.

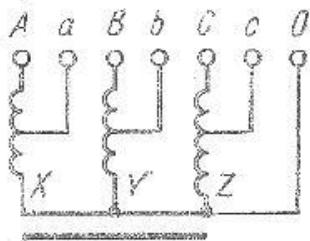


Рис. 1.7.2. Схема трехфазного автотрансформатора с соединением фаз обмотки звездой с выведенной нейтральной точкой

Трехфазные высоковольтные трехобмоточные трансформаторы используются также в высоковольтных электрических сетях.

Трехфазные автотрансформаторы, как правило, на стороне высшего напряжения соединяются в звезду с нулевым проводом. Соединение в звезду обеспечивает снижение напряжения, на которое рассчитывается изоляция автотрансформатора.

Применение автотрансформаторов улучшает КПД энергосистем, обеспечивает снижение стоимости передачи энергии, но приводит к увеличению токов короткого замыкания.

Вопрос 2. Измерительные трансформаторы тока, напряжения

Измерительные трансформаторы тока и напряжения предназначены для уменьшения первичных токов и напряжений до значений, наиболее удобных для подключения измерительных приборов, реле защиты, устройств автоматики. Применение измерительных трансформаторов обеспечивает безопасность работающих, так как цепи высшего и низшего напряжения разделены, а также позволяет унифицировать конструкцию приборов и реле.

Номинальный первичный и вторичный ток трансформаторов тока

Трансформаторы тока характеризуются номинальным первич-

ным током $I_{ном1}$ (стандартная шкала номинальных первичных токов содержит значения от 1 до 40000 А) и номинальным вторичным током $I_{ном2}$, который принят равным 5 или 1 А. Отношение номинального первичного к номинальному вторичному току представляет собой коэффициент трансформации $K_{ТА} = I_{ном1} / I_{ном2}$

Токовая погрешность трансформаторов тока

Трансформаторы тока характеризуются токовой погрешностью $\Delta I = (I_{2К-П}) * 100 / I_1$ (в процентах) и угловой погрешностью (в минутах). В зависимости от токовой погрешности измерительные трансформаторы тока разделены на пять классов точности: 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Наименование класса точности соответствует предельной токовой погрешности трансформатора тока при первичном токе, равном 1—1,2 номинального. Для лабораторных измерений предназначены трансформаторы тока класса точности 0,2, для присоединений счетчиков электроэнергии — трансформаторы тока класса 0,5, для присоединения щитовых измерительных приборов -классов 1 и 3.

Конструкции трансформаторов тока

По конструкции различают трансформаторы тока катушечные, одновитковые (типа ТПОЛ), многовитковые с литой изоляцией (типа ТПЛ и ТЛМ). Трансформатор типа ТЛМ предназначен для КРУ и конструктивно совмещен с одним из штепсельных разъемов первичной цепи ячейки.

Для больших токов применяют трансформаторы типа ТШЛ и ТПШЛ, у которых роль первичной обмотки выполняет шина. Электродинамическая стойкость таких трансформаторов тока определяется стойкостью шины.

Для ОРУ выпускают трансформаторы типа ТФН в фарфоровом корпусе с бумажно-масляной изоляцией и каскадного типа ТРН. Для релейной защиты имеются специальные конструкции. На выводах масляных баковых выключателей и силовых трансформаторов напряжением 35 кВ и выше устанавливаются встроенные трансформаторы тока. Погрешность их при прочих равных условиях больше, чем у отдельно стоящих трансформаторов.

Трансформаторы напряжения характеризуются номинальными значениями первичного напряжения, вторичного напряжения (обычно 100 В), коэффициента трансформации $K = U_{1ном} / U_{2ном}$. В зависимости от погрешности различают следующие классы точности трансформаторов напряжения: 0,2; 0,5; 1; 3.

Нагрузка трансформаторов напряжения

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения—это мощность внешней вторичной цепи. Под номинальной вторичной нагрузкой понимают наибольшую нагрузку, при которой погрешность не выходит за допустимые пределы, установленные для трансформаторов данного класса точности.

Конструкции трансформаторов напряжения

В установках напряжением до 18 кВ применяются трехфазные и однофазные трансформаторы, при более высоких напряжениях — только однофазные. При напряжениях до 20 кВ имеется большое число типов трансформаторов напряжения: сухие (НОС), масляные (НОМ, ЗНОМ, НТМИ, НТМК), с литой изоляцией (ЗНОЛ). Следует отличать однофазные двухобмоточные трансформаторы НОМ от однофазных трехобмоточных трансформаторов ЗНОМ. Трансформаторы типов ЗНОМ-15, -20 -24 и ЗНОЛ-06 устанавливаются в комплектных токопроводах мощных генераторов. В установках напряжением 110 кВ и выше применяют трансформаторы напряжения каскадного типа НКФ и емкостные делители напряжения НДЕ.

Схемы включения трансформаторов напряжения

В зависимости от назначения могут применяться разные схемы включения трансформаторов напряжения. Два однофазных трансформатора напряжения, соединенные в неполный треугольник, позволяют измерять два линейных напряжения. Целесообразна такая схема для подключения счетчиков и ваттметров. Для измерения линейных и фазных напряжений могут быть использованы три однофазных трансформатора (ЗНОМ, ЗНОЛ), соединенные по схеме «звезда — звезда», или трехфазный типа НТМИ. Так же соединяются в трехфазную группу однофазные трехобмоточные трансформаторы типа ЗНОМ и НКФ.

Вопрос 3. Сварочные трансформаторы

В сварочных трансформаторах в связи с необходимостью большого сдвига фаз напряжения и тока для обеспечения устойчивого зажигания дуги переменного тока при смене полярности требуется обеспечить увеличенное индуктивное сопротивление вторичной цепи.

С ростом индуктивного сопротивления растет и наклон внешней статической характеристики источника питания сварочной дуги на ее рабочем участке, что обеспечивает получение падающих характеристик в соответствии с требованиями общей устойчивости системы «источник питания – дуга».

Сварочные трансформаторы с подвижными обмотками

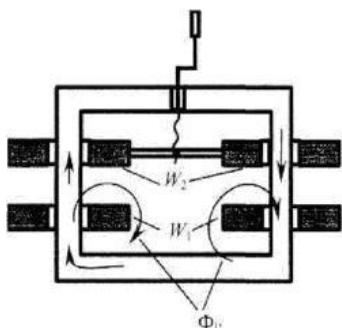


Рис. 1.7.3. Устройство сварочного трансформатора с подвижными обмотками: при полностью сдвинутых обмотках сварочный ток максимальный, при раздвинутых - минимальный.

Сварочные трансформаторы с подвижным шунтом

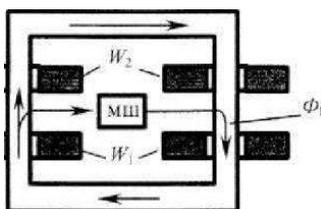


Рис. 1.7.4. Устройство сварочного трансформатора с подвижным шунтом

Регулирование потока рассеяния магнитного поля в данном случае происходит за счет изменения длины и сечения элементов магнитного пути между стержнями магнитопровода. Т.к. магнитная проницаемость железа на два порядка больше, чем проницаемость воздуха, при движении магнитного шунта меняется магнитное сопротивление потока рассеяния, проходящего по воздуху. При полностью введенном шунте волна потока рассеяния и индуктивное сопротивление определяется воздушными зазорами между магнитопроводом и шунтом.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит отличие автотрансформатора от трансформатора?
2. Каковы особенности однофазных и трехфазных автотрансформаторов?
3. Каково предназначение измерительных трансформаторов тока и напряжения?

Тема 2.1 Основные сведения о синхронных машинах

Вопрос 1. Общие сведения о синхронных машинах

Бесколлекторные-машины переменного тока, у которых преобразование энергии происходит вследствие механического перемещения постоянного-магнитного потока полюсов относительно обмотки якоря, называются синхронными. Синхронные машины отличаются от машин постоянного тока тем, что у них отсутствует коллектор, а обмотка якоря имеет выводные концы, которые присоединяются к сети переменного тока. Обмотка якоря (в большинстве случаев трех- или двухфазная) создает вращающееся поле, которое взаимодействует с полем полюсов, в результате чего возникает электромагнитная сила, которая стремится ориентировать ротор таким образом, чтобы поля полюсов ротора и якоря были направлены согласно. Вследствие этого независимо от величины нагрузки, создаваемого якорной обмоткой неподвижного статора, и полюса ротора вращаются с одинаковой скоростью в одном направлении, т. е. синхронно.

Вопрос 2. Назначение, устройство и виды синхронных машин

Синхронные машины могут работать как генераторами, так и электродвигателями. Основная область применения синхронных машин — энергетика, где они используются в качестве генераторов электрической энергии. В зависимости от типа привода синхронные генераторы делятся на турбогенераторы, гидрогенераторы и дизельные генераторы.

Турбогенератор, например, — это генератор, приводимый в движение паровой турбиной, гидрогенератор вращает водяное колесо, а дизельгенератор механически связан с двигателем внутреннего сгорания.

Синхронные электродвигатели широко применяют для привода мощных компрессоров, насосов, вентиляторов. Синхронные электродвигатели используют для привода лентопротяжных механизмов регистрирующих приборов, магнитофонов и так далее.

Трехфазная синхронная машина состоит из неподвижного статора и вращающегося внутри него неявно- или явнополюсного ротора, между ними имеется воздушный зазор, радиальный размер которого определяется номинальной мощностью машины, ее быстроходностью и изменяется от долей до нескольких десятков миллиметров.

Статор такой машины по устройству практически не отличается от статора асинхронной машины, имеет трехфазную обмотку, начала

фаз которой обозначают C1, C2, C3 и концы - C4, C5, C6 и выводят к зажимам с аналогичными обозначениями, что позволяет соединять фазы обмотки статора треугольником или звездой.

Фазы обмотки статора трехфазного синхронного генератора соединяют преимущественно звездой, так как это позволяет при трехфазной четырехпроводной сети располагать линейными и фазными напряжениями, отличающимися друг от друга в $\sqrt{3}$ раз (рис. 2.1.1).

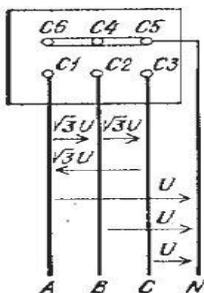


Рис. 2.1.1. Схема присоединении трехфазной четырехпроводной сети к зажимам обмотки статора трехфазного синхронного генератора при соединении фаз звездой.

Ротор синхронной машины представляет собой электромагнитную систему постоянного тока с обмоткой, имеющей то же число полюсов, что и трехфазная обмотка статора. Магнитные силовые линии замыкаются между соответствующими северными и южными полюсами ротора через воздушный зазор и магнитопровод статора (рис. 2.1.2., а, б).

Обмотка ротора, или обмотка возбуждения, получает питание от выпрямителя или небольшого генератора постоянного тока - возбудителя, мощность которого составляет 0,5 - 10% номинальной мощности синхронной машины. Возбудитель может находиться на одном валу с синхронной машиной, приводиться от ее вала гибкой передачей или иметь привод от отдельного двигателя.

Неявнополюсный ротор синхронной машины - сплошной или составной цилиндр из углеродистой или легированной стали с пазами, профрезерованными на его поверхности в осевом направлении. В эти пазы уложена обмотка, выполненная изолированным медным или алюминиевым проводом. Начало И1 и конец И2 этой обмотки присоединяют к двум контактным кольцам, укрепленным на втулке из изолятора, расположенной: на валу машины, и вращающихся вместе с ротором.

К кольцам прижаты неподвижные щетки, от которых выведены провода к зажимам с маркировкой И1 и И2 для присоединения к источнику электрической энергии постоянного тока. Большие зубья цилиндра ротора, в которых нет пазов, образуют полюсы ротора.

Неявнополюсный ротор обычно имеет два или четыре полюса с

чередующейся полярностью, его используют в быстроходных синхронных машинах, в частности в турбогенераторах - трехфазных синхронных генераторах, непосредственно соединенных с паровыми турбинами, рассчитанными на частоту вращения 3000 или 1500 оборотов в минуту при частоте переменного тока 50 Гц.

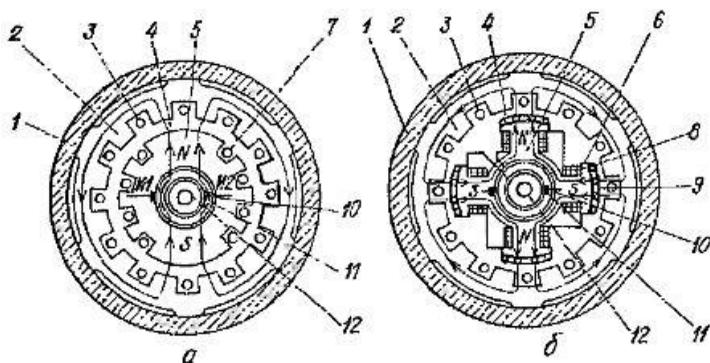


Рис. 2.1.2. Устройство трехфазной синхронной машины с ротором: а - неявнополюсным, б - явнополюсным, 1 - станина, 2 - магнитопровод статора, 3 - проводники статора, 4 - воздушный зазор, 5 - полюс ротора, 6 - полюсный наконечник, 7 - праведники ротора, 8 - катушечная обмотка возбуждения, 9 - короткозамкнутая обмотка, 10 - контактные кольца, 11 - щетки, 12 - вал.

Гидрогенератор — явнополюсный синхронный генератор, предназначенный для выработки электрической энергии в работе от гидравлической турбины (при низких скоростях вращения 50-600 об/мин).

Турбогенератор — неявнополюсный синхронный генератор, предназначенный для выработки электрической энергии в работе от паровой или газовой турбины при высоких скоростях вращения ротора — 6000 (редко), 3000, 1500 об/мин.

Синхронный компенсатор — синхронный двигатель, предназначенный для выработки реактивной мощности, работающий без нагрузки на валу (в режиме холостого хода); при этом по обмотке якоря проходит практически только реактивный ток. Синхронный компенсатор может работать в режиме улучшения коэффициента мощности или в режиме стабилизации напряжения. Дает ёмкостную нагрузку.

Машина двойного питания (в частности АСМ) — синхронная машина с питанием обмоток ротора и статора токами разной частоты,

за счёт чего создаются несинхронные режимы работы.

Ударный генератор — синхронный генератор (как правило, трёхфазного тока), предназначенный для кратковременной работы в режиме короткого замыкания (КЗ).

Также существуют безредукторные, шаговые, индукторные, гистерезисные, бесконтактные синхронные двигатели.

Вопрос 3. Принцип действия синхронного генератора, гидрогенератора и турбогенератора

Вращающийся с определенной частотой, создаваемый ротором, поток возбуждения пересекает витки статорной обмотки, он совершает индуцирование в фазах с переменной ЭДС, изменяемой с частотой, определяемой по формуле:

$$f1=pn2/60$$

При присоединении статора к нагрузке, ток в обмотке, создает магнитное поле, вращающееся со скоростью одинаковой со скоростью вращения ротора. Магнитодвижущая сила обмоток возбуждения и статорной обмотки, и результирующие вращающегося магнитного поля, создают результирующий магнитный поток.

Синхронные машины высокой мощности – конструктивные особенности

Ввиду использования значительной величины мощности, синхронная установка подвергается значительному механическому воздействию, а также электромагнитной нагрузке, вследствие чего происходит существенный нагрев различных частей машин, для чего необходимо выполнить интенсивное охлаждение машины. Чтобы сохранить определенные габаритные размеры, для получения необходимого значения мощности, выполняют машины с различными особенностями, диктующими подразделение машин на несколько типов, это: турбогенераторы, гидрогенераторы, дизель-генераторы, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели.

Турбогенераторы

Конструкция машины исполнена с горизонтальной осью и работает за счет использования турбины, ротор обязательно неявнополюсного исполнения. Скорость вращения вала отличается максимально

возможным числом оборотов вращения, и составляет 3000 об/мин.

За счет того, что в машине всего два полюса ее конструктивная часть отличается уменьшенными габаритами и весом. При использовании такого агрегата на АЭС применяют машины с количеством оборотов вала 1500 об/мин, с 4 полюсами, диаметр ротора меньше длины его активной части. Система, используемая для охлаждения, применяет поверхностный и косвенный принудительный обдув, иногда применяют косвенное водородное или водяное и масляное охлаждение.

Гидрогенераторы

Функционирование гидрогенератора осуществляется при использовании гидравлической турбины, обладающей невысоким количеством оборотов вала от 50 до 500 об/мин. Ротор явнополюсного исполнения, отличается наличием большого числа пар полюсов. Его диаметр для некоторых типов гидрогенераторов может достигать до 16 м. тогда как длина составляет всего 1,75 м. Его мощность достигает 640 МВ*А. Вал может располагаться вертикально. Гидрогенератор и турбина объединены одним валом ротора также на нем может быть установлен возбудитель, подвозбудитель, и синхронный генератор, который осуществляет питание электрических двигателей, предназначенных для регулировки турбины. Главное усилие в машине приходится на опорный подшипник, он способен выдержать вес роторов всего оборудования, динамические усилия и давление воды, приложенное к турбинным лопастям. Система охлаждения в устройствах этого типа выполняется с помощью омывания капсулы, в которую заключены, объединенные одним валом, элементы синхронного агрегата.

Синхронный компенсатор

Машина генерирует реактивную мощность, и работает в двигательном режиме холостого хода, использующего активную сетевую нагрузку. Конструкция явнополюсного исполнения, обычно присутствует до восьми пар полюсов. Ротор изготовлен облегченным, так как на валу отсутствует какая-либо нагрузка. Часто используется герметизированная конструкция машины, без вывода наружу вала компенсатора, система охлаждения работает за счет использования водорода, закаченного при большом давлении, внутрь.

Вопрос 4. Дизельные электростанции как резервные источ-

ники электроэнергии

• Дизельные электростанции могут использоваться в качестве основных источников питания, при отсутствии централизованного электроснабжения, а также в качестве резервных источников питания, в аварийном режиме, в случае временного отсутствия тока в электросети.

• Дизельные электростанции применяются в коммерческих и социальных организациях, специальных службах и частном секторе:

- загородные дома, коттеджи;
- строительные компании, подрядные организации;
- торговые организации, магазины, автомойки, автозаправки;
- МВД, МЧС, аварийные службы, службы ЖКХ;
- больницы, школы, детские сады.

Дизельные электростанции мобильны, автономны, поэтому широко используются в труднодоступных районах, а также для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. В настоящее время дизель-генераторы используются в качестве резервных аварийных источников питания систем собственных нужд АЭС и крупных ГРЭС.

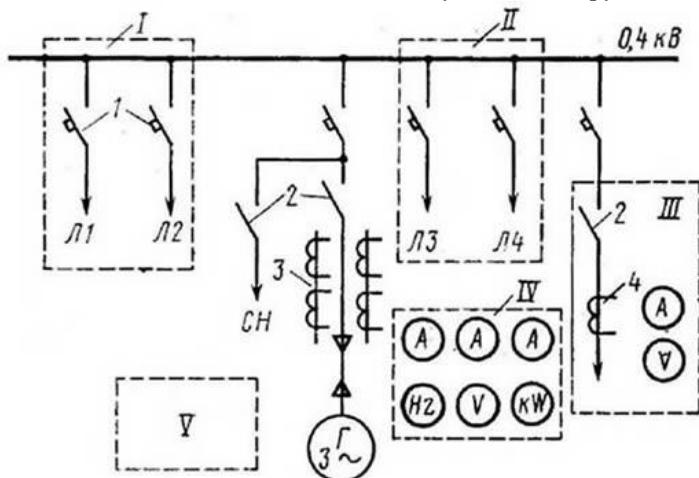


Схема типовой дизельной электростанции напряжением 0,4 кВ с одним генератором:

I, II — блоки отходящих линий, *III* — блок ввода сети, *IV* — панель управления, *V* — блок регулирования напряжения; *1* — автоматические выключатели, *2* — рубильники, *3* — трансформаторы тока генератора, *4* — трансформаторы тока ввода сети; *СН* — собственные нужды, *Л1–Л4* — отходящие линии

Вопрос 5. Монтаж, наладка и эксплуатация синхронных генераторов

Испытания изоляции генераторов перед включением их в работу (по окончании монтажа или ремонта после ввода ротора в статор и установки торцевых щитов, но до установки уплотнений вала и до заполнения водородом) проводятся в воздушной среде при открытых люках статора и наличии наблюдателя у этих люков (с соблюдением всех мер безопасности). При обнаружении наблюдателем запаха горелой изоляции, дыма, отблесков огня, звуков электрических разрядов и других признаков повреждения или загораний изоляции испытательное напряжение должно быть снято, люки быстро закрыты и в статор подан инертный газ (углекислота, азот).

Контрольные испытания допускается проводить после установки торцевых щитов и уплотнений при заполнении статора инертным газом или при номинальном давлении водорода. В этом случае перед испытанием изоляции повышенным напряжением при заполненном водородом корпусе генератора необходимо произвести анализ газа, чтобы убедиться в отсутствии взрывоопасной концентрации.

При испытании повышенным напряжением полностью собранной машины должно быть обеспечено тщательное наблюдение за изменениями тока и напряжения в цепи испытуемой обмотки и организовано прослушивание корпуса машины с соблюдением всех мер безопасности (например, с помощью изолирующего стетоскопа). В случае обнаружения при испытаниях отклонений от нормального режима (толчки стрелок измерительных приборов, повышенные значения токов утечки по сравнению с ранее наблюдавшимися, щелчки в корпусе машины и т.п.) испытания должны быть прекращены и повторены при снятых щитах.

При вводе в эксплуатацию и капитальных ремонтах многополюсных генераторов следует определять форму расточки статора измерением зазоров под одним и тем же полюсом, поворачивая ротор каждый раз на полюсное деление с одновременным определением формы ротора - измерением зазора в одной и той же точке статора при поворотах. Результаты измерений сравниваются с данными предыдущих испытаний. При их отклонении более чем на 20% принимаются меры по указаниям завода-изготовителя машины.

Эксплуатация синхронных генераторов

Под эксплуатацией синхронных генераторов понимается совокупность подготовки машин, использования их по назначению, их технического обслуживания, хранения и транспортировки. Основные

задачи эксплуатации — добиться бесперебойной, надежной и качественной работы синхронных генераторов, что обеспечит их наилучшие технико-экономические показатели, повышать надежность их работы. Главная задача эксплуатации — поддерживать электрические машины в исправном состоянии в течение всего времени эксплуатации, обеспечивая их бесперебойную и экономичную работу. Для осуществления этой задачи необходимо проводить плановое техническое обслуживание, включающее проведение планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний (осмотров).

При эксплуатации техническое состояние синхронных генераторов ухудшается из-за износов, поломок, ослабления креплений и т. д. Даже ненадежный контакт в синхронном генераторе или схеме ее управления может привести к ложному срабатыванию защиты, выходу машины из строя или аварии. Правильное техническое обслуживание позволяет своевременно выявлять и устранять как причины, которые могут повлечь неисправность, так и саму неисправность. Важным эксплуатационным показателем является надежность электрических машин. Отметим лишь, что для большинства неремонтируемых машин в качестве показателей надежности принимаются вероятность безотказной работы и (или) средний срок службы, для ремонтируемых синхронных генераторов — вероятность безотказной работы и (или) наработка на отказ.

Основные понятия, характеризующие эксплуатацию электрических машин.

Электроустановка — установка, которая вырабатывает, преобразует, распределяет или потребляет электрическую энергию. Электрическая машина является частью электроустановки.

Авария — нарушение нормального режима работы объекта в результате внезапного отказа, вызывающее повреждение основного оборудования и необходимость проведения внеочередного капитального ремонта или необходимость остановки основного оборудования на срок более 8 ч.

Гарантийный срок — период времени, в течение которого завод-изготовитель или организация, проводившая ремонт, безвозмездно устраняют неисправности, если соблюдаются правила эксплуатации электрической машины.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт.

Межосмотровый период — наработка между двумя плановыми осмотрами, предусмотренными соответствующими правилами техни-

ческой эксплуатации и безопасности, эксплуатационными инструкциями заводов-изготовителей. Межосмотровый период измеряется в месяцах календарного времени.

Межремонтный период — наработка объекта между двумя плановыми ремонтами, выраженная в месяцах календарного времени.

Модернизация — приведение характеристик находящегося в эксплуатации оборудования в соответствие с современными требованиями и улучшение его технических характеристик путем внедрения частичных изменений и усовершенствований в конструкцию или схему оборудования. Целесообразность модернизации должна быть экономически обоснована.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к выполнению его ремонтов для предупреждения и устранения отказов.

Резервирование — метод повышения надежности объектов введением избыточности, т. е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально требуемых для выполнения объектом заданных функций. Различают холодный и горячий, а также нагруженный, облегченный и ненагруженный резерв.

Ремонт — экономически оправданный комплекс работ для восстановления работоспособности объекта путем замены изношенных и отказавших элементов; наладка и регулирование параметров объекта с доведением их до пределов, предусмотренных техническими условиями.

Контрольные вопросы:

1. Каково назначение синхронных машин?
2. Каково устройство синхронных машин?
3. Область применения дизельных электростанций.

Тема 2.2 Системы возбуждения и схемы синхронных генераторов

Вопрос 1. Системы возбуждения и схемы синхронного генератора

Основным способом возбуждения синхронных машин является электромагнитное возбуждение, сущность которого состоит в том, что на полюсах ротора располагают обмотку возбуждения. При прохождении по этой обмотке постоянного тока возникает МДС возбуждения, которая наводит в магнитной системе машины магнитное поле.

До последнего времени для питания обмотки возбуждения применялись специальные генераторы постоянного тока независимого возбуждения, называемые возбудителями В (рис. 2.2.1, а), обмотка возбуждения которого (ОВ) получала питание постоянного тока от другого генератора (параллельного возбуждения), называемого подвозбудителем (ПВ). Ротор синхронной машины и якоря возбудителя и подвозбудителя располагаются на общем валу и вращаются одновременно. При этом ток в обмотку возбуждения синхронной машины поступает через контактные кольца и щетки. Для регулирования тока возбуждения применяют регулировочные реостаты, включаемые в цепи возбуждения возбудителя (r_1) и подвозбудителя (r_2).

В синхронных генераторах средней и большой мощности процесс регулирования тока возбуждения автоматизируют.

В синхронных генераторах большой мощности — турбогенераторах — иногда в качестве возбудителя применяют генераторы переменного тока индукторного типа. На выходе такого генератора включают полупроводниковый выпрямитель.

Регулировка тока возбуждения синхронного генератора в этом случае осуществляется изменением возбуждения индукторного генератора.

Получила применение в синхронных генераторах бесконтактная система электромагнитного возбуждения, при которой синхронный генератор не имеет контактных колец на роторе.

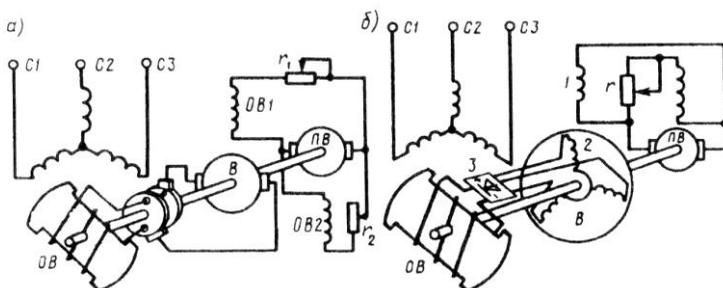


Рис. 2.2.1. Контактная (а) и бесконтактная (б) системы электромагнитного возбуждения синхронных генераторов

В качестве возбудителя и в этом случае применяют генератор переменного тока (рис. 2.2.1, б), у которого обмотка 2, в которой наводится ЭДС (обмотка якоря), расположена на роторе, а обмотка возбуждения 1 расположена на статоре. В результате обмотка якоря возбудителя и обмотка возбуждения синхронной машины оказываются вращающимися, и их электрическое соединение осуществляется непо-

средственно, без контактных колец и щеток. Но так как возбудитель является генератором переменного тока, а обмотку возбуждения необходимо питать постоянным током, то на выходе обмотки якоря возбудителя включают полупроводниковый преобразователь 3, закрепленный на валу синхронной машины и вращающийся вместе с обмоткой возбуждения синхронной машины и обмоткой якоря возбудителя. Питание постоянным током обмотки возбуждения 1 возбудителя осуществляется от подвозбудителя (ПВ) — генератора постоянного тока.

Отсутствие скользящих контактов в цепи возбуждения синхронной машины позволяет повысить ее эксплуатационную надежность и увеличить КПД.

Вопрос 2. Системы возбуждения синхронных гидрогенераторов

В гидрогенераторах, получил распространение принцип самовозбуждения (рис. 2.2.2, а), когда энергия переменного тока, необходимая для возбуждения, отбирается от обмотки статора синхронного генератора и через понижающий трансформатор и выпрямительный полупроводниковый преобразователь (ПП) преобразуется в энергию постоянного тока. Принцип самовозбуждения основан на том, что первоначальное возбуждение генератора происходит за счет остаточного магнетизма магнитопровода машины.

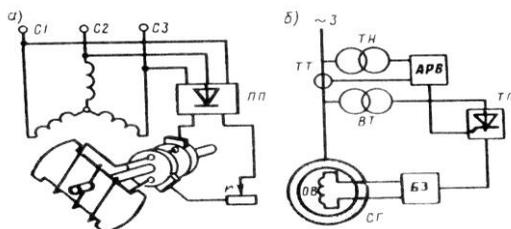


Рис. 2.2.2. Принцип самовозбуждения синхронных генераторов

На рис. 2.2.2, б представлена структурная схема автоматической системы самовозбуждения синхронного генератора (СГ) с выпрямительным трансформатором (ВТ) и тиристорным преобразователем (ТП), через которые электроэнергия переменного тока из цепи статора СГ после преобразования в постоянный ток подается в обмотку возбуждения. Управление тиристорным преобразователем осуществляется посредством автоматического регулятора возбуждения АРВ, на вход которого поступают сигналы напряжения на выходе СГ (через трансформатор напряжения ТН) и тока нагрузки СГ (от трансформатора тока ТТ). Схема содержит блок защиты БЗ, обеспечивающий защиту

обмотки возбуждения и тиристорного преобразователя ТП от перенапряжений и токовой перегрузки.

Вопрос 3. Регулирование и стабилизация напряжения генераторов

Для регулирования напряжения применяются следующие виды регуляторов возбуждения:

1. Пропорционального действия по отклонению напряжения и по возмущению током нагрузки с релейным или бесконтактным устройством форсировки возбуждения.

2. Пропорционально-дифференциального (сильного) действия с использованием сигналов по производным напряжения и других режимных параметров.

Для стабилизации напряжения СГ при изменении нагрузки необходимо изменить намагничивающую силу и соответственно ток возбуждения таким образом, чтобы скомпенсировать падение напряжения СГ по продольной и поперечной осям. Характер изменения тока возбуждения при изменении нагрузки и $\cos\phi$ должен соответствовать регулировочным характеристикам при постоянных напряжении и частоте вращения.

Стабилизация напряжения СГ при различном токе нагрузки и $\cos\alpha$ может быть достигнута геометрическим суммированием составляющих токов возбуждения, соответствующих напряжению и току нагрузки. При суммировании арифметически ток возбуждения не будет зависеть от $\cos\phi$ и согласованной окажется одна пара регулировочных характеристик при определенном значении $\cos\phi$.

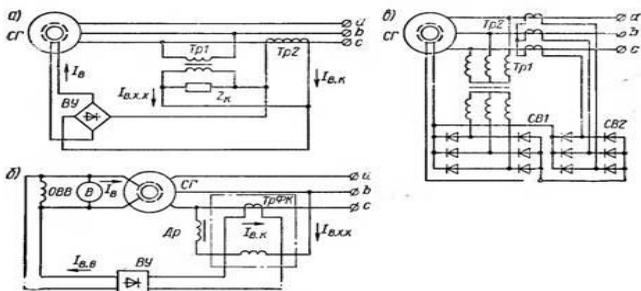
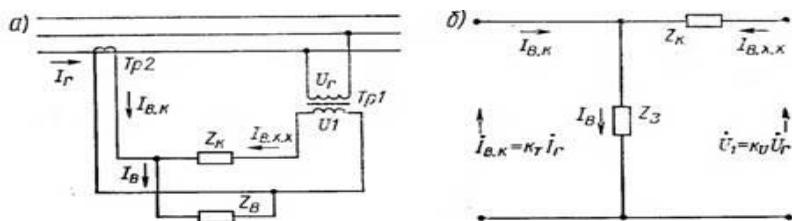


Рис. 2.2.3. Принципиальные схемы ССН с прямым и косвенным фазовым компаундированием и с токовым компаундированием СГ

В зависимости от суммирования составляющих тока возбуждения ССН могут быть построены по фазовому или по токовому ком-

паундированию. В настоящее время на судах применяют ССН прямого и косвенного фазового компаундирования, встречаются отдельные ССН с прямым токовым компаундированием. Широко применяют комбинированные ССН, действующие по внешнему воздействию (изменением тока нагрузки и $\cos\phi$) и отклонению регулируемой величины (напряжения) и состоящие из каналов компаундирования и коррекции напряжения, не зависящих один от другого.



На рис. 2.2.4., а представлена принципиальная схема ПФК генераторов. Она состоит из трансформаторов тока $Tr2$ и напряжения $Tr1$, вторичные обмотки которых соединены параллельно и подключены к выпрямительным устройствам ВУ, которые соединены с обмоткой возбуждения СГ. В схемах может быть применено последовательное соединение вторичных обмоток трансформаторов. Для геометрического суммирования составляющих в цепь обмотки трансформатора включают компаундирующий элемент ZK , который может быть дросселем, конденсатором и магнитным шунтом в трансформаторе фазового компаундирования. Согласно приведенной схеме электромагнитное суммирование составляющих происходит на стороне переменного тока. Ток возбуждения генератора определяется геометрической суммой, соответствующей току нагрузки, току (напряжению) и зависит от $\cos \phi$ нагрузки.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют способы возбуждения синхронных машин?
2. Объясните назначение тиристорного преобразователя в системе самовозбуждения синхронного генератора.
3. Объясните устройство явнополюсных и неявнополюсных роторов.
4. Какие применяются способы крепления полюсов в синхронных явнополюсных машинах?
5. Чем обеспечивается неравномерный воздушный зазор в синхронной машине?

Тема 2.3 Реакция якоря трехфазного синхронного генератора

Вопрос 1. Основные сведения о реакции якоря трехфазного синхронного генератора. Понятие о реакции якоря

В процессе работы нагруженного синхронного генератора в нем одновременно действуют МДС возбуждения $F_{в0}$ и статора (якоря) F_1 , при этом МДС статора (якоря) воздействует на МДС возбуждения, усиливая или ослабляя поле возбуждения или же искажая его форму. Воздействие МДС обмотки статора (якоря) на МДС обмотки возбуждения называется реакцией якоря.

Вопрос 2. Реакция якоря при активной, индуктивной и емкостной нагрузках

для выяснения вопроса о влиянии реакции якоря на работу синхронной машины целесообразно рассмотреть случаи работы генератора при нагрузках предельного характера, а именно: активной, индуктивной и емкостной. Воспользуемся для этого векторными диаграммами МДС. При построении этих диаграмм следует иметь в виду, что вектор ЭДС E_0^\bullet , индуцируемой магнитным потоком возбуждения в обмотке статора, отстает по фазе от вектора этого потока (а следовательно, и вектора МДС $F_{в0}^\bullet$) на 90° . Что же касается вектора тока в обмотке статора I_1 , то он может занимать по отношению к вектору E_0^\bullet различные положения, определяемые углом ψ_1 , в зависимости от вида нагрузки.

Активная нагрузка ($\psi_1 = 0$). На рис. 2.3.1., а представлены статор и ротор двухполюсного генератора. На статоре показана часть фазной обмотки. Ротор явнополюсный, вращается против движения часовой стрелки. В рассматриваемый момент времени ротор занимает вертикальное положение, что соответствует максимуму ЭДС E_0^\bullet в фазной обмотке. Так как ток при активной нагрузке совпадает по фазе с ЭДС, то указанное положение ротора соответствует также и максимуму тока. Изобразив линии магнитной индукции поля возбуждения (ротора) и линии магнитной индукции поля обмотки статора, видим,

что МДС статора F_1^* направлена перпендикулярно МДС возбуждения F_{B0}^* . Этот вывод также подтверждается векторной диаграммой, построенной для этого же случая. Порядок построения этой диаграммы следующий: в соответствии с пространственным положением ротора генератора проводим вектор МДС возбуждения F_{B0}^* ; под углом 90° к этому вектору в сторону отставания проводим вектор ЭДС E_0^* , наведенной магнитным полем возбуждения в обмотке статора; при подключении чисто активной нагрузки ток в обмотке статора I_1^* , совпадает по фазе с ЭДС E_0^* , а поэтому вектор МДС F_1^* , создаваемый этим током, сдвинут в пространстве относительно вектора F_{B0}^* на 90° .

Такое воздействие МДС статора (якоря) F_1^* на МДС возбуждения F_{B0}^* вызовет искажения результирующего поля машины: магнитное поле машины ослабляется под набегающим краем полюса и усиливается под сбегающим краем полюса (рис. 2.3.2.). Вследствие насыщения магнитной цепи результирующее магнитное поле машины несколько ослабляется.

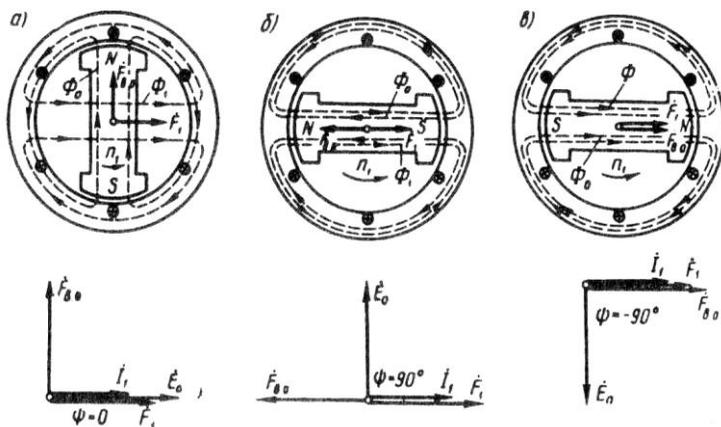


Рис. 2.3.1. Реакция якоря синхронного генератора при активной (а), индуктивной (б) и емкостной (в) нагрузках

Объясняется это тем, что размагничивание набегающих краев

полюсных наконечников и находящихся над ними участков зубцового слоя статора происходит беспрепятственно, а подмагничивание сбегających краев полюсных наконечников и находящихся над ними участков зубцового слоя статора ограничивается магнитным насыщением этих элементов магнитной цепи. В итоге результирующий магнитный поток машины ослабляется, т. е. магнитная система несколько размагничивается. Это ведет к уменьшению ЭДС машины E_1 .

Индуктивная нагрузка ($\psi_1 = 90^\circ$). При чисто индуктивной

нагрузке генератора ток статора I_1^\bullet отстает по фазе от ЭДС E_0^\bullet на 90° . Поэтому он достигает максимального значения лишь после поворота ротора вперед на 90° относительно его положения, соответствующего максимуму ЭДС E_0^\bullet (см. рис. 2.3.1., б). При этом МДС

F_1^\bullet действует вдоль оси полюсов ротора встречно МДС возбуждения

F_{B0}^\bullet . В этом мы также убеждаемся, построив векторную диаграмму. Такое действие МДС статора F_1 ослабляет поле машины. Следовательно, реакция якоря в синхронном генераторе при чисто индуктивной нагрузке оказывает продольно-размагничивающее действие.

В отличие от реакции якоря при активной нагрузке в рассматриваемом случае магнитное поле не искажается.

Емкостная нагрузка ($\psi = -90^\circ$). Так как ток I_1^\bullet , при емкост-

ной нагрузке опережает по фазе ЭДС E_0^\bullet на 90° , то своего большего значения он достигает раньше, чем ЭДС, т. е. когда ротор займет положение, показанное на рис. 20.5, в. Магнитодвижущая сила статора

F_1^\bullet так же, как и в предыдущем случае, действует по оси полюсов, но

теперь уже согласно с МДС возбуждения F_{B0}^\bullet .

При этом происходит усиление магнитного поля возбуждения. Таким образом, при чисто емкостной нагрузке синхронного генератора реакция якоря оказывает продольно-намагничивающее действие. Магнитное поле при этом не искажается.

Вопрос 3. Разложение реакции якоря на продольную и по-

перечную составляющие в неявнополюсных и явнополюсных генераторах

При смешанной нагрузке синхронного генератора ток статора I_1^*

сдвинут по фазе относительно ЭДС E_0^* на угол ψ_1 , значения которого находятся в пределах $0 < \psi_1 < \pm 90^\circ$. Для выяснения вопроса о влиянии реакции якоря при смешанной нагрузке воспользуемся диаграммами МДС, представленными на рис. 2.3.3.

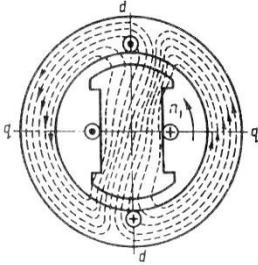


Рис. 2.3.2.. Магнитное поле синхронного генератора при активной нагрузке

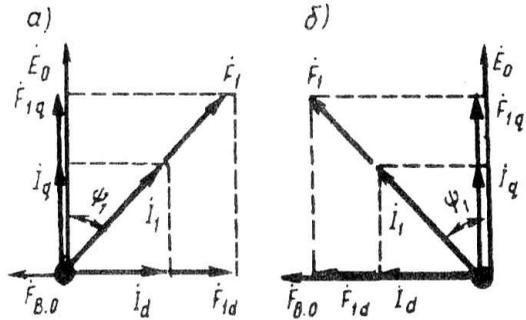


Рис. 2.3.3. Реакция якоря при смешанной нагрузке

При активно-индуктивной нагрузке (рис. 2.3.3., а) вектор F_1^* отстает от вектора E_0^* на угол $0 < \psi_1 < 90^\circ$. Разложим вектор F_1 на оставляющие: продольную составляющую МДС статора, $F_{1d} = F_1 \sin \psi_1$ и поперечную составляющую МДС статора $F_{1q} = F_1 \cos \psi_1$. Такое же разложение МДС якоря F_1 на составляющие можно сделать в случае активно-емкостной нагрузки (рис. 2.3.3., б). Поперечная составляющая МДС статора F_{1q} , представляющая собой МДС реакции якоря по поперечной оси, пропорциональна активной составляющей тока нагрузки $I_q = I_1 \cos \psi$, т. е.

$$F_{1q} = F_1 \cos \psi_1 \tag{2.3.1}$$

а продольная составляющая МДС статора (якоря) F_{1d} представляющая собой МДС реакции якоря по продольной оси, пропорциональна реактивной составляющей тока нагрузки $I_d = I_1 \sin \psi_1$, т. е.

$$F_{1d} = F_1 \sin \psi_1 \quad (2.3.2)$$

При этом если реактивная составляющая тока нагрузки отстает по фазе от ЭДС E_0^* (нагрузка активно-индуктивная), то МДС F_{1d} размагничивает генератор, если же реактивная составляющая тока I_d^* опережает по фазе ЭДС E_0^* (нагрузка активно-емкостная), то МДС F_{1d} подмагничивает генератор.

Направление вектора F_{1d} относительно вектора F_{B0}^* определяется характером реакции якоря, который при токе нагрузки I_1^* , отстающем по фазе от ЭДС E_0^* , является размагничивающим, а при токе I_1^* , опережающем по фазе ЭДС E_0^* , — подмагничивающим.

Вопрос 4. Влияние реакции якоря на работу синхронной машины. Уравнение напряжений синхронного генератора

Реакция якоря оказывает влияние на рабочие свойства синхронной машины, так как изменение магнитного поля в машине сопровождается изменением ЭДС, наведенной в обмотке статора, а, следовательно, изменением и ряда других величин, связанных с этой ЭДС. Влияние реакции якоря на работу синхронной машины зависит от значения и характера нагрузки.

1. МДС обмотки возбуждения F_{B0} , создает магнитный поток возбуждения Φ_0 , который, сцепляясь с обмоткой статора, наводит в ней основную ЭДС генератора E_0 .

2. МДС реакции якоря по продольной оси F_{1d} создает магнитный поток Φ_{1d} , который наводит в обмотке статора ЭДС реакции якоря E_{1d} , значение которой пропорционально индуктивному сопротивлению реакции якоря по продольной оси x_{ad} . Это сопротивление характеризует уровень влияния реакции якоря по продольной оси на работу синхронного генератора. Так, при насыщенной магнитной системе машины магнитный поток реакции якоря Φ_{1d} меньше, чем при ненасыщен-

ной магнитной системе. Объясняется это тем, что поток Φ_{1d} почти полностью проходит по стальным участкам магнитопровода, преодолевая небольшой воздушный зазор, а поэтому при магнитном насыщении сопротивление этому потоку заметно возрастает. При этом индуктивное сопротивление x_{1d} уменьшается.

3. МДС реакции якоря по поперечной оси F_{1q} создает магнитный поток Φ_{1q} , который наводит в обмотке статора ЭДС E_{1q} , значение которой пропорционально индуктивному сопротивлению реакции якоря по поперечной оси x_{aq} . Сопротивление x_{aq} не зависит от магнитного насыщения машины, так как при явнополюсном роторе поток Φ_{1q} проходит в основном по воздуху межполюсного пространства. 4. Магнитный поток рассеяния обмотки статора $\Phi_{\sigma 1}$ наводит в обмотке статора ЭДС рассеяния $E_{\sigma 1}$, значение которой пропорционально индуктивному сопротивлению рассеяния фазы обмотки статора x_1 :

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j I_1 x_1 \quad (2.3.3.)$$

5. Ток в обмотке статора I_1 создает активное падение напряжения в активном сопротивлении фазы обмотки статора r_1 :

$$\dot{U}_{a1} = \dot{I}_1 r_1 \quad (2.3.3.)$$

Геометрическая сумма всех перечисленных ЭДС, наведенных в обмотке статора, определяет напряжение на выходе синхронного генератора:

$$\dot{U}_1 = \sum \dot{E} - \dot{I}_1 r_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{1d} + \dot{E}_{1q} + \dot{E}_{\sigma 1} - \dot{I}_1 r_1 \quad (2.3.4.)$$

Здесь $\sum \dot{E}$ — геометрическая сумма всех ЭДС, наведенных в обмотке статора результирующим магнитным полем машины, образованным совместным действием всех МДС ($F_{в.0}$, F_{1d} , F_{1q}) и потоком рассеяния статора $\Phi_{\sigma 1}$.

Активное сопротивление фазы обмотки статора r_1 у синхронных машин средней и большой мощности невелико, и поэтому даже при номинальной нагрузке падение напряжения $I_1 r_1$ составляет настолько малую величину, что с некоторым допущением можно принять $I_1 r_1 = 0$. Тогда уравнение (2.3.4.) можно записать в виде

$$U_1 \approx \sum E = E_0 + E_{ld} + E_{lq} + E_{\sigma 1} \quad (2.3.5.)$$

Выражения (2.3.4) и (2.3.5.) представляют собой уравнения напряжений явнополюсного синхронного генератора.

Вопрос 5. Параметры явнополюсного синхронного генератора

К основным параметрам синхронных генераторов относят: номинальные значения напряжения, силы тока нагрузки, мощности, силы тока возбуждения, коэффициента мощности, частоты.

1. Номинальное напряжение генератора соответствует одному из значений шкалы 230, 400, 690 В, 6,3 и 10,5 кВ. Следовательно, напряжение на зажимах генераторов принято на 5% выше стандартных напряжений токоприемников. Генераторы большей мощности изготавливают на напряжение от 3,15 до 24 кВ.

2. Номинальная сила тока нагрузки — это сила тока, на которую рассчитан тепловой режим генератора. Допускаются кратковременные перегрузки в аварийных режимах: на 10% продолжительностью 60 мин, на 15% — 15 мин, на 20% — 6 мин, на 25% — 5 мин, на 50% — 2 мин, на 100% — 1 мин. Более длительная перегрузка опасна для изоляции обмоток. Это относится и к току возбуждения.

3. Номинальная мощность — это длительно развиваемая мощность при номинальных значениях напряжения, силы тока и коэффициента мощности при номинальной нагрузке и температуре + 35 °С охлаждающего воздуха (входящего в генератор). Длительно допустимая температура нагрева обмоток указана в инструкции по эксплуатации генераторов. Она зависит от класса изоляции обмоток и в большинстве случаев должна превышать Ю0...120°С для статорных обмоток и 105...145°С для роторных.

4. Номинальный коэффициент мощности обычно равен 0,8. При боте генератора с меньшим коэффициентом мощности активная мощность его снижается, не полно используется мощность первичного двигателя.

5. Номинальная частота тока в нашей стране принята равной 50 Гц. В ряде установок применяют генераторы повышенной частоты (150, 200, 00 Гц и др.).

6. Заводы-изготовители прилагают к генераторам характеристики холостого хода и короткого замыкания. Эти характеристики необходим в процессе проектирования и эксплуатации электростанций, в

частоты при решении вопросов об устойчивости параллельной работы синхронных генераторов, регулировании напряжения и компаунди-роии, а также при расчетах токов короткого замыкания в целях выбора необходимой релейной защиты и т. д.

Контрольные вопросы:

1. Из каких участков состоит магнитная цепь явнополюсной синхронной машины?
2. В чем состоит явления реакции якоря?
3. Каково действие реакции якоря при активной, индуктивной и емкостной нагрузках синхронного генератора?
4. Какие ЭДС наводят в обмотке статора явнополюсного синхронного генератора магнитные потоки реакции якоря?

Тема 2.4 Основные характеристики синхронных генераторов

Вопрос 1. Проведение испытания трехфазного синхронного генератора

Проведение испытаний для определения характеристики холостого хода сводится к включению трансформатора на холостом ходу с соответствующими приборами, приведенными на рисунке. При проведении испытания короткого замыкания, выводы обмотки статора замыкают накоротко (рис. 20.10, а) и при вращении ротора с частотой вращения n_1 постепенно увеличивают ток возбуждения до значения, при котором ток к.з. превышает номинальный рабочий ток статорной обмотки не более чем на 25% ($I_{1к} = 1,25 I_{1ном}$).

При проведении испытания для снятия внешней характеристики, необходимо подключить соответствующую нагрузку и увеличивать напряжение со снятием технических данных для ряда точек.

Для проведения испытания по снятию регулировочной характеристики необходимо подключить соответствующую нагрузку, и при увеличении роста нагрузки снимать показания приборов, увеличивая при этом пропорционально напряжение возбуждения.

Вопрос 2. Характеристики синхронного генератора, холостого хода, внешние, регулировочные, короткого замыкания

Характеристика **холостого хода синхронного генератора**. Представляет собой график зависимости напряжения на выходе генератора в режиме х.х. $U_1 = E_0$ от тока возбуждения $I_{в.0}$ при $n_1 = const$.

Схема включения синхронного генератора для снятия характеристики х.х. приведена на рис. 20.9, а. Если характеристики х.х. различных синхронных генераторов изобразить в относительных единицах $E^* = f(I_{в*})$, то эти характеристики мало отличаются друг от друга и будут очень схожи с нормальной характеристикой х.х. (рис. 2.4.1., б), которую используют при расчетах синхронных машин:

| | | | | | | | |
|----------|------|-----|------|------|------|------|------|
| E^* | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,33 | 1,40 | 1,46 | 1,51 |
| $I_{в*}$ | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |

Здесь $E^* = E_0 / U_{1ном}$ — относительная ЭДС фазы обмотки статора; $I_{в*} = I_{в0} / I_{в0ном}$ — относительный ток возбуждения; $I_{в0ном}$ — ток возбуждения в режиме х.х., соответствующий ЭДС х.х. $E_0 = U_{1ном}$

Характеристика короткого замыкания. ЭДС обмотки статора имеет значение, в несколько раз меньшее, чем в рабочем режиме генератора, и, следовательно, основной магнитный поток весьма мал, то магнитная цепь машины оказывается ненасыщенной. По этой причине характеристика к.з. представляет собой прямую линию (рис. 2.4.2., б). Активное сопротивление обмотки статора невелико по сравнению с ее индуктивным сопротивлением, поэтому, принимая $r_1 \approx 0$, можно считать, что при опыте к.з. нагрузка синхронного генератора (его собственные обмотки) является чисто индуктивной. Из этого следует, что при опыте к.з. реакция якоря синхронного генератора имеет продольно-размагничивающий характер.

Векторная диаграмма, построенная для генератора при опыте трехфазного к.з., представлена на рис. 2.4.2., в. Из диаграммы видно, что ЭДС E_k^* индуцируемая в обмотке статора, полностью уравновешивается ЭДС продольной реакции якоря $E_{1d}^* = -j I_d^* x_{ad}$ и ЭДС рассеяния $E_{\sigma 1}^* = -j I_1^* x_1$.

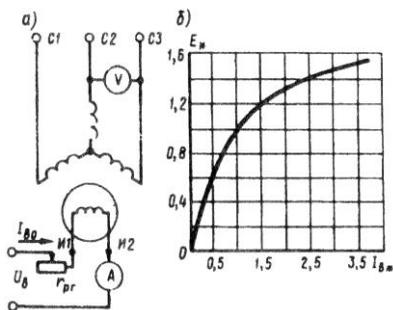


Рис. 2.4.1. Опыт холостого хода синхронного генератора

При этом МДС обмотки возбуждения имеет как бы две составляющие: одна компенсирует падение напряжения $j I_1 X_1$, а другая компенсирует размагничивающее влияние реакции якоря $j I_d X_{ad}$.

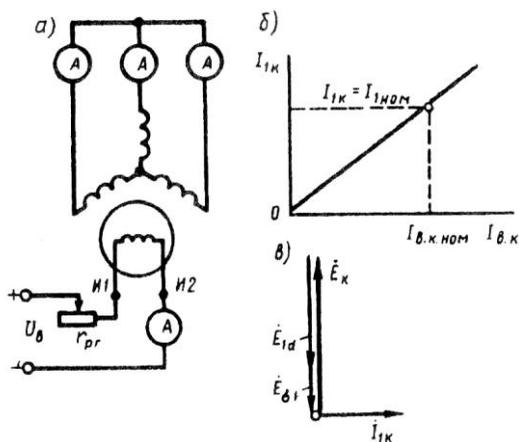


Рис. 2.4.2. Опыт короткого замыкания синхронного генератора

Характеристики к.з. и х.х. дают возможность определить значения токов возбуждения, соответствующие указанным составляющим МДС возбуждения. С этой целью характеристики х.х. и к.з. строят в одних осях (рис. 2.4.3.), при этом на оси ординат отмечают относительные значения напряжения х.х. $E^* = E_0 / U_{1ном}$ и тока к.з. $I_{к*} = I_{1к} / I_{1ном}$. На оси ординат откладывают отрезок ОВ, выражающий в масштабе напряжения относительное значение ЭДС рассеяния

$$E_{\sigma 1^*} = -j I_1 x_1 / U_{1 \text{ ном}}.$$

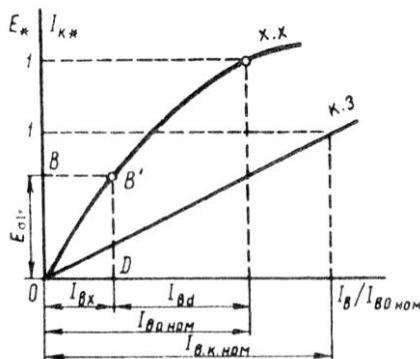


Рис. 2.4.3. Определение составляющих тока к.з.

Затем точку В сносят на характеристику х.х. (точка В') и опускают перпендикуляр В'D на ось абсцис. Полученная точка D разделила ток возбуждения $I_{\text{в0 ном}}$ на две части: $I_{\text{вк}}$ — ток возбуждения, необходимый для компенсации падения напряжения $j I_1 x_1$, и $I_{\text{вд}}$ — ток возбуждения, компенсирующий продольно-размагничивающую реакцию якоря.

Один из важных параметров синхронной машины — отношение короткого замыкания (ОКЗ), которое представляет собой отношение тока возбуждения $I_{\text{в0 ном}}$, соответствующего номинальному напряжению при х.х., к току возбуждения $I_{\text{в.к. ном}}$ соответствующему номинальному току статора при опыте к.з. (2.4.2., 6):

$$\text{ОКЗ} = I_{\text{в0 ном}} / I_{\text{в.к. ном}}. \quad (2.4.1.)$$

Для турбогенераторов $\text{ОКЗ} = 0,4 \div 0,7$; для гидрогенераторов $\text{ОКЗ} = 1,0 \div 1,4$.

ОКЗ имеет большое практическое значение при оценке свойств синхронной машины: машины с малым ОКЗ менее устойчивы при параллельной работе, имеют значительные колебания напряжения при изменениях нагрузки, но такие машины имеют меньшие габариты и, следовательно, дешевле, чем машины с большим ОКЗ.

Внешняя характеристика. Представляет собой зависимость напряжения на выводах обмотки статора от тока нагрузки: $U_1 = f(I_1)$ при $I_b = \text{const}$; $\cos \varphi_1 = \text{const}$; $n_1 = n_{\text{ном}} = \text{const}$. На рис. 2.4.4., а представлены внешние характеристики, соответствующие различным по характеру нагрузкам синхронного генератора.

При активной нагрузке ($\cos \varphi_1 = 1$) уменьшение тока нагрузки I_1 сопровождается ростом напряжения U_1 , что объясняется уменьшением падения напряжения в обмотке статора и ослаблением размагничивающего действия реакции якоря по поперечной оси. При индуктивной нагрузке ($\cos \varphi_1 < 1$; инд.) увеличение U_1 при сбросе нагрузки более интенсивно, так как с уменьшением тока I_1 ослабляется размагничивающее действие продольной составляющей реакции якоря. Однако в случае емкостной нагрузки генератора ($\cos \varphi_1 < 1$; емк.) уменьшение I_1 сопровождается уменьшением напряжения U_1 , что объясняется ослаблением подмагничивающего действия продольной составляющей реакции якоря. Изменение напряжения синхронного генератора, вызванное сбросом номинальной нагрузки при $I_b = \text{const}$ и $n_1 = \text{const}$, называется номинальным изменением (повышением) напряжения (%):

$$\Delta U_{\text{ном}} = \frac{E_0 - U_{1\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}} \cdot 100 \quad (2.4.2.)$$

При емкостной нагрузке генератора сброс нагрузки вызывает уменьшение напряжения, а поэтому $\Delta U_{1\text{ном}}$ отрицательно.

В процессе эксплуатации синхронного генератора напряжение U_1 при колебаниях нагрузки поддерживается неизменным посредством действующих автоматических регуляторов. Однако во избежание повреждения изоляции обмотки $\Delta U_{\text{ном}}$, не должно превышать 50%.

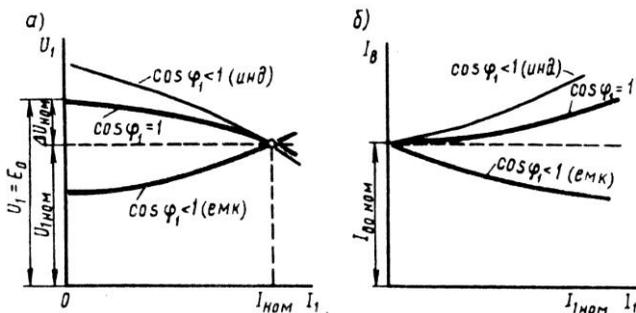


Рис. 2.4.4.. Внешние (а) и регулировочные (б) характеристики синхронного генератора

Регулировочная характеристика. Она показывает, как следует изменять ток возбуждения генератора при изменениях нагрузки, чтобы напряжение на зажимах генератора оставалось неизменно равным номинальному: $I_b = f(I_1)$ при $U_1 = U_{1ном} = \text{const}$; $n_1 = n_{ном} = \text{const}$ и $\cos \varphi_1 = \text{const}$. На рис. 2.4.4., б представлены регулировочные характеристики синхронного генератора. При активной нагрузке ($\cos \varphi_1 = 1$) увеличение тока нагрузки I_1 сопровождается уменьшением напряжения U_1 , поэтому для поддержания этого напряжения неизменным по мере увеличения тока нагрузки I_1 следует повышать ток возбуждения. Индуктивный характер нагрузки ($\cos \varphi_1 < 1$; инд.) вызывает более резкое понижение напряжения U_1 (рис. 2.4.4., а), поэтому ток возбуждения I_b , необходимый для поддержания $U_1 = U_{1ном}$ следует повышать в большей степени. При емкостном же характере нагрузки ($\cos \varphi_1 < 1$; емк.) увеличение нагрузки сопровождается ростом напряжения U_1 , поэтому для поддержания $U_1 = U_{1ном}$ ток возбуждения следует уменьшать.

Вопрос 3. Понятие о сверхпереходном индуктивном сопротивлении якоря с генератора

Полный (ударный) ток короткого замыкания обмотки якоря равен

$$i_k = i_n + i_a,$$

где i_n - мгновенное значение периодического тока обмотки якоря; i_a - мгновенное значение аperiodического тока обмотки якоря.

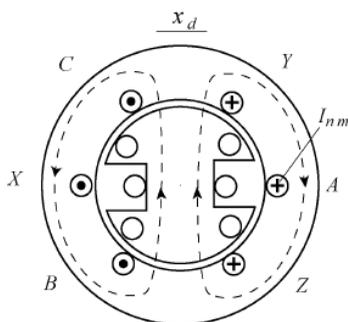


Рис.2.4.5.

Мгновенное значение тока короткого замыкания по мере протекания переходного процесса имеет три наименования: сверхпереходное, переходное, установившееся.

Сверхпереходный ток обмотки якоря обусловлен продольным сверхпереходным индуктивным сопротивлением обмотки якоря X_d'' , которое определяется действием успокоительной обмотки и обмотки возбуждения.

Переходный ток якоря обусловлен продольным переходным индуктивным сопротивлением обмотки якоря X_d' , которое определяется

действием обмотки возбуждения.

Установившийся ток короткого замыкания определяется синхронным индуктивным сопротивлением по продольной оси X_d (рис.2.4.5.).

Контрольные вопросы:

1. Почему при опыте короткого замыкания нагрузка синхронного генератора является чисто индуктивной?
2. Почему при опыте короткого замыкания нельзя превышать номинальный рабочий ток в статорной обмотке более чем на 25%?
3. Какие значения можно определить с помощью характеристики короткого замыкания?
4. Что такое отношение короткого замыкания?
5. Какое практическое значение оно имеет?
6. Какой вид имеет внешняя характеристика при активной, индуктивной и емкостной нагрузках?

Тема 2.5 Параллельная работа синхронного генератора с сетью

Вопрос 1. Подключение генератора на параллельную работу с сетью

При включении синхронного генератора в сеть на параллельную работу необходимо соблюдать следующие условия: ЭДС генератора E_0 в момент подключения его к сети должна быть равна и противоположна по фазе напряжению сети ($\dot{E}_r = -\dot{U}_c$), частота ЭДС генератора f_r должна быть равна частоте переменного напряжения в сети f_c ; порядок следования фаз на выводах генератора должен быть таким же, что и на зажимах сети.

Вопрос 2. Параллельная работа синхронного генератора с сетью бесконечно большой мощности

Обычно совместно на одну сеть работают несколько синхронных генераторов и мощность любого из них намного меньше суммарной мощности всех остальных генераторов. Будем считать, что синхронный генератор подключают на параллельную работу с други-

ми генераторами, суммарная мощность которых настолько велика по сравнению с мощностью подключаемого генератора, что при любых изменениях параметров этого генератора напряжение сети U_C и ее частота f_C остаются неизменными.

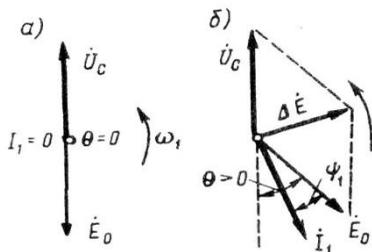


Рис. 2.5.1 Векторные диаграммы синхронного генератора, включённого на параллельную работу в сеть большой мощности: а – при работе без нагрузки; б – при работе с нагрузкой.

После подключения генератора в сеть при соблюдении всех условий синхронизации его ЭДС E_0 равна по значению и противоположна по фазе напряжению сети (рис. 2.5.1., а), поэтому ток в цепи генератора равен нулю, т. е. генератор работает без нагрузки. Механическая мощность приводного двигателя P_I в этом случае полностью затрачивается на покрытие потерь х. х.: $P_0 = P_{мex} + P_{м1} + P_B + P_{II}$

Отсутствие тока в обмотке статора синхронного генератора 0) приводит к тому, что обмотка статора не создает вращающегося магнитного поля и в генераторе действует лишь магнитное поле возбуждения, вращающееся вместе с ротором с угловой частотой ω_1 , но не создающее электромагнитного момента.

Вопрос 3. Способы синхронизации

Приведение генератора в состояние, удовлетворяющее всем указанным условиям, называют *синхронизацией*. Несоблюдение любого из условий синхронизации приводит к появлению в обмотке статора больших уравнильных токов, чрезмерное значение которых может явиться причиной аварии.

Включить генератор в сеть с параллельно работающими генераторами можно или способом точной синхронизации, или способом самосинхронизации

Способ точной синхронизации. Сущность этого способа состоит в том, что, прежде чем включить генератор в сеть, его приводят в состояние, удовлетворяющее всем вышеперечисленным условиям. Мо-

мент соблюдения этих условий, т. е. момент синхронизации, определяют прибором, называемым *синхроскопом*. По конструкции синхроскопы разделяют на стрелочные и ламповые. Рассмотрим процесс синхронизации генераторов с применением лампового синхроскопа, который состоит из трех ламп 1, 2, 3, расположенных в вершинах равностороннего треугольника.

При включении ламп по схеме «на погасание» (рис. 2.5.1., а) момент синхронизации соответствует одновременному погасанию всех ламп. Предположим, что звезда ЭДС генератора $\dot{E}_A; \dot{E}_B; \dot{E}_C$ вращается с угловой частотой ω_2 , превышающей угловую частоту вращения ω_c звезды напряжений сети $\dot{U}_A; \dot{U}_B; \dot{U}_C$. В этом случае напряжение на лампах определяется геометрической суммой $\dot{E}_A + \dot{U}_A; \dot{E}_B + \dot{U}_B; \dot{E}_C + \dot{U}_C$ (рис. 2.5.1., б).

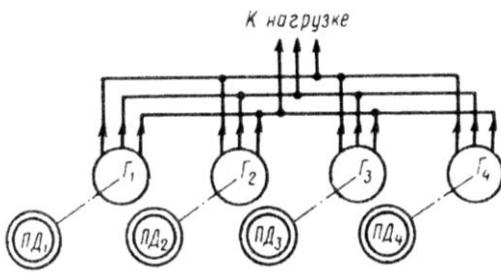


Рис. 2.5.2. Включение синхронных генераторов на параллельную работу:

$\Gamma_1 - \Gamma_4$ – синхронные генераторы, ПД1 - ПД4 - приводные двигатели

В момент совпадения векторов звезды ЭДС с векторами звезды напряжений эта сумма достигает наибольшего значения, при этом лампы горят с наибольшим накалом (напряжение на лампах равно удвоенному напряжению сети). В последующие моменты времени звезда ЭДС обгоняет звезду напряжений, и напряжение на лампах уменьшается. В момент синхронизации векторы ЭДС и напряжений занимают положение, при котором $\dot{E}_A + \dot{U}_A = 0; \dot{E}_B + \dot{U}_B = 0; \dot{E}_C + \dot{U}_C = 0$,

т.е. $U_{Л} = 0$, и все три лампы одновременно гаснут (рис. 21.2, в). При большой разности угловых частот ω_2 и ω_C лампы вспыхивают часто. Изменяя частоту вращения первичного двигателя, добиваются равенства $\omega_2 = \omega_C$, о чем будет свидетельствовать погасание ламп на длительное время. В этот момент и следует замкнуть рубильник, после чего генератор окажется подключенным к сети.

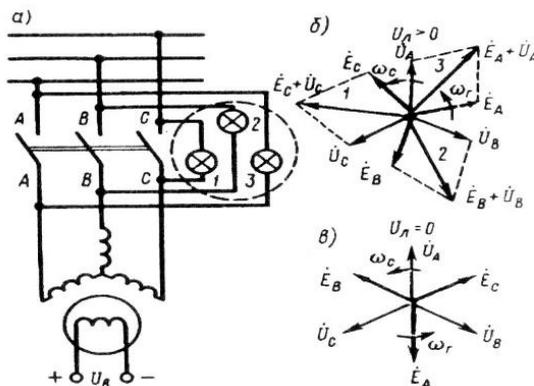


Рис. 2.5.3. Ламповый синхроскоп

Способ самосинхронизации. Ротор невозбужденного генератора приводят во вращение первичным двигателем до

частоты вращения, отличающейся от синхронной не более чем на 2—5%, затем генератор подключают к сети. Для того чтобы избежать перенапряжений в обмотке ротора в момент подключения генератора к сети, ее замыкают на некоторое активное сопротивление. Так как в момент подключения генератора к сети его ЭДС равна нулю (генератор не возбужден), то под действием напряжения сети в обмотке статора наблюдается резкий бросок тока, превышающий номинальное значение тока генератора. Вслед за включением обмотки статора в сеть подключают обмотку возбуждения к источнику постоянного тока и синхронный генератор под действием электромагнитного момента, действующего на его ротор, втягивается в синхронизм, т. е. частота вращения ротора становится синхронной. При этом ток статора быстро уменьшается.

При самосинхронизации в генераторе протекают сложные электромеханические переходные процессы, вызывающие значительные механические воздействия на обмотки, подшипники и муфту, соединяющую генератор с турбиной. Влияние этих воздействий на надежность генератора учитывается при проектировании синхронных генераторов. Способ самосинхронизации (грубой синхронизации) обычно

применяют в генераторах при их частых включениях. Этот способ прост и легко автоматизируется.

Вопрос 4. Понятие об угловой характеристике, U-образные характеристики

Электромагнитная мощность *неявнополюсного* синхронного генератора при его параллельной работе с сетью

$$P_{ЭМ.Н} = m_1 U_1 E_0 \sin \theta / x_c \quad (2.5.1.)$$

где θ - угол, на который продольная ось ротора смещена относительно продольной оси результирующего поля машины (рис. 21.4).

Электромагнитная мощность явнополюсного синхронного генератора

$$P_{ЭМ.Н} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (2.5.2.)$$

где $x_d = x_{ad} + x_1$ и $x_q = x_{aq} + x_1$ — синхронные индуктивные сопротивления явнополюсной синхронной машины по продольно и поперечной осям соответственно, Ом.

Разделив выражения (2.5.1.) и (2.5.2.) на синхронную угловую скорость вращения ω_1 , получим выражения электромагнитных моментов:

неявнополюсной синхронной машины

$$M_n = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_c} \sin \theta \quad (2.5.3.)$$

явнополюсной синхронной машины

$$M_я = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2 \omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (2.5.4.)$$

где M — электромагнитный момент, Нм.

Анализ выражения (2.5.4) показывает, что электромагнитный момент явнополюсной машины имеет две составляющие: одна из них представляет собой *основную составляющую электромагнитного момента*

$$M_{осн} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta. \quad (2.5.5.)$$

другая — *реактивную составляющую*

$$M_p = \frac{m_1 U_1^2}{2 \omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta. \quad (2.5.6.)$$

Основная составляющая электромагнитного момента $M_{осн}$ явнополюсной синхронной машины зависит не только от напряжения сети ($M_{осн} \equiv U_1$), но и от ЭДС E_0 , наведенной магнитным потоком вращающегося ротора Φ в обмотке статора

$$E_0 = 4,44 f_1 \Phi w_1 k_{об1}. \quad (2.5.7.)$$

Это свидетельствует о том, что основная составляющая электромагнитного момента $M_{осн}$ зависит от магнитного потока ротора: $M_{осн} \equiv \Phi$. Отсюда следует, что в машине с невозбужденным ротором ($\Phi = 0$) основная составляющая момента $M_{осн} = 0$.

Реактивная составляющая электромагнитного момента M_p не зависит от магнитного потока полюсов ротора. Для возникновения этой составляющей достаточно двух условий: во-первых, чтобы ротор машины имел явновыраженные полюсы ($x_q \neq x_d$) и, во-вторых, чтобы к обмотке статора было подведено напряжение сети ($M_p \equiv U_1^2$).

При увеличении нагрузки синхронного генератора, т. е. с ростом тока I_l происходит увеличение угла θ , что ведет к изменению электромагнитной мощности генератора и его электромагнитного момента. Зависимости $P_{ЭМ} = f(\theta)$ и $M = f(\theta)$, представленные графически, называются *угловыми характеристиками синхронной машины*.

Рассмотрим угловые характеристики электромагнитной мощности $P_{ЭМ.Я} = f(\theta)$ и электромагнитного момента $M = f(\theta)$ явнополюсного синхронного генератора (рис. 21.5). Эти характеристики построены при условии постоянства напряжения сети ($U_C = const$) и магнитного потока возбуждения, т. е. $E_0 = const$. Из выражений (21.8) и (21.11) видим, что основная составляющая электромагнитного момента $M_{осн}$ и соответствующая ей составляющая электромагнитной мощности изменяются пропорционально синусу угла θ (график 1), а реактивная составляющая момента и соответствующая ей составляющая электромагнитной мощности изменяется пропорционально синусу угла 2θ (график 2). Зависимость результирующего момента $M_Я = M_{осн} + M_p$ и электромагнитной мощности $P_{ЭМ}$ от угла θ определяется графиком 3, полученным сложением значений моментов $M_{осн}$ и M_p и соответствующих им мощностей по ординатам.

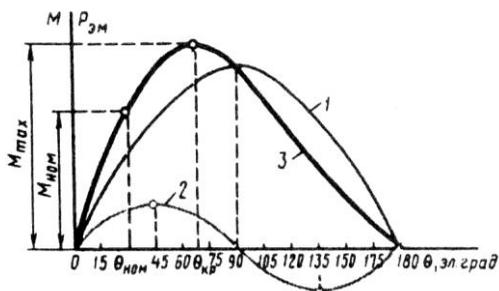


Рис. 2.5.4. Угловая характеристика синхронного генератора.

Максимальное значение электромагнитного момента M_{max} со-

ответствует критическому значению угла $\theta_{кр}$.

Как видно из результирующей угловой характеристики (график 3), при увеличении нагрузки синхронной машины до значений, соответствующих углу $\theta \leq \theta_{кр}$, синхронная машина работает устойчиво.

Объясняется это тем, что при $\theta \leq \theta_{кр}$, рост нагрузки генератора (увеличение θ) сопровождается увеличением электромагнитного момента. В этом случае любой установившейся нагрузке соответствует равенство вращающего момента первичного двигателя M_1 сумме противодействующих моментов, т. е. $M_1 = M_Я + M_0$. В результате частота вращения ротора остается неизменной, равной синхронной частоте вращения.

При нагрузке, соответствующей углу $\theta > \theta_{кр}$, электромагнитный момент $M_я$, уменьшается, что ведет к нарушению равенства вращающего и противодействующих моментов. При этом избыточная (неуравновешенная) часть вращающего момента первичного двигателя $\Delta M = M_1 - (M_Я + M_0)$ вызывает увеличение частоты вращения ротора, что ведет к нарушению условий синхронизации (машина выходит из синхронизма).

Электромагнитный момент, соответствующий критическому значению угла ($\theta_{кр}$), является максимальным M_{max} .

Для явнополусных синхронных машин $\theta_{кр} = 60 \div 80$ эл. град.

Угол $\theta_{кр}$ можно определить из формулы

$$\cos \theta_{кр} = \sqrt{\beta^2 + 0,5 - \beta} \quad (2.5.8.)$$

$$\text{Здесь } \beta = E_0 / [4U_1(x_d / x_q - 1)] \quad (2.5.9.)$$

У неявнополусных синхронных машин $M_{кр} = 0$, а поэтому угловая характеристика представляет собой синусоиду и угол $\theta_{кр} = 90^\circ$.

Отношение максимального электромагнитного момента M_{max} к

номинальному $M_{ном}$ называется *перегрузочной способностью синхронной машины* или *коэффициентом статической перегружаемости*

$$\lambda = M_{\max} / M_{ном} = 1,4 \div 3. \quad (2.5.10)$$

Пренебрегая реактивной составляющей момента, можно записать

$$\lambda \approx 1 / \sin \theta_{ном}, \quad (2.5.11)$$

т.е. чем меньше угол $\theta_{ном}$, соответствующий номинальной нагрузке синхронной машины, тем больше ее перегрузочная способность. Например, у турбогенератора $\theta_{ном} = 25 \div 30^\circ$, что соответствует $\lambda = 2,35 \div 2,0$.

U-образные характеристики синхронного генератора

Ранее мы рассматривали параллельную работу синхронного генератора при неизменном токе возбуждения. Что же произойдет в синхронном генераторе, если после подключения его к сети для параллельной работы изменить ток в его обмотке возбуждения, оставив неизменным вращающий момент приводного двигателя? Предположим, что генератор после подключения на сеть работает без нагрузки и

его ЭДС \dot{E}_0 уравнивает напряжение сети \dot{U}_C . Если в этом увеличить ток в обмотке возбуждения, т. е. *перевозбудить* машину, то ЭДС \dot{E}_0 увеличится до значения \dot{E}'_0 и в цепи генератора появится избыточная ЭДС $\Delta \dot{E} = \dot{E}'_0 - \dot{U}_C$ (рис. 2.5.5, а), вектор которой совпадает по направлению с вектором ЭДС \dot{E}_0 . Ток \dot{I}_d , вызванный ЭДС $\Delta \dot{E}$, будет отставать от нее по фазе на 90° (поскольку $r_1 \approx 0$). По отношению к ЭДС \dot{E}_0 этот ток также будет отстающим (индуктивным). С увеличением перевозбуждения значение реактивного (индуктивного) тока увеличится.

Если же после того, как генератор подключен к сети, уменьшить

ток возбуждения, т. е. *недовозбудить* машину, то ЭДС \dot{E}_0 уменьшится до значения \dot{E}_0'' и в цепи генератора опять будет действовать избыточная ЭДС $\Delta\dot{E} = \dot{U}_C$. Теперь вектор этой ЭДС будет совпадать по направлению с вектором напряжения сети \dot{U}_C (рис. 21.10, б), и поэтому ток \dot{I}_d , вызванный этой ЭДС и отстающим от нее по фазе на 90° , будет опережающим (емкостным) по отношению к ЭДС генератора \dot{E}_0 .

Показанное на векторных диаграммах можно объяснить следующим. При перевозбуждении генератора увеличивается МДС возбуждения $F_0 = I_B W_B$.

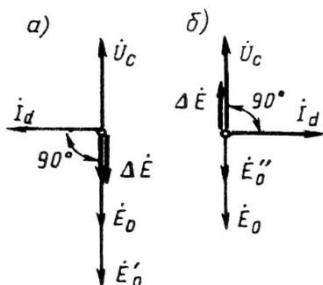


Рис. 2.5.5. Векторные диаграммы ЭДС синхронного генератора, включённого на параллельную работу.

Это сопровождается появлением в обмотке статора реактивного тока I_d , которым по отношению к ЭДС является отстающим (индуктивным).

Вы званная этим током продольно-размагничивающая реакция якоря компенсирует избыточную МДС возбуждения так, что ЭДС генератора остается неизменной. Такой же процесс происходит и при недовозбуждении генератора с той лишь разницей, что в обмотке появляется опережающий (емкостный) ток I_d , а вызванная этим током продольно-намагничивающая реакция якоря компенсирует недостающую МДС возбуждения.

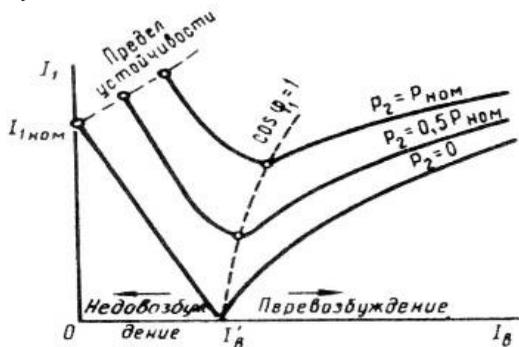


Рис. 2.5.6. У-образные характеристики синхронного

генератора

Следует иметь в виду, что ток I_d , отстающий по фазе от ЭДС \dot{E}_0 , по отношению к напряжению сети \dot{U}_C является опережающим током и, наоборот, ток I_d , опережающий по фазе ЭДС \dot{E}_0 , является отстающим по отношению к напряжению \dot{U}_C .

Если при всех изменениях тока возбуждения вращающий момент приводного двигателя остается неизменным, то также неизменной остается активная мощность генератора:

$$P_2 = m_1 U_C I_1 \cos \varphi_1 = const$$

Из этого выражения следует, что при $U_C = const$ активная составляющая тока статора $I_q = I_1 \cos \varphi_1 = const$.

Таким образом, *степень возбуждения синхронного генератора влияет только на реактивную составляющую тока статора*. Что же касается активной составляющей тока $I_q = I_1 \cos \varphi_1$, то она остается неизменной.

Зависимость тока статора I_1 от тока в обмотке возбуждения I_B при неизменной активной нагрузке генератора выражается графически U-образной кривой. На рис. 2.5.6. представлены U-образные характеристики $I_1 = f(I_B)$ при $P_2 = const$, построенные для разных значений активной нагрузки: $P_2 = 0$; $P_2 = 0,5 P_{ном}$ и $P_2 = P_{ном}$. U-образные характеристики синхронного генератора показывают, что любой нагрузке генератора соответствует такое значение тока возбуждения I'_B , при котором ток статора I_1 становится минимальным и равным только активной составляющей: $I_{1min} = I_1 \cos \varphi_1 = I_q$. В этом случае генератор работает при коэффициенте мощности $\cos \varphi_1 = 1$. Значения тока возбуждения, соответствующие $\cos \varphi_1 = 1$ при различной нагрузке генератора, показаны на рис. 2.5.6. пунктирной кри-

вой. Некоторое отклонение этой кривой вправо указывает на то, что при увеличении нагрузки ток возбуждения, соответствующий $\cos \varphi_1 = 1$, несколько возрастает. Объясняется это тем, что при росте нагрузки необходимо некоторое увеличение тока возбуждения, компенсирующее активное падение напряжения.

Необходимо иметь в виду, что при постепенном уменьшении тока возбуждения наступает такое минимальное его значение, при котором магнитный поток обмотки возбуждения оказывается настолько ослабленным, что синхронный генератор выпадает из синхронизма — нарушается магнитная связь между возбужденными полюсами ротора и вращающимся полем статора. Если соединить все точки минимально допустимых значений тока возбуждения на U-образных характеристиках (штриховая линия в левой части рис. 2.5.6.), то получим линию *предела устойчивости* работы синхронного генератора при недо возбуждении.

С точки зрения уменьшения потерь генератора наиболее выгодным является возбуждение, соответствующее минимальному току статора, т. е. когда $\cos \varphi_1 = 1$. Но в большинстве случаев нагрузка генератора имеет индуктивный характер и для компенсации индуктивных токов (отстающих по фазе от напряжения сети) приходится несколько перевозбудить генератор, создавая условия, при которых ток статора \dot{I}_1 , опережает по фазе напряжение сети \dot{U}_C . Следует отметить, что для сохранения $\cos \varphi_1$, неизменным при изменениях активной нагрузки генератора требуется одновременное изменение тока возбуждения генератора.

Контрольные вопросы:

1. Что такое синхронизация работы генератора и сети?
2. Назовите основные виды синхронизации включения генераторов на параллельную работу с сетью.
3. В чем заключается сущность методов точной и самосинхронизации? Их преимущества и недостатки.
4. Дайте определение «напряжения биения», «момента оптимума».
5. Назовите основные типы устройств для автоматизации процесса синхронизации. Их преимущества и недостатки.
6. Какими методами осуществляется автоматическое регулирование частоты вращения гидро- и турбоагрегатов?
7. Опишите, какие принципы лежат в основе построения авто-

матики регулирования мощности гидро- и турбоагрегатов.

8. Какими способами осуществляется автоматическое регулирование величины напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов?

9. Опишите основные виды возбудителей синхронных машин; их принципы построения, преимущества и недостатки.

Тема 2.6 Синхронные двигатели и компенсаторы

Вопрос 1. Общие сведения о синхронных двигателях и компенсаторах

Синхронные двигатели находят применение для привода машин постоянной скорости (насосы, компрессоры, вентиляторы).

Синхронным компенсатором называется синхронный двигатель облегчённой конструкции, предназначенный для работы на холостом ходу.

Основные потребители электрической энергии, кроме активной мощности, потребляют от генераторов системы реактивную мощность. К числу потребителей, требующих большие намагничивающие реактивные токи для создания и поддержания магнитного потока, относятся асинхронные двигатели, трансформаторы, индукционные печи и другие. В связи с этим распределительные сети обычно работают с отстающим током.

Реактивная мощность, вырабатываемая генератором, получается с наименьшими затратами. Однако передача реактивной мощности от генераторов связана с дополнительными потерями в трансформаторах и линиях передач. Поэтому для получения реактивной мощности становится экономически выгодным применение синхронных компенсаторов, располагаемых на узловых подстанциях системы или непосредственно у потребителей.

Синхронные двигатели благодаря возбуждению постоянным током они могут работать с $\cos = 1$ и не потребляют при этом реактивной мощности из сети, а при работе, с перевозбуждением отдают реактивную мощность в сеть. В результате улучшается коэффициент мощности сети и уменьшаются падение напряжения и потери в ней, а также повышается коэффициент мощности генераторов, работающих на электростанциях.

Вопрос 2. Устройство двигателя, принцип действия

Статор двигателя переменного тока состоит из корпуса, сердечника и обмотки. Сердечник статора имеет шихтованную конструкцию,

т. е. представляет собой пакет пластин, полученных методом штамповки из листовой электротехнической стали. Пластины предварительно покрывают с двух сторон тонкой изоляционной пленкой, например, слоем лака. На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых располагаются проводники обмотки статора. Обмотка статора выполняется из медных обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения.

Для объяснения принципа работы синхронного двигателя представим себе синхронный генератор, включенный на параллельную работу в сеть большой мощности.

Допустим, приводной двигатель вращает ротор генератора против часовой стрелки с угловой скоростью ω_1 . При этом нагрузка генератора такова, что продольная ось полюсов ротора $d-d'$ смещена относительно оси вращающегося поля $d'-d'$ на угол θ' в направлении вращения ротора (рис. 2.6.1, справа). Вращающий момент приводного двигателя M'_1 уравнивается суммой электромагнитного момента генератора M' и момента х.х. M_0 ($M'_1 = M' + M_0$). На угловой характеристике этому режиму генератора соответствует точка Γ .

Если уменьшать вращающий момент M'_1 , то нагрузка генератора начнет также уменьшаться, при этом будет уменьшаться угол θ' , а следовательно, и ток статора I_1). В итоге снизится величина электромагнитного момента M' и при вращающем моменте $M'_1 = M_0$ угол $\theta = 0$, т. е. генератор будет работать в режиме х. х. ($I_1 = 0$) и ЭДС генератора E_0 окажется в противофазе с напряжением сети U_C . Этому режиму на угловой характеристике соответствует точка пересечения осей координат (точка O на рис. 2.6.2). Если же вал синхронной машины отсоединить от приводного двигателя и создать на этом валу *тормозной момент*, т.е. момент нагрузки M_2 , направленный встречно вращению ротора машины, то произойдет смещение вектора ЭДС \dot{E}_0 на угол θ относительно его положения в режиме х. х. в сторону отставания (рис. 2.6.1, слева). При этом в цепи обмотки статора появится результирующая ЭДС $\Delta \dot{E} = \dot{E}_0 + \dot{U}_C$, которая создаст в обмотке статора ток \dot{I}_1 , отстающий по фазе от ЭДС ΔE на угол

90° (предполагается $r_1 \approx 0$) и отстающий по фазе от напряжения сети \dot{U}_{Ce} на угол φ_1 (в генераторном режиме ток \dot{I}_1 , отстает по фазе от ЭДС E_0 на угол ψ_1).

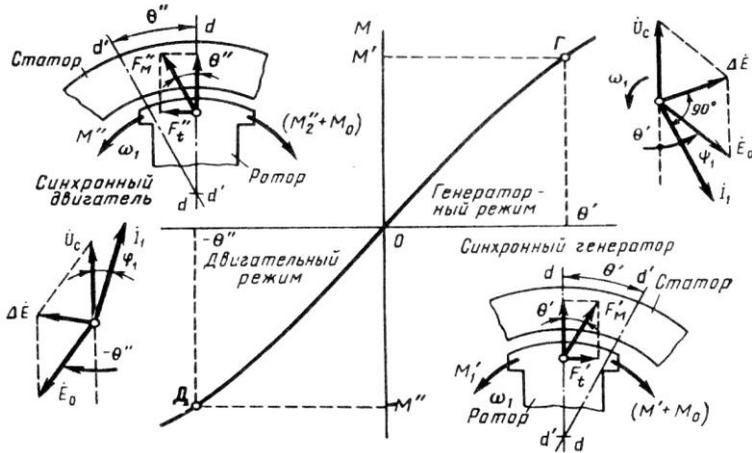


Рис. 2.6.1. Переход синхронной машины из генераторного режима в двигательный

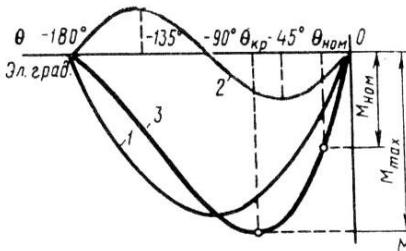


Рис. 2.6.2. Угловая характеристика синхронного двигателя

Ток I_1 создает магнитное поле, вращающееся синхронно с ротором, ось которого $d' - d'$ смещена относительно продольной оси полюсов ротора $d - d$ на угол $-\theta$. Допустим, работа двигателя происходит в режиме точки D на угловой характеристике (рис. слева), что соответствует углу $-\theta''$. Возникшие при этом тангенциальные составляющие сил магнитного взаимодействия полюсов $F_t'' = F_M'' \sin \theta''$ создадут на роторе двигателя электромагнитный момент M'' , направленный

согласно с вращающим магнитным полем и приводящий ротор во вращение с синхронной частотой ω_1 . При этом синхронная машина будет потреблять из сети электрическую энергию и преобразовывать ее в механическую энергию вращения.

Вопрос 3. Пуск в ход синхронного двигателя

В настоящее время практическое применение имеет способ пуска, получивший название *асинхронного*. Этот способ пуска возможен при наличии в полюсных наконечниках ротора пусковой обмотки (клетки), аналогичной успокоительной обмотке синхронного генератора. Схема включения двигателя при этом способе пуска приведена на рис. 2.6.3, а. Не возбужденный синхронный двигатель включают в сеть. Возникшее при этом вращающееся магнитное поле статора наводит в стержнях пусковой клетки ЭДС, которые создают токи I_2 .

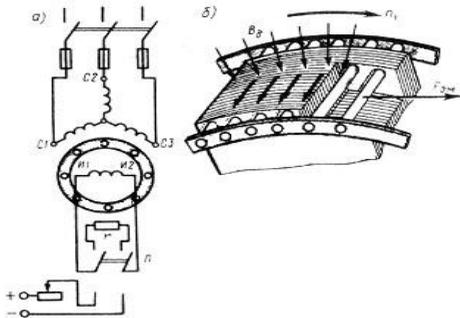


Рис. 2.6.3. Асинхронный пуск синхронного двигателя

Взаимодействии этих токов с полем статора вызывает появление

на стержнях пусковой клетки электромагнитных сил $F_{ЭМ}$. Под действием этих сил ротор приводится во вращение (рис. 2.6.3, б). После разгона ротора до частоты вращения, близкой к синхронной ($n_2 \approx 0,95n_1$), обмотку возбуждения подключают к источнику постоянного тока. Образующийся при этом синхронный момент .

Втягиваем ротор двигателя в синхронизм. После этого пусковая обмотка двигателя выполняет функцию успокоительной обмотки, ограничивая качания ротора .

Чем меньше нагрузка на валу двигателя, тем легче его вхождение в синхронизм. Явнополюсные двигатели малой мощности, пускаемые без нагрузки на валу, иногда входят в синхронизм лишь за счет реактивного момента, т. е. даже без включения обмотки возбуждения.

Вопрос 4. Понятие об электромагнитной мощности и мо-

МЕНТЕ ДВИГАТЕЛЯ

Активная мощность, потребляемая трехфазным синхронным двигателем из сети, равна утроенной фазной мощности

$$P = 3U_c I_c \cos \psi = 0$$

Если пренебречь потерями, которые относительно малы, то активная потребляемая мощность равна электромагнитной мощности, т. е. мощности, передаваемой магнитным полем из статора в ротор $P \approx P_{\text{эм}} = 3E_0 I_c \cos \psi$, где ψ — угол сдвига фаз между током и ЭДС.

Из треугольников Oca и acb векторной диаграммы на рис. 14.14, б следует, что отрезок $ac = mU_c \sin \theta = mX_{\text{эм}} I_c \cos \psi$, где m — масштабный коэффициент. Подставляя значение $I_c \cos \psi$ в выражение для $P_{\text{эм}}$, получаем для механической мощности на валу двигателя

$$P_{\text{мех}} \approx P_{\text{эм}} = \frac{3E_0 U_c}{X_{\text{эм}}} \sin \theta = P_{\text{эм}} \sin \theta$$

Механический момент на валу двигателя

$$M = \frac{P_{\text{мех}}}{\Omega} = \frac{3E_0 U_c}{\Omega X_{\text{эм}}} \sin \theta = M_{\text{эм}} \sin \theta \tag{4.5}$$

где $\Omega = 2\pi / 60$ — угловая скорость ротора; $M_{\text{эм}} = 3E_0 U_c / \Omega X_{\text{эм}}$ — максимальный момент, развиваемый двигателем. При постоянном напряжении сети U_c максимальный момент двигателя зависит только от ЭДС E_0 , т.е. от тока возбуждения ротора I_B .

Вопрос 5. Работа синхронного двигателя при изменении тока возбуждения и нагрузки на валу

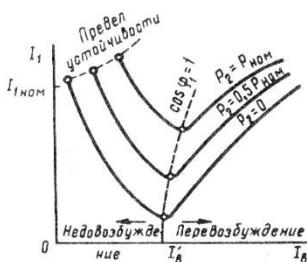


Рис. 2.6.4 U-образные характеристики синхронного двигателя

Мощность на входе двигателя $P_1 = P_2 + \sum P$. С ростом нагрузки на валу двигателя увеличиваются также и потери $\sum P$, поэтому потребляемая мощность P_1 растет быстрее полезной мощности P_2 и график $P_1 = f(P_2)$ имеет несколько криволинейный вид, что показано на U-образных характеристиках.

Вопрос 6. Синхронные компенсаторы

Синхронный компенсатор (СК) представляет собой синхронную машину, предназначенную для генерирования реактивной мощности. Синхронный компенсатор включают в электрическую систему с целью повышения ее коэффициента мощности.

Принцип происходящих при этом явлений состоит в том, что необходимую для работы некоторых потребителей реактивную мощность вырабатывает не синхронный генератор, установленный на электростанции, а синхронный компенсатор, установленный в непосредственной близости к потребителю. К числу потребителей переменного тока, требующих значительной реактивной мощности, в первую очередь относятся асинхронные двигатели.

Вопрос 7. Область применения синхронного двигателя и синхронного компенсатора

Применение синхронных двигателей общего назначения наиболее целесообразно при мощности 200 кВт и более в установках, не требующих частых пусков и регулирования частоты вращения (мощные насосы, вентиляторы, компрессоры и т. п.). При работе с перевозбуждением синхронные двигатели создают в сети емкостный ток, чем способствуют повышению коэффициента мощности энергосистемы в целом.

Синхронные компенсаторы применяют для стабилизации напряжения в сети при передаче энергии по линиям большой протяженности. При больших индуктивных нагрузках напряжение в конце линии (у потребителей) оказывается намного меньше, чем в начале; при малых нагрузках, наоборот, под влиянием емкостных сопротивлений линии напряжение в конце линии может даже повышаться по сравнению с напряжением в начале.

Вопрос 8. Монтаж, наладка и эксплуатация синхронных двигателей

Мероприятия по монтажу синхронных двигателей

- 1) Проверка фундамента при монтаже электродвигателей.
- 2) Подготовка электродвигателей к монтажу.
- 3) Промывка подшипников перед монтажом электродвигателя.
- 4) Измерение сопротивления изоляции электродвигателя перед монтажом.
- 5) Соединение электродвигателей с механизмом.
- 6) Центровка валов электродвигателей при монтаже.

Проверка фундамента при монтаже электродвигателей. Одной из основных операций подготовительных работ перед началом монтажа является проверка фундамента. Проверяют бетон, главные осевые размеры и высотные отметки опорных поверхностей, осевые размеры между отверстиями для анкерных болтов, глубину отверстий и размеры ниш в стенах фундаментов.

Подготовка электродвигателей к монтажу Подготовка таких машин к монтажу включает в себя следующие технические операции: 1) внешний осмотр; 2) очистка фундаментных плит и лап станин; 3) промывка фундаментных болтов Уайт-спиритом и проверку качества резьбы (прогон гаек); 4) осмотр выводов, щеточного механизма, коллекторов и контактных колец; 5) осмотр состояния подшипников; 6) проверка воздушного зазора между активной частью стали ротора и статора; Осмотр электродвигателей проводят на стенде в специально выделенном в цехе помещении. О выявленных дефектах электромонтажник ставит в известность бригадира, мастера или руководителя монтажа. Если наружных повреждений не обнаружено, электродвигатель продувают сжатым воздухом. При этом сначала проверяют подачу по трубопроводу сухого воздуха, для этого струю воздуха направляют на какую-нибудь поверхность. При продувке ротор электродвигателя проворачивают вручную, проверяя свободное вращение вала в подшипниках. Снаружи двигатель обтирают тряпкой, смоченной в керосине.

Промывка подшипников перед монтажом электродвигателя. Промывку подшипников скольжения во время монтажа производят следующим образом. Из подшипников удаляют остатки масла, отвернув спускные пробки. Затем, завинтив их, в подшипники заливают керосин и вращают руками якорь или ротор. Далее вывинчивают спускные пробки и дают стечь всему керосину. После промывки подшипников керосином их необходимо промыть маслом, которое уносит с собой остатки керосина. Только после этого их заполняют свежим маслом $1/2$ или $1/3$ объема ванны. Смазку в подшипниках качения при монтаже машин не меняют. Заполнение смазкой подшипника не должно превышать $2/3$ свободного объема подшипника.

Измерение сопротивления изоляции электродвигателя перед монтажом Измерение сопротивления изоляции у электродвигателей постоянного тока производят между якорем и катушками возбуждения, проверяют сопротивление изоляции якоря, щеток и катушек возбуждения по отношению к корпусу. Если электродвигатель подключен к сети, то при измерении изоляции необходимо отсоединить все провода, подведенные к электродвигателю от сети и реостата. Между щетками и коллектором при измерении помещают изолирующую прокладку из миканита, электрокартона и т.д. У электродвигателя 3-фазного тока с короткозамкнутым ротором производят измерение сопротивления изоляции только обмоток статора по отношению друг к другу и к корпусу. Это можно сделать если только выведены все 6 концов обмотки. Если выведены только 3 конца обмоток, то измерение производят только по отношению к корпусу. У электродвигателей с фазным ротором дополнительно измеряют сопротивление изоляции между ротором и статором, а также сопротивление изоляции щеток по отношению к корпусу (между кольцами щетками должны быть проложены изолирующие прокладки.) Изоляцию обмоток электродвигателей измеряют мегомметром на 1 кВ для машин напряжением до 1 кВ, а для электродвигателей напряжением выше 1 кВ мегомметром на 2,5 кВ. Если результаты измерений сопротивления изоляции удовлетворяют нормам, то эти электродвигатели могут быть включены в работу без сушки изоляции обмоток. Такие электродвигатели доставляют к месту монтажа, и устанавливают по месту.

Соединение электродвигателей с механизмом. Соединение электродвигателей с механизмом выполняют с помощью муфт или через передачу (зубчатую, ременную). При всех способах соединения требуется проверка положения двигателя уровнем в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для этого удобнее всего пользоваться «валовым» уровнем, т.к. этот уровень имеет в основании выемку в виде «ласточкина хвоста»; его удобно накладывать непосредственно на вал электродвигателя. Электродвигатели, устанавливаемые непосредственно на бетонном полу или фундаменте, выверяют, подкладывая под лапы электродвигателя металлические подкладки для регулирования их в горизонтальной плоскости. Деревянные прокладки не годятся т.к. они при заливке фундамента набухают и сбивают сделанную выверку, а при затяжке болтов спрессовываются. При ременных передачах необходимо соблюдать параллельность валов электродвигателя и вращаемого им механизма, а также совпадение средних линий по ширине шкивов. Если ширина шкивов одинакова, а расстояние между центрами валов не превышает 1,5 м, выверку производят, сталь-

ной выверочной линейкой. Для этого линейку прикладывают к торцам шкивов и подгоняют электродвигатель, так чтобы линейка касалась двух шкивов в 4 точках. Если расстояние между центрами валов более 1,5 м, а выверочная линейка отсутствует, то выверку в этом случае производят с помощью струны и временно устанавливаемых на шкивы скоб. Центры валов подгоняют. Для получения одинаковых расстояний от скоб до струны. Выверку также можно производить также тонким шнуром.

Центровка валов электродвигателей при монтаже. Центровку валов соединяемых между собой электродвигателей и механизмов выполняют для устранения их боковых и угловых смещений. В монтажной практике чаще всего используют для этого радиально-осевые скобы. Перед началом центровки полумуфты разъединяют, а валы раздвигают, чтобы скобы и полумуфты не соприкасались. Конструкции радиально-осевых скоб изобразим на рис. Наружную скобу 6 закрепляют хомутом 5 на ступице полумуфты 3 установленной машины, а внутреннюю скобу 1 таким же хомутом закрепляют на ступице полумуфты 2 соединяемой машины. Соединение хомутов со скобами производят болтами 4 с гайками. С помощью измерительных болтов 7 устанавливают минимальные зазоры a и b . В процессе центровки измеряют боковые a и угловые b зазоры, используя щупы, индикаторы или микрометры. Индикатор или микрометрическую головку ставят там место болтов 7. При измерении щупом его пластинки вводят в зазор с ощутимым трением на глубину 20 мм. При замерах щупом возможны погрешности, которые зависят от человека, который делает эти замеры, его опыта. Результаты замеров контролируют. Для этого повороты валов и замеры повторяют. При правильных замерах сумма числовых значений четных замеров должна равняться сумме числовых значений нечетных замеров: $a_1 + a_3 = a_2 + a_4$ и $b_1 + b_3 = b_2 + b_4$. Считают, что замеры выполнены правильно, если разница между этими суммами не превышает 0,03 – 0,04 мм. В противном случае, измерения повторяют более тщательно. Затяжку гаек фундаментных болтов стандартными ключами без надставок равномерно в два – три обхода в требуемой последовательности. Начинают с фундаментных болтов, расположенных на осях симметрии опорной части, после чего затягивают ближайшие к ним болты, а затем, постепенно удаляясь от оси симметрии, остальные.

Эксплуатация синхронных двигателей

На стенде завода-изготовителя производят приемо-сдаточные испытания каждой машины и приемочные головных (опытных) машин. По действующим стандартам (ГОСТ 183-74, ГОСТ 533-85,

ГОСТ 5616-81, ГОСТ 609-84) приемо-сдаточные испытания каждой машины включают: измерения сопротивлений изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками, изоляции заложённых температурных преобразователей, обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии, термометров сопротивления при постоянном токе в практически холодном состоянии; испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность; определение характеристики установившегося замыкания (для гидрогенераторов на месте установки), холостого хода (для гидрогенераторов на месте установки); испытания при повышенной частоте вращения (для турбогенераторов); измерение сопротивления изоляции подшипников, температуры масла в подшипниках (для гидрогенераторов на месте установки); проверку состояния уплотнений вала в сборе и определение утечки воздуха при избыточном давлении не менее номинального давления водорода (для машин с водородным охлаждением).

В приемочные испытания головных (опытных) образцов (для гидрогенераторов на месте установки) дополнительно включают: испытания на кратковременную перегрузку по току; определение КПД; испытание на нагревание; определение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, индуктивных сопротивлений и постоянных времени обмоток; испытание при ударном токе короткого замыкания, на нагрев; определение вибраций, номинального тока возбуждения и регулировочной характеристики; измерение уровня шума; проверку работы газо-масляной системы водородного охлаждения и определение утечки водорода (для машин с водородным охлаждением); проверку системы жидкостного охлаждения (для машин с жидкостным охлаждением).

В соответствии с действующими стандартами выполнение части приемочных испытаний возможно на месте установки машин.

Измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса машины и между обмотками производят с помощью мегаомметра не менее чем на 1000 В в практически холодном состоянии, при котором за температуру обмотки принимают температуру окружающей среды.

При измерении сопротивления изоляции обмоток генераторов с непосредственным водяным охлаждением вывод экрана мегаомметра соединяют с водяным коллектором, от которого отсоединяют внешнюю водяную систему. Сопротивление изоляции определяют поочередно для каждой ветви обмотки статора, при этом другие ветви соединяют с корпусом машины. При определении абсолютного значения

сопротивления изоляции измерения проводят не менее чем через 60 с после приложения напряжения к изоляции. После измерения сопротивления изоляцию отдельных частей обмотки разряжают на корпус генератора.

Контрольные вопросы:

1. Чем ограничивается область устойчивой работы синхронного двигателя?
2. Объясните процесс пуска синхронного двигателя.
3. Как регулируется коэффициент мощности синхронного двигателя?
4. Каково назначение синхронного компенсатора?
5. Каковы достоинства и недостатки синхронных двигателей по сравнению с асинхронными?

Тема 2.7 Специальные синхронные машины

Вопрос 1. Синхронные машины с постоянными магнитами

Синхронные машины с постоянными магнитами (магнитоэлектрические) не имеют обмотки возбуждения на роторе, а возбуждающий магнитный поток у них создается постоянными магнитами, расположенными на роторе. Статор этих машин обычной конструкции с двух- или трехфазной обмоткой.

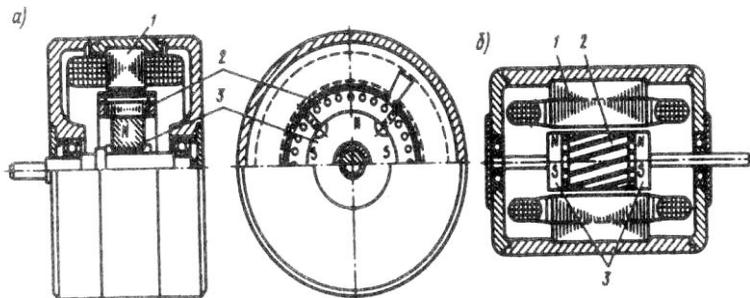


Рис. 2.7.1. Магнитоэлектрические синхронные двигатели с радиальным (а) и аксиальным (б) расположением постоянных магнитов: 1 — статор, 2 — короткозамкнутый ротор, 3 — постоянный магнит

При *радиальном расположении* постоянных магнитов пакет ротора с пусковой клеткой, выполненный в виде полого цилиндра, закрепляют на наружной поверхности явно выраженных полюсов постоянного магнита 3. В цилиндре делают межполюсные прорезы, предотвращающие замыкание потока постоянного магнита в этом цилиндре (рис. 2.7.1, а).

При *аксиальном расположении* магнитов конструкция ротора аналогична конструкции ротора асинхронного короткозамкнутого двигателя. К торцам этого ротора прижаты кольцевые постоянные магниты (рис. 2.7.1, б).

Вопрос 2. Синхронные реактивные двигатели

Отличительная особенность синхронных реактивных двигателей (СРД) — отсутствие у них возбуждения со стороны ротора. Основной магнитный поток в этом двигателе создается исключительно за счет МДС обмотки статора. В двух- и в трехфазных СРД эта МДС является вращающейся

Принцип действия СРД заключается в следующем. При включении обмотки статора в сеть возникает вращающееся магнитное поле. Как только ось этого поля $d' - d'$ займет положение в пространстве рашочки статора, при котором она будет смещена относительно продольной оси невозбужденных полюсов ротора $d - d$ на угол θ в сторону вращения (рис. 2.7.2, а), между полюсами этого поля и выступающими полюсами невозбужденного ротора возникнет реактивная сила магнитного притяжения полюса ротора к полюсу вращающегося поля статора F_p .

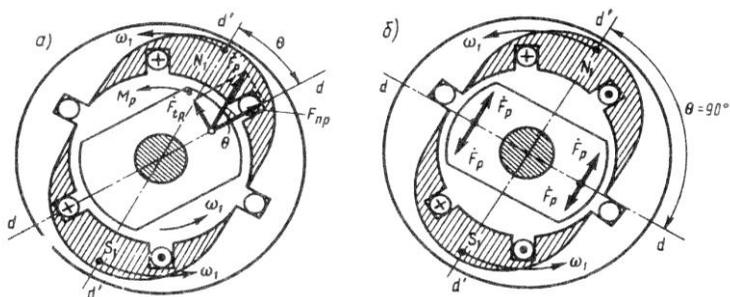


Рис.2.7.2. Принцип действия синхронного реактивного двигателя

Вектор этой силы \dot{F}_p смещен относительно продольной оси ротора также на угол θ , поэтому сила F_p имеет две составляющие: нормальную F_{np} , направленную по продольной оси ротора, и тангенциальную F_{tp} , направленную перпендикулярно продольной оси полюсов ротора. Совокупность тангенциальных составляющих реактивных сил F_{tp} на всех полюсах невозбужденного ротора создаст вращающий реактивный момент M_p , который будет вращать ротор с синхронной частотой ω_1 .

Вопрос 3. Гистерезисные двигатели

Работа гистерезисного двигателя основана на действии гистерезисного момента.

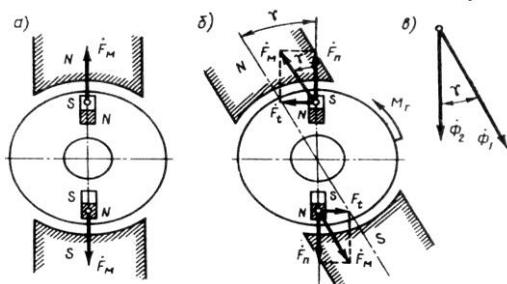


Рис. 2.7.3. К понятию о гистерезисном моменте

На рис. 2.7.3., *a* показаны два полюса постоянного магнита (поле статора); между ними расположен цилиндр (ротор) из магнитно-твердого материала. Под действием внешнего магнитного поля ротор намагничивается. На стороне обращенной к северному полюсу постоянного магнита, возбуждается южный полюс, а на стороне ротора, обращенной к южному полюсу постоянного магнита, - северный полюс.

На ротор начинают действовать силы F_M , направленные радиально к его поверхности. Если полюсы постоянного магнита вращать вокруг ротора, то вследствие явления *магнитного запаздывания (гистерезиса)* активная часть ротора не будет перемагничиваться одновременно с

изменением направления вращающегося магнитного поля и между осью поля ротора и осью внешнего поля появится угол γ .

Силы F_m , действующие на ротор, также изменяют свое направление на угол γ , а тангенциальные составляющие этих сил F_1 , создают гистерезисный момент M_c (рис. 2.7.3., б).

Вопрос 4. Шаговые двигатели

Шаговые (импульсные) двигатели (ШД) используют обычно в качестве исполнительных двигателей, преобразующих электрические сигналы (импульсы напряжения) в угловые или линейные дискретные (скачкообразные) перемещения (шаги). Наибольшее применение ШД получили в электроприводах с программным управлением.

Различают шаговые двигатели с активным (возбужденным) и реактивным ротором. Шаговые двигатели с активным ротором имеют обмотку возбуждения или выполнены с постоянными магнитами на роторе; шаговые двигатели с реактивным ротором не имеют обмотки возбуждения, а их ротор выполняют из магнитно-мягкого материала. Обмотку управления ШД обычно располагают на статоре и делают одно- или многофазной (чаще трех- или четырехфазной).

Рассмотрим принцип действия шагового двигателя на примере реактивного трехфазного ШД, статор которого имеет шесть явно выраженных полюсов (по два полюса на фазу), а ротор — два полюса (рис. 23.9).

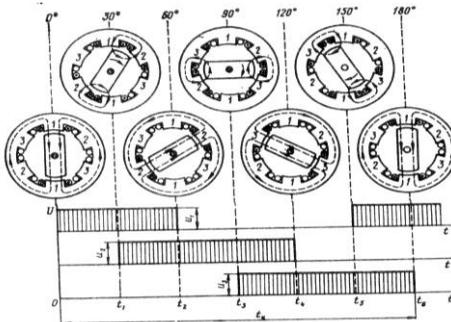


Рис 2.7.4. Принцип действия реактивного шагового двигателя

При прохождении импульса тока в фазе I обмотки управления ротор занимает положение, соответствующее действию электро-

магнитных сил, т. е. по оси полюсов 1—1. В момент времени t_1 появится импульс тока в фазе 2. При этом на ротор будут действовать силы, обусловленные одновременным воздействием двух МДС (полюсов 1—1 и 2—2). В результате ротор повернется по часовой стрелке и займет положение, промежуточное между полюсами 1—1 к 2—2, т. е. повернется на шаг $\alpha_{ин} = 30^\circ$. В момент t_2 импульс тока в фазе 1 прекратится и ротор, сделав шаг $\alpha_{ин} = 30^\circ$, займет положение по оси полюсов 2—2. В момент t_3 появится импульс тока в фазе 3 и ротор, повернувшись еще на 30° , займет положение между полюсами статора 2—2 и 3—3. В моменты времени t_4, t_5 и t_6 ротор также будет совершать шаги по 30° и в конце цикла (момент t_6) займет положение по оси полюсов статора 1—1, совершив за этот цикл поворот на 180° .

Вопрос 5. Синхронный генератор с когтеобразными полюсами и электромагнитным возбуждением

Такие синхронные генераторы широко применяются в автотракторном электрооборудовании. На выходе генератора включают полупроводниковый выпрямитель (рис. 23.10, а), поэтому генератор выполняет функцию источника постоянного тока. Ротор генератора имеет конструкцию, аналогичную рис. 23.3, б, отличаясь наличием обмотки возбуждения вместо постоянного магнита.

Когтеобразная конструкция ротора позволяет возбудить многополюсный ротор посредством одной катушки возбуждения, подключаемой к источнику постоянного тока через контактные кольца и щетки. В таком роторе аксиально - направленный магнитный поток возбуждения меняет свое направление в воздушном зазоре и становится радиально направленным (рис. 2.7.5., б).

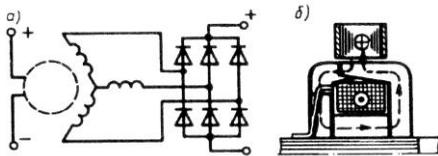


Рис.2.7.5. Принципиальная схема включения (а) и магнитная система синхронного генератора (б) с когтеобразными полюсами

Рассматриваемый генератор отличается простотой конструк-

ции, компактностью, надежностью и высокой технологичностью. Последнее достоинство имеет важное значение в условиях массового производства синхронных генераторов с мощности (менее 1 кВА) В схеме электрооборудования генератор включают параллельно с аккумуляторной батареей, и он работает с ней в буферном режиме, т. е. они дополняют друг друга в зависимости от величины нагрузки и частоты вращения приводного двигателя.

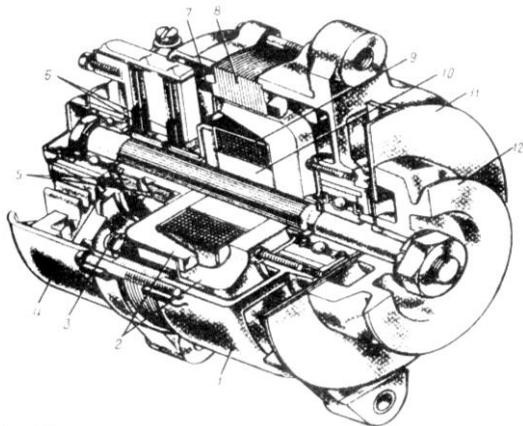


Рис.2.7.6. Устройство синхронного генератора с когтеобразными полюсами

На рис. 2.7.6. показано устройство автомобильного синхронного генератора типа Г-250. Статор 8 этого генератора представляет собой шихтованный пакет, на 18 зубцах которого расположены катушки 7, образующие трехфазную обмотку, соединенную звездой. Ротор состоит из вала, на который напрессованы две стальные шайбы с отогнутыми когтеобразными полюсами 2 (по шесть полюсов на каждой шайбе). На стальную втулку 10 надета цилиндрическая катушка возбуждения 9, концы которой присоединены к контактным кольцам 5. На кольца наложены медно-графитовые щетки 6. На заднем подшипниковом щите 4 расположен выпрямительный блок из шести кремниевых диодов 3, соединенных по мостовой схеме (см. рис 2.7.5, а). Подшипниковые щиты / и 4 и сердечник статора стянуты тремя болтами. На валу генератора укреплены центробежный вентилятор 11 и шкив 12, посредством которого ротор генератора приводится во вращение.

Контрольные вопросы:

1. Почему при пуске синхронного двигателя с постоянными магнитами возникает тормозной момент?
2. Объясните физическую сущность реактивного момента.
3. Как влияет глубина межполюсных впадин ротора на рабочий и пусковой моменты реактивного двигателя?
4. Объясните физическую сущность гистерезисного момента.
5. В чем отличие шаговых двигателей с активным и реактивным роторами?
6. Что такое частота приемистости шагового двигателя?

Тема 3.1 Общие сведения об асинхронных машинах

Вопрос 1. Применение асинхронных машин

Асинхронные машины получили наиболее широкое применение в современных электрических установках и являются самым распространенным видом бесколлекторных электрических машин переменного тока. Как и любая электрическая машина, асинхронная машина обратима и может работать как в генераторном, так и в двигательном режимах. Однако преобладающее применение имеют асинхронные двигатели, составляющие основу современного электропривода. Области применения асинхронных двигателей весьма широкие — от привода устройств автоматики и бытовых электроприборов до привода крупного горного оборудования (экскаваторов, дробилок, мельниц и т. п.). В соответствии с этим мощность асинхронных двигателей, выпускаемых электромашиностроительной промышленностью, составляет диапазон от долей ватт до тысяч киловатт при напряжении питающей сети от десятков вольт до 10 кВ. Наибольшее применение имеют трехфазные асинхронные двигатели, рассчитанные на работу от сети промышленной частоты (50 Гц). Асинхронные двигатели специального применения изготавливаются на повышенные частоты переменного тока (200, 400 Гц и более). Основное внимание в данном разделе уделено изучению трехфазных асинхронных двигателей общего применения. Но в конце раздела рассмотрены однофазные и конденсаторные (двухфазные) асинхронные двигатели, а также двигатели специального назначения — линейные, исполнительные и др.

Вопрос 2. Режим работы и устройство асинхронной машины

При включении обмотки статора в сеть трехфазного тока возникает вращающееся магнитное поле, которое, сцепляясь с короткозамкнутой обмоткой ротора, наводит в ней ЭДС. При этом в стержнях обмотки ротора появляются токи. В результате взаимодействия этих токов с вращающимся магнитным полем на роторе возникают электромагнитные силы. Совокупность этих сил создает электромагнитный вращающий момент, под действием которого ротор асинхронного двигателя приходит во вращение с частотой $n_2 < n_1$ в сторону вращения поля статора. Если вал асинхронного двигателя механически соединить с валом какого-либо исполнительного механизма ИМ (станка, подъемного крана и т. п.), то вращающий момент двигателя M , преодолев противодействующий (нагрузочный) момент $M_{\text{нагр}}$, исполнительного механизма, приведет механизм во вращение. Следовательно, электрическая мощность P_1 , поступающая в двигатель из сети, в основной своей части преобразуется в механическую мощность P_1 и передается исполнительному механизму ИМ (рис. 3.1.1, б).

Весьма важным параметром асинхронной машины является скольжение — величина, характеризующая разность частот вращения ротора и вращающегося поля статора:

$$S = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (3.1.1)$$

Скольжение выражают в долях единицы либо в процентах. В последнем случае величину, полученную по (3.1.1.), следует умножить на 100.

Вполне очевидно, что с увеличением нагрузочного момента на валу асинхронного двигателя частота вращения ротора n_2 уменьшается. Следовательно, скольжение асинхронного двигателя зависит от механической нагрузки на валу двигателя и может изменяться в диапазоне $0 < s \leq 1$.

При включении асинхронного двигателя в сеть в начальный момент времени ротор под влиянием сил инерции неподвижен ($n_2 = 0$). При этом скольжение s равно единице.

В режиме работы двигателя без нагрузки на валу (режим холостого хода) ротор вращается с частотой лишь немного меньшей синхронной частоты вращения n_1 и скольжение весьма мало отличается от нуля ($s \approx 0$). Скольжение, соответствующее номинальной нагрузке двигателя, называют номинальным скольжением $S_{\text{ном}}$. Для асинхронных двигателей общего назначения $S_{\text{ном}} = 1 \div 8\%$, при этом для двига-

телей большой мощности $s_{ном} = 1\%$, а для двигателей малой мощности $s_{ном} = 8\%$.

Преобразовав выражение (10.1), получим формулу для определения асинхронной частоты вращения (об/мин):

$$n_2 = n_1(1-s). \quad (3.1..2)$$

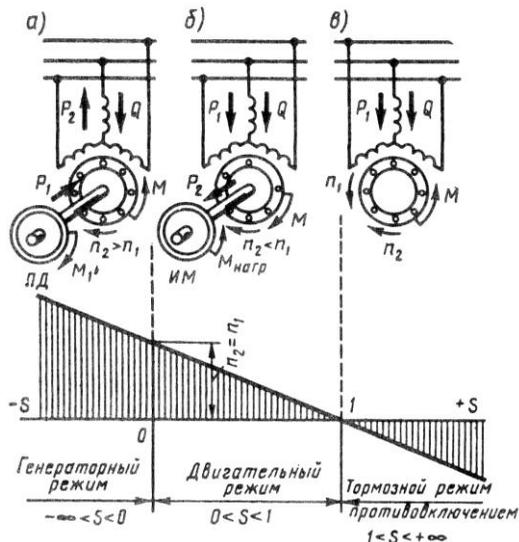


Рис. 3.1.1. Режимы работы асинхронной машины

Генераторный режим. Если обмотку статора включить в сеть, а ротор асинхронной машины посредством приводного двигателя ПД (двигатель внутреннего сгорания, турбина и т. п.), являющегося источником механической энергии, вращать в направлении вращения магнитного поля статора с частотой $n_2 > n_1$, то направление движения ротора относительно поля статора изменится на обратное (по сравнению с двигательным режимом работы по машины), так как ротор будет обгонять поле статора. При этом скольжение станет отрицательным, а ЭДС, наведенная в обмотке ротора, изменит свое направление. Электромагнитный момент на роторе M также изменит свое направление, т. е. будет направлен встречно вращающемуся магнитному полю статора и станет тормозящим по отношению к вращающемуся момен-

ту приводного двигателя M_1 (рис. 3.1.1, а). В этом случае механическая мощность приводного двигателя в основной своей части будет преобразована в электрическую активную мощность P_2 переменного тока. Особенность работы асинхронного генератора состоит в том, что вращающееся магнитное поле в нем создается реактивной мощностью Q трехфазной сети, в которую включен генератор и да он отдает вырабатываемую активную мощность P_2 . Следовательно, для работы асинхронного генератора необходим источник переменного тока, при подключении к которому происходит возбуждение генератора, т. е. в нем возбуждается вращающееся магнитное поле.

Скольжение асинхронной машины в генераторном режиме может изменяться в диапазоне $-\infty < s < 0$, т. е. оно может принимать любые отрицательные значения.

Режим торможения противовключением. Если у работающего трехфазного асинхронного двигателя поменять местами любую пару подходящих к статору из сети присоединительных проводов, то вращающееся поле статора изменит направление вращения на обратное. При этом ротор асинхронной машины под действием сил инерции будет продолжать вращение в прежнем направлении. Другими словами, ротор и поле статора асинхронной машины будут вращаться в противоположных направлениях. В этих условиях электромагнитный момент машины, направленный в сторону вращения поля статора, будет оказывать на ротор тормозящее действие (рис. 3.1.1, в). Этот режим работы асинхронной машины называется электромагнитным торможением противовключением. Активная мощность, поступающая из сети в машину при этом режиме, частично затрачивается на компенсацию механической мощности вращающегося ротора, т. е. на его торможение.

В режиме электромагнитного торможения частота вращения ротора является отрицательной, а поэтому скольжение приобретает положительные значения больше единицы:

$$s = [n_1 - (-n_2)] / n_1 = (n_1 + n_2) / n_1 > 1. \quad (3.1..3)$$

Скольжение асинхронной машины в режиме торможения противовключением может изменяться в диапазоне $1 < s < +\infty$, т. е. оно может принимать любые положительные значения больше единицы.

Обобщая изложенное о режимах работы асинхронной машины, можно сделать вывод: характерной особенностью работы асинхронной машины является неравенство частот вращения магнитного поля статора n_1 и ротора n_2 , т. е. наличие скольжения, так, как только в этом

случае вращающееся магнитное поле наводит в обмотке ротора ЭДС и на роторе возникает электромагнитный момент. При этом каждому режиму работы асинхронной машины соответствует определенный диапазон изменений скольжения, а, следовательно, и частоты вращения ротора.

Из рассмотренных режимов работы наибольшее практическое применение получил двигательный режим асинхронной машины, т. е. чаще используют асинхронные двигатели, которые составляют основу современного электропривода, выгодно отличаясь от других электродвигателей простотой конструкции и высокой надежностью. Поэтому теорию асинхронных машин принято излагать применительно к асинхронным двигателям.

Неподвижная часть двигателя — статор — состоит из корпуса 11 и сердечника 10 с трехфазной. Корпус двигателя отливают из алюминиевого сплава или из чугуна либо делают сварным. Рассматриваемый двигатель имеет закрытое обдуваемое исполнение. Поэтому поверхность его корпуса имеет ряд продольных ребер, назначение которых состоит в том, чтобы увеличить поверхность охлаждения двигателя.

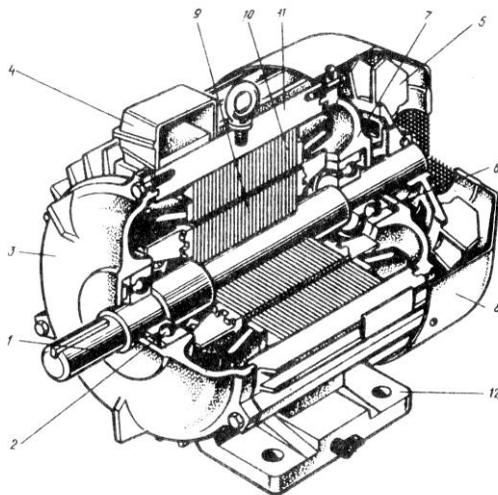


Рис. 3.1.2. Устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

1 — вал; 2, 6 — подшипники; 3, 7 — подшипниковые щиты; 4 — коробка выводов; 5 — вентилятор; 8 — кожух вентилятора; 9 — сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой; 10 — сердечник статора с обмоткой; 11 — корпус; 12 — лапы

В корпусе расположен сердечник статора 10, имеющий шихтованную конструкцию: отштампованные листы из тонколистовой электротехнической стали толщиной обычно 0,5 мм покрыты слоем изоляционного лака, собраны в пакет и скреплены специальными скобами или продольными сварными швами по наружной поверхности пакета. Такая конструкция сердечника способствует значительному уменьшению вихревых токов, возникающих в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем. На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых расположены пазовые части обмотки статора, соединенные в определенном порядке лобовыми частями, находящимися за пределами сердечника по его торцовым сторонам.

Вопрос 3. Принцип действия асинхронного двигателя

Неподвижная часть асинхронного двигателя — статор — имеет такую же конструкцию, что и статор синхронного генератора. В расщепе статора расположена вращающаяся часть двигателя — ротор, состоящий из вала, сердечника и обмотки (рис. 3.1.3.). Обмотка ротора представляет собой короткозамкнутую конструкцию (см. § 10.2), состоящую из восьми алюминиевых стержней, расположенных в продольных пазах сердечника ротора, замкнутых с двух сторон по торцам ротора алюминиевыми кольцами (на рисунке эти кольца не показаны). Ротор и статор разделены воздушным зазором. При включении обмотки статора в сеть трехфазного тока возникает вращающееся магнитное поле статора, частота вращения которого n_1 определяется выражением (3.1.3.).

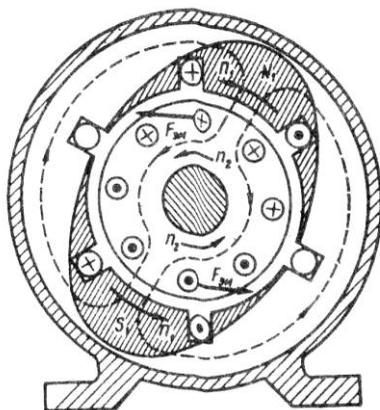


Рис. 3.1.3. К принципу действия асинхронного двигателя

Вращающееся поле статора (полюсы N_1 и S_1) сцепляется как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора и наводит в них ЭДС. При этом ЭДС обмотки статора, являясь ЭДС самоиндукции действует встречно приложенному к обмотке напряжению и ограничивает значение тока в обмотке. Обмотка ротора замкнута, поэтому ЭДС ротора создает в стержнях обмотки ротора токи. Взаимодействие этих токов с полем статора создает на роторе электромагнитные силы $F_{эм}$, направление которых определяется по правилу «левой руки». Из рис. 3.1.3. видно, что силы $F_{эм}$ стремятся повернуть ротор в направлении вращения магнитного поля статора. Совокупность сил $F_{эм}$ создает на роторе электромагнитный момент M , приводящий его во вращение с частотой n_2 . Вращение ротора посредством вала передается исполнительному механизму. Таким образом, электрическая энергия, поступающая из сети в обмотку статора, преобразуется в механическую энергию вращения ротора двигателя.

Направление вращения магнитного поля статора, а, следовательно, и направление вращения ротора зависят от порядка следования фаз напряжения, подводимого к обмотке статора, вращения ротора n_2 , называемая асинхронной, всегда меньше частоты вращения поля n_1 , так, как только в этом случае происходит наведение ЭДС в обмотке ротора асинхронного двигателя. Таким образом, статор синхронной машины не отличается от статора асинхронной машины, и выполняют они одинаковую функцию: при появлении в обмотке статора тока возникает вращающееся магнитное поле и в этой обмотке наводится ЭДС. Именно по этой причине изучение принципа выполнения и конструкции обмоток статора, а также изучение электромагнитных процессов, связанных с наведением в обмотке статора ЭДС и возникновением вращающегося магнитного поля, должно предшествовать изучению специфических вопросов теории асинхронных и синхронных машин.

Контрольные вопросы:

1. Что такое скольжение асинхронной машины?
2. Каков диапазон изменения скольжения асинхронной машины в различных режимах ее работы?
3. С какой целью обмотку статора асинхронного двигателя подключают к сети трехфазного тока?
4. Объясните конструкцию короткозамкнутого и фазного роторов.

Тема 3.2. Рабочий процесс асинхронной машины

Вопрос 1. Уравнения напряжений асинхронного двигателя

Как следует из принципа действия асинхронного двигателя, обмотка ротора не имеет электрической связи с обмоткой статора. Между этими обмотками существует только магнитная связь, и энергия из обмотки статора передается в обмотку ротора магнитным полем. В этом отношении асинхронная машина аналогична трансформатору: обмотка статора является первичной, а обмотка ротора - вторичной.

В процессе работы асинхронного двигателя токи в обмотках статора и ротора создают две магнитодвижущие силы; МДС статора и МДС ротора. Совместным действием эти МДС наводят в магнитной системе двигателя результирующий магнитный поток, вращающийся относительно статора с синхронной частотой вращения n_1 . Так же, как и в трансформаторе, этот магнитный поток можно рассматривать состоящим из основного потока Φ , сцепленного как с обмоткой статора, так и с обмоткой ротора (магнитный поток взаимоиנדукции), и двух потоков рассеяния: $\Phi_{\sigma 1}$ — потока рассеяния обмотки статора и $\Phi_{\sigma 2}$ — потока рассеяния обмотки ротора. Рассмотрим, какие ЭДС наводят указанные потоки в обмотках двигателя.

Электродвижущие силы, наводимые в обмотке статора. Основной магнитный поток Φ , вращающийся с частотой n_1 наводит в неподвижной обмотке статора ЭДС E_1 , значение которой определяется выражением. $E_1 = 4,44 f_1 \Phi \omega_1 k_{\sigma 1}$.

Магнитный поток рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ наводит в обмотке статора ЭДС рассеяния, значение которой определяется индуктивным падением напряжения в обмотке статора:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j \dot{I}_{1x1} \quad (3.2.1)$$

где x_1 — индуктивное сопротивление рассеяния фазной обмотки статора, Ом.

Для цепи обмотки статора асинхронного двигателя, включенной в сеть с напряжением U_1 , запишем уравнение напряжений по второму закону Кирхгофа:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 r_1, \quad (3.2.2)$$

где $I_1 r_1$ - падение напряжения в активном сопротивлении обмотки статора r_1 .

После переноса ЭДС E_1 , и $E_{\sigma 1}$, в правую часть уравнения (12.2) с учетом (12.1) получим уравнение напряжений обмотки статора асинхронного двигателя:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \quad (3.2.3)$$

Сравнив полученное уравнение с уравнением (3.2.3), видим, что оно не отличается от уравнения напряжений для первичной цепи трансформатора.

Электродвижущие силы, наводимые в обмотке ротора. В процессе работы асинхронного двигателя ротор вращается в сторону вращения поля статора с частотой n_2 . Поэтому частота вращения поля статора относительно ротора равна разности частот вращения ($n_1 - n_2$). Основной магнитный поток Φ , обгоняя ротор с частотой вращения $n_s = (n_1 - n_2)$, индуцирует в обмотке ротора ЭДС

$$E_2 = 4,44 f_2 \Phi \omega_2 k_{o62} \quad (3.2.4)$$

где f_2 — частота ЭДС E_{2s} в роторе, Гц; ω_2 — число последовательно соединенных витков одной фазы обмотки ротора; k_{o62} — обмоточный коэффициент обмотки ротора.

Частота ЭДС (тока) в обмотке вращающегося ротора пропорциональна частоте вращения магнитного поля относительно ротора $n_s = n_1 - n_2$, называемой частотой скольжения:

$$f_2 = pn_s / 60 = p(n_1 - n_2) / 60,$$

или

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_{1s} \quad (3.2.5)$$

т. е. частота ЭДС (тока) ротора пропорциональна скольжению. Для асинхронных двигателей общепромышленного назначения эта частота обычно невелика и при $f_1 = 50$ Гц не превышает нескольких герц, так при $s = 5\%$ частота $f_2 = 50 \cdot 0,05 = 2,5$ Гц. Подставив (3.2.5) в (3.2.4), получим

$$E_{2s} = 4,44 f_1 s \Phi \omega_2 k_{o\sigma 2} = E_2 s. \quad (3.2.6)$$

Здесь E_2 - ЭДС, наведенная в обмотке ротора при скольжении $s = 1$, т. е. при неподвижном роторе, В.

Поток рассеяния ротора $\Phi_{\sigma 2}$ индуцирует в обмотке ротора рассеяния, значение которой определяется индуктивным падением напряжения в этой обмотке:

$$\dot{E}_{\sigma 2} = -j \dot{I}_{2x_2} s \quad (3.2.7)$$

где x_2 - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора при неподвижном роторе, Ом.

Обмотка ротора асинхронного двигателя электрически не связана с внешней сетью и к ней не подводится напряжение. Ток в этой обмотке появляется исключительно за счет ЭДС, наведенной основным магнитным потоком Φ . Поэтому уравнение напряжений для цепи ротора асинхронного двигателя по второму закону Кирхгофа имеет вид

$$\dot{E}_{2s} + \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{I}_{2r_2}$$

где r_2 — активное сопротивление обмотки ротора. С учетом (3.2.6) и (3.2.7) получим

$$\dot{E}_{2s} - j \dot{I}_{2x_2} s - \dot{I}_{2r_2} \quad (3.2.8)$$

Разделив все слагаемые равенства (12.8) на s , получим

$$\dot{E}_2 - j \dot{I}_{2x_2} - \dot{I}_{2r_2}/s = 0 \quad (3.2.9)$$

-уравнение напряжений для обмотки ротора.

Вопрос 2. Уравнения МДС и токов асинхронного двигателя

Основной магнитный поток Φ в асинхронном двигателе создается совместным действием МДС обмоток статора F_1 и ротора F_2 :

$$\dot{\Phi} = (\dot{F}_1 + \dot{F}_2)/R_m = \dot{F}_0/R_m \quad (3.2.10)$$

где R_m — магнитное сопротивление магнитной цепи двигателя потоку Φ ; F_0 — результирующая МДС двигателя, численно равная МДС обмотки статора в режиме х.х.:

$$F_0 = 0,45 m_1 I_1 \omega_1 k_{o61} / P \quad (3.2.11)$$

I_0 — ток х.х. в обмотке статора, А.

МДС обмоток статора и ротора на один полюс в режиме нагруженного двигателя

$$\begin{aligned} F_1 &= 0,45 m_1 I_1 \omega_1 k_{o61} / P \\ F_2 &= 0,45 m_2 I_2 \omega_2 k_{o62} / P \end{aligned} \quad (3.2.12)$$

где m_2 — число фаз в обмотке ротора; k_{o62} — обмоточный коэффициент обмотки ротора.

При изменениях нагрузки на валу двигателя меняются токи в статоре I_1 , и роторе I_2 . Но основной магнитный поток Φ при этом сохраняется неизменным, так как напряжение, подведенное к обмотке статора, неизменно ($U_1 = \text{const}$) и почти полностью уравновешивается ЭДС E_1 обмотки статора.

$$\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1) \quad (3.2.13)$$

Так как ЭДС E_1 пропорциональна основному магнитному потоку Φ [см. (7.20)], то последний при изменениях нагрузки остается неизменным. Этим и объясняется то, что, несмотря на изменения МДС F_1 и F_2 , результирующая МДС остается неизменной, т. е. $\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \text{const}$.

Подставив вместо F_0 , F_1 и F_2 их значения по (3.2.11) и (3.2.12), получим

$$0,45 m_1 \dot{I}_0 \omega_1 k_{o61} / p = 0,45 m_1 \dot{I}_1 \omega_1 k_{o61} / p + 0,45 m_2 \dot{I}_2 \omega_2 k_{o62} / p.$$

Разделив это равенство на $m_1 \omega_1 k_{o61} / p$, определим уравнение токов асинхронного двигателя:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{m_2 \omega_2 K_{o\delta 2}}{m_1 \omega_1 K_{o\delta 1}} = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 \quad (3.2.14)$$

где

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 \frac{m_2 \omega_2 K_{o\delta 2}}{m_1 \omega_1 K_{o\delta 1}} \quad (3.2.15)$$

- ток ротора, приведенный к обмотке статора.

Преобразовав уравнение (3.2.14), получим уравнение токов статора асинхронного двигателя

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (3.2.16)$$

из которого следует, что ток статора в асинхронном двигателе \dot{I}_1 имеет две составляющие: \dot{I}_0 - намагничивающую (почти постоянную) составляющую ($I_0 \approx I_{1\mu}$) и $-\dot{I}'_2$ — переменную составляющую, компенсирующую МДС ротора.

Следовательно, ток ротора I_2 оказывает на магнитную систему двигателя такое же размагничивающее влияние, как и ток вторичной обмотки трансформатора. Таким образом, любое изменение механической нагрузки на валу двигателя сопровождается соответствующим изменением тока в обмотке статора I_1 так изменение этой нагрузки вызывает изменение скольжения s . Это, в свою очередь, влияет на ЭДС обмотки ротора, а следовательно, и на ток ротора I_2 . Но так как этот ток развывает размагничивающее действие на магнитную систему двигателя, то его изменения вызывают соответствующие изменение тока в обмотке статора I_1 за счет составляющей $-\dot{I}'_2$. Так, в режиме холостого хода, когда нагрузка на валу двигателя отсутствует

и $s \approx 0$, ток $I_2 \approx 0$. В этом случае ток в обмотке статора $\dot{I}_1 \approx \dot{I}_0$. Если же ротор двигателя затормозить, не отключая обмотку статора от сети (режим короткого замыкания), то скольжение $s = 1$ и ЭДС обмотки ротора E_{2s} достигает своего наибольшего значения E_2 . Также наибольшего значения достигнет ток I_2 , а следовательно, и ток в обмотке статора I_1 .

Вопрос 3. Приведение параметров обмотки ротора и векторная диаграмма асинхронного двигателя

Чтобы векторы ЭДС, напряжений и токов обмоток статора и ротора можно было изобразить на одной векторной диаграмме, следует параметры обмотки ротора привести к обмотке статора, т. е. обмотку ротора с числом фаз m_2 , обмоточным коэффициентом k_{o62} и числом витков одной фазной обмотки ω_2 заменить обмоткой с m_1 , ω_1 и k_{o61} . При этом мощности и фазовые сдвиги векторов ЭДС и токов ротора после приведения должны остаться такими же, что и до приведения. Пересчет реальных параметров обмотки ротора на приведенные выполняется по формулам, аналогичным формулам приведения параметров вторичной обмотки трансформатора.

При $s = 1$ приведенная ЭДС ротора

$$E'_2 = E_2 k_e, \quad (3.2.17)$$

где $k_e = E_1 / E_2 = k_{o61} \omega_1 / (k_{o62} \omega_2)$ - коэффициент трансформации напряжения в асинхронной машине при неподвижном роторе. Приведенный ток ротора

$$I'_2 = I_2 / k_i, \quad (3.2.18)$$

где $k_i = m_1 \omega_1 k_{o61} / (m_2 \omega_2 k_{o62}) = m_1 k_o / m_2$ - коэффициент трансформации тока асинхронной машины.

В отличие от трансформаторов в асинхронных двигателях коэффициенты трансформации напряжения и тока не равны ($k_e \neq k_i$). Объясняется это тем, что число фаз в обмотках статора и ротора в общем случае не одинаково ($m_1 \neq m_2$). Лишь в двигателях с фазным ротором, у которых $m_1 = m_2$, эти коэффициенты равны.

Активное и индуктивное приведенные сопротивления обмотки ротора:

$$\begin{aligned} r'_2 &= r_2 k_e k_i; \\ x'_2 &= x_2 k_e k_i. \end{aligned} \quad (3.2.19)$$

Следует обратить внимание на некоторую специфику определения числа фаз m_2 и числа витков ω_2 для короткозамкнутой обмотки ротора (см. рис. 3.1.3). Каждый стержень этой обмотки рассматривают как одну фазу, а поэтому число витков одной фазы короткозамкнутой

обмотки ротора $\omega_2 = ,0,5$; обмоточный коэффициент такой обмотки $k_{o62} = 1$, а число фаз $m_2 = Z_2$, т. е. равно числу стержней в короткозамкнутой обмотке ротора.

Подставив в (3.2.9) приведенные значения параметров обмотки ротора E'_2, I'_2, r_2 и x'_2 , получим уравнение напряжений обмотки ротора в приведенном виде:

$$\dot{E}'_2 - j \dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 r'_2 / s = 0 \quad (3.2.20)$$

Величину r'_2 / s можно представить в виде

$$\frac{r'_2}{s} = \frac{r_2}{s} - \frac{r_2 S}{s} + r'_2 = r'_2 + r'_2 \frac{1-s}{s} \quad (3.2.21)$$

тогда уравнение ЭДС для цепи ротора в приведенных параметрах примет вид

$$0 = \dot{E}'_2 - j \dot{I}'_2 x_2 - \dot{I}'_2 r'_2 r'_2 (1-s) / s . \quad (3.2.22)$$

Для асинхронного двигателя (так же как и для трансформатора) можно построить векторную диаграмму. Основанием для построения этой диаграммы являются уравнение токов (3.2.14) и уравнения напряжений обмоток статора (3.2.3) и ротора (3.2.22).

Угол сдвига фаз между ЭДС

$$\dot{E}'_2 \text{ и током } \dot{I}'_2$$

$$\psi_2 = \arctg(x'_2 s / r'_2).$$

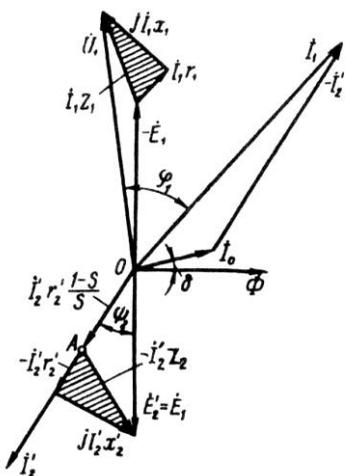


Рис. 3.2.4. Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Так как векторную диаграмму асинхронного двигателя строят по уравнениям напряжений и токов, аналогичным уравнениям

трансформатора, то порядок построения этой диаграммы такой же, что и векторной диаграммы трансформатора.

На рис. 3.2.4. представлена векторная диаграмма асинхронного двигателя. От векторной диаграммы трансформатора она отличается тем, что сумма падений напряжения в обмотке ротора (во вторичной обмотке) уравнивается ЭДС \dot{E}'_2 обмотки неподвижного ротора ($n_2 = 0$), так как обмотка ротора замкнута накоротко. Однако если падение напряжения $\overline{OA} = \dot{I}'_2 r'_2 (1-s)/s$ рассматривать как напряжение на некоторой активной нагрузке $r'_2 (1-s)/s$, подключенной на зажимы неподвижного ротора, то векторную диаграмму асинхронного двигателя можно рассматривать как векторную диаграмму трансформатора, на зажимы вторичной обмотки которого подключено переменное активное сопротивление $r_2 (1-s)/s$. Иначе говоря, асинхронный двигатель в электрическом отношении подобен трансформатору работающему на чисто активную нагрузку. Активная мощность вторичной обмотки такого трансформатора

$$P'_2 = m_1 I_2'^2 r'_2 (1-s)/s \quad (3.2.23)$$

представляет собой полную механическую мощность, развиваемую асинхронным двигателем.

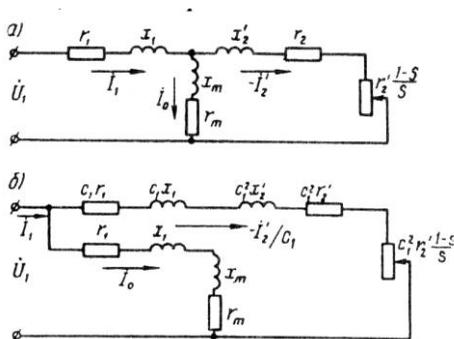


Рис. 3.2.5. Схемы замещения асинхронного

Уравнениям напряжений и токов, а также векторной диаграмме асинхронного двигателя соответствует электрическая схема замещения асинхронного двигателя

На рис. 3.2.5, а представлена Г-образная схема замещения. Магнитная связь обмоток статора и ротора в асинхронном двигателе на схеме замещения заменена электрической связью цепей статора и ротора. Активное сопротивление можно рассматривать как внешнее сопротивление, включенное в обмотку неподвижного ротора. В этом случае асинхронный двигатель аналогичен трансформатору, работающему на активную нагрузку. Сопротивление – единственный переменный параметр схемы. Значение этого сопротивления определяется скольжением, а, следовательно, механической нагрузкой на валу двигателя. Так, если нагрузочный момент на валу двигателя $M_2 = 0$, то скольжение $s \approx 0$. При этом $r_2'(1 - s) / s = \infty$, что соответствует работе двигателя в режиме х.х. Если же нагрузочный момент на валу двигателя превышает его вращающий момент, то ротор останавливается ($s = 1$). При этом $r_2'(1 - s) / s = 0$, что соответствует режиму к.з. асинхронного двигателя.

Более удобной для практического применения является Г-образная схема замещения (рис. 3.2.5., б), у которой намагничивающий контур ($Z_m = r_m + j x_m$) вынесен на входные зажимы схемы замещения. Чтобы при этом намагничивающий ток I_0 не изменил своего значения, в этот контур последовательно включают сопротивления обмотки статора r_1 и x_1 . Полученная таким образом схема удобна тем, что она состоит из двух параллельно соединенных контуров: намагничивающего с током \dot{I}_0 и рабочего с током $-\dot{I}'_2$. Расчет параметров рабочего контура Г-образной схемы замещения требует уточнения, что достигается введением в расчетные формулы коэффициента c_1 (рис. 3.2.5., б), представляющего собой отношение напряжения сети U_1 к ЭДС статора E_1 при идеальном холостом ходе ($s = 0$). Так как в этом режиме ток холостого хода асинхронного двигателя весьма мал, то U_1 оказывается лишь немногим больше, чем ЭДС E_1 , а их отношение $c_1 = U_1 / E_1$ мало отличается от единицы. Для двигателей мощностью 3 кВт и более $c_1 = 1,05 \div 1,02$, поэтому с целью облегчения анализа выражений, характеризующих свойства асинхронных двигателей и упрощения практических расчетов, примем $c_1 = 1$. Возникшие при этом неточности не превысят значений, допустимых при технических расчетах. Например, при расчете тока ротора I'_2 эта ошибка составит от 2 до 5 % (меньшие значения относятся к двигателям большей мощности).

Воспользовавшись Г-образной схемой замещения и приняв $c_1 = 1$, запишем выражение тока в рабочем контуре:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{[r_1 + r_2' + r_2'(1-s)/s]^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (3.2.24)$$

или с учетом (3.2.21) получим

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (3.2.25)$$

Знаменатель выражения (3.2.25) представляет собой полное сопротивление рабочего контура Г-образной схемы замещения асинхронного двигателя.

Контрольные вопросы

1. В чем сходство и в чем различие между асинхронным двигателем и трансформатором?
2. Почему с увеличением механической нагрузки на вал асинхронного двигателя возрастает потребляемая из сети двигателем мощность?
3. Каков порядок построения векторной диаграммы двигателя?
4. В чем отличие Г-образной схемы замещения от Т-образной?

Тема 3.3 Электромагнитный момент асинхронной машины

Вопрос 1. Особенности электромагнитного момента асинхронной машины

Электромагнитный момент асинхронного двигателя создается взаимодействием тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным полем. Электромагнитный момент M пропорционален электромагнитной мощности:

$$M = P_{эм} / \omega_1 \quad (3.3.1)$$

где

$$\omega_1 = 2\pi n_1 / 60 = 2\pi f_1 \quad (3.3.2)$$

- угловая синхронная скорость вращения.

Подставив в (3.3.1) значение электромагнитной мощности по (3.3.5), получим

$$M = P_{э2} / (\omega_1 s) = m_1 I'^2_2 r'_2 / (\omega_1 s) \quad (3.3.3)$$

т. е. электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален мощности электрических потерь в обмотке ротора.

Если значение тока ротора по выражению (3.2.2) подставить в (3.3.3), то получим формулу электромагнитного момента асинхронной машины ($H \bullet M$):

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2\pi f s [(r_1 + r'_2 / s)^2 + (x_1 + x'_2)^2]} \quad (3.3.4)$$

Вопрос 2. Определение частоты вращения асинхронного двигателя

Частота вращения магнитного поля n_0 зависит от частоты сети f и числа пар полюсов магнитного поля p .

$$n_0 = (60f) / p, \text{ [об/мин].}$$

Обратите внимание, что частота вращения магнитного поля не зависит от режима работы асинхронной машины и её нагрузки.

При анализе работы асинхронной машины часто используют понятие о скорости вращения магнитного поля ω_0 , которая определяется соотношением:

$$\omega_0 = (2\pi f) / p = \pi n_0 / 30, \text{ [рад/сек].}$$

Вопрос 3. Номинальные и пусковые токи

Зная номинальную мощность двигателя (из паспорта) можно определить его **номинальный ток**. При включении двигателя в трехфазную сеть 380 В номинальный ток можно посчитать по следующей формуле:

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} U_n \times \eta \times \cos\phi),$$

где P_n - номинальная мощность двигателя в кВт, U_n - напряжение в сети, в кВ (0,38 кВ). Коэффициент полезного действия (η) и коэффициент мощности ($\cos\phi$) - паспортные значения двигателя, которые написаны на щитке в виде металлической таблички.

В момент пуска из сети электрическим двигателем потребляется так называемый **пусковой ток**, который может быть в 3 - 8 раз больше номинального. Характер изменения тока представлен на графике (рис. 3.3.1, а).

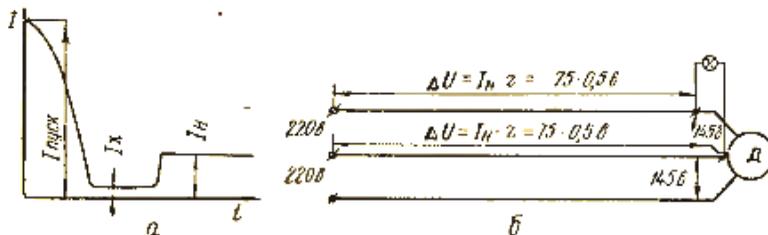


Рис. 3.3.1. Характер изменения тока, потребляемого двигателем из сети (а), и влияние большого тока на колебания напряжения в сети (б)

Точное значение пускового тока для каждого конкретного двигателя можно определить зная значение **кратности пускового тока** - $I_{\text{пуск}}/I_n$. Кратность пускового тока - одна из технических характеристик двигателя, которую можно найти в каталогах. Пусковой ток определяется по следующей формуле: $I_{\text{пуск}} = I_n \times (I_{\text{пуск}}/I_n)$. Например, при номинальном токе двигателя 20 А и кратности пускового тока - 6, пусковой ток равен $20 \times 6 = 120$ А.

Вопрос 4. Схемы соединения обмотки статора в зависимости от номинального момента, критического и номинального скольжений

Если в паспорте электродвигателя указано, например, 220/380 в, это означает, что электродвигатель может быть включен как в сеть 220 в (схема соединения обмоток - треугольник), так и в сеть 380 в (схема соединения обмоток - звезда). Статорные обмотки асинхронного электродвигателя имеют шесть концов.

По ГОСТу обмотки асинхронного двигателя имеют следующие обозначения: I фаза - С1 (начало), С4 (конец), II фаза - С2 (начало), С5 (конец), III фаза - С3 (начало), С6 (конец).

Если в сети напряжения равно 380 В, то обмотки статора двигателя должны быть соединены по схеме "звезда". В общую точку при этом собраны или все начала (С1, С2, С3), или все концы (С4, С5, С6). Напряжение 380 в приложено между концами обмоток АВ, ВС, СА. На каждой же фазе, то есть между точками О и А, О и В, О и С, напряже-

ние будет в $\sqrt{3}$ раз меньше: $380/\sqrt{3} = 220$ В.

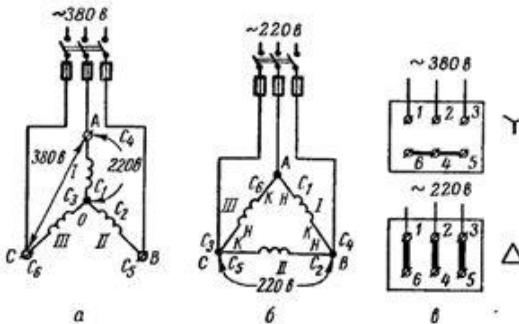


Рис. 3.3.2. Схема подключения обмоток асинхронного двигателя: а - в звезду, б - в треугольник, в - исполнение схем "звезда" и "треугольник" на доске зажимов.

Тема 3.4. Механические характеристики асинхронного двигателя

Вопрос 1. Построение механической характеристики асинхронного двигателя по паспортным данным и упрощенной формуле Клосса

Механическая характеристика $M = f(s)$, представлена на рис. 3.3.3. При включении двигателя в сеть магнитное поле статора, не обладая инерцией, сразу же начинает вращение с синхронной частотой n_1 , в то же время ротор двигателя под влиянием сил инерции в начальный момент пуска остается неподвижным ($n_2 = 0$) и скольжение $s = 1$.

Подставив скольжение $s = 1$, получим выражение пускового момента асинхронного двигателя (M_n):

$$M_n = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{4\pi f_1 [(x_1 + x_2')^2 + (x_1' + x_2')^2]} \quad (3.3.5.)$$

Под действием этого момента начинается вращение ротора двигателя, при этом скольжение уменьшается, а вращающий момент возрастает в соответствии с характеристикой $M = f(s)$. При критическом скольжении $s_{кр}$ момент достигает максимального значения M_{max} . С дальнейшим нарастанием частоты вращения (уменьшением скольжения) момент M начинает убывать, пока не достигнет установившегося

значения, равного сумме противодействующих моментов, приложенных к ротору двигателя: момента х.х. M_0 и полезного нагрузочного момента (момента на валу двигателя) M_2 , т. е.

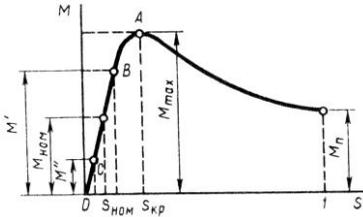


Рис. 3.3.3 Зависимость электромагнитного момента асинхронного двигателя от скольжения

$$M = M_0 + M_2 = M_{cm} \quad (3.3.6)$$

Следует иметь в виду, что при скольжениях, близких к единице (пусковой режим двигателя), параметры схемы замещения асинхронного двигателя заметно изменяют свои значения. Объясняется это в основном двумя факторами: усилением магнитного насыщения зубцовых слоев статора и ротора, что ведет к уменьшению индуктивных сопротивлений рассеяния x_1 и x'_2 , и эффектом вытеснения тока в стержнях ротора, что ведет к увеличению активного сопротивления обмотки ротора r'_2 .

Из анализа механической характеристики также следует, что устойчивая работа асинхронного двигателя возможна при скольжениях меньше критического ($s < s_{кр}$), т. е. на участке ОА механической характеристики. Дело в том, что именно на этом участке изменение нагрузки на валу двигателя сопровождается соответствующим изменением электромагнитного момента. Так, если двигатель работал в номинальном режиме ($M_{ном}$; $s_{ном}$), то имело место равенство моментов: $M_{ном} = M_0 + M_2$. Если произошло увеличение нагрузочного момента M_2 до значения M'_2 , то равенство моментов нарушится, т. е. $M_{ном} < M_0 + M'_2$, и частота вращения ротора начнет убывать (скольжение будет увеличиваться). Это приведет к росту электромагнитного момента до значения $M' = M_0 + M'_2$ (точка В), после чего режим работы двигателя вновь станет установившимся. Если же при работе двигателя в номинальном режиме произойдет уменьшение нагрузочного момента до значения M''_2 то равенство моментов вновь нарушится, по теперь вращающий момент окажется больше суммы противодействующих: $M_{ном} > M_0 + M''_2$. Частота

вращения ротора начнет возрастать (скольжение будет уменьшаться), и это приведет к уменьшению электромагнитного момента M до значения $M'' = M_0 + M_2''$ (точка С); устойчивый режим работы будет вновь восстановлен, но уже при других значениях M и s .

Работа асинхронного двигателя становится неустойчивой при скольжениях $s \geq s_{кр}$. Так, если электромагнитный момент двигателя $M = M_{max}$, а скольжение $s = s_{кр}$, то даже незначительное увеличение нагрузочного момента M_2 , вызвав увеличение скольжения s , приведет к уменьшению электромагнитного момента M . За этим следует дальнейшее увеличение скольжения и т. д., пока скольжение не достигнет значения $s = 1$, т. е. пока ротор двигателя не остановится.

Таким образом, при достижении электромагнитным моментом максимального значения наступает предел устойчивой работы асинхронного двигателя. Следовательно, для устойчивой работы двигателя необходимо, чтобы сумма нагрузочных моментов действующих на ротор, была меньше максимального момента $M_{ст} = (M_0 + M_2) < M_{max}$.

Вопрос 2. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

На рис. 3.3.4. представлена энергетическая диаграмма асинхронного двигателя, из которой видно, что часть подводимой к двигателю мощности $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \phi_1$ затрачивается в статоре на магнитные $P_{\text{м}}$ и электрические P_{31} потери. Оставшаяся после этого электромагнитная мощность $P_{\text{эм}}$ передается на ротор, где частично расходуется на электрические потери P_{32} и преобразуется в полную механическую мощность P'_2 . Часть мощности идет на покрытие механических $P_{\text{мех}}$ и добавочных потерь $P_{\text{доб}}$, а оставшаяся часть этой мощности P_2 составляет полезную мощность двигателя.

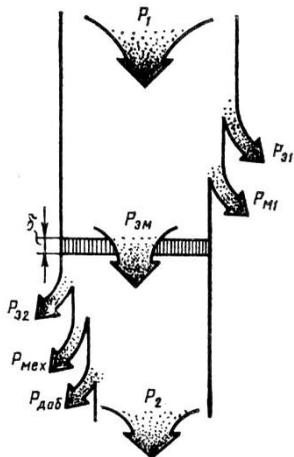


Рис. 3.3.4. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

Вопрос 3. Потери мощности, электромагнитный момент асинхронного двигателя и его зависимость от скольжений. Устойчивый и неустойчивый участки механической характеристики асинхронного двигателя.

Потери в электрических машинах разделяются на основные и добавочные. Основные потери включают в себя магнитные, электрические и механические.

Магнитные потери P_M в асинхронном двигателе вызваны потерями на гистерезис и потерями на вихревые токи, происходящими в сердечнике при его перемагничивании. Величина магнитных потерь пропорциональна частоте перемагничивания $P_M = f^\beta$,

где $\beta = 1,3 \div 1,5$. Частота перемагничивания сердечника статора равна частоте тока в сети ($f = f_1$), а частота перемагничивания сердечника ротора $f = f_2 = f_{1s}$. При частоте тока в сети $f_1 = 50$ Гц при номинальном скольжении $s_{ном} = 1 \div 8 \%$ частота перемагничивания ротора $f = f_2 = 2 \div 4$ Гц, поэтому магнитные потери в сердечнике ротора настолько малы, что их в практических расчетах не учитывают.

Электрические потери в асинхронном двигателе вызваны нагревом обмоток статора и ротора проходящими по ним токами. Величина этих потерь пропорциональна квадрату тока в обмотке (Вт):

электрические потери в обмотке статора

$$P_{31} = m_1 I^2 r_1 ; \quad (3.3.7)$$

электрические потери в обмотке ротора

$$P_{32} = m_2 I^2 r_2 = m_1 I^2 r_1' \quad (3.3.8)$$

Здесь r_1 и r_2 — активные сопротивления обмоток фаз статора и ротора пересчитанные на рабочую температуру $\Theta_{раб}$:

$$r_1 = r_{1,20} [1 + \alpha (\Theta_{раб} - 20)]; \quad r_2 = r_{2,20} [1 + \alpha (\Theta_{раб} - 20)], \quad (3.3.9)$$

где $r_{1,20}$ и $r_{2,20}$ — активные сопротивления обмоток при температуре $\Theta_1 = 20$ °С; α — температурный коэффициент, для меди и алюминия $\alpha = 0,004$.

Электрические потери в роторе прямо пропорциональны скольжению:

$$P_{32} = s P_{эм} \quad (3.3.10)$$

где $P_{эм}$ — электромагнитная мощность асинхронного двигателя, Вт:
 $P_{эм} = P_l = (P_m + P_{эл})$ (3.3.11)

Рассмотрим зависимость момента от скольжения $M = f(s)$ при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ и постоянных параметрах схемы замещения. Эту зависимость принято называть механической характеристикой асинхронной машины. Анализ выражения, представляющего собой аналитическое выражение механической характеристики $M = f(s)$, показывает, что при значениях скольжения $s = 0$ и $s = \infty$ электромагнитный момент $M = 0$. Из этого следует, что механическая характеристика $M = f(s)$ имеет максимум.

Для определения величины критического скольжения $s_{кр}$, соответствующего максимальному моменту, необходимо взять первую производную и приравнять ее нулю: $dM/ds = 0$. В результате

$$s_{кр} = \pm r'_2 / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \quad (3.3.12)$$

Подставив значение критического скольжения (по 3.3.12) в выражение электромагнитного момента, после ряда преобразований получим выражение максимального момента ($H \bullet M$):

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 P}{4\pi f [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}]} \quad (3.3.13)$$

В (3.3.12) и (3.3.13) знак плюс соответствует двигательному, а знак минус — генераторному режиму работы асинхронной машины.

Для асинхронных машин общего назначения активное сопротивление обмотки статора r_1 намного меньше суммы индуктивных сопротивлений: $r_1 \ll (x_1 + x'_2)$. Поэтому, пренебрегая величиной r_1 , получим упрощенные выражения критического скольжения

$$s_{кр} \approx \pm r'_2 / (x_1 + x'_2) \quad (3.3.14)$$

и максимального момента ($H \bullet M$)

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 P}{4\pi f_1 (x_1 + x'_2)_1} \quad (3.3.15)$$

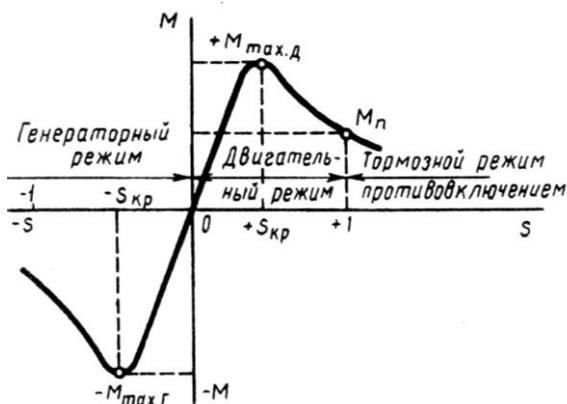


Рис. 3.3.5. Зависимость режимов работы асинхронной машины от скольжения

Анализ выражения показывает, что максимальный момент асинхронной машины в генераторном режиме больше, чем в двигательном ($M_{\max \text{ г}} > M_{\max \text{ д}}$). На рис. 3.3.5. показана механическая характеристика асинхронной машины $M = f(s)$ при $U_1 = \text{const}$. На этой характеристике указаны зоны, соответствующие различным режимам работы: двигательный режим ($0 < s \leq 1$), когда электромагнитный момент M является вращающим; генераторный режим ($-\infty < s < 0$) и тормозной режим противоключением ($1 < s < +\infty$), когда электромагнитный момент M является тормозящим.

Контрольные вопросы:

1. Из каких участков состоит магнитная цепь асинхронной машины?
2. Какова цель расчета магнитной цепи асинхронной машины?
3. Как влияет выбор значения магнитной индукции в воздушном зазоре на свойства асинхронного двигателя?
4. Какие марки листовых электротехнических сталей применяются в асинхронных двигателях?
5. Что учитывает коэффициент воздушного зазора?
6. Как определить коэффициент магнитного насыщения?

Тема 3.5 Пуск асинхронных двигателей

Вопрос 1. Особенности пуска асинхронного двигателя

Пуск асинхронного двигателя сопровождается переходным про-

цессом, обусловленным переходом ротора и механически связанных с ним частей исполнительного механизма из состояния покоя в состояние равномерного вращения, когда вращающий момент двигателя уравнивается суммой противодействующих моментов, действующих на ротор двигателя.

Пусковые свойства двигателя определяются в первую очередь значением пускового тока I_n или его кратностью $I_n/I_{ном}$ и значением пускового момента M_n или его кратностью $M_n/M_{ном}$. Двигатель, обладающий хорошими пусковыми свойствами, развивает значительный пусковой момент при сравнительно небольшом пусковом токе. Однако получение такого сочетания пусковых параметров в асинхронном двигателе сопряжено с определенными трудностями, а иногда оказывается невозможным.

В начальный момент пуска скольжение $s = 1$, поэтому, пренебрегая током х.х., пусковой ток можно определить, подставив $s = 1$:

$$I_n = U_1 / \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2} . \quad (3.4.1.)$$

Пусковой момент

$$M_n = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{2\pi f [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

Из (3.4.1.) следует, что улучшить пусковые свойства двигателя можно увеличением активного сопротивления цепи ротора r_2' , так как в этом случае уменьшение пускового тока сопровождается увеличением пускового момента. В то же время напряжение U_1 по-разному влияет на пусковые параметры двигателя: с уменьшением U_1 пусковой ток уменьшается, что благоприятно влияет на пусковые свойства двигателя, но одновременно уменьшается пусковой момент. Целесообразность применения того или иного способа улучшения пусковых свойств двигателя определяется конкретными условиями эксплуатации двигателя и требованиями, которые предъявляются к его пусковым свойствам.

Вопрос 2. Пуск короткозамкнутых асинхронных двигателей

Пуск непосредственным включением в сеть. Этот способ пуска, отличаясь простотой, имеет существенный недостаток: в момент подключения двигателя к сети в обмотке статора возникает

большой пусковой ток, в 5—7 раз превышающий номинальный ток двигателя. При небольшой инерционности исполнительного механизма частота вращения двигателя быстро достигает установившегося значения и пусковой ток также быстро падает, не вызывая перегрева обмотки статора. Но такой значительный бросок тока в питающей сети может вызвать в ней заметное падение напряжения. Однако этот способ пуска благодаря своей простоте получил наибольшее применение для двигателей

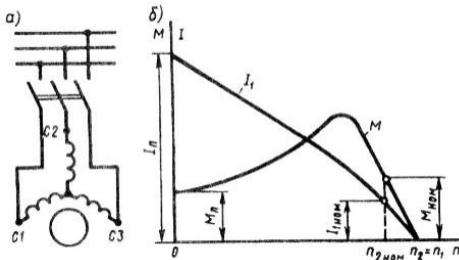


Рис. 3.4.1. Схема непосредственного включения в сеть (а) и графики изменения тока и момента при пуске (б) асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

мощностью до 38—50 кВт и более (при достаточном сечении жил токоподводящего кабеля). При необходимости уменьшения пускового тока двигателя применяют какой-либо из способов пуска короткозамкнутых двигателей при пониженном напряжении.

Пуск при пониженном напряжении. В соответствии с (3.4.1.) пусковой ток двигателя пропорционален подведенному напряжению U_1 , уменьшение которого вызывает соответствующее уменьшение пускового тока. Существует несколько способов понижения подводимого к двигателю напряжения. Рассмотрим некоторые из них.

Для асинхронных двигателей, работающих при соединении обмоток статора треугольником, можно применить пуск переключением обмотки статора со звезды на треугольник (рис. 3.4.2, а). В момент подключения двигателя к сети переключатель ставят в положение «звезда», при котором обмотка статора оказывается соединенной в звезду. При этом фазное напряжение на статоре понижается в $\sqrt{3}$ раз. Во столько же раз уменьшается и ток в фазных обмотках двигателя (рис. 3.4.2., б). Кроме того, при соединении обмоток звездой линейный ток равен фазному, в то время как при соединении этих же обмоток треугольником линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз. Следовательно, переключив обмотки статора звездой, мы добиваемся уменьшения линейного тока в $(\sqrt{3})^2 = 3$ раза.

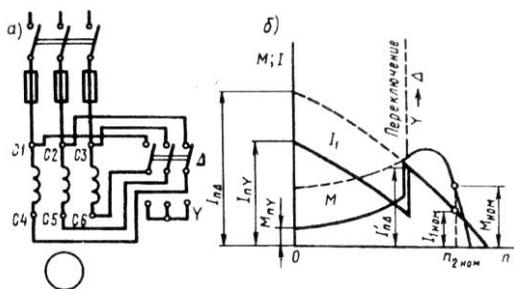


Рис. 3.4.2. Схема включения (а) и графики изменения момента и тока (фазного) при пуске (б) асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором переключением обмотки статора со звезды на треугольник

После того как ротор двигателя разгонится до частоты вращения, близкой к установившейся, переключатель быстро переводят в положение «треугольник» и фазные обмотки двигателя оказываются под номинальным напряжением. Возникший при этом бросок тока до значения $I'_{пд}$ является незначительным.

Рассмотренный способ пуска имеет существенный недостаток - уменьшение фазного напряжения в $\sqrt{3}$ раз сопровождается уменьшением пускового момента в три раза, так как, согласно (3.4.1.), пусковой момент асинхронного двигателя прямо пропорционален квадрату напряжения U_1 . Такое значительное уменьшение пускового момента не позволяет применять этот способ пуска для двигателей, включаемых в сеть при значительной нагрузке на валу.

Описанный способ понижения напряжения при пуске применим лишь для двигателей, работающих при соединении обмотки статора треугольником. Более универсальным является способ с понижением подводимого к двигателю напряжения посредством реакторов (реактивных катушек — дросселей). Порядок включения двигателя в этом случае следующий (рис. 3.4.3., а). При разомкнутом рубильнике 2 включают рубильник 7. При этом ток из сети поступает в обмотку статора через реакторы P , на которых происходит падение напряжения $j I_n \dot{x}_p$ (где x_p — индуктивное сопротивление реактора, Ом). В результате на обмотку статора подается пониженное напряжение

После разгона ротора двигателя включают рубильник 2 и подводимое к обмотке статора напряжение оказывается номинальным.

Недостаток этого способа пуска состоит в том, что уменьшение

напряжения в $U'_1 / U_{1\text{ном}}$ раз сопровождается уменьшением пускового момента $M_{\text{п}}$ в $(U'_1 / U_{1\text{ном}})^2$ раз.

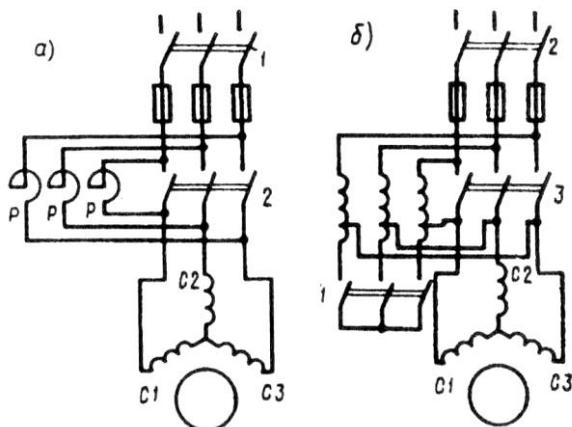


Рис. 3.4.3. Схемы реакторного (а) и автотрансформаторного (б) способов пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

При пуске двигателя через понижающий автотрансформатор (рис. 3.4.3., б) вначале замыкают рубильник 1, соединяющий обмотки автотрансформатора звездой, а затем включают рубильник 2 и двигатель оказывается подключенным на пониженное напряжение U'_1 . При этом пусковой ток двигателя, измеренный на выходе автотрансформатора, уменьшается в K_A раз, где K_A — коэффициент трансформации автотрансформатора. Что же касается тока в питающей двигатель сети, т. е. тока на входе автотрансформатора, то он уменьшается в K_A^2 раз по сравнению с пусковым током при непосредственном включении двигателя в сеть. Дело в том, что в понижающем автотрансформаторе первичный ток меньше вторичного в K_A раз и поэтому уменьшение пускового тока при автотрансформаторном пуске составляет $K_A K_A = K_A^2$ раз. Например, если кратность пускового тока асинхронного двигателя при непосредственном его включении в сеть составляет $I_{\text{п}} / I_{1\text{ном}} = 6$, а напряжение сети 380 В, то при автотрансформаторном пуске с понижением напряжения до 220 В кратность пускового тока в сети $I'_{\text{п}} / I_{1\text{ном}} = 6 / (380/220)^2 = 2$.

После первоначального разгона ротора двигателя рубильник 1 размыкают и автотрансформатор превращается в реактор. При этом напряжение на выводах обмотки статора несколько повышается, но

все же остается меньше номинального. Включением рубильника 3 на двигатель подается полное напряжение сети. Таким образом, автотрансформаторный пуск проходит тремя ступенями: на первой ступени к двигателю подводится напряжение $U_1 = (0,50 \div 0,60)U_{1ном}$, на второй — $U_1 = (0,70 \div 0,80)U_{1ном}$ и, наконец, на третьей ступени к двигателю подводится номинальное напряжение $U_{1ном}$.

Как и предыдущие способы пуска при пониженном напряжении, автотрансформаторный способ пуска сопровождается уменьшением пускового момента, так как значение последнего прямо пропорционально квадрату напряжения. С точки зрения уменьшения пускового тока автотрансформаторный способ пуска лучше реакторного, так как при реакторном пуске пусковой ток в питающей сети уменьшается в $U'_1 / U_{1ном}$ раз, а при автотрансформаторном - в $(U'_1 / U_{1ном})^2$ раз. Но некоторая сложность пусковой операции и повышенная стоимость пусковой аппаратуры (понижающий автотрансформатор и переключающая аппаратура) несколько ограничивают применение этого способа пуска асинхронных двигателей.

Вопрос 3. Оценка пусковых токов, выбор пускозащитной аппаратуры

Выбор аппаратов защиты проводится с учётом следующих требований:

1. Напряжение и номинальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и расчётному току цепи;
 2. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей нужно выбирать по возможности близкими по расчётному току цепи;
 3. Аппараты защиты не должны отключать установку при перегрузках возникающих в условиях нормальной эксплуатации (при пуске);
 4. Должны обеспечивать селективность защиты.
- Определяем пусковой ток электродвигателей:

$$I_{пуск} = K_i \cdot I_n,$$

где K_i – кратность пускового тока.

$$I_{пуск1} = 5,0 \cdot$$

Тема 3.6. Пуск электродвигателей с фазным ротором

Вопрос 1. Пуск в ход двигателей с фазным ротором. Особенности пуска

Наличие контактных колец у двигателей с фазным ротором позволяет подключить к обмотке ротора пусковой реостат (ПР). При этом активное сопротивление цепи ротора увеличивается до значения $R_2 = r_2' + r_d'$, где r_d' — электрическое сопротивление пускового реостата, приведенное к обмотке статора. Влияние возросшего значения активного сопротивления на пусковой момент двигателя M_n . Это влияние графически показано на рис. 3.4.1., из которого видно, что если при отсутствии ПР, т. е. при активном сопротивлении цепи ротора $R_2 = r_2$, пусковой момент $M_n = M_{n0}$, то при введении в цепь ротора добавочного активного сопротивления $r_{доб}$, когда $R_2 = r_2' + r_{доб}'$, пусковой момент возрастает и при $R_2 = r_2' + r_{доб}' = x_1 + x_2'$ достигает наибольшего значения $M_{n.наиб}$. При $R_2 > x_1 + x_2'$ пусковой момент уменьшается.

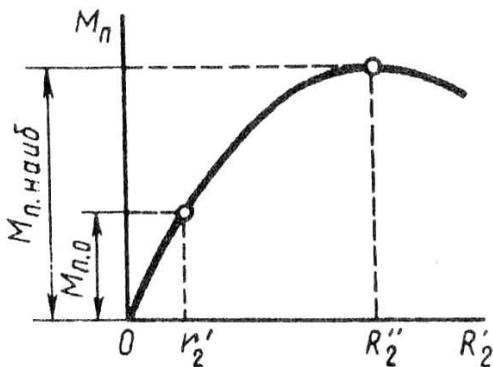


Рис. 3.4.4. Зависимость пускового момента от активного сопротивления цепи ротора

При выборе сопротивления пускового реостата

$r_{доб}$ исходят из условий пуска двигателя: если двигатель включают при значительном нагрузочном моменте на валу, сопротивление пускового реостата $r_{доб}$ выбирают таким, чтобы обеспечить наибольший пусковой момент (см. график при $r_{2ш}'$ на рис. 3.4.3); если же двигатель включают при небольшом нагрузочном моменте на валу, когда пусковой момент не имеет решающего значения для пуска, оказывается целесообразным сопротивление ПР $r_{доб}$ выбрать несколько больше значения, соответствующего наибольшему пусковому моменту, т. е. чтобы $R_2 > x_1 + x_2'$. В этом случае пусковой момент оказывается несколько меньшим наибольшего значения $M_{n.мах}$, но зато пусковой ток значительно уменьшается.

Вопрос 2. Монтаж, наладка и эксплуатация асинхронных двигателей. Эксплуатация асинхронных двигателей

Мероприятия по монтажу асинхронных двигателей (см. тема 2.6)

Объем работ по техническому обслуживанию

Важнейшим условием правильной эксплуатации электрических машин является своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов и периодических профилактических испытаний. Наряду с повседневным уходом и осмотром электрических машин в соответствии с системой планово-предупредительных ремонтов через определенные промежутки времени проводят плановые профилактические осмотры, проверки (испытания) и различные виды ремонта. С помощью системы планово-предупредительных ремонтов электрические машины поддерживают в состоянии, обеспечивающем их нормальные технические параметры, частично предотвращают случаи отказов, улучшают технические параметры машин при плановых ремонтах в результате модернизации. В настоящее время в соответствии с ГОСТ 18322-78 используют два вида ремонта — **текущий и капитальный**, хотя для отдельных видов электрооборудования предусматривается и средний ремонт. Период между двумя плановыми капитальными ремонтами называется **ремонтным циклом**. Для вновь вводимых в эксплуатацию электрических машин ремонтный цикл — это наработка от ввода в эксплуатацию до первого планового капитального ремонта. Существуют три формы организации ремонтов — **централизованная, децентрализованная, смешанная**. При централизованной форме ремонт, испытание и наладка электрических машин производятся специализированными ремонтно-наладочными организациями. Эта форма является наиболее прогрессивной, так как обеспечивает минимальную стоимость ремонта при более высоком качестве. При децентрализованной форме ремонт, испытания и наладка производятся ремонтными службами производственных подразделений предприятий, при смешанной часть работ выполняется централизованно, часть — децентрализованно, причем степень централизации зависит от характера предприятия, типа и мощности электрооборудования. С увеличением количества специализированных ремонтных предприятий и их мощности улучшается качество ремонтных работ, уменьшаются их себестоимость и сроки ремонта, что делает централизованный ремонт все более выгодным как для отдельных промышленных предприятий, так и для народного хозяйства страны в

целом. Усовершенствование централизованного ремонта предполагает создание централизованного обменного фонда электрических машин и расширение их номенклатуры, распространение сферы услуг ремонтных предприятий на производство текущих ремонтов и профилактического обслуживания. Продолжительность ремонтного цикла определяется условиями эксплуатации, требованиями к показателям надежности, ремонтпригодностью, правилами технической эксплуатации, инструкциями завода-изготовителя. Обычно ремонтный цикл исчисляется в календарном времени исходя из 8-часового рабочего дня при 41-часовой рабочей неделе. Реальная сменность работы оборудования и сезонность его работы учитываются соответствующими коэффициентами. При определении продолжительности ремонтного цикла исходят из графика распределения отказов электрических машин в функции времени эксплуатацию. На нем можно выделить три области: область I — послеремонтная приработка, когда вероятность отказов повышена за счет возможного применения при ремонте некачественных узлов, деталей и материалов, несоблюдения технологии ремонта и т. д.; область II — нормальный этап работы электрических машин с практически неизменным числом отказов во времени; область III — старение отдельных узлов электрической машины, характеризующееся ростом числа отказов. Длительность ремонтного цикла не должна превышать длительности нормального этапа работы II. При планировании структуры ремонтного цикла (виды и последовательность чередования плановых ремонтов) исходят из того, что в электрической машине наряду с быстроизнашивающимися деталями (щетками, подшипники качения, контактные кольца), восстановление которых производится их незначительным ремонтом или заменой на новые, имеются узлы с большим сроком наработки (обмотки, механические детали, коллекторы), ремонт которых достаточно трудоемок и занимает много времени, поэтому в течение наработки между капитальными ремонтами электрические машины должны пройти несколько текущих ремонтов. Текущие ремонты, как правило, не нарушают ритма производства, в то время как капитальный ремонт при отсутствии резерва связан с приостановкой производства (технологического процесса). Поэтому межремонтный период для электрических машин следует приравнять к межремонтному периоду основного технологического оборудования, если последний оказывается меньшим. Для электрических машин массового применения, не отнесенных к основному оборудованию и имеющих достаточный резерв, можно перейти от системы планово-предупредительного ремонта к послеотказовой системе ремонта. Целесообразность такого перехода должна подтверждаться технико-

экономическим анализом. Продолжительность T ремонтного цикла, а также продолжительность межремонтного периода t определяют, исходя из нормальных условий эксплуатации при двухсменной работе по данным, приведенным в табл. 1 (T табл, t табл). Для коллекторных машин постоянного и переменного тока приведенные в табл. продолжительности ремонтного цикла и межремонтного периода уменьшают путем введения коэффициента $\beta_k = 0,75$.

Таблица 1

| Условия работы электрических машин | Коэффициент спроса K_c | T табл, лет | t табл, мес |
|---|--------------------------|---------------|---------------|
| Сухие помещения | | | |
| Горячие гальванические, химические цехи | 0,25 | 12 | 12 |
| Загрязненные участки— деревообрабатывающие, сухой шлифовки и др. | 0,45 | 4 | 6 |
| Длительные циклы непрерывной работы с высокой степенью загрузки — | 0,25 | 6 | 8 |
| приводы насосов, вентиляторов, компрессоров, кондиционеров и др. | 0,75 | 9 | 9 |

Величины T и t зависят также от сменности работы электрических машин, коэффициента использования, характера работы (передвижные или стационарные установки, основное или вспомогательное оборудование).

Система планово-предупредительного ремонта предусматривает техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты, профилактические и послеремонтные испытания. В связи с большим разнообразием находящихся в эксплуатации электрических машин невозможно дать полный перечень работ по каждому из составляющих этой системы (кроме испытаний), поэтому ограничимся типовыми объемами работ. Перед ремонтом проводятся испытания электрических машин для выявления и последующего устранения дефектов.

Типовым объемом работ по техническому обслуживанию

включает: ежедневный надзор за выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя (контроль нагрузки, температуры отдельных узлов электрической машины, температуры охлаждающей среды при замкнутой системе охлаждения, наличия смазки в подшипниках, отсутствия ненормальных шумов и вибраций, чрезмерного искрения на коллекторе и контактных кольцах и др.); ежедневный контроль за исправностью заземления; контроль за соблюдением правил техники безопасности работающими на электрооборудовании; отключение электрических машин в аварийных ситуациях; мелкий ремонт, осуществляемый во время перерывов в работе основного технологического оборудования и не требующий специальной остановки электрических машин (подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс, подрегулировка пускорегулирующей аппаратуры и системы защиты, чистка доступных частей машины и т. д.); участие в приемосдаточных испытаниях после монтажа, ремонта и наладки электрических машин и систем их защиты и управления; плановые осмотры эксплуатируемых машин по утвержденному главным энергетиком графику с заполнением карты осмотра.

Контрольные вопросы:

1. Какими показателями характеризуются пусковые свойства асинхронных двигателей?
2. Каковы достоинства и недостатки пусковых свойств асинхронных двигателей?
3. Как лучше, с точки зрения улучшения пусковых свойств, уменьшить пусковой ток: снижением подводимого к двигателю напряжения или увеличением активного сопротивления в цепи обмотки ротора?
4. Каковы достоинства и недостатки пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть?
5. Какие существуют способы пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?
6. В чем сущность эффекта вытеснения тока и почему он возникает при пуске двигателя и почти исчезает при его работе?

Тема 3.7 Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей

Вопрос 1. Методы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя

Частота вращения ротора асинхронного двигателя

$$n_2 = n_1(1 - s) = (f_1 60 / p)(1 - s). \quad (3.5.1.)$$

Из этого выражения следует, что частоту вращения ротора асинхронного двигателя можно регулировать изменением какой - либо из трех величин: скольжения s , частоты тока в обмотке статора f_1 или числа полюсов в обмотке статора $2p$.

Регулирование частоты вращения изменением скольжения s возможно тремя способами: изменением подводимого к обмотке статора напряжения, нарушением симметрии этого напряжения и изменением активного сопротивления обмотки ротора.

Регулировка частоты вращения изменением скольжения происходит только в нагруженном двигателе. В режиме холостого хода скольжение, а следовательно, и частота вращения остаются практически неизменными.

Вопрос 2. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением числа пар полюсов, частоты приложенного напряжения, активного сопротивления цепи ротора

Регулирование частоты вращения изменением подводимого напряжения. Возможность этого способа регулирования подтверждается графиками $M = f(s)$, построенными для разных значений U_1 (см. рис. 3.5.1.). При неизменной нагрузке на валу двигателя увеличение подводимого к двигателю напряжения вызывает рост частоты вращения. Однако диапазон регулирования частоты вращения получается небольшим, что объясняется узкой зоной устойчивой работы двигателя, ограниченным значением критического скольжения и недопустимостью значительного превышения номинального значения напряжения. Последнее объясняется тем, что с превышением номинального напряжения возникает опасность чрезмерного перегрева двигателя, вызванного резким увеличением электрических и магнитных потерь. В то же время с уменьшением напряжения U_1 двигатель утрачивает перегрузочную способность, которая, как известно, пропорциональна квадрату напряжения сети.

Подводимое к двигателю напряжение изменяют либо регулировочным автотрансформатором, либо реакторами, включаемыми в разрыв линейных проводов.

Узкий диапазон регулирования и неэкономичность (необходимость в дополнительных устройствах) ограничивают область применения этого способа регулирования частоты вращения.

Регулирование частоты вращения нарушением симметрии подводимого напряжения. При нарушении симметрии подводимой к двигателю трехфазной системы напряжения вращающееся поле статора становится эллиптическим. При этом поле приобретает обратную составляющую (встречное поле), которая создает момент $M_{обр}$, направленный встречно вращающему моменту $M_{пр}$. В итоге результирующий электромагнитный момент двигателя уменьшается ($M = M_{пр} - M_{обр}$).

Механические характеристики двигателя при этом способе регулирования располагаются в зоне между характеристикой при симметричном напряжении (рис. 3.5.1., а, кривая 1) и характеристикой при однофазном питании двигателя (кривая 2) — пределом несимметрии трехфазного напряжения.

Для регулировки несимметрии подводимого напряжения можно в цепь одной из фаз включить однофазный регулировочный автотрансформатор (АТ). При уменьшении напряжения па выходе АТ несимметрия увеличивается, и частота вращения ротора уменьшается. Недостатками этого способа регулирования являются узкая зона

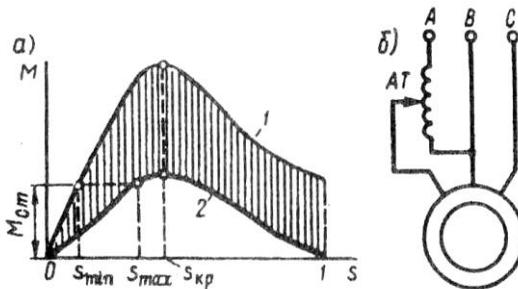


Рис. 3.5.1. Механические характеристики (а) и схема включения (б) асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения изменением

симметрии трехфазной системы регулирования и уменьшение КПД двигателя по мере увеличения несимметрии напряжения. Обычно этот способ регулирования частоты вращения применяют лишь в двигателях малой мощности.

Регулирование частоты вращения изменением активного сопротивления в цепи ротора. Этот способ регулирования частоты вращения возможен лишь в двигателях с фазным ротором. Ме-

ханические характеристики асинхронного двигателя, построенные для различных значений активного сопротивления цепи ротора (3.5.1.), показывают, что с увеличением активного сопротивления ротора возрастает скольжение, соответствующее заданному нагрузочному моменту. Частота вращения двигателя при этом уменьшается. Зависимость скольжения (частоты вращения) от активного сопротивления цепи ротора выражается формулой:

$$s = m_1 I^2_2 r'_2 / (\omega_1 M). \quad (3.5.2.)$$

Практически изменение активного сопротивления цепи ротора достигается включением в цепь ротора регулировочного реостата (РР), подобного пусковому реостату (ПР) (3.5.2.), но рассчитанного на длительный режим работы. Электрические потери в роторе пропорциональны скольжению ($P_{32} = sP_{3\text{м}}$), поэтому уменьшение частоты вращения (увеличение скольжения) сопровождается ростом электрических потерь в цепи ротора и снижением КПД двигателя. Так, если при неизменном нагрузочном моменте на валу двигателя увеличить скольжение от 0,02 до 0,5, что соответствует уменьшению частоты вращения примерно вдвое, то потери в цепи ротора составят почти половину электромагнитной мощности двигателя. Это свидетельствует о неэкономичности рассматриваемого способа регулирования. К тому же необходимо иметь в виду, что рост потерь в роторе сопровождается ухудшением условий вентиляции из-за снижения частоты вращения, что приводит к перегреву двигателя. Рассматриваемый способ регулирования имеет еще и тот недостаток, что участок механической характеристики, соответствующий устойчивой работе двигателя, при введении в цепь ротора добавочного сопротивления становится более пологим и колебания нагрузочного момента на валу двигателя сопровождаются значительными изменениями частоты вращения ротора. Это иллюстрирует рис. 3.5.2., на котором видно, что если нагрузочный момент двигателя изменится на $\Delta M_{\text{ст}} = M'_{\text{ст}} - M''_{\text{ст}}$, то изменение частоты

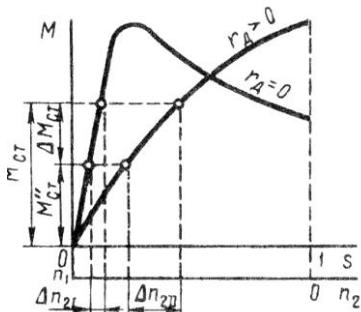


Рис.3.5.2. Влияние сопротивления цепи ротора на колебания частоты вращения при изменении нагрузивращения при выведенном регулировочном реостате ($r'_d = 0$) составит Δn_{2I} , а при введенном реостате - Δn_{2II} . В последнем случае изменение частоты вращения значительно больше.

Но несмотря на указанные недостатки, рассмотренный способ регулирования частоты вращения широко применяется в асинхронных двигателях с фазным ротором. В зависимости от конструкции регулировочного реостата этот способ регулирования частоты вращения может быть плавным (при плавном изменении сопротивления РР) или ступенчатым (при ступенчатом изменении сопротивления РР).

Способ обеспечивает регулирование частоты вращения в широком диапазоне, но только вниз от синхронной частоты вращения. Вместе с тем он обеспечивает двигателю улучшенные пусковые свойства.

Регулирование частоты вращения изменением частоты тока в статоре. Этот способ регулирования (частотное регулирование) основан на изменении синхронной частоты вращения $n_1 = f_1 60/p$.

Для осуществления этого способа регулирования необходим источник питания двигателя переменным током с регулируемой частотой. В качестве таких источников могут применяться электромашинные, ионные или полупроводниковые преобразователи частоты (ПЧ). Чтобы регулировать частоту вращения, достаточно изменить частоту тока f_1 . Но с изменением частоты $f_1 = \omega_1 p / (2\pi)$ будет изменяться и максимальный момент. Поэтому для сохранения неизменными перегрузочной способности, коэффициента мощности и КПД двигателя на требуемом уровне необходимо одновременно с изменением частоты f_1 изменять и напряжение питания U_1 . Характер одновременного изменения f_1 и U_1 зависит от закона изменения момента нагрузки и определяется уравнением

$$U'_1/U_1 = (f'_1/f_1) \sqrt{M'/M} \quad (3.5.3.)$$

где U_1 и M — напряжение и момент при частоте f_1 ; U'_1 и M' — напряжение и момент при частоте f'_1 .

Если частота вращения двигателя регулируется при условии постоянства момента нагрузки ($M = M' = \text{const}$), то подводимое к двигателю напряжение необходимо изменять пропорционально изменению частоты тока:

$$U'_1 = U_1 f'_1/f_1 \quad (3.5.4.)$$

При этом мощность двигателя увеличивается пропорционально нарастанию частоты вращения. Если же регулирование производится при условии постоянства мощности двигателя ($P_{\text{эм}} = M\omega_1 = \text{const}$), то

подводимое напряжение следует изменять в соответствии с законом

$$U'_1 = U_1 \sqrt{f'_1 / f_1}. \quad (3.5.5.)$$

Частотное регулирование двигателей позволяет плавно изменять частоту вращения в широком диапазоне (до 12:1). Однако источники питания с регулируемой частотой тока удорожают установку. Поэтому частотное регулирование до последнего времени применялось в основном для одновременного регулирования группы двигателей, работающих в одинаковых условиях (например, рольганговых двигателей). Но благодаря развитию силовой полупроводниковой техники в последние годы созданы устройства частотного регулирования, технико-экономические показатели которых оправдывают их индивидуальное применение для регулирования частоты вращения одиночных двигателей.

Использование асинхронных двигателей, укомплектованных такими устройствами для частотного регулирования, наиболее целесообразно в пожаро- и взрывоопасных средах (химическая и нефтеперерабатывающая промышленность), где применение коллекторных двигателей недопустимо.

Регулирование частоты вращения изменением числа полюсов обмотки статора. Этот способ регулирования частоты вращения дает ступенчатую регулировку. Так, при $f_1 = 50$ Гц и $p = 1 \div 5$ пар полюсов можно получить следующие синхронные частоты вращения: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин.

Изменять число полюсов в обмотке статора можно либо укладкой на статоре двух обмоток с разным числом полюсов, либо укладкой на статоре одной обмотки, конструкция которой позволяет путем переключения катушечных групп получать различное число полюсов. Последний способ получил наибольшее применение.

Принцип преобразования четырехполюсной обмотки в двухполюсную (для одной фазы) показан на рис. 3.5.3.: при последовательном согласном соединении двух катушек возбуждаемое ими магнитное поле образует четыре полюса (3.5.2.); при последовательном встречном (рис. 3.5.3, б) или параллельном соединении (рис. 3.5.3., в) — два полюса. Таким образом, принцип образования полюсно переключаемой обмотки основан на том, что каждая фаза обмотки делится на части (катушечные группы), изменяя

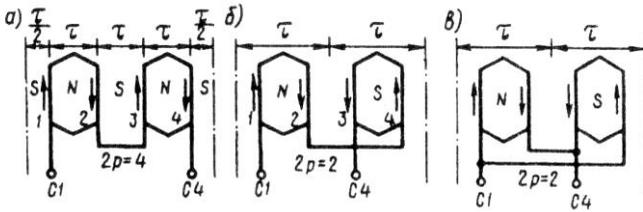


Рис 3.5.3. Схемы включения обмотки статора на разное число полюсов схему соединения которых получают разное число полюсов

Возможны два режима работы асинхронных двигателей с полюсно переключаемыми обмотками:

режим постоянного момента (рис. 3.5.4., а) — при переключении двигателя с одной частоты вращения на другую вращающий момент на валу двигателя M_2 остается неизменным, а мощность P_2 изменяется пропорционально частоте вращения n_2 :

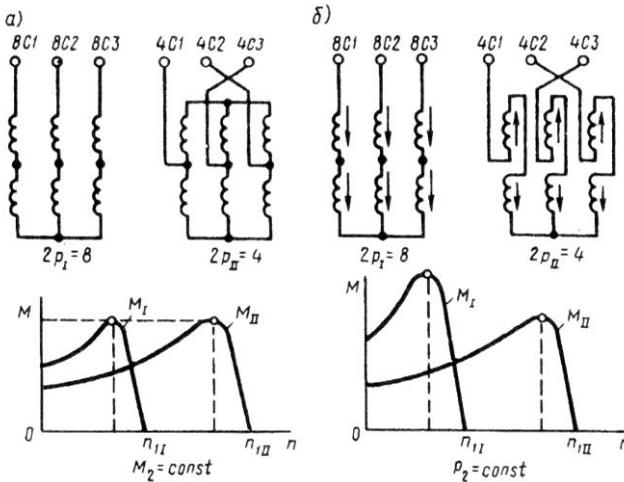


Рис. 3.5.4. Схемы переключения числа полюсов и механические характеристики в режимах постоянного момента (а) и постоянной скорости (б)

$$P_2 = 0,105 M_2 n_2 \quad (3.5.6.)$$

режим постоянной мощности (рис. 3.5.4., б) — при переключении двигателя с одной частоты вращения на другую мощность P_2 оста-

ется примерно одинаковой, а момент на валу M_2 изменяется соответственно изменению частоты вращения n_2 :

$$M_2 = 9,55 P_2 / n_2. \quad (3.5.7.)$$

Если на статоре расположить две полностью переключаемые обмотки, то получим четырехскоростной двигатель. Однако возможно применение и одной обмотки, допускающей путем переключения катушечных групп получение до четырех вариантов различных чисел полюсов. Например, асинхронный двигатель типа 4A180M12/8/6/4 имеет на статоре обмотку, допускающую переключение на 12,8,6,4 полюса.

Регулирование частоты вращения изменением числа полюсов на статоре применяют исключительно в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором, так как число полюсов в обмотке этого ротора всегда равно числу полюсов статора и для изменения частоты вращения достаточно изменить число полюсов в обмотке ротора. В случае же фазного ротора пришлось бы и на роторе применить полностью переключаемую обмотку, что привело бы к недопустимому усложнению двигателя.

Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуются пусковые свойства асинхронных двигателей?
2. Каковы достоинства и недостатки пусковых свойств асинхронных двигателей?
3. Как лучше, с точки зрения улучшения пусковых свойств, уменьшить пусковой ток: снижением подводимого к двигателю напряжения или увеличением активного сопротивления в цепи обмотки ротора?
4. Каковы достоинства и недостатки пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть?
5. Какие существуют способы пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?
6. В чем сущность эффекта вытеснения тока и почему он возникает при пуске двигателя и почти исчезает при его работе?
7. Почему бутылочная форма паза ротора способствует лучше проявлению эффекта вытеснения тока?
8. Перечислите способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей и дайте им сравнительную оценку.
9. Почему при частотном регулировании частоты вращения одновременно с частотой тока необходимо изменять напряжение?

Тема 3.8 Однофазные асинхронные двигатели. Трехфазный асинхронный двигатель в режиме однофазного

Вопрос 1. Общие сведения об однофазных асинхронных двигателях и включение трехфазного двигателя в однофазную цепь

По своему устройству однофазный асинхронный двигатель аналогичен трехфазному и состоит из статора, в пазах которого уложена однофазная обмотка, и короткозамкнутого ротора. Особенность работы однофазного асинхронного двигателя заключается в том, что при включении однофазной обмотки статора С1—С2 в сеть (рис. 3.6.1.) МДС статора создает не вращающийся, а пульсирующий магнитный поток с амплитудой Φ_{\max} , изменяющейся от $+\Phi_{\max}$ до $-\Phi_{\max}$. При этом ось магнитного потока остается неподвижной в пространстве.

Вопрос 2. Однофазные асинхронные двигатели. Разложение пульсирующего магнитного потока на два вращающихся

Для объяснения принципа действия однофазного двигателя пульсирующий поток Φ_{\max} разложим на два вращающихся в противоположные стороны потока $\Phi_{\text{пр}}$ и $\Phi_{\text{обр}}$ (рис. 3.6.2.), каждый из которых равен $0,5\Phi_{\max}$ и вращается с частотой (об/мин)

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{обр}} = f \cdot 60 / p = n_1$$

Условимся считать поток $\Phi_{\text{пр}}$ вращающийся в направлении вращения ротора, прямым, а поток $\Phi_{\text{обр}}$ - обратным. Допустим, что ротор двигателя вращается против часовой стрелки, т. е. в направлении потока $\Phi_{\text{пр}}$.

Частота вращения ротора n_2 меньше частоты вращения магнитного поля статора n_1 , поэтому скольжение ротора относительно вращающегося потока $\Phi_{\text{пр}}$ будет

$$s_{\text{пр}} = (n_1 - n_2) / n_1 = s \quad (3.6.1)$$

Обратный поток $\Phi_{\text{обр}}$ вращается противоположно ротору, поэтому частота вращения ротора n_2 относительно $\Phi_{\text{обр}}$ - отрицательная. В этом случае скольжение ротора относительно $\Phi_{\text{обр}}$ определится выражением

$$s_{\text{обр}} = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} = \frac{n_1 + n_1 - n_1 + n_2}{n_1} = \frac{2n_1 - n_1 - n_2}{n_1} = 2 - s \quad (3.6.2.)$$

Прямое поле наводит в обмотке ротора ЭДС $E_{2пр}$, а обратное поле — ЭДС $E_{2обр}$. Эти ЭДС создают в обмотке ротора токи $I'_{2пр}$ и $I'_{2обр}$.

Известно, что частота тока в роторе пропорциональна скольжению ($f_2 = sf_1$). Так как $s_{пр} < s_{обр}$, то частота тока $I'_{2обр}$ намного больше частоты тока $I'_{2пр}$. Так, для однофазного двигателя с $n_1 = 1500$ об/мин, $n_2 = 1450$ об/мин и $f_1 = 50$ Гц получим:

$$s_{пр} = (1500 - 1450) / 1500 = 0,033;$$

$$f_{2пр} = 0,033 \cdot 50 = 1,8 \text{ Гц};$$

$$s_{обр} = (1500 + 1450) / 1500 = 1,96;$$

$$f_{2обр} = 1,96 \cdot 50 = 98 \text{ Гц}.$$

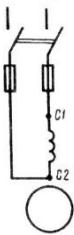


Рис.3.6.1 Схема включения однофазного асинхронного двигателя

Индуктивное сопротивление обмотки ротора току $I'_{2обр}$ во много раз больше ее активного сопротивления (потому что $f_{2обр} \gg f_{2пр}$). Ток $I'_{2обр}$ является почти чисто индуктивным, оказывающим сильное размагничивающее действие на обратное поле $\Phi_{обр}$. В результате обратное поле и обусловленный им момент $M_{обр}$ оказываются значительно ослабленными и ротор однофазного двигателя вращается в направлении прямого поля под действием момента

$$M = M_{пр} - M_{обр}, \quad (3.6.3)$$

где $M_{пр}$ — электромагнитный момент, обусловленный прямым полем.

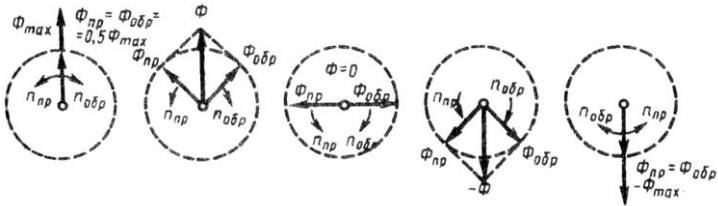


Рис. 3.6.2. Разложение пульсирующего магнитного потока на два вращающихся

Вопрос 3. Механическая характеристика однофазного двигателя

На рис. 3.6.3 представлен график зависимости вращающего момента M в функции скольжения $s = s_{пр}$. Этот график получен путем наложения графиков $M_{пр} = f(s_{пр})$ и $M_{обр} = f(s_{обр})$. При малых значениях скольжения s , что соответствует работе двигателя в пределах номинальной нагрузки, вращающий момент M создается главным образом моментом $M_{пр}$.

При $s_{пр} = s_{обр} = 1$ моменты $M_{пр}$ и $M_{обр}$ равны, а поэтому пусковой момент однофазного двигателя равен нулю. Следовательно, однофазный асинхронный двигатель не может самостоятельно прийти во вращение при подключении его к сети, а нуждается в первоначальном толчке, так как лишь при $s \neq 1$ на ротор двигателя действует вращающий момент $M = M_{пр} - M_{обр}$.

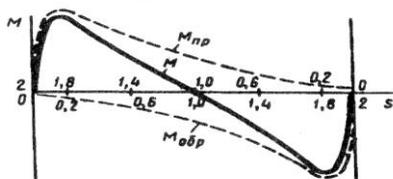


Рис. 3.6.3. Механические характеристики однофазного асинхронного двигателя

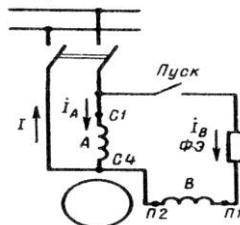


Рис. 3.6.4. Схема однофазного асинхронного двигателя с пусковой обмоткой

Приведенные на рис. 3.6.3 зависимости моментов показывают, что однофазный асинхронный двигатель не создает пускового момента. Чтобы этот момент появился, необходимо во время пуска двигателя создать в нем вращающееся магнитное поле. С этой целью на статоре двигателя помимо рабочей обмотки А применяют еще одну обмотку — пусковую В.

Тема 3.9. Особенности пуска однофазных асинхронных двигателей

Вопрос 1. Пуск в ход однофазных асинхронных двигателей

Для получения вращающегося магнитного поля посредством двух обмоток на статоре, смещенных относительно друг друга на 90

эл. град, необходимо соблюдать следующие условия (рис. 3.6.5):

а) МДС рабочей и пусковой обмоток F_A^\bullet и F_B^\bullet должны быть и равны и сдвинуты в пространстве относительно друг друга на 90 эл. град;

б) токи в обмотках статора I_A^\bullet и I_B^\bullet должны быть сдвинуты по фазе относительно друг друга на 90°.

При строгом соблюдении указанных условий вращающееся поле статора является круговым, что соответствует наибольшему вращающему моменту.

Вопрос 2. Трехфазный асинхронный двигатель в режиме однофазного, его использование

Трехфазный асинхронный двигатель может быть использован для работы от однофазной сети. В этом случае такой двигатель включают как конденсаторный по одной из схем рис. 3.6.5.

Значение рабочей емкости $C_{\text{раб}}$ (мкФ) при частоте переменного тока 50 Гц можно ориентировочно определить по одной из формул: для схемы, изображенной на рис. 16.9 а,

$$C_{\text{раб}} \approx 2700 I_1 / U_c; \quad (3.6.6)$$

на рис. 3.6.9, б

$$C_{\text{раб}} \approx 2800 I_1 / U_c; \quad (3.6.7)$$

на рис. 3.6.9, в

$$C_{\text{раб}} \approx 4800 I_1 / U_c; \quad (3.6.8)$$

Здесь I_1 — номинальный (фазный) ток в обмотке статора, А; U_c — напряжение однофазной сети, В.

При подборе рабочей емкости необходимо следить за тем, чтобы ток в фазных обмотках статора при установившемся режиме работы не превышал номинального значения.

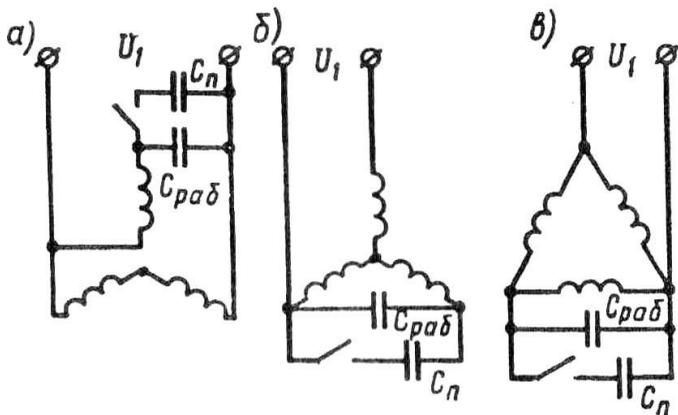


Рис 3.6.5. Схемы соединения обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя при включении его в однофазную сеть

Если пуск двигателя происходит при значительной нагрузке на валу, то параллельно рабочей емкости $C_{раб}$ следует включить пусковую емкость

$$C_n = (2,5 \div 3,0) C_{раб}. \quad (3.6.9)$$

В этом случае пусковой момент становится равным номинальному. При необходимости дальнейшего увеличения пускового момента следует принять еще большее значение пусковой емкости ($C_n \leq 8C_{раб}$).

Вопрос 3. Монтаж, наладка и эксплуатация однофазных асинхронных двигателей

Мероприятия по монтажу однофазных асинхронных двигателей (см. тема 2.6)

Мероприятия по эксплуатации однофазных асинхронных двигателей.

При необходимости наблюдения за пуском и работой асинхронных однофазных электродвигателей механизмов, регулирование технологических процессов которых осуществляется по току, на панели управления должен быть установлен амперметр, измеряющий ток в цепи статора двигателя. На шкале этого прибора должен быть отмечен красной чертой ток, на 5% превышающий номинальный ток двигателя.

Для контроля наличия напряжения на групповых щитках должны быть установлены вольтметры или сигнальные лампы.

На электродвигателях и приводимых ими механизмах должны быть нанесены стрелки, указывающие направление их вращения. На пускорегулирующих аппаратах должны быть отмечены положения «пуск» и «стоп», «включено» и «выключено».

Постоянный надзор за работой асинхронного двигателя: контроль нагрузки, температуры подшипников, вибраций, температуры охлаждающего воздуха — при замкнутой системе вентиляции осуществляется оперативным персоналом цеха, обслуживающим соответствующие производственные механизмы. Обслуживающий персонал должен следить за чистотой двигателя, периодически стирать с него пыль, следить за недопустимым попаданием воды или пара внутрь двигателя и т. д.

Асинхронные двигатели, длительное время находящиеся в резерве, должны осматриваться и периодически опробоваться по графику, утвержденному ответственным за электрохозяйство данного предприятия.

Температуру подшипников можно проверять на ощупь или с помощью термометров.

В подшипниках скольжения необходимо проверять уровень масла и его чистоту. При низком уровне производится доливка масла, марка которого указывается в инструкции по эксплуатации. Чтобы масло не попадало на обмотки, не следует допускать перелива его. Доливка масла производится, как правило, не чаще 1 раза в месяц, а его смена не реже 1 раза в год, а также в случае загрязнения масла или сильного нагрева подшипника.

В подшипниках качения, кроме того, необходимо следить за возможностью возникновения ненормального шума, который указывает на отсутствие смазки или появление дефектов на поверхностях качения. В подшипниках качения используются консистентные, мазеподобные смазки, замена которых должна производиться не реже 1 раза в год.

Персонал электроцеха должен периодически проверять электрическую прочность изоляции обмоток двигателя. Изоляция обмоток относительно корпуса и между обмотками должна выдерживать практически синусоидальное напряжение частотой 50 Гц в течение 1 мин.

Испытания электрической прочности изоляции проводятся после замера сопротивления изоляции и только при удовлетворительных результатах замера. Если у двигателя не выведены отдельно концы и начала фаз обмоток, испытываются сразу все обмотки (отсоединенные от схемы питания) по отношению к корпусу. При этом один полюс

источника испытательного напряжения соединяется с заземленным корпусом двигателя. Испытания, как правило, осуществляются с помощью специального трансформатора, снабженного устройством для регулировки напряжения и измерительной аппаратурой.

Электрическая прочность междувитковой изоляции обмоток должна выдерживать в течение 5 мин напряжение, превышающее номинальное на 30%. Испытания проводятся для асинхронных короткозамкнутых двигателей в режиме холостого хода, для двигателей с фазным ротором — при разомкнутой обмотке ротора.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками (МОм) определяют по проходящему через нее току при приложении постоянного напряжения при рабочей температуре двигателя:

$$\geq \frac{U_n}{1000} + 0,01P_n \quad (67)$$

где U_n — номинальное напряжение, В; P_n — номинальная мощность двигателя, кВт.

Сопротивление r должно быть не менее 0,5 МОм. Необходимо отметить сильную зависимость сопротивления изоляции от температуры. Если испытания проводились при температуре ниже рабочей, то полученные r из приведенной выше формулы необходимо удваивать при разнице между температурами испытаний и рабочей на каждые 20°C (полные или неполные).

Измерение сопротивления изоляции производится с помощью мегаомметра с ручным или электрическим приводом, а также методом вольтметра-амперметра. Перед измерением проверяют упрощенно правильность работы прибора. Кроме того, обмотки кратковременно на 1—2 мин заземляют, а затем, отсоединив от земли, проверяют их сопротивление. Показания прибора фиксируют при установившейся стрелке через 15—60 с после начала измерений (вначале возможен бросок стрелки).

Во время измерений сопротивления изоляции одной из обмоток все остальные обмотки, если они не соединены с первой, следует соединить с корпусом двигателя. После измерений обмотки необходимо разрядить на корпус.

Сроки измерения сопротивления изоляции задаются в инструкции по эксплуатации однофазных асинхронных двигателей в зависимости от конкретных местных условий. В нормальных условиях со-

противление изоляции сохраняется в требуемых пределах довольно длительное время (месяцами), поэтому замеры следует производить не чаще чем через месяц. Это лучше всего производить при остановках основного агрегата. Сопротивление изоляции необходимо измерять также после ремонтов.

Контрольные вопросы:

1. Почему однофазный двигатель не создает пускового момента?
2. С какой целью в цепь пусковой обмотки двигателя включают ФЭ?
3. Чем отличается однофазный двигатель от конденсаторного?
4. Как можно повысить пусковой момент в конденсаторном двигателе?
5. С какой целью в асинхронном двигателе с экранированными полюсами эти полюсы делают расщеплёнными?

Тема 3.10. Асинхронные генераторы

Вопрос 1. Общие сведения об асинхронных генераторах

Асинхронные генераторы являются одной из разновидностей механического или электромеханического устройства, преобразующего энергию двигателя автономной электростанции в электрическую энергию. Работа асинхронного генератора построена на принципе вращения ротора в одном направлении с магнитным полем, но с большей скоростью. В результате на валу генератора образуется тормозящий момент из-за отрицательного скольжения ротора, благодаря чему и происходит выработка электроэнергии.

Ввиду своих технических особенностей, асинхронные генераторы используются в основном на бытовых электростанциях малой и средней мощности. При этом данные решения не способны выдерживать кратковременных всплесков нагрузки от потребителей. В частности, практически все мощные электроприборы требуют высоких пусковых токов, поэтому выбирая электростанцию с асинхронным генератором необходимо иметь «оперативный» запас мощности, в 2,5-3 раза превышающий мощность подключаемой нагрузки. Однако при использовании опции стартового усиления данный запас мощности можно сократить до уровня 1,5-2 раза. Эта опция может быть реализована благодаря специальному блоку, автоматически увеличивающему воз-

буждение генератора при резком увеличении потребляемого тока. Следует отметить, что в некоторых вариантах применения, таких как проведение сварочных работ, блок стартового усиления должен быть включен в обязательном порядке.

Вопрос 2. Виды асинхронных генераторов, их особенности работы

Асинхронные генераторы принципиально отличаются от синхронных отсутствием жесткой зависимости между частотой вращения ротора и вырабатываемой ЭДС. Разницу между этими частотами характеризует коэффициент s - скольжение.

$$s = (n - n_r) / n$$

здесь:

n - частота вращения магнитного поля (частота ЭДС).

n_r - частота вращения ротора.

В обычном режиме электромагнитное поле асинхронного генератора под нагрузкой оказывает тормозной момент на вращения ротора, следовательно, частота изменения магнитного поля меньше, поэтому скольжение будет отрицательным. К генераторам, работающим в области положительных скольжений, можно отнести асинхронные тахогенераторы и преобразователи частоты.

Асинхронные генераторы в зависимости от конкретных условий применения выполняются с короткозамкнутым, фазным или полым ротором. Источниками формирования необходимой энергии возбуждения ротора могут являться статические конденсаторы или вентильные преобразователи с искусственной коммутацией вентилей.

Асинхронные генераторы можно классифицировать по способу возбуждения, характеру выходной частоты (изменяющаяся, постоянная), способу стабилизации напряжения, рабочим областям скольжения, конструктивному выполнению и числу фаз.

Последние два признака характеризуют конструктивные особенности генераторов.

Характер выходной частоты и методы стабилизации напряжения в значительной степени обусловлены способом образования магнитного потока.

Вопрос 3. Электрическая принципиальная схема асинхронного генератора

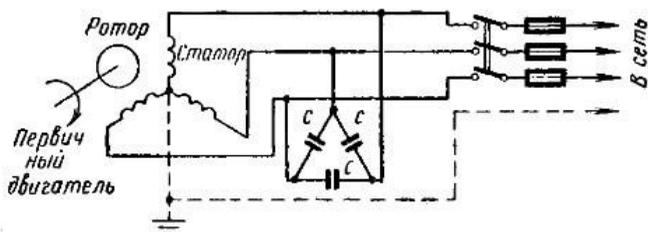


Схема генератора.

Контрольные вопросы:

1. Область применения асинхронного генератора
2. Приведите различия в схемах асинхронных генераторов
3. Достоинства и недостатки асинхронных генераторов

Тема 3.11 Фазорегуляторы и индукционные регуляторы

Вопрос 1. Общие сведения о фазорегуляторах и индукционных регуляторах

Фазорегулятор (ФР). Предназначен для изменения фазы вторичного напряжения относительно первичного при неизменном вторичном напряжении.

Индукционный регулятор напряжения (ИР) представляет собой асинхронную машину с фазным ротором, предназначенную для плавного регулирования напряжения. Рассмотрим работу трехфазного ИР, получившего преимущественное применение.

Вопрос 2. Подготовка к работе трехфазной асинхронной машины в режиме фазорегулятора и регулируемого индуктивного сопротивления. Асинхронные машины с фазным ротором при неподвижном роторе в режиме фазорегулятора, индукционного регулятора, реактивной катушки

Изменение фазы вторичного напряжения осуществляется поворотом ротора относительно статора. Первичной обмоткой в ФР обычно

является обмотка статора. Фазорегуляторы применяются в устройствах автоматики (для фазового управления) и измерительной технике (для проверки ваттметров и счетчиков).

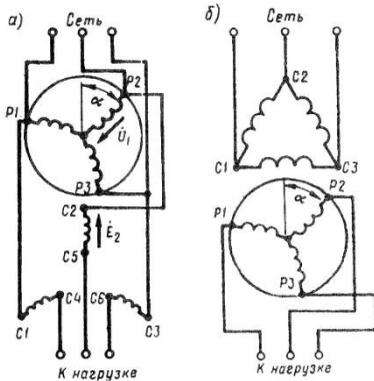


Рис.3.8.1. Схемы соединения индукционного регулятора напряжения (а) и фазорегулятора (б)

Ротор ИР заторможен посредством червячной передачи, которая не только удерживает его в заданном положении, но и позволяет плавно поворачивать его относительно статора. Обмотки статора и ротора в ИР имеют автотрансформаторную связь (рис.3.8.1, а), поэтому ИР иногда называют поворотным автотрансформатором.

Напряжение сети U_1 подводится к обмотке ротора, при этом ротор создает вращающееся магнитное поле, наводящее в обмотке ротора ЭДС $E_1^* = -U_1^*$, а в обмотке статора — ЭДС E_2^*

Вопрос 3. Векторная диаграмма индукционного регулятора

Фазовый сдвиг ЭДС относительно друг друга зависит от взаимного пространственного положения осей обмоток статора и ротора, определяемого углом α .

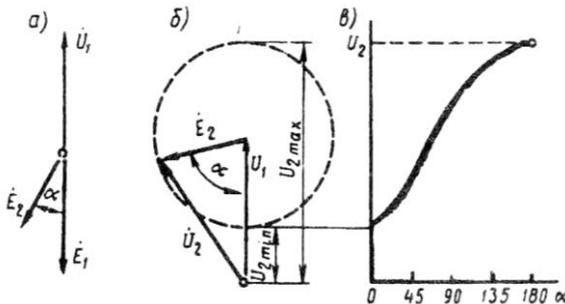


Рис. 3.8.2. Векторные диаграммы индукционного регулятора напряжения

При $\alpha = 0$ оси обмоток совпадают, вращающееся поле одновременно сцепляется с обеими обмотками и ЭДС E_1^* и E_2^* совпадают по фазе (при этом E_2^* и U_1^* находятся в противофазе). При $\alpha = 180$ эл. град ЭДС E_1^* и E_2^* окажутся в противофазе (E_2^* и U_1^* совпадают по фазе). Если пренебречь внутренними падениями напряжения, то напряжение на выходе ИР определяется геометрической суммой:

$$U_2^* = U_1^* + E_2^* \quad (3.8.1.)$$

При повороте ротора концы векторов E_2^* и U_2^* описывают окружность (рис. 3.8.2, б), при этом U_2^* изменяется от $U_{2\min}^* = U_1^* - E_2^*$ при $\alpha = 0$ до $U_{2\max}^* = U_1^* + E_2^*$ при $\alpha = 180$ эл. град (рис. 3.8.2, в). Поворот ротора осуществляется либо вручную штурвалом, либо дистанционно включением исполнительного двигателя.

Контрольные вопросы:

1. В чем различия между схемами соединения индукционного регулятора напряжения и фазорегулятора?
2. Сколько раз напряжение на выходе ИР достигнет наибольшего значения за один оборот ротора, если обмотка имеет $2p = 6$?

Тема 3.12 Асинхронные микромашины

Вопрос 1. Виды и особенности асинхронных микромашин

Асинхронные микромашины применяются в устройствах автоматики, приборах, счетно-решающих устройствах и делятся на следующие группы: силовые, исполнительные и информационные.

Асинхронные микромашины используют в автоматических и измерительных устройствах в качестве одно - и двухфазных двигателей, тахогенераторов и сельсинов.

Асинхронные микромашины используют в автоматических и измерительных устройствах в качестве одно - и двухфазных двигателей, тахогенераторов и сельсинов. Рассмотрим особенности работы наибо-

лее часто используемого однофазного асинхронного двигателя.

Асинхронные микромашины используют в автоматических и измерительных устройствах в качестве одно - и двухфазных двигателей, тахогенераторов и сельсинов.

Вопрос 2. Асинхронные исполнительные двигатели с полым немагнитным ротором, способы управления, устранение самохода. Пуск в ход асинхронных микромашин

Асинхронные исполнительные двигатели с полым немагнитным ротором (рис. 3.9.1). Полый немагнитный ротор представляет собой тонкостенный алюминиевый стакан 2, что, с одной стороны, обеспечивает ротору повышенное активное сопротивление, а с другой — весьма небольшой момент инерции.

Двигатель имеет два статора: внешний 1 с обмоткой и внутренний 3 без обмотки, входящий внутрь полого стакана ротора. Внутренний статор необходим для уменьшения магнитного сопротивления основному магнитному потоку.

По сравнению с исполнительными двигателями обычно и конструкции двигателя с полым немагнитным ротором имеют повышенные габариты и невысокий КПД. Это объясняется повышенным зазором между наружным и внутренним статорами, который складывается из толщины стенки стакана ротора и двух воздушных зазоров. Как известно, увеличение воздушного зазора способствует росту намагничивающего тока двигателя и снижению его КПД.

На статоре асинхронного исполнительного двигателя расположена двухфазная обмотка. Одна из фазных обмоток — обмотка возбуждения (ОВ) - постоянно включена в сеть с напряжением U_1 , а на другую - обмотку управления (ОУ) — напряжение (сигнал управления) U_c подается лишь при необходимости включения двигателя (рис. 3.9.1.).

Для работы двухфазного ИД необходимо вращающееся магнитное поле, непременным условием возникновения которого является наличие пространственного и временного сдвигов между МДС фазных обмоток статора. Пространственный сдвиг указанных МДС обеспечивается конструкцией обмотки статора, при которой оси фазных обмоток сдвинуты в пространстве относительно друг друга обычно на угол 90 эл. град. Временной (фазный) сдвиг МДС создается либо питанием обмотки статора двухфазной системой напряжений, либо включением в цепь ОУ фазовращателя — устройства, позволяющего получать различные фазовые сдвиги напряжения на его выходе относительно напряжения на входе, т. е. относительно напряжения на обмотке возбуждения, либо включением последовательно в цепь ОВ емкости (рис. 3.9.1.).

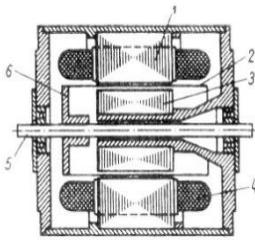


Рис. 3.9.1. Асинхронный двигатель с полым немагнитным ротором: 1 — внешний статор; 2 — стакан ротора; 3 — внутренний статор; 4 — обмотка статора; 5 — вал; 6 — втулка крепления стакана ротора

Одно из основных требований к ИД — отсутствие самохода. Известно, что обычные асинхронные двигатели имеют небольшое активное сопротивление обмотки ротора и работают с малым критическим. Такие двигатели непригодны в качестве исполнительных, так как они обладают самоходом, т. е. при снятии сигнала управления двигатель будет продолжать работать как однофазный. Это иллюстрирует рис. 17.8, а, на котором точка А определяет режим работы двигателя с нагрузочным моментом $M_{ном}$ при наличии сигнала управления. При снятии сигнала управления поле статора становится пульсирующим (обмотка возбуждения постоянно включена в сеть) и режим работы двигателя "определяется точкой В на характеристике однофазного двигателя.

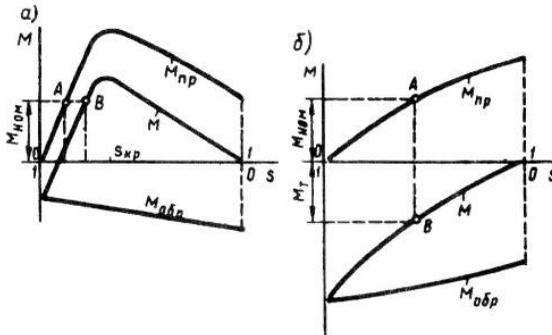


Рис. 3.9.2. Устранение самохода в асинхронном исполнительном двигателе

При этом электромагнитный момент двигателя останется положительным. Если же увеличить активное сопротивление ротора, то форма кривых прямого $M_{пр}$, обратного $M_{обр}$ и результирующего $M = M_{пр} + M_{обр}$ моментов изменится: максимумы моментов $M_{пр}$ и $M_{обр}$ сместятся в область больших скольжений ($s_{кр} > 1$). Теперь после прекращения сигнала управления, т. е. при переходе двигателя в однофазный режим, электромагнитный момент становится отрицательным M_t (точка В) и оказывает на ротор тормозящее действие, не допуская самохода.

Вопрос 3. Асинхронный тахогенератор, однофазные сельси-

ны в индикаторном и трансформаторном режимах

Конструкция асинхронного тахогенератора аналогична конструкции асинхронного исполнительного двигателя с полым немагнитным ротором. На статоре в пазах уложены две обмотки, сдвинутые в пространстве на 90° . Одна из обмоток B (возбуждения) постоянно включена в сеть, другая обмотка Γ (генераторная) присоединена к нагрузке Z_n (рис. 3.9.3.), т. е. является выходной.

По обмотке B проходит переменный ток, в результате чего создается магнитный поток Φ_d , пульсирующий с частотой сети f_1 . Этот поток распределен в пространстве практически синусоидально и его ось совпадает с осью обмотки возбуждения (рис. 3.9.4., a), называемой *продольной осью $d-d$* . Соответственно поток, создаваемый обмоткой возбуждения, называют продольным. Ось $q-q$, перпендикулярную оси обмотки возбуждения, называют *поперечной*. Рассмотрим, какие ЭДС и токи возникают при взаимодействии потока Φ_d с ротором и обмотками статора при неподвижном и вращающемся роторе.

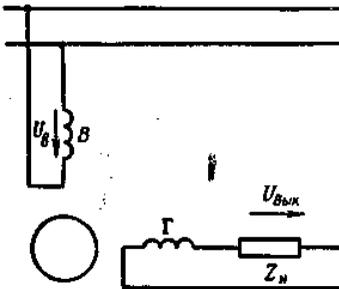


Рис. 3.9.3. Схема асинхронного тахогенератора

По конструкции сельсина разделяют на контактные, у которых обмотка на роторе соединена с внешней цепью через контактные кольца и щетки, и бесконтактные, не имеющие на роторе обмоток.

Контактные сельсины в принципе не отличаются от асинхронных двигателей с фазным ротором. На рис. 3.9.4. показано устройство контактного сельсина. Статор 7 и ротор 2 этого сельсина неявнополюсные, и поэтому обе обмотки сельсина распределенные. Наличие на роторе двух контактных колец 3 указывает на расположение на роторе обмотки возбуждения.

В некоторых конструкциях статор или ротор делают с явно выраженными полюсами, что способствует повышению синхронизирующего момента. Наличие контактных колец — основной недостаток контактных сельсинов, так как это ведет к неустойчивости параметров сельсина и снижению его надежности.

Бесконтактные сельсины получили широкое применение в си-

стемах синхронного поворота благодаря своей высокой надежности. Эти сельсины не имеют скользящих контактов, так как их обе обмотки расположены на статоре (рис. 3.9.5.). Ротор бесконтактного сельсина представляет собой цилиндр из ферромагнитного материала, разделенный немагнитной прослойкой на две магнитно изолированные части, образующие полюсы. Алюминий, который заливают в ротор, является магнитной изоляцией и одновременно материалом, скрепляющим части ротора. С торцовых сторон сельсина расположены тороидальные сердечники 1, выполненные из тонколистовой электротехнической стали.

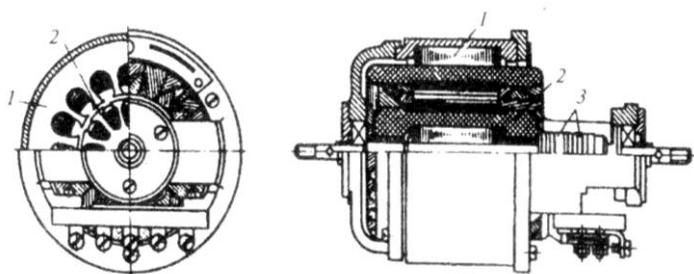


Рис. 3.9.4. Устройство контактного сельсина

Внутренняя поверхность этих сердечников расположена над ротором, а к их внешней поверхности примыкают стержни внешнего магнитопровода 4. Однофазную обмотку возбуждения сельсина выполняют в виде двух дисковых катушек 2, расположенных с противоположных сторон статора по оси сельсина между обмоткой синхронизации 3 и тороидальными сердечниками.

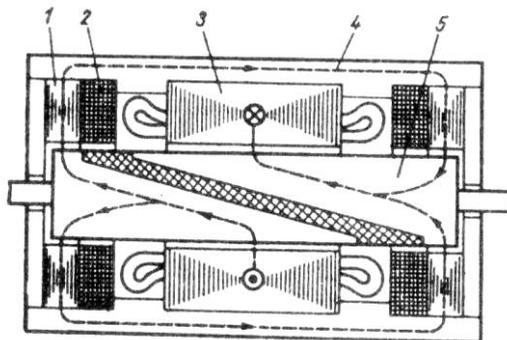


Рис. 3.9.5. Конструктивная схема бесконтактного сельсина
В процессе работы сельсина пульсирующий магнитный поток

возбуждения замыкается в магнитной системе сельсина, сцепляясь с трехфазной обмоткой синхронизации на статоре. Путь замыкания потока показан на рисунке пунктирной линией. Как видно из этого рисунка, магнитный поток, замыкаясь в магнитопроводе, проходит через воздушный зазор четыре раза. По этой причине для создания требуемого магнитного потока в бесконтактном сельсине необходима значительная МДС. Это является причиной повышенных габаритов бесконтактного сельсина по сравнению с контактным.

Вопрос 4. Монтаж, наладка и эксплуатация асинхронных микромашин

(см. тема 3.8)

Контрольные вопросы:

1. Объясните работу сельсинов в индикаторной системе передачи.
2. Чем вызвана ошибка в воспроизведении угла поворота?
3. Чем обеспечивается отсутствие самохода в асинхронном исполнительном двигателе?
4. Принцип выполнения однофазной обмотки возбуждения сельсина.

Тема 3.13 Вращающиеся асинхронные преобразователи

Вопрос 1. Виды, устройство специальных электромагнитных преобразователей

Термин "электромагнитные преобразователи" объединяет четыре типа преобразователей: индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие и индукционные. Для всех этих преобразователей характерно использование зависимости характеристик магнитной цепи (магнитного сопротивления Им , магнитной проницаемости μ , магнитного потока Φ и др.) от величины механического воздействия на элементы этой цепи. Индуктивные преобразователи.

Индуктивный преобразователь представляет собой дроссель с изменяющимся воздушным зазором или изменяющейся площадью поперечного сечения. В качестве выходного параметра в нем выступает изменение индуктивности L (или кажущегося сопротивления Z) обмотки, одетой на сердечник, при изменении величины зазора b или площади F .

При большем зазоре зависимость становится весьма нелиней-

ной. Поэтому при измерении перемещений до 5-8 мм используют преобразователи с переменной площадью, имеющие большую линейность. Весьма распространены также индуктивные преобразователи соленоидного типа с разомкнутой магнитной цепью. В этих преобразователях изменение индуктивности обмотки вызывается перемещением в катушке ферромагнитного сердечника.

Преимуществом соленоидных преобразователей является возможность измерения больших (до 50-60 мм) перемещений. Существенным недостатком описанных трех преобразователей является наличие на выходе значительного "нулевого" сигнала. Для компенсации начального сигнала применяются мостовые или дифференциальные схемы, в которых обмотки включаются встречно. Мостовые и дифференциальные схемы имеют более широкий линейный участок статической характеристики, большую чувствительность и меньшую погрешность.

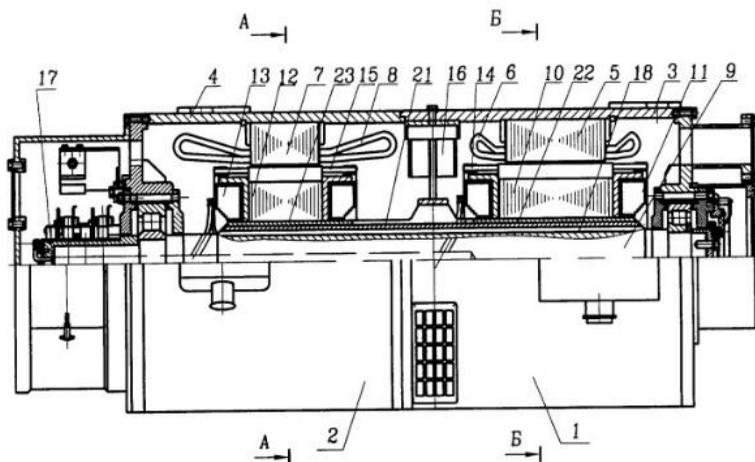
Недостатком индуктивных и трансформаторных преобразователей является трудность регулировки и компенсации начального напряжения на выходе преобразователя. Кроме того, для уменьшения помех оба типа преобразователей нуждаются в тщательной экранировке, что увеличивает размеры и вес преобразователей. Погрешности преобразователей вызываются в основном нестабильностью напряжения и частоты источников питания, а также влиянием изменения температуры.

Современный частотно регулируемый электропривод состоит из асинхронного или синхронного электрического двигателя и преобразователя частоты (см. рис.1.). Электрический двигатель преобразует электрическую энергию в механическую энергию и приводит в движение исполнительный орган технологического механизма. Преобразователь частоты управляет электрическим двигателем и представляет собой электронное статическое устройство. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с переменными амплитудой и частотой. Название «частотно регулируемый электропривод» обусловлено тем, что регулирование скорости вращения двигателя осуществляется изменением частоты напряжения питания, подаваемого на двигатель от преобразователя частоты. На протяжении последних 10 –15 лет в мире наблюдается широкое и успешное внедрение частотно регулируемого электропривода для решения различных технологических задач во многие отрасли экономики. Это объясняется в первую очередь разработкой и созданием преобразователей частоты на принципиально новой элементной базе, главным образом на биполярных транзисторах с изолированным затвором IGBT. В настоящей ста-

тье коротко описаны известные сегодня типы преобразователей частоты, применяемые в частотно регулируемом электроприводе, реализованные в них методы управления, их особенности и характеристики. При дальнейших рассуждениях будем говорить о трехфазном частотно регулируемом электроприводе, так как он имеет наибольшее промышленное применение.

Тема 3.14. Электромагнитные преобразователи

Вопрос 1. Принцип действия и применение специальных электромагнитных преобразователей



На рис .3.9.6 представлен продольный разрез электромашиного преобразователя.

Электромашиный преобразователь содержит вентильный двигатель 1 и синхронный генератор 2. В корпусе 3 двигателя 1 запрессован сердечник статора 5, в пазах которого уложены две независимые трехфазные обмотки 6. В корпусе 4 генератора 2 запрессован сердечник статора 7, в пазах которого уложена трехфазная обмотка 8. Корпуса 3 и 4 выполнены сварными.

Ротор преобразователя состоит из вала 9, установленных на нем четырех полюсов 10 двигателя 1 с катушками возбуждения 11 и четырех полюсов 12 генератора 2) с катушками возбуждения 13, демпферных обмоток 14 двигателя 1 и демпферных обмоток 15 генератора 2.

Между полюсами 10 двигателя и 12 генератора на валу 9 установлен вентилятор 16. На валу 9 установлена также втулка с контактными кольцами 17. В валу 9 выполнены четыре продольных паза 18, в которых установлены попарно полюса 10 и 12 (всего четыре пары полюсов). Полюса 10, 12 собраны из стальных штампованных листов одного размера, отличаются только длиной и установлены в пазах 18 при помощи ласточкиного хвоста 19, 20. Каждая пара полюсов 10, 12 крепится к валу 9 общим креплением, выполненным в виде двухстороннего клина 21 (фиг.1), размещенного сразу под двумя полюсами 10 и 12, и двух односторонних расклинивающих клиньев 22, 23, размещенных соответственно: 22 - под полюсом 10 и 23 - под полюсом 12. Так как в роторе преобразователя четыре пары полюсов (10, 12), то для их крепления используется четыре комплекта клиньев (21, 22, 23).

Контрольные вопросы:

1. Какую долю мощности на выходе АПЧ составит мощность приводного двигателя, если частота тока на входе АПЧ равна 50Гц, а на выходе- 100 Гц?
2. Из каких величин складывается мощность на выходе АПЧ?
3. Назовите область применения АПЧ.

Тема 4.1 Принцип действия, устройство, область применения машины постоянного тока. Магнитная цепь машины постоянного тока

Вопрос 1. История создания машины постоянного тока

В 1834 г. Б.С. Якоби создал первый в мире электрический двигатель постоянного тока, в котором реализовал принцип непосредственного вращения подвижной части двигателя. В 1838 г. этот двигатель (0,5 кВт) был испытан на Неве для приведения в движение лодки с пассажирами, т. е. получил первое практическое применение.

Испытания различных конструкций электродвигателей привели Б.С. Якоби и других исследователей к следующим выводам:

- применение электродвигателей находится в прямой зависимости от удешевления электрической энергии, т.е. от создания генератора, более экономичного, чем гальванические элементы;
- электродвигатели должны иметь по возможности малые габариты и по возможности большую мощность и больший коэффициент полезного действия.

Вопрос 2. Назначение, принцип действия, устройство, при-

Менение и магнитная цепь машины постоянного тока

Электрические машины постоянного тока используются как в качестве генераторов, так и в качестве двигателей. Наибольшее применение имеют двигатели постоянного тока, области применения и диапазон мощности которых достаточно широки: от долей ватт (для привода устройств автоматики) до нескольких тысяч киловатт (для привода прокатных станов, шахтных подъемников и других механизмов). Двигатели постоянного тока широко используются для привода подъемных средств в качестве крановых двигателей и привода транспортных средств в качестве тяговых двигателей.

Рассмотрим принцип действия коллекторного генератора постоянного тока. На рис. 4.1.1 изображена упрощенная модель такого генератора: между полюсами N и S постоянного магнита находится вращающаяся часть генератора — якорь, вал которого посредством шкива и ременной передачи механически связан с приводным двигателем (на рисунке не показан) — источником механической энергии. В двух продольных пазах на сердечнике якоря расположена обмотка в виде одного витка a, b, c, d , концы которого присоединены к двум медным изолированным друг от друга полукольцам, образующим простейший коллектор. На поверхность коллектора наложены щетки A и B , осуществляющие скользящий контакт с коллектором и связывающие генератор с внешней цепью, куда включена нагрузка сопротивлением R .

Предположим, что приводной двигатель вращает якорь генератора против часовой стрелки, тогда в витке на якоре, вращающемся в магнитном поле постоянного магнита, наводится ЭДС, мгновенное значение которой $e = 2Blv$, а направление для положения якоря, изображенного на рисунке, указано стрелками.

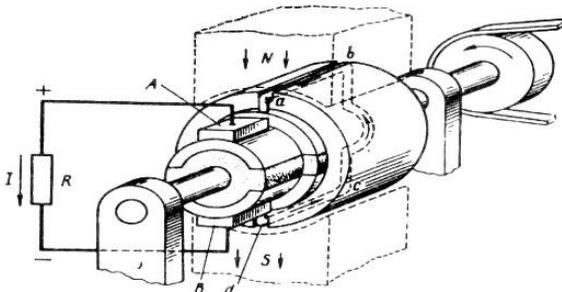


Рис.
4.1.1. Упрощенная модель коллекторной машины

В процессе работы генератора якорь вращается и виток a, b, c, d , занимает разное пространственное положение, поэтому в обмотке якоря наводится переменная ЭДС. Если бы в машине не было коллектора, то ток во внешней цепи (в нагрузке R) был бы переменным, но посредством коллектора и щеток переменный ток обмотки якоря преобразуется в пульсирующий ток во внешней цепи генератора, т. е. ток, неизменный по направлению. При положении витка якоря, показанном на рис. 4.1.1, ток во внешней цепи (в нагрузке) направлен от щетки A к щетке B ; следовательно, щетка A является положительной, а щетка B -- отрицательной. После поворота якоря на 180° направление тока в витке якоря изменится на обратное, однако полярность щеток, а, следовательно, и направление не тока во внешней цепи (в нагрузке) останутся неизменными. Объясняется это тем, что в тот момент, когда ток в витке якоря меняет свое направление, происходит смена коллекторных пластин под щетками. Таким образом, под щеткой A всегда находится пластина, соединенная с проводником, расположенным под северным магнитным полюсом, а под щеткой B - пластина, соединенная с проводником, расположенным под южным полюсом. Благодаря этому полярность щеток генератора остается неизменной независимо от положения витка якоря. Что же касается пульсаций тока во внешней цепи, то они намного ослабятся при увеличении числа витков в обмотке якоря при их равномерном распределении по поверхности якоря и соответствующем увеличении числа пластин в коллекторе.

Магнитная система машины постоянного тока состоит из станины (ярма), сердечников главных полюсов с полюсными наконечниками, воздушного зазора и сердечника якоря.

Вопрос 3. Основные элементы устройства

Статор. Состоит из станины $б$ и главных полюсов 4 . Станина $б$ служит для крепления полюсов и подшипниковых щитов и является частью магнитопровода, так как через нее замыкается магнитный поток машины. Станину изготавливают из стали — материала, обладающего достаточной механической прочностью и большой магнитной проницаемостью. В нижней части станины имеются лапы 11 для крепления машины к фундаментной плите, а по окружности станины расположены отверстия для крепления сердечников главных полюсов 4 . Обычно станину делают цельной из стальной трубы, либо сварной из листовой стали, за исключением машин с весьма большим наружным диаметром, у которых станину делают разъемной, что облегчает транспортировку и монтаж машины. *Главные полюсы* предназначены

для создания в машине магнитного поля возбуждения. Главный полюс состоит из сердечника 6 и полюсной катушки 5. Со стороны, обращенной к якору, сердечник полюса имеет полюсный наконечник, который обеспечивает необходимое распределение магнитной индукции в зазоре машины. Сердечники главных полюсов делают шихтованными из листовой конструкционной стали толщиной 1—2 мм или из тонколистовой электротехнической анизотропной холоднокатаной стали, например марки 3411.

Якорь. Якорь машины постоянного тока состоит из вала 10, сердечника 3 с обмоткой и коллектора 7. Сердечник якоря имеет шихтованную конструкцию и набирается из штампованных пластин тонколистовой электротехнической стали. Листы покрывают изоляционным лаком, собирают в пакет и запекают. Готовый сердечник напрессовывают на вал якоря. Такая конструкция сердечника якоря позволяет значительно ослабить в нем вихревые токи, возникающие в результате его перемагничивания в процессе вращения в магнитном поле. На поверхности сердечника якоря имеются продольные пазы, в которые укладывают обмотку якоря. *Обмотку* выполняют медным проводом круглого или прямоугольного сечения. Пазы якоря после заполнения их проводами обмотки обычно закрывают клиньями (текстолитовыми или гетинаксовыми). В некоторых машинах пазы не закрывают клиньями, а накладывают на поверхность якоря бандаж.

Вопрос 4. Обратимость машины постоянного тока

В соответствии с принципом обратимости электрических машин упрощенная модель машины постоянного тока может быть использована в качестве двигателя постоянного тока. Для этого необходимо отключить нагрузку генератора R и подвести к щеткам машины напряжение от источника постоянного тока. Например, если к щетке A подключить зажим «плюс», а к щетке B «минус», то в обмотке якоря появится ток I . В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем постоянного магнита (полем возбуждения) появятся электромагнитные силы $F_{ЭМ}$, создающие на якоре электромагнитный момент M и вращающие его против часовой стрелки. После поворота якоря на 180° электромагнитные силы не изменят своего направления, так как одновременно с переходом каждого проводника обмотки якоря из зоны одного магнитного полюса в зону другого полюса в этих проводниках меняется направление тока.

Вопрос 5. Преимущества и недостатки машины постоянного тока

Достоинства: хорошие пусковые и регулировочные свойства, возможность получения частоты вращения более 3000 об/мин.

Недостатки: относительно высокая стоимость. некоторая сложность в изготовлении, пониженная надежность.

Вопрос 6. Магнитная цепь машины постоянного тока, участки магнитной цепи, создание магнитного поля

На рис.4.1.2. показана картина магнитного поля четырехполусной машины. При этом имеется в виду машина, работающая в режиме х.х., когда МДС создается лишь обмоткой возбуждения, а в обмотке якоря и обмотке добавочных полюсов тока нет или он настолько мал, что его влиянием на картину магнитного поля можно пренебречь. В целях упрощения на рисунке не показаны добавочные полюсы, так как в режиме х.х. их влияние на картину магнитного поля машины незначительно. Как это следует из рис. 4.1.2., магнитный поток главных полюсов состоит из двух неравных частей: большая часть образует основной магнитный поток Φ , а меньшая — магнитный поток рассеяния полюсов Φ_{σ} . Поток рассеяния учитывается коэффициентом рассеяния σ_m . Магнитодвижущая сила обмотки возбуждения на пару полюсов в режиме х.х. определяется суммой магнитных напряжений на участках магнитной цепи:

$$F_{BO} = \sum F = 2F_{\delta} + 2F_Z + 2F_m + F_a + F_{Я}, \quad (4.1.1.)$$

где $F_{\delta}, F_Z, F_m, F_a, F_{Я}$ — магнитные напряжения воздушного зазора, зубцового слоя якоря, главного полюса, спинки якоря, станины (ярма) соответственно.

Если машина имеет компенсационную обмотку, то в (4.1.1) следует ввести еще одно слагаемое F_{Zm} , представляющее собой магнитное напряжение зубцового слоя главного полюса.

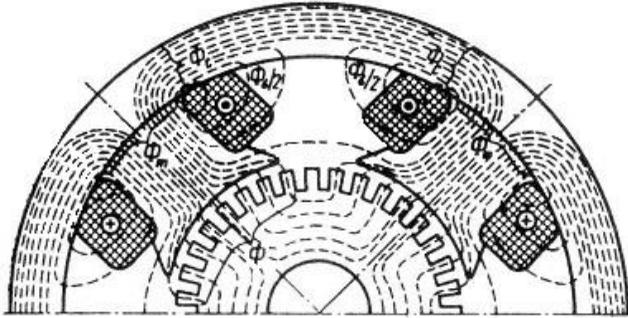


Рис. 4.1.2. Магнитное поле машины постоянного тока в режиме х.х.

Порядок расчета магнитных напряжений на участках магнитной цепи машины постоянного тока в принципе такой же, что и в случае асинхронной машины. При этом расчет магнитных напряжений станины и сердечника главного полюса ведут по магнитному потоку главного полюса Φ_m , который больше основного потока Φ на значение потока рассеяния Φ_σ :

$$\Phi_m = \Phi + \Phi_\sigma = \Phi(1 + \sigma_m)$$

где $\sigma_m \approx 10\delta/\tau = 0,10 \div 0,25$ — коэффициент магнитного рассеяния.

При заданном значении ЭДС машины E_a определяют требуемое значение основного магнитного потока (Вб):

$$\Phi = \frac{60aE_a}{pNn}. \quad (4.1.2.)$$

Контрольные вопросы:

1. Каково назначение коллектора в генераторе и двигателе постоянного тока?

2. Почему станину машины постоянного тока делают из стали?
3. Каково назначение конусных шайб в коллекторе?
4. Зачем в коллекторе на пластмассе применяют армирующие кольца?

Тема 4.2 Реакция якоря машины постоянного тока. Влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока

Вопрос 1. Реакция якоря машины постоянного тока и ее влияние на работу

Влияние МДС обмотки якоря на магнитное поле машины называют *реакцией якоря*. Реакция якоря искажает магнитное поле машины, делает его несимметричным относительно оси полюсов.

На рис. 4.2.1., *в* показано распределение магнитных силовых линий результирующего поля машины, работающей в генераторном режиме при вращении якоря по часовой стрелке. Такое же распределение магнитных линий соответствует работе машины в режиме двигателя, но при вращении якоря против часовой стрелки.

Вопрос 2. Реакция якоря машины постоянного тока при щетках, расположенных на геометрической нейтрали

Если же машину нагрузить, то в обмотке якоря появится ток, который создаст в магнитной системе машины МДС якоря F_a . Допустим, что МДС возбуждения равна нулю и в машине действует лишь МДС якоря. Тогда магнитное поле, созданное этой МДС, будет иметь вид, представленный на рис. 4.2.1. *б*. Из этого рисунка видно, что МДС обмотки якоря направлена по линии щеток (в данном случае по геометрической нейтрали). Несмотря на то, что якорь вращается, пространственное положение МДС обмотки якоря остается неизменным, так как направление этой МДС определяется положением щеток.

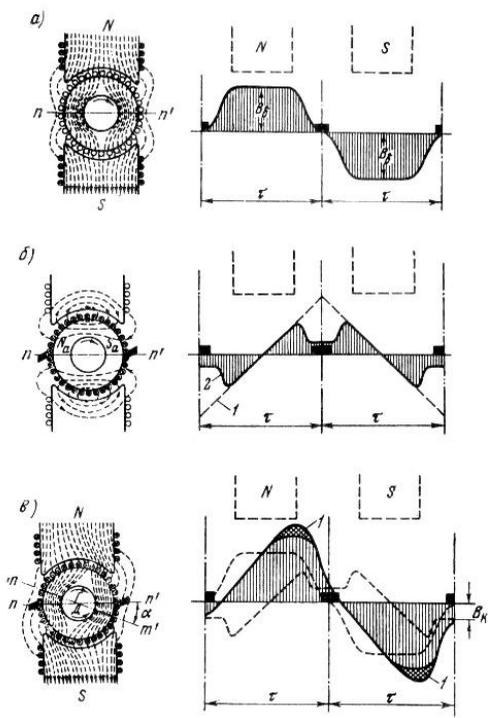


Рис. 4.2.1. Магнитное поле машины и распределение магнитной индукции в воздушном зазоре

Тема 4.3. Основные понятия о реакции якоря

Вопрос 1. Распределение индукции магнитного поля в воздушном зазоре. Понятие о размагничивающем действии поперечной реакции якоря

Если принять, что магнитная система машины *не насыщена*, то реакция якоря будет лишь исказить результирующий магнитный поток, не изменяя его значения: край полюса и находящийся под ним зубцовый слой якоря, где МДС якоря совпадает по направлению с МДС возбуждения, *подмагничиваются*; другой край полюса и зубцовый слой якоря, где МДС направлена против МДС возбуждения, *размагничиваются*. При этом результирующий магнитный поток как бы

поворачивается относительно оси главных полюсов на некоторый угол, а физическая нейтраль mm' (линия, проходящая через точки на якоре, в которых индукция равна нулю) смещается относительно геометрической нейтрали nn' на угол α . Чем больше нагрузка машины, тем сильнее искажение результирующего поля, а, следовательно, тем больше угол смещения физической нейтрали. При работе машины в режиме генератора физическая нейтраль смещается по направлению вращения якоря, а при работе двигателем — против вращения якоря.

Вопрос 2. Геометрическая и физическая нейтраль

Геометрическая нейтраль - это линия, перпендикулярная оси полюсов. Токи в проводниках якоря верхней и нижней его частей имеют противоположные направления. Намагничивающая сила якоря, действующая по линии щеток, будет наибольшей, так как соответствующая магнитная линия охватывает наибольший полный ток. Далее н.с. убывает и под серединой полюса становится равной нулю. Можно приближенно считать, что она убывает по закону прямой линии, где кривая 2 представляет собой кривую н.с. якоря, ординаты которой равны соответствующей н.с. якоря на половину обхода (на один полюс). Физическая нейтраль mm' (линия, проходящая через точки на якоре, в которых индукция равна нулю) смещается относительно геометрической нейтрали nn' на угол α . Чем больше нагрузка машины, тем сильнее искажение результирующего поля, а, следовательно, тем больше угол смещения физической нейтрали.

Вопрос 3. Влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока

Если машина работает в генераторном режиме, то при смещении щеток в направлении вращения якоря продольная составляющая МДС якоря действует встречно МДС обмотки возбуждения F_{B0} , что ослабляет основной магнитный поток машины; при смещении щеток против вращения якоря продольная составляющая МДС якоря F_{ad} действует согласованно с МДС F_{B0} , что вызывает некоторое подмаг-

ничивание машины и может явиться причиной искрения на коллекторе . Если машина работает в *двигательном режиме*, то при смещении щеток по направлению вращения якоря продольная составляющая МДС якоря F_{ad} подмагничивает машину, а при смещении щеток против вращения якоря продольная составляющая F_{ad} размагничивает машину. При дальнейшем рассмотрении вопросов, связанных с действием продольной составляющей МДС якоря, будем иметь в виду лишь ее размагничивающее действие, так как подмагничивающее действие F_{ad} в машинах постоянного тока общего назначения недопустимо из-за нарушения работы щеточного контакта.

Контрольные вопросы:

1. Какие участки содержит магнитная цепь машины постоянного тока?
2. В чем сущность явления реакции якоря машины постоянного тока?
3. Почему МДС якоря, действующая по поперечной оси, вызывает размагничивание машины по продольной оси?
4. Как учитывается размагничивающее действие реакции якоря при расчете числа витков полюсной катушки обмотки возбуждения?
5. С какой целью компенсационную обмотку включают последовательно с обмоткой якоря?
6. Почему с увеличением воздушного зазора ослабляется размагничивающее влияние реакции якоря?

Тема 4.4 Образование обмоток машины постоянного тока, электродвижущая сила обмотки якоря машины постоянного тока

Вопрос 1. Обмотки машины постоянного тока: петлевая, волновая, однослойная, двухслойная. Шаг обмотки: первый частичный, второй частичный, полный. Развернутые схемы обмоток. Простые и сложные обмотки. Образование параллельных ветвей. Уравнительные соединения первого и второго ряда. Выбор типа обмотки

Обмотка якоря машины постоянного тока представляет собой за-

мкнутую систему проводников, определенным образом уложенных на сердечнике якоря и присоединенных к коллектору.

Элементом обмотки якоря является *секция* (катушка), присоединенная к двум коллекторным пластинам. Расстояние между пазовыми частями секции должно быть равно или мало отличаться от полюсного деления τ (4.3.1):

$$\tau = \pi D_a / (2p). \quad (4.3.1.)$$

Здесь D_a — диаметр сердечника якоря, мм.

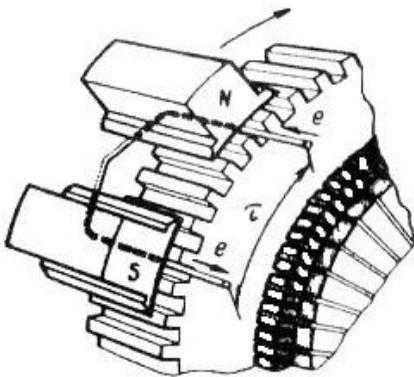


Рис. 4.3.1. Расположение пазовых сторон секции на сердечнике якоря

Обмотки якоря обычно выполняют двухслойными. Они характеризуются следующими параметрами: числом секций S ; числом пазов (реальных) Z ; числом секций, приходящихся на один паз,

$S_n = S / Z$; числом витков секции W_c ; числом пазовых сторон в обмотке N ; числом пазовых сторон в одном пазу $n_n = N / Z = 2W_c S_n$. Верхняя пазовая сторона одной секции и нижняя пазовая сторона другой секции, лежащие в одном пазу, образуют *элементарный паз*. Число элементарных пазов в реальном пазе Z_n определяется числом секций, приходящихся на один паз: $S_n = S / Z$ (рис. 4.3.2.).

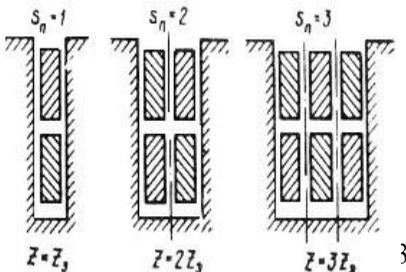


Рис. 4.3.2. Элементарные пазы

Схемы обмоток якоря делают *развернутыми*, при этом все секции показывают одновитковыми. В этом случае каждой секции, содержащей две пазовые стороны, соответствует один элементарный паз. Концы секций присоединяют к коллекторным пластинам, при этом к каждой пластине присоединяют начало одной секции и конец другой, т. е. на каждую секцию приходится одна коллекторная пластина. Таким образом, для обмотки якоря справедливо $S = Z_{\text{э}} = K$, где $Z_{\text{э}}$ — число элементарных пазов; K — число коллекторных пластин в коллекторе. Число секций, приходящихся на один реальный паз, определяется отношением $Z_{\text{э}} / Z$.

Простая петлевая обмотка якоря. В простой петлевой обмотке якоря каждая секция присоединена к двум рядом лежащим коллекторным пластинам. При укладке секций на сердечнике якоря начало каждой последующей секции соединяется с концом предыдущей, постепенно перемещаясь при этом по поверхности якоря (и коллектора) так, что за один обход якоря укладывают все секции обмотки. В результате конец последней секции оказывается присоединенным к началу первой секции, т. е. обмотка якоря замыкается.

Простая волновая обмотка. Простую волновую обмотку получают при последовательном соединении секций, находящихся под разными парами полюсов (рис. 25.7). Концы секций простой волновой обмотки присоединены к коллекторным пластинам, удаленным друг от друга на расстояние шага обмотки по коллектору $y_k = y$. За один обход по якорю укладывают столько секций, сколько пар полюсов имеет машина, при этом конец последней по обходу секции присоединяют к пластине, расположенной рядом с исходной.

При необходимости получить петлевую обмотку с большим числом параллельных ветвей, как это требуется, например, низковольтных машинах постоянного тока, применяют сложную петлевую обмотку. Такая обмотка представляет собой несколько (обычно две) простых петлевых обмоток, уложенных на одном якоре и присоединенных к одному коллектору. Число параллельных ветвей в сложной петлевой обмотке $2a = 2pm$, где m — число простых петлевых обмоток, из которых составлена сложная обмотка (обычно $m = 2$).

Несколько простых волновых обмоток (обычно две), уложенных на одном якоре, образуют *сложную волновую обмотку*.

На рис. 4.3.3., *a*, *б* изображены части развернутой схемы простой петлевой обмотки, на которых показаны шаги обмотки — расстояния

между пазовыми сторонами секций по якорию: *первый частичный шаг по якорию* y_1 , *второй частичный шаг по якорию* y_2 и *результирующий шаг по якорию* y . Если укладка секций обмотки ведется слева направо по якорию, то обмотка называется *правоходовой* (рис. 25.3, а), а если укладка секций ведется справа налево, то обмотка называется *левоходовой* (рис. 25.3, б). Для правоходовой обмотки результирующий шаг

$$y = y_1 = y_2. \quad (4.3.2.)$$

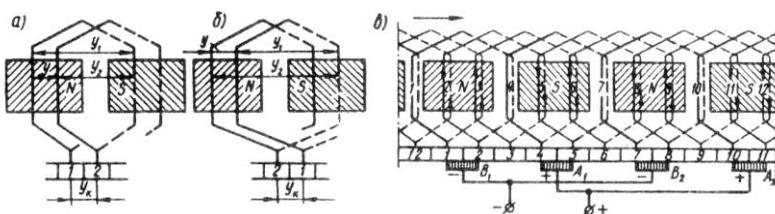


Рис. 4.3.3. Простая петлевая обмотка: а — правоходовая; б — левоходовая; в — развернутая схема

Расстояние между двумя коллекторными пластинами, к которым присоединены начало и конец одной секции, называют *шагом обмотки по коллектору* y_k . Шаги обмотки по якорию выражают в элементарных пазах, а шаг по коллектору — в коллекторных делениях (пластинах).

Начало и конец каждой секции в простой петлевой обмотке присоединены к рядом лежащим коллекторным пластинам, следовательно, $y = y_k = \pm 1$, где знак плюс соответствует правоходовой обмотке, а знак минус — левоходовой.

Для определения всех шагов простой петлевой обмотки достаточно рассчитать первый частичный шаг по якорию:

$$y_1 = [Z_3 / (2p)] \mp \varepsilon, \quad (4.3.3.)$$

где ε — некоторая величина, меньшая единицы, вычитая или суммируя которую получают значение шага y_1 , равное целому числу.

Второй частичный шаг обмотки по якорию

$$y_2 = y_1 \mp y = y_1 \mp 1 \quad (4.3.4.)$$

Если проследить за прохождением тока в секциях обмотки якоря (см. рис. 4.3.3., в), то можно заметить, что обмотка состоит из четырех участков, соединенных параллельно друг другу и называемых *параллельными ветвями*. Каждая параллельная ветвь содержит несколько последовательно соединенных секций с одинаковым направлением тока в них. Распределение секций в параллельных ветвях показано на электрической схеме обмотки (рис. 4.3.4.). Эту схему получают из развернутой схемы обмотки (см. рис. 4.3.3, б) следующим образом. На листе бумаги изображают щетки и имеющие с ними контакт коллекторные пластины, как это показано на рис. 4.3.4. Затем совершают обход секций обмотки начиная с секции 1, которая оказывается замкнутой накоротко щеткой B_1 . Далее идут секции 2 и 3, которые образуют параллельную ветвь. Таким же образом обходят все остальные секции. В результате получаем схему с четырьмя параллельными ветвями, по две секции в каждой ветви.

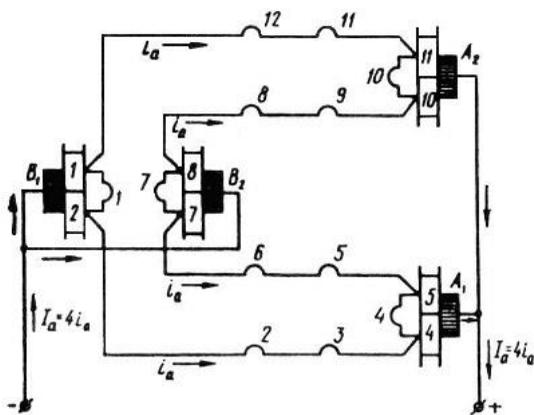


Рис. 4.3.4.
Электрическая
схема обмотки

Из полученной схемы следует, что ЭДС обмотки якоря определяется

значением ЭДС одной параллельной ветви, тогда как значение тока обмотки определяется суммой токов всех ветвей обмотки:

$$I_a = 2ai_a, \quad (4.3.5.)$$

где $2a$ — число параллельных ветвей обмотки якоря; i_a — ток

одной параллельной ветви.

Вопрос 2. Электродвижущая сила обмотки машины постоянного тока

Электродвижущая сила наводится в обмотке якоря основным магнитным потоком. Для получения выражения этого потока обратимся к графику распределения индукции в зазоре машины (в поперечном сечении), который при равномерном зазоре в пределах каждого полюса имеет вид криволинейной трапеции (рис. 4.3.5., а, график 1). Заменяем действительное распределение индукции в зазоре прямоугольным (график 2), при этом высоту прямоугольника примем равной максимальному значению индукции B_δ , а ширину — равной величине b_i , при которой площадь прямоугольника равна площади, ограниченной криволинейной трапецией. Величина b_i называется *расчетной полюсной дугой*. В машинах постоянного тока расчетная полюсная дуга мало отличается от полюсной дуги b_m :

$$b_i \approx b_m + 2\delta, \tag{4.3.6.}$$

или, воспользовавшись коэффициентом полюсного перекрытия $\alpha_i = b_i / \tau$, получим

$$b_i = \alpha_i \tau \tag{4.3.7.}$$

С учетом (25.14) основной магнитный поток ($B\delta$)

$$\Phi = B_\delta b_i l_i \cdot 10^{-6} = B_\delta l_i \alpha_i \tau \cdot 10^{-6} \tag{4.3.8}$$

Здесь τ — полюсное деление, мм; l_i — расчетная длина якоря, мм.

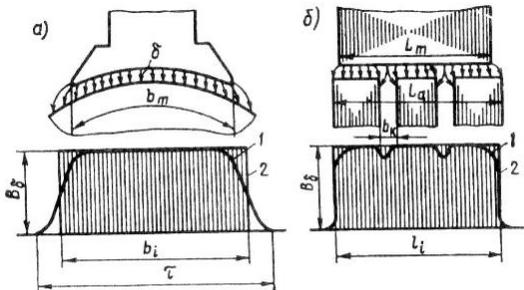


Рис. 4.3.5. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре машины постоянного тока

Вопрос 3. Проведение расчета и вычерчивание схем петлевых и волновых обмоток якоря

Пример. В машине с $2p = 4$ и простой петлевой обмоткой якоря из 12 секций необходимо установить уравниватели первого рода, снабдив ими каждую вторую пластину.

Решение. Потенциальный шаг $y_{yp} = K/p = 12/2 = 6$. Полное число уравнивателей $N_{yp} = y_{yp} = K/a = 12/2 = 6$. В соответствии с условием задачи показываем на схеме $0,5 N_{yp} = 3$ уравнивателя, расположив их со стороны коллектора (рис. 4.3.6.) и соединив с пластинами следующим образом: первый уравниватель соединяем с пластинами 1 и 7, второй — с 3 и 9, третий — с 5 и 11.

Пример. Четырехполюсная машина постоянного тока имеет простую волновую обмотку якоря из 13 секций. Построить развернутую схему и схему параллельных ветвей этой обмотки.

Решение. Шаги обмотки:

$$y_k = y = (K \mp 1) / p = (13 - 1) / 2 = 6 \text{ пазов};$$

$$y_1 = [Z_p / (2p)] \mp \varepsilon = 13 / 4 - 0,25 = 3 \text{ паза};$$

$$y_2 = y_k - y_1 = 6 - 3 = 3 \text{ паза}.$$

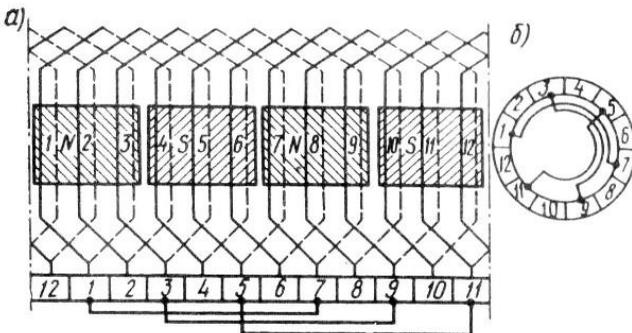


Рис. 4.3.6. Уравнительные соединения первого рода: *a* — развернутая схема обмотки, *b* — вид со стороны коллектора

Контрольные вопросы:

1. В чем принципиальное отличие обмоток якоря от обмоток статора бесколлекторных машин переменного тока?
2. Какими параметрами характеризуется обмотка якоря?
3. Сколько параллельных ветвей имеет обмотка якоря шести полюсной машины в случаях простой петлевой и простой волновой обмоток?
4. Во сколько раз изменится ЭДС обмотки якоря шестиполюсной машины, если простую волновую обмотку заменить простой петлевой при том же числе секций?
5. что такое магнитная несимметрия и каковы ее последствия?
6. В каких обмотках якоря применяют уравнители первого и второго рода?
7. Каковы достоинства комбинированной обмотки?
8. Как влияют ширина секции и положение щеток на ЭДС машины?
9. Какими соображениями руководствуются при выборе типа обмотки якоря?

Тема 4.5 Коммутация в машинах постоянного тока и способы её улучшения

Вопрос 1. Причины искрения на коллекторе

Причины, вызывающие искрение на коллекторе, разделяют на механические, потенциальные и коммутационные.

Механические причины искрения – слабое давление щеток на коллектор, биение коллектора, его эллиптичность или негладкая поверхность, загрязнение поверхности коллектора, выступание миканитовой изоляции над медными пластинами, неплотное закрепление траверсы, пальцев или щеткодержателей, а также другие причины, вызывающие нарушение электрического контакта между щеткой и коллектором.

Потенциальные причины искрения появляются при возникновении напряжения между смежными коллекторными пластинами, превышающего допустимое значение. В этом случае искрение наиболее опасно, так как оно обычно сопровождается появлением на коллекторе электрических дуг.

Коммутационные причины искрения создаются физическими

процессами, происходящими в машине при переходе секций обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую.

Иногда искрение вызывается целым комплексом причин. Выяснение причин искрения следует начинать с механических, так как их обнаруживают осмотром коллектора и щеточного устройства. Труднее обнаружить и устранить коммутационные причины искрения.

При выпуске готовой машины с завода в ней настраивают темную коммутацию, исключающую какое-либо искрение. Однако в процессе эксплуатации машины, по мере износа коллектора и щеток, возможно появление искрения. В некоторых случаях оно может быть значительным и опасным, тогда машину необходимо остановить для выяснения и устранения причин искрения. Однако небольшое искрение в машинах общего назначения обычно допустимо.

Согласно ГОСТу, искрение на коллекторе оценивается степенью искрения (классом коммутации) под сбегающим краем щетки.

Степень 1 — искрения нет (темная коммутация).

Степень $1\frac{1}{4}$ — слабое искрение под небольшой частью щетки, не вызывающее почернения коллектора и появления нагара на щетках.

Степень $1\frac{1}{2}$ — слабое искрение под большей частью щетки, приводящее к появлению следов почернения на коллекторе, легко устранимого протиранием поверхности коллектора бензином, и следов нагара на щетках.

Степень 2 — искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и при перегрузке. Приводит к появлению следов почернения на коллекторе, не устранимых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках.

Степень 3 — значительное искрение под всем краем щетки с появлением крупных вылетающих искр, приводящее к значительному почернению коллектора, не устранимое протиранием поверхности коллектора бензином, а также к подгару и разрушению щеток. Допускается только для моментов прямого (безреостатного) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

Вопрос 2. Понятие о коммутации

При вращении якоря машины постоянного тока коллекторные пластины поочередно вступают в соприкосновение со щетками. При этом переход щетки с одной пластины (сбегающей) на другую (набегающую) сопровождается переключением секции обмотки из одной

параллельной ветви в другую и изменением как значения, так и направления тока в этой секции. Процесс переключения секции из одной параллельной ветви в другую и сопровождающие его явления называются коммутацией.

Секция, в которой происходит коммутация, называется коммутирующей, а продолжительность процесса коммутации — периодом коммутации:

$$T_k = [60/(Kn)](b_{щ}/b_k)$$

где $b_{щ}$ — ширина щетки; K — число коллекторных пластин; n — частота вращения якоря, об/мин; b_k — расстояние между серединами соседних коллекторных пластин (коллекторное деление).

Сложность процессов коммутации не позволяет рассмотреть коммутацию в общем виде. Поэтому для получения аналитических и графических зависимостей, поясняющих коммутацию, допускают, что ширина щетки равна коллекторному делению; щетки расположены на геометрической нейтрали; электрическое сопротивление коммутирующей секции и мест ее присоединения к коллектору по сравнению с сопротивлением переходного контакта «щетка— коллектор» пренебрежимо мало (обычно такое соотношение указанных сопротивлений соответствует действительности).

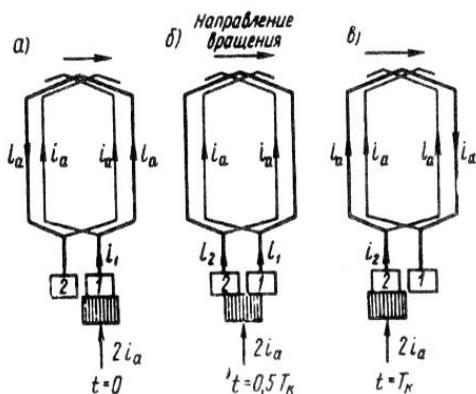


Рис. 4.4.1. Переход коммутирующей секции из одной параллельной ветви в другую

В начальный момент коммутации (рис. 4.4.1, а) контактная поверхность щетки касается только пластины 1, а коммутирующая секция относится к левой параллельной ветви обмотки и ток в ней равен

i_a . Затем пластина 1 постепенно сбегает со щетки и на смену ей набегает пластина 2. В результате комммутирующая секция оказывается зашкннутой щеткой и ток в ней постепенно уменьшается. В середине процесса коммутации ($t = 0,5T_k$) контактная поверхность щетки равномерно перекрывает обе коллекторные пластины. В конце коммутации ($t = T_k$) щетка полностью переходит на пластину 2 и теряет контакт с пластиной 1, а ток в комммутирующей секции становится равным — i_a , т. е. по значению таким же, что и в начале коммутации, а по направлению — противоположным. При этом комммутирующая секция оказалась в правой параллельной ветви обмотки.

Тема 4.6. Виды коммутации

Вопрос 1. Прямолинейная, криволинейная замедленная коммутация. Способы улучшения: форма паза, ширина и материал щетки, установка дополнительных полюсов, компенсационная обмотка

Прямолинейная коммутация. Этот вид коммутации имеет место в машине, если в процессе коммутации в комммутирующей секции ЭДС не наводится или, что более реально, сумма ЭДС в комммутирующей секции равна нулю.

Криволинейная замедленная коммутация. Период коммутации в современных машинах постоянного тока весьма мал и составляет приблизительно 10^{-3} - 10^{-5} с. При этом средняя скорость изменения тока в комммутирующей секции $(di/dt)_{cp} = 2i_a/T_k$ очень велика, что приводит к появлению в комммутирующей секции ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L_c (di/dt), \quad (4.6.1)$$

где L_c — индуктивность секции; i — ток в комммутирующей секции

Свойства криволинейной замедленной коммутации — повышение плотности тока под сбегавшим краем щетки и выход сбегавшей пластины из-под щетки с разрывом цепи тока коммутации — создают условия к возникновению искрения на коллекторе под сбегавшими краями щеток.

Выбор щеток. С точки зрения обеспечения удовлетворительной коммутации целесообразнее применять щетки с большим переходным падением напряжения в переходном контакте и собственно щетке, т. е.

щетке с большим сопротивлением $r_{щ}$. Однако допустимая плотность тока в щеточном контакте этих щеток невелика, а поэтому их применение в машинах со значительным рабочим током ведет к необходимости увеличения площади щеточного контакта, что требует увеличения площади коллектора за счет его длины. Это привело бы к увеличению габаритов машины и дополнительному расходу меди. Поэтому щетки с большим $r_{щ}$ применяют преимущественно в машинах с относительно высоким напряжением, а, следовательно, и с небольшим рабочим током.

Щетки для электрических машин разделяют на четыре группы, различающиеся составом, способом изготовления и характеристиками (табл. 27.1). Выбирают щетки в соответствии с рекомендациями, выработанными на основании многолетнего опыта проектирования и эксплуатации электрических машин. Наибольшее применение в машинах постоянного тока напряжением 110 — 440 В имеют электрографитированные щетки.

Увеличению переходного сопротивления щеточного контакта, а, следовательно, улучшению коммутации, способствует политура коллектора — тонкая оксидная пленка на поверхности коллектора, обладающая повышенным электрическим сопротивлением.

Уменьшение реактивной ЭДС. Существенное влияние на суммарную ЭДС в коммутирующей секции оказывает реактивная ЭДС $e_p = e_l + e_m$. ЭДС взаимной индукции e_m в значительной степени зависит от ширины щетки: чем шире щетка, тем большее число коллекторных пластин перекрывает она одновременно, а следовательно, тем больше секций одновременно коммутируется, что вызывает повышение ЭДС взаимной индукции e_m . Однако слишком узкие щетки также нежелательны из-за недостаточной механической прочности, а также потому, что для создания необходимой площади контактной поверхности в узкой щетке.

Добавочные полюсы. Назначение добавочных полюсов — создать в зоне коммутации магнитное поле такой величины и направления, чтобы наводимая этим полем в коммутирующей секции ЭДС вращения $e_{вр}$ компенсировала реактивную ЭДС e_p . В машине постоянного тока без принятия мер по улучшению коммутации ЭДС e_p и $e_{вр}$ направлены в одну сторону, т. е. действуют согласно:

$$\Sigma e = e_p \vec{+} e_{вр} \vec{+}.$$

Суммарная ЭДС в коммутирующей секции Σe окажется равной нулю, если посредством добавочных полюсов создать в зоне коммута-

ции магнитное поле с магнитной индукцией B_k такой величины и направления, чтобы ЭДС вращения $e_{вр}$ изменила свое направление на обратное [см. (27.8)], а значение ее было бы равно ЭДС реактивной e_p . В этом случае $\sum e = e_p^{\rightarrow} + e_{вр}^{\leftarrow} = 0$.

и коммутация становится прямолинейной (идеальной).

Добавочные полюсы располагают между главными. При этом щетки устанавливаются на геометрической нейтральной.

Контрольные вопросы:

1. Какие причины могут вызвать искрение на коллекторе?
2. Какие степени искрения предусмотрены ГОСТом? Дайте каждой из них характеристику и укажите условия допустимости.
3. Почему прямолинейная коммутация не сопровождается искрением?
4. Какие причины, вызывающие искрение возникают при замедленной коммутации?
5. Объясните назначение и устройство добавочных полюсов.
6. Каковы причины, способные вызвать круговой огонь по коллектору?
7. Как можно снизить уровень радиопомех в коллекторной машине?

Тема 4.7; 4.8; 4.9; 4.10. Характеристики генераторов постоянного тока с различными схемами возбуждения

Вопрос 1. Способы возбуждения генератора постоянного тока с различными схемами возбуждения.

Схема включения генератора независимого возбуждения показана на рис. 4.5.1., а. Реостат $r_{р2}$, включенный в цепь возбуждения, дает возможность регулировать ток I_B в обмотке возбуждения, а следовательно, и основной магнитный поток машины. Обмотка возбуждения питается от источника энергии постоянного тока: аккумулятора, выпрямителя или же другого генератора постоянного тока, называемого в этом случае *возбудителем*.

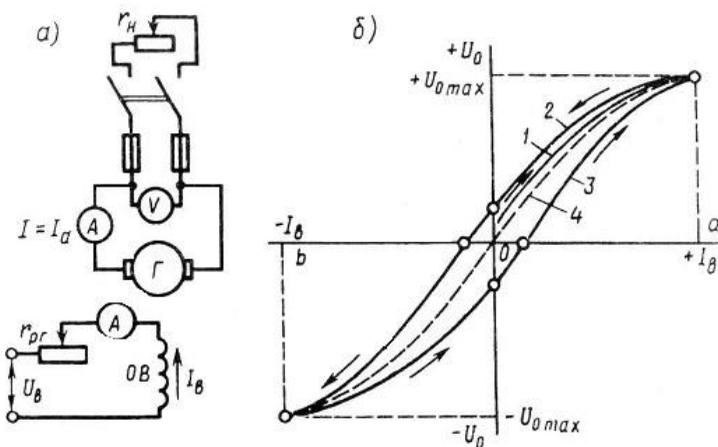


Рис. 4.5.1 Принципиальная схема (а) и характеристики х.х.

Генератор параллельного возбуждения

Принцип самовозбуждения генератора постоянного тока основан на том, что магнитная система машины, будучи намагниченной, сохраняет длительное время небольшой магнитный поток остаточного магнетизма сердечников полюсов и станины $\Phi_{ост}$ (порядка 2—3% от полного потока).

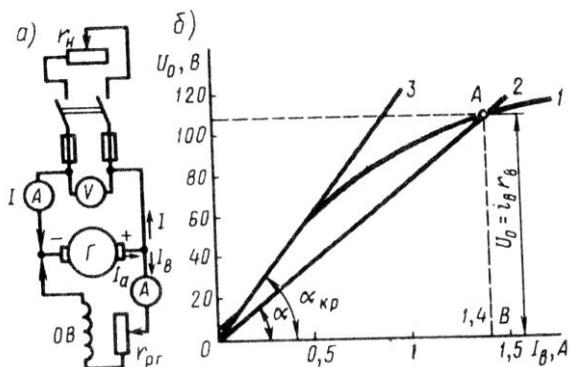


Рис. 4.5.2. Принципиальная схема (а) и характеристика х.х. (б) генератора параллельного возбуждения индуцирует в якровой обмотке

ЭДС $E_{ост}$, под действием которой в обмотке возбуждения возникает небольшой ток $I_{в.ост}$. Если МДС обмотки возбуждения $I_{в.ост}W_B$ имеет такое же направление, как и поток $\Phi_{ост}$, то она увеличивает поток главных полюсов. Это, в свою очередь, вызывает увеличение ЭДС генератора, отчего ток возбуждения вновь увеличится. Так будет продолжаться до тех пор, пока напряжение генератора не будет уравновешено падением напряжения в цепи возбуждения, т. е. $I_B r_B = U_0$.

На рис. 4.5.2, а показана схема включения генератора параллельного возбуждения.

Генератор смешанного возбуждения

Генератор смешанного возбуждения (рис. 4.5.3, а) имеет параллельную и последовательную обмотки возбуждения. Поток возбуждения создается в основном параллельной обмоткой. Последовательная обмотка обычно включается *согласно* с параллельной (чтобы МДС обмоток складывались), что обеспечивает получение жесткой внешней характеристики генератора.

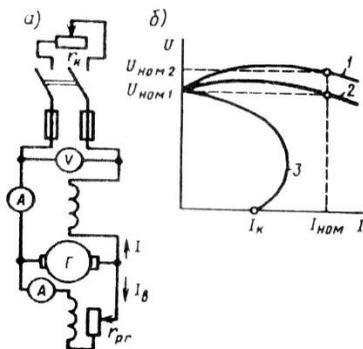


Рис. 4.5.3. Схема включения генератора смешанного возбуждения (а) и его внешние характеристики (б)

Вопрос 2. Характеристика генераторов постоянного тока с различными схемами возбуждения

Генератор независимого возбуждения

Характеристика холостого хода. При снятии характеристики $U_0 = f(I_B)$ генератор работает в режиме х.х. ($I_a = 0$). Установив

номинальную частоту вращения и поддерживая ее неизменной, постепенно увеличивают ток в обмотке возбуждения I_B от нулевого значения до $+I_B = Oa$, при котором напряжение х.х. $U_0 = 1,15U_{ном}$. Получают данные для построения кривой 1 (рис. 4.5.4., б). Начальная ордината кривой 1 не равна нулю, что объясняется действием небольшого магнитного потока остаточного магнетизма, сохранившегося от предыдущего намагничивания машины. Уменьшив ток возбуждения до нуля, и изменив его направление, постепенно увеличивают ток в цепи возбуждения до $-I_B = Ob$. Полученная таким образом кривая 2 называется *нисходящей ветвью характеристики*. В первом квадранте кривая 2 располагается выше кривой 1. Объясняется это тем, что в процессе снятия кривой 1 произошло увеличение магнитного потока остаточного намагничивания.

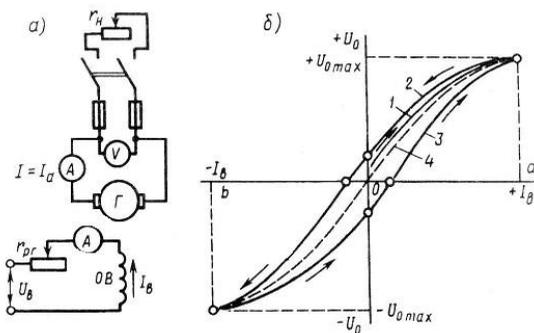


Рис. 4.5.4.
Принципиальная
схема (а) и характе-
ристики х.х.

Нагрузочная характеристика генератора. Эта характеристика выражает зависимость напряжения U на выходе генератора от тока возбуждения I_B при неизменном токе нагрузки, например номинальном, и частоте вращения. При указанных условиях напряжение на выводах генератора меньше ЭДС, поэтому нагрузочная характеристика 1 располагается ниже характеристики холостого хода 2 (рис. 4.5.5.). Если из точки a , соответствующей номинальному напряжению $U_{ном}$, отложить вверх отрезок ab , равный $I_a \sum r$, и провести горизонтально отрезок bc до пересечения с характеристикой х.х., а затем соединить точки a и c , то получим abc — *треугольник реактивный (характеристический)*.

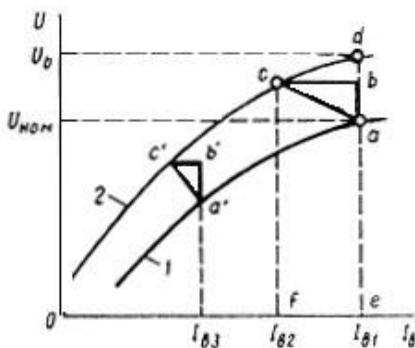


Рис. 4.5.5. Нагрузочная характеристика генератора независимого возбуждения

Внешняя характеристика генератора. Эта характеристика представляет собой зависимость напряжения U на выводах генератора от тока нагрузки I . При снятии данных для построения внешней характеристики генератор приводят во вращение с номинальной скоростью и нагружают его до номинального тока при номинальном напряжении. Затем, постепенно уменьшая нагрузку вплоть до х.х. ($I = 0$), снимают показания приборов. Сопротивление цепи возбуждения r_B и частоту вращения в течение опыта поддерживают неизменными.

Регулировочная характеристика генератора. Характеристика $I_B = f(I)$ показывает, как следует менять ток в цепи возбуждения, чтобы при изменениях нагрузки генератора напряжение на его выводах оставалось неизменным, равным номинальному. При этом частота вращения сохраняется постоянной ($n = const$).

Регулировочная характеристика генератора. Характеристика $I_B = f(I)$ показывает, как следует менять ток в цепи возбуждения, чтобы при изменениях нагрузки генератора напряжение на его выводах оставалось неизменным, равным номинальному. При этом частота вращения сохраняется постоянной ($n = const$).

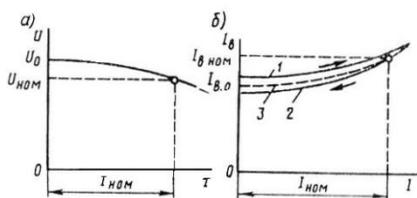


Рис. 4.5.6. Внешняя (а) и регулировочная (б) характеристики генератора независимого возбуждения

Генератор параллельного возбуждения

Характеристика холостого хода генератора (кривая 1) и зависимость падения напряжения от тока возбуждения $I_B r_B = f(I_B)$ (прямая 2). Точка пересечения A соответствует окончанию процесса самовозбуждения, так как именно в ней $U_0 = I_B r_B$.

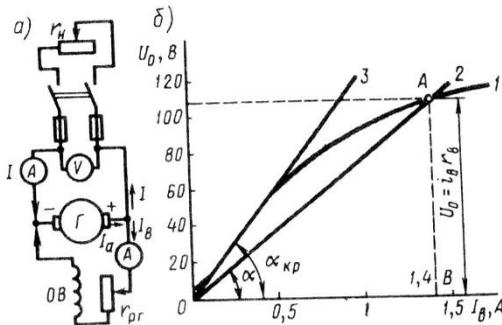
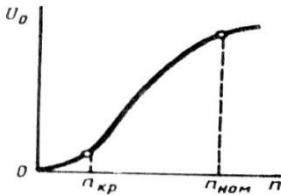


Рис. 4.5.7. Принципиальная схема (а) и характеристика х.х. (б) генератора параллельного возбуждения

Характеристика самовозбуждения генератора (рис. 4.5.8.), представляет собой зависимость напряжения генератора в режиме х.х. от частоты вращения при неизменном сопротивлении цепи возбуждения, т. е.



$$U_0 = f(\omega) \text{ при } r_B = \text{const.}$$

Рис. 4.5.8. Характеристика самовозбуждения

Нагрузочная и регулировочная характеристики генератора параллельного возбуждения практически не отличаются от соответствующих характеристик генератора независимого возбуждения.

Генератор смешанного возбуждения

Внешняя характеристика в этом случае становится наиболее жесткой (рис. 4.5.9, б, кривая 2), т. е. напряжение на зажимах генератора при увеличении тока остается почти неизменным.

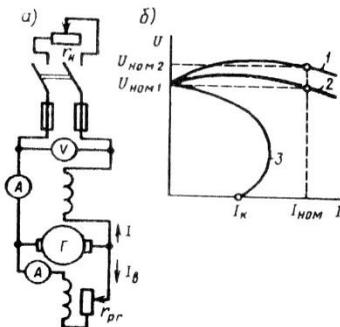


Рис. 4.5.9. Схема включения генератора смешанного возбуждения (а) и его внешние характеристики (б)

Контрольные вопросы:

1. Какие характеристик и определяют свойства генераторов постоянного тока?
2. Почему у генератора параллельного возбуждения изменение напряжения при сбросе нагрузки больше, чем у генератора независимого возбуждения?
3. Каковы условия самовозбуждения генераторов постоянного тока?
4. При каком включении обмоток возбуждения генератора смешанного возбуждения внешняя характеристика получается более «жесточкой»?

Тема 4.11. Двигатель постоянного тока

Вопрос 1. Принцип действия двигателей постоянного тока

Под действием электромагнитного момента якоря машина начнет вращаться, т. е. машина будет работать в режиме двигателя, потребляя из сети электрическую энергию и преобразуя ее в механическую. В процессе работы двигателя его якорь вращается в магнитном поле. В обмотке якоря индуцируется ЭДС E_a , направление которой можно определить по правилу «правой руки». По своей природе она не отличается от ЭДС, наводимой в обмотке якоря генератора. В двигателе же ЭДС направлена против тока I_a , и поэтому ее называют *противо-возлектордвижущей* силой (противо-ЭДС) якоря (рис. 4.6.1.).

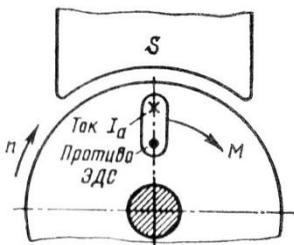


Рис. 4.6.1. Направление противо-ЭДС в обмотке якоря двигателя

Для двигателя, работающего с постоянной частотой вращения,

$$U = E_a + I_a \sum r. \quad (4.6.1.)$$

Из (4.6.1.) следует, что подведенное к двигателю напряжение уравнивается противо-ЭДС обмотки якоря и падением напряжения в цепи якоря. На основании (4.6.1) ток якоря

$$I_a = \frac{U - E_a}{\sum r}. \quad (4.6.2.)$$

Вопрос 2. Обратимость электрических машин

Коллекторные машины обладают свойством обратимости, т. е. они могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Поэтому если машину постоянного тока подключить к источнику энергии постоянного тока, то в обмотке возбуждения и в обмотке якоря машины появятся токи.

Вопрос 3. Уравнение электродвижущей силы. Электромагнитный момент машины постоянного тока. Уравнение моментов

Для выяснения сущности выражения $E_a I_a$ сделаем следующее преобразование:

$$E_a I_a = \frac{pN}{60a} \Phi n I_a = \frac{pN}{60a} \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_a,$$

или

$$E_a I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a \omega.$$

$$\text{Но, согласно (4.6.1)} \quad \left[\frac{pN}{2\pi a} \right] \Phi I_a = M$$

Тогда

$$E_a I_a = M\omega = P_{ЭМ}, \quad (4.6.3)$$

где $\omega = 2\pi n / 60$ — угловая частота вращения якоря; $P_{ЭМ}$ — электромагнитная мощность двигателя.

Следовательно, выражение $E_a I_a$ представляет собой *электромагнитную мощность двигателя*. Зависимость полезного момента M_2 от нагрузки устанавливается формулой $M_2 = 9,55 P_2 / n$. Преобразовав выражение (4.6.2) с учетом (4.6.3), получим $U I_a = M\omega + I_a^2 \sum r$.

Анализ этого уравнения показывает, что с увеличением нагрузки на вал двигателя, т. е. с увеличением электромагнитного момента M , возрастает мощность в цепи обмотки якоря $U I_a$, т. е. мощность на входе двигателя. Но так как напряжение, подводимое к двигателю, поддерживается неизменным ($U = const$), то увеличение нагрузки двигателя сопровождается ростом тока в обмотке якоря I_a .

Вопрос 4. Пуск в ход и изменение направления вращения двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения.

Ток якоря двигателя определяется формулой (4.6.2.). Если принять U и $\sum r$ неизменными, то ток I_a зависит от противо-ЭДС E_a . Наибольшего значения ток I_a достигает при пуске двигателя в ход. В начальный момент пуска якорь двигателя неподвижен ($n = 0$) и в его обмотке не индуцируется ЭДС ($E_a = 0$). Поэтому при непосредственном подключении двигателя к сети в обмотке его якоря возникает пусковой ток

$$I'_a = U / \sum r. \quad (4.6.4.)$$

Обычно сопротивление $\sum r$ невелико, поэтому значение пускового тока достигает недопустимо больших значений, в 10—20 раз превышающих номинальный ток двигателя. Такой большой пусковой ток весьма опасен для двигателя. Во-первых, он может вызвать в машине круговой огонь, а во-вторых, при таком токе в двигателе развивается чрезмерно большой пусковой момент, который оказывает ударное действие на вращающиеся части двигателя и может механически их разрушить. И наконец, этот ток вызывает резкое падение напряжения в сети, что неблагоприятно отражается на работе других потребителей, включенных в эту сеть. Поэтому пуск двигателя непосредственным подключением в сеть (безреостатный пуск) обычно применяют для двигателей мощностью не более 0,7—1,0 кВт. В этих двигателях благодаря повышенному сопротивлению обмотки якоря и небольшим вращающимся массам значение пускового тока лишь в 3—5 раз превышает номинальный, что не представляет опасности для двигателя. Что же касается двигателей большей мощности, то при их пуске для ограничения пускового тока используют *пусковые реостаты* (ПР), включаемые последовательно в цепь якоря (реостатный пуск).

Двигатель параллельного возбуждения

Характерной особенностью этого двигателя является то, что ток в обмотке возбуждения (ОВ) не зависит от тока нагрузки (тока якоря). Реостат в цепи возбуждения r_{p2} служит для регулирования тока в обмотке возбуждения и магнитного потока главных полюсов.

Двигатель последовательного возбуждения

В этом двигателе обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря, поэтому магнитный поток Φ в нем зависит от тока нагрузки $I = I_a = I_B$.

При уменьшении нагрузки двигателя последовательного возбуждения частота вращения резко увеличивается и при нагрузке меньше 25% от номинальной может достигнуть опасных для двигателя значений («разнос»). Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу меньше 25% от номинальной недопустима.

Для более надежной работы вал двигателя последовательного возбуждения должен быть жестко соединен с рабочим механизмом посредством муфты и зубчатой передачи. Применение ременной передачи недопустимо, так как при обрыве или сбросе ремня может произойти «разнос» двигателя.

Двигатель смешанного возбуждения

Двигатель смешанного возбуждения имеет две обмотки возбуждения: параллельную и последовательную. Этот двигатель может работать вхолостую, так как поток параллельной обмотки Φ_1 ограничивает частоту вращения двигателя в режиме х.х. и устраняет опасность «разноса». Регулировать частоту вращения этого двигателя можно реостатом в цепи параллельной обмотки возбуждения. Однако наличие двух обмоток возбуждения делает двигатель смешанного возбуждения более дорогостоящим по сравнению с двигателями рассмотренных выше типов, что несколько ограничивает его применение.

Вопрос 5. Выбор пускозащитной аппаратуры

Выбор пускозащитной аппаратуры проводится на основании номинального и пускового токов.

Пусковой ток якоря при полном сопротивлении пускового реостата

$$I_n = \frac{U - E_a}{\sum r + r_{n.p}}. \quad (4.6.5.)$$

$$n = \frac{U - I_a \sum r}{c_e \Phi} = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{I_a \sum r}{c_e \Phi};$$

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{M \sum r}{c_e c_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n,$$

Тема 4.12. Характеристики двигателей постоянного тока

Вопрос 1. Основные характеристики двигателей постоянного тока параллельного, последовательного и смешанного соединения

Двигатель параллельного возбуждения

Эксплуатационные свойства двигателя определяются его *рабочими характеристиками*, под которыми понимают зависимость частоты вращения n , тока I , полезного момента M_2 , вращающего момента M от мощности на валу двигателя P_2 при $U = const$ и $I_B = const$ (рис. 4.6.2., б).

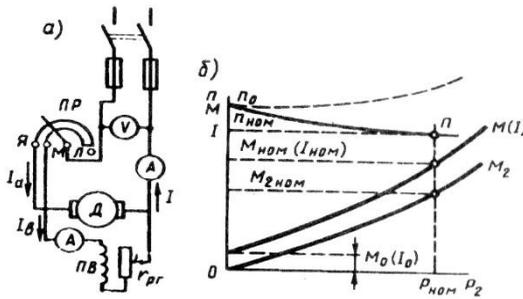


Рис. 4.6.2. Схема двигателя параллельного возбуждения (а) и его рабочие характеристики (б)

Механическая

характеристика

$$n = f(M).$$

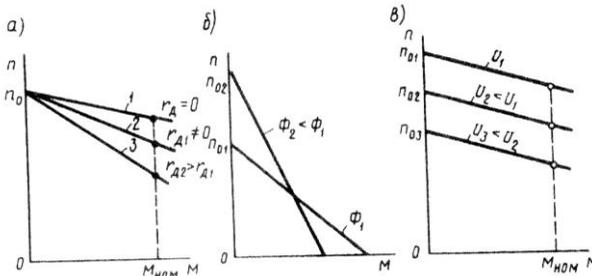


Рис. 4.6.3. Механические характеристики двигателя параллельного возбуждения:

- а — при введении в цепь якоря добавочного сопротивления;
- б — при изменении основного магнитного потока;
- в — при изменении напряжения в цепи якоря

Двигатель последовательного возбуждения

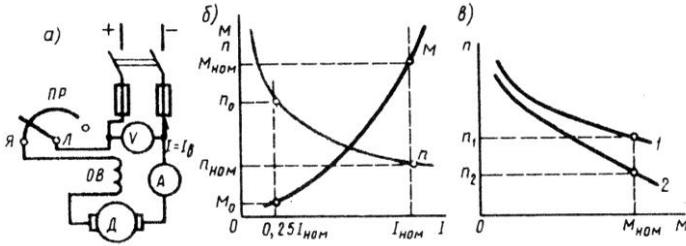


Рис.4.6.4. Двигатель последовательного возбуждения:
 а — принципиальная схема; б — рабочие характеристики; в — механические характеристики; 1 — естественная характеристика; 2 — искусственная характеристика

Двигатель смешанного возбуждения

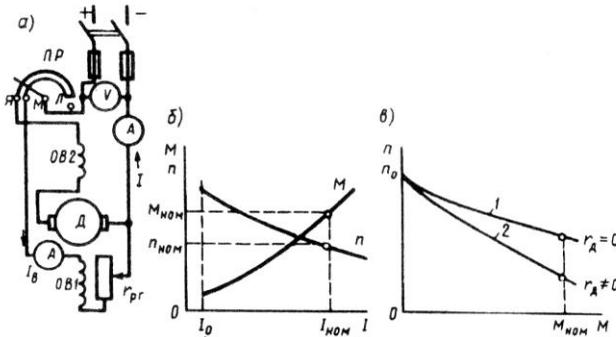


Рис. 4.6.5. Схема двигателя смешанного возбуждения (а), его рабочие (б) и механические (в) характеристики

Вопрос 2. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока с различными схемами возбуждения

Способы регулирования частоты вращения двигателей оцениваются следующими показателями: плавностью регулирования; диапазоном регулирования, определяемым отношением наибольшей частоты вращения к наименьшей; экономичностью регулирования, определяемой стоимостью регулирующей аппаратуры и потерями электроэнергии в ней.

Регулировать частоту вращения двигателя параллельного возбуждения можно изменением сопротивления в цепи якоря, изменением основного магнитного потока Φ , изменением напряжения в цепи якоря.

Введение дополнительного сопротивления в цепь якоря. Дополнительное сопротивление (реостат r_D) включают в цепь якоря аналогично пусковому реостату (ПР). Однако в отличие от последнего оно должно быть рассчитано на продолжительное протекание тока.

При включении сопротивления r_D в цепь якоря выражение частоты (29.5) принимает вид

$$n = \frac{U - I_a (\sum r + r_D)}{c_e \Phi} = n_0 - \Delta n, \quad (4.6.6.)$$

где $n_0 = U / (c_e \Phi)$ — частота вращения в режиме х.х.;

$\Delta n = I_a (\sum r + r_D) / (c_e \Phi)$ — изменение частоты вращения, вызванное падением напряжения в цепи якоря.

Изменение основного магнитного потока. Этот способ регулирования в двигателе параллельного возбуждения реализуется посредством реостата r_{p2} в цепи обмотки возбуждения (см. рис. 4.6.5., а). Так, при уменьшении сопротивления реостата возрастает магнитный поток обмотки возбуждения, что сопровождается понижением частоты вращения. При увеличении r_{p2} частота вращения растет.

Изменение напряжения в цепи якоря. Регулирование частоты вращения двигателя изменением питающего напряжения применяется лишь при $I_B = const$, т. е. при раздельном питании цепей обмотки якоря и обмотки возбуждения при независимом возбуждении.

Частота вращения в режиме х.х. n_0 пропорциональна напряжению, а Δn от напряжения не зависит.

Импульсное регулирование частоты вращения. Сущность этого способа регулирования иллюстрируется схемой, изображенной на рис. 4.6.6., а. Цепь обмотки якоря двигателя параллельного (независимого) возбуждения периодически прерывается ключом K . Во время замыкания цепи якоря на время t к обмотке якоря подводится напря-

при разгоне, устойчивая работа и допустимо лишь небольшое снижение частоты вращения при увеличении нагрузки на вал (прокатные станы, грузовые подъемники, насосы, компрессоры).

Вопрос 4. Монтаж, наладка и эксплуатация двигателей постоянного тока

Подготовка к монтажу.

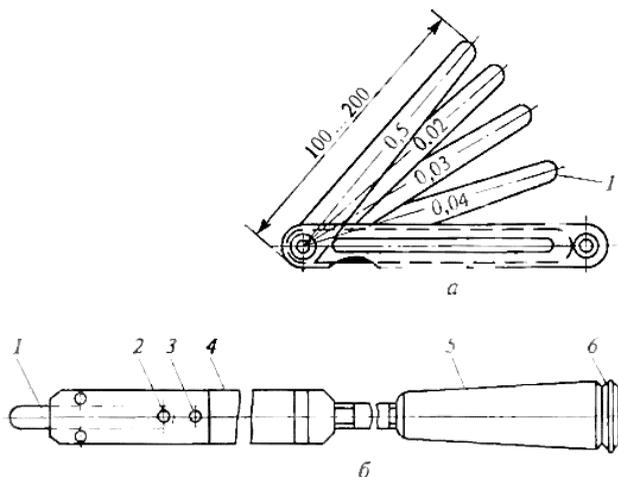
Перед началом монтажа электрических машин, проверяют: соответствие машины ее проектной документации; комплектность машины и сохранность крепежных деталей; наличие возможных повреждений за время транспортировки и хранения (предварительный осмотр после расконсервации);

состояние подшипников, коробки выводов, коллектора, контактных колец, щеточного механизма и др.;

сопротивление изоляции обмоток, подшипников и щеточных траверс;

зазоры в подшипниках скольжения и уплотнения валов; воздушный зазор между статором и ротором; отсутствие задевания ротора о статор (ротор должен свободно вращаться в подшипниках).

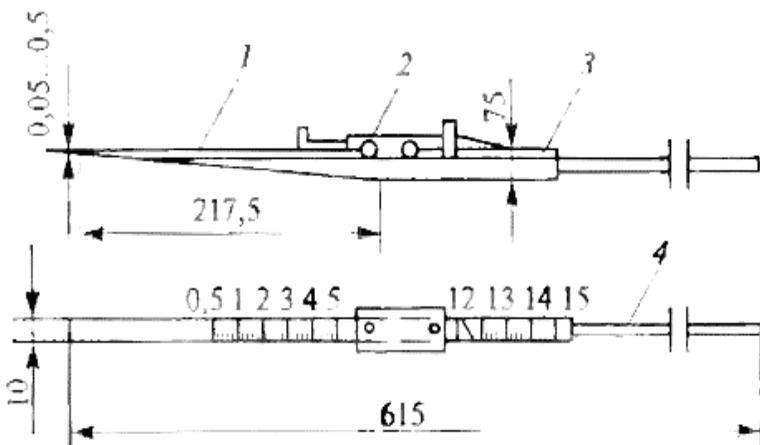
Пластинчатые щупы:



с — раздвижной; б — соименными пластинами; 1 — калиброванные пластины; 2 — штифт; 3 — винт; 4 — накладка-прижим; 5 — ручка; 6 — пробка

Выявленные в процессе осмотра неисправности следует устранить до начала монтажа. Если нет уверенности в том, что во время хранения и транспортирования машина осталась неповрежденной, проводят ее полную разборку с ревизией отдельных узлов. При необходимости заменяют смазку в подшипниках и затягивают болтовые соединения.

Если сопротивление изоляции обмоток меньше минимально допустимого, проводят сушку обмоток. Проверка воздушного зазора между статором и ротором, а также зазоров в подшипниках скольжения осуществляется с помощью пластинчатых и клиновых щупов. Проверка воздушного зазора возможна лишь для машин открытого и защищенного исполнения, поскольку она проводится без разбора ют машины. Ротор машины должен свободно вращаться в подшипниках при его повороте рукой (при мощности 10... 15 кВт) или рычагом (для машин большей мощности).



Клиновой щуп: 1 — клин; 2 — движок; 3 — указатель; 4 — стержень

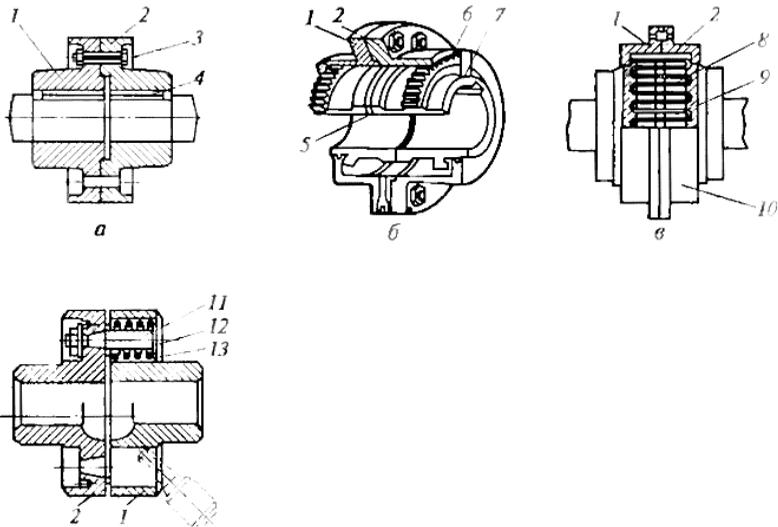
В зависимости от мощности и конструктивного исполнения электрические машины могут поступать на место монтажа в собранном или разобранном виде. В первом случае по известным установочным размерам машины заранее изготавливают крепежные детали и конструкции. Машины устанавливаются на металлических рамах или фундаментах (общих с приводным двигателем или с приводом или отдельных от них). Поскольку установочные размеры имеют допуски, указанные в чертежах, перед монтажом следует заготовить комплект прокладок, перекрывающий поле допусков.

Монтаж машин малой и средней мощности

Машины небольшой мощности соединяются с приводным механизмом с помощью муфт различного типа и зубчатых, ременных или фрикционных передач. На рис. показаны наиболее часто встречающиеся типы муфт.

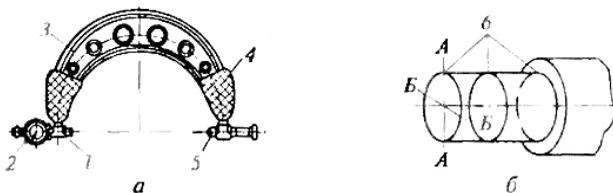
При соединении с помощью муфт на концы валов соединяемых машин предварительно насаживают полумуфты, проверив перед этим цилиндричность и соответствие наружного диаметра конца вала машины и внутреннего диаметра полумуфты с помощью измерительных скоб и нутромеров. Величина натяга при посадке указывается на чертеже, а сама посадка осуществляется в горячем состоянии.

При установке валы сочленяемых машин могут иметь радиальное и угловое смещение, как показано на рис, что приводит к соответствующему смещению полумуфт.



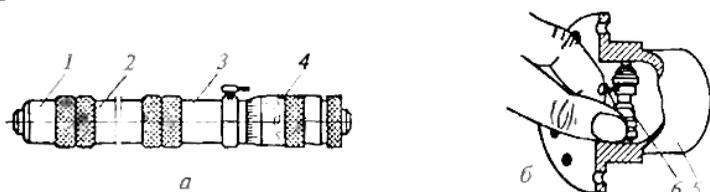
Соединение валов с помощью муфт:

а — жесткой поперечно-свертной; б — зубчатой; в — полужесткой зубчато-пружинной; г — упругой втулочно-пальцевой; 1 и 2 — полумуфты; 3 — точеный болт; 4 — шпонка; 5 и 7 — ступицы; 6 — зубчатый венец; 8 — ленточная пружина; 9 — зубья; 10 — кожух; 11 — палец- болт; 12 — кожаная шайба; 13 — разрезное кольцо



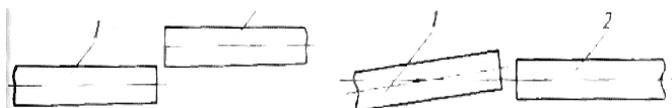
Скоба с отсчетным устройством (я) и определение посадочных размеров конца вала (б):

1 и 5 — подвижная и переставная пятки; 2 — отсчетное устройство; 3 — корпус; 4 — теплоизоляционная накладдка; 6 — места измерений

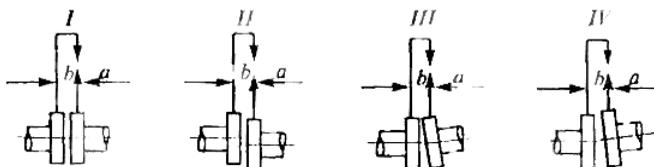


Микрометрический нутромер (о) и определение им внутреннего диаметра полумуфты (б).

1 — измерительный наконечник; 2 — удлинитель; 3 — трубка; 4 — микрометрическая головка; 5 — полумуфта; 6 — нутромер

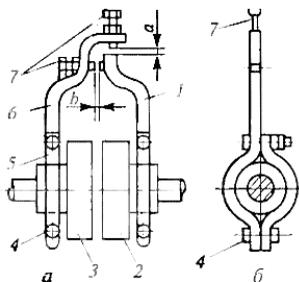


Смещение валов: а — боковое (радиальное); б — угловое (осевое); / и 2 — валы



Взаимное положение валов машин, соединяемых с помощью полумуфт:

1 — валы расположены на одной прямой и их оси совпадают; /1 — оси валов параллельны; III — центры валов совпадают, а их оси расположены под углом; /К — центры валов сдвинуты, а их оси расположены под углом



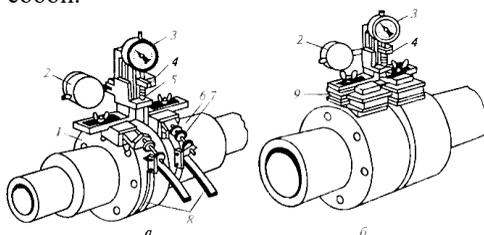
Центровка валов с помощью радиально-осевых скоб:

1 и 6 — внутренняя и наружная скобы; 2 и 3 — полумуфты; 4 и 7 — болты; 5 — хомут

Если соединить полумуфты при таком взаимном положении то при работе агрегата возникнут повышенные вибрации, которые могут привести к быстрому износу подшипников, муфт и болтовых соединений. Поэтому сочленяемые машины должны быть установлены таким образом, чтобы торцевые поверхности полумуфт были параллельны, а оси валов соединяемой машины и механизма находились на одной линии.

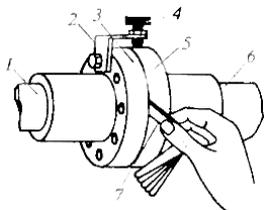
Для этого проводят центровку валов с помощью центровочных скоб различной конструкции. Некоторые из них показаны на рис.

Контроль точности центровки осуществляется по величине радиальных a и осевых b зазоров в четырех точках, равномерно расположенных по окружности муфты, при совместном повороте соединяемых валов на угол $0, 90, 180$ и 270° . При удовлетворительных отклонениях (каждый тип муфт имеет свои допустимые отклонения в радиальных и осевых зазорах), окончательно закрепляют машину на фундаменте и после повторной проверки центровки валов соединяют полумуфты между собой.



Приспособления для центровки валов:

а — с ленточным прижимом; б — с электромагнитным прижимом; 1 и 6 — пол у муфты; 2 и 3 — индикаторы; 4 — держатель; 5 — измерительный стержень; 7 — натяжное устройство; 8 — стальная лента; 9 — электромагнит

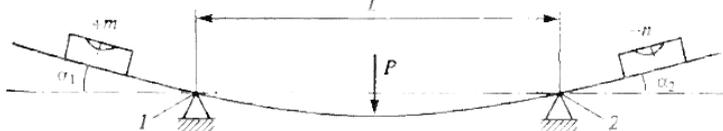


Центровка валов способом «обхода одной точкой»

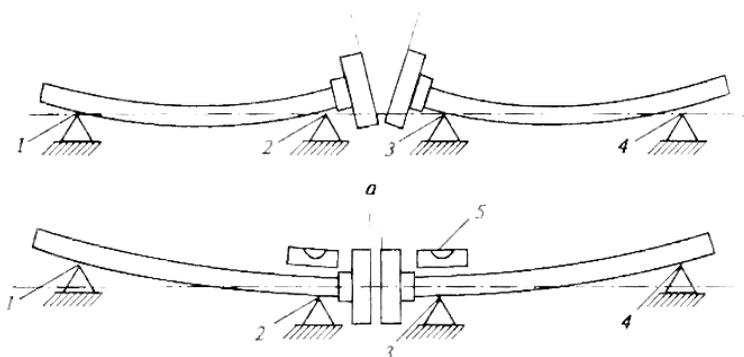
При использовании цепной или ременной передачи необходимо совместить средние линии звездочек или шкивов, установленных на ведомом и ведущем валах, и обеспечить натяжение цепи или ремня. Средние линии звездочек и шкивов обычно совмещают с помощью натянутой параллельно им струны с использованием обычного измерительного инструмента. Для обеспечения требуемого натяжения машина должна иметь возможность перемещения в плоскости, образованной осями вращения соединяемых машин. В некоторых случаях для создания натяжения используются специальные натяжные ролики. При использовании цилиндрической зубчатой передачи необходимо обеспечить параллельность валов соединяемых машин и одинаковый зазор между зубьями сопрягаемых шестерен по всей длине зуба. Допуск на несоосность валов в этом случае обычно не превышает 0,5ε. Контроль несоосности проводится с помощью индикаторов. После закрепления электрической машины на фундаменте ее корпус заземляется.

Монтаж машин большой мощности

Особенность монтажа крупных электрических машин, поступающих в собранном состоянии, состоит в том, что он начинается с установки отдельной фундаментной плиты, на которую устанавливают машину и проводят центровку валов. Ряд машин имеет на конце вала фланец, через который она соединяется с механизмом. Кроме того, при большой длине ротора под действием его веса P происходит прогиб вала в вертикальной плоскости. Поэтому при горизонтальном положении соединяемых машин плоскости полумуфт (или фланцев) оказываются расположены под углом друг к другу, как показано на рис. а.



Прогиб вала: 1 и 2 — подшипники; 3 — уровень



Положение валов, соединяемых с помощью полумуфт:
 а — до выверки; б — после выверки линии вала; 1...4 — подшипники; 5 — уровень

Центровка валов в этом случае заключается в такой установке соединяемых валов, при которой их общая линия представляет в вертикальной плоскости плавную кривую, а в горизонтальной — прямую линию. При центровке торцы сопрягаемых полумуфт (или фланцев) устанавливаются параллельно, а осевые линии валов должны быть продолжением одна другой и совпадать у сопрягаемых полумуфт (фланцев). Для этого путем установки прокладок под лапы корпуса добиваются равенства углов наклона шеек вала к горизонтальной линии. Угол наклона проверяют по уровню, показанному на рис. и установленному на выходном конце вала.

Если крупная электрическая машина поступает на сборку в разобранном состоянии (статор и ротор отдельно), то предварительно собирают саму машину в следующей последовательности. Сначала на монтажной площадке размещают и осматривают все узлы машины, затем подготавливают фундамент (разметка, колодцы под фундаментные болты и пр.), устанавливают и выверяют фундаментную плиту, монтируют стояковые подшипники и устанавливают статор. Затем в него заводится ротор, а шейки ротора устанавливаются на подшипники. Схема заведения ротора приведена на рисунке.

Центровка валов осуществляется, как и в предыдущем случае, но прокладки устанавливаются и под корпус подшипников. После центровки закрепляют корпуса машины и подшипников, пригоняют вкладыши подшипников скольжения и их уплотнения, выверяют зазоры в подшипниках и между статором и ротором электрической машины.

Устанавливают дополнительное оборудование, необходимое для работы машины (система охлаждения, смазки подшипников и т.д.),

Производят монтаж и регулировку токосъемных механизмов, соединяют электрические цепи и заземляют корпус машины.

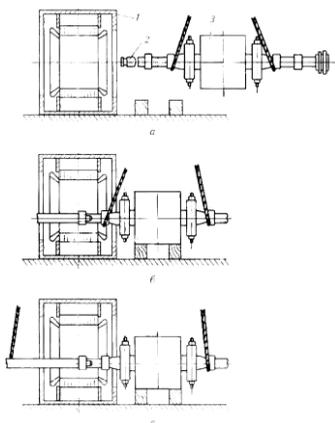


Схема ввода ротора в статор с использованием удлинителя: а - начало ввода, б — установка ротора на шпалы; в — закрепление стропа на удлинителе; 1 — статор; 2 — удлинитель вала; 3 — ротор

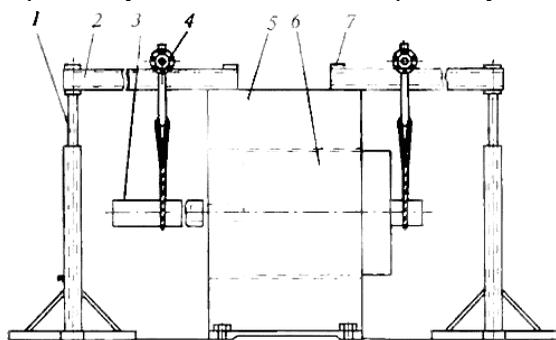


Схема ввода ротора в статор при отсутствии грузоподъемных механизмов:

1 — стойка; 2 — балка; 3 — удлинитель; 4 — грузовой ролик; 5 — статор; 6 — ротор; 7 — накладка

При отсутствии грузоподъемных механизмов в помещении сборки электрической машины для заведения ротора в статор можно использовать деревянные стойки У, на которых установлена балка 2, как показано на рис.

Наладка электрооборудования

Сельскохозяйственное производство характеризуется большим разнообразием электроустановок, в которых используются современные автоматизированные электроприводы со станциями управления. После монтажа таких установок перед пуском их в эксплуатацию налаживают отдельные аппараты, а затем увязывают их совместную работу для обеспечения заданных режимов.

Перед началом наладочных работ знакомятся с проектом и проверяют соответствие установленного оборудования запроектированному. При этом изучают элементные (развернутые) схемы и проверяют правильность их выполнения.

Наладку схемы электропривода выполняют по элементной и монтажной схемам, а также по схеме внешних соединений, по которой проверяют все соединения от станции управления к электрическим машинам, пульту управления, ящикам сопротивлений и т. п.

По кабельному журналу проверяют марку кабеля или провода, сечение жил, число резервных жил, направление трассы. Пользуясь монтажными схемами, проверяют тип аппаратуры станций управления и пультов, ее расстановку, маркировку зажимов и концов, подходящих к аппаратам, условные обозначения аппаратов. Изучают схемы питания станций управления, оперативного тока для цепей управления электроприводами и спецификацию электрооборудования. После изучения проектной документации осматривают электрические цепи, испытывают их повышенным напряжением и корректируют проектные схемы в процессе наладки.

При внешнем осмотре проверяют качество монтажных работ по силовым и оперативным цепям (надежность крепления проводов на клеммах, наличие изоляционных прокладок между проводами и креплениями их скобами, нарушение изоляции, обрывы, изломы и т. п.). Особое внимание уделяют контактными соединениям.

Далее по элементной или монтажной схеме проверяют маркировку. В большинстве случаев первыми проверяют первичные цепи (их целостность, фазировку), внешние соединения первичных и вторичных оперативных цепей (отсутствие замыканий на землю и обрывов в цепях) и вторичные цепи в пределах станций управления, блоков и пультов управления, панелей сигнализации и т. п. (отсутствие коротких замыканий и обрывов).

Вторичные цепи проверяют прозваниванием или методом непосредственного опробования. Работу схем защит и сигнализации проверяют имитацией ненормальных и аварийных режимов работы электро-

оборудования. При обнаружении отказов в работе отдельных узлов схемы определяют обходные цепи или места обрывов (обычно при помощи вольтметра или пробника).

Испытывать вторичные (оперативные) цепи повышенным напряжением (цепи защиты, управления и измерения с присоединенной аппаратурой), согласно Правилам устройства электроустановок, обязательно. Значение испытательного напряжения переменного тока частотой 50 Гц принимают в зависимости от номинального напряжения. Напряжение подают в испытываемую цепь в течение 1 мин. Каждый участок схемы испытывают отдельно. До и после испытания цепей повышенным напряжением измеряют сопротивление их изоляции. Значение сопротивления изоляции относительно земли должно быть не менее 10 МОм для цепей постоянного тока и щитов управления и 1 МОм для каждого присоединения цепей питания и вторичных цепей.

1 В процессе наладки корректируют проектные схемы, поэтому наладочный персонал имеет два комплекта элементных схем. На одном комплекте (рабочем) делают все отметки и исправления в процессе наладки, на второй комплект тушью наносят изменения. Обе схемы с соответствующими протоколами испытаний представляют заказчику после окончания наладочных работ.

Все поправки, вносимые в схемы в процессе наладки, не должны вести к изменению режимов работы установок. При необходимости наладочная организация может потребовать от проектной организации изменения схемы, то есть изменения проекта. Применительно к сельскохозяйственному производству, где в основном используют асинхронный электродвигатель, наладку начинают с проверки паспортных данных электродвигателя (при несовпадении их с проектом электродвигатель заменяют). Затем его осматривают, проверяют схему электропривода и налаживают аппаратуру управления. После этого налаживают схему в целом. Для управления асинхронными электродвигателями широко используют магнитные пускатели и блоки управления. В начале проверки схемы блока управления выясняют, есть ли в схеме напряжение (при отключенном электродвигателе) и есть ли в предохранителях плавкие вставки. Затем включают рубильник и нажимают кнопку «Пуск». При этом контактор должен включиться и остаться включенным при отпускании кнопки. При нажатии кнопки «Стоп» контактор должен надежно сработать. Затем принудительно размыкают оба контакта теплового реле и нажимают кнопку «Пуск» — контактор не должен включаться. Не должен он включаться и при возвращении одного из контактов теплового реле в замкнутое состояние. Затем (с соблюдением, правил техники безопасности) наладчик размыкает

блок-контакты, шунтирующие кнопку «Пуск» при включенном контакторе; при этом контактор должен отключиться.

Убедившись в правильной работе схемы, отключают рубильник и подключают концы кабеля к клеммам электродвигателя. Включают рубильник и пускают электродвигатель толчком вхолостую (как правило, при отъединенной рабочей машине). При этом один из наладчиков находится возле кнопок управления, а второй — около электродвигателя. По сигналу, подаваемому вторым наладчиком, первый нажимает кнопку «Пуск», а затем — кнопку «Стоп». Наладчик, находящийся возле электродвигателя, проверяет при этом направление вращения его вала и выявляет возможные неполадки. При нормальном состоянии электродвигателя его включают на более длительный промежуток времени. Затем, подсоединяя электродвигатель к рабочей машине, снова опробуют его сначала при работе с рабочей машиной без нагрузки, а затем под нагрузкой. Наладчики наблюдают за работой электродвигателя и аппаратуры, а эксплуатационный персонал — за работой машины.

Организация эксплуатации двигателя постоянного тока

В процессе эксплуатации важное место занимают обслуживание *двигателя* перед вводом их в эксплуатацию, перед пуском, в процессе работы, после остановки; плановое проведение текущих и капитальных ремонтов и профилактические (межремонтные) испытания.

Профилактические испытания позволяют обнаружить неисправности, которые не всегда можно выявить внешним осмотром, поскольку они не имеют внешних проявлений. При этих испытаниях проверяют сопротивление изоляции электрических *двигателей* и пускорегулирующей аппаратуры, срабатывание защиты *двигателей* напряжением до 1000 В в сетях с заземленной нейтралью и устройства защитного отключения. При проверке сопротивления изоляции электрических *двигателей* напряжением до 1000 В используются мегаомметры класса 1000 В, при более высоком напряжении—класса 2500 В.

В связи с большим разнообразием работ по техническому обслуживанию ограничимся лишь типовым объемом, который включает в себя: ежедневный надзор за выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя (контроль нагрузки, температуры отдельных узлов электрической машины, температуры охлаждающей среды при замкнутой системе охлаждения, наличия смазки в подшипниках, отсутствия повышенных шумов и вибраций, чрезмерного искрения на коллекторе и контактных кольцах и др.); ежедневный кон-

троль за исправностью заземления; отключение электрических машин в аварийных ситуациях; мелкий ремонт, осуществляемый во время перерывов в работе основного технологического оборудования и не требующий специальной остановки электрических машин (подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс, подрегулировка пускорегулирующей аппаратуры и системы защиты, чистка доступных частей машины и т. д.); приемо-сдаточные испытания после монтажа, ремонта и наладки электрических *двигателей* и систем их защиты и управления; плановые осмотры эксплуатируемых *двигателей* по утвержденному главным энергетиком графику с заполнением карты осмотра.

Большое влияние на работу электрических *двигателей* оказывает рабочая температура отдельных узлов. Так как элементы электрических *двигателей* выполняются из материалов с различными коэффициентами температурного расширения, то при больших нагревах в изоляции могут появляться большие термомеханические напряжения, вызывающие соответственно большие механические деформации изоляции обмоток. Особенно чувствительна к нагреву изоляция на органической основе (бумага, пряжа, тканые материалы).

На практике применяются два метода контроля за нагревом — косвенный и непосредственный.

Косвенный метод контроля. При использовании этого метода следят не за самой температурой (превышением температуры) отдельных узлов электрического *двигателя*, а за нагрузкой и температурой охлаждающей среды. Обычно если нагрузка не превосходит номинальную и температура охлаждающей среды не выше допустимой, то при эксплуатации не следует опасаться недопустимых перегревов. Этот метод контроля широко применяется для *двигателей* малой и средней мощности.

Непосредственный метод контроля. Этот метод основан на измерении температуры (превышении температуры) отдельных частей *двигателя* с помощью индикаторов различного вида — термометров, терморезисторов, термопар. Можно использовать для этих целей и измерения сопротивления обмоток на постоянном токе и по величине сопротивления обмотки судить о ее температуре.

Все указанные методы должны удовлетворять требованию о возможности их применения на работающем оборудовании.

Контрольные вопросы:

1. Какие способы ограничения пускового тока применяются в двигателях постоянного тока?

2. С какой целью при пуске двигателя параллельного возбуждения сопротивление реостата в цепи возбуждения устанавливают минимальным?

3. Сравните двигатели параллельного и последовательного возбуждения по их регулировочным свойствам.

4. Какова разница в конструкции коллекторных двигателей постоянного и переменного тока?

Тема 4.13 Потери и коэффициент полезного действия машины постоянного тока

Вопрос 1. Структура потерь мощности и коэффициента полезного действия машины постоянного тока

Магнитные потери P_M происходят только в сердечнике якоря, так как только этот элемент магнитопровода машины постоянного тока подвергается перемагничиванию. Величина магнитных потерь, состоящих из потерь от гистерезиса и потерь от вихревых токов, зависит от частоты перемагничивания $f = pn/60$, значений магнитной индукции в зубцах и спинке якоря, толщины листов электротехнической стали, ее магнитных свойств и качества изоляции этих листов в пакете якоря.

Электрические потери в коллекторной машине постоянного тока обусловлены нагревом обмоток и щеточного контакта. Потери в цепи возбуждения определяются потерями в обмотке возбуждения и в реостате, включенном в цепь возбуждения:

$$P_{\Sigma.B} = U_B I_B. \quad (4.7.1)$$

Здесь U_B — напряжение на зажимах цепи возбуждения. Потери в обмотках цепи якоря

$$P_{\Sigma.a} = I_a^2 \sum r \quad (4.7.2)$$

где сопротивление обмоток в цепи якоря $\sum r$, приведенное к расчетной рабочей температуре $\theta_{раб}$, определяется с учетом данных

Электрические потери также имеют место и в контакте щеток:

$$P_{\text{э.щ}} = \Delta U_{\text{щ}} I_a, \quad (4.7.3)$$

где $\Delta U_{\text{щ}}$ — переходное падение напряжения, В, на щетках обеих полярностей, принимаемое в соответствии с маркой щеток.

Электрические потери в цепи якоря и в щеточном контакте зависят от нагрузки машины, поэтому эти потери называют *переменными*.

Механические потери. В машине постоянного тока механические потери складываются из потерь от трения щеток о коллектор

$$P_k = k_{mp} S_{\text{щ}} f_{\text{щ}} V_k, \quad (4.7.4)$$

трения в подшипниках $P_{\text{п}}$ и на вентиляцию $P_{\text{вен}}$

$$P = P_k + P_{\text{п}} + P_{\text{вен}}, \quad (4.7.5)$$

где k_{mp} — коэффициент трения щеток о коллектор ($k_{mp} = 0,2 \div 0,3$); $S_{\text{щ}}$ — поверхность соприкосновения всех щеток с коллектором, м²; $f_{\text{щ}}$ — удельное давление, Н/м², щетки [для машин общего назначения $f_{\text{щ}} = (2 \div 3) \cdot 10^4$ Н/м²];

окружная скорость коллектора (м/с) диаметром D_k (м)

$$V_k = \pi D_k n / 60. \quad (4.7.6)$$

Механические и магнитные потери при стабильной частоте вращения ($n = \text{const}$) можно считать *постоянными*.

Сумма магнитных и механических потерь составляют потери х.

$$P_0 = P_m + P_{\text{мех}}. \quad (4.7.7.)$$

Если машина работает в качестве двигателя параллельного возбуждения в режиме х.х., то она потребляет из сети мощности

$$P_{10} = UI_{a0} + U_B I_B = P_m + P_{мех} + I_{a0}^2 \sum r + \Delta U_{щ} I_{a0} + U_B I_B \quad (4.7.8)$$

Однако ввиду небольшого значения тока I_{a0} электрические потери $I_{a0}^2 \sum r$ и $\Delta U_{щ} I_{a0}$ весьма малы и обычно не превышают 3% потерь $P_0 = P_m + P_{мех}$. Поэтому, не допуская заметной ошибки, можно записать $P_{10} = UI_{a0} + U_B I_B = P_0 + U_B I_B$, откуда потери х.х.

$$P_0 = P_{10} - U_B I_B. \quad (4.7.9)$$

Таким образом, потери х.х. (магнитные и механические) могут быть определены экспериментально.

В машинах постоянного тока имеется ряд трудно учитываемых потерь — *добавочных*. Эти потери складываются из потерь от вихревых токов в меди обмоток, потерь в уравнительных соединениях, в стали якоря из-за неравномерного распределения индукции при нагрузке, в полюсных наконечниках, обусловленных пульсацией основного потока из-за наличия зубцов якоря, и др. Добавочные потери составляют хотя и небольшую, но не поддающуюся точному учету величину. Поэтому, согласно ГОСТу, в машинах без компенсационной обмотки значение добавочных потерь P_d принимают равным 1% от полезной мощности для генераторов или 1% от подводимой мощности для двигателей.

Тема 4.14. Коэффициент полезного действия машины постоянного тока

Вопрос 1. Коэффициент полезного действия машины постоянного тока. Определение коэффициента полезного действия

Коэффициент полезного действия электрической машины представляет собой отношение мощностей отдаваемой (полезной) P_2 к подводимой (потребляемой) P_1 ,:

$$\eta = P_2 / P_1.$$

Определив суммарную мощность вышеперечисленных потерь

$$\sum P = P_M + P_{МЭХ} + P_{Э.В} + P_{Эа} + P_{ЭЩ} + P_D, \quad (4.7.10)$$

можно подсчитать КПД машины по одной из следующих формул:
для генератора

$$\eta_G = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI}{UI + \sum P} = 1 - \frac{\sum P}{UI + \sum P}; \quad (4.7.11)$$

для двигателя

$$\eta_{ДВ} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI - \sum P}{UI} = 1 - \frac{\sum P}{UI}. \quad (4.7.12)$$

Обычно КПД машин постоянного тока составляет 0,75—0,90 для машин мощностью от 1 до 100 кВт и 0,90—0,97 для машин мощностью свыше 100 кВт. Намного меньше КПД машин постоянного тока малой мощности. Например, для машин мощностью от 5 до 50 Вт $\eta = 0,15 \div 0,50$. Указанные значения КПД соответствуют номинальной нагрузке машины. Зависимость КПД машины постоянного тока от нагрузки выражается графиком $\eta = f(P_2)$, форма которого характерна для электрических машин (рис. 4.7.1.).

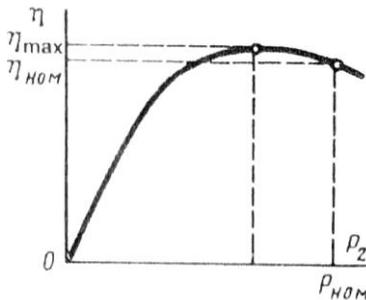


Рис. 4.7.1.. Зависимость $\eta = f(P_2)$

Коэффициент полезного действия электрической машины можно определять: а) методом непосредственной нагрузки по результатам

измерений подводенной P_1 и отдаваемой P_2 мощностей; б) косвенным методом по результатам измерений потерь.

Метод непосредственной нагрузки применим только для машин малой мощности, для остальных случаев применяется косвенный метод, как более точный и удобный. Установлено, что при $\eta > 80\%$ измерять КПД методом непосредственной нагрузки нецелесообразно, так как он дает большую ошибку, чем косвенный метод.

Существует несколько косвенных способов определения КПД. Наиболее прост способ холостого хода двигателя, когда потребляемая машиной постоянного тока мощность затрачивается только на потери х.х. [см. (29.26)]. Что же касается электрических потерь, то их определяют расчетным путем после предварительного измерения электрических сопротивлений обмоток и приведения их к рабочей температуре.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите виды потерь, происходящих в машине постоянного тока.
2. Запишите формулу, определяющую потери в цепи якоря машины постоянного тока.
3. Какие виды потерь в машине постоянного тока можно считать постоянными и почему?
4. На основании чего потери холостого хода машины постоянного тока могут быть определены экспериментально?
5. Из каких потерь состоят добавочные потери?
6. Напишите формулу КПД генератора постоянного тока.
7. Напишите формулу КПД двигателя постоянного тока.
8. Какими методами возможно измерение КПД машин постоянного тока?

Тема 4.15 Специальные машины постоянного тока

Вопрос 1. Электромашинный усилитель

Электромашинный усилитель (ЭМУ) представляет собой электрическую машину, работающую в генераторном режиме и предназначенную для усиления электрических сигналов. Электромашинные усилители применяются в системах автоматики. Простейший ЭМУ — это генератор постоянного тока независимого возбуждения (см. рис. 4.8.1, а). Так как напряжение на выходе генератора зависит от тока возбуждения (см. рис. 4.8.1, б), то, изменяя ток возбуждения, можно

управлять напряжением на выходе генератора. Следовательно, сравнительно небольшой мощностью в цепи обмотки возбуждения можно управлять значительной мощностью в цепи якоря.

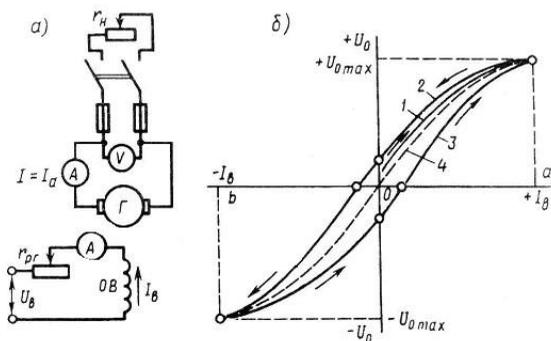


Рис. 4.8.1. Принципиальная схема (а) и характеристики х.х. (б) генератора независимого возбуждения

Наибольшее распространение в автоматике получили *электромашиные усилители поперечного поля*. В отличие от обычного генератора постоянного тока в этом ЭМУ основным рабочим потоком является магнитный поток, создаваемый током обмотки якоря, — поперечный поток реакции якоря.

Вопрос 2. Тахогенератор постоянного тока

Тахогенераторы постоянного тока служат для измерения частоты вращения по значению выходного напряжения, а также для получения электрических сигналов, пропорциональных частоте вращения вала в схемах автоматического регулирования. Тахогенератор постоянного тока представляет собой генератор малой мощности с электромагнитным независимым возбуждением (рис. 4.8.2, а) или с возбуждением постоянными магнитами.

Ввиду того что при постоянном токе возбуждения $I_B = const$ магнитный поток Φ практически не зависит от нагрузки, выходная ЭДС тахогенератора $E_{вых}$ прямо пропорциональна частоте вращения:

$$E_{вых} = c_e \Phi n = c'_e n, \quad (4.8.1)$$

где $c'_e = c_e \Phi = const.$

Формула (4.8.1) справедлива и для тахогенератора с возбуждением постоянными магнитами, где $\Phi = const.$

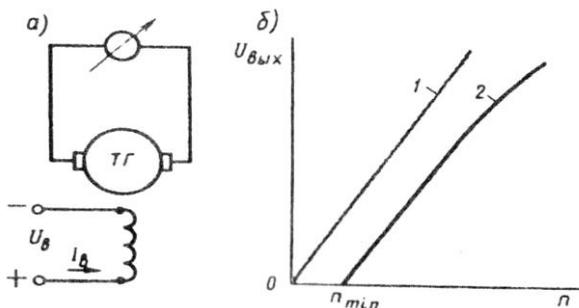


Рис. 4.8.2. Принципиальная схема (а), выходная характеристика (б) тахогенератора постоянного тока

Тема 4.16. Бесконтактный и исполнительный двигатели постоянного тока

Вопрос 1. Бесконтактный двигатель постоянного тока

С целью улучшения свойств двигателей постоянного тока были созданы двигатели с бесконтактным коммутатором, называемые бесконтактными двигателями постоянного тока (БДПТ). Отличие БДПТ от коллекторных двигателей традиционной конструкции состоит в том, что у них щеточно-коллекторный узел заменен полупроводниковым коммутатором (инвертором), управляемым сигналами, поступающими с бесконтактного датчика положения ротора. Рабочая обмотка двигателя — обмотка якоря — расположена на сердечнике статора, а постоянный магнит — на роторе.

Вал двигателя Д (рис. 30.4, а) механически соединен с датчиком положения ротора (ДПР), сигнал от которого поступает в блок коммутатора (БК). Подключение секций обмотки якоря к источнику постоянного тока происходит через элементы блока коммутатора (БК). Назначение ДПР — выдавать управляющий сигнал в блок коммутатора в соответствии с положением полюсов постоянного магнита относительно секций обмотки якоря.

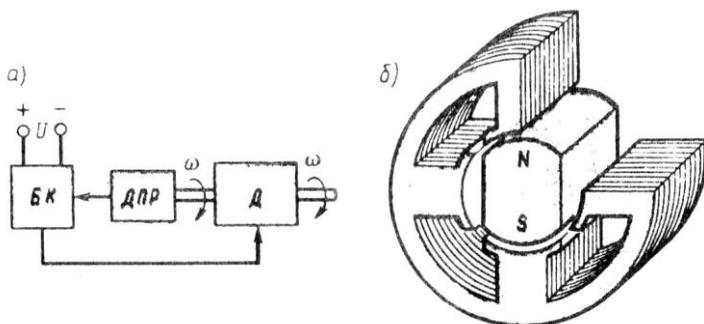


Рис. 4.8.3. Бесконтактный двигатель постоянного тока: *а* — блок-схема, *б* — магнитная система

В качестве датчиков положения ротора применяют чувствительные различные бесконтактные элементы с минимальными размерами и потребляемой мощностью и большой кратностью минимального и максимального сигналов, чтобы не вызывать нарушений в работе блока коммутатора.

Вопрос 2. Исполнительные двигатели постоянного тока

Исполнительные двигатели постоянного тока применяются в системах автоматики для преобразования электрического сигнала в механическое перемещение. Помимо обычных требований, предъявляемых к электродвигателям общего назначения, к исполнительным двигателям предъявляется ряд специфических требований, из которых основными являются отсутствие самохода и малоинерционность.

Почти все исполнительные двигатели (исключение составляют лишь двигатели с постоянными магнитами) имеют две обмотки. Одна из них постоянно подключена к сети и называется *обмоткой возбуждения*, на другую — *обмотку управления* электрический сигнал подается лишь тогда, когда необходимо вызвать вращение вала. От напряжения управления зависят частота вращения и вращающий момент исполнительного двигателя, а, следовательно, и развиваемая им механическая мощность.

Исполнительные двигатели постоянного тока по конструкции отличаются от двигателей постоянного тока общего назначения только тем, что имеют шихтованные (набранные из листов электротехнической стали) якорь, станину и полюсы, что необходимо для работы исполнительных двигателей в переходных режимах.

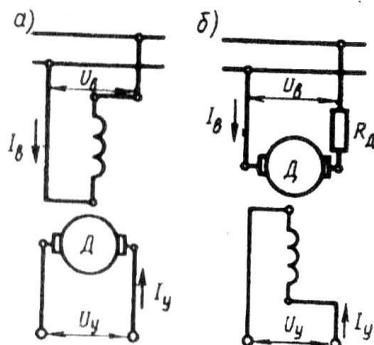


Рис. 4.8.4. Схема включения исполнительных двигателей постоянного тока

Контрольные вопросы:

1. Объясните принцип якорного и полюсного способов управления исполнительными двигателями.
2. Каковы достоинства и недостатки малоинерционного двигателя постоянного тока?
3. Будет ли работать БДПТ, если изменить полярность напряжения на его входе?

Раздел 2. Монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов сельскохозяйственных машин и установок.

Тема 5.1. Механика электропривода. Механические характеристики электродвигателей и рабочих машин Механика электропривода механические характеристики электродвигателей и рабочих машин

Вопрос 1. Понятие о механике электропривода

Любой электропривод представляет собой электромеханическую систему, состоящую из трех частей (рис. 5.1.1). Двигатель Д как элемент этой системы представляет собой источник или потребитель энергии. В механическую систему входит лишь ротор двигателя, который обладает **моментом инерции**, может вращаться с определенной **скоростью** и развивать **движущий** или **тормозной момент**.



Рис. 5.1.1. Элементы привода как механической системы

Преобразующий механизм ПМ осуществляет преобразование движения. При его помощи увеличивается или уменьшается скорость вращения (редуктор), изменяется вид движения – вращательное в поступательное (винтовые и зубчато-реечные передачи, барабан с тросом, кривошипно-шатунный механизм и т.п.), он характеризуется **коэффициентом передачи**, представляющим собой отношение скорости на входе к скорости на выходе, **механической инерционностью и упругостью** его элементов, **зазором и трением**.

Рабочий орган реализует подведенную энергию в полезную работу. Чаще всего он является потребителем энергии, тогда ее поток направлен от двигателя к рабочему органу. Иногда бывает наоборот: поток энергии направлен от рабочего органа к двигателю, и первый является ее источником. Рабочий орган характеризуется **инерционностью, рабочим моментом** при вращении или **усилием** при линейном движении.

Передача энергии от двигателя к рабочему органу и обратно связана с ее потерями в механических звеньях. Причина – трение в подшипниках, направляющих, зубчатых зацеплениях и т.п. Потери энергии покрываются двигателем при прямом потоке энергии и рабочим органом при обратном потоке.

Вопрос 2. Типовые статические нагрузки электропривода

Допустим, что механическая система состоит из абсолютно жестких элементов и не содержит воздушных зазоров. Тогда движение одного элемента дает полную информацию о движении всех остальных, и движение системы можно рассматривать на этом элементе. Обычно за такой элемент берут двигатель. На механическую систему воздействует электромагнитный момент двигателя (M) и суммарный, приведенный к валу двигателя момент сопротивления – статический момент (M_c), включающий момент сопротивления механизма и момент от всех механических потерь в системе, в том числе и от механических потерь в двигателе.

Моменты можно разделить условно на три категории:

- реактивные моменты;

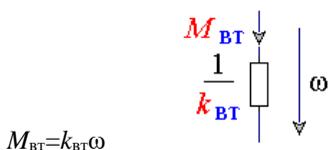
- демпферные моменты;
- активные моменты.

Реактивный момент, его еще называют **моментом сухого трения** – это момент от сжатия аморфных тел, трения, резания и т.п., характеризующий переход от состояния покоя к движению и изменяющий свой знак при изменении направления движения привода. Формально момент сухого трения описывается выражением

$$M_{ст} = M_0 \text{sign} \omega$$

где M_0 – модуль момента сухого трения, ω – скорость вращения. При линейном перемещении элементов привода вместо скорости вращения ω в выражение (1.1) необходимо подставлять скорость линейного движения (V).

Демпферный момент, его называют также **моментом вязкого трения** – это момент от перемещения тела в среде жидкости. Он пропорционален скорости вращения или линейного перемещения и изменяет свой знак при изменении направления движения. Формально он описывается выражением



$$M_{BT} = k_{BT} \omega$$

где k_{BT} – коэффициент вязкого трения (коэффициент демпфирования).

Активный момент – это момент от силы тяжести. В статике – от растянутых, сжатых и скрученных упругих тел. Его знак не меняется при изменении направления движения, а модуль может быть как зависимым (при скручивании и сжатии упругих тел), так и независимым от угла поворота или величины линейного перемещения (действие силы тяжести).

Реальные моменты, действующие на привод, чаще всего содержат все перечисленные составляющие, поэтому при их формальном описании используют приближенные аппроксимирующие зависимости, например, вида

$$M_c = M_0 \text{sign} \omega + (M_H - M_0) (\omega / \omega_H)^s, \quad (5.1.1)$$

где M_n , ω_n – соответственно номинальные момент и скорость рабочего органа, s – показатель степени, определяющий характер изменения его момента при изменении скорости. Например, при $s=0$ момент не зависит от скорости, т.е. остается постоянным, при $s=-1$ с ростом скорости момент уменьшается так, что мощность на валу остается неизменной, а при $s=2$ с ростом скорости момент растет пропорционально ее квадрату и такую нагрузку называют вентиляторной.

Вопрос 3. Механические характеристики электродвигателей и основных сельскохозяйственных машин и механизмов

Для представления связи механических координат (скорости и момента) в аналитической или графической форме вводится понятие **механической характеристики**, которая существует как для рабочего органа, так и для двигателя и **представляет собой зависимость между моментом и скоростью**. Формально она подставляется в виде зависимости $M=f(\omega)$ для двигателя и $M_c=F(\omega)$ для рабочего органа. Механические характеристики могут быть представлены и обратными зависимостями. Причем, для рабочего органа чаще всего независимой переменной является скорость, поэтому здесь целесообразно представлять характеристику в виде зависимости момента от скорости, а для двигателя лучше использовать обратные зависимости $\omega=f_1(M)$, так как здесь чаще независимой переменной является момент. Хотя в зависимости от решаемых задач используется и та и другая форма записи.

В электроприводе в первую очередь вызывает интерес точка установившегося режима, т.е. значение скорости ω_c , при которой выполняется равенство $M=M_c$. Значение момента и скорости в установившемся режиме легко определить графически точкой пересечения механических характеристик двигателя и рабочего органа, если за отрицательное направление M_c взять положительное направление M . Например, на рис. 5.1.2 кривая 1 представляет собой зависимость $\omega=F(M_c)$, кривая 3 – зависимость $\omega=F(-M_c)$, а кривая 2 – зависимость $\omega=f(M)$. Установившийся режим определяется точкой пересечения кривых 2 и 3. В дальнейшем при изображении механических характеристик рабочего органа на одной плоскости с механическими характеристиками двигателя мы всегда будем брать M_c с обратным знаком.

Для оценки формы механических характеристик вводится понятие их жесткости. **Жесткость механической характеристики** определяется соотношением

$$\beta = \partial M / \partial \omega.$$

Если механическая характеристика двигателя или рабочего органа линейна, то ее жесткость во всей области существования постоянна. Для нелинейной характеристики в каждой точке жесткость различна.

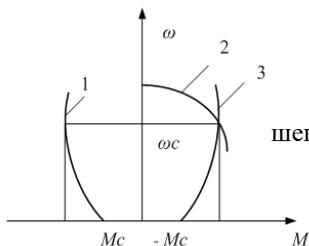


Рис. 5.1.2. К определению установившегося режима

Жесткость может быть положительной (кривая 3, рис. 5.1.2.) и отрицательной (кривая 2, рис.5. 1.2). Существует понятие **абсолютно жесткой** $\beta=\infty$ и **абсолютно мягкой** $\beta=0$ характеристик. Первая параллельна оси абсцисс, а вторая – оси ординат.

Примечание: Любую линейную взаимосвязь принято обозначать строчной буквой f , а нелинейную – заглавной – F .

Тема 5.2. Виды процессов электропривода

Вопрос 1. Установившееся движение электропривода, статическая устойчивость. Расчетные схемы механической части электропривода

Установившийся режим характеризуется состоянием равновесия системы двигатель – нагрузка относительно координаты ω . Как и всякое состояние равновесия, установившийся режим может быть устойчивым и неустойчивым. Известно, что критерием статической устойчивости системы является условие возникновения усилия, стремящегося при выведении системы из состояния равновесия вернуть ее в это состояние. Чтобы сформулировать условие статической устойчивости электропривода рассмотрим электромеханическую систему, состоящую из двигателя и рабочей машины, механические характеристики которых представлены на рис. 5.1.3.а. При этом характеристика двигателя 1 имеет отрицательную жесткость ($\beta < 0$), а характеристика рабочего органа (рабочей машины) абсолютно мягкая $\beta_c = 0$.

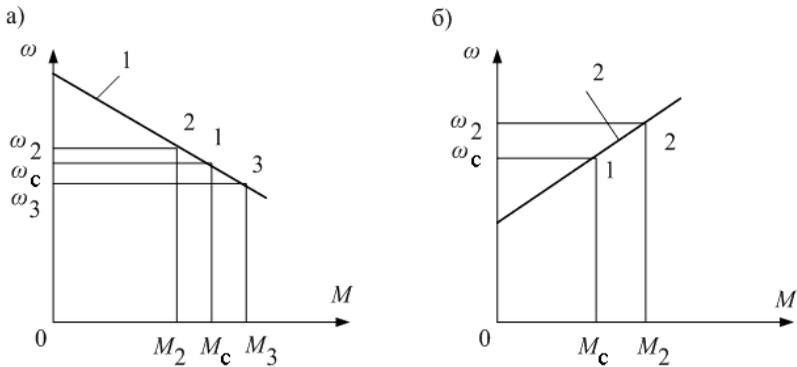


Рис. 5.1.3. К определению статической устойчивости

В точке установившегося режима 1 привод имеет следующие координаты:

$$M=M_c, \quad \omega=\omega_c$$

Если внешним принудительным воздействием переместить рабочую точку привода из равновесного положения 1 в положение 2, мы получим отклонение скорости и момента:

$$\Delta\omega=\omega_2-\omega_c, \quad \Delta M=M_2-M_c$$

где ω_2, M_2 – соответственно скорость и момент в новой рабочей точке привода. Согласно рис. 5.1.3.а имеем $\Delta\omega>0, \Delta M<0$, т.е. в новой рабочей точке скорость возросла, а момент уменьшился. Если теперь внешнее воздействие убрать, то под действием отрицательного динамического момента $\Delta M<0$, как показано в предыдущем параграфе, привод получит отрицательное ускорение, т.е. будет замедлять скорость и рабочая точка переместится из 2 в 1. Таким образом, после снятия внешнего воздействия привод возвратится в состояние равновесия. Тоже можно показать, если принудительно переместить рабочую точку в положение 3.

Теперь предположим, что в той же системе двигатель имеет характеристику 2 с положительной жесткостью ($\beta>0$), рис.5.1.3.б. Нетрудно показать, что в этом случае при принудительном перемещении рабочей точки из равновесного положения 1 в положение 2, привод не

может вернуться в точку равновесия 1 (после снятия воздействия), так как динамический момент, возникший в результате выведения системы из равновесия ($\Delta M > 0$), будет ускорять привод, т.е. способствовать дальнейшему увеличению скорости. Можно отметить, что в первом случае приращение момента и приращение скорости имели противоположный знак, а во втором – одинаковый.

Из этих двух примеров можно заключить, что **необходимым и достаточным условием обеспечения устойчивости установившихся режимов является противоположность знаков приращения скорости и приращения момента, возникающих в результате принудительного выведения системы из состояния равновесия**. Формально это условие запишется выражением

$$\beta - \beta_c < 0$$

Если момент сопротивления рабочего органа не зависит от скорости ($\beta_c = 0$), то статическая устойчивость полностью определяется видом механической характеристики двигателя и условие устойчивости записывается выражением

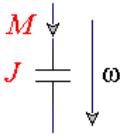
$$\beta < 0$$

Если механические характеристики двигателя и рабочего органа линейны, устойчивость установившегося режима достаточно проверить по выражению в одной точке. В противном случае, например, в приводах с асинхронными двигателями устойчивость необходимо проверять во всей области существования характеристик.

Вопрос 2. Уравнение движения электропривода и его анализ

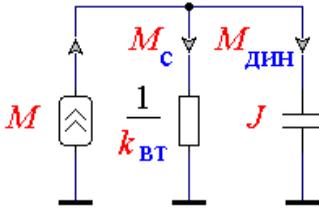
При изучении движения привода возникает необходимость в определении различных механических величин – пути, угла поворота, скорости и ускорения, а также моментов и сил, вызывающих движение и определяющих его характер. Обычно при этом одно направление движения принимают положительным. Движение привода определяется действием двух моментов: момента, развиваемого электродвигателем и момента сопротивления – реактивного или активного.

В соответствии с основным законом механики для вращающегося тела векторная сумма моментов, действующих относительно оси вращения, равна производной момента количества движения:

$$\sum_{i=1}^n M_i = \frac{dJ\omega}{dt}.$$


В задачах электропривода последнее уравнение чаще всего используют для анализа движения ротора двигателя с учетом приведенных маховых масс, моментов и сил. Если режим работы привода двигательный, то момент сопротивления действует навстречу моменту двигателя. В результате уравнение движения ротора запишется в виде

$$Jd\omega/dt = M - M_c.$$



В этом уравнении силы являются алгебраическими, а не векторными величинами, поскольку оба момента действуют относительно одной и той же оси. Левую часть уравнения называют динамическим моментом: (5.1.3 а)

$$M_{дин} = Jd\omega/dt.$$

Из уравнения следует, что направление $M_{дин}$ совпадает с направлением ускорения. В зависимости от знака динамического момента различаются следующие режимы работы привода.

1. $M_{дин} > 0$, т.е. $d\omega/dt > 0$ при $\omega > 0$ разбег; при $\omega < 0$ – торможение.
2. $M_{дин} < 0$, т.е. $d\omega/dt < 0$ при $\omega < 0$ разбег; при $\omega > 0$ – торможение.
3. $M_{дин} = 0$, т.е. $d\omega/dt = 0$: установившийся режим, т.е. $\omega = \text{const}$.

Момент двигателя не является постоянной величиной, а представляет функцию одной или нескольких переменных. Момент сопротивления также является функцией скорости, пути или времени. Подстановка этих функций в уравнение приводит в общем случае к нелинейному дифференциальному уравнению движения.

Уравнение в дифференциальной форме справедливо для постоянного радиуса вращающейся массы. В некоторых случаях он переменный (меняется J), например, в кривошипно-шатунных механизмах,

некоторых манипуляторах и т.д. В этом случае можно воспользоваться интегральной формой записи уравнения движения. Такое уравнение получим, исходя из условия баланса кинетической энергии в системе:

$$\int \delta^i P dt = J\omega^2/2 - J_n\omega_n^2/2, \quad (5.1.2)$$

где $J\omega^2/2$ – запас кинетической энергии привода в рассматриваемый момент времени, $J_n\omega_n^2/2$ – начальный запас кинетической энергии привода.

Дифференцируя уравнение баланса по времени с учетом того, что момент инерции является функцией угла поворота, получим:

$$P_{\text{дин}} = \omega^2/2 \times dJ/d\varphi \times d\varphi/dt + J\omega \times d\omega/dt. \quad (5.1.3.)$$

Так как $P_{\text{дин}} = M_{\text{дин}}\omega$, то, принимая за аргумент угол поворота, получим уравнение движения в форме (5.1.3 б)

$$M_{\text{дин}} = \omega^2/2 \times dJ/d\varphi + J\omega \times d\omega/d\varphi. \quad (5.3.4)$$

Контрольные вопросы:

1. В чем достоинство электропривода по сравнению с другими видами приводов?
2. Перечислите основные элементы электропривода и объясните их назначение.
3. В каких случаях применяют многодвигательный электропривод?
4. Что такое статический момент сопротивления?
5. Какова разница между реактивным и активным статическим моментами сопротивления?
6. Напишите уравнение движения электропривода и объясните его физический смысл.
7. При каких условиях в электроприводе наступает переходный режим?
8. Как построить совместную характеристику электродвигателя и рабочего механизма?
9. Каково действие динамического момента при ускорении и замедлении завершения электропривода?
10. С какой целью статические моменты и моменты инерции приводят к одной частоте вращения?
11. Что такое маховый момент и какие свойства электропривода он характеризует?

Тема 5.3. Электромеханические свойства электродвигателей

Вопрос 1. Электромеханические свойства электродвигателей постоянного и переменного тока, уравнения их механических характеристик

Назначение асинхронного двигателя в наибольшей степени определяет его конструкцию. В общепромышленных неуправляемых приводах малой и средней мощности используются двигатели с короткозамкнутым ротором. В более мощных приводах, и там где требуется ограничение пусковых токов, применяют двигатели с фазным ротором. Приборную автоматику обслуживают приводы на малоинерционных управляемых асинхронных двигателях. В последнее время, в связи с развитием различных вариантов частотного управления, во всех типах управляемых приводов находят применение асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Поэтому наибольшее внимание уделим классическим трехфазным двигателям с короткозамкнутым и с фазным ротором.

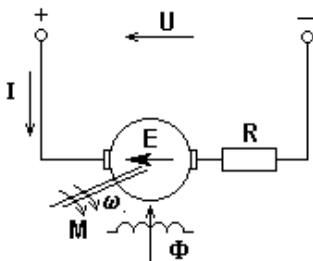


Рис. 5.3.1. Схема электропривода с двигателем постоянного тока

Взаимодействие тока I в обмотке якоря с магнитным потоком Φ , создаваемым обмотками, расположенными на полюсах машины, приводит в соответствии с законом Ампера и возникновению электромагнитных сил, действующих на активные проводники обмотки и, следовательно, электромагнитного момента M :

$$M = k\Phi I \quad (5.2.1)$$

где k - конструктивный параметр машины.

В движущихся с угловой скоростью ω в магнитном поле под действием момента M проводниках обмотки якоря в соответствии с законом Фарадея наводится ЭДС вращения E :

$$E = k\Phi\omega, \quad (5.2.2)$$

направленная в рассматриваемом случае встречно по отношению к вызвавшей движение причине - ЭДС источника питания U .

В соответствие со вторым законом Кирхгоффа для якорной цепи машины справедливо уравнение:

$$U - E = IR. \quad (5.2.3)$$

Уравнения (5.2.1)-(5.2.3) - простейшая, но достаточная для понимания главных процессов в электроприводе постоянного тока модель. Для решения практических задач они должны быть дополнены уравнением движения с моментом потерь ΔM , входящим в M_c ,

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

и уравнениями цепи возбуждения для конкретной схемы электропривода.

Вопрос 2. Естественные и искусственные механические характеристики, их расчет и построение

Моменты M и M_c могут зависеть от времени, от положения, от скорости. Наиболее интересна и важна связь моментов M и M_c со скоростью ω . Зависимости $\omega(M)$ и $\omega(M_c)$ называют *механическими характеристиками* соответственно *двигателя* и *нагрузки (механизма)*. Механические характеристики будут служить очень удобным и полезным инструментом при анализе статических и динамических режимов электропривода.

Поскольку как моменты, так и скорость могут иметь различные знаки, механические характеристики могут располагаться в четырех квадрантах плоскости $\omega - M$. На рис. 5.2.2 в качестве примера показаны характеристики асинхронного двигателя (M) и центробежной машины (M_c). Знаки величин определяют, приняв одно из направлений движения за положительное, например: по часовой стрелке - + или вверх - + и т.п. *Моменты, направленные по движению (движущие), имеют знак, совпадающий со знаком скорости* (участок $\omega - M_{к.з}$ характеристики двигателя); *моменты, направленные против движения*

(тормозящие), имеют знак, противоположный знаку скорости (остальные участки характеристик).

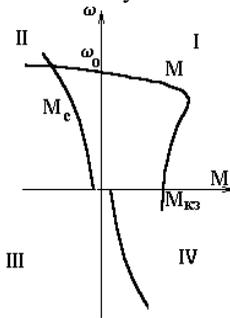


Рис. 5.2.2. Пример механических характеристик

Моменты принято делить на активные и реактивные.

Активные моменты могут быть как движущими, так и тормозящими, их направление не зависит от направления движения: момент, созданный электрической машиной (M на рис. 5.2.2), момент, созданный грузом, пружиной и т.п. Соответствующие механические характеристики могут располагаться в любом из четырех квадрантов.

Реактивные моменты - реакция на движение, они всегда направлены против движения, т.е. всегда тормозящие: момент от сил трения, момент, создаваемый центробежной машиной (M_c на рис. 5.2.2) и т.п. Механические характеристики всегда располагаются во втором и четвертом квадрантах.

Механические характеристики принято оценивать их *жесткостью* $\beta = \frac{dM}{d\omega}$. Они бывают (рис. 5.2.3) абсолютно жесткими $\beta = \infty$ (1), абсолютно мягкими $\beta = 0$ (2) могут иметь отрицательную $\beta < 0$ (3) или положительную (4) жесткость.

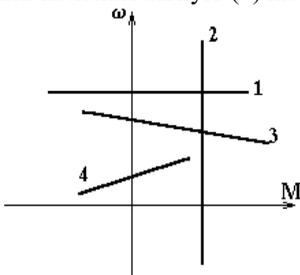


Рис. 5.2.3. Механические характеристики с различной жесткостью

Вопрос 3. Способы пуска электродвигателей. Тормозные режимы работы электродвигателей. Основные способы регулирования частоты вращения электродвигателей постоянного и переменного тока

Рекуперативное торможение (торможение с отдачей энергии в сеть) возникает тогда, когда скорость двигателя превысит синхронную, т.е. при переходе рабочей точки привода по механической характеристике через точку холостого хода из первого квадранта во второй или из третьего в четвертый.

Торможение противовключением возникает либо в случае если момент нагрузки превысит критический момент двигателя и рабочая точка привода перейдет через точку пускового момента из первого квадранта в четвертый или из третьего во второй. Либо при переключении последовательности питающих фазных напряжений, когда за счет момента инерции маховых масс привода ротор двигателя какое-то время вращается против поля. В последнем случае, как и в двигателях постоянного тока, при переходе от двигательного режима к генераторному, может возникнуть недопустимо большой ток в цепи статора и необходимо предусмотреть мероприятия по его ограничению, например, путем введения добавочного сопротивления в цепь ротора. Электромеханические характеристики в этом режиме описываются теми же уравнениями, что и в двигательном режиме.

Динамическое торможение асинхронного двигателя может быть реализовано двумя способами: с возбуждением от источника постоянного тока и с самовозбуждением. Рассмотрим каждый из них.

Динамическое торможение с возбуждением от источника постоянного тока

Такое торможение осуществляется путем отключения обмотки статора от сети переменного тока и подключения ее к источнику постоянного тока, например, по одной из представленных на рис. 5.2.4. схем.

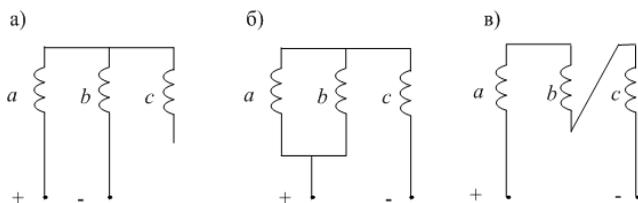


Рис. 5.2.4. Схемы подключения обмотки статора к источнику постоянного тока

Если обмотку статора подключить к источнику постоянного тока, то в воздушном зазоре двигателя образуется синусоидальное распределенное по расточке статора и неподвижное в пространстве электромагнитное поле. При вращении ротора проводники его обмотки будут пересекать неподвижное поле статора, и в них будет наводиться э.д.с. Под действием этой э.д.с. по обмотке ротора потечет ток, который образует также неподвижное в пространстве поле ротора. В результате взаимодействия неподвижных полей ротора и статора возникает тормозной момент.

регулирование скорости или момента, т.е. принудительное изменение этих величин в установившемся режиме в соответствии с требованиями технологического процесса посредством воздействия на механическую характеристику двигателя. Частным случаем регулирования является поддержание одной из координат на требуемом уровне при независимом изменении другой координаты.

Чаще всего регулируемой координатой служит скорость: необходимо изменять скорость транспортного средства в зависимости от условий движения, состояния дороги и т.п., нужно регулировать скорость насоса, чтобы обеспечивать нужный напор в системе водоснабжения, требуется поддерживать на заданном уровне скорость движения жилы кабеля в процессе наложения на нее изоляции и т.п.

Понятие “*регулирование скорости*”, когда используются разные характеристики (рис. 5.2.5,а), *не следует смешивать с изменением скорости*, даже значительным, которое вызывается ростом или снижением нагрузки и происходит в соответствии с формой данной механической характеристики (рис. 2.2.5,б).

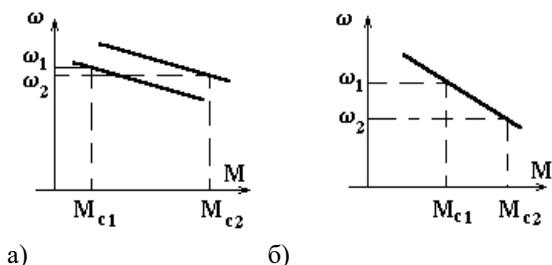


Рис. 5.2.5. Регулирование (а) и изменение (б) скорости

В ряде случаев оказывается необходимым регулирование момента. Оно потребуется, например, если нужно качественно укладывать на катушку проволоку, получаемую с волочильного стана, если при буксировке судна на больших волнах надо не допустить обрыва

троса и т.п. Далее мы будем, в основном, рассматривать регулирование скорости.

Поскольку регулирование скорости связано с направленным формированием механических характеристик, выделим одну из возможных характеристик в качестве *основной*. Обычно в качестве основной характеристики принимают *естественную характеристику* двигателя, соответствующую номинальным значениям определяющих ее величин (напряжение, частота, магнитный поток и т.п.). Далее мы будем конкретизировать условия получения естественной характеристики для каждого типа двигателя.

Все другие характеристики, создаваемые в целях регулирования скорости, будем называть *искусственными*. Они могут формироваться разными способами, отличающимися как по техническим, так и по экономическим показателям, рассматриваемым ниже.

Тема 5.4. Область применения электродвигателей в сельскохозяйственном производстве

Вопрос 1. Область применения электродвигателей постоянного и переменного тока в сельскохозяйственном производстве, их преимущества и недостатки

С энергетической точки зрения электропривод - *главный потребитель электрической энергии*: сегодня в развитых странах он потребляет более 60% всей производимой электроэнергии. В условиях дефицита энергетических ресурсов это делает особенно острой проблему энергосбережения в электроприводе и средствами электропривода.

Специалисты считают, что сегодня сэкономить единицу энергетических ресурсов, например 1т условного топлива, вдвое дешевле, чем ее добыть. Нетрудно видеть, что в перспективе это соотношение будет изменяться: добывать топливо становится всё труднее, а запасы его всё убывают.

Вопрос 2. Применение однофазных асинхронных электродвигателей

Асинхронный конденсаторный двигатель имеет на статоре две обмотки, занимающие одинаковое число пазов и сдвинутые в пространстве относительно друг друга на 90 эл. град. Одну из обмоток — главную — включают непосредственно в однофазную сеть, а другую — вспомогательную — включают в эту же сеть, но через рабочий конденсатор $C_{раб}$ (рис. 5.2.6, а).

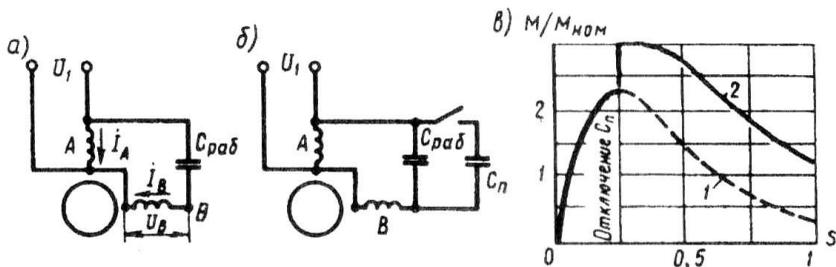


Рис. 5.2.6. Конденсаторный двигатель:
 а — с рабочей емкостью, б — с рабочей и пусковой емкостями, в — механические характеристики; 1 — при рабочей емкости, 2 — при рабочей и пусковой емкостях

Однофазные асинхронные двигатели чаще всего применяются в бытовой технике. Система электроснабжения построена так, что в наш дом подводится только однофазная электрическая сеть. Поэтому в бытовых сетях широко используются однофазные асинхронные двигатели. Однофазные асинхронные электродвигателям переменного тока отличается прочная конструкция, низкая стоимость, к тому же они не требуют технического обслуживания. Промышленность выпускает однофазные двигатели на небольшие мощности (до 0,5 кВт). Их сфера применения включает в себя вентиляторы, компрессоры холодильников, приводы барабанов стиральных машин, и другая бытовая техника, где не требуется высокая скорость вращения.

Вопрос 3. Использование трехфазных асинхронных электродвигателей в однофазном режиме питания

Трехфазный асинхронный двигатель может быть использован для работы от однофазной сети. В этом случае такой двигатель включают как конденсаторный по одной из схем рис. 5.2.7.

Значение рабочей емкости $C_{раб}$ (мкФ) при частоте переменного тока 50 Гц можно ориентировочно определить по одной из формул: для схемы, изображенной на рис. 5.2.7 а,

$$C_{раб} \approx 2700 I_1 / U_c; \quad (5.2.4)$$

на рис. 5.2.7, б

$$C_{раб} \approx 2800 I_1 / U_c; \quad (5.2.5)$$

на рис. 5.2.7, в

$$C_{раб} \approx 4800 I_1 / U_c; \quad (5.2.6)$$

Здесь I_1 — номинальный (фазный) ток в обмотке статора, А; U_c — напряжение однофазной сети, В.

При подборе рабочей емкости необходимо следить за тем, чтобы ток в фазных обмотках статора при установившемся режиме работы не превышал номинального значения.

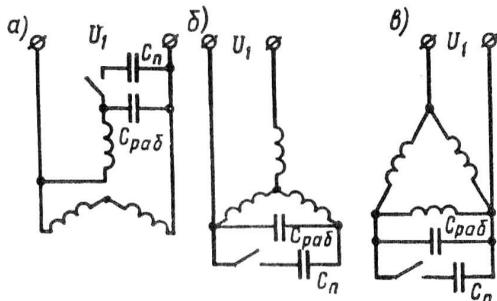


Рис 5.2.7. Схемы соединения обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя при включении его в однофазную сеть

Если пуск двигателя происходит при значительной нагрузке на валу, то параллельно рабочей емкости $C_{раб}$ следует включить пусковую емкость

$$C_n = (2,5 \div 3,0) C_{раб}. \quad (5.2.7)$$

Вопрос 4. Исследование электромеханических характеристик и способов регулирования частоты вращения трехфазного асинхронного электродвигателя с коротко замкнутым ротором

Способы регулирования момента и скорости.

Рассматривая искусственные характеристики двигателей рис. 3.5, мы отметили, что их вид зависит от таких параметров, как активное сопротивление в цепи ротора, напряжение питания, индуктивное сопротивление в цепи статора, число пар полюсов и частота питающего напряжения.

Регулирование момента, как можно понять из анализа схемы замещения рис. 3.3, может быть осуществлено путем изменения напряжения. Например, с помощью тиристорного преобразователя или импульсным методом. При этом момент оказывается пропорционален квадрату напряжения, а регулирование возможно только вниз от номинального значения.

Контрольные вопросы:

1. Напишите уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока и объясните физический смысл его слагаемых.
2. Что такое пограничная частота вращения?
3. Какова разница между естественной и искусственной механическими характеристиками?
4. Что учитывает коэффициент нагревания?
5. Какие тормозные режимы возможны в двигателе независимого возбуждения?
6. Что представляют собой универсальные механические характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения?
7. Влияет ли величина магнитного потока возбуждения на жесткость механических характеристик?
8. Каково влияние напряжения в цепи якоря на вид механических характеристик двигателя постоянного тока?

Тема 5.5. Переходные процессы в электроприводах

Вопрос 1. Виды переходных процессов в электроприводах.

Причины возникновения переходных процессов

Переходным процессом называется процесс перехода электропривода от одного установившегося состояния к другому, когда одновременно изменяются скорость, момент и ток двигателя, а также скорость и моменты всех звеньев кинематической цепи, соединяющей двигатель с рабочим органом механизма.

К переходным процессам относятся пуск, торможение и реверс электропривода, переход с одной скорости на другую, а также процессы, вызванные изменениями момента на валу двигателя, изменением напряжения сети. Характер протекания и длительность переходного процесса в ряде производственных механизмов определяют про изводительность, особенно когда длительность рабочего цикла соизмерима с временем разгона и торможения.

Вопрос 2. Уравнение движения электропривода

Механическая часть электропривода представляет собой систему твёрдых тел, движение которых определяется механическими связями между телами. Если заданы соотношения между скоростями от-

дельных элементов, то уравнение движения электропривода имеет дифференциальную форму. Наиболее общей формой записи уравнений движения являются уравнения движения в обобщенных координатах (уравнения Лагранжа):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial W_k}{\partial q_i} = Q_i, \quad (5.3.1)$$

где W_k – запас кинетической энергии системы, выраженный через обобщенные координаты q_i и обобщенные скорости \dot{q}_i ; Это уравнение называется основным уравнением движения электропривода. С его помощью можно по известному электромагнитному моменту двигателя M , моменту сопротивления M_c и суммарному моменту инерции J_Σ оценить среднее значение ускорения электропривода, рассчитать время, за которое двигатель достигнет заданной скорости, и решить другие задачи, если влияние упругих связей в механической системе существенно. Рассмотрим механическую систему с нелинейными кинематическими связями типа кривошипно-шатунных, кулисных и других подобных механизмов (рис. 5.3.1). Радиус приведения в них является переменной величиной, зависящей от положения механизма: $r(\varphi) = R_k \sin \varphi$.

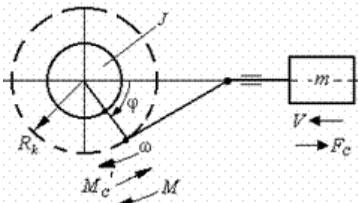


Рис. 5.3.1. Механическая система с нелинейными кинематическими связями

Представим рассматриваемую систему в виде двухмассовой, первая масса вращается со скоростью ω и имеет момент инерции J_1 , а вторая движется с линейной скоростью V и представляет суммарную массу m элементов, жёстко и линейно связанных с рабочим органом механизма. Связь между линейными скоростями ω и V нелинейная, причём $r = r(\varphi)$. Для получения уравнения движения такой системы без учёта упругих связей воспользуемся уравнением Лагранжа (5.3.1),

приняв в качестве обобщенной координаты угол φ . Определим обобщенную силу:

$$Q \delta \varphi = M \delta \varphi - M'_c \delta \varphi - F_c \delta S,$$

где

M'_c – суммарный момент сопротивления от сил, действующих на линейно связанные с двигателем массы; приведённый к валу двигателя;

F_c – результирующая всех сил, приложенная к рабочему органу механизма и линейно связанным с ним элементам;

δS – возможное бесконечно малое перемещение массы m .

Нетрудно видеть, что

$$Q = M - M'_c - F_c \rho(\varphi) = M - M_c(\varphi),$$

где

$$\rho(\varphi) = \delta S / \delta \varphi \text{ - радиус приведения.}$$

Момент статической нагрузки механизма содержит пульсирующую составляющую нагрузки, изменяющуюся в функции угла поворота φ :

$$M_c(\varphi) = M'_c + F_c \rho(\varphi).$$

Запас кинетической энергии системы:

$$W_k = \frac{J_1 \omega^2}{2} + \frac{m V^2}{2} = \frac{J_1 \omega^2}{2} + \frac{m \rho^2(\varphi) \omega^2}{2} = J_I(\varphi) \frac{\omega^2}{2}.$$

Здесь $J_I(\varphi)$ – суммарный приведённый к валу двигателя момент инерции системы.

Левую часть уравнения Лагранжа (5.3.1) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \left[J_I(\varphi) \frac{d}{d\omega} \left(\frac{\omega^2}{2} \right) \right] - \frac{d}{d\varphi} \left[J_I(\varphi) \frac{\omega^2}{2} \right] = \frac{d}{dt} [J_I(\varphi) \omega] - \frac{\omega^2}{2} \frac{d}{d\varphi} [J_I(\varphi)] = \\ & = J_I(\varphi) \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{d}{dt} [J_I(\varphi)] - \frac{\omega^2}{2} \frac{d}{d\varphi} [J_I(\varphi)] = J_I(\varphi) \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{d}{d\varphi} [J_I(\varphi)] - \\ & - \frac{\omega^2}{2} \frac{d}{d\varphi} [J_I(\varphi)] = J_I(\varphi) \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ_I(\varphi)}{d\varphi}. \end{aligned}$$

Таким образом, уравнение движения жёсткого приведённого звена имеет вид:

$$M - M_{\Gamma}(\varphi) = J_{\Gamma}(\varphi) \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ_{\Gamma}(\varphi)}{d\varphi}. \quad (5.3.2)$$

Оно является нелинейным с переменными коэффициентами.

Для жёсткого линейного механического звена уравнение статического режима работы электропривода соответствует $\frac{d\omega}{dt} = 0$ и имеет вид:

$$M = M_{\Gamma} = \text{const}.$$

Если при движении $M \neq M_{\Gamma}$, $\frac{d\omega}{dt} \neq 0$, то имеет место или динамический переходный процесс, или принуждённое движение системы с периодически изменяющейся скоростью.

В механических системах с нелинейными кинематическими связями статические режимы работы отсутствуют. Если $\frac{d\omega}{dt} \neq 0$ и $\omega = \text{const}$, в таких системах имеет место установившийся динамический процесс движения. Он обусловлен тем, что массы, движущиеся линейно, совершают возвратно-поступательное движение, и их скорости и ускорения являются переменными величинами.

С энергетической точки зрения различают двигательные и тормозные режимы работы электропривода. Двигательный режим соответствует прямому направлению передачи механической энергии к рабочему органу механизма. В электроприводах с активной нагрузкой, а также в переходных процессах в электроприводе, когда происходит замедление движения механической системы, происходит обратная передача механической энергии от рабочего органа механизма к двигателю.

Вопрос 3. Потери энергии в переходных режимах работы электропривода, способы их снижения

В процессе эксплуатации двигателя значительные потери энергии наблюдаются в переходных режимах и в первую очередь при его пуске.

Потери энергии в переходных режимах могут быть заметно

снижены за счет применения двигателей с меньшими значениями моментов инерции ротора, что достигается уменьшением диаметра ротора при одновременном увеличении его длины, так как мощность двигателя при этом должна оставаться неизменной. Например, так сделано в двигателях краново-металлургических серий, предназначенных для работы в повторно-кратковременном режиме с большим числом включений в час.

Эффективным средством снижения потерь при пуске двигателей является пуск при постепенном повышении напряжения, подводимого к обмотке статора.

Такой энергосберегающий способ пуска двигателя возможен только при работе двигателя в системе с регулируемым преобразователем: для асинхронных двигателей это устройства плавного пуска или преобразователи частоты, а для двигателей постоянного тока это электронные (тиристорные) устройства управления.

Энергия, расходуемая при торможении двигателя, равна кинетической энергии, запасенной в движущихся частях электропривода при его пуске. Энергосберегающий эффект при торможении зависит от способа торможения. Наибольший энергосберегающий эффект происходит при генераторном рекуперативном торможении с отдачей энергии в сеть. При динамическом торможении двигатель отключается от сети, запасенная энергия рассеивается в двигателе и расхода энергии из сети не происходит. Наибольшие потери энергии наблюдаются при торможении противовключением, когда расход электроэнергии равен трехкратному значению энергии, рассеиваемой в двигателе при динамическом торможении.

При установившемся режиме работы двигателя с номинальной нагрузкой потери энергии определяются номинальным значением КПД. Но если электропривод работает с переменной нагрузкой, то в периоды спада нагрузки КПД двигателя понижается, что ведет к росту потерь. Эффективным средством энергосбережения в этом случае является снижение напряжения, подводимого к двигателю в периоды его работы с недогрузкой.

Рассмотрим принципы построения ЭП, в котором минимизируется потребляемый АД ток и тем самым потери электроэнергии в нем. Для этого обратимся к зависимостям тока статора I_1 от напряжения U_1 (рис. 5.3.2) при разных моментах нагрузки M_c . Как видно из графиков 1...4, для каждого момента имеется такое напряжение, при котором потребляемый АД ток из сети минимален. Штриховая линия, проведенная через точки минимумов тока для каждой нагрузки, определяет закон регулирования напряжения в функции тока, при реализации

которого при любом M_c из сети потребляется минимальный ток.

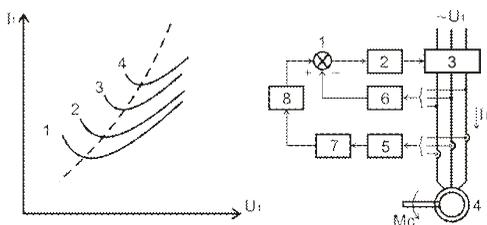


Рис. 5.3.2. – Вольтамперные характеристики и функциональная схема минимизирующая потребление электроэнергии.

Схема ЭП с минимизацией потребляемого двигателем тока включает в себя двигатель 4, регулятор напряжения 3 с СИФУ 2, датчики тока 5 и напряжения 6, функциональный преобразователь 7, инерционное звено 8 и элемент сравнения 1.

Требуемый закон управления ЭП реализуется с помощью положительной обратной связи по току. Трехфазный датчик 5 вырабатывает пропорциональный току сигнал, поступающий на вход функционального преобразователя 7 который обеспечивает требуемую зависимость между напряжением на АД и моментом нагрузки на его валу (штриховая линия на рис. 5.32). С помощью инерционного звена 8 обеспечивается необходимое качество переходных процессов. Кроме минимизации потерь электроэнергии, простыми средствами в такой схеме осуществляется повышение КПД и коэффициента мощности асинхронного ЭП.

Этот способ энергосбережения возможно реализовать при работе двигателя в системе с регулируемым преобразователем при наличии в нем обратной связи по току нагрузки. Сигнал обратной связи по току корректирует сигнал управления преобразователем, вызывая уменьшение напряжения, подводимого к двигателю в периоды снижения нагрузки. Если же приводным является асинхронный двигатель, работающий при соединении обмоток статора «треугольником», то снижение подводимого к фазным обмоткам напряжения можно легко реализовать путем переключения этих обмоток на соединение «звездой», так как в этом случае фазное напряжение понижается в 1,73 раза. Этот метод целесообразен еще и потому, что при таком переключении повышается коэффициент мощности, что также способствует энергосбережению. Из справочной литературы следует, что при переключении

обмоток с «треугольника» на «звезду» при снижении нагрузки до 50% относительно номинальной коэффициент мощности возрастает более чем на 20%. Примером практического применения этого способа энергосбережения может служить электропривод с асинхронным двигателем, работающий в условиях значительных колебаний нагрузки.

Схема, приведенная на (рис.5.3.3), позволяет с помощью двух реле тока КА1 и КА2, катушки которых включены последовательно в фазные обмотки статора через измерительные трансформаторы тока ТА1 и ТА2, автоматизировать переключение обмотки статора с «треугольника» на «звезду» при снижении нагрузки двигателя на 40—50% относительно номинальной и обратное переключение при восстановлении нагрузки.

При нажатии кнопки SB1 «Пуск» включается силовой контактор KM1, линейные контакты которого подключают двигатель к сети. Контактор KM2 в начальный момент пуска остается невключенным и своими размыкающимися контактами соединяет обмотку статора «звездой». Но как только начинается пуск двигателя, значительный пусковой ток статора вызывает срабатывание реле тока КА2. При этом контактор KM2 своими замыкающимися контактами переключает обмотку статора «треугольником». Реле тока КА1 срабатывает, и двигатель переходит в рабочий режим.

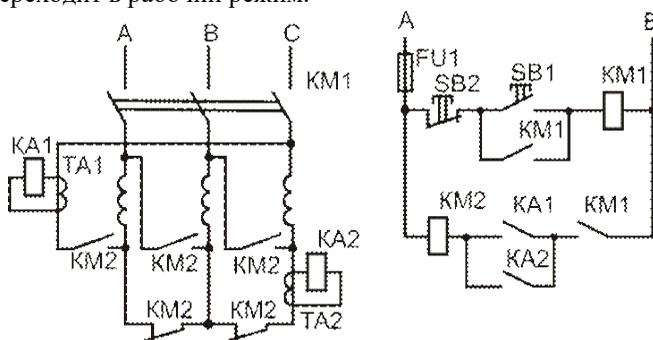


Рис.5.3. 3 – Схема автоматического переключения обмотки статора асинхронного двигателя с «треугольника» на «звезду»

Если нагрузка двигателя снизится до значения $P_2 < 0,5P_{ном}$, то реле тока КА1 отпустит и своими контактами отключит контактор KM2, что приведет к пересоединению обмотки статора с «треугольника» на «звезду». При этом двигатель будет продолжать работу при повышенном значении коэффициента мощности. Если же нагрузка двигателя вновь возрастет до значения $P_2 > 0,5P_{ном}$, то произойдет переключение обмотки статора со «звезды» на «треугольник».

Контрольные вопросы:

1. Что такое переходный режим электропривода и когда он наступает?
2. В каких случаях переходная характеристика получается линейной?
3. Что такое электромеханическая постоянная времени электропривода?
4. Какой вид имеют графики разгона и торможения электропривода?
5. В каких случаях совместная характеристика электропривода нелинейная?
6. В чем состоит метод приращений и для чего он применяется?

Тема 5.6. Энергетика электропривода

Вопрос 1. Понятие об энергетике электропривода

Общие сведения об энергетике электропривода

Основное назначение электропривода – преобразовывать электрическую энергию в механическую и управлять этим процессом. В связи с этим энергетические показатели и характеристики электропривода имеют первостепенное значение, тем более, что электропривод потребляет около 60-65% электроэнергии, производимой в стране.

Любой процесс передачи и преобразования энергии сопровождается ее потерями, т.е. входная мощность $P_{вх}$ всегда больше выходной $P_{вых}$ на величину потерь ΔP , и очень важно, сколь велики эти потери.

Энергетическую эффективность процесса в данный момент обычно оценивают посредством коэффициента полезного действия (КПД), определяемого как

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \frac{P_{вых}}{P_{вых} + \Delta P} = \frac{P_{вх} - \Delta P}{P_{вх}} = 1 - \frac{\Delta P}{P_{вх}}. \quad (5.4.1)$$

Важными энергетическими характеристиками изделия – двигателя, преобразователя, редуктора или электропривода в целом – служит номинальный КПД

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \Delta P_n}, \quad (5.4.2)$$

где P_n , ΔP_n – номинальная выходная мощность и номинальные потери,

и зависимость КПД от относительной нагрузки $h = f(P/P_n)$; для регулируемого электропривода часто удобно использовать зависимости $h = f(w)$ при заданном моменте.

В случаях, когда в линии, питающей электропривод, напряжение и ток не совпадают по фазе и имеют несинусоидальную форму, используется еще одна энергетическая характеристика – коэффициент мощности, определяемый как

$$\chi = \frac{P}{UI} = \nu \cos \varphi_{(1)}, \quad (5.4.3)$$

где P – активная мощность;

$n = I/I_{(1)}$ – коэффициент искажений;

$U, I, I_{(1)}$ – действующие значения напряжения, тока, первой гармоники тока;

$j_{(1)}$ – угол сдвига между первыми гармониками напряжения и тока.

При небольших искажениях $n \approx 1$, т.е.

$$\chi \approx \cos j \quad (5.4.4)$$

При передаче по линии с некоторым активным сопротивлением R_l активной мощности P при $\cos j \approx 1$ потери ΔP вырастут в сравнении с потерями при передаче той же мощности постоянным током ΔP_0 в отношении

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_0} = \frac{1}{\cos^2 \varphi}.$$

Оценки энергетической эффективности электропривода вида (5.4.1) справедливы, как отмечалось, лишь, если процесс неизменен во времени. Если же нагрузка заметно меняется во времени, следует пользоваться оценками, определяемыми по энергиям за время t :

$$W = \int_0^t P(t) dt$$

и

$$\Delta W = \int_0^t \Delta P(t) dt.$$

Для циклических процессов с однонаправленным потоком энергии и временем цикла t_u удобным и информативным показателем служит цикловой КПД, определяемый как

$$\eta_u = \frac{W_u}{W_u + \Delta W_u} = \frac{\int_0^{t_u} P(t) dt}{\int_0^{t_u} P(t) dt + \int_0^{t_u} \Delta P(t) dt}, \quad (5.4.5)$$

где W_u и ΔW_u – полезная энергия и потери энергии за цикл.

Вопрос 2. Коэффициенты мощности и полезного действия электродвигателей переменного тока, факторы, влияющие на их значение

Коэффициент мощности — безразмерная физическая величина, характеризующая потребителя переменного электрического тока с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей. Коэффициент мощности показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток, протекающий через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения.

Численно коэффициент мощности равен косинусу этого фазового сдвига.

формулы для расчета мощности двигателя P_2 [кВт] некоторых механизмов.

1. *Вентилятор.*

$$P_2 = k_3 \frac{QH}{\eta_{\text{вент}} \eta_{\text{пер}}} 10^{-3}$$

где Q [м³/с] – производительность вентилятора, H [Па] – давление на выходе вентилятора, $\eta_{\text{вент}}$, $\eta_{\text{пер}}$ – КПД вентилятора и передаточного механизма соответственно, k_3 – коэффициент запаса.

2. Насос

$$P_2 = k_3 \frac{gQH\rho}{\eta_{\text{нас}}\eta_{\text{пер}}} 10^{-3}$$

где Q [м³/с] – производительность насоса, $g=9,8$ м/с² – ускорение свободного падения, H [м] – расчетная высота подъема, ρ [кг/м³] – плотность перекачиваемой жидкости, $\eta_{\text{нас}}$, $\eta_{\text{пер}}$ – КПД насоса и передаточного механизма соответственно, k_3 – коэффициент запаса.

3. Поршневой компрессор

$$P_2 = k_3 \frac{QA}{\eta_{\text{компр}}\eta_{\text{пер}}} 10^{-3}$$

где Q [м³/с] – производительность компрессора, A [Дж/м³] – работа изотермического и адиабатического сжатия атмосферного воздуха объемом 1 м³ давлением $1,1 \cdot 10^5$ Па до требуемого давления, $\eta_{\text{компр}}$, $\eta_{\text{пер}}$ – КПД компрессора и передаточного механизма соответственно, k_3 – коэффициент запаса.

Полная мощность, потребляемая из сети для двигателей переменного тока

$$S = \frac{P_2}{\eta \cos \varphi} \text{ [ВА]}$$

при этом потребляемые активная и реактивная мощности соответственно

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \text{ или } P_1 = S \cos \varphi \text{ [кВт]}$$

$$Q_1 = S \sin \varphi \text{ [ВАР]}$$

Основным показателем энергоэффективности двигателя является его коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Величина потерь на трение ртр определяется суммой составляющих, связанных с относительным перемещением поршней и поршневых колец в цилиндрах, поршневых пальцев во втулках, коленчатых и распределительных валов в подшипниках, толкателей и клапанов в направляющих, кулачков с толкателями, а также незначительными вентиляционными потерями, возникающими при вращении коленчатого вала и маховика и их трении о воздух.

Установлено, что величина ртр зависит от условий образования масляной пленки, когда нет прямого контакта металлических поверхностей пар (жидкостное трение,) а также от условий, при которых наряду с жидкостным трением имеется частично граничное трение (контакт металлических поверхностей). Процессы, где имеются элементы граничного трения, могут возникнуть в сопряжениях поршневых колец с поверхностями цилиндров, поршней с цилиндрами и поршневыми кольцами.

Составляющие потерь на трение, обусловленные жидкостным трением, относительно мало зависят от нагрузки на элементы механизма. Среднее давление тр, соответствующее этим составляющим, практически линейно зависит от скоростного режима двигателя, характеризуемого средней скоростью поршня сц.

В отличие от этого составляющие, обусловленные граничным трением, существенно зависят от действия газов и в меньшей мере от инерционных. Эти составляющие также линейно зависят от скорости поршня.

Работа, затрачиваемая на привод вспомогательных механизмов, зависит от частоты вращения коленчатого вала.

Механические потери двигателей зависят от вязкости моторного масла, прокачиваемого через сопряжения механизмов. Вязкость масла в реальных условиях работы определяется его вязкостно-температурной характеристикой и температурой поверхностей деталей двигателя.

При пуске двигателя в условиях низких температур вязкость масла в сопряжениях велика, величина ртр имеет наибольшее значение и прокачка масла через подшипники затруднена. Помимо резкого увеличения нагрузки на стартер это может привести к перегрузке поверхностей подшипников двигателя. Поэтому для эксплуатации двигателей в районах с холодным климатом рекомендуется

применять масла, с пологими вязкостно-температурными характеристиками из так называемых загущенных сортов, а также прогревать двигатели перед пуском.

Температура масла сильно влияет на потери на трение. Из рис. 109 видно, что имеется диапазон температур, где потери на трение наименьшие, обычно он составляет $80-90^{\circ}\text{C}$. Для ограничения температуры масла при работе двигателя используют масляные теплообменники.

Помимо вязкости масла в условиях граничного трения имеют значение прочность адсорбции масляной пленки, противоизносные качества масел, для повышения которых вводят специальные присадки.

Вопрос 3. Способы повышения коэффициентов мощности и полезного действия электродвигателей

Хотя коэффициент мощности не влияет напрямую на КПД электродвигателя, он оказывает влияние на потери в сети, как это упоминалось выше. Однако, есть способы увеличения **PF** (коэффициента мощности), а именно:

покупка электродвигателей с изначально высоким **PF**

- не покупайте слишком большие электродвигатели (коэффициент мощности падает вместе с уменьшением
- нагрузки на электродвигатель)
- установка компенсирующих конденсаторов параллельно с обмотками электродвигателя
- увеличить полную загрузку коэффициента мощности до 95% (Max)

· преобразование в привод с частотным регулированием

Пусковые конденсаторы электродвигателей являются одним из наиболее популярных способов увеличения коэффициента мощности и имеют следующий список преимуществ: увеличение **PF**

- уменьшение реактивного тока от электрооборудования через кабели и пускатели электродвигателей меньшее тепловыделение и потери мощности кВт
- По мере уменьшения нагрузки на электродвигатель растет возможность экономии, а **PF**
- падает ниже 60%-70%. (возможная экономия 10%)
- Уменьшение сборов за коэффициент мощности

- Увеличение общей производительности системы
- Интеллектуальная система управления электродвигателем
- Частотно-регулируемый электропривод

Более высокое напряжение

Другим способом повышения КПД электродвигателя является повышение рабочего напряжения. Чем выше напряжение, тем ниже ток и, тем самым будут ниже потери в сети. Однако, высокое напряжение приведет к увеличению цены частотно-регулируемого привода и сделает работу более опасной.

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры электропривода влияют на величину потерь при пуске?
2. Во сколько раз уменьшаются потери при пуске многоскоростного двигателя в два этапа?
3. Во сколько раз увеличиваются потери при торможении противоторможением?
4. В чем состоит влияние рабочего механизма на величину потерь электропривода в переходных режимах?
5. От каких показателей зависит КПД электропривода?
6. Перечислите способы повышения КПД электропривода.

Тема 5.7. Выбор электродвигателей по мощности

Вопрос 1. Нагрев и охлаждение электродвигателей

Тепло, выделяемое в различных частях электродвигателя, в различной степени влияет на нагрев изоляции. Кроме того, между отдельными частями электродвигателя происходит теплообмен, характер которого изменяется в зависимости от условий нагрузки.

Различный нагрев отдельных частей электродвигателя и теплообмен между ними затрудняет аналитическое исследование процесса. Поэтому для упрощения условно принимают, что электродвигатель представляет собой однородное в тепловом отношении и бесконечно теплопроводное тело. Обычно считают, что тепло, отдаваемое электродвигателем в окружающую среду, пропорционально перегреву. Излучением тепла при этом пренебрегают, так как абсолютные температуры нагрева двигателей невелики. Рассмотрим процесс нагрева электродвигателя при указанных допущениях.

При работе в электродвигателе за время dt выделяется теплота dq . Часть этой теплоты dq_1 поглощается массой электродвигателя, вследствие чего повышаются температура t и перегрев τ двигателя. Остальная теплота dq_2 выделяется двигателем в окружающую среду. Таким образом, может быть записано равенство

По мере повышения температуры электродвигателя возрастает тепло dq_2 . При некотором значении перегрева окружающей среде будет отдаваться столько тепла, сколько ее выделяется в электродвигателе; тогда $dq = dq_2$ и $dq_1 = 0$. Температура электродвигателя перестает повышаться, и перегрев достигает установившегося значения t_u .

При указанных выше допущениях уравнение может быть записано так:

$$Q \cdot dt = C \cdot dt + A \cdot \tau \cdot dt$$

где Q — тепловая мощность, обусловленная потерями в электродвигателе, Дж/с; A — теплоотдача двигателя, т.е. количество теплоты, выделяемое двигателем в окружающую среду в единицу времени при разности температур двигателя и окружающей среды в 1°C , Дж/с·град; C — теплоемкость двигателя, т.е. количество теплоты, необходимое для повышения температуры двигателя на 1°C , Дж/град.

Разделив переменные в уравнении, имеем

$$dt = \frac{C \cdot d\tau}{Q - A \cdot \tau}$$

Интегрируем левую часть равенства в пределах от нуля до некоторого текущего значения времени t и правую часть в пределах от некоторого начального перегрева τ_0 электродвигателя до текущего значения перегрева τ :

$$\int_0^t dt = \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{C \cdot d\tau}{Q - A \cdot \tau}$$

Решая уравнение относительно τ , получим **уравнение нагрева электродвигателя**:

$$\tau = \frac{Q}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{A}}$$

Обозначим $C/A=T$ и определим размерность этого соотношения:

$$|T| = \left| \frac{C}{A} \right| = \frac{|C|}{|A|} = \frac{\text{Дж/град}}{\text{Дж/с} \cdot \text{град}} = \text{с}$$

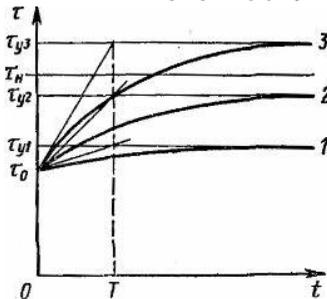


Рис. 5.5.1. Кривые, характеризующие нагрев электродвигателя

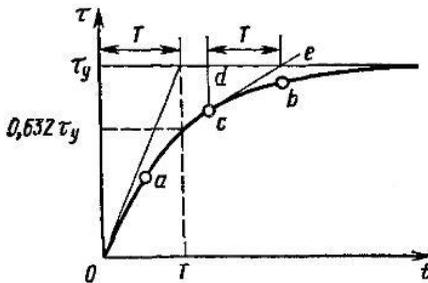


Рис. 5.5.2. Определение постоянной времени нагрева

Величину T , имеющую размерность времени, называют **постоянной времени нагрева** электродвигателя. В соответствии с этим обозначением уравнение нагрева может быть переписано в виде

$$\tau = \frac{Q}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

Как видно из уравнения при получим — установившееся значение перегрева.

При изменении нагрузки электродвигателя изменяется величина потерь, а следовательно, и значение Q . Это влечет за собой изменение величины t_u .

На рис. 5.5.1 приведены кривые нагрева 1, 2, 3, соответствующие последнему уравнению, для различных значений нагрузки. Когда t_u превышает величину допустимого перегрева t_n , недопустима продолжительная работа электродвигателя. Как следует из уравнения и графиков (рис. 5.5.1), нарастание перегрева носит асимптотический характер.

При подстановке в уравнение значения $t = 3T$ получим значение τ , примерно лишь на 5% меньшее t_u . Таким образом, за время $t = 3T$ процесс нагрева практически можно считать законченным.

Если в произвольной точке с кривой нагрева (рис. 5.5.2) провести касательную к кривой нагрева, затем через t_u же точку провести вертикаль, то отрезок de асимптоты, заключенный между касательной и вертикалью, в масштабе оси абсцисс равен T . Если в уравнении принять $Q = 0$, получим уравнение охлаждения электродвигателя:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

Этому уравнению соответствует кривая охлаждения, изображенная на рис.5.5.3.

Величина постоянной времени нагрева определяется размерами электродвигателя и формой защиты его от воздействий окружающей среды. У открытых и защищенных электродвигателей малой мощности постоянная времени нагрева равна 20—30 мин. У закрытых электродвигателей большой мощности она доходит до 2—3 ч.

Как было указано выше, изложенная теория нагрева электрических двигателей является приближенной и основана на грубых допущениях. Поэтому кривая нагрева, снятая экспериментально, существенно отличается от теоретической. Если для различных точек опытной кривой нагрева выполнить построение, показанное на рис. 5.5.2, то окажется, что значения T возрастают по мере увеличения времени. Поэтому все расчеты, производимые по уравнению следует рассматривать как приближенные. В этих расчетах целесообразно использовать постоянную T , определенную графически для начальной точки кривой нагрева. Это значение T является наименьшим и при его использовании обеспечивается некоторый запас мощности двигателя.

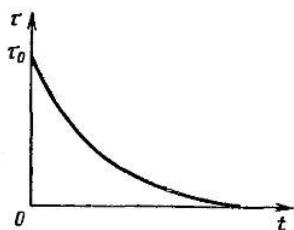


Рис.5.5.3. Кривая охлаждения электродвигателя

Кривая охлаждения, снятая экспериментально, еще более отличается от теоретической, чем кривая нагрева. Постоянная времени охлаждения, соответствующая отключенному двигателю, значительно больше постоянной времени нагрева вследствие уменьшения теплоотдачи при отсутствии вентиляции.

Вопрос 2. Понятие о нагрузочных диаграммах рабочих машин и электродвигателей

Нагрузочная диаграмма электропривода характеризует зависимость вращающего момента, тока или мощности, развиваемой двигателем, от времени. Нагрузочные диаграммы используются для оценки перегрузочной способности электропривода и сопоставления ее с допустимой кратковременной нагрузкой для данного типа электродвигателя, а также для проверки мощности предварительно выбранного двигателя по нагреву.

Нагрузочная диаграмма электропривода учитывает статические и динамические нагрузки, преодолеваемые электроприводом в течение цикла работы механизма.

Нагрузочные диаграммы электроприводов характеризуют собой зависимость вращающего момента, тока и мощности двигателя от времени работы привода. Построение нагрузочных диаграмм основано на учете особенностей совместной работы двигателей и исполнительных механизмов. Для их построения необходимо знать характер изменения момента сопротивления механизма и законы протекания переходных процессов в электроприводах. Нагрузочные диаграммы электроприводов характеризуют собой зависимость вращающего момента, тока и мощности двигателя от времени работы привода. Построение нагрузочных диаграмм основано на учете особенностей совместной работы двигателей и исполнительных механизмов. Для их построения необходимо знать характер изменения момента сопротивления меха-

низма и законы протекания переходных процессов в электроприводах.

Если нагрузочная диаграмма электропривода задана графиком мощности, развиваемой двигателем, то проверка его по нагреву может быть произведена в том случае, когда между мощностью и током существует прямая пропорциональность.

Используя полученную нагрузочную диаграмму электропривода, проверяем выбранный двигатель по допустимой нагрузке и по нагреву, применяя методы, изложенные в последующих параграфах. Для построения нагрузочных диаграмм электропривода, кроме характера изменения момента сопротивления производственного механизма, необходимо также знать законы протекания переходных процессов в электродвигателе.

Ход построения нагрузочных диаграмм электропривода для механизмов I класса удобнее всего проследить на примере одного из типичных механизмов, которым может служить шахтный подъемник с уравновешенным канатом и шкивом трения.

Для построения нагрузочных диаграмм электропривода, кроме характера изменения момента сопротивления производственного механизма, необходимо также знать законы протекания переходных процессов в электроприводе. Ход построения нагрузочных диаграмм электропривода для механизмов I класса удобнее всего проследить на примере одного из типичных механизмов, которым может служить шахтный подъемник с уравновешенным канатом и шкивом трения.

Нагрузочная диаграмма электропривода токарного станка. Для построения нагрузочной диаграммы электропривода необходимо учесть периоды пауз. Если полагать, что двигатель не отключается, то нагрузка его в периоды пауз обусловлена потерями холостого хода станка.

В основу построения нагрузочных диаграмм электропривода положено уравнение движения. M_c , нагрузочные диаграммы производственного механизма совпадают с нагрузочными диаграммами электропривода, построение участков нагрузочных диаграмм, относящихся к переходным режимам, является одной из ответственных и трудных задач. В большинстве случаев моменты двигателя и статического сопротивления в переходных режимах имеют сложную зависимость от скорости. Аналитическое решение уравнения движения в этом случае невозможно, поэтому прибегают к графическим или графо-аналитическим методам, которые подробно рассмотрены в специальной литературе по электроприводу.

Почему для построения нагрузочной диаграммы электропривода необходимо предварительно произвести ориентировочный выбор двигателя.

Рассмотрим примеры построения нагрузочных диаграмм электропривода некоторых типовых механизмов. Почему для построения нагрузочной диаграммы электропривода необходимо предварительно произвести ориентировочный выбор двигателя.

В основу построения нагрузочных диаграмм электропривода положено уравнение движения. Построение участков нагрузочных диаграмм, относящихся к переходным режимам, является одной из ответственных и трудных задач. В большинстве случаев моменты двигателя и статического сопротивления в переходных режимах имеют сложную зависимость от скорости. Аналитическое решение уравнения движения в этом случае невозможно, поэтому прибегают к графическим или графоаналитическим методам, которые подробно рассмотрены в специальной литературе по электроприводу. Нагрузочная диаграмма электропривода кратковременного режима работы с переменной нагрузкой и кривая изменения температуры перегрева электродвигателя над окружающей средой. Приведенная здесь методика построения нагрузочных диаграмм электроприводов на примерах типичных производственных механизмов позволяет решать аналогичные задачи и для других более или менее сложных случаев.

Приведенная выше методика построения нагрузочных диаграмм электроприводов на примерах типичных производственных механизмов позволяет решать аналогичные задачи и для других более или менее сложных случаев. Характеристики, где нагрузка и скорость зависят от времени, называются диаграммами. К ним относятся нагрузочная диаграмма электропривода - зависимость нагрузки электропривода от времени для рабочих машин, работающих в циклическом режиме, и диаграмма скорости электропривода - зависимость скорости движения исполнительного органа от времени для машин, работающих в циклическом режиме. Далее предварительно выбранный двигатель следует проверить по нагреву с учетом совместной работы двигателя и станка в установившихся и переходных режимах. Для этого строится нагрузочная диаграмма электропривода $M_f(t)$ для одного цикла работы станка. По исходным данным, приведенным ранее, определяют нагрузки привода в различных режимах.

В основу построения нагрузочных диаграмм электропривода положено уравнение движения. M_c , нагрузочные диаграммы производственного механизма совпадают с нагрузочными диаграммами электропривода, построение участков нагрузочных диаграмм, относящихся к переходным режимам, является одной из ответственных и

трудных задач. В большинстве случаев моменты двигателя и статического сопротивления в переходных режимах имеют сложную зависимость от скорости. Аналитическое решение уравнения движения в этом случае невозможно, поэтому прибегают к графическим или графо-аналитическим методам, которые подробно рассмотрены в специальной литературе по электроприводу.

После того, как было установлено дополнительно еще шесть вентилях для параллельной работы выход вентилях из строя прекратился. Отсюда ясно, что при прочих равных условиях соотношение количества вентилях в преобразователях с параллельный и последовательным соединением определяется кратностью отношения максимального тока к среднему, т.е. коэффициентом формы кривой нагрузочной диаграммы электропривода за цикл работы. Номинальное напряжение крупных электродвигателей постоянного тока, изготавливаемых в СССР, лежит в пределах от 600 до 900 - 1000 вольт. Поэтому применение последовательного соединения вентилях в этой случае ухудшает энергетические показатели установки, в особенности при продолжительном режиме работы, как это практически имеет место, например, на непрерывных прокатных станах. Однако, для наиболее мощных непрерывных станов применение преобразователей с последовательным соединением вентилях может оказаться перспективным. Общие принципы и критерии выбора электродвигателей для режимов SI - S8 распространяются и на режим стохастической нагрузки. Различие заключается в том, что нагрузочная диаграмма электропривода в этом случае не может быть выражена в виде определенной детерминированной зависимости $M(t)$ и для оценки нагрева двигателя необходимо пользоваться методами теории случайных процессов. Однако пока нагрузочная диаграмма с учетом нагрузок в переходных режимах еще не построена, по диаграмме статических нагрузок производят предварительный (ориентировочный) расчет мощности двигателя. Затем по каталогу выбирают двигатель, мощность которого наиболее близка и больше расчетной. После этого, просуммировав маховые моменты, приступают к расчету нагрузок в переходных режимах и построению нагрузочной диаграммы электропривода. Иногда цикл работы производственного механизма задается графиком скорости. В этом случае исходными данными для определения динамических моментов на участках с переменной скоростью являются заданное время, маховый момент и статический момент сопротивления.

Вопрос 3. Номинальные режимы работы электродвигателей

Номинальные режимы работы электродвигателей

Режимы работы стандартизованы. Различают три основных режима:

- длительный (обозначается символом S1),
- кратковременный (S2),
- повторно-кратковременный (S3).

Длительный - это режим, в котором превышение температуры двигателя достигает установившегося значения. Длительный режим подразделяют на два вида: *a* - режим с постоянной нагрузкой, *b* - режим с переменной нагрузкой. К типу *a* относятся ЭП вентиляторов, насосов, компрессоров, транспортеров, текстильных станков и др. К типу *b* - ЭП поршневых компрессоров, прокатных станков, токарных, фрезерных, сверлильных станков и др.

Режим работы ЭП отражают при помощи нагрузочных диаграмм (НД), которые представляют собой зависимость мощности P , момента M или тока двигателя I от времени t . Примеры НД для длительного режима и кривая нагрева приведены на рис. 5.5.4.

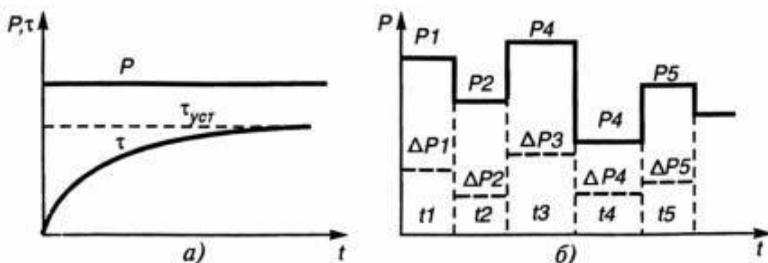


Рисунок 5.5.4

В *кратковременном* режиме двигатель работает непродолжительное время, в течение которого превышение его температуры не достигает установившегося значения, а после отключения он успевает охладиться до температуры охлаждающей среды (рис. 5.5.5., а). В этом режиме работают ЭП шлюзов, задвижек нефте- и газопроводов, и др.

Вопрос 4. Выбор электродвигателей по мощности при повторно-кратковременном режиме работы в условиях допустимого нагрева, обеспечение пуска, статической и динамической устойчивости электропривода

Повторно-кратковременным называют режим, в котором кратковременные периоды включения двигателя чередуются с периодами пауз, причем в период нагрузки превышение температуры двигателя не достигает установившегося значения, а при отключении не успевает достичь температуры охлаждающей среды (рис. 5.5.5, 6). Свойства двигателей в повторно-кратковременном режиме зависят от продолжительности включения (ПВ). Как видно из диаграммы (рис. 5.5.5., 6), двигатель нагружен в течение времени t_p , а в течение времени t_0 следует пауза. Их сумма составляет время цикла $t_{ц}$.

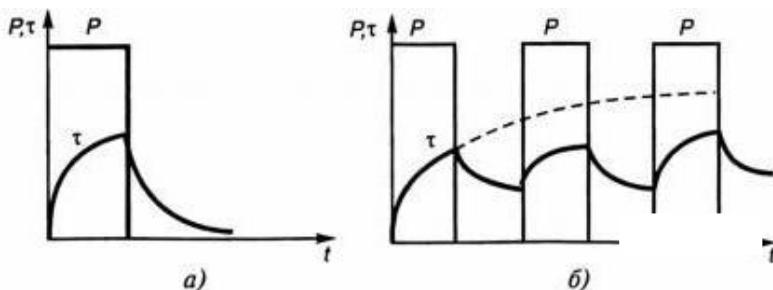


Рис. 2

Рис. 5.5.5.

ПВ - это величина, равная отношению времени работы двигателя под нагрузкой ко времени цикла, измеряемое в процентах:

$$ПВ = 100t_p / (t_p + t_0) = (t_p/t_{ц})100\%.$$

ПВ стандартизованы и составляют 15, 25, 40, 60%. Значение ПВ указывается на паспорте двигателя.

Двигатель мощностью $P_{н1}$ с ПВ1 может быть использован при другой ПВ2. Мощность P_2 , на которую можно при этом нагружать двигатель, определяется приближенным соотношением:

$$P_2 = P_{н1} \sqrt{ПВ1 / ПВ2}, \text{ Вт}$$

Вопрос 5. Особенности выбора электродвигателя для сельскохозяйственных машин

При проектировании привода сельскохозяйственных машин рекомендуется ориентироваться на двигатели с синхронной частотой вращения вала ротора 1500 мин. Электродвигатели с частотой вращения вала ротора 1000 и 750 мин следует применять при непосредственном соединении с приводными механизмами или когда выбор электродвигателя с частотой 1500 мин. не оправдан по конструктивным соображениям.

Вопрос 6. Выбор электродвигателей по роду тока и уровню напряжения, конструктивному исполнению и способу монтажа, степени защищенности от воздействия окружающей природной среды, частоте вращения и способу регулирования скорости

Выбор электродвигателей по роду тока, конструктивному исполнению, классу вибрации и уровню шума.

Процедура выбора электродвигателей состоит в удовлетворении ряда требований потребителя; выбор состоит в переборе возможных вариантов, в том числе: по роду тока и напряжению, конструктивному исполнению, уровню вибрации и шума, мощности и режиму работы.

Выбор по роду тока. В соответствии с рекомендациями двигателя постоянного тока выбираются (применяются) лишь в тех случаях, когда двигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик механизма либо не экономичны. При этом для механизмов с продолжительным режимом работы, с редкими включениями и малыми нагрузками при пуске наиболее целесообразен синхронный двигатель. Применение синхронного двигателя позволяет обеспечить высокие энергетические показатели в процессе эксплуатации.

Что касается напряжения, то двигатели постоянного тока единой серии 2П изготавливаются на одно номинальное напряжение каждый, асинхронные двигатели единой серии 4А — на одно или два номинальных напряжения каждый, синхронные двигатели — на одно напряжение (подробнее см. вторую часть Справочника). При этом двигатели должны обеспечивать выдачу номинальной мощности при отклонении напряжения от номинального в некотором диапазоне. Знание этого диапазона (имеется в стандартах и ТУ на соответствующие типы двигателей) особенно необходимо при выборе двигателей, работающих в автономных сетях, где их нагрузка соизмерима с мощностью сети.

Выбор по конструктивному исполнению. При выборе конструктивного исполнения двигателя необходимо учитывать условия его эксплуатации, под которыми следует понимать в первую очередь воздействие климатических факторов окружающей среды, а также способ охлаждения и исполнение двигателей по способу монтажа.

Электрические машины обычно предназначаются для эксплуатации в одном или нескольких макроклиматических районах • и в соответствии с ГОСТ 15150-69 и 15543-70 изготавливаются в следующих климатических исполнениях: У, УХЛ, Т, О, М, ОМ, В.

Электрические машины исполнения У, УХЛ, Т, О предназначены для эксплуатации на суше, реках и озерах, исполнения М, ОМ — на морских судах, В — на суше и на море для всех макроклиматических районов, в том числе: У — для макроклиматических районов с умеренным климатом, УХЛ — с холодным климатом, Т — с тропическим климатом, О — для всех макроклиматических районов на суше, М — с умеренно холодным морским климатом, ОМ — для неограниченного района плавания.

При эксплуатации электрических машин на открытом воздухе (категория размещения 1) регламентируется также интенсивность дождя: для исполнений У, УХЛ — 3 мм/мин; Т, М и ОМ — 5 мм/мин. Электрические машины исполнений У, УХЛ, Т предназначаются, как правило, для эксплуатации в атмосфере типов I и II, а исполнений М, ОМ — в атмосфере типа III (табл. 1).

Таблица 1. Типы атмосферы, окружающей электрические машины

| Обозначение | Тип атмосферы | Содержание коррозионно-активных агентов, мг/(м ³ ·сут) | |
|-------------|--|---|--------------------------------------|
| | Наименование | Сернистый газ | Хлориды |
| I II III IV | Условно-чистая Промышленная Морская Приморско-промышленная | До 20 20-110 До 20 200-110 | Менее 0,3 Менее 0,3 30-300 0,3-30 |

Кроме климатических условий важное значение имеет категория размещения электрических машин. Различают пять категорий размещения, обозначаемых цифрами от 1 до 5, характеристика которых приведена в разд. 1.

Корпус машины вместе с подшипниковыми щитами образует защитную оболочку, обеспечивающую защиту электрической машины

от попадания внутрь машины твердых предметов и воды. В соответствии с ГОСТ 17494-72 машины выпускаются с различными степенями защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями и с вращающимися частями, находящимися внутри корпуса, а также степенями защиты машины от попадания внутрь нее твердых посторонних тел и воды. Электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой, как правило, должны иметь исполнение IP00 или IP20. При установке электродвигателей на открытом воздухе они должны иметь исполнение не ниже IP44. При эксплуатации электродвигателей в помещениях, где могут иметь место химически активные пары или газы, возможно оседание на обмотках пыли и других веществ, нарушающих естественное охлаждение, исполнение должно быть не менее IP44 или необходимо продуваемое исполнение с подводом чистого воздуха. Корпус продуваемого электродвигателя, воздухопроводы, все сопряжения и стыки должны быть тщательно уплотнены для предотвращения присоса воздуха в систему вентиляции. При продуваемом исполнении электродвигателя рекомендуется предусматривать задвижки для предотвращения всасывания окружающего воздуха при остановке электропривода.

Электродвигатели, устанавливаемые в сырых или особо сырых местах, должны иметь исполнение не менее IP43 и изоляцию, рассчитанную на воздействие сырости и пыли (со специальной обмазкой, влагостойкую и т. д.).

Выбор двигателя в зависимости от способа его охлаждения в значительной мере зависит от категории размещения, условий окружающей среды и класса нагревостойкости его изоляции и, кроме того, определяется также экономическими факторами и режимом работы.

Особое внимание следует обращать на выбор исполнения двигателей для установок, размещаемых в пожароопасных и взрывоопасных зонах.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Контрольные вопросы:

1. В чем сущность средних потерь при расчете мощности двигателя?
2. Можно ли расчетную мощность двигателя определять как мощность наиболее нагруженной ступени нагрузоч-

ной диаграммы?

3. В каталоге указана номинальная мощность двигателя 30кВт при ПВ=40%; какой будет номинальная мощность этого двигателя при ПВ=60%?

4. Каковы недостатки при использовании в повторно-кратковременном режиме двигателей, предназначенных для продолжительного режима?

5. Объясните назначение маховика в электроприводе с ударной нагрузкой?

Тема 6.1. Аппаратура управления и защиты электродвигателей. Электрические аппараты ручного и дистанционного управления

Вопрос 1. Датчики тока, скорости, времени, положения. Аналоговые и дискретные элементы и устройства управления электроприводами

Датчики компенсационного типа, основанные на эффекте Холла

Датчики тока прямого усиления используют эффект Холла. Магнитная индукция B и напряжение Холла создаются измеряемым первичным током I_{\square} , который необходимо преобразовать в выходной ток датчика. Ток управления подается с помощью стабилизированного источника тока.

Датчики тока компенсационного типа, использующие эффект Холла, называют еще датчиками с нулевым потоком, т.е. со 100 %-й обратной связью. В своем устройстве они имеют встроенную компенсационную цепь, с помощью которой характеристики датчиков тока, использующих эффект Холла, могут быть существенно улучшены.

Области применения датчиков тока компенсационного типа

Датчики компенсационного типа используются в промышленных установках для преобразования и контроля электрического тока.

Среди областей применения датчиков компенсационного типа можно выделить следующие:

- частотные преобразователи и трехфазные приводы (для контроля тока в фазах, шинах постоянного тока, для защиты в случае коротких замыканий);
- преобразователи для сервоприводов, использующихся в робототехнике;
- электрическое сварочное оборудование (для контроля за током сварки);
- оборудование, использующее батареи (для контроля за зарядным и разрядным током);
- электрический транспорт, транспортные преобразователи и управление зарядными устройствами;
- системы городского электрического транспорта: транспортные и вагонные преобразователи, тяговые подстанции;
- преобразователи для ветроэнергетических установок;
- специальные источники тока для радаров;
- системы телемеханики, автоматики энергосистем;
- высоковольтные выключатели, лазеры, выпрямители для электрохимических процессов;
- использование в лабораторных исследованиях или в тестовом оборудовании.

Конструкция и принцип действия датчиков тока компенсационного типа

В то время, как датчики прямого усиления дают выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, пропорциональное увеличенному напряжению Холла U_H , компенсационные датчики обеспечивают выходной ток, пропорциональный напряжению Холла, который действует как сигнал обратной связи, чтобы компенсировать магнитное поле, создаваемое первичным током I_P , магнитным полем, создаваемым полем выходного тока B_S .

Выходной ток намного меньше, чем I_P , потому что катушка с количеством витков N_S предназначена для генерирования аналогичного магнитного потока (ампер-витков). Таким образом

$$N_P \cdot I_P = N_S \cdot I_S \quad (6.1.1)$$

Следовательно, индукция B_S эквивалентна B_P и их соответствующие ампер-витки компенсируют друг друга.

Таким образом, система действует при нулевом магнитном потоке в сердечнике (рис. 6.1.1).

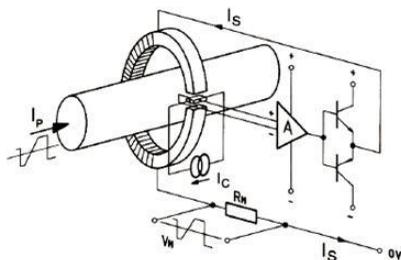


Рис. 6.1.1. Устройство датчика тока компенсационного типа, основанного на эффекте Холла

Для примера, проведем преобразование постоянного тока 100 А через датчик тока компенсационного типа. Количество витков $N_P = 1$, потому что проводник ведет прямо к магнитной цепи, тем самым составляя один виток. Вторичная (выходная) обмотка имеет 1000 витков ($N_S = 1000$). Соотношение витков составляет 1:1000.

Как только I_P примет положительное значение, в сквозном отверстии магнитного сердечника возникает индукция B_P , создавая напряжение Холла U_H в элементе Холла. Это напряжение преобразовывается в ток с помощью генератора тока, каскад усилителя которого обеспечивает протекание тока через вторичную обмотку. Таким образом, создается поле с величиной индукции B_S , которая компенсирует поле с величиной индукции B_P .

Следовательно, окончательный вторичный выходной ток будет следующим:

$$I_S = \frac{(N_P \cdot I_P)}{N_S} = \frac{(1 \cdot 100)}{1000} = 100 \text{ мА,}$$

где I_S — является точным отображением I_P по форме, но меньшим в **1000** раз. Такое преобразование тока как раз и используется для целей потребителей.

Датчики скорости, применяемые в электронных измерительных устройствах, могут быть двух типов — оптоэлектронными (в которых вращение вала коробки передач передается тросиком спидометра и преобразуется с помощью фотопрерывателя в импульсы скорости) и безтросовыми (содержащими магниторезистивный элемент (МРЭ), который устанавливается в трансмиссии). В оптоэлектронном датчике металлический трос приводится от ведомого вала коробки передач. Конструкция такого датчика показана на рисунке. Импульсные сигналы, частота которых пропорциональна скорости, вырабатываются с помощью фотопрерывателя и диска с прорезями, приводимого в движение тросиком спидометра.

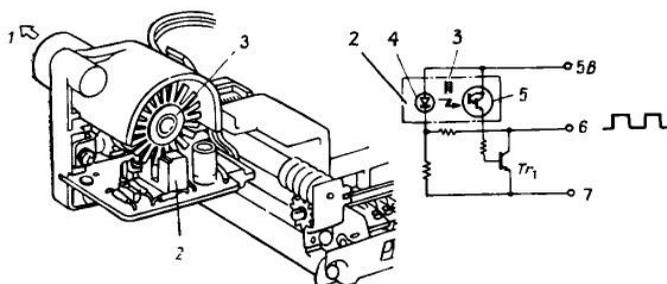


Рис. 6.1.2. Конструкция оптоэлектронного датчика скорости: 1 — тросик спидометра; 2 — фотопрерыватель; 3 — диск; 4 — светодиод; 5 — фототранзистор; 6 — выход датчика; 7 — масса

Конструкция датчика на основе МРЭ показана на рисунке. При вращении приводной оси, связанной с ведомым валом коробки передач шестерней, вращается и кольцевой многополюсный магнит. В результате возникающих при этом изменений магнитного потока, меняется сопротивление МРЭ, расположенного в ИС. Эти изменения сопротивления обнаруживаются мостовой схемой, показанной на рисунке, и преобразуются в 20 импульсов за один оборот. На рис. 6.1.2. показан принцип действия МРЭ. Основное свойство МРЭ заключается в том, что при совпадении направления протекания тока с направлением магнитных силовых линий сопротивление МРЭ максимально, а при перпендикулярности направлений — минимально.

Принцип действия простейшего (одинарного) индуктивного

датчика положения на одном сердечнике, изображенного на рис. 6.1.1. На сердечнике 1 располагается обмотка 3, подключаемая к источнику переменного тока через сопротивление нагрузки (сопротивление измерительного прибора) 4. Ток I в обмотке 3 возбуждает переменный магнитный поток Φ_{\sim} .

Реле времени электродвигательные предназначены для создания выдержки времени при передаче электрических сигналов в системах автоматики и телемеханики, когда требуются выдержки времени свыше 10 с и надо обеспечить строго последовательное коммутирование (программирование) нескольких цепей. Реле выполняются на выдержки времени от 10 до 900 с с числом управляемых цепей до 16 для работы как при переменном, так и при постоянном токе.

Реле состоит из следующих основных узлов:

- ✓ электродвигателя синхронного трехфазного переменного тока или постоянного тока с насаженным на его вал червяком;
- ✓ редуктора, замедление (передаточное число) которого соответствует максимальной выдержке времени, создаваемой реле;
- ✓ контактного устройства, в которое входит контактный набор — соответствующее данному исполнению реле число замыкающих, размыкающих или переключающих контактов и соответствующее ему число переключающих кулачков с устройствами их установки и регулирования;
- ✓ электромагнитов (электромагнитных реле) с соответствующими устройствами для управления двигателем и муфтами для сцепления и расцепления двигателя с редуктором и редуктора с контактным устройством;
- ✓ возвратных пружин.

Рабочий цикл реле при включенном электродвигателе начинается с подачи сигнала на сцепление двигателя с редуктором. Вращение двигателя через редуктор передается на рабочее зубчатое колесо и далее на привод кулачков (через общий вал или другое устройство). Кулачки производят переключение контактов в установленной последовательности и с заданной выдержкой времени: Одновременно взводится возвратная пружина.

После полного оборота рабочего зубчатого колеса (вала с кулачками) соответствующие контакты отключают двигатель или муфту сцепления двигателя с редуктором. Кулачки остаются в достигнутом положении. Затем, после снятия команды на работу реле, рабочее зубчатое колесо расцепляется с редуктором и возвратная пружина возвращает кулачки и контакты в исходное положение. Реле готово к новому циклу работы.

Реле собирается на металлическом основании и закрывается кожухом (в соответствии с исполнением по защите). В кожухе имеются окна для наблюдения шкал выдержек времени.

Износостойкость «реле в зависимости от осуществленной выдержки времени доставляет от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч циклов.

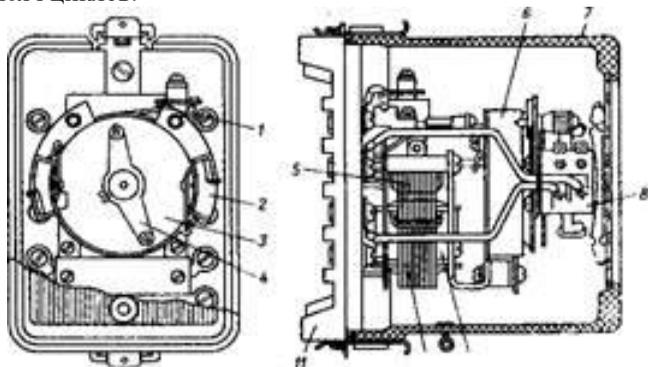


Рисунок 6.1.3. Реле времени постоянного тока ЗВ-100

Недостатками реле являются сложность конструкции и малая износостойкость. Достоинства — большие выдержки времени и высокая точность последовательности переключения контактов, что не достигается другими способами.

Реле времени электромагнитное, создающее выдержку при помощи часового механизма, показано на рис. 6.1.3. При замыкании цепи катушки 9 электромагнита 10 втягивается якорь 5, пускается в ход заторможенный часовой механизм 6, начинают перемещаться подвижные контакты 4 и переключаются контакты мгновенного действия 8. По истечении установленных выдержек времени под действием заводной пружины часового механизма сначала замыкается скользящий контакт 2, а затем замыкающий 1.

Время с момента подачи напряжения на катушку до замыкания контактов 2 и 1 регулируется изменением их положения и указывается стрелками на шкале 3.

С прекращением возбуждения катушки якорь и часовой механизм мгновенно возвращаются в исходное положение под действием пружины электромагнита. Одновременно с этим происходит завод часового механизма.

Реле монтируется в пылезащищенном пластмассовом корпусе, состоящем из основания 11 и кожуха 7 из прозрачного материала.

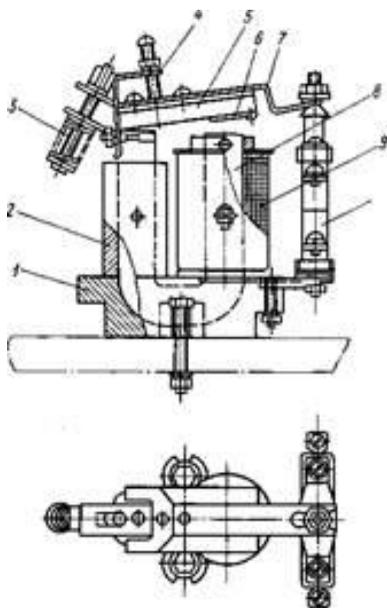


Рисунок 6.1.4.. Реле времени электромагнитное

1 - силуминовое основание (заливка), служащее для сборки всего реле и как демпфер; 2- медная гильза-демпфер; 3 - отключающая пружина, регулируемая, 4 – упорная скоба с винтом; 5 - якорь; 6 - немагнитная прокладка; 7-тяга; 8 – U-образный сердечник; 9 - катушка; 10 - узел контактов

Современные замкнутые системы управления ЭП реализуются, как правило, на основе полупроводниковых элементах. В то же время подключение ЭД

осуществляется с помощью рассмотренных электрических аппаратов с ручным и электромагнитным управлением.

Техническая реализация управляющих устройств современного ЭП весьма разнообразна. Они различаются по своей элементной базе, роду тока, мощности, конструктивному исполнению и многим другим признакам. Одним из основных признаков подразделения устройств управления является характер преобразования сигналов, по которому они делятся на аналоговые и дискретные.

Для аналоговых устройств характерна функциональная (линейная и нелинейная) зависимость между входным и выходным сигналами, при этом выходной сигнал может принимать любые значения. Примерами силовых аналоговых устройств могут служить управляемые выпрямители и преобразователи частоты, у которых напряжение и частота на выходе могут регулироваться в широких пределах.

Дискретный элемент может иметь только два уровня выходного сигнала — нулевой и максимальный, который появляется или исчезает при достижении входным сигналом определенного значения. Примерами дискретных элементов могут служить реле и бесконтактные логические элементы. На основе дискретных элементов создаются цифровые схемы управления ЭП.

До относительно недавнего времени задающие, регулирующие, согласующие и функциональные устройства, а также датчики координат ЭП выпускались отдельными сериями, «россыпью», что затрудняло проектирование схем управления, их наладку и эксплуатацию. Прогрессивным явлением в создании технических средств управления стала разработка унифицированной блочной системы регулирования (УБСР). Использование этой системы обеспечивает широкую унификацию производства комплектных средств управления, упрощает проектирование, наладку и эксплуатацию ЭП, улучшает технико-экономические показатели их работы

Многие требования, предъявляемые к ЭП рабочих машин и механизмов при комплексной автоматизации их работы, позволяют заполнить цифровые схемы управления. Они обеспечивают высокие точность и быстродействие работы ЭП и характеризуются надежностью и малым энергопотреблением. Цифровые схемы управления ЭП естественным образом сочетаются с ЭВМ, управляющими технологическими процессами, составляя с ними единую автоматизированную систему управления (АСУ).

Во многих случаях целесообразным оказывается создание смешанных, цифроаналоговых схем управления ЭП, сочетающих в себе наилучшие свойства аналоговых и цифровых (дискретных) элементов и устройств.

Используемые в ЭП цифровые средства можно разделить на следующие группы: логические элементы и триггеры, реализующие простейшие логические операции; цифровые узлы (комплекс элементов), включающие в себя совокупность логических элементов и выполняющих более сложные функциональные преобразования сигналов; цифровые устройства (комплекс узлов), реализующие сложные функции управления ЭП; ЦВМ (комплекс цифровых устройств), являющиеся высшей формой интеграции всех функций по управлению ЭП.

Несмотря на определенную условность такой классификации, она оказывается удобной при анализе цифровых схем управления ЭП.

Набор дискретных (цифровых) элементов, узлов и устройств управления существенно шире и разнообразнее, чем аналоговых. Так, например, если УБСР-АИ насчитывается около 15 видов функциональных устройств, то УБСР-ДИ имеет более 30 таких устройств, т. е. в 2 раза больше. Рассмотрим основные дискретные элементы и устройства.

Триггер. Это один из наиболее распространенных элементов цифровых устройств управления, обладающий двумя устойчивыми состояниями и способный скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала. С исполь-

зованием триггеров строятся различные логические и вычислительные узлы, а также генерирующие устройства и памяти. Не останавливаясь на технической реализации триггеров, что является предметом изучения курса «Промышленная электроника», рассмотрим их функциональные характеристики.

Триггер состоит из двух логических элементов ИЛИ — НЕ (рисунок 5,а) и работает следующим образом. При подаче входного сигнала $X_1 = 1$ и отсутствии сигнала X_2 , выход верхнего элемента устанавливается в состояние $Y=0$, а нижнего, основного — в состояние $Y=1$.

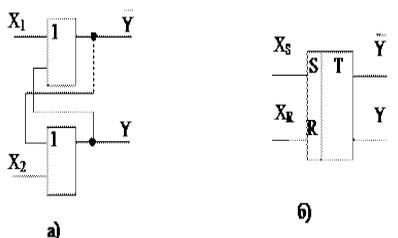


Рисунок 6.1.5 - Схемы триггеров

Отметим, что черта над переменной обозначает ее инверсное состояние. Это состояние схемы сохранится при снятии сигнала ($X_1=0$). При подаче сигнала $X_2 = 1$ триггер перейдет в другое устойчивое состояние, в котором $Y=0$, а инверсный $Y=1$.

—R — S - триггер изображен на схеме (рис. 6.1.5, б) и ее работа соответствует так называемому статическому асинхронному триггеру. На вход S, получивший свое обозначение от английского слова Set — установка, подается входной сигнал $X_1=X_S=1$, после чего на прямом выходе триггера появляется (устанавливается) единичный сигнал $Y= 1$, а на инверсном выходе - $Y=0$. При подаче на вход R, обозначенный первой буквой английского слова Reset—сброс, единичного сигнала $X_2=X_R=1$, сигнал по выходу Y переведется на нулевой уровень, т. е. $Y=0$, а по инверсному выходу — на единицу, т. е. $Y=1$.

Тема 6.2. Аппаратура управления электроприводами

Вопрос 1. Микропроцессорные средства управления электроприводами

Системы управления электроприводом могут разрабатываться на базе микроконтроллеров с различными микропроцессорами (например К580ВМ80А). Структура системы изображена на рис. 6.1.6. и мало чем отличается от обычных замкнутых систем регулирования.

Система содержит объект управления - электродвигатель, выходным параметром которого является скорость вращения (n) вала; тиристорный преобразователь (ТП), формирующий управляющее напряжение на входе двигателя; первичный преобразователь (ПСЧ) - для преобразования скорости вращения в круговую частоту вращения ω ; вторичный преобразователь (ПЧК) - для преобразования частоты вращения в цифровой код; МК - для цифровой обработки входной информации о частоте вращения и управления углом открытия тиристора. Структура МК идентична структуре контроллера (рис. 1.4) и содержит ОЗУ, ПЗУ, РПЗУ, пульт оператора.

Для связи с объектом управления на плате микроконтроллера установлены два корпуса параллельного интерфейса и корпус программируемого таймера. БИС параллельного интерфейса имеет три программно-управляемых восьмиразрядных порта. Направление передачи через каждый из портов можно изменять за счет программных средств. БИС программируемого таймера используется для формирования управляющего импульса с программно-управляемой длительностью.

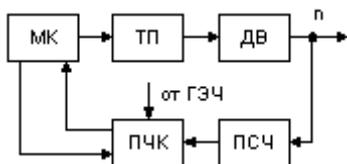


Рис. 6.1.6.

Тиристорный преобразователь (ТП) предназначен для формирования управляющего напряжения на входе электродвигателя за счет управления углом открывания тиристора.

Преобразователь частота - код (ПЧК) представляет собой схему для измерения частоты с цифровым 8-разрядным индикатором. Сигнал с первичного преобразователя ПСЧ поступает на вход электронного ключа, на второй вход которого поступают прямоугольные импульсы с частотой 4 Гц от формирователя эталонной частоты (ГЭЧ). Поэтому импульсные сигналы от первичного преобразователя пройдут через ключ только в течение длительности импульса с частотой 4 Гц. Количество импульсов, прошедшее за это время зависит от частоты контролируемого сигнала (100 – 1000 Гц). Число прошедших импульсов подсчитывается на двоично-десятичных счетчиках и высвечивается на восьми светодиодах. Параллельно с индикатором результирующий цифровой код подается на вход микроконтроллера и вводится в аккумулятор микропроцессора через канал КА параллельно интерфейсу. Сброс счетчиков для подготовки их к следующему измерению обеспе-

чивается программным путем за счет управляющего сигнала в разряде С1 канала КС интерфейса по входу С0 счетчиков.

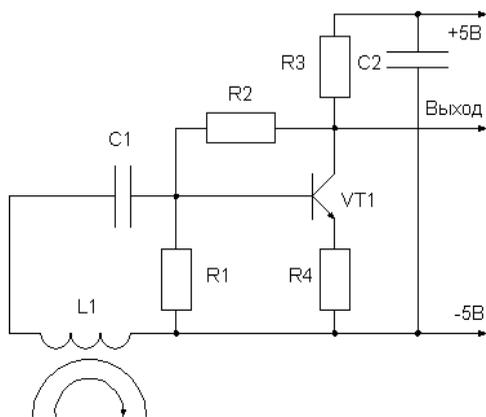


Рис. 6.1.7.

Первичный преобразователь ПСЧ служит для преобразования скорости вращения вала двигателя в электрический частотный сигнал. Преобразователь выполнен в виде магнитоэлектрического устройства с усилителем переменного тока. При вращении зубчатого диска, укрепленного на валу двигателя, от изменения зазора между зубом и обмоткой L в последней наводится переменная ЭДС, которая усиливается встроенным в преобразователь усилителем (рис. 1.16). Частота его выходных импульсов пропорциональна частоте вращения зубчатого диска и, следовательно, скорости вращения вала двигателя. Переменная ЭДС, наведенная в катушку L через разделительный конденсатор C1, подается на базу транзистора VT1. Резисторы R1-R4 служат для задания режима транзистора VT1. При выбранном времени измерения 1 с и числе зубьев колеса, равном 60, на цифровом табло тахометра индицируется результат в об/мин.

В качестве алгоритма управления в данной системе используется простейшее пропорциональное управление с коэффициентом передачи КР, величина которого хранится в ячейке памяти КПУ и может быть изменена произвольно. Следует заметить, что выбранный алгоритм управления вовсе не определяет все возможности системы, так как использование другого алгоритма управления можно легко обеспечить простым изменением программного обеспечения системы, не затрагивая ее схемотехнику.

Вопрос 2. Аппараты управления и защиты электродвигателей, их виды

Типы электрических аппаратов. Современные электрические аппараты управления и защиты чрезвычайно разнообразны. Их можно подразделить по способу действия, назначению и характеру работы.

По способу действия аппараты могут быть ручного (неавтоматического) и автоматического управления.

По назначению:

– коммутационные аппараты, предназначенные для замыкания и размыкания электрических цепей;

– аппараты токо- и пускорегулирующие;

– аппараты защиты электрических цепей (от чрезмерных токов и чрезмерного повышения напряжения).

При этом существуют сложные комплексные устройства, выполняющие одновременно разные функции:

коммутации и защиты, коммутации, регулирования и защиты.

По характеру работы электрические аппараты подразделяются на аппараты, работающие длительное время, аппараты для кратковременного режима работы и аппараты для повторно-кратковременного режима работы.

Принципы действия аппаратов автоматического управления могут быть различными: имеются аппараты электромагнитные, индукционные, электронные и др.

Общие требования ко всем видам аппаратов — простота их устройства и обслуживания, а также экономичность (малогабаритность, небольшой вес и минимальное количество дорогостоящих материалов, идущих на их изготовление).

Аппараты управления и защиты выбираются с учетом рода тока, величины напряжения, мощности электродвигателя, типа электрической защиты.

Электрические контактные соединения. Электрическим контактным соединением называется конструктивный узел, с помощью которого в процессе работы аппарата производятся периодические замыкания и размыкания электрической цепи. Контактная системы является одной из главных частей электроаппарата, так как от их конструктивного исполнения и качества зависит надежность его работы. Электрическим контактом называется место перехода тока из одной токоведущей части в другую.

В большинстве случаев контактное соединение состоит из подвижного и неподвижного элементов. Контактные соединения могут

состоять также из двух или нескольких неподвижных проводящих деталей, например, присоединения проводов к электроаппарату. Поверхность соприкосновения проводников носит название контактной поверхности.

В зависимости от условий работы различают три группы контактных соединений:

а) неподвижные контактные соединения, характеризующиеся жестким присоединением внутренних токоведущих частей или соединительных проводов к аппарату; сила прижатия одной контактной поверхности к другой обеспечивается главным образом болтовыми соединениями;

б) подвижные контактные соединения, которые возможно разъединять во время работы аппарата; сила прижатия контактных элементов обеспечивается пружинами;

в) скользящие контактные соединения, отличающиеся тем, что одна контактная поверхность перемещается относительно другой при непрерывно замкнутой цепи тока.

Вопрос 3. Выбор аппаратов управления и защиты электродвигателей

Выбор коммутационных аппаратов и аппаратов защиты к электроприемникам производится, исходя из номинальных данных последних и параметров питающей их сети, требований в отношении защиты приемников и сети от ненормальных режимов, эксплуатационных требований, в частности частоты включений и условий среды в месте установки аппаратов.

Выбор аппаратов по роду тока, числу полюсов, напряжению и мощности

Конструкция всех электрических аппаратов рассчитывается и маркируется заводами-изготовителями на определенные для каждого аппарата значения напряжения, тока и мощности, а также для определенного режима работы. Таким образом, выбор аппаратуры по всем этим признакам сводится, по существу, к отысканию на основании данных каталогов соответствующих типов и величин аппаратов.

Выбор аппаратов по условиям электрической защиты

При выборе аппаратов защиты следует иметь в виду возможность следующих ненормальных режимов:

а) междуфазные короткие замыкания,

- б) замыкания фазы на корпус,
- в) увеличение тока, вызванное перегрузкой технологического оборудования, а иногда неполным коротким замыканием,
- г) исчезновение или чрезмерное понижение напряжения.

Защита от токов короткого замыкания должна выполняться для всех электроприемников. Она должна действовать с минимальным временем отключения и должна быть отстроена от пусковых токов.

Защита от перегрузки необходима для всех электроприемников с продолжительным режимом работы, за исключением следующих случаев:

а) когда перегрузка электроприемников по технологическим причинам не может иметь места или маловероятна (центробежные насосы, вентиляторы и т. п.),

б) для электродвигателей мощностью менее 1 кВт.

Защита от перегрузки необязательна для электродвигателей, работающих в кратковременном или повторно-кратковременном режимах. Во взрывоопасных помещениях защита электроприемников от перегрузки обязательна во всех случаях. Защита минимального напряжения должна устанавливаться в следующих случаях:

а) для электродвигателей, которые не допускают включения в сеть при полном напряжении,

б) для электродвигателей, самопуск которых недопустим по технологическим причинам или представляет опасность для обслуживающего персонала,

в) для прочих электродвигателей, отключение которых при прекращении питания необходимо для того, чтобы понизить до допустимой величины суммарную пусковую мощность подключенных к сети электроприемников, и возможно с точки зрения условий работы механизмов.

Кроме сказанного выше, электродвигатели постоянного, тока с параллельным и смешанным возбуждением должны иметь защиту от чрезмерного повышения числа оборотов в случаях, когда такое повышение может привести к опасности для жизни людей или к значительным убыткам.

Защита от чрезмерного повышения числа оборотов может осуществляться различными специальными реле (центробежными, индукционными и т. п.).

Так как в силовых сетях особое значение имеет защита от перегрузки и от коротких замыканий, остановимся несколько подробнее на принципиальной стороне этого вопроса.

Ток короткого замыкания должен отключаться мгновенно или почти мгновенно. Величина его в различных участках сети может быть

весьма различна, но практически всегда можно считать, что аппараты защиты должны уверенно и быстро отключать любой ток, существенно больший пускового, и вместе с тем ни в коем случае не срабатывать при нормальном пуске.

Током перегрузки является любой ток, превышающий номинальный ток электродвигателя, но нет никаких оснований требовать отключения электродвигателя при каждом возникновении перегрузки.

Известно, что определенная перегрузка как электродвигателей, так и питающих их сетей, допустима, и что чем кратковременней перегрузка, тем больше может быть ее величина. Отсюда ясны преимущества для защиты от перегрузки таких аппаратов, которые имеют «зависимую характеристику», т. е. время срабатывания которых уменьшается с увеличением кратности перегрузки.

Поскольку, за очень редкими исключениями, аппарат защиты остается в цепи электродвигателя и при пуске, он не должен срабатывать при пусковом токе нормальной продолжительности.

Из приведенных соображений ясно, что в принципе для защиты от токов короткого замыкания должен применяться безынерционный аппарат, настроенный на ток, существенно больший пускового, а для защиты от перегрузок, наоборот, инерционный аппарат с зависимой характеристикой, выбранный так, чтобы он не срабатывал за время пуска. В наибольшей степени этим условиям удовлетворяет комбинированный расцепитель, сочетающий в себе тепловую защиту от перегрузки и мгновенное электромагнитное отключение при токе короткого замыкания.

Один только аппарат мгновенного действия, настроенный на ток, больший пускового, защиты от перегрузок не обеспечивает. Напротив, один только инерционный аппарат с зависимой характеристикой, при большой кратности перегрузки срабатывающий почти мгновенно, может осуществить оба вида защиты, если только он способен отстроиться от пусковых токов, т. е. если время его срабатывания при пуске больше продолжительности последнего.

С этой точки зрения дадим теперь оценку различным применяемым аппаратам защиты.

Плавкие предохранители, широко применявшиеся ранее в качестве защитных аппаратов, обладают рядом недостатков, основными из которых являются:

- а) ограниченная возможность применения для защиты от перегрузки, вследствие трудности отстройки от пусковых токов,
- б) недостаточная в ряде случаев предельная отключаемая мощность,

в) продолжение работы электродвигателя на двух фазах при перегорании вставки в третьей фазе, что часто приводит к повреждению обмоток электродвигателя,

г) отсутствие возможности быстрого восстановления питания,

д) возможность применения эксплуатационным персоналом некалиброванных вставок,

е) развитие аварии при некоторых типах предохранителей, вследствие переброски дуги на соседние фазы,

ж) довольно большой разброс время-токовых характеристик даже у однородных изделий.

Воздушные автоматы по сравнению с предохранителями являются более совершенными аппаратами защиты, но обладают неизбирательностью действия, особенно при нерегулируемых токах отсечки у установочных автоматов, у универсальных автоматов хотя и имеется возможность избирательности, но осуществляется она сложным путем.

Следует отметить, что у установочных автоматов защита от перегрузки осуществляется тепловыми расцепителями. Эти расцепители менее чувствительны, чем тепловые реле магнитных пускателей, но зато устанавливаются в трех фазах.

В универсальных автоматах защита от перегрузки является еще более грубой, поскольку в них имеются только одни электромагнитные расцепители. Вместе с тем, в универсальных автоматах имеется возможность осуществить защиту минимального напряжения.

Магнитные пускатели с помощью встраиваемых в них тепловых реле осуществляют чувствительную защиту от перегрузки в двух фазах, но, вследствие большой тепловой инерции реле, не обеспечивают защиты от коротких замыканий. Наличие в пускателях удерживающей катушки позволяет осуществить защиту минимального напряжения.

Защиту от перегрузки и коротких замыканий могут осуществлять токовые электромагнитные и индукционные реле, но они также могут действовать только через отключающий аппарат, и схемы с их применением получаются более сложными.

С учетом сказанного выше и совокупности требований, предъявляемых к аппаратам управления и защиты, могут быть даны следующие рекомендации.

1. Для ручного управления электроприемниками с малыми пусковыми токами могут быть использованы рубильники и предохранители, встраиваемые в различные электроконструкции или распределительные и силовые ящики. Ящики ЯРВ без предохранителей применяются в качестве разъединяющих аппаратов для троллейных линий, магистралей и т. п.

2. Для ручного управления электродвигателями мощностью до 3 - 4 кВт, не требующими защиты от перегрузок, применяются пакетные выключатели.

3. Для электродвигателей мощностью до 55 кВт, требующих защиты от перегрузки, наиболее употребительными аппаратами являются магнитные пускатели в комбинации с плавкими предохранителями или воздушными автоматами.

При мощности электродвигателей более 55 кВт применяются электромагнитные контакторы в комбинации с защитными реле или воздушными автоматами. При этом следует помнить, что контакторы не допускают разрыва цепи при коротких замыканиях.

4. Для дистанционного управления электроприемниками применение магнитных пускателей или контакторов становится необходимым.

5. Для ручного управления электроприемниками при малом числе включений в час возможно использование автоматических выключателей.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют виды коммутирующих устройств и каково их назначение?
2. Какой вид рубильника наиболее безопасен в обслуживании?
3. Каково назначение и устройство контроллера?
4. Какими параметрами характеризуются свойства электромагнитного реле?
5. В чем конструктивные различия между реле постоянного и переменного тока?
6. Объясните назначение реле времени.
7. В чем разница между контактором и реле управления?
8. Чем магнитный пускатель отличается от контактора?
9. Объясните работу механизма свободного электромагнитного расцепления.
10. Как работает комбинированный расцепитель?
11. Могут ли плавкие предохранители защитить потребитель от перегрузки?
12. Какие виды резистивных элементов применяют в силовых резисторах?

Тема 6.3. Разомкнутые системы автоматического управления электроприводами. Общие принципы построения систем автоматического управления электроприводами

Вопрос 1. Разомкнутые системы автоматического управления электроприводами

Разомкнутые системы автоматического управления могут быть очень сложными, иметь разветвленную программу работы и содержать много разнообразных программ. Но все они не меняют порядка своих действий.

разомкнутой системе автоматического управления отсутствует функция контроля процесса. Здесь управляют значением регулируемой величины путем подачи задания на управляющий орган. Это воздействие на управляющий орган оказывает человек или система автоматики другого процесса.

В *разомкнутых системах автоматического управления* эти функции, т.е. измерение управляемой величины, выявление ее отклонения от требуемого значения и выработка управляющего воздействия выполняется автоматическим управляющим устройством АУУ.

Для расчета частотных характеристик передаточную функцию *разомкнутой системы автоматического управления* целесообразно записывать через передаточные функции простейших динамических звеньев.

Автоматические системы, включающие вычислительные устройства, можно подразделить на три группы: информационные системы автоматического контроля; командные *разомкнутые системы автоматического управления*; замкнутые системы автоматического управления. Информационные системы обрабатывают данные по большому числу параметров сложных производственных процессов. Анализируя эти данные, они могут служить советчиком для диспетчера, управляющего процессами. Так, анализируя данные о расходах и напорах воды в разветвленных водопроводных сетях, эти системы подсказывают диспетчеру, в каком порядке следует включать насосы для создания оптимального режима водоснабжения объекта. Однако, выдавая информацию, эти системы не воздействуют на технологию процесса. Более сложные командные системы автоматического управления вырабатывают, формируют и осуществляют передачу команд по управлению технологическим процессом.

По своему устройству и принципу работы пресса являются машинами, в которых осуществляется цикличная работа, поэтому основ-

ное внимание обращается на разработку *разомкнутой системы автоматического управления*, обеспечивающей строго определенную последовательность и длительность технологических операций.

Автоматизированными электроприводами являются весьма разнообразные системы автоматического управления, начиная от простейших систем управления пуском, торможением и реверсом электродвигателей, которые в большинстве случаев являются *разомкнутыми системами автоматического управления*, и кончая сложными системами с использованием средств вычислительной техники.

Такая последовательность осуществляется в соответствии с заданной программой или циклограммой посредством различных командных устройств (командных приборов, реле времени, кулачковых механизмов, промежуточных реле, конечных и путевых выключателей, связываемых схемами блокировок), образующих вместе с объектом автоматизации *разомкнутые системы автоматического управления*.

В силу кратковременности процесса деформирования большинство систем автоматического управления в кузнечно-штамповочном производстве работают по разомкнутому принципу. *Разомкнутые системы автоматического управления* применяют тогда, когда результат воздействия на процесс заранее известен. По разомкнутому принципу работают коммутационные системы включения оборудования и средств автоматизации. Классические системы автоматического управления - замкнутые автоматические системы - применяются только на медленно работающем оборудовании, например, для управления температурным режимом нагревательных и термических печей. В замкнутых системах информация, например, о температуре в печи, преобразуется и подается на вход системы и в системе автоматического управления вырабатывается корректирующий сигнал для поддержания заданного уровня выходной величины или для изменения ее по определенному закону.

Вопрос 2. Принципы автоматического управления электроприводами в разомкнутых контактно-релейных системах

Для управления асинхронными электродвигателями используются релейно-контакторные аппараты, которые реализуют типовые схемы пуска, реверса, торможения, остановки электропривода.

На базе типовых схем релейно-контакторного управления разрабатываются схемы управления электроприводами производственных механизмов. Пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором небольшой мощности осуществляется обычно при помощи маг-

нитных пускателей. В данном случае магнитный пускатель состоит из контактора переменного тока, двух встроенных в него электротепловых реле.

Простейшая схема управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Схема использует питание силовых цепей и цепей управления от источника одного и того же напряжения (рис. 6.2.1.). Для повышения надежности работы релейных контакторных аппаратов, большей частью рассчитанных на низкое напряжение, и для повышения безопасности эксплуатации применяются схемы с питанием цепей управления от источника пониженного напряжения.

Если рубильник $S1$ включен, то для пуска электродвигателя необходимо нажать на кнопку $S2$ («пуск»). При этом катушка контактора $K1M$ получит питание, замкнутся главные контакты $K1(1—3)M$ в силовой цепи и статор двигателя присоединится к сети. Электродвигатель начнет вращаться. Одновременно в цепи управления закроется замыкающий вспомогательный контакт $K1A$, шунтирующий кнопку $S2$ («пуск»), после чего эту кнопку не нужно удерживать в нажатом состоянии, так как цепь катушки контактора $K1M$ остается замкнутой. Кнопка $S2$ с самовозвратом и за счет действия пружины возвращается в исходное разомкнутое состояние.

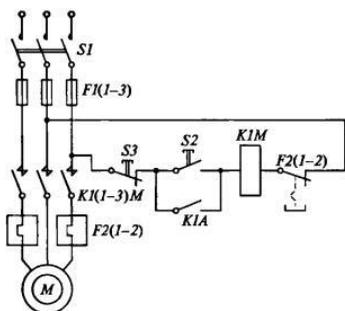


Рис.6.2.1 Схема управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором

Для отключения электродвигателя от сети нажимается кнопка $S3$ («стоп»). Катушка контактора $K1M$ обесточивается и замыкающие контакты $K1(1—3)M$ отключают обмотки статора от сети. Одновременно размыкается вспомогательный контакт $K1A$. Схема приходит в исходное, нормальное состояние. Вращение электродвигателя прекращается.

Схема предусматривает защиту двигателя и цепи управления от коротких замыканий плавкими предохранителями $F1(1-3)$, защиту от перегрузки двигателя двумя электротепловыми реле $F2(1-2)$. Пружинный привод контактов магнитного пускателя $K1(1-3)M$, $K1A$ на размыкание реализует так называемую нулевую защиту, которая при исчезновении или значительном снижении напряжения отключают двигатель от сети. После восстановления нормального напряжения самопроизвольного пуска двигателя не произойдет.

Более четкая защита от снижения или исчезновения напряжения может быть выполнена при помощи реле пониженного напряжения, катушка которого присоединяется к двум фазам силовой цепи, а его замыкающий контакт включен последовательно с катушкой контактора. В этих схемах вместо установки на вводе рубильников с предохранителями применяют воздушные автоматы.

Схема управления асинхронным электродвигателем с коротко-замкнутым ротором с использованием магнитного пускателя и воздушного автоматического выключателя. Автоматический выключатель $F1$ исключает возможность обрыва одной фазы от срабатывания защиты при однофазном коротком замыкании, как это бывает при установке предохранителей (рис. 6.2.2). Нет необходимости заменять элементы в предохранителях при сгорании их плавкой вставки.

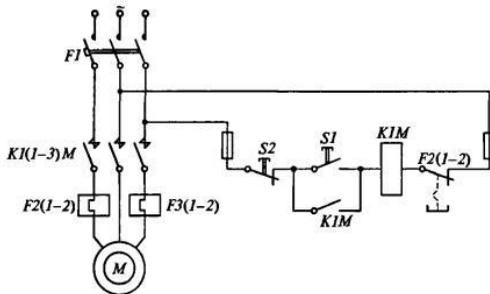


Рис 6.2.2. :ма управления асинхронным электродвигателем с использованием воздушного автоматического выключателя

В схемах управления электродвигателями применяются автоматы с электромагнитными расцепителями либо с расцепителями электромагнитным и электротепловым. Расцепители электромагнитного типа характеризуются нерегулярной отсечкой, равной десятикратному току, и служат для защиты от токов короткого замыкания. Электротепловые расцепители обладают обратозависимой характеристикой времени от тока. Так, расцепитель с номинальным током 50 А срабатывает при

1,5-кратной нагрузке через 1 ч, а при 4-кратной — через 20 с. Электротепловые расцепители не защищают двигатель от перегрева при перегрузках на 20 — 30%, но могут защитить двигатель и силовую цепь от перегрева пусковым током при застопоривании приводного механизма. Поэтому для защиты электродвигателей от длительных перегрузок при использовании автомата с электротепловым расцепителем такого типа применяются дополнительные электротепловые реле, как и при использовании автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем. Многие выключатели, например, АП-50, защищают электродвигатель одновременно от токов короткого замыкания и от перегрузок. Принципы действия схем (см. рис. 6.2.1., 6.2.2.) для пуска и останова аналогичны. Эти схемы нашли широкое применение для управления нереверсивными электроприводами транспортеров, воздуходувок, вентиляторов, насосов, лесоперерабатывающих и заточных станков.

Схемы управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с реверсивным магнитным пускателем. Эта схема применяется в случаях, когда необходимо изменять направления вращения электропривода (рис. 6.2.3.), например, в приводе электролебедок, рольгангов, механизмов подачи станков и т.д. Управление двигателями осуществляется реверсивным магнитным пускателем. Включение двигателя для вращения «вперед» осуществляется нажатием кнопки S1. Катушка контактора K1M будет под напряжением, и замыкающие главные контакты K1(1—3)M присоединят электродвигатель к сети. Для переключения электродвигателя необходимо нажать на кнопку S3 («стоп»), а затем на кнопку S2 («назад»), что вызовет отключение контактора K1M и включение контактора K2M. При этом, как видно из схемы, две фазы на статоре переключатся, т.е. произойдет реверс вращения электродвигателя. Во избежание короткого замыкания в цепи статора между первой и третьей фазой вследствие ошибочного одновременного нажатия на обе пусковые кнопки S1 и S2 реверсивные магнитные пускатели имеют рычажную механическую блокировку (на схеме не показана), которая препятствует втягиванию одного контактора, если включен другой. Для повышения надежности кроме механической блокировки в схеме предусмотрена электрическая блокировка, которая осуществляется при помощи размыкающих вспомогательных контактов K1A.2 и K2A.2. Обычно реверсивный магнитный пускатель состоит из двух контакторов, заключенных в один корпус.

В практике применяется также схема реверса асинхронных короткозамкнутых электродвигателей с использованием двух отдельных нереверсивных магнитных пускателей. Но для устранения возможно-

сти короткого замыкания между первой и третьей фазой силовой цепи от одновременного включения обоих пускателей применяют двухцепные кнопки. Например, при нажатии кнопки S1 («вперед») цепь катушки контакторов K1M замыкается, а цепь катушки K2M при этом дополнительно размыкается. Реверс электродвигателей постоянного тока осуществляется изменением полярности напряжения силовой цепи.

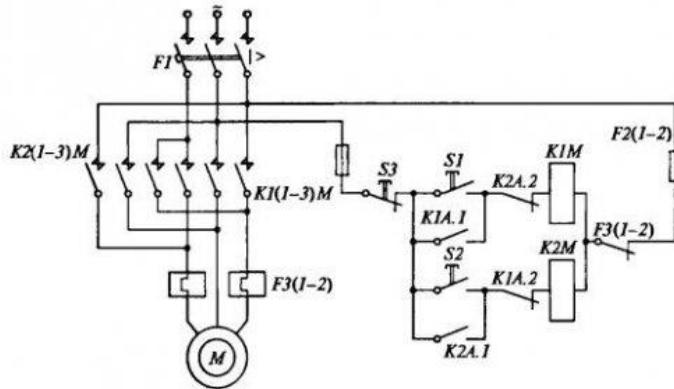


Рис.6.2.3. Схема управления асинхронным электродвигателем с реверсивным пускателем

Вопрос 3. Типовые узлы контактно-релейных схем управления электроприводами в функции времени, тока, скорости, пути

Любой из принципов автоматического управления запуском и торможением реализуется в схемах электроприводов типовыми узлами.

$$\theta = \alpha, \theta = \beta, r = h(\theta), r = g(\theta)$$

$$A = \iint_S dA = \int_{\alpha}^{\beta} \int_{h(\theta)}^{g(\theta)} r dr d\theta.$$

При подаче напряжения на главные цепи и цепи управления врубается электромагнитное реле времени первой ступени РУ1 и, размыкая собственный контакт, исключает возможность включения контакторов ускорения КУ1 и КУ2.

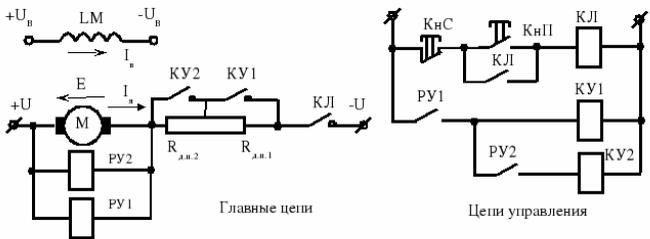
При нажатии на КнП врубается КЛ, который своим основным

контактом подключает к напряжению якорную цепь мотора, замыкающими контактами шунтирует КнП (КЛ становится на самопитание) и подготавливает цепь включения КУ, а размыкающим контактом разрывает цепь питания катушки реле РУ1 и реле начинает отсчет выдержки времени. Движок начинает разгоняться по реостатной механической характеристике 1. При протекании пускового тока по $R_{дп1}$ срабатывает реле времени 2-ой ступени РУ2, т.к. падение напряжения от пускового тока на $R_{дп1}$ велико. Контакт реле РУ2 замыкается в цепи питания катушки контактора КУ2. Реле времени РУ1 по истечении данной выдержки времени отключается и замыкает собственный контакт. Получает питание катушка КУ1. Контактор КУ1 врубается и закорачивает $R_{дп1}$. Движок перебегает на механическую реостатную характеристику 2. Катушка реле РУ2 теряет питание. Реле РУ2 отсчитав заданную выдержку времени отключается и замыкает собственный контакт. Врубается КУ2, закорачивает $R_{дп2}$ и движок перебегает на естественную характеристику. Достоинство управления в функции времени – простота и надежность реле времени, удобство регулировки их уставок, применение однотипных реле для движков различной мощности. При управлении в функции времени в отличие от управления в функции скорости либо тока, отсутствует опасность «застревания» мотора на первой характеристике при $M_c' > M_c$. Все это обусловило обширное распространение управления в функции времени.

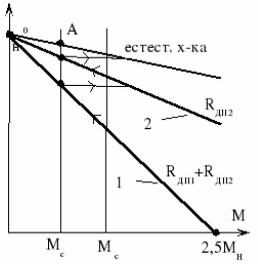
Типовой узел, обеспечивающий автоматический запуск ДПТ с независимым возбуждением в функции скорости в две ступени, механические свойства мотора и спектра напряжения на зажимах якоря мотора приведены на рис. 3.4.

Катушки РУ1 и РУ2 подключены на зажимы якоря мотора, т.е. на напряжение $U_{я}$, которое различается от E лишь на величину падения напряжения от тока якоря на сопротивлении якоря $R_{я}$. Следовательно РУ1 и РУ2 являются аппаратами, контролирующими э.д.с. вращения мотора. Так как э.д.с. при неизменном магнитном потоке пропорциональна скорости вращения мотора $\omega E = k\Phi_n\omega$, то рассматриваемый узел осуществляет управление запуском в функции скорости при ее косвенном контроле.

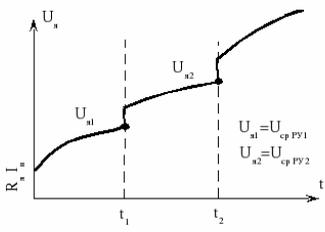
При нажатии КнП врубается КЛ. Напряжение на катушках РУ1 и РУ2 не достаточно и равно падению напряжения в якоря от исходного броска пускового тока $I_{п}R_{я}$. Потому РУ1 и РУ2 сработать не могут, контакторы КУ1 и КУ2 отключены и в цепь якоря введено $R_{дп1} + R_{дп2}$. Движок запускается по характеристике 1. По мере ускорения мотора растет E и $U_{я}$.



а)



б)



в)

Рис. 6.2.4. а) схема включения мотора;
 б) механические свойства мотора;
 в) диаграмма напряжения на зажимах якоря.

При $U_{Я1} = U_{ср. РУ1}$ врубается РУ1 и включает КУ1, который закорачивает первую ступень сопротивления $R_{ДП}$. Движок перебегает на характеристику 2. Скорость мотора продолжает расти, потому растет и его э.д.с. При $U_{Я2} = U_{ср. РУ2}$ врубается РУ2, контактор КУ2, закорачивающий вторую ступень сопротивления $R_{ДП2}$ и движок выходит на естественную характеристику.

$$z = f(r, \theta)$$

Типовой узел применяется при разгоне ДПТ независящего возбуждения методом ослабления магнитного потока для расширения спектра регулирования ω . На рисунке не показаны цепи управления контакторами КЛ, КУ1, КУ2. запуск до основной скорости может осуществляться одним из рассмотренных методов. Контроль $I_{Я}$ осуществляется токовым реле РУП.

Работа типового узла начитается опосля включения контактора КУ2 при выходе М на естественную характеристику. При замыкании главенствующего контакта КУ2 от броска якоря срабатывает реле РУП и замыкает собственный контакт, шунтирующий реостат возбуждения $R_{ДВ}$. Ранее он был закорочен размыкающим контактом КУ2. Следовательно магнитный поток мотора Φ сохраняется равным Φ_H и движок продолжает разгон по естественной характеристике. Когда $I_{я}$ снизится до $I_{возв\ РУП}$, реле РУП отключается, размыкает собственный контакт и в цепь ЛМ вводится $R_{ДВ}$. Происходит ослабление Φ и рост ω . При всем этом ток якоря возрастает и , когда он достигнет значения $I_{сраб\ РУП}$, контакт реле замыкается. Начинается усиление Φ и понижение $I_{я}$. Скорость M будет продолжать расти, т.к. за счет роста $I_{я}$ $M > M_c$. При спадании $I_{я}$ до величины $I_{возв\ РУП}$ реле РУП вновь открывает собственный контакт, что повлечет за собой ослабление Φ и т.д. Реле РУП срабатывает пару раз, до того как движок достигнет скорости, данной положением ползунка реостата $R_{ДВ}$. $I_{я}$ колеблется в пределах от $I_{возв\ РУП}$ до $I_{сраб\ РУП}$, потому метод управления получил заглавие вибрационного. Он обеспечивается и в этом случае, когда ползунок реостата $R_{ДВ}$ быстро перемещается в сторону ослабления Φ .

Тема 6.4. Виды блокировочных схем

Вопрос 1. Блокировочные связи и сигнализация в схемах автоматического управления электроприводами

Блокировочные связи в схемах автоматического управления электроприводами обеспечивают необходимую последовательность включения и отключения отдельных ее элементов. Наличие блокировок предотвращает повреждение отдельных частей механизмов, работающих согласованно, устраняет опасность выхода из строя оборудования в результате неправильных действий обслуживающего персонала и повышает надежность установки в целом.

Блокировка замыкающего контакта пусковой кнопки обеспечивает питание контактора при опускании кнопки. Такая блокировка предотвращает самозапуск механизма при внезапных исчезновениях и появлениях питающего напряжения, что исключает возможность несчастных случаев, например при профилактических осмотрах и ремонте механизмов. Блокировка реверсивных контакторов и магнитных пускателей исключает одновременные включения контакторов при заедании или залипании подвижной части аппаратуры, при неправильных действиях с кнопками и т. д.

В схеме на рисунке 6.2.5,а предусматривается включение второго электродвигателя (контактор К.2) только после включения первого (контактор К1). Блокировочная связь, посредством которой выполняется это условие, осуществляется включением замыкающего блок-контакта К1 в цепь катушки контактора К2.

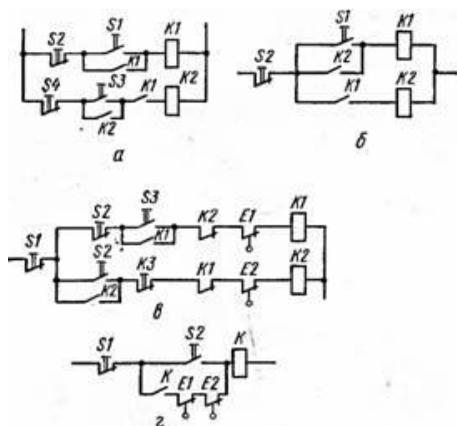


Рис. 6.2.5. Блокировочные связи в схемах управления

На рисунке 6.2.5,6 изображена схема управления, предусматривающая только одновременную работу двух двигателей. Блокировочная связь в этой схеме осуществляется замыкающим блок-контактом контактора К1 в цепи катушки К2, а замыкающим блок-контактом К2, включенным параллельно контакту кнопки S1. При нажатии кнопки S1 включится контактор К1, который, закрыв свой блок-контакт, подаст напряжение на катушку контактора К2. Контактор К2, сработав, зашунтирует своим блок-контактом кнопку S1 и создаст цепь независимого питания катушки К1. Если по каким-либо причинам контактор К2 не включится, то кнопка S2 не будет зашунтирована и после ее отпускания вся схема выключится.

Путевые блокировки ограничивают ход рабочего органа механизма при помощи путевых и конечных выключателей. Они предупреждают повреждение механизма и обеспечивают высокую точность выполнения технологической операции.

На рисунке 6.2.5, в изображена схема управления реверсивным электроприводом с ограничением перемещения рабочего механизма. Это ограничение достигается установкой в необходимых местах конечных выключателей E1 и E2, размыкающие контакты которых находятся в цепи катушек соответствующих контакторов.

При включении рабочим механизмом какого-нибудь конечного выключателя электродвигатель останавливается, и повторный пуск его может быть осуществлен только в обратном направлении. Схема, показанная на рисунке 6.2.5, г, позволяет автоматически останавливать механизм в двух заданных точках. Достигается это установкой путевых выключателей E1 и E2, размыкающие контакты которых включаются последовательно с блок-контактом К, шунтирующим кнопку S2. После пуска двигателя механизм приходит в движение и при достижении места остановки нажимает на путевой выключатель, например E1, и электродвигатель останавливается. После выполнения необходимой технологической операции вновь нажимают кнопку S2 и механизм продолжает дальнейшее движение.

Сигнализация, применяемая в электрических схемах электропривода, служит для контроля наличия сигнала, например, напряжения, технического состояния и положения включающих и отключающих аппаратов, последовательности операций, совершаемых схемой электропривода и для контроля аварийного состояния схемы.

Световая сигнализация осуществляется при помощи различной сигнальной арматуры: табло, транспарантов, семафоров. При этом световой сигнал может быть воспроизведен ровным или мигающим светом, а также свечением ламп неполным накалом. В некоторых случаях сигнализация о срабатывании защиты может быть выполнена при помощи специальных сигнальных указательных реле-блинкеров. Звуковая сигнализация выполняется при помощи звонков, гудков и сирен.

Сигнализация по назначению может быть разделена на две основные группы:

- ✓ сигнализация положения (состояния) — для информации о состоянии технологического оборудования, например, включено — отключено;
- ✓ предупреждающая и аварийная—для информации об отключениях наиболее важных объектов, например, вентиляции или отклонении технологического процесса от заданного хода.

Сигнализация положения выполняется для механизмов, которые имеют два или более рабочих положения. Наиболее распространены две структуры построения схем сигнализации положения (состояния) технологических механизмов:

схемы сигнализации, совмещенные со схемами управления; схемы сигнализации с независимым от схем управления питанием на группу технологических механизмов одного или разного назначения.

Схемы сигнализации, совмещенные со схемами управления, как правило, выполняют в том случае, если полезная площадь щитов и

пультов позволяет применить сигнальную аппаратуру без ограничения ее размеров и допускающую прямое питание от цепей управления. Сигнализация положения (состояния) технологических механизмов в таких схемах может осуществляться одним или двумя световыми сигналами.

На рисунке 6.2.6 приведены три схемы включения сигнальных ламп. В первом случае (рис. 6.2.6, а) лампа горит, когда магнитный пускатель К включен: неисправность лампы равносильна ложному сигналу, так как погашенная лампа сигнализирует об отключении. От этого недостатка свободна схема с двумя лампами (рис. 6.2.6,б). В любом положении магнитного пускателя одна из ламп горит (Н1 — пускатель включен, Н2 — пускатель отключен). Если обе же лампы погашены, то сигнализация неисправна.

На рисунке 6.2.6,в показана схема одноламповой сигнализации. Когда пускатель включен, лампа горит полным накалом, если отключен — неполным благодаря диоду V.

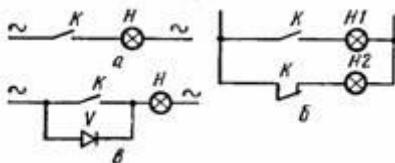


Рис. 6.2.6. Схемы включения сигнальных ламп

Схемы предупреждающей и аварийной сигнализаций, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала о нарушении нормального хода процесса, воспроизводятся ровным или мигающим светом и сопровождаются, как правило, звуковым сигналом. Наиболее распространены схемы сигнализации с центральным съемом звукового сигнала. Они дают возможность принимать новый звуковой сигнал до размыкания контактов, вызвавших появление предыдущего сигнала. Мнемосхемы. На рабочих плоскостях щитов и пультов управления сложными технологическими процессами часто размещают мнемосхемы — комплекс символов, изображающих элементы дистанционного управления объекта: заслонки, клапаны, задвижки, шиберы, насосы, вентиляторы и т. п.

Мнемосхемы бывают мимическими (несветящимися) и световыми. В мимических мнемосхемах оборудование и соединительные связи изображаются сплошными накладными плитками. Между изображением оборудования располагаются сигнальные лампы.

В световой мнемосхеме все контролируемые и управляемые уз-

лы объекта и связи между ними отображаются световыми символами различных цветов.

Если контролируемые пункты (КП), где размещается технологическое оборудование, имеют сходную структуру (однотипные птичники, коровники, свинарники, инкубаторы и т. д.), то мнемоническую схему выполняют общей для всех КП (обобщенная мнемосхема). Это экономит проводниковый материал, сигнальную аппаратуру и площадь, занимаемую мнемощитами.

Световая сигнализация обобщенной мнемосхемы осуществляется по вызову оператора посредством клавиатуры, совмещенной с групповой сигнализацией (в одной арматуре сигнальная лампа и клавиша).

Приход известительного сигнала о нарушении технологического процесса сопровождается звуковой сигнализацией и мигающим светом кнопки-лампы, символизирующей комплект контролируемого оборудования.

Оператор квитирует (гасит) звуковой сигнал нажатием светящейся кнопки, при этом на обобщенной мнемосхеме воспроизводится состояние КП и причина, вызвавшая предупредительный сигнал. Кнопка, светящаяся до этого мигающим светом, горит ровным светом до тех пор, пока не будет устранено нарушение режима.

На рисунке 6.2.7. показана принципиальная схема групповой сигнализации для n — контролируемых пунктов, в каждом из которых по m объектов сигнализации (технологические датчики $E1...E_m$ при нарушении режима замыкаются). $1 — n$ — адресные провода линии связи между КП и диспетчерским пунктом (ДП).

Для циклического переключения адресных проводов используется контактный распределитель, выполненный на базе магнитоуправляемых контактов ($E1...E_n$), поочередно возбуждаемых магнитом, насаженным на консоль, которая получает вращение от редукторного микродвигателя M .

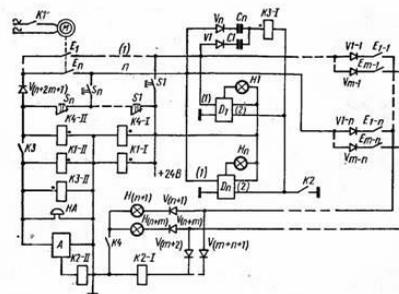


Рис. 6.2.7. Принципиальная схема групповой сигнализации

Если в момент подачи на шинку 1 положительного потенциала контакт Е1—1 уже замкнут, то сработает реле К2, а затем К3 — его первая катушка получает импульсное питание через конденсатор С1, одновременно включается звуковая сигнализация (НА), реле К1 теряет возбуждение — его катушки включены встречно и распределитель останавливается. Кроме того, на вход 2 ячейки памяти А1 поступает отрицательный сигнал, который совместно с положительным сигналом (1), поступившем с шинки 1, приводит последнюю в возбужденное состояние (пампа Н1 загорается). Наряду со звуковой сигнализацией вступает в работу генератор импульсов А, на выходе которого включена вторая обмотка реле К2, благодаря чему последняя начинает импульсно возбуждаться, а лампа групповой сигнализации горит мигающим светом.

При нажатии кнопки S1 отключаются цепи звуковой сигнализации и включается реле К4 — на многомеханизме воспроизводится состояние КП (горит лампа Н (и+1)).

При последующем цикле опроса заряженный конденсатор С1 обязательно предотвращает повторное возбуждение звукового сигнала.

Ячейка памяти теряет возбуждение в том случае, когда на ее вход 1 подан положительный сигнал, а на входе 2 сигнал отсутствует. При подаче положительного сигнала на вход 1 состояние схемы ячейки не изменится и только при подаче на вход 2 отрицательного потенциала она включается.

Ячейка сохранит свое состояние и при исчезновении сигналов (сначала 1, затем 2 или оба одновременно). Ячейки могут быть выполнены на базе герконных реле, интегральных схем и т. д.

Генератор импульсов выполнен на базе герконного реле, обмотка которого шунтирована конденсатором. При подаче напряжения питания конденсатор начинает заряжаться через резистор, включенный последовательно с обмоткой.

При напряжении на конденсаторе, равном напряжению срабатывания реле, реле К, включаясь своим контактом, шунтирует цепь заряда. Конденсатор С начинает разряжаться до напряжения отключения реле.

В качестве сигнальных ламп применяются лампы накаливания и неоновые лампы.

В системах отображения информации используются миниатюрные, сверхминиатюрные и коммутаторные лампы накаливания. Наименование типа ламп, например, МН, означает: накаливания, миниатюрная, НСМ — накаливания, сверхминиатюрная; КМ — коммутаторная, миниатюрная. Неоновые лампы относятся к ионным элек-

тровоакуумным приборам тлеющего разряда с холодным катодом.

Лампы включаются в сеть последовательно с балластным резистором, с тем чтобы тлеющий разряд не переходил в дуговой. Обозначение ламп шифруется следующим образом: Т — тлеющего разряда, Н — неоновая.

На базе полупроводниковой технологии разработаны новые источники света — светодиоды. Миниатюрный источник света из фосфата галлия имеет маркировку АЛ 102, на основе карбида кремния КЛ101.

Вопрос 2. Типовые схемы разомкнутых систем автоматического управления электроприводами постоянного и переменного тока

Систему управления АЭП, построенную по принципу разомкнутого управления, называют разомкнутой системой. В ней используется только один канал информации – о требуемом значении регулируемой величины $q(t)$. Функциональная схема такой системы управления приведена на рис.6.2.8.

В узел суммирования на входе АУУ, как и в предыдущем случае, от КО подаётся информация о $q(t)$. Стрелка, обозначающая $q(t)$, направлена в незатемнённый сектор узла суммирования. Это означает, что задающий сигнал поступает в узел суммирования со знаком «+».

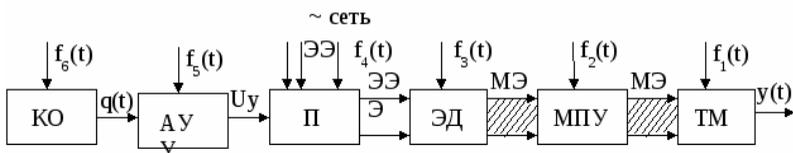


Рис. 6.2.8 - Функциональная схема разомкнутой системы управления АЭП

Автоматическое управляющее устройство формирует сигнал управления преобразователем U_y , используя только информацию о величине задающего воздействия $q(t)$, которое на вход АУУ подаётся от командного органа (КО). В результате того, что на каждый элемент функциональной схемы оказывают влияние возмущающие воздействия $f_i(t)$, количество поступающей к технологической машине механической энергии, а значит и ход технологической операции будут изменяться. В результате этого действительное значение регулируемой величины $y(t)$ может существенно отличаться от требуемого значения $q(t)$. Разность между требуемым и действительным значением ре-

гулируемой величины в установившемся режиме (когда регулируемая величина $y(t)$ не изменяется во времени) называют ошибкой управления $x(t) = q(t) - y(t)$.

Разомкнутые системы АЭП применяются в том случае, если появление ошибки управления не приводит к существенным потерям в технологии (уменьшению производительности ТМ, снижению качества продукции и др.)

Контрольные вопросы:

1. В чем различие между разомкнутыми и замкнутыми системами автоматического управления?
2. Чем блокируется одновременное включение конакторов?
3. Каково назначение реле времени?
4. Каково назначение реле скорости?
5. Каково назначение реле тока?
6. Чем объясняется замедление срабатывания реле напряжения?
7. Объясните работу электропривода с «электрическим валом».

Тема 6.5. Замкнутые системы автоматического управления электроприводами. Схемы замкнутых систем автоматического управления электроприводами

Вопрос 1. Виды обратных связей электропривода

Рассмотрим работу системы автоматического управления на примере схемы. В качестве технологического процесса возьмем процесс определения и установку положения руки робота и установку ее в заданную точку пространства (в частности по одной из трех осей, например, оси X) Объектом управления является рука робота, исполнительным механизмом – электродвигатель перемещения руки робота по оси X., регулятором - устройство подачи напряжения на двигатель руки. Остальные элементы входят в автоматическую систему управления роботом. Система работает следующим образом: Допустим рука робота находится в точке на оси OX с координатой X1. Однако, согласно программы работы робота его рука должна быть в точке на оси OX с координатой X2. Причем X2 больше X1. Координата X2 заложена в схеме сравнения. Датчик - преобразователь выдает электрический сигнал пропорциональный координате X1, который подается на схему сравнения. Одновременно по другому каналу на схему сравнения подается электрический сигнал соответствующий заданной коор-

динате X_2 положения руки робота. В схеме сравнения производится анализ двух поступающих сигналов и вырабатывается "сигнал ошибки" или, иначе, сигнал рассогласования. В рассматриваемом случае сигнал с датчика будет меньше сигнала "НОРМА". т.е. Замкнутая схема управления электроприводом положения. Унорма - Датчик = Δ . Сигнал ошибки имеет положительный знак. Он подается на регулятор напряжения. Регулятор подает напряжение на исполнительный механизм (двигатель). Двигатель начинает перемещать руку робота. Причем, направление перемещения зависит от знака ошибки, а скорость перемещения – от величины ошибки. По мере приближения к заданной точке на оси координат величина ошибки уменьшается, скорость движения руки уменьшается. При Унорма - Датчик = 0 (сигнал ошибки равен нулю) рука робота останавливается в заданной точке на оси X. Так как регулирование ведется одновременно по трем осям (X,Y,Z), то рука робота остановится в строго заданной программой точке пространства. Иногда такие системы называют следящими. Если на вход схемы сравнения подавать по каналу "НОРМА" программно изменяющийся сигнал, то система будет обрабатывать заданную программу изменения параметра. Если в руку робота поместить сварочную головку сварочного автомата, то робот по программе сделает сварочный шов необходимой конфигурации и длины.

Вопрос 2. Замкнутые системы автоматического управления электроприводами с асинхронными электродвигателями (тиристорный регулятор напряжения — двигатель, преобразователь частоты — двигатель)

Характеристики разомкнутых ЭП, построенных по системе «преобразователь—двигатель» (П — Д), имеют относительно невысокую жесткость из-за влияния внутреннего сопротивления преобразователя. Для получения значительных диапазонов и высокой точности регулирования скорости требуется иметь более жесткие характеристики, которые можно получить лишь в замкнутой системе П—Д. Кроме того, характеристики разомкнутой системы не обеспечивают точного регулирования (или ограничения) тока и момента, что также требует перехода к замкнутой системе.

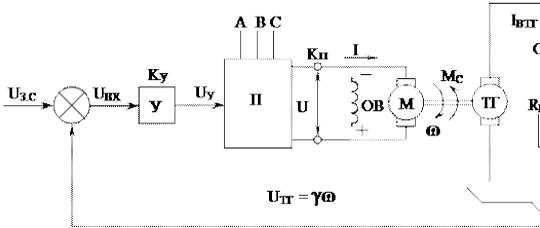


Рисунок 6.3.1 - Схема замкнутой системы П—Д с отрицательной обратной связью по скорости

Замкнутая система П—Д с отрицательной обратной связью по скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Основу структурной схемы составляет разомкнутая схема П — Д. На валу ДПТ находится датчик скорости — тахогенератор (ТГ) (рис. 6.3.1), выходное напряжение которого пропорциональное скорости ДПТ и является сигналом обратной связи. Коэффициент пропорциональности носит название коэффициента обратной связи по скорости и может регулироваться за счет изменения тока возбуждения ТГ .

Сигнал обратной связи $U_{тг} = \gamma \omega = U_0 \cdot c$ сравнивается с задающим сигналом скорости $U_{з.с}$, и их разность в виде сигнала рассогласования (ошибки)

$$U_{вх} = U_{з.с} - \gamma \omega$$

подается на вход дополнительного усилителя У, который с коэффициентом K_y усиливает сигнал рассогласования $U_{вх}$ и подает его в виде сигнала управления U_y на вход преобразователя П.

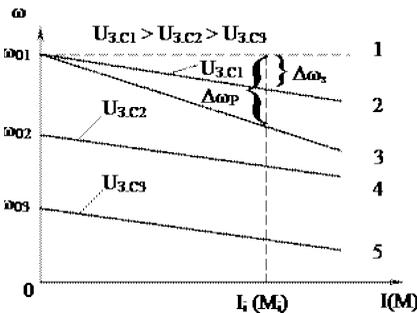


Рисунок 6.3.2 – Механические характеристики ДПТ в замкнутой системе регулирования с отрицательной обратной связью (ООС) по скорости

Жесткость получаемых характеристик в замкнутой системе больше жесткости характеристик в разомкнутой системе (рисунок 6.3.2). Сами характеристики, представляя собой прямые параллель-

ные линии 2, 4, 5, расположение которых определяется уровнем задающего сигнала по скорости и соответственно скоростью холостого хода ω_0 . Здесь же для сравнения приведена характеристика ДПТ в разомкнутой (прямая 3) системе.

В замкнутой системе может быть получена абсолютно жесткая характеристика, которая изображена на рисунке 2 в виде штриховой линии 1.

Принцип действия тиристорного регулятора напряжения рассмотрим на примере регулирования напряжения на однофазной нагрузке переменного тока зн с помощью однофазного ТРН. Силовая часть ТРН (рис. 6.3.3, а) образована двумя тиристорами VS1 и VS2, включенными в цепь нагрузки по встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полуцикла напряжения сети U_1 . Управление тиристорами осуществляется с помощью системы импульсно-фазового управления (СИФУ), которая подает на тиристоры импульсы управления U_a и обеспечивает их сдвиг на угол управления, а в соответствии с величиной внешнего сигнала управления U_y .

Если на тиристоры VS1 и VS2 не подаются импульсы управления от СИФУ, то они закрыты и напряжение на нагрузке $U_{\text{рег}}$ равно нулю. При подаче на тиристоры импульсов управления в момент их естественного открывания (угол управления $\alpha = 0$) они полностью откроются (рис. 6.3.3, б) и к нагрузке будет приложено нее напряжение сети $U_1 = U_{\text{рег}}$ за вычетом небольшого (1...3 В) падения напряжения на тиристорах.

Если осуществлять подачу импульсов управления на тиристоры с некоторой задержкой относительно момента их естественного открытия (угол управления $\alpha \neq 0$), то к нагрузке будет прикладываться часть напряжения сети (рис. 6.3.3, б). Изменяя угол управления α от нуля до π , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля при неизменной частоте этого напряжения.

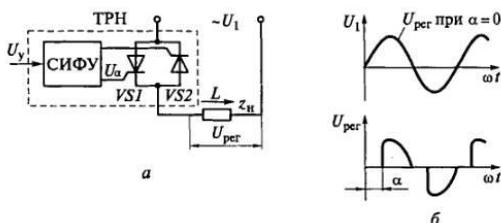


Рис. 6.3.3. Схема (а) и кривые напряжения (б) однофазного тиристорного регулятора напряжения

При активной нагрузке ТРН кривая тока / в нагрузке будет повторять кривую напряжения на ней, а при активно-индуктивном характере нагрузки будет от нее отличаться. Форма напряжения на нагрузке является несинусоидальной. Несинусоидальное напряжение можно представить как совокупность нескольких синусоидальных напряжений (гармоник). Частота изменения первой из них (основной гармоники) равна частоте питающего напряжения, а частоты других гармоник больше, чем первой. Обычно 1-я гармоника имеет наибольшую амплитуду и по ней ведутся все основные расчеты.

Закрытие тиристоров в непроводящий полупериод происходит за счет напряжения сети (так называемая естественная коммутация тиристоров), что позволяет использовать в схемах ТРН наиболее простые, надежные и дешевые однооперационные тиристоры.

На основе однофазной схемы (см. рис. 6.3.3, а) построены ТРН для регулирования напряжения на трехфазной нагрузке (рис. 6.3.4, а). Пример силовой части схемы для регулирования напряжения на статоре трехфазного асинхронного двигателя АД, состоящей из шести тиристоров VS1... VS6, приведена на рис. 6.3.4., б. За счет добавления в эту схему двух пар тиристоров создаются реверсивные схемы электропривода, а с помощью соответствующего управления ТРН могут обеспечивать и динамическое торможение двигателей.

В схемах ТРН вместо одной пары встречно-параллельно включенных тиристоров может применяться полупроводниковый прибор — симистор, обеспечивающий протекание тока в нагрузке в оба полупериода питающего напряжения и имеющий такой же принцип действия, что и тиристор. Его применение сокращает число электронных приборов вдвое и упрощает схему СИФУ, хотя он и менее надежен в работе.

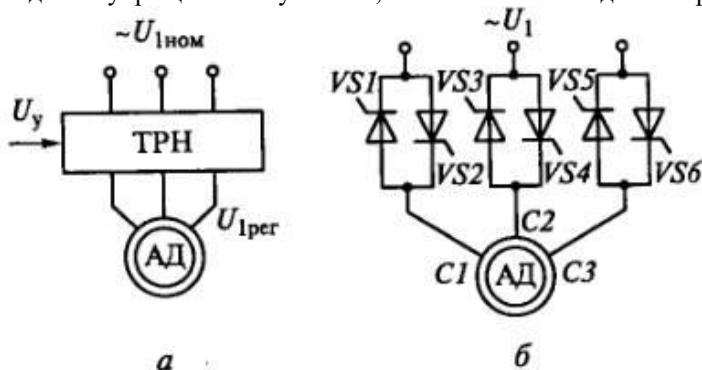


Рис. 6.3.4. Схемы включения тиристорного регулятора напряжения на трехфазной нагрузке: а — общая; б — силовая части

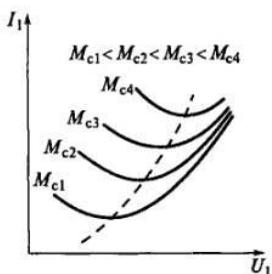


Рис. 6.3.5. U-образные характеристики асинхронного двигателя

Тиристорные регуляторы напряжения находят широкое применение в электроприводах переменного тока, где за счет регулирования напряжения на статоре асинхронных двигателей обеспечиваются регулирование токов и моментов двигателей в переходных режимах, симметрирование токов в фазах, ряд защит двигателя и некоторые другие опции. Одна из них связана с повышением энергетических показателей работы асинхронных электроприводов при малых нагрузках. Тиристорные регуляторы напряжения, выполняющие эту функцию, получили название регуляторов экономичности, или экономайзеров.

Тема 6.6. Виды автоматического регулирования электроприводов

Вопрос 1. Системы автоматического регулирования положения электропривода

При автоматическом регулировании положения необходимы измерения углового либо линейного перемещения рабочего органа механизма и использование устройств, задающих эти перемещения. В простом варианте автоматическое регулирование положения предусматривается только на участках движения в районе данных рабочих позиций, а на основной части пути перемещения от позиции к позиции система по выходной координате разомкнута. Этот вариант позволяет применять индуктивные датчики ошибки позиционирования, вырабатывающие сигнал, пропорциональный отклонению рабочего органа от данного положения. Датчики подключаются в зоне четкого останова. Они обеспечивают автоматическое регулирование положения по отклонению от данной точки пути с требуемой точностью. По мере необходимости отработки дозированных перемещений, задаваемых на входе системы скачком, либо при осуществлении программного управления перемещением рабочего органа механизма нужен неизменный контроль текущего положения, осуществляемый датчиками углового либо линейного перемещения непрерывного либо дискретного действия.

Контрольные вопросы:

1. В чем принципиальное различие между разомкнутой и замкнутой системами автоматизированного электропривода?
2. Объясните назначение сравнивающего устройства в замкнутой системе.
3. Почему механические характеристики электропривода с обратной связью по скорости более жесткие, чем при отсутствии обратной связи?
4. Каким образом получают трехзонную механическую характеристику электропривода?
5. Что представляет собой следящий электропривод?
6. Каковы достоинства и недостатки следящего электропривода релейного действия?
7. Каково назначение серводвигателей?
8. Из каких основных элементов состоит ЭИМ?
9. В чем преимущества применения комплектных электроприводов?
10. В чем состоят основные принципы энергосбережения?

Тема 7.1. Общие вопросы использования автоматизированного электропривода в сельскохозяйственном производстве

Вопрос 1. Приводные характеристики сельскохозяйственных машин.

Приводные характеристики сельскохозяйственных машин — технологические, кинематические, энергетические, механические, нагрузочные, инерционные — используют в процессе проектирования рационального электропривода.

Тема 7.2. Электропривод насосных и вентиляционных установок

Вопрос 1. Приводные характеристики и режимы работы насосных и вентиляционных установок

Режимы работы насосной установки:

- ✓ непрерывный режим работы, при котором насос должен работать непрерывно в течение длительного периода времени, например, насос в действующей скважине;

- ✓ неравномерный режим работы при постоянно включенном насосе, например, при понижении уровня жидкости в расходной емкости или при неравномерном потреблении в разное время жидкости из приемной емкости;
- ✓ повторно-кратковременный режим работы установки, характеризующейся периодическим включением и выключением насоса, например, при работе в технологическом процессе;
- ✓ равномерный режим работы установки при неравномерном потреблении жидкости из расходной емкости, например, за счет установки дополнительной напорной регулирующей емкости;
- ✓ режим кратковременной работы, например, пожарного насоса и др.

Вентиляционные установки промышленных предприятий должны работать в соответствии с графиком, составленным для каждого рабочего помещения. При выделении в помещениях вредных паров, газов и пыли пуск вентиляционных установок должен производиться за 15 мин до начала работы, а в остальных цехах-одновременно с началом работы. Выключаются системы вентиляции через 15 мин после окончания работы. Персонал, эксплуатирующий вентиляционные установки на промышленных предприятиях, должен быть снабжен специальной инструкцией, где приводятся сведения по специфике работы в цехе, характеру производственных процессов и *режиму работы вентиляционных установок*, а также обязанности обслуживающего персонала и указания о том, когда вентиляционные установки должны включаться и выключаться. При устройстве в производственных помещениях аэрации в инструкции должны быть даны указания по ее эксплуатации (степень открытия фрамуг, режим их открывания в летний, переходный и зимний периоды и пр.

Вопрос 2. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для их привода. Принципы регулирования подачи воздуха вентилятором

В системах, где необходимо ступенчатое изменение скорости (например, лифты) используют многоскоростные асинхронные двигатели. В механизмах, требующих остановки за определенное время и фиксации вала при исчезновении напряжения питания, применяются асинхронные двигатели с электромагнитным тормозом (металлообрабатывающие станки, лебедки). Существуют также асинхронные двига-

тели с повышенным скольжением, которые предназначены для работы в повторно-кратковременных режимах, а также режимах с пульсирующей нагрузкой.

После того, как определен тип электродвигателя, полностью учитывающий специфику рабочего механизма и условия работы, необходимо определиться с рабочими параметрами двигателя: мощностью, номинальным и пусковым моментами, номинальными напряжением и током, режимом работы, коэффициентом мощности, классом энергоэффективности.

Мощность и моменты

В общем случае для квалифицированного подбора электродвигателя должна быть известна нагрузочная диаграмма механизма. Однако, в случае постоянной или слабо меняющейся нагрузки без регулирования скорости достаточно рассчитать требуемую мощность по теоретическим или эмпирическим формулам, зная рабочие параметры нагрузки. Ниже приведены формулы для расчета мощности двигателя P_2 [кВт] некоторых механизмов.

Насос

$$P_2 = k_3 \frac{gQH\rho}{\eta_{нас} \eta_{пер}} 10^{-3}$$

где Q [м³/с] – производительность насоса, $g=9,8$ м/с² – ускорение свободного падения, H [м] – расчетная высота подъема, ρ [кг/м³] – плотность перекачиваемой жидкости, $\eta_{нас}$, $\eta_{пер}$ – КПД насоса и передаточного механизма соответственно, k_3 – коэффициент запаса.

Вентилятор.

$$P_2 = k_3 \frac{QH}{\eta_{вент} \eta_{пер}} 10^{-3}$$

где Q [м³/с] – производительность вентилятора, H [Па] – давление на выходе вентилятора, $\eta_{вент}$, $\eta_{пер}$ – КПД вентилятора и передаточного механизма соответственно, k_3 – коэффициент запаса.

Напряжение и ток

При выборе напряжения электродвигателя необходимо учитывать возможности системы энергоснабжения предприятия. При этом

нецелесообразно при больших мощностях выбирать двигатель с низким напряжением, так как это приведет к неоправданному удорожанию не только двигателя, но и питающих проводов и коммутационной аппаратуры вследствие увеличения расхода меди.

Если при трогании момент сопротивления нагрузки невелик и для уменьшения пусковых токов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может быть применен способ пуска с переключением со «звезды» на «треугольник», необходимо предусмотреть вывод в клеммную коробку всех шести зажимов обмотки статора. В общем случае применение схемы соединения «звезда» является предпочтительным, так как в схеме «треугольник» имеется контур для протекания токов нулевой последовательности, которые приводят к нагреву обмотки и снижению КПД двигателя, в соединении «звезда» такой контур отсутствует.

Регулирование *систем вентиляции* с переменным расходом воздуха (VAV) базируется на трех главных принципах:

- Обеспечение требуемого воздухообмена во всех помещениях здания во всем диапазоне нагрузок. В основе этого требования лежат субъективные ощущения комфорта людей и стандарты качества внутреннего воздуха, например, стандарт [1] или другие аналогичные документы.

- Сокращение расхода энергии. Необходимо, чтобы регулирование системы обеспечивало минимальные энергозатраты, величина которых связана прежде всего с расходом кондиционируемого наружного воздуха. Важно, чтобы расход наружного воздуха не превышал необходимой нормы.

- Доступность и надежность технических средств и программного обеспечения, необходимая конфигурация схемы *системы вентиляции*. Система регулирования должна безотказно работать длительное время, быть удобна в эксплуатации.

Обеспечение требуемого воздухообмена

Расход приточного воздуха для систем с переменным расходом воздуха определяется в зависимости от текущей тепловой нагрузки помещения. Следует иметь в виду, что в проект обычно закладывается постоянное максимальное значение воздухообмена, без учета изменения тепловой нагрузки. Проблема состоит в том, чтобы обеспечить необходимый воздухообмен во всем диапазоне нагрузок без перерасхода энергии. Таким образом, именно принципы регулирования *системы вентиляции* оказывают существенное влияние как на воздухообмен, так и на энергопотребление.

Принципы регулирования систем вентиляции оценивались с позиции обеспечения нормативных требований и минимума затрат. Показано соответствие этим критериям системы регулирования с настройкой воздухозабора. Однако проектировщик должен принимать во внимание также размеры воздухораспределителей системы-VAV, наличие технических (компьютерных) средств и программного обеспечения, необходимого для реализации этого способа, а также надежность и эксплуатационные возможности системы регулирования.

Оборудование и программное обеспечение, входящее в типовую систему DDC/VAV, обеспечивают сбор данных, необходимых для настройки воздухозабора.

Воздухораспределители системы-VAV и контроллеры приточной камеры выполняют мониторинг и/или контроль параметров, необходимых для расчетов по формуле . АСУ здания использует эту информацию для расчета расхода наружного воздуха в режиме реального времени.

Один компонент обычно не входит в комплектацию системы-DDC/VAV: это средства для измерения и контроля расхода наружного воздуха, поступающего в систему. При отсутствии таких средств система лишь регулирует положение клапанов воздухозаборных устройств. Но при колебаниях перепада давлений в сечении воздухозаборного отверстия расход наружного воздуха также меняется. Добавление средств измерения воздухозабора позволяет осуществлять настоящий контроль расхода наружного воздуха, а не только установку клапанов. Для рассмотренных условий применения (не требующих специальных средств регулирования) многие фирмы-производители систем ОВК с автоматикой поставляют экономически эффективные *системы вентиляции* с независимым от давления регулированием расхода наружного воздуха. Компоновка такой системы показана на рис. 7.2.1.

Применение системы-DDC/VAV, ориентированных на расчеты по формуле (1), требует корректного подбора *вентиляционного оборудования* с учетом реальных условий в помещении.

Так, если размер воздухораспределителей системы-VAV существенно завышен, полный расход приточного воздуха для некоторых помещений может оказаться равен расходу наружного воздуха, а расчеты для других зон при этом могут дать очевидно нереальную величину более 100% наружного воздуха.

Даже при корректном подборе оборудования, программного обеспечения и средств шумоглушения эффективная работа системы зависит от надежности регулирования и способности эксплуатацион-

ного персонала разобраться в схеме регулирования и обеспечить ее долговременное использование. К счастью, у проектировщиков есть возможность выбора поставщиков оборудования, готовых решить все практические задачи.

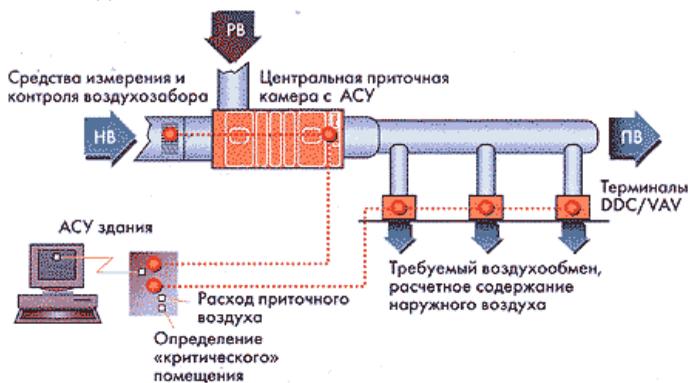


Рис. 7.2.1. Структура системы регулирования по принципу настройки воздухозабора

| Клапаны НВ | Метод | Соответствие стандарту 62-1999 | Энергетическая эффективность | Применение |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|--|
| Фиксация | Минимум НВ | Нет | Хорошая | Обычная практика |
| Фиксация | Максимум НВ | Да (рекомендуется) | Избыточная вентиляция | Проекты с попыткой соблюдения стандарта 62-1999 |
| Контроль воздухозабора | Максимум НВ | Да | Избыточная вентиляция, в меньшей степени | Расширяется применение в проектах (при ошибках может свестись к «макс. НВ/ фиксация клапанов») |
| Контроль воздухозабора | Настройка воздухозабора | До | Оптимизация в реальном времени | Оптимизированные системы под управлением АСУ зданий |

Тема 7.3. Принципиальные электрические схемы и эксплуатация насосных и вентиляционных установок

Вопрос 1. Принцип управления насосными установками в функции уровня, давления времени.

На рис. 7.2.2 приведена схема автоматизации управления погружным насосом по уровню воды в баке водонапорной башни, реализованная на релейно-контактных элементах.

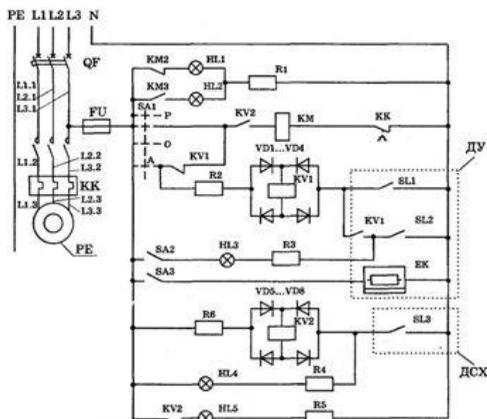


Рис. 7.22. Принципиальная электрическая схема автоматизации погружным насосом по уровню воды в баке- водонапорной башни

Режим работы схемы автоматизации насосом задается переключателем SA1. При установке его в положение «А» и включении автоматического выключателя QF подается напряжение на электрическую схему управления. Если уровень воды в напорном баке находится ниже электрода нижнего уровня датчика ДУ, то контакты SL1 и SL2 в схеме разомкнуты, реле KV1 обесточено и его контакты в цепи катушки магнитного пускателя KM замкнуты. В этом случае магнитный пускатель включит электродвигатель насоса, одновременно погаснет сигнальная лампа HL1 и загорится лампа HL2. Насос будет подавать воду в напорный бак.

Когда вода заполнит пространство между электродом нижнего уровня SL2 и корпусом датчика, подключенным к нулевому проводу, цепь SL2 замкнется, но реле KV1 не включится, так как его контакты, включенные последовательно с SL2, разомкнуты.

Когда вода достигнет электрода верхнего уровня, цепь SL1 замкнется, реле KV1 включится и, разомкнув свои контакты в цепи ка-

тушки магнитного пускателя КМ, отключит последний, а замкнув замыкающие контакты, станет на самопитание через цепь датчика SL2. Электродвигатель насоса отключится, погаснет сигнальная лампа HL2 и загорится лампа HL1. Повторное включение электродвигателя насоса произойдет при понижении уровня воды до положения, когда разомкнётся цепь SL2 и реле KV1 будет отключено.

Включение насоса в любом режиме возможно только в том случае, если замкнута цепь датчика «сухого хода» ДСХ (SL3), контролирующего уровень воды в скважине.

Основным недостатком управления по уровню является подверженность обмерзанию электродов датчиков уровня в зимнее время, из-за чего насос не выключается и происходит переливание воды из бака. Бывают случаи разрушения водонапорных башен из-за намерзания большой массы льда на их поверхности.

При управлении работой насоса по давлению электроконтактный манометр или реле давления можно смонтировать на напорном трубопроводе в помещении насосной. Это облегчает обслуживание датчиков и исключает воздействие низких температур.

На рис. 7.2.3 приведена **принципиальная электрическая схема управления башенной водоснабжающей (насосной) установкой по сигналам электроконтактного манометра (по давлению)**.

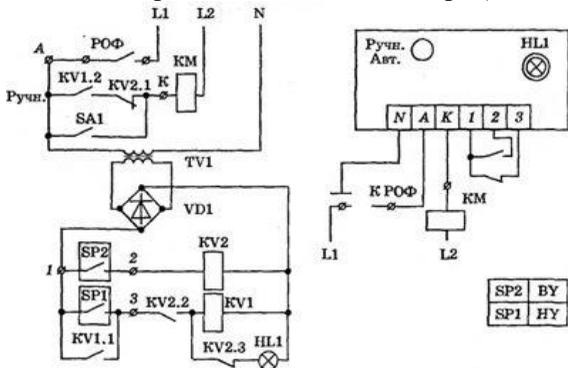


Рис. 7.2.3. Принципиальная электрическая схема управления башенной водоснабжающей установкой от электроконтактного манометра

При отсутствии воды в баке контакт манометра SP1 (нижний уровень) замкнут, а контакт SP2 (верхний уровень) разомкнут. Реле KV1 срабатывает, замыкая контакты KV1.1 и KV1.2, в результате чего включается магнитный пускатель КМ, который подключает электронасос к трехфазной сети (на схеме силовые цепи не показаны).

Насос подает воду в бак, давление растет до замыкания контакта манометра SP2, настроенного на верхний уровень воды. После замыкания контакта SP2 срабатывает реле KV2, которое размыкает контакты KV2.2 в цепи катушки реле KV1 и KV2.1 в цепи катушки магнитного пускателя КМ; электродвигатель насоса отключается.

При расходе воды из бака давление снижается, SP2 размыкается, отключая KV2, но включение насоса не происходит, так как контакт манометра SP1 разомкнут и катушка реле KV1 обесточена. Таким образом, включение насоса происходит, когда уровень воды в баке снизится до замыкания контакта манометра SP1.

Питание цепей управления производится через понижающий трансформатор напряжением 12 В, что повышает безопасность обслуживания схемы управления и электроконтактного манометра.

Для обеспечения работы насоса при неисправности электроконтактного манометра или схемы управления предназначен тумблер SA1. При его включении шунтируются управляющие контакты KV1.2, KV2.1 и катушка магнитного пускателя КМ непосредственно подключается к сети напряжением 380 В.

В разрыв фазы L1 в цепь управления включен контакт РОФ (реле обрыва фазы), который размыкается при неполнофазном или несимметричном режиме питающей сети. В этом случае цепь катушки КМ разрывается и насос автоматически отключается до устранения повреждения.

Защита силовых цепей в данной схеме от перегрузок и коротких замыканий осуществляется автоматическим выключателем.

На рис. 7.2.4, а показана **схема автоматизации простейшей насосной установки** — дренажного насоса 7.2.4, а на рис. 7.2.4, б приведена электрическая схема этой установки. Автоматизация насосной установки осуществляется с помощью поплавкового реле уровня. Ключ управления КУ имеет два положения: для ручного и автоматического управления.

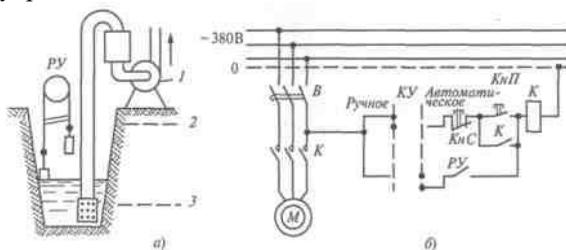


Рис. 7.2.4. Конструкция дренажной насосной установки (а) и ее электрическая схема автоматизации (б)

Вопрос 2. Особенности работы насосных установок, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Основные элементы конструкции станции.

Самые главные составные части любой насосной станции – это накопитель и сам насос. Причем накопители могут быть всего двух типов – бак и аккумулятор. А насосы трех типов – со встроенным эжектором, с выносным эжектором и без эжектора.

Типовая конструкция насосной станции

Кроме того, в конструкции станции есть и связующее звено, регулирующее работу насоса и процесс наполнения бака – управляющий элемент, в основе которого лежит либо поплавковый клапан, либо датчик давления.

При этом все вышеописанные разновидности накопителей, насосов и регуляторов влияют не только на конструкцию станции, но и на сам принцип работы устройства для перекачки воды. И далее по тексту мы отследим влияние этих узлов на устройство и принцип работы станций.

Принцип работы и устройство насосной станции водоснабжения гидроаккумулятором

По такому принципу работают все современные станции. Вместо накопительного бака здесь используют гидроаккумулятор – герметичную емкость, разделенную на два отсека эластичной мембраной. Причем в первый отсек закачивают воздух, а во второй – воду.

Насосная станция с гидроаккумулятором

В итоге, чем больше воды во втором отсеке, тем выше давление на выходе из накопителя (воздух за эластичной мембраной уплотняется и начинает работать как амортизатор). Соответственно появляется возможность регулировать давление в домашнем водопроводе даже в случае размещения аккумулятора в подвале строения. Напор в водоводе обеспечивает сжатый воздух, давящий на мембрану.

А за наполнением гидроаккумулятора следит особый датчик давления, включающий и выключающий насос станции. Подобная конструкция исключает саму возможность протечек из-за переполнения аккумулятора.

Однако, есть у такой схемы и недостатки. **Самый главный из которых – небольшой объем «запаса» воды.** Вместимость типового аккумулятора – 20-25 литров. Для синоминутных нужд этого вполне достаточно, но скважину с малым дебетом такая система обслуживать уже не может.

Кроме того, гидроаккумулятор это достаточно дорогое изделие, ведь он функционирует под достаточно большим давлением. Поэтому

его производят только из стали, что приводит к появлению еще одной проблемы – угрозы разрушения бака под действием коррозии. Впрочем, эта беда легко устранима – емкость можно изготовить из нержавеющей стали или оцинковать.

Насосные станции со встроенным эжектором — описание конструкции

Станции с внутренним эжектором можно оснащать и гидроаккумуляторами, и накопительными баками. Конструктивная особенность, в данном случае, кроется в конструкции заборного узла самого насоса.

Насосные станции со встроенным эжектором

Вода из скважины поднимается по трубе, в которой создается разрежение. Причем условие для транспортировки жидкости создает особый узел насоса – эжектор — прокачивающий сквозь себя воздух, «газированную» воду и, наконец, 100-процентную жидкость. Содержание воздуха в жидкости может достигать и 25 процентов.

Соединенный со встроенным эжектором насос всегда центробежный – работает на крыльчатке. Вибрационный аналог просто не выдержит таких объемов воздуха в трубе. **В итоге, такой насос сильно шумит при работе и выкачивает воду только из скважины глубиной до 10 метров.** При этом насос со встроенным эжектором практически не реагирует на присутствие песка в жидкости.

Принцип работы и конструкция станций с выносным эжектором
Насосы с эжектором выносным отличаются от вышеописанных устройств месторасположением заборного узла. Он вынесен за пределы корпуса насоса. Причем к внешнему эжектору подводятся два шланга – вакуумный, в котором создается разрежение, и напорный, создающий рабочее давление в эжекторе.

Вода поднимается по вакуумному «рукаву» и сливается в накопитель или перетекает в нагнетательный «рукав». Напор в нагнетательном рукаве поддерживается насосом и провоцирует, посредством эжектора, разрежение в вакуумной трубе.

Выносной заборный узел (эжектор) обслуживается вибрационным насосом, для которого характерно неприятие сильно загрязненной и «газированной» воды. Впрочем, поскольку эжектор заглублен ниже зеркала колодца с последним проблем практически не бывает. А от частиц ила заборное отверстие эжектора защитит фильтрующая решетка.

Главное достоинство такой конструкционной схемы заключается в практически неограниченной глубине обслуживаемой скважины. Однако, в силу особенности строения насоса, большая часть выносных эжекторов погружается до отметки 60 метров. При этом станция с выносным заборным узлом работает абсолютно бесшумно.

Вопрос 3. Принципы управления вентиляционно-отопительными установками в производственных сельскохозяйственных помещениях

Подачу вентиляционных установок можно регулировать многопозиционным изменением числа включенных вентиляторов, сечением воздуховода; частотой вращения двигателей вентиляторов. Критическое скольжение, не зависящее от напряжения, остается неизменным. Не изменяется также и синхронная угловая скорость, которая зависит только от частоты питающего напряжения и числа пар полюсов двигателя. Регулирование угловой скорости двигателя при этом способе происходит вследствие уменьшения жесткости механических характеристик и осуществляется вниз от номинальной угловой скорости. Плавность регулирования определяется плавностью изменения напряжения; при применении тиристорного регулятора напряжения угловая скорость регулируется бесступенчато. Достоинство этого способа — относительная простота. На рис. 7.2.5 приведены механические характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при регулировании напряжения. Как это следует из рис. 7.2.5, такой способ рекомендуется при вентиляторном характере нагрузки ($M_c = p_2$).

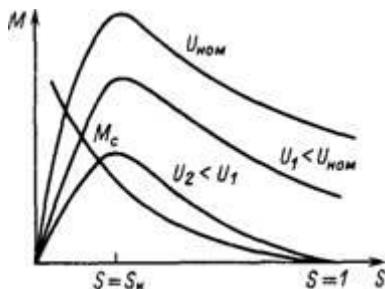


Рис. 7.2.5. Механические характеристики асинхронного двигателя при регулировании напряжением

Вопрос 4. Особенности работы, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Сельскохозяйственное производство характеризуется специфическими условиями, как правило, тяжелыми для электрооборудования. Поэтому при эксплуатации электрооборудования особое внимание нужно обращать на следующее:

- ✓ правильный выбор электрооборудования по условиям среды, в которой оно работает, при этом необходимо учитывать режим работы;
- ✓ выбор мощности электрооборудования с учетом конкретных режимов его работы, особенно продолжительности его использования;
- ✓ обслуживание электрооборудования перед вводом в эксплуатацию, перед пуском, в процессе работы, после остановки;
- ✓ своевременное плановое проведение технического обслуживания с учетом режима работы;
- ✓ плановое проведение текущих ремонтов, сочетающееся с модернизацией электрооборудования с учетом конкретных данных эксплуатации по выявлению слабых мест, узлов в электрооборудовании и причин их появления, усиление этих элементов и повышение надежности электрооборудования;
- ✓ профилактические испытания электрооборудования и электроустановок, при этом необходимо учесть, что такие испытания могут быть проведены непосредственно на работающем электрооборудовании.

Некоторые объемы и сроки проведения перечисленных мероприятий приведены ниже.

Организация эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве имеет различные формы. Техническим обслуживанием и текущими ремонтами электрооборудования совхозов и колхозов занимаются Государственные комитеты по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства (бывшие объединения «Сельхозтехники»), сельскохозяйственные производственные энергетические объединения (предприятия) по сельской электрификации— «Сельхозэнерго» и электротехнические службы самих хозяйств (с высокоразвитым производством).

Независимо от формы организации технического обслуживания на каждой механизированной животноводческой или птицеводческой ферме или животноводческом комплексе должен быть пункт технического обслуживания (рабочее место слесаря). Пункт входит в состав фермы хозяйства и подчинен инженеру по механизации животноводческих ферм или главному инженеру хозяйства.

Вопрос 5. Монтаж, наладка и эксплуатация насосных и вентиляционных установок

- Процедура пусконаладки и использования оборудования проводится:

- в помещениях, специально подготовленных к приемке;
- на функционирующих предприятиях в качестве плановых профилактических мероприятий.

- Качественная и бесперебойная работа вентиляционного оборудования гарантируется работами, осуществляемыми до приемки оборудования:

- осмотр, регулировка и испытания всего установленного оборудования;

- плановые осмотры и наладка уже работающего оборудования;

- эксплуатация вентиляционных систем по правилам, с периодическими плановыми ремонтами.

- Регулировку и испытания собранных систем вентиляции производит организация-монтажник. Иногда эта функция передается специализированным организациям;

- Запуск и наладка осуществляются с частичной загрузкой основного оборудования или при его отсутствии. Это позволяет создать проектные нагрузки на вентиляционную установку. В процессе испытаний и наладки контролируют:

- соответствие давления, количества оборотов вентиляторов и давления проектным значениям;

- наличие неплотностей в вентканалах;

- соответствие объемов воздуха проектным данным;

- температурные параметры;

- функции насосов;

- функции форсунок увлажнения;

- показатели подаваемого в здание воздуха.

- **Допускается погрешность 10% в обе стороны по объему воздуха, 2 градуса по температуре подаваемого воздуха и 5% по влажности.**

- Работы по регулировке и пусконаладке основываются на инструкции по наладке и испытанию вентиляционного оборудования;

- При обнаружении дефектов составляются ведомости установленного образца, дефекты устраняются;

- Местные вытяжные и приточные установки (зонты, отсосы) тестируются после запуска основного оборудования;

- Дефекты, указанные в ведомости, необходимо устранить до испытаний;

- Система сдается в эксплуатацию после исправления всех обнаруженных дефектов согласно инструкции;

- Параметры работы вентиляционной установки вносятся в паспорт оборудования.

Эксплуатация вентиляционных установок и систем

- своевременная чистка – залог эффективной работы вентиляции
- На больших предприятиях эксплуатация вентиляционной системы контролируется главным энергетиком или механиком:
 - обслуживание установок в количестве до 100 осуществляет техник-вентиляторщик;
 - для обслуживания 100 – 200 установок нанимается группа во главе с инженером;
 - если на предприятии больше 200 вентиляционных установок, необходимо набрать вентиляционное бюро.
- За исправность и целостность установок отвечают начальники участков;
- Согласно инструкции по эксплуатации систем вентиляции за работу оборудования несет ответственность главный инженер;
- Согласно правилам технической эксплуатации систем вентиляции бесперебойная работа оборудования обеспечивается:
 - наличием персонала, обслуживающего вентиляционные установки;
 - контрольными замерами воздуха в здании;
 - периодическими тестированиями качества работы оборудования;
 - своевременным ремонтом оборудования.
- Режим эксплуатации вентиляционных установок оговаривается в инструкции. При ее составлении учитываются специальные условия в каждом вентилируемом помещении. Эта инструкция по эксплуатации оборудования содержит:
 - характеристику состояния оборудования;
 - температуру и влажность воздуха в цехах (помещениях);
 - сведения о производительности и мощности вентиляторов по каждой точке;
 - схему выключения и включения оборудования;
 - возможности изменения температуры, влажности и объема подаваемого воздуха;
 - специфику обслуживания отдельных узлов;
 - план и процедуру очистки фильтрующих элементов, обогревателей и других узлов, максимальные разрешенные показатели сопротивления потоку воздуха по достижению которых требуется проводить очистку;
 - действия при авариях или возгораниях;
 - инструкцией по эксплуатации систем вентиляции оговарива-

ются процедура и график работ по контролю эффективности работы оборудования.

○

Контрольные вопросы:

1. Какие основные элементы содержат в себе системы подачи горячей воды?
2. Объясните работу электрической принципиальной схемы водокачки башенного типа.
3. Назовите конструктивные исполнения насосов.

Тема 7.4. Электропривод кормоприготовительных машин

Вопрос 1. Приводные характеристики и режим работы кормоприготовительных машин

Машины для приготовления кормов разнообразны. Для обработки грубых кормов применяют измельчители с барабанными и дисковыми режущими аппаратами ИГК-30Б, РСС-6 и другие. Корнеплоды перерабатывают на измельчителях кормов ИКС-5, «Волгарь-5», мойках-резках МРК-5, а также на универсальных кормодробилках КДУ-2,0; ДКУ-1, КДМ-2,0, которые дробят также зерно, жмых, высушенную траву.

У электродвигателей кормоприготовительных машин, как правило, переменная продолжительная нагрузка. Особенно большие колебания момента сопротивления наблюдаются у молотковых дробилок сухих кормов. У этих же машин большой приведенный момент инерции, поэтому разгон их оказывается длительным. Дробилки необходимо пускать, предварительно очистив их от продукта.

Механические характеристики холостого хода измельчителей и дробилок имеют вентиляторный или линейно-возрастающий вид.

Кроме измельчителей и дробилок, для приготовления кормов используют грануляторы, прессы для брикетирования, смесители, сушилки и другое технологическое оборудование.

Электропривод почти всех кормоприготовительных машин не регулируемый и осуществляется асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором обдуваемого или специального исполнения: сельскохозяйственного, влагоморозостойкого, пыленепроницаемого. Электродвигателями одиночно работающих машин управляют по типовым схемам.

Поточные линии для производства кормов: сочных, грубых, концентрированных, комбинированных, гранулированных, брикетиро-

ванных, значительно повышают производительность труда и находят все более широкое применение.

Технологический комплекс по приготовлению гранулированных кормов состоит из агрегата для приготовления муки, оборудования для гранулирования, транспортеров, бункеров для хранения продукции.

Вопрос 2. Принципы управления кормоприготовительными машинами, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Агрегат витаминной травяной муки АВМ-1,5, кинематическая схема которого показана на рисунке 15.3 предназначен для искусственной сушки и помола травы, фуражного зерна, листьев, хвои, жома, сахарной свеклы и т. п. Продукты перед сушкой измельчают (длина частичек должна быть 30...40 мм при толщине 1...4 мм) и высыпают в лоток 1 конвейера загрузчика зеленой массы. Сушат в барабанной сушилке 5, куда из теплогенератора 4 засасывается нагретый до высокой температуры воздух и продукты сгорания жидкого топлива. Кормовая масса транспортируется конвейером 2, транспортером 3 и вращающимся барабаном сушилки 5. Сухая масса увлекается потоком газов, который создается вентилятором 7 большого циклонного охладителя 6.

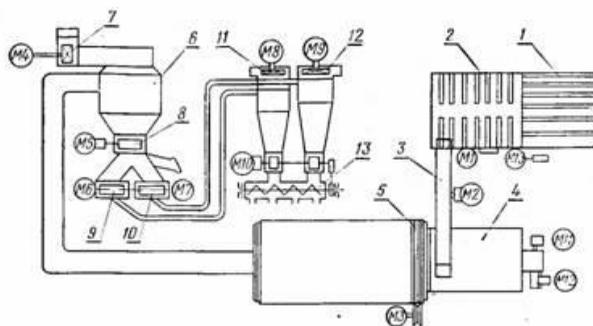


Рис. 7.3.1. Кинематическая схема агрегата АВМ-1,5: М1 — электродвигатель конвейера загрузчика; М2 — электродвигатель транспортера зеленой массы; М3 — электродвигатель барабана; М4 — электродвигатель вентилятора циклонного охладителя; М5 — электродвигатель затвора дозатора; М6, М7 — электродвигатель дробилок; М8, М9 — электродвигатель вентилятора циклонов муки; М10 — электродвигатель затворов и выгрузочного шнека муки; МП — электродвигатель топливного насоса; М12 — электродвигатель вентилятора топки; ЛШ — электродвигатель насоса гидроподъемника

Из большого циклона высушенный продукт через дозатор 8 падает в дробилки 9, 10. Мука за счет потока, создаваемого вентиляторами 11, 12, перемещается в малые циклоны, а затем затворами-дозаторами — в шнековый разгрузчик 13, из которого ее можно направлять в отделение гранулирования или затаривать в мешки. Из кинематической схемы АВМ-1,5 видно, что агрегат представляет собой поточную линию, состоящую из транспортеров, сушильного агрегата, дробилок. Привод механизмов осуществляется трехфазными асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями. Общая мощность электродвигателей и других токоприемников составляет 240 кВт. Управляют ими с двух пультов. Каждый пульт оборудован световой сигнализацией о состоянии всех приводов агрегата. Двигатели подключаются к электрической сети через магнитные пускатели с тепловыми реле и автоматы.

Групповую защиту одним автоматом имеют электродвигатели дозаторов муки и сечки, циклоны муки, вентилятор топки и транспортер.

Пуск электродвигателей дробилок, имеющих большую мощность, целесообразно осуществлять с переключением со звезды на треугольник. В агрегатах АВМ-0,4, АВМ-3,0 производительностью соответственно 0,4 и 3 т/ч такой пуск предусмотрен. Для контроля загрузки дробилок используют амперметры. В цепях электродвигателей мотор-редукторов дозаторов установлены токовые реле защиты, отключающие двигатели и при забивании затворов.

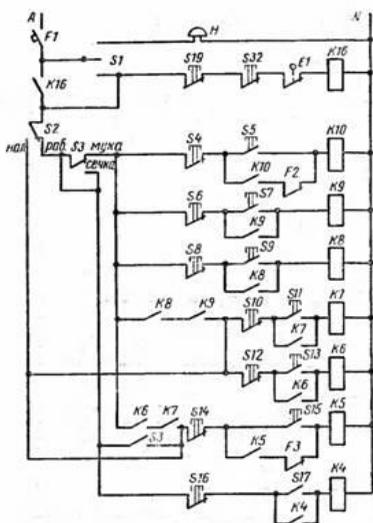


Рис.7.3.2. Электрическая схема пульта управления механизмами транспорта и обработки высушенного продукта агрегата АВМ-1,5:

K16 — промежуточное реле; K4 . . . K10 — электромагнитные пускатели двигателей (K10 — затворов муки; K9, K8 — вентиляторов циклонов муки; K7, K6 — дробилок; K5 — затвора дозатора большого циклона; K4 — вентилятора большого циклона).

Управляют магнитными пускателями двигателей при помощи кнопок и универсальных переключателей (рис. 7.3.2; 7.3.3.).

Пускают агрегат в следующем порядке.

Автоматом F1 подают напряжение на пульт управления механизмами транспорта и обработки высушенного продукта.

Переключателем S1 подают звуковой сигнал и включают реле K16. Поставив переключатель S2 в положение «работа», а S3 в нужное положение, нажатием кнопок на пульте производят пуск электродвигателей приводов: кнопкой S5 — шлюзовых затворов отвода муки, кнопками S7, S9 — вентиляторов циклона муки, кнопками S11, S13 — дробилок, S15 — дозатора большого циклонного охладителя, S17 — вентилятора большого циклона.

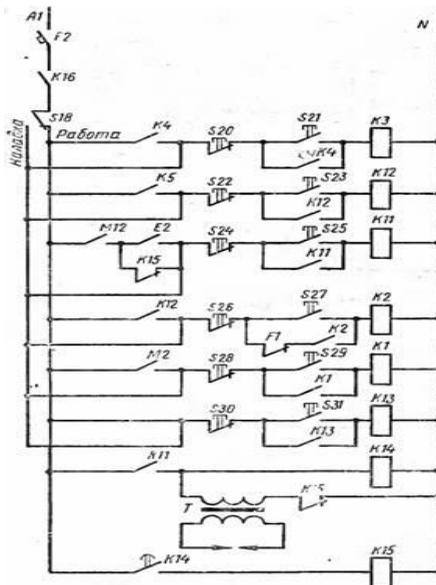


Рис. 7.3.3. Электрическая схема пульта управления сушильного агрегата:

K1 — пускатель конвейера загрузчика; K2 — пускатель транспортера зеленой массы; K3 — магнитный пускатель электродвигателя барабана; K11 — пускатель топливного насоса; K12 — пускатель-вентилятор топки; K13 — пускатель насоса гидроподъемника; K14 — пускатель реле времени; K15 — пускатель промежуточного реле.

Выполнив подготовительную работу перед разжиганием топки, ручкой автомата расцепителя на пульте управления F2 сушильного агрегата подают напряжение на пульт. Ключ S18 ставят в положение «Работа» и включают электрические подогреватели топлива. Кнопками S21, S23 на втором пульте пускают электродвигатели приводов барабана и вентилятора топки.

Чтобы разжечь факел, необходимо: открыть вентиль на баллонах со сжиженным газом л кнопкой S25 включить топливный насос.

Вместе с ними включается система зажигания, состоящая из

трансформатора Т, промежуточного реле К15, реле времени К14. Нажатием на рычаг запального устройства зажигают газовый факел, а затем открывают кран на форсунке и зажигают основной факел. При этом замыкается контакт Е2 реле контроля факела.

После прогрева агрегата и необходимых регулировок кнопками S27, S29 включают в соответствующей последовательности двигатели транспортера и конвейера загрузчика зеленой массы.

Двигатель гидропривода лотка включают по мере надобности кнопкой S31.

Вопрос 3. Эксплуатация кормоприготовительных машин

Измельчитель кормов ИКВ-5А «Волгарь-5».

Техническое обслуживание (ежедневное и периодическое). Ежедневно по окончании работы прокручивают машину вхолостую в течение 2...3 мин. После остановки машины, открыв кожухи и крышки, очищают рабочие органы от остатков корма. При переработке рыбы и хвои перед отключением промывают все рабочие органы машины горячей водой. Ежедневно перед началом работы измельчителя проверяют крепление рабочих органов и кожухов, крепление вращающихся частей. Регулярно через 30 ч работы смазывают подшипники скольжения. С завода редуктор отгружают заправленным трансмиссионным автотракторным маслом. После обкатки в хозяйстве масло заменяют, а потом регулярно меняют масло через 150 ч работы редуктора. Один раз в неделю все приводные роликовые цепи смазывают автотракторным маслом АК-15. Один раз в год разбирают редуктор, проверяют зубчатые зацепления и уплотнения. В процессе работы не реже двух раз в месяц проверяют уровень масла в редукторе и при необходимости доливают его. Техническая характеристика измельчителя ИКВ-5А «Волгарь-5» Производительность в час основного времени, т: корнеклубнеплоды 13,0 зеленая масса и силос 6,5 Степень измельчения кормов по видам и фракционному составу, %: корнеклубнеплоды толщиной до 10 мм 80 зеленая масса и силос размером до 30 мм 85 Установленная мощность, кВт 22,0 Габаритные размеры, мм 2420x1375x1205 Масса, кг 1000

Измельчитель-камнеуловитель ИКМ-5.

Техническое обслуживание (ежедневное и периодическое). При ежедневном техническом обслуживании шлангом для гидросмыва и

лопатой очищают машину от остатков корнеклубнеплодов, грязи и камней. Проверяют и при необходимости затягивают резьбовые соединения, особое внимание обращают на крепление ножей и режущих дисков. Проверяют работу скребкового транспортера и при необходимости регулируют натяжение. Скребки не должны касаться боковых стенок кожуха. Проверяют надежность подключения заземляющего провода к болту заземления. При периодическом техническом обслуживании, которое проводят через 50 ч работы, выполняют операции ежедневного технического обслуживания и, кроме того, смазывают детали машины в соответствии с таблицей и схемой смазки. Перед смазкой необходимо удалить грязь и пыль с масленок, пробок и с поверхности вокруг них, пользоваться чистыми заправочными средствами и применять необходимые сорта масел. Проверяют крепление скребков транспортера и при необходимости затягивают. Скребки должны быть плотно притянуты к лапке звена. Осматривают предохранительный штифт на приводе транспортера и в случае надреза заменяют. Приводная звездочка должна быть плотно закреплена на валу. Мегомметром проверяют состояние изоляции электродвигателей. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 МОм. В случае необходимости сушат электродвигатели. Измерителем заземления проверяют сопротивление повторного контура заземления. Сопротивление должно быть не более 10 Ом.

Универсальная дробилка кормов КДУ-2,0 «Украинка».

Техническое обслуживание (ежедневное и периодическое). При ежедневном обслуживании перед началом работы очищают дробилку от пыли, грязи и остатков кормов; освобождают крепление крышки и кожухи ограждения; ставят необходимое решето и проверяют крепление осей молотков; проверяют крепление корпусов, подшипников, редукторов и электродвигателя, крепление ножей и зазор между ножами и пластиной, натяжение ремней, цепей и лент транспортёров; убеждаются в отсутствии заедания заслонки зернового ковша и шлюзового затвора; производят смазку согласно таблице смазки; ставят на место кожухи ограждения и крышки; удаляют из машины посторонние предметы; прокручивают на полтора-два оборота вал электродвигателя вручную и убеждаются в отсутствии заеданий; проверяют работу дробилки на холостом ходу и под нагрузкой. Во время работы следят за равномерностью подачи корма по транспортеру или из зернового ковша по показаниям амперметра индикатора; при остановках проверяют степень нагрева электродвигателя, редуктора, шлюзового затво-

ра, корпусов подшипников вала; предупреждают попадание в измельчающие органы посторонних предметов. После работы очищают дробилку от остатков кормов прокручиванием вхолостую в продолжение 1...2 мин; включают электродвигатель, отключают общий рубильник и после остановки очищают рабочие органы от остатков кормов; проверяют нагрев подшипников дробилки. При периодическом техническом обслуживании, которое проводят через 75...90 ч работы, выполняют операции ежедневного технического обслуживания, кроме того: проверяют величину износа молотков и при необходимости проворачивают их на новую рабочую грань или после использования всех граней молотки заменяют; проверяют шаблоном остроту лезвий и при необходимости затягивают их, а при больших износах или сколах заменяют отдельные ножи или весь комплект; регулируют зазор между лентой горизонтального транспортера и противорежущей пластиной; производят смазку дробилки согласно таблице смазки.

Дробилка безрешетная ДБ-5

Техническое обслуживание (ежедневное и периодическое). При ежедневном обслуживании перед началом работы очищают дробилку от пыли и остатков корма, предварительно убедившись, что машина отключена от электросети. Проверяется крепление осей молотков на барабане, ведётся протяжка всех болтовых соединений, проверяется натяжение ремней и цепей. Проверяется надежность заземления. Смазывают сборочные единицы согласно карте смазки, убеждаются в отсутствии заеданий шнеков. Проверяют работу дробилки на холостом ходу. Периодическое обслуживание проводят через 90 часов работы. При этом выполняют все операции ежедневного ТО и, кроме того: проверяют величину износа дробильных молотков, проверяется балансировка барабана с молотками, работоспособность нижнего и верхнего датчиков уровня зерна в бункере, смазка сборочных единиц ведётся согласно карте смазки.

Контрольные вопросы:

1. Как автоматизируют процесс кормления КРС?
2. Объясните принцип действия электрической схемы раздачи кормов КРС?
3. Расскажите о технологической и электрической схеме управления кормораздатчиком-смесителем КС-15 при кормлении свиней.
4. Перечислите способы дозирования корма.
5. Расскажите о работе схемы управления электрооборудова-

нием комбикормового цеха ОКЦ-15.

6. Расскажите о работе схемы автоматизации дозирования и смешивания компонентов комбикормов.

7. Как работает технологическая схема дробилки кормов?

8. Объясните работу схемы управления дробилкой кормов.

Тема 7.5. Электропривод транспортных машин и установок

Вопрос 1. Классификация транспортных машин и установок

- По характеру перемещений и назначению
 - грузоподъёмные машины;
 - машины напольного транспорта;
 - машины подвешенного однорельсового транспорта;
 - погрузочно-разгрузочные машины;
 - транспортирующие машины.
- По принципу действия
 - периодического (циклического) действия;
 - непрерывного действия.

К подъёмно-транспортным причисляют^{[1][4]} следующие разновидности машин:

- Грузоподъёмные машины
- домкраты;
- лебёдки;
- краны;
- лифты;
- подъёмники;
- столы;
- тельферы.
- Транспортирующие машины
- багажная карусель;
- гравитационные устройства;
- канатные дороги;
- конвейеры;
- патерностеры;
- элеваторы;
- эскалаторы.
- Машины подвешенного однорельсового транспорта

- подвесные электротягачи;
- электро- и автотележки.
- Машины напольного транспорта
- погрузчики;
- тягачи;
- штабелёры;
- электрокары.
- Погрузочно-разгрузочные машины
- погрузчики
- ковшовые погрузчики;
- вилочные погрузчики;
- разгрузчики
- автомобилеразгрузчики;
- вагоноопрокидыватели;
- инерционные разгрузжатели;
- пневморазгрузчики;
- разгрузочно-штабелёвочные машины;
- разгрузочные машины скребкового типа;
- другие
- краны;
- переносные и передвижные конвейеры;
- скреперы;
- экскаваторы.

К подъёмно-транспортным машинам могут быть также отнесены механизированные системы парковки автомобилей.

Вопрос 2. Приводные характеристики и режим работы стационарных транспортеров на животноводческих и птицеводческих фермах. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для их привода.

Приводные характеристики приведены на основе приводной станции.

Приводная станция ТСН.00.760

Предназначена для привода наклонного транспортера навозоуборочных машин типа ТСН и КСН.

Технические характеристики

Номинальный крутящий момент на выходном валу (Н*м) не менее - **578**;

Номинальная частота вращения выходного вала (об/мин) - **51,6**;

- Допустимая консольная нагрузка (Н) - **5194**;
- Передаточное отношение - **27,8**;
- Номинальная частота вращения вала электродвигателя (об/мин) - **1500**;
- КПД привода не менее - **0,9**;

При всем многообразии ПТМ лишь немногие из них можно отнести, и то условно, к стационарно нагруженным, например конвейеры в линиях со стабильными технологическими процессами. Подавляющее же большинство ПТМ, в частности все машины циклического действия, работает при нестационарных условиях (режимах), при которых имеют место нестационарные нагрузки с меняющимися параметрами. Вместе с тем во многих видах ПТМ наряду с нестационарными нагрузками можно выделить постоянные нагрузки, а также переменные нагрузки постоянного уровня, т. е. стационарные переменные нагрузки.

Обычно принимают температуру окружающего воздуха $t = 20^\circ \text{C}$, в данном случае следует учесть повышение близ закалочной печи на $5\text{—}10^\circ \text{C}$, но и при этом условии температура масла в редукторе не превысит 90°C , что допустимо дополнительных устройств, повышающих теплоотдачу, вводить не требуется. Следует иметь в виду и то, что тепловой расчет выполнен для самого опасного случая — непрерывной работы на режиме максимальной скорости конвейера закалочной печи.

У конвейеров с фрикционным приводом первоначальные натяжения тягово-го элемента в период пуска и при установившемся движении должны быть различными. При пуске приводу необходимо преодолевать дополнительные сопротивления трогания с места и инерции движущихся масс, поэтому первоначальное натяжение тягового элемента для обеспечения необходимого повышенного тягового усилия должно быть значительно большим, чем при установившемся движении. Обеспечивать работу тягового элемента постоянно с повышенным (пусковым) первоначальным натяжением нерационально, так как это увеличит местные потери и ускорит изнашивание оборудования. Поэтому для конвейеров большой мощности и протяженности необходимо постоянноавтоматическое регулирование первоначального натяжения тягового элемента в зависимости от периода, условий и режима загрузки конвейера. Наибольшее натяжение должно быть в период пуска конвейера при установившейся работе оно должно автоматически уменьшаться вплоть до минимального для данной загрузки конвейера. Такой режим обеспечения лебедочных и грузолебедочных натяжных устройств с автоматическим

управлением, снабженные специальным датчиком автоматического контроля натяжения.

Коэффициент Γ характеризует динамический режим работы качающегося конвейера (динамические нагрузки на привод и другие элементы конвейера) и характер движения частиц груза при $\Gamma < 1$ груз лежит на колеблющейся плоскости и перемещается, не отрываясь от нее (режим инерционных конвейеров) при $\Gamma > 1$ груз отрывается от колеблющейся плоскости и перемещается преимущественно микробросками (режим вибрационных конвейеров, рис 13.2) при $\Gamma = 1$ имеют место граничные условия. Установление оптимальных значений коэффициента режима работы конвейера, особенно при $\Gamma > 1$, подчинено оптимальному решению основных задач — организации наиболее высокоскоростного движения частиц груза, рационально согласованного с движением колеблющейся плоскости (желоба конвейера), при минимальных динамических нагрузках на привод и элементы конвейера.

Для общей оценки качества конструкции, изготовления, монтажа и надежности конвейера необходимо иметь оптимальные величины всех пяти показателей, поскольку относительное значение каждого из них в отдельности различно. Для производства очень важно иметь высокий показатель технической готовности конвейера, потому что только при этом обеспечивается выполнение производственной программы предприятия. Однако повышенный коэффициент технической готовности машины можно обеспечить высоким качеством ее конструкции и изготовления или же повышенными трудозатратами на обслуживание и ремонт. Следовательно, сами по себе абсолютные величины отдельных показателей надежности, рассматриваемые оторванно от условий их достижения, режимов работы и класса использования машины, не могут дать исчерпывающей ее характеристики.

Переход к крупносерийному производству, сопровождаемый обычно прямоточным расположением производственного оборудования на большинстве участков, создает не только предпосылки для широкого применения подъемно-транспортных средств линейного типа и непрерывного действия, но и предъявляет и последним особые требования. Сущность крупносерийной организации производства заключается в том, что для каждой партии (серии), пускаемой в производство на каком-либо участке, устанавливается на время ее обработки соответствующий этой партии поточный режим работы. Поэтому крупносерийное производство так же, как и поточное, предъявляет к работе транспортных средств с непрерывной подачей жесткое требование подавать (или убирать) обрабатываемые детали в точном

соответствии с режимом работы каждого обслуживаемого им рабочего места, т. е. превращает его в конвейер. Т. о. конвейером м. б. названо всякое средство непрерывного транспорта, несущие части и скорости к-рого согласованы с режимом работы обслуживаемых им рабочих мест так, что его работа становится средством механич. Поддержания заданного ритма работы. С механич. точки зрения термины конвейер и транспортер являются синонимами с производственной же точки зрения всякое транспортное средство непрерывного действия есть транспортер, и только при определенных производственных условиях когда, режим < го работы жестко связан с режимами работы обслуживаемых им рабочих мест, когда между ним и рабочими местами нет запасов.

Мощность (кВт) двигателя транспортера определяют по формуле

$$P = \left(\frac{\kappa \times Q}{1000 \times \eta_M} \right) \times (c \times L + H)$$

где κ — коэффициент запаса мощности транспортера 1.1 ÷ 1.25;

Q — производительность транспортера, Н/с;

L — расстояние между осями концевых барабанов, м;

H — высота подъема грузов, м;

η_M — коэффициент полезного действия механизма редуктора 0.7 ÷ 0.85;

$c = 1.5 \div 2$ — для скребковых транспортеров;

$c = 0.14 \div 0.32$ — для пластинчатых транспортеров.

Вопрос 3. Принципы управления транспортерами, типовые схемы и комплекты электрооборудования

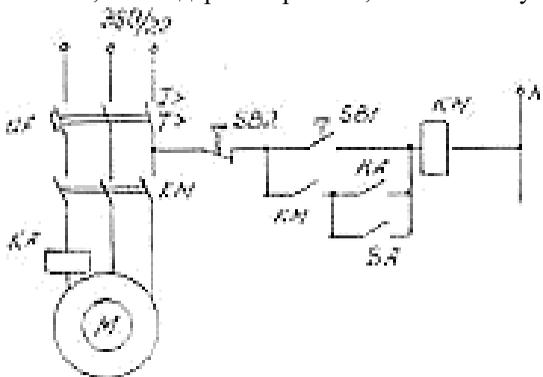
Схемы управления конвейерами поточнотранспортных систем более сложны, так как в них обязательно должна предусматриваться блокировка, обеспечивающая запуск и остановку движков без появления завала транспортируемого груза.

Запускают движки конвейеров в последовательности, обратной направлению движения груза, а остановку полосы начинают отключением мотора конвейера, с которого груз поступает на последующие конвейеры.

Полная остановка полосы может произойти и при одновременном выключении движков. По команде на остановку прекращается поступление груза на головной конвейер и по истечении времени, нужного для прохождения грузом всей трассы полосы, все движки

автоматом отключаются. При остановке какого-нибудь конвейера движки всех конвейеров, подающих груз на остановившийся конвейер, должны тормознуть, а последующие за ним конвейеры могут продолжать работать.

1-ый вариант схемы позволяет отключать пускатель автоматом (см. рис.1.). При симметричной перегрузке мотора катушку реле КА включают в хоть какой из линейных проводов. Выключатель са необходимо применять в режиме наладки. Реле КА по току срабатывания нужно настроить на отключение при токе в его катушке, равном току холостого хода транспортера. Выполняется нужная настройка реле КА, включен выключатель qf, выключен выключатель sa и, к примеру, навозоуборочный транспортер загружен навозом. Тогда при нажатии кнопки SB1 врубается пускатель КМ и замыкается контакт КА, создавая цепь самоудержания пускателя. Движок М работает; опосля выгрузки навоза миниатюризируется ток в катушке КА и реле КА своим контактом автоматом, без выдержки времени, отключает пускатель КМ.

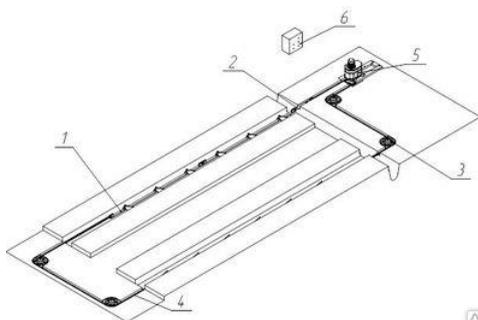


Вариант схемы управления без реле времени: qf- автоматический выключатель; М-двигатель транспортера; КМ- пускатель; SB1, SB2- клавиши; КА- реле тока; SA- выключатель.

Во 2-м варианте схемы транспортер работает в технологическом процессе, где специально введено реле времени КТ (см.рис.2). Движок включен при включенном выключателе са, тогда опосля разгрузки транспортера реле КА отключается и своим контактом запускает реле КТ. Замыкающий контакт включает сигнал hl, а размыкающий контакт некое время остается замкнутым и пускатель включен. Через данное время, ежели продукт не поступает, контакт КТ отключает пускатель КМ. Контакт КМ отключает от сети катушку КТ и лампу hl.

Данные схемы разрешают автоматом отключать транспортеры и экономить электроэнергию.

Вопрос 4. Электропривод штанговых, скреперных и скребковых навозных транспортеров.



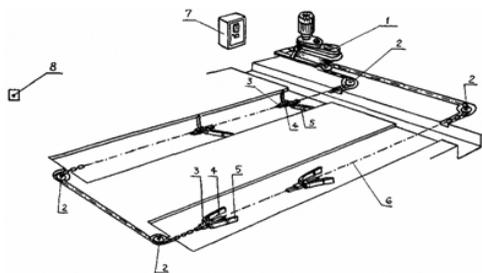
Транспортёр штанговый **ТШ-300** предназначен для уборки навоза крупного рогатого скота из навозных каналов при привязном содержании скота.

1 – штанга со скребками; 2 – натяжное устройство; 3 – поворотное устройство; 4 – цепь; 5 – привод в сборе с реверсивным устройством; 6 – ящик управления

| Наименование | Значение |
|-----------------------------------|--|
| Тип машины | Стационарная, возвратно-поступательного действия |
| Установленная мощность, кВт | 1,5 |
| Длина контура, м | 170 |
| Скорость движения скрепера, м/мин | 5,1 |
| Движение рабочего органа | Возвратно-поступательное |
| Длина хода рабочего органа, мм | 1800 |
| Размеры навозного канала, мм | 320 |
| -ширина | 200 |
| -глубина | |

Установки навозоуборочные скреперные УСГ

Установки скреперные предназначены для уборки навоза крупного рогатого скота из открытых навозных проходов шириной от 1800 до 3000 мм при боксовом и комбибоксовом содержании скота. Установка УСГ-3 применяется в помещениях длиной до 80 метров, УСГ-4 в помещениях до 114 метров. Установки комплектуются четырьмя рабочими органами, что позволяет осуществить выгрузку навоза как в торце, так и в середине помещения. Уборка навоза при помощи скреперной установки производится 4-6 раз в сутки. Продолжительность одной уборки 40 минут.



Привод
Устройство поворотное
Ползун
Скребок левый
Скребок правый
Цепь
Щит управления
Кнопка "Аварийный"

9.

| Наименование | УСГ-3 | | | УСГ-4 |
|-----------------------------------|--------|--|-----------------|---------|
| Установленная мощность, кВт | 1,1 | | | 1,5 |
| Длина контура, м | 170 | | | 250 |
| Скорость движения скрепера, м/мин | | | 5,1 | |
| Ширина навозного канала, мм | | | от 1800 до 3000 | |
| Глубина навозного канала, мм | | | 200 | |
| Масса, кг | 1300 | | | 1700 |
| Обслуживаемое поголовье, голов | 80-120 | | | 140-180 |
| Обслуживающий персонал, человек | | | 1 | |

Скребковые транспортеры для уборки навоза

Для механизации уборки навоза из помещений ферм крупного рогатого скота в последнее время получили применение различные электрифицированные устройства (скребковые транспортеры кругового и возвратно-поступательного движения, скреперные установки и гидротранспортные системы).

Наиболее эффективно применение скребковых транспортеров, скреперных установок и гидротранспортных систем. Не механизированными операциями при этом остаются лишь чистка стойл и сметание навоза в каналы. На выполнение этих операций затрачивается 30-35 мин на 1 т. При применении гидротранспорта остаются не механизированными также операции по очистке стойл.

В настоящее время получили распространение скребковые транспортеры типа ТСН-2 и **ТСН-3,0Б**. Скребковый транспортер ТСН-3,0Б состоит из двух согласованно действующих транспортеров; горизонтального и наклонного. Каждый из них имеет свой электропривод с общей установленной мощностью электродвигателей 5,5 Вт.

Скребковые транспортеры могут устанавливаться в животноводческих помещениях различных конструкций при максимальной длине горизонтальной цепи 200 м. Транспортер может убирать навоз от 100-120 голов крупного рогатого скота. Выпускаемые транспортеры ТСН-2 в ТСН-3,0Б металлоемки (около 2,5-3 т.).

Наряду с цепочно-скребковыми транспортерами кругового движения в последнее время получили распространение транспортеры возвратно-поступательного действия. Ряд конструкции имеет вертикальную и горизонтальную ось крепления скребков.

Например, выпущены опытные партии и образцы штанговых транспортеров с вертикальной осью крепления скребков типа ТШ-3ОА.

Отличительной особенностью его работы является то, что навозная масса не транспортируется по замкнутому контуру, а выносятся по наискратчайшему пути. Указанные типы транспортерных установок предназначены для уборки подстилочного навоза.

Установлено, что применительно к существующим коровникам затраты на очистку помещений от навоза по-прежнему остаются высокими. Основная составляющая при этом приходится на разбрасывание под стяжки и сметание ее со стойл в навозные каналы. С целью снижения затрат труда в хозяйствах стали содержать животных в стойлах с применением ограниченного количества подстилки или без подстилки, а каналы с транспортерами для транспортирования навоза располагать в конце укороченных стойл и перекрывать их съемными решетками.

ВИЭСХ проведены научно-исследовательские работы, которые позволили определить основные параметра технологического оборудования, необходимого для поточных линий механизации уборки навоза, транспортирования к месту хранения и приготовления компостов, а также погрузки навоза из закрытых хранилищ.

Установлено, что технология бесподстилочного содержания животных в укороченных стойлах (1,4 - 1,5 м), продолжением которых являются решетки, уложенные над навозными каналами, обеспечивает уборку экскрементов животных без применения ручного труда. При этом обеспечивается улучшение санитарных условий, на ферме и микроклимата в коровниках.

Тема 7.6. Электропривод электрокаров, кормораздатчиков

Вопрос 1. Приводные характеристики и режим работы мобильных электропогрузчиков, электрокар, кормораздатчиков. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для их привода

Мобильные электромашины и раздатчики-смесители обладают очень схожей между собой конструкцией. Имеется бункер с смонтированным в него смесительным устройством. К бункеру подсоединены механизмы выдачи кормов. Бункер монтируется на четырехколесной тележке, одна ось которой имеет привод от электромотора, что обеспечивает ее самоходное перемещение. Также от электромотора производится привод смесительного устройства и механизма выдачи. Управляются такие раздатчики пультами управления, а запитывание электроэнергией производится посредством гибкого кабеля. РС-5А Одним из таких раздатчиков-смесителей является РС-5А. Этот мобильный агрегат приводится в движение электромотором. Тележка у него передвигается по колеем в полу. Бункер – цилиндрический горизонтального положения. В нем производится перемешивание кормов шнековым смешивающим устройством с горизонтальным расположением шнека, далее корма поступают в двухсторонний механизм выдачи кормов шнекового типа. Управление выполняется рычагами, при этом оператор находится на тележке, для него предусмотрено сиденье. КС-1,5 Раздатчик-смеситель КС-1,5 имеет несколько другую конструкцию. На тележке установлен вертикальный бункер. Перемещение по помещению выполняется по рельсам. Внутри бункера размещено шнековое смешивающее устройство с вертикальным расположением шнека. После смешивания кормосмесь проходит через дозирующий механизм, раздача выполняется двумя шнековыми устройствами. При-

вод смесительного и выдающих устройств производится от электромотора через редуктор. Управляется раздатчик рычагами, оператор располагается стоя на специальной площадке.

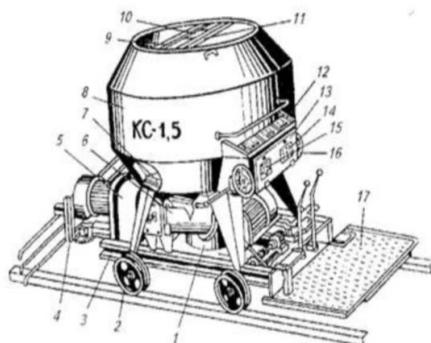


Схема кормораздатчика КС-1,5 1-разделительная коробка; 2 — ходовая часть; 3 — рама; 4 — устройство автоматической остановки кормораздатчика; 5 — мотор — редуктор; 6 — выгрузной шнек; 7 — лопастная мешалка; 8 — бункер; 9 — травесна; 10 — шнек — мешалка; 11 — разравниватель; 12 — пульт управления; 13 — электрооборудование; 14 — таблица нормы выдачи кормов; 15 — шкала; 16 — штурвала; 17 — площадка для рабочего КСП-0,8 А вот смешивающий раздатчик КСП-0,8 колесной тележки не имеет, колесные оси у него крепятся непосредственно к бункеру, перемещается раздатчик по рельсам.

Вопрос 2. Принципы управления электропогрузчиками, электрокарами, кормораздатчиками, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Электропогрузчик ЕВ 717.33.22. - универсальная четырехопорная машина, грузоподъемностью 2000 кгс и высотой подъема 3300 мм с ведущим мостом и с дифференциалом, механическим управлением, контакторной системой регулирования скорости (командоконтроллером), нормальными воздушными шинами. Гидравлическая система плунжерным цилиндром подъема и четырехсекционным гидрораспределителем с возможностью монтирования сменных приспособлений с двумя командами. Грузоподъемное устройство – двухмачтовое с малым (транспортным) свободным ходом (высотой подъема груза без изменения строительной высоты). Электропогрузчик укомплектован батареей с напряжением 2Х40 В и емкостью соответственно 320 Ач.

Электропогрузчик состоит из следующих частей:

1-трансмиссия (ведущий мост); 2-управляемый мост; 3-шасси; 4- тормозная система; 5-командное устройство; 6- устройство управления; 7-грузоподъемное устройство; 8-гидравлическая система; 9-электрическое оборудование 10- сиденье; 11-пульта управления; 12-крышка верхняя; 13- ведущее ходовое колесо; 14-управляемое колесо; 15- противовес.

Электропогрузчик ЕВ717.33.22 состоит из следующих основных изделий и устройств(рис 1):

Трансмиссия (ведущий мост) 1 – классического типа с зубчатым дифференциалом, тяговым электродвигателем. Мост управляемый 2 – осуществляет управление электропогрузчика.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Электрическое оборудование приводит в движение тяговый и насосный электродвигатель. Оно обеспечивает нормальную работу всех электрических машин, аппаратов, звуковой и световой Отдельными цепями в электрических схемах, в зависимости от их функций, являются: Главная (силовая) цепь;

Вспомогательная (оперативная) цепь; Звуко-световая цепь. Принцип действия электрического оборудования. При подключении аккумуляторной батареи к электрической схеме готова к действию цепь При включении выключателя оперативной цепи в положение 1 или 2 готовы к действию и остальные оперативные цепи, а также получает питание катушка контактора 2К. аккумуляторные батареи соединены последовательно. Индикатор степени разрядки аккумуляторной батареи включен. Зажигается сигнальная лампа. Регулировка скорости электропогрузчика осуществляется в следующем порядке:

1-я позиция командоконтроллера. Выключается контактор 2К. Включается катушка контактора 3К или 4К в зависимости от положения реверсивного переключателя и, при помощи своих блокирующих контактов В3К или

Аккумуляторные батареи при помощи силовых диодов 1Д и 2Д соединены параллельно и включены к тяговому электродвигателю через две степени пускового сопротивления.

2-я позиция командоконтроллера. Включается катушка контактора 5К. Замыкаются контакты контактора 5К. и напряжение тягового электродвигателя увеличивается.

3-я позиция командоконтроллера. Включается катушка контактора 6К, и его контакты замыкаются. Тяговому электродвигателю подается все напряжение от параллельно соединенных аккумуляторных батарей. Пусковое сопротивление выключено, сигнальная лампа не светится. 4-я позиция командоконтроллера.

Выключается катушка контактора 5К, и его контакты отмыкаются. Включается катушка контактора 2К. Аккумуляторные батареи соединены последовательно и подключены к тяговому электродвигателю через одну степень пускового сопротивления. Напряжение электродвигателя повышается. Зажигается сигнальная лампа. 5-я позиция командоконтроллера. Включается катушка контактора 5К, который своими контактами выключает пусковое сопротивление. Тяговому электродвигателю подается все напряжение аккумуляторной батареи. Сигнальная лампа не светится. Предохранительные устройства (блокировки) в электрическом оборудовании Монтированные к ножному и ручному тормозам переключатели (блокировочный ключ) при срабатывании тормоза размыкают цепь тягового электродвигателя. Нулевая защита. Монтированные нормально к реверсивным контакторам открытые блок-контакты (микрпереключатели) не позволяют замкнуть цепи тягового электродвигателя, если командоконтроллер не находится в нулевом положении. Защита тягового и насосного электродвигателей, а также защита аккумуляторной батареи от короткого замыкания вследствие дефекта или обратно подключенных диодов 1Д или 2Д осуществляется плавкими предохранителями – ламельными 100 А или трубными 80А. Оперативные цепи защищены предохранителями автомобильного типа 8 А. Перегоревшие предохранители заменяются новыми того же типа и с теми же данными.

Аккумуляторная батарея

Электропогрузчик может получать питание от двух типов батарей, пастированного и панцирного со следующими техническими характеристиками. Технические характеристики аккумуляторных батарей

Таблица 10

| Величина | Единица | Пастированная батарея | Панцирная батарея |
|----------|---------|-----------------------|-------------------|
|----------|---------|-----------------------|-------------------|

| | | | |
|--------------|------|------|--|
| Напряжение В | 2Х40 | 2Х40 | |
|--------------|------|------|--|

| | | | |
|-------------|-----|-----|--|
| Емкость Ахч | 280 | 320 | |
|-------------|-----|-----|--|

Каждый аккумуляторный элемент состоит из положительных и трицательных пластин,зольированных друг от друга микропористыми сепараторами из стекляннной ваты, уложенными в эбонитовую коробку с электролитом – разряженной серной кислотой. Коробка закрыта крышкой с тремя отверстиями – двумя крайними на полюсах и одним средним для налива электролита и наблюдения за его уровнем. Последнее закрыто пробкой с вентиляционными отверстиями для выхода образовавшихся газов. Электропогрузчик поставляется с незаряженной лектрической батареей. Первоначальная зарядка аккумуляторной батареи и дальнейшее ее содержание осуществляются согласно инструкции завода-изготовителя аккумуляторов. При правильной первоначальной зарядке

чальной зарядке аккумуляторная батарея достигает номинальной емкости. Правильная разработка является предпосылкой для ее долговечности. Зарядка и обслуживание стартерной аккумуляторной батареи производится согласно инструкции завода-изготовителя батареи.

Для содержания электропогрузчика в исправности необходимы
ЕЖЕСМЕННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

В объем ежесменного обслуживания входят следующие операции.

Перед началом работы:

1. Внешний осмотр основных агрегатов и узлов электропогрузчика. Проверка на наличие пропусков, трещин и разрывов.

2. Проверка на наличие течи из гидравлической системы, уплотнений ведущего моста, картера редуктора управляемого моста, тормозной системы.

3. Проверка внешнего состояния шин, давления воздуха в них и крепления ободов.

4. Проверка состояния аккумуляторной батареи, наличия разлитого электролита, крепления кабельных соединений к выводам полюсов, уровня электролита в батарее и чистоты вентиляционных отверстий пробок.

5. Проверка состояния электрических аппаратов, приборов и проводов.

6. Проверка исправности световой, звуковой сигнализации и контрольных приборов.

7. Проверка исправности подъемного устройства путем контрольного подъема, спуска и наклона при остановленном электропогрузчике.

8. Проверка в движении исправности тормозной системы, командного устройства и устройства управления.

После окончания работы:

1. Очистка, мойка (при необходимости) и сушка электропогрузчика.

2. Зарядка аккумуляторной батареи.

Обнаруженные при обслуживании и во время работы неисправности необходимо немедленно устранить. Работы по ежесменному обслуживанию выполняются водителем. Проверки исправности и контроль над работой электропогрузчика производятся перед началом смены, во время перерывов в работе и после конца рабочей смены.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ №1 (ТО 1)

В объем работ по ТО 1 кроме операций по ежесменному обслуживанию входят еще и:

1. Проверка и, при необходимости, подтяжка крепления:

- а) элементов крепления ведущего моста;
- б) тягового электродвигателя к ведущему мосту и шасси,
- в) вспомогательного электродвигателя;
- г) управляемого моста и его узлов.

3. Проверка состояния:

- а) коллекторных поверхностей, щеток и щеткодержателей электродвигателей;
 - б) штепсельного соединения (разъединителя) и блокировочных ключей;
 - в) проводов всего электрического оборудования на механические повреждения;
 - г) аккумуляторной батареи
4. Выравнивающая зарядка аккумуляторной батареи.
Принципы управления кормораздатчиками аналогичны.

Вопрос 3. Монтаж, наладка и эксплуатация электропривода транспортных машин и установок

ТРАНСПОРТЕРЫ ЗЕРНА ШНЕКОВЫЕ

Сборка транспортера

Перед началом эксплуатации транспортера проведите расконсервацию его составных частей путём удаления смазки с наружных законсервированных поверхностей, протирая их ветошью, смоченной растворителями по ГОСТ 8505-80, ГОСТ 3134-78, ГОСТ 443-76, затем просушите или протрите ветошью насухо. Сборку машины проводить на ровной площадке в зоне действия мобильного грузоподъёмного механизма, грузоподъёмностью не менее $Q=500\text{кг}$. Сборку транспортера производить в следующей последовательности (иллюстрации смотри в каталоге запасных частей ниже):

Собрать трубу шнека соединив друг с другом нижнюю секцию, среднюю секцию и верхнюю секцию и закрепить их шестигранными болтами и контргайками.

Конический редуктор поставляется без масла. Перед установкой редуктора на трубу шнека, снять верхнюю крышку и залить около 500мл масла класса SAE90. Редуктор может крепиться как с левой, так и с правой стороны. Соединить редуктор с муфтой, используя шпонку и установочные винты. Прикрепить редуктор к монтажной пластине на трубе, используя шестигранные болты и стопорные шайбы. Примечание: Первичный вал редуктора должен входить в муфту минимум на $\frac{1}{4}$ ее длины. Прикрепить монтажную пластину редуктора к верхней

части редуктора с помощью кольца на приводной стороне. Крепежное приспособление кожуха приводного вала крепится к верхней части пластины приварным болтом, повернутым к верхней части трубы шнека. Использовать такой же крепеж, как и для установки редуктора.

Установить кожух приводного вала, начиная с верхней части трубы шнека, перед тем как поднять шнек. Дополнительный кожух устанавливается после сборки шнекового транспортера. Прикрепить дополнительный кожух к крепежному приспособлению плоской шайбой, стопорной шайбой и шестигранной гайкой.

Вантовое соединение должно быть собрано на трубе шнека перед подъемом транспортера. Прикрепить кронштейн вантового соединения к сварному кронштейну на кольце трубы шестигранными болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайками. Прикрепить поперечное крепление к верхней части держателя, используя крепеж такого же размера. Соединительный трос проводится через муфты приваренные к держателю и через муфты приваренные по бокам трубы шнекового транспортера. Прикрепить поперечную тягу к верхней части держателя шестигранными болтами стопорными шайбами и шестигранными гайками. Натянуть соединительный трос, используя шестигранные гайки на каждом конце.

Прикрепить две опоры ходовой части к пальцу под сварным креплением редуктора, используя шайбы и шпильки. Прикрепить опоры ходовой части к мосту ходовых колес шестигранными болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайками. Передвинуть роликовый узел к направляющей с большим роликом, повернутым к нижней части шнекового транспортера. Прикрепить удлинитель подъемного рычага к роликовому узлу шестигранными болтами и контргайками. Прикрепить удлинитель подъемного рычага к верхней части подъемных рычагов. Использовать болты, стопорные шайбы и шестигранные гайки.

Прикрепить ограничители хода к верхней части и около нижней части направляющей. Крепление троса осуществляется в самом низу направляющей. **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** Нижняя часть подъемных рычагов крепится к внутренней части сварных кронштейнов моста болтами и контргайками. Правая и левая поперечные трубки крепятся к ходовой части шестигранными болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайками; к мосту – шестигранными болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайками. На правой поперечной трубке крепится лебедка. Убедитесь, что она развернута как показано на рисунке в каталоге. 6. Прикрепить установочную пластину к опорам ходовой части болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайка-

ми. Натяжной шкив располагается сверху установочной пластины. Установить кронштейн лебедки прорезями на правую поперечную трубку и придвинуть вплотную к сварным ограничителям. Прорези на кронштейне лебедки располагаются на 90° к поперечной трубке и загнуты вверх. Закрепить, используя две соединительные пластины и шестигранные болты, стопорные шайбы и шестигранные гайки. Прикрепить лебедку к кронштейну на правой поперечной трубке шестигранными болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайками. Плоские шайбы поставляются в комплекте с болтами, которые проходят через отверстия с прорезью.

Натянуть трос как показано на рисунке в каталоге. От лебедки трос идет вокруг шкива на установочной пластине. Затем вокруг шкива и вокруг желоба в нижнем ролике роликового узла. Конец троса крепится к креплению троса на нижней части роликового узла. Прикрепить трос к барабану лебедки зажимами, прилагающимися к лебедке.

Фиксатор крепится к верхнему концу одной из опор ходовой части шестигранными болтами, стопорными шайбами и шестигранными гайками.

Установить колеса на мост, используя болты. Внимание! После сборки необходимо проверить затяжку следующих болтовых соединений: 1. Зажимы троса. 2. Болты на роликовом узле. 3. Болты на подъемном рычаге, соединяющие мост и дополнительную трубу. 4. Болты, соединяющие ходовую часть, поперечины и мост. 5. Болты для крепления редуктора. 6. Установочные винты шкива. 7. Все болты на кожухе. 8. Болты крепления колес.

Установочные и зажимные винты карданного вала.

2 Подготовка к работе. Перед запуском и обкаткой машины необходимо выполнить следующее: Смазать машину согласно п настоящего РЭ. Убедиться в отсутствии посторонних предметов в машине. Проверить затяжку резьбовых соединений. При необходимости подтянуть. Зафиксировать нижнюю часть транспортера. Запуск и обкатка транспортера Обкатка транспортера является обязательной операцией перед его эксплуатацией. Порядок обкатки: · обкатку начинать без нагрузки, вхолостую; · убедиться в отсутствии посторонних стуков, нехарактерных вибраций; · обкатать транспортер вхолостую не менее 20мин. Через 20-30 минут, выключите машину и проверьте: · затяжку резьбовых соединений; · натяжение цепи; · температура нагрева корпусов редуктора и подшипниковых узлов не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 50°. Убедитесь, что все сборочные единицы и детали работают нормально, транспортер работает надёжно, устойчиво. · продолжить обкатку в условиях

эксплуатации при 50% нагрузке. Продолжительность обкатки – 10 часов. После 10 часов работы проверить затяжку всех резьбовых соединений. Проверить натяжение цепи привода шнека, при необходимости произвести ее натяжение. Эксплуатация и регулировки Шнек транспортера может быть поднят до 45°, хотя для лучшей производительности, подъем не должен превышать 35°. При подъеме шнека на угол больше 35° функциональные возможности и срок службы транспортера значительно снижаются. Никогда не эксплуатируйте пустой транспортер более 1 минуты во избежание чрезмерного износа шнека и трубы. При установке на рабочее место всегда буксируйте или передвигайте транспортер в нижнем положении как можно ближе к контейнеру или зернохранилищу. **ВНИМАНИЕ!** Наклон транспортера в поперечном направлении не допускается. Под верхнюю часть шнека необходимо подставить какую-либо опору. Когда шнек выбрасывает последнюю массу зерна, верхняя часть становится гораздо тяжелее нижней, что может привести к опрокидыванию транспортера. Нижняя часть шнека при работе также должна быть зафиксирована на поверхности земли. **ВНИМАНИЕ!** Никогда не подкладывайте какие-либо предметы под ходовые колеса, чтобы увеличить высоту выгрузки зерна транспортера. Опуская или поднимая шнек, убедитесь, что колеса свободно перемещаются. Никогда не пытайтесь поднимать или опускать шнек во время работы транспортера. Транспортер оборудован лебедкой с предохранительным тормозом. Шнек можно поднять или опустить, повернув ручку лебедки в нужном направлении, и, тем самым установить его на необходимую высоту разгрузки. На барабане лебедки всегда должно быть не менее трех витков троса. Перед остановкой транспортера (за исключением случаев экстренной остановки), дождитесь, чтобы шнек выбросил все находящееся в нем зерно. **ПРИМЕЧАНИЕ:** Если транспортер новый и запускается в первый раз или в начале сезона, то эксплуатировать его следует не на полную мощность, пока шнек не станет отполированным. Рекомендуется проверять шнек на степень подвижности поворачивая шкив или ось руками. Также, перед запуском транспортера, следует проверять разгрузочный и загрузочный концы трубы шнека на предмет посторонних предметов и засоров. Техническое обслуживание Общие сведения Технически исправное состояние и постоянная готовность машины к работе достигаются путем планомерного осуществления работ по техническому обслуживанию. Своевременное и качественное выполнение технического обслуживания обеспечивает бесперебойную работу машины, способствует повышению производительности и увеличивает срок ее службы. Соблюдение установленных сроков проведения технического

обслуживания является обязательным. При эксплуатации транспортера необходимо проводить ежедневное обслуживание (ЕТО) через каждые 8...10 часов работы, техническое обслуживание при постановке на хранение, хранении и снятии с хранения. 5.2 Выполняемые при обслуживании работы . Перечень работ, выполняемых при ЕТО · очистить машину от грязи, пыли и остатков зерна; · проверить надежность крепления ограждений, ответственных болтовых соединений, натяжение цепи; · периодически следите за состоянием троса лебедки и замените его в случае износа. Износу подвергаются первые несколько витков троса на барабане лебедки. Основное, что проверяется на тросе – это порванные стренги и наличие ржавчины, которая проникает в сердцевину троса. Это особенно важно, если транспортер эксплуатируется в течение нескольких лет. · оценить техническое состояние машины, устранить выявленные неисправности; · смазать узлы трения, подлежащие смазке . Примечание! Все операции по техническому обслуживанию машины проводить с отсоединенным карданным валом от ВОМ трактора!

Перечень работ, выполняемых при подготовке к хранению · установить шнек в самое нижнее положение; · очистить машину от грязи, пыли и остатков зерна; · тщательно вымыть машину и установить ее, по возможности, в непыльном и сухом помещении на ровной поверхности; · восстановить поврежденную окраску машины; · внутреннюю стенку трубы, по возможности покрыть смазкой; · проверить затяжку всех резьбовых соединений, при необходимости подтянуть; · снизить давление в шинах; 15 · покрыть шины светоотражающим составом (побелить); · смазать машину согласно п. 5.3 настоящего РЭ; · накрыть машину брезентовой тканью или пологом.

Транспортёр скребковый навозоуборочный ТСН-160.У

Монтаж, наладка и эксплуатация:

Подключить электродвигатели к источнику электроэнергии через шкаф управления, руководствуясь принципиальной электрической схемой схемой электрических соединений и инструкцией по эксплуатации шкафа управления.

.Обязательно должны быть установлены выравнивающие потенциал проводники

Выравнивающие проводники заземлите путём присоединения к нейтрали главного распределительного щита помещения.

Выравнивающие проводники должны иметь надёжный контакт как между собой, так и с металлоконструкциями

помещения. Для этого путём сварки соединяйте продольные проводники поперечными проводниками из того же материала, которые присоедините к металлоконструкциям. Глубина заделки выравнивающих проводников под настилом стойл от 2 до 15 см.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Виды и периодичность технического обслуживания при работе транспортёра должны быть следующими:

- техническое обслуживание (ТО-1) – через 365 часов работы -0,5 чел/ч.
- техническое обслуживание (ТО-2) – через 1000 часов работы 1,2 чел/ч..

Перечень работ, выполняемых по каждому виду технического обслуживания, приведён в приложении технического паспорта

Смазочные работы выполняйте согласно паспорта изделия и схемы смазки

Укорачивание цепей горизонтального и наклонного транспортёров должно производиться по мере необходимости при их растяжении, поэтому периодичность этой работы при техническом обслуживании не планируется.

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под конвейерным процессом?
2. Чем определяется возможность применения конвейерного процесса?
3. Какие требования предъявляются к укладыванию предметов труда в гнезда транспортера?
4. Каким образом может быть организована работа на кратных операциях конвейерного процесса?
5. Каким образом определяется целесообразность применения конвейерного процесса?
6. Чем ограничена область применения конвейерного процесса?
7. Как определяется мощность двигателя для скребкового транспортера?
8. Как определяется мощность двигателя для ленточного транспортера?

Тема 7.7. Электропривод машин и установок для первичной обработки сельскохозяйственной продукции. Машины для первичной обработки сельскохозяйственной продукции, особенности условий их работы

Вопрос 1. Приводные характеристики и режим работы дольных установок

Высокоскоростной безредукторный электропривод сепараторов

Анализ процессов сепарирования показывает, что все основные показатели любого сепаратора определяются лишь одним параметром привода — абсолютным значением и стабильностью частоты вращения. В связи с тем, что в настоящее время частота сети переменного тока 50 Гц не позволяет обеспечить нужную частоту вращения барабана, в конструктивную схему привода вводится механический мультипликатор.

При безредукторном (точнее, при безмультипликаторном) приводе сепаратора с применением электрического двигателя повышенной частоты производительность установки прямо пропорциональна квадрату чистоты тока, питающего обмотку статора двигателя. Источник электрической энергии повышенной частоты — от 100 до 1000 Гц, обычно электромашинный преобразователь, располагается в специальном электротехническом помещении; он создает автономную электрическую сеть повышенной частоты для данного цеха. В цехе могут одновременно работать до нескольких десятков установок сепарирования с приводом от высокоскоростных двигателей повышенной частоты. Еще более эффективно применение мощного тиристорного статического преобразователя, который, несмотря на пока еще высокую стоимость, имеет ряд преимуществ и, в частности, позволяет плавно изменять частоту и таким образом осуществлять разгон массивных барабанов сепараторов без применения пусковых фрикционных или гидравлических муфт. В отдельных случаях целесообразно применение индивидуального электромашинного или статического преобразователя для питания двигателя одного сепаратора. Возникновение работ по приводу на повышенной частоте питания относится к началу 60-х годов.

Для создания высокоскоростного привода рассчитывали и изготавливали **электродвигатели** повышенной частоты (обычно 400 Гц) или такие электродвигатели приобретали. Затем их размещали в станинах таким образом, чтобы на выходной конец вала двигателя можно было непосредственно или через муфту устанавливать барабан сепара-

тора. Одновременно производился выбор эффективного средства для демпфирования колебаний, неизбежных при работе установки, и также выбор и разработка источников повышенной частоты для питания электродвигателя. В это время появились конструкции с фланцевым креплением двигателя и пусковой фрикционной муфтой, а также с гидромуфтой.

Сначала был разработан привод от серийного двигателя повышенной частоты и преобразователя на транзисторах, а в 1970—1974 гг. — конструкции, реализующие принцип гиromaятника с нижней или верхней маятниковостью. Классический привод сепараторов испытывает воздействие вибраций барабана, как в радиальном, так и в осевом направлениях. Кроме того, сам привод является источником дополнительных вибраций. В частности, вибрации возникают из-за неуравновешенности горизонтального вала шестерни. В связи с этим, несмотря на тщательную балансировку барабанов, привод недолговечен и создает значительные производственные шумы.

Для самоцентрирования барабана при выходе его на рабочий режим, а также снижения вибраций в пусковой и рабочий периоды в сепараторе СОМ В-1000 электродвигатель установлен на шаровой опоре, в теле горловой опоры барабана радиально размещены шесть стаканов с пружинами. На верхнюю крышку электродвигателя насажена обойма для упора в нее днищ стаканов.

Для возможности работы от сети промышленной частоты и включения при этом шума он снабжен полупроводниковым преобразователем модели ЭЧ-2А. Сепаратор состоит из барабана (рабочего органа) и встроенного в станину электродвигателя повышенной частоты с преобразователем. Вал электродвигателя является валом барабана. Последний имеет полу горловую опору. В этой опоре размещена верхняя крышка электродвигателя с насаженной на нее обоймой с отфрезерованными плоскостями. Внутри горловой опоры установлены стаканы с пружинами, зафиксированными винтами. Днища стаканов упираются в плоскости обоймы, подпружинивая электродвигатель. Электродвигатель установлен на точечной опоре, причем над этой опорой в нижней крышке двигателя сделано сферическое гнездо, а в станине имеется упор (подпятник), выполненный с аналогичным сферическим гнездом. Шаровая опора представляет собой разъемное соединение, состоящее из двух пар сегментных кулачков, отфрезерованных вокруг сферических гнезд крышки и подпятника. Полупроводниковый преобразователь может быть размещен нижней части станины и связан с электродвигателем штепсельным разъемом. Пульт управления может находиться на станине.

Сепаратор через входные зажимы преобразователя подключают к промышленной трехфазной сети с напряжением 220/380 В. Рабочая частота вращения барабана 8100 об/мин. В процессе выхода барабана на рабочий режим происходит самоустановка системы барабан — двигатель относительно нижней точечной опоры, причем во время работы вибрации и шумы сведены к минимуму. Вибрации, замеренные в трех точках станины, не превышают 15 мкм, уровень шумов — не выше 60 дБ. Пуск привода плавный и длится 220 с. Параметры двигателя ДАТ400-8А: масса — 3,4 кг; напряжение — 40 В; номинальная частота — 400 Гц; мощность — 350 Вт. Масса 63 кг. Масса барабана (рабочего органа) 19 кг.

Данный сепаратор свободен от многих недостатков, свойственных большинству. В нем более чем вдвое уменьшилась амплитуда вибраций и на 20 дБ снизился уровень шумов по сравнению с другими моделями. Для рассматриваемого сепаратора более безопасно прохождение критической частоты вращения барабана, он достаточно компактен и имеет современные формы, его ресурс работы выше за счет исключения из привода недолговечных элементов. Если отношение массы барабана к общей массе в классической конструкции с мультипликатором составляет 17%, то относительная масса барабана — более 30%.

Некоторым недостатком данной конструкции является наличие подпятника, который не может демпфировать осевые колебания, что весьма важно для приводов, несущих барабаны большой массы (более 100 кг). Малая долговечность подпятников является характерной особенностью сепараторов, несмотря на то, что подпятники выполняются в виде различных упругих элементов. В связи с этим нами была предложена конструкция подпятника на упругой воздушной или жидкостной подушке. Вместо известного подпятника, размещенного в станине и несущего вертикальный вал (веретено), в станине под веретеном образована камера рабочей среды, ограниченная в верхней части перфорированной крышкой. Нижний участок вертикального вала снабжен диском, основание которого установлено с образованием зазора между ним и крышкой для создания упругой подушки. Внутренняя полость камеры сообщается с источником рабочей среды (сжатый воздух или жидкость) трубопроводом, а с атмосферой — отверстиями в перфорированной крышке. Камера жестко связана со станиной.

Рабочую среду подают в камеру, затем происходит запуск привода сепаратора, и барабан разгоняется до рабочей частоты. Упругая подушка, образующаяся в зазоре между крышкой камеры и развитой нижней поверхностью диска, воспринимает частично или полностью осевую нагрузку на подпятник веретена и разгружает его. Подобное

устройство способно разгружать подшипники веретена, вала электродвигателя или рамок карданова подвеса в зависимости от варианта конструкции сепаратора.

Кроме описанных выше, существуют конструкции высокоскоростного электропривода с гибким фланцем, снабженным упругими элементами, со сферическим подшипником между верхней крышкой двигателя и станиной. Все эти конструкции имеют много общего и позволяют одинаково выполнить компоновку высокоскоростного электропривода сепаратора.

Вопрос 2. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для привода доильной установки

Для нормальной работы доильных установок в вакуум-проводе должен поддерживаться вакуум $5 \cdot 10^4$ Па (380 мм. рт. ст.). Доильные установки отечественного производства для создания вакуума в вакуум-проводе комплектуются вакуум-насосами УВУ-60/45 или централизованными вакуумными установками ЦВУ-3, ЦВУ-6, ЦВУ-12.

Определяем производительность вакуум насоса по формуле:

$$Q_n = k \cdot q \cdot n$$

где k -коэффициент учитывающий неполную герметизацию системы, $k=2$

q -расход воздуха одним доильным аппаратом,

$$q = 1,8 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

n -число доильных аппаратов в установке, шт.;

$$Q_n = 2 \cdot 1,8 \cdot 8 = 28,8 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Определяем мощность электродвигателя по формуле:

$$P_p = \frac{Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_H \cdot \eta_n}$$

где Q – производительность вакуум насоса, $\text{м}^3 / \text{ч}$;

H - требуемый вакуум в вакуумпроводе, Па;

η_n – коэффициент полезного действия вакуум насоса,

$$\eta_n = 0,4$$

η_n – коэффициент полезного действия передач

Вопрос 3. Принципы управления доильными установками, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Доильные установки АД-100Б, ДАС-2В и УДС-В (рис. 7.5.1) предназначены для машинного доения коров в переносные доильные ведра при привязном содержании коров. Он состоит из девяти доильных аппаратов, вакуум-провода (трубопроводов 1" и 1 1/2"), тележки для перевозки фляг, устройства промывки, шкафа запасных частей, вакуумной установки (УВУ-60/45). Доильный агрегат обслуживают четыре дояра с двумя доильными аппаратами каждый. Технологический процесс работы доильного агрегата состоит из следующих операций: а) подготовка к доению; б) доение; в) транспортировка молока в молочное отделение; г) промывка и дезинфекция доильного аппарата.

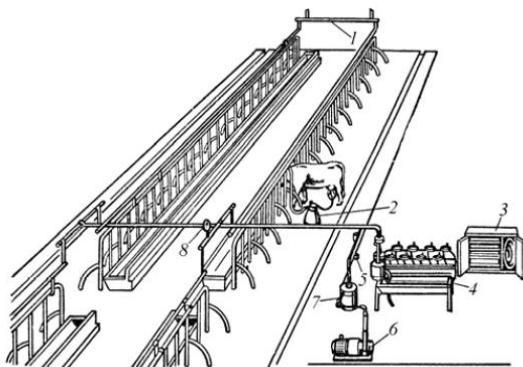


Рис. 7.5.1 Доильные установки со сбором молока в доильные ведра (АД-100Б, ДАС-2В и УДС-В):

1 - вакуум-провод; 2 - доильный аппарат; 3 - шкаф для хранения сосковой резины и запасных частей; 4 - установка для промывки аппаратов; 5 - вакуум-регулятор; 6 - вакуумная установка; 7 - вакуум-баллон; 8 - вакуумметр

Установите в удобное для себя место штепсельный разъем (розетка) поз. XS1 рис.12 и подключите к электросети согласно электро-

схеме рис. 7.5.2, учитывая длину кабеля вакуумной установки, равную 5м. Розетка входит в комплект поставки.

ВНИМАНИЕ!

Штепсельный разъём обязательно «занулить» согласно схеме рис.7.5.2

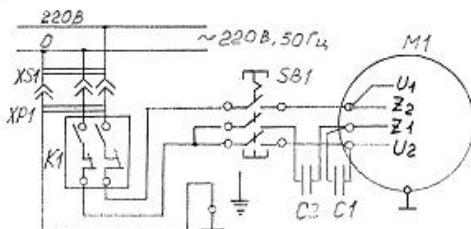


Рис.7.5.3. Схема электрическая принципиальная ШР-штепсельный разъём
K1- выключатель типа ВА
SB1- пускатель ПНВС 10У2
М- электродвигатель

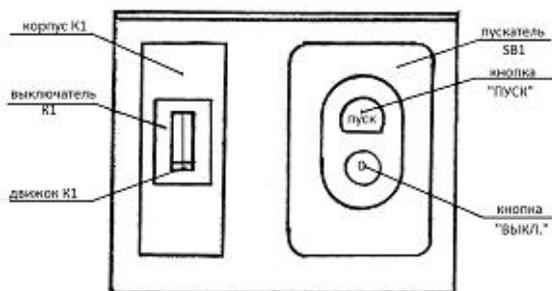


Рис.7.5.4. Щиток управления

Подготовка вакуумного насоса к работе

Установить вакуумметр на вакуумную установку .

наденьте резиновую трубку на конец металлической трубки ресивера В3, ввинтите резьбовой конец вакуумметра в свободный конец трубки. Резиновая трубка применяется для уменьшения вибрации вакуумметра при работе вакуумной установки.

Соберите доильную аппаратуру . .

Подсоедините свободный конец магистрального шланга поз.5 рис.2 к штуцеру поз.В6..

Заполните масленку маслом (уровень масла показан на рис. 10). Марка масла указана в пункте 2.9 раздела 2 (Технические характеристики) настоящей инструкции. Желательно залить масло через маслоподводящие шланги в корпус вакуумного насоса. Поступление масла регулируется количеством нитей в фитилях масленки.

Установите выключатель поз. SB1 в положение «**Выкл**» (для этого нажмите красную кнопку «0» выключателя SB1. Вставьте вилку в розетку, установите выключатель поз. K1 в положение «**Вкл.**» для этого движок выключателя K1 должен находиться в верхнем положении.

После этого нажмите кнопку «**Пуск**» выключателя SB1, установка запустится. Кнопку «**Пуск**» при запуске электродвигателя в нажатом положении удерживать не более 2,5 секунд.

Тема 7.8. Эксплуатация молочных сепараторов

Вопрос 1. Приводные характеристики и режим работы молочных сепараторов

Все промышленные сепараторы имеют электрический привод. Основными его частями являются электродвигатель; центробежная муфта, состоящая из ведущей и ведомой полумуфт; зубчатое ведущее колесо; ведомое колесо мультипликатора, вертикальный вал (веретено). В приводной механизм могут входить также и другие детали и узлы, усложняющие его конструкцию и обеспечивающие заданную частоту вращения барабана сепаратора. Передача движения от электродвигателя к барабану следующая. Вращение от вала электродвигателя передается ведущей центробежной полумуфте, затем после соприкосновения с ведомой центробежной полумуфтой вращение передается на горизонтальный вал. Ведущее зубчатое колесо на горизонтальном валу входит в зацепление с зубчатым колесом мультипликатора и передает вращение на вертикальный вал, а вместе с ним и на барабан. Этот способ передачи движения от электродвигателя на барабан сепаратора наиболее распространен, но известны и другие способы передачи вращения, обеспечивающие заданную частоту вращения барабана.

механическая характеристика барабана сепаратора выражается формулой (получена П.А. Рубцовым) ($MC=f(n)$): где M_0 – начальный момент трогания ($M_0=0,2-1,0 \text{ Н}\cdot\text{м}$); n – частота вращения барабана, об/мин; a_1 – коэффициент, зависящий от качества обработки элементов привода и барабана, массы барабана. Для сепараторов производительностью 50-3000 л/ч Всплески на кривой $MC=f(n)$ объясняются тем,

что практически не возможно добиться абсолютной балансировки барабана сепаратора. Квадратичная зависимость момента сопротивления сепаратора сохраняется при линейной скорости барабана до 70 м/с. Применительно к сепараторам сельскохозяйственного назначения это соответствует частоте вращения барабана 10000 об/мин. Нагрузочная диаграмма [$MC=f(n)$ или $N=f(t)$] при установившемся рабочем режиме сепаратора имеет слабо пульсирующий характер не значительного изменения мощности. Практически $N=const$ во времени. Абсолютное значение N находится в кубической зависимости от частоты вращения барабана.

4. Особенности электропривода и эксплуатации молочных сепараторов.

1. Особенностью сепараторов (центрифуг) является наличие больших маховых масс и быстроходность. В следствие этого система электродвигатель-сепаратор имеет значительную продолжительность разбега. Продолжительный разбег позволяет устранить большие динамические напряжения в период разгона. Как правило в приводном механизме сепараторов устраивают фрикционную муфту, обеспечивающую плавный, постепенный разгон барабана.
2. Рабочая частота вращения барабана не должна лежать в зоне резонансных колебаний. Это – основное условие нормальной работы сепаратора.
3. При работе сепаратора необходимо поддерживать постоянную частоту вращения барабана, так как уменьшение n приводит к ухудшению сливкоотделения, снижению Q , а увеличение – более быстрому износу червячной пары. Поэтому для привода молочных сепараторов необходимо применять двигатели с жесткой механической характеристикой (трех-фазные и однофазные короткозамкнутые конденсаторные асинхронные двигатели).
4. Повышенная влажность воздуха молочных требует установки (использования) для приводов сепараторов электродвигателей закрытого обдуваемого исполнения.
5. Электрический привод сепараторов при Q до 1000 л/ч целесообразно выполнять с однофазным конденсаторным двигателем (у него небольшой пусковой ток, высокий $\cos\phi$, высокий пусковой момент, жесткая механическая характеристика).
6. Для привода сепараторов при $Q>1000$ л/ч с непосредственным соединением валов целесообразно применять двухскоростные электрические двигатели, которые до половинной частоты вращения разгоняют барабан при увеличенном пусковом моменте, а затем до $n_{ном}$ – при обычном пусковом моменте.
7. При питании электрического двигателя от индивидуальной станции необходимо следить за тем, чтобы частота тока была постоянной и соответствовала паспортной.
8. Сепараторы и пусковая аппаратура должны быть тщательно заземлены.

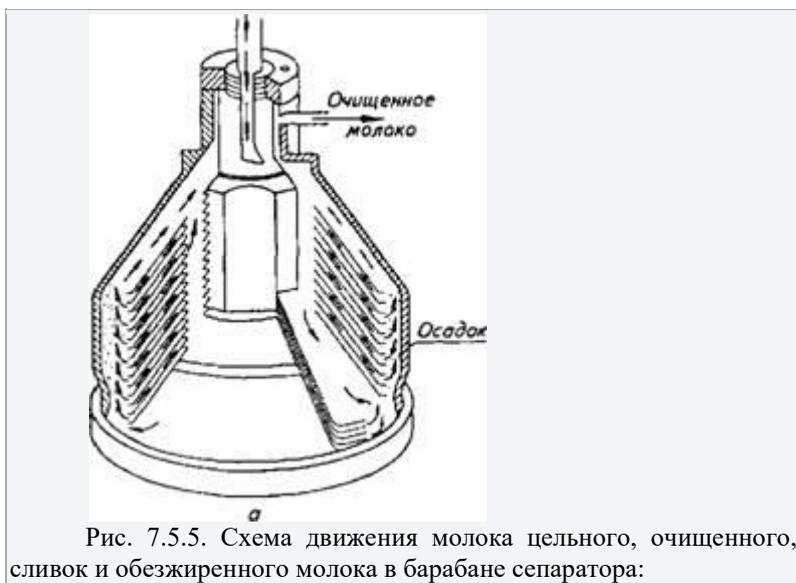
Вопрос 2. Структура электропривода сепараторов

Все промышленные сепараторы имеют электрический привод. Основными его частями являются электродвигатель; центробежная муфта, состоящая из ведущей и ведомой полумуфт; зубчатое ведущее колесо; ведомое колесо мультипликатора, вертикальный вал (веретено). В приводной механизм могут входить также и другие детали и узлы, усложняющие его конструкцию и обеспечивающие заданную частоту вращения барабана сепаратора. Передача движения от электродвигателя к барабану следующая. Вращение от вала электродвигателя передается ведущей центробежной полумуфте, затем после соприкосновения с ведомой центробежной полумуфтой вращение передается на горизонтальный вал. Ведущее зубчатое колесо на горизонтальном валу входит в зацепление с зубчатым колесом мультипликатора и передает вращение на вертикальный вал, а вместе с ним и на барабан. Этот способ передачи движения от электродвигателя на барабан сепаратора наиболее распространен, но известны и другие способы передачи вращения, обеспечивающие заданную частоту вращения барабана.

Разделение молока на фракции. Процесс происходит в сепарирующем устройстве (барабане), состоящем из основания (дна), кожуха (крышки) обтекаемой формы, тарелкодержателя и пакета конических промежуточных и разделительных тарелок. Последние имеют приваренные на внешней стороне шипики, образующие заданный межтарелочный зазор. Молоко может поступать в барабан сверху и снизу. При этом молоко должно равномерно распределиться в нижней части барабана между тарелками. На рис. 7.5.5 показана схема движения фракций молока в барабане сепаратора-молокоочистителя и сливоотделителя. Молоко из приемной камеры сепаратора-молокоочистителя поступает в барабан и через каналы тарелкодержателя отбрасывается на периферию барабана. Оттуда оно поступает в межтарелочное пространство. Под действием центробежной силы посторонние примеси, плотность которых больше плотности молока, при прохождении через барабан как более тяжелая фракция осаждаются на внутренней поверхности барабана в грязевом (шламовом) пространстве. После его заполнения сепаратор останавливают и барабан промывают. Продолжительность непрерывной работы сепаратора зависит от объема грязевого пространства и загрязненности молока и составляет 2—2,5 ч.

В сепараторе-сливоотделителе молоко перемещается из барабана через каналы тарелкодержателя к периферии и при этом проникает через толщу межтарелочного пространства. Под действием центробежной силы молочная плазма как тяжелая фрак-

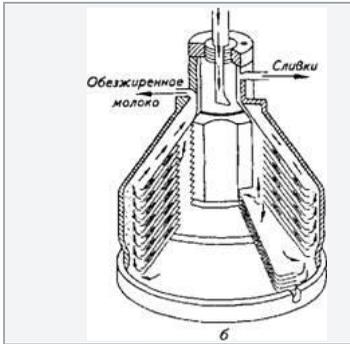
Цельное молоко Цельное молоко



А — молокоочистителя; б — сливкоотделителя

Ция движется к периферии, а жировые шарики как легкая фракция молока — к оси вращения. Всплывая и скапливаясь на наружной поверхности тарелки, жировые шарики образуют потоки сливок (концентрированная смесь жировых шариков в молочной плазме), которые движутся по тарелкам к оси барабана. Жировые шарики, не достигшие поверхности нижерасположенной тарелки, отходят в обезжиренное молоко и составляют потери. Разделение молока на сливки и обезжиренное молоко практически завершается в межтарелочном пространстве.

Под напором постоянно поступающего притока молока в барабан потоки сливок и обезжиренного молока вытесняются в его верхнюю часть и выходят через специальные отверстия (для сливок и обезжиренного молока). Для разделения и отвода потоков на пакет тарелок установлена специальная тарелка с ребрами на поверхности конусной части. Обезжиренное молоко движется по пространству между разделительной тарелкой и кожухом барабана в верхнюю часть кожуха, из которой отводится из сепаратора. Сливки поднимаются вверх по каналам тарелкодержателя в камеру сливок в разделительной тарелке и непрерывно отводятся.



Сепараторы-молокоочистители.
Сепаратор-молокоочиститель ОМ-1А (рис. 7.5.6) применяется на фермах для первичной очистки молока. Он включает в себя приводной механизм, барабан и при-

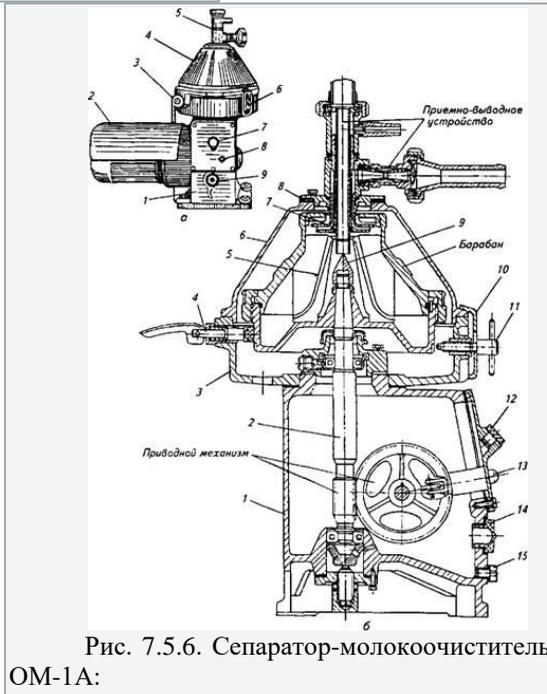


Рис. 7.5.6. Сепаратор-молокоочиститель ОМ-1А:

И —общий вид; / — станина; 2—привод; 3 — стопор; 4- кожух; 5— приемно-выводное устройство; 6— ручка тормоза; 7— отверстие для залива масла; 8— кнопка пульсатора; 9— смотровое стекло; б— вид в разрезе: / — станина; 2 — вертикальный вал (веретено); 3 — чаша; 4 — тормоз; 5 — крыльчатка; 6—крышка; 7—напорный диск; 8— кольцо резиновое; 9— гайка; 10 — прижим; // — стопор; /2—пробка; 13— кнопка пульсатора; 14 — смотровое стекло; 15 — отверстие для слива масла емно-выводное устройство.

Приводной механизм состоит из станины, электродвигателя с фрикционно-центробежной муфтой, горизонтального и вертикального валов, пульсатора. Фрикцион — но-центробежная муфта предназначена для постепенной и плавной передачи вращения от электродвигателя к барабану. Для заливки и удаления масла имеются соответствующие отверстия, закрывающиеся пробками, для контроля уровня масла — смотровое стекло.

Вертикальный вал вращается в верхнем радиальном и нижнем радиально-упорном шарикоподшипниках. Верхняя горловая опора выполнена упругой, что позволяет барабану сепаратора при разгоне и остановке плавно переходить критическую частоту вращения и сохранять устойчивый ход при рабочей частоте вращения. Частоту вращения барабана контролируют, нажимая кнопку пульсатора. Нормальной частоте вращения соответствуют 47—49 толчков кнопки пульсатора в минуту.

В чаше, установленной на станине, укреплено два тормоза для остановки барабана после выключения электродвигателя и два стопора, удерживающих барабан от произвольного вращения при сборке и разборке. Барабан, в котором происходит очистка молока, закреплен на веретене гайкой. Приемно-выводное устройство через крышку крепится к чаше прижимами.

Особенность конструкции сепарирующего устройства — отсутствие пакета разделительных тарелок. Он заменен крыльчаткой, которая выполняет роль сепарирующего устройства.

Сепаратор-молокоочиститель обычно работает в комплексе с пластинчатым охладителем. Порядок установки, подготовки, работы и технического обслуживания сепаратора необходимо выполнять строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации завода-изготовителя.

Вопрос 3. Расчет мощности электродвигателя, выбор структуры и типа электропривода для молочных сепараторов

Энергетический расчет. При выборе привода сепаратора необходимо учитывать следующие режимы работы – пусковой (разгон до рабочих оборотов), рабочий ход и холостой ход сепаратора. При выборе типа и мощности электрического двигателя для привода сепараторов основным режимом является пусковой, так как пусковая мощность в 1,5–2 раза больше потребной для рабочего хода. В период рабочего хода мощность распределяется следующим образом: на трение в приводном механизме – 25%; на трение барабана о воздух – 50%; на соображение кинетической энергии выбрасываемой жидкости – 25%. Пус-

ковая мощность определяется по формуле: $P = J \cdot \alpha$, Вт. где J - момент инерции барабана относительно оси вращения, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; α - угловая скорость барабана, $1/\text{с}$; η - механический к.п.д. передачи ($\eta = 0,8 - 0,9$); t - время разгона барабана ($t = 100 - 300 \text{ с}$).

Вопрос 4. Вид и составные части электрических сепараторов

По виду привода сепараторы подразделяются на три группы: с ручным, комбинированным и электромеханическим приводом.

Основными составными частями электрических сепараторов . Сепараторы по принципу действия подразделяются на центробежные, центробежно-вихревые, центрифужные, прессо-шнековые, вибрационные и отстойные.

Вопрос 5. Монтаж, наладка и эксплуатация электропривода транспортных машин и установок для первичной обработки сельскохозяйственной продукции

Для машин непрерывного транспорта применяются электродвигатели, предназначенные для длительного режима работы. Пуск таких машин может производиться как без нагрузки, так и под нагрузкой.

Иногда электроприводы машин непрерывного транспорта работают в тормозном режиме. Мощность двигателей выбирается равной статической мощности производственного механизма. В большинстве случаев в транспортных машинах можно обойтись без регулирования скорости. Ввиду отсутствия необходимости в частых пусках, торможениях и регулировании скорости транспортеры и другие механизмы приводятся в действие во многих случаях асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Применение двигателей с короткозамкнутым ротором облегчает автоматизацию установок непрерывного транспорта.

Установки непрерывного транспорта требуют значительного пускового момента, так как при пуске в ход, особенно после длительного перерыва в работе, а также в зимнее время, когда смазка в подшипниках застывает, момент их сопротивления может быть намного выше нормального статического момента. Кроме того, двигателю приходится преодолевать инерцию значительных масс установки.

Для двигателей, применяемых в приводе транспортеров, отношение пускового момента к номинальному должно быть не менее 1,2. В транспортерных системах, состоящих из нескольких транспортеров, для каждого из них обычно применяют отдельные двигатели.

Для приводов небольшой мощности (до 7,5 кет) создан компактный и удобный привод в виде электробарабана, внутри которого встроены редуктор и двигатель. Одна из конструкций подобного электробарабана, на который надевается транспортная лента, приведена на рис. 2. Двигатель и редуктор герметически закрыты и вмонтированы в барабан. Двигатели, у которых статор прикрепляется к валу, а ротор вращается вокруг статора, носят название двигателей с обращенным ротором. Барабаны со встроенными роторами надежно работают в самых тяжелых условиях.

Приводы наклонных транспортеров помимо двигателя должны иметь тормоз или стопор. Тормоз необходим для таких транспортеров в связи с тем, что при выключении их двигателя перемещение ленты может продолжаться под действием груза. Тормоз любой конструкции должен быть заблокирован с двигателем и срабатывать автоматически при отключении последнего. Для наклонных транспортеров, поднимающих груз, необходимо иметь останов (стопор), предотвращающий движение ленты в обратную сторону при отключении двигателя.

Электровинтовые транспортеры (шнеки) приводятся в действие через редукторы, понижающие скорость вращения до 40—140 об/мин, в зависимости от диаметра винта и производительности шнека. Шнеки длиной от 40 до 60 м изготавливаются с одним приводом. Для шнеков большей длины при одном желобе применяются два привода. К недостаткам винтовых транспортеров относится большой удельный расход мощности (больше, чем в любом другом типе транспортера) и небольшая скорость перемещения груза. Несмотря на эти недостатки, винтовые транспортеры имеют широкое распространение, особенно как вспомогательные устройства в виде питателей у механических погрузчиков или для распределения груза в бункерах и т. д.

На канатных дорогах применяются асинхронные электродвигатели или двигатели постоянного тока с параллельным возбуждением, рассчитанные на длительный режим работы. При устройстве электропривода канатных дорог возможна рекуперация электроэнергии. Обычно канатные установки снабжаются колодочными электромагнитными тормозами.

Передвижные ленточные конвейеры перед транспортированием с одного объекта эксплуатации на другой частично демонтируют. Для перевода машины в транспортное положение снимают ленту и, разбирая болтовые соединения, укладывают фермы рядом на шасси. В некоторых случаях снимают электродвигатель и загрузочную воронку.

Приступая к сборке конвейера на другом объекте, необходимо проверить техническое состояние всех узлов машины. Затем колеса

конвейера устанавливают на деревянные подкладки. Рама должна быть смонтирована так, чтобы оси колес были горизонтальны. Положение колес проверяют уровнем.

После установки рамы приступают к натягиванию ленты, монтажу электродвигателя и воронки. В заключение монтажных работ делают электропроводку и включают электродвигатель.

Узел привода - элемент всех конвейерных систем. Это механическое устройство, которое с помощью своего электродвигателя приводит в движение конвейерную цепь через червячный или зубчатый передаточные механизмы. Узлы привода с подвижной рамой, которая позволяет двигателю, редуктору и передаточному механизму перемещаться, обычно считаются более предпочтительными по сравнению с узлами привода, в которых используются неподвижные рамы.

Узел привода располагают таким образом, чтобы тяговое усилие прилагалось к секции конвейера с максимальной нагрузкой. Он часто монтируется в местах подъема. Поскольку узлы привода имеют множество движущихся частей и должны смазываться, необходимо, чтобы к ним имелся легкий доступ для обслуживания. Кроме того, узел привода может быть расположен перед моечным агрегатом или между участками загрузки и выгрузки, где присутствует только пустая цепь. Размеры узла привода выбирают на основании максимального расчетного тягового усилия цепи.

Тяговое усилие цепи характеризует то усилие, которое необходимо для обеспечения движения цепи по всей производственной системе. Оно является функцией максимального веса детали, транспортируемой цепью, расстояния между деталями, общей длины цепи, изменений высоты системы. Усилие, создаваемое узлом привода, должно превышать максимальное усилие, которое требуется для движения цепи. Узлы привода могут развивать усилие от 40 до 1400 Н и более, в зависимости от типа и размеров транспортируемых изделий. В некоторых случаях для длинных цепей или больших нагрузок может потребоваться более одного узла привода. В таком случае используется контрольная система распределения тягового усилия между этими узлами привода.

Эксплуатация приводов и натяжных устройств заключается в профилактическом осмотре, чистке, регулировке, наладке, смазке механизмов и проведении различных видов ремонта в соответствии с инструкцией на оборудование.

К основным видам работ, осуществляемым в процессе эксплуатации электрической аппаратуры привода, относятся: обдувка аппаратуры сжатым воздухом для удаления осевшей пыли; зачистка подгоревших контактов; регулировка силы прижатия контактов; проверка

состояния пускорегулировочных сопротивлений; замена негодных катушек, реле; пайка поврежденных мест проводников; проверка заземления. Для привода мощностью более 50 кВт периодически проверяется плавность пуска конвейера под нагрузкой. На ленточных конвейерах с отдельным приводом барабанов рекомендуется осуществлять контроль распределения нагрузки между приводными барабанами с помощью амперметров.

Контрольные вопросы:

1. Назовите составные части молочных сепараторов.
2. Как устроен приводкой механизм?
3. Расскажите об особенностях установка вертикального вала в станине.
4. Каким образом происходит связка зубчатой передачи ?
5. Как устроена центробежная фрикционная муфта?
6. В чем сходство и различие барабанов сливкоотделителей и очистителей?
7. Что входит в состав приемно-отводного устройства?
8. Объясните сущность технологического процесса разделения молока на сливки и обрат.
9. Объясните технологические процесс очистки молока.
10. Как регулируют жирность сливок в открытых и закрытых сепараторах?
11. Какие параметры сепараторов определены в ходе расчетов?
12. Расскажите о технологии и автоматизации процессов машинного доения коров.
13. Объясните по технологической схеме принципы управления пастеризацией молока.
14. Как работают технологическая и электрическая схемы управления установками для охлаждения молока?

Тема 7.9. Электропривод машин и агрегатов зерноочистительно - сушильных пунктов и комплексов. Приводные характеристики режим работы машин и агрегатов зерноочистительно - сушильных пунктов и комплексов.

Вопрос 1. Расчет мощности и выбор типа электродвигателей для их привода.

Провожу выбор электродвигателя для машины первичной очистки ЗВС-20А

Стационарно воздушно-решётная зерноочистительная машина ЗВС-20А применяется в комплексах для первичной очистки вороха зерновых культур с доведением зерна до продовольственных кондиций. Производительность 20 т. в час на очистке зерна. Основные рабочие органы: приёмная камер, воздушно-очистительная часть с вентилятором, два параллельно работающих решётных стана.

Мощность электродвигателя для привода решётного стана зерноочистительной машины.

Где $k_{зап} = 1,2 \dots 1,5$ – коэффициент запаса;

M – масса решётного стана (100...300кг)

A – оптимальное ускорение, м/с²;

$N = 500$ - число колебаний качающегося решета в минуту;

$\eta_{п}$ – КПД передаточного механизма. $\eta_{п} = 0,6 \dots 0,7$,

если остальные рабочие органы решетного стана (щётки, шнек) имеют привод от того же электродвигателя, то расчётную мощность $P_{расч}$ увеличивают в 1,25...1,75 раза.

Провожу расчёт мощности и выбор электродвигателя с учётом соблюдения условия $P_n \geq P_p$ подбираем по каталогу асинхронных электродвигателей АИР100L6 У4IP44

Технические характеристики электродвигателей серии АИР

| Тип | P_n , кВт | I_n , А | η_n , % | $\cos\phi_n$ | SH % | | | | |
|----------|-------------|-----------|--------------|--------------|------|---|-----|-----|---|
| АИР100L6 | 2,2 | 5,6 | 81 | 0,74 | 5,5 | 2 | 2,2 | 1,6 | 6 |

Асинхронный, интерэлектро, с привязкой по нормам DIN для внутренних поставок, высота оси вращения-100мм, 6-число полюсов двигателя (синхронная скорость вращения 1000об.мин-1), для умеренного климата, 4-ой категории размещения, степень защиты IP44, на лапах.

Мощность электродвигателя для привода вентилятора зерноочистительной машины

где Q_v – подача вентилятора, м³/ч;

H - расчетное давление, МПа;

η_v – КПД вентилятора (принимают по каталожным данным или при их отсутствии для центробежных вентиляторов 0,4...0,6)

$\eta_{п}$ - КПД передачи

Номинальную мощность двигателя выбирают по условию

$$P_n \geq P_{расч} \cdot k_z ,$$

где k_z – коэффициент запаса (принимают при $P_{расч}$ до 0,5 кВт – 1,5 от 0,5 до 1 кВт – 1,3, от 1 до 2 кВт – 1,2, от 2 до 5 кВт – 1,1, свыше 5 кВт 1,05.

Провожу расчёт мощности при выборе электродвигателя.

Для обеспечения требуемого качества очистки зерна вентилятор должен соответствовать следующим параметрам.

$$Q_v = 5 \cdot 103 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad H = 40 \text{ кг}/\text{м}^2 = 392 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}$$

технические характеристики электродвигателей серии АИР кВт

$$P_n \geq P_{расч} \cdot k_z = 4,62 \cdot 1,05 = 4,9 \text{ кВт}$$

С учётом соблюдения условия $P_n \geq P_p$ подбираем по каталогу асинхронный электродвигатель АИР112М4УЗ IP54

Технические характеристики электродвигателей серии АИР

| Тип | P_n , кВт | I_n , А | η_n , % | $\cos\phi_n$ | SH % | | | | |
|----------|-------------|-----------|--------------|--------------|------|---|-----|-----|---|
| АИР112М4 | 5,5 | 11,4 | 85,5 | 0,86 | 4,5 | 2 | 2,5 | 1,6 | 7 |

асинхронный, интерэлектро, с привязкой по нормам DIN для внутренних поставок, высота оси вращения-112мм, М-средняя длина статора, 4-число полюсов двигателя (синхронная скорость вращения 1500об.мин-1), для умеренного климата, 3-ой категории размещения, степень защиты IP54, на лапах.

Ковшовой элеватор для зерна. Нория НПЗ-50

Нория предназначена для вертикального перемещения зерна и отходов в технологических линиях и машинах. Двухпоточные линии отличаются от однопоточных наличием двух ковшовых лент с двумя парами барабанов в верхней и нижней головках. Двухпоточные нории обеспечивают подачу зерна на очистку на две параллельные технологические линии. Любая нория состоит из бесконечно движущейся ленты с ковшами, заключённой в кожух. Лента натянута на барабане из которой верхний-ведущий, нижний-ведомый натяжной. Лента резиновая, на ней монтажными болтами крепятся ковши.

где Q – производительность элеватора, кг/с;

H – высота подъёма материала;

η_n – КПД элеватора; при $Q < 20$ т/ч и $H < 20$ м принимают $\eta_n = 0,4 \dots 0,5$, η_n –КПД передачи.

Провожу расчёт мощности и выбор электродвигателя кВт
 С учётом соблюдения условия $P_n \geq P_p$ подбираю по каталогу электродвигателя асинхронный АИР112М4УЗ IP54

Технические характеристики электродвигателей серии АИР

| Тип | P_n , кВт | I_n , А | η_n , % | cosφ _n | SH, % | | | | |
|----------|-------------|-----------|--------------|-------------------|-------|---|-----|-----|---|
| АИР112М4 | 5,5 | 11,4 | 85,5 | 0,86 | 4,5 | 2 | 2,5 | 1,6 | 7 |

асинхронный, интерэлектро, с привязкой по нормам DIN для внутренних поставок, высота оси вращения-112мм, М-средняя длина статора, 4-число полюсов двигателя (синхронная скорость вращения 1500об.мин-1), для умеренного климата, 3-ой категории размещения, степень защиты IP54, на лапах.

Тема 7.10. Эксплуатация зерноочистительно-сушильных пунктов и комплексов

Вопрос 1. Принципы управления поточными линиями зерноочистительно- сушильных пунктов и комплексов, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Принципиальная электрическая схема управления очистительным отделением комплекса КЗС-20Ш показана на рисунке 7.6.1. - . В зависимости от количества и засоренности зерновой массы устанавливают соответствующее положение переключателей SA1 и SA2, которыми задается режим работы оборудования по семи различным вариантам: при переводе переключателя SA1 в положение 3 возможна работа всех машин предварительной, воздушно-решетной и триерной очистки, а также отдельная работа первой или второй линии машин в зависимости от включения переключателя SA2 (положение 1 или 2). Если переключатель SA1 находится в положении 1, то возможна работа машин в вышеуказанных трех вариантах, но без триерных блоков. Когда переключатель SA1 в положении 2, работает также машина предварительной очистки.

Для предотвращения завала зерна при пуске и останове

машин последовательность пуска электроприводов машин противоположна движению зерна, а последовательность остановки совпадает с потоком зерна. В качестве примера рассмотрим работу схемы при включении машин по основному варианту, когда включаются все машины.

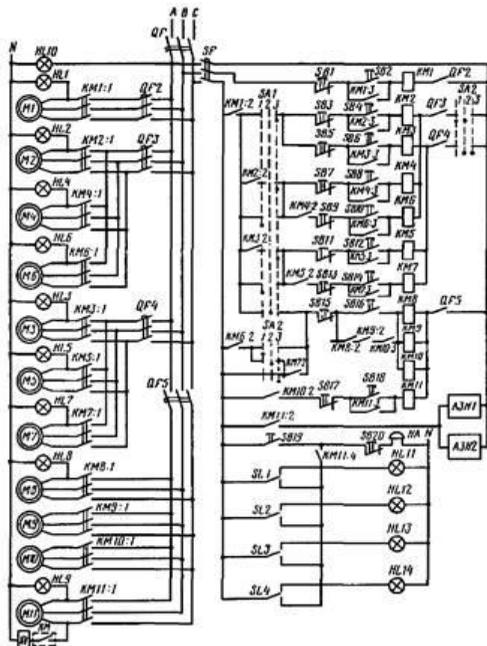


Рисунок 7.6.1. – Принципиальная электрическая схема дистанционного управления и сигнализации очистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш

Сначала включают автоматы QF...QF5, переключатель SA1 ставят в положение 3, а SA2 в положение 2 и кнопкой SB 19 подают предупредительный звуковой сигнал НА о пуске машины, а затем кнопкой SB2 включают в работу электропривод M1 (мощностью 14 кВт) централизованной аспирационной системы 3 (см. рисунок 1). После этого кнопками SB4 (см. рисунок 2) и SB6 включают электроприводы M2 и M3 (мощностью по 2,2 кВт) двух блоков триеров 1. Передаточные транспортеры 2 и воздушно-решетные машины 4 работают от электроприводов соответственно M4, M5 (по 1,5 кВт) и M6, M7 (по 1,1 кВт). Их включают кнопками SB8, SB 12 и SB 10, SB 14 после замыкания блок-

контактов КМ2:2 и КМ3:2 в цепях магнитных пускателей КМ4...КМ7. Только после этого можно включить кнопкой SB16 через блок-контакты КМ6:2 или КМ7:2 электроприводы М8 (3 кВт) норрии 7, М9 (1,1 кВт) машины предварительной очистки 6 и М10 (1,5 кВт) транспортера отходов 19, а затем кнопкой SB18 – электропривод М11 (4 кВт) загрузочной норрии 5. Автоматы заслонки норрии АЗН1 и АЗН2 открываются автоматически от блок-контактов КМ11:2.

Останавливают машины в обратной последовательности, нажимая кнопки «Стоп» SB17...SB1. В случае переполнения бункеров 18, 20, 21 и 22 переключаются контакты датчиков уровня SL1...SL4 и включается звуковой сигнал НА, а соответствующие сигнальные лампы HL1L.ML14 гаснут.

Вопрос 2. Монтаж, наладка и эксплуатация электропривода машин и агрегатов зерноочистительно - сушильных пунктов и комплексов

Перед пуском сушилки в работу обслуживающий персонал должен осмотреть и очистить от сора и пыли камеру нагрева, шахты, выпускной механизм, диффузоры, воздухопроводы, вентиляторы, подъемно-транспортное и другое оборудование сушилки и проверить:

- наличие полного комплекта коробов и полукоробов;
- исправность механизмов загрузочных и выпускных приводных и бесприводных устройств (натяжение пружин, частоту срабатывания, отсутствие перекоса и высоту подвески затворной рамы, ширину открытия выпускных щелей и т.д.);
- настройку командного электропневматического прибора КЭП-12У или реле времени на заданную производительность сушилки;
- состояние и готовность к работе норрий, конвейеров и других транспортных механизмов (правильность вращения приводных барабанов, натяжение ленты, наличие и исправность ковшей);
- действие шиберов и заслонок, обеспечивающих ручное или дистанционное регулирование расходов зерна, агента сушки и воздуха, наличие надписи у рукояток: "открыто", "закрыто";
- частоту вращения вентиляторов, легкость вращения вала, отсутствие толчков, ударов и трения рабочего колеса о кожух вентилятора, отсутствие несвойственного шума и вибрации при его работе;
- наличие смазки в подшипниках и масла в редукторе;
- натяжение приводных ремней;
- плотность соединения воздухопроводов, диффузоров и приле-

гания крышек смотровых люков;

- исправность аспирационного оборудования;
- готовность весов к работе;
- наличие в зернохранилищах сырого зерна и места для размещения просушенного;
- наличие и исправность первичных средств пожаротушения, пожарной сигнализации;
- наличие и исправное состояние ограждений, заземления электрооборудования, обеспечивающих безопасность работы.

Все механизмы сушилки до пуска в работу проверить на холостом ходу. Выявленные недостатки в ходе проверки устранить.

При подготовке топки проверить:

- техническое состояние топливной системы и ее оборудования, форсунки, форкамеры, цилиндров, отражателя;
- исправность регулятора давления топлива, счетчика расхода топлива, запорной арматуры, манометров, отсутствие утечек топлива из топливопровода и чистоту фильтра;
- наличие и состояние противозрывных люков (клапанов) в стенках и перекрытиях топочного помещения;
- техническое состояние устройств для зажигания топлива и автоматического отключения подачи его в случае срыва факела и других неисправностей;
- работу вентилятора высокого давления, обеспечивающего подвод воздуха к форсунке и распыление жидкого топлива, а также наличие топлива;
- наличие и состояние каналов подвода воздуха в топку; убедиться, что в топку с воздухом через заборные отверстия не попадают мелкие зерновые примеси и пленки.

При использовании газообразного топлива, кроме того, провести ревизию запорных устройств и контрольно-измерительных приборов специальной службой в период ремонта сушилки.

Проверить блокировку топki следующим образом:

- увеличить расход топлива так, чтобы температура агента сушки во II зоне шахтной прямоточной сушилки и после камеры нагрева рециркуляционной сушилки превысила максимальную. При этом должна отключиться подача топлива в форсунку и включиться звуковая сирена;
- остановить один из вентиляторов I и II зон сушки (или вентилятор камеры нагрева рециркуляционной сушилки). При этом должна отключиться подача топлива в форсунку и включиться звуковая сирена;
- провести имитацию срыва факела, для чего датчик фоторе-

ле закрыть светонепроницаемой пластиной. При этом должна отключиться подача топлива в форсунку и включиться сирена;

- снизить давление воздуха, подаваемого вентилятором высокого давления на форсунку. При этом должна прекратиться подача топлива в форсунку и включиться сирена;

- во всех случаях сигнал прекращается нажатием на кнопку "Съем сигнала". Каждый последующий розжиг топки разрешается после проветривания топочного пространства в течение 10 минут вентиляторами I и II зон прямоточной сушилки и вентилятором камеры нагрева рециркуляционной сушилки.

Для предупреждения самосортирования зерна при загрузке прямоточных сушилок, имеющих один загрузочный самотек, рекомендуется заранее, во время подготовки технической базы, оборудовать сушилки загрузочным устройством.

В технологических линиях с большими объемами сушки семян подсолнечника рекомендуется осуществить реконструкцию:

- установить самотечные трубы увеличенного диаметра (до 300 мм);

- увеличить угол наклона самотечных труб (до 60°);

- установить в шахтах сушилки крайние короба на расстоянии 100-115 мм от боковой стенки, а над газораспределительной камерой — горизонтальную перегородку;

- боковые стенки сушильных шахт со стороны газораспределительных камер покрыть слоем тепловой изоляции;

- оборудовать камеру нагрева рециркуляционной сушилки тормозящими элементами в виде конусов на гибких подвесках, в камерах нагрева с тормозящими элементами в виде труб наварить снизу по длине каждой трубы две стальные полосы под углом 45° друг к другу;

- установить нижние днища диффузора и конфузора в камере нагрева под углом не менее 70° к горизонту;

- предусмотреть, чтобы внутренние части камеры нагрева, теплообменника, подводящего диффузора, отводящих конфузоров и воздуховода были ровными, с плавными переходами, без выступов и вмятин.

О готовности сушилки к работе сушильный мастер должен делать соответствующую запись в журнале учета работы сушилки за смену.

Эксплуатация:

В процессе работы осуществлять тщательный уход за всем оборудованием сушилки и топки.

При круглосуточной работе сушилки, не реже одного раза в декаду, освобождать шахты от зерна, тщательно очищать их, осматривать воздухораспределительные устройства, выпускные механизмы и

другое оборудование сушилки и топки. Обнаруженные при осмотре неисправности устранить.

Наладку сушилок осуществлять в начальный период их работы и после ремонта (реконструкции).

При наладке сушилки проверить:

соответствие режима работы оборудования паспортным данным (мощность электродвигателей на приводе, частота и правильность вращения вентиляторов, скорость лент конвейеров и норий, натяжение приводных ремней);

наличие и состояние контрольно-измерительной аппаратуры и сигнализации, автоматических устройств и установок (термометры и датчики температуры, датчики или сигнализаторы уровня зерна, амперметры для контроля загрузки основных механизмов, устройства для блокировки оборудования);

наличие и работоспособность сливных самотеков;

максимальную производительность рециркуляционной нории или пневмотрубы;

работу выпускного механизма и равномерность движения зерна по шахтам, отсутствие выноса зерна из отводящих коробов шахт;

действие шиберов на воздуховодах и патрубках, речных задвижек и перекидных клапанов на самотеках, регулировочных заслонок в бесприводных загрузочных и выпускных устройствах.

При уходе за отдельными механизмами сушилок необходимо строго выполнять заводские инструкции.

Основные указания по технической эксплуатации различных типов сушилок приводятся ниже.

Зерносушилки типа ДСП

Проверить выпускные механизмы шахт и убедиться, что при открытом их положении образуется максимальная и одинаковая в разных местах ширина выпускных щелей, а при закрытом положении нет просыпи зерна в подсушильный бункер. Это достигается регулировкой положения подвижной рамы затвора при помощи возвратных пружин и тяги автомата, а зазор между подвижной и неподвижной рамами — регулировкой подвесных тяг.

Осмотреть и смазать исполнительные механизмы выпускных устройств, проверить их работу на холостом ходу и, при необходимости, отрегулировать.

Сушилку пускать в работу, когда сушильная камера заполнена зерном и топка приведена в рабочее состояние.

Контрольные вопросы

1. Что называют «активным вентилярованием» зерновой массы?
2. С какой целью проводится активное вентилярование зерновой массы?
3. Каковы достоинства активного вентилярования зерновой массы?
4. На каком физическом свойстве зерновой массы основано активное вентилярование?
5. Какие отрицательные явления могут происходить в зерновой массе при неправильной организации вентилярования?
6. Что понимается под удельной подачей воздуха и от чего она зависит?
7. Каковы принципиальные схемы движения воздуха в зерновой массе при активном вентиляровании? 8. Как определяется целесообразность активного вентилярования зерновой массы?
9. При каком сопоставлении равновесной и фактической влажности зерновой массы целесообразно активное вентилярование?
10. Каковы достоинства и недостатки активного вентилярования для сушки зерна?
11. Как определяется продолжительность активного вентилярования для сушки зерна?
12. Как рассчитывается размер и вместимость рабочей площадки напольной вентиляционной установки?
13. Охарактеризуйте зерносушилку как объект автоматизации.

Тема 7.11. Электропривод установок и механизмов ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий Приводные характеристики, режимы и особенности работы электродвигателей, кранов малой мощности

Вопрос 1. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для их привода

Работа исполнительного механизма характеризуется: силой сопротивления F , которую необходимо преодолеть при выполнении технологического процесса; скоростью движения v или числом оборотов n , или угловой скоростью ω частей механизма, полезной $P_{пол}$ и потребляемой $P_{пот}$ мощностью.

При работе исполнительного механизма с постоянной скоростью преодолеваются лишь статические сопротивления, состоящие из полезного и вредного сопротивлений (трение в механизмах, сопротив-

ление среды и др.). При неравномерном движении полное сопротивление складывается из статического сопротивления и динамического сопротивления, вызываемого инерцией движущихся масс.

При вращательном движении силы сопротивления можно заменить моментами;

$$M = M_c + M_d, \quad \text{кГ} \cdot \text{м},$$

где M — полный момент сопротивления;

M_c — статический момент сопротивления;

M_d — динамический момент сопротивления.

Статический момент сопротивления M_c складывается из момента полезного сопротивления $M_{пол}$ и момента сил трения $M_{тр}$:

$$M_c = M_{пол} + M_{тр}, \quad \text{кГ} \cdot \text{м}.$$

При равномерном вращательном движении мощность $P_{вр}$ равна произведению момента вращения M_c на угловую скорость ω :

$$P_{вр} = M_c \omega, \quad \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{сек}}; \quad \omega = \frac{2\pi n}{60},$$

где n — число оборотов в минуту.

Так как $1 \text{ квт} = 1,36 \text{ л. с.}$, или $102 \text{ кГ} \cdot \text{м}/\text{сек}$, то

$$P_{вр} = \frac{M_c \cdot 2\pi n}{60 \cdot 102} = \frac{M_c n}{975}, \quad \text{квт}.$$

Примеры расчёта мощности электродвигателей

Мощность электродвигателя токарного станка

$$P = \frac{F_p v_p}{60 \cdot 102 \eta}, \quad \text{квт},$$

где F_p — усилие резания, кГ ;

v_p — скорость резания, $\text{м}/\text{мин}$;

η — к. п. д. станка.

Иногда для подсчёта мощности двигателя пользуются выражением крутящих моментов (двойных для удобства вычисления):

$$2M_p = F_p d, \text{ кг}\cdot\text{м},$$

где F_p — усилие резания, кГ ;

d — диаметр обрабатываемого изделия, м .

В этом случае мощность двигателя определяется по следующей формуле:

$$P = \frac{2M_p n}{2.975 \eta}, \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя сверлильного станка

$$P = \frac{2M_p n}{2.975 \eta}, \text{ кВт,}$$

где $2M_p$ — двойной крутящий момент резания на сверле, в $\text{кГ}\cdot\text{м}$;

n — число оборотов сверла в минуту;

η — к. п. д. станка.

Примечание. По аналогичным формулам определяется мощность двигателей для строгальных и фрезерных станков.

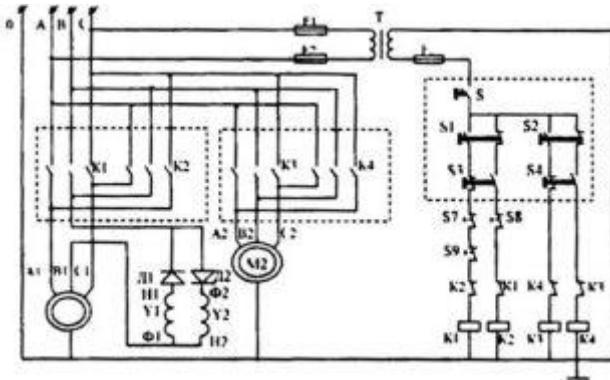
Вопрос 2. Принципы управления электроталиями и кранами малой мощности, типовые схемы и комплекты электрооборудования. Режим работы и требования к электроприводу стенов для обкатки автотракторных двигателей внутреннего сгорания после ремонта

Принципиальная электрическая схема тали грузоподъемностью 5,0 т Слуцкого завода ПТО (разработка 1999 г.).

Электрическая таль оборудована дисковым тормозом, выключателями верхнего и нижнего положения крюковой подвески, аварийным выключателем верхнего положения подвески. Цепь управления 42 В.

Подвод питания к тали должен осуществляться четырехжильным кабелем, одна их жил которого - заземляющая. При троллейном питании тали необходимо иметь четвертый, заземляющий провод.

Схема управления талью работает на токе низкого безопасного напряжения 42В, которое получается с помощью трансформатора (Т) с раздельными обмотками, подключенного к фазам А и С. Вторичная обмотка трансформатора (Т) должна быть заземлена.



Принципиальная электрическая схема тали грузоподъемностью 5,0 т Слуцкого завода ПТО.

Предохранители (F1, F2, F3) защищают обмотки трансформатора. Ключ-марка (S) поста управления ПКТ-40 обеспечивает включение системы управления талью и подачи напряжения на магнитные пускатели двигателей.

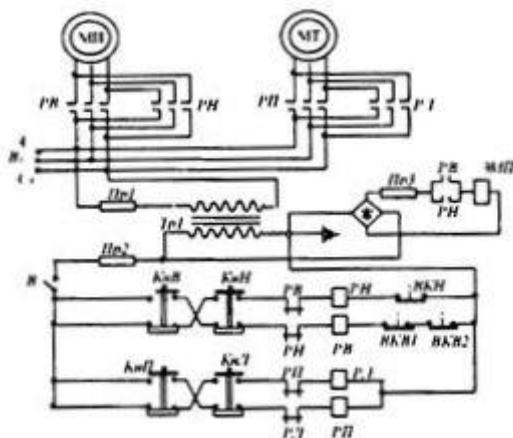
Кнопки управления талью (на посту) (S1, S2, S3, S4) обеспечивают подачу тока на катушки (K1, K2, K3, K4) соответствующего магнитного пускателя. Каждый кнопочный элемент обеспечивает за счет своей конструкции первую ступень электрической блокировки от одновременного включения реверсивных пускателей одного двигателя. Вторая ступень электрической блокировки с этой же функцией обеспечивается нормально-закрытыми контактами пускателей (K1, K2, K3, K4). Конечные выключатели (S7, S8) разрывают электрическую цепь катушек (K2-K1, K4-K3).

На выключатели (S7, S8) через механическую кинематическую цепь воздействует канатопкладчик. Выключатель (S9) дублирует действие выключателя (S7). Катушка тормоза включена в рассечку фазы В, имеет две секции, которые намотаны двумя параллельными проводами, а скоммутированы так, что начало одной (H2) соединено с концом другой (Ф1), образуя один общий вывод, а другие концы секций (Ф1 и Ф2) связаны с диодами (Д1 и Д2). Силовая часть схемы обеспечивает питание двигателей. Это происходит с помощью контактной части реверсивных пускателей K1-K2 и K3-K4.

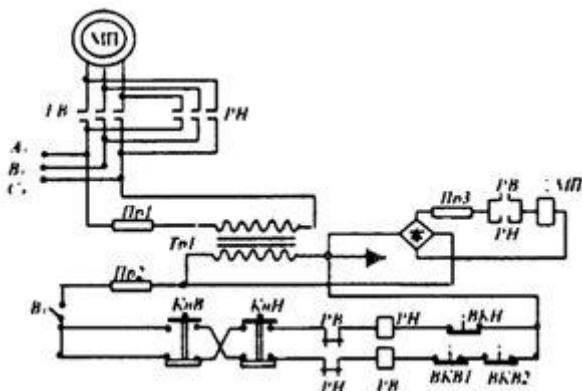
Принципиальная электрическая схема талей грузоподъемностью 0,25 т Полтавского завода (разработка начала 70-х годов).

Электрические тали оборудованы дисковым тормозом, выключателем (S9) дублирует действие выключателя (S7).

чателями верхнего и нижнего положения крюковой подвески, аварийным выключателем верхнего положения подвески. Цепь управления 42 В



Принципиальная электрическая схема электроталей грузоподъемностью 0,25 и 0,5 т оборудованных приводом передвижения.



Принципиальная электрическая схема талей 0,25 и 0,5 т не оборудованных приводом передвижения

Принципиальная электрическая схема талей грузоподъемностью 3,2 т Барнаульского Станкостроительного завода

Диателитель механизма подъема талей запрессован в барабан. Тали оборудованы колоночным тормозом, выключателем верхнего положением подвески (могут быть оборудованы выключателями верхнего и ниш него положения крюковой подвески срабатывающими от канато-

укладчика). Понижение напряжения цепи управления не предусмотрено. Основное исполнение с одной скоростью подъема.

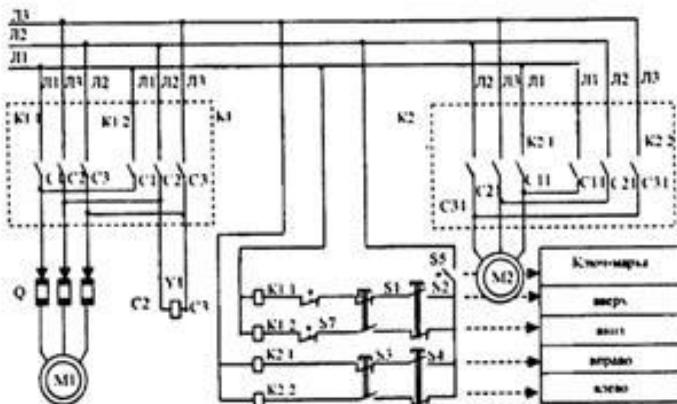


Схема электрическая принципиальная талей 3,2 т без микропривода

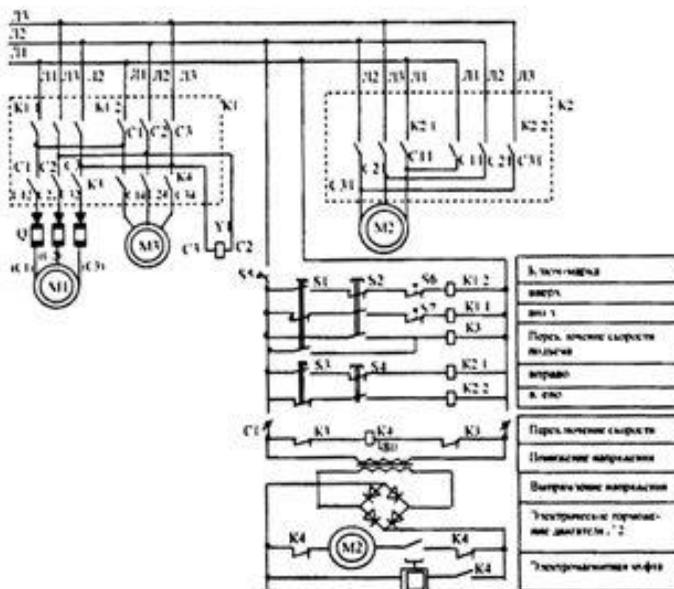
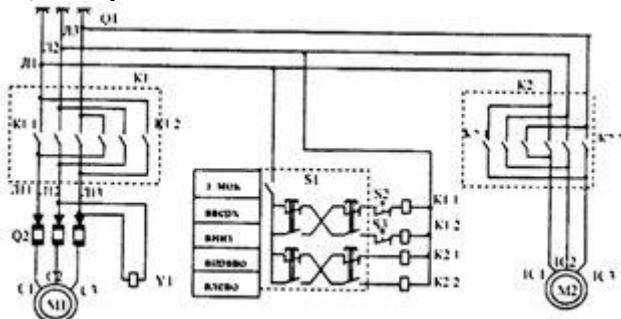


Схема электрическая принципиальная талей 3,2 т с микроприводом

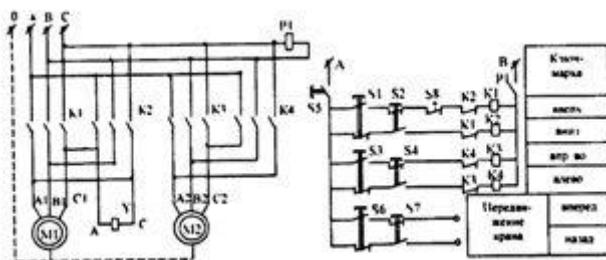
Принципиальная электрическая схема талей грузоподъемностью 5,0 т Харьковского довода ПТО



Принципиальная электрическая схема талей грузоподъемностью 5.0 т Харьковского завода ПТО

Принципиальная электрическая схема талей грузоподъемностью 3,2 и 5,0 т Урюпинского кранового завода

Тали оборудованы конечным выключателем верхнего положения крюковой подвески. Тали, предназначенные для установки на однобалочных кранах, поставляются с шестикнопочным пультом управления.



Принципиальная электрическая схема талей грузоподъемностью 3,2 и 5,0 т Урюпинского кранового завода

Устройство и работа стэнда

Холодная обкатка ДВС представляет собой вращательное воздействие на его коленчатый вал посторонним источником механической энергии, например электродвигателем [3]. Режим принудительного вращения должен быть обоснованным и контролируемым.

Исходя из этих положений, разрабатывалась настоящая конструкция стэнда для холодной обкатки ДВС-СМД-62.

Стенд является стационарной машиной и включает две взаимно не связанные рамы. Рамы представляют собой сварные металлоконструкции из металлопроката, стандартных профилей. Одна рама (поз. ...) служит для размещения на ней обкатываемого двигателя, она устанавливается на фундамент на вибропоглощающих опорах.

На второй раме (поз.) смонтирован привод стенда со вспомогательным механическим, контрольным и электроуправляющим оборудованием.

Источником механической энергии и вращательного движения на стенде является электродвигатель (поз.3) асинхронный, трехфазный тип мощностью $N_э = 15$ кВт, номинальная частота вращений $n = 1000$ об./мин. Двигатель имеет двусторонний выход валов, т. к. этого требует принцип работы стенда, т. к. также два способа крепления – фланцевое и на лапах.

Оба конца вала, кроме того, используются для закрепления двигателя на раме, чтобы обеспечить возможность свободного вращения как ротора, так и статора двигателя. Это необходимо для того, чтобы по вращательному перемещению статора определять изменение величины момента сопротивления прокрутки ДВС в процессе его обкатки. Концами валов электродвигатель опирается на подшипниковые опоры. По конструктивным и технологическим соображениям на концы валов по посадке с натягом помещены втулки, на которые посажены подшипники качения. Левая втулка оканчивается фланцем), которому болтами через свой фланец присоединяется карданный вал. Карданный вал имеет два участка, которые соединяются через шлицевое сопряжение.

$$D - 8 \times 36 \frac{H8}{C8} \times 42 \frac{H12}{h12} \times 7 \frac{F10}{e9}$$

Это позволяет изменять длину вала от 300 до 500 мм при монтаже, демонтаже ДВС и для других целей. Вращение от карданного вала передается непосредственно на ДВС, а конкретно на маховик коленчатого вала. К маховику карданный вал крепится вторым фланцем через специальную планку, выполненную из листового стального проката.

Втулка на правом конце вала обеспечивает технологичность посадки подшипника, а также имеет резьбовое отверстие для присоединения датчика тахометра. Ось двигателя поднята над плитой рамы на стельку, чтобы статор при проворачиваемости не соприкасался с рамой.

На фланцевое посадочное место электродвигателя прикреплен рычаг с плечом 500 мм. На конец рычага с помощью подвески подвешивается груз в виде металлических пластин. Определенная нагрузка рычага обеспечивает "подвижную" закрепленность статора, т. е. препятствует вращению статора вместо вала, заставляя вращаться вал и вместо с тем имеет возможность при определенных условиях немного поворачиваться, перемещая рычаг с грузом. Величина вращательного перемещения статора зависит от того, насколько изменяется (уменьшается) момент сопротивления прокрутки обкатываемого ДВС.

Для количественного контроля изменение величины вращающего момента в конструкции имеется контролирующая система, состоящая из сельсина-датчика (БД-404А) и сельсина приемника (БС-404А), соединенных между собой электрической цепью, как показано на рисунке ...

Сельсин датчик смонтирован на стойке правой опоры, а зубчатое колесо на его валу находится в зацеплении с зубчатым сектором, который закреплен на торце статора двигателя. Зацепление является мелкомодульным с нулевым боковым зазором и таким образом обеспечивает высокую кинематическую точность. Передаточное число зубчатого зацепления 25.

Таким образом, перемещение статора при изменении вращательного момента через зубчатое зацепление поворачивает вал сельсина приемника на угол 4α , что регистрируется сельсином приемником по шкале проградуированной в Н-м.

Перед вводом в эксплуатацию стенда система контроля величины вращающего момента подвергается тарировке. Для этого к статору электродвигателя через установленной на лапах двигателя, присоединяется тарировочный рычаг с плечом 1000 мм. После выполнения тарировки рычаг отсоединяется.

Для ограничения перемещения статора двигателя и исключения аварийных ситуаций (например, при неподвижном заклинивании ДС) в стенде предусмотрен ограничитель хода нагрузочного рычага в виде концевого выключателя.

При соприкосновении с роликом рычага выключателя разрывается электрическая цепь питания электродвигателя и последний останавливается.

Рис.3.1 Электрическая схема включения сельсинов БД-404А и БС-404А при синхронной передаче СД-сельсин датчик; СП – сельсин приемник, С1, С2, Р1, Р2, Р3 – клеммы.

Предусмотренное технологией обкатки изменение частоты вращения карданного вала достигается путем регулирования частоты вращения электродвигателя привода. Для этого в стенде применена

электрическая тиристорная схема регулирования частоты вращения электродвигателя. Она по исполнению компактна, надежна и исключает из конструкции стенда дополнительные регулировочные механизмы [9]. Схема регулирования скорости двигателя с короткозамкнутым ротором периодическим закорачиванием тиристором T сопротивление R , включенного в нулевую точку статорной цепи двигателя.

Для контроля скоростного режима работы стенда в конструкции имеется электрический тахометр, датчик которого соединен с правым валом электродвигателя (поз. 4-5). Шкала тахометра помещена на пульт управления.

Вторая рама стенда (поз. 1) служит для размещения на ней обкатываемого двигателя. Для этого на раме имеются четыре одинаковые стойки (поз. 6), которые могут быть перемещены вдоль боковин рамы и закреплены в требуемом месте. Каждая стойка является выдвинутой по высоте и поворачивающейся вокруг вертикальной оси. Таким образом, ее крепежное отверстие для двигателя может занимать любое положение в контуре рамы, что позволяет устанавливать и крепить на раме не только ДВС СМД-62, но и ряд других меньшей мощности. Разработанная конструкция рамы и в сочетании с набором крепежных планок для различных типоразмеров маховиков делает стенд частично универсальным.

РАБОЧИЕ НАГРУЗКИ В СТЕНДЕ. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА

Определение рабочих нагрузок необходимо для определения основных эксплуатационных параметров стенда, а также для прочностных расчетов конструкции.

Поскольку стенд предназначен только для холодной обкатки ДВС основной исходной рабочей нагрузкой для его проектирования должна быть затрачиваемая на прокручивание мощность. Очевидно, что для модели ДВС ЗИЛ130, но различных сборок мощность прокручивания не одинакова, а будет зависеть от деформационных явлений. Качества замененных деталей, тщательности сборки и многих других факторов. Т. к. расчетной зависимости для определения начальной (доприрабочей) мощности найти не удалось, в качестве исходного значения была взята мощность прокручивания установленная, экспериментально $N_{кр} = 3,5$ кВт [].

Вопрос 3. Структура электропривода обкаточных стендов.

Обкатка двигателей производится главным образом с использованием следующего оборудования и схем нагружения:

1. На простейших стендах, предназначенных только для обкатки на этапе холостого хода двигателя.

2. На стендах, включающих в себя электродвигатель и редуктор (КП), позволяющих обкатывать двигатель только на этапах прокрутки и холостого хода. Частичное нагружение двигателя на таких стендах обеспечивается бестормозными методами.

3. На группы стендов представляют собой сопротивление потока воды.

4. На электротормозном стенде, основа которого – электродвигатель с фазным ротором, обеспечивающий прокрутку автотракторного двигателя в режиме электродвигателя и нагружение его в режиме генератора.

5. Стенды на основе электрических тормозов постоянного тока.

6. Стенды с использованием инерционных тормозов.

7. Стенды на основе электрических индукторных тормозов (фирмы "Шенк", "Хофман" – Германия).

Специализированные стенды выпускаются для групп однотипных по номинальным мощностям и частотам вращения коленчатого вала двигателя.

На отечественных автотранспортных предприятиях для обкатки ДВС главным образом используют электрические тормозные стенды серии КИ:

Неотъемлемым и весьма значимым вопросом технологии обкатки ДВС является использование в нем специальных обкаточных жидкостей (масел). Используя обкаточные композиции различной трибо-направленности, можно существенно влиять на интенсивность и качество приработки поверхностей трения [4, 5, 6, 7, 8].

Обобщая проведенный литературный обзор методов и стендов для обкатки ДВС, можно сказать, что в авторемонтной отрасли на научном и инженерном уровне постоянно ведется работа по созданию новых более совершенных методов и средств для обкатки и испытаний ДВС.

При разработке обкаточного стенда, предлагаемого в дипломном проекте, учтены и использованы новые конструкционные принципы и методы обкатки ДВС.

Вопрос 4. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для их привода

Так как в стенде применена тиристорная схема регулирования частоты вращения электродвигателя, при уменьшении его частоты вращения вдвое падение мощности двигателя будет происходить на 30% от номинальной []. Поэтому необходимая мощность электродви-

двигателя привода:

$$N_{y.д.} = \frac{N_{ед}}{\eta_{iо.д.} \cdot \eta_{ис.д.}} = \frac{3,5}{0,90 \cdot 0,30} = 13 \text{ кВт}$$

Коэффициент полезного действия механизма при приводе

$$\eta_{iо.д.} = \eta_{éááá}^2 \cdot \eta_{оé} = 0,95^2 \cdot 0,99 = 0,90$$

где $\eta_{éááá} = 0,95$ – КПД карданного шарнира;

$\eta_{оé} = 0,99$ – КПД шлицевого соединения;

$\eta_{ис.д.} = 0,30$ – КПД электрической системы регулирования частоты вращения.

Ориентируясь на расчетную величину мощности, выбираю электродвигатель асинхронный, трехфазный (380 В); тип 4А160М6 ГОСТ 19483-84; номинальная мощность $N_{э} = 15$ кВт; частота вращения номинальная $n = 1000$ мин-1.

Исполнение: с двухсторонним выходом вала; с двумя способами крепления – фланцевым и на лапах.

Для расчета металлоконструкции рамы стенда, в частности подвижных опорных стоек, на которых устанавливается и крепится обкатываемый ДВС, необходимо знать нагрузку от веса двигателя. Вес двигателя СМД 60/62 достигает 4,5 кН и распределяется на 4 стойки. Однако вероятность непредусмотренных дополнительных нагрузок и для создания определенного запаса прочности и надежности считаю, что на одну стойку действует нагрузка 1,5 кН.

Вопрос 5. Схемы управления стендами и комплекты электрооборудования

современный стенд состоит из следующих основных частей:

- тормозного устройства, позволяющего регулировать тормозной момент на валу ДВС;
- компьютерной системой или пультом управления стендом, системой контроля и регистрацией параметров технического состояния ДВС;
- установочной рамы с узлами монтажа ДВС и тормозного устройства;
- системы питания дизеля воздухом и удаления отработавших газов;
- топливной системы питания дизеля;

- масляной системой питания дизеля;
- водяной системы охлаждения дизеля;
- систем регулирования температуры масла и охлаждающей жидкости.

Часто в целях экономии средств изготовление и монтаж установочной рамы и вспомогательных систем производится силами Заказчика.

Современный тип обкаточно-тормозных стендов, которые обеспечивают испытание дизелей грузовых и легковых автомобилей, строительно-дорожных машин, тепловозов, спецагрегатов. Основной отличительной особенностью стендов является использование в качестве привода при холодной обкатке и в качестве тормозного (нагрузочного) устройства при "горячей" обкатке под нагрузкой одного АЭД управляемого преобразователем частоты. При динамическом торможении, когда АЭД работает при "горячей" обкатке в генераторном режиме, энергия вращения преобразуется в электрическую энергию, которая подается на тормозные резисторы, где рассеивается в виде тепла или передается через рекуператор в промышленную сеть.

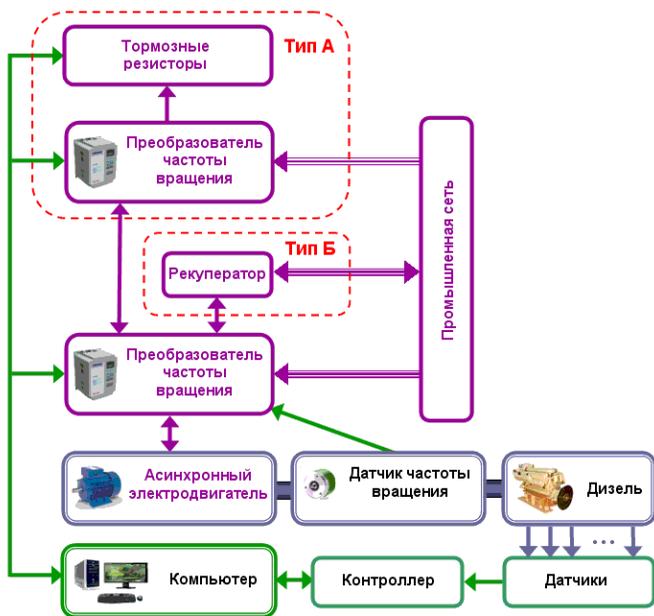


Рис. 7.7.1. нке 7.7.1 представлены схемы обкаточно-тормозных стендов для испытания дизелей мощностью 150...3000 кВт двух типов: без рекуперации электрической энергии (тип А) и с рекуперацией

электрической энергии (тип Б). Стенды позволяют регистрировать нагрузочный момент (по току АЭД) с точностью 2...3% и частоту вращения без использования дорогостоящих датчиков крутящего момента (точность до 0.1%);

Система управления и регистрации стендов включает в себя:

- асинхронный электродвигателем (АЭД);
- частотный преобразователь для управления АЭД;
- частотный преобразователь, обеспечивающий регулируемое преобразование энергии торможения АЭД тормозными резисторами в тепло - для типа А или рекуператор для возврата электрической энергии торможения в электрическую сеть - для типа Б;
- комплект датчиков и устройства преобразования их сигналов;
- компьютер и специализированное программное обеспечение для управления режимами обкатки дизеля, регистрации параметров и протоколирования результатов испытаний.

К недостаткам стендов типа А следует отнести дополнительные расходы на электроэнергию, расходуемую при преобразовании в тепло, а также в связи с этим необходимость относительно большого помещения и дополнительных устройств для отвода тепла с тормозных резисторов. Стенды типа Б обеспечивают возврат электрической энергии торможения в электрическую сеть с кпд не менее 90%. Стенды без рекуперации дороже стендов с рекуперацией на 20...40%. Управляющая система имеет существенное отличие от аналогичных систем, так как она обеспечивает управление режимами работы стенда при постоянных значениях момента или частоты вращения коленчатого вала в ручном и автоматическом режиме обкатки ДВС.

Измерение параметров технического состояния осуществляется с помощью датчиков, имеющих аналоговый или цифровой выходной сигнал. Сигналы с датчиков поступают в контроллер, подключаемый к персональному компьютеру. Результаты измерений, технологические указания по режимам обкатки, нормативные значения контролируемых параметров в графическом и табличном виде отображаются на мониторе компьютера. Вид представления визуальной информации и форма результирующего протокола испытаний согласуется с Заказчиком. Программа контролирует измеряемые параметры и действия оператора - при выходе за допустимые диапазоны значений выдает соответствующие предупреждающие сигналы и команды на управляющую систему, вплоть до остановки стенда.

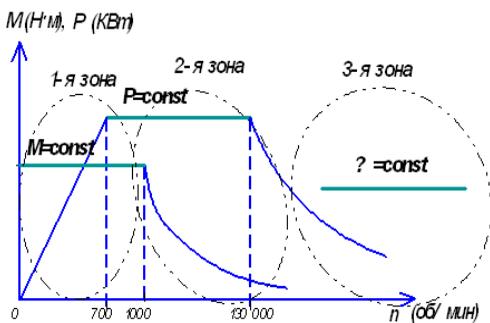
Для мощностей стендов 400...500 кВт может быть использована промышленная трехфазная сеть 220х380В, для мощностей 600...2500 кВт требуется уже трехфазное напряжение 400х690В, для мощностях

3000 кВт и более необходимо использовать асинхронные двигатели, напряжение питания которых 1000В, 3000В, 6000В и даже 10000В.

Вопрос 6. Приводные характеристики и режим работы металло- и деревообрабатывающих станков

Приводными характеристиками металло и деревообрабатывающих станков является $M=f(n)$

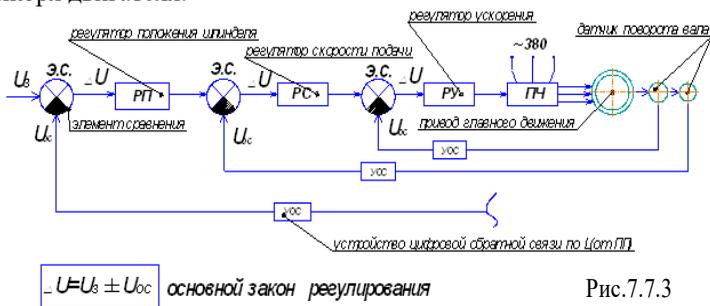
При работе привода в первой зоне (рис. 7.7.2) (зоне привода подачи) обеспечивается поддержание постоянства длительного момента во всем диапазоне изменения скорости. При регулировании во второй зоне (рис. 7.7.2) от номинальной до максимальной скорости напряжение обмоток двигателя постоянного тока поддерживается постоянным, а ток изменяется от номинального до минимального значения. Таким образом, регулирование скорости выше номинальной осуществляется за счет ослабления магнитного потока двигателя. Регулирование скорости во второй зоне обеспечивает поддержание постоянства номинальной мощности, что соответствует требованиям механизмов



главного движения станков и машин.

Рис. 7.7.2. Регулирование напряжения и тока электродвигателя осуществляется по заданной программе. Задающим сигналом для системы управления является напряжение, пропорциональное напряжению якоря двигателя.

системы управления является напряжение, пропорциональное напряжению якоря двигателя.



$U = U_b \pm U_{oc}$ основной закон реулирования

Рис.7.7.3

Структурное построение двух - трехзоннорегулируемого электропривода постоянного тока, приведенное на рис. 7.7.3, широко применяется в приводах механизмов главного движения и подачи станков.

Принцип работы электропривода переменного тока с синхронным (вентильным) двигателем аналогичен принципу работы однозонного электропривода постоянного тока. Если в двигателе постоянного тока переключение (коммутация) обмоток осуществлялась с помощью щеточно

Выбирая станок для работы по дереву, определитесь, в каком режиме он будет работать, с какой нагрузкой, какая производительность Вас удовлетворит. Немаловажный нюанс – выбор типа станины (сварная или литая). Станки со сварной станиной значительно дешевле, но такое приобретение возможно лишь в условиях незначительных объемов производства и использования небольших заготовок. Для крупных деревообрабатывающих предприятий подойдут санки с литой станиной. Они могут работать в круглосуточном режиме при больших нагрузках. Если существует необходимость наладить разнообразное производство, то для того чтобы не покупать много различных по функциям станков, можно остановить свой выбор на четырехсторонних деревообрабатывающих станках. Благодаря своей многофункциональности они применяются практически во всех сферах деревообработки.

Технические характеристики деревообрабатывающих станков зависят от вида и конкретной модели станка. Выбирая оборудование для работы по дереву, в первую очередь обращайтесь внимание не только на его стоимость и надежность, а и на мощность, производительность, многофункциональность. Четко соотнесите задачи, которые Вы ставите перед техникой и ее возможности. В такие случаи переплачивать за ненужные характеристики не стоит, но и излишняя экономия может быть вредна.

Основными режимами работ электроприводов металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков являются следующие:

- регулировании частоты вращения двигателей в длительном режиме для обеспечения режимов резания;

- обеспечении рационального режима пуска двигателя по определенному закону;

- обеспечении рационального торможения с заданными параметрами (время, путь или момент);

- реверсировании двигателя с рациональным торможением и разгоном;

 - слежении за данным углом поворота вала двигателя;

 - позиционировании или повороте на определенный угол рабочего органа станка.

Как правило, в механизмах станков, в которых использованы электроприводы, обеспечивающие режимы плавного регулирования частоты вращения или положения, одновременно решены задачи рациональных пуска, торможения и в случае необходимости - реверса. Это объясняется широкими возможностями регулируемых приводов. Особый класс составляют электроприводы, в которых не требуется регулирование частоты вращения или положения в длительном режиме и имеется одно либо несколько ограничений из числа перечисленных выше. В таких случаях возможно применение сравнительно простых систем электроприводов, в которых, как правило, используются асинхронные двигатели и схемы преобразователей частоты. Приводы главного движения большинства станков в настоящее время выполняются регулируемые с применением двигателей постоянного и переменного тока.

$$D = \frac{n_{\text{max}}^2}{n_{\text{min}}^2}$$

Наибольший диапазон регулирования n_{min}^2 для обеспечения всех режимов резания обычно не превышает 1 : 10000.

Причем в части диапазона (до 1:5), соответствующем большим значениям частот вращения, как правило, регулирование выполняется в режиме с сохранением неизменной номинальной мощности P двигателя. В остальной части диапазона регулирование числа оборотов n осуществляется с сохранением предельного длительного момента двигателя T . Мощность при этом соответственно снижается по мере уменьшения частоты вращения. Для расширения диапазона регулирования с неизменной мощностью на станке делается коробка с одним - двумя переборами.

В большинстве станков на такое ограничение мощности приходится идти для того, чтобы как-то ограничить величину номинального момента и, следовательно, габарит двигателя. Отвлекаясь от различных второстепенных факторов, можно принять, что габарит любого электрического двигателя определяется только моментом на нижней частоте вращения. Поэтому чем меньше диапазон регулирования с $P=const$ (независимо от того, что регулирование ведется за счет ослабления электромагнитного поля), тем меньше должен быть габарит двигателя. Традиционно принятое регулирование с $P=const$ в механических узлах станков может быть реализовано в ограниченном диапазоне, зависящем от конкретной конструкции.

Максимальная частота вращения двигателей общепромышленного исполнения составляет 2000-30000 об/мин, а диапазон номинальных мощностей применяемых приводов достаточно широк: от 0,5 до

300 кВт. Требования по допустимой нестабильности частоты вращения приводов главного движения в принципе должны быть самыми высокими в сравнении с другими механизмами станка. Действительно, при врезании инструмента в деталь «провал» частоты вращения шпинделя приводит к существенному увеличению силы резания и, следовательно, к еще большему, снижению частоты вращения.

Этот процесс может развиваться до тех пор, пока момент не достигнет предельного значения, после чего двигатель начнет останавливаться. Наиболее жесткие требования к динамике привода главного движения по возмущающему воздействию предъявляются при обработке на низкой частоте вращения шпинделя. Существенно облегчаются условия процесса врезания, если регулируемые приводы подачи и главного движения электрически связаны.

Вопрос 7. Расчет мощности и выбор типа электродвигателя для их привода

Расчет мощности электродвигателя металлорежущего станка проводится с учетом механической характеристики механизма.

Для механизма главного движения, где осуществляется двухзонное регулирование скорости: с постоянным моментом и постоянной мощностью, мощность электродвигателя рассчитывается по формуле

$$P = M_{\text{макс}} \cdot \omega_n$$

где: $M_{\text{макс}}$ - максимальное сопротивление при продолжительной нагрузке и максимальное эквивалентное сопротивление при повторно-кратковременной нагрузке; ω_n - максимальная скорость при регулировании с постоянным моментом (при номинальном потоке).

Для привода подач мощность определяется, исходя из максимального эквивалентного момента и максимальной скорости. При большом диапазоне регулирования скорости целесообразно применять электродвигатели с независимой вентиляцией или закрытого типа. При применении электродвигателя с самовентиляцией необходимо учитывать ухудшение его охлаждения на малых скоростях.

Для нерегулируемых двигателей, как правило, работающих в режиме S6 (если цикл не превышает 10 мин) расчет мощности осуществляется следующим образом.

Мощность электродвигателя для каждой операции определяется по формуле:

$$P_i = \frac{P_{zi}}{\eta}$$

где: P_{zi} , η - мощность резания и кпд станка соответственно.

Кпд в зависимости от нагрузки определяется, исходя из потерь мощности, принимая за основу выражение:

$$\Delta P = \alpha \cdot P_{Hz} + \beta \cdot P_{zi}$$

где: P_{Hz} - номинальная мощность резания; α и β - коэффициенты постоянных и переменных потерь.

С учетом коэффициент загрузки

$$K = \frac{P_{zi}}{P_{Hz}}$$

$$\Delta P = P_{zi} \cdot \left(\frac{\alpha}{K} + \beta \right)$$

Коэффициент полезного действия станка

$$\eta = \frac{P_{zi}}{P_{zi} + \Delta P}$$

Для случая $K=1$

$$\eta = \frac{1}{1 + \alpha + \beta}$$

Разделение потерь для определения кпд при любой нагрузке дает

$$\alpha + \beta = \frac{1 - \eta}{\eta}$$

Ориентировочно для практических расчетов принимается

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 0,6 \cdot (\alpha + \beta) \\ \beta &= 0,4 \cdot (\alpha + \beta) \end{aligned} \right|$$

Для приводов главного движения токарных, фрезерных, сверлильных станков кпд при постоянной нагрузке составляет 0,7...0,8, для шлифовальных станков 0,8...0,9. Мощность электродвигателя при холостом ходе станка определяется по формуле:

$$P_0 = \alpha \cdot P_{zi}$$

Продолжительность операции для каждого перехода определяется по формуле:

$$t_i = \frac{l}{S \cdot n}$$

где: l - длина перехода, мм; S - подача, мм/об; n - скорость вращения шпинделя, об/мин.

Время на установку и снятие детали принимается равным 1-3 мин. По расчетной мощности и времени для каждой операции строится нагрузочная диаграмма и определяется эквивалентная мощность.

При применении электропривода с регулированием скорости при выборе двигателя по мощности берется наиболее тяжелый режим работы, как по нагрузке, так и по частоте включений в час.

Предварительный выбор электродвигателя в этом случае производят по эквивалентному моменту с учетом коэффициента запаса на динамику в пределах $K_d=1,1-1,5$ и наиболее вероятной продолжительности включения.

$$M_{\text{эк}} = K_d \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=m} (M_1^2 \cdot t_i) \cdot \text{ПВ}_p}{\sum_{i=1}^{i=m} (\beta_i \cdot t_i) \cdot \text{ПВ}_{\text{ст}}}}$$

где: β_i - коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения электродвигателя на i -м интервале при снижении скорости ниже номинальной;

$$\beta_i = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_i}{\omega_H}$$

β_0 - коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном якоре; ПВР, ПВст - расчетное и стандартное значение продолжительности включения.

Мощность двигателя определяется из формулы

$$P = M_3 \cdot \omega_{\text{ном}}$$

Затем производится проверка на перегрузочную способность и на нагрев с учетом реального момента инерции двигателя, заготовки и механических частей станка.

Выбор мощности электродвигателя для деревообрабатывающего станка должен отвечать предъявленным к нему требованиям буквально по всем параметрам. Конечно, добиться такого идеала практически невозможно, но стремиться к нему нужно. Прежде чем повести об этом речь, приведем еще несколько справочных сведений.

Известно, что ЭД, как и любые изделия, выпускаются в соответствии с установленными требованиями. Например, номинальные мощности их, простираясь от нескольких ватт до сотен киловатт, имеют строгую градацию, так называемый ряд. Этот ряд для электрических машин небольшой мощности выглядит так: 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0 кВт. А ряд синхронных частот вращения двигателей при частоте сети 50 Гц имеет следующие значения: 500; 750; 1000; 1500 и 3000 мин⁻¹. Трехфазные асинхронные двигатели в настоящее время выпускают на номинальные напряжения и схемы соединения статорных обмоток согласно данным, содержащимся в табл. 9.

Таблица 9

| Номинальная мощность двигателя, кВт | Номинальное напряжение, В | Схема соединения | Число выводов |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------|
| от 0,06 до 0,37 | 220, 380 | Д,У | 3 |
| От 0,55 до 11 | 220, 380, 660 | Д,У | 3 |
| от 15 до 110 | 220/380; | Д/У | 6 |
| от 132 до 400 | 380/660 | Д/У | 6 |

При выборе двигателя прежде всего учитывают, что он должен обеспечить выполнение нужных операций на станке при наименьших затратах электрической энергии.

Поэтому несмотря на известную прямую зависимость КПД двигателя от его мощности применение ЭД завышенной мощности считается неоправданным, В процессе работы, оказываясь недогруженным, он будет использован с низким КПД. С другой стороны, ЭД недостаточной мощности не обеспечит должной производительности станка; к тому же, он будет перегружаться и быстро перегреваться. Таким образом, выбирая ЭД по мощности, следует придерживаться золотой середины и с возможно большей точностью определять ее значение.

Что касается напряжения, на которое должен быть рассчитан двигатель, то здесь думается, все ясно: местная электросеть диктует свои условия. Однофазная сеть, как правило, имеет напряжение 220 В, а трехфазная — 220/380 В. Значит, и двигатели должны соответствовать ему. Еще встречающиеся однофазные ЭД на напряжение 127 В в этом случае можно питать через трансформаторы и автотрансформаторы, а трехфазные на 127/220 В — включать в сеть согласно приведенным ранее схемам.

Важно также, чтобы частота вращения ротора двигателя была как можно ближе к частоте вращения рабочего органа, с которым он соединен. При этом следует отдавать предпочтение высокоскоростным ЭД, поскольку они обычно имеют лучшие характеристики, меньшие габариты и массу, более низкую стоимость.

Учитывая, что многие деревообрабатывающие операции выполняются с частотами вращения режущего инструмента порядка 3000 мин⁻¹, то и ротор двигателя должен вращаться с такой же частотой. Тихоходные ЭД при этом себя не оправдывают. Дело в том, что при малых оборотах круглые пилы, фрезы, строгальные ножи режут древесину плохо и с низкой производительностью. Увеличение же их оборотов связано с такой редукцией приводных механизмов (шкивов, ремней), при которой выигрыш в скорости неминуемо приводит к проигрышу в масле. В результате двигатель плохо запускается и останавливается при незначительной нагрузке. Применительно к основным операциям, выполняемым на станках, можно рекомендовать такие частоты вращения рабочих органов, какие указаны в табл. 10.

Важной характеристикой двигателя является его пусковой момент. Он должен быть всегда больше момента трогания с места шпинделя станка, а время разгона машины при этом не превышало 15–17 с.

Естественно, когда подыскивают нужный двигатель, то обращают внимание на его конструктивное исполнение, способ крепления,

размеры, возможность размещения в приводе станка и т. д. Двигатели бывают на лапах, с лапами и фланцевым щитом или только с фланцем. В каждом случае уточняют, как лучше его закрепить. Крепление должно быть надежным, достаточно жестким и вместе с тем допускать регулировку положения ЭД, свободный доступ к нему при обслуживании и ремонте. Подобранный двигатель проверяют по нагреву его корпуса, чтобы предельное превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды не переходило установленных границ.

Таблица 10 Частота вращения рабочих органов при различных операциях

| Вид операции | Частота вращения рабочего инструмента, мин-1 | Номинальная мощность двигателя, кВт |
|--------------|--|-------------------------------------|
| Пиление | | 0,5–1,5 |
| Строгание | 2000–3500 | 0,5–1,5 |
| Фрезерование | 3000–6000 3000–6000 и более | 0,5–1,5 |
| Шлифование | 2000–3500 600–2000 600–1500 | > 0,25–1,0 |
| Точение | 2000–3000 | 0,25–0,5 |
| Сверление | | 0,18–0,25 |
| Заточка | | 0,18–0,25 |

Вопрос 8. Принципы управления металло- и деревообрабатывающими станками, типовые схемы и комплекты электрооборудования

Электрооборудование и электрические схемы токарно-винторезного станка 1К62

Станок модели 1К62 имеет следующие технические данные:

- 1) наибольший диаметр изделия, установленного над станиной, 400 мм;
- 2) наибольший диаметр обрабатываемого прутка 45 мм;
- 3) расстояние между центрами 1000 мм;

4) число ступеней частоты вращения шпинделя 23 (от 12,5 до 2000 об/мин).

Привод шпинделя и рабочей подачи суппорта осуществлен от асинхронного короткозамкнутого двигателя мощностью 10 кВт при 145 рад/с. Регулирование угловой скорости шпинделя производится переключением шестерен коробки скоростей с помощью рукояток, изменение продольной и поперечной подач суппорта — переключением шестерен коробки подач также посредством соответствующих рукояток.

Для быстрых перемещений суппорта служит отдельный асинхронный двигатель мощностью 1,0 кВт при 141 рад/с.

Включение и выключение шпинделя станка, а также его реверсирование производится с помощью многодисковой фрикционной муфты, которая управляется двумя рукоятками. Включение механической подачи суппорта в любом направлении производится одной рукояткой. Схема электрическая принципиальная токарно-винторезного станка модели 1К62. Кроме главного двигателя М1 и двигателя быстрых ходов М2 на схеме показаны: двигатель насоса охлаждения М3 и двигатель гидроагрегата М4, присоединяемый через электрический разъединитель (штендельный разъем) X в случае применения на станке гидропироваляного устройства.

Напряжение на станок подается включением пакетного выключателя S1. Цепи управления получают питание через разделительный трансформатор Т с вторичным напряжением ПО В, что повышает надежность работы аппаратов управления. Такое питание цепей управления характерно вообще для большинства электросхем металлорежущих станков.

Пуск двигателя М1 производится нажатием кнопки S5, при этом включается контактор К1 и главными контактами присоединяет статор двигателя к сети, а вспомогательным контактом шунтирует пусковую кнопку. Одновременно пускаются двигатели насоса охлаждения (если включен пакетный выключатель S2) и гидроагрегата.

Включение шпинделя производится поворотом вверх рукоятки управления фрикционной муфтой. При повороте этой рукоятки в среднее положение шпиндель станка отключается; одновременно нажимается путевой переключатель S6 и включается пневматическое реле времени К3. Если пауза в работе превышает 3 - 8 мин, то контакт реле R3 размыкается и контактор К1 теряет питание. Главный двигатель отключается от сети и останавливается, что ограничивает его работу вхолостую с низким значением $\cos \phi$ и уменьшает потери энергии.

гии. Если пауза мала, то реле КЗ не успевает сработать и отключение двигателя шпинделя не произойдет.

Для управления быстрым перемещением суппорта служит рукоятка на фартуке станка. При повороте этой рукоятки она нажимает на переключатель S7, его контакт замыкает цепь катушки контактора S7, который включает двигатель M2. Возврат рукоятки в среднее положение приводит к отключению двигателя M2.

Станок имеет местное освещение. Питание лампы местного освещения производится напряжением 36 В от отдельной обмотки трансформатора Т. В цепи лампы находятся предохранитель F3 и выключатель S3. Иногда один из выводов обмотки трансформатора низкого напряжения Т присоединяют к газовой трубе, в которой проложен второй провод, питающий лампу. В качестве одного из проводов вторичной цепи местного освещения напряжением 12 и 36 В обычно используют станину станка.

Схемой управления предусмотрены: защита двигателей от длительных перегрузок тепловыми реле от короткого замыкания соответствующими плавкими предохранителями. При кратковременных перегрузках, возникающих на шпинделе, происходит проскальзывание фрикционной муфты и приводной двигатель отсоединяется от входного вала коробки скоростей станка. Для быстрой остановки шпинделя станка служит установленный в передней бабке механический тормоз.

Пуск и останов двигателя деревообрабатывающего станка осуществляется с помощью реле KV, которое управляет кнопками SB2 (Пуск) и SB1 (Останов). При пуске реле KV включается и становится на самопитание, подключая своими контактами ЭД к сети и обеспечивая нулевую защиту, т. е. отключение его при отсутствии напряжения в сети. Защита двигателя от перегрузки производится реле А, которое разрывает пусковую цепь, отключая реле KV. Повторный пуск возможен только после возвращения элементов тепловой защиты реле А в исходное положение.

Увеличение пускового момента ЭД происходит за счет подключения контактами реле А конденсатора С1 параллельно рабочему С2. После разгона ЭД конденсатор С1 отключается. Защитой от коротких замыканий служит предохранитель FU. Реверсирование двигателя производят с помощью переключателя SA, который при среднем положении обеспечивает отключение ЭД от сети.

Принципиальная электрическая схема деревообрабатывающего станка **показана на рис.7.7.4**

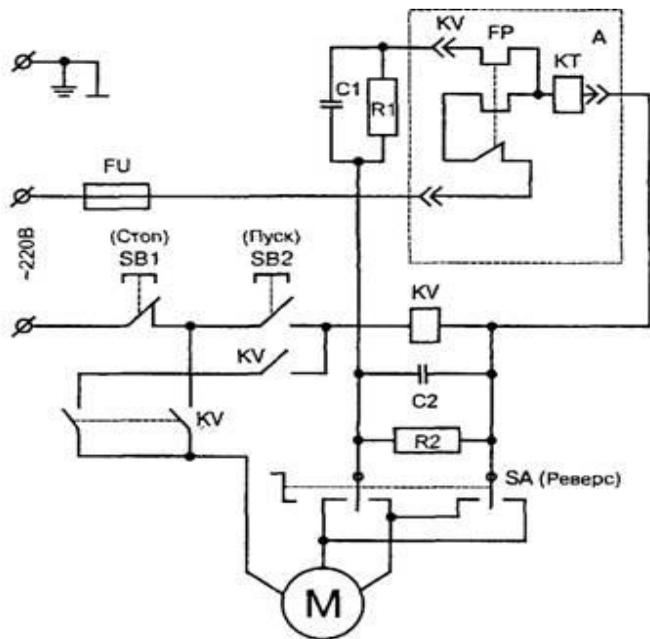


Рис. 7.7.4 Принципиальная электрическая схема станка:

A — реле пускозащитное РТК-1-1; C1 — 40 мк (пусковой); C2 — 30 мк (рабочий); FU — предохранитель 5А; KV — реле промежуточное РП21-300-УХЛУ, 220В, 50 Гц; M — двигатель 4АА63В2У3, 220 В; SB1 — кнопка красная; SB2 то же черная; SA — переключатель; R1, R2 — резисторы 68 кОм 2 Вт

Контрольные вопросы:

- 1 Режимы работы и механические характеристики кранов.
- 2 Расчет мощности и выбор двигателей для механизмов подъема и перемещения.
- 3 Схема управления электрическая принципиальная электроприводами кранов.
- 4 Устройства безопасности и блокировки грузоподъемных кранов.
- 5 Кинематические схемы кранов.
- 6 Расчет мощности и выбор двигателей электротали.
7. Расчет мощности и выбор двигателей металлорежущего станка
8. Расчет мощности и выбор двигателей деревообрабатывающего станка.
9. Назовите виды обкатки ДВС.
10. Объясните принцип работы САУ режимами обкатки ДВС.
11. Для чего диагностируют машины?

Тема 7.12. Электропривод ручных инструментов Ручные инструменты, их классификация и применение

Вопрос 1. Особенности работы электропривода ручных инструментов, характеристики и требования, предъявляемые к ним

Электропривод любого инструмента должен иметь следующие качества: безопасность в обслуживании, небольшую массу, большую перегрузочную способность двигателя, жесткую механическую характеристику, повышенную механическую прочность.

Чтобы уменьшить массу, многие детали инструмента изготавливают из алюминиевого сплава и применяют быстроходные двигатели. Перегрузочная способность двигателей должна быть большой, чтобы двигатель не останавливался при больших усилиях подачи, создаваемых рабочим, а жесткая механическая характеристика двигателя необходима для обеспечения постоянства скорости движения рабочих органов.

Исходя из перечисленных требований, для электроинструментов применяют трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, как правило, с синхронной частотой вращения 3000 мин⁻¹. Эти двигатели имеют удельную мощность 20... 40 Вт/кг. Для увеличения удельной мощности применяют асинхронные двигатели, работающие на повышенной частоте тока 200...400 Гц. Удельная мощность таких двигателей увеличивается до 50... 110 Вт/кг. Недостатком привода на повышенной частоте является необходимость в преобразовательных устройствах.

Универсальные коллекторные двигатели с последовательным возбуждением, также применяемые в электроинструменте, могут работать от однофазной сети переменного тока. Они развивают частоту вращения до 12000 мин⁻¹ и имеют удельную мощность 40... 65 Вт/кг. Включают и выключают двигатели выключателями, встроенными в корпус инструмента.

К электроинструментам для обработки металла относятся дрели, электроножницы, электрогайковерты. На рисунке 7.8.1. показана электродрель небольшой мощности с двигателем повышенной частоты. В корпус 1 встроен двигатель с ротором 8 и статором 7. Ведущий вал редуктора соединен с ротором, от него получает вращение первая зубчатая пара 2 редуктора. Рабочий вал 4 получает вращение от второй зубчатой пары 5 редуктора. На конце рабочего вала имеется конус 3 для крепления сверлильного патрона. Через рукоятку 10 пистолетного типа проходит питающий кабель.

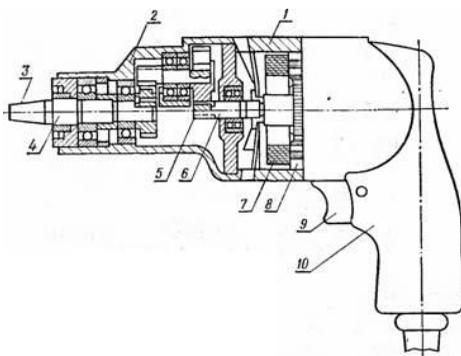


Рис.7.8.1. Электродрель для металла:
 1 — корпус; 2 — первая зубчатая пара; 3 — конус; 4 — рабочий вал; 5 — вторая зубчатая пара; 6 — ведущий вал; 7 — статор; 8 — ротор; 9 — выключатель; 10 — рукоятка.

Выключатель 9 куркового типа предназначен для включения и отключения инструмента. Такими электродрелями пользуются для сверления отверстий диаметром до 15 мм. Масса электродрели 1,7 кг, мощность двигателя 0,2 кВт.

Промышленность выпускает дрели разных конструкций и с разными техническими данными: для сверления отверстий от 6 до 23 мм с мощностью двигателя от 0,2 до 0,8 кВт, массой от 1,4 до 11 кг с одной и двумя рукоятками.

Электрогайковерты, электроотвертки устроены по принципу электродрелей, но в отличие от них имеют специальное механическое приспособление для автоматического отключения инструмента после окончания закручивания гайки или винта.

Электроножницы, например С-424, служат для резания листовой стали толщины до 2,7 мм. Двигатель ножниц универсальный, мощностью 200 Вт, напряжением 220В с частотой вращения 12 000 мин⁻¹. Масса инструмента 4,8 кг. Питание к двигателю подается по трехжильному гибкому проводу через штепсельное соединение. Третья жила провода служит для заземления корпуса инструмента. Схема электропровода инструмента с универсальным двигателем (рис. 7.8.2) содержит, кроме выключателя Q1, конденсаторы С1, С2 небольшой емкости для исключения дуги при отключении, конденсаторы С3, С4, С5 образуют емкостный фильтр для подавления радиопомех, возникающих при работе двигателя, конденсаторы С6... С7, для уменьшения искрения на коллекторе и конденсатор С8 емкостью до 1 мкф — для повышения коэффициента мощности.

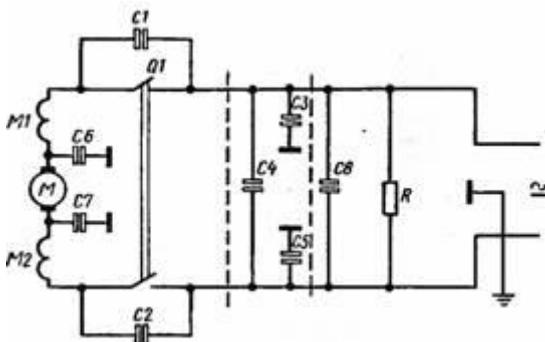


Рис. 7.8.2. Схема электропривода инструмента с универсальным коллекторным двигателем

Промышленность изготавливает электроинструменты для обработки древесины: долбежники, рубанки, пилы. В основном они приводятся в действие от трехфазных асинхронных двигателей промышленной частоты с напряжением 220 или 36 В. Такие же, как к электроинструментам, предъявляются требования и к машинкам для стрижки овец. Промышленностью освоены стригальные машинки с электродвигателем повышенной частоты до 200 гц с напряжением 36 В взамен стригальных машинок, приводимых в движение посредством гибкого вала от подвесных электродвигателей промышленной частоты. Изготавливают машинки МСУ-200, у которых двигатель пристроен к рукоятке, и машинки МС-4 со встроенным в рукоятку асинхронным двигателем (100 Вт, 36 В, 200 Гц, 120 000 мин-1) (рис. 7.8.3).

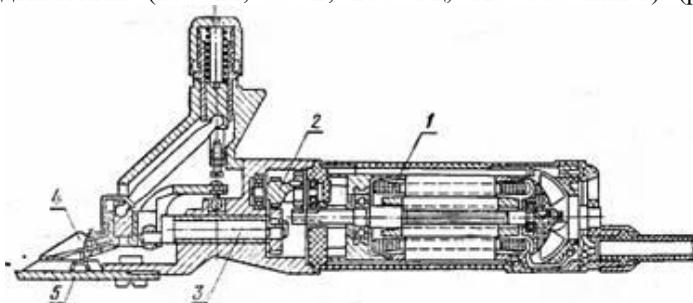


Рис. 7.8.3. Машинка для стрижки овец со встроенным электродвигателем повышенной частоты:

1 — асинхронный двигатель; 2 редуктор; 3 — вал эксцентрикового механизма; 4 — нож; 5 — гребенка.

Асинхронный двигатель 1 через понижающий редуктор 2 передает движение от вала двигателя к валу 3 эксцентрикового механизма, который преобразует вращательное движение вала в возвратно-поступательное движение ножа 4, движущегося по гребенке 5.

Комплект из 12 машинок питается от асинхронного преобразователя частоты И-75Б, который подключается к сети частотой 50 Гц и напряжением 380 В.

Вопрос 2. Выбор оптимальной частоты вращения электродвигателей для обеспечения наименьшей массы электроинструмента

Выбор оптимальной частоты вращения электродвигателей для обеспечения наименьшей массы зависит от вида и количества проводимых работ.

Производительность шлифовальных машин при зачистных работах зависит от количества проходов k , необходимых для зачистки, от скорости перемещения машины $V_{\text{п}}$ и от ширины площадки зачистки b :

$$П_{\text{т}} = \frac{v_{\text{т}} b}{k \cdot 60}, \text{ м}^2/\text{мин.}$$

При зачистки сварного шва, снятии фаски или резании

$$П_{\text{т}} = \frac{v}{k \cdot 60}, \text{ м}/\text{мин.}$$

6. Машины для резки металла

При выполнении кровельных, медницких, жестяницких, сантехнических и других работ в строительстве и на монтаже прямолинейную и фасонную резку листового металла толщиной до 4 мм осуществляют электро- и пневмоножницами.

Ножницы бывают: ножевые, вырубные, кромкорезы, прорезные и дисковые.

Ножевые ножницы применяют для прямолинейной и фасонной резки листового проката различных металлов толщиной до 3,5 мм. Режущими органами служат подвижный и неподвижный однолезвийные ножи, между которыми закладывается разрезаемый материал. Оптимальный угол между ножами 24...25°. При увеличении угла создаются дополнительные усилия, выталкивающие материал из зева, а при

его уменьшении возрастает сопротивление резанию. Неподвижный нож установлен на стальной улитке, прикрепленной к корпусу машины. Регулировка зазора между ножами производится перемещением неподвижного ножа в плоскости, перпендикулярной плоскости реза. Ножевыми ножницами рез можно начинать только с края материала.

Число двойных ходов ножниц 1060...1350 в минуту, скорость резания 1,8...4,0 м/мин, потребляемая мощность 0,45...0,55 кВт.

ручной машина шлифовальный электрический

Технические характеристики

| | |
|---------------------------|-------------|
| Потребляемая мощность, Вт | 520 |
| Габариты, мм | 272x160x96 |
| Масса, кг | 2,8 |
| Габариты в упаковке, мм | 335x160x110 |
| Масса в упаковке, кг | 3,2 |

Преимущества:

резание без образования стружки;

минимальное усилие при резании;

продолжительный срок службы режущего ножа.

Наибольшая производительность ножевых ножниц.

$$\Pi = \frac{K(2e-f)n}{1000\text{tg}\beta}, \text{ м/мин,}$$

где e – эксцентриситет эксцентрикового вала, мм; f – общая деформация деталей механизма головки, мм (применяется $f \approx 1,1$ деформации улитки); β – угол между режущими кромками ножей в вертикальной плоскости; K – коэффициент, учитывающий невозможность использования оператором усилия подачи вследствие физиологических факторов и упругой деформации отрезаемой полосы ($K = 0,7 / 0,9$).

Вопрос 3. Выбор типа преобразователя частоты тока

Очень важно сделать правильный выбор преобразователя. От него будет зависеть эффективность и ресурс работы преобразователя частоты и всего электропривода в целом. Так если мощность преобразователя будет слишком завышена, он не сможет в должной мере обеспечить защиту двигателя. С другой стороны, если мощность пре-

образователя мала, он не сможет обеспечить высокودинамичный режим работы и из-за перегрузок может выйти из строя. Правильная эксплуатация так же сильно влияет на срок службы преобразователя. При выборе преобразователя частоты надо руководствоваться не только мощностью подключаемого двигателя, а также диапазоном рабочих скоростей двигателя, диапазоном рабочих моментов вращения, характером нагрузки и циклограммой работы. Причем, изготовители ПЧ всегда указывают, что этот критерий распространяется на двигатели с двумя парами полюсов ($2p=4$ и синхронная скорость вращения соответственно равна 1500 об/мин), работающих на нагрузку с постоянным моментом (транспортёр, конвейер), для преобразователей с перегрузочной способностью 150% и, - работающих на центробежные насосы и вентиляторы, для ПЧ с перегрузочной способностью 120%.

Вопрос 4. Характеристики электродвигателей и источников питания электропривода ручных инструментов

Обычно при проектировании электропривода механическая характеристика производственного механизма является уже заданной. Поэтому для получения устойчивой работы в установившемся режиме для определенных скоростей и моментов сопротивления производственных механизмов необходимо подбирать механическую характеристику электродвигателя соответствующей формы. Это может быть достигнуто подбором электродвигателя соответствующего типа и изменением электрических параметров его цепей. Иногда для получения требуемых механических характеристик приходится применять специальные схемы включения электрических машин и аппаратов.

Механические характеристики двигателей принято подразделять на естественные и искусственные. Естественная характеристика соответствует номинальному напряжению питания и отсутствию добавочных сопротивлений в цепях обмоток двигателя. Если хотя бы одно из перечисленных условий не выполняется, характеристика называется искусственной.

Уравнения электромеханической $\omega=f(I_{я})$ и механической $\omega=f(M_{эм.})$ характеристик могут быть найдены из уравнения равновесия ЭДС и напряжений для якорной цепи двигателя, записанного на основании второго закона Кирхгофа:

$$U_{я} = E_{я} + I_{я}(R_{я} + R_{д}), \quad (7.8.1)$$

где $R_{я}$ – активное сопротивление якоря.

Преобразуя (7.8.1) с учетом (7.8.2), получим уравнение электромеханической характеристики

$$\omega = (U_{я} - I_{я}(R_{я} + R_{д})) / k\Phi. \quad (7.8.2)$$

В соответствии с (7.8.2) ток якоря $I_{я} = M_{эм} / k\Phi$ и выражение (7.8.3) преобразуется в уравнение механической характеристики:

$$\omega = U_{я} / k\Phi - (R_{я} + R_{д}) / (k\Phi)^2 M_{эм}. \quad (7.8.3)$$

Это уравнение можно представить в виде $\omega = \omega_{о.ид.} - \Delta \omega$, где

$$\omega_{о.ид.} = U_{я} / k\Phi \quad (7.8.4)$$

$\omega_{о.ид.}$ - угловая скорость идеального холостого хода (при $I_{я} = 0$ и, соответственно, $M_{эм} = 0$); $\Delta \omega = M_{эм} [(R_{я} + R_{д}) / (k\Phi)^2]$ - уменьшение угловой скорости, обусловленное нагрузкой на валу двигателя и пропорциональное сопротивлению якорной цепи.

Семейство механических характеристик при номинальном напряжении на якоре и потоке возбуждения и различных добавочных сопротивлениях в цепи якоря изображено на рис. 7.8.4, а.

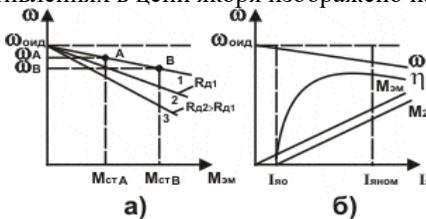


Рис.7.8.4

Механические характеристики двигателей принято оценивать по трем показателям: устойчивости, жесткости и линейности.

Естественная механическая характеристика, соответствующая (7.8.3) при $R_{д} = 0$, изображена прямой линией 1. Механическая характеристика линейная; отклонение от линейного закона может быть вызвано реакцией якоря, приводящей к изменению потока Φ . Эта характеристика жесткая, так как при изменении момента нагрузки и соответственно скорости поток возбуждения не изменяется. Жесткость характеристики уменьшается при введении добавочного сопротивления в цепь якоря (прямые линии 2 и 3 - искусственные реостатные характеристики). Характеристики устойчивые, так как $d\omega/dM_{эм} < 0$, и обеспечивают саморегулирование двигателя, т.е. он автоматически приспособивается к изменению нагрузки.

сабливается к изменяющейся нагрузке. Увеличение статического момента сопротивления на валу двигателя приводит к уменьшению угловой скорости и ЭДС якоря. Ток якоря, выражение для которого можно записать на основании (5.35),

$$I_{я} = (U_{я} - E_{я}) / (R_{я} + R_{л}) = (U_{я} - k\omega\Phi) / (R_{я} + R_{л}), \quad (7.8.5)$$

возрастает. Соответственно растет электромагнитный момент вплоть до нового значения момента сопротивления (переход из точки А в точку В на механической характеристике).

По аналогии на основании (7.8.2) может быть построено семейство искусственных характеристик при различных значениях $U_{я}$ или Φ . Анализ таких характеристик будет проделан в разделе исполнительных двигателей постоянного тока.

Рабочие характеристики

Рабочие характеристики двигателя – это зависимости угловой скорости ω , электромагнитного $M_{эм}$ и полезного M_2 моментов и КПД η от полезной механической мощности на валу двигателя $P_2 = M_2\omega$ при номинальном напряжении питания и отсутствии добавочных сопротивлений (рис. 7.8.4,б).

Однако у рассматриваемых двигателей рабочие характеристики построены не в функции полезной мощности двигателя P_2 , а в функции тока якоря $I_{я}$. Объясняется это тем, что в двигателях постоянного тока электрическая мощность, идущая на преобразование в механическую, поступает через цепь якоря. Ток якоря двигателей независимого и параллельного возбуждения, у которых скорость слабо зависит от нагрузки, практически прямо пропорционален мощности P_2 . Уравнения же рабочих характеристик через ток $I_{я}$ получить гораздо проще. Характеристики $\omega = f(I_{я})$ и $M_{эм} = a(I_{я})$ могут быть построены соответственно. Без учета реакции якоря эти характеристики линейные, у реальных машин под действием реакции якоря (изменение Φ) характеристики могут оказаться нелинейными.

Полезная составляющая момента двигателя M_2 меньше электромагнитного момента на значение момента холостого хода $M_0 = (\Delta P_{мех.} + \Delta P_{м.}) / \omega$, где $\Delta P_{мех.}$ – механические потери мощности (трение); $\Delta P_{м.}$ – магнитные потери.

Характеристики полезного момента M_2 и КПД η начинаются из точки реального холостого хода, которому соответствует ток якоря $I_{я0}$ (рис. 5.20,б). Кривая КПД имеет типичный для всех электрических

машин характер, т.к. в двигателе имеются постоянные потери ($\Delta P_{\text{мех.}} + \Delta P_{\text{м}} + U_{\text{в}} I_{\text{я}}$), практически не зависящие от нагрузки (тока якоря), и переменные потери в якоре $I_{2\text{ я}} R_{\text{я}}$.

В качестве привода ручных электромеханических машин широко применяются однофазные коллекторные электродвигатели типа КН и трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозам-кнутым ротором типа АН и АП мощностью 0,12—2,0 кВт.

Ручные машины с однофазными коллекторными электродвигателями типа КН подключаются к сети переменного тока нормальной частоты (50 Гц) напряжением 220 В. Коллекторные двигатели имеют небольшую массу и габаритные размеры, но сложны по конструкции, чувствительны к перегрузкам и требуют тщательного ухода, особенно при эксплуатации в сырых и запыленных помещениях. Машины с электродвигателями типа КН получили преимущественное распространение в строительстве благодаря легкости, портативности, мобильности и возможности непосредственного подключения к сети однофазного и трехфазного тока. Электробезопасность таких машин обеспечивается двойной изоляцией токоведущих частей от металлических деталей корпуса.

Трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором имеют более простую, надежную конструкцию (коллектор и щетки отсутствуют) и работают на токе нормальной частоты — 50 Гц (двигатели типа АН) и повышенной частоты — 200 Гц (двигатели типа АН) при напряжении 36 и 220 В.

Ручные машины (РМ), оборудованные трехфазными асинхронными электродвигателями, подключаются к сети переменного тока нормальной частоты (50 Гц) напряжением 220/380 В через промежуточные агрегаты: с двигателями типа АН — через понижающий трансформатор, с двигателями типа АП — через преобразователь частоты, который выполняет также функции понижающего трансформатора. Низкое рабочее напряжение обеспечивает полную электробезопасность таких машин.

Электродвигатели нормальной частоты типа АН из-за сравнительно большой массы и размеров применяются преимущественно в тьюлустационарных ручных машинах — дисковых электропилах, электродолбежниках, электрорубанках и др.

Электродвигатели типа АП повышенной частоты портативны, быстроходны (частота вращения ротора до 18 000 об/мин), характеризуются высокой мощностью на единицу массы, надежны и долговечны в эксплуатации. Машины с двигателями типа АП, требующие применения преобразователя частоты, наиболее эффективно используются в

стационарных условиях на стабильных рабочих местах. Масса электродвигателей обычно составляет 40—70% от общей массы машины. Корпус электродвигателя изготавливается из алюминиевого сплава или пластмасс. В производстве электрических ручных машин применяется широкая унификация узлов и деталей, которые при выходе из строя могут быть легко заменены.

Вопрос 5. Эксплуатация электропривода ручного инструмента

1. Электроинструмент характеризуется параметрами, указанными в паспорте на изделие. Такие параметры, как допустимый размер рабочего инструмента (диаметр сверла, бура, шлифовального круга, глубина пропила и др.) определяют максимальную нагрузку, на которую рассчитан ЭД при длительной работе.

При превышении этих параметров ЭД будет работать с перегрузкой. Работа с перегрузкой означает, что через электрические обмотки электродвигателя протекает электрический ток больший, чем тот, на который рассчитан ЭД.

Первым признаком перегрузки является нагревание корпуса электродвигателя до температуры около 40 °С. Если не снизить нагрузку на электроинструмент, то обмотки, а не корпус (пластмассовый) двигателя, нагреются до температуры разрушения изоляции (более 140 °С), образуется коротко замкнутый виток и процесс выхода двигателя из строя становится необратимым.

Сначала сгорает обмотка статора (более электрически нагруженная), а затем, если вовремя не остановить электроинструмент, обмотки якоря.

Первым признаком пробоя изоляции является повышенное искрение под угольными щетками (искру можно увидеть в вентиляционных отверстиях, окнах инструмента).

При появлении повышенного искрения необходимо остановить электроинструмент и отнести в ремонт, в противном случае менять придется и статор, и якорь (в крайних случаях еще щеткодержатель и корпус двигателя).

2. При работе на максимальных режимах нагрузки, когда детали двигателя нагреваются до предельных температур, но оператор останавливает машину для остывания, происходит разрушение подшипников якоря.

При нагревании подшипников, смазка или вытекает из них, или теряет свои свойства. Дальнейшая работа на “сухих” подшипниках приводит к их разрушению.

Конструктивно двигатель устроен так, что якорь (который вращается) и статор (который неподвижен) отцентрованы и воздушный зазор между ними около 0.5 мм.

После разрушения подшипника якорь теряет центровку и начинает тереться (биться) о статор, от трения эти детали нагреваются до температуры разрушения изоляции и процесс разрушения электродвигателя повторяет вышеописанный случай.

Первым признаком разрушения подшипников является повышенный (грохочущий) шум во время работы электроинструмента.

3. Практический совет: не допускать продолжительной работы электроинструмента под нагрузкой на заметно пониженных оборотах (на слух) по сравнению с оборотами холостого хода и, тем более, зажима (блокировки) инструмента, в этом случае он сгорит в течение нескольких секунд. После работы на пониженных оборотах не следует сразу выключать электроинструмент во избежание локальных перегревов, а дать ему поработать некоторое время (более 1 мин).

4. В инструкции по эксплуатации указаны сроки замены (добавления) смазки и ее количество. Необходимо строго придерживаться указанных величин, т.к. недостаток смазки приводит к преждевременному повреждению подшипников и зубчатых передач, а излишняя смазка способствует загрязнению внутренних поверхностей и вентиляционных окон электродвигателя, т.к. на нее налипают пыль, мусор, опилки и т.п., что приводит к нарушению охлаждения электродвигателя и, как следствие, перегреву и разрушению изоляции обмоток.

Замену смазки и очистку внутренних поверхностей нужно производить в специализированных мастерских.

5. При небрежном обращении и хранении, а особенно в условиях строительной площадки, вовнутрь корпуса электроинструмента могут попасть мелкие твердые предметы. При вращении деталей электродвигателя эти предметы рвут провода обмоток якоря. Поэтому необходимо следить за чистотой ящиков, где хранится электроинструмент, и при перерывах в работе класть его на чистые места.

6. Электроинструмент различаются на профессиональный и бытовой. При проектировании бытового электроинструмента, исходят из того, что они используются реже, испытывают более бережное обращение и не продолжительные нагрузки. Это необходимо учитывать при покупке и эксплуатации электроинструмента.

Профессиональный инструмент рассчитан на продолжительную ежедневную эксплуатацию и имеет больший ресурс.

Зарубежные производители указывают, на какую группу потребителей рассчитан электроинструмент. Инструмент, производимый в странах СНГ, практически весь бытовой.

Практические рекомендации

1. При работе электродрелью следует придерживаться следующих рекомендаций:

- работать правильно заточенным инструментом;
- при сверлении отверстий более 6 мм, следует предварительно просверлить отверстие меньшего диаметра (3 - 5 мм); не следует чрезмерно давить на электродрель во время работы, нормальное давление считается менее 5 кг (в зависимости от диаметра применяемого сверла), если нет съема материала, следует заточить сверло;
- при работе ударными дрелями следует периодически вынимать сверло (бур) из отверстия для выхода шлама. Этому правилу следует придерживаться при сверлении глубоких отверстий в дереве, металле и др. материалах.

2. При работе электроперфоратором следует придерживаться следующих рекомендаций:

- работать правильно заточенным буром; особенностью работы перфоратора, является то, что на него не следует давить, особенно при работе коронками; периодически вынимать бур из отверстия для выхода шлама, особенно при бурении глубоких, более 250 - 300 мм, отверст.

3. При работе электрошлифмашиной следует придерживаться следующих рекомендаций: работать абразивными кругами, диаметр которых не превышает указанный в паспорте на изделие, превышение диаметра может привести не только поломке электрошлифмашины, но и к тяжелым травмам;

- во время отрезных и шлифовальных работ следует совершать маятниковые движения (вперед-назад, вверх-вниз). Это необходимо делать для того, чтобы уменьшить дугу контакта (площадь соприкосновения шлифовального круга и обрабатываемой поверхности), т.к. затрачиваемая мощность на резание прямо пропорциональна длине дуги контакта;

- кожух шлифовального круга следует устанавливать так, чтобы вылетающий из-под круга абразив не попадал в вентиляционные окна электроинструмента.

- при работе маломощными шлифмашинами, до 900Вт, следует работать особенно аккуратно, т.к. они боятся перегрузки.

4. При работе электропилами, следует соблюдать следующие рекомендации:

- работать правильно заточенным, а в случае диска без твердосплавных вставок разведенным, диском;

- при продольном пилении, следует расклинивать доску, чтобы диск не заклинивался в резе;
- если на боковой поверхности диска появились смолистые отложения, их необходимо смыть керосином или подобным растворителем;
- при неправильной работе, на диске появляются прижоги (пятна от желтого до синего цвета). Таким диском работать нельзя, т.к. он деформирован, не плоский, при работе перегружает электропилу. Его следует заменить.

5. При работе электрорубанком, следует придерживаться следующих рекомендаций: необходимо работать правильно заточенными ножами, у которых угол заточки 40 град.

- не следует работать с максимальным съемом стружки (3 мм), т.к. кроме перегрузки, трудно получить качественную, ровную поверхность. Рекомендуемая толщина стружки 1..2 мм.
- тщательно проверять поверхность перед обработкой, на наличие гвоздей и подобных предметов.

6. При работе электролобзиком следует придерживаться следующих рекомендаций:

- работать острыми пилочками, правильно подбирая соответствие вида зубьев и обрабатываемого материала. При резке ДСП, обычные пилочки быстро теряют режущие свойства, что приводит к поломке маятникового механизма лобзика;
- если во время работы необходимо продолжить незаконченный рез, включать лобзик, нужно только введя пилочку в рез, в противном случае возможна поломка пилочки и механической части лобзика.

Контрольные вопросы:

1. Какие основные требования предъявляются к электроприводу ручного инструмента?
2. Какой тип электродвигателя в наибольшей степени применяется в электроприводе ручного инструмента и почему?
3. Чем отличается рабочая характеристика электропривода ручного инструмента от электропривода общепромышленного назначения?
4. Особенности эксплуатации электропривода ручного инструмента.

Тема 8.1 Основы использования оптического излучения

Вопрос 1. Основы использования оптического излучения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Известно, что оптическое излучение является необходимым условием для жизни и нормального развития растений и животных. Оптическое излучение — лишь небольшая часть спектре электромагнитных колебаний, который весьма обширен и занимает диапазон от космических лучей до медленных электрических колебаний. По современным представлениям, электромагнитные излучения — это поток материальных частиц в виде порций энергии — квантов, называемых в оптическом излучении фотонами. Поскольку энергии в потоке излучения распределена равномерно, излучение рассматривают как непрерывный процесс.

Оптическая область спектра включает в себя световые и граничащие с ней инфракрасные и ультрафиолетовые излучения. В длинноволновой части к оптическому излучению примыкают ультракороткие радиоволны, в коротковолновой — рентгеновские лучи. Для измерения длин волн оптической области спектра в качестве единиц измерения используются нанометр (нм) и м и к р о м е т р (мкм): $1\text{ нм} = 10^{-9}\text{ м}$, $1\text{ мкм} = 10^{-6}\text{ м}$. Излучения с длиной волны от 380 до 760 нм, воспринимаемые органами зрения как свет, называют видимыми излучениями. В таблице дана общая характеристика излучения оптической области спектра.

Таблица
Оптическая область спектра электромагнитных излучений

| Излучение | Длина волн, нм | Группы волн |
|------------------|----------------|---------------------|
| Инфракрасное | 340 000—760 | |
| Световое | 760- 620 | Красные |
| | 620—585 | Оранжевые |
| | 585—560 | Желтые |
| | 560-510 | Зеленые |
| | 510—480 | Голубые |
| | 480—450 | Синие |
| | 450—380 | Фиолетовые |
| Ультрафиолетовое | 380—315 | Ближние (область Л) |
| | 315—280 | Средние (область В) |
| | 280-10 | Дальние (область С) |

Вопрос 2. Понятия об использовании оптического излучения оптические области спектра электромагнитных колебаний

Свет необходим для жизни растений, для развития живых организмов, для создания нормальных условий труда, и отдыха человека. Солнце является гигантским естественным источником света. В осветительной технике используется видимое излучение, получаемое при помощи искусственных источников света.

Искусственное освещение в ряде случаев становится мощным средством интенсификации некоторых процессов и отраслей сельскохозяйственного производства. Так, на современных птицефермах, птицефабриках и птицеводческих комплексах удлинение светового дня до 13—15 ч (особенно в осенне-зимний период) посредством применения искусственных источников света—электрических ламп накаливания и люминесцентных ламп позволяет значительно (на 20—25%) увеличить яйценоскость кур. При этом режим освещения изменяется автоматически, в соответствии с заранее заданной программой.

Невидимые инфракрасные излучения и сельскохозяйственном производстве используются главным образом для нагрева и сушки. Кроме того, они способствуют лучшему развитию сельскохозяйственных животных и снижению их восприимчивости к заболеваниям (особенно молодняка).

Ультрафиолетовые излучения (также невидимые) наряду с ионизирующей способностью обладают сильным химическим и биологическим действием, оказывая существенное влияние на протекание различных процессов в живых организмах и неживых телах. Их применяют для люминесцентного анализа с целью определения качества продукции (излучения области А), для улучшения физиологического состояния сельскохозяйственных животных и птиц и увеличения их продуктивности (излучения области В), для стерилизации воздуха в помещениях, воды, продуктов, посуды и т. п., а также для возбуждения светящихся составов в люминесцентных лампах (излучения области С).

Вопрос 3. Основные понятия и определения. Величины и единицы измерения эффективного действия оптического излучения

Для характеристики источников света и освещения различных предметов приняты специальные световые (фотометрические) величины и единицы их измерения с учетом физиологических особенностей органов зрения людей (спектральной чувствительности «среднего» человеческого глаза).

Согласно ГОСТ 7932—56 и международной системе единиц

(СИ), установлены следующие основные величины: световой поток, сила света, освещенность.

Световой поток определяется как мощность видимого излучения (энергия, излучаемая в единицу времени). Единица измерения светового потока — люмен (лм).

Сила света — это плотность светового потока, распределенного в определенном пространстве (в так называемом телесном угле). Единица измерения силы света — кандела (кд) — световой поток в 1 люмен, равномерно распределенный внутри телесного угла в 1 стерадиан.

Определяется сила света (кд) отношением светового потока F (лм), равномерно распределенного в пространстве, к телесному углу (ω), то есть

$$I = \frac{F}{\omega}.$$

Освещенность — это плотность светового потока, приходящегося на единицу освещаемой им поверхности. Единица измерения освещенности — люкс (лк): такая освещенность, когда световой поток в 1 люмен равномерно распределен на освещаемой поверхности площадью 1 квадратный метр. Выражается освещенность E (лк) отношением светового потока (лм) к площади освещаемой поверхности S (м²), то есть

$$E = \frac{F}{S}.$$

Контрольные вопросы:

1. Перечислите ультрафиолетовое излучение по зонам.
2. Для чего используется инфракрасное излучение в сельскохозяйственном производстве?
3. Запишите и объясните формулу потока излучения.
4. Запишите и объясните формулу силы излучения.
5. Запишите и объясните формулу энергетической облученности.
6. Что называется эффективным потоком оптического излучения?
7. Дайте определение силы света.
8. Дайте определение электрического источника оптического излучения.
9. Что является эксплуатационными характеристиками, определяющими экономические показатели работы лампы?
10. Приведите обозначения одного из типов люминесцентной лампы.

Тема 8.2. Электрические источники оптического излучения

Вопрос 1. Основные источники оптического излучения, применяемые в с/х производстве. Энергетическая эффективность ламп накаливания и газоразрядных ламп низкого и высокого давления

В настоящее время в сельском хозяйстве применяются лампы накаливания, в основном, на 220 и 235 В. Лампы накаливания общего назначения снабжаются цоколями E27.

Обозначение ламп накаливания общего назначения:

X1X2 – X3 – X4,

где X1 – физические и конструктивные особенности (В – вакуумная; Г – газонаполненная моноспиральная аргоновая; Б – биспиральная аргоновая; БК – биспиральная с криптоновым наполнителем; БН – биспиральная неодимовая; РН – разного назначения. Для ламп в светорассеивающих колбах к указанным добавляются буквы МТ – с матированной колбой, МЛ – в колбе молочного цвета, О – с опаловой колбой и т. д.);

X2 – номинальное напряжение или диапазон напряжений, В;

X3 – номинальная мощность, Вт (15...1000);

X4 – отличительная особенность от базовой модели (1...9).

Пример маркировки: БК-215-225-100. Колбы газонаполненных ламп накаливания заполняются смесью аргона или криптона и азота. Неодимовые лампы имеют колбу из стекла с добавлением окиси неодима, что улучшает спектр лампы (уменьшается излучение в жёлтой области спектра). Буквенное обозначение ламп накаливания в декоративной колбе начинается с буквы Д, далее указывается буквой форма колбы (абажур, свечеобразная, шаровая) и цвет колбы. Цифровая маркировка аналогична лампам накаливания общего назначения. Для светильников местного освещения используются лампы типа МО или МОЗ (с зеркальным покрытием колбы).

Продолжительность горения ламп накаливания в среднем 1000 ч, световая отдача (отношение светового потока к потребляемой мощности – показатель экономичности лампы) составляет до 19 лм/Вт.

Разновидностью ламп накаливания являются кварцевые галогенные лампы, имеющие более стабильный световой поток, малые габаритные размеры и массу, больший срок службы (до 3000 ч) и световую отдачу (до 30 лм/Вт).

Люминесцентные лампы низкого давления Газоразрядными источниками света называются устройства, в которых невидимое ультрафиолетовое излучение плазмы (ионизированных паров металлов или газа) преобразуется с помощью люминофоров в излучение, воспринимаемое зрительно. Меняя виды люминоформа, можно варьировать цветовые характеристики ламп. Применяются люминесцентные лампы дневного (типа ЛД), белого (типа ЛБ), тепло-белого (типа ЛТБ) и холодно-белого (типа ЛХБ).

Люминесцентные лампы низкого давления благодаря высокой световой отдаче, улучшенному спектральному составу излучения и значительному сроку службы нашли широкое применение для общего освещения производственных и общественных помещений.

Люминесцентная лампа – это длинная стеклянная трубка (колба), внутренняя поверхность которой покрыта слоем люминофора В герметически закрытых торцах колбы 3 на молибденовых электродах 7, прикреплённых к стеклянной ножке 5, смонтирована вольфрамовая оксидированная моноспираль 6. К электродам спирали припаяны штырьки 1, изолированные от цоколя 2 лампы специальной мастикой. Из колбы лампы через отверстия в стеклянных ножках откачивают воздух и вводят в нее инертный газ (аргон) и небольшое количество ртути (до 30 мг). Давление газа в колбе значительно ниже атмосферного, этим и объясняется название данного класса ламп. Электрический разряд в такой лампе начинается в атмосфере инертного газа, а затем по мере испарения ртути продолжается в ее парах. Длина волны излучения ртути соответствует ультрафиолетовой области спектра.

Люминесцентная лампа низкого давления состоит из: 1 – ножки-штырьки; 2 – цоколь; 3 – стеклянная трубка (колба); 4 – люминофор; 5 – ножка; 6 – оксидированная моноспираль; 7 – электроды.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу или цветности излучения. Выпускаемые промышленностью люминесцентные лампы отличаются только составом люминофора, следовательно, и спектральным составом излучения.

Структура обозначения люминесцентной лампы:

ЛХ1Х2Х3 – Х4,

где Л – люминесцентная;

Х1 – цветность излучения (Б – белая, Г – голубая, Д – дневная, Е – естественная, ТБ – тепло-белая, З – зелёная, Ц – с улучшенной цветопередачей, ЦЦ – с очень хорошей цветопередачей);

X2 – конструктивная особенность (К – кольцевая, У – U-образная);

X3 – номинальная мощность, Вт;

X4 – отличительная особенность от базовой модели.

Пример маркировки: ЛЕЦК 40-1.

Световая отдача (лм/Вт) является самым важным показателем экономичности ламп и выражается отношением светового потока F (лм) к электрической мощности P (Вт) лампы как источника излучения:

$$\eta_{\text{св}} = \frac{F}{P}.$$

Световой к. п. д. ламп накаливания определяется по формуле

$$\eta_{\text{св}} = \frac{F}{683P} \cdot 100\% \quad \text{и не превышает } 3,2\%.$$

Срок службы ламп накаливания, согласно ГОСТ 2239—60, составляет 1000 ч, в том числе при номинальном напряжении продолжительность горения каждой лампы должна быть не менее 700 ч. При отклонении напряжения от номинального основные характеристики ламп накаливания заметно изменяются. Например, в случае уменьшения напряжения на 10% мощность ламп снижается на 18%, световой поток — на 30%, световая отдача — на 26%, а срок службы увеличивается на 250%; при увеличении напряжения на 7,5% изменения тех же величин соответственно +15, 30, 20 и —60%.

Вопрос 2. Законы преобразования электрической энергии в оптическую

В электрической цепи электрическая энергия одновременно получается в источнике и преобразуется в другой вид энерг; в приемнике. Тип приемника выбирают в соответствии с тре емым для практических целей видом неэлектрической энерг Рассмотрим принципы преобразования электрической эн гии в тепловую, световую и химическую; вопрос преобразо ния электрической энергии в механическую рассмотрен в § 10 Преобразование электрической энергии в тепловую Физический процесс преобразования электрической 3Нергf в тепловую рассмотрен в § 2.2. Выразим количество выделенной теплоты через напряжен: и ток. "потенциалов U , заряд перемещенных частиц $Q = h$. Ра3о° епгия электрического поля, затраченная на перемещение Ценных частиц, согласно (1.5), зар $W_0 = UQ = UIt$. | Ра50Та сил электрического поля расходуется на нагревание L очника, так как никаких дру-

гих проявлений этой работы Соблюдается. Поэтому энергию W_3 можно считать равной тепловой энергии приемника: $W_{3,} = W_1 = UI \cdot t$. В этой формуле энергия выражена в джоулях. Согласно закону Ома [см. формулу (2.6)], $U=IR$, тогда $W_{3,} = I^2Rt$. Формула (3.10) является математическим выражением закона Ленца —Джоуля. Количество электрической энергии, преобразуемой в проводнике за единицу времени в тепловую энергию, пропорционально квадрату тока и электрическому Сопротивлению проводника. Скорость преобразования электрической энергии в другой вид энергии в приемнике называется мощностью приемника: $P_{п} = W_{3,}/t=UI$. [Эта формула справедлива для любого приемника независимо от вида энергии, который получается в результате преобразования.] Если электрическая энергия полностью превращается в тепловую, то мощность приемника можно выразить через ток I в проводнике и его сопротивление: (3.12) В Явлении преобразования в проводниках электрической энергии в тепловую широко используется в практике. На этом принципе основано действие большинства электрических промышленных и бытовых нагревательных устройств. Преобразование электрической энергии в световую (например, в лампы накаливания) происходит в основном в основе работы электрических ламп накаливания. В лампах, изготовленных из тугоплавкого металла При высокой температуре нити лампы часть энергии излучается в виде световой энергии, которая в общем потоке энергии, излучаемой лампой, составляет менее 10%.

Тема 8.3. Эксплуатация тепловых и газоразрядных светильников

Вопрос 1. Тепловые и газоразрядные источники излучения, принцип их работы, характеристики и схемы включения

Тепловое излучение отличается от других видов излучения (например, люминесценции) только способом перехода излучающих систем в возбужденные состояния. Это источники электромагнитного излучения, испускаемого нагретым телом за счет повышения его внутренней энергии. Переход в возбужденное состояние при тепловом излучении осуществляется в результате теплового движения атомов и молекул.

Тепловое излучение имеет сплошной спектр, положение максимума излучения которого зависит от температуры тела; спектральная зависимость определяется формулой Планка. К тепловым источникам относятся а.ч.т., различного рода лампы накаливания. Вольфрамовые лампы в стеклянном баллоне дают сплошной, очень широкий спектр

от 360 нм до 2400 нм. Эти лампы нестабильны во времени из-за расплытия вольфрамовой нити. Лампы накаливания, у которых баллон сделан из кварца, работают в области от 250 нм до 3500 нм. Для увеличения рабочей температуры и срока службы лампы наполняют парами галогенов (йод, соединения брома) - галогенные лампы. Они имеют температуру $T = 2700 - 3000 \text{ K}$.

Тепловыми источниками для инфракрасной области спектра являются глобар (стержень из карбида кремния), штифт Нернста (стержень из порошковой массы циркония и окиси иттрия). Это источники имеют температуру до 2000 К, спектр излучения простирается до 300 мкм.

К газоразрядным источникам света, также называемым просто разрядными, относятся все виды люминесцентных ламп (компактные и безэлектродные в том числе), металлогалогенные и натриевые лампы, а также ксеноновые и неоновые лампы. Все газоразрядные лампы можно разделить на 3 группы: лампы низкого, высокого и сверхвысокого давления. Эти группы очень сильно отличаются по физическим свойствам протекающих в них процессов, характеристикам, сферам использования. В чем же основные отличия газоразрядных ламп от тепловых? Тепловые лампы формируют свет за счет накаливания вольфрамовой нити до высоких температур, а газоразрядные лампы образуют свет в результате возникновения электроразряда между электродами. Спектральные параметры возникающего при этом света зависит от свойств газа, в котором возникает электрический разряд.

Яркость света обусловлена, помимо состава газа, его давлением и мощности разряда. Многообразие газоразрядных источников огромно, однако есть два важных нюанса, которые объединяют все эти лампы в одну группу.

Из курса физики всем известен закон Ома, гласящий, что напряжение на любом устройстве, по которому протекает ток, вычисляется умножением тока на сопротивление этого устройства. Следовательно, при увеличении тока будет увеличиваться и напряжение на устройстве. Закону Ома следуют все электроприборы, такие как лампы накаливания, электродвигатели, электропечи и т.д. Все, за исключением газоразрядных приборов. В них, в отличие от других устройств, напряжение при увеличении тока не повышается, а снижается.

Зависимость напряжения в газоразрядных приборах называется вольтамперной характеристикой. Кроме свойства снижения зависимости напряжения от тока, существует еще одна характерная черта разряда в газах: существование переломной точки, при достижении которой зависимость напряжения от тока снижается. Показатель напряжения в этой точке связан с большим количеством факторов: расстояния

между двумя электродами; типа газа, в котором происходит разряд и его давления; степени нагревания электродов; влияния других ионизирующих лучей (радиоактивного, рентгеновского и т.д.).

Во время работы разрядной лампы, значение напряжения на ней гораздо меньше общего сетевого напряжения. Но для возникновения разряда, на электроды должно податься напряжение как минимум соответствующее напряжению в переломной точке, которое называется напряжением возникновения разряда или напряжением зажигания. Напряжение на работающей лампе называется напряжением горения.

Снижающийся характер вольтамперной характеристики газоразрядных ламп говорит о том, что без ограничения разрядного тока он будет повышаться вплоть до выхода прибора из строя. Эта особенность, наряду с наличием высокого напряжения возникновения разряда, и являются теми двумя нюансами, которыми разряд в газах отличается от других устройств. Из-за этих нюансов газоразрядные лампы не подключаются к сети напрямую, как в случае с лампами накаливания. Для запуска и нормальной работы газоразрядной лампы требуется дополнительная аппаратура, выполняющая две важные задачи: подает нужное напряжение, соответствующее напряжению зажигания и ограничивает ток разряда нужного уровня.

Газоразрядные источники света

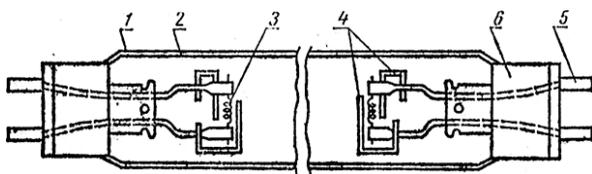


Рис.8.2.1. Основные части люминесцентной лампы:

1 — колба; 2 — слой люминофора; 3 — электрод из вольфрама; 4 — прополочные экраны; 5 — штырьки; 6 — цоколь.

К газоразрядным источникам света, получившим широкое распространение, относят лампы, внутреннее пространство которых заполнено инертным газом с добавлением небольшого количества ртути. В этих лампах свечение происходит в результате возникновения электрических разрядов в парах ртути. Поэтому такие лампы называют ртутными. Люминесцентная лампа низкого давления (рис. 8.2.1.) представляет собой цилиндрическую стеклянную колбу 1, внутренняя поверхность которой покрыта слоем люминофора 2. У концов колбы

расположены спиральные вольфрамовые электроды 3, покрытые слоем оксида. К электродам приварены проволочные экраны 4. Электроды соединены со штырьками 5 цоколей 6.

Под действием электрического разряда люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение в видимое. От химического состава люминофора зависит спектральный состав излучения люминесцентной лампы.

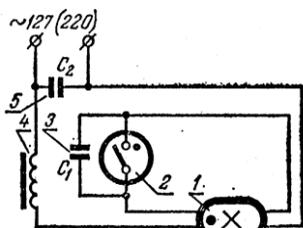


Рис. 8.2.2. Схема включения люминесцентной лампы и пускорегулирующей аппаратуры в сеть: 1 — люминесцентная лампа; 2 — стартер; 3, 5 — конденсаторы; 4 — дроссель

Когда люминесцентную лампу включают в сеть, электрический ток нагревает ее электроды до температуры 800—900 С, затем создается импульс повышенного напряжения, необходимый для электрического пробоя промежутка между электродами, и лампа зажигается.

На рисунке 8.2.2. приведена одна из многих возможных схем включения люминесцентных ламп. Характерная особенность таких схем — наличие стартера 2 (лампа тлеющего разряда) и дросселя 4. При помощи стартера создается импульс напряжения, необходимый для зажигания лампы. Дроссель ограничивает ток, проходящий через лампу, предотвращая тем самым перегорание ее электродов. Конденсатор С1 служит для снижения радиопомех, конденсатор С2 — для повышения коэффициента мощности схемы. В совокупности все эти устройства обеспечивают автоматически управляемый, надежный и стабильный режим горения лампы.

Люминесцентные лампы мощностью 15 и 20 Вт предназначены для включения в сеть напряжением 127 В, а мощностью 30, 40, 80, 125, 150 и 200 Вт — в сеть напряжением 220 В.

В сравнении с лампами накаливания люминесцентные лампы обладают рядом преимуществ: при одинаковой мощности их светоотдача в 4—5 раз, а эффективная отдача (фитоотдача) в 3—4 раза выше и срок службы значительно больше (по ГОСТу не менее 5000 ч).

В зависимости от цветности излучения и назначения люминесцентные лампы отечественного производства имеют соответствующую маркировку. Например, ЛД — лампа дневного света; ЛБ — лампа белого света; ЛХБ — лампа холодно-белого света; ЛДЦ — лампа

улучшенной цветопередачи; ЛФ — лампа с высокой фотосинтетической эффективностью.

Обычные осветительные лампы создавались применительно к свойствам человеческого глаза, который наиболее чувствителен к зеленой группе волн и во много раз менее к красным и синим группам. Растения же, наоборот, наиболее чувствительны к красному и синему излучениям и в процессе фотосинтеза менее эффективно используют зеленые излучения. С учетом этих особенностей растений были разработаны и получили широкое распространение в облучающих установках новые люминесцентные лампы низкого давления типа ЛФ-40. У них в результате подбора состава люминесцентного покрытия более высокая, чем у остальных люминесцентных ламп, фотосинтетическая эффективность излучения.

Размеры и электрические характеристики ламп ЛФ-40 такие же, как у обычных осветительных ламп ЛБ-40 и ЛД-40. Все эти лампы используются с одинаковой арматурой и пускорегулирующей аппаратурой.

Применение ламп ЛФ-40 в установках для облучения рассады вместо осветительных люминесцентных ламп (например, типов ЛБ-40 и ЛД-40) позволяет уменьшить на 30—40% удельную мощность установки, приходящуюся на 1 м² облучаемой поверхности (при одинаковых сроках выращивания) и повысить качество рассады.

Ртутные лампы высокого давления по конструкции отличаются от люминесцентных ламп низкого давления. В сравнении с люминесцентными лампами низкого давления типов ЛД и ЛБ обладают меньшей светоотдачей, но имеют и ряд существенных преимуществ. Из выпускаемых промышленностью ламп высокого давления в настоящее время получили наиболее широкое применение в сельском хозяйстве лампы общего назначения типа ДРЛ.

Для облучения растений в культивационных сооружениях предназначены новые специальные ртутные лампы высокого давления типа ЛОР-1000 (ДРФ-1000) мощностью 1000 Вт с добавками йодидов металлов (рис. 8.2.3.). У таких ламп в сравнении с лампами типа ДРЛ фитоотдача больше на 60-80%.

Лампы этих типов имеют ртутно-кварцевую горелку высокого давления, которая расположена в стеклянной колбе, покрытой изнутри люминофором.

Принцип действия лампы состоит в том, что коротковолновое ультрафиолетовое излучение ртутно-кварцевой горелки преобразуется люминофором в длинноволновое (красное) фотосинтетически активное излучение. Анализ преимуществ ламп ДРЛ в сравнении с лампами накаливания показывает, что их инфракрасное излучение значительно

ниже и, следовательно, меньше опасность перегрева (например, растений) при использовании ламп в облучательных установках.

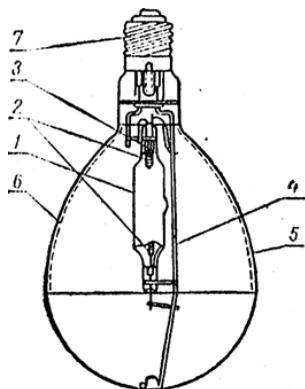


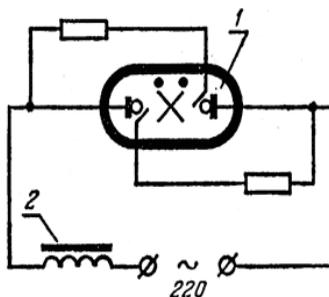
Рис. 8.2.3.. Общий вид ртутной люминесцентной лампы высокого давления типа ЛОР-1000:

1 — ртутно-кварцевая горелка; 2 — основные электроды; 3 — вспомогательный электрод; 4 — ножка; 5 — внешняя колба; 6 — внутренний отражатель; 7 — цоколь.

Применяются двухэлектродные (мощностью 250, 500, 750 и 1000 Вт) и в основном четырехэлектродные (мощностью 80, 125, 250, 400, 700 и 1000 Вт) лампы ДРЛ напряжением 220 В.

Зажигание и стабилизация параметров лампы ДРЛ, подключенной к сети при помощи пускорегулирующей аппаратуры (ПРА), например четырехэлектродной (рис. 116), происходит в течение 5—7 мин. Такое запаздывание зажигания лампы ДРЛ объясняется тем, что для образования пробоя газового промежутка номинального напряжения сети недостаточно и необходим импульс повышенного до 5 кВ напряжения. Поэтому в четырехэлектродной лампе ДРЛ применены два дополнительных (к двум основным) электрода, включенных через активные сопротивления.

Рис. 8.2.4. Электрическая схема соединения ртутной четырехэлектродной лампы 1 высокого давления типа ДРЛ с дросселем 2.



Вначале возникает разряд между каждой парой основных и добавочных электродов, а затем разряд между основными электродами, в результате чего и происходит зажигание лампы. Пускорегулирующим аппаратом этой лампы служит дроссель 2.

Вопрос 2. Пускорегулирующая аппаратура для газоразрядных ламп

В отличие от тепловых, газоразрядные источники света (металлогалогенные лампы, натриевые лампы высокого давления, люминесцентные лампы) не могут включаться в сеть непосредственно, а требуют для своей нормальной работы включения только со специальной аппаратурой, обеспечивающей их зажигание и горение.

Такие устройства получили название – пускорегулирующая аппаратура (ПРА). Существует два вида ПРА – электронный и электромагнитный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА и ЭМПРА). Их качественно важным рабочим параметром является мощность потерь, которая вместе с мощностью ламп складывается в системную мощность.

Обычные электромагнитные ПРА (ЭМПРА) – простое индуктивное сопротивление, которое состоит из железного сердечника, обвитого медной проволокой. Использование такого омического сопротивления приводит к высокой потере мощности и к большому выделению тепла. Системная мощность работающей с ЭПРА 26-ваттной компактной люминесцентной лампы составляет 32 Вт, т. е. мощность потерь составляет 6 Вт (23%).

Различают следующие способы или варианты эксплуатации:

Со стартером тлеющего разряда; Без стартера; ПРА с ограничением температуры.

Использование ЭМПРА для газоразрядных ламп со светильником обеспечивает:

Более быстрый и равномерный запуск лампы
Отсутствие видимого мерцания лампы
Не сокращается время работы лампы
Высокий КПД
Высокая степень защиты от поражения током
Коэффициент мощности – более 0,9 (обычный дроссель не больше 0,6).
Основным преимуществом ЭМПРА является их низкая стоимость.
Существенным недостатком ЭМПРА является их существенные габариты и вес, особенно если речь идет о применении их с люминесцентными лампами. Также существуют и другие неприятности:

1. Довольно большие потери мощности: в ПРА для маломощных люминесцентных ламп эти потери соизмеримы с мощностью самих ламп.

2. На промышленной частоте тока (50 Гц) световой поток пульсирует с частотой 100 Гц. Глаз не замечает этих пульсаций, но через подсознание они отрицательно влияют на наш организм. Кроме того, пульсации светового потока создают так называемый «стробоскопический эффект», когда предметы, вращающиеся с частотой пульсаций

или кратной ей, кажутся неподвижными. Это может приводить к травматизму в цехах, оснащённых станками с такой частотой вращения обрабатываемых деталей или инструмента.

3. Световой поток ламп не поддаётся управлению, что несколько ограничивает возможности создания комфортных осветительных установок.

4. Часто дроссели «гудят», то есть создают неприятные акустические шумы.

Для преодоления этих недостатков применительно к люминесцентным лампам наиболее радикальным средством оказалось питание ламп током повышенной частоты. Для этого в качестве балласта последовательно с лампой включают сложное электронное устройство, преобразующее напряжение сети в другое напряжение с частотой, как правило, несколько десятков кГц и одновременно обеспечивающее зажигание ламп. Такие устройства получили название «электронные пускорегулирующие аппараты» (сокращённо ЭПРА).

Электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА) выполнены в виде электронного устройства для питания газоразрядных и люминесцентных ламп. Первые ЭПРА появились ещё в 60-х годах прошлого века, однако их триумфальное шествие началось только в конце 80-х – начале 90-х годов. В настоящее время в ряде стран (Швеция, Швейцария, Голландия, Австрия) объём производства ЭПРА соизмерим с объёмом производства электромагнитных аппаратов.

Чем же так хороши ЭПРА, что, несмотря на сложность и относительно высокую стоимость, они стремительно вытесняют прежние аппараты? ЭПРА в отличие от ЭМПРА работают в частотном диапазоне >30 кГц, что приводит к значительному увеличению эффективности, которая базируется в основном на двух механизмах:

уменьшение электродных потерь; повышение световой отдачи, главным образом основанное на более эффективном преобразовании электрической энергии в ультрафиолетовой области спектра атомов ртути при 185 нм и 254 нм.

Применение современных ЭПРА позволяет (прежде всего, это касается люминесцентных ламп) значительно улучшить световой комфорт, экономичность и эксплуатационную безопасность.

Световой комфорт:

Зажигание без мигания Приятный, мерцающий свет без стробоскопического эффекта Отсутствие мешающих шумов Отсутствие миганий у перегоревших ламп Автоматическое включение после замены лампы

Экономичность ЭПРА:

На 30% уменьшается потребляемая мощность по сравнению с ЭМПРА. Более, чем на 50% по сравнению с ЭМПРА возрастает срок службы за счет бережливого режима работы. Уменьшаются расходы на техническое обслуживание. Применяются в системах аварийного освещения согл. VDE 0108. Минимизируются расходы на кондиционирование, в результате понижения нагрузки на системы кондиционирования.

Также уменьшается масса аппаратов и расход крайне дефицитных материалов – меди и [электротехнической](#) стали.

Кроме того, с внедрением ЭПРА появилась возможность создания систем управления освещением в помещениях, обеспечивающих наибольшую экономию электроэнергии и максимальный комфорт.

Применяются также встроенные ЭПРА, особенно для компактных люминесцентных ламп (КЛЛ).

Цена электронного ЭПРА в настоящее время в 5 – 10 раз выше, чем электромагнитного ПРА и стартера. Однако этот (временный!) недостаток ЭПРА окупается за счёт экономии электроэнергии и увеличения срока службы ламп.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличаются лампы типа В, Г, Б, БК?
2. Как устроена люминесцентная лампа низкого давления?
3. Чем конструктивно отличаются лампы высокого давления ДРЛ, ДРВ, ДРИ и ДНаТ?
4. Как работает схема импульсного зажигания люминесцентных ламп с предварительным подогревом электродов и использованием стартера тлеющего разряда?
5. Начертите схемы включения в сеть газоразрядных источников высокого давления.
6. Каковы особенности устройства источников ультрафиолетового излучения ЛЭ, ДРТ и ДБ?
7. Каковы особенности устройства инфракрасных ламп накаливания, в т.ч. галогенных?

Раздел 3. Курсовое проектирование

Тема 9.1. Общая характеристика технологического объекта

Объект автоматизации (условное обозначение $O A$) — это реальная технологическая установка, функционирование которой характеризуется некоторыми показателями качества — технологическими параметрами, являющимися выходными координатами, а также искусственно создаваемыми входными воздействиями, прямо или косвенно влияющими на состояние параметров.

Простейшие объекты автоматизации имеют одну выходную величину и соответственно одно входное воздействие. Например, у водонагревателя-термоса выходной величиной (параметром) является температура воды, а регулирующим воздействием — электрическое напряжение I/c , подаваемое на электронагреватели (рис. 3.2).

К простым можно отнести также технологические установки с несколькими входными и выходными координатами, если между этими координатами не существует функциональных взаимозависимостей. Такой объект можно рассматривать как несколько простейших по соответствующим параметрам и каналам входных воздействий. Например, в свинарниках при смешивании комбикорма с водой и другими добавками вполне допустимо процессы заполнения смесителя водой, комбикормом и т. д. рассматривать отдельно (рис. 3.3).

И наконец, сложные объекты с несколькими взаимосвязанными структурами входных и выходных координат требуют учета взаимного влияния смежных воздействий и параметров. Например, при регулировании микроклимата вентиляция влияет не только на концентрацию газов CO_2 , $ГШз$, $Нгв$ в помещении, но и на температуру и влажность, в свою очередь, испарение повышает влажность и понижает температуру (рис. 3.4).

При небольшом количестве взаимосвязанных координат обычно удается установить главные для данного процесса параметры, которым следует отдать предпочтение в процессе регулирования, тогда остальные можно рассматривать как второстепенные (зависимые).

При решении задач автоматизации управления технологическими процессами требуется иметь исходную информацию, характеризующую следующее:

- а) данные о емкостях объектов автоматизации и связях между ними;
- б) требования к показателям качества (параметрам) технологических процессов;

в) значение, интенсивность изменения во времени и место приложения возмущений;

г) значение регулирующего воздействия и передаточные свойства регулирующих органов.

Каждый участок, где может накапливаться вещество или энергия в объекте (емкость), должен быть охарактеризован отдельно и должны быть представлены данные о соединениях между всеми емкостями: сопротивления перетокам, характеристика упругих элементов и т. п.

Если емкости объекта зависят от его параметров или времени, необходимо по возможности представить эти зависимости.

Требования к показателям качества технологических процессов (параметрам) можно выразить в описательной или графической форме (рис. 3.10).

Номинальное значение параметра u_n может быть задано однозначно, например, $0B = 20^\circ\text{C}$, или в пределах: $6B = 18...20^\circ\text{C}$ либо $v \wedge 20^\circ\text{C}$ и т. п.

Общий порядок анализа и синтеза автоматических систем включает:

изучение технологического объекта автоматизации и определение оптимальных показателей его функционирования (состояния параметров, характеристики возмущений, емкостных данных объектов, прикладываемых регулирующих воздействий и т. п.);

исследование динамических свойств и характеристик отдельных структурных звеньев и объекта в целом;

выбор закона управления и типа автоматического устройства с определением динамических характеристик отдельных звеньев и показателей настройки автоматических устройств;

исследование автоматической системы на устойчивость и точность функционирования с введением необходимых корректирующих звеньев и связей.

В результате изучения и исследования технологического объекта получают сведения, называемые алгоритмом функционирования, который представляет собой совокупность предписаний, устанавливающих качество и порядок ведения процесса или его динамические свойства и характеристики, выраженные передаточными и переходными функциями.

В процессе анализа и синтеза автоматических систем для определения передаточных функций отдельных звеньев можно применять аналитическое решение задач на основе уравнений динамики процессов и математического аппарата теории автоматического управления, экспериментальные исследования, данные производственного опыта, моделирование и идентификацию.

Наличие общих методов исследований позволяет упростить задачу получения динамических характеристик технологических объектов, несмотря на их значительное разнообразие, которым изобилует современное сельскохозяйственное производство.

Тема 9.2. Разработка структурной и функциональной схемы технологического объекта

Функциональная схема представляет собой чертеж, выполненный в соответствии с ГОСТ 21.404-85, на котором с помощью условных обозначений изображаются основное технологическое оборудование, коммуникации, исполнительные устройства и средства контроля и управления. На основании ФСА выполняются остальные чертежи проекта и составляются заказные ведомости и заказные спецификации приборов и средств автоматизации.

Проектирование ФСА базируется на ряде принципов:

Уровень автоматизации технологических процессов должен определяться не только целесообразностью внедрения определенных комплексов технических средств, но и перспективами модернизации и дальнейшего развития, как технологии, так и технических средств автоматизации.

На сегодняшний момент наблюдается тенденция к переходу от аппаратных регуляторов, агрегатных и модульных комплексов (АКЭСР, «СТАРТ») к промышленным программируемым микропроцессорным контроллерам, а также от представления информации с помощью показывающих, регистрирующих приборов к промышленным ЭВМ со SCADA пакетами, выполняющим дополнительно задачи диагностики, оперативного управления и т.п.

При разработке схем автоматизации в процессе выбора элементов комплекса технических средств должны учитываться:

а) особенности технологического процесса и его свойства как технологического объекта управления;

б) условия пожаро- и взрывоопасности, агрессивность и токсичность перерабатываемых продуктов, их параметры и области допустимых изменений;

в) расстояния от мест установки преобразователей и вспомогательных устройств, исполнительных механизмов, приводов машин и запорных органов до пунктов управления и контроля;

г) требуемая точность и быстродействие средств автоматизации;

д) массивы перерабатываемой информации и число сигналов управления.

Схемы автоматизации технологических процессов должны строиться на базе серийно выпускаемых технических средств. При этом необходимо стремиться к применению однотипных и предпочтительно унифицированных блочно-модульных систем или программно-технических комплексов. В случае отсутствия требуемого прибора в составе серийно выпускаемой аппаратуры составляется техническое задание на разработку нового технического средства автоматизации.

Основными функциональными блоками являются:

ПП - первичный преобразователь; В.П. - промежуточный (вторичный преобразователь) преобразователь; И.П. - измерительный прибор; Зд - задатчик (ХЗ - задание на регулятор); И.М. - исполнительный механизм (м - управляющее воздействие, подаваемое с выхода регулятора); Р.О. - регулирующий орган (л - возмущающее воздействие, действующее на объект и компенсируемое управляющим).

Выбор рода энергии измерительных и управляющих сигналов и соответствующих технических средств производится на основе анализа условий пожаро- и взрывоопасности технологического объекта управления, агрессивности среды, требований к быстродействию, дальности передачи сигналов информации и управления. Взаимосвязь средств измерения, регистрации, регулирования обеспечивается за счет согласования входов и выходов приборов, что наиболее целесообразно реализовать, если приборы имеют унифицированные входные/выходные сигналы.

Количество приборов, аппаратуры управления и сигнализации, устанавливаемых на щитах и рабочих станциях, должно быть по возможности минимально, например, посредством использования многоканальных промежуточных преобразователей, многофункциональных приборов и т.д.

Главной задачей при разработке системы управления является выбор параметров, участвующих в управлении, т.е. регулируемых, контролируемых и сигнализируемых. При этом необходимо получить наиболее полное представление об объекте, имея минимально возможное число выбранных параметров. Таким образом, разрабатывается стратегия управления технологическим объектом. Успешному достижению цели управления способствует не только правильный выбор вышеперечисленных параметров, но и выбор автоматических устройств для реализации стратегии управления.

Тема 9.3. Разработка принципиальной электрической схемы

Чтение и составление принципиальных схем является неотъемлемой частью промышленного инженера. Стандарты на составление принципиальных схем и графическое отображение элементов активно

использовались в СССР и других странах. Основой здесь была единая система конструкторской документации ЕСКД. В данной статье я хочу представить основные принципы и искусство составления принципиальных схем. При этом обращаю ваше внимание, что это не будет описание стандартов, я хотел бы представить сложившуюся практику, которая используется в обозначениях элементов и составления качественных принципиальных схем.

Правила составления принципиальных схем.

Основные правила составления принципиальных схем:

Разбейте устройство на функциональные части:

питание

цепь блокировок

конечные входные устройства и прохождение сигнала до решающего устройства

конечные выходные устройства и сигналы к ним от решающего устройства

решающее устройство

обмен данными с другим оборудованием

Хорошо если удастся изобразить эти части на отдельных листах

Движение сигналов схемы всегда! должно быть слева- направо. То есть входные конечные устройства должны быть в левой части схемы, а выходные конечные устройства в правой части схемы. (Это касается и каждого отдельного элемента)

Ток питания в принципиальных схемах должен течь сверху - вниз! То есть верх схемы соответствует большему потенциалу напряжения. (Это касается и каждого отдельного элемента)

Не перегружайте схему соединительными проводами, главная цель показать путь входных информационных сигналов в их движения к решающему устройству (или от решающего устройства к исполнительным конечным устройствам). Не основные сигналы для данной части желательно обозначать ссылками.

Можно не отображать часть элементов схемы для улучшения читаемости, вынося менее значимые элементы на отдельные листы.

Графическое изображение соединений.

В принципиальных схемах разных отраслей имеются отличия в изображении отдельных элементов. Существуют свои традиции в изображении элементов принципиальных схем.

Можно выделить такие традиционные схемы:

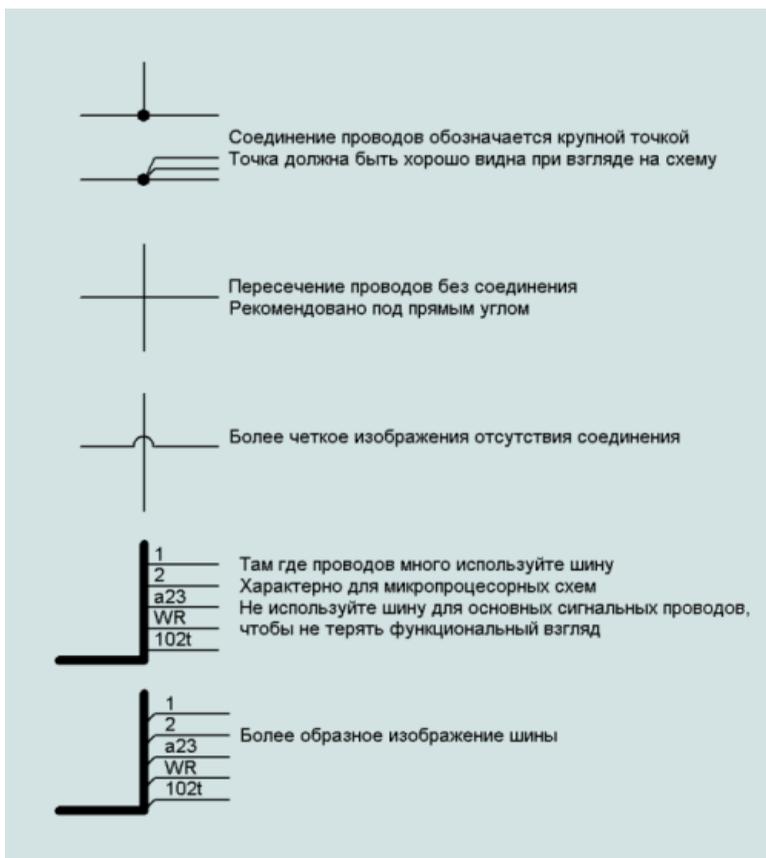
схемы аналоговых и цифровых устройств

схемы промышленного оборудования

схемы электроснабжения и освещения

Дальнейшее описание основано на схемах для аналоговых и цифровых устройств. Схемы электроснабжения и промышленного оборудования мы рассмотрим отдельно.

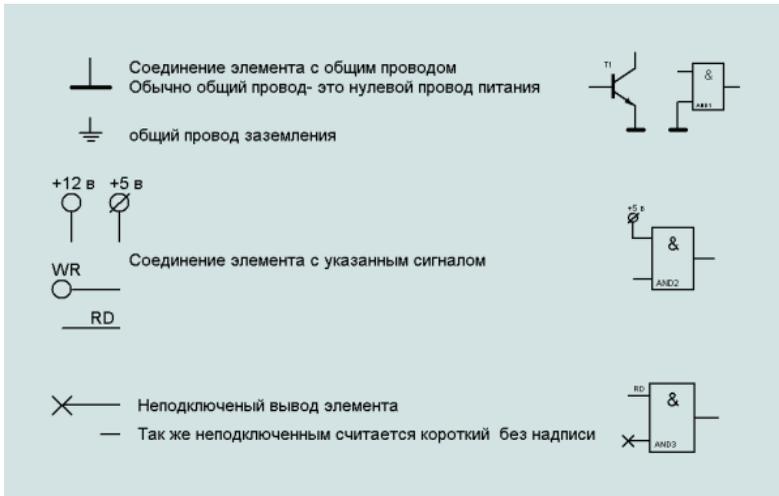
4.1 Соединительные линии



Каждый провод шины должен иметь собственное наименование. Все провода в шине с одинаковыми наименованиями считаются одним проводом.

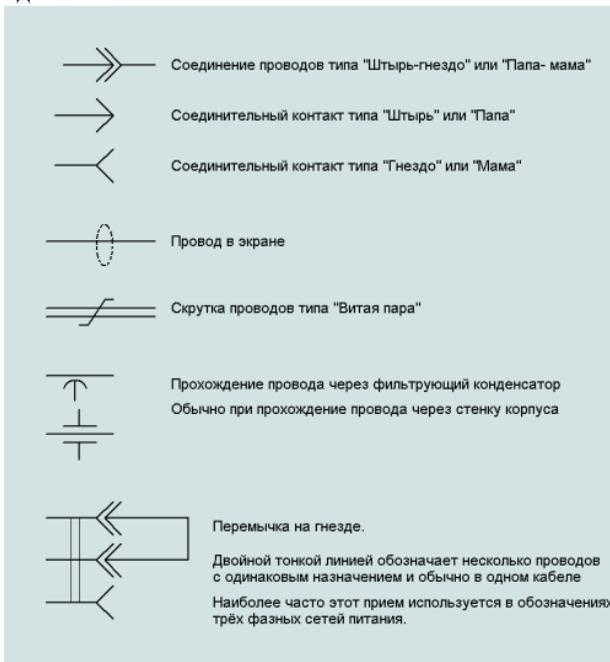
4.2 Соединение с общими проводами.

Все сигналы с одинаковым изображением и надписью считаются соединёнными. Используйте эти знаки для облегчения графического изображения. При этом для проводов питания соблюдайте правило: "ток должен течь сверху- вниз"



4.3 Специальные обозначения соединений.

Специальные обозначения используются для уточнения свойства соединений.



. Обозначение элементов на принципиальных схемах.

Каждый элемент принципиальной схемы обозначается буквенно-цифровым кодом. Существует множество вариантов обозначения, здесь я приведу наиболее распространённый, который соответствует ГОСТ 2.710-81 (СТ СЭВ 6300-88)

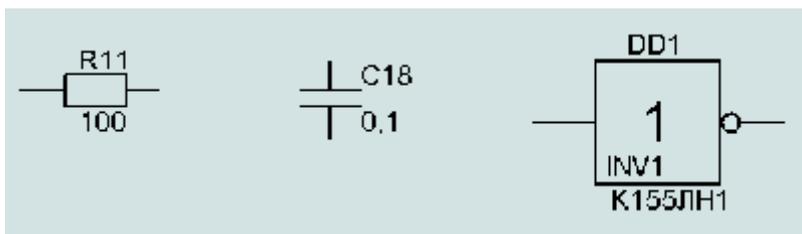
Правила обозначения элементов на схеме:

Обозначение элемента наносится выше его изображения, хотя допустимо нанести обозначение справа от элемента, или вообще где есть свободное место;

Номинал элемента наносится ниже изображения элемента, или допустимо под наименованием элемента.

Одинаковые элементы подписываются одинаковым буквенным кодом, но каждый элемент имеет свой индивидуальный порядковый номер

Нумерация одинаковых элементов в схеме идёт в порядке сверху- вниз и слева- направо.



Обычно полный номинал элемента указывается в перечне, прилагаемом к принципиальной схеме, но ГОСТ 2.702-75 допускает упрощенное нанесение номинала элемента на принципиальную схему:

для резисторов:

от 0 до 999 Ом — без указания единиц измерения,

от $1 \cdot 10^3$ до $999 \cdot 10^3$ Ом — в килоомах с обозначением строчной буквой к,

от $1 \cdot 10^6$ до $999 \cdot 10^6$ Ом — в мегаомах с обозначением прописной буквой М,

свыше $1 \cdot 10^9$ Ом — в гигаомах с обозначением прописной буквой Г;

для конденсаторов:

от 0 до $9999 \cdot 10^{-12}$ Ф — в пикофарадах без указания единицы измерения,

от $1 \cdot 10^{-8}$ до $9999 \cdot 10^{-6}$ Ф — в микрофарадах с обозначением строчными буквами мк.

Но сложившаяся практика обозначения номиналов конденсаторов такая:

номинал без запятой - пикофарады (100 - сто пикофарад)

номинал с запятой - микрофарады (0,1 - 0,1 микрофарада)

В некоторых схемах это используют и для резисторов (но это не правильно)

Для обозначение типа элемента используется кодировка латинскими прописными буквами

Первая буква элемента обязательная и определяет типа элемента, вторая буква разбивает тип элементов на некоторое подмножество.

А -устройство (общее обозначение)

В- преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многоразрядные преобразователи или датчики для указания или измерения

ВА- Громкоговоритель

ВВ- Магнитострикционный элемент

ВС- Сельсин-датчик

ВД- Детектор ионизирующих излучений

ВЕ- Сельсин-приемник

ВF- Телефон (капсюль)

ВК- Тепловой датчик

ВL- Фотоэлемент

ВМ- Микрофон

ВР- Датчик давления

ВQ- Пьезоэлемент

ВR- Датчик частоты вращения (тахогенератор)

BS- Звукосниматель

BV- Датчик скорости

С- Конденсаторы

D- Схемы интегральные, микросборки

DA- Схема интегральная аналоговая

DD- Схема интегральная, цифровая, логический элемент

DS- Устройства хранения информации

DT- Устройство задержки

E- Элементы разные

EK- Нагревательный элемент

EL- Лампа осветительная

ET- Пиропатрон

F- Разрядники, предохранители, устройства защитные

FA- Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия

FP- Дискретный элемент защиты по току инерционного действия

FU- Предохранитель плавкий

FV- Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник

G- Генераторы, источники питания

GB- Батарея

H- Устройства индикационные и сигнальные

HA- Прибор звуковой сигнализации

HG- Индикатор символьный

HL- Прибор световой сигнализации

K- Реле, контакторы, пускатели

KA- Реле токовое

KN- Реле указательное

KK- Реле электротепловое

KM- Контактор, магнитный пускатель

KT- Реле времени

KV- Реле напряжения

L-Кагушки индуктивности, дроссели

LL- Дроссель люминесцентного освещения

M- Двигатели

P- Приборы, измерительное оборудование. Примечание. Сочетание PE применять не допускается

PA- Амперметр

PC- Счетчик импульсов

PF- Частотомер

PI- Счетчик активной энергии

PK- Счетчик реактивной энергии

PR- Омметр

PS- Регистрирующий прибор

PT- Часы, измеритель времени действия

PV- Вольтметр

PW- Ваттметр

Q- УВыключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)

QF- Выключатель автоматический

QK- Короткозамыкатель

QS- Разъединитель

R- Резисторы

RK- Терморезистор

RP- Потенциометр

RS- Шунт измерительный

RU- Варистор

S- Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных. Примечание. Обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей

SA- Выключатель или переключатель

SB- Выключатель кнопочный

SF- Выключатель автоматический

SL- Выключатели, срабатывающие от уровня

SP- Выключатели, срабатывающие от давления

SQ- Выключатели, срабатывающие от положения (путевой)

SR- Выключатели, срабатывающие от частоты вращения

SK- Выключатели, срабатывающие от температуры

T- Трансформаторы, автотрансформаторы

TA- Трансформатор тока

TS- Электромагнитный стабилизатор

TV- Трансформатор напряжения

U- Устройства связи. Преобразователи электрических величин в электрические

UB- Модулятор

UR- Демодулятор

UI- Дискриминатор

UZ- Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель

V- Приборы электровакуумные и полупроводниковые

VD- Диод, стабилитрон

VL- Прибор электровакуумный

VT- Транзистор

VS- Тиристор

W- Линии и элементы СВЧ. Антенны

WE- Ответвитель

WK- Короткозамыкатель

WS- Вентиль

WT- Трансформатор, неоднородность, фазовращатель

WU- Атенюатор

WA- Антенна

X- Соединения контактные

XA- Токосъемник, контакт скользящий

XS- Гнездо

XT- Соединение разборное

XW- Соединитель высокочастотный

Y- Устройства механические с электромагнитным приводом

- YA- Электромагнит
- YB- Тормоз с электромагнитным приводом
- YC- Муфта с электромагнитным приводом
- YN- Электромагнитный патрон или плита
- Z- Устройства оконечные фильтры. Ограничители
- ZL- Ограничитель
- ZQ- Фильтр кварцевый

Тема 9.4. Построение нагрузочной диаграммы электродвигателя и расчет эквивалентной нагрузки

Для построения нагрузочных диаграмм электропривода необходимо сначала рассчитать динамические моменты. Найдем величины динамических моментов:

– при разгоне:

$$M_{\partial.разг} = \frac{J\varepsilon_{разг}}{\eta}$$

где $\varepsilon_{разг}$ – угловое ускорение вала двигателя при разгоне:

$$\varepsilon_{разг} = \frac{a_{разг}}{R_K} j = \frac{1}{0,225} 2 = 8,6 \text{ рад/с}^2$$

$$M_{\partial.разг} = \frac{95,4 \cdot 8,6}{0,945} = 869 \text{ Нм;}$$

– при торможении

$$M_{\partial.торм} = J\varepsilon_{торм}\eta$$

где $\varepsilon_{торм}$ – угловое замедление вала двигателя при торможении:

$$\varepsilon_{торм} = \frac{a_{торм}}{R_K} j = \frac{1}{0,225} 2 = 8,6 \text{ рад/с}^2$$

$$M_{\delta.торм} = 95,4 \cdot 86 \cdot 0,945 = 776,1 \text{ Нм};$$

Используя рассчитанные в подпункте 3.1 пути, времена движения и статические моменты, последовательно построим нагрузочные диаграммы для каждого участка движения.

Построим нагрузочную диаграмму для горизонтального участка движения протяженностью 1000 м.

При разгоне необходимый крутящий момент на валу двигателя определяется как сумма динамического момента при разгоне и статического момента при разгоне, приведенного к валу двигателя:

$$M_{1,1} = M_{\delta.раз} + M_{мех.дв} = 869 + 1277 = 2146 \text{ Нм};$$

затем нагрузка будет равна

$$M_{1,2} = M_{мех.дв} = -1277 \text{ Нм};$$

при торможении нагрузка составит

$$M_{1,4} = M_{мех.торм} - M_{\delta.торм} = 1034 - 776 = 258 \text{ Нм}.$$

При дотягивании до остановки момент будет равен $M_{1,5} = M_{мех.дв} = 1277$ Нм. На основании полученных данных строим нагрузочную диаграмму (рисунок 3.6).

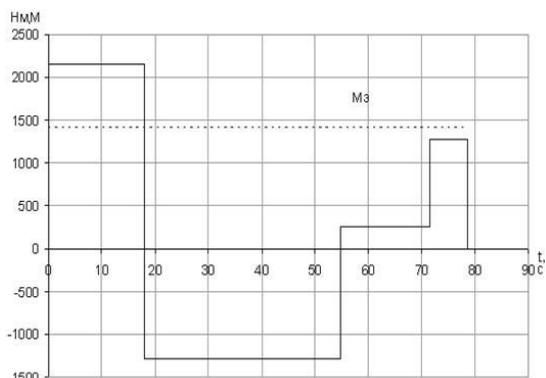


Рисунок 3.6 – Нагрузочная диаграмма для прямолинейного участка протяженностью 1000м

На рассматриваемом участке двигатель работает

$$t_1 = t_{разг1} + t_{уст1} + t_{торм1} + t_{дотяг} = 18 + 36,8 + 16,7 + 7,2 = 78,7 \text{ с.}$$

Определим величину эквивалентного момента для этого участка по формуле 3.10.

$$M_{1э} = \sqrt{\frac{M_{1.1}^2 \cdot t_{разг1} + M_{1.2}^2 \cdot t_{уст1} + M_{1.4}^2 \cdot t_{торм1} + M_{1.5}^2 \cdot t_{дотяг}}{t_1}} \quad (3.10)$$

Подставив в формулу 3.10 численные значения, получим

$$M_{1э} = \sqrt{\frac{2146^2 \cdot 18 + 1277^2 \cdot 36,8 + 258^2 \cdot 16,7 + 1277^2 \cdot 7,2}{78,7}} = 1408$$

Нм

Для прямолинейного участка движения продолжительностью 1500 м все параметры нагрузочной диаграммы, за исключением времени и продолжительности участка движения с установившейся скоростью, аналогичны параметрам нагрузочной диаграммы, построенной для участка движения протяженностью 1000 м.

Все значения моментов рассчитываемой нагрузочной диаграммы идентичны значениям моментов для нагрузочной диаграммы, рассчитанной для прямолинейного участка протяженностью 1000 м.

Определим эквивалентный момент для рассчитываемого участка движения. Определим время работы двигателя на этом участке:

$$t_2 = t_{разг2} + t_{уст2} + t_{торм2} + t_{дотяг} = 18 + 64,5 + 16,7 + 7,2 = 106,4 \text{ с.}$$

Определим величину эквивалентного момента для этого участка по формуле 3.11.

Тема 9.5. Определение необходимой мощности электродвигателя

Работа исполнительного механизма характеризуется: силой сопротивления F , которую необходимо преодолеть при выполнении технологического процесса; скоростью движения v или числом оборотов n , или угловой скоростью ω частей механизма, полезной $P_{пол}$ и потребляемой $P_{пот}$ мощностью.

При работе исполнительного механизма с постоянной скоростью преодолеваются лишь статические сопротивления, состоящие из

полезного и вредного сопротивлений (трение в механизмах, сопротивление среды и др.). При неравномерном движении полное сопротивление складывается из статического сопротивления и динамического сопротивления, вызываемого инерцией движущихся масс.

При вращательном движении силы сопротивления можно заменить моментами;

$$M = M_c \div M_d, \text{ кг} \cdot \text{м},$$

где M — полный момент сопротивления;

M_c — статический момент сопротивления;

M_d — динамический момент сопротивления.

Статический момент сопротивления M_c складывается из момента полезного сопротивления $M_{пол}$ и момента сил трения $M_{тр}$:

$$M_c = M_{пол} \div M_{тр}, \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

При равномерном вращательном движении мощность $P_{вр}$ равна произведению момента вращения M_c на угловую скорость ω :

$$P_{вр} = M_c \omega, \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}}; \quad \omega = \frac{2\pi n}{60},$$

где n — число оборотов в минуту.

Так как $1 \text{ квт} = 1,36 \text{ л. с.}$, или $102 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{сек}$, то

$$P_{вр} = \frac{M_c \cdot 2\pi n}{60 \cdot 102} = \frac{M_c n}{975}, \text{ квт}.$$

Примеры расчёта мощности электродвигателей

Мощность электродвигателя токарного станка

$$P = \frac{F_p v_p}{60 \cdot 102 \eta}, \text{ квт},$$

где F_p — усилие резания, кг ;

v_p — скорость резания, $\text{м}/\text{мин}$;

η — к. п. д. станка.

Иногда для подсчёта мощности двигателя пользуются выражением крутящих моментов (двойных для удобства вычисления):

$$2M_p = F_p d, \text{ кг}\cdot\text{м},$$

где F_p — усилие резания, кг ;

d — диаметр обрабатываемого изделия, м .

В этом случае мощность двигателя определяется по следующей формуле:

$$P = \frac{2M_p n}{2.975 \eta}, \text{ квт.}$$

Мощность электродвигателя сверлильного станка

$$P = \frac{2M_p n}{2.975 \eta}, \text{ квт.},$$

где $2M_p$ — двойной крутящий момент резания на сверле, в $\text{кг}\cdot\text{м}$;

n — число оборотов сверла в минуту;

η — к. п. д. станка.

Примечание. По аналогичным формулам определяется мощность двигателей для строгальных и фрезерных станков.

Мощность электродвигателя вентилятора

$$P = \frac{QH}{102 \eta_v \eta_n}, \text{ квт.}$$

где Q — производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{сек}$;

H — давление или разрежение, мм вод. ст. ;

η_v — к. п. д. вентилятора (осевого от 0,4 до 0,7; центробежного

до 0,8);

η_n — к. п. д. передачи от электродвигателя к вентилятору.

Мощность электродвигателя насоса

$$P = \frac{Q \gamma H \cdot 1000}{102 \eta_n \eta_{\text{п}} \cdot 3600}, \text{ квт.},$$

где Q — производительность насоса, $м^3/ч$;

γ — удельный вес жидкости, $кГ/дм^3$;

H — расчётная высота ($м$) подачи, состоящая из четырёх слагаемых:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4;$$

h_1 — высота всасывания, т. е. расстояние от уровня жидкости до оси насоса;

h_2 — высота нагнетания, т. е. расстояние от оси насоса до наиболее высокого пункта потребления;

h_3 — напор, учитывающий потери во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, на поворотах, в вентилях и т. п.

h_4 — свободный напор, обеспечивающий определённую скорость вытекания воды из трубы;

η_n — к. п. д. насоса (для центробежных насосов высокого давления 0,5—0,8, низкого давления 0,3—0,6);

η_n — к. п. д. передачи от двигателя к насосу.

Мощность электродвигателя компрессора

$$P = \frac{Q}{102 \eta_k \eta_n} \cdot \frac{A_n + A_a}{2}, \text{ квт},$$

где Q — производительность компрессора, $м^3/сек$;

η_k — к. п. д. компрессора;

η_n — к. п. д. передачи;

A_n — изотермическая работа ($кГ\cdot м$) сжатия $1 м^3$ атмосферного воздуха до давления $p_1 = p + 1 ат$;

A_a — адиабатическая работа ($кГ\cdot м$) сжатия $1 м^3$ атмосферного воздуха до давления $p_1 = p + 1 ат$;

p — конечное избыточное давление сжатия, $ат$.

Мощность электродвигателей крановых установок

Двигатель механизма подъёма

$$P = \frac{(G_n + G_o)v}{102 \eta}, \text{ квт},$$

где G_n — номинальный поднимаемый груз, $кГ$;

G_o — вес приспособлений для подъёма груза, $кГ$;

v — скорость подъёма груза, $м/сек$; η — к. п. д. механизма.
Двигатель механизма горизонтального перемещения

$$P = \frac{k (G_H + G_1) (\mu r + f) v_1}{102 R \eta}, \text{ кВт},$$

Где G_1 — собственный вес тележки (или моста), $кГ$;
 k — коэффициент, учитывающий трение реборд колеса о рельс;
 μ — коэффициент трения скольжения;
 r — радиус шейки вала, $см$;
 f — коэффициент трения качения;
 v_1 — скорость передвижения механизма, $м/сек$;
 R — радиус колеса, $см$;
 η — к. п. д. механизма.

Тема 9.6. Расчет и построение механической характеристики электродвигателя

Для оценки свойств асинхронного двигателя прибегают к построению механической характеристики.

Механическая характеристика асинхронного двигателя выражает зависимость между электромагнитным моментом и частотой вращения, либо скольжением. Скольжение — это величина, которая показывает, насколько частота вращения магнитного поля опережает частоту вращения ротора.

Благодаря механической характеристике, появляется возможность определить к какому типу установки больше подходит двигатель, на каком участке сохраняется его устойчивая работа, перегрузочную способность и другое.

Построим механическую характеристику для двигателя 4А90L4У3.

Паспортные данные двигателя:

$$n_1 = 1500 \text{ об/мин}$$

$$P_H = 2.2 \text{ кВт}$$

$$n_H = 1425 \text{ об/мин}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$\cos \varphi = 0.83$$

$$M_{\max}/M_H = \lambda = 2,2$$

Для построения нам необходимо произвести расчет номинального момента и скольжения.

$$M_H = 9.55 \frac{P_H}{n_H} = 9.55 \frac{2200}{1425} = 14.74 \text{ (Н * м)}$$

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1} = \frac{1500 - 1425}{1425} = 0.05$$

Рассчитаем критическое скольжение и момент, для этого необходимо знать коэффициент λ .

$$s_K = s_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.21$$

$$M_{кр} = \lambda M_H = 2.2 * 14.74 = 32,43 \text{ (Н * м)}$$

Итак, мы определили основные точки характеристики, но для её построения их недостаточно. Поэтому с помощью упрощенной формулы Клосса, рассчитаем моменты для других значений скольжений.

Упрощенная формула Клосса выглядит следующим образом

$$M = \frac{2M_{кр}}{S/S_{кр} + S_{кр}/S}$$

Для удобства составим таблицу.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| s | 0 | s_H | $S_{кр}/2$ | $S_{кр}$ | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| M | 0 | 14.61 | 25.94 | 32.43 | 32,39 | 30.47 | 26.69 | 23.16 | 20.22 | 17.85 | 15.93 | 14.35 | 13.05 |
| n | 1500 | 1425 | 1342.5 | 1185 | 1200 | 1050 | 900 | 750 | 600 | 450 | 300 | 150 | 0 |

Рассчитаем для каждого значения скольжения момент и частоту вращения. Например, для значения 0.2

$$M = \frac{2 * 32.43}{0.2/0.21 + 0.21/0.2} = 32,39 \text{ (Н * м)}$$

Частоту вращения выразим из формулы для определения скольжения

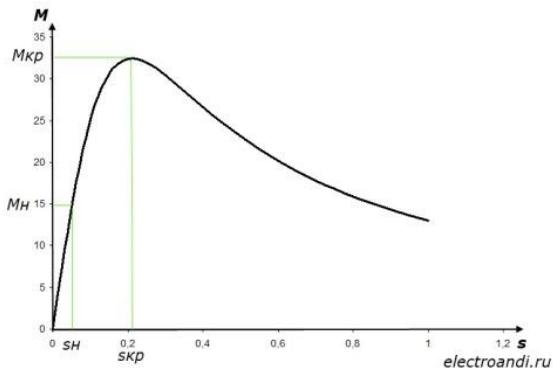
$$n = n_0(1 - s) = 1500(1 - 0.2) = 1200 \text{ об/мин}$$

Подобным образом рассчитываются остальные значения.

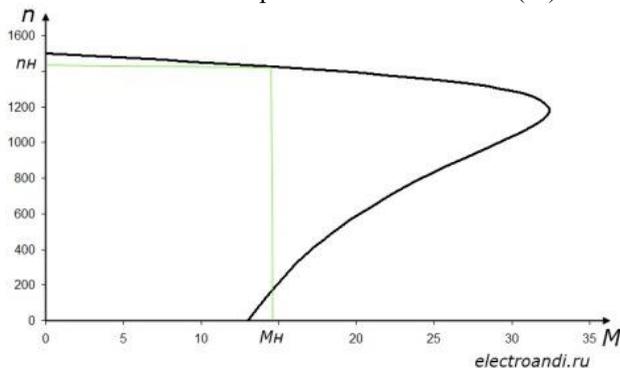
Так как формула упрощенная, значения могут несколько отличаться от действительных, что не критично для расчетов.

Теперь на основании расчетов мы можем построить саму механическую характеристику.

Зависимость момента от скольжения $M = f(s)$



Зависимость частоты оборотов от момента $n = f(M)$



Тема 9.7. Расчет и выбор пускорегулирующей и защитной аппаратуры

Для того чтобы правильно выбрать автоматический выключатель, необходимо понимать его основные параметры и характеристики:

Номинальный ток автомата (I_n) – величина тока, на которую АВ рассчитан для длительной нормальной работы. Иногда показатель I_n имеет определенный диапазон и регулятор для точной настройки. Например, $I_n=3\div 5\text{А}$, это означает, что данный автоматический выключатель можно подстроить на рабочие токи от 3 до 5 А. При превышении указанного значения происходит срабатывание защиты и электрическая цепь разрывается. По нормам, срабатывание должно произойти при силе тока в $1,45 I_n$.

Тип автоматического выключателя определяет кратковременное значение силы тока, при котором произойдет разрыв цепи. Тип или класс, в основном, определяется для момента включения. При запуске электрооборудования имеют место пусковые токи, которые могут быть огромными. Например, при прямом пуске электродвигателя, начальный ток равен 10-ти номинальным. Основные типы:

- В (кратковременное увеличение тока в 3-5 раз от номинального);
- С (5-10 раз);
- D (10-50 раз).

Время срабатывания (от момента, когда контролируемый параметр стал больше предельного значения, до момента размыкания контактов). АВ по времени срабатывания делятся на:

- нормальные ($t=0,02-0,1\text{с}$);
- быстродействующие ($0,005\text{с}$);
- селективные (предел регулирования времени срабатывания до 1с)

Последние имеют контакты с задержкой на размыкание. Применяются в сложных цепях, селективный АВ устанавливают на входе потребителя большой мощности. После него на разветвлениях цепи стоят автоматы меньшей мощности. Таким образом, при создании аварийной ситуации на участке цепи – выключится лишь отдельное оборудование, а селективность позволит остальной системе остаться работоспособной.

Отключающая способность – это максимальный ток, который может присутствовать кратковременно в цепи, чтобы автоматический выключатель не потерял свою работоспособность (возможно сваривание контактов при превышающих норму токах). Это значение обычно

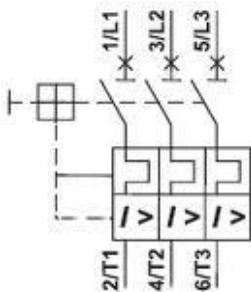
в сотню раз больше рабочего тока. А возникает такой огромный ток при коротком замыкании.

Механизмы расцепления

Тепловая отсечка (длительное влияние тока, превышающего норму) выполняется благодаря пластине, которая состоит из двух разных металлов. У используемых металлов разная тепловая проводимость. Пластина подсоединена последовательно, то есть через нее протекает ток цепи. Когда значение тока номинальное или меньше – автомат остается в замкнутом состоянии. Если же ток превысит нормированное значение, пусть даже на 10% в течении длительного времени, пластина нагреется и изогнется, тем самым, разорвет контакт питающей цепи.

Электромагнитное расцепление обеспечивает защиту от больших, резких скачков тока. Эта отсечка выполняется встроенным соленоидом. К примеру, автоматический выключатель рассчитан на ток в 2 А, его тип В, следовательно сработать он должен при токе 10 А. Для этого и служит соленоид. При токах до 10А, он будет неподвижным, а при достижении 10А, соленоид втянется и разомкнет контакт – произойдет выключение автомата.

Обозначение автоматического выключателя на электрической схеме:



Выбор предохранителей

а) Номинальное напряжение

Номинальное напряжение предохранителей и их плавких вставок $U_{вс.ном}$ независимо от места установки должно выбираться равным номинальному напряжению сети U_c :

$$U_{вс.ном} = U_c \quad (2-1)$$

Действительное напряжение сети не должно превышать номинального напряжения предохранителя больше чем на 10%. Установка

предохранителей на меньшее номинальное напряжение, чем напряжение сети, не допускается во избежание возникновения короткого замыкания, так как изоляция каждого предохранителя рассчитана на определенное напряжение.

Установка предохранителей на большее номинальное напряжение, чем напряжение сети, также не рекомендуется. Дело в том, что длина плавкой вставки для обеспечения надежного гашения дуги, возникающей при ее перегорании, тем больше, чем выше напряжение. С увеличением длины плавкой вставки, имеющей тот же номинальный ток, изменяются условия гашения дуги и ухудшается защитная характеристика вставки.

б) Предельно отключаемый ток

Предельно отключаемый ток плавкой вставки $I_{вс.пр.}$ должен быть равен или больше максимального расчетного тока короткого замыкания $I_{к.з.макс.}$, проходящего по цепи, защищаемой предохранителем. Если это условие не будет выполнено, дуга, возникающая при перегорании плавкой вставки, может не погаснуть, а предохранитель в результате ее длительного горения разрушится. Таким образом, вторым условием является

$$I_{вс.пр} \geq I_{к.з.макс.} \quad (2-2)$$

в) Номинальный ток

Номинальный ток плавкой вставки следует во всех случаях выбирать минимальным [Л. 8]. При этом плавкая вставка не должна перегорать при прохождении по ней максимального длительного тока нагрузки $I_{н.макс.}$, что обеспечивается при соблюдении следующего условия:

$$I_{вс.ном} = k_n I_{н.макс.} \quad (2-3)$$

Величина коэффициента k_n зависит от характера нагрузки. Так, при постоянной нагрузке (например, освещение) $k_n = 1,1 \div 1,2$.

При переменной нагрузке плавкая вставка не должна также перегорать при кратковременных перегрузках, когда в защищаемой сети проходит ток, превышающий максимальный ток длительной нагрузки. Кратковременные перегрузки могут быть вызваны пуском или самозапуском электродвигателей, технологическими перегрузками механизмов, вращаемых электродвигателями, и другими причинами. Перегорание предохранителей в указанных случаях недопустимо, так как перегрузки по прошествии небольшого времени (2—10 с) ликвидируются и восстанавливается нормальный режим.

Для выполнения этого условия номинальный ток плавкой

вставки выбирают таким, чтобы при прохождении по ней тока перегрузки $I_{пер}$ время ее перегорания было больше времени перегрузки. Практически для выполнения этого условия номинальный ток плавкой вставки выбирается упрощенным методом согласно следующему выражению [Л. 8, 13]:

$$I_{нс, ном} = \frac{I_{пер}}{k_n},$$

где k_n — коэффициент отстройки от тока перегрузки.

Величина этого коэффициента принимается:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } t_{пер} \approx 2-3 \text{ с (легкие условия)} \quad k_n \approx 2,5; \\ \text{при } t_{пер} \approx 10 \text{ с (тяжелые условия)} \quad k_n \approx 1,5-2. \end{array} \right\} (2-5)$$

При частых пусках электродвигателей с легкими условиями пуска выбор плавкой вставки производят по коэффициенту для тяжелых условий. Этот метод не учитывает инерционности некоторых типов плавких вставок и уменьшения тока перегрузки в процессе пуска и самозапуска электродвигателей. Поэтому номинальный ток плавкой вставки, выбранный согласно (2-4), получается, как правило, завышенным, вследствие чего предохранитель не защищает оборудование от перегрузки и является только защитой от коротких замыканий. В жилых домах, бытовых и общественных помещениях, т. е. там, где сети не находятся постоянно под наблюдением квалифицированного персонала, плавкие вставки должны удовлетворять следующему условию [Л. 8]:

$$I_{нс, ном} = 0,8 I_{доп, пр} \quad (2-6)$$

где $I_{доп, пр}$ — длительно допустимый ток провода.

После выбора номинального тока необходимо убедиться, что плавкая вставка надежно защищает участок сети, на котором она установлена. При коротком замыкании в наиболее удаленной точке сети плавкая вставка должна надежно и быстро перегорать. Кратность тока однофазного короткого замыкания в сетях с заземленной нейтралью и двухфазного короткого замыкания в сетях с изолированной нейтралью должна быть не менее 3 по отношению к номинальному току плавкой вставки.

В сетях, защищенных только от коротких замыканий, допускается не выполнять расчетной проверки тока короткого замыкания для оценки надежности перегорания плавкой вставки, если ее номиналь-

ный ток превышает длительно допустимый ток защищаемого участка сети не более чем в 3 раза.

Тема 9.8. Расчет и выбор приборов, элементов автоматизации и силовой проводки

Элементы автоматизации являются составной частью электропривода. Они предназначены для управления и автоматизации электроприводами (пуск, остановка, реверсирование), защиты электродвигателей при аварийных режимах и для обеспечения работы электродвигателя в заданных режимах в соответствии с требованиями технологического процесса.

Выбор электромагнитных пускателей осуществляется из условий:

- по напряжению
- по исполнению
- по требованию реверса
- по номинальному току

$$I_{нп} > I_{ну}, (5.4)$$

где $I_{нп}$ – номинальный ток пускателя, А;

$I_{ну}$ – номинальный ток установки, А.

$$I_{нп} > 30,4;$$

Выбираем пускатель КМИ-23210

$$I_{нп} = 32А;$$

Условия коммутации не проводим т.к. нет пусковых токов

Для выбора реле нужно знать: сколько контактов и каких (размыкающих и замыкающих) должно иметь реле. Какие токи включают, размыкаются и длительно проходят через каждый контакт. Напряжение цепей, в которые входят контакты. Род тока в этих цепях: постоянный или переменный. Характер нагрузки: активная (лампы, печи) или индуктивная (электромагниты, реле, трансформаторы, электродвигатели).

Знание этих данных важно потому, что ими определяются условия работы контактов. Например, включать ток значительно легче, чем размыкать. Чем выше напряжение цепи, тем размыкать ее труднее. Цепи переменного тока размыкаются много легче цепей постоянного тока. Активную нагрузку размыкать гораздо, легче, чем индуктивную. Все это иллюстрируется ниже на примере выбора реле У1 и АУ1. Необходимо знать напряжение, на которое рассчитана катушка реле (оно называется номинальным), и род тока — постоянный или переменный. При номинальном напряжении реле надежно срабатывает и не перегревается.

Очень важен уровень изоляции, так как именно им определяется предельное напряжение сети, в которой может применяться изделие. Нередко бывает, что уровень изоляции катушки не совпадает с уровнем изоляции контактов. Катушка, например, предназначена для сетей напряжением до 250 В, а контакты могут работать в цепях напряжением до 660 В.

Если в схеме имеется несколько реле, следует вначале решить, в какой последовательности производить их выбор. Как правило, раньше выбирают то реле, о котором больше всего известно, т. е. то, на которое уже распространяются известные ограничения. В нашем примере нужно выбрать четыре реле У, У1, АУ и АУ1, причем два из них У и А У служат для контроля уровня, а два — У1 и АУ1 — промежуточные. Начинать надо с реле У и А У, так как они должны контролировать уровни, значения которых заданы глубиной и вместимостью бака.

О реле У и АУ известно из задания (см. § 3), что они поплавковые. Выберем предварительно широко распространенные, простые по устройству и дешевые реле уровня типа РМ-51. Из паспорта узнаем, что они предназначены для работы при температуре контролируемой жидкости от +5 до +60°C и допускают регулировку расстояния между нижним и верхним контролируемыми уровнями от 0,5 до 10 м. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты для коммутации активной нагрузки до 5 А при 127 В и до 3 А при 220 В переменного тока. Из схемы рис. 7 ясно, что контакт реле У замыкает и размыкает цепь 32—33 промежуточного реле У/, а контакт АУ — цепь 44—51 промежуточного реле АУ1. Сопоставляя перечисленные сведения, убеждаемся в том, что реле типа РМ-5J подходят для решения поставленной задачи.

Подчеркнем, что термины «замыкающий» и «размыкающий» предназначены для характеристики контактов двухпозиционных электрических аппаратов (реле, контакторов, магнитных пускателей). У этих аппаратов, если якорь притянут, замыкающий контакт замкнут, размыкающий — разомкнут. Если якорь отпущен, замыкающий контакт разомкнут, размыкающий — замкнут. Применительно же к поплавковому реле (и многим неэлектрическим аппаратам контроля уровня, давления, температуры и т. п.) термины «замыкающий» и «размыкающий» обозначают лишь то, что, когда один контакт замкнут, другой — разомкнут. Этот сложный вопрос подробно рассмотрен в § 7 при анализе схемы.

Термометр сопротивления ТС это термометр, как правило, в металлическом или керамическом корпусе, чувствительный элемент которого представляет собой резистор, выполненный из металлической

проволоки или пленки и имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры. Самый популярный тип термометра – платиновый термометр сопротивления, это объясняется высоким температурным коэффициентом платины, ее устойчивостью к окислению и хорошей технологичностью. В качестве рабочих средств измерений применяются также медные и никелевые термометры. Новый межгосударственный стандарт на технические требования к рабочим термометрам сопротивления: ГОСТ 6651-2009, разработанный на основе российского стандарта **ГОСТ Р 8.625-2006** (Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний). Ознакомиться со стандартом можно в разделе [Российские стандарты](#). В стандарте приведены диапазоны, классы допуска ТС, таблицы НСХ и стандартные зависимости сопротивление-температура. Эти данные приведены также на нашем сайте в разделе [справочник](#). Главное преимущество термометров сопротивления – широкий диапазон температур, высокая стабильность, близость характеристики к линейной зависимости, высокая взаимозаменяемость. Пленочные платиновые термометры сопротивления отличаются повышенной вибропрочностью, но меньшим диапазоном температур. Изготавливаются также герметичные чувствительные элементы термометров сопротивления различных размеров, что позволяет их использовать в местах, где важно устанавливать миниатюрный датчик температуры. Недостаток термометров и чувствительных элементов сопротивления – необходимость использования для точных измерений трех- или четырех - проводной схемы включения, т.к. при подключении датчика с помощью двух проводов, их сопротивление включается измеренное сопротивление термометра. Важнейшей технологической проблемой для ТС проволочного типа является герметизация корпуса ЧЭ специальной глазурью, состав глазури должен быть подобран так, чтобы при колебаниях температуры в пределах рабочего диапазона не произошло разрушение герметизирующего слоя.

Для выбора датчика давления необходимо знать следующие параметры:

Где планируется установить датчик давления? (Особенности применения)

Диапазон измерений

Температура процесса

Тип соединения датчика с процессом

Параметры окружающей среды (температура, влажность)

Тип выходного сигнала датчика давления

Требуемая точность измерений

Тема 9.9. Разработка схемы соединений щита или пульта автоматизации управления объектом

Схема соединений- это схема на которой изображают соединения основных частей принципиальной схемы. Эти схемы разрабатываются на основании технологических, функциональных и принципиальных схем управления. Их используют при монтаже наладке, эксплуатации и ремонте электроустановок.

Общие правила относящиеся к схемам соединения:

1. Схемы соединения разрабатывают только на один пульт
2. Все типы аппаратов присущие в принципиальной схеме должны быть обнаружены в схеме соединения
3. Позиционное обозначение в принципиальной схеме должно быть соблюдено в схеме соединения
4. При разработке схемы соединения все аппараты показывают в виде прямоугольников. Над которым чертится окружность, разделенная горизонтальной чертой в числителе, указывается порядковый номер аппарата, в знаменателе- позиционное обозначение. Выводные зажимы обозначаются окружностью или точкой, а при наличии заводской маркировки она применяется в схеме соединений. При выполнении монтажной схемы на заднюю панель шкафа монтируется рубильник автомат, пускатели и промежуточные теле, реле времени, клемные колодки; на дверь монтируют тумблеры, пакетные переключатели, сигнальную арматуру, кнопочные посты, предохранитель цепей управления.

Существует 3 способа выполнения монтажной схемы:

1. Графический- заключается в том, что на чертеже показаны все линии связи между отдельными аппаратами. Способ применим при простых схемах, он применяется при выполнении трубных проводок.
2. Адресный (встречный)- заключается в том. Что линии связи между аппаратами отсутствуют, а в место них на выводах аппарата применяют, буквенно-цифровой, буквенно-буквенный или цифровой код. Способ наиболее распространенный и наиболее применяемый. Для того чтобы выполнить этот способ кроме нумерации аппаратов необходимо на принципиальной схеме пронумеровать провода.
3. Табличный производят путем нумерации всех цепей и нумерации аппаратов.

Тема 9.10. Составление ведомости на электромонтажные работы и комплектовочной ведомости на электрооборудование автоматизированной электроустановки. Разработка мероприятий по монтажу и наладке электрооборудования автоматизированной электроустановки на производственном объекте. Разработка мероприятий по эксплуатации автоматизированной электроустановки

Ведомость – это перечень, который отражает все приборы, приспособления, технику, смонтированные в рамках строительных или ремонтных работ на каком-либо одном объекте. Она является одной из сопроводительных бумаг по части документального оформления монтажа оборудования. Он не является самостоятельным, а служит неотъемлемым приложением к какому-либо договору: строительномонтажных работ, ремонтных работ, договору подряда и т.п. и помогает отследить тип, характеристики, количество, номера (заводской, инвентарный и т.д.) оборудования, в отношении которого был произведен монтаж, а также вести точный учет и объем произведенных работ.

Ведомость на электромонтажные работы, которая утверждена СНиП 3.05.06-85, 3.01.01-85, 3.01.04-87, является одним из общих документов, отражающим основные этапы их проведения. Это следует из требований ведомственных строительных норм, касающихся оформления приемо-сдаточной документации на данные услуги.

После проведения электромонтажных работ, подрядчик обязан предоставить заказчику комплект исполнительной документации о соответствии проведенных работ проектным документам и внесенным изменениям.

Основные требования к оформлению ведомости

Ведомость на электромонтажные работы.

Оформляется ведомость на электромонтажные работы в электронном виде (для обеспечения тиражирования) и на бумажном носителе (на бланках формата А-4). В виде обоснованного исключения ведомость технической документации при сдаче работ может быть заполнена от руки, разборчивыми печатными буквами. Производится эта процедура на отпечатанных, готовых бланках с помощью черных чернил.

Все поля, на которые поделена исполнительная ведомость документации, при сдаче должны быть заполненными – без прочерков и исправлений.

Отсутствие фамилий с указанием должности и подписи исполнителя, а также оттисков и дат является нарушением оформления данной документации, в следствие которых она может быть признана недействительной.

Так же как и остальная документация, из которой составляется исполнительный пакет, ведомость на выполненные электромонтажные работы оформляется в четырех экземплярах (на проверку/регистрацию подрядчику по реестру).

Сдаточная исполнительная документация направляется: один экземпляр заказчику, второй подрядчику, два экземпляра - монтажной организации.

Ведомость может формироваться в отношении любого электрооборудования: сигнального, коммуникационного, производственного и т.д.

Ведомость оформляется представителями двух организаций: заказчика и монтажного предприятия. Оба эти лица в обязательном порядке заверяют ведомость своими подписями.

Подписи ответственных работников нужны для того, чтобы в дальнейшем при возникновении каких-либо аварийных, нештатных, спорных или конфликтных ситуаций было точно понятно, к кому обращаться за разъяснениями. Ведомость должна составляться сразу же после монтажа.

Представители компаний проводят подсчет смонтированного оборудования, вписывают в бланк его технические и учетные характеристики, информацию о производителе и прочие необходимые сведения.

Ведомость объемов ЭМР составляется на основе материалов, полученных в процессе проектирования электроустановки, или на основе спецификации, включённых в состав рабочих чертежей электро-технической части проекта. Комплектование рабочих чертежей должно соответствовать требованиям СНиПа.

Ведомость электромонтажных работ составляется в таблицу, либо на объект в целом, либо по монтажно-технологическим зонам (МТЗ).

Пример оформления ведомости электромонтажных работ приведен в таблице №1.

Таблица №1

| № | Наименование | Кол-во на объект | Примечание |
|---|-------------------------------------|------------------|------------|
| 1 | щит распределительный ПР-85-3012-43 | 1 | - |

Ведомости поставок оборудования изделий и материалов комплектуются на основе лимитно-комплектовочных ведомостей (ЛКВ),

которые составляются отдельно на оборудование и материалы, поставляемые заказчиком и поставляемые генподрядчиком. В состав ведомости входят комплектующие и материалы поставляемые НПО "Электромонтаж". В ведомости указывается место доставки материалов и комплектующих, а также способ доставки.

Пример оформления лимитно-комплекточной ведомости приведен в таблице №2.

Таблица №2 Ведомость лимитно-комплекточная на поставленный комплект

| Объект, монтажно-технологическая зона (МТЗ) | | Номер поставочного компонента | | | | | |
|---|---------------------|-------------------------------|------------|-------|-------|-------------------------------|------------|
| Наименование оборудования | Тип марка , сечение | Единица измерения | Количество | | | Способ доставки, № контейнера | Примечание |
| | | | Всего | В МТЗ | В МЭЗ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ЛКВ на оборудование и материалы, поставляемые | ПМЕ 000 3007-21 | шт. | 4 | 3 | | В заводской упаковке | |

Под монтажом электрооборудования подразумевается комплекс работ по установке и сборке изделий, питающихся от электрических сетей и автономных источников питания. Его ведут с соблюдением требований действующей нормативно-технической документации в сфере системы стандартизации, строительных норм и правил, пожарных инструкциях. Кроме того, необходимо придерживаться основных положений и рекомендаций, указанных в паспортах и инструкциях по эксплуатации компаний производителей оборудования, устройств, приборов, материалов и комплектующих, которые будут монтироваться.

При составлении рекомендаций на выполнение электромонтажных работ необходимо руководствоваться нормативно-технической документацией (Н.Т.Д), такой как, Строительные Нормы и Правила (СНиП), Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7-е издание),

Свод правил на проектирование осветительных сетей жилых и гражданских зданий (СП 31-110-2003). Рекомендации даются на работы, объединенные по принципу схожести в монтаже. В рекомендации указывается способ выполнения работы в соответствии с нормативно – технической документации (Н.Т.Д.), а также применяемые механизмы и инвентарные приспособления, количество людей, занятых на этой работе. Названия работ могут быть: - монтаж шкафов, щитов (боксов), ящиков; - монтаж проводов; - монтаж приборов и аппаратов низкого напряжения; - монтаж кабелей скрыто; - монтаж кабелей открыто; - монтаж светильников.

Рекомендуется пояснять выполнение технологии монтажа в рисунках, схемах, изображениях в картинках и т.п.

Электромонтажные работы начинаются с планирования. Основной задачей при этом является нахождение рационального варианта осуществления монтажа. Сложный объем работ начинается с составления сетевого графика. В нем указывается перечень работ, которые необходимо выполнить, последовательность и продолжительность выполнения, их взаимосвязь. После утверждения сетевого графика, к работе приступают монтажники электрооборудования.

Электромонтажные работы выполняются в две стадии. На первой стадии выполняются все подготовительные и заготовительные работы, включая установку закладных деталей в строительные конструкции, подготовка трасс электропроводок и заземления, заготовку силовых и осветительных электропроводок, сборку укрупненных узлов и блоков. На второй стадии выполняют монтаж электрооборудования, скомплектованного в укрупненные узлы и блоки, производят прокладку электрических сетей по выполненной на первой стадии работ заготовке, установку и монтаж электрооборудования, разделку и подсоединение проводов и кабелей к электрооборудованию. После выполнения электромонтажных работ, необходимо выполнить проверку оборудования на работоспособность. выполнение электромонтажных работ в две стадии обеспечивает сохранность электрооборудования и электрических сетей, повышение качества монтажа электроустановок и надежность их в эксплуатации.

При реализации монтажных работ важно соблюдать все требования действующих нормативных документов (ПУЭ, СНИП, ПТЭ, ТНП, ПТБ). Также необходимо четко следовать решениям и параметрам, значащимся в проекте и технической документации, и строго соблюдать требования по монтажу, изложенные в инструкциях к оборудованию.

Монтаж промышленного электрооборудования – ответственный

и трудоемкий процесс, требующий профессионального подхода на всех стадиях. Нарушения при транспортировке и разгрузке оборудования, как и ошибки при проектировании и монтаже, негативно сказываются на работе электроустановок и в конечном итоге могут привести к аварии.

Помимо прочего, монтажные работы включают в себя монтаж электродвигателей и пускорегулирующей аппаратуры. Важно знать, что монтаж крупных установок требует использования специально оборудованных машин: тельферов, кранов, погрузчиков и подъемников. Недопустимо использование при монтаже электрооборудования веревок, тросов, лебедок и талей, а также живой рабочей силы при установке двигателей на фундамент, если их вес превышает предельно допустимый. Также монтаж и наладка электрооборудования сопровождаются продувкой электродвигателя сжатым воздухом, снаружи его обрабатывают ветошью, смоченной в керосине или аналогичной жидкости. Замена смазки в подшипниках качения необязательна, если это не предусмотрено плановыми работами.

По рекомендациям Нормативных документов для монтажа электрооборудования: «Исполнение пускорегулирующих аппаратов, так же, как и самих электрических машин, должно соответствовать условиям окружающей среды и может быть открытым, защищенным, каплезащищенным, брызгозащищенным, закрытым, обдуваемым и взрывозащищенным. Рубильники, переключатели, предохранители и блоки рубильник-предохранитель монтируют на распределительных щитах и силовых пунктах (шкафах). Эти аппараты устанавливают по уровню и отвесу с последующей фиксацией посредством гаек и винтов. Магнитные пускатели устанавливают вертикально по отвесу на силовых распределительных сборках, на распределительных щитах или отдельно на конструкциях, прикрепляемых к стенам или колоннам. При установке пускорегулирующие аппараты по возможности располагают так, чтобы процесс пуска и остановки электродвигателя протекал в поле зрения оператора». Таким образом, монтаж электрооборудования четко регламентирован и не допускает разночтений. Принимаемые от заказчика и поставляемые подрядчиком оборудование, материалы и изделия должны соответствовать государственным стандартам, техническим условиям и иметь соответствующие сертификаты, технические паспорта или другие документы, удостоверяющие их качество. При приемке оборудования, материалов и изделий проверяют комплектность, отсутствие повреждений и дефектов, сохранность окраски и специальных покрытий, сохранность пломб, наличие специального инструмента и приспособлений, поставляемых

предприятиями (фирмами)-изготовителями. Особенности приемки отдельных технических средств и материалов приведены ниже. Устранение дефектов оборудования, обнаруженных в процессе приемки, осуществляют в соответствии с договором между заказчиком и исполнителем.

Под технической эксплуатацией электрооборудования понимают процесс его использования по назначению и поддержания в технически исправном состоянии. Четкая организация этого процесса, планирование и управление решаются на основе теории эксплуатации, широко применяющей современные методы моделирования, использования операций и др.

Цель эксплуатации сельскохозяйственного электрооборудования — обеспечение его бесперебойной и экономичной работы за счет поддержания надежности и рационального использования.

Основные задачи эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве — добиться бесперебойного, надежного и качественного электроснабжения всех объектов сельскохозяйственного производства, создать нормальные режимы работы электрооборудования, обеспечивающие его наилучшие технико-экономические показатели, повысить эксплуатационную надежность оборудования.

Для непосредственной организации эксплуатации электроустановок на предприятии (организации) должны быть назначены ответственный за электрохозяйство из числа инженерно-технического персонала предприятия и лицо, его заменяющее. При отсутствии лица, ответственного за электрохозяйство, ответственность возлагается на руководителя предприятия.

Техническая эксплуатация электрооборудования включает выполнение следующих мероприятий: подготовку, включение и выключение электрооборудования, обнаружение неисправностей и прогнозирование технического состояния; профилактические работы; настройку и регулирование отдельных узлов, связей и электрооборудования в целом: обеспечение сохранности отдельных блоков и электрооборудования в целом; обеспечение комплектом запасных частей (ЗИП); техническую подготовку обслуживающего персонала; правильное ведение технической документации.

Эффективная организация системы технической эксплуатации электрооборудования возможна при условии, если еще в период проектирования были учтены особенности построения, использования и эксплуатации электрооборудования, разработаны технические средства его обслуживания, методы обработки информации и контроля состояния. Важной частью технической эксплуатации электрообору-

дования является техническое обслуживание. Плохо организованное техническое обслуживание может привести к простою электрооборудования или аварии при неправильных действиях обслуживающего персонала.

Для оценки эффективности технического обслуживания систем электрооборудования следует применять следующие показатели: трудоемкость одноразового технического обслуживания или за определенный период эксплуатации; стоимость технического обслуживания; надежность электрооборудования, определяемую одним или несколькими показателями надежности; среднее время простоя и потери в процессе технического обслуживания; вероятность выполнения технического обслуживания в заданное время.

Обслуживающий персонал выполняет следующий объем работ по эксплуатации электрооборудования: наблюдение за состоянием и работой электрооборудования, а также за механической частью электроприводов с проведением профилактических мероприятий (смазывание, чистка, подтяжка креплений); периодическую ревизию основного и резервного электрооборудования с текущим ремонтом, проводимую по графику; капитальный ремонт электрооборудования при его износе и замену его при проведении модернизации; исследование характеристик оборудования для проведения модернизационных мероприятий; наладку нового оборудования или оборудования, подвергнутого ревизии или ремонту.

В процессе эксплуатации электрооборудования электротехнический персонал ведет журналы: дефектов, сбоев и неисправностей, где регистрируют неполадки в работе любого элемента оборудования; оперативных переключений на подстанции; технического осмотра и ремонта электрического оборудования; проведения работ в электроустановках низкого напряжения (до 1000 В).

В своей деятельности по обеспечению надежной и производительной работы электрооборудования электротехнический персонал использует техническую документацию, в том числе: комплект электротехнических схем (принципиальных и соединений) по электропитанию, электроприводу, освещению и сигнализации; паспорта и технические описания электрооборудования с паспортом и актами испытаний к ним, должностные и производственные инструкции по обслуживанию, ремонту и наладке электрических аппаратов, машин и средств автоматизации; руководящие и нормативные материалы.

Все инструкции подлежат пересмотру не реже одного раза в 5 лет, а существенные изменения и дополнения вносят немедленно и доводят до сведения ответственных должностных лиц. Весь комплект

проектных электрических схем, описаний, инструкций должен храниться в техническом архиве.

Широкое применение сложной электронной и микроэлектронной техники предъявляет повышенные требования к практике технической эксплуатации электрооборудования. В связи с этим получают распространение новые принципы технического обслуживания и ремонта электроустановок. Рассмотрим некоторые из них.

Эксплуатация по твердому ресурсу. Электрооборудование, эксплуатируемое по этому принципу, имеет установленный по наработке предел, после которого его заменяют новым. Межремонтный ресурс назначается до начала эксплуатации и корректируется через определенное время. Периодичность ремонта определяется исходя из надежности слабых элементов. Этот метод технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) имеет серьезные недостатки: недоиспользуются индивидуальные ресурсы по большинству элементов и узлов; трудоемкость ТО и Р увеличивается; снижается надежность работы электрооборудования в послеремонтный период. Указанный метод может быть применен для особо ответственных механизмов по отдельным узлам и блокам, в том числе неремонтопригодным.

Эксплуатация по техническому состоянию. В этом случае ресурс для элементов электрооборудования не устанавливают, но проводится периодический или непрерывный контроль и измерение параметров, которые характеризуют техническое состояние электропривода электрооборудования, блока или узла. По результатам контроля принимают решение о дальнейшей эксплуатации объекта, которое основывается на определении и прогнозировании технического состояния объекта и на данных о затратах на ТО и Р, включая потери на простой.

Основой метода является диагностика как средство достоверной информации о техническом состоянии электропривода. Следовательно, его можно применять для тех элементов электрооборудования, техническое состояние которых контролируемо. Метод ТО и Р по состоянию имеет отрицательные моменты, связанные с непостоянством объема работ при обслуживании из-за вероятностного характера требований на ремонт.

Эксплуатация по уровню надежности. В этом случае эксплуатацию электрооборудования осуществляют до безопасного отказа. При этом должны быть установлены допустимые уровни надежности элементов электропривода, обеспечивающие его исправную работу и приемлемые показатели экономичности эксплуатации. Допустимые уровни надежности могут быть назначены из опыта эксплуатации электрооборудования. В практике эксплуатации систем электрообору-

дования необходимо рационально использовать все три принципа ТО и Р или два последних, которые иногда объединяют под общим названием «обслуживание по техническому состоянию».

Тема 9.11. Разработка мероприятий по охране труда и технике безопасности при работе автоматизированной установки. Разработка экологических мероприятий на производственном объекте

Охрана труда - это система законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда.

При выполнении электромонтажных работ обязательным условием является организация их выполнения безопасными для здоровья и жизни работника методами. В этих целях на каждом предприятии существует штат инженерно-технического персонала, осуществляющий надзор за выполнением норм техники безопасности и санитарии. Ежегодно выделяют значительные средства на профилактические и организационные мероприятия в этой области. Каждый поступающий на работу электромонтажник проходит медицинское освидетельствование. Это позволяет своевременно выявить физические недостатки и заболевания, противопоказанные при выполнении работ по электромонтажной специальности, верхолазных, в действующих электроустановках, с материалами, содержащими токсические компоненты, и т. д.

После получения медицинского заключения о состоянии здоровья с работником проводят вводный инструктаж: знакомят с общими правилами техники безопасности при выполнении электромонтажных работ. Его проводит в форме беседы инженер по технике безопасности, а в случае зачисления на работу практикантов— главный инженер управления. Проведение инструктажа фиксируют в журнале по установленной форме. Принимаемые вновь работники не позднее трех месяцев со дня поступления проходят обучение правилам техники безопасности с последующей проверкой полученных знаний специальной комиссией. Обучение организуют по утвержденной программе, в которой предусмотрено проведение лекционных занятий с разбором требований действующих правил, а также практических занятий с демонстрацией кинофильмов и наглядных пособий. Обязательным условием является обучение приемам оказания первой помощи при несчастных случаях. В результате проверки каждому электромонтажнику выдают

удостоверение и присваивают квалификационную группу по технике безопасности.

В некоторых организациях обучение и проверку знаний по технике безопасности проводят с использованием специальных устройств — экзаменаторов, позволяющих ускорить освоение изучаемого материала и более объективно оценить знания правил по технике безопасности.

Работы при повышенной опасности, например, с электрифицированным и пиротехническим инструментом, сварочные работы, работы по разделке кабельных муфт и другие, требуют проведения с исполнителями специального обучения со специальной отметкой в удостоверении о праве выполнения этих работ.

Производственный инструктаж проводят каждый раз перед поручением новой работы и периодически 1 раз в три месяца при повторяющихся работах. Главная задача этого инструктажа — разъяснить и напомнить действующие правила безопасности при выполнении поручаемой работы в конкретных условиях объекта, на котором предстоит выполнить работу. При проведении инструктажа особое внимание уделяют безопасным методам выполнения работ на высоте, перемещения, тяжеловесного оборудования и материалов, обеспечению безопасности при выполнении работ в условиях действующих производств. Проведение инструктажа оформляют записью в специальном журнале с указанием содержания проводимого инструктажа и подписями инструктируемых работников, а также лица, выполняющего инструктаж.

Осуществление организационных и технических мероприятий, предусмотренных в разделе ППР «Организация работ по технике безопасности» и составленных в соответствии с требованиями главы СНиП III-4-80 «Техника безопасности в строительстве» и «Правил техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах» («Энергия», 1973), является обязательным условием безопасной работы электромонтажников. Работа электромонтажников в действующих установках, как правило, запрещается. В практике электромонтажника по статистике две трети несчастных случаев приходится на электромонтажников высших разрядов, имеющих значительный опыт работы. Наиболее часто встречающимися причинами травматизма по-прежнему остаются поражения электрическим током, падение с высоты и работа с механизмами и инструментом.

Организация общественного контроля — один из путей сокращения и профилактики причин возникновения несчастных случаев. В электромонтажных организациях общественные инспектора по технике безопасности избираются на собраниях профгрупп из числа лучших работников. После избрания с ними проводят семинарские занятия по

утвержденной программе. В проведении занятий участвуют технический инспектор обкома профсоюза, юрист, врач и другие специалисты. Это позволяет хорошо подготовить общественных инспекторов к выполнению возлагаемых на них обязанностей и вооружить правовыми знаниями. Работу инспекторов координирует старший общественный инспектор по технике безопасности, являющийся членом построечного комитета профсоюзной организации. В дни дежурства и проведения специального Дня техники безопасности общественные инспектора носят отличительные нарукавные повязки с надписью: «Общественный инспектор по технике безопасности». Они совместно с мастерами и прорабами проводят большую работу по выявлению и предупреждению недостатков и нарушений, которые могут привести к несчастному случаю. Вскрытые недостатки отражают в журнале предложений по охране труда и технике безопасности с указанием сроков их устранения и ответственных лиц. Контроль за выполнением намеченных мероприятий осуществляют как общественные инспектора, так и инженерно-технические работники управления и треста.

В настоящее время в электромонтажных организациях получила распространение новая форма трехступенчатого административного общественного контроля по технике безопасности. Суть контроля заключается в том, что работники треста (члены образованной комиссии административно-общественного контроля) обследуют состояние техники безопасности в каждом монтажном управлении не реже 1 раза в квартал, а члены управленческих комиссий 1 раз в месяц контролируют все участки управления. В свою очередь, линейные ИТР участков не реже 1 раза в декаду проверяют состояние техники безопасности на объектах и в бригадах. Такая система придает общественному контролю четкие организационные формы и делает эту работу систематической.

Другим видом профилактической работы по сокращению травматизма является широкая организация в бригадах соревнования за работу без нарушений правил по технике безопасности и включение этого пункта в социалистические обязательства бригад. При подборе состава звена и бригады учитывают дисциплинированность рабочего на работе и в быту, отношения с товарищами, выполнение общественных поручений, повышение технической и политической грамотности. При наличии этих факторов создается благоприятная психологическая атмосфера в бригаде, что способствует предупреждению травматизма. В монтажных управлениях нередко звенья, бригады, участки, которые длительный срок работают без травм и аварий. Выявление их, всемерная пропаганда такой работы, поощрения бригадиров и ИТР способствуют сокращению травматизма в управлениях. В управлениях оборудуют каби-

нет или уголок по технике безопасности. Однако это не всегда удовлетворяет требования электромонтажников, разбросанность объектов и удаленность участков накладывает свой отпечаток на организацию пропагандистской работы. В этих условиях под кабинет оборудуют передвижной вагончик, прицеп к автомашине или автобус. Этот передвижной кабинет по технике безопасности периодически направляют на участки и в отдаленные бригады. Творческое отношение к вопросам организации техники безопасности в электромонтажном производстве позволяет поставить их решение на качественно новую ступень, обеспечив безусловное выполнение требования безопасности производстве работ, и резко сократить число несчастных случаев.

В типовой инструкции по охране труда для электромонтажников (ТИРО-051-2002) приведены требования к персоналу, производящему работы в электроустановках. Определен порядок и условия производства работ, рассмотрены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, испытаний и измерений в электроустановках всех уровней напряжения. В показаниях по ТБ отражают конкретные требования по безопасному производству работ в условиях монтируемого объекта в местах повышенной опасности, например, совмещение работ при их выполнении несколькими организациями, работы по такелажу тяжеловесного и крупногабаритного оборудования, работа на высоте (если в бригаде имеется, например, лестница-стремянка); работа с пиротехническим инструментом (при наличии); работа с электрифицированным инструментом (при наличии); - работа с ручным инструментом; - работа с мегомметр и т.п.

В типовой инструкции по охране труда для электромонтажников (ТИРО-051-2002) приведены требования к персоналу, производящему монтажные работы в электроустановках. Определен порядок и условия производства работ, рассмотрены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, испытаний и измерений в электроустановках всех уровней напряжения.

В мероприятиях по охране труда должны отражать общие вопросы выполнения организации охраны труда. По этой позиции на объекте проводится инструктаж по технике безопасности (ТБ) на рабочем месте.

Необходимо также руководствоваться следующими нижеприведенными документами:

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. 2014. Москва 2013
2. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. Сборник нормативных документов. Новосибирск РИПЭЛ плюс 2001 г.

3. Типовая инструкция по охране труда для электромонтажников (ТИРО-051-2002)

4. Правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах. -М., Энергоатомиздат, 1992

Требования по охране труда даются на правила работы с теми механизмами и инвентарными приспособлениями, которыми оснащается бригада.

Предотвращения или снижения негативного воздействия на объекты окружающей среды от важных экологических аспектов достигают путем разработки и реализации мероприятий.

Начальным этапом при разработке мер экологической безопасности для конкретного предприятия является экологический аудит. Он заключается в обследовании объекта и окружающей среды, на которую последний оказывает влияние, оценке опасности выявленных факторов и сравнении их с действующими нормами экологического законодательства. Конечная цель проведения экологического аудита — это оценка того, как данный субъект соблюдает нормативы по охране окружающей среды, а также требования международных стандартов в этой области. Она должна быть объективной, комплексной и подтвержденной документально, исходя из нее даются рекомендации для изменения факторов хозяйственной деятельности, оказывающих негативное влияние на окружающую среду. Экологический аудит может быть назначен как сторонней организацией, так и заказа самим предприятием, в случае, если последнее заинтересовано в повышении эффективности своей работы и охране окружающей среды. Проводя его, предприятие преследует следующие цели:

развитие производства, а также приведение своей деятельности к международным стандартам, что повышает конкурентоспособность предприятия на мировом и внутреннем рынках;

снижение вероятности введения штрафных санкций, которые могут быть назначены при нарушении природоохранного законодательства и нанесении ущерба окружающей среде. Подобные санкции могут быть введены и за несоблюдение регулярности и размера платежей по использованию природных ресурсов, а также рамок налогового законодательства в этой сфере;

повышение инвестиционной привлекательности предприятия. Без сомнения, любой бизнесмен предпочтет вкладывать деньги в предприятие, не имеющее проблем с экологической безопасностью, нежели рисковать своими инвестициями, которые могут уйти на штрафы, приведение предприятия к действующим критериям в области охраны окружающей среды и прочие риски.

Целевой экологический показатель (ЦЭП) – это общий показатель состояния окружающей среды, которого предприятие стремится достичь. ЦЭП выражается количественно, если это возможно. По результатам выполнения целевых показателей предприятие может оценить эффективность своей природоохранной деятельности и выполнение обязательств экологической политики.

Для достижения целевых экологических показателей в заданные сроки устанавливаются плановые экологические показатели, которые конкретизируют целевые.

Плановые экологические показатели (ПЭП) - экологические задачи предприятия, которые предприятие намеревается выполнить для достижения в заданные сроки целевых экологических показателей.

Плановые экологические показатели должны:

быть конкретными и выполнимыми;

описывать результаты, а не способы их достижения;

быть измеряемыми;

предусматривать точные сроки достижения;

находиться в сфере управления предприятия.

Тема 9.12. Расчёт технико-экономических показателей

Расчет технико-экономических показателей рассматриваем на примере сельскохозяйственного предприятия.

Сводная таблица электрооборудования сельскохозяйственного предприятия

| Наименования и технические данные | Единицы измерения | Количество | Категория сложности ремонта | Общее количество ремонтных единиц |
|--------------------------------------|-------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| электродвигатели | | | | |
| 5A160M2Y3 P _н =17,5кВт | шт. | 10 | 3,1 | 31 |
| 5A180S2Y3 P _н =22кВт | шт. | 5 | 3,7 | 18,5 |
| 5A112M2Y P _н =7,5кВт | шт. | 6 | 2,1 | 12,6 |
| 5A160S2Y3 P _н =14кВт | шт. | 5 | 2,6 | 13 |
| 5A200L2Y3 | шт. | 3 | 5,1 | 15,3 |

| | | | | |
|-----------------------------|--------|------|-----|------|
| P _H =40кВт | | | | |
| 5А160М2У3 | шт. | 4 | 3,1 | 12,4 |
| P _H =18,5кВт | | | | |
| 5А132М2У3 | шт. | 4 | 2,6 | 10,4 |
| P _H =13кВт | | | | |
| автоматические выключатели | | | | |
| А3710Б I _{на} =40А | шт. | 9 | 2 | 18 |
| А3710Б I _{на} =80А | шт. | 8 | 2 | 12 |
| А3720Б I _{на} =80А | шт. | 8 | 2 | 16 |
| А3730Б I _{на} =60А | шт. | 10 | 2 | 20 |
| А3740Б I _{на} =80А | шт. | 6 | 2 | 12 |
| тепловое реле | | | | |
| РТЛ 205504 | шт. | 10 | 2 | 20 |
| РТЛ 205704 | шт. | 5 | 2 | 10 |
| РТЛ 102104 | шт. | 14 | 2 | 28 |
| РТЛ 205304 | шт. | 5 | 2 | 10 |
| РТЛ 206304 | шт. | 3 | 2 | 6 |
| РТЛ 102104 | шт. | 8 | 2 | 16 |
| магнитные пускатели | | | | |
| ПМЛ 310004 | шт. | 19 | 0,5 | 9,5 |
| ПМЛ 410004 | шт. | 5 | 0,8 | 4 |
| ПМЛ 210004 | шт. | 10 | 2,5 | 5 |
| ПМЛ 510004 | шт. | 3 | 0,8 | 2,4 |
| провода | | | | |
| АПВ 4 (1Ч6) | 100м. | 4 | 2 | 8 |
| АПВ 4 (1Ч16) | 100м. | 6 | 3 | 18 |
| АПВ 4 (1Ч35) | 100м. | 5 | 3,5 | 17,5 |
| АПВ 4 (1Ч70) | 100м. | 4 | 5 | 20 |
| кабель | | | | |
| ААБ-3Ч50-6 | 1000м. | 0,66 | 5 | 3,3 |
| АВВГ (3Ч40) | 1000м. | 0,54 | 12 | 6,48 |
| компенсаторная | | | | |

| | | | | | |
|--------------------|-----|---|-----|-----|--------|
| установка | | | | | |
| ККУ УК-0,38-110Н | шт. | 1 | 5 | 5 | |
| трансформатор | | | | | |
| ТМ 250/10/0,4 | шт. | 1 | 13 | 13 | |
| щиток освещения | | | | | |
| ОЩ-12 | шт. | 1 | 1,5 | 1,5 | |
| трансформатор тока | | | | | |
| ТКЛ 400/5 | шт. | 3 | 1 | 3 | |
| выключатель | | | | | |
| нагрузки | | | | | |
| ВНП 15 | шт. | 1 | 1 | 1 | |
| Предохранитель | | | | | |
| ПК 10/30 | шт. | 3 | 0,3 | 0,9 | |
| распределительный | | | | | |
| щит | | | | | |
| ШР 113 701 | шт. | 1 | 4 | 4 | |
| всего ремонтных | | | | | 387,78 |
| единиц | | | | | |

2. Смета затрат на электрооборудование и его монтаж

| № прейс-куранта, ценника и позиции | Наименование электрооборудования и монтажных работ | Единицы измерения | Количество | Сметная стоимость (в рублях) | единицы | общая | оборуд. | монтаж | оборуд. | монтаж |
|------------------------------------|--|-------------------|------------|------------------------------|-----------|-------|-------------|--------|---------|--------|
| | магнит. пускатели | | | | | | | | | |
| П15-04.04-203 Ц8.8-531-1 | ПМЛ 310004 | шт. | 19 | 12,2 | 1,15/0,55 | 231,8 | 21,85/10,45 | | | |

| | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----|----|------|-----------|-------|------------|
| П15-04.04-204 Ц8.8-531-1 | ПМЛ 410004 | шт. | 5 | 27,5 | 1,15/0,55 | 137,5 | 5,75/2,75 |
| П15-04.04-202 Ц8.8-531-1 | ПМЛ 210004 | шт. | 10 | 9,5 | 1,15/0,55 | 95 | 11,5/5,5 |
| П15-04.04-205 Ц8.574-44 | ПМЛ 510004 | шт. | 3 | 35,2 | 1,15/0,55 | 105,6 | 3,45/1,65 |
| | тепловое реле | | | | | | |
| П15-04.13-047 Ц8.717-1 | РТЛ 205 504 | шт. | 10 | 6,30 | 15,2/6,05 | 63 | 152/60,5 |
| П15-04.13-048 Ц8.717-1 | РТЛ 205 704 | шт. | 5 | 3,80 | 15,2/6,05 | 19 | 76/30,25 |
| П15-04.13-048 Ц8.717-1 | РТЛ 102 104 | шт. | 14 | 19,1 | 15,2/6,05 | 267,4 | 212,8/84,7 |
| П15-04.13-050 Ц8.717-1 | РТЛ 205 304 | шт. | 5 | 17,4 | 15,2/6,05 | 87 | 76/30,25 |
| П15-04.13-051 Ц8.717-1 | РТЛ 206 304 | шт. | 3 | 20,2 | 15,2/6,05 | 60,6 | 45,6/18,15 |
| | компенсаторная установка | | | | | | |
| П15-08.6-002 Ц8.70-3 | ККУ УК-038-110Н | шт. | 1 | 890 | 1,35/1,12 | 890 | 1,35/1,12 |
| | трансформатор | | | | | | |
| П15-05.01-007 Ц8..8- | ТМ250/10/04 | шт. | 1 | 990 | 1,37/0,95 | 990 | 1,37/0,95 |

712-2

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---------|---|------|---------------|------|------------|
| | трансформа- тор тока | | | | | | |
| П15- 03.05-014 Ц8.8-53-1 | ТКЛ 400/6 | шт. | 3 | 680 | 1,52/1 ,13 | 2040 | 4,56/3,39 |
| | щиток освеще- ния | | | | | | |
| П15-17. 111 Ц8.612- 11 | с ОЩ -12 | шт. | 1 | 51 | 27,0/1 7 | 51 | 27,0/17 |
| | выключатель нагрузки | | | | | | |
| П15- 03.01-074 Ц8.60-1 | ВНП-15 | шт. | 1 | 100 | 82,2/6 5,3 | 100 | 82,2/65,3 |
| | предохранитель | | | | | | |
| П15- 03.11-001 Ц8.58-1 | ПК 10/30 | шт. | 3 | 25 | 1,18/0 ,79 | 75 | 3,54/2,37 |
| | распределительный щит | | | | | | |
| П15- 03.01-027 Ц8.572-7 | ЩР 113 701 | шт. | 1 | 980 | 10,7/2 ,44 | 980 | 10,7/2,44 |
| | автоматические выключатели | | | | | | |
| П15- 04.01-602 Ц8.574- 23 | A37 I _{на} =40А | 10Б шт. | 9 | 38,0 | 1,14/0 ,78 | 342 | 10,26/7,02 |
| П15- 04.01-603 Ц8.574- 23 | A37 I _{на} =80А | 10Б шт. | 6 | 52 | 1,77/0 ,96 | 312 | 10,62/4,68 |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---------|-----|-----|---------------|-------|-------------------|
| П15-04.01-064 | А37 Ина=80А | 20Б шт. | 8 | 133 | 1,14/0 ,78 | 1064 | 9,72/7,68 |
| Ц8.574-23 | | | | | | | |
| П15-04.01-065 | А37 Ина=60А | 30Б шт. | 10 | 183 | 1,77/0 ,96 | 1830 | 17,7/9,6 |
| Ц8.574-24 | | | | | | | |
| П15-04.01-066 | А37 Ина=80А | 40Б шт. | 6 | 195 | 1,77/0 ,96 | 1170 | 10,62/5,76 |
| Ц8.574-25 | | | | | | | |
| | Итого по раз- делу 1 | | | | | 10910 | 794,59/35 |
| | Транспортные и заготови- тельные рас- ходы (8%) | | | | | ,9 | 1,51 |
| | Накладные расходы (87%) | | | | | 872,8 | İ |
| | Всего по раз- делу 1 | | | | | 7 | 305,81 |
| | 2.Монтажные работы | | | | | İ | |
| | Прокладка труб ТТ | | | | | | |
| Ц8.694-1 | Ш 50 | 100м. | 3,7 | İ | 45,5/3 2,8 | İ | 168,35/12 1,36 |
| Ц8.694-1 | Ш 32 | 100м. | 8,9 | İ | 45,5/3 2,8 | İ | 404,95/29 1,92 |
| | Монтаж про- водов | | | | | | |
| Ц8.402-2 | АПВ 4 (1Ч6) | 100м. | 4 | İ | 11,5/9 ,28 | İ | 46/37,12 |
| Ц8.402-2 | АПВ 4 (1Ч16) | 100м. | 6 | İ | 13,1/1 0,6 | İ | 78,6/63,6 |
| Ц8.402-2 | АПВ 4 (1Ч35) | 100м. | 5 | İ | 15,2/1 2,4 | İ | 76/62 |

| | | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|-------|------|------|---------------|------------|-----------------|
| Ц8.402-2 | АПВ 4 (1Ч70) | 100м. | 4 | İ | 18,7/1 5,7 | İ | 74,8/62,8 |
| | Монтаж кабеля | | | | | | |
| Ц8.141-3 | ААБ -3Ч50-6 | 1000м | 0,66 | İ | 17,2/7 ,54 | İ | 113,52/52, 4 |
| Ц8.686-2 | АВВГ (3Ч40) | 1000м | 0,54 | İ | 16,6/1 6,2 | İ | 89,64/87,4 8 |
| | Итого по раз- делу 2 | | | | | | |
| | Накладные расходы (87%) | | | | | | |
| | Всего по раз- делу 2 | | | | | | |
| | 3.Материалы неучтенные ценником | | | | | | |
| | Трубы ТТ | | | | | | |
| П.01-04 | Ш 50 | 10м. | 37 | 0,8 | İ | 29,6 | İ |
| П.01-04 | Ш 32 | 10м. | 89 | 0,54 | İ | 48,06 | İ |
| | Провод | | | | | | |
| П.15- 09.5-001 | АПВ 4 (1Ч6) | 1000м | 0,89 | 170 | İ | 151,3 | İ |
| П.15- 09.5-001 | АПВ 4 (1Ч16) | 1000м | 1,5 | 47 | İ | 70,5 | İ |
| П.15- 09.5-001 | АПВ 4 (1Ч35) | 1000м | 0,37 | 115 | İ | 42,55 | İ |
| П.15- 09.5-001 | АПВ 4 (1Ч70) | 1000м | 0,23 | 350 | İ | 80,5 | İ |
| | Кабель | | | | | | |
| П.15.093- 002 | ААБ-3Ч50-6 | 1000м | 0,66 | 2150 | İ | 1419 | İ |
| ссреу стр.169 | 4.1 АВВГ (3Ч40) | 1000м | 0,54 | 2480 | İ | 1339, 2 | İ |
| | Итого по раз- делу 3 | | | | | | |

| | | |
|-----------------------------|---------|---------|
| Прочие транспортные расходы | 322,9 | |
| | 3 | |
| Всего по разделу 3 | 3650, Ĩ | |
| | 14 | |
| Сводка итогов | 11783 | 1100,4 |
| Раздел 1 | ,77 | 1729,31 |
| Раздел 2 | Ĩ | Ĩ |
| Раздел 3 | 3329, | |
| | 21 | |
| Итого по смете | 15112 | 2829,71 |
| | ,98 | 212,22 |
| Плановые накопления (7,5%) | Ĩ | |
| Всего по смете | 15112 | 3041,93 |
| | ,98 | |

Колонки 2,4 берутся из сводной таблицы электрооборудования (см.табл. 1).

Колонка 5 заполняется из прейскурантов цен на электрооборудование, колонка 6 - из ценника № 8 на монтаж электрооборудования.

Колонка 7= К5*К4, колонка 8= К6*К4.

Электродвигатели, стоящие в станках, при расчете сметы не учитываются.

Производим изменение итогов сметы, затрат на электрооборудование и его монтаж (ценники и прейскуранты 1991г.) с помощью среднего коэффициента пересчета цен - 15000, на основании Постановления Министерства статистики и анализа Республики Беларусь № 231 от 24.12.2004г. «Об утверждении инструкции о порядке переоценки основных средств» по состоянию на 01.01.2005г.

$$15112,98 \cdot 15000 / 1000 = 226694,7 \text{ тыс.руб.}$$

$$3041,93 \cdot 15000 / 1000 = 4562,8 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{Прибыль: } 212,22 \cdot 15000 / 1000 = 3183,3 \text{ тыс.руб.}$$

3. Расчет штата электриков сельскохозяйственного предприятия

Для расчета штата электротехнической службы цеха, участка необходимо определить годовой объем работ по обслуживанию и ре-

монта электрического оборудования. Общее количество ремонтных единиц электрического оборудования берем из сводной таблицы:

$$\sum \text{ч} = 387,78$$

Среднее количество ремонтов всех видов электрического оборудования в год согласно нормативам системы ППР электрооборудования составит:

$$n_{\text{тм}}=3; n_{\text{тб}}=2; n_{\text{к}}=0,1$$

где, $n_{\text{тм}}$, $n_{\text{тб}}$, $n_{\text{к}}$ - среднее количество текущих малых, текущих больших и капитальных ремонтов электрооборудования.

Нормы времени на одну ремонтную единицу электрического оборудования принимаем согласно нормативам ППР:

$$N_{\text{тм}}=1 \text{ час.}; N_{\text{тб}}=5 \text{ час.}; N_{\text{к}}=1 \text{ час.}$$

Определение годовой трудоемкости работ в чел. -часах на все виды ремонта электрического оборудования производится так:

$$\sum \text{Тр} = \sum \text{ч} (N_{\text{тм}} \text{ч} n_{\text{тм}} + N_{\text{тб}} \text{ч} n_{\text{тб}} + N_{\text{к}} \text{ч} n_{\text{к}}) = 387,78 \text{ч} (1 \cdot 3 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 1) = 9306,72 \text{ (чел. час)}$$

Месячная трудоемкость всех видов ремонта будет равна:

$$\text{Тр}_{\text{м}} = \sum \text{тр} / 12 = 9306,72 / 12 = 775,56 \text{ (чел. час)}$$

Определение числа электриков для выполнения ремонтных работ производится по формуле:

$$P_1 = \text{Тр}_{\text{м}} / \Phi = 775,56 / 171,4 = 4,52 \approx 5 \text{ (чел.)}$$

Где Φ - месячный фонд времени работы одного электрика, равный 171,4 часа.

Количество электриков для межремонтного обслуживания электрического оборудования определяем, исходя из норм межремонтного обслуживания на одного рабочего электрика в смену (см. табл. 3)

Таблица 3. Нормы межремонтного обслуживания

| Вид оборудования | Нормы в ремонтных единицах | |
|--|---|------------|
| Технологическое и подъемно-транспортное (кроме кранов) | В цехах холодной обработки металлов | 900 |
| | В цехах горячей обработки металлов | 650 |
| | В деревообрабатывающих цехах | 550 |
| Мостовые краны | Работающие в тяжелом и весьма тяжелом режимах | 500 650 |
| | Работающие в легком и среднем режимах | |

$$\text{Отсюда } P_2 = \frac{q \cdot C}{N} = \frac{387,78 \cdot 2}{650} = 1,19 \text{ ?1 (чел.)}$$

где С - норма межремонтного обслуживания на одного электрика, в ремонтных единицах (см. табл. 3).

Таким образом, общее количество электриков цеха (участка) составит:

$$P = P_1 + P_2 = 5 + 1 = 6 \text{ (чел.)}$$

4. Расчет зарплаты электриков сельскохозяйственного предприятия при бригадной форме организации труда

Расчитанное число электриков объединяем в бригаду. Бригада - это первичная ячейка трудового коллектива, объединяющая рабочих для совместного выполнения производственных заданий.

Бригадная форма труда отвечает требованиям современного производства, НОТ, возросшему образовательному и культурному уровню трудящихся, открывает максимальные возможности для их трудовой и общественной активности.

В настоящее время в промышленности действуют следующие виды и формы бригад:

- специализированная - объединяет рабочих одной профессии, выполняющих однородные технологические процессы;
- комплексная - организуется из рабочих разных профессий для выполнения технологически разнородных, но взаимосвязанных работ, охватывающих полный цикл производства продукции;
- укрупнено-комплексная - представляет коллектив рабочих участка, выполняющих полных комплекс закрепленных за ними работ;
- сменная - бригада, включающая работников одной смены;

- сквозная - бригада, включающая работников всех смен;
- хозрасчетная - бригада, для которой установлена ответственность коллектива за использование материальных и энергетических ресурсов и введено поощрение за их экономию и рациональную работу;
- подрядная - бригада, выполняющая работу на условиях подряда, который предусматривает:

- а) четко установленный в количестве и качестве конечный результат работы;

- б) предоставление коллективу бригады самостоятельности в выборе конкретных форм работы;

- в) гарантированный размер оплаты труда за достижение конечного результата работы независимо от численности работников;

- г) взаимную материальную ответственность бригады и администрации за выполнение условий подряда;

Бригадная форма способствует решению социальных и экономических задач, ускоряет рост квалификации и приобретение профессиональных навыков, обеспечивает активное участие рабочих в управлении производством и сокращает текучесть кадров. Она способствует эффективному использованию рабочего времени, оборудования и на этой основе обеспечивает дальнейший рост производительности труда, улучшения качества работы.

В условиях рыночных отношений широкое распространение получает коллективная система оплаты труда. Она предусматривает формирование коллективного заработка, в зависимости от общих результатов работы бригады и его распределение в соответствии с личным трудовым вкладом работников.

При коллективной системе труд рабочих в бригадах оплачивается по действующим тарифным ставкам и окладам. Применяется как повременная, так и сдельная формы оплаты труда. Зарплата бригады начисляется по конечным результатам работы коллектива в соответствии с фактической выработкой и коллективными расценками.

Коллективный заработок распределяется между членами бригады с учетом коэффициента трудового участия, количества отработанного времени каждым членом бригады и соответствующей часовой тарифной ставкой.

В целях более полного учета индивидуального вклада каждого рабочего в результаты коллективного труда бригады при распределении общего заработка между членами бригады применяется КТУ - коэффициент трудового участия. КТУ представляет собой обобщенную оценку трудового вклада каждого рабочего в зависимости от индивидуальной производительности труда, качества работы, сложности работы, соблю-

дения трудовой и производственной дисциплины. Величину КТУ каждого члена бригады определяет коллектив бригады и ее Совет.

Для учета всего этого имеются факторы, понижающие и повышающие значение КТУ, которые разрабатываются предприятием и утверждаются его администрацией по согласованию с профсоюзным комитетом (см. табл. 4)

Таблица 4. Факторы, повышающие и понижающие значение КТУ

| Факторы, повышающие значение КТУ: | Величина повышения КТУ сверх единицы |
|---|---|
| Инициатива в освоении и применении передовых методов труда и трудовой активности, направленная на скорейшее внедрение новой техники и прогрессивной технологии. | 0,18 |
| Профессиональное мастерство, выразившееся в лучшем качестве выполнения работ, обучении молодых рабочих и оказании помощи товарищам по бригаде. | 0,13 |
| Ритмичная работа в течении всей рабочей смены. | 0,1 |
| Бережное отношение к инструменту и оборудованию. | 0,09 |
| Факторы, понижающие значение КТУ: | |
| Недостаточная забота о повышении квалификации и применении | 0,12 |
| Передового опыта, отставание от общего ритма работы бригады. | 0,12 |
| Брак или возврат продукции по вине рабочего, несвоевременное устранение дефектов, обнаруженных в процессе работы. | 0,1 |
| Невыполнение конкретных производственных заданий. Опоздание на работу, простой, преждевременное окончание работы, нарушение правил ТБ. | 0,16 |
| Грубое нарушение правил ТБ, повлекшие за собой несчастный случай. | 1 |

Для определения зарплаты каждому члену бригады необходимо присвоить тарифный разряд и установить КТУ:

1. Старший электрик 5-го разряда является инициатором в освоении и применении передовых методов труда и трудовой активности, но несвоевременно устранил дефекты, обнаруженные в процессе работы.

$$1+0,18-0,12=1,06$$

2. Электрик 4-го разряда обучает молодых рабочих и оказывает помощь товарищам по бригаде, бережно относится к инструменту и оборудованию, но опоздал на работу и при этом был допущен брак по его вине.

$$1+0,13+0,09-0,16-0,12=0,94$$

3. Электрик 3-го разряда - ритмично работал в течении всей смены, но не выполнил конкретного производственного задания.

$$1+0,1-0,1=1$$

Количество отработанных часов в месяц - 168,2 часа. Сдельный заработок бригады рассчитывается по формуле:

$$ЗПк = ЗПсд \text{ ср } Ч Р = 350 Ч 6 = 2100 \text{ (тыс.руб.)}$$

Определение для каждого электрика зарплаты по тарифу: для этого часовая тарифная ставка, соответствующего разряда умножается на отработанное время: $ЗП1 = С1 Чч$

$$1956 Ч 168,2 = 328,99 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$1775 Ч 168,2 = 298,55 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$1527 Ч 168,2 = 256,84 \text{ (тыс. руб.)}$$

Для распределения сдельного заработка бригады между ее членами необходимо определить коэффициент приведения, который определяется так: сумма сдельного заработка бригады делится на сумму зарплаты по тарифу, т.е.:

$$Кпр = ЗПк / ЗПтб = 1536 / 884,38 = 1,73$$

Сдельная зарплата бригады распределяется между членами бригады следующим образом: установленный каждому члену бригады

КТУ умножается на зарплату по по тарифу и на коэффициент приведения:

$$ЗПсд = КТУЧ ЗПт Ч Кпр;$$

$$1,06Ч328,99Ч1,73=603,30 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$0,94Ч298,55Ч1,73=485,50 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$1Ч256,84Ч1,73=444,33 \text{ (тыс. руб.)}$$

Премия для бригады устанавливается в размере 40% от сдельного заработка:

$$ПРб = ЗПк Ч0,4= 2100Ч40\%=840 \text{ (тыс. руб.)}$$

Для распределения премии между членами бригады определяется коэффициент распределения премии следующим образом: сумма премии делится на сумму зарплаты по тарифу:

$$К2 = ПРб/ ЗПтб = 840/1533,13=0,54$$

Распределение премии между членами бригады осуществляется следующим образом: установленный для каждого электрика КТУ умножается на его зарплату по тарифу и на коэффициент распределения премии:

$$Пр. = КТУ ЧЗПтЧ К2$$

$$1,06Ч328,99Ч0,54=188,31 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$0,94Ч298,55Ч0,54= 151,54 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$1Ч256,84Ч0,54=138,69 \text{ (тыс. руб.)}$$

Общий заработок каждого члена бригады за месяц определяется суммированием сумм его сдельной зарплаты и премии, т.е.:

$$ЗПмес = ЗПсд+ Пр \\ 603,30+188,31=791,61 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$485,50+151,54=637,04 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$444,33+138,69=583,02 \text{ (тыс. руб.)}$$

Общий фонд зарплаты по бригаде за год составит:

$$\text{Фзп} = 2011,67 \cdot 12 = 24140,04 \text{ (тыс. руб.)}$$

Среднемесячная зарплата одного электрика будет равна:

$$\text{ЗПср.м.} = 2011,67/6=335,27 \text{ (тыс. руб.)}$$

Все расчеты по распределению сдельного заработка бригады между ее членами оформляются в виде таблицы 5.

Таблица 5. Расчет зарплаты электриков

| Члены бригады | Разряд | Часовая тарифная ставка (тыс. руб.) | Отработано часов в месяц (ч) | КТ У | Зарплата по тарифу (тыс. руб.) | Коэф-циент при ведении работ | Сдельная зарплата (тыс. руб.) | Коэф-фициент рас-пре-мии | Премия (тыс. руб.) | Итого за месяц (ч) |
|----------------------|--------|-------------------------------------|------------------------------|--------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| Условные обозначения | Ст. | ч | ЗП1 | Кпр | ЗПс | К2 | Пр. | ЗП | мес | |
| Старший электрик | V | 1956 | 168,2 | 1,0 | 328,6 | 1,73 | 603,30 | 0,54 | 188,31 | 791,61 |
| Электрик | IV | 1775 | 168,2 | 0,9 | 298,4 | 1,73 | 485,50 | 0,54 | 151,54 | 637,04 |
| Электрик | III | 1527 | 168,2 | 1 | 256,84 | 1,73 | 444,33 | 0,54 | 138,69 | 583,02 |
| Итого по бригаде | | | 3 | 884,34 | | 933,13 | | 338,54 | | 2012,19 |

5. Расчет дополнительных затрат на эксплуатацию электрического оборудования сельскохозяйственного предприятия и показате-

лей эффективности его использования

Дополнительные затраты на эксплуатацию электрического оборудования включают в себя:

а) затраты на основные и вспомогательные материалы - в размере 30% от общего годового фонда зарплаты бригады:

$$\text{Зм.} = \text{Фзп} \cdot 30 / 100 = 24140,04 \cdot 30 / 100 = 7242,01 \text{ (тыс. руб.)}$$

б) затраты на текущий ремонт и содержание электрооборудования - в размере 5% от сметной стоимости электрооборудования:

$$\text{Зтек. рем.} = \text{Q} \cdot 5 / 100 = 226694,7 \cdot 5 / 100 = 11334,73 \text{ (тыс. руб.)}$$

где Q - сметная стоимость электрооборудования (см. табл.2);

с) затраты на амортизацию электрооборудования - 8,5% от сметной стоимости электрооборудования:

$$\text{Зам.} = \text{Q} \cdot 8,5 / 100 = 226694,7 \cdot 8,5 / 100 = 19269,04 \text{ (тыс. руб.)}$$

Таким образом, дополнительные затраты на эксплуатацию электрического оборудования составят:

$$\text{Здоп.} = \text{Зм.} + \text{Зтек. рем} + \text{Зам.} + \text{Фзп};$$

$$\text{Здоп.} = 7242,01 + 11334,73 + 19269,04 + 24140,04 = 61985,82 \text{ (тыс. руб.)}$$

Далее необходимо определить показатели, характеризующие эффективность использования электрооборудования:

1. Фондовооруженность определяется как отношение сметной стоимости электрооборудования к численности электриков бригады:

$$\text{Фвоор.} = \text{Q} / \text{P} = 226694,7 / 6 = 37782,45 \text{ (тыс. руб./чел.)}$$

2. Рентабельность основных фондов определяется как отношение суммы прибыли к сметной стоимости электрооборудования и умножение полученного результата на 100:

$$\text{Росн.ф.} = \text{П} / \text{Q} \cdot 100 = 3183,3 / 226694,7 \cdot 100 = 1,4\%$$

6. Техничко-экономические показатели
электрооборудование монтаж смета затрата

Таблица 6. Техничко-экономические показатели

| Наименование показателей | Единицы измерения | Количество |
|--|-------------------|------------|
| Стоимость электрооборудования | тыс. руб. | 226694,7 |
| Стоимость электромонтажных работ | тыс. руб. | 45628,95 |
| Трудоемкость ремонта электрооборудования | чел. час | 9306,72 |
| Количество электрооборудования установленного | рем. единиц | 387,78 |
| Число электриков | чел. | 6 |
| Фондовооруженность | тыс. руб./чел. | 37782,45 |
| Общий фонд зарплаты бригады за год | тыс. руб. | 24140,04 |
| Среднемесячная зарплата одного электрика | тыс. руб. | 335,27 |
| Дополнительные затраты на эксплуатацию Электрооборудования | тыс. руб. | 61985,82 |
| Прибыль | тыс. руб. | 3183,3 |
| Рентабельность основных фондов | % | 1,4 |

Тема 9.13. Графическое оформление курсового проекта

1. Лист Функционально-технологическая. Схема принципиально- электрическая схема.
2. Лист Монтажная схема щита управления. Схема соединений щита управления.

Общие требования к выполнению

Схемы выполняют без соблюдения масштаба на форматах

А4...А0. Графические обозначения, наносимые на схемы:

- ✓ условные, установленные стандартами на соответствующие схемы;
- ✓ упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические);
- ✓ прямоугольники.

Размеры условных графических обозначений элементов установлены стандартами.

Допускается:

- все обозначения пропорционально уменьшать, сохраняя четкость схемы;
- увеличивать условные графические обозначения при вписывании в них поясняющих знаков;
- уменьшать условные графические обозначения, если они используются как составные части обозначений других элементов, например, резистор в антенне;
- поворачивать условное графическое обозначение на угол, кратный 45 и 90°, или изображать зеркально повернутым.

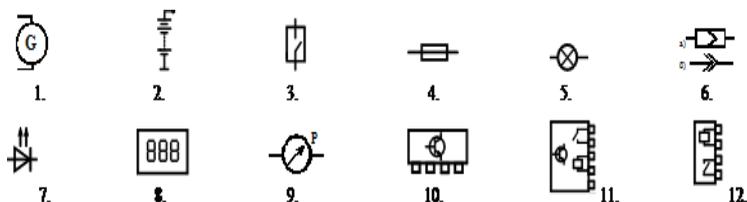
Расстояние между отдельными графическими обозначениями не должно быть менее 2 мм. Толщина линий связи и графических обозначений одинакова (0,3...0,4 мм). Утолщенными линиями (вдвое толще принятой толщины линии) изображают линии групповой связи (линии, условно изображающие группу линий электрической связи проводов, кабелей, шин, следующих на схеме в одном направлении).

Линии связи должны состоять, как правило, из горизонтальных и вертикальных отрезков с расстоянием между ними не менее 3 мм (рекомендуется линии связей проводить на расстоянии кратном 5 мм).

Структурная электрическая схема

Определяет основные функциональные части изделия (элементы, устройства, функциональные группы), их назначение и связи.

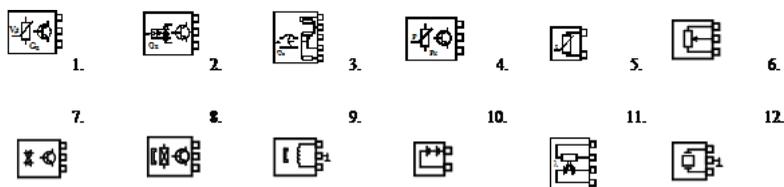
Все функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольников, или условных графических обозначений с указанием типа элемента. Для составления структурных электрических схем микропроцессорных систем управления транспортными средствами при выполнении проекта рекомендуется в качестве условных обозначений структурных элементов использовать следующие принятые обозначения.



1. Электрический генератор; 2. Аккумуляторная батарея; 3. Выключатель (ключ); 4. Плавкий предохранитель; 5. Лампа накаливания; 6. Разъёмное соединение; 7. Светодиодный индикатор; 8. Цифровой индикатор; 9. Аналоговый прибор (указатель); 10. Электронный модуль; 11. Электромагнитное реле со встроенным электронным модулем; 12. Электромагнитное реле

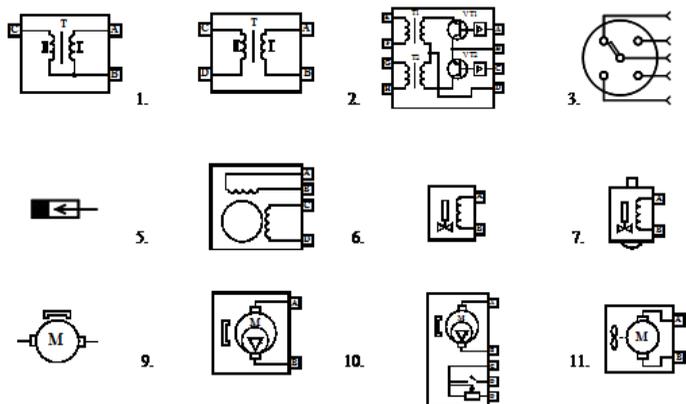
Если функциональных частей много, вместо наименований, типов и обозначений допускается проставлять порядковые номера или позиционные обозначения справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо, с их расшифровкой в таблице перечня элементов, помещаемом на схеме или выполняемом на отдельных листах перечня элементов, подшиваемых в приложение пояснительной записки.

На схеме допускаются поясняющие надписи, диаграммы, таблицы, указания параметров в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов), математические зависимости и т.п.



1. Тепловой (термоанемометрический) массовый расходомер воздуха; 2. Вихревой расходомер воздуха; 3. Механический пластинчатый расходомер воздуха; 4. Тензорезистивный датчик разрежения (давления) во впускном коллекторе; 5. Датчик температуры (воздуха, охл. жидкости); 6. Потенциометрический датчик положения (дроссельной заслонки, рейки ТНВД, педали, рулевого колеса); 7. Оптоэлектронный датчик (углового положения коленвала, рулевого колеса, скорости движения); 8. Гальваномагнитный датчик Холла (углового

положения коленвала, рулевого колеса, скорости движения); 9. Индукционный датчик (углового положения коленвала, скорости движения, частоты вращения); 10. Кислородный датчик; 11. Кислородный датчик с электроподогревом; 12. Датчик детонации.



1. Катушка зажигания с одним высоковольтным выводом; 2. Катушка зажигания с двумя высоковольтными выводами; 3. Модуль зажигания; 4. Распределитель высокого напряжения; 5. Свеча зажигания; 6. Шаговый электродвигатель; 7. Клапан с электромагнитным приводом; 8. Электромагнитная форсунка; 9. Мотор постоянного тока с возбуждением от магнитов; 10. Электрический бензонасос; 11. Моноблок электробензонасоса и датчика уровня топлива; 12. Вентилятор с электроприводом.

Функциональная электрическая схема

На функциональной схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и связи между ними с разъяснением последовательности процессов, протекающих в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом. Эти схемы используются при изучении принципов работы изделий, при их наладке, контроле и ремонте. Функциональные части схемы принято изображать либо в виде условных обозначений, либо в виде прямоугольников с указанием позиционных обозначений функциональных групп, устройств, элементов, присвоенных им на принципиальной схеме, их наименований, поясняющих надписей, диаграмм, таблиц, параметров в характерных точках.

Эти сведения приводятся выборочно в объеме, необходимом для наиболее полного и наглядного представления о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой.

Принципиальная электрическая схема

Принципиальная схема определяет полный состав изделия, содержит все элементы и связи между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия. На ней изображают все содержащиеся в изделии электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также элементы (соединители, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. Принципиальная схема служит исходным документом для разработки других конструкторских документов, в том числе чертежей. Эти схемы также используются для изучения принципов работы изделий при их наладке, контроле и ремонте.

При графическом оформлении принципиальной схемы надлежит учитывать следующие правила и рекомендации.

Схемы выполняются для изделий, находящихся в отключенном состоянии. Элементы схем показывают условными графическими обозначениями, установленными стандартами. Их масштабирование не допускается.

Использованная литература:

1. Кацман М.М. Электрические машины Справочник. (СПО). Учебное пособие. КноРус 2020 г.
2. Кацман М.М. Электрический привод: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования– Издательский центр «Академия»; 2013.-384с.
3. Сибикин, Ю.Д. Технология электромонтажных работ: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: Форум, 2019. - 960 с.
4. Сибикин, Ю.Д. Технология электромонтажных работ: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: Форум, 2019. - 224 с.
5. Сибикин, Ю.Д. Справочник электромонтажника: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - М.: Academia, 2018. - 96 с.
6. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок; Под.ред. И.Ф. Кудрявцева.– М.:Агропромиздат,1988.–480с.
7. Электропривод и электрооборудование Коломиец А.П., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р., Юран С.И.–М.–КолосС, 2006.–328 с.

Дополнительная литература для студентов:

1. Алиев И. И., Электротехнический справочник. — М.: РадиоСофт, 2001.–381с.
2. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами. — Л.: Энергоиздат, 1982.–392с.
3. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н., Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М: Изд. центр «Академия», 2004.–576с.
4. Кацман М.М., Справочник по электрическим машинам. — М.: Иш центр «Академия», 2005.–480с.
5. Клюев В. И., Теория электропривода. — М.: Энергоатомиздат, 2001.–368 с.
6. Москаленко В. В., Справочник электромонтера. — М.: ПрофОбрИздат, 2002.–288 с.
7. Шишмарев В. Ю., Типовые элементы систем автоматического управления. — М: Изд. центр «Академия», 2004.–304 с.
8. Брускин Д. Э., Зорохович А. Е., Хвостов В. С. Электрические машины. М., 1979. Ч. I. — 282 с., Ч. П. — 303 с.
9. Иванов-Смоленский А. В., Электрические машины. М., 1980, —928 с.
10. Копылов И. П., Электрические машины. М., 1986. — 360 с.
11. Костенко Г. Н., Пиотровский Л. М. Электрические машины. Л., 1972. Ч. I. — 544 с.; 1973. Ч. П. — 648 с.

Учебное издание

Иванов В.В.

**Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования
сельскохозяйственных организаций**

учебное пособие

Часть 1

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 23.12.2020 г. Формат А5.
Бумага печатная. Усл. п.л. 31,02. Тираж 100 экз. Изд. №6811.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский