

**Министерство сельского хозяйства РФ**

**Новозыбковский сельскохозяйственный техникум-филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения «Брянский государственный аграрный университет»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Учебное пособие

**Новозыбков, 2020**

УДК 621.38 (07)  
ББК 32.852.3  
С 40

Системы автоматизации сельскохозяйственных организаций: учебное пособие / сост. В. И. Ковалев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. – 502 с.

Курс лекции составлен в соответствии с рабочей программой по дисциплине ПМ01 МДК 01.02. Системы автоматизации сельскохозяйственных организаций. Помимо теоретического материала в нем содержатся вопросы для повторения и список литературы для подготовки к занятиям.

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

© Ковалев В.И., 2020  
© Брянский ГАУ, 2020

## Содержание

Введение .....	5
Тема 1. Электронные приборы .....	6
1.1. Основные определения и классификация электроники .....	6
1.2. Физика полупроводниковых приборов .....	9
1.3. Токи в п/п. образование р-п перехода .....	15
1.4. Полупроводниковые диоды .....	23
1.5. Транзисторы .....	35
1.6. Тиристоры .....	56
1.7. Электровакуумные приборы .....	59
1.8. Фотоэлектрические и фотоэлектронные приборы .....	65
1.9. Пассивные элементы .....	84
1.10. Элементарная база микроминиатюрного исполнения .....	90
Тема 2. Электронные устройства .....	109
2.1. Общие сведения .....	109
2.2. Усилители .....	113
2.3. Электронные генераторы .....	126
2.4. Общие сведения об эл. устройствах, цифровых и аналоговых ЭВМ .....	145
2.5. Цифровые электронные устройства .....	150
2.6. Аналоговые электронные устройства .....	159
2.7. Структурная схема цифровых ЭВМ и М.П. систем .....	167
2.8. Общая характеристика микропроцессорного устройства .....	182
2.9. Средства электропитания аппаратуры .....	189
2.10. Технические средства связи в с/х .....	212
Тема 3. Общие сведения об автоматике .....	222
3.1. Понятия об АУ технологическими процессами .....	222
3.2. Статические характеристики элементов и систем автоматики .....	230
3.3. Динамические характеристики элементов и систем автоматики .....	230
3.4. Схемы автоматики .....	230
Тема 4. Элементы систем автоматики .....	236
4.1. Датчики систем автоматики .....	236
4.2. Коммутационная аппаратура и релейные элементы автоматики .....	263
4.3. Логические элементы .....	298
4.4. Задающие или сравнивающие устройства .....	305

4.5. Усилительные элементы систем автоматики.....	313
4.6. Объекты управления .....	318
4.7. Автоматические регуляторы .....	323
Тема 5. Основы теории автоматического управления.....	329
5.1. Типовые звенья систем автоматики и их характеристики.....	329
5.2. Устойчивость А.С.....	332
Тема 6. Системы телемеханики .....	336
6.1. Основные понятия об элементах систем ТМ.....	336
Тема 7. Пускозащитная аппаратура применяемая .....	340
для электропривода .....	340
7.1. Общие сведения .....	340
7.2. Монтаж и ремонт аппаратов защиты .....	345
7.3. Монтаж и ремонт пускорегулирующей аппаратуры.....	357
7.4. Монтаж и ремонт защитного заземления и зануления .....	379
Тема 8. Автоматизация типовых технологических процессов.....	389
8.1. Особенности автоматизации с/х. производства.....	389
8.2. Автоматизация водоснабжения.....	396
8.3. Автоматизация микроклимата животноводческих помещений .....	403
8.4. Автоматизация кормления животных .....	418
8.5. Автоматизация уборки навоза.....	445
8.6. Автоматизация доения и первичной обработки молока .....	450
8.7. Автоматизация освещения и облучения.....	460
9. Основные понятия о надёжности и технико экономии .....	488
9.1. Надёжность элементов и систем управления .....	488
10. Технико экономическая эффективность автоматизации сельскохозяйственного производства .....	496
10.1. Технико- экономическая эффективность работы систем управления .....	496
Дополнительная литература для студентов .....	501
Использованная литература.....	501

## Введение

Автоматизация технологических процессов — это этап комплексной механизации, характеризуемый освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления технологическими процессами и передачей этих функций автоматическим устройствам. При автоматизации технологические процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации выполняются автоматически при помощи специальных технических средств и систем управления.

Существенными тенденциями современного сельскохозяйственного производства являются, с одной стороны, постоянный рост его масштабов, повышение количества и качества сельскохозяйственных продуктов, с другой — прогрессирующий дефицит рабочей силы, растущая непопулярность монотонного и тяжелого физического ручного труда в полеводстве и животноводстве. Важнейшим, а зачастую и единственным средством разрешения противоречий между ними является комплексная механизация и автоматизация производства.

Повышения производительности труда в сельском хозяйстве можно достичь за счет максимальной автоматизации производства на основе последних достижений в электронике и микропроцессорной технике. В связи с этим проводят большую научно – исследовательскую работу по созданию систем автоматизации на основе микропроцессоров и так называемой «малой автоматики» с использованием цифровых электронных устройств в автономном режиме. Автоматизация сельскохозяйственного производства базируется на разработках промышленной электроники и автоматизированных системах управления технологическими процессами, оснащенных средствами вычислительной техники. Однако в отличие от промышленности в сельском хозяйстве наряду с техникой используют и живые объекты.

Специалисты сельского хозяйства, которые обслуживают сложные установки и аппараты, оснащенные электронными устройствами, должны обладать достаточными знаниями не только в области сельского хозяйства, но и в области автоматики, электроники и микропроцессорной техники.

Автоматизация сельскохозяйственного производства повышает производительность и улучшает условия труда, устраняет различие между физическим и умственным трудом, увеличивает выпуск продукции, снижает ее себестоимость, позволяет полнее удовлетворять потребности человека.

## Тема 1. Электронные приборы

### 1.1. Основные определения и классификация электроники

План лекции:

1. Основные этапы развития электроники.
2. Основная тенденция развития микроэлектроники.
3. Физическая природа свойств твёрдых тел.
4. Новые перспективные материалы для.

#### 1. Основные этапы развития электроники

В 1948 г. весь потенциал твёрдотельной электроники скрывался в единственном экспериментальном образце транзистора, действие которого было не понятно даже его творцам. Через 10 лет твёрдотельные приборы уже выиграли сражение с лампами за вычислительную технику и породили объект нового поколения - организованное скопление транзисторов в одном кристалле, называемое интегральной микросхемой.

Современный кристалл массой в десятки миллиграммов обладает значительно большей вычислительной производительностью, чем первые ЭВМ с массой в десятки тонн.

Микроэлектроника - это способ организации электронных процессов, который позволяет обрабатывать информацию в малых объёмах твёрдого тела. И идеальной целью является система, сочетающая совершенство организации мозга с быстродействием твёрдотельных процессов.

Взаимопроникновение процессов разработки, синтеза, функционирования и деградации в перспективе ведёт к схеме реализованной природой в биосистемах. При этом в микроэлектронике технология приобретает функциональное значение и определяет принципиальные возможности систем.

Точные информационные системы создаются методами физико-химической технологии. Ещё в 1874 г. Браун открыл выпрямляющее свойство контакта металл-полупроводник (PbS), и приборы этого типа даже получили довольно широкое распространение в последней четверти прошлого века. Но изобретение

вакуумного диода (1904, Флеминг) и триода (1906, Лиде Форест) положило конец этой эре полупроводников. Настоящее время полупроводников наступило только в 50-х годах после изобретения транзистора, при этом уместно вспомнить работы Лишенфильда, который ещё в 1925 году высказал идею возможности создания полевого транзистора. Однако первым в 1948 году Бардиным, Браттейном и Шокли был создан биполярный транзистор, а спустя 10 лет был реализован и полевой транзистор.

## **2. Основная тенденция развития микроэлектроники**

Современная технология микроэлектроники основана на двух принципах: последовательном формировании тонких слоёв или плёнок при определённых режимах и создании топологических рисунков с помощью микролитографии. Технологические основы этих принципов уходят вглубь веков.

Одним из функциональных вопросов технологии является вопрос можно ли полностью устранить механические совмещения и осуществить синтез твёрдотельной структуры в едином физико-химическом процессе. Те сведения, которыми мы сегодня располагаем относительно материалов, физико-химической технологии и физических принципов не позволяют дать положительный ответ. Однако развитие живой природы (генетический код), история развития техники говорит о том, что называется решение возможно. Но радикальные изменения в технологии всегда сопряжены с новой физикой, новыми материалами и новой элементной базой.

Основная тенденция микроэлектроники, устойчиво сохраняющаяся уже более 40 лет - повышение степени интеграции  $N$ . Перспективность этой тенденции обусловлена тем, что при отлаженном серийном производстве стоимость изделий практически не зависит от их сложности и определяется в основном производительностью оборудования. Повысить степень интеграции  $N$  можно за счёт уменьшения размеров элементов или за счёт увеличения размера кристалла. Оба эти способа успешно реализуются на практике.

### **3. Физическая природа свойств твёрдых тел**

Бурное развитие радиоэлектронной аппаратуры не могло происходить без существенного улучшения её параметров. В радиоэлектронике и электронной технике появилось новое, успешно развивающееся направление - микроэлектроника. За сравнительно короткий исторический отрезок времени (первый транзистор был изготовлен в 1948 году, первая интегральная схема - в 1958 году) микроэлектроника стала ведущим направлением, определяющим прогресс в развитии радиоэлектронной аппаратуры.

Твердотельная электроника - это новое научно-техническое направление, которое посредством физических, химических, схемотехнических и технологических методов и приёмов решает проблему создания высоконадёжных электронных устройств.

В качестве основных конструкционных материалов в микроэлектронике используются полупроводники, металлы и диэлектрики. Исторически различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками связывалось с особенностями электропроводности этих тел. К металлам относили вещества, имеющие удельную проводимость, измеряемую величинами порядка  $10^4$  (Ом\*см)<sup>-1</sup>. Вещества, имеющие удельную проводимость в пределах  $10^{-7}$  (Ом\*см)<sup>-1</sup> и меньшую, относили к диэлектрикам. Все материалы, которые имели удельную проводимость в пределах  $10^{-4}$ ,  $10^{-7}$  (Ом\*см)<sup>-1</sup>, считались полупроводниками. С физической точки зрения такое определение не является достаточно точным. Например, с помощью введения примесей можно увеличить электропроводимость полупроводников на несколько порядков, сделав её по величине соизмеримой с проводимостью металлов, но при этом они не станут металлами. От металлов полупроводники отличаются не величиной, а характером зависимости удельной электрической проводимости, прежде всего, от температуры.

### **4. Новые перспективные материалы для электроники**

В науке и технике ведётся целенаправленный поиск материалов, обладающих новыми свойствами. В последние годы учёными интенсивно изучались структура и свойства таких материалов как серое олово, теллурид ртути, сплав висмута с сурьмой.



Наиболее интенсивные свойства серого олова и теллурида ртути - это отсутствие запрещённой зоны. Эти материалы относят к бесщелевым полупроводникам. Запрещённая зона в них отсутствует при любых воздействиях, не меняющих симметрию кристаллической решётки: нагрев и охлаждение в определенном температурном интервале, всестороннее сжатие, введение примесей. Сплавы висмута с сурьмой, наоборот, приобретают новые свойства при различных внешних воздействиях. Так, например, под действием всестороннего давления, магнитного поля, при изменении химического состава этот материал может перейти в состояние, не имеющее запрещённой зоны. В некоторых сплавах системы висмут-сурьма под действием мощного магнитного поля образуются экситонные фазы, которые представляют собой электроны и дырки, объединенные в устойчивые комплексы, напоминающие атомы водорода и обладающие исключительно интересными свойствами. Эти свойства сейчас интенсивно изучаются с целью практического использования.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что называется микроэлектроника?
2. Что называется твердотельная электроника?
3. К электронным полупроводникам относятся?
4. Какие основные конструкционные материалы в микроэлектронике используются?
5. Как называется материал раскрывший потенциал твердотельной интегральной схемотехники?
6. Типы полупроводниковых веществ?

## **1.2. Физика полупроводниковых приборов**

План лекции:

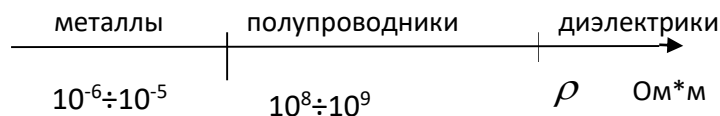
1. Общие сведения о полупроводниках.
2. Собственные полупроводники.
3. Примесные полупроводники.
4. Дрейфовое и диффузионное движение носителей заряда.
5. Время жизни носителей заряда.

## 1. Общие сведения о полупроводниках

Все материалы (вещества) условно делятся на 3 группы:

1. металлы;
2. полупроводники;
3. диэлектрики.

По удельному электрическому сопротивлению  $\rho$  они различаются следующим образом:



К полупроводниковым материалам относится группа твердых кристаллических тел, которые по своим свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Полупроводниками являются элементы четвертой группы таблицы Менделеева, например Германий(Ge), Кремний(Si) или Селен(Se), и соединения элементов, например арсенид галлия (GaAs), фосфорит галлия (GaP), карбид кремния (SiC). Характерной особенностью полупроводников, отличающей их от металлов, является возрастание их электропроводности с ростом температуры и при введении в полупроводник специальных примесей.

При повышении температуры удельное электрическое сопротивление у металлов увеличивается, у полупроводников – уменьшается.

## 2. Собственные полупроводники

Кремний и Германий – это элементы четвертой группы периодической системы элементов Менделеева. Они имеют по 4 валентных электрона, которые участвуют в парно-электронных или ковалентных связях с соседними атомами. Эти связи характеризуются перекрытием внешних электронных оболочек атомов и пара электронов в ковалентной связи, принадлежит двум соседним атомам. При повышении температуры часть электронов,

имеющих большую энергию, освобождается от связей и становятся свободными носителями заряда (могут свободно перемещаться в межатомном пространстве). При этом в разорванной ковалентной связи как бы появляется положительный заряд, по величине равный заряду электрона, который и приписывают дырке. Фактическое движение электронов (связанных электронов) по ковалентным связям может быть заменено движением дырки в противоположном направлении. Образование свободных электронов и дырок называют генерацией носителей заряда. Она происходит при нагревании полупроводника (тепловая генерация) и при воздействии на полупроводник квантового света (световая

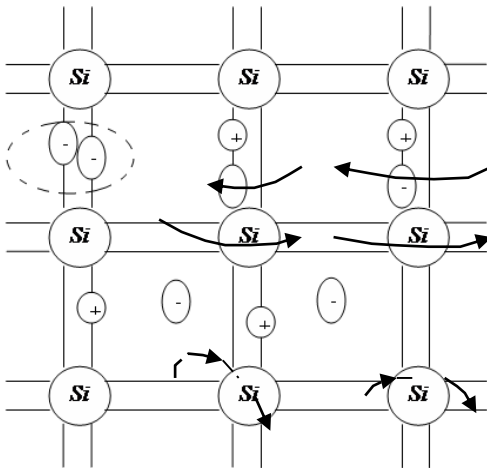


Рис. 1. Полупроводник

генерация), электрических полей, поляризирующих излучений. Одновременно с генерацией идет обратный процесс – рекомбинация носителей заряда. В результате чего исчезают пары носителей заряда. В состоянии термодинамического равновесия процессы генерации и рекомбинации уравновешены. При этом в полупроводнике существуют равновесные концентрации электронов и дырок ( $n_0$ ,  $p_0$ ). При воздействии на полупроводник нетепловых внешних факторов из-за генерации новых носителей в полупровод-

нике появляются неравновесные концентрации ( $n$ ,  $p$ ). Избыточные концентрации называют разность:

$$\Delta n = n - n_0$$

$$\Delta p = p - p_0$$

### 3. Примесные полупроводники

Большинство полупроводниковых приборов изготавливают на основе примесных полупроводников. Примесные полупроводники получают из собственных с помощью введения донорных или акцепторных примесей.

Акцепторные примеси – элементы третьей группы периодической системы элементов Менделеева (индий, галлий, алюминий и т.д.). Атомы акцепторной примеси принимают (поглощают) свободные электроны и, соответственно, поставляют дырки. Атом акцепторной примеси имеет 3 валентных электрона, следовательно, одна новая ковалентная связь не заполнена и ее заполняет электрон из соседнего атома. При этом образуется дырка и отрицательный ион. В полупроводнике с акцепторной примесью концентрация дырок ( $p_p$ ) много больше концентрации электронов ( $n_p$ ), которые так же образуются в результате естественной генерации и, следовательно, основными носители заряда в полупроводнике являются дырки, а неосновными – электроны. Электропроводность такого полупроводника дырочная, а сам полупроводник называется полупроводником р-типа.

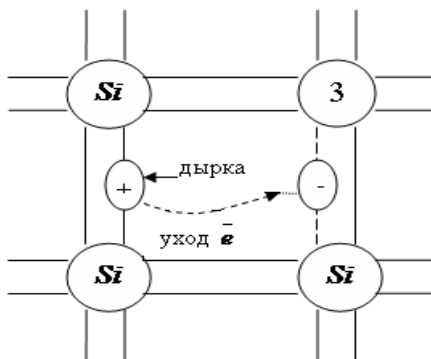


Рис. 2. Полупроводник р-типа

Донорные примеси – элементы пятой группы таблицы Менделеева (сурьма, фосфор, мышьяк и т.д.). Атомы донорной примеси поставляют свободные электроны. Атомы донорной примеси замещают часть атомов собственного полупроводника. Четыре валентных электрона атома донора, участвуют в новых связях, а пятый связан с атомом слабее и при слабых воздействиях превращается в свободный электрон. Сам атом при этом становится примесью. Концентрация свободных электронов ( $n_n$ ) много больше, чем концентрация дырок ( $p_n$ ), которые так же образуются в результате естественной генерации. В таком полупроводнике основные носители заряда – электроны, а неосновные – дырки, электропроводность полупроводника электронная, а сам полупроводник называется полупроводником n-типа.

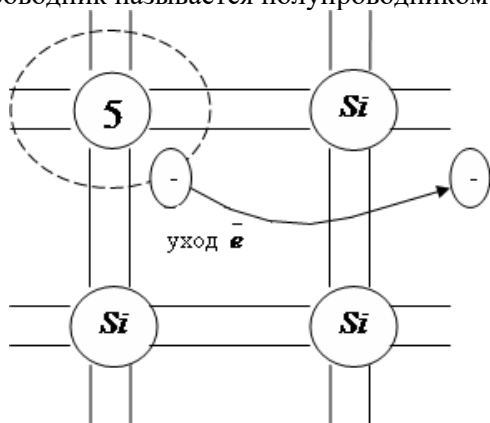


Рис. 3. Полупроводник n-типа

Объем полупроводника n-типа или p-типа остается электрически нейтральным, если носители заряда не покидают пределы полупроводника.

#### 4. Дрейфовое и диффузионное движение носителей заряда

При отсутствии электрического поля в полупроводнике и разности концентрации носителей заряда в объеме полупроводника, носители заряда находятся в хаотическом движении. Ввиду хаотического характера, ток в полупроводнике равен нулю.

Направленное движение носителей заряда под действием электрического поля называют дрейфовым движением, а движение, обусловленное различием концентраций носителей заряда в соседних слоях, называют диффузионным.

Дрейфовый ток связан с напряженностью электрического поля  $E$  следующим выражением:

$$I_{др} = sq\gamma E;$$

Где  $s$  – площадь сечения полупроводника,  $q$  – заряд электрона,  $\gamma$  – удельная проводимость,  $E$  – напряженность электрического поля. Следовательно,  $I_{др} \approx E$ ;

Диффузионный ток пропорционален градиенту концентрации вдоль выбранной оси полупроводника:

$$I_{диф} \approx \frac{dn}{dx};$$

## 5. Время жизни носителей заряда

Характеристики полупроводниковых приборов определяются временем жизни неосновных носителей заряда. Пусть в результате внешнего нетеплового воздействия в слое полупроводника выросла концентрация неосновных носителей заряда и стала превышать равновесную на  $\Delta p(0)$  или  $\Delta n(0)$ . После снятия воздействия в момент времени  $t=0$  происходит процесс снижения концентрации до равновесной в соответствии с выражениями:

$$\Delta p(t) = \Delta p(0)e^{\frac{-t}{\tau_p}}; \quad \Delta n(t) = \Delta n(0)e^{\frac{-t}{\tau_n}},$$

где  $\tau_p$  или  $\tau_n$  постоянные, которые называются временем жизни, соответственно электронов или дырок. За время  $t = \tau$  концентрация снижается в  $e$  раз.

### Вопросы для повторения:

1. Что называется донорными примесями?
2. Что называется акцепторными примесями?

3. Что называется кремнием и германием?
4. Какая группа относится к полупроводниковым материалам?
5. На какие виды делятся материалы по удельному электрическому сопротивлению?

### **1.3. Токи в п/п. образование р-п перехода**

План лекции:

1. Р-п переход.
2. Электрические процессы в р-п переходе при отсутствии внешнего напряжения.
3. Электрические процессы в р-п-переходе при наличии внешнего напряжения.
4. Емкость р-п перехода.

#### **1. Р-п переход**

Р-п переход - переходный слой между двумя областями полупроводника с разной электропроводностью, в котором существует диффузионное электрическое поле. Р-п переход получают введением в примесный полупроводник одного типа проводимости специальных присадок, которые изменяют тип проводимости части монокристалла.

#### **2. Электрические процессы в р-п переходе при отсутствии внешнего напряжения.**

В германиевых и кремниевых диодах двухслойная р-п-структура (рис. 1, а) создается введением в один из слоев монокристалла акцепторной примеси, а в другой – донорной примеси. При комнатной температуре атомы акцепторов и доноров можно считать полностью ионизированными, т.е. практически все акцепторные атомы присоединяют к себе электроны. Создавая при этом дырки, а донорные атомы отдают свои электроны, которые становятся свободными. Кроме основных носителей заряда в каждом из слоев имеются неосновные носители заряда, создава-

емые путем перехода электронов основного материала из валентной зоны в зону свободных уровней.

На практике наибольшее распространение получили р–п–структуры с неодинаковой концентрацией внесенных акцепторной  $N_a$  и донорной  $N_d$  примесей, т.е. с неодинаковой концентрации неосновных носителей заряда в слоях  $p_p \approx N_a$  и  $n_n \approx N_d$ . Типичными бывают структуры с  $N_a \gg N_d$  ( $p_p \gg n_n$ ). Распределение концентраций носителей заряда для таких структур показано на рис. 1,б. Концентрация неосновных носителей заряда, существенно меньше концентрации основных носителей заряда.

В р–п–структуре на границе раздела слоев АВ возникает разность концентраций одноименных носителей заряда: в одном слое они являются основными носителями, в другом – неосновными. В приграничной области под действием разности концентраций возникает диффузионное движение основных носителей заряда во встречном направлении через границу раздела. Дырки из р–области диффундируют в п–область, электроны из п–области в р–область. Дырки, вошедшие в п–область, рекомбинируют с электронами этой области, а электроны, вошедшие в р–область, – с дырками р–области. В следствие двух факторов (ухода основных носителей заряда из приграничных областей и их рекомбинация с носителями заряда противоположного знака) концентрации основных носителей заряда ( $p_p$  и  $n_n$ ) в обеих приграничных областях, суммарная ширина которых  $l_0$ , снижаются (рис. 1, б).

Кроме того, снижение концентрации носителей заряда одного знака сопровождается повышением концентрации носителей заряда другого знака. Вследствие этого в приграничной области повышается концентрация электронов, а в приграничной п–области – концентрация дырок. Таким образом, становится понятным характер распределения концентрации носителей заряда в р–п–переходе показанной на рис. 1, б сплошными линиями.

Важнейшим следствием диффузионного движения носителей заряда через границу раздела слоев является появление в приграничных областях объемных зарядов, создаваемых ионами атомов примесей. Так, при уходе дырок из р–слоя в нем создается нескомпенсированный отрицательный объемный заряд за счет оставшихся ионов акцепторных атомов примеси. Электроны же,



ушедшие из  $n$ -слоя, оставляют здесь нескомпенсированный положительный объемный заряд, создаваемый положительными ионами донорных атомов примеси. Наличие объемного заряда является главной особенностью  $p$ - $n$ -перехода. Кривая распределения объемного заряда в  $p$ - $n$ -переходе показана на рис. 1, г. Ввиду наличия объемного заряда в  $p$ - $n$ -переходе создаются электрическое поле и разность потенциалов.

Кривые  $E(x)$  и  $\varphi(x)$  показаны на рис. 1, д, е (за нулевой принят потенциал  $n$ -слоя). Отметим, что рассмотренный процесс формирования  $p$ - $n$ -перехода происходит уже на этапе введения в монокристалл акцепторной и донорной примесей.

Толщина слоя объемного заряда  $l_0$  составляет доли микрометров и зависит от концентрации примеси (основных носителей заряда) в  $p$ - и  $n$ -областях (от удельного сопротивления слоев). Объемные заряды по обе стороны границы раздела равны и создаются, как известно, неподвижными ионами примеси. Если бы концентрация акцепторной  $N_a$  и донорной  $N_d$  примесей были равны (симметричный  $p$ - $n$ -переход), то концентрация отрицательных ионов слева от границы раздела и положительных ионов справа были бы также равны и  $p$ - $n$ -переход имел бы одинаковые толщины слоев  $l_{0p}$  и  $l_{0n}$ . В рассматриваемом случае несимметричного  $p$ - $n$ -перехода ( $N_a \gg N_d$ ) концентрация неподвижных отрицательных ионов слева от границы раздела АВ будет выше концентрации неподвижных отрицательных ионов справа (рис. 1, а), в связи с чем равенству объемных зарядов обоих знаков (рис. 1, г) здесь будет отвечать условие  $l_{0n} \gg l_{0p}$ . Иными словами,  $p$ - $n$ -переход толщиной  $l_0$  будет преимущественно сосредоточен в  $n$ -области, как в более высокоомном.

Внутреннее электрическое поле, созданное объемными зарядами, является фактором, под действием которого обеспечивается равенство потоков носителей заряда через переход в обоих направлениях, т.е. равенство нулю суммарного тока в отсутствие внешнего электрического поля. Это обуславливается тем что внутреннее электрическое поле с потенциальным барьером  $\varphi_0$  (рис. 1, е) создает тормозящее действие для основных и ускоряющее – для неосновных носителей заряда. Таким образом, внутреннее электрическое поле приводит к уменьшению плотности

диффузионного тока  $J_{\text{диф}}$  через переход и появлению встречного ему дрейфового тока плотностью  $J_{\text{др}}$ .

Диффузионный ток с некоторой плотностью  $J_{\text{диф}}$ , обусловлен основными носителями заряда (рис. 1, в) и направлен вдоль оси  $x$ . Он состоит из потока дырок, перемещающихся под действием диффузии из  $p$ -области в  $n$ -область, и потока электронов, диффундирующих из  $n$ -области в  $p$ -область.

Дрейфовый ток с некоторой плотностью  $J_{\text{др}}$ , обусловлен неосновными носителями заряда (рис. 1, в) и направлен вдоль оси  $x$ . Он состоит из потока дырок (неосновных носителей заряда), перемещающихся под действием внутреннего электрического поля из  $n$ -области в  $p$ -область, и потока электронов, перемещающихся под действием внутреннего электрического поля из  $p$ -области в  $n$ -область.

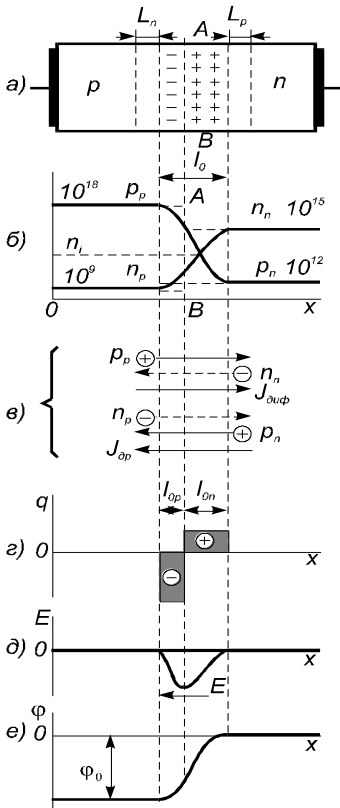


Рис. 1. Обозначение  $p$ - $n$ -перехода в  $p$ - $n$ -структуре полупроводника: а -  $p$ - $n$  - структура полупроводника; б - распределение концентраций носителей заряда; в - составляющие тока в  $p$ - $n$ -переходе; г - распределение заряда; д - диаграмма напряженности поля; е - потенциальный барьер в  $p$ - $n$ -переходе.

Плотность дрейфового тока  $J_{др}$  (рис.1, в) создается неосновными носителями заряда прилегающих к р–п–переходу слоев с толщиной, равной диффузионной длине:  $L_n$  – для электронов р–слоя и  $L_p$  – для дырок п–слоя (рис.1.4, а). неосновные носители заряда, совершая тепловое движение в этих слоях, успевают за время своей жизни попасть в область действия электрического поля, увлекаются этим полем и перебрасываются через переход. Таким образом. Плотность дрейфового тока определяется потоками подходящих неосновных носителей заряда из прилегающих к р–п–переходу слоев. Она зависит от концентрации неосновных носителей зарядов слоев и диффузионной длины. Дрейфовый ток имеет направление, противоположное направлению диффузионного тока.

Уход неосновных носителей заряда через р–п–переход из прилегающих к нему слева, казалось бы, должен привести к уменьшению их концентрации с приближением к границе р–п–перехода. Вместе с тем концентрации неосновных носителей заряда в прилегающих к р–п–переходу слоях сохраняются на уровнях  $p_n$  и  $p_p$  (рис. 1, б), так как в условиях динамического равновесия уменьшение неосновных носителей заряда за счет их ухода через р–п–переход будет постоянно восполняться носителями того же знака за счет их диффузии из противоположных слоев.

### **3. Электрические процессы в р–п–переходе при наличии внешнего напряжения**

Рассмотрим случай, когда внешнее напряжение подключено к р–п–структуре в прямом направлении, т.е. плюсом источника к выводу р–области, а минусом источника – к выводу п–области (рис.2, а). При таком подключении источника, создаваемое им электрическое поле направлено противоположно внутреннему полю в переходе, что приводит к уменьшению результирующего поля в р–п–переходе. Объемный заряд обоих знаков, сосредоточенный по разные стороны границы раздела, будет определяться не только величиной  $\varphi_0$ , обуславливаемой, как было показано,

диффузионным движением носителей заряда под действием разности их концентраций в приграничных областях, но и внешним напряжением  $U_a$ . Если пренебречь падением напряжения в слоях р– и п–структуры, то объемному заряду в переходе будет соответствовать напряжение  $\varphi_0 - U_a$ , меньшее, чем при отсутствии внешнего источника. Следовательно, уменьшится и обусловленный напряжением объемный заряд в р–п–переходе. Величина  $\varphi_0 - U_a$  определяет величину потенциального барьера в р–п–переходе при включении внешнего напряжения в прямом направлении (рис. 2, б). Уменьшение объемного заряда (потенциального барьера) проявляется в сужении р–п–перехода, которое происходит в основном за счет п–слоя, как более высокоомного.

Уменьшение потенциального барьера облегчает переход основных носителей заряда под действием диффузии через границу раздела в соседние области, что приводит к увеличению диффузионного тока через р–п–переход (рис. 2, в). Указанное явление называют инжекцией носителей заряда через р–п–переход.

Непрерывные диффузии дырок через р–п–переход и их рекомбинация с электронами в прилегающем слое базы создают непрерывный приток электронов от отрицательного полюса источника, а следовательно, и ток в рассматриваемом участке цепи. Таким образом, в то время как прямой ток в р–п–переходе определяется диффузионным током дырок, ток в основной части базового слоя и внешнем выводе обуславливается дрейфовым током электронов. В примыкающем к р–п–переходу базовом слое прямой ток равен сумме диффузионного тока электронов. Уменьшение дырочной составляющей тока по мере удаления от границы р–п–перехода объясняется уменьшением градиента концентрации дырок вследствие их рекомбинации с электронами. Описываемое явление обычно наблюдается при относительно большой ширине п–слоя.

Подобные процессы наблюдаются и в слое эмиттера. Избыточная концентрация электронов, созданная в прилегающей к р–п–переходу области под действием диффузии, компенсируется повышением там концентрации дырок (на рис. 2, в не показано). Однако для несимметричного р–п–перехода роль электронной составляющей диффузионного тока в общем токе, протекающем

через переход, мала. Ее роль несущественна и в токе, протекающем через эмиттерный слой. Ток через эмиттерный слой обуславливается в основном дрейфовым током дырок ввиду существующей в этом слое напряженности электрического поля от внешнего источника.

При подключении к р-п переходу источника внешнего напряжения в обратном направлении (рис. 3, а) потенциальный барьер возрастает на величину  $U_b$  и становится равным  $\phi_{0+} + U_b$  (рис. 3, в). При этом увеличивается объемный заряд в р-п-переходе и его ширина. Возросший потенциальный барьер затрудняет прохождение через р-п-переход основных носителей заряда, вследствие чего диффузионный ток, создаваемый этими носителями заряда, уменьшается.

Обратный ток, создаваемый неосновными носителями заряда зависит от их концентрации в р- и п-слоях, а также от рабочей поверхности р-п-перехода. Этим объясняется тот факт, что в мощных диодах, имеющих большую площадь р-п-перехода, обратный ток больше чем в маломощных. Поскольку концентрация неосновных носителей заряда является функцией от температуры кристалла, обратный ток диода также зависит от температуры. По этой причине обратный ток иногда называют тепловым. Увеличение обратного тока с ростом температуры подчиняется примерно экспоненциальному закону.

Как известно, концентрация неосновных носителей заряда уменьшается с ростом ширины запрещенной зоны на энергетической диаграмме полупроводника.

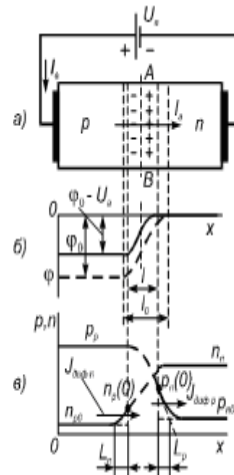


Рис. 2. Р-п переход при подключении внешнего напряжения в прямом направлении: а — схема включения; б — потенциальный барьер при прямом напряжении; в — распределение концентраций носителей заряда.

#### 4. Емкость р-п перехода

Емкость р-п перехода имеет две составляющие – барьерную и диффузионную.

Барьерная емкость объясняется наличием объемных зарядов, образованных ионами, на границе перехода, при увеличении обратного напряжения. При расширении р-п-перехода барьерная емкость уменьшается, аналогично снижается емкость плоского конденсатора при раздвигании пластин.

Диффузионная емкость связана с диффузией основных носителей заряда через переход, т.к. рекомбинация основных носителей заряда, прошедших через р-п-переход происходит не мгновенно, а спустя некоторое время жизни  $\tau$ , то на границах р-п-перехода существует неравновесная концентрация электронов и дырок, что придает р-п-переходу емкостные свойства.

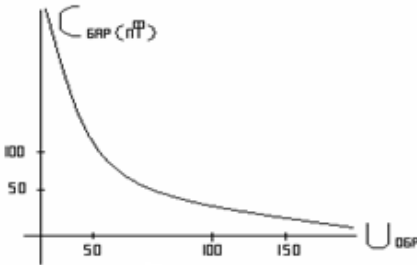


Рис. 4.

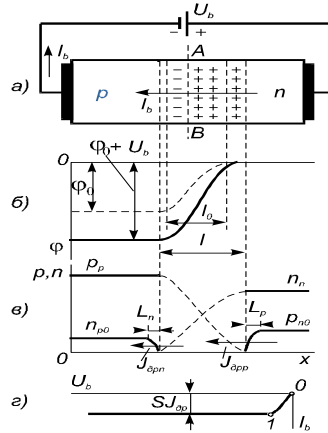


Рис. 3. Р-п переход при подключении внешнего напряжения в обратном направлении:

- а — схема включения;
- б — потенциальный барьер при обратном напряжении;
- в — распределение концентраций носителей заряда;
- г — обратная ветвь вольт-амперной характеристики

Диффузионная емкость составляет сотни, тысячи пикофард и проявляется при прямом напряжении на диоде. ( $C_D = 100 \div 1000n\Phi$ ). Примерный вид зависимости  $C_{бар}$  от  $C_{обp}$  приведен на рис. 4.

Поскольку  $C_d \gg C_{бар}$ , то при прямом напряжении можно учитывать только диффузионную, а при обратном только барьерную емкость.

### **Вопросы для повторения:**

1. Устройство p-n перехода?
2. От чего зависит высота потенциального барьера?
3. Что называется диффузионным током?
4. Возможно ли существование дырок в металлических проводах внешней цепи с ЭДС, подключенной к полупроводнику?
5. От чего зависят размеры p-n перехода?
6. Назовите виды пробоя p-n перехода и дайте им определения?

## **1.4. Полупроводниковые диоды**

План лекции:

1. Полупроводниковые диоды.
2. Вольт-амперная характеристика идеального диода.
3. Вольт-амперная характеристика p-n-перехода.
4. Вольт-амперная характеристика реального диода.
5. Типы диодов.
6. Диоды Шоттки. Общие сведения. ВАХ.
7. Стабилитрон. ВАХ стабилитрона. Параметры стабилитрона.
8. Стабисторы. Общие сведения и основные параметры.

## **1. Полупроводниковые диоды**

Диодами называют двухэлектродные элементы электрической цепи, обладающие односторонней проводимостью тока. В полупроводниковых диодах односторонняя проводимость обуславливается применением структуры, сочетающей в себе два слоя, один из которых обладает дырочной (p), а другой – электронной (n) проводимостью (рис. 1,а).

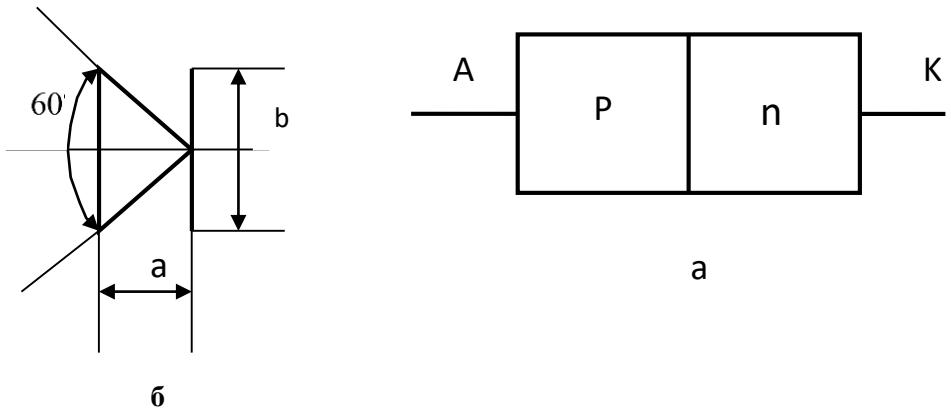
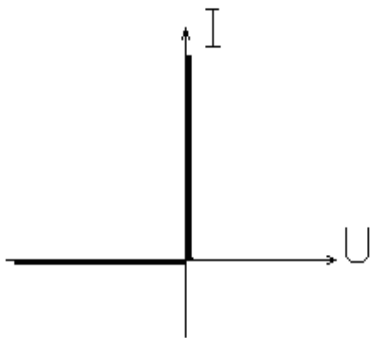


Рис. 1. Полупроводниковый диод:  
 а- полупроводниковая структура  
 б- графическое обозначение диода

Принцип действия полупроводникового диода основывается на специфике процессов, протекающих на границе раздела p- и n-слоев, в так называемом электронно-дырочном переходе (p-n-переходе).

## 2. Вольт-амперная характеристика идеального диода



Вольт-амперная характеристика идеального диода приведена на рис. 2. и имеет вид отрезков прямых, совпадающих с осями координат. При наличии прямого тока через идеальный диод падение напряжения на нем равно нулю, а при приложении к идеальному диоду обратного напряжения его обратный ток равен нулю.

Рис. 2. ВАХ идеального диода



### 3. Вольт- амперная характеристика р-п-перехода

Вольт-амперная характеристика р-п-перехода (рис.4) описывается эмпирическим выражением

$$I_s = I_s \left( e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right), \quad (1.1)$$

где  $I_s$  – ток насыщения.

$I_s = S J_{др}$ , где  $S$  – площадь сечения р-п-перехода,  $J_{др}$  – плотность дрейфового тока,  $U$  – напряжение на р-п-переходе,  $\varphi_T$  – тепловой потенциал (для кремния

$$\varphi_T = 25 \text{ mV}$$

при температуре  $t^\circ = 25$ ). При прямом напряжении в выражении (1.1) можно пренебречь единицей. Поэтому прямая ветвь имеет вид экспоненты. При обратном напряжении в выражении (1.1) можно пренебречь экспоненциальной составляющей и обратный ток р-п-перехода равен току насыщения.

Интенсивность генерации основных носителей заряда определяется температурой. При увеличении температуры возрастает интенсивность генерации неосновных носителей заряда и, следовательно, возрастает обратный ток  $I_s$ .

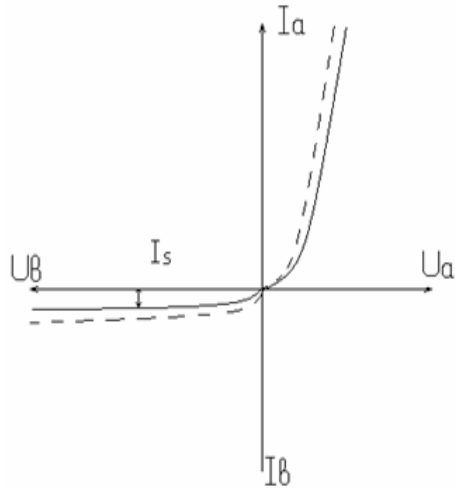


Рис. 3.

#### 4. Вольт-амперная характеристика реального диода

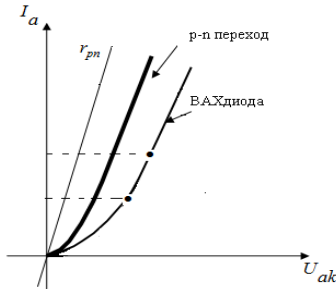


Рис. 4. ВАХ диода

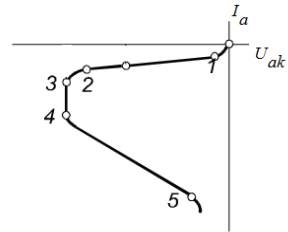


Рис. 5. Обратная ветвь ВАХ реального диода

На рис.4. показана ВАХ диода, полученная суммированием ВАХ р-п-перехода и ВАХ объемного сопротивления  $r_{pn}$  слоев полупроводника, прилегающих к р-п-переходу.

Отличие обратной ветви ВАХ р-п-перехода от ВАХ реального диода обусловлено наличием двух факторов:

- 1) током утечки через р-п-переход
- 2) дополнительной генерацией носителей заряда

Оба фактора приводят к тому, что обратная ветвь вольт-амперной характеристики диода принимает вид, показанный на рис. 5.

Вследствие наличия различных загрязнителей (пыль и т.п.) на внешней поверхности р-п-структуры повышается ее поверхностная электрическую проводимость и при наличии обратного напряжения  $U_{ak}$  возникает обратный ток через диод, называемый током утечки. Ток утечки связан линейной зависимостью с напряжением  $U_{ak}$ . Эта составляющая обратного тока обуславливает появление наклонного участка 1–2 на характеристике диода (рис. 5).

Влияние генерации носителей заряда в р-п-переходе обычно сказывается при повышенных обратных напряжениях. Оно проявляется вначале в виде некоторого роста обратного тока по мере роста обратного напряжения  $U_{ak}$  (участок 2–3), а затем в резком возрастании обратного тока (участок 3–5), вызванным пробоем р-п-перехода.

В зависимости от причин, вызывающих появление дополнительных носителей заряда в р–п–переходе, различают электрический пробой, проявляющийся на участке 3 – 4, и тепловой пробой, проявляющийся на участке 4 – 5. Электрический пробой, в свою очередь, может быть лавинным или туннельным. Рассмотрим эти виды пробоя.

Лавинный пробой обусловлен лавинным размножением носителей в р-п-переходе в результате ударной ионизации атомов быстрыми носителями заряда. Он происходит следующим образом. Неосновные носители заряда, поступающие в р-п-переход при действии обратного напряжения, ускоряются полем и при движении в нем сталкиваются с атомами кристаллической решетки. При соответствующей напряженности электрического поля, носители заряда приобретают энергию, достаточную для отрыва валентных электронов. При этом образуются дополнительные пары носителей заряда – электроны и дырки, которые, ускоряясь полем, при столкновении с атомами также создают дополнительные носители заряда. Описанный процесс носит лавинный характер.

Лавинный пробой возникает в широких р–п–переходах, где при движении под действием электрического поля носители заряда, встречаясь с большим количеством атомов кристалла, в промежутке между столкновениями приобретают достаточную энергию для их ионизации.

В основе туннельного пробоя лежит непосредственный отрыв валентных электронов от атомов кристаллической решетки под действием сильного электрического поля. Образующиеся при этом дополнительные носители заряда (электроны и дырки) увеличивают обратный ток через р-п-переход. Туннельный пробой развивается в узких р-п-переходах, где при сравнительно небольшом обратном напряжении имеется высокая напряженность поля.

Лавинный и туннельный пробоем сопровождаются появлением почти вертикального участка 3–4 на обратной ветви вольт–амперной характеристики (рис. 4). Причина этого заключается в том, что небольшое повышение напряжения на р-п-переходе вызывает более интенсивную генерацию в нем носителей заряда при лавинном или туннельном пробое.

Оба эти вида пробоя являются обратимыми процессами. Это означает, что они не приводят к повреждению диода и при снижении обратного напряжения на диоде его свойства сохраняются.

Тепловой пробой возникает за счет интенсивной термогенерации носителей в р-п-переходе при недопустимом повышении температуры. Процесс развивается лавинообразно и ввиду неоднородности р-п-перехода обычно носит локальный характер. Лавинообразное развитие теплового пробоя обуславливается тем, что увеличение числа носителей заряда за счет повышения температуры вызывает увеличение обратного тока и, следовательно, еще больший разогрев участка р-п-перехода. Процесс заканчивается расплавлением этого участка и выхода прибора из строя.

Возможность теплового пробоя р-п-перехода учитывается указанием в паспорте на прибор допустимого обратного напряжения  $U_{обр.мах}$  и температурного диапазона работы. Величина допустимого обратного напряжения устанавливается с учетом исключения возможности электрического пробоя и составляет  $(0,5 \div 0,8) U_{пр}$

## 5. Типы диодов

Полупроводниковые диоды подразделяются на выпрямительные, импульсные и универсальные.

Выпрямительными называются диоды, предназначенные для выпрямления переменного тока низких частот. По величине предельного прямого тока различают диоды малой (до 0,3 А), средней (от 0,3 до 10 А) и большой (свыше 10 А) мощности. Основными параметрами выпрямительных диодов являются постоянное прямое напряжение  $U_{пр}$  при заданном прямом токе  $I_{пр}$  и постоянный обратный ток  $I_{обр}$  при заданном обратном напряжении  $U_{обр}$ . Предельные возможности диодов характеризуются постоянным (или средним) прямым током  $I_{пр.мах}$  ( $I_{пр.ср.мах}$ ) и максимальным допустимым обратным напряжением  $U_{обр.мах}$  (от 10 до 1000 В).

Импульсные диоды применяются выпрямления переменного тока высоких частот и для работы в электрических цепях с высокой скоростью изменения разнополярного напряжения. Они характеризуются теми же параметрами, что и выпрямительные диоды. Дополнительно для этих диодов приводится время восстановления обратного сопротивления  $t_{BOS}$  (1÷500 нс), заряд переключения  $Q_{ПЕР}$  (от единиц пикокулонов для арсенид-галлиевых диодов до единиц нанокулонов) и импульсное прямое напряжение  $U_{ПР.И}$  при заданном прямом импульсном токе.

## 6. Диоды Шоттки. Общие сведения. ВАХ

Диод Шоттки – полупроводниковый диод, выпрямляющие свойства которого основаны на использовании выпрямляющего электрического перехода между металлом и полупроводником. Диоды Шоттки, в сравнении с кремниевыми диодами, имеют меньше на 0,3÷0,5В прямое падение напряжения и на 2÷3 порядка больше обратные токи. Они обладают высоким быстродействием, т.е. малым временем перехода из проводящего состояния в непроводящее, и обратно. Преимущественное применение диодов Шоттки – низковольтные выпрямители. ВАХ диода Шоттки изображена на рис. 6.

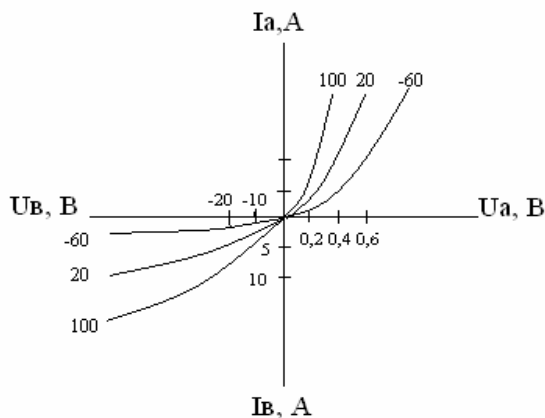


Рис 6. ВАХ диода Шоттки

## 7. Стабилитрон. ВАХ стабилитрона. Параметры стабилитрона

Стабилитрон – это полупроводниковый прибор, напряжение на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока в заданном его диапазоне. Стабилитрон – это кремниевый диод с большим содержанием примесей.

Стабилитрон предназначен для стабилизации напряжения. В стабилитронах при относительно небольших обратных напряжениях развивается электрический пробой (лавинный или туннельный). В этом случае изменение тока через стабилитрон происходит при почти неизменном напряжении. Если ограничить обратный ток через стабилитрон на уровне  $I_{cm} \leq I_{cm.max}$ , где  $I_{cm.max}$  – максимально допустимый обратный ток через стабилитрон, то тепловой пробой не наступает и стабилитрон может работать в режиме электрического пробоя неограниченное время. На рис 7 приведено условное графическое обозначение стабилитрона на схемах электрических принципиальных. Геометрические размеры элементов изображения соответствуют геометрическим размерам элементов изображения диода. Размер  $d$  из таблицы 1.

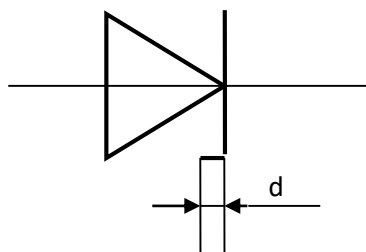


Рис. 7. Обозначение стабилитрона

Основные параметры стабилитрона:

1.  $U_{cm}$  – напряжение стабилизации – напряжение на стабилитроне при некотором постоянном обратном токе.

$$U_{cm} = 3 \div 100 \text{ В (см. рис.8.)};$$

2.  $I_{cm.min}$  – минимальный ток через стабилитрон. При минимальном токе начинается устойчивый электрический пробой;

$I_{cm.max}$  – максимальный ток через стабилитрон. При максимальном токе гарантировано не наступает тепловой пробой;

3. Дифференциальное сопротивление стабилитрона:  $R_{\partial} = dU_{cm} / dI_{cm}$ . Дифференциальное сопротивление определяется для рабочего участка ВАХ стабилитрона (участка между  $I_{cm.min}$  и  $I_{cm.max}$ ) и составляет  $0,5 \div 200 \text{ Ом}$ ;

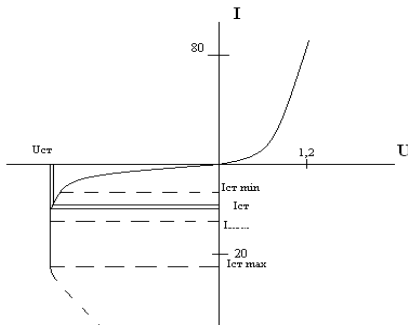


Рис. 8. ВАХ стабилитрона

## 8. Параметрический стабилизатор напряжения на основе стабилитрона

Параметрический стабилизатор напряжения состоит из балластного резистора  $R_{\partial}$  и стабилитрона  $VD$ . Параметрический стабилизатор напряжения предназначен для обеспечения стабильного напряжения на нагрузке при воздействии дестабилизирующих факторов, к которым относят изменение величины ЭДС источника и величины сопротивления нагрузки.

$$E = U_{R\bar{o}} + U_{cm} = R_{\bar{o}} \cdot I_{R\bar{o}} + U_{cm};$$

$$E = U_{R\bar{o}} + U_{cm} = R_{\bar{o}} \cdot I_{R\bar{o}} + U_{cm};$$

$$U_{cm} = U_H;$$

$$E, R_H - \text{var};$$

$$U_{R\bar{o}} = E - U_{cm};$$

$$I_{R\bar{o}} = I_{cm} + I_H;$$

Если  $E \uparrow \Rightarrow$  ток через стабилитрон увеличивается;

Если  $R_H \uparrow \Rightarrow$  ток через стабилитрон увеличивается;

$$I_{cm.\min} - E_{\min}, R_{\min};$$

$$I_{cm.\max} - E_{\max}, R_{\max};$$

## 9. Стабисторы. Общие сведения и основные параметры

Стабистор – полупроводниковый диод, прямое напряжение на котором мало зависит от тока, протекающего через него. При изготовлении стабисторов используется низкоомный кремний.

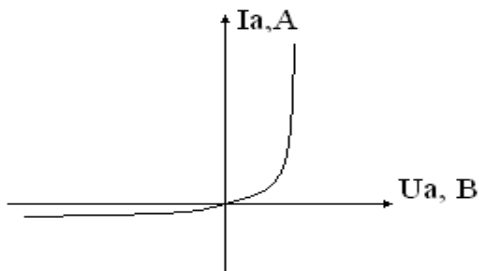


Рис. 11



У стабисторов напряжение стабилизации  $U_{ст} = (0,7 - 1,1)V$

Температурный коэффициент  $TKH < 0$ , т.е. по мере роста температуры напряжение на стабисторе уменьшается.

При необходимости получения большего напряжения стабилизации, осуществляют последовательное соединение стабисторов.

Варикап – полупроводниковый диод, в котором используется зависимость емкости р-п перехода от приложенного обратного напряжения. Варикап используется в качестве электрически управляемой емкости. На схеме электронной принципиальной варикап обозначается следующим образом (Рис. 12):

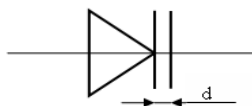


Рис. 12. Обозначение варикапа

Параметры варикапа:

1.  $C_{\theta}$  - емкость варикапа, измеренная при фиксированном обратном напряжении  $U_{обр}$  на варикапе (

$$U_{обр} \approx 2 \div 5V; C_{\theta} \approx 10 \div 50 \text{ Ф};$$

2. Коэффициент перекрытия емкости:

$$K_c = \frac{C_{\max}}{C_{\min}}; (K_c \approx 5 \div 20);$$

$C_{\max}$ ,  $C_{\min}$  - максимальные и минимальные емкости варикапа.

$C_{\max}$  обычно равна  $C_{\theta}$ , а  $C_{\min}$  - емкость варикапа при максимально

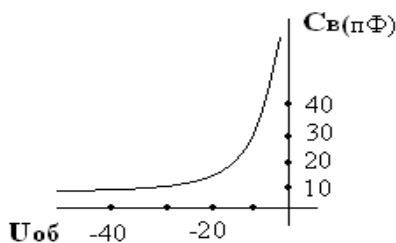
допустимом обратном напряжении.

3. Добротность варикапа:

$$Q_c = \frac{X_c(f_3)}{R_c(U_{обр})};$$

$X_c(f_3)$  - реактивное сопротивление варикапа на некоторой заданной частоте;

$R_c(U_{обр})$  - активное сопротивление варикапа при некотором обратном напряжении  $U_{обр} \approx 2 \div 5$  В. Добротность варикапа лежит в диапазоне от 10 до 100.



1.26

Рис.13

Добротность варикапа

$$\frac{1}{C_{ав}} = \frac{1}{C_в} + \frac{1}{C_{всп}} ;$$

$$C_{ав} = \frac{C_{всп} \cdot C_в}{C_{всп} + C_в} ;$$

### Вопросы для повторения:

1. Что называется параметрическим стабилизатором?
2. Из чего состоит параметрический стабилизатор напряжения?
3. Что называется варикапом?
4. Что называется дифференциальным сопротивлением?
5. Для чего предназначен стабилитрон?
6. Что называется диодом Шоттки?
7. Назначение выпрямительных диодов?
8. Из за чего возникает тепловой пробой?
9. Что называется полупроводниковым диодом?

## 1.5. Транзисторы

План лекции:

1. Полупроводниковые транзисторы.
2. Биполярный транзистор. Графическое обозначение на принципиальных схемах.
3. Принцип действия биполярного транзистора.
4. Статические вольтамперные характеристики транзистора.
5. ВАХ для схемы с общей базой.
6. Униполярные (полевые) транзисторы.
7. Транзисторы с управляющим р-п-переходом.
8. МДП-транзисторы.

### 1. Полупроводниковые транзисторы

Транзисторами называют полупроводниковые приборы, применяемые для усиления и генерирования электрических колебаний. Транзисторы подразделяются на биполярные и полевые (униполярные).

### 2. Биполярный транзистор. Графическое обозначение на принципиальных схемах

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р-п-переходами и тремя выводами, усилительные свойства которого обусловлены выпрямляющими свойствами р-п-перехода. В отличие от полевого транзистора в переносе электрической энергии участвуют два типа носителей заряда (электроны и дырки).

На рисунке 1 изображена структура и условное обозначение транзисторов р-п-р (рис. 1.а) и п-р-п-типа (рис.1.б). К каждой из областей припаяны выводы, с помощью которых транзистор включается в схему. Биполярный транзистор представляет собой монокристалл кремния или германия, в котором созданы три области с чередующимися типами проводимости (р-п-р и п-р-п).

Средняя область имеет проводимость противоположную крайним областям. Среднюю область называют базой, а крайние - эмиттером и коллектором. Между эмиттером и базой создается электронно-дырочный переход, называемый эмиттерным. Переход между коллектором и базой называют коллекторным переходом. Каждый из р-п переходов может быть смещен в прямом, либо обратном направлении. Проводимость базовой области может быть как электронной, так и дырочной, соответственно этому транзисторы бывают р-п-р и п-р-п-типа.

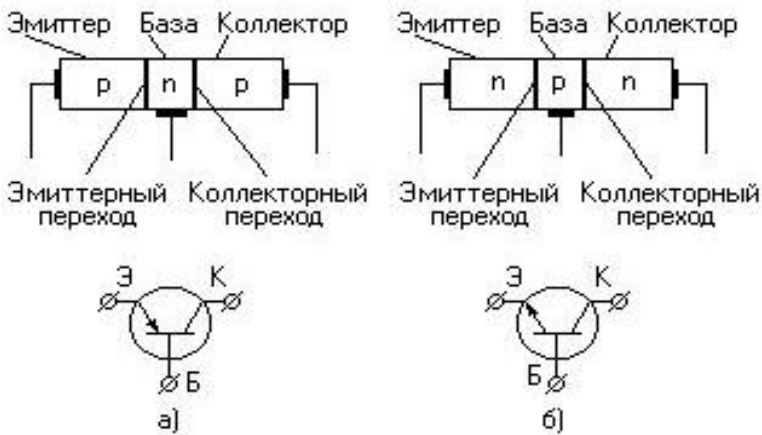


Рис. 1. Структура и условное обозначение транзисторов : а) р-п-р типа б) п-р-п-типа

Различают три режима работы биполярного транзистора:

- 1) режим отсечки – оба перехода смещены в обратном направлении, при этом через переходы проходят небольшие токи, вызванные неосновными носителями заряда.
- 2) Режим насыщения – оба перехода смещены в прямом направлении, при этом через электронный транзистор проходят большие токи.
- 3) Активный режим – один из переходов смещен в прямом направлении (обычно эмиттерный), а другой в обратном направлении.

### 3. Принцип действия биполярного транзистора

Принцип работы транзисторов обоих типов одинаков. Различие между ними заключается в том, что в транзисторе p-n-p ток создается преимущественно дырками, а в транзисторе n-p-n преимущественно электронами. Принцип действия биполярного транзистора основан на использовании физических процессов, происходящих при переносе основных носителей электрических зарядов из эмиттерной области в коллекторную область через базу.

Принцип действия биполярного транзистора рассмотрим на примере структуры типа p-n-p (рис. 2, а). Сначала покажем распределение концентрации носителей заряда в слоях транзисторной структуры и разности потенциалов, создаваемой объемными зарядами p-n-переходов, в отсутствие внешних напряжений (рис. 2, б, в).

Обозначение концентрации основных и неосновных носителей заряда здесь то же, что и для диода. Индекс «0» в обозначениях указывает на распределение концентраций в слоях в отсутствие внешних напряжений. Соотношение концентраций основных носителей заряда в эмиттерном и коллекторном слоях транзистора несущественно, и на рис. 2, б они приняты одинаковыми. Отличие же в концентрациях основных носителей заряда эмиттерного и базового слоев весьма важно, так как оно влияет (что будет показано в дальнейшем) на параметры транзистора, в частности на коэффициент передачи тока  $\alpha$ . Концентрация основных носителей заряда в базе должна быть много меньше концентрации основных носителей заряда в эмиттере, т. е.  $p_{p0} \gg n_{n0}$ . Таким образом, для транзистора базовый слой должен быть более высокоомным, чем эмиттерный. Это достигается за счет использования высокоомного исходного полупроводника n-типа. С учетом того, что для определенной температуры произведение  $np$  — величина постоянная, полная картина распределения концентраций в слоях транзистора будет иметь вид, показанный на рис. 2, б.

В отсутствие внешних напряжений на границах раздела трех слоев образуются объемные заряды, создается внутреннее электрическое поле и между слоями действует внутренняя разность потенциалов. Потенциальный барьер в каждом из переходов

устанавливается такой величины, чтобы обеспечивалось равновесие диффузионного и дрейфового потоков носителей заряда,

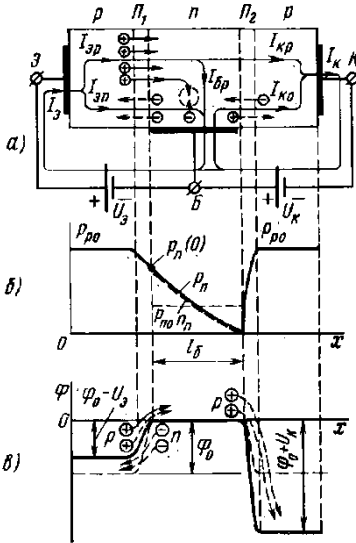


Рис. 2. Транзисторная структура Типа р-п-р(а), распределение Концентраций носителей заряда (б) и внутренней разности потенциалов (в) в отсутствие внешних напряжений.

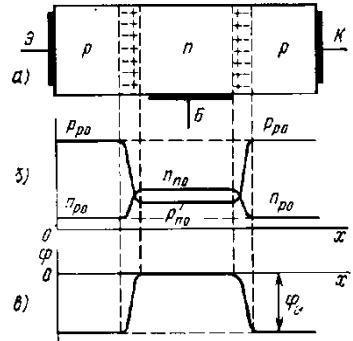


Рис. 3. Транзисторная Структура типа р-п-р(а), распределение концентраций носителей заряда (б) и внутренней разности потенциалов (в) при наличии внешних напряжений.

движущихся через переход и в противоположных направлениях, т. е. равенство нулю протекающего через них тока. Поскольку концентрации основных(и неосновных) носителей заряда в эмиттерном и коллекторном слоях приняты одинаковыми, потенциальные барьеры в обоих р-п-переходах согласно выражению будут равны. Если за нулевой уровень отсчета принять потенциал базы, то распределение разности потенциалов в транзисторе в отсутствие внешних напряжений будет иметь вид показанный на рис. 2, в.

Внешние напряжения подключают к транзистору таким образом, чтобы обеспечивалось смещение эмиттерного перехода в прямом направлении, а коллекторного перехода — в обратном направлении. Это достигается с помощью двух источников напряжения  $U_{\text{Э}}$  и  $U_{\text{К}}$  (рис. 3,а). Источник напряжения  $U_{\text{Э}}$  подключается положительным полюсом к эмиттеру, а отрицательным к базе. Источник напряжения  $U_{\text{К}}$  подключается положительным полюсом к базе, а отрицательным — к коллектору (схема с общей базой).

#### **4. Статические вольтамперные характеристики транзистора**

Вольт-амперные характеристики представляют собой графики зависимости токов от напряжений, действующих в цепях транзистора. Различают входные и выходные характеристики транзисторов. Входные характеристики показывают зависимость входного тока от входного напряжения при неизменном напряжении на коллекторе. Выходные характеристики характеризуют зависимость выходного тока от напряжения на коллекторе при неизменной величине входного тока или напряжения. В соответствии с тремя схемами включения транзистора различают характеристик для схемы с общей базой, с общим эмиттером и общим коллектором. Следует отметить, что на практике для схемы с общим коллектором применяют характеристики, снятые для схемы с общим эмиттером, поскольку в этих схемах входным током является ток базы, а ток эмиттера по величине мало отличается от коллекторного тока.

#### **5. ВАХ для схемы с общей базой**

Входная характеристика определяется зависимостью тока эмиттера от напряжения между эмиттером и базой при постоянном напряжении между коллектором и базой (рис.5,а): Вольт-амперная характеристика при  $U_{\text{КБ}} = 0$  аналогична характеристике полупроводникового диода при прямом его включении. Эмиттерный ток экспоненциально возрастает с увеличением напряжения между эмиттером и базой. В области больших прямых токов входные характеристики близки к линейным. Характеристики, снятые при разных значениях  $U_{\text{КБ}}$ , смещены незначительно друг от друга. Влияние коллекторного напряжения на смещение ха-

рактических объясняется слабым воздействием поля коллекторного перехода на область эмиттерного перехода.

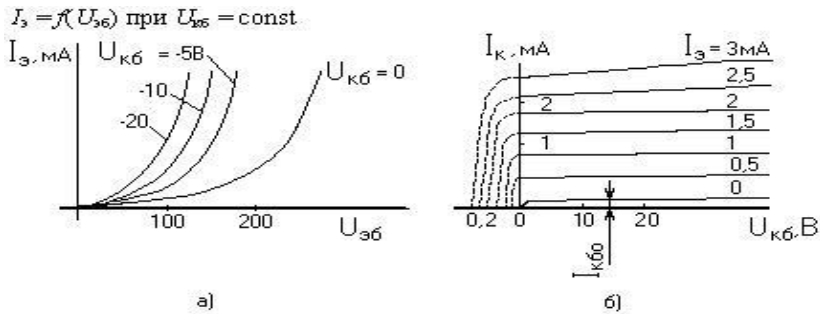


Рис. 4. ВАХ полупроводникового триода с общей базой

Увеличение коллекторного напряжения и повышение температуры смещает характеристики в направлении оси тока. Входная характеристика при  $U_{БЭ} < 0$  представляет собой характеристику р-п-перехода, включенного в обратном направлении.

Выходные (коллекторные) характеристики схем с общей базой показывают зависимость коллекторного тока от напряжения между коллектором и базой при неизменном токе эмиттера:  $I_{к} = f(U_{кб})$  при  $I_{э} = \text{const}$ . Семейства выходных характеристик представлены на рис.5,б.

При токе  $I_{э} = 0$  и обратном напряжении на коллекторе через коллекторный переход проходит  $I_{кб0}$  - обратный ток, величина которого слабо зависит от коллекторного напряжения. Насыщение коллекторного тока происходит при малых значениях  $U_{кб}$ . Обратный ток обусловлен движением неосновных носителей зарядов коллекторной и базовой областей. С ростом эмиттерного тока растет и коллекторный ток. При увеличении напряжения  $U_{кб}$  коллекторный ток практически не изменяется. Слабая зависимость коллекторного тока от  $U_{кб}$  объясняется тем, что количество инжектируемых эмиттером носителей заряда, создающих коллекторный ток, мало зависит от напряжения между коллектором и базой. Выходные характеристики имеют незначительный наклон. Малый наклон характеристик коллекторного



тока указывает на большое (десятки килоОм - единицы мегаОм) сопротивление коллекторного перехода. При увеличении температуры выходные характеристики смещаются в направлении больших коллекторных токов, так как при этом увеличивается  $I_{КБ0}$ , обусловленный неосновными носителями зарядов. Схема с общей базой обладает хорошей линейностью выходных характеристик, что способствует уменьшению нелинейных искажений при работе усилителя, собранного по схеме с общей базой.

## 6. ВАХ для схемы с общим эмиттером

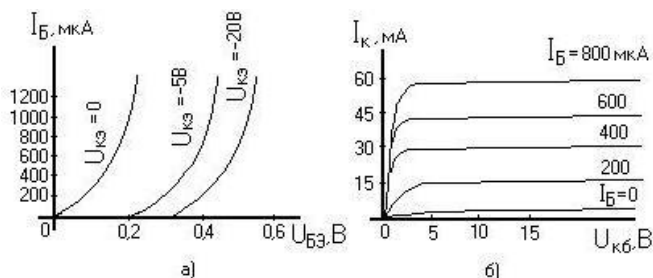


Рис. 5. ВАХ полупроводникового триода с общим эмиттером.

На рис. 5 показаны семейства входных и выходных характеристик транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером.

Входной характеристикой данной схемы (рис. 5,а) является график зависимости тока базы от напряжения между базой и эмиттером  $I_B = f(U_{BE})$  при неизменном напряжении на коллекторе. При  $U_{КЭ} = 0$  входная характеристика идет от начала координат и представляет вольт-амперную характеристику прямого тока эмиттерного и коллекторного переходов. Этим можно объяснить то, что входная характеристика, снятая при  $U_{КЭ} = 0$ , занимает крайнее левое положение в семействе входных характеристик. При увеличении коллекторного напряжения входные характеристики сдвигаются вправо, так как с ростом напряжения вероятность рекомбинаций неосновных носителей в области базы

уменьшается, что приводит к уменьшению тока базы и росту коллекторного тока. Однако следует отметить, что входные характеристики при  $U_{кэ} > 0$  располагаются близко друг к другу.

На рис. 5,6 показано семейство выходных (коллекторных) характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Каждая коллекторная характеристика характеризует зависимость коллекторного тока от напряжения на коллекторе при определенном токе базы:  $I_K = f(U_{кэ})$  при  $I_B = \text{const}$ . Коллекторные характеристики схемы с общим эмиттером выходят из начала координат, которые при малых  $U_{кэ}$  идут более круто, чем при больших коллекторных напряжениях. С ростом базового тока коллекторные характеристики располагаются выше, так как увеличение базового тока есть следствие увеличения тока эмиттера, а следовательно, и тока коллектора. Необходимо отметить, что при базовом токе, равном нулю, в схеме с общим эмиттером через транзистор от эмиттера к коллектору проходит начальный ток, называемый сквозным  $I_{кэ0}$ . Сквозной ток значительно больше обратного тока р-п-перехода –  $I_{кб0}$ . Увеличение начального тока является недостатком схемы с общим эмиттером по сравнению с общей базой. В заключение отметим, что семейства статических характеристик используют при определении статических параметров транзисторов, а также при графоаналитическом расчете электронных схем, работающих на транзисторах.

## 7. Униполярные (полевые) транзисторы

Патент на устройство, аналогичное униполярному ПТ с изолированным затвором, был получен английским учёным О. Хейлом в 1939 году, задолго до появления биполярного транзистора. В 1952 году Шокли дал теоретическое описание униполярного полевого транзистора, а в 1955 Дейси и Росс изготовили и провели аналитическое рассмотрение характеристик транзисторов, которые впоследствии получили название полевых транзисторов с управляющим р-п переходом.

В 1960 году М.Аталла и Д.Кант предложили использовать структуру металл - диэлектрик - полупроводник, в которой проводимость поверхностного канала изменялась в полупроводнике под действием напряжения, приложенного к металлическому электроду, изолированному тонким слоем окисла полупроводника.

Полевой транзистор - это полупроводниковый прибор, в котором ток основных носителей, протекающих через канал, управляется электрическим полем. Основа такого транзистора - созданный в полупроводнике и снабжённый двумя выводами (исток и сток) канал с электропроводностью n - или p - типа. Сопротивлением канала управляет третий электрод - затвор, соединенный с его средней частью p - n переходом. Поскольку ток канала обусловлен носителями только одного знака, ПТ относят к классу униполярных транзисторов.

В идеальном случае эффект управления током достигается без потери энергии (входной ток почти равен нулю). Электрод, от которого начинается движение носителей заряда, называют истоком, а электрод, на который подаётся управляющий электрический сигнал, называется затвором. Электрод, к которому движутся носители заряда называется стоком. Проводящий канал - это область в полупроводнике, в которой регулируется поток носителей заряда. В связи с тем, что управление током в выходной цепи осуществляется входным напряжением (аналогично электровакуумным приборам) и входные токи ПТ чрезвычайно малы, параметры и характеристики полевых транзисторов существенно отличаются от характеристик биполярных транзисторов.

ПТ обладают следующими преимуществами по сравнению с биполярными:

- высокое входное сопротивление по постоянному току и на высокой частоте, отсюда и малые потери на управление;
- высокое быстродействие (благодаря отсутствию накопления и рассасывания неосновных носителей);
- почти полная электрическая развязка входных и выходных цепей, малая проходная ёмкость (т.к. усилительные свойства ПТ обусловлены переносом основных носителей заряда, верхняя граница эффективного усиления мощных ПТ выше, чем у биполярных, и применение ключевых усилителей на ПТ при тех же напряжениях питания возможно на частотах около 400 мГц, в то время как на биполярных транзисторах разработка ключевых генераторов частотой выше 100 мГц является весьма сложной задачей);
- высокая температурная стабильность;
- малый уровень шумов.

По принципу действия и технологии изготовления ПТ

можно разделить на 2 группы:

- ПТ с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки;
- ПТ с изолированным затвором и структурой металл - диэлектрик - полупроводник (МДП - транзистор). Иногда его называют МОП - транзистором (металл - окисел - полупроводник).

В свою очередь ПТ с изолированным затвором подразделяются на:

- с индуцированным каналом (обогащённого типа);
- со встроенным каналом (обеднённого типа).

В настоящее время выпускается большое количество ПТ разного типа:

- канал проводимости обогащённого типа;
- канал проводимости обеднённого типа;
- переход PN;
- переход NP;
- P - канал на подложке;
- N - канал на подложке;
- затвор изолированный.

Облегчить задачу выбора ПТ в зависимости от их конструкции и технологии изготовления поможет таблица , в которой приведены характерные структуры ПТ, их режимы работы и полярность напряжений на электродах транзисторов относительно истока:

Таблица 2.1

Тип ПТ	Канал	Подложка	Режим	Uзи	Uзи отс (Uзи пор)	Uсм	Uпи
С управляющим р-п переходом	n	p	обедн.	<0	<0	>0	—
	p	n	обедн.	>0	>0	<0	—
МДП транзистор с индуцированным каналом (с изолир. затв. обогащ. типа	n	p	обогащ.	>0	(>0)	>0	≤0
	p	n	обогащ.	<0	(<0)	<0	≥0
МДП - транзистор со встроенным каналом (с изолированным затвором обеднённого типа	n	p	обедн.	<0	<0	>0	≤0
			обогащ.	>0			
	p	n	обедн.	>0	>0	<0	≥0
			обогащ.	<0			

## 8. Транзисторы с управляющим р-п-переходом

Анализ работы полевого транзистора с р-п-переходом проведем на его модели, показанной на рис.6,а. В приведенной конструкции транзистора канал для прохождения тока представляет собой слой полупроводника п-типа, заключенный между двумя р-п-переходами. Канал имеет контакты с внешними электродами прибора. Электрод, от которого начинают движение носители заряда (в данном случае электроны), называют истоком, а электрод, к которому они движутся — стоком. Полупроводниковые слои р-типа, образующие с п-слоем два р-п-перехода, созданы с более высокой концентрацией примеси, чем п-слой. Оба р-слоя электрически связаны между собой и имеют общий внешний электрод, называемый затвором. Подобную конструкцию имеют и полевые транзисторы с каналом р-типа.

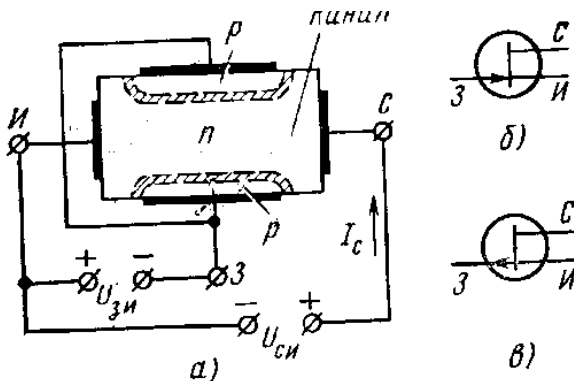


Рис. 6. Конструкция полевого транзистора с р-п-переходом (а); условные обозначения полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа (б), с р-п-переходом и каналом р-типа (в)

Полярность внешних напряжений, подводимых к транзистору, показана на рис. 7, а. Управляющее (входное) напряжение подается между затвором и истоком. Напряжение  $U_{зи}$  является обратным для обоих р-п-переходов. В выходную цепь, в которую входит канал транзистора, включается напряжение  $U_{си}$  положительным полюсом к стоку.

Управляющие свойства транзистора объясняются тем, что при

изменении напряжения  $U_{зи}$  изменяется ширина его р-п-переходов, представляющих собой участки полупроводника, обедненные носителями заряда. Поскольку р-слой имеет большую концентрацию примеси, чем п-слой, изменение ширины р-п-переходов происходит в основном за счет более высокоомного п-слоя (эффект модуляции ширины базы). Тем самым изменяется сечение токопроводящего канала и его проводимость, что позволяет изменять ток  $I_c$  стока прибора.

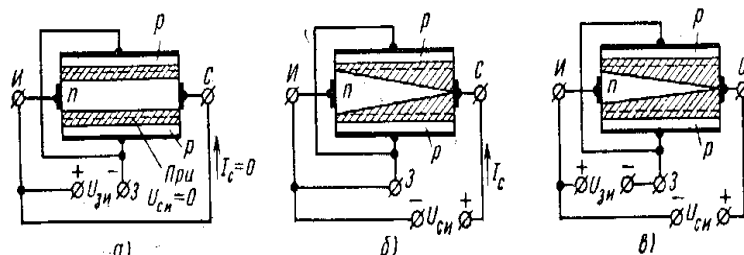


Рис. 7. Поведение полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа при подключении внешних напряжений: а —  $U_{зи} < 0$ ,  $U_{си} = 0$ ; б —  $U_{зи} = 0$ ,  $U_{си} > 0$ ; в —  $U_{зи} < 0$ ,  $U_{си} > 0$

Особенностью полевого транзистора является то, что на проводимость канала оказывает влияние как управляющее напряжение  $U_{зи}$ , так и напряжение  $U_{си}$ . Влияние подводимых напряжений на проводимость канала иллюстрирует рис. 7, а—в, где для простоты не показаны участки п-слоя, расположенные вне р-п-переходов.

На рис. 7, а внешнее напряжение приложено только к входной цепи транзистора. Изменение напряжения  $U_{зи}$  приводит к изменению проводимости канала за счет изменения на одинаковую величину его сечения по всей длине канала. Но выходной ток  $I_c = 0$ , поскольку  $U_{си} = 0$ .

Рис. 7, б иллюстрирует изменение сечения канала при воздействии только напряжения  $U_{си}$  ( $U_{зи} = 0$ ). При  $U_{си} > 0$  через канал протекает ток  $I_c$ , в результате чего создается падение напряжения, возрастающее в направлении стока. Суммарное падение напряжения участка исток — сток равно  $U_{си}$ . В силу этого потенциалы точек канала п-типа будут неодинаковыми по его длине, возрастающая в направлении стока от нуля до  $U_{си}$ . Потенциал же точек р-

области относительно истока определяется потенциалом затвора относительно истока и в данном случае равен нулю. В связи с указанным обратное напряжение, приложенное к р-п-переходам, возрастает в направлении от истока к стоку и р-п-переходы расширяются в направлении стока. Данное явление приводит к уменьшению сечения канала от истока к стоку (рис. 7, б). Повышение напряжения  $U_{си}$  вызывает увеличение падения напряжения в канале и уменьшение его сечений, а, следовательно, уменьшение проводимости канала. При некотором напряжении  $U_{си}$  (соответствующим точке б на рис.7) происходит сужение канала, при котором границы обоих р-п-переходов смыкаются (рис. 7, б) и сопротивление канала становится высоким.

На рис. 7, в отражено результирующее влияние на канал обоих напряжений  $U_{зи}$  и  $U_{си}$ . Канал показан для случая смыкания р-п-переходов.

Рассмотрим вольтамперные характеристики полевых транзисторов с р-п-переходом. Для этих транзисторов представляют интерес два вида вольтамперных характеристик: стоковые и стокозатворные.

Стоковые (выходные) характеристики полевого транзистора с р-п-переходом и каналом n-типа показаны на рис. 8. Они отражают зависимость тока стока от напряжения сток — исток при фиксированном напряжении затвор — исток  $I_c = F(U_{си})$  при  $U_{зи} = \text{const}$  представляются в виде семейства кривых. На каждой из этих кривых можно выделить три характерные области: I — сильная зависимость тока  $I_c$  от напряжения  $U_{си}$  (начальная область); II — слабая зависимость тока  $I_c$  от напряжения  $U_{си}$ ; III — пробой р-п-перехода.

Рассмотрим выходную характеристику полевого транзистора при  $U_{зи} = 0$  (1-35, б). В области малых напряжений  $U_{си}$  (участок 0—а) влияние напряжения  $U_{си}$  на проводимость канала незначительно, и в связи с чем здесь имеется практически линейная зависимость  $I_c = F(U_{си})$ . По мере увеличения напряжения  $U_{си}$  (участок а—б) сужение токопроводящего канала оказывает все более существенное влияние на его проводимость, что приводит к уменьшению крутизны нарастания тока.

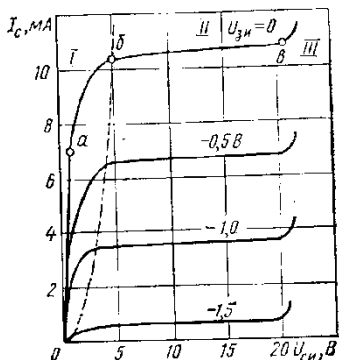


Рис. 8. Семейство стоковых (выходных) характеристик полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа

При подходе к границе с участком II (точка б) сечение токопроводящего канала уменьшается до минимума в результате смыкания обоих р-п-переходов. Дальнейшее повышение напряжения на стоке не должно приводить к увеличению тока через прибор, так как одновременно с ростом напряжения  $U_{дн}$  будет увеличиваться сопротивление канала. Некоторое увеличение тока  $I_c$  на экспериментальных кривых объясняется наличием различного рода утечек и влиянием сильного электрического поля в р-п-переходах, прилегающих к каналу.

Участок III резкого увеличения тока  $I_c$  характеризуется лавинным пробоем области р-п-переходов вблизи стока по цепи сток — затвор. Напряжение пробоя соответствует точке в.

Приложение к затвору обратного напряжения вызывает сужение канала (см. рис. 8, а) и уменьшение его исходной проводимости. Поэтому начальные участки кривых, соответствующих большим напряжениям на затворе, имеют меньшую крутизну нарастания тока (рис. 8). Ввиду наличия напряжения  $U_{зи}$  перекрытие канала объемным зарядом р-п-переходов (см. рис. 7, б) происходит при меньшем напряжении и границе участков I и II будут соответствовать меньшие напряжения сток — исток. Напряжениям перекрытия канала соответствуют абсциссы точек пересечения стоковых характеристик с пунктирной кривой, показанной на рис. 7. При меньших напряжениях наступает и режим пробоя транзистора по цепи сток — затвор.



Важным параметром полевого транзистора является напряжение на затворе, при котором ток стока близок к нулю. Оно соответствует напряжению запирающего прибора по цепи затвора и называется напряжением запирающего или отсечки  $U_{зи0}$ . Числовое значение  $U_{зи0}$  равно напряжению  $U_{си}$  в точке б вольт-амперной характеристике при  $U_{зи}=0$ .

Поскольку управление выходным током полевых транзисторов производится напряжением входной цепи, для них представляет интерес так называемая переходная или стоко-затворная характеристика. Стокозатворная характеристика полевого транзистора показывает зависимость тока стока от напряжения затвор — исток при фиксированном напряжении сток — исток:  $I_c = F(U_{си})$  при  $U_{зи} = \text{const}$ . Примерный вид этой характеристики показан на рис. 9. Стоко-затворная характеристика связана с выходными характеристиками полевого транзистора и может быть построена по ним.

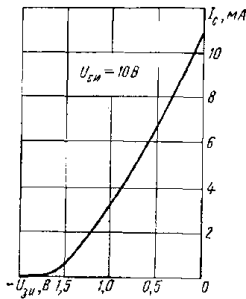


Рис. 9. Стоко-затворная характеристика полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа.

Построение стоково-затворной характеристики показано на следующем рисунке.

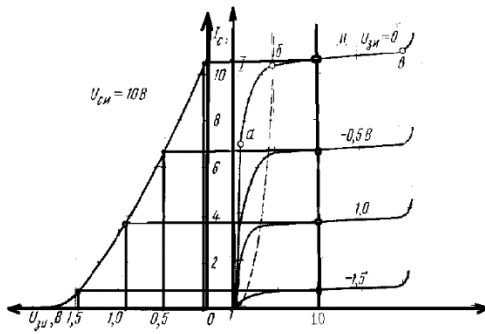


Рис.10. Построение стоковозатворной характеристики

Основными параметрами полевого транзистора являются: максимальный ток стока  $I_{c \text{ max}}$ , максимальное напряжение стока

$U_{си\ max}$ , напряжение отсечки  $U_{зи0}$ , внутреннее сопротивление  $r_i$ , крутизна  $S$ , входное сопротивление  $r_{вх}$ , а также межэлектродные емкости затвор — исток  $C_{зи}$ , затвор — сток  $C_{зс}$  и сток — исток  $C_{си}$ .

Максимальное значение тока стока  $I_{с\ max}$  соответствует его значению в точке  $v$  на выходных характеристиках (при  $U_{си}=0$ ). Максимальное значение напряжения сток — исток  $U_{си\ max}$  выбирают в 1,2—1,5 раза меньше напряжения пробоя участка сток — затвор при  $U_{зи}=0$ . Напряжению отсечки  $U_{зи0}$  соответствует напряжение на затворе при токе стока, близком нулю. Внутреннее сопротивление

$r_i = \frac{dU_{cu}}{dI_c} \Big|_{U_{зи}} = const$  транзистора характеризует

наклон выходной характеристики на участке II (см. рис. 8). Кру-

тизна стокозатворной характеристики  $s = \frac{dI_c}{dU_{зи}} \Big|_{U_{cu}} = const$  от-

ражает влияние напряжения затвора на выходной ток транзистора. Крутизну  $S$  находят по сток-затворной характеристике прибора (рис. 9). Входное сопротивление  $r_{вх} = dU_{зи}/dI_з$  транзистора определяется сопротивлением р-п-переходов, смещенных в обратном направлении. Входное сопротивление полевых транзисторов с р-п-переходом довольно велико, что выгодно отличает их от биполярных транзисторов. Межэлектродные емкости  $C_{зи}$  и  $C_{зс}$  связаны главным образом с наличием в приборе р-п-переходов (см. рис. 6), примыкающих соответственно к истоку и стоку.

Влияние температуры на характеристики и параметры рассматриваемого класса транзисторов обуславливается температурными зависимостями контактной разности потенциалов ( $\varphi$ ) и подвижности носителей заряда (электронов или дырок).

Величина  $\varphi_0$  фактически является одной из составляющих напряжения обратносмещенных р-п-переходов. Изменение  $\varphi_0$  в зависимости от температуры приводит к изменению напряжения на переходах и их ширины, а следовательно, к изменению сечения токопроводящего канала и его проводимости. С ростом температуры контактная разность потенциалов  $\varphi_0$  уменьшается, что сказывается на увеличении сечения канала и

повышении его проводимости. Вследствие уменьшения подвижности носителей заряда проводимость канала уменьшается с повышением температуры.

Влияние температуры на характеристики и параметры полевого транзистора оказывается достаточно сложным и по-разному проявляется в конкретных типах приборов этого класса. Температурные зависимости характеристик и параметров транзисторов приводятся в справочниках.

Статические стоко - затворные характеристики основных трёх типов ПТ:

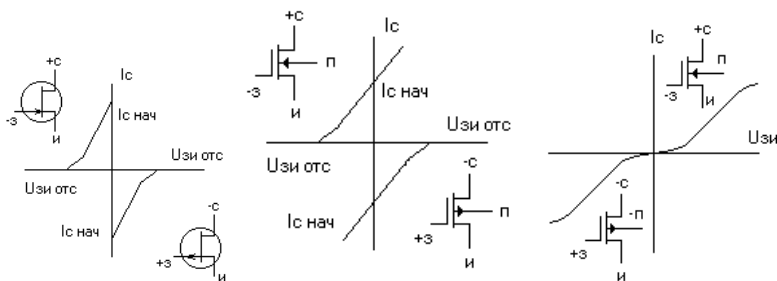


Рис. 11. Статические стоко-затворные характеристики трех типов полевых транзисторов

Характерной особенностью ПТ с управляющим p-n переходом, а также с изолированным затвором и встроенным каналом является наличие начального тока стока  $I_c \text{ нач}$  при отсутствии управляющего сигнала на затворе и при условии  $U_{зи} \text{ нас} \leq U_{зи} = \text{const}$ , где  $U_{зи} \text{ нас}$  - напряжение "сток - исток" на границе области насыщения.

В ПТ с управляющим p-n переходом управляющая цепь отделена от канала обратным смещённым p-n переходом (поляризованном в направлении запирающего p-n- или n-p- перехода), при этом канал расположен в объёме полупроводника и существует при нулевом напряжении на затворе, т.е. является встроенным каналом.

В силу конструктивных особенностей транзисторов с управляющим p-n переходом они обычно работают в режиме обеднения проводящего канала, т.е. при подаче запирающего

напряжения на затвор. При этом электропроводность канала ПТ уменьшается и не превышает  $I_{с\text{ нач}}$ , таким образом проводимость достигается инвертированием электрического поля:

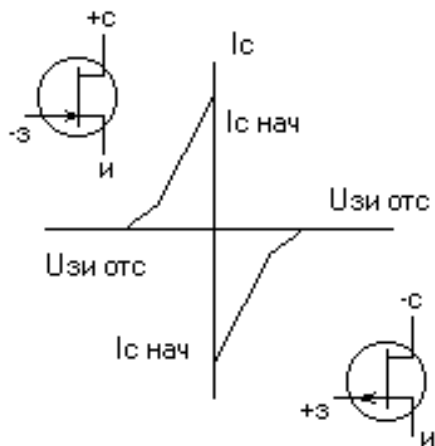


Рис. 12. Стоко - затворная характеристика транзистора с управляемым р-п переходом

Применение металлического затвора создаёт с полупроводником канала выпрямляющий контакт (диод Шоттки) и позволяет существенно уменьшить размеры структуры.

## 9. МДП-транзисторы

МДП-транзистор – это униполярный транзистор, имеющий 1 или несколько металлических затворов, изолированных от полупроводникового канала слоем диэлектрика. В отличие от полевых транзисторов с р-п-переходом, в которых затвор имеет непосредственный электрический контакт с близлежащей областью токопроводящего канала, в МДП-транзисторах затвор изолирован от указанной области слоем диэлектрика. По этой причине МДП-транзисторы относят к классу полевых транзисторов с изолированным затвором. МДП-транзисторы (структура металл —

диэлектрик — полупроводник) выполняют из кремния. В качестве диэлектрика используют окисел кремния  $\text{SiO}_2$ .

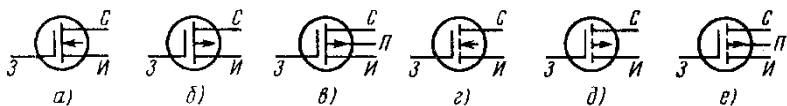


Рис. 13. Условные обозначения МДП-транзисторов со встроенным каналом *п*-типа (а), *р*-типа (б) и выводом от подложки (в); с индуцированным каналом *п*-типа (г), *р*-типа (д) и выводом от подложки (е).

Отсюда другое название этих транзисторов — МОП-транзисторы (структура металл — окисел — полупроводник). Наличие диэлектрика обеспечивает высокое входное сопротивление рассматриваемых транзисторов ( $10^{12}$ — $10^{14}$  Ом).

Принцип действия МДП-транзисторов основан на эффекте изменения проводимости приповерхностного слоя полупроводника на границе с диэлектриком под воздействием поперечного электрического поля. Приповерхностный слой полупроводника является токопроводящим каналом этих транзисторов. МДП-транзисторы выполняют двух типов — со встроенным и с индуцированным каналом.

МДП-транзисторы представляют собой в общем случае четырехэлектродный прибор. Четвертым электродом (подложкой), выполняющим вспомогательную функцию, является вывод от подложки исходной полупроводниковой пластины. МДП-транзисторы могут быть с каналом *п*- или *р*-тапа. Условные обозначения МДП-транзисторов показаны на рис. 13, а—е.

МДП-транзистор со встроенным каналом.

Рассмотрим особенности МДП-транзисторов со встроенным каналом. Конструкция такого транзистора с каналом *п*-типа показана на рис. 14, а. В исходной пластине кремния *р*-типа с помощью диффузионной технологии созданы области истока, стока и канала *п*-типа. Слой окисла  $\text{SiO}_2$  выполняет функции защиты поверхности, близлежащей к истоку и стоку, а также изоляции за-

твора от канала. Вывод подложки (если он имеется) иногда присоединяют к истоку.

Стоковые (выходные) характеристики полевого транзистора со встроенным каналом *n*-типа для случая соединения подложки с истоком показаны на рис. 14, б. По виду эти характеристики близки к характеристикам полевого транзистора с *p*-*n*-переходом. Рассмотрим характеристику при  $U_{зи}=0$ , что соответствует соединению затвора с истоком. Внешнее напряжение приложено к участку исток — сток положительным полюсом к стоку. Поскольку  $U_{зи}=0$ , через прибор протекает ток, определяемый исходной проводимостью канала. На начальном участке 0—а, когда падение напряжения в канале мало, зависимость  $I_c(U_{си})$  близка к линейной. По мере приближения к точке б падение напряжения в канале приводит к наиболее существенному влиянию его сужения

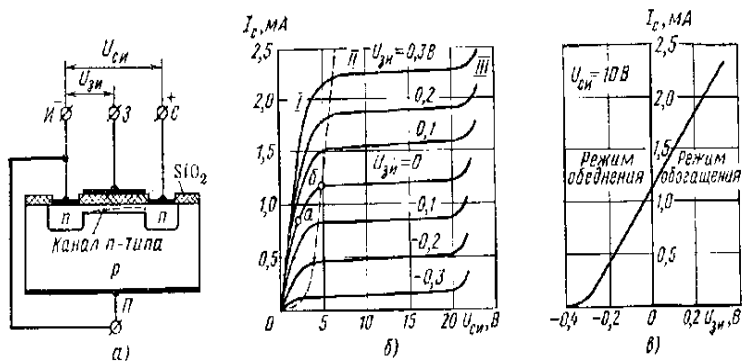


Рис. 14. Конструкция МДП-транзистора со встроенным каналом *n*-типа (а); семейство его стоковых характеристик (б); стоко-затворная характеристика (в) .

(пунктир на рис. 14, а) на проводимость канала, что уменьшает крутизну нарастания тока на участке а—б. После точки б токопроводящий канал сужается до минимума, что вызывает ограничение нарастания тока и появление на характеристике пологого участка II.

МДП-транзисторы обоих типов выпускаются на тот же диапазон токов и напряжений, что и транзисторы с р-п-переходом. Примерно такой же порядок величин имеют крутизна  $S$  и внутреннее сопротивление  $r_i$ . Что касается входного сопротивления и межэлектродных емкостей, то МДП-транзисторы имеют лучшие показатели, чем транзисторы с р-п-переходом. Как указывалось, входное сопротивление у них составляет  $10^{12}$ — $10^{14}$  Ом. Значение межэлектродных емкостей не превышает: для  $C_{зи}$ ,  $C_{си}$  — 10 пФ, для  $C_{зс}$  — 2 пФ. Схема замещения МДП-транзисторов аналогична схеме замещения полевых транзисторов с р-п-переходом (см. рис. 10). МДП-транзисторы широко применяются в интегральном исполнении. Микросхемы на МДП-транзисторах обладают хорошей технологичностью, низкой стоимостью, способностью работы при более высоком напряжении питания, чем микросхемы на биполярных транзисторах.

К достоинствам  $V$  - МДП транзисторов можно отнести следующее:

- большие коммутируемые мощности;
- малое сопротивление во включённом состоянии;
- малую мощность по цепи управления;
- высокое быстродействие (например, транзистор КП912 способен коммутировать ток до 20А за время, не превышающее 70...100нс);
- возможность управления однополярными импульсами.

### **Вопросы для повторения:**

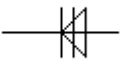
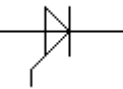
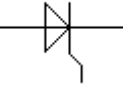
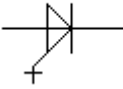
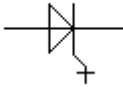
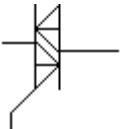
1. Условные обозначения МДП-транзисторов?
2. Принцип действия МДП-транзисторов?
3. Что называется МДП-транзистором?
4. Перечислить основные параметры полевого транзистора?
5. Какие бывают технологии изготовления ПТ?
6. Режимы работы биполярного транзистора?
7. Что называется биполярным транзистором?

## 1.6. Тиристоры

План лекции:

1. Система обозначений.
2. Виды тиристоров.

### 1. Система обозначений

Обозначение	Наименование
	Тиристор диодный (динистор)
	Тиристор незапираемый триодный с управлением по аноду
	Тиристор незапираемый триодный с управлением по катоду
	Тиристор запираемый с управлением по аноду
	Тиристор запираемый с управлением по катоду
	Триодный симметричный незапираемый тиристор



ТИРИСТОР (от греческого *θυρα* - дверь и *резистор*), полупроводниковый прибор на монокристалле с 4-слойной структурой, с двумя устойчивыми состояниями, с 3 (и более) выпрямляющими электронно-дырочными переходами; может переключаться из проводящего состояния в непроводящее и обратно. Выпускаются на токи от 1 мА до 10 кА и напряжения от нескольких В до нескольких кВ. Применяется в силовых устройствах преобразовательной техники и в автоматике.

Включение тиристорov:

1-й способ:

При  $I_{yз} = 0$  увеличивают напряжение  $U_{ак}$  до напряжения  $U_{ак.вкл}$  включения. В следствии происходит быстрый рост,  $I_a$  и рабочая точка переходит на вертикальный участок.

$$I_a \approx \frac{E}{R_n}; I_a = \frac{E - U_{ак}}{R_n}$$

2-й способ:

При напряжении  $U_{ак} < U_{ак.вкл}$  увеличивают ток управляющего электрода. При этом включение тиристора происходит при напряжении  $U_{ак} < U_{ак.вкл}$ .

При некотором токе управляющего электрода  $I_{yз.спр}$ , который называют током спрямления, ВАХ тиристора становится похожа на ВАХ диода.

Выключение тиристорov:

После включения тиристора рабочая точка может перемещаться по вертикальному участку ВАХ, т.е. ток через тиристор может изменяться в широком диапазоне. Но если ток через тиристор станет меньше некоторого тока  $I_{a.уд}$  называемого током удержания на время превышающее время выключения  $t_{выкл}$ , то тиристор выключится и рабочая точка перейдет на горизонтально расположенную ветвь ВАХ.

Тиристор характеризуется:

- максимально допустимым током анода  $I_{a.\max}$  ( $10\div 100$  А);
- напряжением на открытом тиристоре  $U_{откр}$  ( $1,1\div 4$  В);
- напряжением включения  $U_{ак.вкл}$  ( $10\div 1000$  В);
- током спрямления  $I_{уэ.спр}$  ( $10\div 100$  мА);
- током анода удержания  $I_{a.уд}$  ( $0,1\div 10$  А);
- временем выключения  $t_{выкл}$  ( $0,1\div 1$  мс);
- максимально допустимым обратным напряжением  $U_{обр.\max}$  ( $10\div 1000$  В) ;

Для электроники, применяющейся в промышленности, характерна необходимость передачи больших мощностей, возможность управления мощной нагрузкой. Это и системы возбуждения синхронных двигателей, и сварочные аппараты постоянного тока, и тяговый электропривод. Разработки в области полупроводниковых элементов привели к созданию прибора "тиристор" (название дано по аналогии с тиратроном, только окончание взято от слова "резистор", то есть получилось "сопротивление, которое может открыться"). Характерной его особенностью является неоднозначная S-образная вольт-амперная характеристика.

Говоря проще, при определенных условиях тиристор "открывается", то есть резко снижает свое сопротивление в прямом направлении. В обратном направлении он не проводит, так же, как диод.

Для открытия тиристора на его управляющий электрод необходимо подать небольшое напряжение относительно катода. После этого управляющее напряжение может быть снято: тиристор будет оставаться в открытом состоянии неограниченное время, пока идет прямой ток. Если ток прекратится, тиристор снова потребует открытия.

## 2. Виды тириستоров

Динистор - прибор тиристорной структуры без управляющего электрода.

Включается только по первому способу. Открывается самопроизвольно при определенном прямом напряжении  $U_{ак.вкл}$

(эта величина указывается в характеристиках).

Симистор - "симметричный тиристор" - имеет обратную ветвь вольтамперной характеристики, зеркально симметричную прямой ветви. Такие приборы, например, ставят в ручной электроинструмент для регулирования частоты вращения

### **Вопросы для повторения:**

1. Что называется симистором?
2. Что называется динистором?
3. Способы включения тиристором?
4. Что называется тиристором?
5. Обозначение тиристором?

## **1.7. Электровакуумные приборы**

План лекции:

1. Вакуумные приборы.
2. Электронно-лучевые приборы.

### **1. Вакуумные приборы**

Вакуумный диод состоит из катода К в виде тонкой прямой нити и анода А, часто представляющего собой коаксиальный с нитью цилиндр. Катод и анод впаяны в стеклянный баллон, внутри которого создан высокий вакуум.

При неизменном токе накала, т.е. при неизменной температуре катода, сила анодного тока зависит от анодного напряжения. При постепенном повышении анодного напряжения сила анодного тока  $I_a$  растет до определенного значения  $I_n$ , после чего она остается неизменной, несмотря на дальнейшее увеличение анодного напряжения.

Наибольший ток, возможный при данной температуре катода, называют током насыщения.

Вакуумный триод.

Трехэлектродная лампа, или триод, содержит кроме катода и анода еще третий электрод — управляющую сетку. Обычно сетка представляет собой спиральную проволочку С,

окружающую прямолинейный катод. Ось цилиндрического анода совпадает с осью катода и сетки. Сетка расположена ближе к катоду, чем анод, и на пути катод — сетка на электроны действует суммарное поле: созданное между анодом и катодом и создаваемое между сеткой и катодом. Во время работы лампы лишь часть электронов попадает на сетку и движется к катоду по внешней цепи, образуя сеточный ток.

Если потенциал сетки положителен по отношению к катоду, то движение электронов от катода к аноду убыстрится, и анодный ток растет. Если же потенциал сетки отрицателен по отношению к катоду, то движение электронов к аноду замедляется, и анодный ток уменьшается. При достаточно большом по абсолютному значению отрицательном потенциале сетки анодный ток полностью прекращается — в этом случае говорят, что «лампа заперта». Для улучшения действия электронной лампы в нее вводят дополнительные сетки. Лампу с двумя сетками называют тетродом (т. е. четырехэлектродной), с тремя — пентодом (пятиэлектродной). Появление электронных ламп разнообразных устройств, основанных на их применении, сыграли огромную роль в развитии радио. Триод также применяют, как генератор электрических колебаний.

## 2. Электронно-лучевые приборы

Электронно-лучевая трубка.

В ее узкий конец вмонтирована электронная пушка, состоящая из термо катода, анода и нескольких металлических колец. Электроны вылетают из катода, нагреваемого электрическим током, а электрическое поле металлических колец (фокусирующего устройства) сводит их в узкий пучок—электронный луч. Широкое дно электроннолучевой трубки покрыто слоем флуоресцирующего вещества и служит экраном. Под действием ударов попадающих на него электронов экран светится, и в том месте, куда попадает электронный луч, появляется обычно зеленое светлое пятнышко.

Между электронной пушкой и экраном помещены управляющие электроды, образующие два конденсатора: С1 и С2.

Электрические поля заряженных конденсаторов взаимно перпендикулярны. Поле конденсатора С1 отклоняет луч в горизонтальном направлении, поле конденсатора С2 — в вертикальном. Изменяя напряжение на пластинах каждого из конденсаторов, можно отклонить электронный луч в любом направлении так, что пятнышко возникает на экране на различных расстояниях от его центра. В центр экрана электроны попадают, когда конденсаторы не заряжены.

В некоторых типах электроннолучевых трубок отклонение электронного пучка производится магнитным полем. При этом вместо отклоняющих пластин действуют две взаимно перпендикулярные пары катушек, расположенные снаружи трубки. Каждая пара катушек создает перпендикулярное лучу магнитное поле.

Электроннолучевые трубки имеют огромное практическое значение. Их применяют в радиолокационных установках, телевизорах, электронных микроскопах и других приборах. Без электронного осциллографа не обходится ни одна физическая лаборатория, им широко пользуются в медицине, биологии и т. д. Электронная пушка работает в современной рентгеновской трубке, в электронном микроскопе. Нагревание, которое вызывает электронный пучок, попадая на какое-либо тело, используют для плавки сверхчистых металлов в вакууме.

Во многих типах приёмных ЭЛТ, напр. в кинескопах, используют трёхлинзовые прожекторы, в к-рых между первой линзой, формирующей скрещение, и линзой, отображающей скрещение на экране, помещается третья, сравнительно слабая линза, уменьшающая угол расхождения пучка за кроссовером. Это приводит к уменьшению изображения кроссовера и уменьшению диаметра пучка в области отображающей линзы, что уменьшает её геом. aberrации. Совр. прожекторы при токах пучка в неск. мкА позволяют получать светящееся пятно на экране диам.  $\lesssim 10$  мкм.

Током пучка управляют, изменяя потенциал диафрагмы, наз. модулятором и расположенной между катодом и ускоряющим электродом (анодом). Три электрода - катод, модулятор и ускоряющий электрод - образует первую линзу электронного прожектора. Для достаточно эффективного отбора электронов с ка-

тогда поле, создаваемое ускоряющим электродом, должно доходить до поверхности катода. Изменение потенциала модулятора приводит к изменению тока луча. Управляющее действие модулятора аналогично действию управляющей сетки электронной лампы, но в отличие от последней потенциал модулятора влияет также на величину площади поверхности катода, у которой имеется ускоряющее поле. Это приводит к более сильной зависимости тока от напряжения модулятора. График зависимости тока катода (или тока луча) от напряжения модулятора, наз. модуляционной характеристикой прожектора, приближённо описывается параболич. законом с показателем степени  $\approx 5/2$ .

Первая линза прожектора, ускоряющая электроны, может быть только электростатической, вторая и последующие могут быть электростатическими (иммерсионными или одиночными) или магнитными. Прожекторы, все линзы к-рых являются электростатическими, наз. прожекторами с электростатич. фокусировкой; прожекторы, имеющие хотя бы одну магн. линзу, наз. прожекторами с магн. фокусировкой (рис. 1).

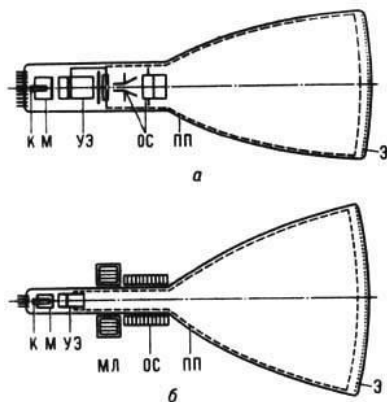


Рис. 1. Схема приёмных ЭЛТ с электростатической ( а ) и магнитной ( б ) фокусировкой и отклонением луча: К - катод; М - модулятор; УЭ - ускоряющий электрод; ОС-отклоняющие системы; МЛ -магнитная линза; ПП-проводящее покрытие; Э-экран.

Отклоняющие системы (ОС). Э.-л. п. должны обеспечивать совмещение электронного луча с любой точкой поверхности

экрана или мишени. Это достигается использованием двух отклоняющих элементов, смещающих луч во взаимно перпендикулярных направлениях. ОС должны быть линейными-величина смещения луча в плоскости экрана пропорциональна величине отклоняющего фактора. ОС должны обладать достаточно большой чувствительностью-отклонение луча на заданную величину должно происходить при возможно меньшей величине отклоняющего фактора. ОС не должны заметно нарушать фокусировку - сформированный луч должен отклоняться как одно целое.

Для отклонения луча используют электростатич. и магн. ОС, представляющие собой примерно однородное электрическое или магнитное поле, ориентированное по нормали к лучу (поперечное поле). В поперечном электрическом поле электроны луча описывают параболические траектории, в магнитном - дуги окружности.

Электростатич. ОС просты по устройству, не требуют затраты энергии на отклонение, имеют очень малые ёмкость и индуктивность, что делает их практически безынерционными вплоть до сотен МГц. Недостаток их нарушение фокусировки на краях экрана. Магн. ОС более линейны, меньше влияют на фокусировку, но сложны по устройству, требуют затраты энергии для отклонения луча и за счёт большой индуктивности отклоняющих катушек могут использоваться только на сравнительно низких частотах (15-20 кГц). Чувствительность по отклонению у электростатич. систем  $\sim U_a^{-1}$ , а у магн. систем пропорц.  $U_a^{-1/2}$ , т. е. повышение ускоряющего напряжения прожектора приводит к существенно меньшему снижению чувствительности магн. отклонения по сравнению с электростатическим.

При очень высоких частотах отклоняющих сигналов даже при использовании электростатич. ОС снижается чувствительность и искажается форма наблюдаемого сигнала. Поэтому для осциллографирования СВЧ-процессов используют ОС с бегущей волной. В этих системах отклонение луча осуществляется полем СВЧ-волны, бегущей вдоль спирали с фазовой скоростью, во столько раз меньшей скорости света, во сколько шаг спирали меньше длины её витка. При ускоряющем напряжении прожектора в неск. кВ можно сформировать луч со скоростью электронов, равной фазовой скорости бегущей волны. При этом электростатич.

троны луча, проходящего вблизи спирали, будут всё время находиться в одной фазе отклоняющего напряжения, т. е. будет обеспечиваться длит. взаимодействие отклоняющего поля с электронами луча, что позволяет получить удовлетворит. чувствительность при мин. искажениях на частотах до неск. ГГц.

Приёмником электронов в Э.-л. п., преобразующих электрич. сигнал в видимое изображение, является экран. Он состоит из подложки, которой в большинстве приёмных ЭЛТ является стеклянное дно вакуумной колбы прибора, и нанесённого на неё слоя люминофора, преобразующего кине-тич. энергию электронов в световую энергию в видимой части спектра. В ряде приборов по верх слоя люминофора наносится проводящее покрытие - тонкий металлич. слой. Экран должен достаточно эффективно преобразовывать энергию электронов в энергию светового излучения.

Электронный осциллограф.

Электронным осциллографом называют электроннолучевую трубку, применяемую для исследования быстропротекающих электрических процессов. Слово осциллограф означает «записывающий колебания». На первый конденсатор С1 осциллографа накладывается изменяющееся во времени пилообразное напряжение. На протяжении каждого периода оно сначала плавно растёт, а затем мгновенно падает. Поэтому пятнышко на экране движется сначала слева направо, а потом мгновенно возвращается в исходное положение, а так как частота колебаний напряжения велика, то глаз все время видит горизонтальную светлую прямую. Если, например, на пластины второго конденсатора г. вертикально направленным полем подать напряжение синусоидального переменного городского тока ( $\nu = 50$  Гц), то при одновременном действии конденсаторов электронный луч опишет развертку синусоидальных колебаний, представляющую собой осциллограмму исследуемого напряжения.

### **Вопросы для повторения:**

1. Из чего состоит вакуумный катод?
2. Чем являются электронно-лучевые приборы?
3. Перечислить основные конструктивные узлы электронно-лучевых прибор?
4. Что называется электронным осциллографом?
5. Что называется электронной пушкой?



## 1.8. Фотоэлектрические и фотоэлектронные приборы

План лекции:

1. Общие сведения о фотоэлектрических приборах с внешним и внутренним фотоэффектом.
2. Фотоэлектрические п/п приборы: фоторезистор, фотодиоды, фототранзистор, фототиристор.

### 1. Общие сведения о фотоэлектрических приборах с внешним и внутренним фотоэффектом

Электривакуумный (электронный или ионный) фотоэлемент представляет собой диод, у которого на внутреннюю поверхность стеклянного баллона нанесен фотокатод в виде тонкого слоя вещества, эмитирующего фотоэлектроны. Анодом обычно является металлическое кольцо, не мешающее попаданию света на фотокатод. В электронных фотоэлементах создан высокий вакуум, а в ионных находится инертный газ, например аргон, под давлением в несколько сотен паскалей (несколько миллиметров ртутного столба). Катоды обычно применяются сурьмяноцезиевые или серебряно-кислородно-цезиевые.

Свойства и особенности фотоэлементов отображаются их характеристиками. Анодные (вольт-амперные) характеристики электронного фотоэлемента  $I_{\phi} = f(u_a)$  при  $\Phi = \text{const}$ , изображенные на рис. 1, а, показывают резко выраженный режим насыщения. У ионных фотоэлементов (рис. 1, б) такие характеристики сначала идут почти так же, как у электронных фотоэлементов, но при дальнейшем увеличении анодного напряжения вследствие ионизации газа ток значительно возрастает, что оценивается коэффициентом газового усиления, который может быть равным от 5 до 12. Энергетические характеристики электронного и ионного фотоэлемента, дающие зависимость  $I_{\phi} = f(\Phi)$  при  $U_a = \text{const}$ , показаны на рис. 2. Частотные характеристики чувствительности дают зависимость чувствительности от частоты модуляции светового потока. Из рис. 3 видно, что электронные фотоэлементы (линия 1) малоинерционны. Они могут работать на частотах в сотни мегагерц, а ионные фотоэлементы (кривая 2) проявляют значительную инерционность, и чувствительность их снижается

уже на частотах в единицы килогерц.

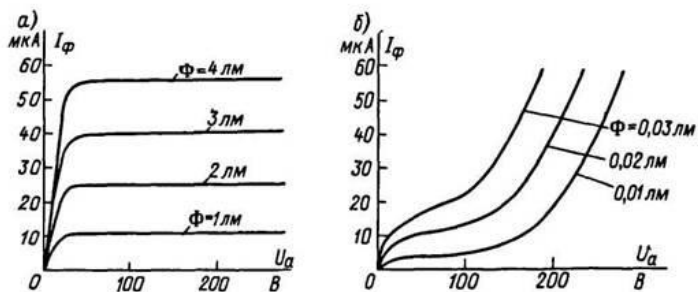


Рис. 1. Анодные характеристики электронного (а) и ионного (б) фотоэлемента.

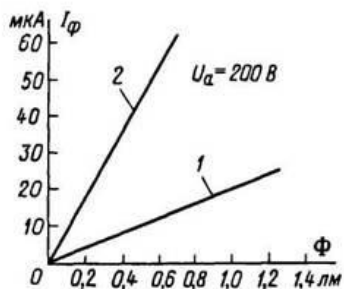


Рис. 2. Энергетические характеристики электронного (1) и ионного (2) фотоэлемента.

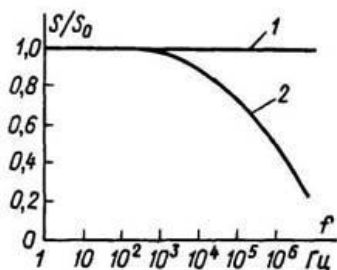


Рис. 3. Частотные характеристики электронного (1) и ионного (2) фотоэлемента.

Фотоэлемент обычно включен последовательно с нагрузочным резистором  $R_H$  (рис. 4). Так как фототоки очень малы, то сопротивление фотоэлемента постоянному току весьма велико и составляет единицы или даже десятки мегаом. Сопротивление нагрузочного резистора желательно также большое. С него снимается напряжение, получаемое от светового сигнала. Это напряжение подается на вход усилителя, входная емкость которого шунтирует резистор  $R_H$ . Чем больше сопротивление  $R_H$  и чем выше частота, тем сильнее это шунтирующее действие и тем меньше напряжение сигнала на резисторе  $R_H$ .

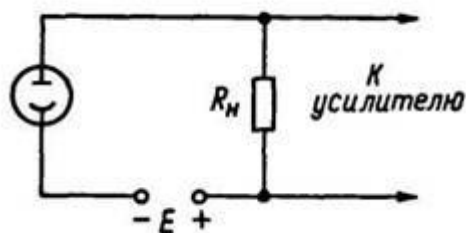


Рис. 4. Схема включения фотоэлемента

Основные электрические параметры фотоэлементов - чувствительность, максимальное допустимое анодное напряжение и темновой ток. У электронных фотоэлементов чувствительность достигает десятков, а у ионных фотоэлементов — сотен мкА на люмен. Темновой ток представляет собой ток при отсутствии облучения. Он объясняется термоэлектронной эмиссией катода и токами утечки между электродами. При комнатной температуре ток термоэмиссии может достигать  $10^{-10}$  А, а токи утечки —  $10^{-7}$  А. В специальных конструкциях фотоэлементов удастся значительно снизить токи утечки, а ток термоэмиссии можно уменьшить лишь охлаждением катода до очень низких температур. Наличие темнового тока ограничивает применение фотоэлементов для очень слабых световых сигналов.

Электровакuumные фотоэлементы нашли применение в различных устройствах автоматики, в аппаратуре звукового кино, в приборах для физических исследований. Но их недостатки — невозможность микроминиатюризации и довольно высокие анодные

напряжения (десятки и сотни вольт) — привели к тому, что в настоящее время эти фотоэлементы во многих видах аппаратуры заменены полупроводниковыми приемниками излучения.

**Фотоэлектрические п/п приборы:**

Внутренний фотоэффект наблюдается в полупроводниковых материалах при облучении их поверхности лучами света. Он заключается в том, что при поглощении энергии фотона атомом полупроводника может возникнуть пара «электрон – дырка», если этой энергии достаточно для перевода электрона из валентной зоны в зону проводимости, т. е. если поглощённая энергия превышает ширину запрещённой зоны. Интенсивность фотоионизации определяется энергией излучения, её потоком и спектром поглощения полупроводника.

Образование пар «электрон – дырка» обуславливает собственную электропроводность полупроводника, которая в данном случае является фотопроводимостью, причём собственная электропроводность может оказаться значительно больше проводимости примесной.

Внутренний фотоэффект широко применяется в различных фотоэлектрических приборах: фоторезисторах, фотодиодах, фототранзисторах и фототиристорах.

## **2. Фотоэлектрические п/п приборы: фоторезистор, фотодиоды, фототранзистор, фототиристор**

### **Фоторезисторы**

Фоторезисторы используют в своей работе эффект фотопроводимости. Фоторезисторы выполняются в самых различных конструктивных вариантах, различного назначения, по различным технологиям и с различными параметрами, но в общем виде это - чувствительный к излучению слой полупроводника, прикрепленный к изоляционной подложке, по краям которого смонтированы токоведущие электроды. Принципиально возможно две конструкции фоторезисторов: поперечная и продольная.

В первом случае электрическое поле, прикладываемое к фоторезистору, и возбуждающий свет действуют во взаимно пер-

пендикулярных плоскостях (рис. 5, а), во втором - в одной плоскости. В продольном фоторезисторе возбуждение осуществляется через электрод прозрачный для светового излучения. Поперечный фоторезистор представляет собой почти омическое сопротивление до частот порядка десятков - сотен мегагерц. Продольный фоторезистор из-за конструктивных особенностей имеет значительную электрическую ёмкость, которая не позволяет считать фоторезистор чисто омическим сопротивлением на частотах сотни - тысячи герц.

В качестве исходного материала фоторезистора чаще всего используется теллуристый кадмий ( $CdTe$ ), селенистый теллур ( $TeSe$ ), сернистый висмут ( $BiS$ ), сернистый кадмий ( $CdS$ ) и др.

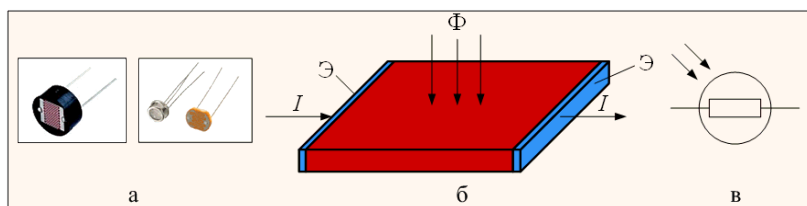


Рис. 5. Фоторезистор (а), поперечная конструкция фоторезистора (б); условное графическое обозначение (в)

Для защиты от атмосферных воздействий верхняя поверхность фотослоя покрыта прозрачным лаком. Вся сборка может быть помещена в защитный корпус, в котором сделано окно для прохождения излучения. Он может включаться как в цепь постоянного тока, так и переменного (рис. 6).

При облучении фоторезистора возрастает его проводимость, и соответственно возрастает ток. Выходное напряжение, пропорциональное потоку излучения, снимается с сопротивления

нагрузки  $R_H$ .

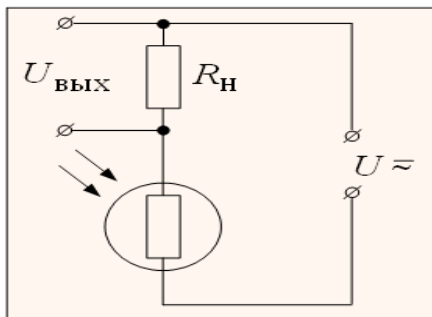


Рис. 6. Схема включения фоторезистора

Основными характеристиками фоторезистора являются:

1. Вольт-амперные характеристики  $I_{\Phi} = f(U) \Big|_{\Phi = \text{const}}$ .

Это зависимости тока в фоторезисторе от напряжения источника питания  $E$  при постоянном потоке излучения  $\Phi$ . Эти характеристики практически линейны (рис. 7). При  $\Phi = 0$  через фоторезистор протекает маленький темновой ток; при освещении ток возрастает за счёт увеличения фотопроводимости.

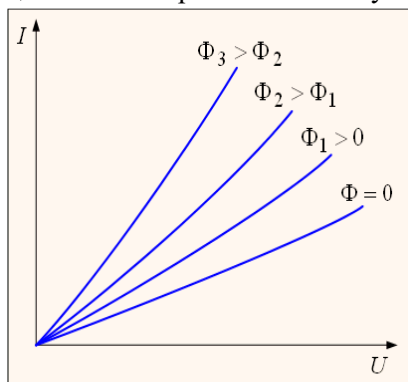


Рис. 7. Вольт-амперные характеристики фоторезистора

$$I_{\Phi} = f(\Phi) \Big|_{U = \text{const}}$$

## 2. Световая характеристика

Это зависимость фототока от потока излучения при постоянном напряжении источника. Существенная нелинейность этих характеристик (рис. 8.) объясняется не только увеличением количества носителей с увеличением потока излучения  $\Phi$ , но и процесса их рекомбинации.

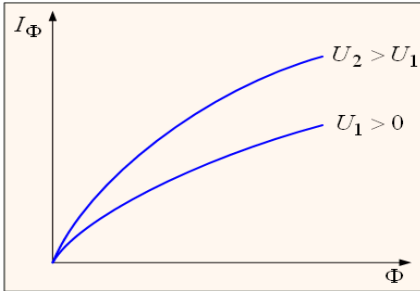


Рис. 8. Световая характеристика фоторезистора

## 3. Спектральная характеристика $S_{\Phi}^* = f(\lambda)$ , где $\lambda$ –

длина волны электромагнитного излучения.

Эта характеристика обусловлена материалом и технологией изготовления фотослоя. Типовой вид этой характеристики представлен на рис. 9.

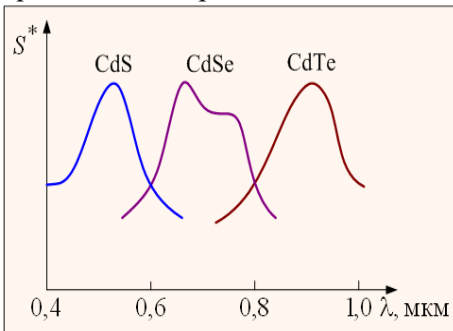


Рис. 9. Относительные спектральные характеристики фоторезисторов

Основными параметрами фоторезисторов являются:

1. Чувствительность:  $K = \frac{I_{\Phi}}{\Phi} \Big|_{E = \text{const}}$ .
2. Номинальное значение фототока  $I_{\Phi \text{ ном}}$ .
3. Темновое сопротивление  $R_{\text{темн}}$ .
4. Отношение  $\frac{R_{\text{темн}}}{R_{\Phi \text{ ном}}}$ .
5. Рабочее напряжение  $U_{\text{раб}}$ .

Значительная зависимость сопротивления фоторезистора от температуры, характерная для полупроводников, является их недостатком. Существенным недостатком фоторезисторов также является их инерционность, объясняющаяся большим временем рекомбинации электронов и дырок после прекращения воздействия излучения. На практике фоторезисторы применяются на частотах сотен герц – единиц килогерц. Собственные шумы их довольно значительны. Несмотря на эти недостатки, фоторезисторы широко применяются в различных схемах автоматики и во многих других устройствах.

### **Фотодиоды**

Фотодиод представляет собой полупроводниковый фотоэлектрический прибор, содержащий р-п-переход, и использующий явление внутреннего фотоэффекта. Фотодиоды имеют различную конструкцию, различное назначение и различные параметры, но в большинстве случаев структура фотодиода бывает такой, как показано на рис. 10, б. На принципиальных схемах фотодиод изображается символом, показанным на рис. 10, в.



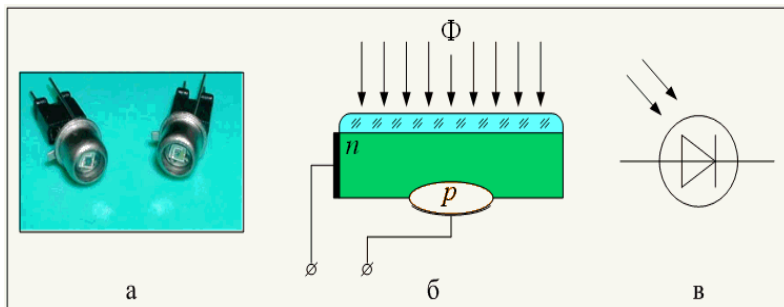


Рис. 10. Конструкция фотодиода (а), структура (б) и условное графическое обозначение фотодиода (в)

Фотодиод можно использовать в двух различных включениях: фотодиодном и фотогальваническом.

Фотогальваническое включение (рис. 11.) предполагает использование фотодиода как источника фотоЭДС, поэтому в настоящее время его называют полупроводниковый фотоэлемент.

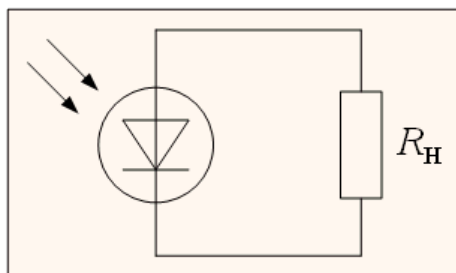


Рис. 11. Фотогальваническое включение

Рассмотрим процесс возникновения фотоЭДС в фотодиоде (рис. 12). В отсутствие освещения фотодиода концентрация носителей в его обеих областях будет равновесной, а следовательно никакой разности потенциалов между областями не будет. Если же осветить полупроводник лучами света, то в результате поглощения энергии фотонов будут образовываться пары «элек-

трон – дырка». Дырки в области р являются основными носителями, поэтому поле  $E_p$  р-п-перехода будет их отталкивать от границы раздела, а вот образовавшиеся свободные электроны, являясь в области р неосновными носителями, будут переброшены полем через границу раздела в область n, где они являются основными. Аналогично, в области n из образовавшихся носителей «электрон – дырка» только дырки, являясь неосновными носителями, будут переброшены через границу раздела в область р, а образовавшиеся свободные электроны только пополняют количество основных носителей в области n, увеличив их концентрацию.

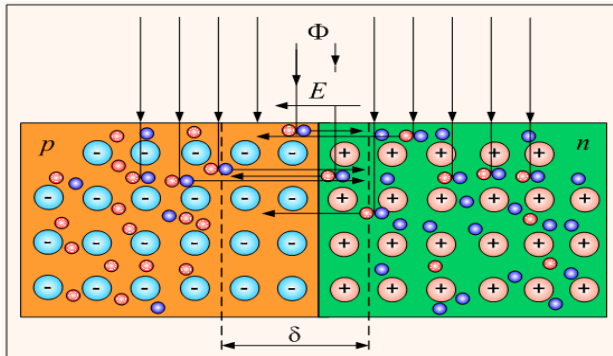


Рис. 12. Процесс генерации свободных носителей заряда

Таким образом, за счёт поглощённой световой энергии в полупроводнике образуются пары носителей; неосновные носители перебрасываются в соседнюю область электрическим полем р-п-перехода, а основные носители остаются в своей области; концентрация носителей возрастает и становится сверхравновесной, т. е. суммарный электрический заряд основных носителей в обеих областях полупроводника уже не уравнивается противоположным зарядом ионов примеси, и следовательно в области р появляется суммарный положительный заряд, а в области n – суммарный отрицательный заряд, которые обусловят возникновение разности потенциалов между областью р и областью n. Эту разность потенциалов называют фотоЭДС. Если теперь создать

внешнюю электрическую цепь между областями p и n, то по ней потечёт электрический ток – фототок под действием возникшей фотоЭДС.

Следует отметить, что из всех образовавшихся в результате поглощения лучистой энергии носителей не все будут участвовать в образовании светового тока, а только те, которые попадают в зону действия электрического поля потенциального барьера, ограниченную (рис. 12) областью  $\delta$ . Остальные неосновные носители, образовавшиеся вне этой зоны, скорее всего, рекомбинируют, снижая эффективность использования световой энергии. Отсюда становится ясной целесообразность конструктивного исполнения фотодиода, когда освещают не обе области полупроводника, а только одну, зато очень тонкую, когда практически все образовавшиеся под действием освещения неосновные носители будут разделены p-n-переходом.

Вольт-амперная характеристика

$$I_{\Phi} = f(U) \Big|_{\Phi = \text{const}}$$

Это зависимость фототока  $I_{\Phi}$  от напряжения на фотодиоде при неизменном световом потоке.

Вольт-амперная характеристика описывается следующим уравнением:

$$U_{\text{H}} = \ln \left( \frac{I_{\text{св}} - I_{\text{H}}}{I_{\text{темн}}} + 1 \right) \frac{kT}{q}, \quad (6.4)$$

где  $U_{\text{H}}$  – напряжение между анодом и катодом фотодиода. В случае фотогальванического включения это – напряжение на нагрузке;  $I_{\text{св}}$  – световой ток – суммарный поток носителей электрического заряда, образовавшихся вследствие внутреннего фотоэффекта и разделённых полем p-n-перехода;  $I_{\text{H}}$  – ток нагрузки (в случае фотогальванического включения);  $I_{\text{темн}}$  –

темновой ток – суммарный поток носителей электрических зарядов, пересекающих границу раздела при отсутствии освещения;

$k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{град}}$  Дж/град ;

$q$  – заряд электрона,  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл ;  $T$  – абсолютная температура.

Вид вольт-амперной характеристики показан на рис. 13.

При  $\Phi = 0$  вольтамперная характеристика фотодиода превращается в вольт-амперную характеристику обычного р-п-перехода, достаточно подробно изученную ранее. При наличии освещения ток нагрузки, как видно из рисунка, потечёт по внешней цепи от области р к области п, а внутри кристалла – от области п к области р, т. Е. в направлении, которое для обыкновенного диода является обратным и откладывается вниз от нуля по оси ординат; напряжение на фотодиоде – (+) на области р, (-) на области п является прямым для обыкновенного диода и поэтому откладывается вправо от нуля на оси абсцисс. Фактически вольт-амперная характеристика фотодиода представляет собой вольт-амперную характеристику обычного р-п-перехода, смещённую вниз и вправо в зависимости от светового потока  $\Phi$ .

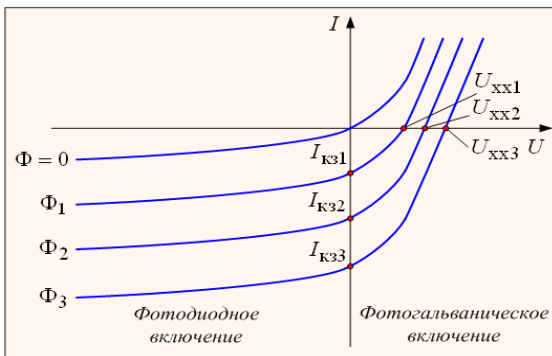


Рис. 13. Вольт-амперная характеристика фотодиода

Точки пересечения характеристики с осями координат представляют собой напряжение холостого хода  $U_{XX}$  (или фотоЭДС) на оси абсцисс и ток короткого замыкания  $I_{КЗ}$  на оси ординат.

Участок характеристики за точкой  $U_{XX}$  представляет собой режим, когда фотодиод работает с внешним источником ЭДС, включенным встречно по отношению к фотодиоду.

Участок за точкой  $I_{КЗ}$  характеризует работу фотодиода с внешним источником ЭДС, включенным согласно по отношению к фотодиоду. Это и есть фотодиодное включение, которое будет рассматриваться ниже.

Световая характеристика фотодиода  $I_{СВ} = f(\Phi)$  или  $E = f(\Phi)$  представлена на рис. 14.

Как следует из выражения (6.4), напряжение на фотодиоде или, в режиме холостого хода, фотоЭДС  $E$  изменяется по логарифмическому закону при возрастании светового потока  $\Phi$ , а световой ток  $I_{СВ}$  прямо пропорционально зависит от светового потока  $\Phi$ . Поэтому при увеличении светового потока  $\Phi$  характеристики смещаются неодинаково по оси абсцисс и по оси ординат. Так по оси ординат, где откладывается световой ток, характеристики, смещаются равномерно при изменении светового потока. По оси абсцисс, где откладывается  $U_{XX} = E$ , эти характеристики смещаются не линейно, а в соответствии с кривой  $E = f(\Phi)$ .

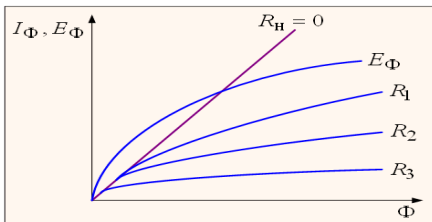


Рис. 14. Световая характеристика

Спектральная характеристика. Это – зависимость  $S^* = f(\lambda)$ , где  $S^*$  – относительная мощность фотодиода;  $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения. Вид этой характеристики представлен на рис. 15.

Зависимость 1 представляет собой относительную мощность солнечного излучения. Другие две зависимости показывают относительную мощность фотодиодов, выполненных на основе кремния и германия. Очевидно, что в области видимой части спектра солнечного излучения наибольшую относительную мощность имеет фотодиод на основе кремния. Именно из кремния делают чаще всего фотодиоды, работающие в этой области длин волн.

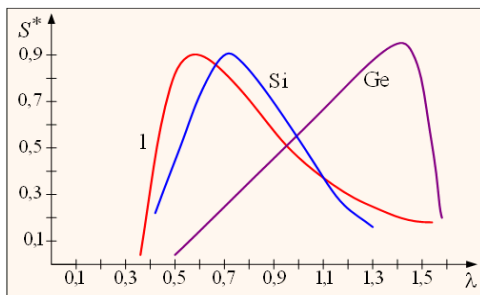


Рис. 15. Спектральные характеристики

Фотодиодное включение представлено на рис. 16.

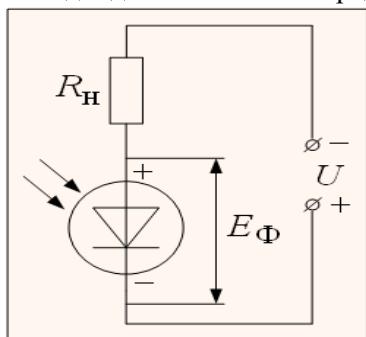


Рис. 16. Схема фотодиодного включения

В данном случае фотодиод работает с внешним источником  $U$ , который по отношению к затенённому фотодиоду включен в обратном, запирающем направлении, и следовательно, при отсутствии освещения ток в цепи практически отсутствует. При освещении фотодиода появляется фотоЭДС  $E_{\Phi}$ , которая по отношению к источнику  $E$  включена последовательно и согласно и в цепи нагрузки появляется ток, пропорциональный световому потоку  $\Phi$ . Этот режим иллюстрируется отрезками вольт-амперной характеристики фотодиода в третьем квадранте (рис. 13). Однако в справочной литературе эти характеристики приводятся чаще в первом квадранте (рис. 17.) для удобства использования.

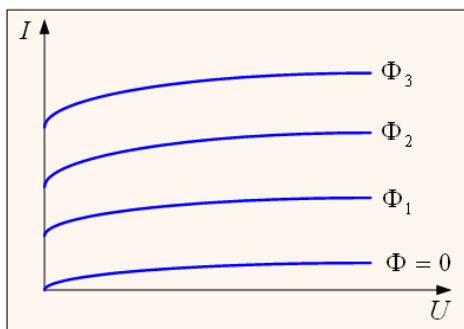


Рис. 17. Вольт-амперная характеристика фотодиодного включения

Основными параметрами фотодиодов являются:

$$K = \frac{I_{\text{св}}}{\Phi};$$

1. Чувствительность

2. Рабочее напряжение  $U_{\text{раб}};$

3. Динамическое сопротивление  $R_{\text{д}} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_{\Phi = \text{const}}.$

В настоящее время важное значение имеют полупроводниковые фотоэлементы, используемые в качестве преобразователей солнечной энергии в электрическую. Из таких элементов создают солнечные батареи, которые обладают сравнительно высоким КПД (до 20 %) и могут развивать мощность до нескольких киловатт. Солнечные батареи являются основными источниками питания искусственных спутников Земли, космических кораблях, автоматических метеостанциях и др. Практическое применение солнечных батарей непрерывно расширяется.

### Фототранзистор

Фототранзистор - это полупроводниковый фотоэлектрический прибор с двумя р-п-переходами. Устройство и принцип действия фототранзистора такие же, как и биполярного транзистора. Отличие же заключается в том, что внешняя часть базы является фоточувствительной поверхностью, а в корпусе имеется окно для пропускания света (рис. 18).

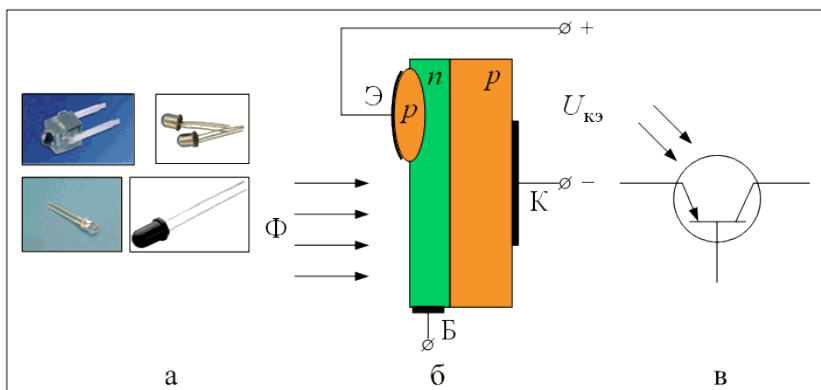


Рис. 18. Конструкции фототранзисторов (а); структура (б) и условное графическое обозначение фототранзистора

Иногда фототранзистор имеет только два вывода: эмиттерный и коллекторный.



Принцип действия фототранзистора заключается в следующем. В затемнённом состоянии и отсутствии входного сигнала на базе транзистор закрыт и в его коллекторной цепи протекает небольшой обратный ток коллекторного перехода. При освещении базовой области лучами света там происходит возникновение пар «электрон – дырка». Неосновные носители (в нашем случае дырки) подхватываются полем коллекторного перехода и перебрасываются в область коллектора, а в базе остаётся нескомпенсированный заряд электронов – основных носителей – который приводит к снижению потенциального барьера эмиттерного перехода и к инжекции дырок из эмиттера в базу. Это приведёт к увеличению коллекторного тока, как если бы на вход транзистора был бы подан входной сигнал, вызвавший такую же инжекцию носителей. Но здесь вместо входного электрического сигнала был использован световой сигнал. Коллекторный ток

$I_K = \beta I_\Phi$ , где  $\beta$  – коэффициент передачи транзистора по току;  $I_\Phi$  – фототок, возникший в базовой области под действием светового входного сигнала. Таким образом, чувствительность

фототранзистора в  $\beta$  раз больше чувствительности фотодиода.

Схемы включения его, так же, как и биполярного транзистора, могут быть с общей базой, общим эмиттером, с общим коллектором. В качестве примера на рис. 19 приведена схема включения с общим эмиттером.

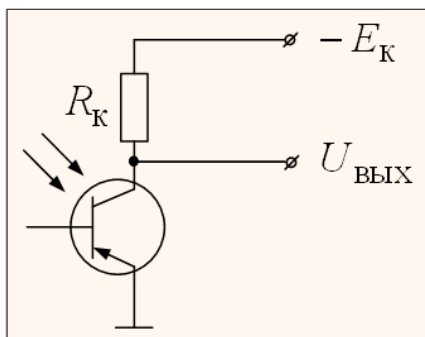


Рис. 19. Включение фототранзистора по схеме с общим эмиттером

Вольт-амперная характеристика фототранзистора очень напоминает выходные характеристики биполярного транзистора (рис. 20), с той лишь разницей, что снимаются они при постоянном световом потоке. Остальные характеристики фототранзистора идентичны характеристикам фотодиода. Основными недостатками фототранзистора являются его большая температурная зависимость и плохие частотные свойства.

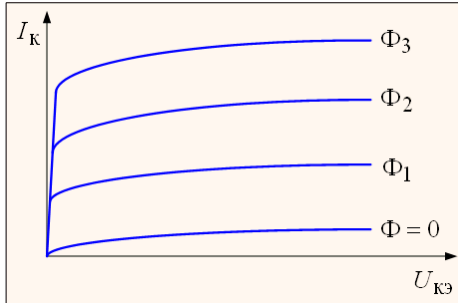


Рис. 20. Вольт-амперные характеристики фототранзистора

### Фототеристоры

По такому же принципу, как и управление фототранзистором, можно управлять и тиристором. Такой прибор называется фототиристором.

Вместо управляющего электрода сигнал управления в виде потока лучистой энергии (рис. 21) подаётся в специальное окно в корпусе прибора, что приводит к тем же явлениям, как если бы был подан электрический сигнал управления на управляющий электрод. Все остальные характеристики такого тиристора аналогичны характеристикам обычного тиристора с электрическим управлением.

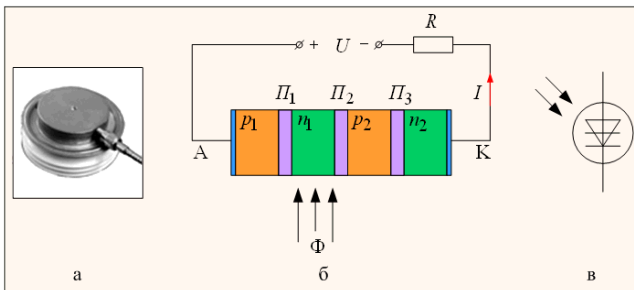


Рис. 21. Конструкция фототиристора (а); структура фототиристора (б) и его условное графическое обозначение (в)

На рис. 22 представлена вольт-амперная характеристика фототиристора.

Фототиристоры используются для коммутации световым сигналом электрических сигналов большой мощности. Сопротивление фототиристора изменяется от  $10^8 \text{ Ом}$  (в запертом состоянии) до  $10^{-1} \text{ Ом}$  в открытом состоянии. Время переключения тиристоров лежит в пределах  $10^{-5} \dots 10^{-6} \text{ с}$ .

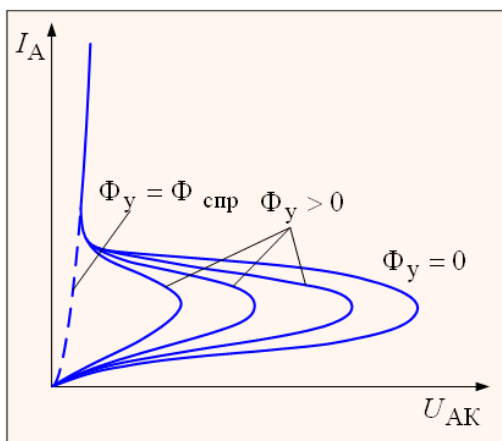


Рис. 22. Вольт-амперная характеристика фототиристора

**Вопросы для повторения:**

1. Что называется фотоэлектрическим прибором?
2. В чем заключается внешний и внутренний фотоэффекты?
3. Что называется фотоэффектом?
4. Как работает фоторезистор?

## 1.9. Пассивные элементы

План лекции:

1. Резисторы, Конденсаторы и их разновидности, хар-ки, параметры. 2. Трансформаторы и катушки индуктивности.

Резисторы.

Резисторы являются наиболее распространенными элементами радиоаппаратуры. Они характеризуются электрическим сопротивлением. Единицей электрического сопротивления является Ом(Ом), но на практике так же используются килоом ( $1\text{кОм}=1000\text{ Ом}$ ),  $1\text{МОм}=(1000000\text{ Ом})$ , и так далее  $1\text{ГОм}$ ,  $1\text{ТОм}$ . Существуют следующие виды резисторов: постоянные и переменные. У постоянных резисторов сопротивление нельзя изменить, а у переменных можно его изменять. Переменные резисторы еще называют потенциометрами.

Маркировка.

При маркировке резисторов используется буквенно-цифровой и цветовой код. Буквенно-цифровая маркировка наносится на малогабаритные резисторы, и состоит из цифры, которая обозначает номинальное сопротивление, буквы, обозначающую единицу измерения, и буквы, которая проставляется в конце кода - указывает на допустимое отклонение сопротивления. Если сопротивление резистора выражается целым числом, то буквенный код ставится после этого числа. Если сопротивление представляет собой десятичную дробь, то буква ставится вместо запятой, разделяя целую и дробную части. Посмотрим это все на примере:

56K - это 56 кОм

M5E6 - это 5,6 Ом

M56 - это 560 кОм

Маркировка, при которой на резистор наносится краска в виде полос или точек называют цветовым кодом. Такая маркировка сдвинута к одному из выводов резистора и читается слева направо. Если маркировку нельзя разместить у одного из выводов, то первый знак полосой шире в два раза, чем остальные. В представлении цветовой маркировки сложного ничего нет. Она наглядно представлена здесь в формате pdf. Здесь только сле-

дует отметить, что маркироваться резисторы могут как тремя полосами, так и пятью. В зарубежных резисторах цифровой код отличается от рассмотренного выше. Здесь первые две цифры обозначают численную величину номинала резистора в омах, а оставшиеся представляют число нулей, например:

280- это 28 Ом

283- это 28 кОм или 28000 Ом

Цветная маркировка зарубежных резисторов полностью совпадает.

Конденсаторы.

Конденсатором называется устройство, которое обладает способностью накапливать электрический заряд. По конструкции конденсатор представляет собой два проводника, разделенных диэлектриком. За единицу электрической емкости принята фарада. Емкостью в одну фараду обладает проводник, потенциал которого увеличивается на один вольт (1 В) при сообщении ему заряда в 1 Кл.

Принцип работы конденсатора можно рассмотреть на простом примере. Если металлическому шарiku сообщить какое-то количество электричества, то заряды на его поверхности распределятся равномерно и создадут электрическое поле с определенной плотностью силовых линий. И шарик, конечно, приобретет некоторое количество потенциала. Теперь возьмем шарик большего диаметра и так же сообщим ему такой же заряд, который распределится по поверхности реже и плотность силовых линий будет реже. Поэтому меньшим окажется и потенциал шарика. И чтобы достигнуть уровня потенциала меньшего по диаметру шарика, ему нужно сообщить большее количество заряда. Значит, шарик с большим диаметром обладает большей емкостью.

Конденсаторы, как и резисторы, подразделяются на постоянные и переменные, а в зависимости от материала диэлектрика делятся на воздушные, бумажные, вакуумные, керамические, лакопленочные, металлобумажные, оксидные, пленочные, слюдяные и др.

Маркировка.

На корпусе конденсатора обычно указывают его основной параметр - номинальную емкость, так же может указываться тем-

пературный коэффициент емкости (ТКЕ) и номинальное напряжение ( $U_{ном}$ ) при котором конденсатор сохраняет длительную работоспособность. Способ маркировки конденсаторов такой же, как и резисторов. Используются дробные части единицы фарады - нанофарады (нФ), пикофарады (пФ), микрофарады (мкФ).

Катушки индуктивности.

Катушки индуктивности характеризуются индуктивностью и применяются они в самой разнообразной радиоаппаратуре. Катушки применяют для настройки колебательных контуров на данную частоту (катушка настройки), для передачи электрических колебаний от одного контура другому (катушка связи), для разделения или ограничения электрических сигналов различной частоты (дрессели) и т. д. Что же представляет собой индуктивность (попроще). Если к проводнику подключить источник тока, то сила тока в проводнике не сразу достигнет значения, которое должно быть согласно закону Ома, а будет нарастать постепенно. Получается, что в процессе такого нарастания не выполняется закон Ома. Значит, в момент включения источника тока (в момент его нарастания) в цепи действует противодействующая электродвижущая сила, которая постепенно спадает до нуля к тому моменту, когда сила тока станет соответствовать закону Ома. Такую противоЭДС называют ЭДС самоиндукции, а свойство проводника препятствовать изменениям проходящего через него тока - индуктивностью. Значит, при увеличении тока в цепи, ЭДС самоиндукции направлена навстречу ЭДС источника, а при его уменьшении - стремится поддержать убывающий ток.

За единицу индуктивности принят 1 генри (Гн) по имени американского ученого Джозефа Генри, открывшего явление самоиндукции. Индуктивностью в 1 Гн обладает электрическая цепь, возбуждающая магнитный поток в 1 Вб при силе постоянного тока в ней 1 А. Или можно по другому: индуктивностью в один генри обладает электрическая цепь, в которой возникает ЭДС самоиндукции в 1 В, при равномерном изменении тока со скоростью 1 А в секунду.

Расчет катушек.

Как было сказано выше индуктивность существует даже в обычной цепи в очень малом значении. Как быть если нам нужна катушка с различной индуктивностью. Для этого провода

катушки сворачивают витком, а что бы еще больше увеличить-уменьшить индуктивность, вставляют внутрь катушки сердечники из ферромагнетиков (магнетита, карбонильного железа или феррита), при этом индуктивность увеличивается. Иногда используют сердечники из диамагнетиков (медь или латунь), при этом индуктивность уменьшается. Индуктивность также зависит от размеров, геометрической формы катушки и от количества витков. Для однослойной катушки индуктивность можно вычислить по формуле:

$$L=D^2n^2/45D+10nd \quad (1)$$

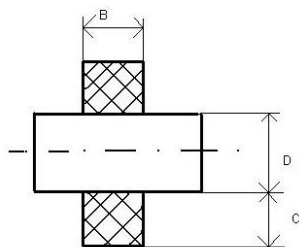
где L- индуктивность катушки, мкГн  
 D- диаметр намотки с учетом толщины провода, см;  
 n- количество витков  
 d- диаметр провода, мм;

Формула (1) применима для катушек, у которых длина намотки больше радиуса катушки. Для коротких катушек, у которых длина намотки меньше радиуса, применима более точная формула:

$$L=D^2n^2/40D+11nd \quad (2)$$

Обе формулы применимы при намотке виток к витку. Если же намотка производится с принудительным шагом, то вместо диаметра провода следует подставлять шаг намотки. Для многослойной катушки используется следующая формула:

$$L=0,08(D+C)^2n^2/3D+9B+13C \quad (3)$$



где L- индуктивность, мкГн;  
 C- толщина намотки, см;  
 D- диаметр каркаса, см;  
 n- количество витков намотки;  
 B- ширина намотки, см;

## Сердечники

Ферриты-вещества поликристаллического строения, получаемые в результате спекания при высокой температуре смеси оксидов железа с оксидами цинка, марганца, никеля и других металлов для придания ей заданных свойств. Благодаря высокому

удельному сопротивлению потери мощности в малы, а рабочая частота велика, Поэтому ферритовые сердечники используются в радиоэлектронных компонентах, работающие в областях звуковых и радиочастот. Наиболее часто встречаются ферриты марок -НН - никель-цинковые -НМ- марганец-цинковые -ВТ- ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса

Условное обозначение ферритового стержня состоит из пяти элементов:

1 Буква М указывает, что изделие изготовлено из феррита

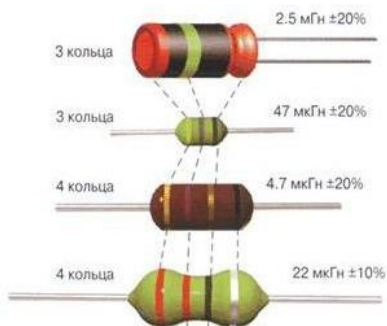
2 Цифра обозначает начальное значение магнитной проницаемости.

3 Буква Н (до 5 МГц) или В (свыше 5МГц)- диапазон рабочих частот

4 Марка феррита

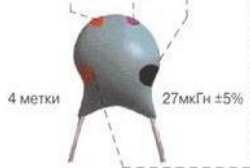
5 Сокращенное обозначение конструктивного вида сердечника

-----Б- броневой сердечник, состоящий из двух чашек с цилиндрическим подстроечным стержнем (число после буквы указывает внешний диаметр чашки) ----- Г-г-образный для телеаппаратуры (числа последовательно соответствуют длине, ширине и толщине изделия)



Серебряный	0.01	10%	
Золотой	0.1	5%	
Черный	0	1	20%
Коричневый	1	1	10
Красный	2	2	100
Оранжевый	3	3	1000
Желтый	4	4	Множитель
Зеленый	5	5	
Голубой	6	6	
Фиолетовый	7	7	
Серый	8	8	
Белый	9	9	

1-я цифра 2-я цифра





- К-кольцевой сердечник (числа соответствуют внешнему диаметру, внутреннему диаметру и высоте кольца)
- ОС-кольцевой сердечник для отклоняющей системы кинескопа (числа обозначают типоразмер сердечника)
- ПК-п-образный, круглого сечения для трансформаторов строчной развертки (числа указывают расстояние между диаметрами и их диаметр)
- ПП-п-образный, прямоугольного сечения (числа указывают расстояние между стержнями, ширину стержня, высоту стержня. Только для ТВС кинескопа с отклонением луча 70 градусов, первое число 53 указывает ширину сердечника)
- СС-для цилиндрических стержней не более 3,5 мм (числа указывают диаметр и длину сердечника. Стержни диаметром 8 мм и 10 мм в обозначение не содержат букв СС)
- Ш-ш-образный сердечник ( числа обозначают ширину и толщину среднего выступа)
- О-о-образный сердечник ( числа обозначают высоту изделия, высоту окна, ширину изделия и ширину окна).

Например,

M100НН-2-СС 2,9Х14

Где М- феррит; 100-магнитная проницаемость, равная 100; Н-низкочастотный; Н- никель-цинковый; 2- различные свойства; СС-стержень; 2,9 мм- диаметр; 14 мм- длина.

### **Вопросы для повторения:**

1. Какие сердечники используются в радиоэлектронных компонентах?
2. Для чего применяют катушки индуктивности?
3. Что называется конденсатором?
4. Чем характеризуется резистор?
5. Перечислите основные виды резисторов?

## 1.10. Элементарная база микроминиатюрного исполнения

План лекции:

1. Интегральная микросхема - современный функциональный узел радиоэлектронной аппаратуры
2. Устройство интегральных микросхем
3. Функциональная классификация интегральных микросхем

### 1. Интегральная микросхема - современный функциональный узел радиоэлектронной аппаратуры

Полевые и биполярные транзисторы, полупроводниковые диоды и резисторы, конденсаторы и прочие электронные приборы и радиодетали часто называют элементами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), или электрорадиоэлементами, так как они составляют основу функциональных структур, реализующих обусловленные назначением аппаратуры алгоритмы формирования, преобразования хранения, обработки и воспроизведения сигналов.

Предприятия электронной промышленности выпускают типовые электрорадиоэлементы в широком ассортименте в качестве комплектующих изделий. Изготовление же аппаратуры заключается фактически в сборке ее из готовых электрорадиоэлементов с применением межсоединений и конструктивных элементов, обеспечивающих необходимое пространственное расположение частей аппаратуры, соединение их в единую функциональную структуру, защиту от воздействий окружающей среды и поддержание теплового режима. Отдельные группы электрорадиоэлементов, совместно выполняющие единую функцию, могут из технологических или эксплуатационных соображений объединяться при этом в конструктивно завершенные сборочные единицы, называемые функциональными узлами (рис. 1). Узлы в свою очередь могут объединяться в субблоки, субблоки — в блоки и т. д.

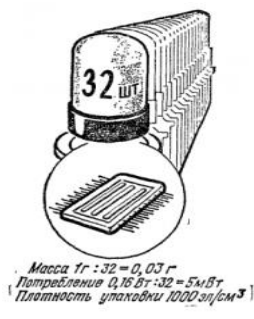
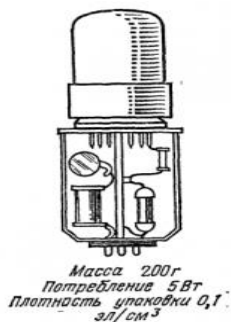


Рис. 1. Функциональный узел    Рис. 2. Интегральная микросхема

В последние 20 лет получила широкое распространение иная технология изготовления функциональных узлов, при которой процессы изготовления входящих в узел электрорадиоэлементов и процессы объединения их в функциональную конструктивно завершенную структуру совмещаются. Эта технология получила название интегральной (от латинского *integre* — целый, неразрывно связанный). Функциональные узлы РЭА, изготовляемые методом интегральной технологии, были названы интегральными микросхемами (ИС) (рис. 2). Приставка «микро» подчеркивает характерную особенность интегральной технологии — высокий уровень миниатюризации, достигаемый в ее изделиях.

Проблема миниатюризации традиционна для радиоэлектроники, но значение ее непрерывно растет по мере расширения областей применения РЭА, усложнения радиооборудования и повышения ответственности выполняемых им функций. Для функциональных узлов аппаратуры удобным показателем уровня миниатюризации является плотность упаковки, характеризуемая отношением числа элементов, содержащихся в узле, к объему, занимаемому узлом.

Опыт показал, что при сборке маломощных функциональных узлов из готовых электрорадиоэлементов не удастся поднять плотность упаковки выше 2 эл/см<sup>3</sup> даже при использовании самых миниатюрных полупроводниковых приборов и пассивных элементов. Интегральная же технология позволяет получить в тысячи раз большую плотность упаковки при невысокой

стоимости и большой надежности. Эта замечательная черта интегральной технологии, открывшая широкие возможности миниатюризации радиоэлектронных изделий, и явилась причиной широкого и быстрого внедрения ИС в РЭА, где они в настоящее время стали основным типом функционального узла.

Переход от традиционных методов сборки функциональных узлов аппаратуры из готовых типовых электрорадиоэлементов к принципиально новой технологии, совмещающей процессы изготовления элементов и процессы объединения их в конструктивно завершенную функциональную структуру, стал возможным лишь благодаря полупроводниковой технологии, освоившей значительное количество новых весьма эффективных приемов и процессов. Результаты этого перехода оказались столь существенными, что знаменовали подъем всей электроники на качественно новый уровень. Появление ИС — это фактически создание новой, более совершенной элементной базы РЭА. Интегральная технология изменила представление об оптимальных функциональных структурах радиоэлектронных устройств и их функциональном базисе. Она вызвала к жизни новые принципы и способы конструирования аппаратуры, оказывает глубокое влияние на все этапы изготовления радиоэлектронных устройств и на способы их эксплуатации, невиданно расширяет сферу их применения. Произошло формирование специальной отрасли электроники, разрабатывающей проблемы конструирования и производства электронных изделий на базе интегральной технологии. Эта отрасль получила название микроэлектроники.

## **2. Устройство интегральных микросхем**

### **Полупроводниковые интегральные микросхемы**

Наибольшее распространение получили ИС, у которых все элементы и межэлементные соединения выполнены в объеме и на поверхности полупроводника. Их называют полупроводниковыми.

Для изготовления полупроводниковых микросхем используют кремниевые монокристаллические пластины диаметром не

менее 30 — 60 мкм и толщиной 0,25 — 0,4 мкм. Элементы микросхемы — биполярные и полевые транзисторы, диоды, резисторы и конденсаторы — формируют в полупроводниковой пластине методами, известными из технологии дискретных полупроводниковых приборов (селективная диффузия, эпитаксия и др.) [5]. Межсоединения выполняют напылением узких проводящих дорожек алюминия на окисленную (т. е. электрически изолированную) поверхность кремния, имеющую окна в пленке окисла в тех местах, где должен осуществляться контакт дорожек с кремнием (в области эмиттера, базы, коллектора транзистора и т. д.). Для соединения элементов микросхемы с ее выводами на проводящих дорожках создаются расширенные участки — контактные площадки. Методом напыления иногда изготавливают также резисторы и конденсаторы.

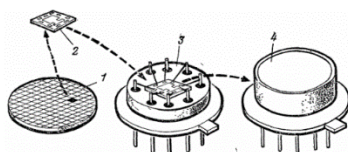


Рис. 3. Основные части микросхемы



Рис. 4. Интегральный биполярный транзистор, изолированный электронно-дырочным переходом

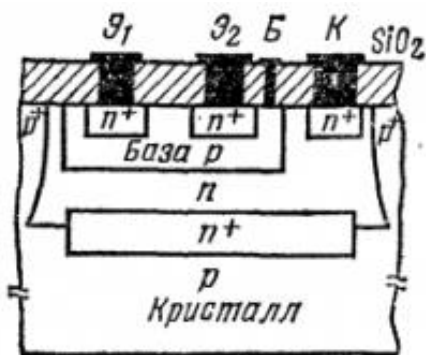


Рис. 5. Интегральный много-эмиттерный транзистор

Изготовление полупроводниковых микросхем осуществляют групповым методом, при котором на одной пластине 1 (рис. 3) одновременно создают большое число (до 300 — 500) одинаковых функциональных структур (наборов элементов и межсоединений). Одновременной обработке подвергается до 20 пластин. После выполнения всех операций по формированию элементов и межсоединений пластину разрезают на отдельные платы 2, называемые кристаллами. Каждый кристалл содержит одну функциональную структуру. Его закрепляют на основании корпуса 3, контактные площадки соединяют с выводами микросхемы с помощью тонких проводничков, затем на основание надевают крышку корпуса 4 и корпус герметизируют, чем обеспечивается защита кристалла от воздействий окружающей среды.

Рассмотрим теперь особенности устройства элементов полупроводниковых микросхем, которые обусловлены необходимостью изоляции элементов от тела кристалла, обладающего заметной электрической проводимостью. Изоляцию элементов осуществляют либо с помощью дополнительного электронно-дырочного перехода, находящегося под обратным напряжением, либо с помощью тонкого слоя диэлектрика, например двуокиси кремния. Первый способ более прост и дешев и поэтому наиболее распространен, но он не позволяет получить ток утечки на тело кристалла менее 10 нА и емкость элемента по отношению к телу кристалла менее 2 пФ. Второй способ более сложен и дорог, но снижает ток утечки в тысячи раз, а емкость — в десятки раз.

Биполярные транзисторы. Структура транзистора, изолированного электронно-дырочным переходом, показана на рис. 4. Электрод коллектора К расположен в интегральных транзисторах на верхней поверхности кристалла, там же находятся электроды эмиттера Э и базы Б. Чтобы в этих условиях обеспечить низкоомный путь для коллекторного тока к электроду коллектора К, под *n*-областью коллектора создают скрытый слой *n*<sup>+</sup>, обладающий повышенной проводимостью. Изолирующий переход образуется вдоль линии, разделяющей *-*область коллектора и *+*-область его скрытого слоя от *p*<sup>+</sup>-областей и *p*-области тела кристалла.

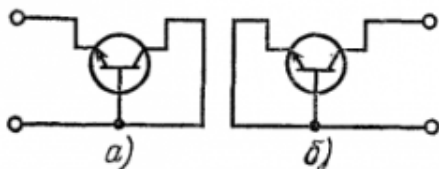


Рис. 6. Интегральные полупроводниковые диоды (схема соединения)

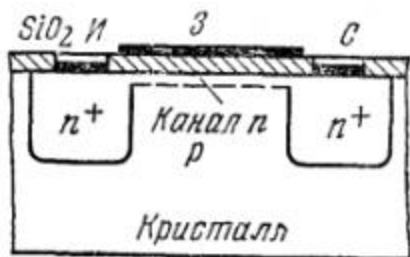


Рис. 7. Интегральный МДП-транзистор

Транзисторы полупроводниковых микросхем могут иметь несколько отдельных эмиттеров при одной базе и одном коллекторе. Такие транзисторы называются многоэмиттерными. Их устройство показано на рис. 5. Если в полупроводниковой микросхеме применяют диэлектрическую изоляцию элементов, то транзисторы имеют такую же двухпереходную структуру, как и их дискретные аналоги.

Значения параметров интегрального биполярного транзистора определяются, как обычно, концентрационным профилем структуры, площадью переходов, электрофизическими параметрами материала. Максимальный коллекторный ток может достигать 50 мА, коэффициент передачи тока базы от 20 до 50, обратные токи переходов менее 10 нА, максимальное коллекторное напряжение до 40 В, предельная рабочая частота до 1000 МГц. Освоены способы изготовления транзисторных структур имеющих коэффициент передачи тока базы до нескольких тысяч [13].

Полупроводниковые диоды. Для упрощения технологического цикла диоды изготавливают на основе транзисторных

структур. Для быстродействующих диодов используют эмиттерный переход при соединенном с базой коллекторе (рис. 6,а). Для диодов, которые должны иметь большое пробивное напряжение, используют коллекторный переход, а эмиттер соединяют с базой (рис. 6,б). Во втором случае скорость переключения получается в десятки раз ниже из-за большего значения неравновесного заряда, накапливающегося не только в области базы, но и в области коллектора, а также из-за большей емкости перехода.

МДП-транзисторы. Эти приборы не нужно специально изолировать от тела кристалла, так как у них область «сток — канал — исток» уже изолирована от тела кристалла электронно-дырочным переходом, образующимся вдоль линии, разделяющей р-область тела кристалла от л<sup>+</sup>-области истока, л-области канала и л<sup>+</sup>-области стока, и этот переход имеет обратное смещение в рабочем режиме (рис. 7). Площадь, занимаемая на подложке МДП-структурой оказывается при этом в сотни раз меньше, чем у биполярных структур, что позволяет получить значительно большую плотность размещения элементов на подложке.

Интегральные МДП-транзисторы имеют следующие значения параметров: ток стока до 10 мА, напряжение стока до 30 В, входное сопротивление — десятки МОм, предельная частота — сотни МГц. Таким образом, интегральные МДП-транзисторы являются сравнительно низкочастотными элементами, что обусловлено большими межэлектродными емкостями.

Конденсаторы. В полупроводниковых микросхемах применяют в основном р—п-конденсаторы, в качестве которых используют коллекторный переход 1 транзисторной структуры (рис. 8). Эмиттерную область в данном случае не формируют. Изолирующий р—п-переход 2 отделяет р—п-конденсатор от тела кристалла. Выводами конденсатора являются алюминиевые электроды 3, 4. Конденсаторы, один вывод которых должен быть соединен с телом кристалла, могут выполняться на основе изолирующего перехода.

Емкость р—п-конденсатора определяется площадью перехода и обычно не превышает 100 пФ. Добротность низкая — не более 10, отклонение от номинала большое — до 30%, температурный коэффициент емкости до 10~3 град-1.



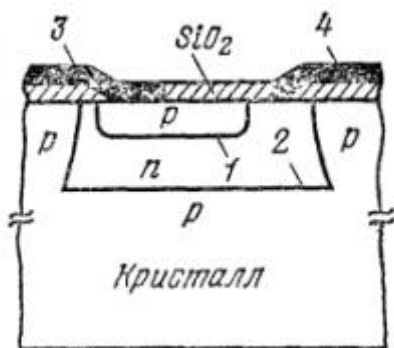


Рис. 8. Интегральный конденсатор

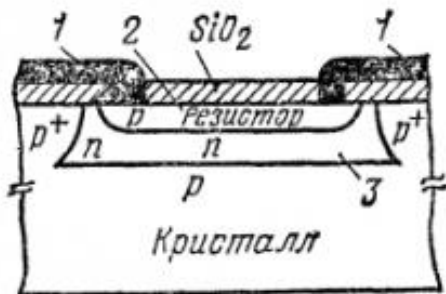


Рис. 9. Диффузионный резистор

Малый диапазон емкостей, низкая добротность, высокий температурный коэффициент и зависимость емкости от приложенного напряжения не позволяют в ряде случаев использовать р—п-конденсаторы. Тогда применяют пленочные конденсаторы типа «металл — диэлектрик — металл». Их выполняют последовательным напылением трех тонких слоев (проводящего, изолирующего и проводящего) на изолирующую пленку двуокиси кремния, находящуюся на поверхности полупроводниковой пластины. Емкость таких конденсаторов достигает 500 пФ при отклонении от номинала не более 5 — 10%, добротность — до 100, температурный коэффициент до 10~4 град-1, рабочее напряжение — до 60 В.

Применяют также конденсаторы типа МДП, у которых

нижнюю обкладку образует эмиттерный слой транзисторной структуры, диэлектриком является пленка двуокиси кремния, а верхняя обкладка — металлическая. Вследствие большого сопротивления потерь нижней (полупроводниковой) обкладки такие конденсаторы несколько уступают конденсаторам с металлическими обкладками, но проще их в изготовлении. По сравнению с параметрами р—п-конденсаторов параметры МДП-конденсаторов значительно выше.

Резисторы. Для формирования в полупроводниковой пластине области, обладающей требуемым электрическим сопротивлением, обычно используют базовый слой транзисторной структуры (рис. 9) и, иногда, эмиттерный или коллекторный слои. Такие резисторы называются диффузионными. Алюминиевые межсоединения 1 имеют контакт с резистивным элементом 2 через окна в изолирующей пленке двуокиси кремния. Электронно-дырочный переход 3 изолирует резистивный элемент от тела кристалла.

Поскольку такие параметры диффузионных слоев, как толщина, концентрация и распределение примеси, задаются требованиями к транзисторным структурам, необходимое сопротивление резистивного элемента может быть получено лишь путем выбора слоя и его ширины и длины. Эмиттерный слой, имеющий более высокую концентрацию примесей, используют для получения резисторов с малым сопротивлением (от 2 до 30 Ом), а базовый слой — с большим сопротивлением (от 100 Ом до 20 кОм). Отклонение от номинала достигает 20%, предельная частота — до 100 МГц, максимальное рабочее напряжение 5 и 20 В соответственно и температурный коэффициент  $1 \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup> и  $1 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>, соответственно.

В полупроводниковых микросхемах обычно применяют диффузионные резисторы, но если требуемый номинал сопротивления не может быть с их помощью реализован, то в качестве резистивного элемента используют дорожки из пленки высокоомного металла напыленные, как и межсоединения, на изолирующую пленку двуокиси кремния, покрывающую поверхность кристалла. Эти резисторы называются пленочными.

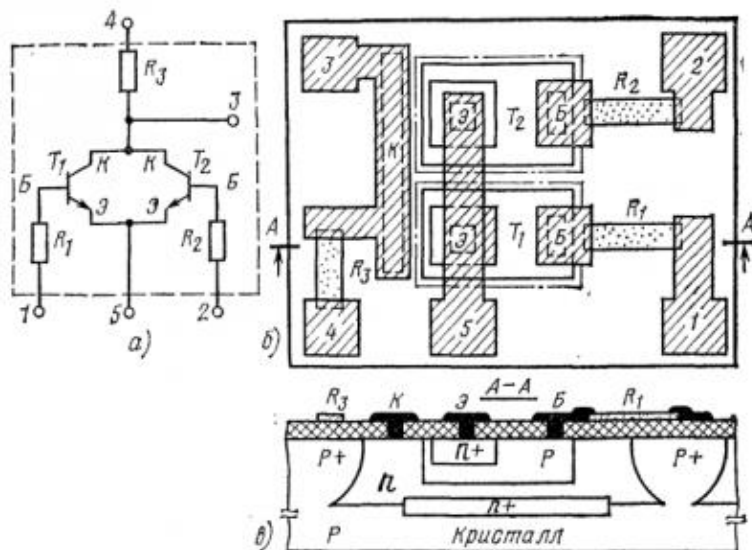


Рис. 10. Кристалл полупроводниковой микросхемы

В качестве резисторов в полупроводниковых микросхемах используют также канал МДП-транзистора. Сопротивление при этом может регулироваться изменением напряжения, подаваемого на затвор (минимальное сопротивление около 10 Ом).

Размещение элементов, межсоединений и контактных площадок на поверхности и внутри кристалла полупроводниковой микросхемы иллюстрирует рис. 10. На рис. 10.а) показана принципиальная схема функционального узла, выполненного в виде данной микросхемы. Это логический элемент ИЛИ-НЕ, состоящий из двух транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  и трех резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . На рис. 10.б) показан кристалл полупроводниковой микросхемы, представляющий собой данный функциональный узел (вид сверху). Обозначения те же что и на принципиальной схеме. Области, занятые транзисторными структурами, отмечены буквами  $T_1$  и  $T_2$ , выходы их эмиттеров — Э, коллекторов - К, баз - Б, пленочные резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  (отмечены точками). Межсоединения и контактные площадки 1, 2, 3, 4, 5 отмечены штрихов-

кой. Область, занимаемая элементами на кристалле имеет размеры 1x1 мм. На рис 10.е показан разрез кристалла по А-А. Видны эмиттерная n+-область транзистора Т1 и вывод его эмиттера Э, базовая p-область и ее вывод Б, коллекторная n-область и ее вывод К, а также изолирующий слой двуокиси кремния на поверхности подложки (заштрихован) и пленочные резисторы R1 и R3 (отмечены точками).

Рассмотренная полупроводниковая микросхема имеет пять элементов: два транзистора и три резистора. В выпускаемых промышленностью микросхемах число элементов на кристалле значительно больше, иногда оно исчисляется десятками и даже сотнями тысяч.

### **Пленочные интегральные микросхемы**

Второй разновидностью микросхем являются пленочные микросхемы, подразделяемые на тонкопленочные и толстопленочные. Более совершенны и шире распространены тонкопленочные микросхемы. Их выполняют на диэлектрической подложке (из стекла, ситал-ла, керамики), элементами их являются резисторы и конденсаторы. Иногда используют индуктивные элементы.

Резисторы изготавливают напылением на подложку 3 (рис. 11) через трафарет тонкой пленки высокоомного материала (нихром, тантал, сплав МЛТ) нужной конфигурации. Концы полученного резистивного элемента 1 соединяют с пленочными контактными площадками 2, выполняемыми из металла, обладающего высокой электропроводностью (алюминий, медь, золото).

Электрическое сопротивление такого резистора может быть от 10 Ом до 1 МОм в зависимости от толщины, ширины и длины резистивной полоски, а также удельного сопротивления материала. Отклонение от номинала 5 — 10 %; применяя подгонку, можно получить отклонение менее 0,1 %. Температурный коэффициент сопротивления (50 — 500)-10<sup>-6</sup> град<sup>-1</sup>. Допустимая удельная мощность рассеяния составляет 1 — 3 Вт/см<sup>2</sup>. Благодаря малой собственной индуктивности тонкопленочные резисторы имеют частотный диапазон до 1000 МГц.

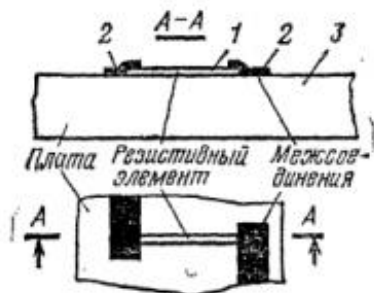


Рис. 11. Интегральный пленочный резистор

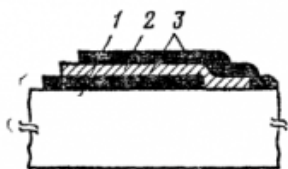


Рис. 12. Интегральный пленочный конденсатор

Конденсаторы выполняют на диэлектрической подложке 1 (рис. 12) последовательным напылением трех слоев: металл — диэлектрик — металл. Металлические слои 3, образующие обкладки конденсатора, изготовляют обычно из алюминия. В качестве диэлектрика 2 используют окись кремния, окись алюминия, боросиликатное стекло и др. Емкость такого конденсатора в зависимости от площади обкладок, толщины и диэлектрической проницаемости диэлектрика составляет от 100 до 5000 пФ при рабочем напряжении до 60 В. Температурный коэффициент емкости  $(35 - 400) \cdot 10^{-6}$  в град<sup>-1</sup>, частотный диапазон до 300 — 500 МГц.

Индуктивные элементы могут быть выполнены в виде однослойных многovitковых спиралей, однако индуктивность их не превышает 20 мкГн при добротности не более 50.

На базе пленочной технологии до сих пор не удалось создать достаточно надежные транзисторы или другие активные элементы, поэтому пленочные микросхемы имеют ограниченное самостоятельное применение и большей частью составляют основу гибридных микросхем.

## Гибридные интегральные микросхемы

Гибридные микросхемы изготавливают на диэлектрической подложке, их пассивные элементы  $R$ ,  $C$ ,  $L$ , межсоединения и контактные площадки выполняют по пленочной технологии, т. е. напылением. Применяют групповой метод обработки, при котором на одну подложку наносят до 16 — 18 идентичных групп элементов и межсоединений, затем подложку разрезают на части — платы каждая из которых содержит элементы и межсоединения одного функционального узла.

Транзисторы для гибридных микросхем изготавливают отдельно, в целях экономии объема в бескорпусном оформлении иногда в виде сборки. Их параметры имеют примерно те же численные значения, что и у дискретных аналогов. Бескорпусные транзисторы защищают от воздействий внешней среды специальным влагостойким покрытием.

Монтаж транзистора 1 (рис. 13) на плате осуществляют термокомпрессионной сваркой шариковых 3 или балочных 5 выводов с контактными площадками 2 либо с помощью проволочных выводов.

Общий вид платы гибридной микросхемы показан на рис 14 а. На диэлектрическую подложку наносят через трафарет резистивные полоски  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  из высокоомного материала, затем через другой трафарет распылением металла, имеющего высокую электропроводность, наносят нижнюю обкладку  $O$ , конденсатора  $C$ , межсоединения и контактные площадки 1 — 5. Далее через третий трафарет наносят пленку диэлектрика конденсатора  $D$  и, наконец, через четвертый трафарет наносят последний слой — верхнюю обкладку конденсатора  $O_2$ . Транзистор  $T$  приклеивают к подложке и проволочными выводами подсоединяют к соответствующим контактным площадкам.

На рис. 14,6 показана принципиальная схема рассмотренного устройства. Оно функционально незавершено, поскольку может быть использовано (в усилителе с общим эмиттером, в эмиттерном повторителе и т. п.) лишь при подключении к нему ряда внешних элементов. Такая функциональная незавершенность обычно возникает из-за трудностей выполнения некоторых элементов

(например, катушек) в виде, пригодном для монтажа внутри микросхемы. Иногда микросхему специально оставляют функционально незавершенной, чтобы расширить сферу ее использования.

Рассмотренная микросхема имеет один транзистор, один конденсатор и три резистора.

Выпускаемые промышленностью гибридные микросхемы во многих случаях значительно сложнее, число их элементов может достигать нескольких сотен.

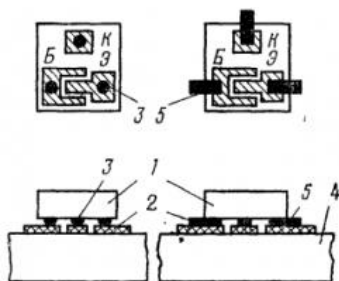


Рис. 13. Монтаж бескорпусного транзистора в гибридной микросхеме

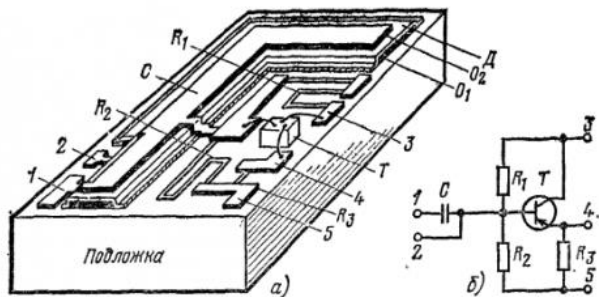


Рис. 14. Плата гибридной микросхемы

Гибридные микросхемы могут выполняться и на основе толсто пленочной технологии, более дешевой, но, как уже указывалось, менее совершенной. Подложка для толсто пленочной микросхемы имеет размеры 16X10X1 или 10X10X1 мм и выполняется из высокоглиноземистой керамики, имеющей хорошую адгезию к наносимым материалам. Элементами толсто пленочной микросхемы являются резисторы и конденсаторы, их выполняют так же, как и межсоединения, путем нанесения на поверхность

подложки через сетчатый трафарет специальных проводящих, резистивных и диэлектрических паст, подвергаемых после нанесения термической обработке. Получаемые таким образом резисторы могут иметь сопротивление от 5 Ом до 70 кОм с разбросом (после подгонки) до 1 %, при удельной мощности рассеяния до 0,5 Вт/см<sup>2</sup>. Конденсаторы имеют емкость от 60 до 350 пФ, добротность до 50, пробивное напряжение до 150 В. Температурный коэффициент у резисторов  $\pm 5-10 \sim 4$  град-1, конденсаторов 4-10 $\sim 4$  град-1. Бескорпусные транзисторы и диоды монтируют в толстопленочных гибридных микросхемах обычным способом.

### **Микросхемы повышенного уровня интеграции**

По числу содержащихся в корпусе микросхем элементов различают шесть степеней интеграции: первая степень — от 1 до 101; вторая — от 10 до 102; третья — от 102 до 103; четвертая — от 103 до 104; пятая — от 104 до 105; шестая — от 105 до 106 элементов.

Интегральные микросхемы, содержащие более 100 элементов, принято называть микросхемами повышенного уровня интеграции, используется также термин «большие интегральные схемы» (БИС) он соответствует четвертой-пятой степеням интеграции.

Микросхемы повышенного уровня интеграции имеют по сравнению с микросхемами малого уровня интеграции значительно лучшие габаритные характеристики, меньшую стоимость в расчете на один функциональный элемент, а также ряд других преимуществ благодаря которым удастся существенно улучшить основные технико-экономические характеристики аппаратуры.

Во-первых, значительно уменьшается число соединений в аппаратуре из-за большей функциональной сложности самих микросхем. Усредненные расчеты показывают, что микросхема, например с пятью логическими элементами нуждается в пяти внешних выводах на один элемент для обеспечения необходимых функциональных связей в устройстве. При увеличении количества логических элементов в микросхеме до 50 число внешних выводов уменьшается до двух на элемент. Известно, что в микроэлектронной аппаратуре контактные соединения являются одной из основных причин ее отказов. Поэтому их уменьшение при использовании микросхем повышенной степени интеграции позволяет повысить надежность аппаратуры на один-два порядка по сравнению с



аппаратурой на микросхемах малой степени интеграции.

Во-вторых, сокращается общая длина соединений между элементами, снижаются паразитные емкости нагрузок и, следовательно повышается быстродействие аппаратуры. При применении элементов со средней задержкой переключения 2 не реализовать их быстродействие можно только в том случае, если общая длина межсоединения не будет превышать 4 см, тогда задержка в межсоединениях будет примерно на порядок меньше, чем в элементе. Отсюда следует, что создание устройств со сверхвысоким быстродействием принципиально возможно только на базе микросхем повышенного уровня интеграции, в которых длину соединений можно довести до 1 см, снизив тем самым задержку распространения сигнала между элементами до 0,05 — 0,1 нс.

Вместе с отмеченными достоинствами микросхемы повышенного уровня интеграции имеют целый ряд особенностей, которые осложняют их разработку, изготовление и применение. Например возрастание удельной рассеиваемой мощности при увеличении степени интеграции требует принятия специальных мер по обеспечению теплоотвода, а при удельной мощности выше 20 Вт/см<sup>2</sup> — применения принудительного охлаждения. Важной задачей при этом становится разработка функциональных структур, применение функциональных элементов и режимов, которые давали бы возможность снизить затраты энергии, приходящейся на одну выполняемую функцию

Повышение степени интеграции в большинстве случаев приводит к увеличению сложности функций, выполняемых микросхемой. С одной стороны, это положительный фактор, так как при использовании более сложных микросхем упрощается проектирование и изготовление аппаратуры. В то же время стоимость ремонта может существенно возрасти. Меньшая универсальность микросхемы повышенной степени интеграции ограничивает необходимый объем их выпуска, а следовательно, увеличивает их стоимость. (Последнее не относится к программно-управляемым микросхемам, для которых повышение степени интеграции не уменьшает универсальности.)

При повышении плотности упаковки усиливается электромагнитная связь между элементами за счет близкого расположения межсоединений и самих элементов, что приводит к пони-

жению помехоустойчивости микросхем. Появляются значительные трудности при изготовлении малых по размерам корпусов с большим количеством выводов, что существенно сдерживает увеличение степени интеграции.

Тем не менее повышение уровня интеграции микросхем является прогрессивным направлением их развития, направлением, которое помогает существенно улучшить как функциональные, так и эксплуатационные показатели РЭЛ.

Существует два направления в разработке микросхем повышенного уровня интеграции. Одно из них базируется на гибридной технологии, использующей бескорпусные микросхемы малой степени интеграции и пленочную технологию их соединения на диэлектрической подложке. Бескорпусные микросхемы по сравнению с их аналогами в корпусах меньше по объему и массе примерно в 70 раз и по занимаемой площади в 30 раз. Устанавливают их на многослойную подложку, иногда называемую коммутационной платой. Соединения наносят либо по тонкопленочной, либо по толстопленочной технологии. Гибридная технология получила широкое распространение для изготовления микросхем повышенной степени интеграции благодаря сравнительно низкой стоимости проектирования и изготовления микросхем малой степени интеграции, хорошо отработанному технологическому процессу и высокому проценту выхода годных изделий.

Другое направление в разработке и производстве микросхем повышенной степени интеграции использует полупроводниковую технологию. Все элементы изготавливают в объеме полупроводниковой пластины и затем соединяют в требуемую схему с помощью тонких проводящих пленочных полосок, нанесенных на поверхность окисленной пластины. Межсоединения выполняют обычно по методу избирательного монтажа, при котором предварительно осуществляют на каждой пластине проверку годности элементов, после чего с помощью ЭВМ составляют схему межсоединений и затем только осуществляют межсоединения.

Полупроводниковые микросхемы повышенной степени интеграции изготавливают главным образом на основе МДП-транзисторов. Это объясняется их преимуществами перед микросхемами на биполярных транзисторах: втрое меньшим числом технологических операций и на порядок большей плотностью размещения элементов на подложке.

Однако по быстродействию они уступают микросхемам на биполярных транзисторах. Поэтому основную область их применения составляет аппаратура сравнительно невысокого быстродействия.

### **3. Функциональная классификация интегральных микросхем**

Практические возможности интегральной технологии в настоящее время таковы, что большинство маломощных функциональных узлов РЭА может быть реализовано в виде микросхем. Однако промышленное производство микросхем определенного типа целесообразно лишь тогда, когда данный тип находит массовое применение в РЭА. При малом объеме сбыта затраты на разработку и подготовку производства могут существенно повысить стоимость микросхемы и применение ее в аппаратуре окажется нецелесообразным по экономическим причинам. Эти соображения обуславливают необходимость ограничения номенклатуры микросхем.

Следует отметить также, что микросхемы относятся к комплектующим изделиям: они не имеют самостоятельного функционального назначения, а применяются лишь в совокупности с другими изделиями как составные части более сложных и притом весьма разнообразных устройств. Поэтому круг требований к микросхемам со стороны потребителей оказывается чрезвычайно широким. Удовлетворение этих требований представляется трудной задачей, так как интегральные микросхемы отличаются большой сложностью и для их производства требуются уникальное оборудование, уникальные технологические процессы и высокая квалификация персонала.

Эффективное решение проблемы возможно лишь при плановом развитии номенклатуры микросхем и их стандартизации. Государственные стандарты определяют функциональную классификацию и типы изделий, ряды разрешенных значений основных параметров изделий (параметрические ряды) и ряды габаритных и присоединительных размеров, типов и размеров корпусов, значений питающих напряжений (размерные ряды).

Функциональная классификация интегральных микросхем определена государственным стандартом ГОСТ 18682 — 73. Интегральные микросхемы по роду выполняемой функции разбиты на подгруппы (усилители, преобразователи, триггеры и

т. д.), внутри каждой подгруппы микросхемы подразделены по виду выполняемой функции (усилители высокой частоты, преобразователи фазы, триггеры RS и т. д.). В соответствии с функциональной классификацией микросхемам присваивают определенные наименования.

Интегральные микросхемы выпускаются промышленностью в виде серий, включающих микросхемы, предназначенные для совместного использования в РЭА. Все микросхемы, входящие в одну серию, имеют один тип корпуса, одинаковые напряжения питания, показатели надежности, допустимые уровни воздействий.

При выборе микросхем для аппаратуры определенного типа необходимо руководствоваться не только функциональным назначением микросхемы, но и значениями параметров, характеризующих свойства микросхемы и режимы работы. Обычно указываются следующие виды параметров: функциональные параметры микросхемы, характеризующие ее возможности; параметры рабочего режима, определяющие совокупность условий, необходимых для правильного функционирования микросхемы; допустимые уровни воздействий окружающей среды, не нарушающие нормального функционирования микросхемы в пределах гарантированного ресурса; конструктивные параметры, характеризующие габаритные и присоединительные размеры.

Конкретные значения параметров и указания по применению приводятся в нормативно-технической документации на изделие и в справочниках. При решении вопроса о применении той или иной микросхемы в проектируемой аппаратуре необходимо исходить из ее параметров и указаний по применению, приведенных в указанной документации.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что в себя включает радиоэлектронная аппаратура?
2. Как изготавливают гибридные микросхемы?
3. Пленочные микросхемы подразделяются?
4. Что используют для изготовления полупроводниковых микросхем?

## Тема 2. Электронные устройства

### 2.1. Общие сведения

План лекции:

1. Основные определения.
2. Принцип построения электронного устройства.

Электронные устройства разделяются на аналоговые и цифровые.

Аналоговые электронные устройства (АУЭ) - это устройства усиления и обработки аналоговых электрических сигналов, выполненные на основе электронных приборов. Следует выделить две большие группы по которым можно классифицировать аналоговые электронные устройства:

\* усилители - это устройства, которые за счет энергии источника питания формируют новый сигнал, являющийся по форме более или менее точной копией заданного, но превосходит его по току, напряжению, или по мощности.

\* устройства на основе усилителей - в основном преобразователи электрических сигналов и сопротивлений.

Преобразователи электрических сигналов (активные устройства аналоговой обработки сигналов) - выполняются на базе усилителей, либо путем непосредственного применения последних со специальными цепями обратных связей, либо путем некоторого их видоизменения. Сюда относят устройства суммирования, вычитания, логарифмирования, антилогарифмирования, фильтрации, детектирования, перемножения, деления, сравнения и др. Преобразователи сопротивлений - выполняются на основе усилителей с обратными связями. Они могут преобразовывать величину, тип, характер сопротивления. Используют их в некоторых устройствах обработки сигналов. Особый класс составляют всевозможные генераторы и связанные с ними устройства.

Аналоговый сигнал представляет собой непрерывную функцию, с неограниченной по количеству значений в различные моменты времени. Наиболее часто встречающимся аналоговым сигналом являются звуки нашей речи, которые на осциллограм-

мах имеют различные, причудливые формы. Аналоговые сигналы изменяются по тому же закону, что и описываемые им физические процессы.

Цифровые технологии (англ. Digital technology) основаны на представлении сигналов дискретными полосами аналоговых уровней, а не в виде непрерывного спектра. Все уровни в пределах полосы представляют собой одинаковое состояние сигнала. Цифровая технология работает, в отличие от аналоговой, с дискретными, а не непрерывными сигналами. Кроме того, сигналы имеют небольшой набор значений, как правило, два. Обычно это 0 и 1, которые в булевой алгебре имеют значения «Ложь» и «Истина» соответственно. Цифровые схемы состоят в основном из логических элементов, таких как AND, OR, NOT и др., а также могут быть связаны между собой счетчиками и триггерами. Цифровые технологии главным образом используются в вычислительной цифровой электронике, прежде всего компьютерах, в различных областях электротехники, таких как игровые автоматы, робототехника, автоматизация, измерительные приборы, радио- и телекоммуникационные устройства и т. д.

В состав электронных устройств входят: неуправляемые полупроводниковые выпрямители, управляемые полупроводниковые выпрямители, электронные усилители, генераторы синусоидальных колебаний, генераторы пилообразного напряжения, мультивибраторы (аналоговые), логические элементы (цифровые) и пр.

## **Аналоговые устройства**

Выпрямитель (электрического тока) - преобразователь электрической энергии; механическое, электровакуумное, полупроводниковое или другое устройство, предназначенное для преобразования переменного входного электрического тока в постоянный выходной электрический ток.

Большинство выпрямителей создаёт не постоянные, а пульсирующие однонаправленные напряжение и ток, для сглаживания пульсаций которых применяют фильтры.

Устройство, выполняющее обратную функцию - преобразование постоянных напряжения и тока в переменные напряжение и ток - называется инвертором.

Из-за принципа обратимости электрических машин выпрямитель и инвертор являются двумя разновидностями одной и той же электрической машины (справедливо только для инвертора на базе электрической машины).

## **Выпрямители электросиловых установок**

Выпрямители питания главных двигателей постоянного тока автономных транспортных средств и буровых станков.

Как правило, на автономных транспортных средствах (автомобилях, тракторах, тепловозах, теплоходах, атомоходах, самолётах) для получения электроэнергии применяют генераторы переменного тока, так как они имеют большую мощность при меньших габаритах и весе, чем генераторы постоянного тока. Но для приводов движителей транспорта обычно применяются двигатели постоянного тока, так как они позволяют простым переключением полюсов питающего тока управлять направлением движения. Это позволяет отказаться от сложных, тяжёлых и ненадёжных коробок переключения передач. Также применяется и для привода бурильных станков буровых вышек.

Преобразователи бортового электроснабжения постоянного тока автономных транспортных средств: автотракторной, железнодорожной, водной, авиационной и другой техники.

Генерация электроэнергии на транспортном средстве обычно производится генератором переменного тока, но для питания бортовой аппаратуры необходим постоянный ток. Например, в легковых автомобилях применяются электромеханические или полупроводниковые выпрямители.

## **Электронный усилитель**

Электронный усилитель - усилитель электрических сигналов, в усилительных элементах которого используется явление

электрической проводимости в газах, вакууме и полупроводниках. Электронный усилитель может представлять собой как самостоятельное устройство, так и блок (функциональный узел) в составе какой-либо аппаратуры - радиоприёмника, магнитофона, измерительного прибора и т. д.

### **Классификация. Аналоговые усилители и цифровые усилители**

В аналоговых усилителях аналоговый входной сигнал без цифрового преобразования усиливается аналоговыми усилительными каскадами. Выходной аналоговый сигнал без цифрового преобразования подаётся на аналоговую нагрузку.

В цифровых усилителях, после аналогового усиления входного аналогового сигнала аналоговыми усилительными каскадами до величины достаточной для аналогоцифрового преобразования аналогоцифровым преобразователем (АЦП, ADC) происходит аналогоцифровое преобразование аналоговой величины (напряжения) в цифровую величину - число (код), соответствующий величине напряжения входного аналогового сигнала. Цифровая величина (число, код) либо непосредственно подаётся через буферные управляющие усилительные каскады на цифровое выходное исполнительное устройство, либо подаётся на мощный цифроаналоговый преобразователь (ЦАП, DAC) мощный аналоговый выходной сигнал которого подаётся на аналоговое выходное исполнительное устройство.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что представляет из себя усилитель?
2. Что называется электронным усилителем?
3. Для чего предназначено аналоговое устройство?
4. Что входит в состав электронных устройств?



## 2.2.Усилители

План лекции:

- 1.Общие сведения об усилителях.
- 2.Усилители переменного тока.

### 1.Общие сведения об усилителях

Структурная схема электронных усилителей.

Электронным усилителем называют устройство, предназначенное для увеличения параметров электрического сигнала (напряжения  $U$ , тока  $I$  или мощности  $P$ ) за счет энергии потребляемой от источника питания усилителя с помощью усилительных элементов (транзисторов, операционных усилителей и т.п.) при заданном уровне искажений.

Электронные усилители являются одними из наиболее важных и широко используемых устройств в системах передачи и обработки различной информации, представленной с помощью электрических сигналов. Высокая чувствительность, быстродействие, компактность, экономичность электронных усилителей обусловили их широкое применение в измерительной технике, электро- и радиосвязи, автоматике, вычислительной технике и т.п.

Классификация усилителей:

1. По роду усиливаемых сигналов:
  - усилители гармонических сигналов;
  - усилители импульсных сигналов.
2. По характеру изменения сигнала во времени:
  - усилителя постоянного тока;
  - усилители переменного тока:
  - низкочастотные;
  - высокочастотные;
  - широкополосные;
  - избирательного усиления.
3. По типу используемых элементов:
  - ламповые;
  - полупроводниковые;
  - оптоэлектронные.

Простейший усилитель в виде четырехполюсника представлен на рис.1

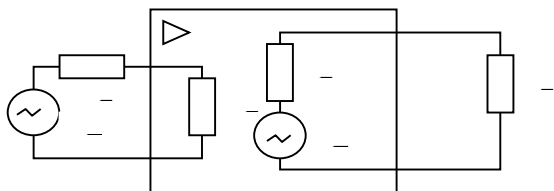


Рис.1. Простейший усилитель в виде четырехполюсника

Электронный усилитель регулирует поток энергии от источника энергии в нагрузку, обеспечивая пропорциональное соответствие напряжения (тока, мощности) на нагрузке напряжению (току, мощности) источника управляющего сигналом (ИУС).

Структурная схема электронных усилителей представлена на рис. 2.

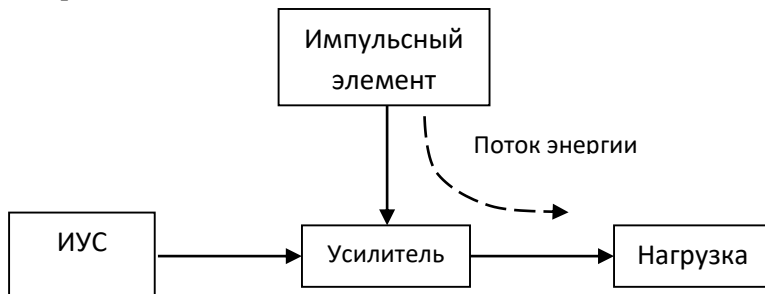


Рис. 2. Структурная схема электронных усилителей

Усилитель имеет входную цепь, к которой подключен ИУС и выходную цепь для подключения нагрузки (рис.3).

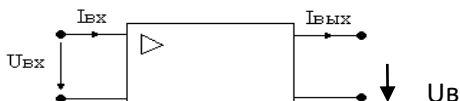


Рис. 3. Обозначение усилителей на структурных схемах

Основные технические показатели и характеристики усилителей.

Параметрами, характеризующими электронные усилители, являются:

1) Коэффициент усиления по напряжению  $K_U = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}$ ;

2) Коэффициент усиления по току  $K_I = \frac{\dot{I}_{\text{вых}}}{\dot{I}_{\text{вх}}}$ ;

3) Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{\dot{P}_{\text{вых}}}{\dot{P}_{\text{вх}}} = \frac{\dot{U}_{\text{вых}} \cdot \dot{I}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}} \cdot \dot{I}_{\text{вх}}} = K_U \cdot K_I;$$

4) Дифференциальное входное сопротивление

$$R_{\text{вх}} = \frac{dU_{\text{вх}}}{dI_{\text{вх}}} \approx \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta I_{\text{вх}}};$$

5) Коэффициент преобразования напряжения в ток  $S = \frac{I_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$ ;

6) Коэффициент преобразования тока в мощность  $W = \frac{P_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$ .

Для анализа и синтеза систем автоматического управления, содержащих усилители, используют логарифмические формы записи коэффициентов усиления:

$$K_U[\partial\delta] = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right);$$

$$K_I[\partial\delta] = 20 \cdot \lg \left( \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} \right);$$

$$K_P[\partial\delta] = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \right).$$

Динамическим диапазоном называется отношение максимально допустимого значения входного сигнала к его минимальному значению:

$$D = \frac{U_{\text{ex.max}}}{U_{\text{ex.min}}},$$

где  $U_{\text{вх.min}}$  определяется уровнем собственных шумов усилителя, на фоне которого невозможно выделить полезный сигнал, а  $U_{\text{вх.max}}$  вызвано искажением выходного сигнала, который возникает из-за выхода рабочих точек усилителя за пределы линейных участков характеристик.

КПД определяется отношением выходной мощности, отдаваемой в нагрузку, к общей мощности, потребляемой источником питания:

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_0}.$$

Характеристики преобразования показывают, как преобразуется входной сигнал в зависимости от параметров усилителя.

В зависимости от вида, усилители имеют разную амплитудно-частотную характеристику (рис.4). Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это зависимость модуля коэффициента усиления по напряжению  $|K_U|$  от частоты  $f$  усиливаемого сигнала. Диапазон частот, расположенных между нижней  $f_n$  и верхней  $f_e$  частотами, называют полосой пропускания усилителя. При этом частоты  $f_n$  и  $f_e$  - это частоты, на которых коэффициент усиления уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз относительно модуля коэффициента  $|K_{cp}|$  усиления на средней частоте.

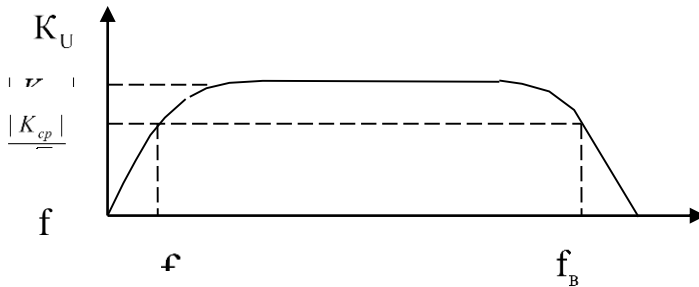


Рис.4. Амплитудно-частотная характеристика.

Кроме амплитудно-частотной характеристики существует фазовая частотная характеристика (ФЧХ), т.е. зависимость фазового сдвига между входным и выходным сигналами от частоты усиливаемого сигнала.

В ряде случаев для наглядности строят ФЧХ (рис.5) отдельно для области низких и области верхних рабочих частот.

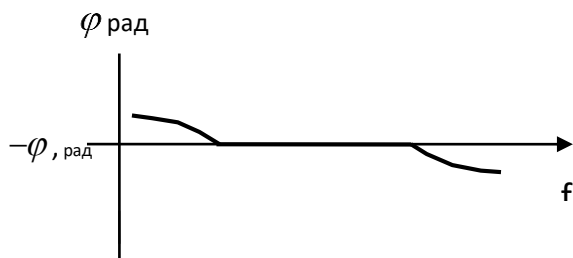


Рис. 5. Фазовая частотная характеристика

#### Виды обратных связей в усилителях

На практике ни один усилитель не используется без обратной связи (ОС). Обратной связью называют передачу части энергии из выходной цепи во входную цепь усилителя.

Принцип введения отрицательной обратной связи иллюстрируется на рис. 6.

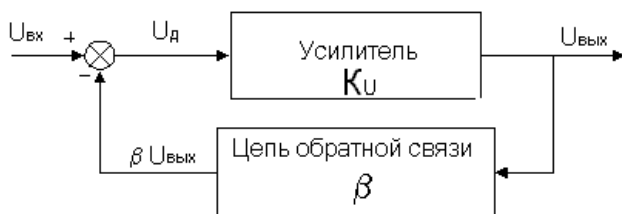


Рис. 6. Принцип организации отрицательной обратной связи

Часть выходного напряжения возвращается через цепь обратной связи к входу усилителя.

Воздействие ОС может привести либо к увеличению, либо к уменьшению результирующего сигнала непосредственно на входе

усилителя. В первом случае ОС называют положительной, во втором - отрицательной (сигналы на входе усилителя либо складываются, либо вычитаются, иначе говоря, сигнал обратной связи либо находится в противофазе с входным сигналом, либо совпадает по фазе с входным сигналом). В усилителях в основном используется отрицательная обратная связь (ООС), введение которой позволяет улучшить почти все характеристики усилителей.

Различают ОС по принципу действия и способу подачи сигнала во входную цепь усилителя.

По способу введения сигнала ОС во входную цепь усилителя различают последовательную и параллельную обратные связи. В первом случае напряжение с выхода звена ОС включается последовательно с напряжением источника входного сигнала (рис.7), а во втором - параллельно (рис.8)

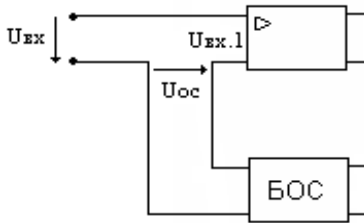


Рис. 7. ОС с последовательной передачей сигнала во входной контур

$$U_{\text{вх.1}} = U_{\text{вх}} + U_{\text{ОС}}$$

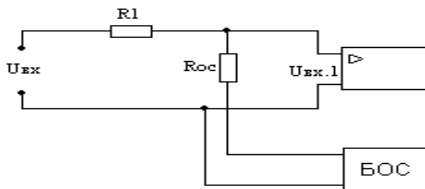


Рис. 8. ОС с параллельной подачей сигнала во входной контур

Резисторы  $R_1$  и  $R_{oc}$  на рис.8 позволяют просуммировать токи от источника и блока обратной связи (БОС). Непосредственное параллельное соединение входного источника и выхода БОС

невозможно, т.к. равносильно подключению двух источников ЭДС параллельно.

По принципу действия различают обратную связь по напряжению, по току и комбинированную.

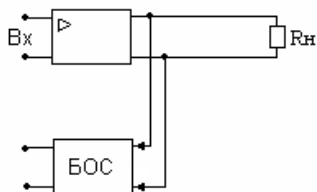


Рис.9. Обратная связь по напряжению

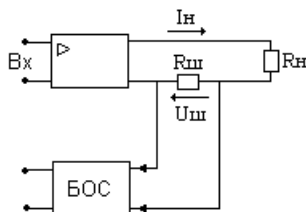


Рис.10. Обратная связь по току (с использованием шунтирующего резистора)

Шунтирующий резистор  $R_{ш}$  на рис.10 играет роль датчика тока. Его сопротивление выбирают достаточно малым для того, чтобы обеспечить падение напряжения на нем в десятки – сотни мВ, поэтому резистор  $R_{ш}$  не оказывает существенного влияния на ток в выходном контуре. Напряжение на шунтирующем резисторе  $U_{R_{ш}} = R_{ш} \cdot I_{н}$  поступает на вход блока обратной связи, что обеспечивает обратную связь по току нагрузки  $I_{н}$ .

Влияние обратной связи на коэффициент усиления и входное сопротивление усилителя.

В усилителях, в основном, используется отрицательная обратная связь (ООС), введение которой позволяет улучшить почти все характеристики усилителей. На рис. 11 показан усилитель, охваченный последовательной обратной связью по напряжению. Оценим свойства такого усилителя.

Напряжение  $U_{ex.1}$  определяется с помощью 2-го закона Кирхгофа по формуле:

$$U_{\text{ex.1}} = U_{\text{ex.2}} \pm U_{\text{oc}}, \quad (1)$$

где знак “+” для положительной обратной связи, знак “-” – для отрицательной обратной связи.

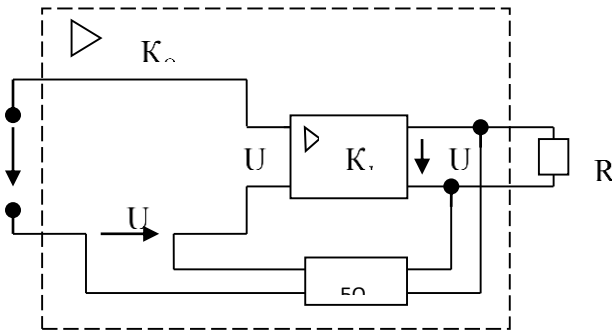


Рис.11. Усилитель с ОС

Разделим выражение (1) на  $U_{\text{вых}}$  и введем следующие обозначения:

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{ex.1}}} - \text{коэффициент усиления усилителя без обратной связи;}$$

ратной связи;

$$K_{\text{oc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{ex}}} - \text{коэффициент усиления усилителя с БОС;}$$

$$\beta = \frac{U_{\text{oc}}}{U_{\text{вых}}} - \text{коэффициент передачи БОС.}$$

В результате получим следующее выражение:

$$\frac{1}{K_U} = \frac{1}{K_{\text{oc}}} \pm \beta. \quad (2)$$

Или



$$K_{oc} = \frac{K_U}{1 \pm \beta \cdot K_U}, \quad (3)$$

где знак “+” для отрицательной обратной связи, знак “-” – для положительной обратной связи.

Выражение показывает, что введение ООС приводит к уменьшению результирующего коэффициента усиления. Практически это единственное негативное свойство ООС.

Приняв допущение, что коэффициент усиления  $K_{oc}$  стремится к бесконечно большой величине, исходя из формулы (2) получим следующее выражение:

$$0 = \frac{1}{K_{oc}} \pm \beta, \quad (4)$$

или

$$K_{oc} = \pm \frac{1}{\beta}. \quad (5)$$

Чтобы получить положительный коэффициент усиления усилителя с БОС  $K_{oc}$ , коэффициент передачи БОС  $\beta$  должен быть меньше нуля. При таком коэффициенте передачи блок обратной связи может быть реализован на пассивных элементах, например, резисторах. Поскольку блок обратной связи может быть реализован на пассивных элементах, его коэффициент передачи может быть высоко стабилен и не зависим от температуры, времени и прочих дестабилизирующих факторах. Кроме того, ООС расширяет полосу пропускания и линейный участок амплитудной характеристики, что приводит к уменьшению искажений как линейных, так и нелинейных.

## 2. Усилители переменного тока

Назначение и классификация усилителей переменного тока.

На рис.12 приведена классификация усилителей с соответствующими им графиками амплитудно-фазовой характеристики. Усилители с линейным режимом работы – усилители, у

которых обеспечивается линейная зависимость передачи входного сигнала на выход. Усилители с нелинейным режимом работы – это усилители, у которых отсутствует линейная зависимость передачи входного сигнала на выход. После достижения выходным сигналом некоторой величины дальнейшее его увеличение прекращается.

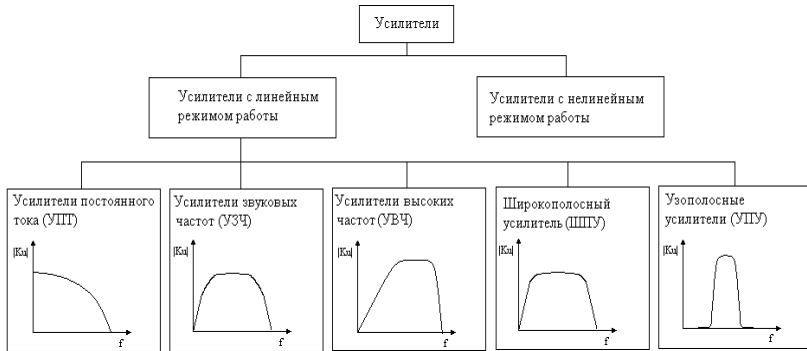


Рис.12. Классификация усилителей по типу режимов работы

В общем можно выделить следующие виды усилителей переменного тока:

- низкочастотные;
- высокочастотные;
- широкополосные;
- избирательного усиления.

Усилители переменного тока подразделяются на усилители низкой и высокой частоты.

По ширине полосы пропускания усиливаемых частот различают: избирательные усилители, усиливающие сигналы фиксированной частоты или электрические сигналы в узком спектре частот, у которых отношение верхней граничной частоты пропускания к нижней  $\frac{f_B}{f_H} < 1$ ; широкополосные усилители с большим диапазоном частот усиливаемого сигнала, для которых отношение  $\frac{f_B}{f_H} \ll 1$ .

Усилительный каскад с общим эмиттером. Принцип действия упрощенной схемы. Временные диаграммы и графики на основе ВАХ, поясняющие работу схемы. Схема усилителя с эмиттерной термостабилизацией.

На рис. 13 приведена схема простейшего усилительного каскада с общим эмиттером.

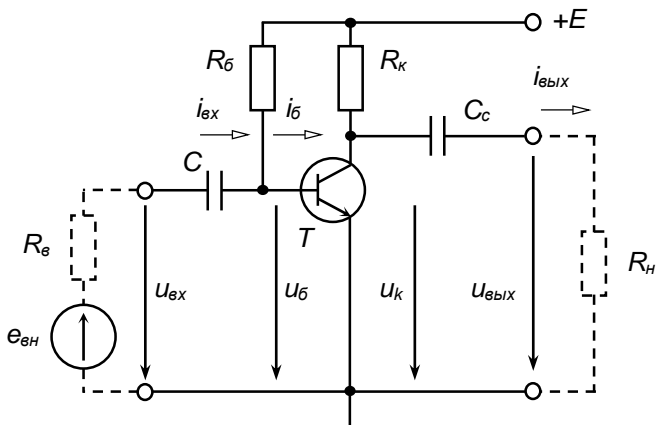


Рис.13. Схема простейшего усилительного каскада

Рассмотрим назначение элементов в схеме.

В этом каскаде эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей, а резистор  $R_K$ , с помощью которого создается выходное напряжение, включается в коллекторную цепь транзистора.

Конденсатор  $C_{ex}$  исключает прохождение постоянного тока от источника питания в источник управляющего сигнала по цепи:  $E_K, R_б, R_{вн}, E_{вн}$ . Кроме того входной конденсатор служит для исключения постоянного тока во входном контуре (по цепи:  $E_Г, R_Г$ , база и эмиттер транзистора). Этот ток может быть, если  $E_Г$  содержит постоянную составляющую. Выходной конденсатор  $C_{вых}$  исключает прохождение постоянного тока от источ-

ника питания через нагрузку. Резистор базы  $R_B$  обеспечивает желаемую величину тока базы  $I_B$  в транзисторе в режиме покоя (если  $E_G = 0$ , т.е. когда источник сигнала отсутствует). Транзистор  $VT$ , а именно его силовая цепь (коллектор и эмиттер), совместно с резистором  $R_K$  и источником питания  $E_K$  образуют главную цепь усилительного каскада.

Для коллекторной цепи усилительного каскада в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать следующее уравнение электрического состояния:

$$E_K = U_{KЭ} + R_K \cdot I_K \quad (6)$$

т.е. сумма падения напряжения на резисторе  $R_K$  и коллекторного напряжения  $U_K$  транзистора всегда равна эдс источника питания.

Широкополосные усилители. Высокочастотная и низкочастотная коррекция усилительных свойств.

На основе широкополосных усилителей выполняются линейные импульсные усилители. К усилителям с линейным режимом работы (или усилителям мгновенных значений) предъявляется требование получения выходного сигнала, близкого по форме к входному. Искажения формы сигнала, вносимые усилителем, должны быть минимальными. Это достигается благодаря пропорциональной передаче усилителем мгновенных значений напряжения (тока), составляющих во времени входной сигнал. Коэффициенты усиления здесь рассчитываются по амплитудным или действующим значениям (в случае синусоидального сигнала) напряжения и тока.

Многокаскадные усилители.

При усилении малых входных сигналов может оказаться, что коэффициент усиления одного каскада недостаточен для получения требуемой амплитуды сигнала на нагрузке.

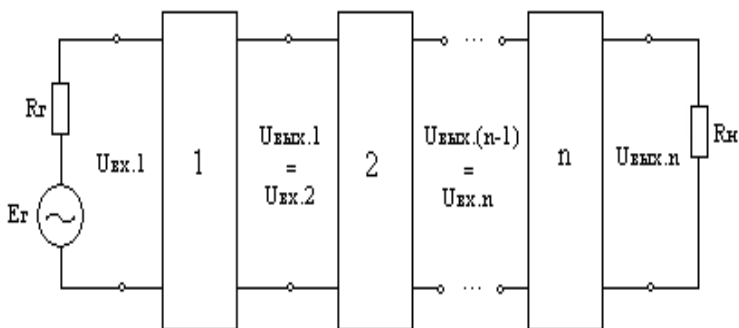


Рис. 14. Структурная схема многокаскадного усилителя

С целью увеличения коэффициента усиления напряжения  $K_U$ , коэффициента усиления мощности  $K_P$  или тока  $K_I$  применяют последовательное включение усилительных каскадов. При этом входное сопротивление последующего каскада является нагрузкой для предыдущего. Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления каскадов.

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых.1}}}{U_{\text{вх.1}}} \frac{U_{\text{вых.2}}}{U_{\text{вх.2}}} \dots \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх.N}}} = K_{U.1} K_{U.2} \dots K_{U.N}$$

### Вопросы для повторения:

1. На какие виды делется избирательные усилители?
2. Для чего предназначены избирательные усилители?
3. Что называется эмиттерным повторителем?
4. Какие бывают виды усилителей переменного тока?
5. Параметрами, характеризующими электронные усилители, являются?
6. Что называется электронным усилителем?
7. Классификация усилителей?

## 2.3. Электронные генераторы

План лекции:

1. Общие сведения
2. Триггеры
3. Мультивибраторы

Генератор, или автогенератор – это самовозбуждающаяся система, в которой энергия источника питания постоянного тока преобразуется в энергию переменного сигнала нужной формы и частоты. Без сомнения, генераторы являются весьма важным элементом электроники.

Генераторы бывают:

низкочастотные (НЧ) – до 100 кГц

высокочастотные (ВЧ) – от 0,1 до 100 МГц

сверхвысокочастотные (СВЧ) – выше 100 МГц

По форме колебаний генераторы делятся на гармонические (синусоидальные) и негармонические (импульсные). По способу возбуждения – с внешним возбуждением и с самовозбуждением (автогенераторы).

В чём же суть генерации колебаний? Ненадолго обратимся к физике. Из этой самой физики известно, что если к цепи, состоящей из параллельно соединенных конденсера и катушки индуктивности, кратковременно подключить источник постоянного тока (рис. 1), то будет происходить следующий процесс. Кондер зарядится до некоторого значения и после этого начнет разряжаться через катушку. Катушка в этот момент по сути будет накапливать энергию.

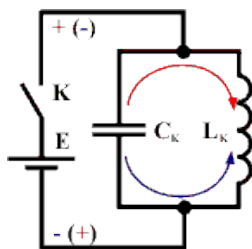


Рис. 1 – Создание колебаний в контуре

После того, как конденсатор разрядится (а катушка, соответственно, накопит энергию), процесс пойдет в обратном порядке, т.е. накопленная в катушке энергия будет заряжать конденсатор и т.д. Другими словами, в этой цепи, которая называется параллельный колебательный контур, будут происходить колебания. В идеальном контуре эти колебания будут незатухающими, т.е. во времени будут продолжаться бесконечно. Но поскольку катушка имеет некое конечное сопротивление, да и конденсатор не подарок, в контуре будут потери энергии, и колебания, соответственно, будут постепенно затухать. На рис. 2 показана картина в реальном контуре.

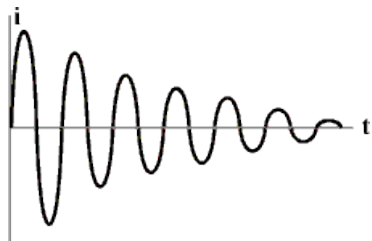


Рис. 2 – Затухающие колебания в контуре

Вообще, вроде затухание должно проходить по экспоненте. Короче, ни формул, ни всяких доказательств и прочей ерунды писать не буду, важно понять суть процесса. Если вкратце, то кратковременно замкнув ключ К в контуре возникают затухающие колебания. Процесс понятен?

Едем дальше. Так, затухающие колебания получили. Что же сделать, чтобы они были незатухающими? Очевидно, что в контур надо добавлять потерянную энергию. Ключом клацать бессмысленно, значит надо воткнуть какой-то электронный прибор, который будет пополнять потери энергии в контуре.

Теперь отвлечёмся от контуров и посмотрим на упрощенную структуру автогенератора.

Здесь мы видим какой-то треугольник и прямоугольник. УЭ – это усилительный элемент с коэффициентом передачи  $K$ , а ПОС – это положительная обратная связь с коэффициентом передачи  $\beta$ . Колебания в этой системе возникнут только при соблюдении двух условий. Их надо запомнить:

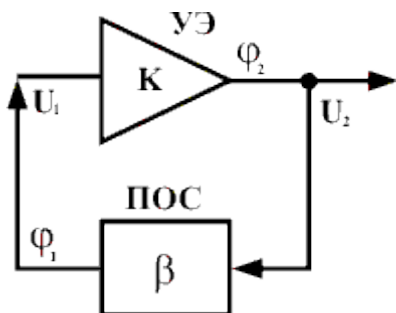


Рис. 3 – Структура автогенератора

Условие баланса амплитуд:

$$\beta K \geq 1$$

Условие баланса фаз:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 2\pi n,$$

где  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

И ещё раз, генерация колебаний происходит при выполнении двух условий: условия баланса фаз и условия баланса амплитуд.

LC-генератор так называется, потому что в нём используется LC-контур. Это, в принципе, понятно.

Вот такая несложная схема. Элементы R1, R2, R3C3 обеспечивают необходимый режим по постоянному току усилительного элемента и его термостабилизации. Элементы L2C2 образуют параллельный колебательный контур.

В момент включения питания в коллекторной цепи транзистора VT появляется коллекторный ток, заряжающий емкость C2 контура L2C2. В следующий момент времени заряженный конденсатор разряжается на катушку индуктивности. В контуре возникают свободные затухающие колебания частотой  $f_0 = 1 / 2\pi\sqrt{L_2C_2}$ .

Переменный ток контура, проходя через катушку L2, создает вокруг неё переменное магнитное поле, а это поле в свою очередь наводит в катушке L1 переменное напряжение, которое вызывает пульсации тока коллектора транзистора VT. Переменная составляющая коллекторного тока восполняет потери энергии в контуре, создавая на нём усиленное переменное напряжение.



Трёхточечные схемы автогенераторов. Индуктивная трёхточечная схема.

Индуктивная трёхточечная схема показана на рис. 4.

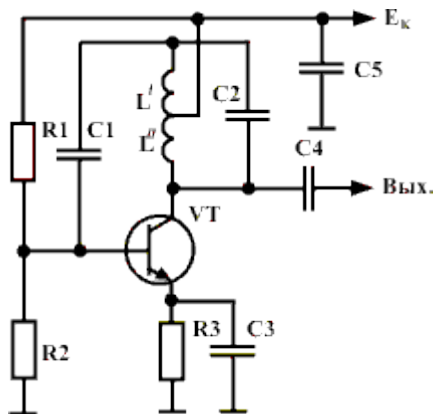


Рис. 4 – Индуктивная трёхточечная схема

Элементы R1, R2, R3, C3, как и в предыдущей схеме, обеспечивают режим работы по постоянному току транзистора VT, в коллекторную цепь которого включен колебательный контур L'L «C2. Выходной сигнал снимается с коллектора транзистора VT (или с L»), сигнал ПОС – с катушки L'. Поскольку напряжения этих сигналов противофазны, то автоматически выполняется условие баланса фаз. Сигнал ПОС подается на базу транзистора через разделительный конденсатор, сопротивление которого на частоте генерации мало. Этот конденсатор предотвращает попадание постоянной составляющей в базовую цепь (через катушку). Общая точка L' и L'' подключена к источнику питания, сопротивление которого переменному току незначительно. Условие баланса амплитуд выполняют подбором числа витков L'L'.

Частота генерации определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L'+L'')C2}}$$

Трехточечные схемы называются трехточечными, поскольку, если внимательно посмотреть на схему, контур подключается к трем выводам транзистора (или другого усилительного прибора). Первая точка – это коллектор транзистора – нижний (по схеме) вывод контура, вторая – база – верхний вывод контура через кондер С1 и третья точка подключена к эмиттеру через источник питания, а точнее средний вывод контура через кондер С5, общий провод, цепь R3C3 подключен к эмиттеру.

Емкостная трехточечная схема.

Емкостная трехточка показана на рисунке 5.

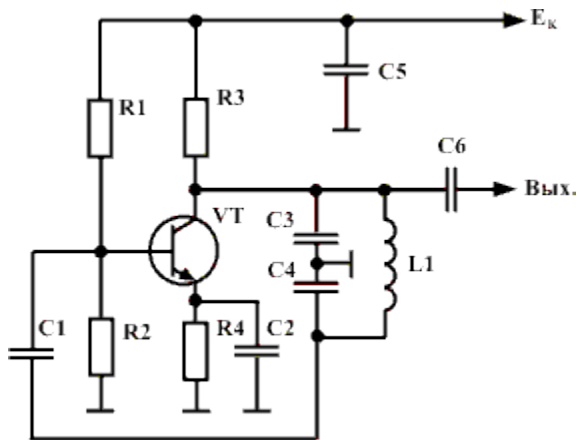


Рис. 5 – Емкостная трехточечная схема

В этой схеме, аналогично предыдущей, режим по постоянному току определяют элементы R1, R2, R3, R4C2. В коллекторную цепь транзистора включен контур L1C3C4. Сигнал ПОС снимается с кондера C4 и через кондер C1 поступает в базовую цепь. C1 не пропускает высокое коллекторное напряжение на базу транзистора. Общую точку кондеров C3, C4 можно считать подключенной к источнику питания, поскольку его сопротивление переменному току незначительно.

Частота генерации определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L1C5C6}{C5+C6}}}$$

Стабилизация частоты.

Очень важным требованием, предъявляемым к генераторам, является стабильность частоты генерируемых колебаний.

Нестабильность частоты зависит от многих факторов, а именно:

Изменение окружающей температуры;

Изменение напряжения источника питания;

Механическая вибрация и деформация деталей;

Шумы активных элементов.

Нестабильность частоты оценивается коэффициентом относительной нестабильности:

$$k = \frac{\Delta f}{f_{\text{раб}}}$$

Существует два способа стабилизации частоты:

Параметрический способ стабилизации;

Кварцевый способ стабилизации.

При первом способе используется изготовление деталей из материалов, мало изменяющих свои свойства при изменении температуры и других факторов. Используется экранирование и герметизация контуров, высокая стабильность источника питания, рациональность монтажа и прочее. Однако этим методом нельзя обеспечить высокую стабильность частоты. Относительный коэффициент нестабильности частоты колеблется в пределах 10<sup>-4</sup> – 10<sup>-5</sup>.

Значительно большей стабильности можно достичь, если применить способ кварцевой стабилизации, основанный на применении кварцевого резонатора. Кварцевые пластины резонатора обладают пьезоэлектрическим эффектом, который, если кто забыл, бывает двух видов:

Прямой пьезоэффект – при растяжении или сжатии кварцевой пластины на её противоположных гранях возникают равные по величине, но противоположные по знаку электрические заряды, величина которых пропорциональна давлению, а знаки зависят от направления силы давления

Обратный пьезоэффект – если к граням кварцевой пластины приложить электрическое напряжение, то пластина будет

сжиматься или расжиматься в зависимости от полярности приложенного напряжения.

Эквивалентная схема кварцевого резонатора показана на рис. 6, а зависимость реактивного сопротивления от частоты – на рис. 7.

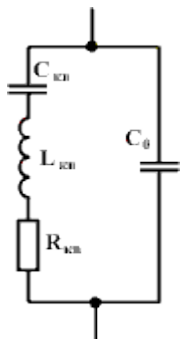


Рис. 6 – Эквивалентная схема кварцевого резонатора.

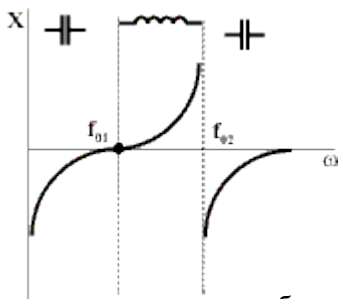


Рис. 7 – Зависимость характера сопротивления от частоты.

Особо не вдаваясь в подробности теории цепей, из рисунка 6 видно, что кварц может быть эквивалентом как последовательного колебательного контура, так и параллельного. Это также видно из рисунка 7. На частоте  $f_{01}$  происходит резонанс напряжений. Эта частота определяется по формуле:

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{кв}C_{кв}}}$$

На частоте  $f_{02}$  происходит резонанс токов, и эта частота определяется по формуле:

$$f_{02} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{кв}C_0}}$$

Таким образом, кварцевый резонатор можно включать вместо конденсера, либо вместо катушки в контуре. При использовании кварцевого способа стабилизации коэффициент относительной нестабильности достигает  $10^{-7} - 10^{-10}$ .

RC-автогенераторы.

В предыдущей главе рассматривались LC-автогенераторы. Они применяются на высоких частотах. Если же необходимо генерировать низкие частоты, применение LC-генераторов становится затруднительным. Почему? Всё очень просто. Поскольку формула для определения частоты генерирования колебаний выглядит вот так:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

то нетрудно заметить, что для уменьшения частоты необходимо увеличивать ёмкость и индуктивность контура. А увеличение ёмкости и индуктивности напрямую влечёт увеличение габаритных размеров. Другими словами, размеры контура при этом будут гигантскими. А со стабилизацией частоты дело будет обстоять ещё хуже.

Поэтому придумали RC-автогенераторы, которые здесь мы и рассмотрим.

Наиболее простым RC-генератором является так называемая схема с трехфазной фазировочной цепочкой, которая ещё называется схемой с реактивными элементами одного знака. Она показана на рис. 8.

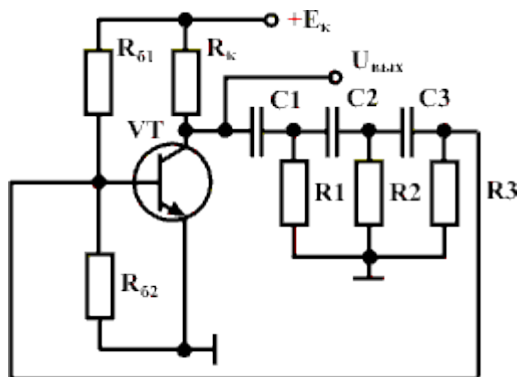


Рис. 8 – RC-автогенератор с фазовращающей цепочкой

Из схемы видно, что это всего-навсего усилитель, между выходом и входом которого включена цепь, которая переворачивает фазу сигнала на 180°. Эта цепь называется фазовращающей. Фазовращающая цепочка состоит из элементов C1R1, C2R2, C3R3. С помощью одной цепочки из резика и конденсера можно получить сдвиг фаз не более чем на 90°. Реально же сдвиг получается близким к 60°. Поэтому для получения сдвига фазы на 180° приходится ставить три цепочки. С выхода последней RC-цепи сигнал подается на базу транзистора.

Работа начинается в момент включения источника питания. Возникающий при этом импульс коллекторного тока содержит широкий и непрерывный спектр частот, в котором обязательно будет и необходимая частота генерации. При этом колебания частоты, на которую настроена фазовращающая цепь, станут незатухающими. Для колебаний остальных частот условия самовозбуждения выполняться не будут и они, соответственно, быстро затухают. Частота колебаний определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \approx \frac{0.065}{RC}$$

При этом должно соблюдаться условие:

$$R1=R2=R3=R$$

$$C1=C2=C3=C$$

Такие генераторы способны работать только на фиксированной частоте.

## Триггер

Триггер — это устройство с двумя состояниями. Триггеры предназначены для запоминания двоичной информации. Использование триггеров позволяет реализовывать устройства оперативной памяти (то есть памяти, информация в которой хранится только на время вычислений). Однако триггеры могут использоваться и для построения некоторых цифровых устройств с

памятью, таких как счётчики, преобразователи последовательного кода в параллельный или цифровые линии задержки.

Простейшая схема триггера, позволяющая запоминать двоичную информацию, может быть построена на двух инверторах, охваченных положительной обратной связью. Схема триггера, реализованного на двух инверторах, приведена на рисунке 12.

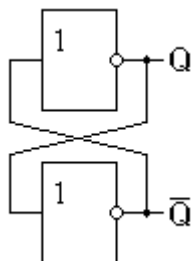


Рисунок 12. Схема простейшего триггера, построенного на инверторах

В схеме триггера может быть только два состояния — на выходе Q присутствует логическая единица и на выходе Q присутствует логический ноль. Если логическая единица присутствует на выходе Q, то на инверсном выходе триггера будет присутствовать логический ноль, который после очередного инвертирования подтверждает уровень логической единицы на выходе триггера Q. И наоборот, если на выходе триггера Q присутствует логический ноль, то на инверсном выходе триггера будет присутствовать логическая единица.

Такая ситуация на выводах триггера будет сохраняться до тех пор пока включено питание. Но вот вопрос — а как записывать в такой триггер необходимую нам информацию? Для этого в схеме триггера потребуются входы записи нуля и записи единицы.

#### RS-триггеры.

RS-триггер получил название по названию своих входов. Вход S (Set — установить англ.) позволяет устанавливать выход триггера Q в единичное состояние. (Устанавливать означает записывать логическую единицу). Вход R (Reset — сбросить англ.) позволяет сбрасывать выход триггера Q (Quit — выход англ.) в нулевое состояние.

Для реализации RS-триггера воспользуемся логическими элементами "2И-НЕ". Принципиальная схема RS-триггера, реализованного на логических элементах "2И-НЕ", приведена на

рисунке 13.

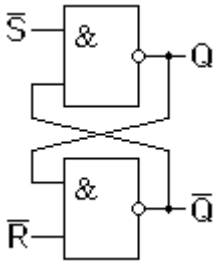


Рисунок 13. Схема простейшего триггера на логических элементах "2И-НЕ". Входы R и S инверсные (активный уровень '0').

Рассмотрим работу изображенной на рисунке 13 схемы триггера подробнее. Пусть на входы R и S триггера подаются единичные потенциалы. Если на выходе верхнего логического элемента "2И-НЕ" Q присутствует логический ноль, то на выходе нижнего логического элемента "2И-НЕ" появится логическая единица. Эта единица подтвердит логический ноль на выходе триггера Q. Если на выходе верхнего логического элемента "2И-НЕ" Q первоначально присутствует логическая единица, то на выходе нижнего логического элемента "2И-НЕ" появится логический ноль. Этот ноль подтвердит логическую единицу на выходе триггера Q. То есть, при единичных уровнях на входах R и S, схема RS-триггера работает точно так же, как и схема триггера на инверторах.

Подадим на вход S триггера нулевой потенциал. Согласно таблице истинности логического элемента "2И-НЕ" на выходе Q появится единичный потенциал. Это приведёт к появлению на инверсном выходе триггера нулевого потенциала. Теперь, даже если снять нулевой потенциал с входа S, на выходе триггера останется единичный потенциал. То есть мы записали в триггер логическую единицу.

Точно так же можно записать в триггер и логический ноль. Для этого следует воспользоваться входом R. Так как активный уровень на входах триггера оказался нулевым, то эти входы инверсные. Составим таблицу истинности RS-триггера. Входы R и S триггера в этой таблице будем использовать прямые, то есть запись нуля, и запись единицы будут осуществляться единичными потенциалами (таблица 1).



Таблица 1. Таблица истинности RS-триггера

R	S	Q(t)	Q(t+1)	Пояснения
0	0	0	0	Режим хранения информации (триггером) R=S=0
0	0	1	1	
0	1	0	1	Режим установки триггера в единичное состояние S=1
0	1	1	1	
1	0	0	0	Режим записи нуля в триггер R=1
1	0	1	0	
1	1	0	*	R=S=1 запрещенная комбинация
1	1	1	*	

RS-триггер можно построить и на логических элементах "ИЛИ-НЕ". Схема RS-триггера, построенного на логических элементах "ИЛИ-НЕ" приведена на рисунке 14. Единственное отличие в работе этой схемы триггера будет заключаться в том, что его сброс и установка будет производиться единичными логическими уровнями. Эти особенности реализации схемы триггера связаны с принципами работы инверсной логики, которые рассматривались ранее.

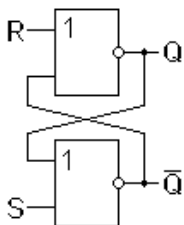


Рис. 14. Схема простейшего RS триггера на логических элементах "ИЛИ-НЕ". Входы R и S прямые (активный уровень '1').

Так как RS-триггер при построении его на логических элементах "ИИ-НЕ" и "ИЛИ-НЕ" работает одинаково, то его условно-графическое изображение на принципиальных схемах тоже одинаково. Условно-графическое изображение RS-триггера на принципиальных схемах

приведено на рисунке 15.

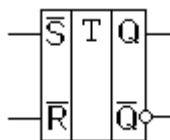


Рисунок 15. Условно-графическое обозначение RS-триггера

Для измерения логических уровней на выходе триггера чаще всего применяются логические пробники, в качестве которых в простейшем случае можно использовать светодиод с токоограничивающим резистором. В качестве источника логического сигнала можно применить механические тумблеры.

Синхронные RS-триггеры.

Схема RS-триггера позволяет запоминать состояние логической схемы, но так как в начальный момент времени может возникать переходный процесс (в цифровых схемах этот процесс называется "опасные гонки"), то запоминать состояния логической схемы в триггерах нужно только в определённые моменты времени, когда все переходные процессы закончены.

Это означает, что большинство цифровых схем требуют сигнала синхронизации (тактового сигнала). Все переходные процессы в комбинационной логической схеме должны закончиться за время периода синхросигнала, подаваемого на входы триггеров. Триггеры, запоминающие входные сигналы только в момент времени, определяемый сигналом синхронизации, называются синхронными триггерами. Для того чтобы отличать от них рассмотренные ранее варианты триггеров (RS-триггер и триггер Шмитта) эти триггеры получили название асинхронных.

Формировать синхронизирующие сигналы с различной частотой и скважностью при помощи генераторов и одновибраторов мы уже научились в предыдущих главах. Теперь научимся записывать в триггеры входные логические сигналы только при наличии разрешающего сигнала.

Для этого нам потребуется схема, пропускающая входные сигналы только при наличии синхронизирующего сигнала. Таковую схему мы уже использовали при построении схем мультиплексоров и демультимплексоров. Это логический элемент "И". Принципиальная схема синхронного RS-триггера приведена на рисунке 16.

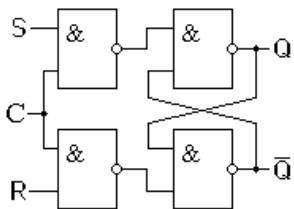


Рисунок 16. Схема синхронного RS-триггера, построенного на элементах "И".

В таблице 2 приведена таблица истинности синхронного RS-триггера. В этой таблице символ х означает, что значения логических уровней на данном входе не важны. Они не влияют на работу триггера.

Таблица 2. Таблица истинности синхронного RS-триггера

C	R	S	Q(t)	Q(t+1)	Пояснения
0	x	x	0	0	Режим хранения информации
0	x	x	1	1	
1	0	0	0	0	Режим хранения информации
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	1	Режим установки единицы S=1
1	0	1	1	1	
1	1	0	0	0	Режим записи нуля R=1
1	1	0	1	0	
1	1	1	0	*	R=S=1 запрещенная комбинация
1	1	1	1	*	

Как мы уже показали в предыдущей главе, RS-триггеры могут быть реализованы на различных элементах. При этом логика их работы не изменяется. В то же самое время триггеры часто выпускаются в виде готовых микросхем (или реализуются внутри БИС в виде готовых модулей), поэтому на принципиальных схемах синхронные триггеры обычно изображаются в виде

условно-графических обозначений. Условно-графическое обозначение синхронного RS-триггера приведено на рисунке 17.

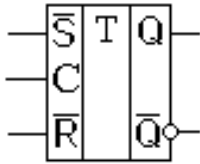


Рис. 17. Условно-графическое обозначение синхронного RS-триггера.

### D-триггеры

В RS-триггерах для записи логического нуля и логической единицы требуются разные входы, что не всегда удобно. При записи и хранении данных один бит может принимать значение, как нуля, так и единицы. Для его передачи достаточно одного провода. Как мы уже видели ранее, сигналы установки и сброса триггера не могут появляться одновременно, поэтому можно объединить эти входы при помощи инвертора, как показано на рисунке 18.

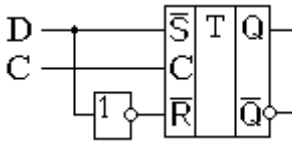


Рисунок 18. Схема D триггера (защелки)

Такой триггер получил название D триггер. Название происходит от английского слова delay — задержка. Конкретное значение задержки определяется частотой следования импульсов синхронизации. Условно-графическое обозначение D триггера на принципиальных схемах приведено на рисунке 19.

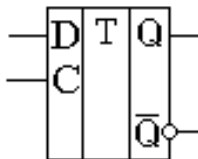


Рис. 19. Условно-графическое обозначение D триггера (защелки)

Таблица истинности D триггера достаточно проста, она приведена в таблице 3. Как видно из этой таблицы, этот триггер способен запоминать по синхросигналу и хранить один бит информации.

Таблица 3. Таблица истинности D триггера

C	D	Q(t)	Q(t+1)	Пояснения
0	x	0	0	Режим хранения информации
0	x	1	1	
1	0	x	0	Режим записи информации
1	1	x	1	

Нужно отметить, что отдельный инвертор при реализации триггера на ТТЛ элементах не нужен, так как самый распространённый элемент ТТЛ логики - это “2И-НЕ”. Принципиальная схема D триггера на элементах 2И-НЕ” приведена на рисунке 20.

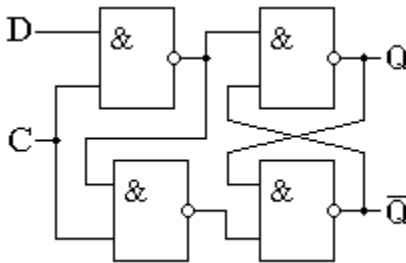


Рисунок 20. Схема D триггера, реализованная на ТТЛ элементах

Динамические D триггеры выпускаются в виде готовых микросхем или входят в виде готовых блоков в составе больших интегральных схем, таких как базовый матричный кристалл (БМК) или программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Условно-графическое обозначение D триггера, запоминающего информацию по фронту тактового сигнала, приведено на рисунке 28.

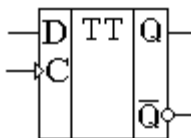


Рис.28. Условно-графическое обозначение D-триггера

То, что триггер запоминает входной сигнал по фронту, отображается на условно-

графическом обозначении треугольником, изображённым на выводе входа синхронизации. То, что внутри этого триггера находится два триггера, отображается в среднем поле условно-графического изображения двойной буквой Т.

Иногда при изображении динамического входа указывают, по какому фронту триггер (или триггеры) изменяет своё состояние. В этом случае используется обозначение входа, как это показано на рисунке 29.

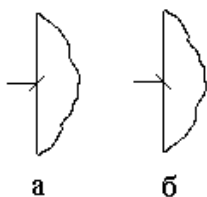


Рис. 29. Обозначение динамических входов

На рисунке 29 а обозначен динамический вход, работающий по переднему (нарастающему) фронту сигнала. На рисунке 29 б обозначен динамический вход, работающий по заднему (спадающему) фронту сигнала.

Промышленностью выпускаются готовые микросхемы, содержащие динамические триггеры. В качестве примера можно назвать микросхему 1533ТМ2. В этой микросхеме содержится сразу два динамических триггера. Они изменяют своё состояние по переднему фронту сигнала синхронизации.

## Мультивибраторы

Еще одной распространённой схемой генераторов на логических элементах является схема мультивибратора. В этой схеме для реализации положительной обратной связи используется два инвертора. Каждый из усилителей осуществляет поворот фазы генерируемого сигнала на  $180^\circ$ . В результате реализуется баланс фаз. Схема мультивибратора приведена на рисунке 30.

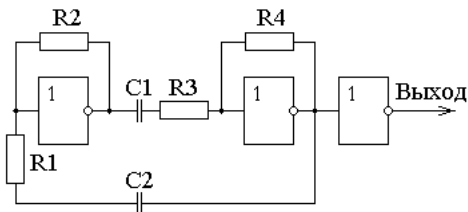


Рис. 30. Схема мультивибратора, выполненная на двух логических инверторах

Коэффициент усиления каждого из усилителей определяется соотношением резисторов  $R2/R1$  и  $R4/R3$ . В этой схеме возможна независимая регулировка частоты и скважности генерируемых колебаний. Длительность импульсов и длительность паузы между импульсами регулируется независимо при помощи RC цепочек  $R1 C2$  и  $R3 C1$ . Период следования импульсов  $T$  определяется как сумма двух времен заряда конденсаторов:

$$T = t_{зар1} + t_{зар2},$$

где  $t_{зар1} = R2C2 \ln(U^1/U_{пор})$ ;

$$t_{зар2} = R4C1 \ln(U^1/U_{пор}).$$

Если скважность генерируемых колебаний не важна, то можно упростить схему мультивибратора, используя второй инвертор по прямому назначению. Так как при реализации схемы генератора нас интересует максимальный петлевой коэффициент усиления, то последовательный резистор мы тоже можем исключить. Для обеспечения автоматического запуска генератора в схеме остается резистор, включенный с выхода на вход первого инвертора. В этом случае схема мультивибратора примет вид, показанный на рисунке 31.

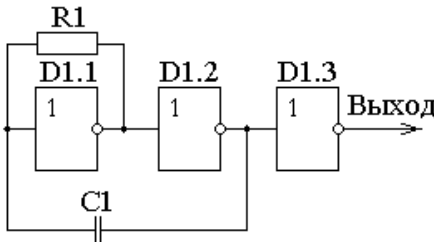


Рис. 31. Упрощённая схема мультивибратора

В этой схеме возможно задавать только частоту генерируемых импульсов. Она будет определяться произведением  $R1 C1$ . Скважность генерируемых импульсов будет зависеть от отношения токов нуля и единицы выбранного логического элемента.

Период  $T$  импульсов, вырабатываемых мультивибратором, определяется в первом приближении постоянной времени  $t = RC$  ( $T = a \cdot t$ , где  $a$  обычно имеет значение  $1 \dots 2$ ). Частоту следования импульсов можно оценить (с точностью до 10 %) из выражения  $f = 1/2RC$ .

Достаточно часто требуется получить генератор, выходная частота которого могла бы изменяться в достаточно широких пределах. В этом случае в качестве частото задающего элемента в генераторе может быть использован элемент с изменяемыми параметрами, например варикап или полевой транзистор. Схема такого генератора, управляемого напряжением, приведена на рисунке 32.

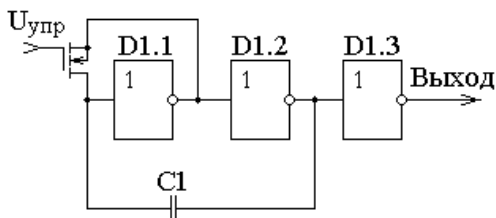


Рис. 32. Схема генератора, управляемого напряжением

Учитывая, что сопротивление полевого транзистора может изменяться в пределах от 10 Ом до 10 МОм, генерируемая частота тоже может изменяться в десятки и сотни раз. Однако следует учесть, что такой генератор может быть использован только в цифровых схемах, так как его спектральные характеристики оставляют желать лучшего. Обычно такая схема используется в цепях умножения частоты внутри цифровых микросхем повышенной производительности. Примером специализированных микросхем — генераторов могут служить микросхемы 531ГГ1 и 564ГГ1.

В схеме на мультивибраторе можно использовать и кварцевую стабилизацию частоты. Для этого нужно кварцевый резонатор включить в цепь обратной связи. Схема мультивибратора с кварцевой стабилизацией частоты приведена на рисунке 33.

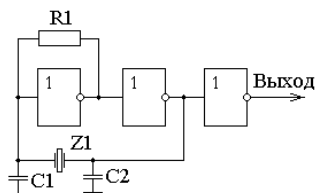


Рис. 33. Схема мультивибратора с кварцевой стабилизацией частоты



При применении такой схемы кварцевого генератора следует учитывать, что кварцевый резонатор в ней работает на частоте последовательного резонанса, которая отличается от частоты параллельного резонанса, используемого в осцилляторной схеме генератора.

**Вопросы для повторения:**

1. Что называется генератором или автогенератором?
2. Какие бывают генераторы?
3. Что называется тригером?
4. Условно-графическое обозначение D триггера?
5. Условно-графическое обозначение синхронного RS-триггера
6. Условно-графическое обозначение RS-триггера?

**2.4. Общие сведения об эл. устройствах,цифровых и аналоговых ЭВМ**

План лекции:

1. Цифровые и аналоговые ЭВМ.
2. Принцип действия.
3. Классификация.
4. Применение.

**Цифровые и аналоговые ЭВМ**

Вычислительное устройство, в котором основные функциональные элементы выполнены на электронных приборах (электронных лампах, полупроводниковых приборах, интегральных схемах). Вначале, в 1950-х гг., электронные вычислительные машины делили на аналоговые (ЭВМ), цифровые (ЦВМ) и гибридные. Однако уже с сер. 1970-х гг. понятие «электронная вычислительная машина» (ЭВМ) прочно закрепилось за цифровыми устройствами и термин ЭВМ стал употребляться как синоним цифровых ЭВМ.

ЭВМ лишь по исторически сложившейся традиции называют вычислительными машинами (первые вычислительные

устройства были механическими, содержали колёса, рычаги, ручки), по существу же ЭВМ – это комплекс аппаратных и программных средств; имеющиеся в нём механизмы выполняют лишь вспомогательные функции, напр. приводят в действие дисководы, перемещают носитель информации в принтере. Процесс вычисления или обработки информации в ЭВМ состоит из множества типовых преобразований электрических сигналов, которые представляют (в кодированной форме) как информацию (исходные и выходные данные), так и команды (предписания) программы. Результаты обработки информации либо фиксируются на бумаге в виде текста, таблицы, графика и т. п., либо отображаются на экране дисплея.

В состав технических (аппаратных) средств, как правило, входят центральные устройства – процессор (один или несколько), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), пульт управления (клавиатура), а также внешние (периферийные) устройства – устройства ввода-вывода данных, постоянное запоминающее устройство большой ёмкости и др. Процессор обрабатывает информацию и управляет работой остальных устройств ЭВМ. ОЗУ хранит программу работы и информацию, используемую непосредственно при выполнении арифметических и логических операций. Пульт управления обеспечивает взаимодействие оператора с ЭВМ. В программные средства ЭВМ (программное обеспечение) входят операционная система (управляет работой ЭВМ, запускает другие программы и выполняет обслуживающие функции) и прикладные программы (программы обработки информации, решения конкретных задач).

Элементная база ЭВМ (электронные приборы, устройства) в значительной степени определяет её функциональные возможности, структуру и технико-эксплуатационные характеристики. Элементная база и физические принципы её реализации лежат в основе понятия «поколение ЭВМ». Принято выделять следующие поколения: на электронных лампах (40—50-е гг. 20 в.); на дискретных полупроводниковых приборах (50—60-е гг.); на интегральных схемах (60—70-е гг.); на больших и сверхбольших интегральных схемах – БИС и СБИС (с 70-х гг.). Переход от одного поколения к другому характеризуется не только совершенствованием элементной базы, но и изменением структуры

ЭВМ, расширением их функциональных возможностей, повышением производительности.

Первая цифровая ЭВМ – ЭНИАК была построена в 1945 г. в США и вступила в строй в 1946 г. В СССР первая ЭВМ – МЭСМ (малая электронная счётная машина) создана в 1950 г. в Киеве, а в 1953 г. была построена БЭСМ (быстродействующая электронная счётная машина), ставшая предшественницей последующих отечественных ЭВМ: «Стрела», М-20, М-220, «Минск», «Мир», серии ЕС-ЭВМ и др.

### **Принцип действия АВМ**

Представлением числа в механических аналоговых компьютерах служит, например, количество поворотов шестерёнок механизма. В электрических - используются различия в напряжении. Они могут выполнять такие операции, как сложение, вычитание, умножение, деление, дифференцирование, интегрирование и инвертирование.

При работе аналоговый компьютер имитирует процесс вычисления, при этом характеристики, представляющие цифровые данные, в ходе времени постоянно меняются.

Результатом работы аналогового компьютера являются либо графики, изображённые на бумаге или на экране осциллографа, либо электрический сигнал, который используется для контроля процесса или работы механизма.

Эти компьютеры идеально приспособлены для осуществления автоматического контроля над производственными процессами, потому что они моментально реагируют на различные изменения во входных данных. Такого рода компьютеры широко используются в научных исследованиях. Например, в таких науках, в которых недорогие электрические или механические устройства способны имитировать изучаемые ситуации.

В ряде случаев с помощью аналоговых компьютеров возможно решать задачи, меньше заботясь о точности вычислений, чем при написании программы для цифровой ЭВМ. Например, для электронных аналоговых компьютеров без проблем реализуются задачи, требующие решения дифференциальных уравнений, интегрирования или дифференцирования. Для каждой из

этих операций применяются специализированные схемы и узлы, обычно с применением операционных усилителей. Также интегрирование легко реализуется и на гидравлических аналоговых машинах.

Базовые элементы АВМ.

Все функциональные блоки аналоговых вычислительных машин можно разделить на ряд групп:

1. линейные - выполняют такие математические операции как интегрирование, суммирование, перемена знака, умножение на константу.
2. нелинейные (функциональные преобразователи) - соответствуют нелинейной зависимости функции от нескольких переменных.
3. логические - устройства непрерывной, дискретной логики, релейные переключающие схемы. Вместе эти устройства образуют устройство параллельной логики.

Универсальные АВМ как правило содержат в своем составе:

- источник питания
- контрольно-измерительную аппаратуру
- управляющее устройство
- наборное поле
- блоки суммирования (сумматор)
- блоки интегрирования (интегратор)
- блоки дифференцирования (дифференциатор)
- множително-делительное устройство
- блоки нелинейности (функциональный преобразователь)

также используются:

- потенциометр функциональный
- блок переменных коэффициентов
- вычислитель индукционный
- тахогенератор

Схема масштабного звена, он же инвертор при  $k=1$

Масштабное звено - аналоговый функциональный блок в АВМ структурного типа, в котором выходная величина  $y(t)$  и входная величина  $x(t)$  связаны зависимостью:  $y(t) = kx(t)$ . Применяется когда в АВМ при реализации структурной схемы модели необходимо произвести умножение на постоянный коэффициент  $k$ . В качестве звена масштабирования может применяться

блок суммирования, в котором и  $k_i = 0, i = 2, \dots, n$ , а напряжение на выходе определяется зависимостью:

Запоминающее устройство АВМ.

- Емкостные запоминающие устройства -- динамические запоминающие устройства, основанная на свойстве конденсаторов хранить поданное на него напряжение. Ячейка емкостного ЗУ формируется на обычном интеграторе с различными коммутаторами. Иногда в интегратор для уменьшения времени процесса запоминания вводится операционный усилитель -- повторитель. Время хранения информации в таких устройствах ограничено.

- Делитель напряжения - электромеханическое запоминающее устройство в которых запоминаемым величинам углы поворота реостатов. Подобные устройства могут неограниченное время хранить информацию.

- Запоминающая пара - устройство, формирующее задержанную во времени последовательность выбранных уровней входного сигнала. В качестве запоминающей пары часто применяют каскадно соединенные операционные усилители, один из которых работает в режиме отслеживания входного сигнала, а другой в режиме хранения.

- ЗУ на ферритовых сердечниках - основано на свойстве ферромагнетиков сохранять намагниченность. Ячейки таких ЗУ выполняются на ферритовых сердечниках либо на трасфлюксорах и тороидальных сердечниках. Использование трасфлюксоров и тороидальных сердечников уменьшает погрешности одновременно снижая быстродействие.

Характеристики.

Добротность АВМ - обобщенная характеристика аналоговой вычислительной машины, вычисляемая по формуле:

где  $E_{\max}$  - максимально возможное значение машинной переменной,  $E_{\min}$  - нижний предел возможного значения машинной переменной. Пределы как правило определяются экспериментально. Числовое значение  $E_{\min}$  зависит от уровня помех, ошибок аналоговых функциональных блоков, точности применяемой измерительной аппаратуры. Добротность мощных АВМ превышает  $d = 10^3$ .

Аналоговые компьютеры основываются на задании физических характеристик их составляющих. Обычно это делается методом включения-исключения некоторых элементов из цепей, которые соединяют эти элементы проводами, и изменением параметров переменных сопротивлений, емкостей и индуктивностей в цепях.

Автомобильная автоматическая трансмиссия является примером гидромеханического аналогового компьютера, в котором при изменении вращающего момента жидкость в гидроприводе меняет давление, что позволяет получить необходимый результат.

Помимо технических применений (автоматические трансмиссии, музыкальные синтезаторы), аналоговые компьютеры используются для решения специфических вычислительных задач практического характера. Например, кулачковый механический аналоговый компьютер, изображённый на фото, применялся в паровозостроении для аппроксимации кривых 4 порядка с помощью преобразований Фурье.

Сейчас аналоговые компьютеры уступили свое место цифровым технологиям, но ещё применяются там, где необходима повышенная точность результатов.

#### **Вопросы для повторения:**

1. История развития вычислительной техники?
2. Что называется электронной АВМ?
3. Что называется механической АВМ?
4. На какие ряды групп можно разделить все функциональные блоки аналоговых вычислительных машин?

## **2.5. Цифровые электронные устройства**

План лекции:

1. Логические устройства.
2. Типовые элементы логических устройств, реализующих логические функции «и», «или», «не».
3. Условные обознач.
4. Реализация логических функций на Л.Э.

5. Триггеры на Л.Э.
6. Типовые логические узлы.
7. Резисторы, счётчики, дешифраторы, шифраторы - принцип их действия.

## Логические устройства

Типовые элементы логических устройств служат основой для создания ЭВМ и автоматов дискретного действия. В логических устройствах сигнал на входе и выходе каскада является бинарным. Он может принимать только два значения – логического нуля «0» и логической единицы – «1». Значения «0» и «1» являются символическими и не соответствуют числовым значениям напряжения, выражаемым в вольтах. Например, при использовании выходного напряжения ключевого каскада уровнем логического «0» может служить напряжение на коллекторе насыщенного транзистора, уровнем логической «1» – напряжение на коллекторе запертого транзистора.

Типовые каскады логических устройств можно разделить на два класса:

- логические элементы – осуществляют преобразование логических сигналов;
- элементы памяти – осуществляют запоминание информации.

Логические устройства можно также разделить на комбинационные и последовательностные. Комбинационные логические устройства состоят из элементов, выходной сигнал которых зависит только от входных сигналов в рассматриваемый момент времени. Последовательностные логического устройства кроме логических элементов содержат элементы памяти, выходной сигнал которых зависит не только от входных сигналов в рассматриваемый момент времени, но и от напряжения на выходах элементов памяти, являющегося результатом логической обработки сигналов, поступавших в предыдущие моменты времени.

Основы булевой алгебры.

Проектирование логических устройств и выбор наиболее оптимальных вариантов их построения производят с использова-

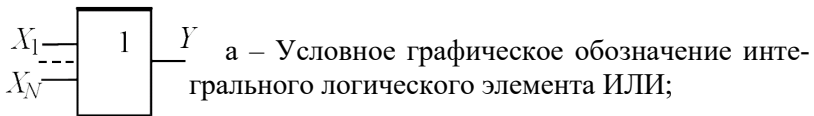
нием алгебры Буля. В алгебре Буля используют двоичную переменную  $X$ , удовлетворяющую условию:  $X = 1$ , если  $X \neq 0$ , и  $X = 0$ , если  $X = 1$ . С такими переменными можно производить следующие логические операции.

1. Операция дизъюнкции. Эту операцию называют также операцией ИЛИ (операцией логического сложения). Для двух переменных  $X_1$  и  $X_2$  аналитически эту операцию записывают в виде  $Y = X_1 + X_2 = X_1 \vee X_2$ .

Для случая нескольких переменных

$$Y = X_1 + X_2 + \dots + X_N.$$

Условное обозначение логического элемента, выполняющего эту операцию, приведено на рис. 1, а. Простейшее логическое устройство, выполняющее операцию дизъюнкции над логическими переменными  $X_1$  и  $X_2$ , представлено на рис. 1, б. Если единичный уровень присутствует хотя бы на одном входе, то через открытый диод VD1 (VD2) это напряжение передается на выход, создавая единичный уровень напряжения. Тогда таблица истинности для данного элемента будет соответствовать табл. 1.1.



б – Дискретный аналог устройства выполняющего операцию ИЛИ.  
Рис. 1. Логический элемент ИЛИ.

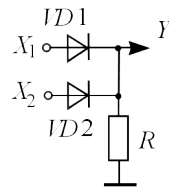


Таблица 1.1

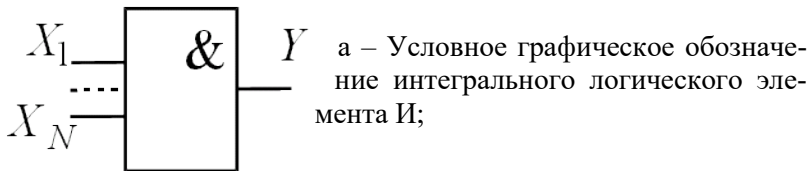
$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



2. Операция конъюнкции. Эту операцию также называют И (логическое умножение). Аналитически операцию для двух переменных записывают в виде

$$X = X^1 X^5 = X^1 * X^5 = X^1 \vee X^5$$

Условное обозначение логического элемента, выполняющего операцию конъюнкции, показано на рис. 2, а. Принципиальная схема простейшего каскада И представлена на рис. 2, б. Если хотя бы на одном входе схемы имеется низкий уровень напряжения, принимаемый за условный нуль, то диод, связанный через катод с этим входом, открыт, и напряжение на его аноде, а следовательно, и на выходе устройства, равно нулю. Таблица истинности элемента И будет соответствовать табл. 1.2.



б – Дискретный аналог устройства выполняющего операцию  
Рис. 2. Логический элемент И.

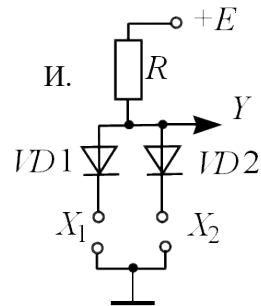


Таблица 1.2

$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3. Операция инверсии. Эту операцию называют операцией НЕ (операция логического отрицания). Операцию инверсии записывают в виде

$$Y = \bar{X}.$$

Выполняется эта операция над одной переменной  $X$ . Таблица истинности для этой операции соответствует табл. 2. Условное обозначение устройства, выполняющего данную операцию, представлено на рис. 3. Кружок у выхода  $Y$  условно обозначает инверсию значения  $Y$  относительно  $X$ .

Таблица 1.3

$X$	$Y$
0	1
1	0

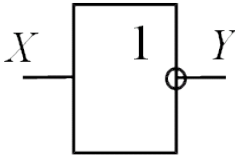


Рис. 3. Условное графическое обозначение интегрального логического элемента НЕ

Из сопоставления таблиц истинности для операций ИЛИ и И можно выявить следующую закономерность:

- И и ИЛИ можно поменять местами, если значение «0» поменять на «1», «1» на «0», а знак «+» на «\*» и «\*» на «+».

Это отражение принципа двойственности в алгебре Буля:

если  $X_1 X_2 = Y$ , то  $\bar{X}_1 + \bar{X}_2 = \bar{Y}$ ; если  $X_1 + X_2 = Y$ , то  $\bar{X}_1 \bar{X}_2 = \bar{Y}$ .

Учитывая правила выполнения операций дизъюнкции для случая одной переменной, получаем соотношения:

$$X + 0 = X; \quad X + 1 = 1; \quad X + X = X; \quad X + \bar{X} = 1.$$

Аналогично, учитывая правила операции конъюнкции, получаем:

$$X * 0 = 0; \quad X * 1 = X; \quad X * X = X; \quad X * \bar{X} = 0.$$

Дважды используя правило инверсии, получаем равенство

$$\overline{\overline{X}} = X.$$

В частности, можно видеть, что выполнение операции ИЛИ с одним или несколькими  $X$  не изменяет значения переменной

$$X + X = X + X + X + \dots = X.$$

Для различных сочетаний двух и более переменных используют следующие законы булевой алгебры.

Закон коммутативности (переместительный):

$$X_1 + X_2 = X_2 + X_1; \quad X_1 \cdot X_2 = X_2 \cdot X_1.$$

Закон ассоциативности (сочетательный):

$$X_1 + X_2 + X_3 = X_1 + (X_2 + X_3) = (X_1 + X_2) + X_3;$$

$$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 = X_1 (X_2 \cdot X_3) = (X_1 \cdot X_2) \cdot X_3.$$

Закон дистрибутивности (распределительный):

$$X_1 (X_2 + X_3) = X_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot X_3;$$

$$X_1 + (X_2 \cdot X_3) = (X_1 + X_2)(X_1 + X_3).$$

Последнее утверждение не имеет аналога в обычной алгебре. Докажем справедливость этого соотношения:

$$\begin{aligned} (X_1 + X_2)(X_1 + X_3) &= X_1 \cdot X_1 + X_1 \cdot X_3 + X_1 \cdot X_2 + X_2 \cdot X_3 = \\ &= X_1(1 + X_2 + X_3) + (X_2 \cdot X_3) = X_1 + (X_2 \cdot X_3). \end{aligned}$$

Закон поглощения:

$$X_1 + X_1 \cdot X_2 = X_1;$$

$$X_1 (X_1 + X_2) = X_1.$$

Закон склеивания:

$$X_1 \cdot X_2 + \overline{X_1} \cdot X_2 = (X_1 + \overline{X_1})(X_2) = X_2.$$

Правило де Моргана:

$$\overline{X_1 + X_2} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}, \quad \overline{X_1 \cdot X_2} = \overline{X_1} + \overline{X_2}.$$

Справедливость этого правила вытекает из принципа двойствен-

ности булевой алгебры. Для нескольких переменных можно записать:

$$\overline{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N} = \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \dots \bar{X}_N;$$

$$\overline{X_1 X_2 X_3 \dots X_N} = \bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_N.$$

или

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N = \overline{\bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \dots \bar{X}_N};$$

$$X_1 X_2 X_3 \dots X_N = \overline{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_N}.$$

### Шифраторы и дешифраторы

В ЭВМ, а также в других устройствах дискретной техники часто возникает необходимость в преобразовании  $n$ -разрядного двоичного кода в одноразрядный код с основанием  $E=2^n$  или обратного преобразования. Логические устройства, осуществляющие такие преобразования, называются соответственно дешифраторами и шифраторами. Ниже рассмотрим примеры построения шифраторов и дешифраторов на ПЭ (пороговые элементы) и ФН (формальные нейроны).

Сначала рассмотрим схемы дешифратора. Для преобразования  $n$ -разрядного двоичного кода дешифратора обычно строится на  $2^n$  клапанах (элемент И), каждый из которых имеет  $n$  выходов. На входы клапанов подаются наборы двоичных переменных (аргументы), причём прямые значения переменных снимаются с единичных выходов соответствующих триггеров, а инверсные значения – с нулевых выходов. Если  $n$  небольшое число, то схема получается однокаскадной и для построения такого дешифратора, требуются ровно  $2^n$  элементов. Если же  $n$  большое, а число входов клапана ограничено, то схема получается многокаскадной (многоступенчатой) и для построения такого дешифратора требуется значительное количество элементов.

Аналогичное положение имеет место и в случае по-

строения дешифраторов на ПЭ и ФН. Для построения дешифратора на ПЭ в простейшем случае можно взять ПЭ, реализующий функцию И, и построить схему, полностью идентичную схеме на клапанах. При этом пользуются как прямыми, так и инверсными значениями аргументов, так как дешифратор реализует систему функций

$$\left. \begin{aligned} f_0 &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n-1} \bar{x}_n; \\ f_1 &= x_1 \bar{x}_2 \dots \bar{x}_{n-1} \bar{x}_n; \\ f_2 &= \bar{x}_1 x_2 \dots \bar{x}_{n-1} \bar{x}_n; \\ &\dots\dots\dots \\ f_{n-1} &= x_1 x_2 \dots x_{n-1} x_n \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

При увеличении разрядности дешифрируемого двоичного кода, чтобы построить одноступенчатую схему, элемент придётся усложнить.

Так, если  $n \leq 8$ , то в качестве основного элемента дешифратора можно применить ФН, который используется в других устройствах как приёмный элемент. В этом ФН входные элементы ИЛИ можно рассматривать как элементы И при негативной логике. Снимая информацию с инверсного выхода ФН на подобных элементах, можно реализовать функцию (1-1) дешифратора.

На рисунке 4 показана схема трёхходового дешифратора на ПЭ. Характерная особенность этого дешифратора в том, что он использует только прямые значения аргументов и работает по синхронному принципу. Если на шину С подан высокий потенциал, то дешифратор открыт и работает надлежащим образом; если же на этой шине имеется низкий потенциал, соответствующий логическому 0, то дешифратор закрыт (блокирован) и на всех его выходах имеются нули. Очевидно, если убрать шину синхроимпульсов и снизить пороги элементов на единицу, то получим асинхронный дешифратор с выходными двухходовыми

элементами.

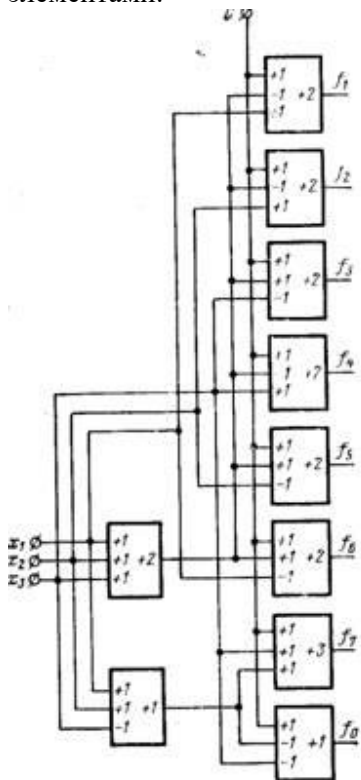


Рис. 4. Синхронный Дешифратор на три входа

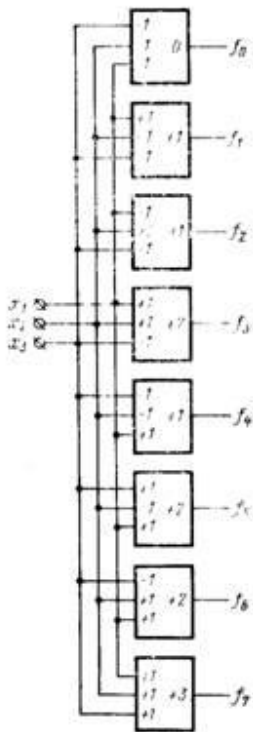


Рис. 5. Асинхронный дешифратор на три входа

**Вопросы для повторения:**

1. Для чего служат типовые элементы логических устройств?
2. Какие существуют типы триггеров на потенциальных элементах?
3. Нарисовать условное графическое обозначение интегрального логического элемента НЕ.

4. Нарисовать условное графическое обозначение интегрального логического элемента И.
5. Нарисовать условное графическое обозначение интегрального логического элемента ИЛИ.
6. На какие классы можно разделить типовые каскады логических устройств.

## 2.6. Аналоговые электронные устройства

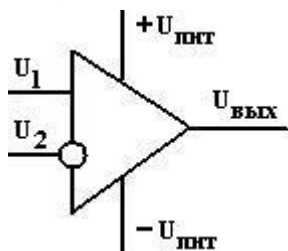
План лекции:

1. Интегратор
2. Дифференциатор.
3. Компаратор.

Идеальный операционный усилитель.

Операционный усилитель (см. рис. ниже) - это усилитель

- с дифференциальным входом,
- большим коэффициентом усиления,
- большим входным сопротивлением
- малым выходным сопротивлением.
- широкий частотный диапазон, который обеспечивают непосредственные связи (без разделительных конденсаторов)
- 



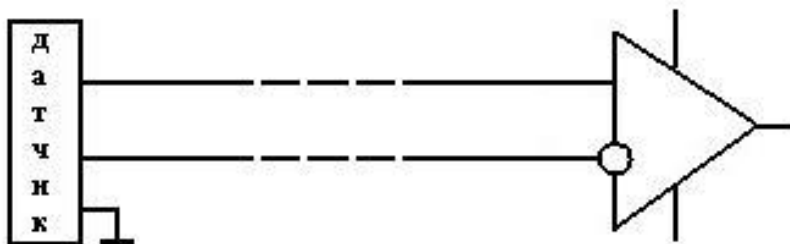
На рисунке у операционного усилителя мы видим 5 линий проводников:

1.  $U_1$  - неинвертирующий вход
2.  $U_2$  - инвертирующий вход
3.  $+U_{\text{ВЫХ}}$  - ВЫХОД

4.  $+U_{пит}$  - положительный вывод питания
5.  $-U_{пит}$  - отрицательный вывод питания

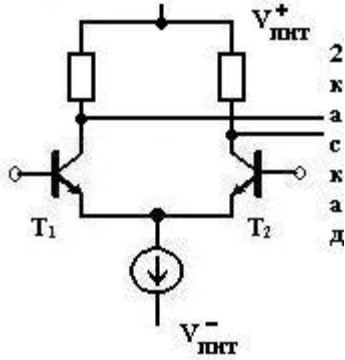
Двуполярное питание обеспечивает возможность инверсии знака напряжения на инвертирующем входе  $U_2$ , т.е. при подаче на вход  $U_2$  положительного сигнала на выходе сигнал будет отрицательным. Напряжение питания ОУ обычно  $+15 В/-15В$ , но иногда может варьироваться от  $+5/-5$  до  $+18/-18$ .

Идеальный ОУ чувствителен к дифференциальному (разностному) сигналу  $U_{вх}=U_1-U_2$  и нечувствителен к синфазному сигналу  $U_{син}=(U_1+U_2)/2$ . Последнее обстоятельство позволяет использовать ОУ в схемах с длинными линиями. Действительно, сигналы помехи (наводки) будут одинаковы на обоих входах, но на выходе они сложатся с разными знаками и дадут нуль. Источник сигнала (например датчик) должен иметь дифференциальный выход (полезные сигналы равные по величине, но разные по знаку), как показано на рисунке ниже.

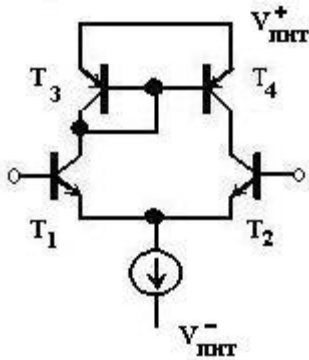


Ниже показан входной каскад ОУ с пассивной нагрузкой. Транзисторы  $T_1$ ,  $T_2$  и резисторы образуют мостовую схему. Генератор тока (на схеме: кружок со стрелкой) обеспечивает постоянство суммы токов через левое и правое плечи моста. При подаче напряжения на базу, сопротивление транзистора падает и ток коллектора растет. Напряжение разбаланса моста поступает на второй каскад (часто тоже дифференциальный). Рабочая точка всегда должна оставаться в линейной области транзистора. Так как связь между каскадами - непосредственная (без конденсаторов), то ОУ может усиливать постоянное напряжение. Частотный диапазон при этом достаточно широкий от 0 до 1-10 МГц.

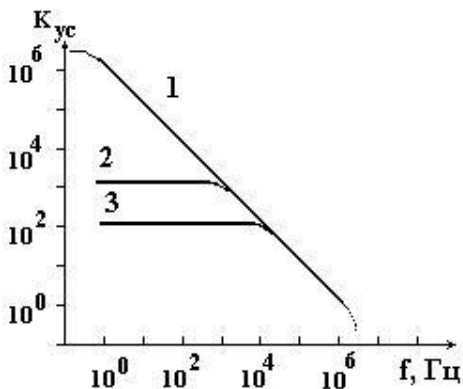




Использование активной нагрузки типа "токовое зеркало" (транзисторы  $T_3$ - $T_4$  на рисунке ниже) позволяет увеличить коэффициент усиления до миллионов раз. Равенство напряжений на базах транзисторов  $T_3$  и  $T_4$  приводит к равенству их коллекторных токов, один ток является "отражением" другого - отсюда и название схемы.



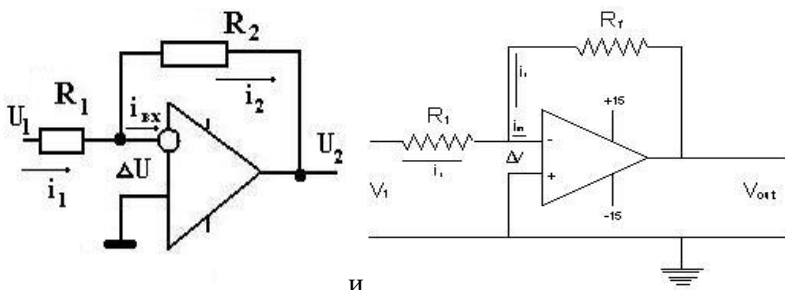
ВОО без обратной связи коэффициент усиления  $k$  сильно зависит от частоты ( $k$  падает с частотой как показано на рисунке ниже, кривая 1), поэтому для создания "плоской АЧХ" вводят корректирующие RC-цепи (кривые 2 и 3). Для балансировки нуля также используют внешний переменный резистор.



Кроме того, при высоком значении коэффициента усиления трудно управлять усилителем и удерживать его от насыщения. Если часть выходного сигнала направить обратно на вход в противофазе с входным сигналом, т.е. создать отрицательную обратную связь, то усилитель будет более стабильным, но приведет к снижению коэффициента усиления. Типичные схемы включения ОУ с отрицательной обратной связью имеют коэффициент усиления от 10 до 1000, тогда как коэффициент усиления ОУ без обратной связи находится в диапазоне от  $10^5$  до  $10^7$ . Если обратная связь положительна, усилитель переходит в режим генерации, т.е. становится автогенератором.

Инвертирующий (вычитающий) усилитель.

Принципиальная схема, показанная на рисунке является наиболее распространенной схемой включения ОУ. (справа - схема в американском стандарте обозначений)



и

Резистор  $R_2$  в цепи обратной связи служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. При подаче входного напряжения ( $U_1$ ) через резистор  $R_1$  протекает входной ток  $i_1$ . Напомним, что входное напряжение ОУ ( $U_2$ ) имеет дифференциальный характер, т.е. фактически это разность напряжений на неинвертирующем и инвертирующем входах усилителя. Неинвертирующий вход чаще всего заземляют. Чтобы получить передаточную характеристику, учтем тот факт, что потенциал  $U_1$  практически равен нулевому потенциалу.

Входная цепь:  $i_1 = U_1/R_1$ , выходная цепь:  $i_2 = - U_2 / R_2$

Т.к. ОУ - идеальный ( $R_{вх}$  - очень большое):  $i_1 = - i_2$ , отсюда  $U_1/R_1 = U_2/R_2$

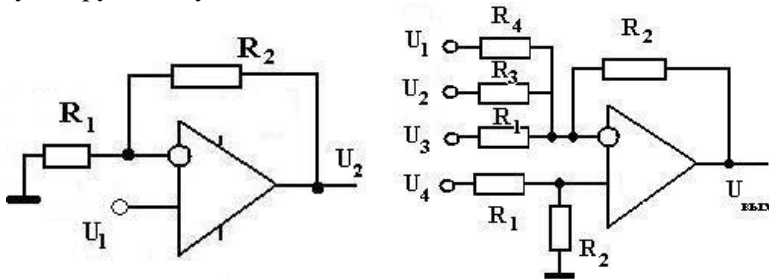
Коэффициент усиления  $k_{yc} = - U_2/U_1 = - R_2/R_1$

Тогда выходное напряжение будет равно  $U_2 = - (R_2 / R_1) U_1$

Отношение номинальных значений резисторов  $R_2/ R_1$  называется коэффициентом передачи усилителя, охваченного обратной связью, а знак минус означает, что выходной сигнал инвертирован. Следует обратить внимание, что коэффициент усилителя, охваченного обратной связью, можно установить посредством выбора сопротивлений двух резисторов,  $R_1$  и  $R_2$ .

Неинвертирующий и суммирующий усилитель.

Если в усилителе, охваченном отрицательной обратной связью через резисторы  $R_1$  и  $R_2$ , напряжение подавать на неинвертирующий вход, как показано на рисунке слева, то мы получим неинвертирующий усилитель с коэффициентом усиления  $k_{yc} = 1 + R_2/R_1$ . Схема, показанная на рисунке справа, работает как суммирующий усилитель.



и

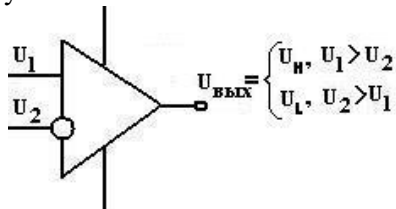
Учитывая знаки напряжений, получим такую функцию преобразования

$$U_2 = (R_2 / R_1)U_4 - (R_2 / R_1)U_3 - (R_2 / R_3)U_2 - (R_2 / R_4)U_1$$

В заключение заметим, что суммирующий усилитель можно использовать как цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), если номиналы резисторов  $R_1$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  будут последовательно расти по степеням числа "2", как  $R_N = 2^{N-1}$ .

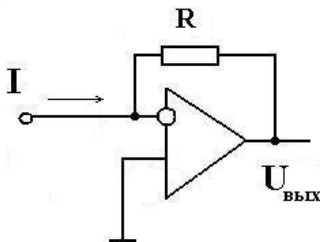
Компаратор напряжения.

Компаратор - устройство для сравнения уровней двух сигналов (от compare - сравнивать). В зависимости от соотношения напряжений на его входах он может находиться в одном из двух устойчивых состояний.



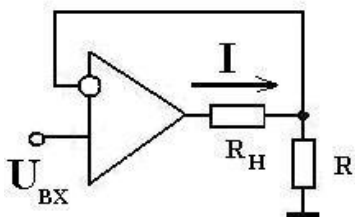
Операционный усилитель, обладая дифференциальным входом и высоким коэффициентом усиления, может выполнять роль компаратора. Если сигнал на неинвертирующем входе больше чем на инвертирующем, то на выходе ОУ будет  $U_{\text{вых}} = k(U_1 - U_2)$  или фактически  $+U_{\text{пит}}$ . Если, наоборот, сигнал на инвертирующем входе будет больше, то на выходе ОУ будет напряжение  $-U_{\text{пит}}$ . Для увеличения быстродействия ОУ может быть охвачен положительной обратной связью.

Преобразователь ток-напряжение.



Входное напряжение в этой схеме  $U_{\text{вх}} = -U_{\text{вых}}/k_{\text{ус}} = I \cdot R/k_{\text{ус}}$ , а выходное  $U_{\text{вых}} = -IR$  - пропорционально входному току. Входное сопротивление  $R_{\text{вх}}$  - очень мало т.к.  $R_{\text{вх}} = R/k_{\text{ус}}$  и не влияет на схему, в которой проводится измерение тока. Отметим также, что напряжение на выходе практически не зависит от нагрузки.

## Преобразователь напряжение-ток.



Ток  $I$ , протекающий через резистор нагрузки, не зависит от сопротивления нагрузки  $R_H$ , но прямо пропорционален входному напряжению. Таким образом схема является источником тока (гальваностатом), управляемым напряжением. Недостатком данной схемы является невозможность заземлить  $R_H$ .

## Интегратор.

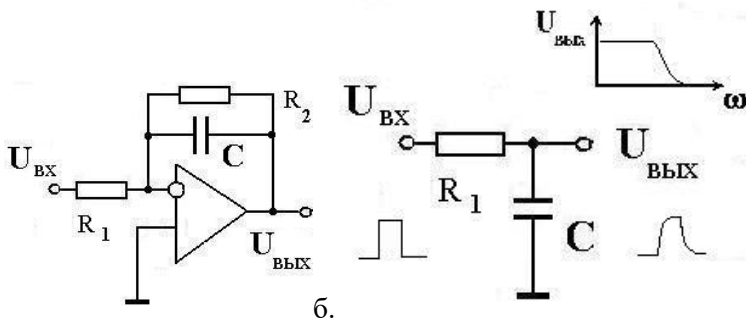


Схема интегратора, показанная выше (слева), одновременно является активным фильтром нижних частот (ФНЧ). Справа приведена интегрирующая RC - цепочка, являющаяся пассивным ФНЧ, и ее амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

При подаче на вход импульса прямоугольной формы (рисунок справа) на выходе мы увидим импульс с передним и задним фронтами, "затянутые" по экспоненциальному закону:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} \frac{R_2}{R_1} \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

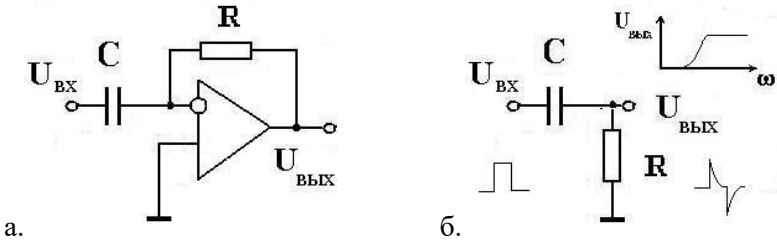
Приближенно, при временах, меньших  $RC$ , на выходе получим проинтегрированный входной сигнал:

$$U_{\text{вых}} \approx -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}} dt, \quad \text{при } t \leq 0,1 RC$$

При синусоидальном сигнале его форма не меняется, при этом амплитуда уменьшается при частотах порядка  $1/RC$ :

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{(1 + i\omega CR_2)}$$

Дифференциатор.



Поменяв конденсатор и резистор местами, мы получим схему дифференциатора, показанную выше (слева). В тоже время это активный фильтр верхних частот (ФВЧ). Справа приведена дифференцирующая  $RC$  - цепочка, являющаяся пассивным ФВЧ, и ее амплитудно-частотная характеристика (АХЧ) с подъемом в области высоких частот.

На этот же рисунке мы можем видеть искажение прямоугольного сигнала. Дифференцирование данная схема осуществляет в соответствии с формулой:

$$U_{\text{вых}} = -RC \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}, \quad \text{при } t \leq 0,1 RC$$

**Вопросы для повторения:**

1. Начертить простую схему генератора синусоидальных колебаний?
2. Нарисовать схему генератора треугольных импульсов?
3. Что называется интегратором?
4. Что называется дифференциатором?

## 2.7. Структурная схема цифровых ЭВМ и М.П. систем

План лекции:

1. Общие сведения.

1. Блок схем цифровых ЭВМ и МП системы, устройства.

Основные характеристики, область применения и архитектурные особенности организации ЭВМ различных классов.

Структурная схема ЭВМ.

ЭВМ - это комплекс электронного и другого оборудования, предназначенный для автоматического решения задач, представленных программами и данными в цифровой форме.

Под программой понимается алгоритм решения задач на языке машины, представляющий собой последовательность команд. В свою очередь команда - это специальное машинное слово, которое определяет операцию вычислительной машины и данные, над которыми эта операция будет выполняться.

Рассмотрим общую структуру ЭВМ, которая с той или иной степенью конкретизации воплощена в ЭВМ любого типа.

В типовой состав ЭВМ входят:

арифметическо-логическое устройство (АЛУ);

устройство управления (УУ), вместе с АЛУ составляющие процессор ЭВМ;

внутренняя память (ВнП), включающая:

оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);

сверхоперативное запоминающее устройство (СОЗУ);

постоянное запоминающее устройство (ПЗУ);

внешняя память или внешние запоминающие устройства (ВЗУ), вместе с ВнП составляющие память ЭВМ;

устройство ввода информации (УВВ);

устройство вывода информации (УВыВ);

устройство обмена (УО).

Устройства ЭВМ соединяются между собой каналами связи, по которым передаются потоки информации, подлежащей обработке, и сигналы управления.

Арифметическо-логическое устройство (АЛУ) представляет собой функциональную часть процессора и предназначено

для выполнения арифметических и логических операций над данными. Основным узлом АЛУ является сумматор, выполняющий операции сложения чисел. Реализация остальных арифметических операций обычно сводится к выполнению сложения и некоторых других вспомогательных операций. Наряду с сумматором в состав АЛУ входят регистры, обеспечивающие временное хранение информации, подлежащей обработке в АЛУ на данном этапе вычислений.

Устройство управления обеспечивает взаимодействие всех составных частей ЭВМ в процессе решения задач в соответствии с заранее составленной программой ее решения, введенной в ОЗУ. Основной задачей УУ является выборка из ОЗУ кодов команд и их преобразование в необходимые последовательности синхронизирующих, разрешающих, стробирующих и других сигналов управления. С помощью этих сигналов и обеспечивается согласованное взаимодействие всех устройств ЭВМ в процессе автоматического выполнения программы, в том числе выборка из памяти необходимых чисел (их называют операндами), их пересылка в АЛУ, выполнение над ними арифметических действий и т.д.

Память ЭВМ служит для хранения исходных данных, программы, промежуточных и окончательных результатов вычислений. Информация, содержащаяся в памяти ЭВМ, по мере необходимости выдается в другие устройства машины. Память ЭВМ обычно состоит из двух существенно отличающихся по своим характеристикам частей: быстродействующей внутренней (ВнП) и сравнительно медленно действующей, но способной хранить большие объемы информации внешней памяти (ВЗУ).

ОЗУ тесно связана с процессором ЭВМ и служит для хранения информации, используемой в ближайшем цикле вычислений. Информация из ОЗУ извлекается определенными порциями, для чего ОЗУ разбивается на отдельные ячейки, каждая из которых служит для хранения одного машинного слова, представляющего закодированные в двоичном коде данные. Все ячейки памяти последовательно пронумерованы. Номера ячеек являются адресами тех данных, которые хранятся в них. Тесное взаимодействие ОЗУ с АЛУ предъявляет повышенные требования к быстродействию ОЗУ, поскольку оно непосредственно влияет на



быстродействие ЭВМ в целом. Современные ОЗУ характеризуются достаточно высоким быстродействием, однако гораздо меньшим, чем быстродействие современных процессоров. В этом случае в ЭВМ включают так называемую сверхоперативную память (СОЗУ), выполненную на регистрах, быстродействие которой соизмеримо с быстродействием процессора. ОЗУ и СОЗУ являются энергозависимыми видами памяти, поскольку при выключении питания информация в них уничтожается. Кроме того, в ЭВМ используется постоянная память (ПЗУ), предназначенная для хранения различных констант и программ, необходимых для начального этапа работы ЭВМ после включения питания. ПЗУ является энергонезависимым видом памяти.

Внешняя память или ВЗУ служит для хранения больших объемов информации, подлежащей обработке на ЭВМ - данные и программы, непосредственно не участвующие в текущем цикле вычислений. В процессе вычислений между ВЗУ и ОЗУ происходит обмен информацией. Обычно такой обмен производится достаточно крупными блоками, это объясняется тем, что в ВЗУ тратится много времени на поиск нужной информации. ВЗУ строятся на магнитных дисках или лентах, а также на оптических дисках.

УВВ предназначены для ввода в ОЗУ программ и исходных данных решаемых задач, их корректировки, а также управления вычислительным процессом ЭВМ, путем ввода управляющей информации. Примерами УВВ являются: клавиатура (пульты управления), различного вида манипуляторы, а также специальные устройства, например датчики информации о состоянии (поведении) интересующего нас объекта, которым мы управляем.

УВыВ служит для автоматического вывода данных на носитель данных. Формой представления выходных данных могут быть: печатный текст и рисунки (графические изображения), визуально наблюдаемые текст и графические изображения. Наиболее типичными устройствами вывода в первом случае являются принтеры - устройства для вывода информации различного рода на бумажный носитель информации, а во втором случае - дисплей, на экране которого отображается как вводимая, так и выводимая из ЭВМ информация.

Рассмотренные выше устройства (процессор, ОЗУ, ПЗУ и т.д.) являлись основными функциональными устройствами ЭВМ первых поколений. Основным недостатком таких ЭВМ было то, что имело место противоречие между высокой скоростью обработки информации процессором и низкой скоростью работы ВЗУ, УВВ, УВыВ. Это приводило к тому, что процессору приходилось на долгое время прерывать обработку программ, так как он должен был управлять операциями ввода-вывода на этих устройствах. Для устранения указанного недостатка в структурную схему ЭВМ было введено УО, назначением которого явилось управление обменом информации между ОП и отмеченными устройствами. По существу УО (каналы ввода-вывода) являются специализированными процессорами, имеющими свое автономное УУ и даже ОЗУ. Процессор в этом случае выдает лишь команду на выполнение операций ввода-вывода, не прерывая вычислительного процесса, а обмен информацией происходит без участия процессора.

Рассмотренная структурная схема цифровой ЭВМ является характерной и для ряда специализированных ЭВМ, используемых в образцах ВВТ ВВС.

Вместе с тем следует отметить, что разработка БИС и СБИС позволила изготавливать микропроцессоры и другие устройства ЭВМ на одном или нескольких кристаллах, что привело к некоторой модификации структуры вычислительной машины (микроЭВМ, ПЭВМ), которая будет рассмотрена в главе.

Таким образом, мы рассмотрели и изучили структуру ЭВМ, состав и назначение входящих в нее устройств. Следующая наша задача - изучить каким образом организуется исполнение заложенной в ЭВМ программы, как она функционирует при выполнении команд.

Функционирование ЭВМ при выполнении команд.

Назначение и структура процессора.

Важнейшими понятиями, характеризующими работу процессора, являются частота задающего генератора  $f_k$  и зависящий от нее такт работы процессора  $T_{пр}$ , называемый также машинным тактом. В течение машинного такта выполняется одна или несколько микроопераций процессора. Чем короче машинный

такт, тем выше производительность процессора, выражаемая количеством выполняемых команд (операций) в единицу времени. Производительность процессоров современных ЭВМ достигает от нескольких миллионов до нескольких млрд. операц./с, при этом величина машинного такта  $T_{пр} = 10 \text{ } 100 \text{ нс}$ .

Обычно, говоря о производительности ЭВМ, подразумевают производительность ее процессора.

Следует иметь в виду, что программа, написанная для выполнения процессором ЭВМ определенного типа, будет выполняться только этим процессором или «родственными» ему процессорами из одного семейства или построенными по одним и тем же принципам работы. Вместе с тем у всех процессоров, несмотря на структурные и временные различия, существует много общих признаков и функциональных особенностей.

Процессоры классифицируют по различным признакам.

В зависимости от принципа организации выполнения операций процессоры различают с микропрограммным (гибким) и схемным (жестким) управлением. При микропрограммном управлении в ПЗУ процессора хранятся микропрограммы, состоящие из микрокоманд, каждая из которых обеспечивает выполнение одной или нескольких микроопераций. Каждому типу машинных команд соответствует определенный алгоритм, и поэтому в ПЗУ хранятся микропрограммы, обеспечивающие выполнение всех типов команд, управляющих работой процессора. При схемном управлении все алгоритмы выполнения команд реализованы схемно, т.е. на основе логических схем. В настоящее время подавляющее большинство процессоров управляется микропрограммно, так как в этом случае удобнее вносить изменение в функционирование команд и даже расширять их состав.

По функциональному назначению различают процессоры центральные (процессоры ЭВМ) и периферийные (ввода-вывода, телеобработки, матричные для выполнения специальных функций).

В зависимости от допустимых форм представления чисел процессоры делятся на обрабатывающие числа с фиксированной или плавающей точкой (запятой), а также десятичные числа. Процессор, обрабатывающий все перечисленные формы представления чисел, называется универсальным.

В зависимости от способа выполнения машинных команд

процессоры подразделяются на синхронные и асинхронные. В синхронных процессорах любая команда независимо от ее сложности занимает один машинный такт. Это приводит к неэффективному использованию машинного времени, так как величина такта резко возрастает из-за сложности команд и отрицательно сказывается на эффективности выполнения простых команд. В асинхронных процессорах любая команда занимает лишь время, необходимое для нее, после чего процессор сразу же переходит к следующей команде.

По структуре системы команд, выполняемых процессором они делятся на процессоры со сложной системой команд (CISC-процессоры) и процессоры с сокращенной системой команд (RISC-процессоры). В первом случае расширение набора команд, увеличение числа способов адресации, введение сложных команд сопровождаются увеличением длины кода команды, в первую очередь, кода операции, что может приводить к использованию “расширяющегося кода операции”, увеличению числа форматов команд. Это вызывает усложнение и замедление процесса дешифрации кода операции и других процедур обработки команд.

В связи с этим, в конце 80-х годов сформировалось альтернативное направление построения процессоров, которое предполагает реализацию в ЭВМ сокращенного набора простейших, но часто употребляемых команд, что позволяет упростить аппаратные средства процессора и благодаря этому получилось возможность повысить его быстродействие.

При использовании RISC-архитектуры выбор набора команд и структуры процессора (микропроцессора) направлены на то, чтобы команды набора выполнялись за один машинный цикл процессора. Выполнение более сложных, но редко встречающихся операции обеспечивают подпрограммы.

Все процессоры характеризуются разрядностью - максимальной длиной (в битах) обрабатываемых чисел. Самые современные микропроцессоры имеют разрядность более 32 бит.

Упрощенная структурная схема процессора.

Она включает в себя арифметическо-логическое устройство (АЛУ), устройство управления (УУ), блок управления памя-

тью (УП), блок контроля и диагностики (КД) и блок местной памяти (МП). Рассмотрим основные функции блоков процессора.

Арифметическо-логическое устройство процессора служит для выполнения арифметических и логических действий над числами и кодами. В универсальных ЭВМ АЛУ процессора непосредственно производит арифметические действия над числами с фиксированной точкой, с плавающей точкой и десятичными числами, а также логические действия над алфавитно-цифровыми кодами. В состав АЛУ обязательно входят сумматор (один или несколько), сдвигатель (один или несколько), регистры для хранения промежуточных результатов, а также другое оборудование.

Характер исполняемой АЛУ операции задается командами программ.

Устройство управления выполняет следующие функции: производит дешифрацию кодов команд, поступающих из оперативной памяти;

вырабатывает последовательность управляющих сигналов, необходимых для выполнения команд;

управляет последовательностью выборки команд и операндов из оперативной и местной памяти;

управляет запросами на вмешательство в процесс вычислений, поступающими от блоков ЭВМ и из внешней среды.

Блок управления памятью обеспечивает управление передачей информации из оперативной памяти (ОП) в буферную память (БП) и оттуда в УУ, АЛУ и КД, и наоборот (следует отметить, что БП входит в состав УП). УП также управляет передачей информации из ОП в каналы ввода-вывода и обратно, организует работу ОП.

Блок контроля и диагностики служит для фиксации и диагностирования сбоев и отказов оборудования процессора, оперативной памяти и каналов ввода-вывода. Важнейшей функцией блока КД является выполнение записи состояния основных регистров процессора в оперативную память по фиксированным адресам, что позволяет производить восстановление хода вычислений с момента, предшествовавшего возникновению сбоя, или отказа, оборудования. Кроме того, оборудование блока КД позволяет в значительной степени автоматизировать поиск неисправности.

## Основные стадии выполнения команды

Прежде чем рассмотреть общие принципы функционирования ЭВМ при выполнении команд введем определения основных необходимых для этого понятий.

ЭВМ оперируют с данными, представленными в цифровой форме в двоичном алфавите. Это связано с тем, что в современных цифровых устройствах используются физические элементы с двумя устойчивыми состояниями, которые обозначаются символами 0 и 1.

В качестве основных структурных единиц информации в современных ЭВМ - приняты следующие:

бит или двоичный разряд, является наименьшей единицей данных и может принимать значения 0 или 1;

поле - последовательность битов, имеющая некоторый смысл;

байт - восемь бит, используется как основной структурный элемент информации, адресуемый, передаваемый и обрабатываемый как целое;

машинное слово - последовательность байтов, имеющая определенный смысл.

Алгоритмом решения задачи называется последовательность логических и арифметических операций, которые надо произвести над исходными данными и промежуточными результатами для получения решения задачи. Поэтому алгоритм можно задать указанием, какие следует произвести операции и над какими машинными словами. Описание алгоритма в форме, воспринимаемой ЭВМ, называется программой. Программа состоит из отдельных команд. Команда - это специальное машинное слово, которое определяет операцию ЭВМ и данные над которыми эта операция будет выполняться. Таким образом, процесс обработки данных в ЭВМ заключается в выполнении команд, предписанных программой.

Операция задается условным кодом, называемым кодом операции (КОП), а операнды - данные, над которыми выполняется операция, адресами (А) ячеек ОП, в которых они хранятся. Любая команда состоит, таким образом, из двух основных частей - операционной и адресной. Количество адресов операндов, со-

держатся в команде, называется адресностью команды и определяет адресность ЭВМ. Наибольшее распространение получили одно-, двух- и трехадресные команды.

В трехадресной команде A1 и A2 - адреса ячеек ОП, содержащих исходные операнды, а A3 - адрес ОП, по которому помещается результат. В двухадресной команде A3 отсутствует, поэтому результат операции либо остается в процессоре ЭВМ, либо записывается в ячейку ОП с адресом A1 или A2. В одноадресной команде содержится только адрес одного операнда A1. Операция выполняется над числом, находящимся в определенном регистре процессора (например, это результат предыдущей операции) и числом, считанным из ОП по адресу A1. Результат операции остается в процессоре.

Современные ЭВМ выполняют несколько сотен команд (операций). Перечень всех команд, их кодов и задаваемых операций называется системой команд ЭВМ. В систему команд ЭВМ обычно входят следующие виды команд:

арифметические команды - по ним вычисляются результаты основных арифметических действий над числами;

логические команды осуществляют поразрядные операции булевой алгебры над операндами;

команды передачи управления - производят передачу управления какой-либо команде программы или другой программе;

команды передачи кодов - команды пересылки;

команды ввода-вывода - обеспечивают передачу массивов данных из ВЗУ или устройств ввода-вывода в ОП и наоборот.

Таким образом, программа представляет собой последовательность команд, следующих в соответствии с заданной алгоритмом логикой вычислений и обеспечивающих решение задачи на ЭВМ.

Чтобы УУ могло воспринять команды, они должны быть закодированы в цифровой форме. Автоматическое управление процессом решения задачи достигается на основе принципа микропрограммного управления, в соответствии с которым для каждой команды, выбранной процессором для выполнения, в УУ имеется программа ее реализации, называемая микропрограммой. Микропрограмма, в свою очередь, состоит из микрокоманд,

описывающих самые элементарные операции, выполняемые элементами, из которых состоит АЛУ и другие устройства ЭВМ. В соответствии с последовательностью микрокоманд УУ вырабатывает электрические управляющие сигналы в определенной последовательности, заставляющие различные элементы АЛУ выполнять элементарные действия.

Другим важным принципом организации работы процессора является принцип хранимой в памяти программы. Согласно этому принципу команды программы, закодированные в цифровой форме, хранятся в ОП наравне с исходными данными для этой программы. В команде указываются не сами участвующие в операциях числа, а адреса ячеек ОП, в которых они находятся, куда помещается результат операции.

При выполнении программы процессор выбирает из ОП очередную команду и по КОП определяет предписываемую ею операцию. Если эта операция состоит в выполнении арифметических или логических действий над операндами, то на следующем этапе происходит считывание из ОП операндов и далее производится непосредственно выполнение команды. После этого осуществляется формирование адреса в ОП следующей предписываемой программой команде. Если команда, выбранная процессором относится к командам передачи управления, то процессор считывает очередную команду по адресу, указанному в адресной части команды передачи управления. Если выбрана команда ввода-вывода, то процессор управляет обменом информацией между ОП и ВЗУ или устройствами ввода-вывода.

Поскольку программа хранится в памяти, одни и те же команды могут нужное количество раз извлекаться из памяти и выполняться. Более того, так как команды представляются в памяти в цифровом виде, то над ними как и над числами могут выполняться операции, называемые модификацией команд. Команды выполняются в порядке, соответствующем их расположению в последовательных ячейках памяти, кроме команд передачи управления, изменяющих этот порядок безусловно или только при выполнении некоторого условия. Именно благодаря наличию команд передачи управления ЭВМ может автоматически изменять соответствующим образом ход вычислительного процесса, решать сложные логические задачи.



Интервал времени, в течение которого происходит выборка из ОП команды, операнда и выполнение команды, т.е. полностью выполняется одна команда, называется рабочим циклом ЭВМ. Если предположить, что имеем дело с одноадресной командой, то рабочий цикл состоит из трех тактов: такта выборки команды, такта выборки операнда, такта выполнения операции. Длительность такого рабочего цикла определяется следующим соотношением:

$TЦ = 2TО + TОП$ , где  $TО$  и  $TОП$  - время обращения к ОП и время выполнения операции в АЛУ.

Время  $TОП$  зависит от типа выполняемой операции. Например, время сложения двух операндов в десятки раз меньше времени умножения или деления. Поэтому длительность рабочего цикла является величиной переменной и изменяется в широких пределах. Существует три способа организации рабочего цикла: синхронный, асинхронный и смешанный.

При синхронном способе  $TЦ = const$ , т.е. на выполнение любой команды отводится строго определенное время. Это время определяется по самой длинной команде. При синхронном способе на выполнение трех команд: сложение, умножение и деление, отводится одинаковое время, несмотря на реальное время их выполнения. Недостатком этого способа является нерациональное использование рабочего времени процессора.

При асинхронном способе формирования рабочего такта длительность рабочего цикла является величиной переменной и начало выполнения следующей операции осуществляется по сигналу окончания предыдущей операции. Достоинством метода является большое быстроедействие, недостатком - сложность аппаратно-программной реализации.

При смешанном способе все команды разбиваются на группы с равным или примерно равным временем выполнения. При расшифровке КОП в УУ определяется к какой группе принадлежит выполняемая команда и в зависимости от этого формируется необходимая длительность рабочего цикла. Другой разновидностью смешанного способа является следующий - для команд, требующих малого и среднего времени выполнения устанавливается фиксированная длительность рабочего цикла. Для более длительных команд используется асинхронный метод. Для

повышения быстродействия в современных ЭВМ используется совмещение тактов, предполагающее одновременную работу ОП, УУ, АЛУ и позволяющее сократить время на выполнение одной операции т.е. повысить быстродействие ЭВМ.

Общая характеристика запоминающих и периферийных устройств ЭВМ.

### Периферийные устройства

Согласно ГОСТ 13699-80, носитель информации - это физическое тело, используемое при записи для сохранения в нем или на его поверхности сигналов информации.

В процессе записи производится преобразование сигналов информации в пространственное изменение состояния или формы носителя с целью сохранения и последующего считывания записанной информации. Считывание информации - процесс получения записанной информации от носителя в любой сигнальной форме.

В практике получил распространение термин “машинные носители”, т.е. носители, информация с которых может быть воспроизведена с помощью относительно простых технических средств и которые являются унифицированными, легко транспортируемыми и обмениваемыми документами. К таким носителям относятся: магнитные ленты, съемные магнитные и оптические диски.

Видоизменение носителя в процессе записи может сводиться к созданию различных неоднородностей на носителе (магнитной - в носителях с магнитным слоем, электрической - при записи электростатическим или электрофотографическим способом и т.п.).

По конструктивному исполнению различают носители ленты и диски.

По характеру использования носители делят на однократного и многократного пользования (последние допускают многократную перезапись информации).

Важнейшими характеристиками носителей являются - линейная, поверхностная и объемная плотность записи информа-

ции, которая непосредственно влияет на скорость записи и считывания информации, а также на стоимость хранения единицы (например, бита) информации.

Магнитные диски представляют собой кольцеобразные носители с магнитным слоем на торцевой поверхности. Различают диски на жесткой и гибкой основе.

Гибкие диски (дискеты) позволяют переносить документы и программы с одного компьютера на другой, а также хранить информацию, не используемую постоянно на компьютере. Практически все компьютеры (кроме сетевых рабочих станций и компьютеров специального назначения) имеют хотя бы один дискет для дискет. Однако как носитель информации дискеты используются все меньше, поскольку они недостаточно надежны и имеют малую по современным меркам емкость.

Накопители на жестком диске (винчестеры) предназначены для постоянного хранения информации, используемой при работе с компьютером: программ операционной системы, часто используемых пакетов программ, редакторов документов, трансляторов с языков программирования и т.д. Из всех устройств хранения данных (если не считать оперативную память) жесткие диски обеспечивают наиболее быстрый доступ к данным, высокие скорости чтения и записи данных. Для пользователя накопители на жестком диске отличаются друг от друга прежде всего следующими характеристиками:

- \* емкостью, то есть тем, сколько информации помещается на диске;
- \* быстродействием, то есть временем доступа к информации и скоростью чтения и записи информации;
- \* интерфейсом, то есть типом контроллера, к которому должен подсоединяться жесткий диск.

Середина 80-х годов ознаменовалась введением в практику оптических запоминающих устройств, носителем информации в которых является оптический диск (ОД). Информация на ОД представляется участками на дорожке - спирали с неоднородной отражающей способностью, что позволяет относительно просто воспроизводить ее с помощью лазерных устройств.

Плотность записи информации на ОД в десять раз превышает плотность записи на МД. Поэтому ЗУ на ОД отличаются

большой емкостью и малой стоимостью хранения одного бита. Часто ОД в обиходе называют компакт-дисками или CD-ROM.

С помощью накопителей для CD-ROM компьютеры могут считывать специальные компьютерные компакт-диски, а также (при наличии звуковой карты) проигрывать аудиокомпакт-диски. CD-ROM можно использовать только для чтения содержащейся на них информации. Ранее запись данных на CD-ROM осуществлялась при их изготовлении.

В настоящее время существуют записывающие накопители CD-ROM, с использованием которых пользователь может самостоятельно записывать компакт-диски. Стандартом таких накопителей стали устройства CD-R, а накопители CD-RW позволяют перезаписывать информацию на соответствующих оптических дисках до нескольких тысяч раз.

Компьютерные компакт-диски очень дешевы в производстве и содержат до 700 Мбайт информации, поэтому сейчас большинство программ, в особенности большие программные комплексы распространяются на компакт-дисках. Дисководы для компакт-дисков стали практически обязательным атрибутом современного компьютера.

Устройства ввода и отображения служебной информации.

К основным устройствам ввода-вывода информации современных ЭВМ относятся: клавиатура, устройство отображения информации (дисплей), указатели информации ("мышь"), устройства документирования информации (принтеры, плоттеры), устройства связи с внешними объектами (модемы, факс-модемы) и другие. Рассмотрим назначение и виды данных устройств.

Клавиатура предназначена для ввода в компьютер информации от пользователя.

Каждая клавиша клавиатуры представляет собой крышку для миниатюрного переключателя (механического или мембранного). Содержащийся в клавиатуре небольшой микропроцессор отслеживает состояние этих переключателей, и при нажатии или отпускании каждой клавиши посылает в компьютер соответствующее сообщение (прерывание), а программы компьютера (операционная система) обрабатывают эти сообщения.

Указательные устройства. Для работы со многими совре-

менными программами практически обязательным является использование мыши или иного заменяющего ее устройства (трекбола, сенсорной панели и т.д.). Эти устройства называются указательными устройствами, так как они позволяют указывать на те или иные элементы на экране компьютера.

На настольных компьютерах наиболее часто используемым указательным устройством является мышь - манипулятор, представляющий собой небольшую коробочку (обычно серого цвета) с двумя или тремя кнопками, легко уместящуюся в ладони. При перемещении мыши по столу или иной поверхности на экране компьютера соответствующим образом передвигается указатель мыши (обычно - стрелка). Когда необходимо выполнить то или иное действие, например выполнить пункт меню, на который установлен указатель мыши, пользователь нажимает ту или иную кнопку мыши. Некоторые пользователи предпочитают применять не мышь, а трекбол - манипулятор в форме шара на подставке.

Монитор. Монитор (дисплей) компьютера предназначен для вывода на экран текстовой и графической информации. Монитор похож на телевизор, поскольку оба они формируют изображение с помощью кинескопа (электроннолучевой трубки), но внутренне они сильно отличаются. Монитор может показывать более четкое и детальное изображение, чем любой телевизор, так как в отличие от него, получает видеосигнал в готовом виде по кабелю от видеоконтроллера.

Мониторы бывают цветные и монохромные, отличаются друг от друга по размеру (обычно диагональ кинескопа - от 14 до 21 дюйма). В зависимости от назначения монитору оснащаются разными средствами регулировки, цветокорректировки и т.д. Различные мониторы могут поддерживать разные разрешения, то есть количества точек в выводимом изображении по горизонтали и вертикали - от 640x480 точек до 1600x1280 точек на самых больших профессиональных мониторах. Чем выше разрешение, тем более детальным может быть изображение на экране.

Электронные схемы компьютера, обеспечивающие формирование видеосигнала и тем самым определяющие изображение, показываемое монитором, называются видеоконтроллером. Видеоконтроллер обычно выполняется в виде специальной платы,

вставляемой в разъем системной шины компьютера. Видеоконтроллер получает от микропроцессора компьютера команды по формированию изображения, конструирует это изображение в своей служебной памяти - видеопамяти, и одновременно преобразует содержимое видеопамяти в сигнал, подаваемый на монитор - видеосигнал.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что называется ЭВМ?
2. В типовой состав ЭВМ входят?
3. Для чего служит память ЭВМ?
4. Для чего служит внешняя память или ВЗУ?
5. Какие обычно виды команды входят в систему команд ЭВМ?

## **2.8. Общая характеристика микропроцессорного устройства**

План лекции

1. Общие сведения о МП.
2. Основные понятия «команда».
3. Структура и принцип построения микропроцессорного устройства.

Общая характеристика

Процессор - основная микросхема компьютера, в которой и производятся все вычисления. Конструктивно процессор состоит из ячеек, похожих на ячейки оперативной памяти, но в этих ячейках данные могут не только храниться, но и изменяться. Внутренние ячейки процессора называют регистрами. Данные, попавшие в некоторые регистры, рассматриваются не как данные, а как команды, управляющие обработкой данных из других регистров. Среди регистров процессора есть и такие, которые в зависимости от своего содержания способны модифицировать исполнение команд. Таким образом, управляя засылкой данных в разные регистры процессора можно управлять обработкой данных.

Для микропроцессора характерны:

- простота производства (по единой технологии);
- низкая стоимость;
- малые габариты (пластина, площадью несколько см или кубик со стороной несколько мм);
- высокая надежность;
- малое потребление энергии.

### Структура микропроцессора

Микропроцессор выполняет функции обработки информации и управления работой всех блоков ПК. Обычно структура микропроцессора представляет собой одну или несколько больших интегральных схем (БИС). Она может состоять из отдельных блоков (секций), а может быть размещена на одном чипе (кристалле). Секционная структура позволяет увеличить разрядность и ёмкость запоминающего устройства, однако при этом увеличивается количество блоков, что изменяет габариты, мощность и энергопотребление процессора. Однокристалльный микропроцессор обладает постоянной разрядностью и выполняет набор команд, хранящихся в его памяти. Отличительной особенностью данного микропроцессора является наличие общей шины, по которой организуется прием, передача данных и осуществляется взаимодействие между внутренними блоками и внешними устройствами.

В состав микропроцессора входят:

- устройство управления;
- арифметико-логическое устройство;
- внутренняя регистровая память;
- КЭШ – память;
- схема формирования действительных адресов операндов для обращения к оперативной памяти;
- схемы управления системной шиной и др.

### Устройство управления

Устройство управления является функционально наиболее сложным устройством ПК. Оно вырабатывает управляющие сигналы, поступающие по кодовым шинам инструкций во всем

блоке машины

Устройство управления формирует управляющие сигналы для выполнения следующих процедур:

- выборки из регистра счетчика адреса операндов, команды микропроцессорной памяти, адреса ячейки ОЗУ, где хранится очередная команда программы;
- выборки из ячеек ОЗУ кода очередной команды и приема считанной команды в регистр команд;
- расшифровки кода операции и признаков выбранной команды;
- считывание из соответствующих расшифрованному коду операции ячеек ПЗУ микропрограмм управляющих сигналов (импульсов), определяющих во всех блоках машины процедуры выполнения заданной операции, и пересылки управляющих сигналов в эти блоки;
- считывания из регистра команд и регистров микропроцессорной памяти отдельных составляющих адресов операндов (чисел), участвующих в вычислениях и формировании полных адресов операндов;
- выборки операндов (по сформированным адресам) и выполнения заданной операции обработки этих операндов;
- записи результатов операции в память;
- формирования адреса следующей команды программы.

### Арифметико-логическое устройство

Арифметико-логическое устройство предназначено для выполнения арифметических и логических операций, преобразования информации.

Функционально АЛУ состоит из 2х регистров, сумматора и схем управления (местное устройство управления). Сумматор - вычислительная схема, выполняющая процедуру сложения поступающих на её вход двоичных кодов. Сумматор имеет разрядность двойного машинного слова. Регистры - быстродействующие ячейки памяти различной длины: регистр1 (Pr1) имеет разрядность двойного слова, а регистр2 (Pr2) - разрядность слова. При выполнении операции в Pr1 помещается первое число, участвующее в операции, а по завершении операции - результат; в Pr2 - второе число, участвующее в операции (по завершении опера-



ции информация в нем не изменяется). Регистр1 может и принимать информацию с кодовых шин данных и выдавать информацию на них, регистр2 только получает информацию с этих шин. Схемы управления принимают по кодовым шинам инструкций управляющие сигналы от устройства управления и преобразуют их в сигналы для управления работой регистров и сумматора арифметико-логического устройства.

Арифметико-логическое устройство выполняет арифметические операции (+ ; -; \*; :) только над двоичной информацией с запятой, фиксированной после последнего разряда, т.е. только над целыми числами. Выполнение операций над двоичными числами с плавающей запятой и над двоично-кодированными десятичными числами осуществляется или с привлечением математического сопроцессора, или по специально составленным программам.

### Микропроцессорная память

Микропроцессорная память - память небольшой ёмкости, но чрезвычайно высокого быстродействия (время обращения к МПП, т.е. время необходимое на поиск или считывание информации из этой памяти, измеряется наносекундами - тысячными долями микросекунды). Она предназначена для кратковременного хранения, записи и выдачи информации, непосредственно в ближайшие такты работы машины, участвующей в вычислениях.

Внутренняя память микропроцессора состоит из быстродействующих регистров с разрядностью не менее машинного слова. Количество и разрядность регистров в разных микропроцессорах различны: от 14 двухбайтных регистров у МП 8086 до нескольких десятков регистров разной длины у МП Pentium.

Регистры МПП делятся на регистры общего назначения и специальные. Специальные регистры применяются для хранения различных адресов, результатов выполнения операций и режимов работы ПК и др. Регистры общего назначения являются универсальными и могут использоваться для хранения любой информации, но некоторые из них тоже должны быть обязательно задействованы при выполнении ряда процедур.

## КЭШ – память

Кроме внутренней регистровой памяти в микропроцессоре может быть своя встроенная КЭШ - память.

Регистровая КЭШ-память высокоскоростная память сравнительно небольшой ёмкости, являющаяся буфером между оперативной памятью и памятью микропроцессора и позволяющая увеличить скорость выполнения операций. Регистры КЭШ-памяти не доступны для пользователя, отсюда и название КЭШ (Cache), в переводе с английского означает «тайник».

В КЭШ-памяти хранятся данные, которые микропроцессор получил и будет использовать в ближайшие такты своей работы. Быстрый доступ к этим данным и позволяет сократить время выполнения очередных команд программы. При выполнении команды программы данные с небольшим опережением записываются в КЭШ-память.

По принципу записи результатов различают 2 типа КЭШ-памяти:

1. КЭШ-память «с обратной записью» - результаты операций прежде, чем их записать в оперативную память, фиксируются в КЭШ-памяти, а затем контроллер КЭШ-памяти самостоятельно перезаписывает эти данные в оперативную память;
2. КЭШ-память «со сквозной записью» - результаты операций параллельно записываются и в КЭШ-память и в оперативную память.

Микропроцессоры, начиная от МП80486, имеют встроенную КЭШ-память (1-го уровня), чем в частности и обуславливается их высокая производительность. Микропроцессоры Pentium и Pentium Pro имеют КЭШ-память отдельно для данных и отдельно для команд, причем если у Pentium ёмкость этой памяти не большая (8 Кбайт), то у Pentium Pro она достигает 256-512 Кбайт. Для всех микропроцессоров может использоваться дополнительная КЭШ-память (2-го уровня), размещаемая на материнской плате вне микропроцессора, ёмкость которой может достигать нескольких Мегабайтов.

## Интерфейсная часть микропроцессора

Интерфейсная часть микропроцессора предназначена для связи и согласования микропроцессора с системной шиной ПК, а

также для приема, предварительного анализа команд выполненной программы и формирования полных адресов операндов и команд.

Интерфейсная часть включает в свой состав адресные регистры МПП. Узел формирования адреса, блок регистров команд, являющейся буфером команд в микропроцессоре, внутреннюю интерфейсную шину микропроцессора и схемы управления шиной и портами ввода - вывода.

Порты ввода - вывода - это пункты системного интерфейса ПК, через которые микропроцессор обменивается информацией с другими устройствами. Всего портов у микропроцессора может быть 65536. Каждый порт имеет адрес - номер порта, соответствующий адресу ячейки памяти, являющейся частью устройства ввода - вывода, использующего этот порт, а не частью основной памяти компьютера.

Порт устройства содержит аппаратуру сопряжения и 2 регистра памяти - для обмена данными и обмена управляющей информацией. Некоторые внешние устройства используют и основную память для хранения больших объемов информации, подлежащей обмену. Многие стандартные устройства имеют постоянно закрепленные за ними порты ввода - вывода.

Схема управления шиной и портами выполняет следующие функции:

- Формирование адреса порта и управляющей информацией для него (переключение порта на прием или передачу и др.);

- Прием управляющей информацией от порта, информации о готовности порта и его состоянии;

- Организацию сквозного канала в системном интерфейсе для передачи данных между портом устройства ввода - вывода и микропроцессором.

Схема управления шиной и портами использует для связи с портами кодовые шины инструкций, адреса и данных системной шины. При доступе к порту микропроцессор посылает сигнал по кодовой шине инструкций, которая оповещает все устройства ввода - вывода, что адрес на кодовой шине адреса является адресом порта, а затем посылает и сам адрес порта. То устройство, адрес порта которого совпадает, дает ответ о готовности, после чего по кодовой шине данных осуществляется обмен данными.

Микропроцессор устройство память регистр

## Типы микропроцессоров

При оценке параметров микропроцессора и выборе микропроцессорной серии большую роль играет разрядность прибора, которая задает элементарный объём обрабатываемых данных. Чем больше разрядность, тем выше производительность и шире возможности адресации. В ранних приборах разрядность регистров, шин управления, а также информационных шин почти всегда была одинаковой. Сейчас существует множество архитектур процессоров, которые делятся на две глобальные категории - RISC и CISC.

RISC (Reduced Instruction Set Computer) - процессоры с сокращенной системой команд. Они обычно имеют набор однородных регистров универсального назначения, причем их число может быть большим. Система команд отличается относительной простотой, коды инструкций имеют четкую структуру с фиксированной длиной. В результате аппаратная реализация такой архитектуры позволяет с небольшими затратами декодировать и выполнять эти инструкции за минимальное (в пределе 1) число тактов синхронизации. Определенные преимущества дает унификация регистров.

CISC (Complete Instruction Set Computer) - процессоры с полным набором инструкций. Состав и назначение их регистров неоднородны, широкий набор команд усложняет декодирование инструкций, на что расходуются аппаратные ресурсы. Возрастает число тактов, необходимое для выполнения инструкций.

### Вопросы для повторения:

1. Что называется процессором?
2. Что входит в состав микропроцессора?
3. Для чего предназначено арифметико-логическое устройство?
4. Микропроцессорная память
5. Из чего состоит внутренняя память микропроцессора?
6. Для чего предназначена интерфейсная часть микропроцессора?

## 2.9. Средства электропитания аппаратуры

План лекции:

1. Общие сведения.
2. Сетевые источники питания.
3. Фильтра
4. Стабилизаторы постоянного тока, напряжения Инвертеры
5. Применение И.С. в источник питания
6. Химические источники питания
7. Гальванические элементы
8. Аккумуляторы

### Выпрямительные устройства

В технике электропитания широко распространены преобразователи переменного тока в постоянный, называемые выпрямителями.

Для преобразования переменного тока в постоянный необходимо располагать вентильными устройствами (элементами с односторонней проводимостью) и электрическими накопителями инерционности, роль которых выполняют  $L$  и  $C$ .

Выпрямители строятся по двум основным принципам:

- с трансформаторным входом;
- с бестрансформаторным входом.

Структурные схемы ВУ.

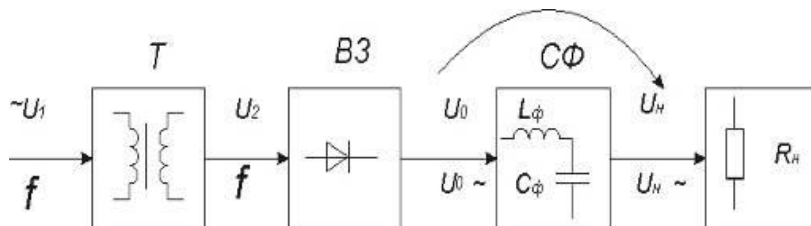


Рис. 1.

Достоинством данной схемы выпрямления является регулируемая транзистором гармоническая развязка первичного источника питания (ПИП) и нагрузки, что обязательно при заземленном режиме нагрузки.

Кроме того, трансформатором довольно просто реализуется преобразование входного напряжения к уровню, подходящему для последующего использования.

Центральным недостатком этой схемы (трансформаторный вход) является наличие габаритного, большой массы силового трансформатора на обычно низкой частоте, питающего напряжения (на промышленной частоте 50 Гц).

Опыт показывает, что увеличение рабочей частоты в инверторе позволяет существенно уменьшить массу и габариты источника, против выпрямителей решающих ту же задачу, но построенных по схем с трансформатором на входе.

В технике электропитания в настоящее время имеется явно выраженная тенденция построения ВУ с безтрансформаторным входом.

Достоинством схемы являются уменьшенные масса и габариты источников.

Недостатки – сложность схемы, наличие многих элементов (увеличение стоимости, уменьшение надежности);

- высокие требования к вентилям во входном ВЗ1.
- повышенные требования к быстрдействию элементов инвертора (транзисторы, лампы).

Внутренние и внешние характеристики ВУ.

Параметры, характеризующие режим работы элементов схемы ВУ и нагрузки, а также эксплуатационные характеристики ВУ удобно рассмотреть, обращаясь к схеме выпрямителя с трансформаторным входом.

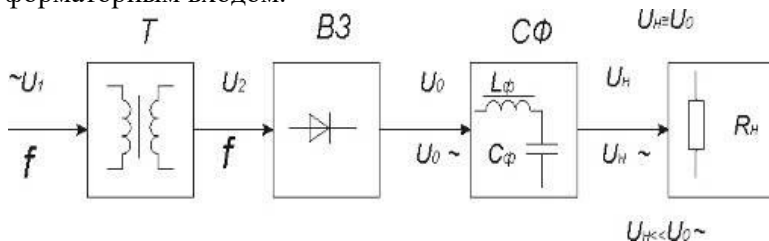


Рис. 2.

Как видно из структурной схемы любое выпрямительное устройство может быть охарактеризовано внешними электрическими параметрами.

По входу:

$$U_1[\text{В}]; I_1[\text{А}]; f[\text{Гц}]$$

$$(U_{1m} = \sqrt{2}U_1)(I_{1m} = \sqrt{2}I_1) \text{ - амплитуды.} \quad (1)$$

$$S_1 = I_1 * U_1[\text{ВА}] \text{ - мощность} \quad (2)$$

$$P_1 = U_1 * I_1 * \cos \varphi_1 = P_H + P_{\text{вн.потр}} \quad (3)$$

По выходу:

$$U_n[\text{В}]; I_n[\text{А}]$$

$$P_1 = U_n * I_n \text{ [Вт]} \quad (4)$$

$$K_D = \frac{U_0}{U_n} \text{ - коэффициент пульсации} \quad (5)$$

В дополнение к характеристикам по входу и выходу каждое ВУ характеризуется КПД:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P_H}{P_H + P_{\text{вн.потр}}} \quad (6)$$

По внешним характеристикам ВУ (как и другие устройства) условно можно разделить на:

- маломощные (ММ) с  $S_1 \leq 500[\text{ВА}]$

- средней мощности (СМ)  $500 \leq S_1 \leq 1000[\text{ВА}]$

- большой мощности (БМ)  $S_1 \geq 1000[\text{ВА}]$

Вентили для ВУ. Параллельное и последовательное соединение вентилей в схемах ВУ.

Электрический вентиль – устройство с односторонней проводимостью.

Для выпрямления тока используются электрические вентили следующих типов:

- электроламповые;
- полупроводниковые;
- с электронно-ионной проводимостью.

Любой электрический вентиль при действии на него напряжения в прямом направлении имеет малое сопротивление току, при подаче напряжения в противоположном обратном направлении, сопротивление вентиля резко увеличивается.

Типичная ВАХ для полупроводникового вентиля имеет вид:

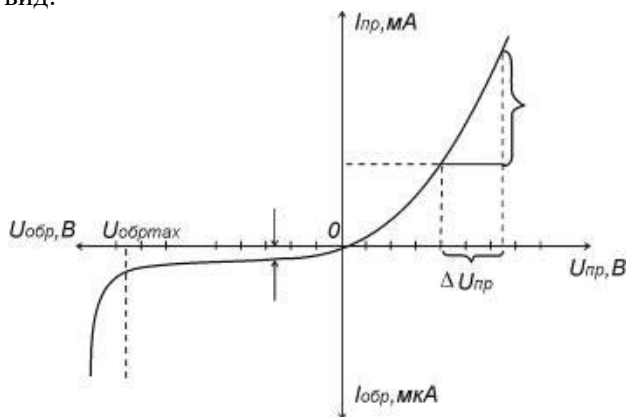


Рис. 3.

При использовании вентилей в ВУ для каждого типа не должны превышать допустимые значения прямого тока  $I_{пр}$  и обратного напряжения  $U_{обр}$ .

В тех случаях, когда имеющиеся в распоряжении вентили не обеспечивают необходимого тока в нагрузку, применяя параллельное включение нескольких вентилей по следующей схеме



(рис 4).

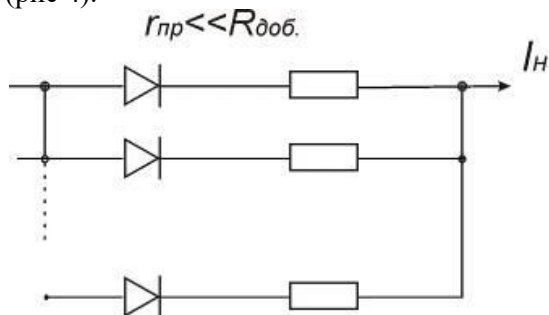


Рис. 4.

Добавляют  $R_{доб}$  в 2-5 раза больше  $R_{пр}$ . На добавочных сопротивлениях в мощных выпрямителях могут возникать недопустимые рассеивания энергии. В таких случаях возможно для выравнивания тока в вентилях применение индуктивных реакторов (рис 5).

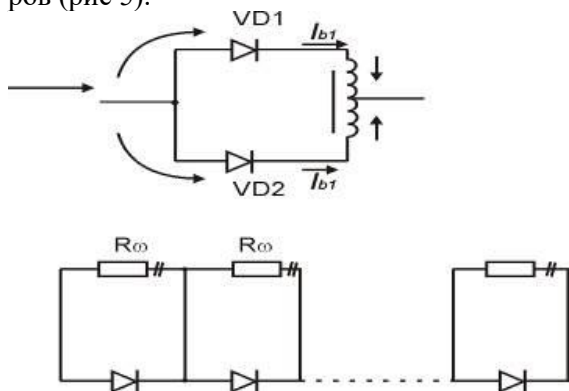


Рис. 5.

В тех случаях, когда обратное напряжение на вентилях превышает максимально допустимое, прибегают к последовательному соединению нескольких вентиляей.

В тех случаях, когда ВУ высоковольтное можно добавить емкости. Параллельное и последовательное соединение вентиляей широко применяется в ВУ хотя существенно усложняет схему, увеличивается масса и объем, стоимость. А в случаях последнего

соединения – увеличивается внутреннее сопротивление  $R_{пр}$ .

$$r_{сн} = N * r_{сн} \quad (7)$$

$$N = \left[ \frac{U_{ОБР.макс}}{U_{ОБР.дон}} \right] \quad (8)$$

Работа многофазного выпрямителя на активную нагрузку.

Работы ВУ на различные нагрузки (активные, реактивные, индуктивного характера, емкостного характера). Отличается определенной спецификой.

Наиболее простым является работа на чисто активную нагрузку

Рассмотрим особенности этого режима на примере однофазного выпрямителя для трехфазной сети переменного тока выполненной по схеме Миткевича.

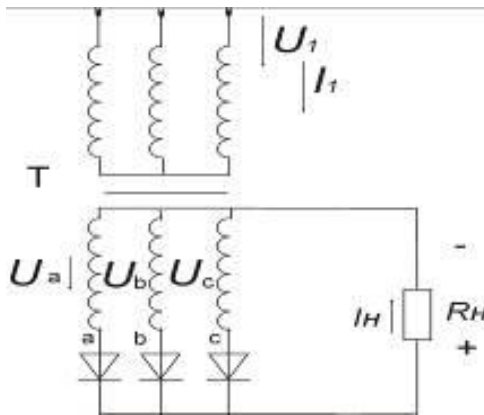


Рис. 6.

Особенностью работы выпрямителя на чисто активную нагрузку является:

- напряжение на выходе выпрямителя как функция времени определяется огибающей ЭДС действующих фаз;

- каждая фаза в рассмотренной схеме работает 1 раз за период а импульсы тока через нагрузку вентилей совпадают по форме с действующей фазой ЭДС. Длительность импульса тока равно  $2\pi/m$  где  $m$  – число импульсов тока за период выпрямляемого напряжения;

- работа выпрямителей на чисто активную нагрузку на практике распространена сравнительно мало, т.к. непосредственно выпрямленное напряжение содержит значительную пульсацию. Для сглаживания этой пульсации применяют различные рода фильтры НЧ, которые в любой технике называют сглаживающими.

Простейшими сглаживающими фильтрами (СФ) являются индуктивные фильтры или емкостные.

Таким образом, на практике широко распространены режимы работы выпрямления, на нагрузку с индуктивной или емкостной реакцией.

Эти режимы имеют определенное отличие от режима работы на чисто активную нагрузку. Эти отличия определяют и различия требований к элементам схемы, а также особенности расчетных формул, связывающих напряжение и ток с нагрузки с напряжениями и токами в вентилех и трансформаторах.

Особенности работы выпрямителя на нагрузку емкостного характера.

В качестве основы берем ту же схему Миткевича:

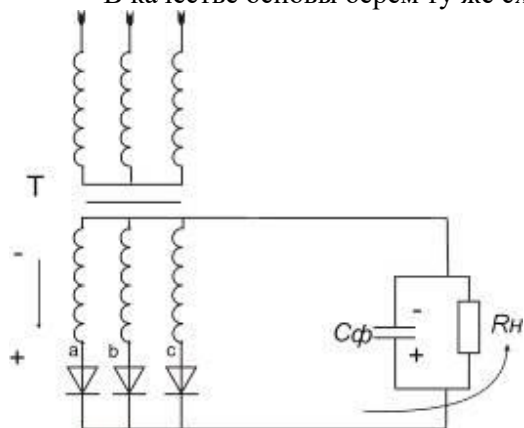


Рис. 7.

Считаем что трансформатор идеальный, т.е.  $R_{тр} = 0$   $X_{тр} = 0$  вентили идеальны. Схема совершенно симметрична:

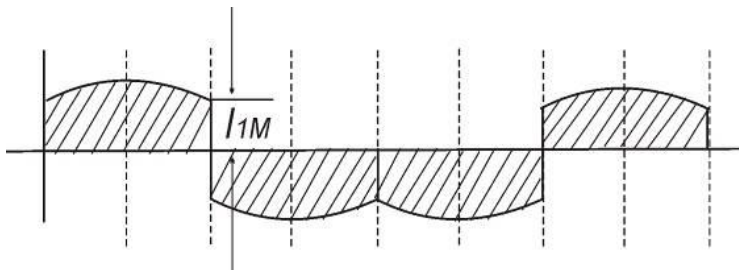


Рис. 8.

Емкость (мгновенно в идеальном случае) заряжается до напряжения в фазе и напряжение на емкости будет, изменяется в соответствие с ЭДС по достижении его максимального значения. При уменьшении напряжения в фазе емкость разряжается на нагрузку по экспоненциальному закону и если напряжение на ней выше, чем в фазе, вентиль закрывается разностью этих воздействий.

Принято оценивать длительность импульса тока угловой мерой  $2\theta$ .  $\theta$  - угол отсечки.

Если мы увеличиваем нагрузку, то длительность импульса тока уменьшается и наоборот.

Как видно из проведенного рассуждения.

Работа выпрямителя на нагрузку емкостного характера. Особенности:

- напряжение на выходе выпрямителя ( $U_o(t)$ ) представляет собой сравнительно сложную функцию, составленную из периодически чередующихся отрезков косинусов и экспоненты:



Рис. 9.

- длительность импульса тока а фазе и в вентиле  $2\theta \leq \frac{2\pi}{m}$  (чаще всего)

$$\frac{2\pi}{m}$$

$m$  - отведенное время для работы фазы.

При прочих требованиях к току в нагрузке, ток через вентиль в импульсном режиме, соответствующем емкостному характеру нагрузки, имеет большую амплитуду, чем в случае чисто активного сопротивления нагрузки.

Таким образом, требования к пропускной способности вентиля по току при работе на емкостную нагрузку, существенно увеличивается против случая с активной нагрузкой, что является платой за достигаемое сглаживание пульсаций.

Стабилизаторы постоянного тока менее заметны, но более распространены (блок питания компьютера, зарядка для мобильного телефона), чем стабилизаторы переменного напряжения.

Линейные стабилизаторы — делители напряжения, в котором стабилизированное выходное напряжение снимается с нижнего плеча делителя. Стабилизация осуществляется путем изменения сопротивления плеча делителя таким образом, чтобы выходное напряжение оставалось в пределах допустимой нормы.

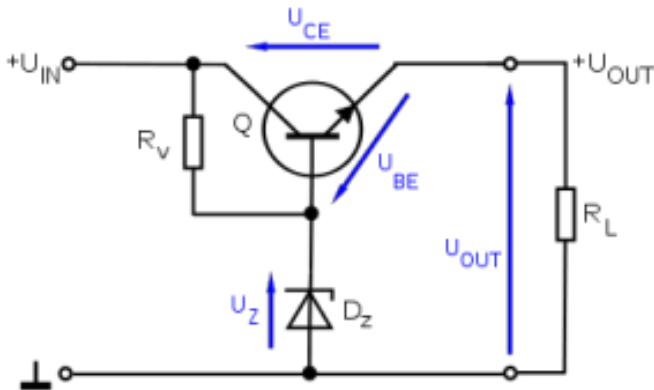


Рис. 10.

Стабилизаторы постоянного тока присутствуют в большей части электротехники

Линейные стабилизаторы делятся на два подвида: параллельные/последовательные. Элемент последовательного стабилизатора, регулирующий напряжение, включен последовательно с нагрузкой. Простая конструкция устройства не создает помех, содержит небольшое количество деталей. Недостаток подобных устройств — низкое КПД: часть энергии рассеивается в виде тепла радиатора делителя.

По способу стабилизации различают параметрический и компенсационный стабилизаторы. Последний сравнивает выходное напряжение с эталонным, из разницы формирует управляющий регулятором сигнал.

Стабилизаторы на стабилитроне применяются в слабوتочных схемах — большой ток выводит стабилитрон из строя. По принципу действия стабилитрон является диодом, рассчитанным на пробой при определенном, выше нижней границы, напряжении.

Принцип работы стабилизаторов на биполярных транзисторах основан на р-п переходе, наблюдаемом в стабилитроне.

Распространение получили последовательные компенсационные линейные стабилизаторы на операционных усилителях. Они слабо отличаются от вышеуказанных — в микросхеме операционного усилителя плотность размещения элементов несравнимо выше. Получается компактный, надежный, эффективный источник питания.

Ток импульсных стабилизаторов напряжения сперва накапливается в накопителе, затем подается на выход с заданными параметрами. Они имеют высокий КПД в сравнении с линейными, но при работе создают импульсные помехи. В импульсном есть возможность регулировать выходное напряжение произвольным образом. Для слаботочных цепей целесообразней использовать линейные стабилизаторы напряжения.

Классификация инверторов.

Классификация инверторов возможна по нескольким признакам. Например, в зависимости от области применения инверторы бывают автомобильными, сварочными, могут также входить в состав источника бесперебойного питания и т.д. Для

владельцев собственной электрической сети большой интерес представляют инверторы, предназначенные для преобразования напряжения, выдаваемого аккумуляторной батареей, в напряжение, подходящее для включения электрических приборов.

При этом важно, является ли собственная электрическая сеть полностью автономной, или она подключена к районным электрическим сетям, а вырабатываемая солнечными батареями энергия используется лишь для сокращения платы за ресурсы.

При подключении к районным сетям нужен инвертор, отличительной особенностью которого является возможность синхронизации собственной сети с основной электрической сетью. Как правило, такие инверторы недороги, их конструкция довольно проста. К их дополнительным функциям нужно отнести наличие аварийного отключения системы при отсутствии в ней напряжения.

Эти приборы востребованы в большей степени за рубежом, где получение электрической энергии от солнечных батарей давно стало привычным делом. В нашей стране это пока не практикуется. По этой причине у нас пользуются спросом, так называемые автономные инвертеры, предназначенные для полного обеспечения жилого дома электричеством, только лишь на основе его самостоятельного получения.

Поэтому параметры такой сети задаются самостоятельно, с помощью инвертора, без ориентировки на какие либо другие сети. При этом главное, обеспечить безаварийную работу бытовых приборов, для которых, собственно, и необходимо электричество в доме.

Автономные инверторы могут иметь встроенный контроллер заряда. В этом случае нет необходимости покупать и устанавливать это прибор самостоятельно. При этом выбор типа контроллера заряда производится изготовителями инверторов.

Для маломощных систем устанавливаются ШИМ-контроллеры, для более мощных систем предназначаются МРРТ контроллеры. В этом случае инверторы могут иметь дополнительные разъемы для подключения не только солнечных батарей, но и ветрогенераторов или теплоэлектрогенераторов. При этом обязательно наличие функции программируемого взаимодействия между всеми источниками энергии.

## Меандровые и синусоидальные инверторы

В зависимости от формы выходного сигнала все инверторы можно разделить на две группы:

- Меандровые, у которых выходной сигнал имеет форму синуса с паузами или модифицированного синуса. На графике выходной сигнал отображается в виде почти правильных прямоугольников

- Синусоидальные, у которых выходной сигнал имеет форму чистого синуса

Меандровые инверторы отлично подходят для включения в сеть электрических лампочек или ламповых приборов (например, старого телевизора). Допускается включение в такую сеть некоторых бытовых приборов, тоже старого образца: электробритв, чайников, электрических плит, а также зарядных устройств мобильных телефонов и ноутбуков. А вот компьютер или современный телевизор лучше постараться уберечь от «знакомства» с электрической сетью, в которой используется меандровый инвертор.

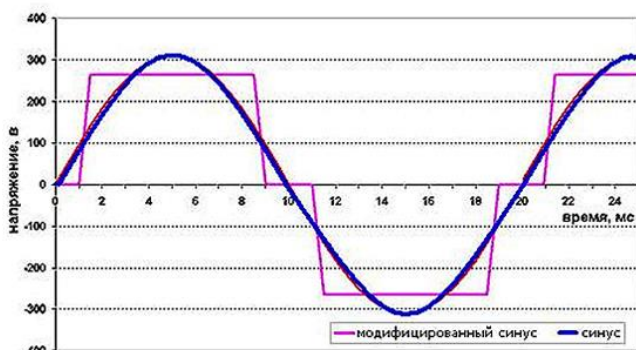


Рис. 11.

Еще одна проблема, с которой непременно столкнется владелец инвертора с модифицированным синусом, это помехи, являющиеся его постоянным спутником.

И все же прибор имеет одно, но очень важное достоин-



ство: он стоит дешево. Его цена в два раза ниже инвертора с чистой синусоидой. По этой причине не стоит сразу сбрасывать со счетов возможность покупки и использования меандрового инвертора. Он может пригодиться для устройства отдельной электрической сети, предназначенной, например, для освещения участка или подъезда (многие управляющие компании устанавливают солнечные батареи на крышах и используют полученную энергию для освещения подъездов)

Синусоидальные инверторы стоят в два раза дороже меандровых инверторов, но при их применении обеспечивается плавное изменение сетевой полярности, что позволяет включать в сеть самую современную цифровую технику и не опасаться ее выхода из строя.

### **Химические источники питания**

Первый химический источник электрического тока был изобретен случайно, в конце 17 века итальянским ученым Луиджи Гальвани. На самом деле целью изысканий Гальвани был совсем не поиск новых источников энергии, а исследование реакции подопытных животных на разные внешние воздействия. В частности, явление возникновения и протекания тока было обнаружено при присоединении полосок из двух разных металлов к мышце лягушачьей лапки. Теоретическое объяснение наблюдаемому процессу Гальвани разработал неверное, однако его опыты стали основой исследований другого итальянского ученого Алессандро Вольта, который собственно и сформулировал главную идею изобретения — причиной возникновения электрического тока является химическая реакция, в которой принимают участие пластинки металлов. Для подтверждения своей теории Вольт создал нехитрое устройство, состоявшее из цинковой и медной пластин погруженных в емкость с соляным раствором. Именно это устройство стало первым в мире автономным элементом питания и прародителем современных батарей, которые в честь Луиджи Гальвани именуют гальваническими элементами/

Современные автономные источники питания внешне имеют мало общего с устройством, созданным Алессандро

Вольта, однако базовый принцип остался неизменным. Любая батарея состоит из трех основных элементов – двух электродов, называемых анодом и катодом, и электролита находящегося между ними. Возникновение электрического тока – это побочный результат окислительно-восстановительной реакции идущей между электродами. Выходной ток, напряжение и другие параметры батареи зависят от выбранных материалов анода, катода и электролита, а также конструкции самой батареи. Все батареи можно разделить на два больших класса – первичные и вторичные. В первичных элементах питания химические реакции являются необратимыми, а во вторичных – обратимыми. Соответственно – вторичные элементы, которые известным нам как аккумуляторы, можно восстановить (зарядить) и использовать заново.

Начало промышленного производства первичных химических источников тока было заложено в 1865 г. французом Ж. Л. Лекланше, предложившим марганцево-цинковый элемент с соевым электролитом. В 1880 г. Ф. Лаландом был создан марганцево-цинковый элемент с загущенным электролитом. Впоследствии этот элемент был значительно улучшен. Существенное улучшение характеристик было получено при применении электролитического диоксида марганца на катоде и хлорида цинка в электролите. До 1940 г. марганцево-цинковый солевой элемент был практически единственным используемым первичным химическим источником тока. Несмотря на появление в дальнейшем других первичных источников тока с более высокими характеристиками, марганцево-цинковый солевой элемент используется в очень широких масштабах, в значительной мере благодаря его относительно невысокой цене.

Одним из важнейших факторов при разработке батарей (а также любого устройства, питающегося от них) является достижение максимальной удельной емкости для элемента заданного (минимального) размера и веса. Химические реакции, протекающие внутри элемента, определяют и его емкость, и физические размеры. В принципе, вся история разработки батарей сводится к нахождению новых химических систем и упаковке их в корпуса как можно меньших размеров.

Сегодня производится множество разных типов элементов питания, некоторые из которых были разработаны еще в 19-ом веке,

а другие едва отметили десятилетие. Такое разнообразие объясняется тем, что каждая технология имеет свои сильные стороны.

### Сухие батареи

Первыми серийно выпускаемыми элементами питания стали именно сухие. Наследники изобретения Лекланше, они являются самыми распространенными в мире. Одна лишь компания Energizer продает более 6 миллиардов таких батарей ежегодно. В общем, "говорим батарейка, подразумеваем – сухой элемент". И это, несмотря на то, что они имеют самую низкую удельную емкость из всех "массовых" типов. Объясняется такая популярность, во-первых, их дешевизной, а во-вторых, тем, что этим именем называют сразу три разных химических системы: хлорно-цинковые, щелочные и марганцево-цинковые батареи (элементы Лекланше). Их имена дают представление о химических системах, на базе которых они созданы.

В сухих элементах по оси батарейки расположен угольный стержень токосъемника катода. Сам катод это целая система, в которую входят диоксид марганца, уголь электрода и электролит. Цинковый "стаканчик" служит анодом и образует металлический корпус элемента. Электролит, в свою очередь, также представляет собой смесь, в которую входят нашатырь, диоксид марганца и хлорид цинка.

Марганцево-цинковые и хлорно-цинковые элементы отличаются, по сути, электролитом. Первые содержат в себе смесь нашатыря и хлорида цинка, разбавленную водой. В хлорно-цинковых электролит почти на 100% представляет собой хлорид цинка. Различие в номинальном напряжении у них минимально: 1,55В и 1,6В соответственно.

Несмотря на то, что хлорно-цинковые имеют большую емкость по сравнению с элементами Лекланше, это преимущество пропадает при малой нагрузке. Поэтому на них часто пишут "heavy-duty", то есть элементы с повышенной мощностью. Как бы то ни было, эффективность всех сухих элементов сильно падает при увеличении нагрузки. Именно поэтому в современные фотоаппараты их ставить не стоит, они просто для этого не предназначены.

Сколько бы не бегали розовые зайчики в рекламе, щелочные батарейки — это все те же угольно-цинковые ископаемые родом из 19го века. Единственное отличие заключается в специально подобранной смеси электролита, позволяющей добиться увеличения емкости и срока хранения таких батареек. В чем секрет? Эта смесь является несколько более щелочной, чем у двух других типов.

Если химический состав у щелочных батареек мало отличается от одного у элемента Лекланше, то в конструкции различия существенны. Можно сказать, что щелочная батарея это сухой элемент, вывернутый наизнанку. Внешний корпус у них не является анодом, это просто защитная оболочка. Анодом здесь является желеобразная смесь цинкового порошка вперемешку с электролитом (который в свою очередь является водным раствором гидроксида калия). Катод, смесь угля и диоксида марганца, окружает анод и электролит. Он отделяется слоем нетканого материала, таким как полиэстер.

В зависимости от области применения, щелочные батарейки могут прослужить в 4-5 раз дольше, чем обычные угольно-цинковые. Особенно заметна эта разница при таком режиме использования, когда короткие периоды высокой нагрузки перемежаются длительными периодами бездействия.

Важно помнить, что щелочные батарейки не являются перезаряжаемыми, потому что химические процессы, на которых они основаны, не являются обратимыми. Если ее поставить в зарядное устройство, то она будет вести себя не как аккумулятор, а скорее как резистор — начнет нагреваться. Если ее оттуда вовремя не вынуть, то она нагреется достаточно сильно, чтобы взорваться.

### Никель-кадмиевые аккумуляторы

Название подсказывает нам, что батареи этого типа имеют никелевый анод и кадмиевый катод. Никель-кадмиевые аккумуляторы (обозначаются Ni-Cad) пользуются заслуженной популярностью у потребителей во всем мире. Не в последнюю очередь это объясняется тем, что они выдерживают большое количество циклов зарядки-разрядки — 500 и даже 1000 — без су-

щественного ухудшения характеристик. Кроме того они относительно легкие и энергоемкие (хотя их удельная емкость приблизительно в два раза меньше, чем у щелочных батареек).

Постоянный уровень выходного напряжения является преимуществом при проектировании электрических схем, но это же делает определение текущего уровня заряда практически невозможным. Из-за такой особенности остаток энергии вычисляется на основе времени работы и известной емкости конкретного типа батарей, а потому является величиной приблизительной.

Гораздо более серьезным недостатком является "эффект памяти". Если такую батарею разрядить не полностью, а потом поставить заряжаться, то их емкость может уменьшиться. Дело в том, что при такой "неправильной" зарядке на аноде образуются кристаллы кадмия. Они и играют роль химической "памяти" батареек, запоминая этот промежуточный уровень. Когда во время следующей разрядки заряд батареи упадет до этого уровня, выходное напряжение понизится так же, как если бы батарейка была полностью разряжена. Злопамятные кристаллы будут продолжать формироваться на аноде, усиливая влияние этого неприятного эффекта. Чтобы избавиться от него, нужно продолжить разрядку после достижения этого промежуточного уровня. Только таким образом можно "стереть" память и восстановить полную емкость батареи.

Этот прием обычно называют глубокой разрядкой. Но глубокая не значит полная, "до нуля". Это лишь навредит и укоротит срок службы элемента. Если в процессе использования напряжение на выходе упадет ниже отметки 1 Вольт (при номинальном напряжении 1,2 В), то это уже может привести к порче батарейки. Сложная техника, например КПК или ноутбуки, настроены таким образом, чтобы они отключались прежде, чем заряд аккумулятора упадет ниже предельного уровня. Для глубокой разрядки батарей нужно использовать специальные приборы, которые выпускают многие известные фирмы.

Некоторые компании-производители заявляют, что новые никель-кадмиевые аккумуляторы не подвержены влиянию эффекта памяти. Впрочем, на практике это не было доказано.

Что бы там не обещали производители, для достижения

максимальной отдачи батареи следует каждый раз полностью заряжать, а потом дожидаться нормальной разрядки, чтобы они не испортились и прослужили весь срок.

Частично устранить недостатки никель-кадмиевых аккумуляторов были призваны никель-металлогидридные (Ni-MH) аккумуляторы, в которых отсутствовал «опасный» кадмий. Так же, как и в никель-кадмиевых, в никель-металлогидридных аккумуляторах анод никелевый, но катоды были сделаны из гидридов, которые фактически представляют собой металлические сплавы, способные удерживать атомарный водород. У никель-металлогидридных аккумуляторов значительно слабее выражен эффект памяти, они имеют лучшее соотношение емкости и габаритных размеров. Однако никель-металлогидридные аккумуляторы выдерживают меньшее количество циклов заряд-разряд и дороже никель-кадмиевых. Также проблемой для никель-металлогидридных аккумуляторов стала большая величина саморазряда – за сутки, без нагрузки, аккумуляторы данного типа умудрялись терять до 5% от своей емкости.

### Свинцовые элементы

Большинство аккумуляторов в мире — свинцовые. В основном их используют для пуска двигателей автомобилей. Пробразом этих элементов стали разработки Планта. В них также есть аноды, сделанные из ячеистого свинца, и катоды — из оксида свинца. Оба электрода погружены в электролит — серную кислоту.

Из-за свинца эти батареи очень тяжелы. А так как они залиты высококоррозийной кислотой (которая также утяжеляет аккумуляторы), они становятся ещё и опасными, требующими особого внимания. Кислота и испарения могут повредить соседствующие объекты (особенно металлические). А если переусердствовать с зарядкой, может начаться электролиз воды, находящейся в кислоте. При этом вырабатывается водород, взрывоопасный газ, который при определённых условиях может взорваться (как в случае взрывов Хинденбурга).

Разложение воды в батарее может привести и к другому эффекту: ведь общее количество воды в батарее уменьшается.

При этом уменьшается площадь реакции внутри батареи, соответственно, уменьшается и емкость аккумулятора. Кроме того, уменьшение жидкости позволяет батарее разряжаться под воздействием атмосферы. Электроды могут шелушиться и вообще закортить батарею.

Первые свинцовые аккумуляторы требовали регулярного ухода — было необходимо поддерживать нужный уровень воды/кислоты внутри каждого элемента. Так как в батарее подвергается электролизу только вода, заменять необходимо только её. Чтобы избежать загрязнения батареи, производители рекомендуют использовать для обслуживания только дистиллированную воду. Обычно батарею доливают до нормального уровня. Если на батарее нет метки, её необходимо доливать так, чтобы жидкость закрывала пластины электродов внутри.

В неподвижных устройствах, корпус у батарей выполнен из стекла. Оно не только хорошо держит кислоту, но и позволяет обслуживающему персоналу без особых трудностей определять состояние элементов. В автомобильной технике требуются более прочные корпуса. Инженеры для этих целей воспользовались эбонитом или пластиком.

После того, как элементы стали герметизировать, удобство использования таких свинцовых аккумуляторов стало бесценным. В результате появились так называемые необслуживаемые батареи. Так как испарения так и остаются внутри элементов, потери от электролиза сводятся к минимуму. Поэтому такие батареи и не требуют заправки водой (по крайней мере, не должны).

Но это не значит, что у таких батарей вовсе не возникает проблем с обслуживанием. Всё равно внутри плещется кислота. И эта кислота может вытечь через батарейные клапаны. При этом могут повредиться батарейные отсеки или даже оборудование, где она установлена. Инженеры избегают такой ситуации двумя способами. Можно содержать кислоту внутри пластикового сепаратора между электродами элемента (обычно, он сделан из микропористого полиолефина или полиэтилена). Либо можно смешать электролит с другим веществом, чтобы в результате получился гель — например, с коллоидальной массой наподобие желатина. В результате утечка не происходит.

Кроме опасной начинки, у свинцовых батарей есть и другие недостатки. Как было отмечено выше, они очень тяжелые. Количество энергии, которое содержится в единице массы у таких батарей меньше, чем в батареях практически любых других технологий. Это единственное, чем не удовлетворены создатели автомобилей, которые бы с большим удовольствием использовали эти недорогие свинцовые батареи в электрокарах.

С другой стороны, хотя эти батареи и дешевые, они насчитывают 150 летнюю историю. Технология позволяет модернизировать аккумуляторы для специальных нужд, например для использования в устройствах с большими циклами разряда (где батареи используются в качестве единственного источника питания) или в устройствах обеспечения бесперебойного питания, например, в больших центрах обработки информации. Свинцовые батареи также обладают низким внутренним сопротивлением и поэтому могут вырабатывать очень большие токи.

### Литий-ионные аккумуляторы

Литий является самым химически активным металлом и используется именно в самых компактных системах, обеспечивающих энергией самую современную мобильную технику. Литиевые катоды используются практически во всех батареях с большой емкостью. Но благодаря активности этого металла батареи получаются не только очень емкие, они также имеют самое высокое номинальное напряжение. В зависимости от анода, литий-содержащие элементы имеют выходное напряжение от 1,5 В до 3,6 В!

Основной проблемой при использовании лития опять-таки является его высокая активность. Он даже может вспыхнуть – что уж говорить, не самая приятная особенность, когда речь идет о батареях. Из-за этих проблем элементы на базе металлического лития, которые начали появляться еще в 70ых-80ых годах 20го века, "прославились" своей низкой надежностью.

Чтобы избавиться от этих трудностей, производители батарей постарались использовать литий в виде ионов. Таким образом, им удалось получить все полезные электрохимические качества, не связываясь с капризной металлической формой.

В литий-ионных элементах ионы лития связаны молекулами других материалов. Типичный Li-Ion-аккумулятор имеет



угольный анод и катод из литийкобальтдиоксида. Электролит в своей основе имеет раствор солей лития.

Литиевые батареи имеют большую плотность, нежели никель-металл гидридные. Скажем, в ноутбуках такие аккумуляторы могут работать в полтора раза дольше никель-металл гидридных. Кроме того, литий-ионные элементы избавлены от эффектов памяти, которыми страдали ранние никель-кадмиевые батареи.

С другой стороны, внутреннее сопротивление у современных литиевых элементов выше, чем у никель-кадмиевых. Соответственно, они не могут обеспечить такие сильные токи. Если никель-кадмиевые элементы способны расплавить монету, то литиевые на это не способны. Но все равно, мощности таких батарей вполне хватит для работы ноутбука, если это не связано со скачкообразными нагрузками (это значит, что некоторые устройства, например, винчестер или CD-ROM, не должны вызывать высоких скачков на предельных режимах — например, при начальной раскрутке или выходе из спящего режима). Более того, даже не смотря на то, что литий-ионные батарейки выдержат не одну сотню подзарядок, они живут меньше, чем те, в которых используется никель.

Из-за того, что в литий-ионных элементах используется жидкий электролит (пусть даже отделенный слоем ткани), по форме они почти всегда являются цилиндром. Хотя такая форма ничуть не хуже форм других элементов, с появлением полимеризованных электролитов литий-ионные батареи становятся компактнее.

### Литий-полимерные аккумуляторы

Наиболее продвинутой технологией, используемой сегодня при создании аккумуляторов, является литий-полимерная. Уже сейчас среди производителей, как батарей, так и компьютерных устройств наметилась тенденция по постепенному переходу к этому типу элементов. Главным преимуществом литий-полимерных батарей является отсутствие жидкого электролита. Нет, это не значит, что ученые нашли способ обходиться совсем без электролита. Анод отделен от катода полимерной перегородкой,

композитным материалом, таким как полиакрилонитрит, который содержит литиевую соль.

Благодаря отсутствию жидких компонентов, литий-полимерные элементы могут принимать практически любую форму, в отличие от цилиндрических батарей других типов. Обычными формами упаковки для них являются плоские пластины или бруски. В таком виде они лучше заполняют пространство батарейного отсека. В результате, при одинаковой удельной плотности, литий-полимерные батареи оптимальной формы могут хранить на 22% больше энергии, чем аналогичные литий-ионные. Это достигается за счет заполнения "мертвых" объемов в углах отсека, которые остались бы неиспользованными в случае применения цилиндрической батареи.

Кроме этих очевидных преимуществ, литий-полимерные элементы являются экологически безопасными и более легкими, за счет отсутствия внешнего металлического корпуса.

### Литий-железодисульфидные батареи

В отличие от других литий-содержащих батарей, которые имеют выходное напряжение более 3В, у литий-железодисульфидных оно в два раза меньше. Кроме того, их нельзя перезаряжать. Эта технология представляет собой некий компромисс, на который разработчики пошли, чтобы обеспечить совместимость литиевых источников питания с техникой, разработанной для использования щелочных батареек.

Химический состав батарей был специальным образом изменен. В них литиевый анод отделен от железодисульфидного катода прослойкой электролита. Этот сэндвич упаковывается в герметичный корпус с микроклапанами для вентиляции, как и никель-кадмиевые батареи.

Этот тип элементов был задуман как конкурент щелочным батарейкам. По сравнению с ними литий-железодисульфидные весят на треть меньше, имеют большую емкость, а, кроме того, еще и хранятся дольше. Даже после десяти лет хранения они сохраняют почти весь свой заряд.

Превосходство над конкурентами проявляется наилучшим образом при большой нагрузке. В случае высоких токов

нагрузки литий-железодисульфидные элементы могут работать в 2,5 раза дольше, чем щелочные батареи того же размера. Если же на выходе не требуется высокая сила тока, то эта разница заметна гораздо меньше. К примеру, один из производителей элементов питания заявил следующие характеристики двух типов своих батарей размера АА: при нагрузке 20 мА щелочная батарея проработает 122 часа против 135 часов у литий-железодисульфидной. Если же нагрузку увеличить до 1А, то продолжительность работы составит 0,8 и 2,1 часа соответственно. Как говорится, результат налицо.

Такие мощные батареи нет смысла ставить в устройства, потребляющие относительно немного энергии в течение длительного времени. Они были специально созданы для использования в фотоаппаратах, мощных фонарях, а в будильник или радиоприемник лучше поставить щелочные батарейки.

### **Вопросы для повторения:**

1. На какие виды делятся по внешним характеристикам выпрямительные устройства?
2. Что относят к внешним характеристикам при анализе возможностей выпрямительных устройств и их показателей качества?
3. Каких типов используются вентили для выпрямления тока.
4. На чем основан принцип работы стабилизаторов на биполярных транзисторах?
5. На какие группы можно разделить в зависимости от формы выходного сигнала все инверторы?
6. По каким основным принципам строятся выпрямители?
7. Какие Вы знаете типы гальванических батарей?
8. Какие Вы знаете типы Аккумуляторов?

## 2.10. Технические средства связи в с/х

План лекции:

1. Основы телефонной связи.
2. Телефонные аппараты, телефонные станции.
3. Принцип радио – связи.
4. Диспетчерская связь.

Устройство телефонного аппарата и основы телефонной связи.

В состав телефонных аппаратов, предназначенных для работы в телефонных сетях, входят следующие обязательные элементы: микрофон и телефон, объединенные в микротелефонную трубку, вызывное устройство, трансформатор, разделительный конденсатор, номеронабиратель, рычажный переключатель. На принципиальных электрических схемах телефонный аппарат обозначают буквой Е.

Кратко рассмотрим назначение основных элементов телефонного аппарата.

Микрофон служит для преобразования звуковых колебаний речи и электрический сигнал звуковой частоты. Микрофоны могут быть угольными, конденсаторными, электродинамическими, электромагнитными, пьезоэлектрическими. Их можно классифицировать на активные и пассивные. Активные микрофоны непосредственно преобразуют звуковую энергию в электрическую. В пассивных же микрофонах звуковая энергия преобразуется в изменение какого-либо параметра (чаще всего - емкости и сопротивления). Для работы такого микрофона обязательно требуется вспомогательный источник питания.

В массовых телефонных аппаратах применяют, как правило, угольные микрофоны, в которых под действием звуковых волн изменяется электрическое сопротивление угольного порошка, находящегося под мембраной. Наиболее широко используют микрофонные капсулы типов МК-10, МК-16, обладающие достаточно высокой чувствительностью (в описываемых устройствах применены в основном угольные микрофоны). На принципиальных схемах микрофон обозначают латинскими буквами ВМ.

Следует отметить, что в последнее время ряд телефонных

аппаратов оснащают также конденсаторными микрофонами типов МКЭ-3, КМ-4, КМ-7.

Телефоном называют прибор, предназначенный для преобразования электрических сигналов в звуковые и рассчитанный для работы в условиях нагрузки на ухо человека. В зависимости от конструктивных особенностей телефоны подразделяют на электромагнитные, электродинамические, с дифференциальной магнитной системой и пьезоэлектрические. В телефонных аппаратах наибольшее распространение получили телефоны электромагнитного типа. В таких телефонах катушки закреплены неподвижно. Под действием протекающего в катушках тока возникает переменное магнитное поле, приводящее в движение подвижную мембрану, которая и излучает звуковые колебания. В современных телефонных аппаратах применяют в основном телефонные капсулы типа ТК-67, а в аппаратах устаревших конструкций - также ТК-47 и ТА-4.

Полоса рабочих частот для микрофонов и телефонов, используемых в телефонных аппаратах, составляет примерно 300...3500 Гц. На принципиальных схемах телефон обозначают латинскими буквами ВF.

Для удобства пользования микрофон и телефон объединены в микротелефонной трубке.

Вызывное устройство служит для преобразования вызывного сигнала переменного тока в звуковой сигнал. Применяют электромагнитные или электронные вызывные устройства. Первое из них представляет собой однокатушечный или двухкатушечный звонок. Зовой сигнал образуется в результате удара бойка о звонковые чашки. Протекающий в катушках ток частотой 16...50 Гц создаст переменное магнитное поле, которое приводит в движение якорь с бойком. Как правило, в телефонных звонках используют постоянные магниты, создающие определенную поляризованность магнитопровода, поэтому такие звонки называют поляризованными. Сопrotивление обмоток звонка постоянному току составляет 1,5...3 кОм, рабочее напряжение 30...50 В. На принципиальных схемах звонок обозначают латинскими буквами НА.

Электронное вызывное устройство преобразует вызывной сигнал в звуковой тональный сигнал, который может имитировать, например, пение птицы. В качестве акустического излучателя при этом используют телефон или пьезоэлектрический

вызывной прибор ВП-1. Такие вызывные устройства применяют, например, в современных телефонных аппаратах ТА-1131 "Лана", ТА-1165 "Стелла" и др. Электронные вызывные устройства выполняют на транзисторах.

Разделительный конденсатор служит элементом подключения вызывного устройства к абонентской линии в режиме ожидания и приема вызова. При этом обеспечивается практически бесконечно большое сопротивление телефонного аппарата постоянному току и малое сопротивление - переменному. В телефонных аппаратах применяют разделительные конденсаторы типов МБМ, К73-П емкостью 0,25...1 мкф и на номинальное напряжение 160...250 В.

Номеронабиратель обеспечивает подачу импульсов набора номера в абонентскую линию с целью установления требуемого соединения. Импульсы служат для периодических замыканий и размыканий линии. В современных телефонных аппаратах применяют механические и электронные номеронабиратели. Дисковый механический номеронабиратель имеет диск с десятью отверстиями. При вращении диска по часовой стрелке заводится пружина механизма номеронабирателя. После отпущения диска он вращается в обратную сторону под действием пружины, при этом происходит периодическое размыкание контактов, коммутирующих абонентскую линию. Необходимая скорость и равномерность вращения диска достигаются наличием центробежного регулятора или фрикционного механизма. Формирование импульсов при свободном движении диска обеспечивает их стабильную частоту и необходимый интервал между импульсными посылками, соответствующими двум соседним цифрам набираемого номера. Необходимый интервал обеспечивается благодаря тому, что число размыканий импульсных контактов всегда выбирается на одно-два больше, чем требуется подать импульсов в линию. Этим обеспечивается гарантированная пауза между пачками импульсов (0,2...0,8 с). При этом указанные лишние импульсы в линию не поступают, поскольку в это время импульсные контакты шунтируются одной из групп контактов номеронабирателя. Имеются также контакты, замыкающие телефон при наборе номера, чтобы исключить неприятные щелчки. Частота импульсов, формируемых но-

меронабирателем, должна составлять  $(10 \pm 1)$  имп./с. Число проводов, соединяющих номеронабиратель с другими элементами телефонного аппарата, может быть 3 - 5.

Электронные номеронабиратели, которыми комплектуются многие современные телефонные аппараты (например, ТА-5, ТА-7, ТА-101), выполнены на интегральных микросхемах и транзисторах. Набор номера осуществляют нажатием кнопок клавиатуры - так называемой тастатуры. Поскольку скорость нажатия кнопок может быть сколь угодно большой, в среднем на наборе одной цифры номера экономится 0,5 с. Кроме того, тастатурные номеронабиратели предоставляют пользователям различные удобства, экономящие время:

запоминание последнего набранного номера, возможность запоминания нескольких десятков номеров и др. Питание электронных номеронабирателей осуществляется как от абонентской линии, так и от сети напряжением 220 В через блок питания.

Рычажный переключатель обеспечивает подключение к абонентской линии вызывного устройства телефонного аппарата в нерабочем состоянии (микротелефонная трубка лежит) и разговорных цепей или номеронабирателя в рабочем состоянии (трубка снята). Рычажный переключатель представляет собой группы из нескольких переключающих контактов, срабатывающих при снятии телефонной трубки.

Кроме перечисленных элементов в состав телефонного аппарата входят также резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, образующие разговорную цепь аппарата.

Рассмотрим устройство телефонного аппарата (ТА) в целом.

При работе телефонного аппарата в разговорном режиме возникает местный эффект, т.е. прослушивание собственной речи в телефоне аппарата. Местный эффект объясняется тем, что ток, протекающий через микрофон, поступает не только в абонентскую линию, но и в собственный телефон. Для устранения этого нежелательного явления в современных телефонных аппаратах используют противо-местные устройства.

Существуют различные типы подобных устройств. Рассмотрим одно из них - противоместное устройство мостового типа (рис. 1).

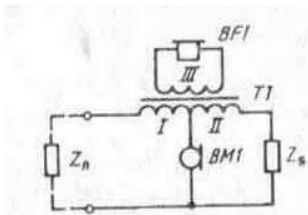


Рис. 1. Функциональная схема телефонного аппарата с противоместным эффектом

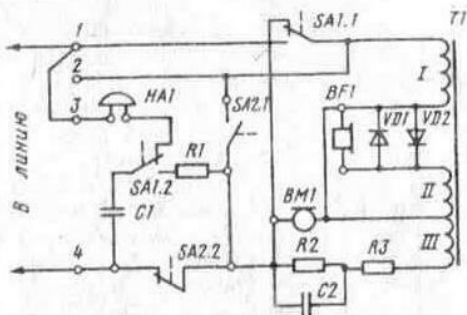


Рис. 2. Схема телефонного аппарата ТА-72М-5

Микрофон  $BM1$ , телефон  $BF1$ , балансный контур  $Zб$  и линия  $Zл$  связаны между собой обмотками трансформатора  $T1$ : линейной I, балансной II и телефонной III. Во время разговора, когда сопротивление микрофона изменяется, разговорные токи звуковой частоты протекают по двум цепям: линейной и балансной. Из схемы видно, что токи, протекающие через обмотки I и II, суммируются с противоположными знаками, поэтому ток в обмотке III будет отсутствовать в том случае, если токи в линейной и балансной обмотках равны по величине. Это достигается соответствующим выбором элементов балансного контура  $Zб$ , параметры которого зависят от параметров линии  $Zл$ . Сопротивление линии содержит активную и емкостную составляющие, поэтому балансный контур выполняют из резисторов и конденсаторов.

Полное устранение местного эффекта достигается только на одной определенной частоте и определенных параметрах линии, что в реальных условиях невыполнимо, поскольку речевой сигнал содержит широкий спектр частот, а параметры линии изменяются в широких пределах (зависят от удаленности абонента от АТС, переходных сопротивлений и емкостей в кабелях и др.), поэтому на практике местный эффект не уничтожается полностью, а только ослабляется.

Радиосвязь.

Передача информации в пространстве с помощью радиоволн осуществлялась со времени изобретения радио в конце де-



вятнадцатого века. В настоящее время интерес к радиосвязи возрос в связи с тенденцией отказа от проводов. Появился модный термин «беспроводная связь» (wireless), что является синонимом «радиосвязи».

Передают обычно речь, музыку, тексты, изображения и др. Эту информацию преобразуют в видеосигнал, т.е. зависимость тока или напряжения от времени. Видеосигнал может быть аналоговым, как в имеющихся и отживающих системах, либо цифровым - в новейших системах. В последнем случае аналоговый сигнал преобразуется в поток цифр, как правило, записанных в двоичном виде.

С этой целью осуществляется квантование аналогового видеосигнала по времени и уровню. В результате каждому дискретному моменту времени ставится в соответствие ближайший цифровой уровень. Поток цифр посредством импульсно - кодовой модуляции преобразуется в двоичный вид. В конечном итоге передаче подлежит поток единиц и нулей, представляющих собой начальную информацию.

Спектр видеосигнала, в какой бы форме он ни был представлен - аналоговой или цифровой - содержит весьма низкие частоты - порядка герц и килогерц. Такие частоты бесполезно излучать в пространство, поскольку, как это будет видно в дальнейшем, антенна излучает только в том случае, когда ее размеры соизмеримы с длиной излучаемой волны или больше ее.

Необходимо переместить спектр видеосигнала по оси частот вверх в тот диапазон, частоты которого эффективно излучаются. С этой целью необходимо осуществить две операции: создать высокочастотное электромагнитное поле; преобразовать видеосигнал в радиосигнал путем модуляции видеосигналом высокочастотных колебаний.

Эти операции выполняются в передатчике радиосистемы. Высокочастотные электромагнитные колебания называют несущими, поскольку они переносят информацию.

Ширину излучаемого спектра стремятся ограничить с тем, чтобы не создавать помехи другим станциям. С целью ограничения спектра видеосигнал подвергают специальной обработке - фильтрованию и кодированию.

В приемную антенну радиосигнал поступает весьма

ослабленным. Кроме него, в антенне имеются помехи, обусловленные внешними наводками, либо собственными шумами приемника, а так же сигналы других радиостанций. Задача приемника состоит в том, чтобы, во-первых, выделить полезный радиосигнал из помех, и во-вторых, извлечь из принятого сигнала переданную информацию. Выделение радиосигнала осуществляется фильтрованием, извлечение информации - демодуляцией.

Успешно отфильтровать помехи и мешающие сигналы можно в том случае, когда частота полезного сигнала невелика. С этой целью в приемниках предусмотрено понижение принятой несущей частоты до некоторой промежуточной, на которой и осуществляется основная фильтрация.

Преселектором является предварительный фильтр, настроенный на частоту полезного сигнала и устраняющий перегрузку усилителя высокой частоты (УВЧ). В схеме имеется преобразователь частоты, состоящий из смесителя и высокочастотного генератора, называемого гетеродином. На выходе преобразователя стоит фильтр, выделяющий промежуточную частоту и отфильтровывающий все мешающие сигналы.

Усиление слабых сигналов осуществляется на трех частотах: высокой - усилитель высокой частоты, промежуточной - усилитель промежуточной частоты (УПЧ) и низкой - усилитель низкой частоты (УНЧ), где усиливается выделенный видеосигнал. В результате, удастся достигнуть весьма высокого усиления - от микровольт на входе до единиц вольт на выходе.

Оконечным устройством в приемнике может быть динамический громкоговоритель, наушники, цифровое устройство, экран и др.

Как можно заметить, в радиосистемах связи осуществляются следующие основные операции:

- генерирование электромагнитных колебаний несущей частоты;
- обработка видеосигнала;
- модуляция колебаний несущей частоты видеосигналом, т.е. образование радиосигнала;
- усиление мощности радиосигнала;
- преобразование частоты;
- демодуляция.

В настоящем пособии рассмотрены эти процессы. Существенное внимание уделено радиоволнам, их формированию,

распространению и излучению.

Излучение и распространение радиоволн

Электромагнитные волны излучаются в пространстве передающими антеннами, на которые поступают колебания по фидеру от источника. В антеннах происходит преобразования типа колебаний, существующего в фидере, в ТЕМ - волны, распространяющиеся в свободном пространстве. Радиоволны

Электромагнитное поле.

Радиоволны - это распространяющиеся в среде электромагнитные колебания, частоты которых лежат в диапазоне 3 кГц - 3 ТГц, что соответствует длинам волн в вакууме от 100 км до 0,1 мм. Электромагнитные волны есть форма существования электромагнитного поля, которое определяется следующими основными физическими величинами:

вектором напряженности электрического поля , В/м или Н/Кл;

Основные принципы диспетчерского управления.

Основная особенность энергетической системы, заключающаяся в единстве технологического процесса и неразрывной связи отдельных ее элементов, требует единого управления процессом работы всей системы. В связи с этим с начала развития энергетических систем стала развиваться и техника управления ими из единого центра.

Необходимость централизации управления энергосистемами выявилась еще на заре их организации. Для этой цели в первом десятилетии XX в. была создана особая должность «распределителя нагрузок» (диспетчера).

Диспетчерское управление — это вид оперативного подчинения, когда операции с тем или иным оборудованием ЭЭС проводятся только по распоряжению диспетчера (старшего дежурного персонала), в управлении которого это оборудование находится.

В оперативном управлении диспетчера находится оборудование, операции с которым требуют координации действий подчиненного оперативного персонала или согласованных изменений в релейной защите и автоматике.

В основе построения диспетчерского управления ЕЭС лежит следующее:

- разграничение диспетчерских и общехозяйственных

функций, т.е. обеспечение независимости системы диспетчерского управления (в пределах ее функций) от административно-хозяйственной деятельности руководства энергокомпаний;

- иерархическое построение системы с прямым подчинением дежурного оперативного персонала каждой ступени управления персоналу более высокой ступени;
- представление персоналу каждой ступени максимальной самостоятельности в выполнении всех оперативных функций, не требующих вмешательства оперативного руководителя более высокой ступени;
- четкое разграничение функций и ответственности оперативного персонала всех ступеней управления по ведению нормальных режимов и ликвидации аварийных ситуаций;
- строжайшая диспетчерская дисциплина.

Первоначальной задачей диспетчера было именно только распределение мощности. В дальнейшем его функции резко расширились. На диспетчера энергосистемы было возложено управление режимом или по крайней мере контроль над режимом всех элементов энергосистемы и ликвидация аварий. В настоящее время функции диспетчера энергетической системы значительно шире и охватывают регулирование всех процессов в ней, имеющих существенное значение для всей энергосистемы, а не для отдельных ее элементов. Диспетчер системы осуществляет руководство:

- распределением активной и реактивной мощностей между отдельными электростанциями энергосистемы;
- регулированием частоты во всей энергосистеме и напряжения в основных ее точках;
- регулированием потоков мощности по отдельным участкам электрической сети;
- производством всех коммутационных переключений в основных сетях системы и на электростанциях;
- вводом в работу и выводом из работы отдельных агрегатов электростанций и сетей как для целей ремонта, так и в резерв;
- ликвидацией аварий на электростанциях и в основных сетях энергосистемы;
- регулированием режима и водотока ГЭС;
- изменением настройки релейной защиты и т.д.

Диспетчеру энергетической системы подчиняется весь старший оперативный персонал электростанций и электрических сетей. Для правильного осуществления своих функций диспетчер энергосистемы должен иметь:

- надлежащую, надежную и хорошо резервированную связь со всем подчиненным ему оперативным персоналом, позволяющую диспетчеру непосредственно сноситься с подчиненным ему персоналом;
- надлежащее оборудование телеизмерительными установками и устройствами телесигнализации от важнейших пунктов системы, позволяющее диспетчеру получить необходимые сведения о состоянии основных параметров энергосистемы;
- надлежащее оборудование установками телеуправления, позволяющее диспетчеру самому осуществлять необходимые и неотложные операции в основной сети;
- инструктивно-справочные материалы, которые позволяют диспетчеру произвести заранее продуманные необходимые действия в сложной обстановке быстроменяющихся в энергосистеме процессов, а также решить в случае необходимости любой вопрос, касающийся режима системы;

материалы по запланированному режиму энергетической системы, которые позволяют диспетчеру сосредоточить свое внимание главным образом на отклонениях от запланированного режима, что облегчает его работу.

### **Вопросы для повторения:**

1. Какова роль диспетчера энергосистемы?
2. Что должен иметь диспетчер энергосистемы для правильного осуществления своих функций?
3. Что лежит в основе построения диспетчерского управления ЕЭС?
4. Что называется диспетчерским управлением?
5. Что называется радиоволной?
6. Простейшая схема телефонного аппарата.

## Тема 3. Общие сведения об автоматике

### 3.1. Понятия об АУ технологическими процессами

План лекции:

1. Основные определения и терминология.
2. Классификация АСУ по характеру управления.
3. Воздействия АСУ и их классификация.

Основные понятия и определения.

Автоматика, как и любая техническая наука, имеет свои понятия и определения, свою терминологию. Рассмотрим существующие основные понятия и определения в автоматике.

Любой технологический процесс характеризуется физическими величинами, называемыми показателями процесса. Для одних процессов показатели могут быть постоянными, для других допускается их изменения в заданных пределах по определенному закону.

Устройство или совокупность устройств, осуществляющих тот или иной технологический процесс и нуждающихся в специально организованных командах извне для выполнения алгоритма функционирования, называют управляемым объектом. Каждый управляемый объект должен иметь устройство, называемое управляющим органом, при изменении положения или состояния которого показатели процесса будут изменяться в заданных пределах или в заданном направлении. Так, управляющим органом в электрическом генераторе может служить обмотка возбуждения, в водопроводной башне – вентиль, управляющей подачей воды, в вентилируемом помещении – задвижка в вентиляционной трубе, а автомобиле – руль и т. д. Через управляющий орган в объект поступают воздействия, которые позволяют осуществлять заданный алгоритм функционирования.

Принципы автоматического управления.

Управлением называется преднамеренное воздействие на управляемый объект, обеспечивающие достижения определенных самим технологическим процессом целей. Управление, осуществляемое без непосредственного участия человека, называ-

ется автоматическим. Если управление осуществляется с участием человека, то оно называется ручным.

Автоматическим управляющим устройством называют техническое устройство, осуществляющее воздействие на управляемый объект в соответствии с заложенным в нем алгоритмом управления. Управляющие устройство воздействуют на управляемый объект через орган управления.

Совокупность управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, взаимодействующих между собой в соответствии с алгоритмом управления, называют автоматической системой управления (АСУ).

В процессе работы автоматическая система в целом или ее отдельные части испытывают на себе воздействие различных факторов. Воздействием в автоматике называют взаимодействие между автоматической системой и внешней средой или одной ее части на другую, при котором в ней происходят изменения. Различают внутренние и внешние воздействия. Внутренними воздействиями называют такие, которые передаются от одной части автоматической системы на другую, образуя последовательную цепь воздействий, обеспечивающих протекание технологического процесса с заданными показателями. Такие воздействия называют управляющими и обозначают, рассматривая их во времени как  $z(t)$ .

Внешние воздействия, в свою очередь, можно разделить на два вида. К первому относят такие, которые необходимы для нормального протекания технологического процесса. Их подают на вход системы намеренно в соответствии с алгоритмом функционирования, обозначают через  $x(t)$  и называют задающими.

Ко второму виду относятся те, которые поступают непосредственно на систему (объект) из внешней среды (под внешней средой понимается все то, что не входит в рассматриваемую автоматическую систему). Они носят незапланированный, зачастую случайный характер, обозначается через  $F(t)$  и называются возмущающими воздействиями.

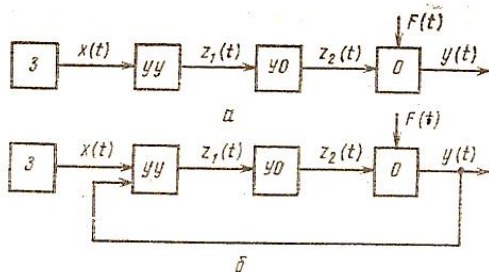
Под влиянием  $x(t)$  в автоматической системе происходят различные количественные и качественные изменения, в результате чего управляемые (регулируемые) величины, обозначаемые

как  $y(t)$ , приобретают заданные значения или получают требуемый характер изменения.

Возмущающие воздействия  $F(t)$  подразделяют на основные и второстепенные. К основным относят такие, которые оказывают наибольшее влияние на управляемые (регулируемые) величины  $y(t)$ . Если влияние возмущающих воздействий на управляемые величины  $y(t)$  незначительно, то их считают второстепенным.

Автоматическая система обычно испытывает влияние и основных, и второстепенных возмущающих воздействий.

Поддержание управляемой величины в определенных пределах или изменение ее по заданному закону в процессе работы системы может быть выполнено как по разомкнутому, так и по замкнутому циклам управления. Поясним эти понятия на примере системы, изображенной на рисунке 1, которая состоит из последовательно соединенных управляемого объекта  $O$ , управляющего органа  $УО$ , управляющего устройства  $УУ$  и задатчика  $З$  – устройства, направляющего в систему задающее воздействие.



При проектировании автоматических систем решают, как наиболее простым и технико – экономически обоснованным образом получить и передать необходимый объект информации. Несмотря на многообразие и различие технологических процессов и методов управления, а также средств автоматики, в управлении выделяют ряд общих принципов автоматического управления, которые определяют, как и на основе какой информации формировать управляющие воздействия в системе. Выбор того или иного принципа построения автоматической системы зависит от ее назначения, характера изменения задающего и возмущающего воздействий, возможности получения информации о параметрах



системы, стабильности параметров управляемого объекта и элементов управляющего устройства и т. п. Рассмотрим основные принципы автоматического управления.

Принцип управления по отклонению основан на том, что управляющие воздействие в автоматической системе вырабатывается с учетом информации об отклонении управляемой величины от заданного значения.

Принцип управления по отклонению иллюстрирует система управления угловой скоростью двигателя постоянного тока. Двигатель М1, как управляемый объект, испытывает на себе влияние различных возмущающих воздействий (изменение нагрузки на валу, напряжение питающей сети, угловой скорости двигателя, приводящего вл вращение якорь генератора G, температуры окружающей среды и др.). Возмущающие воздействия вызовут отклонение управляемой величины – угловой скорости двигателя М1, но как описано ранее, отклонение будет сведено к нулю или к заданным пределам. Это произойдет потому, что управляющее воздействие по его значению и знаку формируется с учетом не только задающего воздействия, но и управляемой величины, то есть система работает на основе принципа управления по отклонению.

В общем случае система, реализующая принцип управления по отклонению, может быть представлена схемой. Здесь отклонение управляемой величины от заданного значения вызывает изменение управляющего воздействия  $Z_2(t)$ , стремящегося всегда уменьшить появившееся отклонение. Для получения разности  $e(t) = x(t) - y(t)$  в системе вводится элемент сравнения ЭС. Управляющий орган действует независимо от того, по какой причине произошло изменение управляемой величины. Поэтому такие системы нашли широкое применение.

Принцип управления по возмущению (принцип компенсации возмущения) основан на том, что управляющие воздействия в системе управления вырабатывается в зависимости от результатов измерения возмущающего воздействия, оказывающего влияние на объект.

Принцип комбинированного управления, сочетающий в себе достоинства принципов управления по отклонению и по возмущению, используется при построении систем высокой

точности. Действие неучтенных возмущений в комбинированных системах компенсируется или ослабляется управлением по отклонению.

Принцип адаптации (приспособление) находит применение в кибернетических системах управления.

Характерной чертой автоматических систем, использующих принцип управления по отклонению, является наличие обратной связи. Обратные связи подразделяют на жесткие и гибкие, отрицательные и положительные, главные и местные.

### Обратная связь в автоматике

Обратная связь – это связь, по которой информация о состоянии управляемого объекта передается с выхода системы на ее вход.

Если воздействие обратной связи, поступающее на вход системы, по знаку совпадает со знаком задающего воздействия, то ее называют положительной. В противном случае говорят об отрицательной обратной связи.

Следует отметить, что размыкание главной обратной связи превращает систему замкнутого цикла в разомкнутую; при размыкании же обратной связи замкнутая система будет продолжать по замкнутому циклу.

В системах автоматике различают последовательное и параллельное соединения элементов, а также соединение с обратной связью. При последовательном соединении выходной сигнал одного элемента является входным сигналом для последующего элемента. При параллельном соединении один и тот же сигнал является входным для двух элементов, а их выходные сигналы суммируются.

Общий коэффициент преобразования двух последовательно соединенных элементов цепи равен произведению коэффициентов преобразования этих элементов:  $K_{об} = K_1 K_2$ . Общий коэффициент преобразования двух параллельно соединенных элементов равен сумме коэффициентов преобразования каждого из этих элементов.

При соединении с обратной связью выходной сигнал одного элемента подается на его вход через элемент обратной

связи. На рис. 1. показано соединение с обратной связью. Кругом, разделенным на четыре сектора, показано устройство, в котором происходит суммирование сигналов. Если сектор зачернен, то поступающий сигнал берется со знаком минус. В зависимости от знака сигнала обратной связи различают положительную и отрицательную обратную связь. На рис. 1, а показано соединение с положительной обратной связью, на рис. 1, б — с отрицательной обратной связью. Элемент 1 включен в прямую цепь, элемент 2 — в обратную. Можно сказать, что элемент 1 охвачен обратной связью. Коэффициент преобразования при соединении с обратной связью. На вход элемента 1 поступает входной сигнал  $x_1 = x_{вх} \pm y_2$  где знак плюс соответствует положительной обратной связи,

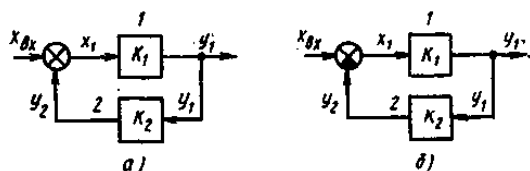


Рис. 1. Соединение элементов с обратной связью

а знак минус — отрицательной. Выходной сигнал элемента 1 равен произведению его входного сигнала на коэффициент преобразования:

$$y_1 = K_1 x_1 = K_1 x_{вх} \pm K_1 y_2.$$

Этот сигнал поступает на вход элемента 2, включенного в цепь обратной связи. Следовательно, выходной сигнал элемента 2 можно получить умножив сигнал  $y_1$  на коэффициент преобразования элемента 2:  $y_2 = K_2 y_1$ . Подставив значение  $y_2$  в выражение для  $y_1$ , т. е.  $y_1 = K_1 x_{вх} \pm K_1 K_2 y_1$ , и преобразовав его, получим

$$y_1 \pm K_1 K_2 y_1 = K_1 x_{вх},$$

$$\text{или } y_1 (1 \pm K_1 K_2) = K_1 x_{\text{вх}}.$$

Общий коэффициент преобразования по определению равен отношению выходного сигнала ко входному. В данном случае выходным является сигнал  $y_1$  а входным —  $x_{\text{вх}}$ . Их отношение  $y_1/x_{\text{вх}} = K_1/(1 \mp K_1 K_2)$ . Теперь в этом выражении знак минус соответствует положительной обратной связи, а знак плюс — отрицательной.

Проанализируем выражение для коэффициента преобразования при положительной обратной связи

Пусть в цепь включен усилитель с коэффициентом усиления 10, т. е.  $K_1 = 10$ . Малую часть его выходного сигнала (например, 5%) снова подадим на вход, включив для этого в цепь обратной связи элемент с коэффициентом преобразования  $K_2 = 0,05$ :

Таким образом, благодаря положительной обратной связи получен более высокий коэффициент усиления. Положительная обратная связь чаще всего используется в усилительных элементах автоматики.

### Элемент автоматики

Любая автоматическая система состоит из отдельных, связанных между собой элементов. Элементом автоматики называют часть системы, в которой происходят качественные или количественные преобразования физической величины, а также передача преобразованного воздействия от предыдущего элемента к последующему. Элементы, применяемые в системах автоматики, весьма разнообразны. В качестве основных используют датчики, элементы сравнения, усилители, исполнительные механизмы, корректирующие элементы и элементы настройки, а кроме того, командоаппараты, аппараты защиты, измерительные приборы.

Датчики измеряют управляемые (регулируемые) величины объектом управления и преобразовывают измеренные величины одной физической природы в другую.

Элементы сравнения сопоставляют задающие воздействие  $x(t)$  и управляемую величину  $y(t)$ . Получаемая на выходе разность  $e(t) = x(t) - y(t)$  передаётся по цепи воздействия либо непосред-

ственно, либо через усилитель на исполнительный механизм. Элементы сравнения как самостоятельная часть системы не применяются, а являются составной частью других устройств.

Усилители в системах автоматики (магнитные, электронные, полупроводниковые и др.) обычно используются для усиления задающего воздействия  $x(t)$  или разности  $e(t)$ , когда мощность этих сигналов недостаточна для нормальной работы регулятора.

Исполнительные механизмы предназначены для изменения управляемых величин или поддержания их в заданных пределах. Исполнительным механизмом может быть эл. двигатель, нагревательное устройство и др.

Элементы настройки (задающие элементы) представляют собой устройства, при помощи которых в систему автоматики подаются задающие воздействия  $x(t)$ . В качестве этих элементов применяются потенциометры, сельсины, вращающие трансформаторы и т. д.

Корректирующие элементы предназначаются для улучшения регулировочных свойств системы в целом или отдельных ее частей.

Командоаппараты (кнопки, переключатели, конечные выключатели и т.п.) предназначены для подачи в систему различных воздействий и команд.

Элементы защиты (тепловые и токовые реле, плавкие предохранители, автоматы и др.) – для выполнения защитных функций при недопустимых режимах работы, а контрольно – измерительные приборы (амперметры, вольтметры, тахометры и т. д.) – для контроля и измерения различных величин.

### **Вопросы для проверки**

1. Что называется управлением?
2. Что называют автоматическим управляющим устройством?
3. На какие виды можно разделить внешние воздействия?
4. На чем основан принцип управления по отклонению?
5. Что называется обратной связью?

### **3.2. Статические характеристики элементов и систем автоматики**

### **3.3. Динамические характеристики элементов и систем автоматики**

### **3.4. Схемы автоматики**

План лекции:

1. Статические характеристики элементов и систем автоматики.
2. Понятия об АСУ.
3. Преобразование Лапласа.
4. Статические и динамические свойства А.С.
5. Схемы автоматических систем.
6. Принцип автоматического управления.
7. Обратные связи АС.

#### Статические характеристики

Любое производство, в том числе и сельскохозяйственное, характеризуется чрезвычайным многообразием объектов управления.

К наиболее распространенным объектам сельскохозяйственного производства относятся тепловые устройства, в которых обычно требуется управлять температурой, подачей воздуха, топлива или энергии.

Свойства объектов оказывают существенное влияние на весь процесс управления и, поэтому при анализе работы автоматической системы их необходимо учитывать. К основным свойствам объектов управления относят статистическую и динамическую характеристики, аккумулирующую способность, самовыравнивание, запаздывание процесса в объекте, время разгона объекта.

Наибольший интерес представляет зависимость выходной величины элемента автоматики от его входной величины. При соединении элементов в систему автоматики выходная величина одного элемента подается на вход последующего элемента. Поэтому можно говорить о передаче сигнала в системе. Входную

величину обычно называют входным, сигналом (будем обозначать его через  $x$ ), а выходную величину — выходным сигналом (будем обозначать его через  $y$ ). Режим работы, при котором входной и выходной сигналы постоянны

$$(x = \bar{x}_{уст}; y = \bar{y}_{уст}),$$

называют статическим или установившимся режимом. Характеристики, определяемые в этом режиме, называются статическими.

Следует отметить, что для многих электромеханических и магнитных устройств автоматики сигналом является напряжение или сила переменного тока. В статическом режиме постоянным является действующее значение напряжения или тока, хотя мгновенное значение при этом, естественно, изменяется по синусоидальному закону.

Основной характеристикой всех элементов автоматики является статический коэффициент преобразования  $K = \bar{y}_{уст} / \bar{x}_{уст}$ . Коэффициент

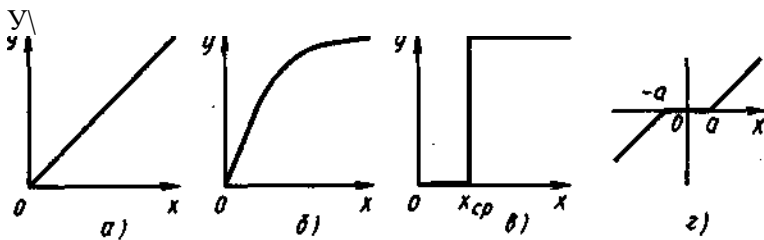


Рис. 1. Статические характеристики элементов автоматики

преобразования может быть определен экспериментально. Для этого устанавливают определенное значение входного сигнала  $\bar{x}_{уст}$  и измеряют соответствующий ему выходной сигнал  $\bar{y}_{уст}$ . Таких опытов можно провести несколько — для различных значений  $\bar{y}_{уст}$ . По результатам нескольких опытов может быть построена статическая характеристика  $y=f(x)$ , представляющая функци-

ональную зависимость выходной величины от входной в статическом режиме. Статические характеристики бывают линейными и нелинейными (рис. 1.). Если коэффициент преобразования не зависит от входного сигнала, то статическая характеристика имеет вид прямой линии (рис. 1, а), а элемент, имеющий такую характеристику, называют линейным. Коэффициент преобразования нелинейных элементов не постоянен, а статическая характеристика может иметь вид, показанный на рис. 1, б. Такая характеристика чаще всего бывает у усилительных элементов. Сначала при увеличении входного сигнала пропорционально ему растет выходной сигнал, а затем рост его прекращается. В магнитных усилителях это связано, например, с явлением насыщения магнитной цепи. Поэтому про характеристику типа (рис. 1, б) говорят, что она имеет зону насыщения. Особенно явно нелинейность выражена для элементов типа реле. При увеличении входного сигнала реле от нуля до некоторого значения, называемого сигналом срабатывания  $x_{ср}$ , выходной сигнал равен нулю. При  $x = x_{ср}$  выходной сигнал изменяется скачком и при дальнейшем увеличении входного сигнала остается постоянным (рис. 1, в).

Для датчиков чаще всего необходима линейная статическая характеристика, это требуется для точной работы системы.

### Динамические характеристики

Переход системы из одного установившегося режима в другой с иными значениями входного и выходного сигналов называют динамическим режимом или переходным процессом. В динамическом режиме отношение выходного сигнала к входному может быть не равно коэффициенту преобразования. Поведение элемента или системы автоматики в переходном процессе может быть описано с помощью переходных характеристик. Переходной характеристикой называют зависимость выходного сигнала от времени  $y(t)$  при скачкообразном изменении входного сигнала. На рис. 2 показаны график изменения входного сигнала и соответствующие ему графики переходных характеристик наиболее распространенных элементов автоматики.



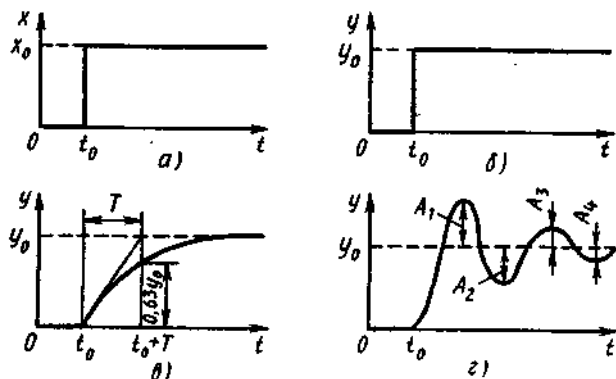


Рис. 2. Переходные характеристики элементов автоматики

В момент времени  $t_0$  входной сигнал скачком изменяется от нуля до  $x_0$  (рис. 2, а). Если элемент автоматики является безинерционным, то в тот же момент времени  $t_0$  выходной сигнал скачком изменяется от нуля до  $y_0 = Kx_0$  (рис. 2, б). Как правило, электромеханические элементы обладают инерционностью, которая тем больше, чем больше масса подвижных частей или индуктивность обмотки. В этом случае изменение выходного сигнала запаздывает по сравнению с изменением входного (рис. 2, в). Переходная характеристика имеет вид экспоненты, т. е. кривой, стремящейся от нуля к значению  $y_0 = Kx_0$  со скоростью, пропорциональной в каждый момент времени разности между  $y_0$  и текущим значением выходного сигнала. Инерционность переходного процесса характеризуется значением постоянной времени  $T$ , выражаемой в секундах. На графике величину  $T$  можно определить, проведя касательную к кривой  $y(t)$  при  $t=t_0$  и продолжив ее до пересечения с горизонтальной линией  $y_0 = Kx_0$ . За время, равное  $T$ , выходной сигнал достигает 63% своего нового установившегося значения.

Уравнение переходной характеристики имеет следующий вид:

$$y = y_0(1 - e^{-t/T}),$$

где  $e = 2,718$  — основание натурального логарифма.

Обычно на практике считают, что за время  $t = (3 \div 5) T$  выходной сигнал достигает нового установившегося значения  $U_0$ . На самом деле за это время выходной сигнал достигает значений соответственно  $95 - 99\%$   $U_0$ . Разницу между значениями выходного сигнала в динамическом и установившемся режимах называют динамической погрешностью. Для ее уменьшения стремятся снизить постоянную времени, например, делая более легкими подвижные части элементов автоматики.

Во время переходного процесса могут возникнуть и колебания выходного сигнала. В электрических цепях это обычно связано с процессом обмена энергией между элементами колебательного контура: индуктивностью и емкостью. В механических узлах элементов автоматики колебания возникают обычно в тех случаях, когда одновременно действуют и силы инерции, и силы упругости (например, в пружинах). График колебательного затухающего переходного процесса показан на рис. 2, г. Как видно из этого графика, изменение выходного сигнала происходит относительно значения  $U_0$ . Амплитуда этих колебаний постепенно уменьшается, затухает. Для количественной оценки этого процесса вводят понятие коэффициента затухания  $\psi$ , который определяют по формуле  $\psi = 1 - A_3/A_1$ , где  $A_1$  и  $A_3$  — соседние амплитуды колебаний выходного сигнала в одну сторону (т. е. одного знака).

При незатухающем колебательном процессе  $A_3 = A_1$  и коэффициент затухания  $\psi = 0$ . Система автоматики является при этом неустойчивой. Если же коэффициент затухания стремится к единице, то переходный процесс будет аperiodическим

### Схемы автоматических систем

Для изучения принципа действий систем автоматики в целом, взаимодействия их различных элементов, поведения их в статических и динамических режимах системы представляют в

виде схемы. Различают схемы трех основных типов: принципиальные, функциональные структурные и алгоритмические структурные.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки конструктивных документов. Эти схемы используют при изучении принципа работы всей установки, при наладке, при управлении, контроле и ремонте систем автоматики.

На принципиальной схеме все элементы, входящие в системы, и связи между ними изображаются в виде условных графических обозначениях в соответствии с действующими ГОСТами.

Различают совмещенные и разнесенные принципиальные схемы.

На совмещенные и разнесенные принципиальные схемы. На совмещенных схемах все элементы изображают в непосредственной близости друг от друга и соединяют их связями в виде линий, идущих от одного элемента к другому. Эти схемы при небольшом количестве элементов и связей наглядны и удобны для чтения.

Функциональные структурные схемы отражают определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных частях системы или в ее цепях.

Алгоритмические структурные схемы показывают взаимосвязь отдельных частей системы и характеризуют их динамические свойства.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что относится к наиболее распространенным объектам сельскохозяйственного производства?
2. Что представляет собой относительная погрешность?
3. В статических и динамических режимах системы представляют в виде схемы. Каких основных типов различают схемы?
4. Для чего служат принципиальные схемы?
5. Что представляет собой абсолютная погрешность?

## Тема 4. Элементы систем автоматики

### 4.1. Датчики систем автоматики

План лекции:

1. Назначение, классификация и основные параметры датчиков.
2. Принцип действия и характеристики датчиков сопротивления, индуктивности.
3. Датчики ёмкости.
4. Фотоэлектрические датчики.
5. Датчики уровня.
6. Датчики линейных и угловых перемещений, скоростей и ускорений, давления, расхода.
7. Датчики влажности.
8. Электронные и инициационные датчики.

#### Датчики систем автоматики

Чтобы управлять процессами и агрегатами в промышленности и на транспорте, необходимо контролировать их состояние. С этой целью применяют автоконтроль — автоматическое измерение состояния объекта управления, а также обработка этой информации и выявление событий, требующих введения управляющих воздействий в объект. К таким событиям относятся, например, выход температуры электрической печи за установленные пределы, аварийный режим установки и т. д. Первичным элементом систем автоконтроля являются датчики (чувствительные элементы) — устройства, преобразующие контролируемую величину в другую, более удобную для измерения или обработки. В настоящее время наиболее распространены системы, обрабатывающие и преобразующие информацию в виде электрических сигналов. Поэтому рассмотрим датчики, преобразующие величины  $x$  различной физической природы, характеризующие состояние объекта, в электрические величины  $u$  (напряжение, ток, импеданс) (рис. 1,а).

По типу входной величины  $x$  чувствительные элементы

делятся на датчики механических, тепловых, оптических и других величин. По типу выходной величины  $y$  они делятся на параметрические ( $y=R, L, C$ ) и генераторные ( $y=U, I$ ). Параметрические датчики требуют источник питания, в то время как генераторные сами вырабатывают электрическую энергию.

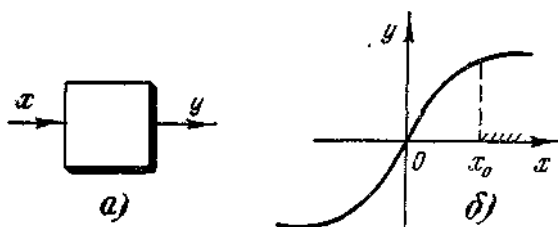


Рис. 1. Датчик как преобразователь (а) и его возможная статическая характеристика (б).

Основной характеристикой датчика является его чувствительность, которая определяется по его статической характеристике, если эта характеристика нечетна и проходит через начало

координат (рис. 1,б), как  $S_c = \frac{y}{x}$  статическая чувствительность,

либо как  $S_d = \frac{dy}{dx}$  — динамическая чувствительность. При выборе датчика необходимо, чтобы в рабочем диапазоне изменения  $x$  величина  $S_d$  была отлична от нуля. Так, датчик с характеристикой типа насыщения (рис. 1,б) не годится для измерения величин  $x > x_0$ , где  $S_d = 0$ .

Другие характеристики датчика:

1) величина сигнала на выходе при нулевом входе, которая характеризует шумы датчика и помехи (наводки);

2) разрешающая способность, которая равна наименьшему изменению  $x$ , приводящему к изменению  $y$  (для датчиков, дающих квантованный по уровню сигнал  $y$ );

3) мощность, момент или усилие, отбираемые от измеряемой величины.

Лучший датчик тот, у которого величины п. 1, 2, 3 минимальны.

При конструировании и расчете систем управления необходимо учитывать также динамические характеристики датчиков (инерционность, запаздывание). В большинстве случаев стремятся работать с безынерционными датчиками, однако в некоторых случаях динамические характеристики датчиков используют для получения определенных свойств системы: фильтрация помех инерционными датчиками, получение сигналов, пропорциональных скорости изменения величины  $x$  (в скоростных термопарах и тахогенераторах) и т. д. Рассмотрим наиболее широко применяемые в автоматике датчики.

Резисторные датчики.

Резисторные датчики работают в цепях постоянного и переменного тока и делятся на:

- 1) потенциметрические (реостатные), служащие в основном для измерения перемещений;
- 2) угольные — для измерения перемещений и давлений;
- 3) тензометрические — для измерения деформаций и вибраций твердых тел;
- 4) термосопротивления — для измерения температуры, скорости потока газа, разреженности газа и т. п.

В потенциметрических датчиках, которые могут быть двух типов — однотактные (рис. 2,а) и двухтактные (рис. 2,б),

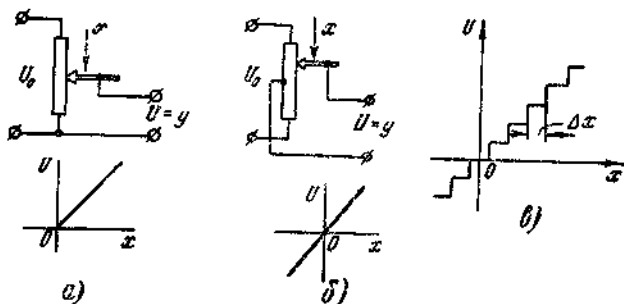


Рис. 2. Потенциметрические датчики и их характеристики

измеряемое перемещение преобразуется в перемещение движка потенциметра, выходное напряжение которого характеризует

измеряемую величину. В автоматике применяют линейные потенциометры, с линейной зависимостью выходного напряжения от перемещения, и профилированные, с нелинейной зависимостью, что необходимо в некоторых случаях (коррекция нелинейности тракта измерения и др.).

При работе датчика на конечную нагрузку возникают нежелательные явления: искажение его статической характеристики, возрастающее с уменьшением сопротивления нагрузки, появление инерционности при реактивной нагрузке. Простейший способ ликвидации влияния нагрузки на статическую характеристику датчика состоит в выборе  $R_H \geq 10R$ , где  $R_H$ ,  $R$  — соответственно сопротивление нагрузки и сопротивление датчика. На практике это обычно достигается при подаче выходного напряжения датчика на сетку электронного усилителя.

Для указанных датчиков применяют проволочные потенциометры, поскольку непроволочные (пленочные и др.) имеют малую точность и надежность. Однако такие датчики имеют ступенчатую статическую характеристику (рис. 2,в), обусловленную тем, что при перемещении подвижной контакт последовательно переходит с одного витка на другой. Разрешающая способность датчика в этом случае равна

$$\Delta x_1 = l/w$$

где  $l$ ,  $w$  — длина и число витков потенциометра.

При питании датчиков переменным током частота ; питающего напряжения выбирается из условия

$$\omega_0 \geq (10 \div 20)\omega_m,$$

где  $\omega_m$  — максимальная частота изменения входной переменной  $x$ .

Серийно изготавливаемые однооборотные потенциометрические датчики делятся по конструктивным погрешностям, обусловленными технологией производства, на три класса (табл. 2-1).

Таблица 2-1

Класс	Допустимое отклонение	
	по сопротивлению, %	по линейности, град
I	$\pm 5$	$\pm 0,25$
II	$\pm 5$	$\pm 0,5$
III	$\pm 10$	$\pm 1$

Достоинствами потенциометрических датчиков являются малый вес и габариты, простота конструкции, возможность работы в цепях постоянного и переменного тока. Недостатки: низкая надежность из-за трущегося контакта, ограниченная разрешающая способность, влияние нагрузки на характеристики.

Угольные датчики наиболее широко применяются в регуляторах напряжения и тока, в частности в генераторах установленных на железнодорожных вагонах. Их действие основано на изменении контактного сопротивления угольных пластин при изменении давления на них. Угольные датчики конструктивно выполняют в виде столбиков набранных из 10÷15 шайб диаметром 5÷10 мм и толщиной) 1÷2 мм каждая. Угольный столбик заключается в специальную обойму (рис. 3,а). Типичный вид статической характеристики такого датчика показан на рис. 3,б. На рис. 3,в показана схема регулятора напряжения генератора, которая работает следующим образом.

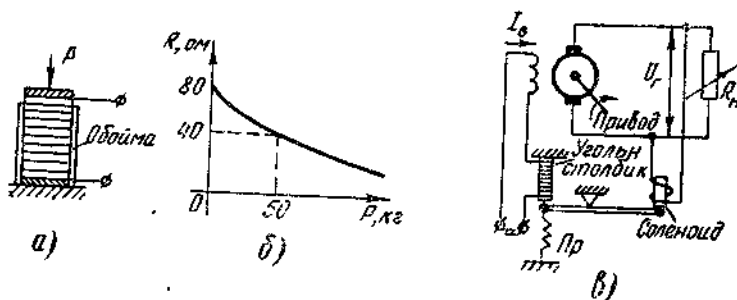


Рис. 3. Угольный датчик и схема его включения



Напряжение  $U_T$  на шинах генератора изменяется под действием изменений сопротивления  $R_n$  нагрузки, носящих случайный характер (подключение потребителей электроэнергии). Изменения  $U_T$  вызывают изменение тока соленоида и приводят к перемещению сердечника соленоида, связанного с рычагом. Последний другим своим концом воздействует на угольный столбик, что приводит к регулированию тока  $I_v$  возбуждения генератора. Схема настраивается первоначально, таким образом, с помощью регулировки пружины  $Pr$ , связанной с рычагом, чтобы при номинальной нагрузке напряжение  $U_T$  было номинальным.

Термосопротивления. Их действие основано на изменении сопротивления проводника или полупроводника при изменении его температуры.

Различают два применения термосопротивления (ТС):

- термометры сопротивления,
- ТС, нагреваемые током.

В последнем случае изменение температуры ТС определяется условиями теплоотдачи: скоростью потока обдува (в анемометрах), разреженностью (в вакуумметрах), влажностью окружающей среды и т. п.

В настоящее время наиболее широко применяют термисторы (непроволочные ТС), изготовленные на основе оксидов, сульфидов и карбидов металлов. Сопротивление таких термисторов зависит от температуры по закону

$$R = R_0 \times e^{BT^{-1}}$$

где  $T$  — температура (по Кельвину),  $B$  — постоянная. Достоинством термисторов является большой ТКС (температурный коэффициент сопротивления), достигающий изменения сопротивления на 3% от  $R_0$  на  $1^\circ\text{C}$ , возможность получения высокоомных датчиков.

### Индуктивные датчики

Индуктивные датчики служат для преобразования угловых или линейных перемещений в напряжение переменного тока. По сравнению с потенциометрическими они имеют то достоин-

ство, что не имеют трущихся контактов, Это повышает их надежность, и такие датчики практически не имеют износа.

Действие их основано на изменении индуктивности катушки с ферромагнитным сердечником (собственно индуктивные датчики) или взаимной индуктивности катушек (трансформаторные датчики) при перемещении сердечника

Простейший индуктивный датчик (рис. 4,а,б) представляет собой катушку,

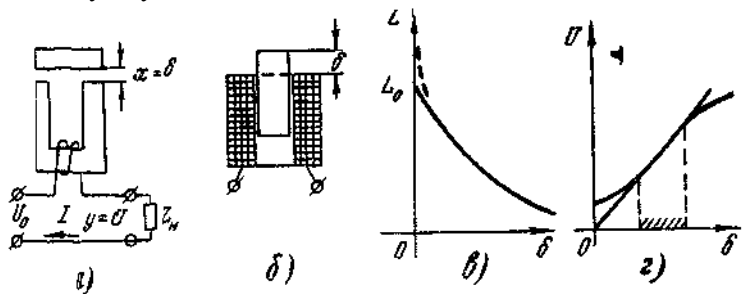


Рис. 4. Индуктивные датчики и их характеристики

размещенную на ферромагнитном сердечнике, и включенную в цепь переменного тока, последовательно с сопротивлением  $Z_n$  нагрузки (рис. 4,а). Действующее значение выходного напряжения равно

$$U = IZ_n = \frac{U_0 \sqrt{R_n^2 + X_n^2}}{\sqrt{(R + R_n)^2 + (\omega_0 L + X_n)^2}},$$

где  $R$ ,  $L$  - активное и индуктивное сопротивления катушки датчика;

$R_n$ ,  $X_n$  — активное и реактивное сопротивления нагрузки.

Поскольку для катушки (рис. 4,а), пренебрегая влиянием магнитного сопротивления сердечника, можно записать

$$L \cong \frac{w^2 \mu_0 S}{2\delta},$$

где  $w$  — число витков катушки;  
 $S$  — площадь поперечного сечения сердечника;  
 $\mu_0$  — магнитная проницаемость воздуха,  
 то для  $\omega_0 L \gg R + R_H$

$$U \cong \frac{2U_0 R_H \delta}{\omega_0 w^2 \mu_0 S}$$

На практике из-за того, что  $L_0 < \infty$  (рис. 4,в), статическая характеристика датчика (рис. 4,г) не является линейной: при  $\delta=0$  имеется остаточное напряжение, обусловленное отличным от нуля магнитным сопротивлением сердечника, при больших  $\delta$  имеется насыщение, обусловленное возрастанием потоков рассеяния. Поэтому зона линейности такого датчика имеет обычно небольшую величину, при этом чувствительность датчика в этой зоне равна (см. 2-2)

$$\frac{dU}{d\delta} = \frac{2U_0 R_H}{\omega_0 w^2 \mu_0 S}$$

Как и для потенциометрических датчиков, частота ( $\omega_0$  питающего напряжения  $U_0$ ) выбирается по соотношению (2-1), поэтому для индуктивных датчиков применяют источники напряжения повышенной частоты (400, 500, 1000 гц), что позволяет также уменьшить габариты датчика.

На практике для повышения точности (уменьшения погрешностей от колебаний температуры и питающего напряжения), увеличения зоны линейности датчика, а также для получения двухтактной статической характеристики (рис. 5,б) применяют дифференциальные индуктивные датчики, включаемые обычно по мостовой схеме (рис. 5,а), когда в одну диагональ моста подается питающее напряжение, а в другую включено сопротивление нагрузки. Схема настраивается таким образом, чтобы при  $x=0$  сердечник занимал среднее положение. В этом случае мост сбалансирован. При изменении знака  $x$  изменяется на  $180^\circ$  фаза напряжения  $U$ .

Недостаток такого датчика — наличие гальванической связи между цепью нагрузки и цепью питания — устраняется в трансформаторных датчиках. На рис. 6 приведена схема и характеристика так называемого дифференциального

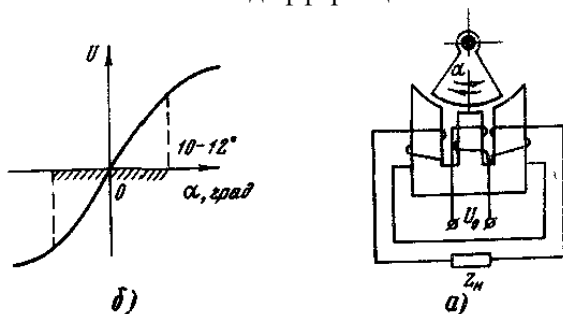


Рис. 5. Дифференциальный индуктивный датчик

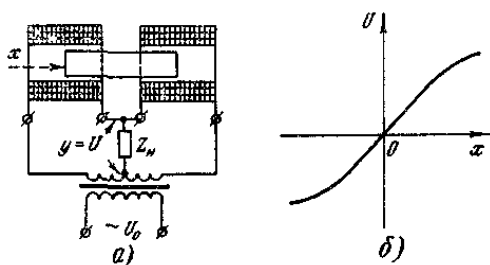


Рис. 6. Дифференциальный трансформатор

трансформатора, широко применяемого в автоматических системах. В позиционных следящих системах применяются также двухкоординатные (следящие) трансформаторы.

Генераторные датчики.

В промышленной автоматике наиболее широко применяют индукционные и термоэлектрические датчики.

Индукционные датчики применяются для измерения мгновенных значений скорости (угловой или линейной), а также для получения напряжений, пропорциональных производным по времени от перемещения (или от другой физической величины,

преобразованной в перемещение). Производные, как увидим далее, часто используются для повышения качества процессов регулирования в автоматических системах.

Действие индукционных датчиков основано на использовании э.д.с., возникающей в проводнике при пересечении им магнитных силовых линий. В устройствах автоматики широко применяются тахогенераторы (ТГ) — индукционные машины постоянного или переменного тока.

Среди тахогенераторов постоянного тока надо отметить ТГ с возбуждением от постоянных магнитов (рис. 7,а). Конструктивно они мало отличаются от миниатюрных двигателей постоянного тока. Основным недостатком их является постепенное размагничивание постоянных магнитов (от толчков, от действия поля э.д.с. катушки).

Среди ТГ переменного тока надо отметить асинхронные с полым ротором, которые конструктивно не отличаются от миниатюрных асинхронных двигателей с полым ротором выполненным из алюминия или фосфористой бронзы. В фазах статора расположены две обмотки, сдвинутые по отношению друг к другу на 90 эл. градусов, при этом одна подключается к источнику питания  $U_0$ , вторая является выходной (рис. 7,б). При неподвижном роторе  $U_{тр}=0$ , а при  $\Omega \neq 0$  в выходной обмотке наводится э.д.с.

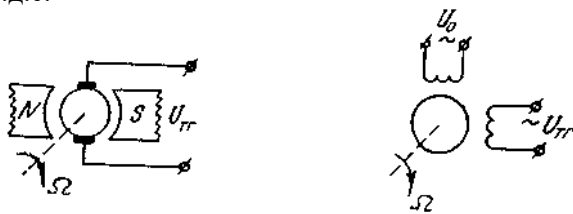


Рис. 7. Тахогенераторы постоянного (а) и переменного (б) тока

Достоинством асинхронных ТГ является отсутствие скользящих контактов, малая инерционность ротора, надежность.

Термоэлектрические датчики (термопары (ТП)) широко применяются в тепловой автоматике. Их действие основано на

возникновении термо-э.д.с. в двух спаянных проводниках из разных материалов.

Если температура  $\vartheta_1$  горячего спая отличается от температуры  $\vartheta_2$  холодного спая, то возникает термо-э.д.с.  $E_{тп}$ , величина которой зависит от материалов термопара и разности температур. При обеспечении условия  $\vartheta_2 = const$

$$E_{тп} = E_{тп}(\vartheta_1) = k_{тп} \vartheta_1.$$

Термопары различаются по применению и по температурному диапазону. Так, известны ТП, применяемые в вакууме и нейтральной среде, в расплаве, в восстановительной среде и т. д. Для измерения температур в различных диапазонах применяют следующие ТП (табл. 2-2).

Таблица 2-2:

п/п	Материал	Термо-э.д.с. мв При $\vartheta_2 = 0^\circ$ $\vartheta_1 = 100^\circ$	Верхний предел $\vartheta_1$	
			длительное применение	кратковременное применение
	Хромель-копель	6,90	500°	800°
	Хромель-алюмель	4,10	900°	1250°
	Молибден-вольфрам		1800°	
	Графит-графит		1800°	
	Вольфрамрений-вольфрамрсний		2500°	

Для измерения температуры расплавленных металлов при  $\vartheta_1 < 1800^\circ$  применяют ТП, указанные в п. 3, 4, 5 таблицы.

Отметим, что, поскольку термо-э.д.с. зависит от температуры холодного спая, которая может изменяться, для исключения погрешности применяют термокомпенсацию, которая бывает двух типов.

1. Термостатирование холодных спаев, когда последние помещают в термостат с постоянной температурой. Термостат представляет из себя коробку с электрообогревом и системой стабилизации температуры. Такое решение удачно, когда имеется много термопар.

2. Автоматическая термокоррекция — схемное исключение температурной погрешности. Одно из такдого рода решений — с помощью мостовой схемы — приведено на рис. 8. Термокомпенсация здесь достигается за счет того, что в одно из плеч моста включается сопротивление  $R_{\Theta}$  с большим ТКС. Мост балансируется так, чтобы при  $\vartheta_2$ , равной температуре градуировки холодного спая, напряжение между точками а и б равнялось нулю. Изменение  $\vartheta_2$  приводит к разбалансировке моста и появлению  $U_{аб}$ .

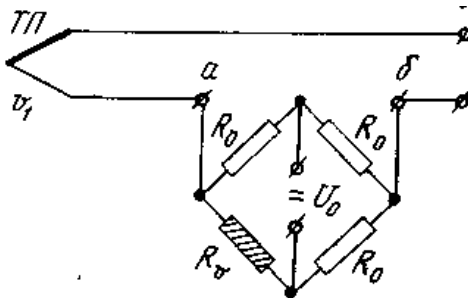


Рис. 8. Вариант схемы термокомпенсации

Подбором величины  $R_{\Theta}$  и  $U_0$  можно добиться того, чтобы  $U_{аб}$  компенсировало термо-э.д.с., возникающую за счет изменения  $\vartheta_2$ .

### Емкостные датчики

Принцип действия. Типы емкостных датчиков.

Работа емкостных датчиков заключается в преобразовании измеряемой величины в емкостное сопротивление. Поэтому емкостные датчики относятся к параметрическим. Принцип дей-

ствия емкостных датчиков основан на зависимости емкости конденсатора от размеров обкладок, расстояния между ними, диэлектрической проницаемости среды между обкладками.

Емкость конденсатора, имеющего две плоские обкладки,

$$C = \epsilon \epsilon_0 s/d, \quad (8.1)$$

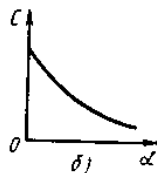
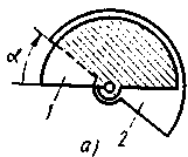
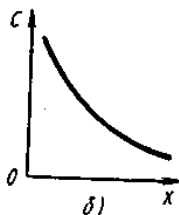
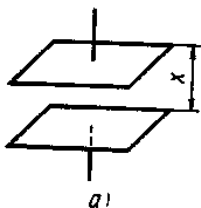


Рис. 10. Емкостный датчик линейного перемещения.

Рис. 11. Емкостный датчик углового перемещения.

Из (10) следует, что изменение емкости конденсатора может происходить из-за изменения любой из трех величин:  $d$ ,  $s$ ,  $\epsilon$ . Наибольшее распространение получили емкостные датчики, измеряющие линейные перемещения. На рис. 10, а, б показаны схема емкостного датчика линейного перемещения и зависимость емкости датчика от входного сигнала — перемещения  $x$ .

На рис. 11, а, б показаны схема емкостного датчика углового перемещения и зависимость емкости датчика от входного сигнала — угла поворота  $\alpha$ . В этом датчике емкость изменяется из-за изменения площади взаимного перекрытия двух обкладок — пластин 1 и 2. Одна из пластин (1) неподвижна, другая (2) — может поворачиваться на оси относительно пластины 1. Расстояние между пластинами не меняется, при повороте пластины 2 меняется активная площадь между пластинами 1 и 2 (на рис. 11, а отмечена штриховкой).

На рис. 12 показан емкостный датчик уровня. В этом датчике емкость изменяется в зависимости от уровня жидкости, поскольку изменяется диэлектрическая проницаемость среды между неподвижными пластинами.



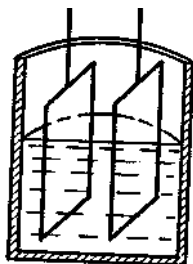


Рис. 12. Емкостный датчик уровня

Емкостные датчики используются в цепях переменного тока. Емкостное сопротивление обратно пропорционально частоте питания:  $X_C = 1/(wC) = 1/(2\pi fC)$ , где  $w = 2\pi f$  — угловая частота;  $f$  — частота, Гц.

#### Термоэлектрические датчики

#### Принцип действия

Термоэлектрические датчики относятся к датчикам генераторного типа. Их работа основана на одном из термоэлектрических явлений — появлении термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС).

Сущность этого явления заключается в следующем. Если составить электрическую цепь из двух разнородных металлических проводников (или полупроводников), причем с одного конца проводники спаять, а место соединения (спай) нагреть, то в такой цепи возникает ЭДС. Эта ЭДС будет пропорциональна температуре места спаия (точнее — разности температур места спаия и свободных, неспаенных концов). Коэффициент пропорциональности зависит от материала проводников и в определенном интервале температуры остается постоянным. Цепь, составленная из двух разнородных материалов, называется термопарой; проводники, составляющие термопару, называются термоэлектродами; места соединения термоэлектродов — спаиями. Спаий, помещаемый в среду, температуру которой надо измерить, называ-

ется горячим или рабочим. Спай, от носительного которого измеряется температура, называется холодным или свободным. Возникающая при различии температур горячего и холодного спаев ЭДС называется термоЭДС. По значению этой термоЭДС можно определить температуру.

Физическая сущность возникновения термоЭДС объясняется наличием свободных электронов в металлах. Эти свободные электроны хаотически движутся между положительными ионами, образующими остов кристаллической решетки. В разных металлах свободные электроны обладают при одной и той же температуре разными скоростью и энергией. При соединении двух разнородных металлов (электродов) свободные металлы из одного электрода проникают в другой. При этом металл с большей энергией и скоростью свободных электронов больше их теряет. Следовательно, он приобретает положительный потенциал. Металл с меньшей энергией свободных электронов приобретает отрицательный потенциал. Возникает контактная разность потенциалов. При одинаковой температуре спаев ( $\theta_1 = \theta_2$  на рис. 17, а) контактная разность потенциалов не может создать тока в замкнутой цепи. Контактная разность в спае 1 направлена навстречу контактной разности в спае 2. Но если нагреть один из спаев (рабочий) до температуры  $\theta_1 > \theta_2$ , то контактная разность в спае 1 увеличится, а в спае 2 останется без изменения. В результате в контуре и возникает термоЭДС, тем большая чем больше разность температур спаев 1 и 2 ( $0, -8_2$ ).

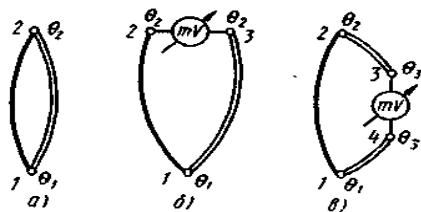


Рис. 13. Термопара и схемы ее включения

Для измерения термоЭДС, вырабатываемой термопарой, в цепь термопары включают измерительный прибор (например,

милливольтметр). Милливольтметр включают, разомкнув свободный спай (рис. 17, б), либо в разрыв одного из термоэлектродов (рис. 17, в). Как видно из схем включения измерительного прибора в случае разомкнутого свободного спаия (рис. 17, б) у термопары три спаия: один горячий 1 и два холодных 2 и 3, которые должны иметь постоянную температуру. При включении милливольтметра в разрыв одного из термоэлектродов (рис. 17, в) имеется четыре спаия: один горячий 1, один холодный 2 (он должен иметь постоянную температуру), два нейтральных 3 и 4 (они должны находиться при одинаковой, но не обязательно постоянной температуре). Для обеих схем термоЭДС и показания прибора будут одинаковыми, если соответственно одинаковыми будут температуры горячих и холодных спаев. В этом нетрудно убедиться, если составить уравнения по второму закону Кирхгофа для каждого из контуров.

Способ изготовления спаия (сваркой, спайкой и т. п.) на термо-ЭДС не влияет, если только размеры спаия таковы, что температура его во всех точках одинакова.

### Материалы, применяемые для термопар

К материалам для термоэлектродов термопар кроме требования получения большого значения термоЭДС предъявляются и другие требования. Пожалуй, наиболее важным из них является обеспечение взаимозаменяемости. Это означает, что термопары одного и того же типа должны иметь при одинаковых температурах одну и ту же термоЭДС. В этом случае замена термопары не должна привести к перенастройке или переградуировке измерительного прибора. Поскольку термопары часто используются в очень тяжелых условиях (высокие температуры, агрессивная среда и т. п.), порой их необходимо менять уже через 1—2 тыс. ч. А измерительные приборы способны работать годами, их менять при замене термопары нецелесообразно. К тому же в промышленности получили большое распространение так называемые обегаяющие системы автоматического контроля, когда на один и тот же измерительный прибор последовательно подаются сигналы от нескольких десятков термопар, контролирующих температуру в разных местах. Поэтому необходима стабильность и повторяемость

свойств термопар. В табл. 10.2 приведены основные типы термопар, выпускаемых серийно, и их характеристики. В паре материалов первым указан положительный электрод.

## Фотоэлектрические датчики

### Назначение. Типы фотоэлектрических датчиков

Фотоэлектрические датчики реагируют на изменение освещенности. Как правило, фотоэлектрический датчик состоит из источника и приемника светового потока (ПСП). Источником светового потока может быть сам объект измерения или специальный осветитель (например, в виде обычной лампы накаливания). Опытный сталевар, рассматривая через темно-синий светофильтр расплавленный металл, может определить «на глаз» его температуру, необходимость внесения каких-либо добавок. По световому потоку, исходящему от раскаленного или расплавленного металла, фотоэлектрический пирометр автоматически измеряет температуру. В данном случае источником светового потока является сам объект измерения (рис. 14, а).

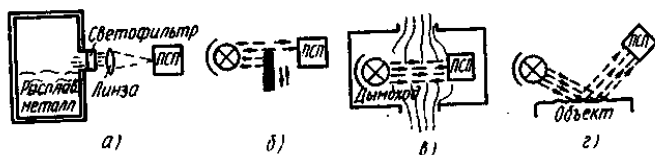


Рис. 14. Применение фотоэлектрических датчиков (ПСП – приемных светового потока)

Однако чаще используются лампы накаливания, создающие постоянный световой поток, а его изменение происходит под влиянием перемещения шторки (рис. 18, б), прохождения света через контролируемую среду (рис. 18, в), под влиянием свойств контролируемого объекта, от которого отражается световой поток (рис. 18, г). В соответствии с этими возможными вариантами изменения светового потока с помощью фотоэлектрических датчиков можно измерять перемещение и подсчитывать число предметов, определять уровень, прозрачность, задымленность, цвет

различных материалов, оценивать качество обработанной поверхности (блеск, шероховатость, окраска). Фотоэлектрические датчики используют в оптико-электронных преобразователях различных величин. Здесь следует напомнить, что более 75% всей информации, которую получает человек, воспринимается с помощью зрения. Поэтому и фотоэлектрические датчики, воспринимающие оптическую информацию, находят широкое применение. С помощью фотоэлектрических датчиков осуществляется и так называемое «техническое зрение».

В приемниках светового потока фотоэлектрических датчиков используется фотоэффект. Под фотоэффектом понимают изменение свойств материала при изменении его освещенности. Различают внешний, внутренний и вентильный фотоэффект. Внешний фотоэффект состоит в том, что под влиянием потока излучения электроны вылетают из катода электронной лампы и ток эмиссии зависит от освещенности катода. Внутренний фотоэффект проявляется в том, что активное сопротивление полупроводникового материала зависит от его освещенности. При вентильном фотоэффекте между слоями освещенного проводника и неосвещенного полупроводника, разделенных тонким изоляционным слоем, возникает ЭДС, которая зависит от освещенности. При внешнем фотоэффекте носители тока выходят за пределы материала, при внутреннем — остаются внутри полупроводника. Вентильный фотоэффект, строго говоря, тоже является внутренним фотоэффектом.

Все фотоэлектрические датчики являются селективными (избирательными), т. е. их чувствительность зависит от частоты светового излучения. Иными словами, эти датчики реагируют на определенный цвет: красный, зеленый, синий или другой, включая и невидимую часть спектра (инфракрасное и ультрафиолетовое излучения). Диапазон длин волн видимого света  $\Delta = 0,38 \div 0,78$  мкм. Более короткие волны относятся к ультрафиолетовому диапазону, более длинные — к инфракрасному.

Приемники излучения фотоэлектрических датчиков.

К приемникам излучения на основе внешнего фотоэффекта относятся электровакуумные или газонаполненные фотоэле-

менты, фотоэлектронные умножители и передающие электронно-лучевые трубки.

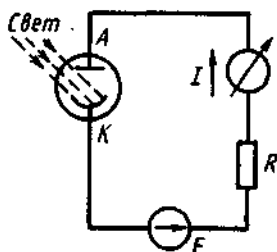


Рис. 15. Схема включения фотоэлемента

К приемникам излучения на основе внутреннего фотоэффекта относятся фоторезисторы, фотодиоды и фототриоды. Все приемники излучения являются электронными и полупроводниковыми приборами и изучаются в курсе электроники. Здесь будут рассмотрены только краткие физические основы их работы и характеристики тех приемников излучения, которые нашли применение в системах автоматики.

На рис. 15 приведена схема включения вакуумного фотоэлемента. Анод А и катод К фотоэлемента находятся в стеклянном баллоне, из которого откачан воздух. Когда световой поток падает на катод, покрытый активным слоем, электроны получают энергию, позволяющую им вылететь из катода. Это явление называется фотоэлектронной эмиссией. Под действием источника В приемниках светового потока фотоэлектрических датчиков используется фотоэффект. Под фотоэффектом понимают изменение свойств материала при изменении его освещенности. Различают внешний, внутренний и вентильный фотоэффект. Внешний фотоэффект состоит в том, что под влиянием потока излучения электроны вылетают из катода электронной лампы и ток эмиссии зависит от освещенности катода. Внутренний фотоэффект проявляется в том, что активное сопротивление полупроводникового материала зависит от его освещенности. При вентильном фотоэффекте между слоями освещенного проводника и неосвещенного полупроводника, разделенных тонким изоляционным слоем, возникает ЭДС, которая зависит от освещенности.

При внешнем фотоэффекте носители тока выходят за пределы материала, при внутреннем — остаются внутри полупроводника. Вентильный фотоэффект, строго говоря, тоже является внутренним фотоэффектом.

Все фотоэлектрические датчики являются селективными (избирательными), т. е. их чувствительность зависит от частоты светового излучения. Иными словами, эти датчики реагируют на определенный цвет: красный, зеленый, синий или другой, включая и невидимую часть спектра (инфракрасное и ультрафиолетовое излучения). Диапазон длин волн видимого света  $\Delta = 0,38 \div 0,78$  мкм. Более короткие волны относятся к ультрафиолетовому диапазону, более длинные — к инфракрасному.

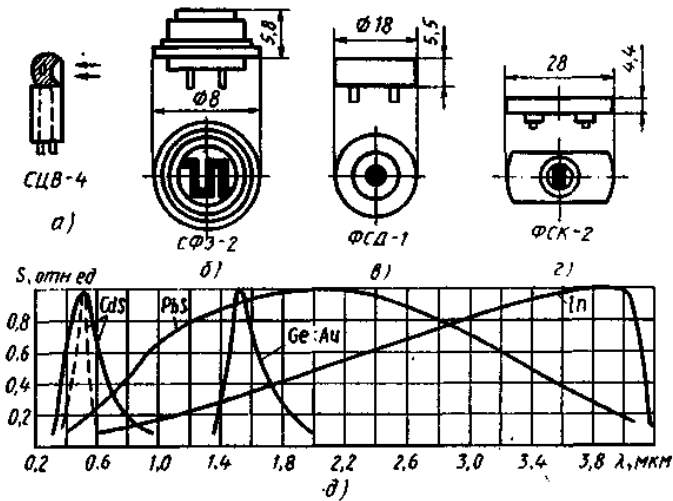


Рис. 16. Конструкции фотоэлементов (а,б,в,г) и спектральные характеристики (д)

питания с ЭДС  $E$  между катодом и анодом создается электрическое поле, которое и заставляет электроны перемещаться от катода к аноду. В электрической цепи создается электрический ток, называемый фототоком. Когда действие света прекращается, ток в фотоэлементе и внешней электрической цепи исчезает.

Зависимость фототока от светового потока называется световой характеристикой. Эта характеристика при постоянных значениях  $E$  и  $R$  практически линейная. Фотоэлемент характеризуется также чувствительностью, которая равна отношению фототока (в микроамперах) к световому потоку (в люменах). В газонаполненных фотоэлементах благодаря ионизации молекул газа, заполняющего баллон, фототок увеличивается. Поэтому чувствительность газонаполненных фотоэлементов больше, чем у вакуумных. Однако световая характеристика вакуумного фотоэлемента более стабильна, менее зависима от колебаний напряжения питания, чем у газонаполненных элементов. Поэтому для целей автоматического измерения чаще применяются вакуумные фотоэлементы.

Промышленностью серийно выпускаются электровакуумные фотоэлементы типа СЦВ (сурьмяно-цезиевый, вакуумный) и типа Ф разных модификаций. Например, фотоэлемент типа Ф-1 имеет наилучшую чувствительность при  $\lambda = 0,215$  мкм, Ф-3 — при  $\lambda = 0,750$  мкм, Ф-5 — при  $\lambda = 1,1$  мкм. Это означает, что фотоэлемент Ф-1 реагирует на ультрафиолетовое излучение, Ф-3 — на видимый свет, Ф-5 — на инфракрасный цвет. Фотоэлементы работоспособны и при других длинах волн, но выходной сигнал при этом будет меньше. На рис. 16, а показан фотоэлемент типа СЦВ-4, имеющий размеры диаметр 27 мм и длину 62 мм и интегральную чувствительность 80 мкА/лм. Фотоэлектронные умножители (ФЭУ) в отличие от фотоэлементов имеют дополнительные электроды. Благодаря вторичной эмиссии электронов из этих электродов чувствительность ФЭУ во много раз превышает чувствительность фотоэлементов. Однако для ФЭУ требуется и значительно большее напряжение питания.

Фоторезистор состоит из светочувствительного слоя полупроводника толщиной около микрометра, нанесенного на стеклянную или кварцевую пластинку. Токосъемные электроды выполнены с применением драгоценных металлов. При внутреннем фотоэффекте под действием светового потока в полупроводнике появляются дополнительные свободные электроны, благодаря чему увеличивается электропроводность, а сопротивление фоторезистора уменьшается.

Промышленностью выпускаются фоторезисторы типов



СФ, ФР, ФС различных модификаций. В них используются полупроводниковые материалы: сернистый кадмий, сернистый свинец, германий, индий и др.

На рис.16, б, в, г показан внешний вид некоторых фоторезисторов, а на рис. 16, д — спектральные характеристики фоторезисторов из некоторых полупроводниковых материалов. По вертикальной оси отложена чувствительность в относительных единицах, а по горизонтальной — длина волны монохроматического (т. е. определенного цвета) светового потока. Вид кривой (острый пик или пологая вершина) зависит и от технологии изготовления полупроводникового материала.

Надо отметить, что чувствительность схем с фоторезисторами во много раз больше, чем схем с фотоэлементами. Например, фоторезистор типа СФЗ-2А имеет в освещенном состоянии ток в 3 мА. При отсутствии света и напряжении на фоторезисторе в 10 В через него протекает ток в 2 мкА. Таким образом, кратность изменения сопротивления может достигать

$$3 \cdot 10^{-3} / (2 \cdot 10^{-6}) = 1500.$$

Для автоматического измерения фоторезисторы используют чаще всего в мостовой схеме. Для исключения погрешности из-за потока излучения фона в Два плеча моста включают одинаковые фоторезисторы, один из которых воспринимает только излучение фона, а другой освещается одновременно измеряемым объектом и фоном.

К недостаткам фоторезисторов следует отнести их инерционность. Она заключается в том, что при освещении фоторезистора фототок не сразу достигает своего конечного значения, а при прекращении освещения ток снижается до первоначального значения также не мгновенно, а по истечении определенного времени. Постоянная времени фоторезисторов составляет десятые и сотые доли секунды. Еще один недостаток фоторезисторов — зависимость сопротивления от температуры.

Фотодиодами называются полупроводниковые приборы, основанные на внутреннем фотоэффекте и использующие одностороннюю проводимость р-п-перехода.

Различают два режима работы фотодиодов: фотогальванический и фотодиодный. В фотогальваническом режиме не требуется источник питания, поскольку при освещении р-л-перехода появляется ЭДС, под действием которой возникает ток во внешней цепи. В этом режиме фотодиод непосредственно преобразует энергию света в электрическую энергию;

При освещенности в  $8 \cdot 10^3$  лк фотоЭДС составляет около 0,1 В. В фотодиодном режиме к фотодиоду прикладывается напряжение обратной полярности, т. е. такое, при котором обычный диод не проводил бы ток. При освещении фотодиода (его п-области) обратный ток резко увеличивается, фотодиод начинает проводить ток в обратном направлении.

Промышленностью выпускаются фотодиоды типа ФД различных модификации. В качестве материала чувствительного слоя используются германий, кремний, селен. На рис. 17, а, б показаны конструкции некоторых фотодиодов, на рис. 17, в — его устройство.

На металлическую пластинку 1 наносится слой полупроводника 2, поверх которого осаждается полупрозрачная пленка золота 3. Между золотой пленкой и полупроводником создается запирающий слой.

Поверх пленки 3 накладывается защитный слой прозрачного лака 4. С внешней цепью фотодиод соединяется с помощью выводов, одним из которых является контактное металлическое кольцо 5.

При замыкании фотодиода на сопротивление нагрузки по внешней цепи потечет ток, зависящий от светового потока. Такой режим работы фотодиода называется фотогальваническим. В этом режиме фотодиод непосредственно преобразует энергию света в электроэнергию. Чувствительность фотодиода к суммарному световому потоку при коротком замыкании селеновых фотозлементов довольно велика и составляет 0,5 мА на 1 лм. При увеличении внешнего сопротивления в цепи фотодиода его чувствительность падает. Инерционность фотодиодов примерно на порядок меньше, чем у фоторезисторов.

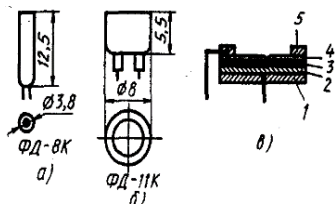


Рис. 17. Конструкции и устройство фотодиодов

Фотодиоды чаще используются не для целей автоматического измерения, а в схемах фотореле; Для этих же целей используются и фототранзисторы, совмещающее свойства фотодиода и усилительного транзистора.

### Применение фотоэлектрических датчиков

Фотоэлектрические датчики получили очень широкое распространение в системах автоматики и имеют хорошую перспективу дальнейшего распространения. Наиболее часто они используются в схемах релейного действия, где выдают дискретный сигнал: «Освещено» или «Затемнено».

Фотореле состоит из осветителя, создающего световой поток, и приемника излучения (фотоэлемента, фоторезистора, фотодиода или фототранзистора). Приемник излучения включен в цепь обмотки электромеханического реле (непосредственно или чаще через усилитель). При попадании светового потока на приемник скачком изменяется фототок и срабатывает реле, осуществляя необходимые переключения в схеме управления каким-либо устройством. Такие фотореле используются в турникетах, пропускающих пассажиров в метро, фиксируют достижение различными механизмами определенных положений, очень широко применяются в автоматических устройствах защиты обслуживающего персонала от производственных травм. Когда рука рабочего случайно пересекает световой барьер, ограждающий опасную зону, подается предупреждающий сигнал или механизм вообще останавливается. С помощью фотодатчиков осуществляется считывание дискретной информации с перфоленты. Информация на такой ленте записана с помощью отверстий, пробиваемых в определенных местах. Наличие отверстия "означает цифру 1, а отсутствие отверстия — цифру 0 в двоичном коде. Каждому разряду в двоичной форме счисления соответствует место расположения отверстий на перфоленте. Перфолента прокручивается между осветительной лампой и несколькими фотодатчиками (рис. 18, а), количество которых соответствует числу считываемых разрядов. Для таких целей могут использоваться специальные полупроводниковые приборы, объединяющие в одной кон-

струкции несколько фотодатчиков. Эти фотодатчики располагаются в одну линию друг за другом, например так называемая линейка фотодиодов. Имеются и фото диодные матрицы, где фотодатчики расположены, как клетки в таблице.

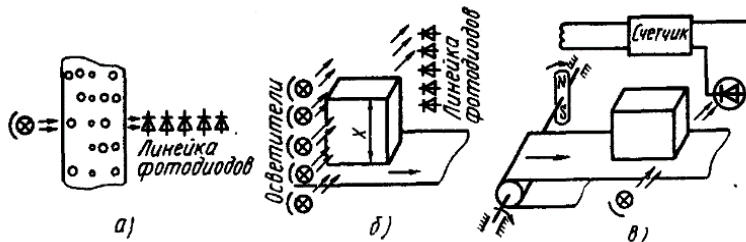


Рис. 18. Применение фотодиодов

Линейку фотодиодов используют для измерения размеров детали, перемещаемой на конвейере. Деталь перекрывает световой поток (рис. 18, б) и затемняет такое количество фотодиодов, которое соответствует высоте детали.

Изменение длины перемещаемой детали может выполняться и по сигналу одного фотодатчика (рис. 18, в). Деталь, пересекая передней кромкой световой барьер, дает сигнал на подсчет числа импульсов. Когда фотодатчик снова освещается, подсчет импульсов заканчивается. По зафиксированному счетчиком количеству импульсов определяется длина движущегося предмета. Датчик импульсов кинематически связан с приводом конвейера. Поэтому колебания скорости движения детали не влияют на точность измерения ее длины.

### Датчики холла и магнитосопротивления

Физические основы эффекта холла и эффекта магнитосопротивления.

Эффект Холла — это физическое явление, которое заключается в следующем. Если перпендикулярно плоскости пластинки и направлению тока действует магнитное поле напряженностью  $J$ , то в пластине возникает ЭДС, пропорциональная и току, и напряженности магнитного поля:

$$E = k_H H,$$

где  $K = k_x / d$  — коэффициент, зависящий от материала и толщины пластины  $d$ ;  $k_x$  — постоянная Холла.

Направление этой ЭДС, которая называется ЭДС Холла, перпендикулярно току и полю, т. е. ее можно измерить между боковыми продольными гранями пластины (рис. 19) с помощью электроизмерительного прибора. Причина появления ЭДС Холла в том, что на движущиеся заряды в магнитном поле действует сила Лоренца. Ток в пластине — это и есть упорядоченное движение зарядов (в металле — электронов). Под действием магнитного поля они смещаются перпендикулярно направлению своего движения и вблизи одной продольной грани возникает избыток зарядов, а вблизи другой — недостаток. В обычных проводниковых материалах ЭДС Холла очень мала, что объясняется малой скоростью (точнее — подвижностью) носителей тока из-за их большой концентрации.

Эффект магнитосопротивления — это другое физическое явление, заключающееся в изменении сопротивления проводящих тел в магнитном поле. Объясняется это тем, что в присутствии магнитного поля на носители тока действует сила Лоренца, изменяющая траекторию их движения. Если бы не было магнитного поля, то под действием приложенного к проводящему телу напряжения носители тока перемещались бы по кратчайшему направлению. Изменение траектории под действием магнитного поля всегда удлиняет путь носителей тока, что проявляется как увеличение сопротивления.

Одним из возможных применений датчиков магнитосопротивления является создание бесконтактных клавишных выключателей. При нажатии на кнопку такого выключателя перемещается магнитоизменяется магнитный поток, воздействующий на датчик магнитосопротивления.

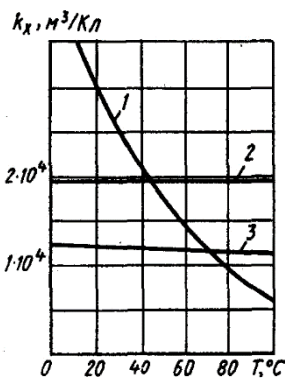


Рис. 19. Зависимость постоянной Холла от температуры

Известны также применения датчиков Холла и магнитосопротивления в системах автоматики в качестве измерителей тока в токоведущих шинах, бесконтактных потенциометров для преобразования механического перемещения (линейного или углового) в пропорциональный электрический сигнал. Удобно применять датчики Холла в автоматических устройствах, контролирующих состояние стальных канатов.

Пока еще датчики Холла и датчики магнитосопротивления сравнительно мало применяются в системах промышленной автоматики. Но бурное развитие полупроводниковой технологии ведет к расширению их применения.

Следует отметить, что в последнее время к таким датчикам прибавились еще и близкие по принципу действия магнитодиодные и гальваномагнитно рекомбинационные преобразователи.

#### **Вопросы для повторения:**

1. Какими основными параметрами характеризуются датчики автоматических систем?
2. В чем достоинства и недостатки контактных датчиков?
3. Какие датчики называют потенциометрическими?
4. Расскажите об устройстве и работе тензомерических датчиков.
5. Почему у индуктивного датчика характеристика «вход - выход» нелинейная?
6. Объясните принцип действия и назначения емкостных датчиков.
7. Каковы отличия термометров сопротивления от полупроводниковых термисторов?
8. Изложите принцип действия термопар и укажите область их применения.
9. Перечислите основные типы датчиков уровня.
10. Назовите типы тахогенераторов и укажите их достоинства и недостатки.
11. Расскажите об устройстве и работе фотоэлементов различных типов.
12. Объясните принцип действия пьезоэлектрических датчиков.

## 4.2. Коммутационная аппаратура и релейные элементы автоматики

План лекции:

1. Основные типы реле, их назначение, принцип действия, параметры и характеристики.
2. Аппаратура управления и защиты.
3. Шаговые искатели и программные устройства, их назначение и применение.
4. Стандартные исполнительные элементы СА.

Коммутационные элементы

Назначение. Основные понятия

Коммутационные элементы предназначены для включения, отключения и переключения электрических цепей. Под коммутацией обычно понимают выполнение этих трех операций. Различают коммутационные элементы ручного и автоматического управления. Коммутационные элементы ручного управления срабатывают при непосредственном механическом воздействии на их органы управления. Автоматические коммутационные элементы срабатывают под воздействием электромагнитных сил на их приводные органы. Основной частью таких элементов обычно является электромагнит, входным сигналом для них служит электрический ток или напряжение. Автоматические коммутационные элементы используются в системах автоматики и при дистанционном управлении различными механизмами и устройствами. Они рассматриваются в последующих главах данного раздела.

В этой главе рассмотрены коммутационные элементы с механическим приводом. Используются они, как правило, для местного управления и для подачи сигналов о достижении каких-либо промежуточных и конечных положений. По своему назначению коммутационные элементы подразделяют на два вида: для коммутации силовых цепей (обмоток электродвигателей, мощных электромагнитов, трансформаторов, нагревателей и других потребите-

лей) и для коммутации цепей управления (обмоток релейно-контактной аппаратуры, устройств контроля, регулирования и сигнализации). Такое разделение обусловлено различными значениями токов и напряжений в коммутируемых цепях, что, в свою очередь, влияет на конструктивное исполнение и габаритные размеры. Изучение коммутационных элементов для силовых цепей не входит в нашу задачу. Отметим только, что наибольшее распространение для этих целей получили рубильники и переключатели рубящего типа, обеспечивающие быстрое размыкание и имеющие специальные устройства для гашения электрической дуги.

Все коммутационные элементы, используемые в цепях управления, обязательно имеют следующие узлы: неподвижные контакты, подвижные контакты и орган управления. Кроме того, они могут иметь элементы фиксации, монтажа и настройки, дугогашения и т. п. Необходимые коммутационные элементы выбирают по допустимым значениям тока и напряжения. Но наиболее важной для практики характеристикой коммутационных элементов является их надежность, т. е. сохранение работоспособности при большом числе срабатываний.

Коммутационные элементы различают по числу коммутируемых цепей (одноцепные и многоцепные) и по числу фиксированных положений, причем имеются коммутационные элементы с самовозвратом в исходное положение, т. е. без фиксации переключенного положения, что может быть необходимо для ряда схем управления.

К коммутационным элементам с механическим приводом относятся кнопки управления, микропереключатели, тумблеры, клавишные, поворотные, рычажные и кулачковые переключатели, а также концевые и путевые выключатели.

### Кнопки управления и тумблеры

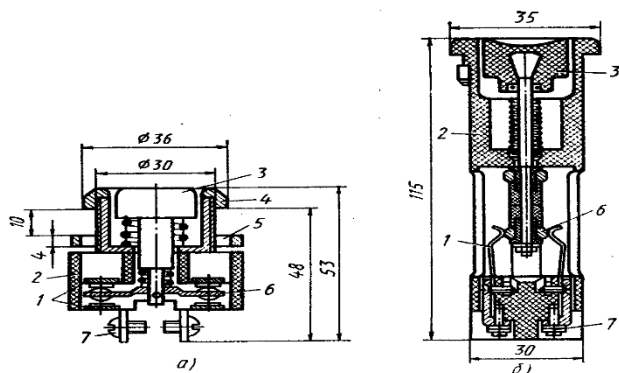
Кнопки управления — это аппараты, подвижные контакты которых перемещаются и срабатывают при нажатии на толкатель кнопки. Комплект кнопок, смонтированных на общей панели, представляет собой кнопочную станцию. Используемые в схемах автоматики кнопки управления различают по числу и типу контактов (от 1 до 4 замыкающих и размыкающих), форме



толкателя (цилиндрический, прямоугольный и грибовидный), способу защиты от воздействия окружающей среды (открытые, закрытые, герметичные, взрывобезопасные и т. д.).

Независимо от конструкции и габаритных размеров кнопок (рис. 1, а, б) все они имеют неподвижные контакты 1 и подвижные контакты 6, перемещаемые с помощью толкателя 3. Внешняя цепь подсоединяется к кнопке с помощью винтовых зажимов 7. Корпус 2 кнопки фиксируется на панели управления гайками 4 и 5.

Электрические параметры наиболее распространенных кнопок приведены в табл.1. Кнопки управления общепромышленного применения серий КУ и КЕ имеют различные исполнения и формы толкателей.



Для коммутации цепей электроники выпускаются специальные кнопки (например, типа ВК14-21). Малогабаритные кнопки управления выполняют на основе микровыключателя типа МП, который используют в качестве исполнительного контактного элемента в тумблерах типа МТ1 и МТН. Долговечность и надежность кнопок управления оценивают коммутационной износостойкостью, которую выражают в гарантированном числе циклов включений-отключений под нагрузкой. Этот параметр различен для разных кнопок и условий эксплуатации. Например, для кнопок типа ВК14-21 с медными контактами он составляет  $0,25 \cdot 10^6$  циклов, с биметаллическими контактами —  $2,5 \cdot 10^8$ , с серебряными контактами —  $4 \cdot 10^6$  циклов. Механическая износостойкость всегда превышает коммутационную. В последнее время

все большее распространение получили кнопки управления с прямоугольной формой толкателя — их называют клавишами.

На основе кнопок управления изготовляют кнопочные станции, содержащие до 12 кнопок различного исполнения, собранных на общей панели или в одном корпусе. Такие коммутационные устройства называют кнопочными или клавишными переключателями (рис. 2).

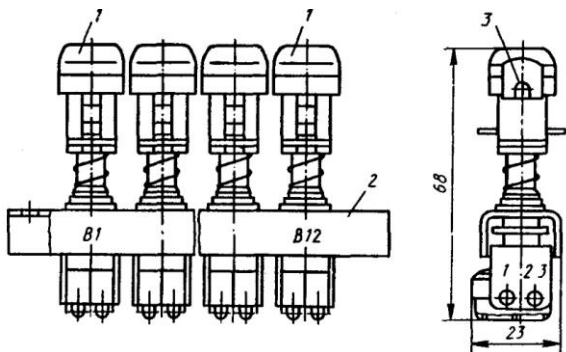


Рис. 2. Кнопочный переключатель

Переключатель представляет собой наборную панель из кнопок 1 (или клавиш), смонтированных на общем каркасе 2 и снабженных механизмом фиксации, который может быть независимым для каждой кнопки (клавиши) или взаимно заблокированным. Кнопки могут также иметь самовозврат в исходное положение или чередование включенного и отключенного фиксированных положений. Каждая кнопка или клавиша осуществляет коммутацию одной или нескольких цепей. Некоторые типы переключателей снабжают специальной кнопкой возврата (сброса) включенных кнопок в исходное положение. В этом случае возможно включенное положенных положений соответствующих кнопок (клавиш). При этом положение кнопок или клавиш (поднятое или утопленное) играет роль указателя. Для этой цели используют также световые сигнализаторы 3 (лампы или светодиоды), вмонтированные в корпус блока переключателя (рис. 2). Закрытое исполнение и использование высококачественных материалов (биметаллов, сплавов серебра и т. п.) для контактов обеспечивают

малые переходные сопротивления, что весьма важно при установке этих переключателей в низковольтных и слаботочных цепях автоматики и электроники.

Для более мощных цепей автоматики применяют тумблеры, используемые в качестве выключателей, а также двух- и трехпозиционных переключателей. На рис. 3 показано устройство двухпозиционного тумблера. Мостиковый контакт, выполненный в виде токопроводящего ролика 1, замыкает одну из двух пар неподвижных контактов 2. Переключение контактов тумблера осуществляется воздействием на рычаг 3, а ускорение срабатывания (мгновенное действие) обеспечивается пружиной 4. Номинальный ток тумблера 1 и 2 при напряжении 220 В, масса их не превышает 30 г.

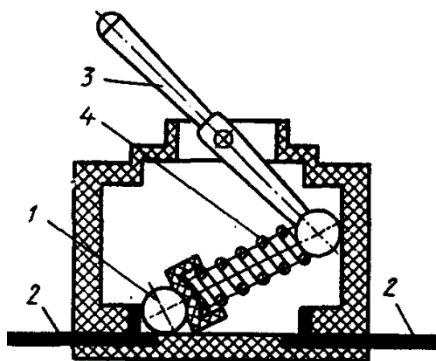


Рис. 3. Двухпозиционный тумблер

Переключение контактов тумблера осуществляется воздействием на рычаг 3, а ускорение срабатывания (мгновенное действие) обеспечивается пружиной 4. Номинальный ток тумблера 1 и 2 при напряжении 220 В, масса их не превышает 30 г.

#### Пакетные переключатели.

Для коммутации нескольких цепей при нескольких фиксированных положениях для выбора различных режимов работы используются пакетные переключатели. Такой переключатель (рис. 4, а) состоит из ряда слоев — пакетов 3 (показан отдельно на рис. 4, б), внутри которых находятся подвижный 5 и неподвижный 4 контакты. Подвижный контакт 5 закреплен на оси 2, вращающейся с помощью рукоятки / и имеющей ряд фиксированных положений, в которых замыкаются неподвижные контакты одного из пакетов. Выводы 6 неподвижных контактов закреплены в корпусе переключателя. Недосток таких пакетных переключателей — низкая надежность скользящих контактов.

Пакетные переключатели кулачкового типа, в которых электрическая цепь замыкается неподвижными контактами, более надежны. Подвижными у них являются диэлектрические кулачки, которые и замыкают контакты в зависимости от профиля кулачка и положения оси.

Конструкции пакетных переключателей, предназначенных для цепей управления, позволяют получить десятки и сотни вариантов разнообразных схем соединений при числе коммутируемых цепей до 24 (12 пакетов) и количестве фиксированных положений до 8 (через 45, 60 или 90°).

Имеются переключатели и без фиксации переключаемого положения — с самовозвратом в исходное положение. Особенность этих переключателей — наличие запирающего (на ключ) устройства, что исключает бесконтрольное переключение.

Наиболее распространенными переключателями цепей управления являются аппараты серий ПКУ2 и ПКУ3.

Номинальный (длительно допустимый) ток переключателей серии ПКУ2 — 6 А при напряжении 380 В переменного тока и 220 В постоянного тока, а для переключателей серии ПКУ3 — 10 А при 500 В переменного тока. Как видно по техническим параметрам, такие переключатели пригодны и для

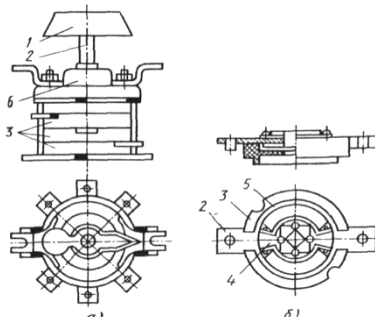


Рис. 4. Пакетный переключатель

и отключения довольно мощных потребителей электроэнергии, например электродвигателей мощностью в несколько киловатт.

Меньшими габаритами обладают переключатели серий ПУ и ПЭ, имеющие поворотные механизмы привода на два или три положения. Среди них имеется исполнение с выемным ключом-рукояткой. Такими переключателями, как правило, блокируют подачу напряжения в схему управления, изменяют режимы и способы управления. При этом предусмотрена возможность запирания переключателя как в отключенном, так и в других его положениях. Номинальный ток переключателей серий ПУ и ПЭ — 5 А при напряжении 220 В переменного тока и 1 А при ПО В постоянного тока.

Системы автоматического и программного управления требуют весьма сложных переключений, для которых необходимы многопозиционные и многоцепные переключатели (при

числе цепей и положений порой в несколько десятков). Конструктивно такие коммутационные элементы выполнены в виде двух, четырех (и более) неподвижных секций, смонтированных на платах, и подвижных контактов, закрепленных на общем валу и фиксируемых специальным пружинно-шариковым фиксатором в заданных позициях.

На рис. 5 показаны наиболее распространенные ползунковые переключатели серии ПП однопалярного исполнения на 35 цепей.

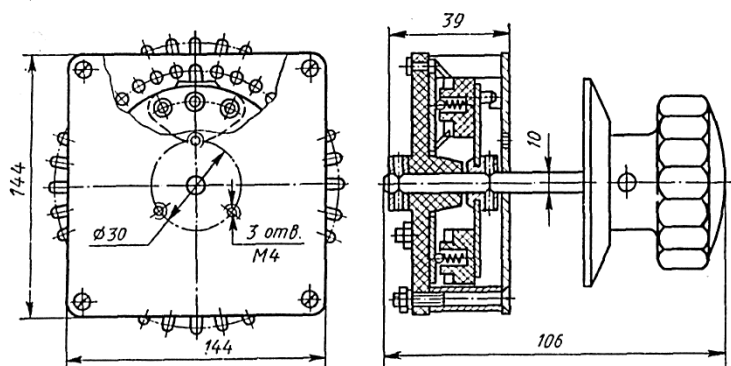


Рис. 5. Ползунковый переключатель

Переключатели в открытом исполнении предназначены для встроеного монтажа за панелью управления. Аналогичные щеточные переключатели, но закрытого исполнения, имеют от 1 до 4 секций при числе контактов в каждой секции от 4 до 24. Они обеспечивают надежную коммутацию при токе нагрузки до 1 А цепей переменного (напряжением 380 В) и постоянного (напряжением 220 В) тока.

В радиоэлектронной аппаратуре используются аналогичные пакетным переключатели — так называемые галетные. Они имеют от 2 до 11 положений при числе секций (галет) от 1 до 4. На рис. 6 показан переключатель серии ПГС на 10 положений.

В последнее время в автоматике все шире используются достижения микроэлектроники, например большие интегральные схемы. Для коммутации в цепях, содержащих подобные элементы, необходимы переключатели, контакты которых обеспечивали бы надежное прохождение очень слабых токов (милли-

или микроамперы) при пониженных значениях напряжений (до 5 В). Рассмотренные в данном параграфе переключатели, как правило, такими свойствами не обладают, так как их контакты имеют значительные (порой в несколько ом) переходные сопротивления. В этом случае предпочтительнее применение клавишных переключателей с биметаллическими или серебряными контактами.

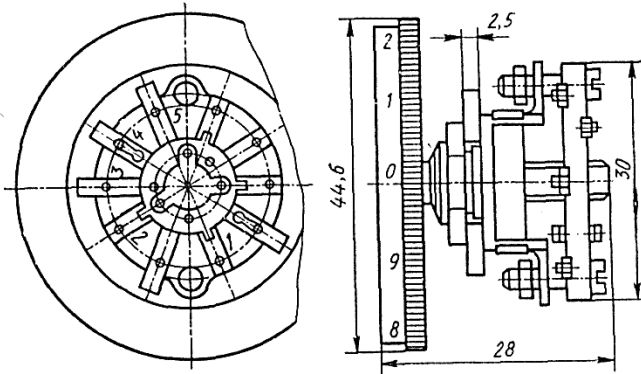


Рис. 6. Галетный переключатель

### Путевые и конечные выключатели

Путевые и конечные выключатели представляют собой коммутационные элементы, кинематически связанные с рабочей машиной и срабатывающие в зависимости от перемещения подвижной части рабочей машины. Путевые выключатели срабатывают в определенных промежуточных точках на пути перемещения, конечные выключатели срабатывают в крайних точках: в начале и конце пути. Особенно широко путевые и конечные выключатели используются в схемах автоматизированного электропривода различных производственных механизмов. С их помощью происходят автоматическое управление приводом на отдельных участках пути и автоматическое отключение в крайних положениях механизма.

В зависимости от устройства, осуществляющего замыкание или размыкание контактов, путевые и конечные выключатели можно подразделить на кнопочные (нажимные), рычажные,

шпиндельные и вращающиеся. Переключение контактов в этих выключателях осуществляется следующим образом. В кнопочных — нажатием рабочего органа механизма на шток, с которым связаны контакты выключателя. В рычажных — воздействием рабочего органа механизма на рычаг, с которым связаны контакты. В шпиндельных — перемещением гайки по винту, связанному через передачи с валом механизма. Во вращающихся — переключающими кулачковыми шайбами, связанными с валом механизма.

В штоковых выключателях скорость переключения контактов определяется скоростью перемещения производственного механизма. При малой скорости взаимное перемещение подвижных и неподвижных контактов происходит медленно, что приводит к длительному горению дуги, возникающей между размыкающимися контактами, и их быстрому разрушению из-за оплавления и усиленного окисления. Для нормальной работы такого выключателя скорость перемещения механизма должна быть не менее 0,5 м/мин. А для обеспечения мгновенного переключения контактов используются специальные пружинные механизмы, освобождающиеся с помощью спусковых механизмов (собачек). Пружины также используются для обеспечения необходимой силы контактного нажатия. На рис. 7 показано устройство простого конечного выключателя. Закрепляется он таким образом, чтобы упор на подвижной части производственного механизма находился напротив штока 4. При нажатии упора на шток 4 последний давит на пружину 3. При достижении определенной силы нажатия пружина 3 перебрасывается влево, размыкая контакт 2 и замыкая контакт 1. При этом ток пойдет по другой цепи управления. Внешние соединения выключателя выполняются с помощью пайки к выводам: 5—неподвижный контакт (общий); 6 — размыкающийся контакт 2; 7— замыкающийся контакт 1. Плоская пружина 3 выполнена из трех частей. Средняя часть длиннее крайних, поэтому она всегда находится в изогнутом состоянии и стремится прижимать контакты в их крайних положениях (1 или 2). Переключатель способен работать в цепях с напряжением до 380 В при токе до 3 А. Перемещение штока составляет 0,5—0,7 мм, необходимое усилие для срабатывания не более 5—7 Н. Время срабатывания 0,01—0,02 с при частоте включений до двух раз в минуту.

На рис. 8 показан конечный выключатель типа ВК-111 с мостиковыми контактами. Переключение контактов производится нажатием на шток 1, а возврат контактов в исходное положение осуществляется пружиной 2. Использование мостикового контакта 3 уменьшает вероятность возникновения дуги, поскольку цепь разрывается в двух точках. Такие выключатели могут работать при токе включения до 20 А и длительном токе 6 А.

Износостойчивость выключателей— $10^6$  срабатываний. Допустимая частота—600 включений в час.

На рис. 9 показан выключатель с малым временем срабатывания (моментпо-го действия). Контакты подобных выключателей переключаются с постоянной скоростью при определенном положении производственного механизма независимо от скорости движения. Поэтому их применяют при малых скоростях (до 0,5 м/мин) или при необходимости повышенной точности срабатывания (до 0,05 мм).

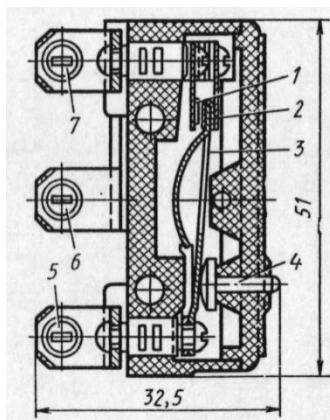


Рис. 7. Конечный микровыключатель с мгновенным переключением контактов.

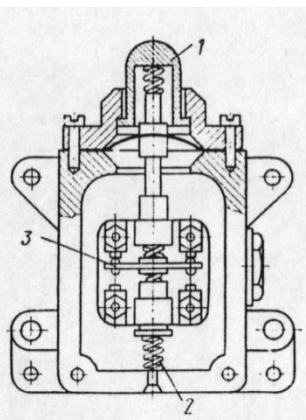


Рис. 8. Конечный выключатель типа ВК-111 с мостиковыми с переключающимися контактами.

При нажатии упора на ролик 1 рычаг 2 поворачивается и давит на набор спиральных пружин 3, мгновенно действующих



на поводок 4. Поводок поворачивается, и ролик 10, сжимая пружину 11, движется по планке 9, занимая положение правее от оси поворота планки 9. При этом собачка 6 отводится и контактный мостик под действием пружины 11 и ролика 10 переорасывается в другое положение, размыкая контакт 7 и замыкая контакт 8. После отхода упора от ролика 1 поводок 4 и контактный мостик возвращаются в исходное положение под действием пружины 5.

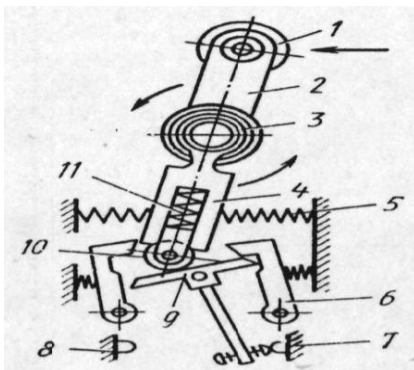


Рис. 9. Путьевой выключатель моментного действия

В некоторых случаях используются многопозиционные трех- и пятиконтактные датчики, последовательно управляющие несколькими управляющими цепями. Конструкции таких датчиков сложнее, и они значительно дороже двухконтактных.

Рассмотренные путевые и конечные выключатели имеют сравнительно низкую надежность, связанную с повышенным износом контактной пары. Более высокая надежность обеспечивается при использовании бесконтактных датчиков (например, индуктивного или фотоэлектрического типов), мгновенность срабатывания которых обеспечивается с помощью электронных схем.

#### Конструктивные типы контактов.

По форме контактирующих поверхностей все конструкции контактов могут быть подразделены на три основных типа: точечные, линейные и поверхностные. Точечные контакты (рис. 10, а) имеют вид конусов или полусфер, соприкасающихся с плоскостью или полусферой в одной точке. Такие контакты предназначены для переключения малых токов. Линейные контакты (рис. 10, б) имеют вид двух цилиндрических поверхностей, или призмы и плоскости, соприкасающихся по линии. Они предназначены для средних и больших токов. Плоскостные контакты (рис. 10, в) имеют соприкосновение по плоскости и предназначены для больших токов.

Контактные узлы включают в себя кроме контактов витые или плоские пружины, обеспечивающие силу прижима между контактами.

На рис. 11 показан рычажный контактный узел, состоящий из двух плоских пружин с неподвижным 1 и подвижным 2 контактами.

Пружины жестко закреплены одним концом в изоляционном основании 3. Перемещение подвижного контакта 2 происходит под действием упора 4.

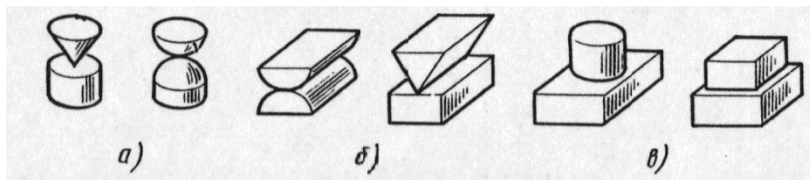


Рис. 10. Основные типы контактов

После того как подвижный контакт 2 переместится на величину раствора контактов  $x_0$ , произойдет замыкание контактов. Обе пружины получают дополнительный прогиб на величину провала контактов  $x_n$ , поскольку движение упора 4 немного продолжится. За счет этого произойдет проскальзывание контактов (его еще называют притиранием), которое необходимо для удаления пыли и оксидной пленки с поверхности контактов.

На рис. 12 показан мостиковый контактный узел, обеспечивающий разрыв электрической цепи в двух местах, что повышает надежность работы. При перемещении упора 1 мостик с двумя подвижными контактами 3 перемещается в направлении двух неподвижных контактов 4 до соприкосновения контактов. Витая пружина

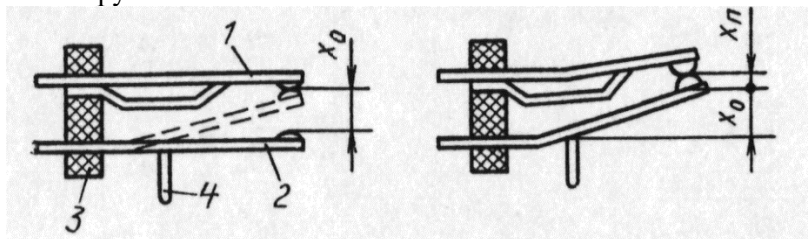


Рис. 11. Рычажный контактный узел

2 обеспечивает усилие прижима и возможность самоустановки подвижных контактов относительно неподвижных, что компенсирует износ контактов и некоторые неточности при их изготовлении. Полный ход упора 1 состоит из раствора контактов  $x_0$  и провала  $x_n$  (аналогично контактному узлу по рис. 11)

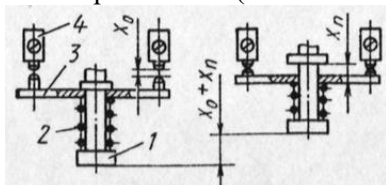


Рис. 12. Мостиковый контактный узел

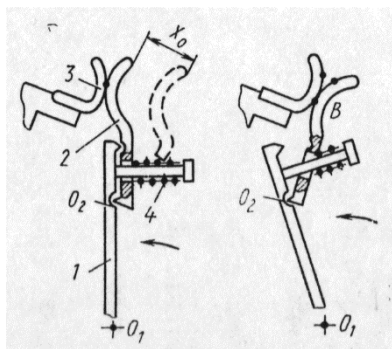


Рис. 13. Рычажный контактный узел

На рис. 13 показан рычажный контактный узел с шарнирным закреплением подвижного контакта 2, соприкасающимся с неподвижным контактом 3 по линии. Контактное нажатие осуществляется с помощью пружины 4. Перемещение подвижного контакта происходит при повороте рычага 1 против часовой стрелки относительно оси  $O_1$ . Сначала подвижный контакт 2 перемещается на величину раствора контакта до соприкосновения с неподвижным контактом 3 в точке А. После этого подвижный контакт совершает сложное движение, поворачиваясь одновременно относительно оси  $O_2$  и вместе с рычагом 1 относительно оси  $O_1$  в результате подвижный контакт 2 перекатывается по неподвижному 3. В замкнутом положении контактирование происходит в точке В. Перекатывание способствует очищению контактов от окисных пленок, а главное — точка В не подвергается электрической эрозии в момент размыкания контактов.

### Материалы контактов

При выборе материала контактов необходимо обеспечить выполнение целого ряда требований: большая механическая

прочность, высокая температура плавления, хорошие теплопроводность и электропроводность, устойчивость против коррозии и эрозии. Низкая стоимость, конечно, желательна, но она не относится к основным требованиям. Основные требования — это те, которые обеспечивают высокую надежность.

Известны случаи, когда отказ одного-единственного контакта приводил к потерям, в миллионы раз превышающим стоимость этого контакта.

Перечисленные выше требованиям в наибольшей степени удовлетворяют серебро, золото, платина и их сплавы, вольфрам, медь (табл. 16.1).

Сопротивление контактного перехода определяется по формуле

$$R_k = a / F^b$$

где  $a$  — коэффициент, зависящий от материала и обработки поверхности контакта;  $F$  — контактное усилие;  $b$  — коэффициент формы контактов.

Для точечных контактов  $b = 0,5$ ; для линейных  $b = 0,55 \div 0,7$ ; для плоскостных  $b = 1,0$ .

Т а б л и ц а 16.1

**Материалы для контактов**

Материалы	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по Виккерсу	Точка плавления, °С	Удельное сопротивление, Ом·см·10 <sup>6</sup>	Теплопроводность, Вт/(см·с·град)
Серебро	10,5	26	960	1,6	4,186
Платина	21,3	65	1770	11,6	0,71
Палладий	11,9	40	1554	10,7	0,71
Золото	19,3	20	1063	2,4	2,92
Серебро — золото	11,4	29	965	3,6	1,98
(10%)					
Серебро — палладий	10,6	40	1000	6,8	1,46
(10%)					
Серебро — медь	10,3	62	778	2,0	3,42
(10%)					
Платина — иридий	21,6	120	1780	24,5	0,3
(20%)					
Платина — серебро	11,0	95	1290	35,8	0,312
(40%)					
Золото — серебро	16,6	32	1025	10,4	0,667
(30%)					

Коэффициент  $a$  для меди, например, находится в пределах от 0,07 до 0,28, т. е. может изменяться в четыре раза. Наименьшие значения  $a$  (и соответственно сопротивления  $R_k$ ) обеспечиваются при покрытии меди слоем олова (лужение). Слой олова препятствует образованию оксида, поэтому для луженых медных контактов коэффициент  $a < 0,1$ . Большие значения  $a$  получаются для нелуженых плоскостных медных контактов, поскольку у них имеются участки, покрытые слоем окиси. Для серебряных контактов  $a = 0,06$ . Интересно отметить, что электропроводность оксида серебра и чистого серебра примерно равны.

Для малых контактных усилий в высокочувствительных реле применяются благородные металлы (платина, золото, платиноиды) при контактных усилиях  $F = 0,01 \div 0,05$  Н. Эти материалы не окисляются и мало подвержены эрозии. При контактных усилиях  $F = 0,05 \div 1$  Н и малой частоте срабатывания применяется серебро, которое имеет хорошую электропроводность, легко обрабатывается, но имеет невысокую твердость и подвержено эрозии. При контактных усилиях  $F = 0,3 \div 1$  Н и большой частоте срабатывания используются металлокерамические контакты, получаемые путем спекания смеси порошков двух металлов: серебра с вольфрамом, молибденом или никелем, меди с вольфрамом или молибденом. При контактных усилиях  $F > 1$  Н и большой частоте срабатывания применяется вольфрам.

Наиболее дешевым материалом является медь, она применяется для мощных контактов, имеющих сравнительно большие размеры и требующих большого расхода материала. Контактные усилия для меди  $F > 3$  Н. Для защиты от коррозии кроме лужения применяется серебрение или кадмирование медных контактов.

## Электромагнитные нейтральные реле

### Назначение. Принцип действия

В системах автоматики одним из наиболее распространенных элементов является реле — устройство, в котором при плавном изменении входного (управляющего) сигнала осуществляется скачкообразное изменение (переключение) выходного сигнала.

В электромеханических реле изменение (переключение) выходного сигнала осуществляется посредством контактов, а усилие, перемещающее контакты, создается электромеханическим преобразователем электрической энергии в механическую. Простейшим из таких преобразователей является электромагнит. Поэтому из электромеханических реле наибольшее распространение получили электромагнитные реле.

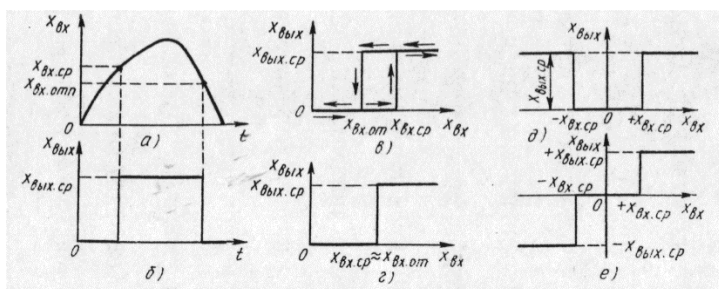


Рис. 14. Характеристики реле

Пусть входной сигнал  $x_{вх}$  изменяется во времени непрерывно (т. е. может принимать любые значения) от нуля до некоторого значения, а затем также непрерывно уменьшается, как показано на рис. 14, а. Сначала при малых значениях  $x_{вх}$  выходной сигнал  $x_{вых}$  равен нулю. Но когда входной сигнал увеличится до некоторого значения  $x_{вх.сп}$  выходной сигнал скачком примет значение  $x_{вых.сп}$  (рис. 14, б). При дальнейшем увеличении входного сигнала выходной сигнал не изменяется и остается равным  $x_{вых.сп}$ . При уменьшении сигнала  $x_{вх}$  значение выходного сигнала не изменяется, но при уменьшении его до значения  $x_{вх.отп}$  выходной сигнал скачком уменьшается до нуля. При дальнейшем уменьшении входного сигнала нулевое значение выходного сигнала сохраняется. Зависимость выходного сигнала от входного показана на рис. 14, а.

Значение входного сигнала  $x_{вх.сп}$ , при котором выходной сигнал скачком изменяется от 0 до  $x_{вых.сп}$ , называется сигналом срабатывания. Значение входного сигнала  $x_{вх.отп}$ , при котором выходной сигнал скачком изменяется от  $x_{вых.сп}$  до 0, называется сигналом отпускания. Как правило, сигнал срабатывания больше

сигнала отпускания ( $x_{\text{вых}} > x_{\text{выотп}}$ ). Поэтому изменение  $x_{\text{вых}}$  при увеличении  $x_{\text{вх}}$  происходит по одному графику, а при уменьшении  $x_{\text{вх}}$  — по другому (рис. 14, в). В этом случае можно сказать, что характеристика реле имеет петлю гистерезиса. В ряде случаев, когда значения сигналов срабатывания и отпускания близки, гистерезисом можно пренебречь. В этом случае зависимость  $x_{\text{вых}} = f(x_{\text{вх}})$  показана на рис. 14, г. Теперь рассмотрим изменение выходного сигнала при изменении полярности входного сигнала. Если полярность выходного сигнала не влияет на полярность входного сигнала, то при  $x_{\text{вс}} = -x_{\text{вхср}}$  выходной сигнал скачком изменяется от нуля до  $x_{\text{выхср}}$  (рис. 14, д). Такую характеристику имеют нейтральные реле. Если полярность выходного сигнала влияет на полярность выходного сигнала, то при  $x_{\text{вх}} = -x_{\text{вхср}}$  выходной сигнал скачком изменяется от нуля до  $-x_{\text{выхср}}$  (рис. 14, е). Такую характеристику и подобные ей имеют поляризованные реле.

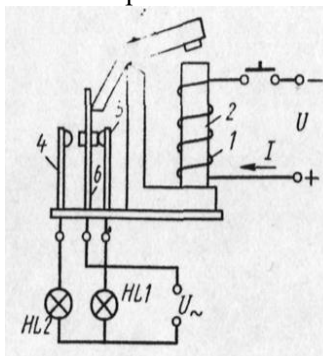


Рис. 15. Схема сигнализации с электромагнитным реле

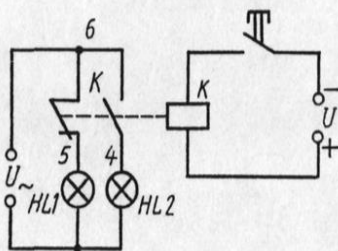


Рис. 16. Электрическая схема сигнализации (условное изображение)

По принципу действия различают электромеханические реле, магнитные бесконтактные реле, электронные, полупроводниковые и фотоэлектрические реле и др.

Реле применяются в схемах автоматического управления, а также для сигнализации, защиты и блокировки.

Рассмотрим работу реле на примере схемы сигнализации, показанной на рис. 15, с использованием реле. Реле состоит из

обмотки 1, размещенной на неподвижном сердечнике 2, подвижного якоря 3 и контактов 4, 5, 6. Сердечник с обмоткой и якорем представляет собой электромагнит. Когда под действием напряжения  $U$  по обмотке 1 проходит ток 1, якорь 3 притягивается к сердечнику 2 и перемещает подвижный контакт 6 влево. При этом контакты 5 и 6 замыкаются, а контакты 6 и 4 размыкаются. Контакт 6 размещен на плоской пружине. Когда ток в обмотке 1 прекратится, сила притяжения якоря 3 к сердечнику 2 будет равна нулю и усилие сжатой пружины контакта 6 заставит якорь вернуться в прежнее положение. При этом снова замкнутся контакты 5, 6 и разомкнутся контакты 6 и 4. Таким образом, основными частями реле являются электромагнит, контактный узел и противодействующая пружина.

Схема на рис. 15 работает следующим образом. Пока кнопка не нажата, ток в реле не поступает и горит лампа Н L.1 (зеленая), которая питается напряжением сети переменного тока  $U$ .. через замкнутые контакты 5 и 0. Лампа НL2 (красная) при этом не горит, поскольку контакты 6 и 4 разомкнуты. Если нажата кнопка, то ток идет в обмотку реле, оно срабатывает (т. е. в электромагните якорь 3 притягивается к сердечнику 2) и замыкаются контакты 6, 4, а контакты 5, 6 размыкаются. Загорается лампа НL2 (красная), получая питание через контакты 6, 4, а лампа НL1 гаснет. Так будет до тех пор, пока нажата кнопка. Если ее отпустить, то схема возвратится в исходное состояние.

На рис. 16 показана электрическая схема, соответствующая рис. 15, на которой использованы стандартные условные обозначения элементов. Обмотка реле обозначена прямоугольником. Контактные пары 5—6 и 6—4 показаны в том состоянии, в котором они находятся, когда ток по обмотке реле не проходит. Контакты 5—6 называются размыкающими, контакты 6—4 — замыкающими. Обратите внимание на то, что обмотка реле и его контакты обозначены одинаковыми буквами К. На электрической схеме они могут находиться в самых разных местах, хотя конструктивно относятся к одному и тому же устройству. Одно реле может иметь несколько замыкающих и размыкающих контактов, но все они должны обозначаться одинаковыми буквами (или буквами и цифрами, если в схеме используется несколько реле).

Ток и мощность в цепи обмотки реле обычно значительно



меньше, чем ток и мощность в цепи нагрузки, переключения в которой осуществляются с помощью контактов этого реле. Поэтому можно говорить о эффекте усиления, обеспечиваемом реле. Это значит, что кнопка и пени обмотки реле может быть маломощной. Например, вместо нее можно применить путевой выключатель или микропереключатель. А контакты реле уже могут быть достаточно мощными, но они размещены в более благоприятных условиях, чем управляющие контакты путевого выключателя, находящегося непосредственно на производственном механизме. Само реле находится обычно в каком-либо шкафу управления, а в конструкции реле предусмотрены меры по защите контактов.

Основные параметры и типы электромагнитных реле.

К основным параметрам электромагнитных реле относятся следующие.

Ток срабатывания  $I_{ср}$ , при протекании которого по обмотке реле происходит срабатывание электромагнита и переключение контактов.

Рабочий ток  $I_p$ , при котором обеспечивается надежное удержание контактов в переключенном состоянии. Обычно  $I_p > I_{ср}$ .

Ток отпускания  $I_{отп}$ , при котором электромагнит отпускает и контакты возвращаются в исходное состояние:  $I_{отп} < I_{ср}$ .

Допустимый ток через контакты  $I_{к доп}$ .

Допустимое напряжение между контактами  $U_{доп}$ , которое ограничивается напряжением пробоя между разомкнутыми контактами.

Время срабатывания  $t_{ср}$  — промежуток времени с момента подачи напряжения на обмотку реле до момента переключения контактов.

Время отпускания  $t_{отп}$  — промежуток времени с момента снятия напряжения с обмотки реле до момента отпускания реле.

По мощности управления (электрической мощности, потребляемой обмоткой) реле разделяют на маломощные ( $P_{кдоп} < 1$  Вт), средней мощности ( $P_{кдоп} = 1-10$  Вт) и мощные ( $P_{кдоп} > 10$  Вт). Мощность управления определяется напряжением питания реле и током срабатывания.

По времени срабатывания электромагнитные реле подразделяются на быстродействующие ( $t_{ср} < 50$  мс), нормальные ( $t_{ср}$  —

50 ÷ 150 мс) и замедленные ( $I_{cp} = 0,15 \div M$  с). Для получения задержки срабатывания па время больше секунды служат специальные реле времени.

В зависимости от питания обмотки реле и способа создания магнитного поля различают электромагнитные реле постоянного и переменного тока. В свою очередь, электромагнитные реле постоянного тока разделяются па нейтральные и поляризованные. В нейтральных реле независимо от направления тока в обмотке срабатывают одни и те же группы контактов. В поляризованных реле при одном направлении тока в обмотке срабатывает одна группа контактов, при другом направлении тока — другая группа контактов.

### Электромагнитные реле постоянного тока

Устройство электромагнитных реле постоянного тока показано на рис. 17: а — с поворотным якорем, б — с втяжным якорем.

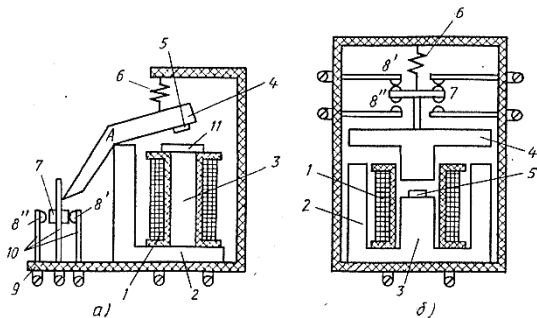


Рис. 17. Электромагнитные реле постоянного тока

Основные детали и узлы реле имеют следующие обозначения: 1 — катушка на каркасе; 2 — ярмо; 3 — сердечник; 4 — якорь; 5 — штифт отлипания (немагнитная прокладка); б — возвратная пружина; 7 — подвижные контакты; 8 — неподвижные контакты.

Магнитопровод электромагнитного механизма реле состоит из неподвижной и подвижной частей. Подвижная часть называется якорем. Неподвижная часть состоит из сердечника,

который находится внутри катушки, и ярма — той части магпитопроиода, которая охватывает катушку.

В реле с поворотным якорем (рис. 17, а) электромагнитный механизм и контактный узел закреплены на общем изоляционном основании 9. При протекании тока по обмотке катушки 1 якорь 4 притягивается к сердечнику 3 и совершает поворот относительно точки опоры А. При этом якорь перемещает подвижный контакт 7, который размыкается с неподвижным контактом 8' и замыкается с неподвижным контактом 8". Контакты закреплены на плоских пружинах 10, которые служат и для подсоединения к внешней цепи. Когда ток через обмотку реле прекращается, якорь поворачивается в исходное положение.

В некоторых реле это происходит под действием силы тяжести якоря, в некоторых — под действием контактных пружин или специальной возвратной пружины 6. Для того чтобы якорь при обесточивании обмотки не прилипал к сердечнику из-за остаточного намагничивания магпитопровода, на якорь устанавливается штифт отлипания 5 — пластинка из немагнитного материала, обеспечивающая зазор примерно в 0,1 мм между якорем и сердечником при срабатывании реле. Обычно сердечник имеет полюсный наконечник 11 для уменьшения магнитного сопротивления рабочего воздушного зазора.

В электромагнитном реле с втяжным якорем (рис. 17, б) при протекании тока по обмотке катушки 1 якорь 4 втягивается внутрь ее до упора в сердечник 3. При этом подвижные мостиковые контакты 7 размыкаются с неподвижными контактами 8' и замыкаются с неподвижными контактами 8". Возврат якоря 4 в исходное положение при обесточивании реле происходит под действием возвратной пружины 6. Как и в реле с поворотным якорем, для исключения залипания якоря служит штифт 5. Для возврата якоря в исходное положение может использоваться и сила тяжести якоря.

Реле постоянного тока получили большее распространение, чем реле переменного тока. Главное их преимущество — меньшие габариты и большая чувствительность. При наличии сети переменного тока можно включать реле постоянного тока через выпрямительные устройства.

Реле переменного тока имеет еще одну важную особенность по сравнению с реле постоянного тока. При питании обмотки реле от сети переменного тока сопротивление этой обмотки будет иметь как активную составляющую  $R$ , так и индуктивную составляющую  $X_L = \omega L$ , определяемую индуктивностью обмотки  $L$ . При подключении обмотки реле к постоянному напряжению ток не зависит от перемещения якоря, он остается постоянным и определяется сопротивлением  $R$ .

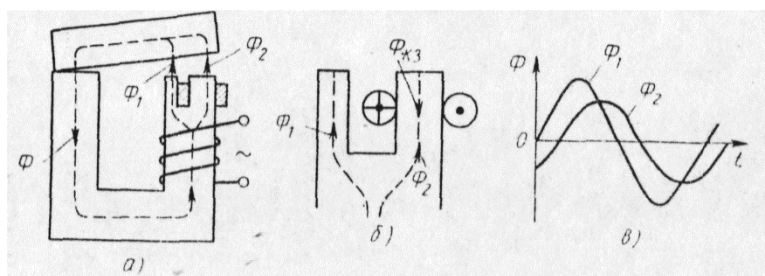


Рис. 18. Короткозамкнутый виток в реле переменного тока

Рассмотрим три основных способа устранения вибрации реле переменного тока: применение короткозамкнутого витка; применение многофазной обмотки; применение массивного якоря.

Наиболее часто для исключения вибрации реле переменного тока используется короткозамкнутый виток, охватывающий часть сердечника (рис. 18, а, б). В сердечнике делается щель на небольшую глубину (обычно пропиливается). В эту щель вставляется од-па сторона короткозамкнутого витка, обычно представляющего собой медную штампованную прямоугольную рамку. Принцип действия короткозамкнутого витка заключается в следующем. Переменный магнитный поток  $\Phi$ , созданный в обмотке реле, проходит по сердечнику и разветвляется на две части: один поток  $\Phi_1$  проходит по стали, не пронизывая плоскость витка; другой поток  $\Phi_2$  проходит по стали, наводя в витке переменную ЭДС, как во вторичной обмотке трансформатора. Так как виток замкнут накоротко, то в нем под действием наведенной

ЭДС пойдет ток, создавая магнитный поток  $\Phi_{\text{к л}}$ , препятствующий изменению магнитного потока  $\Phi_2$ . Это приводит к отставанию по фазе потока  $\Phi_2$  от потока  $\Phi_1$ , Следовательно, в рабочем зазоре реле переменного тока будут действовать для сдвинутых во времени потока (рис. 18, в). Поэтому электромагнитная тяговая сила ни в один из моментов времени не будет равна нулю; когда магнитный поток  $\Phi_1$ , равен нулю, то сила создается еще не равным нулю потоком  $\Phi_2$ , а когда этот поток  $\Phi_2$  станет равен нулю, уже поток  $\Phi_1$ , возрастет и обеспечит создание тяговой силы. С помощью корогкозамкнутого витка удается обеспечить отставание магнитного потока  $\Phi_2$  от  $\Phi_1$ , на  $(30—70^\circ)$ . Но за счет встречно направленного потока  $\Phi_{\text{ка}}$  величина  $\Phi_2$  получается меньше, чем  $\Phi_1$ .

Обеспечить равенство потоков  $\Phi_2$  и  $\Phi_1$  и сдвиг их по фазе на  $90^\circ$  можно с помощью двухфазного реле. Такое реле имеет два сердечника с отдельными обмотками и общий якорь. В цепь одной из обмоток включается конденсатор, обеспечивающий сдвиг по фазе токов в обмотках на  $90^\circ$ . При таком сдвиге фаз и равенстве магнитных потоков результирующая сила притяжения якоря будет иметь постоянное значение. При наличии трехфазной сети электромагнитный механизм реле может быть выполнен в виде Ш-образного сердечника с тремя обмотками (на каждом стержне — одна обмотка) и плоского якоря. Обмотки обычно соединяются звездой и включаются в трехфазную сеть. Три магнитных потока в трех рабочих зазорах будут создавать постоянное тяговое усилие на якоре. Однако точка приложения этого усилия будет перемещаться по якору: ведь сначала якорь сильнее притягивается к крайнему стержню, потом к среднему, к другому крайнему и т. д.

Утяжеленный якорь благодаря большой инерции не может вибрировать с удвоенной частотой ( $2\omega$ ), так как он не успевает отходить от сердечника в те моменты времени, когда ток в обмотке реле проходит через-нуль и тяговое усилие равно нулю. Однако применение утяжеленного якоря приводит к увеличению размеров реле и уменьшению чувствительности. Этот способ применяется редко, например когда исполнительный механизм, связанный с якорем реле, имеет большую инерцию.

При подключении обмотки реле к переменному напряжению ток будет изменяться в зависимости от перемещения якоря. Действительно, электромагнитный механизм реле похож на электромагнитный датчик перемещения: его индуктивность  $L$  возрастает с уменьшением воздушного зазора. Следовательно, при притягивании якоря к сердечнику индуктивное сопротивление будет возрастать, а ток — уменьшаться. Поэтому тяговое усилие реле переменного тока в отличие от реле постоянного тока мало увеличивается или вообще не увеличивается по мере уменьшения воздушного зазора.

### Электромагнитные поляризованные реле

#### Назначение. Принцип действия

В автоматических системах очень часто требуется, чтобы элементы, в том числе и электромагнитные реле, реагировали не только на значение, но и на полярность тока на входе. Например, в системе автоматического регулирования температуры при температуре сверх требуемого значения (задания) должен включаться охладитель (например, вентилятор), а при температуре ниже требуемого значения должен включаться нагреватель. Следовательно, реле при одной полярности входного сигнала должно включать одну группу контактов, а при другой полярности — другую. Как известно из электротехники, при пропускании тока по катушке с сердечником создается магнитное поле и на находящиеся в этом поле стальные детали будет действовать сила притяжения. Направление тока или знак индукции магнитного поля не влияют на направление силы.

Поляризованное реле с дифференциальной схемой магнитной цепи показано на рис. 19. Рабочий (управляющий) магнитный поток  $\Phi_y$  создается при протекании тока  $I$  по обмотке реле, состоящей из двух одинаковых половин  $1$  и  $1'$ , включенных последовательно и согласно. Постоянный (полярирующий) магнитный поток  $\Phi_n$  создается постоянным магнитом  $2$ . Катушки реле  $1$  и  $1'$  размещены на неподвижном сердечнике (ярье)  $3$ . Якорь  $4$  может поворачиваться относительно оси  $O$  в рабочем зазоре  $6$ . На якоре размещен подвижный контакт, который может замыкаться с неподвижными контактами  $5$  или  $5'$ .

Путь магнитного потока  $\Phi_y$  показан пунктиром, а путь магнитного потока  $\Phi_n$  — сплошной линией. Направление потока  $\Phi_n$  неизменно, а направление потока  $\Phi_y$  зависит от направления тока в катушке реле. На рис. 19 направление потока  $\Phi_y$  показано для указанного на этом рисунке па-правления тока 1.

Поляризующий поток  $\Phi_n$  проходит по якору 4 и разветвляется на две части  $\Phi_{n1}$  и  $\Phi_{n2}$  в соответствии с проводимостями

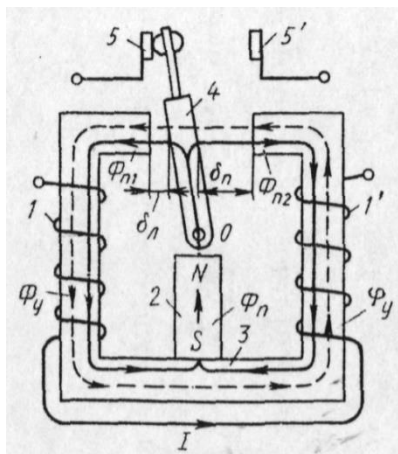


Рис. 19. Поляризованное реле

воздушных зазоров слева ( $\delta_{л}$ ) и справа ( $\delta_{ц}$ ) от якора. В зависимости от полярности тока 1 в обмотке реле рабочий поток  $\Phi_y$  вычитается из потока  $\Phi_{n1}$  в зазоре слева от якора и складывается с потоком  $\Phi_{n2}$  в зазоре справа от якора (как показано на рис. 19) или наоборот: потоки складываются в левом зазоре и вычитаются в правом зазоре при противоположном направлении тока.

Реле, показанное на рис. 19, является двухпозиционным.

Результирующее электромагнитное усилие, действующее на якорь поляризованного реле, направлено в сторону того зазора, где управляющий и поляризующий магнитные потоки складываются.

### Назначение контакторов и магнитных пускателей

Наиболее распространенным потребителем электрической энергии является электродвигатель. Примерно 2/3 всей вырабатываемой в стране электроэнергии потребляется электродвигателями. Основным коммутационным аппаратом, осуществляющим подключение электродвигателя к питающей сети, является

контактор. Электромагнитный контактор представляет собой выключатель, приводимый в действие с помощью электромагнита. По сути дела, это мощное электромагнитное реле, контактный узел которого способен замыкать и размыкать силовые цепи с токами в десятки и сотни ампер при напряжениях в сотни вольт. При таких электрических нагрузках необходимо принятие специальных мер по гашению дуги. Поэтому по сравнению с обычными электромагнитными реле электромагнитные контакторы имеют дугогасительные устройства и более мощные электромагнит и контактные узлы. Кроме силовых (мощных) контактов имеются и блокировочные контакты, используемые в цепях управления для целей автоматики. Различают контакторы постоянного и переменного тока. Для автоматического пуска, остановки и реверса электродвигателей применяют магнитные пускатели. Они представляют собой комплекты электрические аппараты, включающие в себя электромагнитные контакторы, кнопки управления, реле защиты и блокировки.

Контакторы и магнитные пускатели используются и для включения других мощных потребителей электроэнергии: осветительных и нагревательных установок, преобразовательного и технологического электрического оборудования.

К этой же группе электрических силовых аппаратов следует отнести автоматические выключатели, которые также предназначены для подключения к питающей сети мощных электропотребителей. Замыкание их контактов производится не с помощью электромагнита, а вручную. Автоматически они производят лишь выключение нагрузки, защищая ее от перегрузок по току. Если контакторы и магнитные пускатели способны работать при частых включениях и отключениях, то автоматические выключатели обычно применяют при включениях на продолжительное время. В типовые схемы электропривода обычно входят автоматический выключатель (питающий и силовые, и управляющие цепи) и магнитный пускатель (осуществляющий непосредственную коммутацию для пуска, остановки и реверса электродвигателя).

#### Устройство и особенности контакторов

Принцип действия контакторов такой же, как и у электромагнитных реле. Поэтому и устройство их во многом сходно.



Главное отличие заключается в том, что контакты контакторов коммутируют большие токи. Поэтому они выполняются более массивными, требуют больших усилий, между ними при разрыве возникает дуга, которую необходимо погасить.

Основными узлами контактора являются электромагнитный механизм, главный (силовой) контактный узел, дугогасительная система, блокировочный контактный узел.

Механизм осуществляет замыкание и размыкание контактов. При подаче напряжения на втягивающую катушку электромагнита якорь притягивается к сердечнику, а механически связанные с ним подвижные контакты замыкают силовую цепь и выполняют необходимые переключения в цепи управления.

Магнитные системы контакторов в зависимости от характера движения якоря и конструкции различают на поворотные и прямоходовые. Магнитопровод контактора поворотного типа устроен аналогично клапанному реле. Для устранения залипания якоря используют немагнитные прокладки. Для замыкания силовых контактов требуются значительно большие усилия, чем развиваемые в реле. Поэтому электромагнитный механизм контактора выполняется более мощным и массивным. При срабатывании контактора происходит довольно значительный удар якоря о сердечник. Частично этот удар принимает на себя немагнитная прокладка; кроме того, магнитную систему амортизируют пружиной, которая также уменьшает вибрацию контактов.

Магнитопровод контактора прямоходного типа имеет обычно прямообразную форму. В этом случае для устранения залипания якоря делают зазор между средними стержнями сердечника и якоря. Втягивающая катушка обычно обеспечивает включение и удержание якоря в притянутом положении. Но иногда используют две катушки: мощную включающую и менее мощную удерживающую. В этом случае контактор во включенном состоянии потребляет меньше электроэнергии, поскольку включающая катушка находится под током только короткое время. Размыкание контактов происходит за счет отключающей пружины при снятии напряжения с катушки контактора. Втягивающая катушка должна обеспечивать надежное срабатывание контактора при снижении напряжения до  $0,85 U_{ном}$ . По нагреву

катушка должна выдерживать повышение напряжения до  $1,05 U_{ном}$

В контакторах с поворотным якорем наибольшее распространение получили линейные перекатывающиеся контакты (см. рис. 13). В примоходных контактах применяются мостиковые контактные системы (см. рис. 12). Контактный мостик имеет большую массу и выполняется самоустанавливающимся, что снижает вибрацию контактов. Для предотвращения вибрации контактная пружина создает предварительное нажатие, равное примерно половине конечной силы нажатия.

У контакторов для длительного режима работы на поверхность медных контактов обычно наплавляется металлокерамическая или серебряная пластинка. Контакты иногда могут выполняться из меди, если образующаяся пленка окисла на рабочей поверхности контактов периодически снимается их самоочисткой. Дугогасительная система контакторов постоянного тока обычно выполняется в виде камеры с продольными щелями, куда дуга вытесняется с помощью магнитной силы. Дугогасительная система контакторов переменного тока обычно имеет вид камеры со стальными дугогасительными пластинами и двойным разрывом дуги в каждой фазе.

Блокировочные или вспомогательные контакты применяются для переключений в цепях управления и сигнализации, поэтому они имеют такое же конструктивное выполнение, как и контакты реле.

### Конструкции контакторов

Как правило, род тока в цепи управления, которая питает катушку контактора, совпадает с родом тока главной цепи. Поэтому контакторы постоянного тока, предназначенные для включения двигателей постоянного тока, имеют электромагнитный механизм, питаемый постоянным током. Соответственно контакторы переменного тока, предназначенные для включения двигателей (или другой нагрузки) переменного тока, имеют электромагнитный механизм, питаемый переменным током. Бывают и исключения. Известны,

например, случаи, когда катушки контакторов переменного тока получают питание от цепи постоянного тока.

Устройство контактора постоянного тока показано на рис. 20. Электромагнитный механизм поворотного типа состоит из сердечника 1 с катушкой 2, якоря 3 и возвратной пружины 4. Сердечник 1 имеет полюсный наконечник, необходимый для увеличения магнитной проводимости рабочего зазора электромагнита. Немагнитная прокладка 5 служит для предотвращения залипания якоря. Силовой контактный узел состоит из неподвижного 6 и подвижного 7 контактов. Контакт 7 шарнирно закреплен на рычаге 8, связанном с якорем 8 и прижатом к нему нажимной пружиной 9. Подвод тока к подвижному контакту 7 выполнен гибкой медной лентой 10. Замыкание главных контактов 6 и 7 происходит с проскальзыванием и перекатыванием, что обеспечивает очистку контактных поверхностей от окислов и нагара.

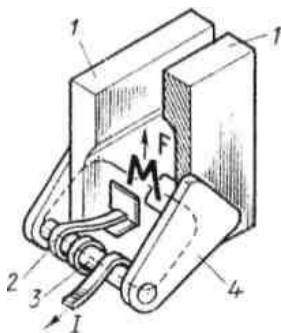


Рис. 20. Контактор постоянного тока

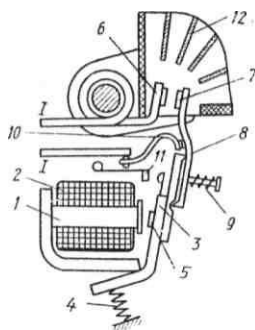


Рис. 21. Дугогасительная камера с электромагнитным дутьем

При срабатывании электромагнитного механизма кроме главных контактов переключаются вспомогательные контакты блокировочного контактного узла 11. При размыкании главных контактов 6 и 7 между ними возникает электрическая дуга, ток которой поддерживается за счет ЭДС самоиндукции в обмотках отключаемого электродвигателя. Для интенсивного гашения электрической дуги служит дугогасительная камера 12. Она имеет дугогасительную решетку в виде тонких металлических

пластин, которые разрывают дугу на короткие участки. Пластины интенсивно отводят теплоту от дуги и гасят ее. Однако при большой частоте включения контактора пластины не успевают остывать и эффективность дугогашения падает.

Для вытеснения дуги в сторону дугогасительной решетки можно использовать электромагнитную силу, так называемое магнитное дутье. На рис. 21 показана дугогасительная камера с узкой щелью и магнитным дутьем. Щелевая камера образована двумя стенками 1, выполненными из изоляционного материала. Система магнитного дутья состоит из катушки 2, включенной последовательно с главными контактами и размещенной на сердечнике 3. Для подвода магнитного поля в зону образования дуги служат ферромагнитные щеки 4. В результате взаимодействия электрического тока дуги с магнитным полем появляется сила  $F$ , которая растягивает дугу и вытесняет ее в щелевую камеру между стенками 1. За счет усиленного отвода теплоты стенками камеры дуга быстро гаснет.

При последовательном включении главных контактов и катушки магнитного дутья направление силы  $F$  остается постоянным при любом направлении тока в силовой цепи, поскольку сила  $F$  пропорциональна квадрату тока (ведь магнитное поле создается этим же током). Поэтому магнитное дутье можно использовать и в контакторах переменного тока.

Контакторы переменного тока отличаются от контакторов постоянного тока, прежде всего тем, что они, как правило, выполняются трехполюсными. Основное назначение контакторов переменного тока — включение трехфазных асинхронных электродвигателей. Поэтому они имеют три главных (силовых) контактных узла. Все три главных контактных узла работают от общего электромагнитного приводного механизма клапанного типа, который поворачивает вал с установленными на нем подвижными контактами. С этим же приводом связаны вспомогательные контакты. Главные контактные узлы имеют систему дугогашения с магнитным дутьем и дугогасительной щелевой камерой или дугогасительной решеткой. В контакторах быстрее всего изнашиваются главные контакты, поскольку они подвергаются интенсивной эрозии (как говорится, контакты выгорают). Для

увеличения общего срока службы контакторов предусматривается возможность смены контактов.

Наиболее сложным и трудным этапом работы контактов является процесс их размыкания. Именно в этот момент контакты оплавляются, между ними возникает дуга. Для облегчения работы главных контактов при размыкании выпускаются контакторы переменного тока с полупроводниковым блоком. В этих контакторах параллельно главным замыкающим контактам включают по два тиристора (управляемых полупроводниковых диода). Во включенном положении ток проходит через главные контакты, поскольку тиристоры находятся в закрытом состоянии и ток не проводят. При размыкании контактов схема управления на короткое время открывает тиристоры, которые шунтируют цепь главных контактов и разгружают их от тока, препятствуя возникновению электрической дуги. Такие комбинированные тиристорные контакторы выпускаются на токи в сотни ампер. Поскольку тиристоры работают в кратковременном режиме, они не перегреваются и не нуждаются в радиаторах охлаждения.

Коммутационная износостойкость комбинированных контакторов составляет несколько миллионов циклов, в то время как главные контакты обычных контакторов постоянного и переменного тока выдерживают обычно 150—200 тыс. включений.

### Магнитные пускатели

Магнитный пускатель — это комплектное устройство, предназначенное главным образом для пуска трехфазных асинхронных двигателей. Основной составной частью магнитного пускателя является трехполюсный контактор переменного тока. Кроме того, контактор имеет кнопки управления и тепловые реле.

Схема включения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором показана на рис. 22. Для пуска электродвигателя М нажимается кнопка SB1 («Пуск»). Через катушку контактора КМ проходит ток, электромагнит контактора срабатывает, и замыкаются все его контакты, которые на схеме обозначаются теми же буквами КМ. Силовые контакты КМ подключают на трехфазное напряжение обмотку электродвигателя М.

Параллельно кнопке SB1 подсоединены блокировочные контакты КМ. Так как они замкнулись, то после отпущения кнопки SB1 катушка контактора получает питание по этим контактам. Следовательно, для включения электродвигателя не надо все время держать кнопку нажатой: достаточно ее один раз нажать и отпустить. Для остановки электродвигателя служит кнопка SB2 («Стоп»), при нажатии которой разрывается цепь питания контактора КМ. Для защиты электродвигателя от перегрева служат тепловые реле FP1 и FP2, чувствительные элементы которых включаются в две фазы электродвигателя, а размыкающие контакты, обозначенные теми же буквами, включены в цепь питания катушки контактора КМ.

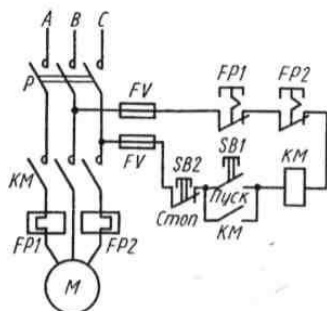


Рис. 22. Схема включения трехфазного асинхронного электродвигателя с магнитным пускателем

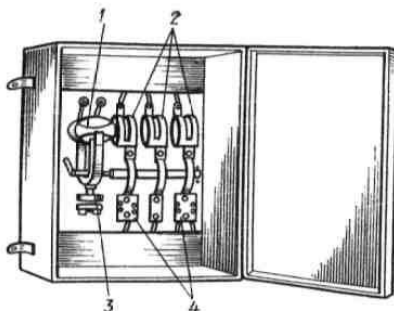


Рис. 23. Конструкция неререверсивного магнитного пускателя

Для защиты самой схемы управления служат плавкие предохранители FV. На схеме показан также рубильник P, который обычно замкнут. Его размыкают лишь в том случае, когда собираются проводить ремонтные работы. Подобная схема является типовой, она применяется во всех случаях, когда не требуется изменение направления вращения (реверс) электродвигателя и интенсивное (принудительное) торможение.

На рис. 23 показана конструкция неререверсивного магнитного пускателя, который смонтирован в ящике с открывающейся крышкой. Электромагнитный механизм 1 контактора при срабатывании перемещает три подвижных контакта 2, размещенных в

дугогасительных камерах. Одновременно переключаются блокировочные контакты 3. Последовательно с двумя главными контактными узлами включены тепловые реле 4.

Кнопки «Пуск» и «Стоп» обычно находятся вне ящика пускателя, они размещены на пульте управления под рукой у рабочего. Кнопка «Стоп» имеет красный цвет. Реверсивная схема включения трехфазного асинхронного двигателя показана на рис. 24. Для того чтобы реверсировать (изменить направление вращения) трехфазный асинхронный двигатель, необходимо изменить порядок чередования фаз на обмотке статора. Например, если для прямого вращения фазы подключались в последовательности АВС, то для обратного вращения необходима последовательность АСВ. Поэтому в состав реверсивного магнитного пускателя входят два контактора: КВ для вращения вперед и КН для вращения назад. Кроме того, реверсивный магнитный пускатель имеет три кнопки управления и тепловые реле. В ряде случаев в комплект магнитного пускателя входят пакетный переключатель и плавкие предохранители. Схема (рис. 24) работает следующим образом.

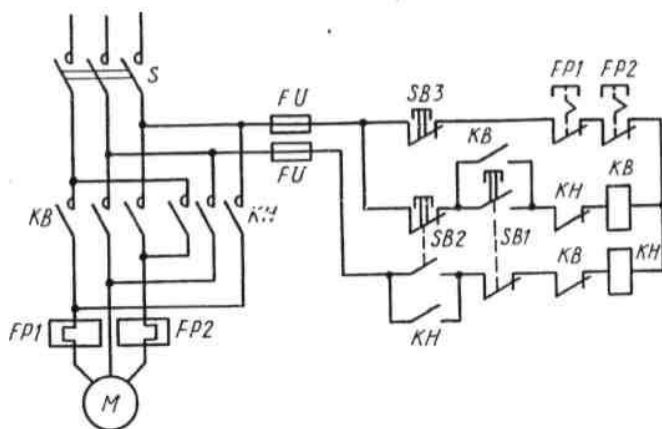


Рис. 24. Схема включения трехфазного асинхронного электродвигателя с реверсивным магнитным пускателем

Для включения электродвигателя М в прямом направлении необходимо нажать кнопку SB1 («Вперед»). При этом срабатывает контактор КВ и своими силовыми контактами подключает к трехфазной сети обмотки электродвигателя. Одновременно блокировочные контакты КВ разрывают цепь питания катушки контактора КН, чем исключается возможность одновременного включения обоих контакторов. Для включения электродвигателя в обратном направлении необходимо нажать кнопку SB2 («Назад»). В этом случае срабатывает контактор КН и своими силовыми контактами подключает к трехфазной сети обмотки электродвигателя. Последовательность соединения фаз теперь иная, чем при срабатывании контактора КВ: две фазы из трех поменялись местами. При срабатывании контактора КН его блокировочные контакты разрывают цепь питания катушки контактора КВ. Нетрудно видеть, что при одновременном включении контакторов КВ и КН произошло бы короткое замыкание двух линейных проводов трехфазной сети друг на друга. Для того чтобы исключить такую аварию, и нужны блокировочные замыкающиеся контакты контакторов КВ и КН. Следовательно, если подряд нажать обе кнопки (SB1 и SB2), то включится только тот контактор, кнопка которого была нажата раньше (пусть даже на мгновение).

Для реверса электродвигателя надо предварительно нажать кнопку SB3 («Стоп»). В этом случае блокировочные контакты подготавливают цепь управления для нового включения. Для надежной работы необходимо, чтобы силовые контакты контактора разомкнулись раньше, чем произойдет замыкание блокировочных контактов в цепи другого контактора. Это достигается соответствующей регулировкой положения блокировочных контактов по ходу якоря электромагнитного механизма контактора. Для блокировки кнопок SB1 и SB2 используются замыкающиеся блокировочные контакты соответствующего контактора, подключенные параллельно кнопке.

Необходимо исключить одновременное срабатывание обоих контакторов, для чего используют двойную или даже тройную блокировку. Для этой цели в схеме рис. 26 применяют двухцепные кнопки SB1 и SB2. Например, кнопка SB1 при нажатии замыкает свои контакты в цепи контактора КВ и разрывает свои



контакты в цепи контактора КН. Аналогично работает двухцепная кнопка SB2. Кроме того, реверсивные магнитные пускатели могут иметь механическую блокировку с перекидным рычагом, препятствующим одновременному срабатыванию электромагнитов контакторов. Контакты тепловых реле FP1 и FP2, включенные в две фазы обмотки электродвигателя, отключают цепь питания катушек обоих контакторов при длительном протекании большого тока, чтобы не допустить перегрева обмоток. Для защиты схемы управления служат плавкие предохранители FV.

Магнитные пускатели и контакторы выбирают по номинальному току электродвигателя с учетом условий эксплуатации. В промышленности применяются магнитные пускатели серий ПМЕ и ПМЛ с прямоходовыми контакторами и серии ПАЕ с подвижной системой поворотного типа.

#### **Вопросы для повторения:**

1. Для чего предназначены коммутационные элементы?
2. Какие обязательные узлы имеют все коммутационные элементы, используемые в цепях управления?
3. Что называется кнопки управления?
4. Для чего предназначены переключатели в открытом исполнении?
5. Что представляет собой путевые и конечные выключатели?
6. На какие основные типы по форме могут быть подразделены контактирующие поверхности всей конструкции контактов?
7. Какой ряд требований необходимо обеспечить при выборе материала контактов?
8. Что называется реле?
9. По какому принципу действия различают реле?
10. Назначение электромагнитного контактора?
11. Что является основными узлами контактора?
12. Что называется магнитным пускателем?

### 4.3. Логические элементы

План лекции:

1. Основные понятия и определения двоичной (Булевой) алгебры.
2. Алгебраическая запись структуры и условий работы релейных схем.
3. Методы анализа и синтеза схем автоматики.
4. Минимизация схем.
5. Логические элементы.
6. Операции реализуемые логическими элементами минимизации логических функций.
7. Порядок составления бесконтактных схем автоматики на логических схемах.

Общие сведения о цифровых логических элементах И, ИЛИ, НЕ.

Современное развитие систем автоматики характеризуется объемом и скоростью переработки информации, увеличением чувствительности и точности действия технических средств, усложнением алгоритмов функциональных, все возрастающими требованиями к надежности работы. Однако релейно - контактная аппаратура, широко используемая раньше, не вполне отвечала новым задачам, поскольку имела относительно низкую надежность, малое быстродействие, большие габариты, массу и стоимость и плохо приспособлена для работы в условиях повышенной влажности, запыленности, вибраций, которые характерны для многих производственных процессов в сельской местности.

Замена релейно–контактной аппаратуры бесконтактными устройствами было весьма целесообразно как средство повышения быстродействия и надежности элементов автоматики и существенного снижения эксплуатационных расходов. В последнее время наряду с бесконтактными датчиками и усилителями используют бесконтактные логические элементы: логические элементы осуществляют определенную логическую зависимость между входными и выходными сигналами элемента. Высокая надежность и быстродействие, практически неограниченные

сроки службы и число срабатываний в условиях нормального режима работы позволяют строить на основе логических и функциональных элементов самые разнообразные системы автоматики, телемеханики, связи и электронно-вычислительные устройства. Логические и функциональные элементы стандартизированы и унифицированы по уровням питания, входным и выходным сигналам, нагрузками габаритам. Это значительно упрощает процесс проектирования и технологию изготовления различных систем автоматики, а также облегчает монтаж, наладку и обслуживание аппаратуры.

Логическая функция - это функция логических переменных, которая может принимать только два значения : 0 или 1. В свою очередь, сама логическая переменная (аргумент логической функции) тоже может принимать только два значения : 0 или 1.

Логический элемент - это устройство, реализующее ту или иную логическую функцию.

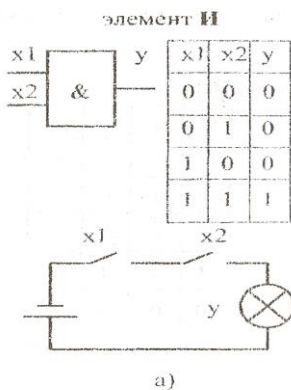
Алгебра логики изучает различные логические зависимости между высказываниями и оперирует только двумя понятиями и значениями: истинно - « 1 » ложно - « 0 ».

В алгебре логики выделяют три основные логические функции: 1) логическое умножение или конъюнкция (И); 2) логическое сложение, или дизъюнкция (ИЛИ); 3) логическое отрицание (НЕ). Рассмотрим сущность этих логических функций.

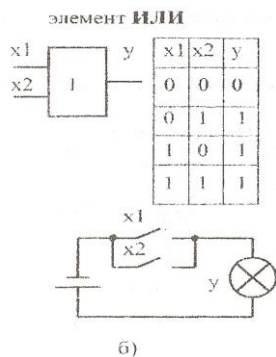
Логическое умножение - И. Эту операцию можно выполнять над двумя и более высказываниями. Структурная формула  $F = a \cdot b$ . Функция принимает значение только тогда, когда аргумент а и аргумент в равны 1, то есть оба значения истинны. При любой другой комбинации значений а и б получим 0. Действительно, если  $a = 0, b = 1$ , то  $f = 0 \cdot 1 = 0$ ; если  $a = 1, b = 0$ , то также  $f = 1 \cdot 0 = 0$ . в электрической схеме элемент, реализующий логическую операцию И, по своему действию аналогичен цепи, состоящей из последовательно включены контактов реле.

Цепь тока образуется тогда, когда замкнуты все контакты.

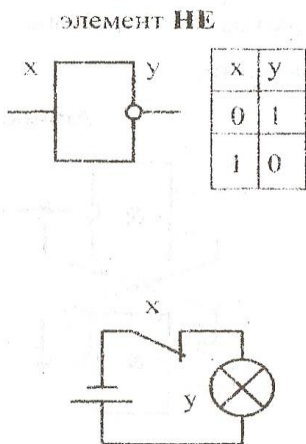
Логическое сложение - ИЛИ. Данная операция представляет собой сложное высказывание, которое истинно при истинности хотя бы одного из составляющих его высказываний, и ложно, если все высказывания ложны. Составляющих высказываний может быть два и более. Структурная формула  $F = a + b$ .



Функция принимает значение 0 тогда и только тогда, когда оба аргумента равны 0, а значение 1, когда или вход а, или вход б, или оба вместе имеют значение 1. В электрической схеме функции ИЛИ соответствует параллельное включенным контактам.

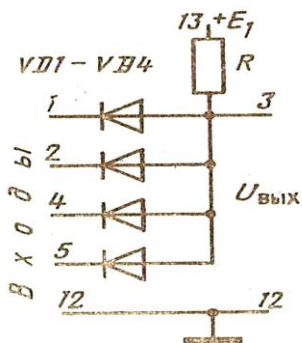


Логическое отрицание - НЕ. Эта операция преобразует истинное высказывание в ложное и ложное в истинное. Структурная формула  $f = \bar{a}$ . Выход всегда противоположен входу. В электрической цепи функцию логического отрицания может выполнять реле с размыкающими контактами (при подаче напряжения контакты реле размыкаются).

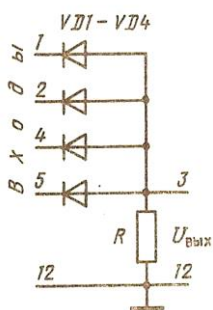


Логические элементы являются основными элементами для построения логических цепей вычислительных машин и дискретных систем автоматики; совокупность логических элементов образует логическую структуру блока, узла, устройства машины. Набор логических элементов, состоящий из элементов «И», «ИЛИ», «НЕ», с помощью которого можно построить логическую структуру любой сложности, называется функционально полной.

Электрические схемы логических элементов И, ИЛИ, НЕ и их принцип действия.



При сигнале «0» на всех входах все диоды открыты и поскольку сопротивление резистора  $R$  значительно больше прямого сопротивления диодов, напряжение на выходе оказывается близким к нулю. Если напряжение на одном из входов соответствует логической «1» ( $E > E_1$ ), то соответствующий диод закрывается, однако остальные диоды открыты и на выходе по-прежнему будет сигнал равный «0». Сигнал «1» появится на выходе только тогда, когда на все входы будет воздействовать сигнал «1», все диоды окажутся закрытыми, ток через резистор будет равен нулю и  $U_{\text{ВЫХ}} = E_1$ , что соответствует логической «1».



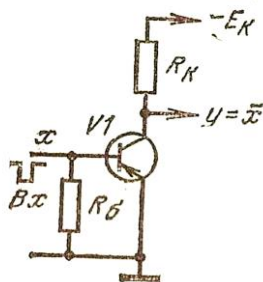
Электрическая схема логического элемента «ИЛИ»

При воздействии сигнала «1» ( $-E$ ) хотя бы на один вход например на первый открывается соответствующий диод ( $VD$ ) и выход соединяется с входом ( $F = 1$ ). Остальные диоды закрыты, т.е. выходной сигнал не попадает на входы, на которых  $U_{\text{ВХ}} = 0$ . При воздействии сигнала «0» на выходе будет так же нулевой сигнал.

Электрическая схема логического элемента «НЕ»

Электрическая схема логического элемента «И».

При сигнале «0» на всех входах все диоды открыты и поскольку сопротивление резистора  $R$  значительно больше прямого сопротивления диодов, напряжение на выходе оказывается близким к нулю. Если напряжение на одном из входов соответствует логической «1» ( $E > E_1$ ), то соответствующий диод закрывается, однако остальные диоды открыты и на выходе по-прежнему будет сигнал равный «0». Сигнал «1» появится на выходе только тогда, когда на все входы будет воздействовать сигнал «1», все диоды окажутся закрытыми, ток через резистор будет равен нулю и  $U_{\text{ВЫХ}} = E_1$ , что соответствует логической «1».



В исходном состоянии транзистор  $V_1$  закрыт (отсутствие отпирающего напряжения на его базе) что соответствует логической «1» на его входе (высокий потенциал по отношению к потенциалу зажима  $-E_K$ ); в этот момент на выходе (коллектор  $V_1$ ) потенциал практически равен потенциалу зажима  $-E_K$ , что соответствует логическому «0». При отрицательном импульсном сигнале на входе транзистор откроется, на выходе появится сигнал единица, т.е. будет выполнена инверсия.

В логических элементах могут использоваться различные компоненты – интегральные микросхемы, транзисторы, диоды, электромагнитные реле в комбинации электронных и магнитных компонентов.

Наибольшее распространение получили электронные логические элементы вследствие таких преимуществ, как высокое быстродействие, надежность, малый расход энергии.

Разновидности логических элементов и их релейные эквиваленты.

Кроме трех основных логических функций, применяются производные от них с более сложной логической связью. К ним относятся следующие функции: ИЛИ-НЕ (стрелка Пирса), И НЕ (штрих Шеффера), равнозначность (эквивалентность), неравнозначность (неэквивалентность), импликация, запрет, память, задержка, повторение и др.

Функция ИЛИ - НЕ (инверсия суммы) в структурном виде для двух аргументов записывается как  $F = a + b$ . Она принимает значение 1 тогда и только тогда, когда оба аргумента равны 0, то есть функция истинна, лишь когда ложны оба входящие в нее высказывания. Стрелке Пирса аналогично в электрической цепи последовательное включение двух или более размыкающих контактов. Цепь будет замкнута, если ни на одно реле не подан сигнал.

Функция И - НЕ (инверсия произведения) в структурном виде записывается как  $F = a\bar{b}$ . Функция принимает значение 0 тогда и только тогда, когда оба аргумента имеют значение 1, то есть функция ложна, лишь когда истинны оба входящие в нее высказывания. Электрический эквивалент штриха Шеффера - параллельное включение двух или более размыкающих контактов. Цепь будет разомкнута, если на оба реле подан сигнал.

Таблица 1

Логические функции	Условные обозначения		Релейный эквивалент
	форма I	форма II	
Конъюнкция И $F = a \cdot b$			
Дизъюнкция ИЛИ $F = a + b$			
Отрицание НЕ $F = \bar{a}$			
Стрелка Пирса ИЛИ-НЕ $F = \overline{a \cdot b}$			
Штрих Шеффера И-НЕ $F = \overline{a \cdot b}$			
Равнозначность $F = \overline{a \cdot b} + a \cdot b$		—	
Неравнозначность $F = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$		—	
Импликация $F = \bar{a} + b$			
Запрет $F = a \cdot \bar{b}$			
Повторение			
Задержка $F = a(t - \tau)$		—	

Функция рвнозначность в структурном виде записывается как  $F = ab + ab$ . Функция принимает значение 1 тогда и только тогда, когда оба аргумента одновременно имеют одинаковые значения, и принимает значение 0, когда аргументы имеют разные значения, то есть сложное высказывание истинно, лишь когда оба высказывания истинны или ложны одновременно.

Функция неравнозначнасть в структурном виде записывается как  $F = ab + ab$ . Функция принимает значение 1 тогда и только тогда, когда либо аргумент  $a$ , либо аргумент  $b$  равен 1, но не оба вместе, то есть сложное высказывание истинно, лишь когда одно из высказываний истинно, а другое ложно. Электрический аналог данной функции - схема, в которой на выходе появляется сигнал, если сигнал подан только на одни из входов; при одновременном поступлении на входы двух сигналов на выходе схемы сигнала не будет.

Функция импликация в структурном виде записывается как  $F = a + b$ . Функция принимает значение 0 тогда и только тогда, когда аргумент  $a$  имеет значение 1, а аргумент  $b$  - значение 0, то есть сложное высказывание ложно, лишь когда первое высказывать истинно, а второе - ложно,

Функция запрет в структурном виде записывается как  $F = ab$ . Функция принимает значение 0, если на вход  $b$  подан сигнал 1, каким бы при этом ни был сигнал на входе  $a$ .

Функция повторение в структурном виде записывается как  $F = ka$  и означает, что функция принимает значение  $v$   $k$  раз отличное от значения входного сигнала, совпадая с ним по знаку.

Функция задержка в структурном виде записывается как  $F = a(t - \tau)$  и означает, что функции принимает значение, совпадающее или отличное по знаку от входного сигнала  $a$ , через время  $\tau$  после его подачи.

### **Вопросы для повторения:**

1. Нарисовать электрическую схему логического элемента «И».
2. Нарисовать электрическую схему логического элемента «ИЛИ».
3. Нарисовать электрическую схему логического элемента «НЕ».
4. Какие базисные логические элементы Вы знаете?



5. Где используются логические элементы?
6. Почему произошла замена релейно–контактных логических элементов на бесконтактные электронные логические элементы.

#### 4.4. Задающие или сравнивающие устройства

План лекции:

1. Электрические задающие устройства.
2. Исполнительные механизмы и регулирующие органы.
3. Классификация исполнительных элементов.
4. Электрические и эл. маг. исполнительные элементы, принцип их действия, статические и динамические характеристики.

Назначение электромагнитных исполнительных устройств

Исполнительные устройства в системах автоматики предназначены для приведения в действие (т. е. для привода) различных регулирующих органов, оказывающих непосредственное воздействие на объект управления с целью достижения выходной величиной этого объекта требуемого значения. Существует большое разнообразие регулирующих органов: для изменения подачи жидкостей и газов в трубопроводах устанавливаются заслонки, клапаны, шиберы и краны; в подъемно-транспортных устройствах это различные контакторы, муфты, тормоза, вариаторы скорости; в осветительных и нагревательных электроустановках это различные коммутационные аппараты.

Для воздействия на регулирующие органы необходимо выполнить механическую работу: повернуть заслонку или кран, соединить две половинки муфты, переместить шестерню на валу коробки передач, замкнуть контакты и т. д. Входным сигналом исполнительного устройства в электрических системах автоматики является электрический ток или напряжение, а выходным сигналом — механическое перемещение.

Для преобразования электрической энергии в механическую служат электромагниты и электродвигатели. В данной главе

будут рассмотрены только электромагнитные исполнительные устройства. Электродвигатели являются электрическими машинами и изучаются в соответствующем курсе. Следует отметить, что почти всегда, когда ставится вопрос о разработке привода для регулирующего органа, приходится делать выбор между двумя вариантами: электромагнит или электродвигатель. Основное преимущество электромагнита — простота конструкции. У электродвигателя достоинств больше: высокий КПД, возможность получения любых скоростей и перемещений. Однако эти преимущества проявляются только в сравнительно сложных системах автоматики и при продолжительном режиме работы. При необходимости иметь небольшие перемещения (несколько миллиметров) и усилия (несколько десятков—сотен ньютонов) электромагниты выгоднее, чем электродвигатель с редуктором.

В предыдущих главах уже рассматривались электромагниты, используемые как составная часть электромагнитных реле и контакторов. В данной главе будут рассмотрены общие вопросы классификации электромагнитов, их расчета, конструирования, применения в качестве исполнительных элементов систем автоматики.

### Классификация электромагнитов

В зависимости от вида тока в обмотке электромагниты подразделяют на электромагниты постоянного и переменного токов, по скорости срабатывания — на быстродействующие, нормальные и замедленного действия. По назначению электромагниты разделяют на приводные и удерживающие.

Приводные электромагниты служат для выполнения механической работы. При подаче питания они перемещают различные исполнительные устройства: клапаны, толкатели, заслонки, золотники, железнодорожные стрелки. Они перемещают контакты реле и контакторов, печатающие и перфорирующие устройства. Для выполнения этой работы электромагниты должны быть рассчитаны на определенную силу и перемещение.

Удерживающие электромагниты служат не для перемещения, а лишь для удерживания ферромагнитных деталей. Например, электромагнит, используемый при подъеме железного

металлолома, только удерживает его, а перемещение осуществляется подъемным краном. В этом случае, электромагнит выполняет лишь роль крюка подъемного крана. В металлообработке используются электромагнитные плиты для фиксации обрабатываемой детали на станке. Известны также электромагнитные замки. Поскольку удерживающие электромагниты не совершают работы, они рассчитываются лишь на определенное усилие. В некоторых случаях электромагнит имеет две катушки: одна, более мощная, используется для перемещения якоря, а другая — лишь для удерживания якоря в притянутом положении.

Велико разнообразие электромагнитов специального назначения. Они используются для фокусировки электронных пучков в телевидении, в ускорителях элементарных частиц, в разнообразных измерительных приборах, в медицинской аппаратуре и т. д.

По конструктивному выполнению различают клапанные (поворотные), прямоходовые и электромагниты с поперечным движением. Клапанные электромагниты имеют небольшое перемещение якоря (несколько миллиметров) и развивают большое тяговое усилие.

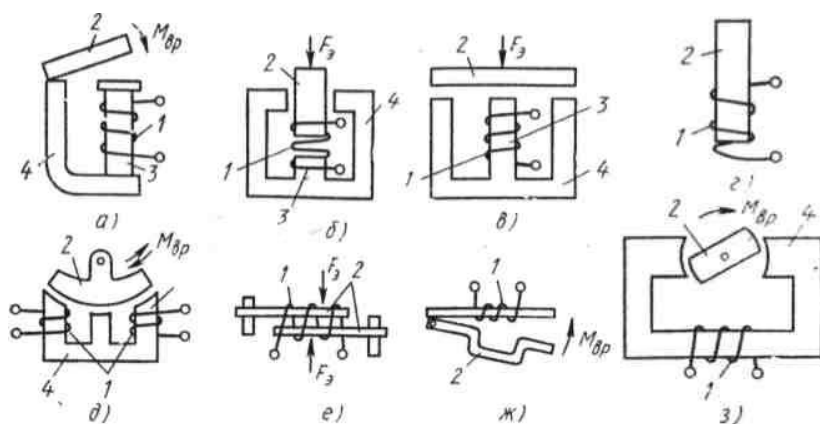


Рис. 1. Варианты конструктивных схем электромагнитов

Прямоходовые электромагниты имеют большой ход якоря и большое быстродействие; по размерам они меньше,

чем клапанные. Часто они представляют собой соленоид (цилиндрическую катушку, втягивающую в себя ферромагнитный стержень), поэтому их иногда называют соленоидными электромагнитами.

Различные конструкции электромагнитов показаны на рис. 1. Несмотря на большое их многообразие (далеко не все возможные конструкции показаны на этом рисунке), все они состоят из катушки 1, якоря (подвижного магнитопровода) 2, неподвижного магнитопровода (сердечника 3 и ярма 4). Кроме того, они имеют различные пружины, крепежные, фиксирующие и передающие детали, корпус. По конструкции магнитной цепи различают электромагниты с разомкнутым (рис. 1, г, е) и замкнутым магнитопроводом (рис. 1, а, б, в, д, ж, з). По форме магнитопровода различают электромагниты с П-образным, Ш-образным и цилиндрическим магнитопроводом.

Магнитопроводы электромагнитов постоянного тока обычно выполняются сплошными из магнитомягких материалов: обычных конструкционных сталей и низкоуглеродистых электротехнических сталей. Высокочувствительные электромагниты имеют магнитопровод из пермаллоев (сплавов железа с никелем и кобальтом). В быстродействующих электромагнитах стремятся к уменьшению вихревых токов, для чего используют электротехнические кремнистые стали с повышенным электрическим сопротивлением и шихтованный (наборный) магнитопровод.

Для уменьшения потерь на вихревые токи магнитопровод электромагнитов переменного тока собирают (шихтуют) из изолированных пластин толщиной 0,35 или 0,5 мм. В качестве материала используются горячекатаные и холоднокатаные электротехнические стали. Отдельные части магнитопровода, которые трудно выполнить шихтованными, изготавливают из сплошного материала толщиной 2—3 мм.

Катушки электромагнитов по своей конструкции бывают каркасные и бескаркасные, а по форме сечения — круглые и прямоугольные. Провод каркасной катушки наматывают па каркас из изоляционного материала (текстолит, гетинакс, пластмасса). Провод бескаркасной катушки наматывают прямо на сердечник, обмотанный изоляционной лентой, или па специальный шаблон. Для обеспечения прочности катушки, выполненной на шаблоне,

ее обматывают лентой (бапдажируют) и пропитывают компаундным лаком. Катушки, как правило, наматывают медным проводом с изоляцией, выбираемой исходя из назначения и условий работы электромагнита.

В зависимости от способа включения различают последовательные и параллельные катушки. Параллельные катушки имеют большое число витков и наматываются тонким проводом. Обычно они включаются на полное напряжение сети. Последовательные катушки имеют сравнительно малое сопротивление, так как выполняются толстым проводом и с малым числом витков. Ток такой катушки определяется не ее сопротивлением, а зависит от тех устройств, с которыми катушка включена последовательно.

Различают также электромагниты, предназначенные для длительной, кратковременной и повторно-кратковременной работы.

Электромагнитная муфта предназначена для передачи вращающего момента двигателя к рабочему механизму. Муфта состоит из двух частей: ведущей и ведомой, — которые образуют замкнутую магнитную систему. Муфта выполнена из ферромагнитных материалов и имеет одну или несколько обмоток возбуждения.

Различают фрикционные муфты и асинхронные (индукционные) муфты. Во фрикционных муфтах передача вращения происходит за счет силы трения между ведущей частью, закрепленной на валу электродвигателя, и ведомой частью, которая может перемещаться вдоль вала рабочего механизма на шлицах или шпонке. При подаче тока в обмотку возбуждения создается магнитодвижущая сила и подвижная часть муфты прижимается к неподвижной. Такая муфта работает как электромагнит. Для передачи значительных моментов используются многодисковые конструкции электромагнитных муфт. Как на ведущем, так и на ведомом валу имеется несколько стальных дисков, которые под действием МДС притягиваются друг к другу и благодаря трению их поверхностей передается вращение. Соприкасающиеся поверхности фрикционных муфт выполняют из специального материала — сплава фер-радо, имеющего коэффициент трения в 3—4 раза больший, чем у стали.

Различают конструкции электромагнитных фрикционных муфт с неподвижной катушкой электромагнита и с вращающейся катушкой.

В маломощных муфтах (рис. 26, а) ведущая 1 и ведомая 2 полумуфты не имеют обмоток, но одна из них (обычно ведомая) может перемещаться вдоль вала по шпонке или шлицам. Обе муфты окружены неподвижной катушкой электромагнита 3, которая при подключении к напряжению создает магнитный поток. Возникающие электромагнитные силы прижимают ведомую полумуфту к ведущей. Момент трения между полумуфтами должен быть больше момента нагрузки на ведомом валу. При отключении катушки муфты неподвижная полумуфта отжимается от подвижной с помощью пружины (на рисунке не показана). Обычно эта же пружина прижимает полумуфту к тормозным поверхностям, что

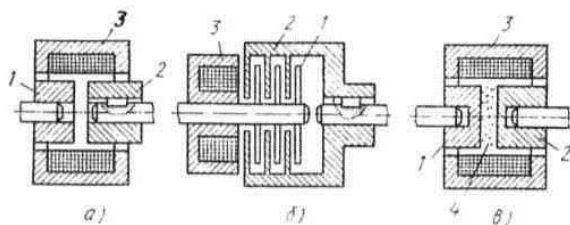


Рис. 2. Электромагнитные муфты

обеспечивает быструю остановку ведомого вала. В мощных муфтах (рис. 2, б) для увеличения величины передаваемого момента в подвижной части муфты используется несколько стальных дисков 2, имеющих свободу перемещения вдоль оси вращения ведущего и ведомого валов. Соответствующее количество стальных дисков 1 жестко закреплено на ведущем валу. На этом же валу закреплена катушка электромагнита 3, подача тока к которой осуществляется с помощью контактных колец и щеток. Электромагнитные силы притягивают подвижные диски к неподвижным. Большая площадь соприкосновения обеспечивает большой момент трения.

В электромагнитных муфтах с ферромагнитным наполнителем (рис. 2, в) передача вращения осуществляется за счет того, что зазор между ведомой 1 и ведущей 2 полумуфтами заполнен смесью 4 из зерен ферромагнитного материала и наполнителя. При пропускании тока через катушку 3 муфты создается магнитный поток, заставляющий ферромагнитные зерна ориентироваться вдоль силовых линий и образовывать мостики, связывающие ведущую и ведомую полумуфты. Зерна ферромагнитного

материала имеют размеры от 4 до 50 мкм. Наполнитель может быть сухим (тальк, графит) или жидким (трансформаторные и силиконовые масла, фтористые соединения).

Электромагнитные муфты с ферромагнитным наполнителем более надежны, чем фрикционные, имеют меньшее время срабатывания (до 20 мс). Необходима регулярная смена наполнителя.

В электромагнитных индукционных муфтах передача вращающего момента происходит за счет индукционных токов, т. е. без непосредственного механического соприкосновения обеих частей муфты. Одна из частей муфты (рис. 3) имеет электромагнитные полюсы 1 с обмоткой возбуждения, питаемой постоянным током. Она называется индуктором и конструктивно выполнена подобно ротору синхронного генератора. Другая часть муфты имеет короткозамкнутую обмотку 2, аналогичную роторной обмотке асинхронного двигателя. Эта часть называется якорем. При вращении индуктора в обмотке якоря наводится ЭДС и идет ток. Взаимодействие этого тока с магнитным потоком возбуждения

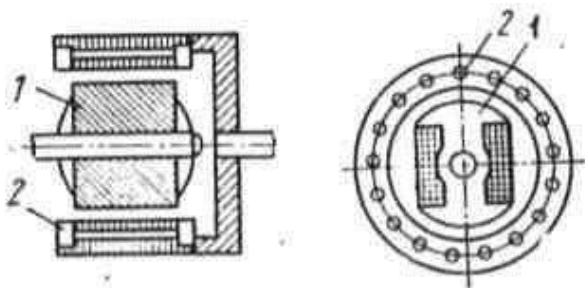


Рис. 3.  
Электромагнитная индукционная муфта

создаст электромагнитный момент, приводящий во вращение якорь. В муфте происходят те же физические процессы, что и в асинхронном электродвигателе. Разница заключается в том, что вращение магнитного поля в двигателе происходит при подаче трехфазного переменного тока в обмотку неподвижного статора, а в муфте вращение магнитного поля происходит за счет механического вращения индуктора, возбужденного постоянным током. Так же как и в асинхронном двигателе, вращающий момент возникает лишь при неодинаковой скорости индуктора и якоря. Ведомая часть муфты вращается с частотой  $n_2 = n_1(1-s)$ , где  $n_1$

— частота вращения ведущего вала,  $s$  —скольжение. Величина скольжения обычно составляет 0,03—0,05.

Если момент нагрузки приводного механизма оказывается больше максимального момента муфты, то происходит опрокидывание— вращение ведомой части прекращается. Благодаря способности к опрокидыванию муфта может защитить приводной двигатель от больших перегрузок. Величина вращающего момента, передаваемого муфтой, зависит от магнитного поля возбуждения. Изменяя ток возбуждения, можно регулировать величину критического момента муфты. Разница в скоростях вращения ведомой и ведущей частей асинхронной муфты принципиально необходима для создания вращающего момента на ведомой части. Поэтому асинхронные муфты называют еще электромагнитными муфтами скольжения. Они получили наибольшее распространение в качестве элемента регулируемого автоматизированного электропривода переменного тока, включающего помимо муфты нерегулируемый электродвигатель и систему автоматического регулирования тока возбуждения муфты. К достоинствам такого привода с муфтой скольжения относятся простота устройства и эксплуатации, низкая стоимость, высокая надежность. Но с увеличением скольжения растут потери мощности и КПД привода снижается.

### **Вопросы для повторения:**

1. Для чего предназначены исполнительные устройства в системах автоматики?
2. Что служит для преобразования электрической энергии в механическую?
3. На что подразделяются электромагниты в зависимости от вида тока в обмотке?
4. Для чего служат приводные электромагниты?
5. Для чего служат удерживающие электромагниты?
6. Какие бывают катушки электромагнитов по своей конструкции?
7. Для чего предназначена электромагнитная муфта?



## 4.5. Усилительные элементы систем автоматики

План лекции:

1. Магнитные усилители
2. Принцип действия магнитного усилителя

### Магнитные усилители

Физические основы работы магнитных усилителей.

Работа магнитных усилителей основана на использовании свойств ферромагнитных материалов. Напомним эти свойства, известные из курса физики. Если по обмотке, расположенной на сердечнике из ферромагнитного материала, проходит электрический ток, то в сердечнике возникает магнитное поле. Это магнитное поле в сердечнике характеризуется напряженностью  $H$  и магнитной индукцией  $B$ . Напряженность магнитного поля  $H$  создается током, проходящим по обмотке, и выражается в амперах на метр ( $A/m$ ). Магнитная индукция  $B$  увеличивается при возрастании напряженности  $H$  и выражается в теслах (Тл). Кривая, характеризующая зависимость магнитной индукции  $B$  от напряженности магнитного поля  $H$ , называется кривой намагничивания ферромагнитного материала (рис. 1).

Начиная с некоторого значения напряженности магнитного поля дальнейшее ее увеличение практически не приводит к изменению магнитной индукции. В этом случае говорят, что магнитный материал достиг состояния насыщения. Максимальная индукция в сердечнике называется индукцией насыщения  $B_s$ , напряженность поля при этом равна  $H_s$ .

Если далее уменьшать напряженность поля, то изменение магнитной индукции происходит по новой кривой (кривая 2). Индукция при этом уменьшается медленнее, чем она возросла при увеличении  $H$  от 0 до  $H_s$  (кривая 1). При уменьшении напряженности магнитного поля до нуля (т. е. при отсутствии тока в обмотке) индукция в сердечнике сохраняет значение  $B_r$ , называемое остаточной индукцией. При увеличении напряженности магнитного поля в обратном направлении (т. е. при изменении направления тока в обмотке) индукция уменьшается до нуля при

напряженности  $-H_c$ , которая носит название коэрцитивной силы. Затем при значении напряженности  $-H_s$  сердечник снова насыщается, индукция в нем будет равна  $B_s$ . Теперь при изменении напряженности от  $-H_s$  до  $+H_s$  изменение индукции происходит по кривой 3. Таким образом, изменение индукции в зависимости от напряженности поля происходит по графику, имеющему вид петли, называемой петлей гистерезиса. Как видим, зависимость  $B(H)$  имеет явно выраженный нелинейный характер.

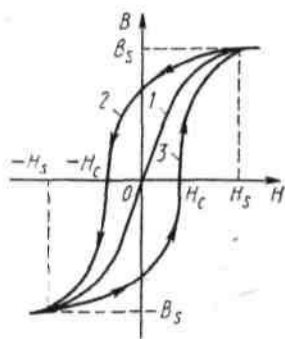


Рис. 1. Кривая намагничивания ферромагнитного материала

В зависимости от ширины петли гистерезиса различают магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Материалы с широкой петлей гистерезиса называются магнитотвердыми, они используются для постоянных магнитов. Материалы с узкой петлей гистерезиса называются магнитомягкими, они используются для сердечников магнитных усилителей и других электромагнитных устройств: реле, трансформаторов, электрических машин. Для пояснения принципа действия магнитного усилителя можно пренебречь петлей гистерезиса и считать, что изменение магнитной индукции в зависимости от напряженности происходит по средней (основной) кривой намагничивания (кривая 1 на рис. 1).

Рассмотрим процессы, происходящие в сердечнике, если к обмотке приложено синусоидальное напряжение  $u = U_m \sin \omega t$ , где  $u$  — мгновенное значение напряжения;  $U_m$  — максимальное (амплитудное) значение напряжения;  $\omega$  — угловая частота;  $t$  — текущее значение времени.

Под действием этого напряжения по обмотке пойдет ток  $i$ , а в сердечнике происходит изменение магнитной индукции  $B$  и напряженности магнитного поля  $H$ .

Связь между электрическими и магнитными величинами определяется на основании закона полного тока и закона электромагнитной индукции. Согласно закону полного тока, напряженность магнитного поля  $H$  в сердечнике пропорциональна току  $i$  в обмотке и обратно пропорциональна средней длине пути магнитного потока в сердечнике.

Согласно закону электромагнитной индукции, при изменении магнитной индукции (магнитного потока  $\Phi$ ) в обмотке индуцируется электродвижущая сила (ЭДС)  $e$ , которая пропорциональна числу витков обмотки  $w$  и скорости изменения магнитного потока  $\Phi$ .

Подмагничивание постоянным током приводит к уменьшению магнитной проницаемости и, как следствие, к увеличению (усилению) переменного тока.

### Принцип действия магнитного усилителя

Для изучения принципа действия магнитного усилителя рассмотрим его простейшую схему (рис. 3, а, б), состоящую из двух обмоток. Одна обмотка — рабочая (или обмотка переменного тока) с числом

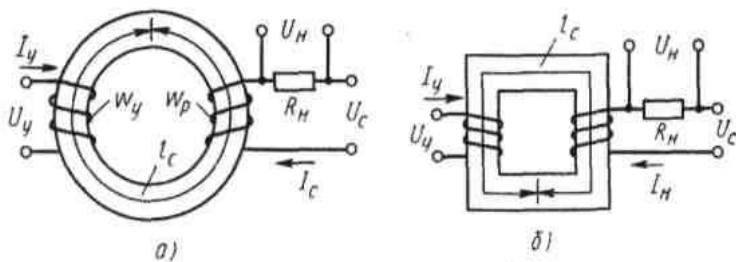


Рис. 2. Простейший магнитный усилитель (дрозель насыщения)

витков  $w_p$ , другая — обмотка управления (или управляющая) с числом витков  $w_y$ . Обе обмотки размещены на общем ферромагнитном замкнутом сердечнике. На обмотку управления подается входной сигнал в виде напряжения постоянного тока  $U_y$  или тока

$I_y$ , подлежащего усилению. Последовательно с рабочей обмоткой включена нагрузка  $R_H$ , напряжение на которой  $U_H$  является выходным сигналом усилителя. Цепь рабочей обмотки получает питание от источника напряжения переменного тока (например, промышленной частоты 50 Гц). Сердечник одновременно намагничивается двумя полями: постоянным, созданным током  $I_y$ , протекающим в обмотке  $\omega_y$ , и переменным, созданным током  $I_H$ , протекающим в обмотке  $\omega_p$ .

Основные схемы и параметры нереверсивных магнитных усилителей

Проследим пути магнитных потоков в обоих сердечниках магнитного усилителя, изображенного на рис. 3. Магнитные потоки обмотки управления  $\Phi_y$  в соседних стержнях направлены в одну сторону, а магнитные потоки рабочей обмотки  $\Phi_p$  — в противоположные стороны.

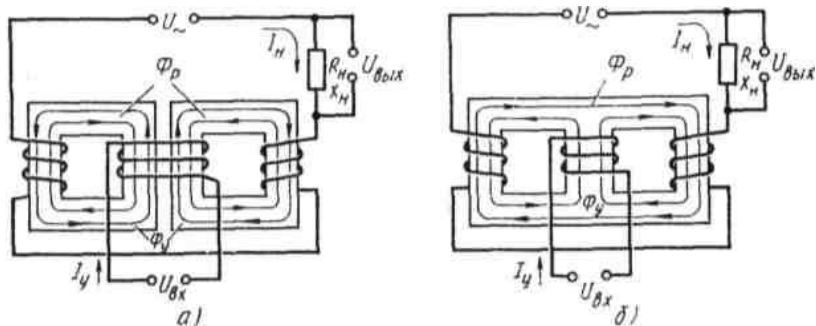


Рис. 3. Магнитные усилители с общей обмоткой управления

Магнитные усилители по сравнению с другими типами усилителей обладают таким существенным преимуществом, как высокая стабильность во времени параметров и статической характеристики. Имея практически неограниченный срок службы, магнитные усилители не требуют регламентных работ и могут использоваться во взрыво- или пожароопасных условиях, а также при наличии радиоактивного излучения.

Максимальная мощность магнитных усилителей достигает сотен киловатт. Например, на Московском трансформаторном заводе еще в 1933 г. были изготовлены магнитные усилители мощностью 800 кВт для автоматического регулирования частоты вращения мощного асинхронного двигателя. Коэффициент усиления по мощности 100-ваттного магнитного усилителя при частоте питания 50 Гц обычно составляет 50—200. Для более мощных усилителей этот коэффициент увеличивается.

КПД простейших нереверсивных магнитных усилителей обычно лежит в пределах от 0,6 до 0,98. Коэффициент кратности магнитных усилителей в значительной степени зависит от материала сердечника. Для магнитных усилителей с сердечниками из трансформаторной стали  $K = 5 \div 40$ , а с сердечниками из сплавов высокой магнитной проницаемости  $K = 100 \div 200$

Минимальное значение усиливаемой мощности составляет  $10^{-4}$ — $10^{-1}$  Вт для сердечников из трансформаторной стали и  $10^{-8}$ — $10^{-6}$  Вт для сердечников из сплавов высокой проницаемости.

### Вопросы для повторений

1. Принцип действия магнитного усилителя?
2. Что называется коэффициентом усиления?
3. Нарисовать магнитные усилители с нагрузкой постоянного тока.
4. Нарисовать магнитный усилитель с параллельной нагрузкой.
5. Нарисовать трансформаторную схему магнитного усилителя.
6. Нарисовать магнитный усилитель на двух сердечниках.
7. Нарисовать магнитные усилители с общей обмоткой управления.

## 4.6. Объекты управления

План лекции:

1. Виды объектов автом. системы в с/х производстве
2. Статическая и динамическая характеристики объектов
3. Определение основных свойств объекта

Статические характеристики

Любое производство, в том числе и сельскохозяйственное, характеризуется чрезвычайным многообразием объектов управления.

К наиболее распространенным объектам сельскохозяйственного производства относятся тепловые устройства, в которых обычно требуется управлять температурой, подачей воздуха, топлива или энергии.

Свойства объектов оказывают существенное влияние на весь процесс управления и, поэтому при анализе работы автоматической системы их необходимо учитывать. К основным свойствам объектов управления относят статистическую и динамическую характеристики, аккумулирующую способность, самовыравнивание, запаздывание процесса в объекте, время разгона объекта.

Наибольший интерес представляет зависимость выходной величины элемента автоматики от его входной величины. При соединении элементов в систему автоматики выходная величина одного элемента подается на вход последующего элемента. Поэтому можно говорить о передаче сигнала в системе. Входную величину обычно называют входным, сигналом (будем обозначать его через  $x$ ), а выходную величину — выходным сигналом (будем обозначать его через  $y$ ). Режим работы, при котором входной и выходной сигналы постоянны ( $x = x_{уст}$ ;  $y = y_{уст}$ ), называют статическим или установившимся режимом. Характеристики, определяемые в этом режиме, называются статическими.

Следует отметить, что для многих электромеханических и магнитных устройств автоматики сигналом является напряжение или сила переменного тока. В статическом режиме постоянным является действующее значение напряжения или тока, хотя мгновенное значение при этом, естественно, изменяется по синусоидальному закону.

Основной характеристикой всех элементов автоматики является статический коэффициент преобразования  $K = y_{уст} / x_{уст}$ . Коэффициент преобразования может быть определен экспериментально. Для этого устанавливают определенное значение входного сигнала  $x_{уст}$  и измеряют соответствующий ему выходной сигнал  $y_{уст}$ . Таких опытов можно провести несколько — для различных значений  $y_{уст}$ . По результатам нескольких опытов может быть построена статическая характеристика  $y=f(x)$ , представляющая функциональную зависимость выходной величины от входной в статическом режиме. Статические характеристики бывают линейными и нелинейными (рис. 1). Если коэффициент преобразования не зависит от входного сигнала, то статическая характеристика имеет вид прямой линии (рис. 1, а), а элемент, имеющий такую характеристику, называют линейным. Коэффициент преобразования нелинейных элементов не постояен, а статическая характеристика может иметь вид, показанный на рис. 1, б. Такая характеристика чаще всего бывает у усилительных элементов. Сначала при увеличении входного сигнала пропорционально ему растет выходной сигнал, а затем рост его прекращается. В магнитных усилителях это связано, например, с явлением насыщения магнитной цепи. Поэтому про характеристику типа (рис. 1, б) говорят, что она имеет зону насыщения. Особенно явно нелинейность выражена для элементов типа реле. При увеличении входного сигнала реле от нуля до некоторого значения, называемого сигналом срабатывания  $x_{ср}$ , выходной сигнал равен нулю. При  $x = x_{ср}$  выходной сигнал изменяется скачком и при дальнейшем увеличении входного сигнала остается постоянным (рис. 1, в).

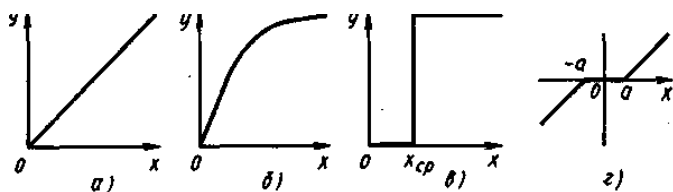


Рис. 1. Статические характеристики элементов автоматики

Для датчиков чаще всего необходима линейная статическая характеристика, это требуется для точной работы системы.

Коэффициент преобразования имеет размерность, определяемую отношением размерностей выходной величины к входной. Например, датчик, преобразующий перемещение в напряжение, имеет размерность коэффициента преобразования В/м. Если размерности выходного и входного сигнала одинаковы (например, у усилителей), то коэффициент преобразования будет безразмерной величиной. В этом случае его часто называют коэффициентом усиления.

Выходной сигнал некоторых элементов равен нулю при малых значениях входного сигнала, т. е. эти элементы нечувствительны к слабым сигналам. Статическая характеристика элементов показана на рис. 1, г. Только при  $x \geq |a|$  начинается изменение выходного сигнала  $y$ . В этом случае значение  $x=a$  называют порогом чувствительности. Диапазон изменения входного сигнала, при котором выходной сигнал равен нулю, называется зоной нечувствительности. Для элемента, характеристика которого показана на рис. 1, г, зона нечувствительности равна  $2a$ .

Точность работы датчика характеризуется погрешностью. Различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности. При определении погрешности сравнивают реальную статическую характеристику датчика с идеальной линейной статической характеристикой. Реальная статическая характеристика отличается от идеальной, поскольку выходной сигнал может изменяться за счет внутренних свойств элемента (износ, старение и т. д.) или за счет изменения внешних факторов (напряжение питания, температура и т. д.). Абсолютная погрешность представляет собой разность между реальным  $y_p$  и расчетным (идеальным)  $y_n$  выходными сигналами при одном и том же значении входного сигнала  $x$ . Абсолютная погрешность имеет размерность выходной величины, ее называют еще ошибкой:  $\Delta = y_p - y_n$ .

Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности к расчетному значению выходной величины и определяется в относительных единицах ( $\delta_{от} = \Delta/y_n$ ) или в процентах ( $\delta_{от} = (\Delta/y_n) \cdot 100$ ).

Приведенную погрешность определяют как отношение



абсолютной погрешности к диапазону возможных значений выходного сигнала. Приведенную погрешность вычисляют в относительных единицах или в процентах. О точности датчика судят "обычно по максимальной приведенной погрешности.

### Динамические характеристики

Переход системы из одного установившегося режима в другой с иными значениями входного и выходного сигналов называют динамическим режимом или переходным процессом. В динамическом режиме отношение выходного сигнала к входному может быть не равно коэффициенту преобразования. Поведение элемента или системы автоматики в переходном процессе может быть описано с помощью переходных характеристик. Переходной характеристикой называют зависимость выходного сигнала от времени  $y(t)$  при скачкообразном изменении входного сигнала. На рис. 2 показаны график изменения входного сигнала и соответствующие ему графики переходных характеристик наиболее распространенных элементов автоматики.

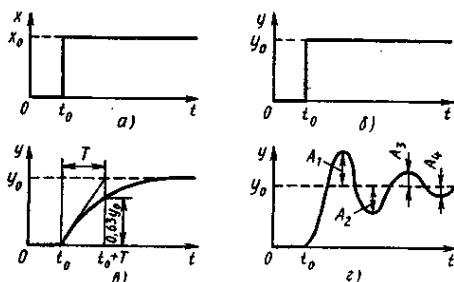


Рис. 2. Переходные характеристики элементов автоматики

В момент времени  $t_0$  входной сигнал скачком изменяется от нуля до  $x_0$  (рис. 2, а). Если элемент автоматики является безинерционным, то в тот же момент времени  $t_0$  выходной сигнал скачком изменяется от нуля до  $y_0 = Kx_0$  (рис. 2, б). Как правило, электромеханические элементы обладают инерционностью, которая тем больше, чем больше масса подвижных частей

или индуктивность обмотки. В этом случае изменение выходного сигнала запаздывает по сравнению с изменением входного (рис. 2,в). Переходная характеристика имеет вид экспоненты, т. е. кривой, стремящейся от нуля к значению  $y_0 = Kx_0$  со скоростью, пропорциональной в каждый момент времени разности между  $y_0$  и текущим значением выходного сигнала. Инерционность переходного процесса характеризуется значением постоянной времени  $T$ , выражаемой в секундах. На графике величину  $T$  можно определить, проведя касательную к кривой  $y(t)$  при  $t=t_0$  и продолжив ее до пересечения с горизонтальной линией  $y_0 = Kx_0$ . За время, равное  $T$ , выходной сигнал достигает 63% своего нового установившегося значения.

### Схемы автоматических систем

Для изучения принципа действий систем автоматики в целом, взаимодействия их различных элементов, поведения их в статических и динамических режимах системы представляют в виде схемы. Различают схемы трех основных типов: принципиальные, функциональные структурные и алгоритмические структурные.

Принципиальные схемы служат основанием для разработки конструктивных документов. Эти схемы используют при изучении принципа работы всей установки, при наладке, при управлении, контроле и ремонте систем автоматики.

На принципиальной схеме все элементы, входящие в системы, и связи между ними изображаются в виде условных графических обозначениях в соответствии с действующими ГОСТами.

Различают совмещенные и разнесенные принципиальные схемы.

На совмещенные и разнесенные принципиальные схемы. На совмещенных схемах все элементы изображают в непосредственной близости друг от друга и соединяют их связями в виде линий, идущих от одного элемента к другому. Эти схемы при большом количестве элементов и связей наглядны и удобны для чтения.

Функциональные структурные схемы отражают определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных

частях системы или в ее цепях.

Алгоритмические структурные схемы показывают взаимосвязь отдельных частей системы и характеризуют их динамические свойства.

#### **Вопросы для повторения:**

1. Что называется статической характеристикой?
2. Что собой представляет абсолютная погрешность?
3. Что собой представляет относительная погрешность?
4. Как определить приведенную погрешность?
5. Для чего служат принципиальные схемы?

### **4.7. Автоматические регуляторы**

План лекции:

1. Общие сведения о регуляторах, их характеристика
2. Выбор типа регулятора и параметров его настройки

Основные принципы автоматического регулирования

Различают два основных принципа регулирования: регулирование по отклонению (принцип Ползунова (1765)-Уатта (1785) и регулирование по возмущению (принцип Понселе). Рассмотрим эти принципы.

При регулировании по отклонению действительное значение регулируемой величины сравнивается с желаемым значением, и управление формируется в УУ (регуляторе) в зависимости от отклонения (ошибки регулирования  $e = y_0 - y$  (рис. 1,а). Поскольку в этом случае производится проверка результатов управления, то системы такого типа получили название замкнутые САР. Как видно из блок-схемы такой системы, в ней имеется цепь обратной связи (о. с.) по которой информация с выхода САР

о состоянии ОУ поступает на вход системы для сравнения с информацией о желаемом состоянии. Заметим, что в ряде случаев для улучшения (коррекции свойств САР в ней имеются еще связи типа обратных, которые в отличие от главной (информационной) обратной связи, называют корректирующими. Таким образом, влияние возмущений  $z$  на регулируемую величину  $y$  компенсируется в замкнутой САР изменением управляющего воздействия  $u$ , зависящего от отклонения  $e$ .

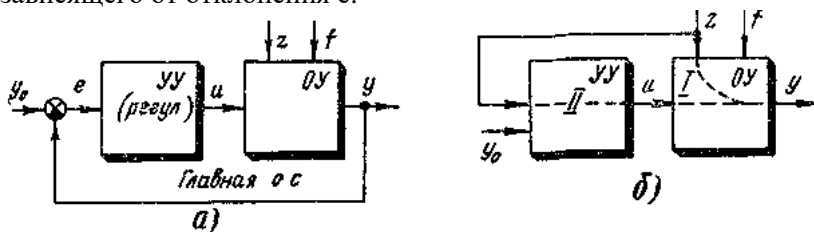


Рис. 1. а — схема регулирования по отклонению, б — схема регулирования по возмущению

При регулировании по возмущению управление вырабатывается лишь на основе желаемого изменения регулируемой величины  $y_0$  и в зависимости от возмущения  $z$ . (рис. 1,б). В этом случае не производится проверка результата управления, и система является разомкнутой. Компенсация влияния возмущений на регулируемую величину достигается за счет введения в управление составляющей, зависящей от возмущения. Понятно, что эффект от этой составляющей в управлении должен в значительной мере компенсировать эффект от возмущения. Если при этом достигнута полная компенсация действия возмущения, то полученная САР является инвариантной (безразличной) к данному возмущению. Для обеспечения инвариантности необходимо «организовать» в системе второй канал (на рис. 1,б) передачи воздействия от возмущения (принцип двухканальности Б. Н. Петрова (1955) при создании инвариантных САР). Ясно, что для успешного регулирования по этому принципу необходимо контролировать все возмущения, влияющие на регулируемую величину, что не всегда возможно (из-за большого числа возмущений либо из-за отсутствия датчиков некоторых возмущений). Таким образом,

регулирование по возмущению имеет ограниченные возможности. Однако оно имеет и одно достоинство: управление по возмущению для инерционных объектов, каковыми является большинство объектов промышленности, является более быстродействующим, чем управление по отклонению. Это понятно: в САР (рис. 1,а) для формирования управления необходимо, чтобы на выходе ОУ проявился эффект от возмущения, на что в инерционных объектах требуется значительное время, а в САР (рис. 1,б) управление формируется в темпе с действием возмущения. Поэтому в настоящее время стремятся совместить в одной системе оба принципа регулирования. Получающиеся в этом случае комбинированные САР имеют точность замкнутых и быстродействие разомкнутых систем, т. е. являются более высококачественными системами, чем построенные с использованием только одного принципа.

Законы управления, формируемые в УУ (регуляторе), могут иметь следующий вид:

1)  $u = a_0 e$  — пропорциональный закон (П-регулятор);

2)  $u = b_0 \int_0^t e dt$  — интегральный закон (И-регулятор);

3)  $u = c_0 \dot{e}$  — дифференциальный закон (Д-регулятор). В

чистом виде эти законы в промышленных регуляторах обычно не применяют (особенно по п. 3, поскольку регулирование по производной, предложенное братьями Сименс (1845), неработоспособно). Широко используют следующие законы управления:

4)  $u = a_0 e + b_0 \int_0^t e dt$  — пропорционально-интегральный закон (ПИ-регулятор);

5)  $u = a_0 e + c_0 \dot{e}$  — пропорционально-дифференциальный закон (ПД-регулятор);

$$u = a_0 e + b_0 \int_0^t e dt + c_0 e$$

б) — (ПИД-регулятор).

САР называется астатической по отношению к воздействию, если в установившемся состоянии ошибка регулирования отсутствует для любых постоянных значений воздействия. В противном случае она является статической.

Принцип статического и астатического регулирования поясним на примере САР уровня жидкости в резервуаре (рис. 2). Уровень регулируется поднятием или опусканием заслонки в питающей магистрали. Система рис. 2,а является статической по отношению к воздействию Р-расходу жидкости из резервуара. В самом деле, отрегулируем систему так, чтобы при номинальном расходе  $P_0$  уровень жидкости был равен  $y_0$ . Если расход увеличится, то для сохранения равновесия необходимо настолько

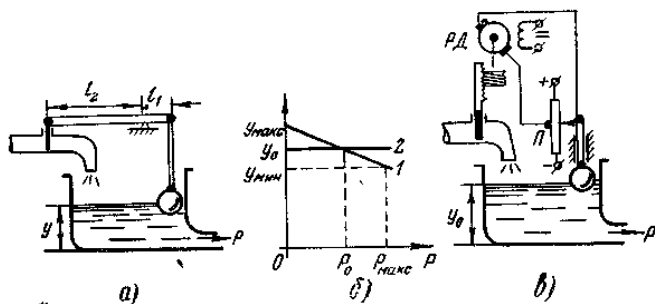


Рис. 2. а — статическая САР; б — статические характеристики, двух типов САР, в — астатическая САР

же увеличить и приток жидкости. Для этого надо приподнять заслонку, что может быть сделано, если поплавок опустится ниже уровня  $y_0$ . Таким образом, равновесие (установившегося состояние) может быть достигнуто лишь при наличии постоянного отклонения  $e = y_0 - y$ . Аналогичное явление возникает и при уменьшении расхода по сравнению с  $P_0$ , но при этом отклонение имеет другой знак (характеристика 1 на рис. 2,б). Таким образом, в системе возникает неравномерность регулирования, которую можно оценить

относительной величиной статизма

$$\delta = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_0} \times 100\%$$

Постоянное отклонение в указанном режиме САР носит название статической ошибки.

Рассмотрим систему рис. 2,в, в которой перемещение поплавка передается на движок потенциометра П со средней точкой. Можно отрегулировать систему так, чтобы при  $y=y_0$  движок потенциометра находился на средней точке (проще всего регулировку производить при закрытой заслонке и  $P=0$ ). В этом случае на реверсивный двигатель РД напряжение не подается и перемещения заслонки не происходит. Легко видеть, что установившееся состояние в системе при любых постоянных расходах  $0 \leq P \leq P_{\max}$  может быть достигнуто только в том случае, если движок потенциометра находится на средней точке, т. е. при  $y=y_0$  (см. характеристику 2 на рис. 2,б). Таким образом, в данной системе отсутствует статическая ошибка, и САР является астатической.

Система программного регулирования температуры электропечи (рис. 3).

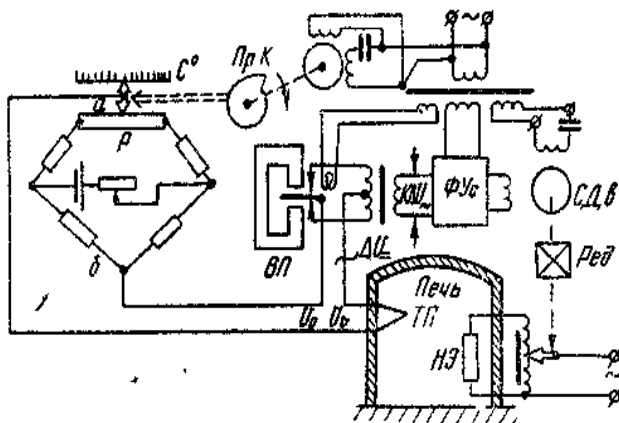


Рис. 3. Система программного регулирования температуры

Объектом управления является электрическая печь; регулируемой величиной является ее температура  $\vartheta$ , которая может изменяться за счет изменения количества электроэнергии, подводимой к нагревательному элементу НЭ, (управляющее воздействие) и за счет отбора теплоты заготовками, помещаемыми в печь (основное возмущающее воздействие). Измеренное с помощью термопары ТП значение температуры печи в виде напряжения  $U_{\ominus} = k_{ТП} \vartheta$  сравнивается с уставкой  $U_0$ . Напряжение уставки ( $U_0$  снимается между точками а и б четырехплечего моста, и задается перемещением движка реохорда Р, причем шкала перемещения движка проградуирована в градусах Цельсия. Перемещение движка осуществляется от программного кулачка ПрК.

Напряжение рассогласования  $\Delta U = U_0 - U_{\vartheta}$  имеет весьма незначительную величину (порядка долей милливольт), поэтому для его усиления необходимо применить мощный бездрейфовый усилитель (усилитель переменного тока), для этого напряжение  $\Delta U$  постоянного тока должно быть предварительно промодулировано, что осуществляется с помощью электромеханического вибропреобразователя ВП. силенное на фазочувствительном усилителе напряжение  $k\Delta U_{\sim}$  (информация о полярности  $\Delta U$  сохраняется в фазе  $\Delta U_{\sim}$ ) управляет реверсивным серводвигателем СДв, который осуществляет перемещение регулирующего органа нагревательного элемента.

Очевидно, данная система является астатической

### Вопросы для повторения:

1. Какие основные принципы автоматического регулирования?
2. Нарисовать схему регулирования по отклонению.
3. Нарисовать схему регулирования по возмущению.
4. Какой вид могут иметь законы управления, формируемые в УУ (регуляторе)?
5. Нарисовать систему программного регулирования температуры.



## Тема 5. Основы теории автоматического управления

### 5.1. Типовые звенья систем автоматики и их характеристики

План лекции:

1. Типовые динамические звенья.
2. Логарифмические частотные характеристики.

Типовые звенья и их характеристики

Далее везде будет обозначено:  $x(t)$  — входное воздействие;  $y(t)$  — выходная переменная звена.

1. Безынерционное звено описывается уравнением

$$y=kx, \quad (4-1)$$

где  $k$  — коэффициент усиления звена.

Примерами такого звена являются (рис. 1): делитель напряжения (а), рычажная или редукторная передача (б, в), усилитель постоянного тока (г) и др. Предполагается, что передача сигнала от входа к выходу происходит мгновенно, без инерции. Очевидно, что передаточная функция звена имеет вид

$$W(p) = k, \quad (4-2)$$

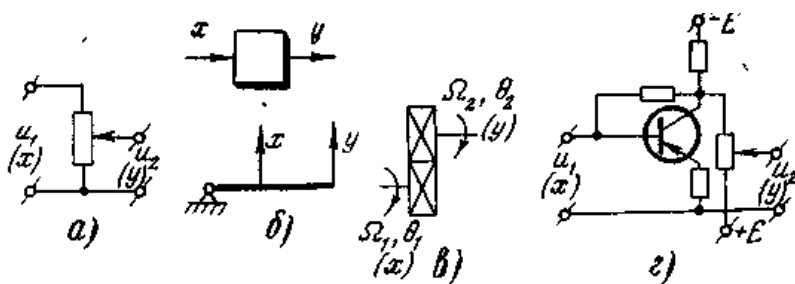


Рис. 1. Примеры безынерционных звеньев

поэтому АФХ звена стянулась в точку  $(k, j0)$  (рис. 2,а). Импульсная характеристика, находящаяся при подстановке  $x(t) = \delta(t)$ , равна  $w(t) = k\delta(t)$ , а переходная функция  $h(t) = k \times 1(t)$  (рис. 4-2,б).

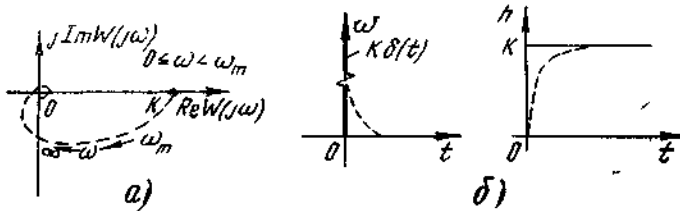


Рис. 2. Динамические характеристики безынерционных звеньев

На практике даже рассмотренные на рис. 1 примеры не являются строго безынерционными звеньями. Так в делителе (рис. 1,а) не учитывается емкость и индуктивность между витками обмотки потенциометра и выходных проводов, в рычажной передаче (рис. 1,б) не учитывается масса рычага, его упругость и т. д. Поэтому практически, например, переходная функция имеет вид пунктирной линии (рис. 2,б), т. е. выходная переменная не мгновенно следует за входной. Аналогично и АФХ имеет вид пунктирной линии (рис. 2,а) для частот  $\omega > \omega_m$ . Однако в САР, работающих обычно в сравнительно низкочастотном диапазоне  $0 \leq \omega \leq \omega_m$ , инерционность рассмотренных устройств практически несущественна, поэтому их будем называть безынерционными. К таковым относится, помимо рассмотренных, большинство датчиков.

В ряде систем регулирования применяются устройства, работающие на несущей частоте (сельсины, усилители переменного тока с модуляцией и демодуляцией и др.). При частотах входного воздействия, много меньших несущей, эти устройства могут быть отнесены к безынерционным [2].

2. Инерционное звено описывается уравнением

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx$$

где  $k$ ,  $T$  — соответственно статический коэффициент усиления и постоянная времени звена.

Примеры инерционных звеньев: двигатель с линейной механической характеристикой (см. пример 3-2), терпара (пример 3-1). В качестве других примеров рассмотрим следующие.

Пример 4-1. RC-цепочка (рис. 3,а). Используя уравнение Кирхгофа, запишем

$$u_1 = iR + u_2, \quad i = C \frac{du_2}{dt},$$

поэтому  $RC \frac{du_2}{dt} + u_2 = u_1$ , что соответствует (4-3). Аналогично можно показать, что LR-цепочка (рис. 3,б) является инерционным звеном. С помощью операционных усилителей инерционное звено моделируется схемой рис. 3, г,

где  $T=RC$ ,  $k = \frac{R}{R_1}$ .



Рис. 3. Примеры инерционных звеньев

Надо заметить, что практически не существует реальных элементов, на выходе которых точно воспроизводилась бы производная от любого входного сигнала. Если бы это было так, то, подав на такой элемент скачкообразное входное воздействие, можно было бы получить на выходе

$\delta$ -функцию, чего в реальных устройствах не бывает. Формальная запись для напряжений и токов в индуктивности и емкости (пример 4-4) не отражает законов коммутации электрических

схем (напряжение на емкости и ток в индуктивности в реальных системах не могут измениться скачком). Аналогично нельзя, например, скачком изменить угол поворота вала реального ТГ, поскольку это потребовало бы бесконечно большого момента. Поэтому, хотя в структурных схемах применение идеальных дифференцирующих звеньев оправдано, практически они являются абстракциями.

#### **Вопросы для повторения:**

1. Нарисовать примеры безынерционных звеньев.
2. Нарисовать примеры инерционных звеньев.
3. Нарисовать динамические характеристики инерционного звена.
4. Нарисовать примеры интегрирующих звеньев.

## **5.2. Устойчивость А.С.**

План лекции:

1. Понятия об устойчивости АСУ
2. Алгебраические критерии устойчивости
3. Частотные критерии устойчивости

Понятие об устойчивости.

САР всегда подвержена различного рода возмущениям, которые отклоняют ее режим от желаемого, и основное назначение САР — уменьшать эти отклонения. Если САР способна возвратиться к желаемому режиму, то она является устойчивой, а следовательно, работоспособной. В противном случае — неустойчивой и неработоспособной

Желаемый режим может быть установившимся и неуставившимся. Рассмотрим более подробно устойчивость установившемся режиме (такой режим характерен для систем автоматической стабилизации, для позиционных следящих систем и т. д.). Если рассмотреть отклонение  $\Delta u$  системы от установившегося режима под действием кратковременного возмущения, то в устойчивой системе это отклонение исчезает со временем (рис.

1,а), а в неустойчивой — нарастает (рис. 1,б). Характер процесса при этом может быть аperiodическим (кривая 1) или колебательным (кривая 2). Аperiodический нарастающий процесс может возникнуть в САР с регулированием по отклонению, если, например, неправильно выбрать полярность обратной связи, включив вместо отрицательной обратной связи положительную. В этом случае управляющее устройство будет не устранять отклонение, а увеличивать его. Колебательный нарастающий процесс может наступить, например, при чрезмерно большом коэффициенте усиления системы, когда возникшее отклонение настолько энергично возвращает систему к установившемуся режиму, что система из-за инерции или запаздывания проскакивает его, приводя к еще большему отклонению и т. д.

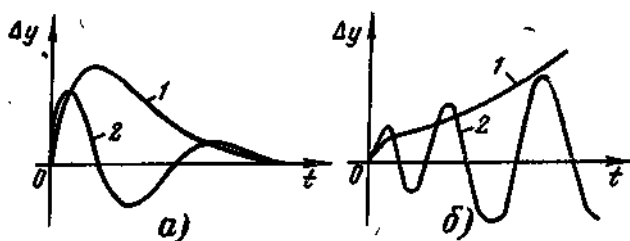


Рис. 1. Характер изменения отклонений в устойчивой (а) и неустойчивой (б) САР

Аналогичный характер процессов справедлив и для неустоявшихся режимов: система считается устойчивой, если отклонение от желаемого режима остается ограниченным по величине при действии на нее ограниченных возмущений.

#### Критерий устойчивости Рауса — Гурвица

Этот критерий является алгебраическим. В форме, предложенной Гурвицем (1895), из коэффициентов характеристического уравнения (5-4) составляется квадратная матрица (таблица) Гурвица, имеющая  $N$  столбцов и строк,

$$\begin{array}{cccc}
 a_{N-1} & a_N & 0 & \dots \\
 a_{N-3} & a_{N-2} & a_{N-1} & \dots \\
 a_{N-5} & a_{N-4} & a_{N-3} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots,
 \end{array}$$

правило построения которой очевидно. Отсутствующие коэффициенты заменяются нулями.

Для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы все главные диагональные миноры  $\Delta_n$  матрицы (определители Гурвица) были положительны:

$$\Delta_1 = a_{N-1} > 0, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{N-1} & a_N \\ a_{N-3} & a_{N-2} \end{vmatrix} > 0, \quad \dots, \quad \Delta_N > 0$$

Частотные критерии устойчивости.

Основным недостатком рассмотренного алгебраического подхода к анализу устойчивости является то, что в сложных системах управления трудно установить связь между корнями знаменателя  $p_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ , и параметрами элементарных звеньев, составляющих систему управления. Это приводит к трудностям коррекции неустойчивых систем. Для того, чтобы упростить анализ устойчивости, желательно проводить этот анализ по передаточной функции  $H(p)$  разомкнутой системы управления.

В 1932 г. американский ученый Найквист разработал эффективный метод анализа устойчивости усилителей с обратной связью. В 1938 г. советский ученый А.В. Михайлов обобщил метод Найквиста на замкнутые системы автоматического управления.

Критерий Найквиста основан на построении годографа передаточной функции  $H(j\omega)$  разомкнутой системы управления. **Годографом передаточной функции  $H(j\omega)$**  называется кривая, прочерчиваемая концом вектора  $H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)}$  на комплексной плоскости при измерении частоты  $\omega$  от 0 до бесконечности.

Наиболее просто формулируется критерий устойчивости Найквиста: замкнутая система управления устойчива, если годограф передаточной функции  $H(j\omega)$  разомкнутой системы не охватывает на комплексной плоскости точку с координатами  $(-1, j0)$ .

На рисунках показаны примеры годографов устойчивой (рис. 16,а) и неустойчивой (рис. 16,б) систем управления.

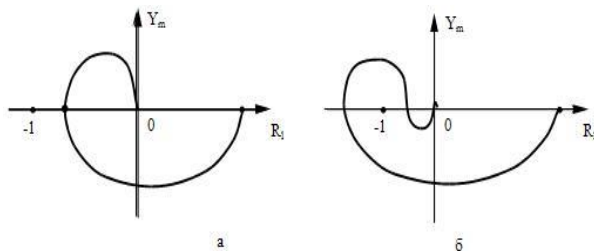


Рис. 2

Если годограф проходит через точку  $-1$ , то говорят, что система находится на границе устойчивости. В этом случае на некоторой частоте  $H(j\omega) = -1$  и в системе могут существовать незатухающие колебания частоты  $\omega_0$ . В неустойчивых системах уровень сигнала  $x(t)$  будет нарастать со временем. В устойчивых - уменьшаться.

#### Критерий Найквиста. Запас устойчивости

Этот критерий, позволяющий судить об устойчивости САУ по частотным характеристикам разомкнутой системы (амплитудно-фазовой или логарифмическим), нашел наибольшее распространение, поскольку позволяет использовать не только аналитически построенные частотные характеристики, но и найденные экспериментально.

#### Вопросы для повторения:

1. Нарисовать примеры АФХ структурно-неустойчивых систем.
2. Нарисовать построение АФХ нейтральной разомкнутой системы.

## Тема 6. Системы телемеханики

### 6.1. Основные понятия об элементах систем ТМ

План лекции:

1. Системы ТУ, ТС, ТН
2. Передающие и приёмные устройства ТУ и ТС
3. Системы ТМ применяемые в с/х

Основные сведения о системах телемеханики.

Телемеханика (ТМ) — область науки и техники, охватывающая теорию и технические средства автоматической передачи на расстояние сигналов управления (телеуправление) и сигналов о состоянии объекта (телеизмерение и телесигнализация).

Объекты управления в промышленности и на транспорт часто разнесены в пространстве на значительные расстояния. При этом возникает необходимость надёжной и экономичной передачи сигналов, независимо от расстояния между пунктами передачи и приема информации. Такая необходимость возникает из соображений:

— координации работы отдельных разнесенных в пространстве объектов управления (в энергосистемах, на транспорте, в обширных промышленных комплексах и т. п.);

— техники безопасности (во вредных производствах на ядерных установках, на линиях и подстанциях высокой напряженности и т. п.);

— сокращения расходов на обслуживание и эксплуатацию систем и т. д.

Телемеханическая система, комплекс технических средств для передачи на расстояние по каналам радиосвязи или проводным линиям связи команд от оператора или управляющей вычислительной машины к объектам управления, а также контрольной информации в обратном направлении.

Т. с. включает пункт управления (ПУ), где находится оператор (диспетчер), один или несколько контролируемых пунктов (КП), где располагаются объекты управления (контроля), и линии



связи (каналы передачи данных), соединяющие ПУ с КП. В сложных Т. с. может быть несколько ПУ — равноправных либо подчинённых Друг другу в соответствии с иерархическим принципом.

Различают Т. с. для сосредоточенных объектов (находящихся в пределах одного КП; рис. а) и Т. с. для рассредоточенных объектов (расположенных группами на нескольких КП либо рассеянных по одному на большой территории; рис. б, в). Пример Т. с. первого вида — система управления отдельным строительным краном, самолётом, насосной станцией и т. д. Характерные примеры Т. с. второго вида — системы управления газо- и нефтепроводами, энергосистемами, ж. -д. узлами, шахтами и заводами, где управление осуществляется с одного диспетчерского пункта.

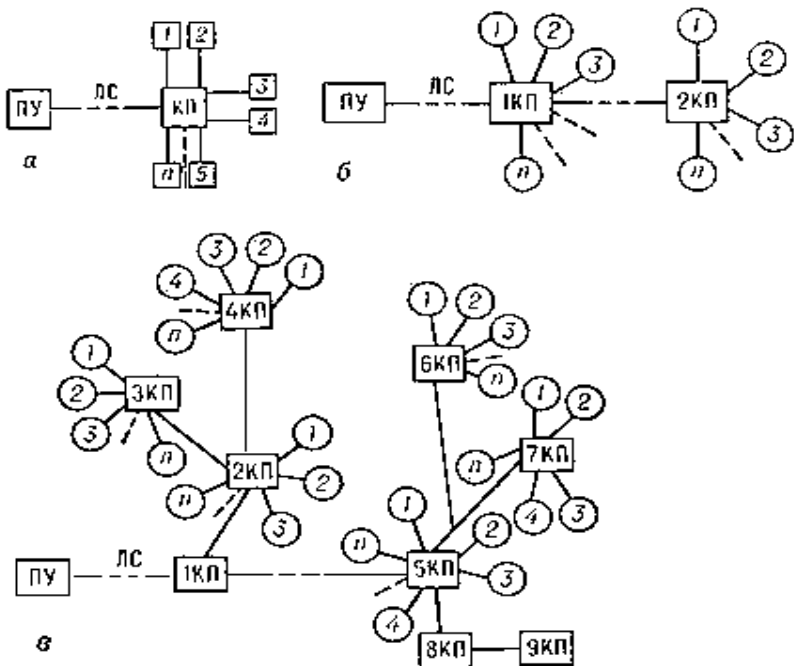
В Т. с. информация о состоянии и параметрах объектов управления, поступающая на ПУ, обычно воспринимается человеком-оператором, который на основании полученных данных принимает решения и подаёт команды управления. На ПУ имеется Диспетчерский щит, оснащенный соответствующими устройствами представления контрольной информации, и Диспетчерский пульт с органами управления телемеханической аппаратурой (с кнопками, ключами, тумблерами и т. п.) и устройствами формирования сигналов управления объектами. При больших объёмах информации её обработка и преобразование к виду, наиболее удобному для принятия решений оператором, производятся автоматическими устройствами или ЭВМ.

В Т. с. могут передаваться все или только некоторые виды контрольной и управляющей информации. При передаче информации лишь о значениях параметров объектов Т. с. называется системой телеизмерения (ТИ); в системе телесигнализации (ТС) передаётся преимущественно информация о том, в каком из возможных состояний (обычно из двух) находится контролируемый объект; в системе телеуправления (ТУ) передаются только команды управления. В комбинированных Т. с. осуществляется передача

информации нескольких видов, например измерительной и сигнализирующей (ТИ—ТС), управляющей и сигнализирующей (ТУ—ТС). В комплексных Т. с. возможна передача контрольной и управляющей информации всех видов (ТУ — ТС — ТИ).

Основные характеристики Т. с.: набор выполняемых функций и видов информации, тип расположения объектов, дальность действия, число обслуживаемых объектов, быстродействие, достоверность передачи информации, надёжность, структура и тип каналов связи.

Аппаратура Т. с. в простейшем случае состоит из передающего и приёмного полуккомплектов, с помощью которых осуществляется передача телемеханической информации. Т. с. часто включают в себя автоматические устройства (например, для циклического опроса объектов, передачи команд по заданной программе, сравнения текущих значений контролируемых параметров с заданными, диагностики повреждений), облегчающие работу оператора или повышающие надёжность и эффективность передачи информации по каналу связи. Т. с. — сложный технический комплекс, в состав которого входят разнообразные устройства и приборы, насчитывающие десятки и сотни тысяч различных элементов. В начальный период развития телемеханики (начало 20 в.) аппаратура Т. с. была преимущественно релейно-контактной; в 50-х гг. 20 в. релейно-контактная аппаратура была вытеснена бесконтактными элементами (магнитными, полупроводниковыми и др.); в 70-х гг. происходит переход на микроэлектронные элементы и агрегатный метод построения Т. с. Так, разработанная агрегатная система средств телемеханики (АССТ) представляет собой набор унифицированных функциональных блоков, выполненных на интегральных схемах, и ряд телемеханических устройств, построенных из этих блоков. АССТ входит в Государственную систему промышленных приборов и средств автоматизации.



Структурная схема телемеханической системы: а — для сосредоточенных объектов; б, в — для рассредоточенных объектов (цепочечная и древовидная); ПУ — пункт управления (диспетчерский пункт); КП — контролируемый пункт; ЛС — линия связи; 1, 2, 3, ..., n — объекты управления (контроля).

### Вопросы для повторения:

1. Нарисовать систему программного регулирования температуры.
2. Что является объектом управления?
3. Что называется телемеханикой?
4. Что является объектом управления?
5. Привести примеры применения систем телемеханики.

## **Тема 7. Пускозащитная аппаратура применяемая для электропривода**

### **7.1. Общие сведения**

План лекции:

1. Механич. электропривод
2. Классификация электроприводов
3. Основные части электропривода

Определение понятия «электропривод»

Электрический привод представляет собой электромеханическое устройство, предназначенное для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом. Он состоит из трех частей: электрического двигателя, осуществляющего электромеханическое преобразование энергии, механической части, передающей механическую энергию рабочему органу машины, и системы управления, обеспечивающей оптимальное по тем или иным критериям управление технологическим процессом. Характеристики двигателя и возможности системы управления определяют производительность механизма, точность выполнения технологических операций, динамические нагрузки механического оборудования и ряд других факторов. С другой стороны, нагрузка механической части привода, условия движения ее связанных масс, точность передач и т. п. оказывают влияние на условия работы двигателя и системы управления, поэтому электрические и механические элементы электропривода образуют единую электромеханическую систему, составные части которой находятся в тесном взаимодействии.

Свойства электромеханической системы оказывают решающее влияние на важнейшие показатели рабочей машины и в значительной мере определяют качество и экономическую эффективность технологических процессов. Развитие автоматизированного электропривода (рис. 1) ведет к совершенствованию конструкций машин, к коренным изменениям технологических процессов, к дальнейшему прогрессу во всех отраслях народного хозяйства.

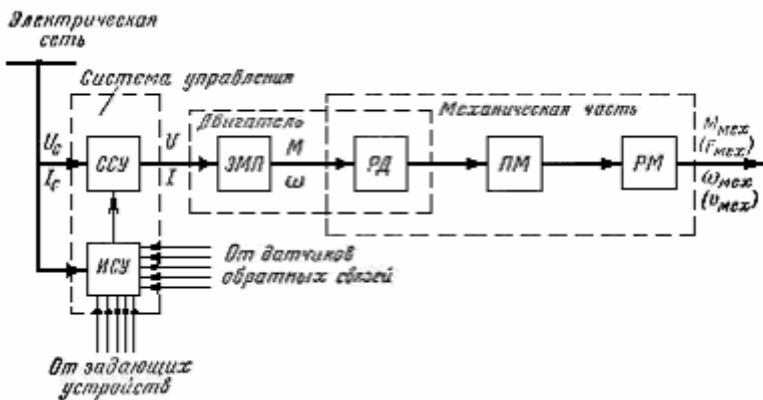


Рис. 1. Схема автоматизированного электропривода

### Классификация электроприводов.

Электроприводы по способам распределения механической энергии можно разделить на три основных типа: групповой электропривод; индивидуальный и взаимосвязанный.

Групповой электропривод обеспечивает движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины. Передача механической энергии от одного двигателя к нескольким рабочим машинам и ее распределение между ними производится с помощью одной или нескольких трансмиссий. Такой групповой привод называют также трансмиссионным (рис. 2).

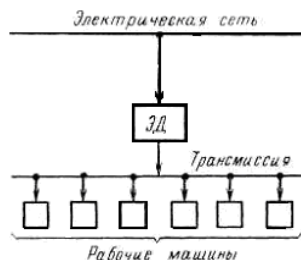


Рис. 2. Структурная схема группового трансмиссионного электропривода

Вследствие своего технического несовершенства трансмиссионный электропривод в настоящее время почти не применяется, он уступил место индивидуальному и взаимосвязанному, хотя в ряде случаев еще находит применение и групповой привод по схеме на рисунке 3.

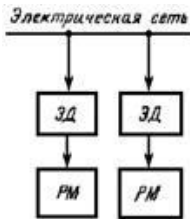


Рис. 3. Структурная схема группового электропривода

Индивидуальный привод по сравнению с трансмиссионным и групповым обладает рядом преимуществ: производственные помещения не загромождаются тяжелыми трансмиссиями и передаточными устройствами; улучшаются условия работы и повышается производительность труда вследствие облегчения управления отдельными механизмами, уменьшения запыленности помещений, лучшего освещения рабочих мест; снижается травматизм обслуживающего персонала. Кроме того, индивидуальный электропривод отличается более высокими энергетическими показателями.

В трансмиссионном приводе при выходе из строя или при ремонте электродвигателя выбывает из работы группа машин, тогда как в случае индивидуального привода или группового по схеме на рис. 3 остановка одного электродвигателя вызывает остановку лишь одной рабочей машины.

Индивидуальный электропривод широко применяется в различных современных машинах, например в сложных металлообрабатывающих станках, в прокатных станах металлургического производства, в подъемно-транспортных машинах, экскаваторах, в роботах-манипуляторах и т. п.

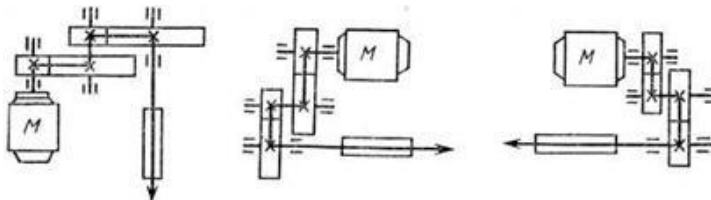


Рис. 4. Индивидуальные электроприводы рабочих органов (шпинделей) продольно-фрезерного станка

Примером использования индивидуального привода может служить продольно-фрезерный станок (рис. 4), имеющий отдельные электроприводы главных движений (приводы трех шпиндельных бабок).

Взаимосвязанный электропривод содержит два или несколько электрически или механически связанных между собой электродвигательных устройства (или электроприводов), при работе которых поддерживается заданное соотношение или равенство скоростей или нагрузок или положение исполнительных органов рабочих машин. Необходимость в таком приводе часто возникает по конструктивным или технологическим соображениям.

Примером взаимосвязанного электропривода может служить привод цепного конвейера. На рис. 5 показана схема такого привода, рабочим органом которого является цепь, приводимая в движение двумя или несколькими двигателями (M1, M2), расположенными вдоль цепи. Эти двигатели имеют вынужденно одинаковую скорость.

Взаимосвязанный электропривод широко применяется в различных современных машинах и агрегатах, например в копировальных металлорежущих станках и станках с программным управлением, в бумагоделательных машинах, ротационных машинах полиграфического производства, и текстильных агрегатах, в прокатных станах металлургического производства, в поточных технологических линиях по производству шинного корда, синтетических пленок и т. д.

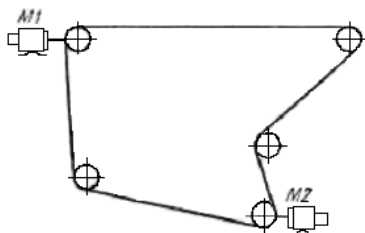


Рис. 5. Схема взаимосвязанного привода конвейера

По виду движения электроприводы могут обеспечить: вращательное однонаправленное движение, вращательное реверсивное и поступательное реверсивное движения.

Вращательное однонаправленное, а также реверсивное движение осуществляется электродвигателями обычного исполнения. Поступательное движение может быть получено путем использования электродвигателя вращательного движения обычного исполнения совместно с преобразовательным механизмом (кулисным, винтовым, реечным и т. п.) либо применения электродвигателя специального исполнения для поступательного движения (так называемые линейные электродвигатели, магнетогидродинамические двигатели).

По степени управляемости электропривод может быть:

1) нерегулируемый — для приведения в действие исполнительного органа рабочей машины с одной рабочей скоростью, параметры привода изменяются только в результате возмущающих воздействий;

2) регулируемый — для сообщения изменяемой или неизменяемой скорости исполнительному органу машины, параметры привода могут изменяться под воздействием управляющего устройства;

3) программно-управляемый — управляемый в соответствии с заданной программой;

4) следящий — автоматически обрабатывающий перемещение исполнительного органа рабочей машины с определенной точностью в соответствии с произвольно меняющимся задающим сигналом;

5) адаптивный — автоматически избирающий структуру или параметры системы управления при изменении условий работы машины с целью выработки оптимального режима.

### **Вопросы для повторения:**

1. Из каких частей состоит электропривод?
2. На какие типы можно разделить электроприводы по способам распределения механической энергии?
3. Что обеспечивает групповой электропривод?
4. Что могут обеспечить электроприводы по виду движения?
5. Какие электроприводы могут быть по степени управляемости?



6. Какие бывают электроприводы по роду передаточного устройства?

7. По уровню автоматизации электропривод можно различать?

## **7.2. Монтаж и ремонт аппаратов защиты**

План лекции:

1. Предохранители

2. Автоматические выключатели

Современный плавкий предохранитель представляет собой достаточно сложное электротепломеханическое устройство со стабильными характеристиками и свойствами, знание которых является необходимым условием успешного применения предохранителей и надежной защиты силовых систем в аварийных режимах.

В данной работе большую актуальность приобретает задача защиты устройств от перегрузок и токов короткого замыкания. Актуальность рассматриваемой темы состоит в том, что в последние годы существенно возрос уровень сложности силовых электронных устройств, применяемых на объектах транспорта, добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности, в системах генерирования и распределения электрической энергии. Одновременно с усложнением силовых устройств, увеличением их функциональности и улучшением экономичности, важным условием успешной работы таковых является надежная защита силовых полупроводниковых приборов, трансформаторов, коммутирующих, фильтровых и накопительных конденсаторов, токоведущих устройств в условиях аварийных и перегрузочных режимах. Наиболее надежным средством защиты от экстратоков, которые в свою очередь являются одной из категории электрических аварийных режимов, не зависящим от внешних условий, механического состояния и т.п., являются предохранители.

Не смотря на то, что плавкие предохранители как устройства защиты электрических цепей известны и применяются уже

почти полторы сотни лет, ряд их характеристик остается непревзойденным другими системами токовой защиты.

Современные перегрузки электросети колоссальны. Количество электрических приборов в наших домах переходит все разумные пределы, траты на электроэнергию составляют очень большую статью расхода современного жителя мегаполиса. Мы не можем себе представить жизни без холодильника, телевизора, компьютера, электрочайника, фена, кофемолки, пылесоса и т.д. Чтобы напряжение в сети не зашкалило, не произошло замыкание и другие последствия перегрузки электросети, создано специальное оборудование.

Автоматические выключатели - специальные аппараты, которые способны включать и отключать электроток при нормальном состоянии электрической цепи, а также производить отключение тока в ситуациях, когда это необходимо. Основное предназначение автоматических выключателей состоит в защите кабелей и проводов от короткого замыкания и перегрузки. Но также автоматические выключатели выполняют функцию управления током в электроцепи. Изменения напряжения, частоты и силы электрического тока четко фиксируются специальным прибором. Это происходит следующим образом. При перегрузке электрической сети (при более номинальном токе) срабатывает тепловое реле и автомат отключается. Это происходит настолько быстро, насколько значение протекающего тока было выше номинального. К выбору автоматического выключателя стоит отнестись внимательно и осторожно. Стоит помнить, что проводка в обычной квартире выполнена алюминием толщиной 2,5 мм, а вот проводка стояков почти в 2 раза толще - 4 мм. Продавцы магазинов часто советуют брать автомат в 25 А, чтобы при включенном обилии бытовой техники его не выбивало. Однако не стоит при этом забывать об основном предназначении автоматических выключателей - защита сети от перегрузок. Первый важный критерий выбора автоматического выключателя - это номинальный ток. Он обычно определяется нагрузкой, которой будет подвержена цепь. Также важными параметрами являются выключающая способность, характеристика и класс селективности.

## Общие сведения о предохранителях

Предохранитель - электрический аппарат, выполняющий защитную функцию. В цепи обозначается буквами «FU» (международное обозначение, от слова англ. Fuse) или прямоугольником со сплошной линией в центре. Обычно предохранители бывают плавкими. Плавкие предохранители - это электрические аппараты, защищающие установки от перегрузок и токов короткого замыкания.

Плавкий предохранитель обычно представляет из себя стеклянную или фарфоровую оболочку, на основаниях которой располагаются контакты, а внутри находится тонкий проводник из относительно легкоплавкого металла. Определённой силе тока срабатывания соответствует определённое поперечное сечение проводника. Если сила тока в цепи превысит максимально допустимое значение, то легкоплавкий проводник перегревается и расплавляется.

Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая в рассечку защищаемой цепи, и дугогасительное устройство, гасящее дугу, возникающую после плавления вставки.

## Применение предохранителей

Плавкими предохранителями снабжают лампы накаливания для предотвращения перегрузки питающей цепи в случае возникновения электрической дуги в момент перегорания лампы. Предохранителем в лампе служит участок одного из вводных проводников, расположенных в цоколе лампы. Этот участок имеет меньшее сечение по сравнению с остальной длиной провода; в лампах с прозрачной колбой это можно заметить, рассматривая лампу на просвет. Для 220-вольтовых бытовых ламп предохранитель обычно рассчитан на ток 7 А.

Основные требования, предъявляемые к плавким предохранителям.

К предохранителям предъявляются следующие требования:

1. Времятоковая характеристика предохранителя должна

проходить ниже, но возможно ближе к времятоковой характеристике защищаемого объекта.

2. При коротком замыкании предохранители должны работать селективно.

3. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимально возможным, особенно при защите полупроводниковых приборов. Предохранители должны работать с токоограничением.

4. Характеристики предохранителя должны быть стабильными. Разброс параметров из-за производственных отклонений не должен нарушать защитные свойства предохранителя.

5. В связи с возросшей мощностью установок предохранители должны иметь высокую отключающую способность.

6. Замена сгоревшего предохранителя или плавкой вставки не должна требовать много времени.

Устройство общепромышленных ПН-2, ПР-2 предохранителей. Технические характеристики

Пример конструкции предохранителя со сменными плавкими вставками общего назначения без наполнителя приведен на рис. 1. Такие предохранители изготавливаются на напряжение до 500 В и токи до 1000 А. Гашение дуги у них происходит за счет высокого давления (до 10 МПа и более), возникающего вследствие газогенерации из стенок трубок при высокой температуре электрической дуги. Другая характерная конструкция предохранителей - резьбовая.

Предохранители серии ПН-2 предназначены для защиты силовых цепей до 500 В переменного тока и 440 В постоянного тока, они выполняются на номинальные токи 100, 250, 400 и 630 А, обладают токоограничивающим действием и высокой разрывной способностью.

Корпус представляет собой глазурованную квадратную снаружи, круглую внутри фарфоровую трубку с четырьмя резьбовыми отверстиями с каждого торца. В трубку введен узел с плавкой вставкой, приваренной электроконтактной точечной сваркой к шайбам врубных контактных выводов. Контактный узел с каждого торца трубки крепится к крышке винтами.

Крышки с асбестовыми прокладками привинчиваются к корпусу и герметически закрывают его.

Внутренняя полость трубки наполняется чистым и сухим кварцевым песком 6, полностью охватывающим рабочую длину вставки. Применяется песок с содержанием кварца не менее 98%, с диаметром зерен 0,2 - 0,3 мм, обработанный двухпроцентным раствором соляной кислоты, промытый и прокаленный при температуре 120-180 °С. Герметизация корпуса предохраняет песок от увлажнения.

Плавкая вставка выполняется из одной или нескольких медных ленточек толщиной 0,15-0,35 мм и шириной до 4 мм с просечками, уменьшающими на длине не менее 6 мм сечение вставки в два раза. Применение тонких параллельных ленточек позволяет снизить сечение плавкой вставки для данного номинального тока, а следовательно, и количество паров металла в дуге. Последнее обстоятельство облегчает гашение дуги. Возникновение нескольких дуг в параллельных каналах позволяет участвовать в рассеянии энергии дуги большему объему наполнителя, чем также облегчается гашение дуги.

Для снижения нагрева предохранителя при малых перегрузках используется металлургический эффект. На каждую ленточку вставки напаивается оловянный шарик. Температура плавления металла ленточки в месте, где напаян оловянный шарик, достигает 475 °С. Превышение температуры деталей предохранителя находится в пределах нормы. Отключающая способность - от 50 кА для предохранителя на 100 А до 100 кА для предохранителя на 630 А.

### Принцип действия предохранителя

При коротком замыкании плавкая вставка предохранителя ПН-2 сгорает и дуга горит в канале, образованном зернами наполнителя. Из-за горения в узкой щели при токах выше 100 А дуга имеет возрастающую вольтамперную характеристику. Градиент напряжения на дуге очень высок и достигает (2-6)10<sup>4</sup> В/м. Этим обеспечивается гашение дуги за несколько миллисекунд.

После срабатывания предохранителя плавкие вставки

вместе с диском заменяются, после чего патрон засыпается песком. Для герметизации патрона под пластины кладется асбестовая прокладка что предохраняет песок от увлажнения. При номинальном токе 40 А и ниже предохранитель имеет более простую конструкцию.

### Материал плавких вставок предохранителей

Плавкие вставки изготавливаются из меди, цинка, свинца или серебра.

В современных наиболее совершенных предохранителях отдают предпочтение медным вставкам с оловянным растворителем. Широко распространены также цинковые вставки.

Медные вставки для предохранителей наиболее удобны, просты и дешевы. Улучшение их характеристик достигается наплавлением оловянного шарика в определенном месте, примерно в середине вставки. Такие вставки применяются, например, в упомянутой серии насыпных предохранителей ПН2. Олово плавится при температуре  $232^{\circ}$ , значительно меньшей, чем температура плавления меди, и растворяет медь вставки в месте соприкосновения с ней. Появляющаяся при этом дуга уже расплавляет всю вставку и гасится. Цепь тока оказывается отключенной. Таким образом, наплавление оловянного шарика приводит к следующему.

Во-первых, медные вставки начинают реагировать с выдержкой времени на столь малые перегрузки, на которые они при отсутствии растворителя вовсе не реагировали бы.

Например, медная проволока диаметром 0,25 мм с растворителем расплавилась при температуре  $280^{\circ}$  за 120 мин.

Во-вторых, при одной и той же достаточно большой температуре (т.е. при одинаковой нагрузке) вставки с растворителем реагируют много быстрее, чем вставки без растворителя.

Например, медная проволока диаметром 0,25 мм без растворителя при средней температуре  $1\ 000^{\circ}$  расплавилась за 120 мин, а такая же проволока, но с растворителем при средней температуре только  $650^{\circ}$ , расплавилась всего за 4 мин.

Применение оловянного растворителя позволяет иметь

надежные и дешевые медные вставки, работающие при сравнительно низкой эксплуатационной температуре, имеющие относительно малый объем и вес металла (что благоприятствует коммутационной способности предохранителя) и в то же время обладающие большим быстродействием при больших перегрузках и реагирующие с выдержкой времени на относительно малые перегрузки. Цинк часто используется для изготовления плавких вставок. В частности, такие вставки применяются в упомянутой серии предохранителей ПР-2.

Вставки из цинка более устойчивы против коррозии. Поэтому, несмотря на относительно малую температуру плавления, для них, вообще говоря, можно было бы допустить такую же предельную эксплуатационную температуру, как для меди ( $250^{\circ}$ ), и конструировать вставки с меньшим сечением. Однако электрическое сопротивление цинка примерно в 3,4 раза больше, чем у меди.

Чтобы сохранить ту же температуру, надо уменьшить потери энергии в ней, соответственно увеличив ее сечение. Вставка получается значительно более массивной. Это при прочих равных условиях приводит к понижению коммутационной способности предохранителя. Кроме того, при массивной вставке с температурой  $250^{\circ}$  не удалось бы в тех же габаритах удержать на допустимом уровне температуру патрона и контактов.

Все это заставляет снизить предельную температуру цинковых вставок до  $200^{\circ}$ , а для этого - еще больше увеличивать сечение вставки. В итоге предохранители с цинковыми вставками при тех же размерах обладают значительно меньшей устойчивостью к токам короткого замыкания, чем предохранители с медными вставками и оловянными растворителями.

Калибровка плавких вставок предохранителей.

Не следует допускать зарядку патронов медными проволоками взамен заводских плавких вставок. Пограничный и номинальный токи такой вставки, как и вся защитная характеристика предохранителя, в этом случае имеют значения крайне неопределенные, зависящие от ряда случайных факторов.

Проволока одного и того же диаметра может плавиться в разных патронах при совершенно различных значениях тока и с разной выдержкой времени. Кроме того, при таких кустарных

вставках весьма вероятны местные перегревы, порча и даже разрывы патронов.

Коммутационная способность таких предохранителей резко снижается. Они перестают быть калиброванными надежными защитными аппаратами, могут привести к авариям и даже угрожать опасностью для жизни людей.

Никто не рискнет зарядить предохранитель высокого напряжения случайно взятой медной проволокой вместо заводской вставки. В отношении же предохранителей в сетях низкого напряжения, к сожалению, укоренилось совершенно неверное представление, что для них такая перезарядка терпима.

Между тем применение некалиброванных предохранителей в сетях низкого напряжения столь же вредно, как и в сетях высокого напряжения, а в сетях с заземленной нейтралью они, кроме того, еще представляют значительную опасность для жизни многих людей.

Предварительный выбор проволоки для плавкой вставки предохранителя.

Перегоревшую плавкую вставку, если нет заводского изготовления, можно заменить калиброванной медной проволокой. При калибровке медной проволоки для плавких вставок предохранителей следует исходить из следующих требований ГОСТ:

При токе  $I_{\text{макс}} = (1,62 \dots 2,1)$  Ипл.вст. плавкая вставка должна сгорать в течение 1 ... 2 ч.,

При токе  $I_{\text{мин}} = (1,25 \dots 1,5)$  Ипл.вст. плавкая вставка не должна сгорать.

Автоматический выключатель - это контактный коммутационный аппарат (электротехническое или электроустановочное устройство), способный включать, проводить и отключать токи при нормальном состоянии электрической цепи, а также включать, проводить в течение определённого устанавливаемого времени и отключать токи в определённом аномальном состоянии цепи электрического тока. Автоматический выключатель предназначен для защиты кабелей, проводов и конечных потребителей от перегрузки и короткого замыкания. Автоматические выключатели выполняют одновременно функции защиты и управления. Независимо от выполняемых функций автоматические выключатели подразделяются по собственному времени срабатывания  $t_c$ ,



в (времени с момента подачи команды до начала размыкания контактов) на:

нормальные  $t_c$ ,  $v=0,02-0,1$  с

селективные ( $t_c$ , в регулируется до 1с)

быстродействующие, обладающие токоограничивающим эффектом ( $t_c$ , в не более 0,05 с).

ГОСТ 9098-78 - устанавливает следующую классификацию автоматических выключателей - не действует:

По роду тока главной цепи: постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного тока.

Номинальные токи главных цепей выключателей, предназначенных для работы при температуре окружающего воздуха 40 °С, должны соответствовать ГОСТ 6827. Номинальные токи для главных цепей выключателя выбирают из ряда: 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500; 4000; 6300 А. Дополнительно могут выпускаться выключатели на номинальные токи главных цепей выключателей: 1500; 3000; 3200 А.

Номинальные токи максимальных расцепителей тока выключателей, предназначенных для работы при температуре окружающего воздуха 40 °С, должны соответствовать ГОСТ 6827. Допускаются номинальные токи максимальных расцепителей тока: 15; 45; 120; 150; 300; 320; 600; 1200; 1500; 3000; 3200 А 2. По числу полюсов главной цепи: однополюсные; двухполюсные; трехполюсные; четырехполюсные.

По наличию токоограничения: токоограничивающие; нетокоограничивающие.

По видам расцепителей: с максимальным расцепителем тока; с независимым расцепителем; с минимальным или нулевым расцепителем напряжения.

По характеристике выдержки времени максимальных расцепителей тока: без выдержки времени; с выдержкой времени, независимой от тока; с выдержкой времени, обратно зависимой от тока; с сочетанием указанных характеристик.

По наличию свободных контактов: с контактами; без контактов.

По способу присоединения внешних проводников: с задним присоединением; с передним присоединением; с комбиниро-

ванным присоединением (верхние зажимы с задним присоединением, а нижние - с передним присоединением или наоборот); с универсальным присоединением (передним и задним).

По виду привода: с ручным; с двигательным.

По наличию и степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями выключателя и его движущимися частями, расположенными внутри оболочки в соответствии с требованиями ГОСТ 14255.

По виду привода: с ручным; с двигательным

По наличию и степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями выключателя и его движущимися частями, расположенными внутри оболочки в соответствии с требованиями ГОСТ 14255.

Автоматические выключатели выполняются одно, двух, трехполюсными и имеют следующие конструктивные узлы: главной контактной системы, дугогасительной системы, привода, расцепляющего устройства, расцепителей и вспомогательных контактов.

Контактная система может быть трехступенчатой (с главными, промежуточными и дугогасительными контактами), двухступенчатой (с главными и дугогасительными контактами) и при использовании металлокерамики одноступенчатой. Дугогасительная система может состоять из камер с узкими щелями или из камер с дугогасительными решетками. Комбинированные дугогасительные устройства - щелевые камеры в сочетании с дугогасительной решеткой применяют для гашения дуги при больших токах. Автоматические выключатели изготовляют с ручным и двигательным приводом, в стационарном или выдвижном исполнении. Привод автоматического выключателя служит для включения, автоматического отключения и может быть ручным непосредственного действия и дистанционным (электромагнитным, пневматическим и др.) Автоматические выключатели имеют реле прямого действия, называемые расцепителями.

## Характеристики автоматических выключателей

Автоматические выключатели электрической сети срабатывают при выходе за установленные пределы значений силы электрического тока, напряжения или частоты. Работают автоматические выключатели следующим образом. При протекании тока более номинального (перегрузка по току) через некоторое время срабатывает тепловое реле и отключает автомат. Время срабатывания зависит от того, насколько протекающий ток выше номинального. Приобретая автоматические выключатели, будьте внимательны с выбором номинального тока. Особенно, если Вам продавец сулит выбрать автомат, чтобы при включенном холодильнике, водонагревателе, обогревателе, стиральной машинке и т.п. его не выбивало, и советует брать не меньше 25 А. Помните о том, что в большинстве квартир проводка выполнена алюминием 2.5 мм, а проводка стояков часто выполнена из алюминия 4 мм<sup>2</sup>. Автомат должен выполнять свое основное предназначение - защищать сеть от перегрузок. Первый задаваемый параметр - номинальный ток выключателя. Он определяется из расчета нагрузки цепи подключаемой к нему. Следующие параметры, которые необходимо определить - выключающая способность, класс селективности и характеристика выключения. Оптимизируя по параметрам выбираемый автомат, тем самым, оптимизируем его цену.

Выключающей способностью автоматического выключателя называется значение предполагаемого тока короткого замыкания, которое прибор должен без повреждения отключить. В соответствии с европейскими нормами EN 60898 обозначение приводится на лицевой стороне корпуса автоматического выключателя.

### Выбор автоматического выключателя

Прежде чем остановить свой выбор автоматического выключателя на каком-то определенном изделии, следует знать следующее:

Украинские и российские ГОСТы подразделяют автоматические выключатели на два вида (А и В), исходя из их применения.

Выбор автоматического выключателя категории А - расцепитель срабатывает при достижении тока 2-3 номинальных значений (применяются для защиты электропроводок большой протяженности).

Выбор автоматического выключателя категории В: - эти автоматы рассчитаны на срабатывание при достижении тока 3-5 номинальных значений (применяются в жилых зданиях). По числу полюсов главной цепи автоматические выключатели разделяют на однополюсные, двухполюсные и трехполюсные. Если решили выбрать автоматический выключатель с четырьмя полюсами, знайте - он предназначен для отключения трех фаз и "ноль". Далее. При выборе автоматического выключателя имеет значение система его конструкции: они могут быть открытого исполнения или заключенными в пластмассовый корпус или оболочку. А по способу управления - автоматическими, с ручным и с двигательным приводом. Также при выборе автоматического выключателя следует учесть вид расцепителя. Автоматические выключатели бывают с максимальными расцепителями тока (тепловые и электромагнитные) и с минимальным/нулевым расцепителем напряжения.

### **Вопросы для повторения:**

1. Какие конструктивные узлы имеет автоматические выключатели выполняются одно, двух, трехполюсными?
2. Что называется автоматическим выключателем?
3. Для чего предназначены быстродействующие предохранители?
4. Для чего предназначены предохранители серии ПН-2?
5. Какие требования предъявляются к предохранителям?
6. Какие основными элементами предохранителя являются?
7. Что обычно представляет плавкий предохранитель?
8. Что называется предохранителем?
9. Что называется автоматическим выключателем?

### 7.3. Монтаж и ремонт пускорегулирующей аппаратуры

План лекции:

1. Реостаты и магазины сопротивлений.
2. Рубильники и переключатели.
3. Контактторы.
4. Магнитные пускатели.
5. Монтажные и установочные провода: область применения, марки, стандартные сечения.
6. Силовые кабели: область применения, марки, стандартные сечения.

#### Реостаты и магазины сопротивлений

Резисторы от нескольких омов до нескольких мегаомов применяют различных радиотехнических, телефонных и других устройствах, в разнообразных измерительных приборах и т. д.

Резисторы различают не только по величине, но и по мощности рассеивания, то есть номинальной мощности, развиваемой в них током. Чем больше мощность рассеивания, тем больше габариты резисторов. Резисторы могут быть проволочными и непроволочными.

Проволочные резисторы типа ПЭ (проволочные эмалированные или остеклованные) выполняют из константановой (низкоомные) или нихромовой (высокоомные) проволоки, которую наматывают на керамическую трубку, а снаружи покрывают предохранительным слоем стекловидной эмали.

К непроволочным относят резисторы типов: ВС — влагостойкие, УЛМ — углеродистые лакированные малогабаритные, МЛТ — металлизированные лакированные теплостойкие и др.

Резисторы ВС изготавливают путем нанесения слоя углерода на керамическую основу — стержень, если мощность рассеивания 0,5...2 Вт, или трубку, если мощность рассеивания 5... 10 Вт.

Реостат — это устройство, при помощи которого можно изменять сопротивление электрической цепи. Схема включения реостата показана на рис. 1. Перемещая скользящий контакт К влево, можно уменьшать сопротивление реостата, а перемещая

вправо, увеличивать его. Ток в цепи соответственно этому изменится практически плавно.

Элементы реостата чаще изготавливают из металлической проволоки (константан, нейзильбер, сталь и т. д.). В проволоочных реостатах, широко применяемых в радиотехнике, токопроводящим элементом служит тонкий слой проводящего материала, нанесенный на основание из изоляционного материала.

Реостат со ступенчатым переключением, схема которого показана на рис. 2, состоит из ряда секций, включенных между контактами К. Чтобы изменить значение сопротивления, включенного в цепь, перемещают переключатель П. Реостаты такого типа используют главным образом как пусковые для электродвигателей постоянного тока и трехфазных асинхронных электродвигателей с фазным ротором.



Рис. 1. Схема включения реостата.

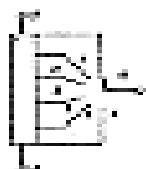


Рис. 2. Реостат со ступенчатым переключением.

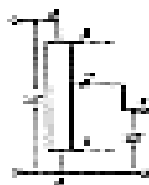


Рис. 3. Схема включения реостата в качестве потенциометра.

На рис. 3 приведена схема включения реостата в качестве потенциометра — прибора, при помощи которого изменяют напряжение питания цепи при одном и том же напряжении источника электрической энергии.

К контактам А и В подведено напряжение  $U_1$ . С контактов А и К снимается напряжение  $U_2$ . Если ползунок, с которым соединен контакт К, находится в точке 1, то напряжение  $U_2$  равно нулю, а если в точке 3, то напряжение  $U_2$  равно  $U_1$ . Таким образом, передвигая ползунок, можно изменять напряжение от 0 до  $U_1$ .

Магазины сопротивлений представляют собой специаль-

ные наборы резистивных элементов, различные сочетания которых, получаемые при помощи переключателей и штепселей, дают очень широкий диапазон значений. Если, например, магазин составлен из четырех групп элементов по 10 штук: от 0 до 9 Ом, от 0 до 90 Ом, от 0 до 900 Ом и от 0 до 9000 Ом, то, меняя положения четырех переключателей, можно установить значение сопротивления в пределах от 0 до 9999 Ом с интервалом в 1 Ом.

Элементы сопротивлений в магазинах выполнены из манганиновой или константановой проволоки, обладающей очень малым температурным коэффициентом.

Пусковые реостаты к трёхфазным асинхронным электродвигателям с фазным ротором.

При пуске трёхфазных асинхронных электродвигателей с фазным ротором для увеличения начального момента и уменьшения пускового тока в цепь включают добавочное сопротивление, называемое пусковым реостатом. Переключающее устройство реостата и сопротивления находятся в баке с трансформаторным маслом, поэтому пусковые реостаты можно устанавливать в сырых и пыльных помещениях. Реостаты нельзя применять во взрывоопасной среде, в установках, подверженных сотрясениям, а также монтировать в наклонном положении.

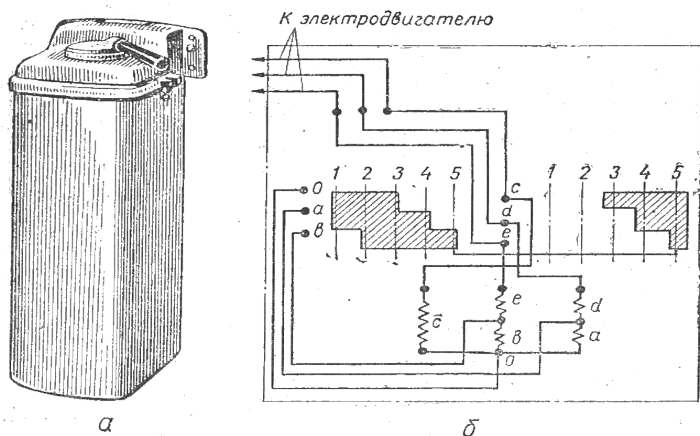


Рис. 4. Пусковой реостат типа ПР: а – общий вид; б – схема соединения

## Указания по выбору реостатов.

Роторные данные электродвигателя указываются на его паспортном щите:

$U_k$  — напряжение (в) между контактными кольцами ротора при неподвижном роторе и номинальном напряжении на зажимах статора;

$I$  — номинальный ток (а) в фазе ротора, проходящий через контактные кольца при номинальной мощности двигателя. Отношение

$U_k / I$  — характерная величина для пускового сопротивления, она связывается с определённым типом сопротивления.

Значение  $U_k / I$  для определённого сопротивления может отличаться от действительного значения  $U_k / I$  двигателя на  $\pm 30\%$ .

Выбор реостата производится с учётом мощности электродвигателя и величины нагрузки при пуске (половинная или полная).

Номинальная мощность электродвигателя при половинной нагрузке для одного и того же реостата может быть вдвое больше, чем номинальная мощность двигателя при полной нагрузке.

## Рубильники и переключатели

Рубильники и переключатели являются ручными неавтоматическими аппаратами управления. Рубильники выполняются в виде одно-, двух- и трехполюсных аппаратов и служат для включения и отключения, а переключатели — и для переключения электрических цепей при номинальных токах и напряжениях, а также для оперативных действий без нагрузки.

По способу управления рубильники и переключатели бывают с центральной рукояткой — для установки на лицевой стороне распределительных щитов; с рычажным приводом — для установки на каркасе за распределительным щитом. Управление рубильниками и переключателями с рычажными приводами осуществляется с лицевой стороны щита.

Рубильники с центральной рукояткой допускают отключение своего номинального тока при номинальном напряжении



до 220 в. При более высоких напряжениях эти рубильники применяют для разрыва электрической цепи только при отсутствии в ней тока нагрузки, в качестве низковольтных разъединителей.

При помощи рубильников с рычажными приводами можно отключить номинальные токи при номинальных напряжениях 220 в постоянного тока и 380 в переменного тока. В электроустановках напряжением выше 380 в рубильники с рычажными приводами используют только в качестве разъединителей.

При ремонте рубильников и переключателей выполняют следующее:

- тщательно очищают напильником контактные поверхности ножей и губок от грязи, копоти и частиц оплавленного металла. При этом стараются снять минимальное количество металла, чтобы не уменьшить сечение контактных частей ножей и губок. При сильных оплавлениях ножей или губок их заменяют новыми, соответствующих профилей и размеров;

- подтягивают все крепежные детали рубильников и переключателей. При этом особое внимание обращают на шарнирные соединения, являющиеся частью цепи, по которой проходит электрический ток;

- проверяют состояние пружин в губках. Ослабленные пружины, не создающие в контактах требуемого давления, заменяют новыми;

- регулируют плотность вхождения ножей в губки. Ножи должны входить в губки без ударов и перекосов, но с некоторым усилием. Контактная поверхность губки должна плотно прилегать к соответствующей поверхности ножа. При проверке щупом толщиной 0,05 мм он не должен входить в межконтактное пространство (между губкой и ножом на глубину более 5—6 мм;

- регулируют глубину вхождения ножей в губки. У рубильника с рычажным приводом ножи при полностью включенном положении не должны доходить до контактной площадки губок на 2—4 мм. В то же время ножи всей своей

контактной частью должны войти в губки. Глубину вхождения ножей в губки рубильников с рычажным приводом регулируют увеличением или сокращением длины тяги от рукоятки к рубильнику. При регулировании добиваются одновременного входа и выхода всех трех ножей из губок. Разновременность выхода ножей из контактных губок не должна превышать 3 мм;

➤ проверяют прочность соединения рубильника с рычагом тяги. Резьбовые соединения закрепляют контргайками, а штифтовые — двумя конусными штифтами диаметром 4—6 мм;

➤ проверяют состояние пружин искрогасительных контактов. Слабые пружины заменяют новыми.

Качество ремонта и регулирования рубильников и переключателей проверяют многократным (10—15 раз) включением и отключением. Указанное количество операций включения и отключения рубильник должен выдержать без признаков нарушения регулировки.

Рубильники и переключатели (рис. 6) предназначены для нечастой коммутации (замыкания и размыкания) электрических цепей, постоянного и переменного токов частотой 50 гц, напряжением до 500 в.

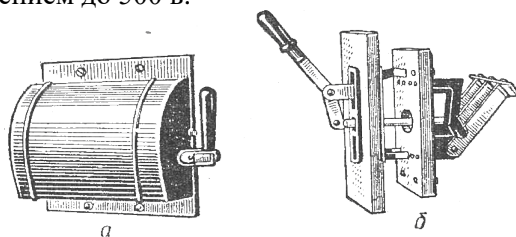


Рис. 6. Трёхполюсный рубильник: а — защищенный кожухом; б — с рычажным приводом

Рубильники и переключатели подразделяются:

- 1) по величине номинального тока,
- 2) по количеству полюсов: а) однополюсные; б) двухполюсные; в) трёхполюсные,

3) по роду привода: а) с центральной рукояткой; б) с боковой рукояткой; в) с боковым рычажным приводом; г) с центральным рычажным приводом,

4) по количеству коммутационных положений: а) рубильники, имеющие два положения; б) переключатели, имеющие три положения,

5) по расположению зажимов для присоединения проводов: а) с передним присоединением; б) с задним присоединением.

Контактор — это коммутационный аппарат, предназначенный для частых замыканий и размыканий электрической цепи под нагрузкой, не защищающий ее от ненормальных режимов. Электромагнитные контакторы снабжены электромагнитным приводом для дистанционного включения и отключения. На рис. 8 показана схема включения контактора. При нажатии на кнопку Пуск обмотка 4 контактора обтекается током и к ней притягивается магнитная система 3, которая вызывает замыкание контактов 2 в силовой цепи.

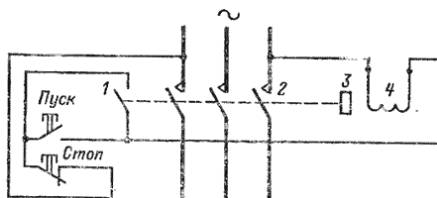


Рис. 7. Схема включения контактора

Одновременно замыкаются вспомогательные контакты 1. При нажатии на кнопку Стоп цепь обмотки размыкается, якорь магнитной системы отпадает, силовые контакты размыкаются. В контакторах, как и в автоматических выключателях, имеются дугогасительные камеры. Контактторы изготавливаются в открытом исполнении. Основное применение нашли контакторы с дугогашением типов КТ, КТЭ и КТВ, данные которых приведены в табл. 8.

Буквы и цифры в обозначении типов для серий КТ и КТЭ имеют следующее значение: КТ и КТЭ — серия контакторов. После дефиса может стоять трехзначное или двузначное число.

В трехзначном числе первая цифра 1 означает исполнение

без дугогашения. Остальные две цифры означают: первая — число полюсов, вторая — величину контактора. Знаменатель дроби 3А и 3Б соответствует контакторам с передним присоединением проводов. Для контакторов серии КТВ цифры имеют то же значение, что и для серий КТ и КТЭ, а буква Л соответствует контакторам с передним присоединением.

Контакторы переменного тока с замыкающими главными контактами, рассчитанные на малую мощность, и контакторы на большую мощность, имеющие встроенную тепловую защиту от перегрузок, называются магнитными пускателями. Магнитные пускатели используют для местного и дистанционного включения и выключения электродвигателей и других токоприемников, а также для защиты от перегрузок или самопроизвольного включения после снятия напряжения. Реверсивные (сдвоенные) магнитные пускатели предназначены для изменения направления вращения двигателя. В них имеется механическая или электрическая блокировка от одновременного включения.

В магнитных пускателях имеется одна пара вспомогательных контактов. Дополнительно могут устанавливаться вспомогательные контакты для цепей управления и сигнализации. Управление магнитными пускателями осуществляют от кнопочной станции. Для защиты электроустановки от коротких замыканий последовательно с силовыми контактами магнитного пускателя устанавливают предохранители, которые должны рассчитываться на ток, не превышающий четырехкратного тока теплового реле. В противном случае при коротком замыкании может сгореть нагревательный элемент теплового реле.

На рис. 8 показана принципиальная схема включения в сеть через предохранители 2 магнитного пускателя с тепловым реле 1.

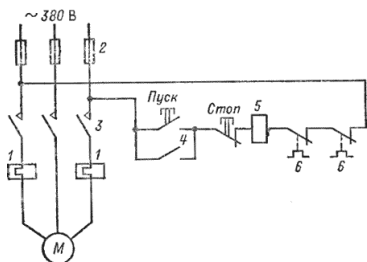


Рис. 8. Принципиальная схема включения магнитного пускателя с тепловым реле

При нажатии на кнопку Пуск ток поступает в обмотку 5 магнитного пускателя, срабатывает магнитная система и замыкаются силовые контакты 3 и вспомогательные 4, включенные параллельно кнопке Пуск и заменяющие ее после момента включения. При нажатии на кнопку Стоп цепь тока через обмотку 5 разрывается и магнитный пускатель размыкает все свои контакты, отключая токоприемник от сети и разрывая контактами 4 цепь срабатывания обмотки 5. Магнитный пускатель отключается также при перегрузке, когда размыкаются контакты 6 теплового реле 1.

В электроустановках сельскохозяйственного назначения наибольшее распространение получили магнитные пускатели серий ПМЕ и ПА (табл. 1), которые могут укомплектовываться тепловыми реле типа ТРН и ТРП (табл. 2).

Следующие за буквами цифры в обозначении магнитного пускателя означают: первая цифра — величина магнитного пускателя; вторая цифра — исполнение магнитного пускателя по роду защиты от окружающей среды:

Таблица 1. Технические данные магнитных пускателей

Тип	Величина пускателя	Номинальный ток при защищенном исполнении, А	Предельная мощность двигателя, кВт, при напряжении		Тип встроенных тепловых реле
			220 В	380 В	
ПМЕ-000	0	3	0,6	1,1	ТРН-8
ПМЕ-100	1	10	2,2	4	ТРИ-10
ПМЕ-200	2	25	5,5	10	ТРН-25
ПА-300	3	40	10	17	ТРН-40
ПА-400	4	56	14	28	ТРН-60
ПА-500	5	115	30	55	ТРП-150
ПА-600	6	140	40	75	ТРП-150

Таблица 2. Номинальные токи сменных нагревательных элементов к тепловым реле

Тип	Номинальный ток, А
ТРН-8, ТРН-10	0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5;
	6,3; 8; 10
ТРН-25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20
ТРН-40	12,5; 16; 20; 32; 40
ТРП-60	25; 30; 40; 50; 60
ТРП-150	50; 60; 80; 100; 120; 150

1 — открытое; 2 — защищенное; третья цифра — электрическое исполнение: 1 — нереверсивный пускатель без тепловых реле; 2 — то же с тепловыми реле; 3 — реверсивный без тепловых реле; 4 — то же с тепловым реле. Так, магнитный пускатель ПМЕ-122 означает: 1-й величины, защищенного исполнения, нереверсивный с тепловыми реле.

### Эксплуатация контакторов и магнитных пускателей

Контакторы и магнитные пускатели следует осматривать не реже 1 раза в 2—3 мес. Перед осмотром необходимо снять напряжение и исключить возможность его появления на вводе и вспомогательных контактах. При осмотре снимают крышку (если она есть), удаляют пыль, грязь с доступных мест, используя салфетки, смоченные бензином, подтягивают винты и гайки креплений; проверяют, нет ли механических повреждений изоляции подводящих проводов цепей вторичной коммутации. Проверяют надежность заземления металлических частей корпусов и состояние контактов в месте присоединения проводов, исправность действия аппарата, включая и отключая его от руки при снятом

напряжении. Затем проверяют целостность уплотнений аппарата. При уходе за магнитными пускателями проверяют: не перекошена ли контактная система и одновременно ли замыкаются контакты, нет ли коррозии на пружинах главных и вспомогательных контактов (дефектные пружины заменяют), состояние контактов. Окислившиеся, подгоревшие, потемневшие контакты зачищают бархатным напильником;

крепление магнитной системы, подтягивают ослабевшие винты;

плотность посадки обмотки на сердечник магнитопровода; внешний покров катушки должен быть блестящим, без подтеков, не должно быть специфического запаха горелой изоляции;

не имеют ли искрогасительные камеры трещин, сколов и пригораний;

состояние тепловых реле; нагревательный элемент заменяют новым, если обнаружено выгорание металла;

работу магнитного пускателя под напряжением; он должен четко срабатывать без заметного торможения.

Магнитная система должна издавать легкий равномерный гул без дребезжания.

### Монтажные провода

Для монтажа электрических приборов, аппаратов, применяют монтажные провода, причем крепление таких проводов ставят неподвижными. В выполнении какой-либо электромонтажной указанной работы провода приходится часто изгибать, от этого монтажные провода имеют повышенную гибкость в отличие от установочных.

Такое свойство определено тем, что жилы изготавливают для монтажных проводов из медной мягкой проволоки – многопроволочные жилы – из медных, тонких проволок, обвитых друг с другом. Благодаря тому, что жилы монтажных проводов луженые, они легко соединяются пайкой. Жилы монтажных токопроводящих проводов изолируют лавсановыми, капроновыми или стеклянными нитями, полиэтиленом, поливинил-хлоридом. Оболочкой из капрона защищена пластмассовая изоляция в проводах

некоторых марок или сначала обмотаны нитями жилы из триацетатного шелка, а после на обмотку нанесена изоляция из полиэтилена или поливинилхлорида. Изоляцию из материалов полиэтилена и поливинилхлорида нередко делают сплошной – из пластика, но используют также пленки из этих материалов (пленочная изоляция).

Также в зависимости от назначения монтажные провода бывают экранированными и лакированными. У монтажных проводов небольшая площадь сечения жил – от 0,05 до 6 мм<sup>2</sup>, от того, что они не предназначены для сильных токовых нагрузок. Количество жил не более трех, изолированных друг от друга. Если же для подключения аппаратов и приборов нужно более количество жил, то используют монтажные кабели. Наружный диаметр монтажных проводов служит их важной характеристикой. С наружным диаметром от 0,8 до 5,8 мм. выпускает монтажные провода промышленность.

Следующим образом отмечают марки монтажных проводов:

Букву М обычно ставят на первом месте – это указывает, что провод монтажный. Исключение этому составляют кое-какие провода с изоляцией пластмассы, в марки обозначении которых буква М отсутствует. Все остальные буквенные обозначения определяют материал, из которого состоит изоляция, и кое-какие другие особенности устройства провода, например:

- В – поливинилхлоридная изоляция;
  - Г – гибкий провод с многопроволочными жилами;
  - Д – провод с двойной обмоткой;
  - Л – провод лакированный;
  - П – полиэтиленовая изоляция;
  - С – изоляция из стекловолокна;
  - Ц – пленочная изоляция;
  - Ш – с изоляцией из полиамидного шелка;
  - Э – экранированный провод (если она стоит на последнем месте);
  - Э – эмалированный провод (если она следует за буквой М);
- Вот пример вышеуказанному:

• МГСП – монтажный провод, гибкий, многопроволочный, с обмоткой из стеклянных нитей и полиэтиленовой изоляцией;



- МГШДЛ – монтажный провод, гибкий, многопроволочный, с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный;
- МШВ – монтажный провод, однопроволочный, с обмоткой из триацетатного шелка, со сплошной изоляцией из поливинилхлоридного пластика;
- МШДЛ – монтажный провод, с однопроволочной жилой, двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный;
- МГЦСЛЭ – монтажный провод, многопроволочный, гибкий, с пленочной изоляцией, с оплеткой из стекловолокна, лакированный, экранированный.

С пленочной и волокнистой изоляцией монтажные провода предназначены для электроустановок напряжением 220 или 127 В (провод марки МГШ – 24 В). Отдельных некоторых марок провода, имеющих жилы с площадью сечения до 0,14 мм<sup>2</sup>, пригодны для работы при напряжении до 500 В постоянного тока и до 380 В переменного тока. Со сплошной полиэтиленовой, поливинил-хлоридной, комбинированной (волокнисто-пластмассовой) изоляцией монтажные провода рассчитаны на работу при напряжении до 1500 В постоянного тока и до 1000 В переменного тока.

К установочным и монтажным проводам и кабелям относятся изолированные провода (жилы) и шнуры, предназначенные для передачи электроэнергии. Их применяют при монтаже внутренних проводов и силовых токоприемников в сельскохозяйственном производстве.

Шнуры и кабели — одна или несколько скрученных между собой изолированных жил, обладающих определенной гибкостью, или же несколько таких жил, заключенных в общую герметическую оболочку из резины, пластмассы или металла.

В производстве наиболее распространены провода и шнуры следующих марок:

ПР, АПР — шнур в пропитанной оплетке, на напряжение до 500 В, сечением 0,75...400 мм<sup>2</sup> для медных и 2,5...400 мм<sup>2</sup> для алюминиевых проводов. Применяется для неподвижной прокладки в сухих, жарких и пыльных помещениях, на роликах, в трубках и трубах. Изготавливается и на напряжение 3000 В (медный) сечением 1,5...185 мм<sup>2</sup>. Для этих марок обычно в их обозначении указано напряжение, например, ПР-500;

ПРКС, ПРБС — то же, но с резиновой теплостойкой изоляцией сечением 0,75...2,5 мм<sup>2</sup>;

ПРГ и ПРГ-500 — то же, но гибкий, применяется на те же напряжения для соединения подвижных частей электрических машин и аппаратов в сухих и сырых помещениях в стальных трубах соответственно сечением 0,75...24 мм<sup>2</sup>, 6...35 мм<sup>2</sup>;

ПРД — двухжильный неопитанный, на напряжение 380 В, сечением 0,5...6 мм<sup>2</sup>, для неподвижной прокладки на роликах в сухих помещениях;

АР (АРД) — шнур арматурный, медный, одножильный (двухжильный) в неопитанной оплетке для арматуры на напряжение 220 В, сечением 0,5...0,75 мм<sup>2</sup>, для зарядки и прокладки поверх осветительной арматуры в сухих помещениях;

ПРП (ПРШП) — шнур в защитной оплетке из стальной проволоки (панцирный) до 500 В, одно-, двух- и трехжильный сечением 1...95 мм<sup>2</sup>, для неподвижной прокладки;

ПРТО, АПРТО — шнур в пропитанной оплетке для прокладки в трубах, до 2000 В, одножильный сечением 1...500 мм<sup>2</sup>, двух-, трех- и четырехжильный сечением 1...120 мм<sup>2</sup>, обычно напряжение провода указано в марке, например ПРТО-500;

ППВ, АППВ (ППВС и АППВС) — шнур с полихлорвиниловой изоляцией, плоский, с разъединяющей перемычкой между жилами (без нее), до 500 В, двух- и трехжильный сечением 2,5...6 мм<sup>2</sup>, для неподвижной открытой прокладки в сухих и сырых помещениях (для скрытой прокладки под штукатуркой);

ПВ, АПВ, ПГВ — шнур одножильный, с полихлорвиниловой изоляцией (гибкий), до 500 В, сечением 2,5...120 мм<sup>2</sup>, для прокладки в трубах и пустотных каналах несгораемых строительных конструкций, по машинам и станкам;

АПН — шнур в найритовой резиновой изоляции, до 500 В, одно-, двух- и трехжильный сечением 2,5...6 мм<sup>2</sup>, для неподвижной открытой прокладки в сухих и сырых помещениях.

АПРВ — шнур в полихлорвиниловой оболочке, 500 В, сечением 2,5...6 мм<sup>2</sup>, для неподвижной прокладки в сухих, жарких и пыльных помещениях, на роликах, клицах, в трубах и трубках;

АТРГ — шнур с найритовой резиновой изоляцией, тросовый, 500 В, трех- и четырехжильный сечением 4...35 мм<sup>2</sup>, для от-

крытой прокладки в качестве магистральных линий осветительных и силовых токоприемников;

АППР — шнур, не распространяющий горения, 380 В, одно- и двухжильный сечением 2,5... 10 мм<sup>2</sup>.

\* Провода с алюминиевыми жилами имеют в обозначении марки букву А (первая), а буква Р в обозначении марки указывает на резиновую изоляцию.

В сельском хозяйстве наиболее распространены кабели следующих марок:

ШРПЛ (ШРПС) — провод (кабель) шланговый, с резиновой изоляцией, переносный, двухжильный (в более прочном шланге) сечением 0,5; 1; 1,5 мм<sup>2</sup>, трех- и четырехжильный сечением 0,75...4 мм<sup>2</sup>;

КРПТ (АКРПТ) — кабель переносный тяжелый, с резиновой изоляцией в шланговой оболочке, 500 В, одно-, двух-, трех- и четырехжильный сечением 2,5...70 мм<sup>2</sup> (16...95 мм<sup>2</sup>);

ВРГ, АВРГ (НРГ, АНРГ) — кабель в полихлорвиниловой (В) или негорючей (найритовой) оболочке на напряжение 500 В, с одной, двумя и тремя медными жилами сечением 1...240 мм<sup>2</sup> (медный) и 4...185 мм<sup>2</sup> (алюминиевый). Эти кабели могут быть и в бронированном исполнении (ВРБ, АВРБ и т. п.);

АВВ (АВП) — кабель с алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной (полиэтиленовой) изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке, имеет от 2 до 7 жил сечением 2,5...50 мм<sup>2</sup> (16...50 мм<sup>2</sup>);

АВБВ — кабель с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке, бронирован двумя стальными лентами в поливинилхлоридной наружной оболочке, имеет 2, 3, 4 жилы сечением 2,5...120 мм<sup>2</sup>.

Монтажные провода. В электротехнике наибольшее применение находят следующие монтажные провода:

МШДЛ (МЭШДЛ) — однопроволочный (эмалированный) с двойной обмоткой из полиамидного шелка, напряжение 220 В;

МГШ; МГШД, МГШДО, МГШДОП, МГШДЛ, МГЦШП, МГСЛ, МГСЛЭ, МГЦСЛ и МГЦСЛЭ — соответственно многопроволочный в оплетке (24 В), дополнительно с двойной обмоткой;

кой (60 В), с двойной обмоткой и оплеткой, обмоткой и подклеенной оплеткой (127 В), с двойной обмоткой лакированный (220 В), с пленочной изоляцией с двойной обмоткой и подклеенной оплеткой (220 В), в обмотке и оплетке из стекловолокна, лакированный и экранированный (127 В), то же, с пленочной изоляцией в обмотке и оплетке из стекловолокна (220 В). Жилы указанных проводов имеют сечение от 0,05 до 6,0 мм<sup>2</sup> при максимальном наружном диаметре провода от 0,6 до 5,0 мм. Согласно ГОСТ 10349—75, нормировано сопротивление проводов постоянному току. Нормируются также сопротивление изоляции проводов и испытательные напряжения образцов. Указанные провода могут работать при температуре от —60 до 105°С (от 213 до 373 К) и относительной влажности от 65 до 95%.

При возможной конденсации водяных паров (но при температурах от —50 до +85°С или от 223 до 358 К) используются следующие монтажные провода с пластмассовой и резиновой изоляцией:

МШВ, МНШВ, МГШВЭ и МГШВЭВ — с одно- и многопроволочными жилами, с обмоткой триацетатным волокном и поливинилхлоридной изоляцией, экранированные в защитной поливинилхлоридной оболочке,

МШП, МГШП, МГШПЭ, МГСП и МГСПЭ — то же, с изоляцией из полиэтилена с предварительной обработкой жилы триацетатным шелком, или волокном лавсана, или стекловолокном.

Для общепромышленного применения наибольшее распространение получили монтажные провода с одной поливинилхлоридной и частично с полиэтиленовой изоляцией на напряжение до 500 и 1000 В и частоту 50 Гц при температурах от —40 до +70°С (233...343 К) — марки ПВ-500, ПВ-1000, ПВЭ-500 (экранированный) и ПВЭ-1000. При наличии защитной оболочки из капрона в обозначении марки добавляется буква К, например ПВК-500 и т. п. Провода с полиэтиленовой изоляцией изготавливаются на напряжение до 500 В для эксплуатации при температурах от —40 до +85°С (233...358 К). Их марки: ПП-500, ППЭ-500 — экранированные и ППКЭ-500 — с защитной капроновой оболочкой.

Эти провода могут быть одножильными сечением от 0,08 до 2,5 мм<sup>2</sup>, двух- и трехжильными сечением до 1,0 мм<sup>2</sup>.

Монтажные провода повышенной нагревостойкости

имеют медные никелированные или посеребренные жилы, изолированные обмоткой лентами из фторопласта-4 с последующей термообработкой, а затем оплеткой стекловолокном с пропиткой кремнийорганическим лаком (провода марки ТМ-250 сечением  $0,35 \dots 6,0 \text{ мм}^2$ ) или покрытием лавсановым волокном (ПТЛУ-200 и Др. сечением  $0,35 \dots 1,5 \text{ мм}^2$ ).

Провода марки РКГМ, из кремнийорганической резины имеют сечение токопроводящих жил от  $0,75$  до  $6,0 \text{ мм}^2$  и допустимый длительный нагрев до  $180^\circ\text{C}$ .

### Провода специального назначения

Провода марки ПЭВТЛК с двойной упроченной эмалевой изоляцией на основе полиуретановых и полиамидных смол предназначены для прошивки матриц запоминающих устройств, а также для изготовления обмоток электрических машин, приборов, аппаратов. Отличаются высокой механической прочностью изоляции. Рабочая температура от  $-60$  до  $+120^\circ\text{C}$  (от  $213$  до  $393 \text{ K}$ ); класс нагревостойкости изоляции Е. Диаметр проводов  $0,06 \dots 0,35 \text{ мм}$ ; минимальная толщина изоляции  $0,025 \dots 0,05 \text{ мм}$ .

В низкотемпературных процессах сельскохозяйственного производства (теплицы и животноводческие помещения) находят применение специально выпускаемые промышленностью для этих целей нагревательные провода типа ПОСХВ и ПОСХВТ — провод обогревательный сельскохозяйственный с полихлорвиниловой или полиэтиленовой изоляцией. Они имеют стальную оцинкованную жилу диаметром  $0,85 \dots 1,2 \text{ мм}$  (телеграфная канатка) и допускаемую рабочую температуру жилы соответственно до  $60, 90^\circ\text{C}$  ( $333, 363 \text{ K}$ ) и  $105^\circ\text{C}$  ( $378 \text{ K}$ ).

Промышленность выпускает также аналогичные по техническим данным провода марок ПОСХБ, ПОСХВП, ПОСХВН.

Нагревательные кабели в отличие от проводов могут иметь до трех жил из нихрома или константана. Жилы изолируются асбестом, силиконом и другими теплостойкими материалами. Кабель имеет оболочку из свинца, меди, алюминия или мягкой нержавеющей стали. Кабели допускают большие токовые нагрузки и рабочие температуры до  $400^\circ\text{C}$  ( $673 \text{ K}$ ).

Область применения кабелей силовых с бумажной и



пластмассовой изоляцией, выпускаемых отечественными заводами по ГОСТ 18409—73\* Е, ГОСТ 18410—73\* Е и ГОСТ 16442—80\*, определена «Едиными техническими указаниями по выбору и применению электрических кабелей» (ЕТУ)

Указания являются обязательными для всех проектных, электромонтажных и эксплуатационных организаций и устанавливают распределение марок кабелей по областям применения в зависимости от степени воздействия на них агрессивной и пожароопасной окружающей сред, механических усилий и воздействий, возникающих при различных видах прокладок, а также и в эксплуатации.

При установлении рекомендуемых областей применения электрических кабелей предусмотрено широкое использование кабелей в алюминиевой или пластмассовой оболочке вместо кабелей в свинцовой оболочке. При выборе кабелей следует руководствоваться следующим. Приведенные в таблицах марки кабелей могут использоваться для питания потребителей всех категории по степени требования к надежности электроснабжения.

За базовые марки силовых кабелей приняты марки кабелей с алюминиевыми жилами.

Наряду с этими базовыми марками могут применяться для соответствующих условий аналогичные марки силовых кабелей с медными жилами, марки кабелей для вертикальных и наклонных трасс с обедненной изоляцией или изоляцией, пропитанной нестекающим составом, трехжильные кабели с отдельными металлическими оболочками на фазах, а также одножильные кабели и др. Выбор кабелей по нагреву, экономической плотности тока, условиям коротких замыканий (термической и электродинамической стойкости) и потерям напряжения должен производиться в соответствии с требованиями ГОСТ, ПУЭ.

Таблица 3 Марки силовых кабелей, напряжение, сечение и число жил по ГОСТ 16442-80

Марка кабеля	Число жил	Номинально? сечение жил, мм <sup>2</sup> , при напряжении, кВ			
		0,66	1	3	6
ВВГ, ПВГ, ПсВГ, ПвВГ, ВВГз	1, 2, 3 и 4	1,5-50	1,5-240	-	-
АВВГ, АПВГ, ААсВГ, АПвВГ, АВВГз	1, 2, 3 и 4	2,5-50	2,5-240	-	-
АВБбШв, ВБбШв, АПБбШв, ПБбШв, АПсБбШв, ПсБбШв, АПвБбШв, ПвБбШв	2, 3 и 4	4-50	6-240	6-240	-
АВАШв, ВАШв, АПвАШв, ПвАШв	3 и 4	-	6-240	6-240	10-240
АВВГ, ВВГ, АПВГ, ПВГ, АПсВГ, ПсВГ, АПвВГ, ПвВГ, АВБбШв, ВБбШв, АПБбШв, ПБбШв, АПсБбШв, ПсБбШв, АПвБбШв, ПвБбШв	3	-	-	-	10-240
ВВГ, ПВГ, ПсВГ, ПвВГ, ВВГз	5	-	1,5-25	-	-
АВВГ, АПВГ, АПсВГ, АПвВГ, АВВГз	5	-	2,5-35	-	-
АВВГ, АПВГ, АПсВГ, АВВГз	5 и 6	2,5-50	-	-	-

Применять силовые кабели в свинцовой защитной оболочке следует для подводных линий, в шахтах, опасных по газу и пыли, при прокладке в особо опасных коррозионных средах. В остальных случаях при невозможности использовать кабели в алюминиевой или пластмассовой оболочке их замена на силовые кабели в свинцовой оболочке в каждом конкретном случае подлежит специальному техническому обоснованию в проектно-сметной документации.

Механические воздействия на кабель, возникающие при прокладке, определяются сложностью (конфигурацией) кабельной трассы. До разработки классификации кабельных трасс по степени сложности при определении сложных участков трасс следует руководствоваться следующими положениями.

При прокладке в земле к сложным участкам трасс, на которых прокладывается одна строительная длина, относятся:

а) участки трасс с более чем четырьмя поворотами под углом свыше 30°;

б) прямолинейные участки трасс с более чем четырьмя переходами в трубах длиной более 20 м или с более чем двумя переходами в трубах длиной более 40 м

При прокладках в зданиях сложными участками, на которых прокладывается одна строительная длина кабеля, считаются прокладки в трубах с более чем двумя поворотами при длине труб более 20 м, а также с более чем четырьмя протяжками через огнестойкие перегородки или аналогичные препятствия без учета подводов кабелей к электрооборудованию.

Все остальные участки трасс с меньшим числом поворотов или переходов в трубах относятся к несложным участкам трасс.

### Кабели силовые

Силовые кабели с алюминиевыми или медными жилами, с пропитанной бумажной изоляцией, в алюминиевой или свинцовой оболочке с защитными покровами или без них предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное напряжение от 1 до 35 кВ частоты 50 Гц для сетей с изолированной нейтралью.

Силовые кабели с пластмассовой изоляцией предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение с неограниченной разностью уровней и в сетях постоянного напряжения при температуре окружающей среды от -50 до +50°С при относительной влажности до 98% (при температуре до +35 °С).

Кабели с пластмассовой изоляцией изготавливают для сетей на номинальные переменные напряжения: 0,66; 1; 3; 6; 10; 35;



64/110 кВ частоты 50 Гц с алюминиевыми или медными жилами с изоляцией из самозатухающего ПЭ, вулканизирующегося ПЭ и ПВХ пластиката, в алюминиевой, свинцовой, ПВХ, ПЭ оболочках. При значительных механических и других воздействиях на кабели накладывают защитные покровы. При прокладке кабелей в сетях постоянного напряжения оно не должно превышать номинальное в 2,5 раза.

Кабели с ПЭ изоляцией и в оболочке без защитного волокнистого покрова допускается прокладывать (монтировать) без предварительного прогрева при температуре кабелей и окружающего воздуха не ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ ; кабелей в оболочке или шланге из ПВХ пластиката без защитного покрова, содержащего волокнистые материалы, не ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  и всех остальных кабелей - не ниже  $-7^{\circ}\text{C}$ . Кабели в пластмассовой оболочке должны прокладываться с радиусом изгиба не менее  $6D$ ; кабели бронированные - с радиусом не менее  $10D$  и кабели в алюминиевой оболочке - не менее  $15D$ .

Длительно допустимая температура нагрева жил кабелей не должна превышать  $70^{\circ}\text{C}$ . Максимально допустимая температура жил кабелей с изоляцией из ПВХ пластиката, ПЭ и кабелей с изоляцией из самозатухающего ПЭ в аварийном режиме не должна превышать  $80^{\circ}\text{C}$  и кабелей с изоляцией из вулканизирующегося ПЭ  $130^{\circ}\text{C}$ .

Силовые кабели с пластмассовой изоляцией составляют группы: кабели общего (широкого) назначения, кабели специализированные для определенных назначений, а также высоковольтные кабели.

Кабели общего назначения на напряжения 0,66; 1; 3 и 6 кВ. Двух- и трехжильные кабели изготавливают с основными жилами одинакового сечения, и они могут иметь жилу заземления меньшего сечения. Четырехжильные кабели изготавливают с максимальным сечением жил 185 кв.мм, их выпускают с жилами одинакового сечения или с одной нулевой жилой меньшего сечения. Пятижильные кабели имеют четыре жилы одинакового сечения и одну жилу меньшего сечения.

Токопроводящие жилы изготавливают однопроволочными или многопроволочными. Однопроволочные алюминиевые жилы сечением 70 кв.мм и выше имеют относительное удлинение не менее 30%.

На токопроводящие жилы накладывают изоляцию в зависимости от марки кабеля из ПЭ, самозатухающего ПЭ или вулканизирующегося ПЭ или ПВХ пластиката. Предельно допустимое отклонение от толщины изоляции -10%.

Жилы, изолированные ПВХ пластикатом, скручивают с заполнением из ПВХ пластиката, а изолированные разными видами ПЭ - соответственно данным материалом или ПВХ пластикатом. Кабели на напряжение до 3 кВ заполняют непропитанной кабельной пряжей или штапелированной стеклопряхей.

Кабели с резиновой изоляцией гибкие общего назначения предназначены для присоединения различных передвижных механизмов при переменном напряжении до 660 В частотой 50 Гц. Кабели предназначены для работы в различных атмосферных условиях при длительно допустимой температуре жил не более 65 °С.

Токопроводящие жилы изолируют резиной типа РТИ-1 толщиной 0,6 мм с допустимым отклонением -10%. Основные изолированные жилы имеют отличительную расцветку или другие виды отличия. По согласованию с потребителем кабели могут изготавливаться без расцветки или других видов отличия жил. Жила заземления, кроме жилы заземления кабеля КППУ, имеет зелено-желтый цвет.

### **Вопросы для повторения:**

1. Какие составляет группы силовые кабели с пластмассовой изоляцией?
2. Для чего предназначены силовые кабели с пластмассовой изоляцией?
3. Какие марки кабелей наиболее распространенные в сельском хозяйстве?
4. Какие марки проводов и шнуров наиболее распространены в производстве?
5. Что называется шнурами и кабелями?
6. Что проверяется при ТО магнитного пускателя?
7. Что называется контактором?
8. Каких параметры допускаются регулировки полупроводниковых расцепителей тока?
9. Из чего состоят полупроводниковые расцепители?

10. Что собой представляет тепловой максимальный расцепитель?
11. Что собой представляет электромагнитный максимальный расцепитель тока?
12. Из чего состоит контактная система?
13. Из чего состоят автоматические выключатели?
14. Для чего служат автоматы максимального тока?
15. Что называется автоматическими выключателями?
16. Для чего предназначены автоматические выключатели серий АВ и АВМ?
17. На какие виды подразделяются рубильники и переключатели?
18. Для чего предназначаются рубильники и переключатели?
19. Что называется реостатом?

#### **7.4. Монтаж и ремонт защитного заземления и зануления**

План лекции:

- 1.Заземляющее устройство.
- 2.Правила техники безопасности при выполнении электромонтажных работ.

- 1.Заземляющее устройство.

Монтаж защитного заземления

Защитное заземление - это преднамеренное соединение с землей металлических частей электроустановки, не находящихся под напряжением (рукояток приводов разъединителей, кожухов трансформаторов, фланцев опорных изоляторов, корпусов измерительных трансформаторов и т.п.).

Монтаж заземляющих устройств состоит из следующих операций: установки заземлителей, прокладки заземляющих проводников, соединения заземляющих проводников друг с другом присоединения заземляющих проводников к заземлителям и электрооборудованию.

Вертикальные заземлители из угловой стали и отбракованных труб погружают в грунт забивкой или вдавливанием, из круглой стали - ввертыванием или вдавливанием. Эти работы выполняют с помощью механизмов и приспособлений, например: копра (забивка в грунт), приспособления к сверлилке (ввертывание в грунт стержневых электродов), механизма ПЗД-12 (ввертывание в грунт электродов заземления).

Для устройства заземления наиболее распространены электрозаглубители, имеющие стандартную электросверлилку и редуктор, понижающий частоту вращения ниже 100 об/мин и соответственно увеличивающий крутящий момент на ввертываемом электроде. При пользовании этими заглубителями к концу электрода приваривают наконечник-забурник, обеспечивающий рыхление грунта и облегчающий погружение электрода. Выпускаемый промышленностью наконечник представляет собой заостренную на конце и изогнутую по винтовой линии стальную полосу шириной 16 мм. В монтажной практике применяются и другие типы наконечников для электродов. При устройстве заземления вертикальные заземлители должны закладываться на глубину 0,5 - 0,6 м от уровня планировочной отметки земли и выступать от дна траншеи на 0,1 - 0,2 м. Расстояние между электродами 2,5 - 3 м. Горизонтальные заземлители и соединительные полосы между вертикальными заземлителями укладывают в траншеи глубиной 0,6 - 0,7 м от уровня планировочной отметки земли. Все соединения в цепях заземлителей выполняют сваркой внахлестку; места сварки покрывают битумом во избежание коррозии. Траншею роют обычно шириной 0,5 и глубиной 0,7 м. Устройство внешнего заземляющего контура и прокладку внутренней заземляющей сети производят по рабочим чертежам проекта электроустановки. Вводы в здание заземляющих проводников выполняют не менее чем в двух местах. После монтажа заземлителей составляют акт на скрытые работы, указывая на чертежах привязки заземляющих устройств к стационарным ориентирам.

Заземляющие магистральные проводники прокладывают по стенам на расстоянии 0,5-0,10 м от поверхностей на высоте 0,4-0,6 м от уровня пола. Расстояние между точками крепления 0,6 - 1,0 м. В сухих помещениях и при отсутствии химически активной среды допускается прокладка заземляющих проводников

вплотную к стене. Заземляющие полосы к стенам крепят дюбелями, которые пристреливают строительным пистолетом либо непосредственно к стене, либо через промежуточные детали. Широко применяют также закладные детали, к которым приваривают полосы заземления. Пистолетом типа ПЦ можно пристреливать детали из листовой или полосовой стали толщиной до 6 мм в основания из бетона (марки до 400), кирпича и др.

В сырых, особо сырых помещениях и в помещениях с едкими испарениями (с агрессивной средой) заземляющие проводники приваривают к опорам, закрепленным дюбелями-гвоздями. Для создания зазора между заземляющим проводником и основанием в таких помещениях используют штампованный держатель из полосовой стали шириной 25 - 30 и толщиной 4 мм, а также кронштейн для прокладки круглых заземляющих проводников диаметром 12 - 19 мм. Длина нахлестки при сварке должна быть равна двойной ширине полосы для прямо угольных полос или шести диаметрам для круглой стали.

К трубопроводам заземляющие проводники присоединяют при наличии на трубах задвижек или болтовых фланцевых соединений выполняют обходные перемычки.

Части электроустановок, подлежащие заземлению, присоединяют к заземляющим магистралям отдельными ответвлениями. Стальные заземляющие проводники присоединяют к металлоконструкциям сваркой, к оборудованию - под возможно, сваркой. заземляющий болт или, где проводники присоединяют к медными проводниками с креплением проволочным бандажом и пайкой. Вокруг подстанции обычно делают общий заземляющий контур, к которому приваривают заземляющие проводники внутренней части подстанции. Отдельные элементы электрооборудования присоединяют к заземляющим проводникам параллельно, а не последовательно, иначе при обрыве заземляющего проводника часть оборудования может оказаться незаземленной.

На подстанциях заземляют все элементы электрооборудования и металлические конструкции. Силовые трансформаторы заземляют гибкой перемычкой, изготовленной из стального троса. Перемычку с одной стороны приваривают к заземляющему проводнику, с другой - присоединяют к трансформатору с помощью болтового соединения. Разъединители заземляют через

раму, плиту привода и опорный подшипник; корпус вспомогательных контактов - присоединением к шине заземления.

Если разъединители и приводы смонтированы на металлических конструкциях, то заземление выполняют путем приваривания к ним заземляющего проводника.

Предохранители на 6 - 10 кВ заземляют путем присоединения заземляющего проводника к фланцам опорных изоляторов, раме или металлической конструкции, на которой они установлены.

### Монтаж заземления

Монтаж заземляющих устройств состоит из следующих операций: установки заземлителей, прокладки заземляющих проводников, соединения заземляющих проводников друг с другом присоединения заземляющих проводников к заземлителям и электрооборудованию.

Вертикальные заземлители из угловой стали и отбракованных труб погружают в грунт забивкой или вдавливанием, из круглой стали - ввертыванием или вдавливанием. Эти работы выполняют с помощью механизмов и приспособлений, например: копра (забивка в грунт), приспособления к сверлилке (ввертывание в грунт стержневых электродов), механизма ПЗД-12 (ввертывание в грунт электродов заземления).

Для устройства заземления наиболее распространены электрозаглубители, имеющие стандартную электросверлилку и редуктор, понижающий частоту вращения ниже 100 об/мин и соответственно увеличивающий крутящий момент на ввертываемом электроде. При пользовании этими заглубителями к концу электрода приваривают наконечник-забурник, обеспечивающий рыхление грунта и облегчающий погружение электрода. Выпускаемый промышленностью наконечник представляет собой заостренную на конце и изогнутую по винтовой линии стальную полосу шириной 16 мм. В монтажной практике применяются и другие типы наконечников для электродов. При устройстве заземления вертикальные заземлители должны закладываться на глубину 0,5 - 0,6 м от уровня планировочной отметки земли и выступать от дна траншеи на 0,1 - 0,2 м. Расстояние между электродами 2,5 - 3 м. Горизонтальные заземлители и соединительные

полосы между вертикальными заземлителями укладывают в траншеи глубиной 0,6 - 0,7 м от уровня планировочной отметки земли. Все соединения в цепях заземлителей выполняют сваркой внахлестку; места сварки покрывают битумом во избежание коррозии. Траншею роют обычно шириной 0,5 и глубиной 0,7 м. Устройство внешнего заземляющего контура и прокладку внутренней заземляющей сети производят по рабочим чертежам проекта электроустановки. Вводы в здание заземляющих проводников выполняют не менее чем в двух местах. После монтажа заземлителей составляют акт на скрытые работы, указывая на чертежах привязки заземляющих устройств к стационарным ориентирам.

Заземляющие и нулевые защитные проводники в помещениях и в наружных установках должны быть доступны для осмотра. Это требование не относится к нулевым жилам и металлическим оболочкам кабелей, трубам скрытой электропроводки, металлоконструкциям и трубам, находящимся в земле и фундаментах, а также заземляющим и нулевым защитным проводникам, проложенным в трубах и коробах и в скрытых несменяемых электропроводах.

Заземляющие проводники прокладывают горизонтально и вертикально или параллельно наклонным конструкциям зданий.

В сухих помещениях заземляющие проводники по бетонным и кирпичным основаниям могут укладываться непосредственно по основаниям с креплением полос дюбель-гвоздями, а в сырых, особо сырых помещениях и в помещениях с едкими парами прокладку проводников выполняют на подкладках или опорах (держателях) на расстоянии не менее 10 мм от основания.

Заземляющие проводники крепят на расстояниях 600 - 1000 мм между креплениями на прямых участках, 100 мм на поворотах от вершин углов, 100 мм от мест ответвлений, 400 - 600 мм от уровня пола помещения и не менее 50 мм от нижней поверхности съемных перекрытий каналов. Через стены, перегородки и перекрытия заземляющие проводники прокладывают в открытых проемах или в гильзах, а при пересечении температурных швов устанавливают компенсаторы.

Соединение заземляющих проводников и присоединение их к металлическим конструкциям зданий выполняют сваркой, за исключением разъемных мест, предназначенных для измерений.

Длину нахлестки для сварки проводников при соединениях принимают равной ширине полосы при прямоугольном сечении и шести диаметрам - при круглом сечении.

К корпусам электродвигателей и электрических аппаратов заземляющие проводники присоединяют, как правило, под заземляющий болт, имеющийся на их корпусах. Электродвигатели, установленные на салазках, заземляют путем присоединения к последним заземляющего проводника.

При наличии сотрясений или вибрации принимают меры против ослабления контакта (установка контргайки, контрящих шайб и т.п.). Контактные поверхности на электрооборудовании и у заземляющих проводников в местах болтового соединения зачищают до металлического блеска и покрывают тонким слоем технического вазелина.

Если на трубопроводах, используемых в качестве заземлителей, установлены задвижки, водомеры или выполнены фланцевые соединения, то в этих местах приваривают или устанавливают на хомутах обходные перемычки сечением не менее 100 мм<sup>2</sup>.

Открыто проложенные заземляющие и нулевые защитные проводники имеют отличительную окраску - по зеленому фону желтая полоса вдоль проводника. Окраске не подлежат места, предназначенные для подсоединения инвентарных переносных заземлителей.

Заземляющее устройство - это совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Сопrotивление заземляющего устройства - это сумма сопротивлений, состоящие из сопротивления заземлителя относительно земли и сопротивления заземляющих проводников.

Сопrotивление заземлителя - отношение напряжения на заземлителе относительно земли к току, проходящему через заземлитель.

### Искусственные и естественные заземлители

Искусственные заземлители применяют тогда, когда естественные заземлители не удовлетворяют требования ПУЭ. В



качестве естественных заземлителей используются: проложенные в земле стальные водопроводные трубы, соединённые в стыках газо- или электросваркой; трубы артезианских скважин; металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие надёжное соединение с землёй; различного рода трубопроводы, проложенные под землей.

Не допускается использовать в качестве естественных заземлителей нефтепроводы бензопроводы газопроводы и м подобные.

Для искусственных заземлителей применяют отрезки угловой стали 50 мм. Длинной 2,5 - 3 метра, которые забивают вертикально в траншее глубиной 70 см., оставляя над поверхностью дна траншеи 10 см. заземлителя. К этим заземлителям приваривают, проложенную в траншее круглую сталь диаметром 10 - 16 мм. или полосовую сталь сечением мм. по всему контуру.

### Сопротивление заземляющего устройства

По ПУЭ в электроустановках до 1000 В с глухим заземлением нейтрали сопротивление заземляющие устройства должно быть не боле 4 Ом. Для электроустановок выше 1000 В.с большими токами замыкания на землю сопротивление заземляющего устройство должно быть не более 0,5 Ом.

Для электроустановок выше 1000 В с малыми токами замыкания на землю сопротивление заземляющего устройства удовлетворять условию  $R_z < U_z / I_z$ , где  $U_z = 250$  В., если заземляющее устройство используется только для установок напряжением выше 1000 В,  $U_z = 125$  В., если заземляющее устройство одновременно используется и для установок до 1000 В.,  $I_z$  - расчетный ток замыкания на землю.

Если заземляющее устройство является общим для РУ электроустановок различных напряжений, то за расчетную сопротивлений заземления принимается наименьшая из требуемых величин. Емкостной ток замыкания на землю определяют по приближенной формуле.  $I_z = U (35l_x + l_w) / 350$ , где  $U$  - линейное напряжение сети,  $l_x$  и  $l_w$  - суммарная длинна электрически связанных между собой кабельных и воздушных линий, км

## Заземляющие проводники

Выполнение сетей заземления облегчается при использовании в качестве заземляющих проводников стальных конструкций различного назначения. Будем называть их условно естественными проводниками.

В качестве естественных проводников могут служить:

- а) металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т.п.),
- б) металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределительных устройств, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников и т.п.),
- в) металлические трубопроводы всех назначений - водопровод, канализация, теплофикация и т.п. (исключая трубопроводы для горючих и взрывоопасных смесей),
- г) стальные трубы электропроводок,
- д) свинцовые и алюминиевые оболочки (но не броня) кабелей.

Они могут служить единственными заземляющими проводниками, если удовлетворяют требованиям ПУЭ в отношении сечения или проводимости (сопротивления).

В качестве заземляющих проводников в первую очередь применяется сталь. Для осветительных установок и в других случаях, когда применение стали конструктивно неудобно или проводимость недостаточна, используются медь или алюминий.

## 2 Правила техники безопасности при выполнении электромонтажных работ.

Травматизм во время выполнения электромонтажных работ – явление распространённое. Ни большой стаж работы, ни высокая квалификация специалистов не гарантируют отсутствие повреждений. Наоборот. Статистика свидетельствует, что в 65% несчастных случаев, происходящих во время монтажа, наладки электрооборудования, страдают высококвалифицированные специалисты.

Виды возможных травм:

- Ушибы, повреждения тканей вращающимися деталями приборов,

- Электроожоги в результате прямого или дугового контакта тела с источником тока,
- Травмы слизистой оболочки глаз от попадания пыли и мелкой стружки при сверлении,
- Проблемы с лёгкими при попадании в них пыли от некоторых композитных материалах (МДФ, стеклопластики и т.д.)

Избежать перечисленного можно только благодаря неукоснительному соблюдению техники безопасности, регламентированной законодательством и соответствующими ГОСТами. Ниже приведены основные правила, при следовании которым, монтаж, замена, наладка электроприборов любой сложности пройдёт без неприятных эксцессов.

Требования к рабочей одежде:

- Не должна быть слишком свободной, чтобы не касаться вращающихся свёрл инструментов,
- Обязательно надевание защитных очков с небьющимися стёклами и рукавиц,
- При необходимости использование респиратора и средств защиты органов слуха,
- При работе без снятия напряжения в электроустановках напряжением до 1000 В или вблизи них необходимы диэлектрические галоши.

При выполнении пусконаладочных и монтажных работ любой сложности разрешено применять только исправный инструмент. Ручной не должен иметь сколов, трещин, выбоин, заусениц и зазубрин в месте захвата рукой и на затылочной части ручек. Рукоятки кувалд и молотков должны быть заклинены клиньями из металла. Насадка кувалды осуществляться через нижний конец ручки.

Работы под напряжением до 1000 В разрешено проводить инструментом с изолированными рукоятками, выполненными в виде чехлов или несъёмного покрытия из влаго-, масло-бензостойкого электроизоляционного материала. По общему правилу, длина изоляции рукояток должна быть не меньше 100 мм, а изоляция отвёрток оканчиваться на расстоянии не больше 10 мм от конца лезвия.

Перед началом работы с электроинструментом необходимо удостовериться в том, что: Пробивать борозды и отверстия

в стенах, перекрытиях со скрытой электропроводкой, выполнять другие работы, чреватые повреждением изоляционного покрытия кабелей (монтировать водопроводные трубы, например), можно только после отключения их от источников питания.

- винты, крепящие его детали, хорошо затянуты;
- редуктор исправен (отключите электродвигатель и поверните рукой шпиндель инструмента);
- провода и изоляция электроинструмента не имеют повреждений и изломов жил;
- заземление и выключатели исправны (инструменту с двойной изоляцией заземление не требуется).

Использовать неисправный электроинструмент запрещено категорически.

Если в работе используется паяльник, следите, чтобы в рабочем состоянии он постоянно находился в зоне действия вытяжки. Страхивать припой при пайке нельзя, его излишки снимаются на специальной подставке. При коротких перерывах в работе электропаяльник кладут на подставку с металлическими скобами. В помещении, где проходит пайка, нельзя принимать пищу.

При выполнении монтажных работ используются паяльники, питающиеся переменным током напряжением не выше 42 В. Допускается использование электрических паяльников на 220 В, если питание их происходит от разделительного трансформатора или через прибор защитного отключения.

При испытании уже установленного оборудования принимают следующие меры предосторожности:

- пробное включение производят во время отсутствия людей около токоведущих частей установки;
- пробное включение проводят только после тщательной проверки соответствия схемы монтажа проектной документации и надёжности контактных соединений во всех элементах схемы.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что называется рабочим заземлением?
2. Что может служить в качестве естественных проводников?
3. Что является заземляющими проводниками?

4. Что собой представляет заземлитель?
5. Когда применяют искусственные заземлители?
6. Что называется сопротивлением заземлителя?
7. Что называется сопротивлением заземляющего устройства?
8. Что называется заземляющим устройством?
9. Из каких операций состоит монтаж заземляющих устройств?
10. Что называется защитным заземлением?

## **Тема 8. Автоматизация типовых технологических процессов**

### **8.1. Особенности автоматизации с/х. производства**

План лекции:

1. Классификация объектов и процессов автоматизации с/х. производства.
2. Выбор элементов систем автоматизации.
3. Выбор пусковой и защитной аппаратуры.
4. Разработка щитов, шкафов, ящиков управления поточными т.п.

Автоматизация агропромышленного производства по сравнению с промышленностью имеет и свои особенности, которые обуславливают сложность использования уже имеющегося опыта. К ним относятся:

- работа с биологическими объектами (растение, животные и т.п.). Их состояние и развитие можно контролировать только косвенными методами;
- производственные процессы рассредоточены на больших расстояниях, зависят от зональных и климатических условий, часто имеющих стохастический характер изменения;
- работа установок в условиях агрессивной среды (животноводческие фермы, комплексы);
- работа установок в условиях широкого диапазона внешних температур, влажностей;

- наличие сильных вибраций и запыленностей ограничивает возможности перенесения имеющегося опыта из промышленности в сельское хозяйство;
- одновременный контроль большого числа параметров, причем разных по физической природе и свойствам. В ряде случаев необходимо контролировать параметры, методы измерения которых еще не разработаны;
- низкая квалификация обслуживающего персонала.

Так или иначе, названные технологические особенности учитываются при создании систем управления.

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется высоким уровнем производительности труда, значительными потоками преобразования энергии, информации, протекающие процессы требуют непрерывного контроля состояния и оптимального управления.

К сожалению, в последние десятилетия развитию автоматизации в сельском хозяйстве уделяли недостаточно внимания. С одной стороны это объяснялось недостатками ресурсов, с другой у многих бытовало мнение, что в сельском хозяйстве специалисты имеют дело с простыми технологическими процессами, автоматизация которых не требует значительных интеллектуальных затрат.

Ошибочность таких подходов стала очевидной с приходом на наш рынок зарубежных технологий, имеющих высочайший уровень автоматизации. По этой причине продукция наших предприятий оказалась неконкурентоспособной. Удельные затраты труда в птицеводстве, животноводстве и растениеводстве в зарубежных технологиях в несколько раз меньше. Аналогично можно сказать и о затратах энергии.

Вместе с тем необходимо обратить внимание и на техническую сложность сельскохозяйственных объектов автоматизации, что подтверждает необходимость привлечения для решения проблем в АПК значительных интеллектуальных ресурсов.

### Требования к выбору аппаратуры, защит и кабелей

В сети 0,4 кВ выбор коммутационной аппаратуры, защит и кабелей взаимосвязан. Для любого присоединения должны быть обеспечены:

1. Нормальный режим работы. Номинальные напряжения и токи аппаратов, и допустимые токи кабелей должны соответствовать номинальному напряжению и длительному расчетному току нагрузки. Исполнение аппаратов и типы кабелей должны соответствовать условиям их эксплуатации.

2. Стойкость при коротком замыкании. Аппараты и кабели должны быть стойкими при коротком замыкании, а аппараты защиты — надежно отключать расчетные токи короткого замыкания.

3. Защита от всех видов короткого замыкания. Параметры аппаратов защиты и кабелей должны обеспечивать достаточную чувствительность защиты ко всем видам короткого замыкания в конце защищаемой зоны. Рекомендуется применять автоматические выключатели с комбинированным расцепителем, элемент зависимой характеристикой которого является резервной защитой. Должны обеспечивать селективность (отключение только поврежденного участка), надежность срабатывание при появлении условий на срабатывание (несрабатывание при их отсутствии), быстродействие защиты. Быстрое отключение короткого замыкания обеспечивает стойкость аппаратов и кабелей к термическому действию токов короткого замыкания, снижает длительность перерывов питания электроприемников, облегчает последующий самозапуск электродвигателей, обеспечивает безопасность обслуживающего персонала, предотвращает возможность нарушения синхронной параллельной работы маломощных аварийных генераторов, а также синхронных электродвигателей.

4. Защита от ненормальных режимов — длительной перегрузки электродвигателей, подверженных перегрузкам по технологическим причинам, а также проводов и кабелей в случаях, предусмотренных правилами. При пуске и самозапуске электродвигателей аппараты защиты не должны отключать цепь, а сечение кабелей должно обеспечивать достаточный для разворота электродвигателей уровень напряжения на их зажимах.

Кроме того, набор аппаратуры и ее конструктивное исполнение в цепи любого присоединения должны обеспечивать возможность вывода в ремонт присоединения или аппарата защиты без остановки основного технологического процесса.

Выбор аппаратуры, защиты и кабелей данного присоединения выполняют в следующем порядке.

Определяют нагрузки присоединения, место подключения, составляют предварительную схему присоединения и ближайшего участка питающей сети.

Предварительно выбирают сечение кабеля присоединения по условиям нагрева в нормальном режиме, проверяют его достаточность по условиям потери напряжения при нормальном режиме и при пуске электродвигателей, рассчитывают токи короткого замыкания.

Предварительно выбирают тип и номинальные параметры защитного аппарата присоединения по условиям нормального режима, стойкости и селективности при коротком замыкании.

Рассчитывают уставки защиты, по результатам расчета уточняют тип и номинальные параметры аппарата защиты. Проверяют чувствительность защиты. При не достаточной чувствительности осуществляют специально, описанные в последующих главах мероприятия, по которым может измениться сечение или конструкция кабеля, схема присоединения, номинальный ток автоматического выключателя. При этом все расчеты выполняются заново.

Если присоединение предназначено для защиты сборки, то проверяют стойкость при коротком замыкании аппаратов, установленных на этой сборке.

Проверяют защиту электродвигателя и кабеля от перегрузки (при необходимости) с возможным уточнением уставок защиты или сечения кабеля.

Проверяют селективность защиты с выше- и ниже стоящими защитными аппаратами с помощью построения карты селективности.

### Выбор сечений и длин кабелей

Условия выбора сечений и длин кабелей. Выбор сечений и длин кабелей выполняется по рассматриваемым ниже условиям. Окончательно принимаются те параметры кабеля, которые удовлетворяют всем этим условиям.



Условие допустимого нагрева. В нормальном режиме нагрев кабеля не должен превышать допустимого. Исходя из этого выбор сечения кабелей производят по таблицам ПУЭ, в которых приводятся значения сечений и соответствующие им допустимые длительные токи нагрева: нагрузки для кабелей различных конструкций. Значения допустимых длительных токов указаны для определенных (нормальных) условий работы кабелей и их прокладки. При отклонении от этих условий значения допустимых длительных токов, приведенные в таблицах, должны быть умножены на приводимые в ПУЭ поправочные коэффициенты, учитывающие характер нагрузки (при повторном не кратковременном и кратковременном режиме работы электроприемников), отклонение температуры окружающей среды от расчетной кабеля, количество совместно проложенных кабелей и тепловые характеристики грунта, в котором проложен кабель.

Щит (шкаф, ящик) управления двигателем.

Назначение:

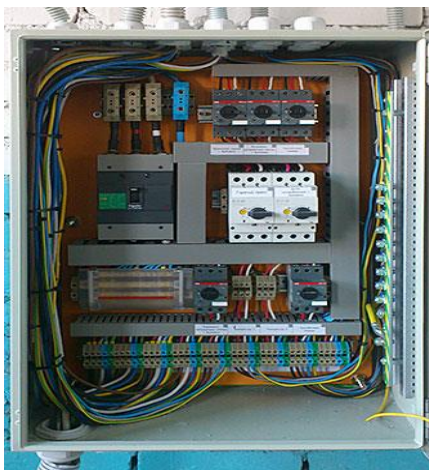
- Автоматическое поддержание желаемой скорости работы двигателя.

- Управление ускорением и торможением двигателя.
- Защита двигателей от недопустимых режимов работы.
- Защита от несоответствия параметров питающей сети.
- Энергосбережение.
- Увеличения срока эксплуатации двигателя.
- Индикация состояния работы двигателя.

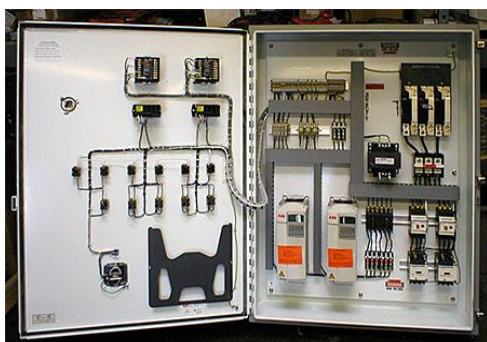
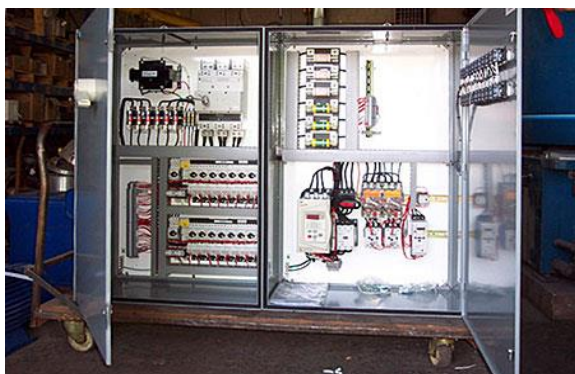
Комплектация:

- Автоматические выключатели для запуска, защиты двигателей.

- Реле контроля фаз.
- Частотный преобразователь.
- Индикацию работы двигателей. Опционально могут быть установлены блоки удаленного контроля и управления



(GSM, LAN) двигателями.



Щит(шкаф, ящик) управления освещением.

Назначение:

управление внутренним или наружным освещением в ручном и автоматическом режиме.

Комплектация:

- Автоматические выключатели и устройства защитного отключения вводной группы.
- Автоматические выключатели и диф. автоматы – групповые.

Дополнительно Шкаф управления освещением может быть укомплектован:

- Выносными датчиками освещенности и/или движения (автоматическое включение освещения в темное время суток, включение освещения при наличии движения).
- Реле времени суточное (включение/выключение освещения в зависимости от времени суток).
- Реле времени с часами реального времени.
- Контроллер удаленного управления освещением (включение и выключение режимов работы освещения при помощи СМС сообщений, программирование функций эффекта присутствия и т.п.)

### **Вопросы для повторения:**

1. Для чего предназначены автоматические выключатели (автоматы)?
2. Что называется предельной коммутационной способностью выключателя (ПКС)?
3. Какие защитные характеристики могут иметь автоматические выключатели?
4. Назначение щита (шкафа, ящика) управления двигателем?
5. Комплектация (шкафа, ящика) управления двигателем.
6. Назначение щита (шкафа, ящика) управления освещением?
7. Комплектация (шкафа, ящика) управления освещением.
8. Назначение щита (шкафа, ящика) управления насосами?

## 8.2. Автоматизация водоснабжения

План лекции:

1. Автоматизация башенной насосной установки
2. Автоматизация без башенных водокачек

Автоматизация водоснабжения и орошения

Общие сведения

В сельском хозяйстве воду используют для нужд населения и поения животных, приготовления пищи и кормов, полива растений, тушения пожаров и для других производственных целей.

Водоснабжение сельскохозяйственных потребителей хорошо механизировано и автоматизировано. Благодаря автоматизации человек практически освобожден от ручного труда при добыче, доставке и распределении воды на животноводческих фермах и в быту, производительность труда по водоснабжению увеличилась в 20 раз, эксплуатационные затраты снизились в 10 раз. Кроме того, при поении животных из автопоилок увеличивается продуктивность КРС на 10%, а птицы — на 15...20%.

Для подъема и раздачи воды применяют водонасосные установки, состоящие из водоприемников, очистительных сооружений, резервуаров чистой воды или водонапорных башен, соединительной водопроводной сети и электронасосов со станциями управления. Наиболее широко в сельском хозяйстве распространены центробежные и осевые насосы. Их выполняют в моноблоке с электродвигателями и погружают в воду, в трубчатые колодцы диаметром 100...250 мм (погружные насосы) или располагают на поверхности земли. Есть погружные насосы с электродвигателями, расположенными над скважиной. Эти насосы называются артезианскими.

Для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев применяют также плавающие центробежные насосы. Широкое распространение получили так называемые объемно-инерционные насосы с электромагнитным вибрационным приводом. Их используют в быту сельского населения на малую подачу воды (до 1 м<sup>3</sup>/ч при напоре 20 м).

В сельском хозяйстве используют водонасосные установки трех типов: башенные с водонапорным баком, безбашенные с водонапорным котлом и с непосредственной подачей воды в водопроводную сеть. Почти в 90% случаев используют башенные водонасосные установки с расходом воды до 30 м<sup>3</sup>/ч. Если расход воды составляет 30...65 м<sup>3</sup>/ч, то рекомендуют двухагрегатные насосные станции с водонапорным котлом. При расходе воды более 65 м<sup>3</sup>/ч экономически целесообразно использовать насосные установки с непосредственной подачей воды в распределительную сеть (оросительную систему).

Автоматизация водонасосных установок.

Для ферм и населенных пунктов.

Автоматизация безбашенной насосной установки. Автоматическая водоподъемная установка типа ВУ с воздушно-водяным котлом (гидропневматическим аккумулятором) (рис. 1) предназначена для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев глубиной до 5 м при напоре от 25 до 80 м. Установка состоит из всасывающей трубы 1 с приемным фильтром насосного агрегата 2, нагнетательной 3 и водоразборной 12 труб с запирающими вентилями 5, воздушно-водяного бака 4 с датчиком давления 8 и струйным регулятором запаса воздуха, имеющим камеру смешивания 6, воздушный клапан 7, жиклер 10 и диффузор 11. Схема управления в автоматическом режиме работает следующим образом. Вода к потребителю поступает под действием давления воздушной подушки, расположенной над водой в котле.

При разборе воды из котла давление в котле снижается и замыкаются контакты манометрического датчика давления ВР, катушка магнитного пускателя КМ получает питание и включает электронасос. При повышении уровня воды давление в котле повышается до заданного значения, при котором контакты ВР замыкаются и насос отключается. Ручное управление электронасосом осуществляется кнопками «Пуск» SB2 и «Стоп» SB1.

Объем воздушной подушки в баке постоянно уменьшается, так как часть воздуха растворяется и выносится с водой.

Вследствие этого уменьшаются давление воздушной подушки и регулирующий объем воды в котле, а агрегат начинает чаще включаться, в работу.

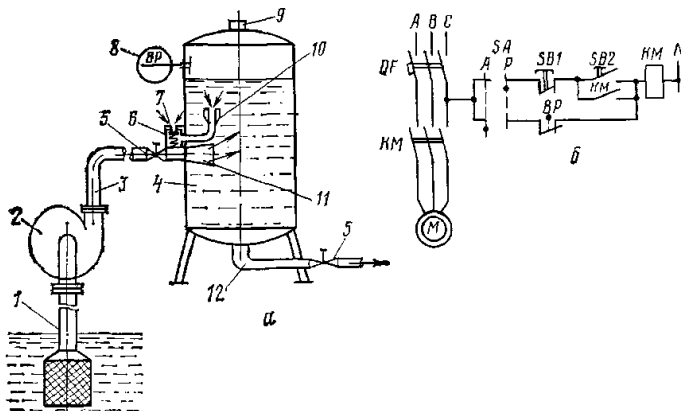


Рис.1. Технологическая (а) и принципиальная электрическая схемы управления водоподъемной установкой типа ВУ

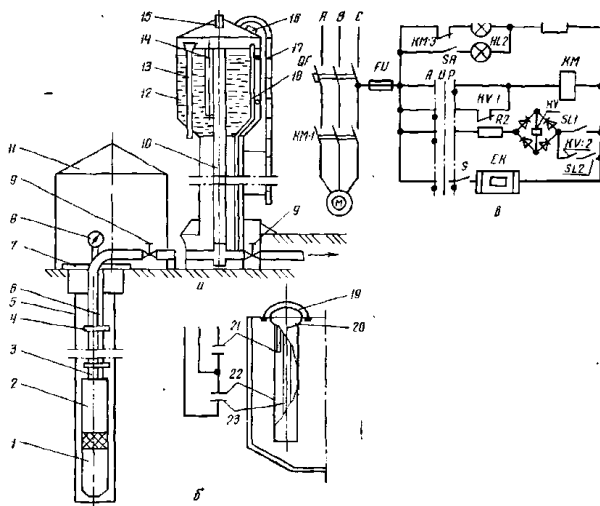


Рис. 2. Башенная водокачка с погружным электродвигателем (а), схема датчика уровня" воды (б) и принципиальная! электрическая схема управле-4 ния (в)

Для автоматического поддержания объема воздушной подушки служит струйный регулятор, который обеспечивает подкачку воздуха до давления в баке 250 кПа. При максимальных аварийных давлениях срабатывает предохранительный клапан 9. Пополнение воздуха происходит, когда жиклер 10 перекрыт водой. Струя воды под действием насоса создает разрежение в камере 6 (эффект пульверизации), воздушный клапан 7 открывается, и воздух, смешиваясь с водой, поступает в котел.

Безбашенные водокачки имеют низкий коэффициент использования объема бака (0,15...0,2) V, большой перепад давлений (20...30 м) при малом регулирующем объеме  $V_p$  и взрывоопасны. Вследствие этого они широкого применения в сельском хозяйстве не нашли.

Автоматизация башенных водокачек. До 90% насосных установок сельскохозяйственного водоснабжения составляют башенные водокачки Рожновского с погружными электродвигателями (рис. 2). Погружные электронасосы типа ЭЦВ (Э — электропогружной, Ц — центробежный, В — для воды) выпускаются производительностью от 0,63 до 1000 м<sup>3</sup>/ч при напорах 12...680 м. Погружной электродвигатель 1 в монолите с многоступенчатым насосом 2 закрепляют на водоподъемных трубах 3 и опускают в скважину 5. Трубы подвешивают к плите 7, установленной в помещении 11. Скважины выполняют из обсадных труб диаметром 100...450 мм. Электродвигатели выполняют сухими, полусухими и заполненными маслом или водой. Наиболее распространены электродвигатели, заполненные водой. Смазывают резинометаллические или пластмассовые подшипники также водой. К электродвигателю подводят кабель в, закрепленный на водоподъемных трубах хомутами 4. Всасывающая часть имеет сетку, задерживающую крупные примеси, находящиеся в воде.

Бак башни 12 выполняют сварным из листовой стали и устанавливают на кирпичную, железобетонную или металлическую опору. К баку подводят папорно-разводящий трубопровод 10. Конец напорной трубы доводят до верхнего уровня, а отвод воды из бака происходит через обратный клапан у нижнего уровня. Бак оборудуют внешней 17 и внутренней 18 лестницами, люком 16, вентиляционным клапаном 15, датчиками уровня 14 и

водосливной трубой 13, исключающей перенаполнение бака водой в случае неотключения насоса от датчиков верхнего уровня. На водопроводе ставят манометр 8 и задвижки 9.

Электродный датчик уровня состоит из защитного корпуса 20, скобы 19 для крепления датчика в баке и трубчатых электродов: верхнего уровня 21, нижнего уровня 23 и общего 22. Внутри центрального электрода расположен нагревательный элемент, который включают в холодное время года для исключения обмерзания электродов.

На рис. 2, в показана электрическая схема управления типа ПЭТ башенной насосной водокачкой. Она позволяет в ручном и автоматическом режимах пускать и останавливать электронасос, защищает электродвигатель от перегрузок и коротких замыканий, сигнализирует при помощи сигнальных ламп о включенном и отключенном состоянии насоса.

Ручное включение электронасоса осуществляют переводом переключателя в положение Р, а отключение — переводом переключателя в положение О.

Автоматический режим работы задают переводом переключателя в положение А. Если в башне нет воды, то контакты (электроды) датчика верхнего SL1 и нижнего SL2 уровня разомкнуты, следовательно, контакты реле KV в цепи катушки магнитного пускателя KM замкнуты. Магнитный пускатель срабатывает и включает электронасос М. По мере накопления воды в башне перекрываются водой сначала контакты SL2 нижнего уровня, а затем SL1 верхнего уровня, и реле KV через воду получает питание. Kontakтами KV: 1 оно разрывает цепь питания магнитного пускателя KM, и электронасос отключается. Реле KV остается включенным через контакты KV: 2, SL1 и SL2. Оно отключится только тогда, когда вода разомкнет не только верхние контакты, но и нижние. В этом случае контакты KV: 1 в цепи магнитного пускателя KM вызовут повторное включение электронасоса М. Отключенное состояние насоса определяют по зеленой лампе HL1, а включенное — по красной лампе HL2.

Защита двигателя осуществляется при помощи тепловых расцепителей магнитного пускателя KM и автомата OF.

На холодный период года выключателем S включается



электрообогреватель ЕК датчика, предотвращающий обледенение и вымерзание электродов датчика уровня воды в лед. Кроме рассмотренной станции управления типа ПЭТ, работающей с электродвигателями мощностью от 1 до 65 кВт, применяют станции управления типа СУНО, а также систему автоматического управления насосными агрегатами (САУНА) с бесконтактными станциями управления типа ШЭТ и «Каскад». Станции управления СУНО предназначены для автоматизации насосных агрегатов с электродвигателями с короткозамкнутым и фазовым ротором напряжением 380 В мощностью от 25 до 250 кВт. Их используют для управления поверхностными и погружными электронасосами головных насосных установок, а также в системах водоснабжения крупных животноводческих комплексов. Станция СУНО обеспечивает пуск и остановку электронасоса при закрытой электро- задвижке, ручное и автоматическое или телемеханическое управление насосным агрегатом, контроль и заливку насоса от групповой вакуумной установки, контроль наличия струи и давления воды в водонапорном трубопроводе, температуры нагрева подшипников электронасоса, напряжения в силовых цепях и цепях управления, а также подачу сигнала при аварийном отключении насосного агрегата с блокировкой, не допускающей пуска установки до ликвидации повреждения.

#### Автоматизация перекачки сточных вод

Для откачки сточных, дренажных и хозяйственно - фекальных вод используют низконапорные (8...95 м) высокопроизводительные (16...9000 м<sup>3</sup>/ч) канализационные электронасосы. Канализационным насосам свойствен ряд отличительных особенностей. Такие насосы имеют незасоряющееся одно-трехлопастное уширенное рабочее колесо, самоуплотняющееся соединение насоса с напорным трубопроводом, направляющие аппараты в них отсутствуют.

Обычно эти установки имеют простую конструкцию, они оборудованы кнопочной станцией дистанционного управления электронасосным агрегатом при помощи магнитных пускателей.

В качестве примера рассмотрим систему автоматического управления двухагрегатной водоотливной насосной станцией

(рис. 3). Вручную агрегаты включают и отключают кнопками SB1...SB4, а в автоматическом режиме — при помощи электродных датчиков уровня SL1...SL4.

Задвижки 1 и 5 с ручным приводом закрывают при ремонте насосов. При работе насосов они открыты. Обратный поток жидкости через неработающий насос 4, нагнетающую 3 и всасывающую 7 трубы предотвращает клапан 2. Сточные воды и навозная жижа собираются в резервуар 6. По мере повышения уровня жидкости они переменяют промежутки электродов нижнего уровня SL1, SL2 и общий электрод 8 (заземленная труба). Вначале от датчика SL2 включается один насос. Если приток сточных вод больше, чем производительность насоса, то уровень стоков повышается и датчиком SL3 включается второй электронасос. Очередность включения агрегатов определяется переключателем SA3.

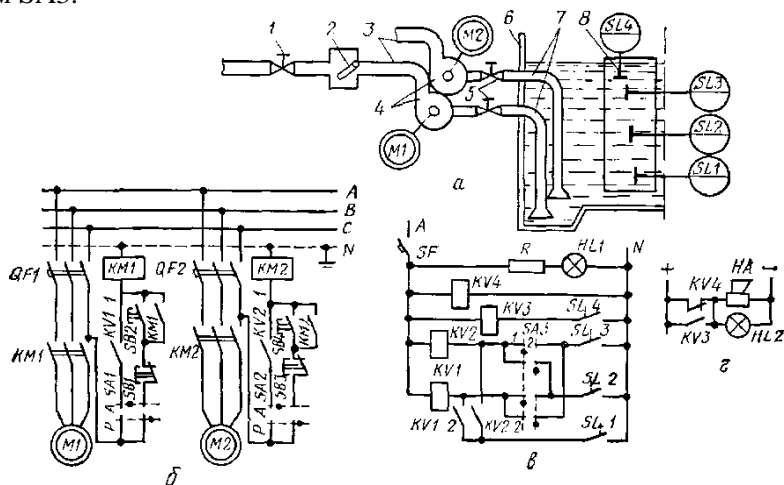


Рис. 3. Технологическая (а) и принципиальные электрические (б, в и г) схемы управления двухагрегатной откачивающей насосной станцией

Например, в положении 1 переключателя SA3 вначале от датчика SL2 срабатывает реле KV1, которое включает электродвигатель M1 первого насоса, а затем от датчика SL3 — реле KV2 и второй электронасос M2. В положении 2 переключателя очередность включения насосов будет обратной. Вторыми парами

контактов реле KV1 и KV2 шунтируют через датчик SL1 цепи датчиков SL2 и SL3. Благодаря этому шунтированию отключение реле KV1 и KV2, а затем и насосов при снижении уровня сточной воды произойдет только тогда, когда разомкнется цепь датчика SL1 нижнего уровня.

Если производительность и двух агрегатов оказывается меньше притока сточных вод, то от повышения уровня замыкается цепь датчика SL4 и срабатывает реле KV3, которое включает аварийно-предупредительную звуковую HA и световую HL2 сигнализации. Эта же сигнализация срабатывает от реле KV4 при исчезновении напряжения питания. Цепи аварийной сигнализации получают питание от независимого источника.

### **Вопросы для проверки.**

1. Из чего состоят водонасосные установки?
2. Что применяют для подъема воды из открытых водоемов и шахтных колодцев?
3. Что применяют для подъема и раздачи воды?
4. Кких типов в сельском хозяйстве используют водонасосные установки?
5. Нарисовать принципиальную электрическую схему управления водоподъемной установкой типа ВУ.
6. Нарисовать схему датчика уровня воды.
7. Из чего состоит электродный датчик уровня?
8. Нарисовать схему управления двухагрегатной откачивающей насосной станцией.

## **8.3. Автоматизация микроклимата животноводческих помещений**

План лекции:

1. Автоматизация микроклимата животноводческих помещений

Автоматизация установок микроклимата животноводческих помещений.

Технологические основы регулирования микроклимата в животноводстве. Микроклимат как совокупность условий среды

обитания наряду с кормлением и поением — важнейший фактор обеспечения нормального существования и продуктивности сельскохозяйственных животных в условиях производства на промышленной основе.

Нормами ограничены концентрации в помещениях для животных  $\text{CO}_2$  (0,18%),  $\text{NH}_3$  (0,01 мг/л) и -  $\text{H}_2\text{S}$  (0,005 мг/л), а также установлены допустимые пределы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

Животноводческое помещение как объект регулирования микроклимата (рис. 1) представляет собой технологическую воздушную среду с нормированными параметрами температуры  $O_{\text{в}}$ , скорости движения воздуха  $U_{\text{в}}$ , относительной влажности  $\varphi\%$ , концентрации углекислого газа (аммиака, сероводорода)  $C(\text{CO}_2)$ .

Среда в помещениях весьма интенсивно возмущается технологическими факторами и внешними климатическими условиями.

При регулировании теплового режима животных фактически управляемыми величинами являются температура воздуха в помещении (зимний режим) и вентиляция, создающая движение воздуха и удаление избытков теплоты (летний режим). В экстремальных климатических условиях для регулирования температуры в летнем режиме можно применять испарительное охлаждение.

Под «зимним» режимом понимаются условия, при которых баланс теплоты в помещении отрицателен и требуется вводить отопление. В «летнем» режиме баланс теплоты в помещении положителен и решается задача ее утилизации или компенсации в балансе теплового режима животного.

В тепловом балансе животноводческого помещения по возмущающим каналам учитываются обычно только наиболее значительные его составляющие:

$$\Sigma Q = Q_{\text{ж}} \pm Q_{\text{т}} \pm Q_{\text{ог}} - Q_{\text{н}} \pm Q_{\text{в}}$$

где  $Q_{\text{ж}}$  — тепловыделения стада животных;  $Q_{\text{т}}$  — тепловые потоки технологического оборудования электроустановок;  $Q_{\text{ог}}$  — переток теплоты через ограждения;  $Q_{\text{н}}$  — расход теплоты на испарение влаги;  $Q_{\text{в}}$  — расход теплоты с вентиляционным воздухом.

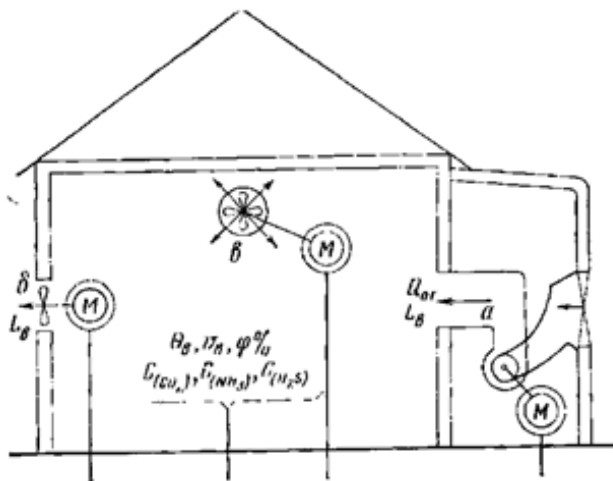


Рис. 1. Система регулирования микроклимата в животноводческом помещении

Тепловыделения животных в общем являются случайной функцией времени. Усредненные их значения приводятся в литературных источниках.

Поток теплоты от электрифицированных процессов может быть принят численно равным потребляемой электрической мощности.

Теплопотери через ограждающие конструкции определяют по формуле

$$Q_{ог} = \alpha_{ог} S_{ог} (\theta_{в} - \theta_{н}),$$

где  $\alpha_{ог}$  — коэффициент теплопередачи Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $S_{ог}$  — площадь ограждений, м<sup>2</sup>;  $\theta_{н}$ ,  $\theta_{в}$  — температура вне и внутри помещения, °С.

Если  $\alpha_{ог}$  отдельных участков ограждений различные, то  $Q_{ог}$  определяется как сумма соответствующих участков. Расход теплоты на испарение является функцией количества испаряемой влаги:

$$Q_{\text{н}} = (597 + 0,45\theta_{\text{в}}) W_{\text{н}}$$

Количество испаряемой влаги определяется по нормативным источникам как сумма испарения влаги с пола, поилок, кормушек и других увлажненных поверхностей:

$$W_{\text{н}} = \sum_{i=1}^n W_{\text{н}(i)} S_i,$$

где  $W_{\text{н}(i)}$  — нормативная интенсивность испарения влаги  $i$ -го участка, кг/м<sup>2</sup>;  $S_i$  — площадь испарения  $i$ -го участка, м<sup>2</sup>.

Если к полученному количеству влаги  $W_{\text{н}}$  прибавить влаговыведения животных  $W_{\text{ж}}$ , то получится баланс влаги в помещении по каналам возмущений:

$$W_{\text{в}} = W_{\text{н}} + W_{\text{ж}}$$

Возмущения по каналам  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$  определяются аналогичным, как и испарение, методом. Нормы выделения животными и технологической средой этих газов приводятся в ОНТП (с-х).

Для компенсации возмущений по избыткам теплоты, влаги,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$  животноводческие помещения оборудуют общеобменной вентиляцией, производительность которой определяется следующим образом:

2) для удаления избытков теплоты

$$L_{(Q)} = \frac{Q_{\text{п}}}{9,17k_{\text{п}}(\theta_{\text{в}} - \theta_{\text{н}})},$$

где  $Q_{\text{п}}$  — избыток теплоты помещения, Дж;  $k_{\text{п}}$  — коэффициент пропорциональности;

3) для удаления влаги или газов

$$L_{(W)} = W_{\text{н}} \rho_{\text{в}} / (d_1 - d_2),$$

где  $W_{И}$  — избыток влаги или другого вещества в помещении, кг;  $d_1, d_2$  — содержание влаги или другого вещества в удаляемом и приточном воздухе, кг/кг.

Принимается большее из всех значение  $L_{(i)}$ , по которому определяются дополнительные потери теплоты на подогрев приточного воздуха:

$$Q_{(L)} = L_{(i)} \rho_v c_v (\theta_v - \theta_n),$$

где  $\rho_v$  — масса единицы объема воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c_v$  — теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С).

Тогда теплопроизводительность отопительной установки

$$Q_{от} = Q_{от} + Q_{и} + Q_{(L)} - Q_{ж} - Q_{т}.$$

В летнем режиме, кроме удаления избытков теплоты, по которым определяется общий воздухообмен, с целью обеспечения оптимального теплового режима для животных может быть увеличена общеобменная или создана специальная внутриобменная вентиляция, устраиваемая для циркуляции воздуха в зоне расположения животных. Объем внутриобменной вентиляции рассчитывают из условий компенсации действия повышенной температурой.

В комплект оборудования «Климат-4» входит от 8 до 24 вентиляторов. Тип и число устанавливаемых в одном помещении вентиляторов ВО определяются расчетами воздухообмена по «летнему» режиму.

Оборудование «Климат-4» комплектуется устройствами автоматического регулирования напряжения на зажимах электродвигателей вентиляторов: станцией управления ШАП-5701 в комплекте с автотрансформатором АТ-10, станцией управления бесконтактной на тиристорах МК-ВУЗ и другими, им аналогичными.

На принципиальной схеме (рис. 2) общий автоматический выключатель QF1 выполняет функции коммутации силовых цепей и защиты, автотрансформатор ТА имеет две выводные отпайки на пониженное напряжение, контакторы КМ1 и КМ2 коммутируют это напряжение на вентиляторы, обеспечивая первую и вторую частоты вращения, контактор КМ3 подает номинальное

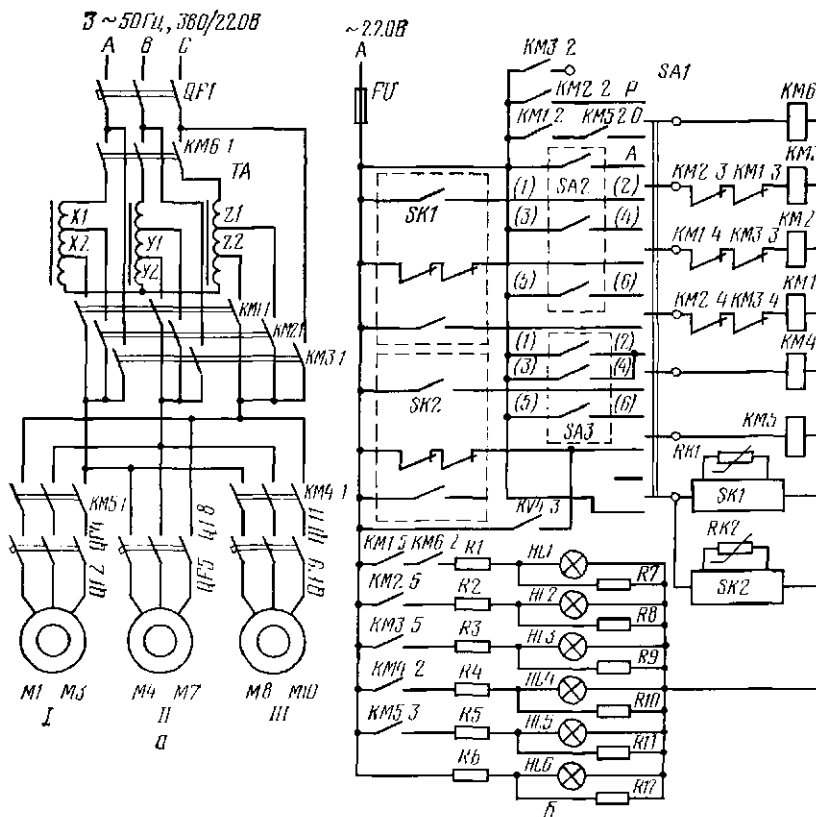


Рис. 2. Принципиальная схема станции управления ШАП-5701

напряжение 380 В — третья частота вращения, а контакторы КМ4 и КМ5 установлены для управления вентиляторами групп I и III. Вторая группа вентиляторов включается вместе с подачей напряжения хсизшей частоты вращения.

Система регулирования располагает пятью ступенями регулирования подачи вентиляции в помещении.

Переключатель SA3 и соответствующий ему автоматический трехпозиционный терморегулятор SK2 типа ПТР-3-04 осуществляют ручное или автоматическое управление вентиляторами групп I и III на низшей частоте вращения. Это управление осуществляют при температуре в помещении ниже номинальной.



Дифференциал терморегулятора SK2 выбирают минимальным, а уставку — на величину дифференциала  $\Delta_2$  ниже номинальной температуры:

$$\theta_{p1} = \theta_n - \Delta_2,$$

где  $\theta_{p1}$ ,  $\theta_n$  — температура уставки регулятора SK2 и номинальное значение температуры в помещении.

Переключатель SA2 и терморегулятор SK1 служат для управления второй и третьей частотой вращения вентиляторов при температуре выше номинальной. Дифференциал терморегулятора SK1 должен охватывать пределы температуры, компенсируемой вентиляцией.

Бесконтактная станция управления типа МК-ВАУЗ плавно регулирует частоту вращения вентиляторов как в ручном, так и в автоматическом режимах (автоматический режим в функции температуры в помещении).

На рис. 3 изображена блок-схема станции управления МК-ВАУЗ. Сигнал от датчика температуры в помещении РК поступает на мост сравнения МС, в одном из плеч которого включен резистор — ручной

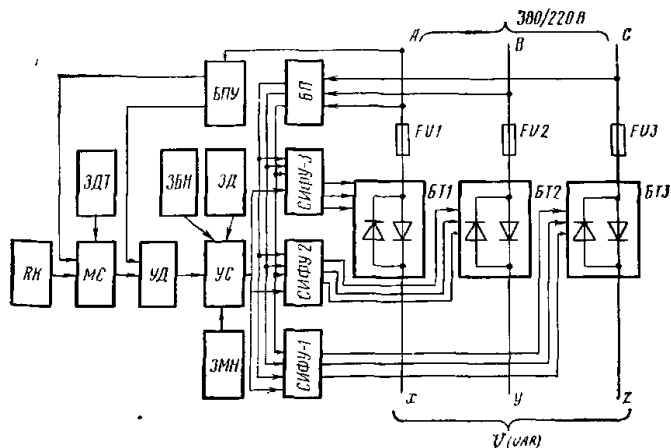


Рис. 3. Блок-схема станции управления МК-ВАУЗ

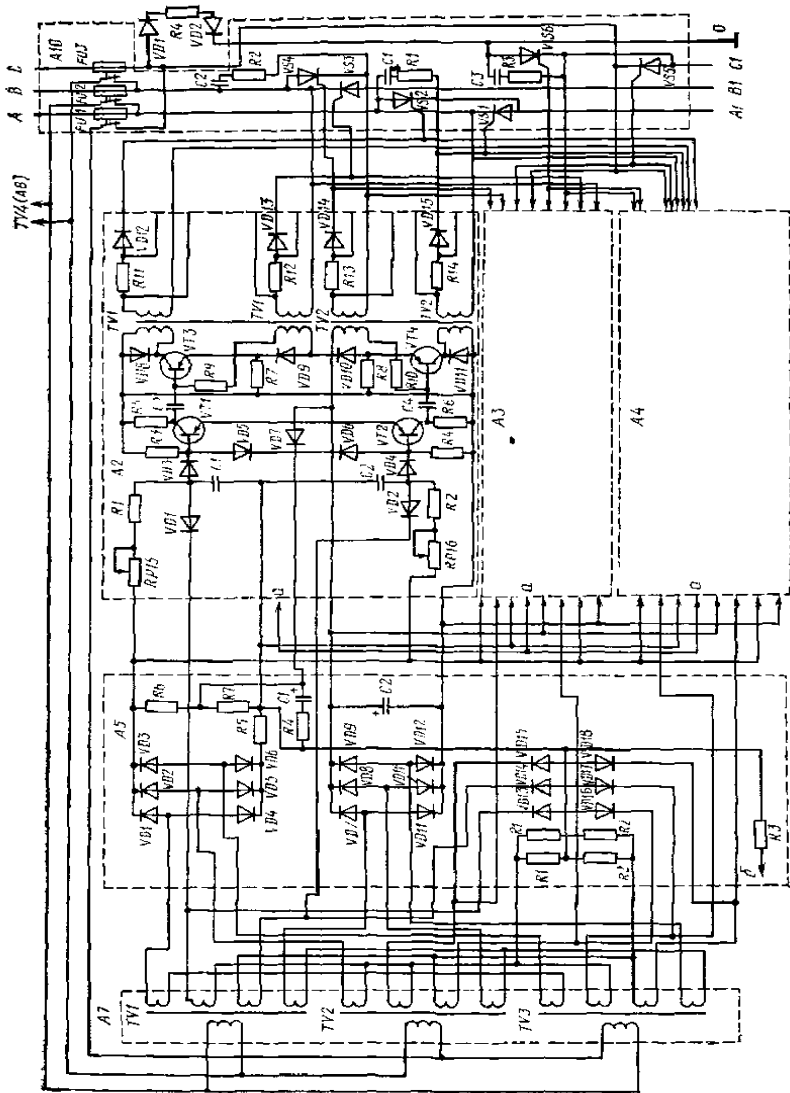


Рис. 4. Принципиальная схема силовой части станции управления МК-ВАУЗ.

датчик температуры ЗДТ. Затем через усилитель-демультиплексор УД сигнал подается на узел смещения УС, который имеет резисторы—датчик базового напряжения ЗБН, датчик дифференциала на допустимое снижение температуры ЗД, а также датчик минимального напряжения ЗМН, которое допустимо подавать на статор электродвигателя данного типа. Далее сигнал передается на систему импульсно-фазового управления тиристорами СИФУ (1...3) и корректирует прохождение другого сигнала, идущего от блока питания БЕ к блокам тиристоров каждой из фаз БТ (1...3).

Принципиальная схема станции МК-ВАУЗ состоит из двух частей. На схеме (рис. 4) изображена силовая часть (плата А10) совместно с системой формирования управляющего сигнала — блока питания (платы А5 и А7) и импульсно-фазовых преобразователей на каждую фазу (платы А2, А3, А4).

На каждую фазовую плату А2, А3, А4 по линиям а и б поступает напряжение смещения от устройства управления, которое управляет блокинг-генераторами, воздействующими на тиристоры по принципу вертикально-фазового управления. При этом максимальному напряжению смещения соответствует минимальный угол проводимости тиристоров, равный  $15^\circ$ , а минимальному напряжению смещения — максимальный угол проводимости  $165^\circ$ . Блокинг-генераторы совместно с двумя усилителями на кремниевых триодах формируют импульсы напряжения соответственно прямой и обратной последовательности, подаваемого с блока питания.

При поступлении сигнала по каналу управления (соответствующего повышению температуры воздуха) открывается транзистор блокинггенератора, выходная цепь которого шунтирует датчик базового напряжения. Выходное напряжение возрастает, и соответственно увеличивается скорость вращения электроприводов, вентиляторов. При снижении температуры все происходит в обратной последовательности, частота вращения снижается до базовой. Но при дальнейшем снижении температуры (ниже нормы) происходит дальнейшее снижение скорости до предельно минимальной. При этом загорается лампа «Холодно», и в двухпозиционном режиме включается сигнал на подачу дополнительного источника теплоты (подогрев воздуха).

Автоматизация приточно-отопительных установок. Приточная принудительная вентиляция включает в себя высоконапорный вентилятор 4 с трехскоростным электроприводом (рис. 6), подающих воздух в распределительный воздуховод 5, заборную камеру 1 с заслонкой 2, теплообменник 3 с регулируемой теплопроизводительностью.

Частоту вращения электропривода «вентилятора можно изменять вручную устройством NSA в зависимости от фактической потребности в воздухообмене (например, с возрастом животных).

Теплопроизводительность приточной установки регулируется автоматически пропорциональным регулятором TC/SKI в функции температуры воздуха в животноводческом помещении. Терморегулятор TS/SK2 защищает теплообменник от размораживания.

Для управления приточной вентиляцией используют серийно выпускаемые станции управления ШАП5712. На принципиальной схеме (рис. 7) приведена система ручного и автоматического управления приточной установкой вентиляции и подогрева воздуха.

Схема работает следующим образом. В автоматическом режиме переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение «Автоматическое». По команде терморегулятора SKI (PT-2) включается реле KV1, которое через контакты терморегулятора SK2 (ТУДЭ) включает реле KV2. Последнее посылает сигнал на SA3, а через его контакты включается та ступень КМ (1...3) частоты вращения электродвигателя, которая установлена вручную. Если температура теплоносителя на выходе из теплообменника понизится, то терморегулятор SK2 отключит реле KV2 и через соответствующий магнитный пускатель остановит электродвигатель вентилятора.

Автоматизация электрокалориферов. При использовании электронагревателей (например, СФОА) теплопроизводительностью приточных установок управляют ступенчато.

Схема автоматического управления калориферной установкой электроподогрева СФОА (рис. 8) позволяет осуществлять как ручное, так и автоматическое управление в функции температуры воздуха в помещении.

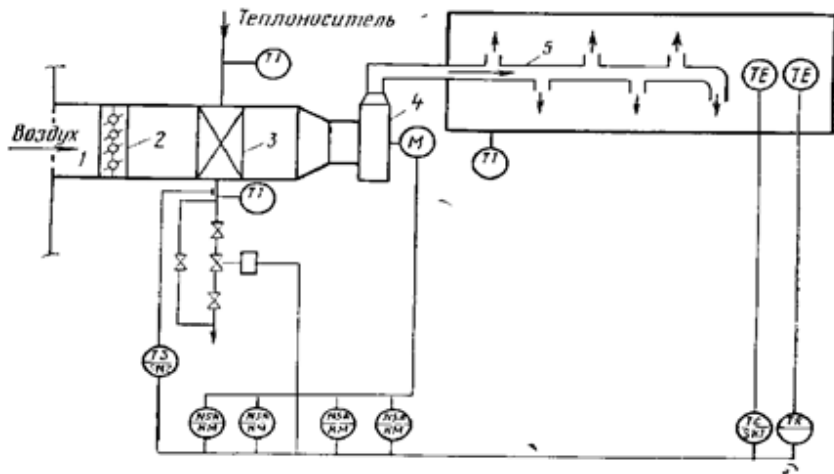


Рис. 5. Функционально – технологическая схема приточной системы. Регулирования микроклимата

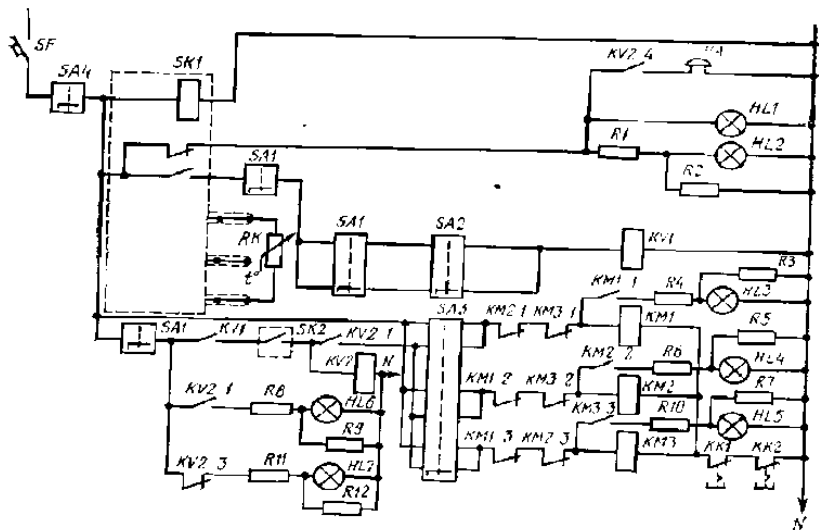


Рис. 6. Принципиальная схема системы управления приточной вентиляции

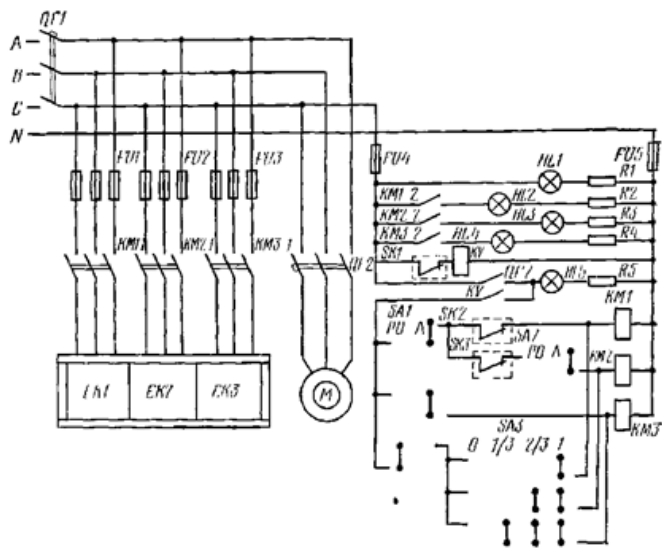


Рис. 7. Принципиальная схема станции управления электродвигательной установкой СФОА

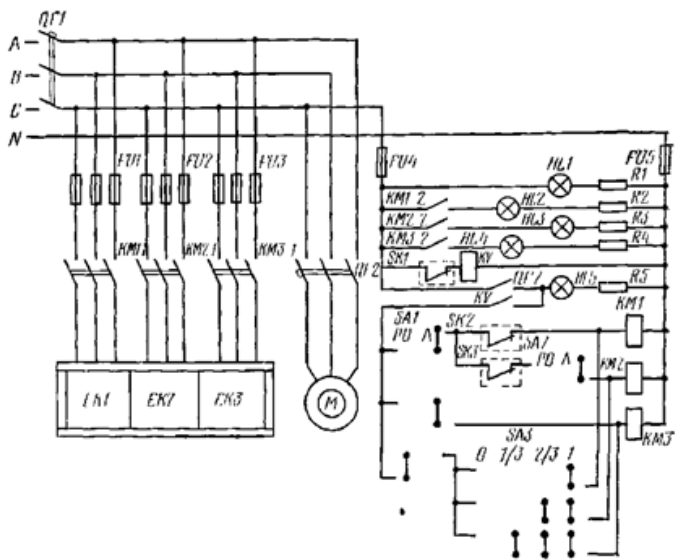


Рис. 8. Принципиальная схема управления теплогенератором ТГ-2,5 (ТГ-1,5)

В автоматическом режиме SA1 и SA2 устанавливают в положение «Автоматическое». Если температура в помещении ниже нормы, то терморегулятор SK1 (PT-2) замыкает контакты и включает реле KV, а через его контакты — магнитный пускатель KM3, то есть с работающим вентилятором включается первая секция электронагревателей. При дальнейшем понижении температуры терморегуляторы SK2 и SK3 включают вторую и третью секции электронагревателей через контакторы KM2 и KM1 соответственно.

Автоматизация теплогенераторов. Для подогрева приточного воздуха применяются также теплогенераторы типа ТГ-1,5 и ТТ-2,5, которыми управляют вручную и автоматически в двухпозиционном режиме «Включено — отключено». Для автоматического управления используют двухпозиционные терморегуляторы PT-2-04 или им соответствующие.

Типовая схема автоматизации теплогенераторов (рис. 8) предусматривает три режима управления: ручное управление вентиляционной установкой, ручное управление подогревом, автоматическое управление подогревом.

В режиме автоматического управления переключатели SA1 и SA2 ставят в положение «Автоматическое». При понижении температуры в помещении контакты терморегулятора SK1 (PT-2) замыкаются, включая программное реле времени КТ, которое осуществляет автоматический запуск теплогенератора.

Через 5 с после включения реле времени КТ замыкается контакт КТ :2 и включается магнитный пускатель KM2 (через контакты SA1:3, КТ3 и датчик температуры SK3). Включается двигатель продувки камеры сгорания.

По истечении 20...30 с замыкаются контакты реле времени КТ: 1, подается напряжение на трансформатор зажигания Т и электромагнитный соленоид YA, открывающий клапан подачи топлива в горелку. Воздушнотопливная - смесь вспыхивает, освещая камеру сгорания. Установленные на камере фоторезисторы R4 и E5 снижают сопротивление цепи, включается реле KV3, а затем KV2. Его контакты KV2:1 отключают трансформатор зажигания, а KV2: 6 — реле времени от сети питания.

После прогрева камеры сгорания размыкаются контакты терморегулятора SK2. Реле KV1 теряет питание и включает магнитный пускатель KM1 привода вентилятора теплогенератора. В помещение поступает подогретый воздух.

Если запуск теплогенератора не состоялся или произошел кратковременный срыв факела, через размыкающий контакт KV2:1 включается зажигание искры, а когда смесь не воспламенится снова, теплогенератор отключается. При перегреве теплогенератора терморегулятор SK3 отключает его.

Для экономного использования топлива и энергии терморегуляторы настраивают так, что обогрев включается только после уменьшения производительности вентиляторов ниже расчетного значения для зимнего режима.

Автоматизация установок местного обогрева животных. При содержании в одном и том же помещении взрослых особей и молодняка, как, например, поросят и подсосных свиноматок, температурные режимы содержания которых весьма различны, используют средства местного обогрева: обогреваемые полы (коврики) и установки с инфракрасными и ультрафиолетовыми излучателями.

Для управления нагревом электроковриков разработана схема автоматического управления на бесконтактных элементах (рис. 9).

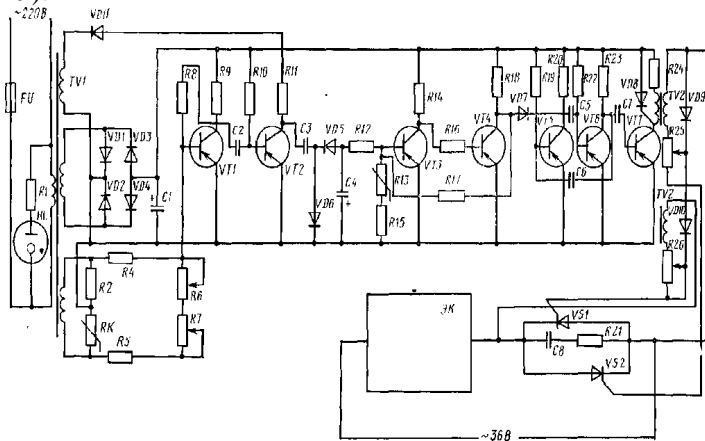


Рис. 9. Схема управления нагревом электронагревательных ковриков



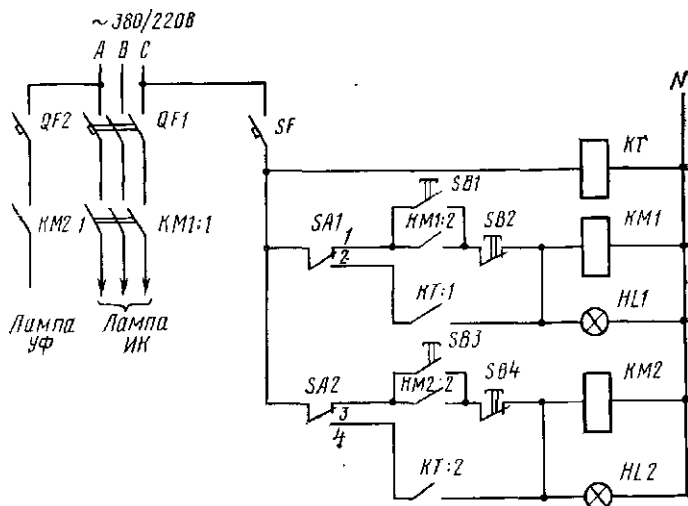


Рис. 10. Схема управления обогревательными установками ИКУФ-1

В качестве коммутирующего органа используются тиристоры VS1 и VS2, включенные по встречно-параллельной схеме. Терморезистор RK в схеме измерительного моста регистрирует отклонение температуры коврика от заданной резистором R6. сигнал подается на двухкаскадный усилитель на транзисторах VT1 и VT2, в котором второй каскад выполняет функцию фазочувствительного усилителя. Затем через промежуточный усилитель на транзисторах VT3 и VT4 сигнал поступает через диод VD7 на мультивибратор, собранный на транзисторах VT5 и VT6. Далее сигнал в виде импульсов частотой около 2 кГц усиливается транзистором VT7 и через трансформатор TV2 управляет тиристорами. Один бесконтактный регулятор может обеспечить регулирование температуры 8...10 ковриков.

Для обогрева и облучения молодняка используется установка типа ИКУФ-1, в которую входит 44 облучателя, 4 силовых блока и блок управления.

Облучатель состоит из двух ламп инфракрасного (теплого) спектра ИКЗК-220-250 и одной лампы ультрафиолетового излучения ЛЭ-15 на напряжение 127 В.

Блок управления обеспечивает ручное и автоматическое управление раздельно инфракрасными и ультрафиолетовыми облучателями по определенной программе, разработанной на основе зоотехнических требований и реализуемой обычными реле времени. На схеме (рис. 11) переключатели SA1 и SA2 устанавливают режим ручного или автоматического управления.

В автоматическом режиме функции управления по заданной программе выполняет реле КТ через контакты КТ : 1 и КТ : 2.

### **Вопросы для проверки**

1. Что обеспечивает блок управления?
2. Из чего состоит облучатель?
3. Нарисовать блок-схему станции управления МК-ВАУЗ.
4. Что является при регулировании теплового режима животных фактически управляемыми величинами?

## **8.4. Автоматизация кормления животных**

План лекции:

1. Кормораздачи К.С.
2. Автоматизация дозаторов корма.

Автоматизация кормопроизводства

Общие сведения

Создание прочной кормовой базы — основа увеличения продукции животноводства. Корма растительного происхождения различают на грубые (сено, солома), сочные (силос, корнеклубнеплоды), зеленые (травы) и концентрированные (зерно, жмых и др.). Отходы молочной, мясной и рыбной промышленности образуют группу кормов животного происхождения. Для получения сбалансированных полнорационных кормов, то есть с комплексом необходимых питательных веществ, смешивают корма растительного и животного происхождения и добавляют к

ним минеральные подкормки (мел, соль, карбамид), витамины, антибиотики и микроэлементы (медь, железо и др.). Такой корм называют концентрированным или комбикормом. Кормление животных сбалансированными кормами обеспечивает повышение на 25...30% продуктивности животных и позволяет почти в 2 раза снизить затраты труда и себестоимость единицы животноводческой продукции.

По зоотехническим требованиям концентрированные корма должны составлять не менее трети общей потребности кормов. В настоящее время ежегодно производится около 60 млн. тонн комбикормов, при этом более 80% их скармливается на птице- и свинофермах.

Для лучшей сохранности питательных свойств, удобства транспортировки, хранения и скармливания зеленые и частично грубые корма перерабатывают в сенную муку, а также гранулируют и брикетируют.

Для заготовки и обработки кормов на фермах применяют десятки типов различных машин, которые используют механические, тепловые, химические и биологические способы приготовления кормов. Эти машины изучаются в курсе «Механизация технологических процессов». Здесь рассмотрим электрические схемы автоматизации основных поточных линий по приготовлению травяной муки, кормовых гранул и брикетов, а также комбикормов.

### Автоматизация агрегатов

#### Для приготовления травяной муки

Агрегаты для приготовления травяной муки сушат измельченную при скашивании силосокомбайном траву и другие материалы (жом, листья, хвою, зерно), превращают их в муку и затаривают в мешки. В хозяйствах страны эксплуатируются несколько типов агрегатов витаминной муки (АВМ): АВМ-0,4, АВМ-0,65, АВМ-1,5 и АВМ-3 соответственно производительностью 0,4; 0,65, 1,5 и 3 т/ч травяной муки.

Кроме этих агрегатов, используются установки «Вита-

гама-1» и польская установка СБ-1,5 (М-804/0-1,5). Все эти установки отличаются высокой энергоемкостью (210...300 кг жидкого топлива и 120... 150 кВт -ч электроэнергии на каждую тонну муки). Ежегодно в СССР производится около 10 млн. т такой муки. Вследствие этого автоматизация технологических процессов позволяет получить травяную муку высокого качества и снизить удельный расход энергии на ее производство.

Рассмотрим принцип действия технологической и принципиальной электрической схем агрегата на примере АВМ (рис. 1).

Жидкое топливо подается насосом 1 и впрыскивается форсункой 2 в камеру газификации топки 3 под давлением 1,2 МПа. Сюда же поступает воздух от вентилятора 21. Смесь воздуха и топлива воспламеняется от искры, создаваемой трансформатором зажигания 20. Топочные газы, перемешиваясь с воздухом и травяной сечкой, засасываемыми вентилятором 8 циклона 7 сухой массы, образуют теплоноситель с температурой 250...300 °С при получении зернофуражной муки и до 600...900°С при сушке травяной муки. Сушильный барабан 6 загружают через горловину при помощи конвейерных транспортеров 4 и 5. Сушильный барабан, состоящий из соединенных в одно целое трех концентрических цилиндров, вращается на роликах 18 при помощи электропривода МЗ. На внутренней части каждого цилиндра приварены лопасти для ворошения и перемещения высушиваемой массы в потоке теплоносителя. В циклоне 7 происходит отделение высушенной массы от потока топочных газов. Температура выбрасываемых газов контролируется датчиком 9. Высушенная масса дозатором 17 подается в дробилку 15. По пути под действием центробежных сил от нее отделяются в камнеуловителе 16 твердые включения (камни, металлические предметы).

Дробилка превращает высушенную массу в муку, которая вентилятором 10 засасывается в циклон-охладитель 12. Из циклона дозатор и шнек 14 направляют муку к выгрузным люкам 13, у которых прикреплены мешки. Наличие пламени контролирует фотодатчик 19, температуры — термодатчик 9, предельного уровня муки в циклоне-охладителе — датчик уровня 11. Пуск и останов АВМ иллюстрируется временной диаграммой (рис. 1, г). Переключателем SA вначале подают звуковой сигнал HA, а затем включают реле KV1. Кнопками «Пуск» SB3...SB19 поочередно

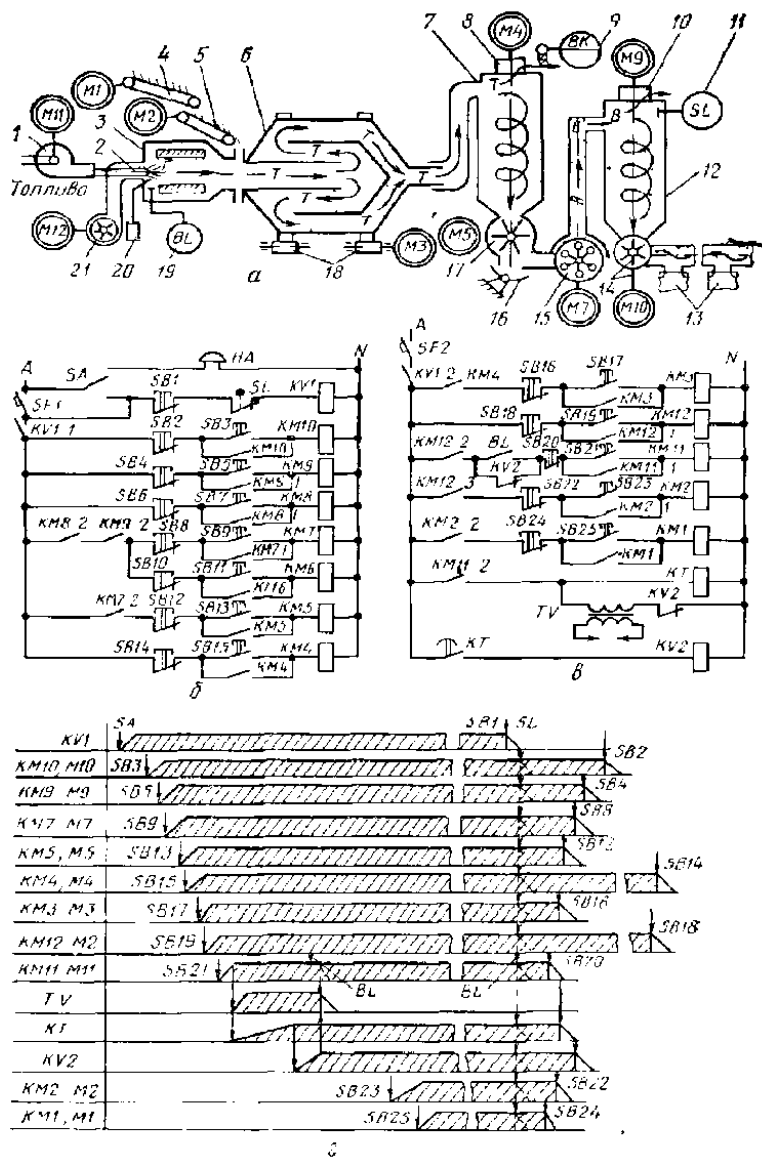


Рис. 1. Технологическая (а), принципиальные электрические схемы управления механизмами (б) и сушилкой (в) и временная диаграмма (г) работы АВМ-1,5

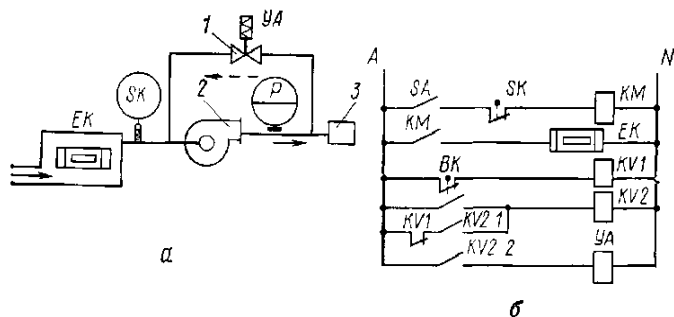


Рис. 2. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы управления температурой топлива и теплоносителя

Процесс сушки пока автоматизирован частично и ограничивается только управлением температурой. Температуру теплоносителя на входе регулируют по температуре газов на выходе из циклона 7 изменением подачи топлива к форсунке.

При увеличении температуры газов переключаются контакты датчика температуры ВК (рис. 2), которые включают реле КV2 и электромагнит YA вентиля 1, установленного на обратном трубопроводе. Вентиль 1 открывается, и часть топлива, засасываемая насосом 2 через вентиль обратно, не попадает в форсунку 3. Интенсивность горения уменьшается, и температура снижается до минимального значения, при котором контакты термодатчика ВК возвращаются в исходное положение и при помощи реле КV1 отключают электромагнит YA через реле КV2. Теперь все топливо проходит через форсунку. Температура увеличивается. Из-за инерционности термодатчика и транспортного запаздывания часто наблюдается пересушивание травяной муки, что резко снижает ее кормовые показатели. Вследствие этого необходимо создать работоспособную систему управления не только температурой, но и влажностью травяной муки на выходе.

Температура топлива, подаваемого насосом в топку, поддерживается на уровне 75 °С при помощи контактного термодатчика SK, управляющего электромагнитным пускателем KM электронагревателя EK (рис. 2). Давление топлива перед форсункой

контролируется манометром Р. Схемы управления имеют световую сигнализацию о работе всех механизмов и общую аварийную звуковую сигнализацию.

Автоматизация процесса гранулирования и брикетирования кормов.

Технологический процесс прессования и гранулирования кормов имеет высокую степень автоматизации. Прессование кормов необходимо для улучшения их транспортабельности, снижения стоимости перевозок и объема складских помещений, обеспечения лучшей сохранности и поедаемости кормов животными.

Наиболее совершенные способы прессования — брикетирование и гранулирование, обеспечивающие наиболее высокую степень уплотнения.

Брикеты размером от 30X30 до 100X100 мм и длиной 20...200 мм получают из сечки стебельчатых кормов длиной 5...50 мм, гранулы в форме цилиндра диаметром 5...15 и длиной 10...30 мм готовят из комбикорма, дерти и травяной муки.

Процесс прессования кормов состоит из трех основных операций: кондиционирования сырья, его прессования и охлаждения готовых брикетов или гранул. Кондиционирование включает операции дозирования кормов, воды, пара или связывающих веществ (меласса, жиры) и смешивание их между собой с целью повышения прочности брикетов или гранул и равномерного распределения в них исходного сырья.

В процессе прессования в специальных матрицах исходный материал разогревается.

После выхода готовых брикетов или гранул из пресса их охлаждают, чтобы привести в тепловое равновесие с окружающей средой и снять внутренние остаточные механические напряжения.

Для гранулирования кормов используют смесители-грануляторы СНГ-300 «Корм» производительностью до 100 т в сутки, грануляторы типа ОГМ производительностью от 0,8 до 10 т/ч и оборудование для производства amidно-концентратных добавок АКД (75% комбикорма, 20% карбамида, 5% бентонита натрия) производительностью до 20 т в смену.

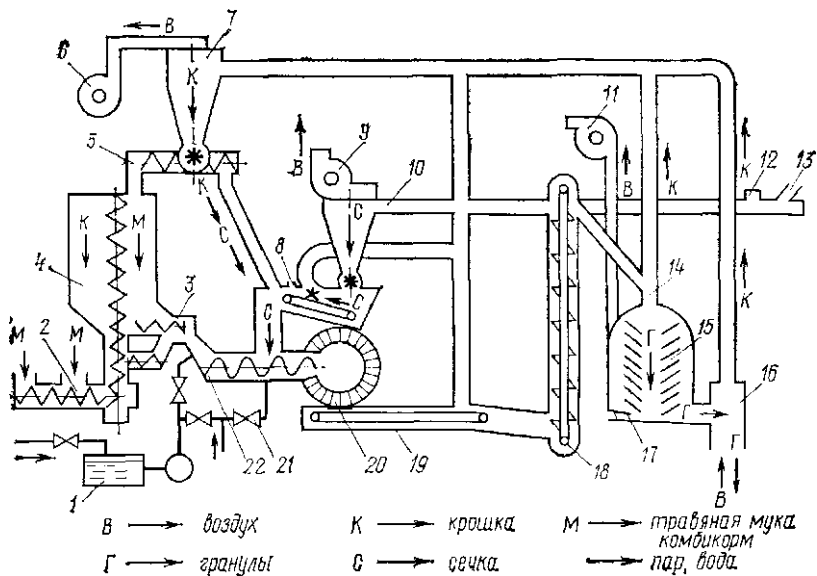


Рис. 3. Технологическая схема процесса прессования кормов оборудованием ОПК-2

Наиболее совершенное оборудование прессования кормов ОПК-2 производительностью 2 т/ч. Оно универсально, то есть позволяет гранулировать и брикетировать комбикорма и травяную муку, сечку травы и кормовые смеси. Рассмотрим по рис. 3 технологическую схему процесса прессования кормов при помощи оборудования ОПК-2.

Гранулируемый корм горизонтальным шнеком 2 и вертикальным шнеком загружается в накопительный бункер 4, из которого дозатором 3 выводится в смеситель-питатель 22 пресса 20. Одновременно в корм вводятся или вода в дозатор 3 из бака 1 или пар в смеситель 22 из паропроводов 21.

Увлажненный корм непрерывно вводится в пресс 20 и продавливается в радиальные отверстия кольцевой неподвижной матрицы, формируя гранулы. Выдавливаемые гранулы обламываются вращающимся обламывателем и транспортируются ленточным транспортером 19 и норией 18 через камеру предварительного сортирования 14 в охлаждающую колонку 15. Гранулы



охлаждаются воздухом, засасываемым вентилятором 11.

По мере накопления в охладительной колонке 15 гранулы выгружаются вибровыгрузателем 17 через камеру окончательного сортирования 16 на затаривание.

Крошка и несгранулированный корм в камерах 14 и 16 отделяются от гранул воздушным потоком, создаваемым вентилятором 6, и через циклон 7 возвращаются транспортером 5 в бункер 4.

При брикетировании корма травяная сечка из сушильного агрегата засасывается вентилятором 9 через заборник 13 и накапливается в циклоне 10, а затем через шлюзовой затвор подается транспортером 8 в смеситель-питатель 22. В этом случае вода вводится в выгрузную горловину транспортера 8. Дальнейший путь брикетов — через пресс и далее аналогичен пути гранул. Неспрессованный корм и крошка возвращаются через циклон 7 на транспортер 8. Через шлюзовой затвор 12 в травяной корм можно добавлять соломенную сечку.

При брикетировании кормовых смесей комбикорм в пресс подается транспортером 2, травяная сечка и соломенная сечка — транспортером 8.

Электрическая схема управления ОПК-2 предусматривает включение и отключение шестнадцати асинхронных электроприводов механизмов, их защиту и сигнализацию о нормальных и аварийных режимах (рис. 4). Для облегчения пуска двигателя М15 пресса, мощность которого составляет 90 кВт, предусмотрено его переключение по схеме со «звезды» на «треугольник». Суммарная мощность остальных 15 двигателей не превышает 50 кВт. Электродвигатели к сети подключаются автоматами QF1...QF15, цепи управления защищены автоматами SF16 и SF17.

Пускает и останавливает электроприводы оператор при помощи кнопочных постов SB1...SB20, для экстренного отключения всего оборудования предназначена кнопка SB.

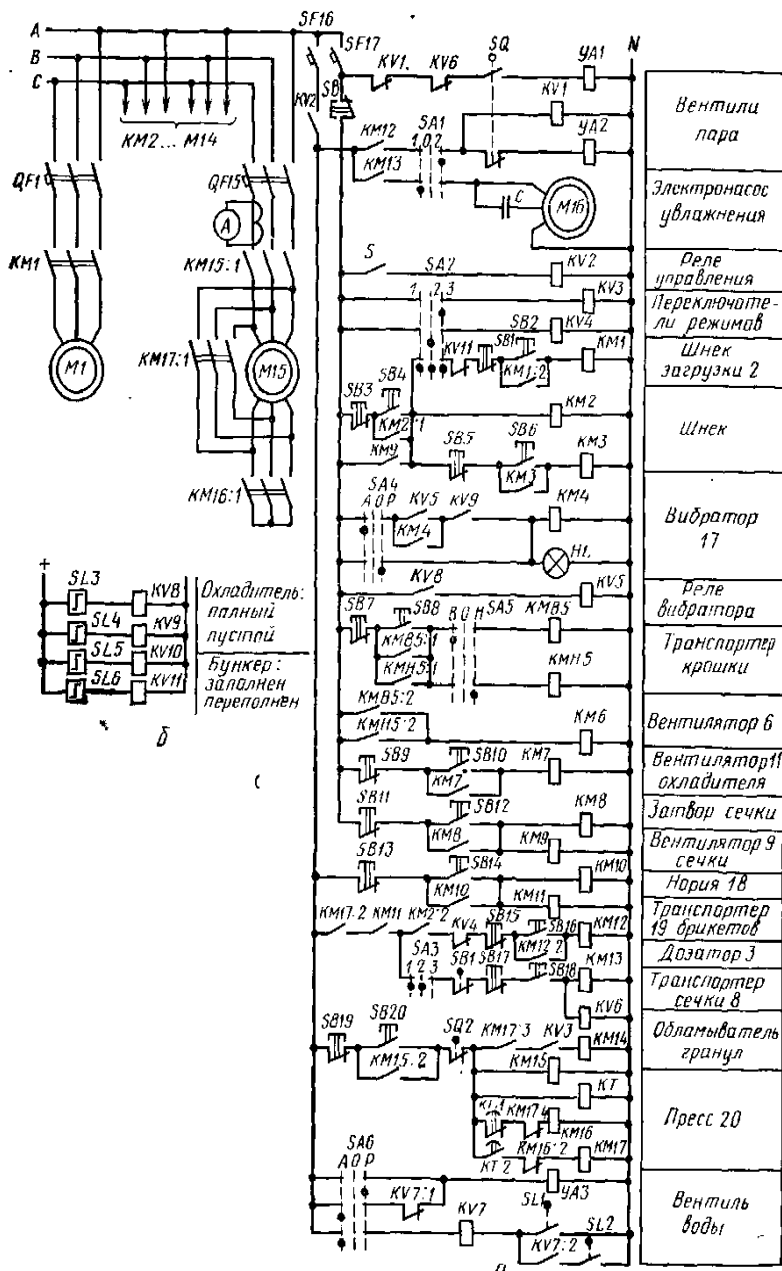
Режим работы выбирают при помощи переключателя SA2: в положении 1 — «Смеси» работают все электродвигатели и брикетируют кормовые смеси, в положении 2 — «Сечка» брикетируют травяную сечку, в положении 3 — «Мука» гранулируют травяную муку или комбикорм. Этим же переключателем переводят схему в режим наладки (на рисунке 10.4, а цепи переключателя, используемые при наладке, а также цепи сигнализации не показаны).

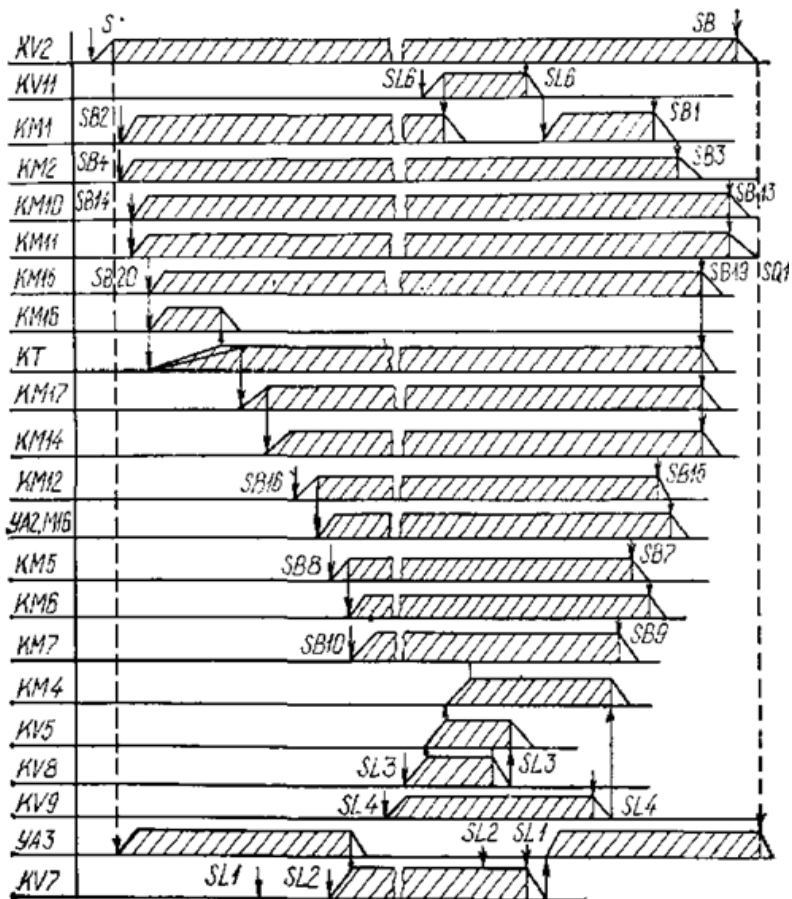
Переключателем SA1 (рис. 10.4, а) устанавливают вид увлажнения при прессовании корма: положение 1 — «Вода», 2 — «Пар». Тумблером S и реле KV2 включают и отключают вторичные цепи. Переключателями SA4 и SA6 устанавливают ручной или автоматический режимы работы соответственно виброугрузжателя 17 спрессованного корма и вентиля УАЗ, подающего воду на увлажнение корма до 17%.

Уровень исходного сырья в бункере 4 и готового корма в охладителе 15 контролируется бесконтактными датчиками SL3...SL6 (конечные выключатели типа ББК-24), уровень воды в баке для увлажнения — электродными датчиками верхнего SL1 и нижнего SL2 уровня. Пуск и останов ОПК-2 осуществляет оператор в последовательности, показанной на временной диаграмме рисунка 10.4, в. Перед пуском включают все автоматы, набирают переключателями SA заданный режим работы отдельных узлов, а затем кнопочными постами поочередно включают агрегаты. Например, при гранулировании корма ставят: SA3 — в положение 3 — «Мука», SA1 — в положение 1 — «Вода», SA4 и SA6 — в положение А, SA5 — в положение В, соответствующее транспортированию крошки транспортером 5 в бункер 4. Включают тумблером S реле KV2, которое запитывает остальные цепи управления и сигнализации. При этом открывается электромагнитный, вентиль воды УАЗ. Затем кнопками SB4, SB2, SB14, SB20, SB16, SB8 и SB10 последовательно включают соответственно вертикальный шнек бункера 4, шнек загрузки 2, норию 18 и транспортер брикетов 19, пресс 20, дозатор 3, транспортер 8 крошки и вентилятор 6 сортировки, вентилятор 11 охладителя. Электродвигатель M15 пресса при помощи реле выдержки времени КТ вначале магнитным пускателем KM16 включается по схеме «звезда», а затем магнитным пускателем KM 17 переключается на схему «треугольник». Блок-контактами KM 17:3 включается магнитный пускатель KM14 электропривода обламывателя гранул.

После пуска при помощи заслонки дозатора 3 и вентиляей воды вручную устанавливают по амперметру А номинальную загрузку пресса 20.

Если по каким-то причинам уровень сырья в бункере 4 превышает заданное значение, то срабатывает датчик уровня SL6 и выключает реле KV11, которое отключает шнек загрузки 2. При снижении уровня этот же датчик выдает импульс на повторное включение шнека 2.





Б

Рис. 4. Принципиальные электрические схемы управления ОПК-2 (а), контроля уровня корма (б) и временная диаграмма их работы (в)

При заполнении гранулами охладителя срабатывают датчики уровня гранул вначале  $SL4$ , а затем  $SL3$ . Последний через реле  $KV8$  и  $KV5$  включает привод вибратора выгрузателя 17. Разгрузка гранул вибратором продолжается до снижения уровня

гранул, при котором датчик SL4 через реле KV9 отключает вибратор.

Уровень воды в баке поддерживается при помощи электродных датчиков SL1 и SL2, реле KV7 и электромагнитного вентиля УАЗ.

Отключают оборудование после закрытия вручную заслонки дозатора 3 и вентиля увлажнителя. Кнопками SB9, SB7, SB15, SB1, SBS, SB19, SB13 отключают соответственно вентилятор охладителя, транспортер крошки и вентилятор сортировки, дозатор, шнек загрузки, шнек бункера, пресс, норию, соблюдая такую последовательность.

При брикетировании травяной сечки или кормосмеси упомянутыми выше переключателями набирают соответствующий режим и кнопками управления включают агрегаты в следующем порядке: шнек бункера 4, шнек загрузки 2, нория 18, пресс 20, транспортер сечки 8, затвор и вентилятор 9 сечки, затвор соломы 12, транспортер крошки, вентилятор 6 сортировки и вентилятор 11 охладителя. Электродвигатель M15 соединен с прессом через предохранительную муфту со штифтами, которые при попадании твердых предметов в пресс срезаются. При этом срабатывает конечный выключатель SQ2 и отключает электропривод прессы. Если смеситель-питатель 22 забивается сечкой, то от давления сечки срабатывает конечный выключатель SQ1 и отключает транспортер сечки 8.

Автоматизация комбикопмовых агрегатов. Оборудование комбикормовых цехов (ОКЦ) предназначено для производства полнорационных рассыпных комбикормов в колхозах, совхозах и на межхозяйственных комбикормовых заводах.

Промышленность выпускает ОКЦ трех типоразмеров производительностью 15, 30 и 50 т комбикормов за смену. Оборудование сконструировано в одном или двух (ОКЦ-50)блоках: зерновом и мучном.

Задача комбикормовых цехов колхозов и совхозов — максимально использовать местное сырье (фуражное зерно, травяную муку, пищевые отходы и т. п.) и белково-витаминные добавки промышленного производства.

Устройство и технология приготовления комбикормов

всех цехов ОКЦ аналогичны (рис. 5). Фуражное зерно из транспортных средств или транспортером из зерносклада подается на решетный стан 1, где оно очищается от крупных примесей, а затем, пройдя смеситель 3, норией 4 подается на магнитную колонку 5, в которой оно очищается от металлических примесей. Далее зернофураж распределяется шнеком 6 по двум секциям зернового бункера 15, а затем дозирующим шнеком 16 направляется на измельчение в дробилку 17.

Зерновая дерть воздушным потоком дробилки 17 направляется по трубопроводу через циклон 7 в шнек 8. Шнек имеет просеивающее устройство. На валу шнека закреплен щеточный барабан 9, а на нижней части кожуха шнека — решето.

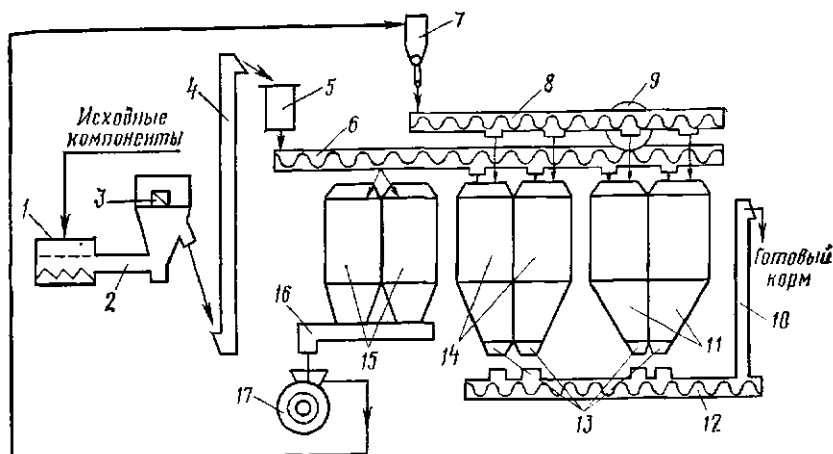


Рис. 5. Технологическая схема комбикормового агрегата ОКЦ-15

Просеивающее устройство разделяет дерть на две мучных фракции: мелкую, проходящую через решето в правую секцию бункера 11, и крупную, направляющуюся сходом с решета в левую секцию бункера 11.

Белково-вш аминные добавки (БВД) загружаются в смеситель 3 через загрузочную горловину 2 и тем же путем подают в бункер 11 или 14.

Зерновые компоненты и БВД из бункеров 11 и 14 выгружаются дозаторами 13, которые установлены в нижней части каждой секции бункера. Дозаторы 13 выдают компоненты в шнек 12

в заданной рецептурной пропорции. Шнек 12 и выгрузной шнек 10 непрерывно смешивают компоненты и передают готовый комбикорм на склад или в транспортные средства. Оператор в соответствии с заданной рецептурой комбикорма настраивает дозаторы 13 на необходимую выдачу компонента при помощи поворота специального лимба храпового механизма привода, изменяющего частоту вращения дозатора от  $0,24 \text{ мин}^{-1}$  до  $17,7 \text{ мин}^{-1}$ .

Работой оборудования цеха управляют дистанционно при помощи электрической схемы, показанной на рис. 6.

Автоматическими выключателями QF5...QF9 и SF10 подают напряжение в схему. Переключатель SA1 имеет три положения: Р - «Работа», О — «Отключено» и Н— «Режим наладки». Оборудование пускают в работу в следующем порядке (переключатель SA1 в положение Р).

Кнопкой SL24 подают предупредительный сигнал НА о начале пуска машин. Кнопками SB1, SB3, SB5 последовательно включают: магнитный пускатель KM2 электропривода М2 (2,2 кВт) нории 4 и шнека 6, пускатель KM3 электропривода М3 (3 кВт) смесителя 3 и пускатель KM4 электропривода М4 (1,1 кВт) решетного стана 1.

При работе включенных машин зерновой фураж загружается в бункер 15, а в случае необходимости в бункер 11 и 14.

Перед пуском дробилки кнопкой SB7 включают электропривод U5 (2,2 кВт) шнека 8, а затем кнопками SB9 и SB11 включают электропривод M1 (30 кВт) дробилки 17 и электропривод M6 (0,8 кВт) дозатора 16. Загрузка дробилки контролируется по амперметру А.

Смешивание исходных компонентов и выгрузка готового комбикорма происходят при включении кнопками SB13 и SB15 электропривода M7 (3 кВт) вертикального шнека 10 и электропривода M8 (2,2 кВт) мучного шнека 12. Электроприводами M9 и M10 (по 2,2 кВт) дозаторов выгрузки 13 компонентов в шнек 12 управляют кнопками SB17...SB20. Электроприводами M11 и M12 (по 0,27 кВт) задвижек бункера и смесителя 3 управляют кнопками SB21...SB23. В крайних конечных положениях задвижек магнитные пускатели KM11...KM14 отключаются конечными выключателями SQ1 и SQ2. В схеме предусмотрены блокировки, исключающие возможность завалов материалом при

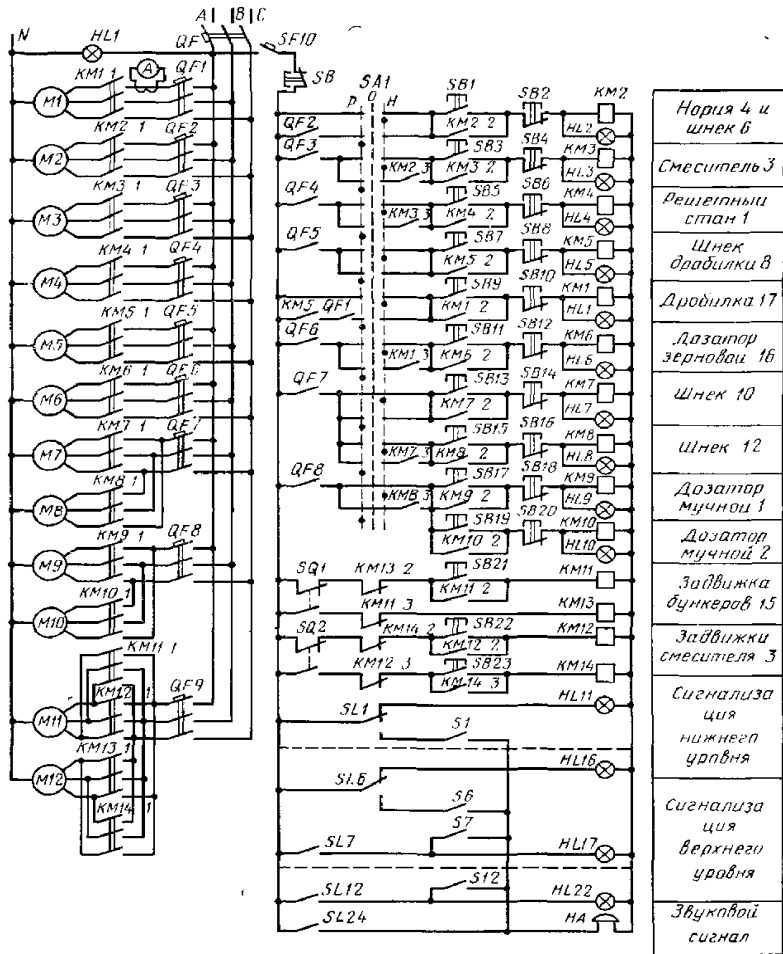


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема управления электрооборудованием комбикормового цеха ОКЦ-15

пуске и остановке машин. Все секции бункеров оборудованы датчиками нижнего SL1...SL6 и верхнего SL7...SL12 уровней. Сигнальные лампы HL1...HL6 горят при наличии материала в бункерах. При снижении его уровня в бункере до предельного значения переключается один датчик из SL1...SL6 на звуковой сигнал HA, и загорается соответствующая сигнальная лампа HL11...HL16.



При достижении в бункере уровня предельного верхнего значения срабатывает один из датчиков SL7...SL12, который включает звуковой сигнал HA и соответствующую сигнальную лампу HL17...HL22. Звуковой сигнал снимают тумблерами S1...S12. В экстренных случаях все машины останавливают кнопкой SB.

#### Автоматизация кормления животных

Технологические основы автоматизации кормления. Физиологическое состояние, сохранность поголовья и продуктивность сельскохозяйственных животных в значительной степени зависят от качества кормления. В некотором роде технологию производства животноводческой продукции можно представить как переработку кормов (сырья) в молоко, мясо или шерсть. Поэтому естественно, что к качеству кормления предъявляются особые требования.

При закрытом содержании животных в условиях производства на промышленной основе кормление должно быть сбалансированным по количеству и качеству.

Количество корма за счет наполнителей (клетчатки) регулируют так, чтобы обеспечивалось нормальное функционирование желудочнокишечного тракта животных. Для каждого вида и возраста животных этот показатель приводится в зоотехнических нормах и требованиях.

Кормосмесь для животных должна содержать необходимое количество питательных веществ, витаминов и микроэлементов, обладать определенными вкусовыми качествами, привлекательным видом и запахом.

Содержание в кормосмеси различных питательных веществ, витаминов и микроэлементов определяется, с одной стороны, физиологическими данными и возрастом животного, а с другой — его продуктивностью. Причем следует иметь в виду, что излишки какого-либо вещества (ингредиента) почти полностью безвозвратно теряются, тогда как недостаток веществ влечет отрицательные последствия и недобор продукции.

Главным условием оптимальности кормления является сбалансированность корма и точность его выдачи.

Если в помещении содержатся одновозрастные группы

животных одинаковой продуктивности, то состав кормосмеси будет одного модуля и задача дозирования сводится к выдаче порции в расчете на количество животных в группах.

Но когда в помещении содержатся разновозрастные, отличающиеся массой и продуктивностью животные, задача нормированного кормления усложняется. Простейшее решение этой задачи — введение двухмодульной кормосмеси и соответственно двухвариантной раздачи. Например, в течение суток два кормления (первое, и третье) осуществляют кормосмесью «модуль А», рассчитанной по содержанию питательных веществ на единицу массы животного, а одно кормление (второе) — кормосмесью «модуль Б», рассчитанной по содержанию питательных веществ на единицу продуктивности. Тогда управление первой и третьей раздачей может осуществляться в функции массы животных и возраста, а второе — в функции текущей продуктивности (удоев, приплода и т. п.).

Время, затрачиваемое на раздачу корма одновозрастным группам при трехразовом кормлении и равномерной производительности кормораздатчика:

$$t_p = M_{ж} q_m N_r \eta_{в} / (3Q_p), \quad (11.1)$$

где  $M_{ж}$  — средняя масса животного в группе, кг;  $q_m$  — доза кормления в расчете на единицу массы животного в сутки, кг/кг;  $N_r$  — число животных в группе, гол.;  $\eta_{в}$  — возрастной коэффициент;  $Q_p$  — производительность кормораздатчика, кг/ч.

Для отдельных животных при дозировании по продуктивности продолжительность раздачи (ч):

$$t_p = M_{пр} q_{пр} / Q_p, \quad (11.2)$$

где  $M_{пр}$  — суточная продуктивность животного, кг;  $q_{пр}$  — норма корма на единицу продуктивности, кг/кг.

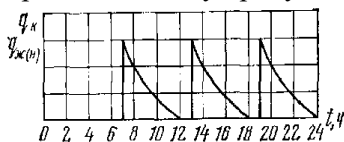


Рис. 7. Диаграмма процесса кормления животных ( $q_{ж(н)}$ -норма кормления).

При объемном дозировании выдачи количество корма ( $\text{м}^3$ ) на одно животное или группу

$$V_{\text{к.ж}} = M_{\text{ж}} q_{\text{м}} N_{\text{г}} \eta_{\text{в}} / \gamma_{\text{к}}, \quad (11.3)$$

где  $\gamma_{\text{к}}$  — объемная масса кормосмеси,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Соответственно объем корма ( $\text{м}^3$ ) в расчете на суточную продуктивность животного

$$V_{\text{к.пр}} = M_{\text{пр}} q_{\text{пр}} / \gamma_{\text{к}}. \quad (11.4)$$

Количество кормлений в течение суток определяют, исходя из физиологически обоснованных норм единоразовой выдачи  $q_{\text{ф.о}}$  по формуле

$$n = q_{\text{ж}} / q_{\text{ф.о}}, \quad (11.5)$$

где  $q_{\text{ж}}$  — суточная расчетная доза кормления животного,  $\text{кг}$ .

Полученное значение  $n$  округляют до целого числа в сторону увеличения.

Длительность промежутков между кормлениями также диктуется физиологическими особенностями животных и четко определяется зоотехническими требованиями.

По результатам расчетов и обоснований составляют диаграмму кормления животных (рис. 7), являющуюся законом функционирования технологической линии кормления в течение суток.

При составлении диаграммы раздачи кормов необходимо учитывать, что влажные и полужидкие корма и их остатки в кормушках портятся. Использование таких кормов может привести к отравлениям животных. Поэтому установленную технологическими нормами продолжительность хранения влажных кормосмесей необходимо учитывать при разработке алгоритма функционирования процесса.

Рассматривая конкретную технологическую линию раздачи кормов (рис. 8), находим, что при дозировании в функции времени следует учитывать транспортное запаздывание  $\tau_p(i)$  движения корма вдоль участков между кормушками (точками выдачи), которое численно определяется из соотношения

$$\tau_{p(i)} = l_i / v_{к.тр}, \quad (11.6)$$

где  $l_i$  — длина  $i$ -го участка между кормушками, м;  $U_{к.тр}$  — скорость движения корма по транспортеру, м<sup>3</sup>/с.

Если корм полужидкий и движется по трубам, то транспортное запаздывание определяется соотношением

$$\tau_{p(i)} = \pi d^2 l_i / (4 Q_p), \quad (11.7)$$

где  $d$  — диаметр трубопровода, м;  $Q_p$  — подача насоса, м<sup>3</sup>/с.

С учетом чистого запаздывания составляют диаграмму функционирования кормораздатчика (рис. 9).

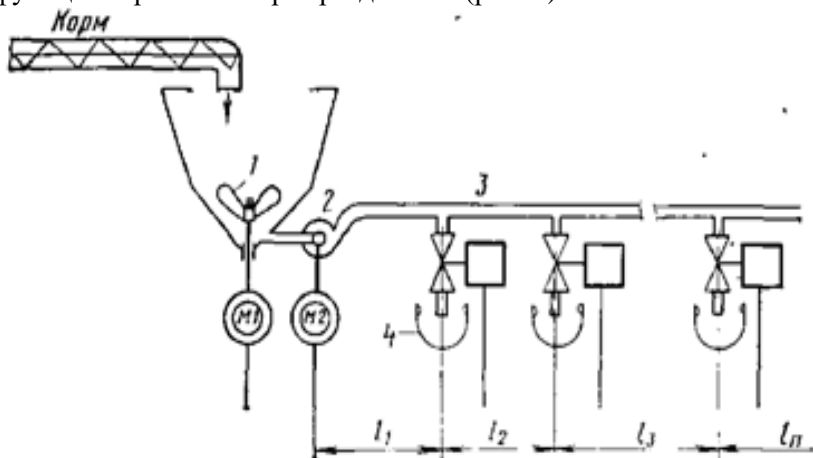


Рис. 8. Типовая технологическая схема раздачи корма животным: 1 — кормосмеситель; 2 — насос; 3 — магистраль, 4 — • кормушка

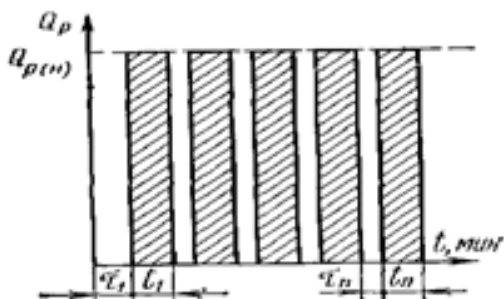


Рис. 9. Диаграмма функционирования кормораздатчика (ненормированное кормление)

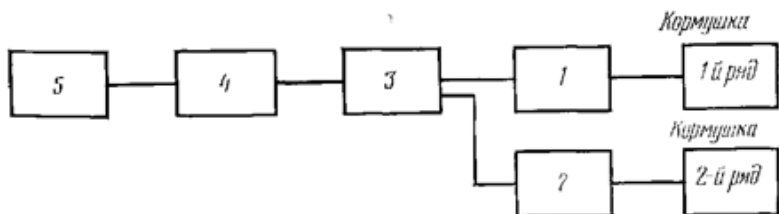


Рис. 10. Структурная схема технологической линии кормления КРГ

Технологическая линия кормления (рис. 10) обычно включает несколько транспортеров-раздатчиков 1 и 2, транспортеров-распределителей 3, дозатор-накопитель 4, транспортер-загрузчик 5 и т. п. Вначале технологическая линия по цепочке 1—3—4—5 ведет раздачу корма кормораздатчиком 1, а затем по 2—3—4—5 — кормораздатчиком 2.

Функционирование отдельных механизмов технологической линии определяется порядком событий запуска и остановки при условии исключения завалов при запуске и остатка корма при остановке.

Время заполнения бункера-дозатора кормом определяют из соотношения

$$t_3 = V_6 / Q_{3, \text{тр}}, \quad (11.8)$$

где  $V_6$  — вместимость бункера-дозатора,  $\text{м}^3$ ;  $Q_{3, \text{тр}}$  — производительность загрузочного транспортера,  $\text{кг/ч}$ .

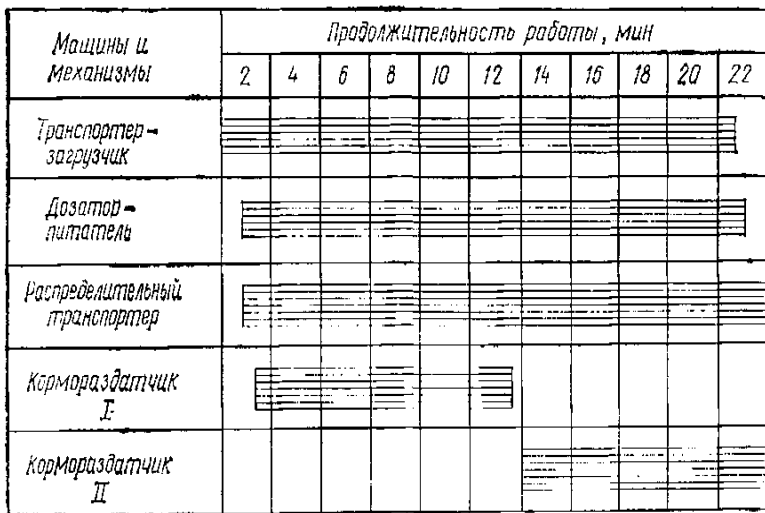


Рис. 11. Циклограмма управления технологической линией кормления

Время перемещения корма по линии транспортирования определяют по формуле (11.6).

С учетом данных расчетов и анализа событий строят циклограмму функционирования технологической линии раздачи корма (рис. 11).

Для раздачи кормов на животноводческих фермах и комплексах применяются как мобильные, так и стационарные кормораздатчики.

Автоматизация кормораздаточных поточных линий для КРС. Кормораздатчик типа ТВК-80Б представляет собой движущуюся челночно ленту 3 (рис. 12) в кормушках 4, приводимую в действие реверсивным электроприводом 5. При движении вперед лента уносит к месту стойла животных определенное, загружаемое питателем 1 количество корма. В качестве питателя может быть использован кормораздатчик КТУ-10, который имеет накопительную емкость 2. С возвратом ленты (реверс) кормушки самоочищаются от остатков корма, который удаляется из помещения транспортером 6.

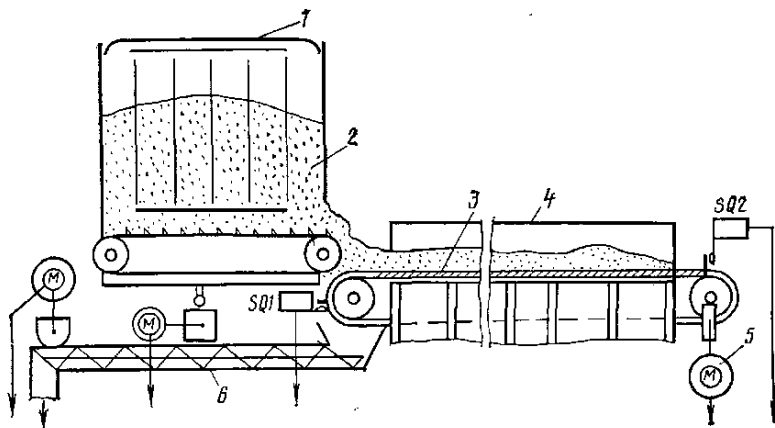


Рис. 12. Транспортер-раздатчик ТВК-80Б внутри кормушек

Таким образом, ТВК-80Б способен транспортировать корма к месту потребления и убирать их отходы, то есть выполнять наиболее трудоемкие технологические операции. Но нормированное кормление на ТВК-80Б осуществить невозможно, поскольку корм при движении ленты самопроизвольно разравнивается. Кроме того, при движении ленты животные выборочно поедают корм.

Технологическая линия раздачи корма с кормораздатчиком ТВК-80Б и стационарным раздатчиком КТУ-10 может функционировать в автоматическом режиме. Для раздачи кормов в течение суток используют суточное программное реле КТ2 типа 2РВМ или аналогичное, которое настраивают согласно расчетной диаграмме сгорания. Кормораздаточной линией, согласно принципиальной электрической схеме (рис. 13), управляют вручную или автоматически в следующем порядке. Вначале контактом программного устройства КТ2:1 включаются магнитные пускатели КМ2 и КМ3 возврата ленты и транспортера отходов. В конечном переднем положении ленты кормораздатчика концевой выключатель SQ1 останавливает ее движение и отключает транспортер отходов через контакт КМ2 : 2. По команде программного реле контактами КТ2:2 включается привод питателя КМ4 и привод раздачи корма КМ1. В конце раздачи концевой выключатель SQ2 отключает КМ4 с выдержкой времени КМ1.

При нормированном кормлении и широком разнообразии норм выдачи, например в коровниках стойлового содержания, малоценные грубые корма в смеси с сочными могут выдаваться без ограничения кормораздатчиком ТВК-80Б, а концентрированные — другим стационарным кормораздатчиком КШ-0,5 или РКА-1000, которые обеспечивают индивидуальное дозирование.

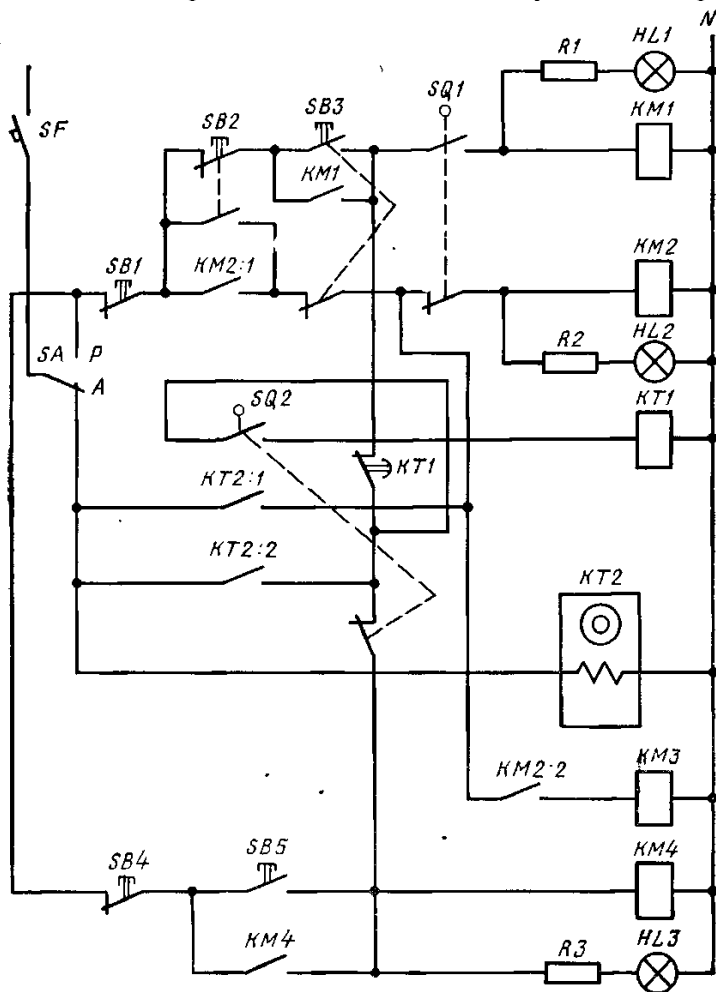


Рис. 13. Принципиальная электрическая схема системы управления кормораздаточной линией ТВК-80Б



Согласно технологической схеме (рис. 14), кормораздатчик КШ-0,5 состоит из тросошайбового транспортера-конвейера с расположенными под ним объемными индивидуальными дозаторами и тросоштанюевой тяги открытия затворов дозаторов. Степень заполнения емкостей дозаторов (порция корма) зависит от высоты установки над дном телескопической трубчатой насадки, которую регулируют вручную.

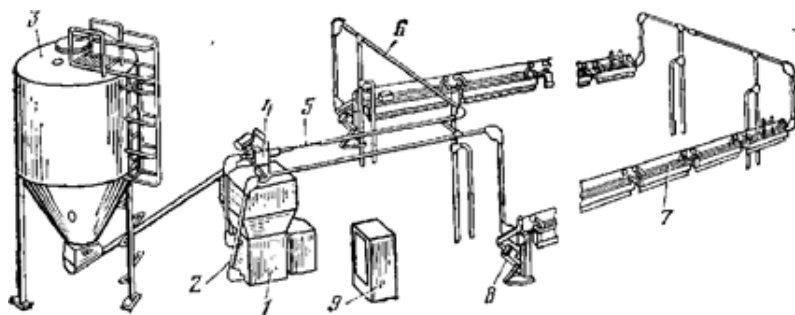


Рис. 14. Кормораздатчик шайбовый с групповыми дозаторами: 1 — установка приводная; 2 — участок контроля; 3 — бункер; 4 — воронка; 5 — рабочий орган; в — кормопровод; 7 — дозатор групповой; 8 — привод дозаторов; 9 — электрооборудование.

При включении привода КШ-0,5 корм, перемещаясь по трубам конвейера, постепенно через отверстия в них заполняет емкости дозаторов по всему периметру кормушек. Датчик уровня, установленный в последней по пути движения корма емкости дозатора, отключает привод конвейера и подготавливает цепь для включения привода тяги открытия дозаторов. Но выдача корма может происходить в любой момент, например после остановки ленты ТВК-80Б на данной линии кормления.

Кормораздатчики типов РК-50 (для КРС) и РКС-3000М (для -свиней) аналогичны по устройству и функциональным характеристикам. В обоих дозаторах корм отрегулированным вручную потоком перемещается по наклонному транспортеру (рис. 15) на раздаточную платформу 2, которая, двигаясь вдоль фронта кормления, сбрасывает корм в кормушки 3 сначала на одной, а

затем на другой половине фронта кормления по длине помещения. Когда платформа движется влево, на нее поступает корм, но поднятые вверх скребки пропускают его. При обратном движении платформы в левой части помещения скребки опускаются и сбрасывают корм в кормушки. Аналогично происходит раздача корма в правой части помещения.

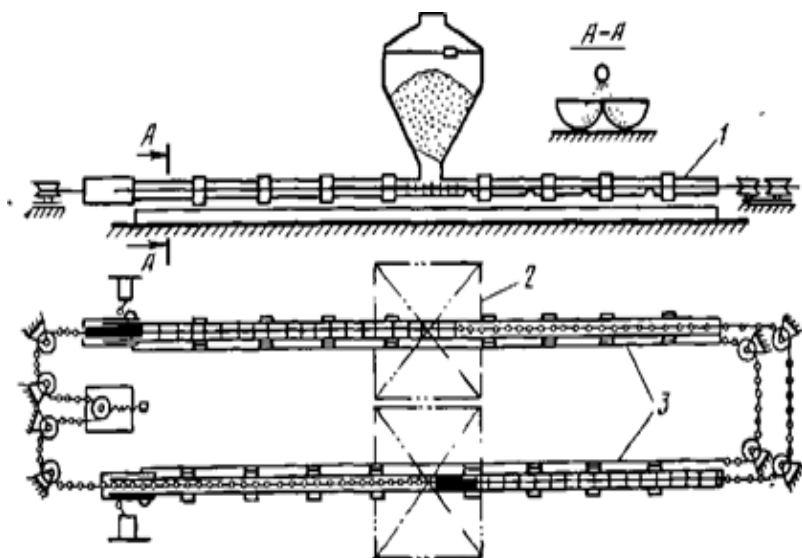


Рис. 15. Схема устройства стационарного кормораздатчика платформенного типа

Работой кормораздатчиков РК-50 и РКС-3000М управляют как автоматически, так и вручную. На принципиальной электрической схеме (рис. 16) в автоматическом режиме в заданное время программное реле КТ типа 2РВМ замыкает свои контакты, включает магнитный пускатель КМ1 загрузочного транспортера и КМ2 бункера-дозатора. Кроме того, подготавливается к включению цепь магнитного пускателя КМ3 раздаточной платформы. Когда корм начинает поступать на платформу, датчик кормов ВЛ, включает пускатель КМ3, а через него — привод платформы. В крайнем положении платформы срабатывает конечный выключатель SQ1, реверсирующий движение платформы. Во втором

крайнем положении конечный выключатель SQ2 выполняет обратный реверс. Челночное движение платформы происходит до тех пор, пока не выключатся контакты реле времени КТ или датчика потока корма BL. Продолжительность раздачи корма 20...30 мин. Автоматическое управление дублируется ручным через переключатель SA и кнопки SB1...SB7.

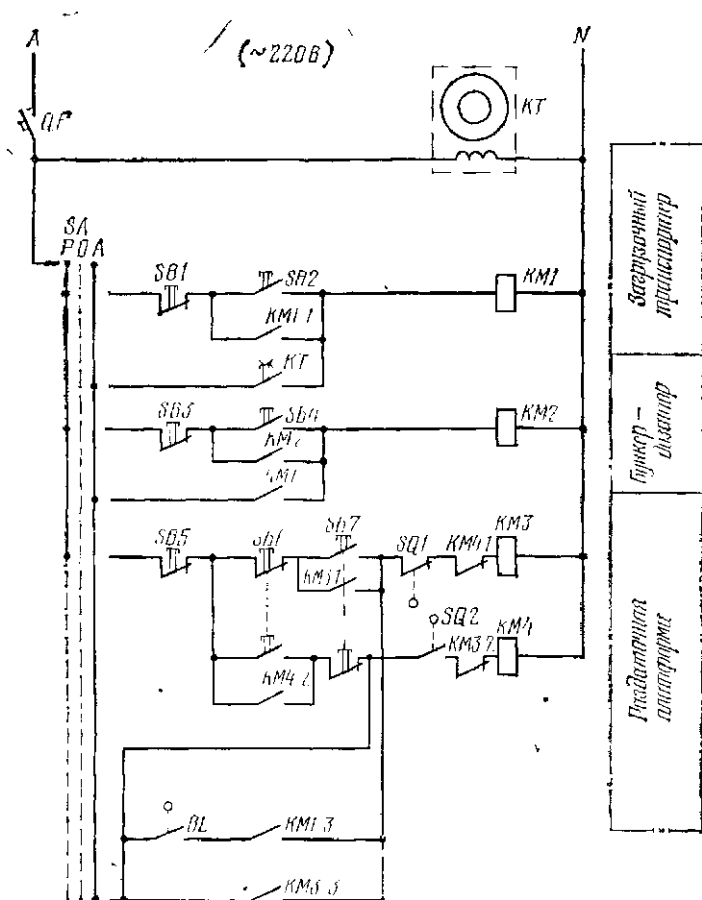


Рис. 16. Принципиальная схема системы управления раздачей корма платформенными кормораздатчиками

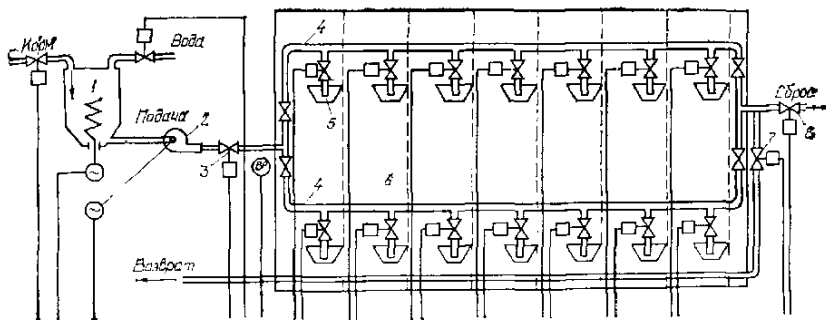


Рис. 17. Технологическая схема раздачи жидких кормов в свинарниках

Автоматизация раздачи жидких кормов. По качеству раздачи и гибкости управления лучшими считаются гидравлические кормораздатчики, созданные по типу итальянской фирмы «Джи-Э-Джи» и применяемые у нас на свинокомплексах или созданные по типу венгерских и применяемые на свинофермах.

Кормораздаточная гидравлическая система (рис. 17) включает механический смеситель 1 и гидронасос 2, которые, функционируя совместно, обеспечивают постоянство давления и потока кормов в линиях кормораздачи 4. На каждую кормушку 5 от кормовой магистрали выполнена отпайка через регулирующее устройство — кормораздаточный клапан 6. Поочередное открытие клапанов позволяет точно дозировать выдачу кормосмеси в функции времени открытия. Магистральными клапанами 3, 7 и 8 обеспечивается возврат излишков кормов обратно в бункер и сброс из магистралей растворов после промывки и дезинфекции.

В качестве исполнительных органов управления клапанами используются самодвижущиеся тележки, индивидуальные соленоидные или электродвигательные механизмы, вращающиеся дисковые распределители.

Автоматическое управление процессом раздачи кормов в простейшем варианте осуществляется многопрограммными устройствами (рис. 18) на базе блока электронных реле времени 1, блоков задатчиков 2, коммутации 3, исполнительных релейных элементов 4, ручного управления 5 и сигнализации 6. В качестве задатчиков времени раздачи для каждой кормушки на блоке 2

установлен свой резистор. Настройка, нормы выдачи корма ручками резисторов, установленных на панели централизованной системы управления, значительно проще, чем в других типах оборудования.

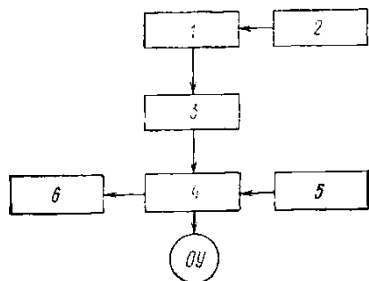


Рис. 18. Блок-схема системы автоматического управления раздачей жидких кормов

#### Вопросы для повторения:

1. Что собой представляет кормораздатчик типа ТВК-80Б?
2. Что в себя включает технологическая линия кормления?
3. Для чего предназначено оборудование комбикормовых цехов?
4. Что используют для гранулирования кормов?
5. Из чего состоит процесс прессования кормов?
6. Принцип действия технологической и принципиальной электрической схем агрегата на примере АВМ?
7. Что называется созданием прочной кормовой базы?

### 8.5. Автоматизация уборки навоза

План лекции:

1. Автоматизация уборки навоза.
2. Автоматизация навозоуборочных транспортёров.

Автоматизация уборки навоза

Установки транспортерного типа. Простейшая технологическая линия уборки и погрузки навоза транспортерами типа

ТСН-ЗБ в тележки подвесной дороги может функционировать как в ручном, так и автоматическом режимах (рис. 1).

В автоматическом режиме замыкают тумблер или нажимают кнопку SB5. Получает питание реле времени КТ1, которое включает магнитные пускатели КМ3 и КМ4 наклонного и горизонтального транспортеров соответственно.

Когда тележка наполнена навозом, срабатывает весовое устройство и дерез конечный выключатель SQ3 отключает реле времени КТ1. С выдержкой времени, необходимой для очистки от навоза, останавливаются сначала горизонтальный, а затем и наклонный транспортеры.

Одновременно получает питание реле времени КТ2, которое с большей, чем у КТ1, выдержкой времени включает магнитный пускатель КМ1. Тележка с навозом движется в хранилище, где автоматически разгружается и конечным выключателем SQ1 реверсируется. Возврат тележки фиксируется конечным выключателем SQ2, который включает реле времени КТ1, и процесс повторяется.

Когда уборка навоза будет окончена, то его поступление в тележку прекратится, конечный выключатель SQ3 останется в прежнем положении. Контакты КТ1:3 в цепи KV замкнутся с выдержкой, превышающей продолжительность цикла работы установки, контакт KV: 1 отключит установку от сети.

Пневматическое транспортирование навоза. Система удаления навоза с пневматическим транспортированием его в хранилище приведена на рис. 2. По этой технологии навоз из канала 6 Перемещается вначале продольным, а затем поперечным транспортером в навозосборник 8, который закрывается после заполнения затвором 10. Из ресивера 1 через воздушный клапан 11 в навозосборник подается сжатый воздух, вытесняющий навоз через трубопровод 12 в навозохранилище.

Схема системы управления предусматривает автоматический и ручной режимы работы пометоуборочной установки (рис. 3). В автоматическом режиме переключатель режимов SA1 устанавливается в положение А, схема включается, и получает питание звуковая сигнализация НА. Программное реле времени КТ1 контактами КТ1:1 включает реле KV1. Контакт KV1:2 снимает звуковой сигнал, а KV1:3 включает магнитные пускатели КМ1, КМ2

и КМ3 поперечного и двух продольных транспортеров уборки навоза.

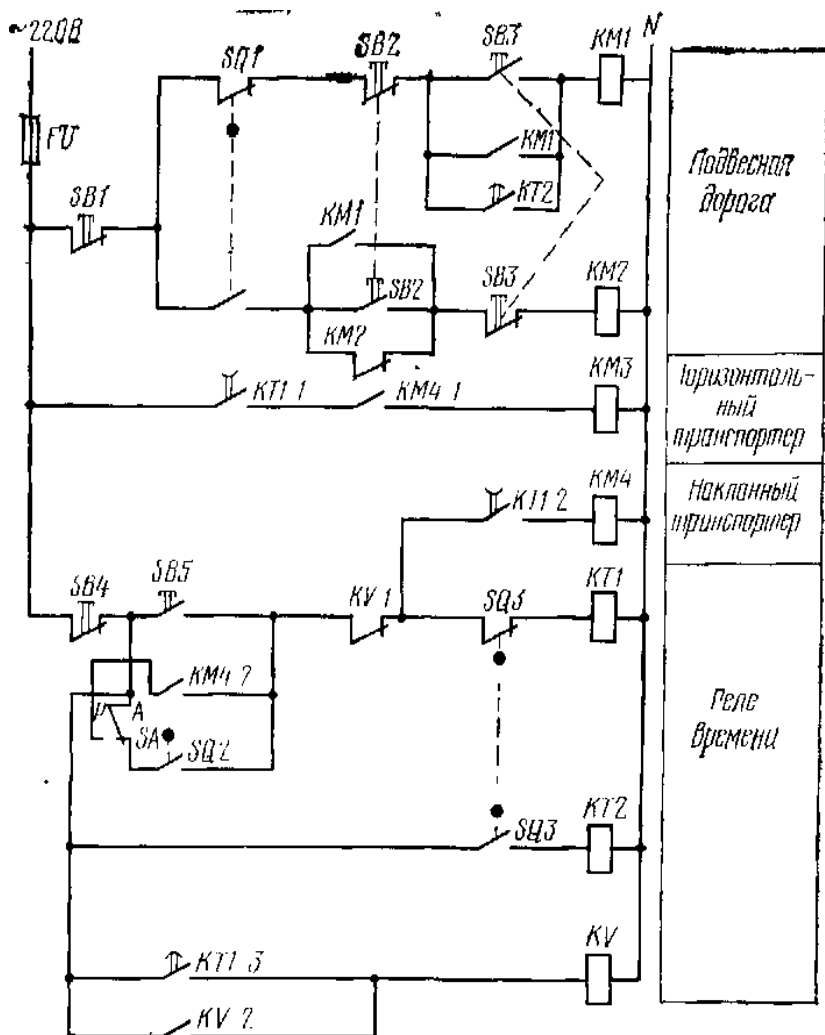


Рис. 1. Схема управления линий уборки навоза о транспортными тележками

После срабатывания датчика уровня SL1 отключается магнитный пускатель КМ1, навозоуборочные транспортеры I и II останавливаются. Одновременно включается клапан подачи воды У1 и магнитный пускатель КМ4 управления компрессором.

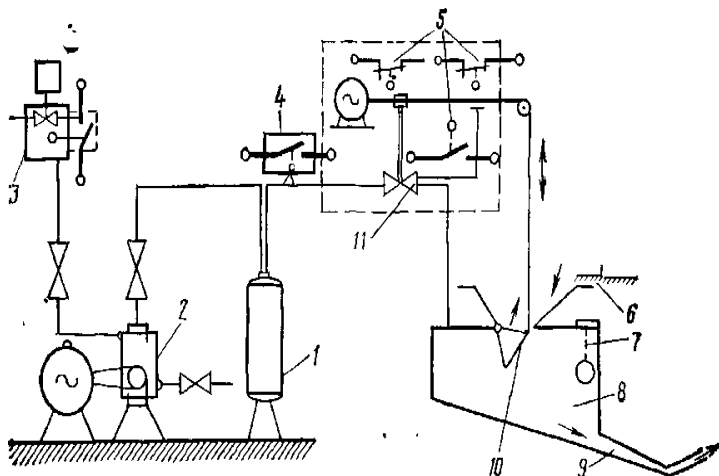


Рис. 2. Схема уборки навоза пневмотранспортом:

1 — ресивер; 2 — компрессор; 3 — регулятор давления; 4 — электроконтактный манометр; 5 — конечные выключатели; 6 — навозоуборочный канал; 7 — датчик уровня; 8 — навозосборник; 9 — трубопровод; 10 — затвор; 11 — воздушный затвор.

Когда давление в навозосборнике достигнет нормы, включится реле КV2 и реле времени КТ2. С выдержкой времени 2...5 с контакт КТ2:2 включит привод КМ6 затвора навозосборника, при этом откроется клапан подачи воздуха, а КМ6 отключится конечным выключателем SQ2.

После вытеснения навоза давление в системе упадет, замкнутся контакты SP2 и включат магнитный пускатель КМ5. Откроется затвор навозосборника, а вентиль подачи воздуха закроется.

В крайнем положении электропривод затвора отключается конечным выключателем SQ1. Реле КV2 предотвращает повторное закрытие заслонки навозосборника.



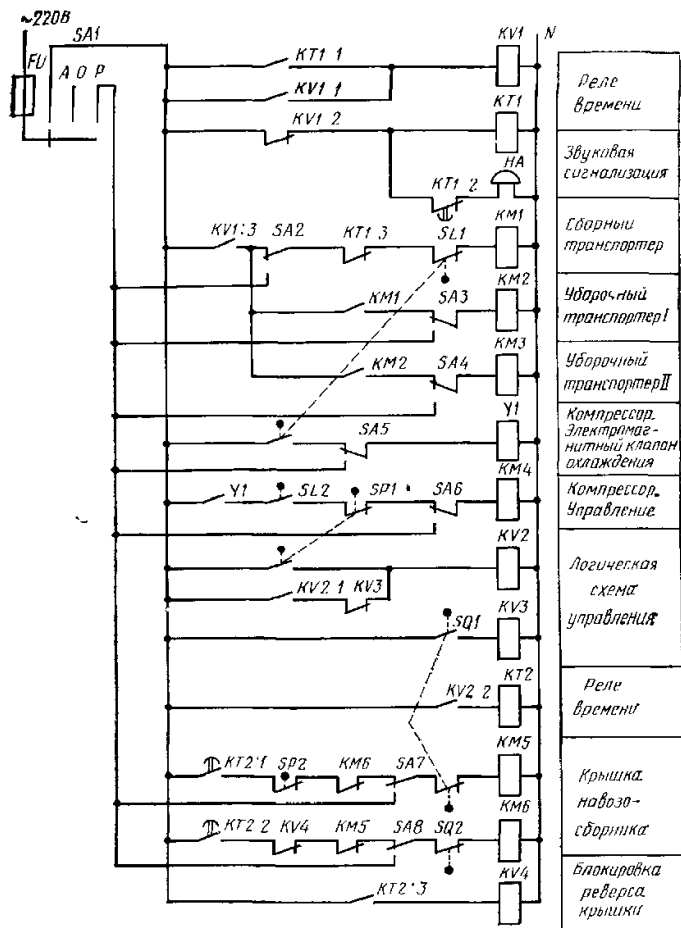


Рис. 3. Принципиальная схема САУ системы уборки навоза пневмотранспортированием.

### Вопросы для повторения:

1. Нарисовать принципиальную схему САУ системы уборки навоза пневмотранспортированием.
2. Из чего состоит схема уборки навоза пневмотранспортом?
3. Нарисовать схему управления линий уборки навоза транспортными тележками.

## 8.6. Автоматизация доения и первичной обработки молока

План лекции:

1. Автоматизация доильных установок.
2. Автоматизация доения и первичной обработки молока.

Автоматизация доильных установок

Технологические основы автоматизации доения коров. Как объект автоматизации доильные установки представляют собой сложные технологические системы, на которых реализуется целый ряд взаимосвязанных технологических процессов и отдельных операций. Это передвижение и фиксация коров или перемещение аппаратов к месту доения, подготовка вымени к доению, стимуляция припуска молокоотдачи, доение, сбор молока с предварительной очисткой и учетом, нормированная выдача концентрированных кормов, возврат коров, мойка доильной аппаратуры.

Но главным, наиболее сложным и ответственным все же является процесс доения. Сложность процесса связана с его биологической основой. Физиологические особенности и состояние животного выступают как главные факторы, определяющие ход и конечные результаты процесса.

В процессе доения коровы отдают молоко неравномерно. Вначале припуск молока резко возрастает и через 40...45 с обычно достигает максимального значения. Затем в течение 3...4 мин идет интенсивная отдача молока, а далее молокоотдача резко снижается.

Суммарное время двух тактов сосания и отдыха составляет период цикла или импульс доения:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{с}} + t_{\text{о}}, \quad (11.20)$$

где  $t_{\text{с}}$ ,  $t_{\text{о}}$  — длительность тактов сосания и отдыха, с.

Окончательно как объект управления процесс доения можно представить обобщенной входной координатой — длительностью такта отдыха  $t_{\text{о}}$ , а также обобщенной выходной координатой — измеренным потоком молока в расчете на единицу

времени сосания  $q_{м.н}$ , которое сравнивается с полученным значением при контрольной дойке  $q_{м.к}$ . Обобщенная координата возмущения учитывает отклонение значения вакуума и другие технические погрешности.

Автоматизированные доильные аппараты. Доильные аппараты ДА-2М, «Импульс-59» (производства ГДР) двухтактного и «Волга» трехтактного действия комплектуются пневматическими пульсаторами, в которых вручную винтом регулируется только соотношение тактов.

Ведется интенсивный поиск более совершенных и автоматически управляемых доильных аппаратов. Устройство МА-1/2 (рис. 1) фирмы «Импульс» (ГДР) работает следующим образом. При снятии доильного аппарата с крючка выключатель б подает по цепи а электрическое напряжение на блок управления 5 и пульсатор-распределитель 3. При этом на табло 4 загорается зеленая лампа, и доильный аппарат начинает работать. Через 15 с, то есть после того как стаканы 2 надеты на соски вымени, блок управления автоматически включает цепь б, начинается массаж вымени коровы, а на табло загорается желтая лампа. При этом в межстенные камеры доильных стаканов с частотой 45 пульсаций в минуту поочередно подается то вакуум из вакуум-провода, то давление воздуха от специального компрессора. По истечении 60 с блок управления по цепи в переводит доильный аппарат на нормальный режим доения (желтая лампа на табло гаснет). Когда отдача молока прекращается, фотоэлемент 1 фиксирует это, а блок управления посылает сигнал по цепи г в пульсатор-распределитель 3. В межстенные камеры доильных стаканов подается постоянное избыточное давление, которое сжимает внутренние стенки и предохраняет соски от попадания вакуума. На табло загорается красная лампа. Когда дояр-оператор нажимает на табло кнопку «Додаивание», блок управления снова включает аппарат на режим додаивания д. После окончания додаивания дояр-оператор снимает стаканы, вешает аппарат на крючок, выключатель б по цепи е посылает сигнал на отключение аппарата.

Автоматизированные стационарные доильные установки. Весь комплекс работ, обеспечивающих доение коров, реализуется на доильных установках. Применительно к различным способам содержания создано несколько типов доильных установок.

1. Для доения в стойлах (привязное содержание) используются доильные установки АДМ-8 с молокопроводом, ДАС-2Б с переносными аппаратами, а в последнее время — специальные стационарные установки конвейерного обслуживания коров.
2. Для обслуживания стада беспривязного содержания коров на комплексах промышленного типа применяются доильные установки типов УДА-6 «Тандем», УДА-8 «Елочка», УДА-100 «Карусель».
3. Для доения коров в летних стационарных лагерях или на пастбищах применяются доильные установки УДС-ЗА стационарного типа.

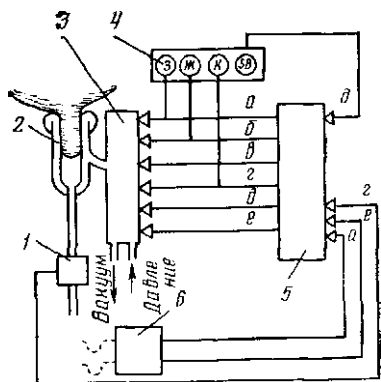


Рис. 1. Схема управляющего устройства МА-1/2:

1 — фотоэлемент; 2 — доильный стакан; 3 — пульсатор-распределитель; 4 — сигнализатор; 5 — блок управления; в — выключатель

Ведутся работы по автоматизации доильных установок, в первую очередь стационарного типа. Уже прошли производственную проверку автоматический счетчик удоя молока, автоматическое устройство промывки, блок автоматического управления работой молочных насосов, автоматическая система дозированной выдачи концентрированных кормов, автоматы открытия и закрытия доильных станков. Продолжается поиск оптимального варианта автоматизации управления доением, проходят испытания различные устройства, в том числе на базе электронных микросхем и микропроцессоров.

В доильных установках успешно используются автоматы-манипуляторы для подачи доильных аппаратов под вымя, для снятия доильных стаканов и вывода аппарата из-под коровы после окончания процесса доения. Разрежение в вакуум-проводе регулируется автоматически.

В качестве примера рассмотрим автоматизацию известной доильной установки УДА-24 «Комсомолка», укомплектованной доильными аппаратами ДА-2М (рис. 2), которая включает в себя две вакуумные системы (доильную и силовую), системы сбора молока, промывки аппаратуры и автоматического контроля и управления. Подготовку вымени коров выполняют в отдельных станках пункта санобработки перед запуском коров в доильную установку. Дозированную выдачу концентратов осуществляет стационарный кормораздачик тросошайбового типа с дозаторами на каждом станке и дистанционным управлением выдачей доз.

Вакуумная доильная система состоит из двух вакуум-насосов 36 с предохранительными клапанами 35 каждый, работающими на общий вакуум-баллон 37, из которого через вакуумные регуляторы прямого действия 34 и вентиль ручного управления вакуум подается в молокопровод 4, подведенный к каждому станку. На магистрали 4 установлен вакуум-регулятор-подсос 11 с воздушным фильтром 12. Кроме того, от вакуум-баллона через дифференциальный регулятор 5 подключена другая вакуумная магистраль 7, от которой через вентили подается вакуум на пульсаторы всех доильных аппаратов 18.

Силовая вакуумная система имеет вакуум-насос 1, работающий на накопительный баллон 37, из которого через вакуумный регулятор 34 и дифференциальный регулятор 2 вакуум подается на цилиндры манипуляторов, перемещающих доильные аппараты и осуществляющих открытие или закрытие дверей 21. Кроме того, с вакуум-баллона берут вакуум на манипуляторы пункта санобработки вымени.

В систему сбора молока входит накопительный бак-воздухоразделитель 32 с фильтром 33 на притоке молока, перекачивающий насос 31, молокопровод 4, подключенный к каждому доильному аппарату через клапан 9 с дистанционным управлением.

Для промывки аппаратуры после доения имеется бак с моющим 24 раствором, соединенный через вентиль ручного управления и магистраль 14 с доильными станками и далее через другой вентиль — с молочной магистралью 4.

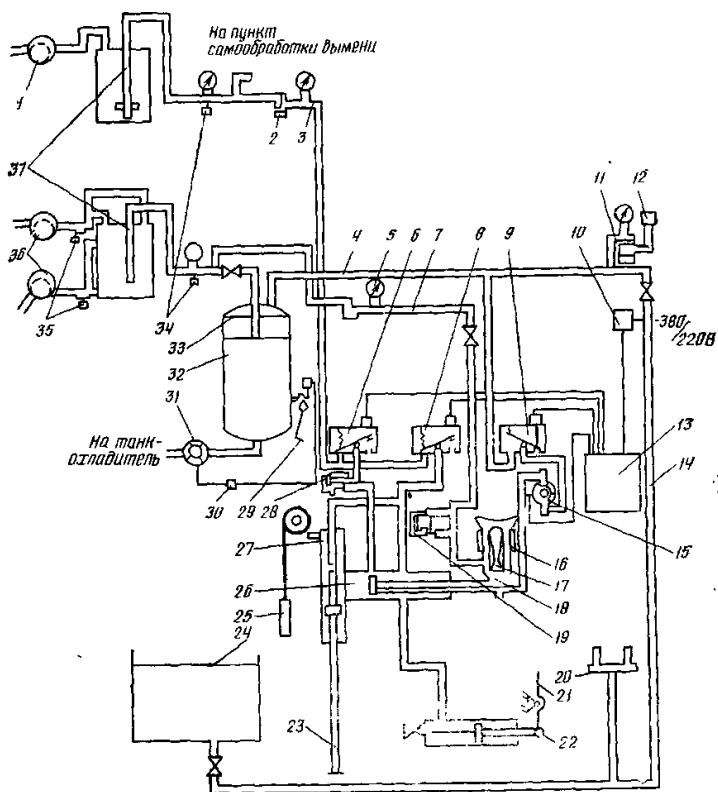


Рис. 2. Технологическая схема автоматизированной доильной установки УДА-24 «Комсомолка»:

1 — силовой вакуум-насос; 4 и 5 — дифференциальные регуляторы; 3 — силовой вакуумный провод; 4 — молокопровод; 6 — электромагнитный клапан для додаивания 1 — вакуумный провод для доения; 8 — электромагнитный клапан для окончания доения; 9 — электромагнитный клапан; 10 — блок питания автоматики; 11 — вакуум регулятор-подсос; 12 — воздушный фильтр; 13 — блок управления доением; 14 — циркуляционный провод; 15 — датчик-счетчик; 16 — межстенное пространство; 17 — подсосовое пространство; 18 — доильный аппарат; 19 — пульсатор доения; 20 — кровштейн для поддержки доильного аппарата во время промывки; 21 — выходная Дверь доильного станка; 22 —

пневмоцилиндр; 23 — механизм вывода доильного аі парата из-под вымени; 24 — бак моющей жидкости; 25 — противовес; 26 — горизонтальный цилиндр манипулятора; 27 — вертикальный цилиндр манипулятора; 28 - пульсатор манипулятора; 29—микровыключатель; 30 — блок управления агрегатами 31— насос-опорожнитель; 32 — воздуходелитель; 33 — фильтр молока; 34 — вакуумные регуляторы; 35 — предохранительные клапаны; 36 — вакуумные насосы для доения; 37 — вакуумные баллоны.

Бак-воздуходелитель 3, имеет сток в бак моющего раствора через молочный насос.

Манипулятор доильного аппарата состоит из горизонтального и вертикального 27 цилиндров, пульсатора 28, противовеса 2, и механизма 23 вывода аппарата из-под вымени. Для открытия и закрытия дверей станка используется пневмоцилиндр 22. Манипуляторы подключены к силовой вакуумной магистрали 3 через дистанционно управляемые клапаны 6 и 8.

В систему автоматического управления входят две станции управления 13 и 30, блок питания 10, датчик-счетчик молока 15 и микровыключатель 29, электромагнитные клапаны подключения доильных аппаратов к молокопроводу 9, режима доаивания 6 и окончания доения 8.

При снятии доильного аппарата с крючка посылается сигнал в станцию управления доением, и через некоторую выдержку времени, необходимую при надевании стаканов, клапан 9 подключает аппарат 18 к молокопроводу с вакуумом 4. Молоко, проходя через датчик-счетчик 15 и клапан 9, попадает в молокопровод и воздухоотделитель, а затем насосом откачивается на хранение. Датчик - счетчик молока посылает импульсные сигналы на станцию управления доением. Если поток молока уменьшится до 0,4—0,5 л/мин, включается клапан 6 манипулятора доаивания, а при дальнейшем снижении до 0,2 л/мин аппарат отключается и выводится из-под вымени коровы манипулятором. Пульсатор 28 создает переменный вакуум и соответствующее движение доильного аппарата горизонтальным цилиндром, что стимулирует молокоотдачу коров. Открытие выходных дверей происходит с выдержкой времени 8...10 с после снятия доильных станков.

Принципиальные схемы управления доильной установкой. Доильной установкой управляют при помощи устройства, схема которого приведена на рис. 3.

При замыкании тумблерного выключателя SA1 доильная установка включается в работу. При этом включается поляризованное реле KV2 и через его Контакты реле KV3 и соленоидный электроклапан Y1, который подает вакуум. Одновременно через тумблер SA2 получает питание катушка реле KV6, а через его контакты — поляризованное реле KV7, подготавливающее цепь для включения реле KV8. При замкнутых контактах KV3:2 и KV6:1 через поляризованное реле KV4 включается реле KV9 и подготавливает цепь для реле KV10.

Когда напряжение на конденсаторе C1 достигнет определенного значения (достаточного для отпускания), отключается реле KV2 и KV3, а реле KV10 включится и вновь подготовит цепь катушки реле KV2.

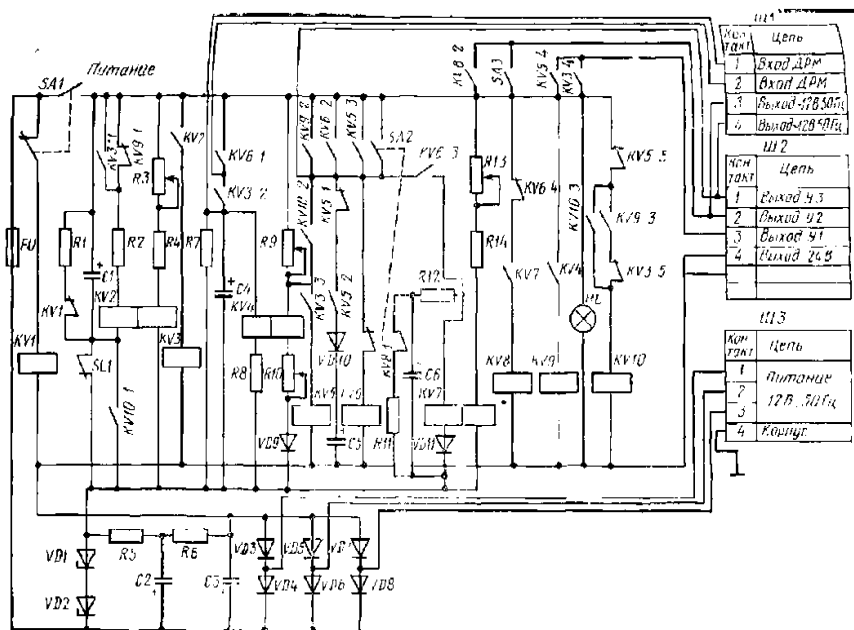


Рис. 3. Принципиальная схема управления процессом доения



Поляризованное реле KV4 включено через контакты датчика - счетчика молока (вход ДРМ). Как только перерыв сигнала от датчика станет больше времени задержки на отпускание реле KV4, определяемой емкостью конденсатора C4 и сопротивлением R9, оно отключится и отключит реле KV9, что приведет к включению реле KV2, KV3 и KV5. При этом лишится питания реле KV10 и включится электромагнитный клапан Y1, начнется процесс додаивания и массаж вымени. Реле KV5 отключится с выдержкой времени после прекращения действия клапана Y3, задержка которого образуется цепочкой конденсатора C5 и диода VD10. Когда датчик - счетчик пошлет сигнал, катушки реле KV4 и KV10 получают питание. Но после того как перерыв в подаче сигнала с датчика-счетчика станет больше выдержки времени, определяемой параметрами цепи конденсатора C4 и резисторами R9 и R10, реле KV4 отключится и отключит катушку реле KV9 и электромагнитный клапан Y3. Одновременно будет отключено реле KV6, которое включит KV8, в результате получит питание катушка соленоида Y2 окончания доения и выпуска коровы из станка.

По такой схеме можно управлять только одним станком доильной установки. В станции управления доением число таких блоков соответствует числу доильных станков в установке.

Напряжение питания подается на клеммник «Питание» от общего блока питания станции управления.

Отдельно установленные станки, где проводится подготовка вымени коров, имеют свою станцию управления, принципиальная схема пульта которой приведена на рис. 4. Станция управляет водяным насосом, подающим теплую воду на обработку вымени, открытием и закрытием входных и выходных дверей, фиксацией разбрызгивателя воды под выменем.

При включенном силовом автоматическом выключателе QF питание на цепи управления подается тумблером SM, контролируемым сигнальной лампой HL1. Одновременно через резисторы R2 и R3 вводится одна из катушек поляризованного реле KV3 и препятствует замыканию контактов, а через резистор R1 заряжается конденсатор C1.

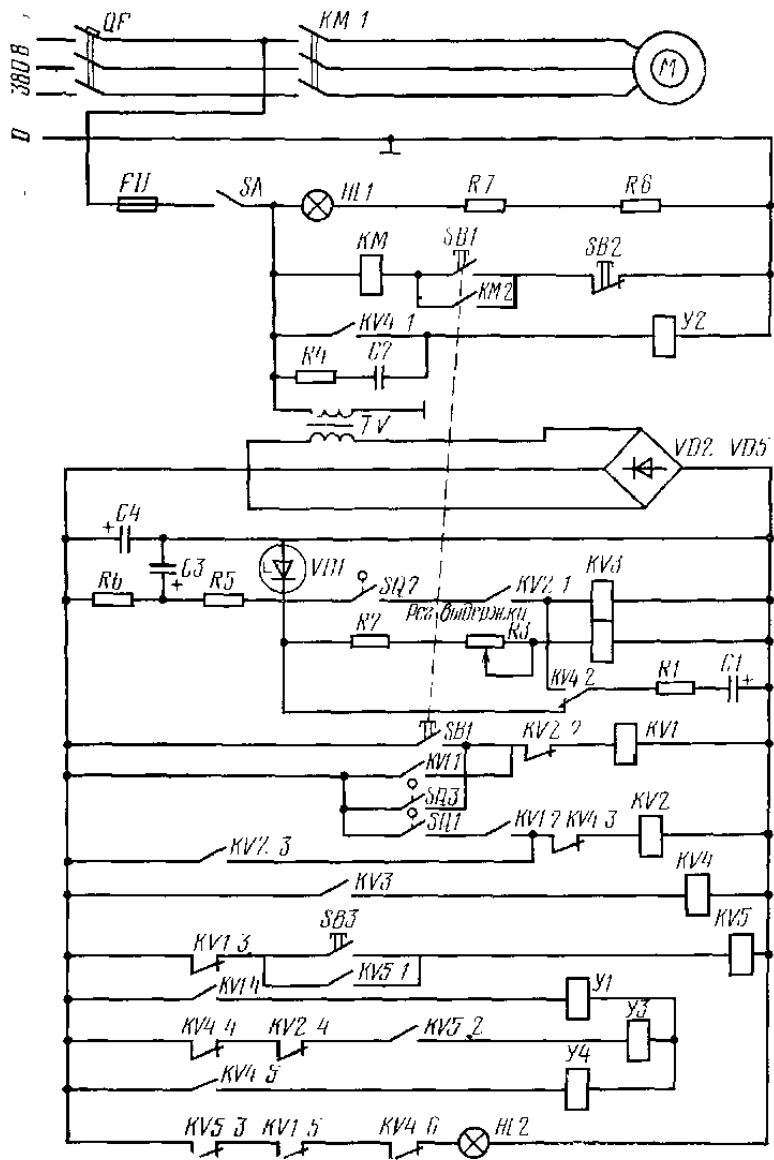


Рис. 4. Принципиальная схем управления процессом обработки вымени

Электропривод насоса управляется магнитным пускателем КМ через кнопки SB1 и SB2. В то же время замыкается цепь катушки промежуточного реле KV1, которое подает питание на электромотор 1- нит Y1 клапана пневмопривода входных дверей.

После того как сработает реле KV1, отключится реле KV5 и выходная дверь не откроется при случайном нажатии кнопки SB3, расположенной на панели пульта.

Когда корова зайдет в станок, сработает конечный выключатель SQ1, тогда реле KV2 отключит электромагнит Y1 через реле KV1, и двери закроются под действием противовеса. При этом сработает конечный выключатель SQ2, реле KV3 получит питание и включит реле KV4, через которое заряженный конденсатор C1 соединится с катушкой реле KV3, в результате будет включен электромагнит соленоида Y4 привода дуги, которая фиксирует разбрызгиватель, а также электромагнит Y2 клапана водяного вентиля. Начнется подмывание вымени, длительность которого определяется значением сопротивления резистора R3.

После того как конденсатор C1 зарядится, реле KV3 под действием тока во второй обмотке возвратится в исходное положение и отключит реле KV4, а через его контакты отключатся электромагниты соленоидных клапанов Y2 и Y4, прекратится подача воды, противовес возвратит дугу в исходное положение. Операция подмывания вымени закончится.

После нажатия кнопки SB3 реле KV5 включается и включает электромагнитный клапан Y3 открытия выходных дверей. Выходя из станка, корова освобождает педаль, замыкающую конечный выключатель SQ3. Подается напряжение на катушку реле KV1, которое отключает реле KV5, разрывающее цепь катушки электромагнитного клапана Y3. Выходная дверь под действием противовеса закрывается.

### **Вопросы для повторения:**

1. Из чего состоит манипулятор доильного аппарата?
2. Что входит в систему сбора молока?
3. Что имеет силовая вакуумная система?
4. Из чего состоит вакуумная доильная система?

## 8.7. Автоматизация освещения и облучения

План лекции:

1. Виды оптического излучения.

1.Схемы включения люминисцентных ламп.

Оптическая область спектра электромагнитных колебаний.

Между телами в природе постоянно происходит обмен энергией, существующей в различных формах — тепловой, механической, электрической, химической и т. д. Одна из форм энергии известна под названием лучистой.

Лучистая энергия передается в пространстве электромагнитными волнами и состоит из фотонов — элементарных частиц излучения. Значение энергии фотона определяется частотой волны

$$\epsilon = h\nu,$$

где  $\epsilon$  — значение энергии фотона, Дж;  $h$  — постоянная Планка, равная  $6,624 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с;  $\nu$  частота электромагнитных колебаний, Гц. Частота электромагнитных колебаний и длина волны излучения таковы, что связаны следующей математической зависимостью:

$$\lambda = c/\nu.$$

где  $\lambda$  — длина волны излучения, м;  $c$  — скорость распространения излучения.

Электромагнитное излучение характеризуется чрезвычайно широким интервалом длин волн (рис. 1). Лишь небольшую часть этого интервала, лежащую в области между рентгеновскими лучами и радиоизлучением, составляет оптическое излучение. Излучение оптической области электромагнитного спектра (от 1 нм до 1 мм), в свою очередь, делится на видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное.

Видимым называется такое излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение. Излучение этого диапазона (от 380 до 780 нм) применяют для создания необходимого уровня освещенности, ускорения реакции фотосинтеза.

Длину волны оптического излучения принято измерять в нанометрах ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ) или микрометрах ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ).

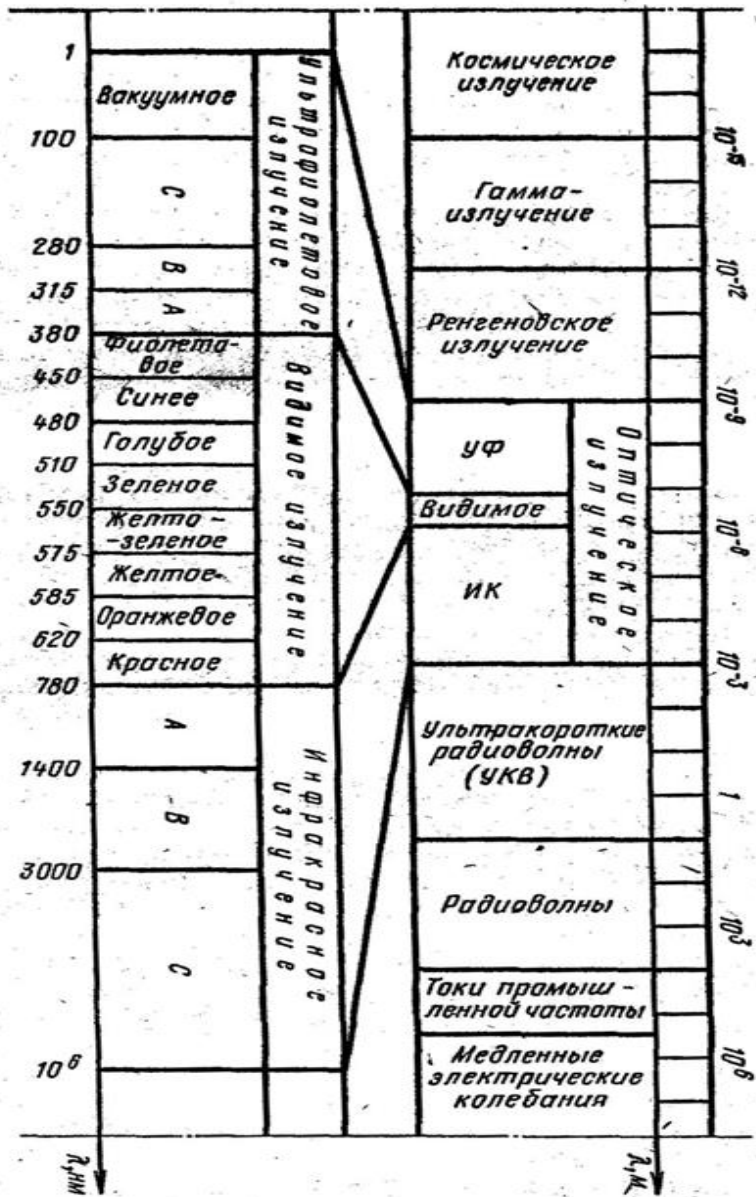


Рис. 1. Спектральное распределение электромагнитного излучения

Видимый свет представляет собой сочетание семи основных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Перед красными излучениями в оптической области спектра находятся инфракрасные, а за фиолетовыми — ультрафиолетовые (по латыни «инфра» означает «впереди», «ультра» — «за»). Инфракрасные и ультрафиолетовые излучения невидимы для человеческого глаза.

Диапазон ультрафиолетового излучения лежит в пределах от 1 до 380 нм. Свойства ультрафиолетовых излучений различны в зависимости от длины волны. Поэтому все ультрафиолетовое излучение имеет следующее условное деление: ультрафиолетовые излучения зоны А — от 315 до 380 нм; ультрафиолетовые излучения зоны В — от 280 до 315 нм; ультрафиолетовые излучения зоны С — от 100 до 280 нм. Ультрафиолетовые излучения короче 100 нм интенсивно поглощаются воздухом и в сельскохозяйственном производстве не используются.

Длинноволновое ультрафиолетовое излучение обладает сравнительно небольшой фотобиологической активностью, но способно вызвать пигментацию кожи человека, оказывает положительное влияние на организм животных и птицы, определяет формативный эффект у растений, Излучение этого поддиапазона способно вызвать свечение некоторых веществ, поэтому его используют для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое ультрафиолетовое излучение оказывает тонизирующее и терапевтическое действие на живые организмы. Оно способно вызывать эритему и загар, превращать в организме животных необходимый для роста и развития витамин D в усвояемую форму, обладает мощным антирахитным действием. Излучение этого поддиапазона вредно для большинства растений.

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение отличается бактерицидным действием, поэтому его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, дезинфекции и стерилизации различного инвентаря и посуды.

Инфракрасное излучение занимает самую большую часть оптического спектра (от 780 до  $1 \cdot 10^6$  нм). Оно также имеет условное деление на зоны: инфракрасные излучения зоны А - от 780 до 1400 нм; инфракрасные излучения зоны В — от 1400 до

3000 нм; инфракрасное излучения бонны С — от 3 мкм до 1 мм. Глубоко проникая в поверхностные слои тканей живого организма, инфракрасные излучения большую часть энергии своих фотонов расходуют на образование теплоты. Глубина их проникновения в тело животного составляет 2,5 мм, в зерно — До 2 мм, в сырой картофель — до 6 мм, в хлеб (при выпечке) — до 7 мм, в слой воды — 30...45 мм. Инфракрасные излучения практически не поглощаются воздухом.

В сельскохозяйственном производстве инфракрасные излучения используют в основном для обогрева молодняка животных и птицы, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай, хмель и др.), пастеризации молока, сушки лакокрасочных и пропиточных покрытий.

Основные понятия и определения.

К основным величинам, характеризующим оптическое излучение, относят поток и силу излучения, облученность, экспозицию.

Потоком излучения называется количество лучистой энергии, излучаемой источником в единицу времени:

$$\Phi = Q/t,$$

где  $\Phi$  — поток излучения, Вт;  $Q$  — энергия излучения, испускаемая за время  $\Delta t$ ;  $t$  — время, с.

Сила излучения характеризует распределение потока излучения в пространстве. Сила излучения  $I$  ( $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$ ) определяется отношением потока излучения  $\Delta\Phi$  к телесному углу  $\Delta\omega$  с вершиной в точке расположения источника, в пределах которого этот поток распространяется и равномерно распределяется, то есть  $I = \Delta\Phi/\Delta\omega$ .

Энергетическая облученность характеризует распределение потока излучения по облучаемой плоскости. Облученность представляет собой отношение потока излучения, падающего на облучаемую поверхность и равномерно распределяющегося по ней, к площади этой поверхности:

$$E = \Delta\Phi/\Delta S,$$

где  $E$  — энергетическая облученность,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $\Delta\Phi$  — поток излучения, равномерно распределившийся по поверхности  $\Delta S$ ,  $\text{Вт}$ ;  $\Delta S$  — площадь облучаемой поверхности,  $\text{м}^2$

Облученность в какой-либо точке  $M$ , лежащей на горизонтальной облучаемой поверхности  $\Delta S$ , можно определить и через значение силы излучения точечного источника в направлении рассматриваемой точки (рис. 2):

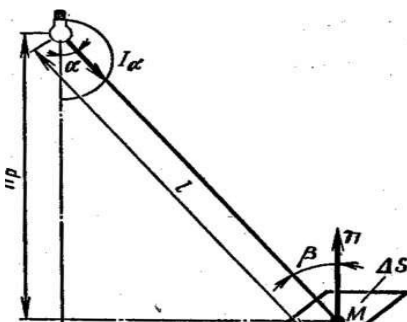


Рис. 2. Определение облученности в точке при известном распределении силы излучения источника

$$E_M = I_\alpha \cos \beta / l^2 = I_\alpha \cos^3 \alpha / H_p^2 \quad (24.1)$$

где  $I_\alpha$  — сила излучения точечного источника в направлении облучаемой точки  $M$ ,  $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$ ;  $\beta$  — угол между нормалью к облучаемой поверхности и направлением силы излучения, град;  $\alpha$  — угол между направлением силы излучения и осью симметрии источника, град;  $L$  — расстояние между источником и облучаемой точкой, м;  $H_p$  — высота подвеса источника, м.

Результат воздействия оптического излучения на объект определяется не только облученностью и спектральным составом излучения, но и продолжительностью облучения. Чем дольше поток излучения падает на облучаемую поверхность, тем большее количество энергии излучения может быть ею поглощено при одной и той же облученности. Величина, определяющая общее количество энергии излучения, приходящейся на единицу площади облучаемой поверхности в течение времени действия излучения, называется лучистой экспозицией или количеством облучения,  $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$  ( $\text{Вт} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$ ):

$$H = Et,$$

где  $t$  — продолжительность облучения, с.



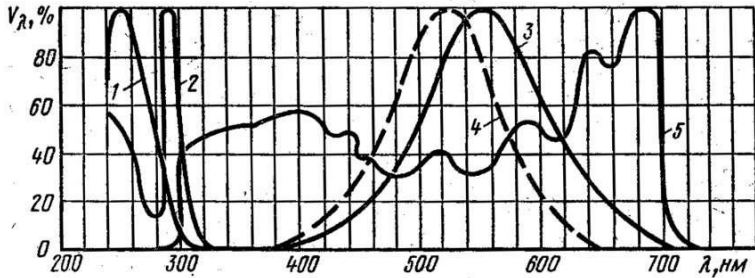


Рис. 3. Относительная спектральная чувствительность образцовых приемников в функции длины волны излучения: кожи человека для витального (1) и бактерий для летального (2) действия ультрафиолетового излучения, усредненного глаза человека при дневном (3) и ночном (4) зрении, среднего листа растений (5)

Величины и единицы измерения эффективного действия оптического излучения.

Энергия излучения, попавшая на поверхность какого-либо тела, частично отражается от этой поверхности, частично пропускается сквозь тело и частично поглощается самим телом, Из всей энергии излучения только та часть может быть преобразована в другой вид (биологическую, тепловую и т.д.), которая поглощается. Тела, в которых происходит преобразование энергии излучения в биологическую, электрическую и другие виды энергии, называют приемниками.

Большинство приемников энергии оптического излучения (лист растения, фотоэлемент и т. д.) обладают избирательной чувствительностью. Избирательная чувствительность к монохроматическим излучениям различных длин волн называется спектральной чувствительностью приемника (рис. 3).

Поток излучения, поглощенный приемником и преобразованный в нем в полезную мощность другого вида энергии, принято называть эффективным потоком. Определяя эффективный поток по уровню реакции образцового приемника, можно построить систему эффективных величин и единиц их измерения, облегчающую количественную оценку процесса преобразования

энергии излучения и упрощающую расчеты, связанные с ее использованием. В зависимости от действия оптического излучения на приемники различают следующие системы эффективных величин: световую, витальную (эритемную), бактерицидную и фотосинтетическую.

Величины и единицы измерения видимого излучения. Для количественной оценки способности потока оптического излучения создавать видимость окружающих нас предметов введена система световых величин и единиц их измерения. В качестве образцового приемника в этой системе принят усредненный человеческий глаз.

Эффективным потоком в системе световых величин является световой поток. За единицу светового потока принят люмен (лм). Установлено, что при воздействии монохроматическим излучением с длиной волны 555 нм и мощностью 1 Вт на светоадаптированный глаз стандартного фотометрического наблюдателя создается 683 лм светового потока.

Под монохроматическим понимают излучение одной длины волны.

Пространственную плотность светового потока называют силой света  $I_c$  и определяют отношением светового потока точечного источника  $\Delta\Phi_c$ , расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу  $\Delta\omega$ , в пределах которого равномерно распределен этот поток, то есть. За единицу силы света принята кандела (кд), одна из основных единиц системы Си. Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматические излучения частотой  $640 \cdot 10^{12}$  Гц, сила излучения которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт·ср<sup>-1</sup>. Силу света в 1 кд излучает в перпендикулярном направлении элемент черного тела площадью  $1/600\,000$  м<sup>2</sup> при температуре затвердевания платины (2045 К) и давлении 101 325 Па. Из определения силы света следует, что  $1 \text{ Кд} = 1 \text{ Лм} \cdot \text{ср}^{-1}$  или  $1 \text{ Лм} = 1 \text{ Кд} \cdot \text{ср}$ .

$$I_c = \Delta\Phi_c / \Delta\omega$$

Отношение светового потока  $\Delta\Phi_c$ , падающего на поверхность и равномерно по ней распределяющегося, к площади этой поверхности называется освещенностью  $E_c$ , то есть За единицу освещен-

ности принят люкс (лк), равный освещенности поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ , на которой равномерно распределен световой поток в  $1 \text{ лм}$  ( $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

$$E_c = \Delta\Phi_c / \Delta S$$

Величины и единицы измерения витального излучения. Принято считать, что общее благоприятное действие ультрафиолетового излучения на животных и птиц пропорционально его витальному действию.

Исходной величиной в системе витальных величин служит витальный поток. За единицу измерения витального потока принято воздействие монохроматического лучистого потока с длиной волны  $297 \text{ нм}$  и мощностью  $1 \text{ Вт}$  на образцовый приемник — кожу человека (рис. 24.3). Этой единице присвоено название вит (тысячная доля этой единицы милливит, или сокращенно мвит).

Силой витального излучения  $I_v$  называется пространственная плотность витального потока, равная отношению витального потока  $\Delta\Phi_v$  источника, расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу  $D_{\text{со}}$ , в котором равномерно распределено излучение, то есть. Единицей измерения силы витального излучения является вит\*ср<sup>-1</sup> или мвит\*ср<sup>-1</sup>.

$$I_v = \Delta\Phi_v / \Delta\omega$$

Плотность витального потока по поверхности облучаемого объекта называется витальной облученностью, или витальной облученностью  $E_v$ , которая определяется как. Единицей измерения витальной облученности служит вит\*м<sup>2</sup> или мвит\*м<sup>2</sup>

Витальная экспозиция (количество витального облучения)  $H_v$ , характеризующая количество энергии витального излучения, упавшего на единицу облучаемой поверхности за время  $t$ , определяется по формуле  $H_v = E_v t$ . Единица измерения витальной экспозиции вит\*с\*м<sup>-2</sup>

$$E_v = \Delta\Phi_v / \Delta S$$

Величины и единицы измерения бактерицидного излучения.

В бактерицидной системе величин эффективным потоком  $\Gamma$  определяемым по бактерицидному действию коротковолнового ультрафиолетового излучения на различные виды бактерий, является бактерицидный поток ФБ. Наибольшим бактерицидным действием, то есть способностью вызывать гибель бактерий, обладает ультрафиолетовое излучение с длиной волны 254 нм (рис. 3). Поэтому за единицу бактерицидного потока — бакт (бк) — принято разрушающее действие на бактерии монохроматического излучения с длиной волны 254 нм и мощностью 1 Вт. Тысячная доля бакта (бк) называется миллибактом (мбк).

Остальные величины и единицы этой системы образованы аналогично вышеприведенным (световой и витальной) системам.

Единицей измерения силы бактерицидного излучения  $I_6$  является  $\text{бк} \cdot \text{ср}^{-1}$  или  $\text{мбк} \cdot \text{ср}^{-1}$ . Бактерицидную облученность  $E_6$  принято выражать в  $\text{бк} \cdot \text{м}^{-2}$  ( $\text{мбк} \cdot \text{м}^{-2}$ ), а бактерицидную экспозицию (количество бактерицидного облучения)  $H_6$  — в  $\text{бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$  ( $\text{мбк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

Фотосинтетическая система величин и единиц измерения. В основе построения этой системы лежит понятие фитопотока. Фитопоток Фф количественно определяет содержание в интегральном потоке излучения энергии, потенциально доступной растениям для осуществления реакций фотосинтеза. За единицу фитопотока принят фит, численно равный монохроматическому потоку оптического излучения мощностью 1 Вт с длиной волны 680 нм.

В качестве производных величин в рассматриваемой эффективной системе используются: сила фитоизлучения  $I_f$  (пространственная плотность фитопотока),  $\text{фит} \cdot \text{ср}^{-2}$ ; фитооблученность  $E_f$ ,  $\text{фит} \cdot \text{м}^{-2}$ ; фитоэкспозиция (количество фитообл.- чения),  $\text{фит} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}$ .

Величины и единицы измерения действия инфракрасного излучения. Эффективное тепловое действие инфракрасных излучений оценивают в абсолютных единицах энергетической системы величин: поток инфракрасного излучения, Вт; сила инфракрасного излучения,  $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$ ; инфракрасная облученность,  $\text{Вт} \cdot$

$\text{м}^{-2}$ ; экспозиция (количество облучения) инфракрасного ИЗ-ЛуЦфНИЯ,  $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ .

## Электрические источники

### Оптического излучения

Электрическим источником оптического излучения называется устройство, преобразующее электрическую энергию в лучистую энергию оптического спектра. Электрические источники подразделяют на пять классов: 1) источники теплового излучения (лампы накаливания); 2) газоразрядные источники оптического излучения низкого, высокого и сверхвысокого давления (люминесцентные лампы, лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и др.); 3) источники смешанного (теплового и газоразрядного) излучения (лампы ДРВЭД, ДРВ и др.); 4) источники люминизирующего действия (электролюминесцентные панели); 5) лазеры (жидкие, газовые и твердотельные).

### Лампы накаливания общего назначения

Лампы накаливания — самые массовые источники оптического излучения. Это объясняется их сравнительной простотой устройства и надежностью в эксплуатации, возможностью непосредственного включения в сеть, отработанностью технологии и дешевизной. Несмотря на многообразие типоразмеров ламп накаливания, отличающихся номинальным напряжением, мощностью и родом тока, все они объединены единым физическим принципом получения видимого излучения (нагрей электрическим током вольфрамовой нити до температуры 2200...2800 °С) и сходством применяемых во всех конструкциях основных составляющих элементов.

Лампы накаливания отличаются между собой электрическими, светотехническими и эксплуатационными характеристиками. К электрическим характеристикам относят номинальное напряжение питающей сети (В), номинальную электрическую мощность (Вт), род тока (постоянный или переменный). Основ-

ная светотехническая характеристика ламп накаливания — излучаемый ими световой поток (лм), который зависит от электрической мощности, питающего напряжения и температуры нити накала. Нормированный в каталогах световой поток лампы накаливания должна излучать в первые часы работу при ее включении в сеть на номинальное напряжение. В процессе эксплуатации лампы световой поток из-за распыления тела накала, снижений его рабочей температуры и прозрачности колбы уменьшается. Для ламп, проработавших 75 % номинального срока службы (средней продолжительности горения), допускается уменьшение светового потока на 72...85 % в зависимости от типа ламп, мощности и категории изготовления.

Эксплуатационными характеристиками, определяющими экономические показатели работы ламп накаливания, являются световая отдача и номинальный срок службы. За прошедшие более 100 лет существования ламп накаливания их световая отдача возросла в 5...8 раз и достигла 7,5... 19,1 лм\*Вт<sup>-1</sup>. Номинальный срок службы ламп накаливания (средняя продолжительность горения) достигает 1000 ч.

Отклонение питающего напряжения от номинального значения существенно влияет на характеристики ламп накаливания (рис. 4). При изменениях напряжения в пределах  $\pm 10,0\%$  можно приближенно считать, что отклонение напряжения на  $\Delta b$  1 % от номинального изменяет световой поток лампы примерно на  $\pm 4...5\%$ , а среднюю продолжительность горения — до — 6 7 и +13...25 %.

Учитывая повышенную чувствительность ламп накаливания к колебаниям питающего напряжения и допустимые отклонения напряжения в электрических сетях, промышленность выпускает лампы накаливания на различные диапазоны напряжения 125...135, 215...225, 220...230, 225...235, 230...240, 235...245 и 245...255 В мощностью от 15 до 1000 Вт (табл. 25.1). У таких ламп за номинальное (расчетное) напряжение принимают значение напряжения середины диапазона, например, 220 В для диапазона 215...225 В, 225 В для диапазона 220...230 В и т.д. Для номинального значения напряжения приводят все справочные светотехнические и эксплуатационные параметры, в том числе и номинальный срок службы.

Обозначение ламп накаливания общего назначения состоит № букв (от одной до четырех): В — вакуумная, Г — газонаполненная (аргон 86% и азот 14%); Б. — биспиральная и БК — биспиральная с криптоновым (криптон 86 % и азот 14%) наполнителем, МТ — с матированной колбой, МЛ — н колбе молочного цвета, О — с опаловой колбой и т. д. После буквенного обозначения следуют цифры, показывающие диапазон напряжения питания в вольтах, на который рассчитана лампа, мере: дефис — номинальная мощность лампы в ваттах и далее — порядковый номер доработки. Пример условного обозначения ламп накаливания: Г220-230-200 — лампа накаливания газонаполненная на диапазон напряжений 220...230 В номинальной мощностью 200 Вт при расчетном напряжении питания 225 В.

#### Газоразрядные источники видимого излучения

Газоразрядным источником лучистой энергии называется устройство, в котором оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах металлов или их смесях. Из всех газоразрядных источников видимого излучения в сельскохозяйственном производстве наиболее распространены люминесцентные лампы и лампы типа ДРЛ.

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 (рис. 5). В герметически закрытых торцах колбы 3 на молибденовых электродах 7, прикрепленных к стеклянной ножке 8, смонтирована вольфрамовая оксидированная моноспираль 6. К электродам спирали припаяны штырьки 1, изолированные от цоколя 2 лампы специальной мастикой. Из колбы мы через отверстия в стеклянных ножках откачивают воздух и вводят и нее инертный газ (аргон) и небольшое количество ртути. Электрический разряд в такой лампе начинается в атмосфере инертного газа, а затем по мере испарения ртути продолжается в ее парах.

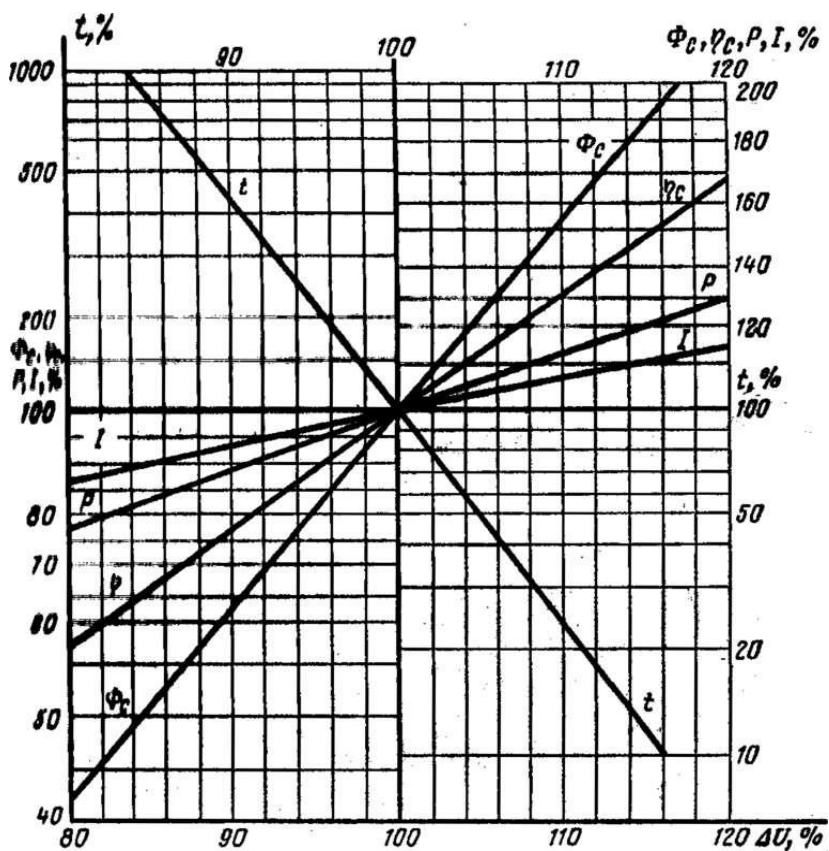
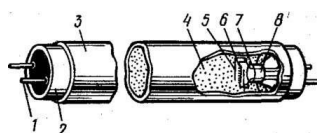


Рис. 4. Зависимости светотехнических, электрических и эксплуатационных параметров ламп накаливания общего назначения от изменения напряжения питающей сети  $\Delta U$ :  
 $t$  — средняя продолжительность горения;  $\Phi_c$  — световой поток;  
 $\eta_c$  — световая отдача;  $P$  — потребляемая мощность;  $I$  — ток.

Рис. 5. Устройство люминесцентной лампы: 1 — ножки-штырьки; 2 — цоколь; 3 — стеклянная трубка (колба); 4 — люминофор; 5 — проволочный экран; 6 — оксидированная моноспираль; 7 — электроды; 8 — ножки.





## Основные параметры ламп накаливания общего назначения

Тип исто- чника	Мощ- ность источ- ника, Вт	Значение светового потока (лм) при диапазоне напряжении питания источников, В,				
		215...225	220...230	230...240	235...245	24 5...255
		и расчетном напряжении питания источников, В				
		220	225	235	240	250
В	15	105	105	100	115	110
	25	220	230	225	225	215
БК	37	--	415	--	240	--
Б	40	415	415	410	410	410
БК		460	460	450	--	--
БК	56	--	715	--	710	--
Б	60	715	715	705	700	695
БК		790	790	775	--	--
Б	75	950	950	935	--	--
БК		1020	--	--	--	--
БК	95	--	1350	--	1330	--
Б	100	1350	1350	1335	1330	1320
БК		1450	1450	1430	--	--
Б	150	2100	--	--	2060	--
Г		2090	2090	2065	2060	2040
Б	200	2920	--	--	--	--
Г		2920	2920	2890	--	2860

Преобразование электрической энергии в видимое излучение в люминесцентных лампах имеет две фазы: электрический разряд в парах ртути сопровождается коротковолновым излучением (первая вспышка); возникающая ультрафиолетовая радиация, воздействуя на люминофор, вызывает его фотолюминесценцию (люминофор). Люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение в видимое.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу или цветности излучений. Выпускаемые промышленностью люминесцентные лампы типов ЛБ, ЛД, ЛТБ и ЛХБ, ЛЕ, ЛБЕ, ЛХЕ и др. отличаются только составом люминофора, а следовательно, и спектральным

составом излучения. Буквы, входящие в наименование этих типов ламп, означают: Л — люминесцентная, Б белая, Д — амниил, ТВ — тепло-белая, ХБ — холодно-белая, Е — естественная, БЕ — белая естественная, ХЕ — холодная естественная, УФ ультрафиолетовая, Ф — фотосинтетическая, Р — рефлекторная, У — U-образная, К — кольцевая, А — амальгамная. Среди ламп указанных цветностей различают еще лампы с улучшенным спектральным составом излучения, обеспечивающим хорошую цветопередачу освещаемых предметов. В обозначении этих ламп после букв, характеризующих цветность излучения, добавляют букву Ц (ЛДЦ, ЛХБЦ, ЛЕЦ и т.д.). Сразу после буквенного обозначения следуют цифры, указывающие на номинальную мощность лампы в ваттах, и через тире — порядковый номер разработки.

Люминесцентные лампы выпускают мощностью 15, 18, 20, 30, S6, 40, 58, 65, 80, 125 и 150 Вт. Средняя продолжительность горения люминесцентных ламп — не менее 12 000 ч, световая отдача 25...67,5 лм\*Вт<sup>-1</sup> (табл. 25.2). Лампы рассчитаны таким образом, что оптимальным условиям их работы соответствует температура 18...25 °С (от 5 до 55 °С) и относительная влажность воздуха не более 70 %.

Основные параметры некоторых люминесцентных ламп низкого давления

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Размеры, мм		Световой поток после 100 ч горения (лм) для ламп* типов	
			полная длина	диаметр		
					ЛБ	ЛТБ
15	127	0,330	451,6	27	760/820	700/820
20	127	0,37	604,0	40	1180/1200	975/1100
30	220	0,365	908,8	27	2100/2180	1880/2020
40	220	0,43	1213,6	40	3000/3200	2780/3100
65	220	0,67	1514,2	40	4550/4800	4200/4650
80	220	0,87	1514,2	40	5220/5400	4720/5200

Продолжение

Мощность, Вт	Световой поток после 100 ч горения (лм) для ламп* типов				
	ЛХБ	ЛД	ЛЕ	ЛБЕ	ЛХЕ
15	680/800	590/700	800/820	390/420	--
20	950/1020	920/1000	1350/1460		--
30	1800/1940	1640/1800	1900/2100		--
40	2780/3000	2340/2500	3050/3400		1900/1930
65	4100/4400	3570/4000			--
80	4600/5040	4070/4300			--

\* Для ламп 1-й категории/для ламп с государственным Знаком качества.

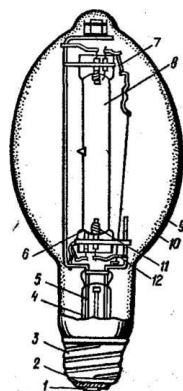
Лампы типа ДРЛ — ртутные люминесцентные лампы высокого давления с исправленной цветностью — широко распространены для освещения производственных территорий, строительных площадок, проезжей части дорог, а также промышленных предприятий, не требующих высокого качества цветопередачи.

Лампа (рис. 6) представляет собой прямую ртутно-кварцевую горелку 8 высокого давления, заключенную во внешнюю стеклянную колбу 9, то есть как бы лампу в лампе. На внутреннюю поверхность внешней колбы нанесен люминофор 10, предназначенный для преобразования ультрафиолетового излучения горелки в видимое. Колба горелки выполнена из кварцевого стекла в виде цилиндрической трубки, в торцы которой впаяны вольфрамовые оксидированные электроды 11. Внутри колбы горелки находится аргон и дозированное количество ртути.

Период разгорания лампы типа ДРЛ продолжается 3...7 мин. За это время происходят нагревание горелки и испарение ртути» Давление паров ртути повышается, вместе с тем меняются электрические (ток, мощность и др.) и светотехнические (световой поток, световая отдача и др.) параметры лампы. Например, после зажигания в лампе электрического разряда начальное напряжение на ней составляет 26...30 В и по мере разорения повышается до 115...145 В. В момент зажигания ток лампы 2м,2,6

превышает номинальный, но по мере разогрева горелки и испарения в ней ртути он постепенно уменьшайся. Мощность и световой поток лампы возрастают до номинальных значений. После разгорания лампы наблюдается устойчивый режим работы и происходит стабилизация всех характеристик. Повторно зажечь погасшую лампу можно лишь после того, как она остынет (примерно через 10... 15 мин).

Рис. 6. Четырехэлектродная лампа типа ДРЛ: 1 — контактная шайба; 2 — электроизоляционная стекломасса; 3 — стакан цоколя; 4 — стеклянная ножка лампы; 5 и 12 — проводники; 6 — поджигающие лектроды; 7 — омические сопротивления; 8—горелка; 9 — стеклянная колба; 10 — люминофор; 11 — основные электроды



Промышленность выпускает восемь типоразмеров ламп ДРЛ мощностью 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт для включения в сеть переменного тока номинальным напряжением 220 и ЗВО В, Световая отдача ламп 40.1.58,5 лм\* Вт<sup>-1</sup>. Средняя продолжительность горения 6..15 тыс. ч. Для ламп характерен относительный недостаток излучения красного цвета, что вызывает искажение цветовых ощущений при освещении.

Разновидностью ламп ДРЛ являются ртутно-вольфрамовые лампы типа ДРВ, в которых свечение газового разряда дополнено свечением вольфрамовой спирали, одновременно используемой в качестве активного балластного сопротивления. В лампе ртутно-кварцевая горелка и вольфрамовая спираль смонтированы на общей стеклянной ножке в общей стеклянной колбе.

Последовательное соединение вольфрамовой спирали и ртутно- кварцевой горелки позволяет включать лампу непосредственно в сеть, переменного тока напряжением 220 В без каких-либо дополнительных пускорегулирующих аппаратов. Световая отдача таких ламп 18...28 лм\*Вт<sup>-1</sup>, средняя продолжительность горения 3...5 тыс. ч.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ по конструкции в

общих чертах подобны двухэлектродным лампам типа ДРЛ. Их отличительная особенность заключается в том, что полость их горелки заполнена аргоном и дозированными компонентами в виде ртути и галоидных соединений (чаще всего йодитов) редкоземельных металлов (индия, тулия, таллия, скандия, тория и др.).

В обозначении ламп ДРИ буквы означают: Д — дуговая, Р — ртутная,

И — с излучающими добавками, З — зеркальная. Первое число после буквенного обозначения указывает номинальную мощность в ваттах, а второе после дефиса номер разработки или модификации. Промышленность изготавливает лампы типа ДРИ шести типоразмеров: на 250, 400, 700, 1000, 2000, 3500 Вт. Световая отдача ламп ДРИ достигает  $68\text{--}95 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ , средняя продолжительность горения 0,6..10 тыс. ч.

Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ) имеют самую большую световую отдачу среди всех газоразрядных ламп и отличаются незначительным снижением излучаемого светового потока на протяжении всего срока эксплуатации. Тонкостенную трубчатую горелку ламп типа ДНаТ изготавливают из поликристаллической окиси алюминия и заполняют парами натрия и амальгамы натрия, ксеноном, парами ртути и амальгамы ртути.

Промышленность выпускает лампы типа ДНаТ мощностью 0) 250, 400, 700 и 1000 Вт. Световая отдача этих ламп составляет  $100\text{--}125 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ , но до 70 % излучения лампы сосредоточено в желто-оранжевой области спектра (560...610 нм). Такое излучение обеспечивает хорошее различие положения и формы объектов, но цветопередача предметов оценивается как едва удовлетворительная. Последнее и определяет назначение ламп ДНаТ — для освещения улиц, перекрестков и территорий промышленных объектов, декоративного и архитектурного освещения.

Лампы ДНаТ характеризуются хорошей стабильностью светового потока в течение всего срока службы. Спад потока — не более 15...20% на 10 тыс. ч горения.

Схемы включения газоразрядных источников видимого излучения.

Особенность электрического разряда в среде большинства инертных газов, паров металлов и их смесей — падающая

вольтамперная характеристика. Поэтому для стабилизации режима электрического разряда газоразрядных источников оптического излучения необходимо последовательно с ними включать балластное сопротивление. В качестве балластного сопротивления в цепях переменного тока принципиально можно применить активное, индуктивное, емкостное сопротивления или их комбинацию, однако наибольшее распространение на практике получили индуктивное и индуктивно-емкостное сопротивления, отличающиеся сравнительно незначительными потерями электрической энергии и пульсацией потока излучения источников.

Схема включения газоразрядных источников оптического излучения должна обеспечивать необходимый режим зажигания и разгорания, стабилизацию электрического разряда, подавление радиопомех, возникающих при зажигании и работе, а также улучшение коэффициента мощности и снижение пульсации светового потока. Совокупность всех элементов схемы включения, обеспечивающая выполнение вышеуказанных функций и конструктивно оформленная в виде единого устройства или нескольких отдельных блоков, называется пускорегулирующим аппаратом (ПРА). В сеть люминесцентные лампы включают при помощи ПРА импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов и использованием полупроводникового или тлеющего стержня, ПРА горячего зажигания с постоянным подогревом электродов, ПРА мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Основные элементы схемы включения с использованием стартера тлеющего разряда — это люминесцентная лампа, дроссель в качестве балластного сопротивления и стартер (рис. 7, а). Стартер тлеющего разряда представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу с биметаллическими (одним или двумя) электродами, заполненную смесью инертных газов (аргона, неона, гелия и др.). Стеклообразная колба лампы стартера помещена в металлический корпус цилиндрической формы. В одном корпусе со стартером расположен конденсатор С1 (10 000...12 000 пФ), предназначенный для подавления радиопомех. Напряжение зажигания разряда в миниатюрной лампе стартера составляет не менее 70 В для стартера 20С-127 и 130 В для стартера 80С-220.

Обозначение стартера включает: С — стартер; 20 и 80 — предельные значения мощности люминесцентных ламп, для которых предназначен стартер (Вт); 127 и 220 — номинальные напряжения стартера (В).

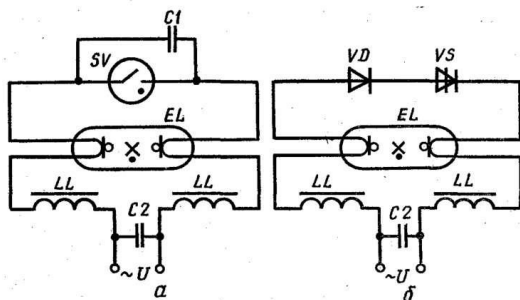


Рис. 7. Схемы включения люминесцентной лампы в сеть с использованием стартеров тлеющего разряда (а) и полупроводникового (б): LL — дроссель; EL — люминесцентная лампа; SV — стартер; C1 и C2 — конденсаторы; VS — динистор; VD — диод

При подаче напряжения на схему ток через люминесцентную лампу не проходит, так как газовый промежуток в достаточной степени не ионизирован и является изолятором. В таком состоянии для его пробоя необходимо напряжение, превышающее напряжение сети в несколько раз. В стартере же возникает тлеющий разряд, сопровождающийся протеканием тока (20...50 мкА) в электрической цепи, образованной дросселем, нитями накала электродов люминесцентной лампы и самим стартером. Тлеющий разряд нагревает биметаллические электроды стартера, и они, изгибаясь, накоротко соединяются один с другим и замыкают цепь накала электродов люминесцентной лампы через дроссель на напряжение сети. Проходящий при этом ток, равный 0,9...2,0 номинального тока люминесцентной лампы, обеспечивает интенсивный подогрев электродов. Тлеющий разряд в стартере прекращается, так как разность потенциалов на его электродах равна нулю.

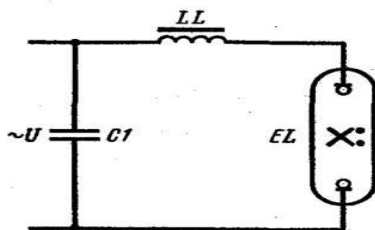
За 1...2 с электроды люминесцентной лампы разогреваются до 800...1000°С, вследствие чего увеличивается электронная

эмиссия, ионизируется газовый промежуток и облегчаются условия его пробоя. После прекращения тлеющего разряда в стартере его электроды охлаждаются и, возвращаясь в исходное положение, разрывают цепь накала электродов люминесцентной лампы. В момент разрыва цепи возникает электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции в дросселе. Образовавшийся за счет ЭДС самоиндукции импульс повышенного напряжения (700... 1000 В) прикладывается к электродам, обеспечивает пробой межэлектродного промежутка люминесцентной лампы и ее зажигание. К стартеру, включенному параллельно работающей люминесцентной лампе, прикладывается приблизительно половина напряжения сети, которого недостаточно для возникновения в нем тлеющего разряда, и поэтому он автоматически отключается. Однако если люминесцентная лампа по какой-либо причине не зажглась, то весь процесс зажигания повторяется.

В рассмотренной схеме самый ненадежный элемент — стартер тлеющего разряда с подвижными биметаллическими электродами. Надежность схем можно повысить путем использования различного рода полупроводниковых стартеров или бесстартерных ПРА. Пример фрагмента простейшей схемы с полупроводниковым стартером приведен на рис. 7, б. Во время зажигания люминесцентной лампы в один полупериод изменения переменного напряжения электроды разогреваются, а в другой — подается импульс напряжения. Динистор подбирают таким образом, чтобы напряжение его включения было меньше номинального напряжения сети, но больше амплитудного значения рабочего напряжения на лампе. Диод защищает динистор по обратному напряжению.

В четырехэлектродных лампах ДРЛ зажиганию основного разряда между рабочими электродами предшествует воз-

Рис. 8. Принципиальная схема включения четырех-электродных ламп типа ДРЛ в сеть: LL — дроссель; С1 — конденсатор; EL — лампа.





никновение тлеющего разряда между рабочими и поджигающими электродами, который затем переходит на основные электроды. Для четырехэлектродных ламп ДРЛ электрический разряд в кварцевой горелке может быть зажжен от сетевого напряжения 220 или 380 В. В схему включения таких ламп (рис. 8) последовательно с лампой включают однообмоточный или двухобмоточный дроссель. Так как при индуктивном балласте коэффициент мощности ПРА составляет 0,46...0,6, то для его повышения до требуемого значения при индивидуальной компенсации в схему вводят конденсатор С1. Емкость конденсатора определяется мощностью лампы.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ и натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ включают в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 и 380 В с соответствующим ПРА и импульсным зажигающим устройством типа ИЗУ или универсальным импульсным зажигающим устройством типа УИЗУ.

Каждому ПРА присваивается шифр условного обозначения, который характеризует его назначение, устройство, исполнение и параметры. Структура условного обозначения ПРА такова:

**1 2 3 - 4 5 / 6 - 7 8 9 - 10 - 11**

где 1 — цифра, указывающая число одновременно присоединяемых к ПРА ламп;

2 — буквы, обозначающие состав и назначение входящих в аппарат балластных элементов (ДБ — дроссели балластные, УБ — устройства стартерные, АБ — аппараты бесстартерные горячего зажигания, МБ — аппараты мгновенного зажигания и т.д.);

3 — буква, характеризующая коэффициент мощности потребляемого из сети тока (И — индукционный, Е — емкостной, К — компенсированный);

4 — цифры, указывающие мощность присоединенной лампы в ваттах;

5 — буква, указывающая тип лампы в случае непрямых люминесцентных ламп и ламп высокого давления (К — кольцевые, У — U-образные, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ — соответственно лампы типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ и т.д.);.

- 6 — цифры, указывающие напряжение сети, на которое включается ПРА (127, 220 и 380 В);
- 7 — буква, характеризующая наличие (ставится буква А) или отсутствие (не обозначается) сдвига между токами многолампового аппарата;
- 8 — буква, характеризующая конструктивное использование аппарата (В — встроенные в осветительный прибор, Н — независимые);
- 9 — буквы, характеризующие уровень шума, создаваемого аппаратом (П — с пониженным уровнем шума, ПП — с особо низким уровнем шума и аппараты с нормальным уровнем шума — не обозначаются);
- 10 — трехзначная цифра, указывающая номер серии разработки ПРА;
- 11 — буква и цифры, указывающие климатическое исполнение и категорию размещения.

Пример условного обозначения ПРА: 2УБИ- 30и/220- АВПП/928-УЭ — устройство балластное стартер- ное индукционное для двух U-образных ламп мощностью 30 Вт каждая на напряжение 220 В с элементами для сдвига фаз между токами ламп и особо низким уровнем шума, серии разработки 928, встраиваемое в осветительный прибор, для эксплуатации в умеренном климате в закрытых неотапливаемых помещениях.

#### Источники для облучения и обогрева

В сельскохозяйственном производстве для электротехнологического воздействия оптическим излучением на живые организмы и растения широкое распространение получили специальные источники излучения в областях ультрафиолетовой (100...380 нм) и инфракрасной ( $780...1 \cdot 10^6$  нм) частей спектра, а также фотосинтетически активной радиации (400...700 нм).

По распределению потока оптического излучения между различными областями ультрафиолетового спектра различают источники общего ультрафиолетового (100...380 нм), преимущественно бактерицидного (100...280 нм) и витального (280...315 нм) действия.

К источникам общего ультрафиолетового излучения относятся дуговые ртутные трубчатые лампы высокого давления типа ДРТ. Лампа ДРТ представляет собой трубку из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые самокалящиеся электроды (рис. 9). В лампу вводится дозированное количество ртути и аргона. Для удобства крепления к арматуре лампы ДРТ пшбжжены металлическими хомутиками 2 и держателями 5, которые соединены между собой металлической полоской используемой для облегчение зажигания лампы. К сети питания лампу присоединяют через ПРА посредством выступающих наружу концов молибденовых вводов 1. В качестве ПРА используются балластные устройства, аналогичные балластным устройствам ламп типа ДРЛ соответствующей мощности и номинального напряжения сети.

Схема включения ламп ДРТ в сеть содержит балластный дроссель, замыкающий ключ и два конденсатора. Если подать на схему напряжение и замкнуть ключ SB, то в электрической цепи LL — SB — C1 появится ток, значение которого ограничивается сопротивлением дросселя и конденсатора. Резкий разрыв цепи ключом B вызывает индуктирование в дросселе ЭДС самоиндукции, которая прикладывается к лампе и пробивает газовый промежуток. Металлическая полоска облегчает пробой лампы. Конденсатор C2 предназначен для повышения коэффициента мощности цепи.

В качестве источников ультрафиолетового излучения в основном применяют лампы ДРТ мощностью 230, 400 и 1000 Вт. Средняя продолжительность горения ламп ДРТ230 и ДРТ1000 составляет 2000 ч, ДРТ400—2700 ч. В конце срока службы ультрафиолетовое излучение ламп составляет не менее 60 % номинальных значений.

Витальные люминесцентные лампы типа ЛЭ выполнены в виде цилиндрических трубок из увиолевого стекла, внутренняя поверхность которых покрыта тонким слоем люминофора, излучающего в ультрафиолетовой области спектра с длиной волны 280...380 нм (максимум излучения в области 310...320 нм). Кроме сорта стекла, диаметра трубки и состава люминофора, трубчатые витальные лампы конструктивно не отличаются от трубчатых люминесцентных ламп низкого давления. Трубчатые витальные

лампы включают в сеть при помощи тех же ПРА, что и люминесцентные лампы соответствующей мощности.

Лампы ЛЭ выпускают мощностью 15 и 30 Вт соответственно на напряжение 127 и 220 В. Кроме этого, разработаны витально-осветительные люминесцентные лампы ЛЭ015 и ЛЭ030, витальные рефлекторные люминесцентные лампы ЛЭР30 и ЛЭР40 и витально-осветительные рефлекторные люминесцентные лампы типа ЛЭОР.

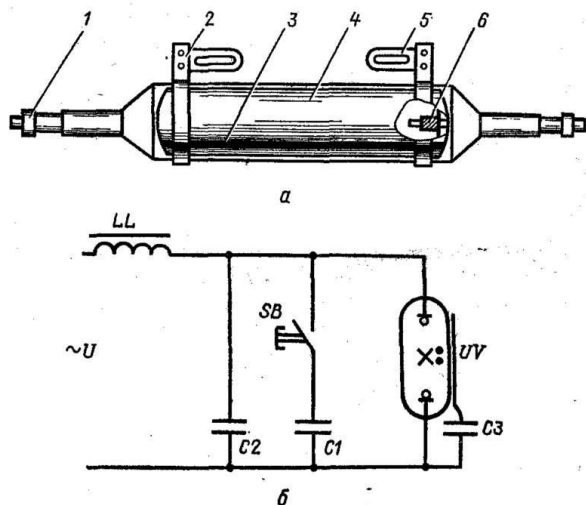


Рис. 9. Конструкция лампы ДРТ (а) и схема включения ее в сеть (б): 1—ввод; 2 — металлические хомутики; 3 — металлическая полоска; 4 — трубка из кварцевого стекла; 5 — держатель; 6 — самокалящиеся электроды; LL — дроссель; SB — замыкающий ключ; UV — лампа ДРТ; C1, C2 и C3 — конденсаторы

Бактерицидные лампы — источники коротковолнового ультрафиолетового излучения, большая часть которого (до 80 %) приходится на линию с длиной волны около 254 нм. Конструкция бактерицидных ламп принципиально не отличается от трубчатых люминесцентных ламп низкого давления, но увиолевое стекло с легирующими присадками, применяемое для их изготовления, хорошо пропускает излучение в диапазоне спектра менее 280 нм.

Кроме этого, колба бактерицидных ламп не покрыто люминофором и имеет несколько уменьшенные размеры (дйимитр и длину) по сравнению с аналогичными люминесцентными лампами общего назначения одинаковой мощности.

Изготавливают бактерицидные лампы трех типов: ДВ15; ДБЗО-1 и ДБ60 номинальной мощностью 15, 30 и 60 Вт (табл. 25.3). В сеть бактерицидные лампы так же, как и люминесцентные общего назначения, включают при помощи ПРА, причем лампу ДБ 15 — на номинальное напряжение 127 В, а остальные — на 220 В.

Специальные лампы с повышенной фотосинтетически активной радиацией применяют при искусственном облучении растений. К ним относятся люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления типа ЛФ и ЛФР (Р — рефлекторная), дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические высокого давления типа ДРЛФ, металлогалогенные дуговые ртутные высокого давления типа ДРФ, ДРИ, ДРОТ, ДМЗ и ДМ4, дуговые ртутные вольфрамовые типа ДРВ.

Люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления типа ЛФ и ЛФР по конструкции аналогичны люминесцентным лампам низкого давления и отличаются от последних только составом люминофора, а следовательно, и спектром излучения.

В лампах ЛФ относительно высокая плотность излучения лежит в диапазоне длин волн от 400 до 450 нм и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности зеленых растений. Лампы типа ЛФ изготавливают мощностью 40 Вт трех модификаций (ЛФ40, ЛФ40-1 и ЛФ40-2), а лампы с направленным распределением лучистого потока ЛФР — мощностью 150 Вт.

Конструктивно лампы ДРЛФ сходны с лампами ДРЛ соответствующей мощности. Но в отличие от последних у ламп ДРЛФ изменением состава люминофора увеличена доля излучения в красной части спектра, под слоем люминофора есть отражающее покрытие, обеспечивающее требуемое распределение лучистого потока в пространстве и отсутствует люминофор примерно на третьей части стороны колбы, противоположной цоколю. Изготавливают лампы ДРЛФ мощностью 400 Вт.

Инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели отличаются от обычных осветительных ламп параболической формой колбы и более низкой температурой тела накала. Относительно низкая температура биспирального тела накала ламп-термоизлучателей (1900...2300 °С) позволяет сместить спектр их излучения в инфракрасную область и увеличить среднюю продолжительность горения до 5000 ч.

Внутренняя часть колбы ламп-термоизлучателей, прилегающая к доколю, покрыта зеркальным слоем, что позволяет перераспределять и концентрировать в заданном направлении излучаемый инфракрасный поток. Равномерность распределения потока инфракрасного излучения зависит от формы колбы лампы. Для снижения интенсивности видимого излучения нижнюю часть колбы некоторых инфракрасных ламп-термоизлучателей покрывают красным (лампы ИКЗК) или синим (лампы ИКЗС) термостойким лаком.

Отечественная промышленность выпускает специальные электрические инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели типов ИК3220-500, ИК3220-500-1, ИКЗК220-250 и др. В написании типа лампы буквы обозначают: — инфракрасная, 3 — зеркальная, К или С — цвет окрашенной колбы. Цифры, стоящие после букв, — напряжение сети в вольтах и мощность источника излучения в ваттах.

Перспективными источниками инфракрасных излучений для сельскохозяйственного производства являются галогенные лампы накаливания, характеризующиеся высокой стабильностью потока излучения на протяжении всего срока службы, малыми габаритными размерами и массой, нечувствительностью к кратковременному повышению питающего напряжения, к резким перепадам температуры и условиям окружающей среды. Применение вольфрамогалогенного цикла в таких лампах позволило повысить удельную плотность излучения и уменьшить осаждение вольфрама на стенку колбы лампы, сохраняя их чистыми и прозрачными на протяжении всего срока службы.

Галогенная лампа накаливания представляет собой цилиндрическую трубку из кварцевого стекла диаметром 8...36 мм и длиной 132...1230 мм (диаметр и длина определяются назначением и мощностью лампы). Тело накала лампы выполнено в виде

вольфрамовой спирали, смонтированной по оси трубки на вольфрамовых держателях. Трубку наполняют аргоном и вводят небольшое количество галогенных соединений (бромистый и иодистый метил или метилен).

Отечественная промышленность выпускает для освещения лампы КИ, КГ и КГМ преимущественно на напряжение 220 В мощностью 500, 1000, 1500, 2000, 5000, 10 000 и 20 000 Вт, а для инфракрасного нагрева — лампы-термоизлучатели КГ, КГТ, ккто, КГТД на напряжение 127, 220 и 380 В мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт. Буквы, входящие в наименование типов таких ламп, означают: К — кварцевая, И — йодная, Г — галогенная, Т — термоизлучатель, О — с отогнутыми концами, Д — дифференцированное тело накала, М — малогабаритная.

### **Вопросы для повторения:**

1. Какими свойствами обладают ультрафиолетовые (по зонам А, В и С на рисунке 1), видимые и инфракрасные излучения оптической области спектра электромагнитных колебаний?
2. В каких технологических процессах сельскохозяйственного производства используются видимое, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения?
3. Что означают понятия «поток излучения», «сила излучения», «облученность» и «лучистая экспозиция»? В каких единицах их измеряют?
4. Какие существуют системы эффективных величин и на основании спектральной чувствительности каких приемников они построены?
5. Какие основные величины витальной, бактерицидной и фотосинтетической систем и в каких единицах их измеряют?
6. Нарисовать схемы включения люминесцентной лампы в сеть с использованием стартеров тлеющего разряда и полупроводникового.
7. Что называется люминесцентной лампой?
8. Как устроена люминесцентная лампа?

## 9. Основные понятия о надёжности и технике экономии

### 9.1. Надёжность элементов и систем управления

План лекции:

1. Основные характеристики надёжности.
2. Способы определения характеристик надёжности автоматизированных установок.
3. Пути повышения надёжности

Интуитивно надёжность связывают с недопустимостью отказов изделий. Поэтому под надёжностью в узком смысле понимают безотказность, т. е. свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Иначе говоря, надёжность объекта заключается в отсутствии непредвиденных изменений его качества в процессе эксплуатации или хранения.

Надёжность тесно связана с различными сторонами процесса эксплуатации технических объектов. Большое значение имеют, в частности, вопросы, связанные с восстановлением свойств отказавших объектов. Чтобы объединить смежные вопросы в одну группу, используют понятие «надёжность в широком смысле» — комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или определенное сочетание этих свойств как для объекта, так и для его частей. При этом под надёжностью понимают «свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования».

Рост значения проблемы надёжности связан с некоторыми особенностями развития современной техники. Во-первых, существует стремление к подробному планированию хода производственных процессов, которые становятся все более сложными. Во-вторых, все больше распространяется автоматизация различных процессов. В-третьих, автоматизированные системы



выполняют все более ответственные задачи.

При проведении важных мероприятий с жесткой программой резко увеличивается значение безотказной работы каждого отдельного объекта.

Кроме того, современные конструкции создаются в очень короткий срок и быстро морально стареют, что затрудняет накопление навыков их проектирования, изготовления и эксплуатации.

Обычно более заметны непосредственные результаты недостаточной надежности, связанные с полным или частичным невыполнением требуемых от технического объекта функций. Однако очень большое значение имеют и косвенные последствия недостаточной надежности: высокая стоимость эксплуатации, потребность в неоправданно высоком уровне квалификации и излишних затратах труда обслуживающего персонала, трудности со снабжением запасными частями и т. д.

Сложность современных и будущих технических систем, многообразие режимов работы, быстрая смена морально устаревших образцов новыми — все это обуславливает необходимость общетеоретического подхода к повышению надежности всех систем независимо от их устройства и назначения.

Появление отказов зависит от очень многих и часто случайных причин, поэтому теория надежности использует вероятностные методы исследования. Необходимость этого определяется физической сущностью вопроса об оценке и исследовании надежности как степени объективной уверенности в безотказной работе устройств.

Установилась традиция проводить инженерное исследование надежности технических объектов по данным об отказах. Такой путь исследования надежности не является единственно возможным.

В настоящее время все больший интерес проявляется к стыку технических наук с науками о человеке. Работы по обслуживанию техники даже в полностью автоматизированных системах неизбежно выполняет человек. Требования, предъявляемые к техническим объектам и к людям, участвующим в выполнении задачи, непрерывно растут. Несвоевременное или неправильное выполнение мероприятия приводит ко все более ощутимым по-

следствиям. Поэтому целесообразно учитывать надёжность систем «человек и техника» (эргатических систем).

Статистическое исследование надёжности может принести пользу лишь в случае, если каждый его этап сопровождается изучением физических причин, вызывающих те или иные явления. Формальное применение статистических методов исследования надёжности приводит обычно к неверным результатам.

Теория надёжности изучает процессы возникновения отказов технических объектов и способы борьбы с отказами. Техническими объектами могут быть изделия, системы и их элементы, в частности сооружения, установки, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали.

В последние годы область применения теории надёжности расширяется, ее методы распространяются также на формализованные алгоритмы целенаправленного применения технических объектов (программы для цифровых ЭВМ, планы систем работ) и на действия человека - оператора как звена системы управления.

Часто в целях общности речь будет идти о системах и единичных рабочих частях систем — элементах. Система предназначена для самостоятельного выполнения определенной практической задачи. Примеры систем: автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), авторучка и т. д. Термин элемент применяется для составной части системы. Обычно элемент не предназначается для самостоятельного практического применения вне связи с другими элементами. Примеры элементов: процессор цифровой ЭВМ, колпачок авторучки. В принципе систему можно разбить на любое число элементов, необходимое для исследования (расчета) надёжности. Однако деление системы на элементы нельзя считать произвольным. Каждый элемент должен обладать способностью выполнять в системе определенные функции. Иногда ставится условие, чтобы элемент был такой частью системы, которая может быть восстановлена только путем полной замены.

Различают два основных состояния объектов: работоспособное и неработоспособное. Согласно ГОСТ 13377-75 состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции,

сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией называют работоспособным.

Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным нормативно-технической документацией, называют неработоспособным.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности, т. е. в переходе в неработоспособное состояние.

Обычно неработоспособность — состояние, при котором нельзя начинать применение объекта (например, выпускать самолет в воздух). Однако возможны задачи, в которых неработоспособность — состояние, при котором объект не может продолжать выполнять свое назначение. Возможны и другие признаки неработоспособного состояния объекта (например, объект требует среднего или капитального ремонта, производительность объекта стала ниже критической и т. д.). Поэтому при оценке надежности необходимо заранее оговорить, какое состояние объекта считается неработоспособным.

Когда объект предназначен для выполнения нескольких функций, часто находят значения показателей надежности по каждой из функций.

Возможен и другой путь: оценивают свойство объекта выполнять все требуемые от него функции. Отказом считается невыполнение хотя бы одной из функций независимо от того, возникла ли случайная ситуация, в которой требуется выполнение этой функции, или нет.

## Надежность элементов и автоматических систем

### Общие сведения

С ростом автоматизации производственных процессов средства автоматики и телемеханики делаются все более сложными. Усложнение систем и средств автоматики приводит к тому, что они становятся менее надежными. Отклонение пара-

метров элементов от номинальных и допустимых и особенно неисправность хотя бы одного элемента не только нарушают нормальную работу системы, но и нередко приводят к выводу ее из строя. Причины, вызывающие разброс параметров, подразделяют на технологические и эксплуатационные.

К технологическим причинам относятся различного рода допуски: на свойства материала, из которого изготавлиется элемент; на размеры деталей элементов; на сборку элементов их деталей и т. п. Чтобы уменьшить влияние указанных причин, в конструкциях элементов может быть предусмотрено регулировочное приспособление (переменное сопротивление, емкость и т. п.), которое позволяет изменять параметры и компенсировать отклонения. Отметим, что такая регулировка может обеспечить сокращение допусков на параметры только при определенных внешних условиях.

К причинам эксплуатационного характера причисляют влияние окружающей среды, состояние энергоисточника, качество обслуживания, старение, износ.

Известно, что в сельскохозяйственном производстве различные установки нередко работают на открытом воздухе и в условиях, когда меняются основные показатели окружающей среды (температура, плотность воздуха, влажность и т. п.). Все это приводит прежде всего к изменению параметров отдельных деталей (например, удельного сопротивления проводников, вязкости рабочей жидкости и т. д.), а также элемента в целом.

Существенное влияние на параметры элемента оказывает и состояние энергоисточника. Так, увеличение напряжения в системе приводит к уменьшению времени срабатывания реле или магнитного пускателя, а повышение давления жидкости вызовет ускорение перемещения поршня гидроусилителя.

Старение и износ деталей — естественные явления, развитие которых происходит сравнительно медленно и сопровождается отклонениями параметров элементов. Установлено, что наиболее интенсивны эти процессы в начальный период эксплуатации, поэтому ответственные детали (например, электронные лампы) подвергают до выпуска с завода предварительному искусственному старению. На каждый элемент устанавливается гарантийный срок службы, по истечении которого интенсивность

старения возрастает и он подлежит замене вне зависимости от его фактического состояния.

Основные понятия и определения.

Надежность технических устройств, в том числе и автоматических систем, связана, по крайней мере, с двумя сторонами процесса их эксплуатации: с безотказностью в работе в течение определенного промежутка времени и способностью к восстановлению — ремонтпригодностью при полном или частичном выходе из строя. Рассмотрим основные понятия и определения надежности.

Под надежностью системы, изделия или элемента понимают свойство, обусловленное безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью и обеспечивающее нормальное выполнение всех заданных функций при сохранении своих эксплуатационных показателей в требуемых пределах в течение заданного промежутка времени.

Безотказность — свойство системы (изделия, элемента) непрерывно сохранять свою работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого интервала времени.

Долговечность — свойство системы (изделия, элемента) длительно, с возможными перерывами на ремонт, сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации до разрушения или другого предельного состояния.

Ремонтпригодность — свойство системы (изделия, элемента), показывающее, насколько данный объект приспособлен к восстановлению исправности и к поддержанию технического состояния путем предупреждения, обнаружения и устранения отказов.

Исправность — состояние системы (изделия, элемента), при котором в данный момент времени соблюдается соответствие всем требованиям, установленным как в отношении основных параметров, характеризующих нормальное выполнение заданных функций, так и в отношении второстепенных параметров (например, удобство эксплуатации, внешний вид и т. д.).

Отказ — это событие, заключающееся в полной или частичной утрате системой (изделием, элементом) работоспособности, то есть в утрате состояния соответствия всем требованиям,

установленным в отношении основных параметров. Различают внезапные отказы, возникающие в результате скачкообразного изменения одного или нескольких основных параметров, и постепенные отказы, причиной которых является постепенное изменение значений одного или нескольких параметров системы (изделия, элемента) вследствие износа, старения и т. п.

По степени разрушения параметров системы различают отказы полные, до устранения которых система или элемент не могут использоваться по их прямому назначению, и частичные, до устранения которых остается возможность хотя бы частичного использования системы.

Основные численные показатели, характеризующие надежность, безотказность, долговечность и эффективность,— вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ (среднее время безотказной работы), срок службы, технический ресурс, среднее время восстановления.

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что при определенных режимах и условиях в пределах установленной (заданной) продолжительности работы системы отказ не возникает.

Интенсивность отказов — это вероятность отказа не восстанавливаемой системы в единицу времени после данного момента времени при условии, что до этого момента отказ не возникал.

Наработка как величина принята для измерения продолжительности или объема работы системы в определенных условиях.

Пути повышения надежности элементов и систем автоматики.

Повышение надежности — важная народнохозяйственная задача.

При проектировании элементов и систем повышение их надежности достигается схемными и конструктивными способами. Схемные способы основаны на совершенствовании и упрощении схем, на создании схем с ограниченными последствиями и схем с резервированием.

Упрощение схем — самый распространенный метод увеличения надежности с одновременным уменьшением габаритов и массы проектируемого устройства. Схемы проектируют так, чтобы замена любого элемента однотипным не отражалась на ее работе. Схемы с ограниченными последствиями отказов применяют в ответственных устройствах автоматики. Выход из строя

любого элемента не приводит к аварии.

Резервирование предполагает замену выходящего из строя элемента резервным. Резервные элементы подключаются постоянно или вводятся автоматически после выхода из строя основных.

Различают общее, автономное, отдельное и внутри- элементное резервирование. При общем резервируется вся схема, за исключением входных и выходных устройств. При автономном имеется несколько независимых систем автоматики, выполняющих одну и ту же задачу.

При отдельном резервируются отдельные узлы автоматики. Внутриэлементное резервирование предполагает резервирование внутренних связей элемента.

Конструированием также можно повысить надежность систем и элементов автоматики, для чего применяют детали с большим запасом по электрическим и механическим параметрам.

### **Вопросы для повторения:**

1. Что понимают под надежностью средств автоматизации?
2. Какие, причины приводят к изменению параметров элементов?
3. Изложите основные понятия, определения и качественные показатели надежности?
4. Назовите способы повышения надежности.
5. Что называется ремонтпригодностью?

## **10. Техничко экономическая эффективность автоматизации сельскохозяйственного производства**

### **10.1. Техничко- экономическая эффективность работы систем управления**

План лекции:

1. Основные показатели технико- эконом.
2. Эффективности.
3. Расчёт технико- экономическая эффективность.

Эффективность автоматизации сельскохозяйственного производства.

Автоматизация — одно из магистральных направлений технического прогресса в сельскохозяйственном производстве. Внедрение средств автоматизации способствует: повышению производительности машин, агрегатов, поточных линий и увеличению числа часов их использования; повышению производительности труда и значительному облегчению труда; удешевлению Продукции и улучшению ее качества; сокращению расхода топлива и энергии, повышению надежности работы энергетического оборудования. При автоматизации производственных процессов возникают различные варианты ее практической реализации. Из всех возможных выбирают наиболее эффективный, простой, надежный и обеспечивающий более высокий рост производительности труда.

За базовый вариант сравнения принимают тот, в котором применена самая совершенная механизация производства.

Автоматизацию, если говорить вообще, можно считать эффективной, когда с ее внедрением повышается производительность всего производства, сокращаются прямые и капитальные затраты, удешевляется продукция и улучшается ее качество, облегчается труд человека, повышается культура труда.

Основные показатели эффективности автоматизации.

Для оценки экономической эффективности применяются различные показатели, наиболее важные из которых: производительность труда, годовые эксплуатационные издержки, срок окупаемости капитальных затрат, нормативный коэффициент экономической эффективности.



Повышение производительности труда является одним из основных показателей экономической эффективности, который определяется либо количеством произведенной в единицу времени продукции, либо количеством времени, затраченного на единицу продукции. Повышение производительности труда за счет средств автоматизации оценивают по уменьшению затрат труда

$$\Delta P = \frac{P_{\text{н}} - P_{\text{а}}}{P_{\text{н}}} 100\%$$

и по годовой экономии труда

$$\mathcal{E}_{\text{т}} = (P_{\text{н}} - P_{\text{а}}) Q_{\text{а}};$$

где  $P_{\text{н}}$ —затраты труда на единицу продукции или вид работы при неавтоматизированном способе производства;  $P_{\text{а}}$ —то же, при автоматизированном способе производства;  $Q_{\text{а}}$ —производство продукции за год при автоматизированном способе производства.

Годовые эксплуатационные издержки производства определяются как сумма амортизационных отчислений  $I_{\text{а}}$ , отчислений на текущий ремонт  $I_{\text{т}}$ , годовых затрат на зарплату обслуживающему персоналу  $I_{\text{о}}$ , на электроэнергию  $I_{\text{э}}$ , и горюче-смазочные материалы  $I_{\text{г}}$

$$I = I_{\text{а}} + I_{\text{т}} + I_{\text{о}} + I_{\text{э}} + I_{\text{г}}.$$

Амортизационные отчисления и отчисления на текущий ремонт определяются по следующим выражениям:

$$I_{\text{а}} = m_{\text{а}}K; \quad I_{\text{т}} = m_{\text{т}}K,$$

где  $m_{\text{а}}$  — коэффициент амортизационных отчисления;  $m_{\text{т}}$  — коэффициент отчислений на текущий ремонт;  $K$  — первоначальные капитальные затраты.

Затраты на зарплату обслуживающему персоналу

$$I_o = \sum_{i=1}^n D_{oi} \Pi_{oi},$$

где  $i=1, \dots, n$  — число обслуживающего персонала;  $D_{oi}$  — число часов работы

$i$ -го обслуживающего персонала в году;  $\Pi_{oi}$  — оплата за час  $i$ -го обслуживающего персонала с учетом отчислений в соцстрах и надбавок к зарплате.

Затраты на электроэнергию.

$$I_э = \sum_{j=1}^m D_{эj} k_{изj} P_{yj} \Pi_{эj},$$

где  $j$  — вид системы, потребляющей электроэнергию;  $D_{эj}$  — число часов работы системы в году;  $k_{из}$  — коэффициент использования установленной мощности системы;  $P_{yj}$  — установленная мощность системы, кВт;  $\Pi_{эj}$  — стоимость 1 (кВт\*ч)/руб.

Затраты на горюче-смазочные материалы определяют как произведение количества израсходованных материалов на их прейскурантную стоимость с учетом транспортных расходов.

Срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию определяется как

$$T_o = \frac{K_a - K_n}{\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_a},$$

где  $K_a$  и  $K_n$  — капитальные затраты на автоматизированное и неавтоматизированное производство ( $K_n < K_a$ );  $\mathcal{E}_a$  и  $\mathcal{E}_n$  — эксплуатационные расходы автоматизированного и неавтоматизированного производства ( $\mathcal{E}_n > \mathcal{E}_a$ ).

Чем меньше срок окупаемости, тем эффективнее автоматизация. Расчетный срок окупаемости сравнивают с нормативным сроком окупаемости, который для сельскохозяйственной техники принят равным пяти годам.

Нормативный коэффициент экономической эффективности дополнительных капитальных вложений представляет собой

обратную нормативному сроку окупаемости величину. Для сельского хозяйства он установлен равным 0,2.

Применение средств автоматизации повышает технологичность производства за счет сокращения числа и времени простоев, применения более прогрессивных способов производства, типизации и унификации технологических операций.

Эффективность автоматизации можно определить по так называемым приведенным, или расчетным, затратам, которые находят по следующему уравнению:

$$З = EK + И,$$

где  $E=1/T_{ов}$  — нормативный коэффициент экономической эффективности.

Если при выборе варианта автоматизации может оказаться, что капитальные вложения  $K_2$  и годовые эксплуатационные издержки производства  $И_2$  выше, чем для предшествующего варианта, то есть  $K_2 > K_1$  и  $И_2 > И_1$ , то эффективность нового варианта следует определять исходя из следующего неравенства:

$$EK_1 + И_1 > EK_2 + И_2 - Д,$$

где  $Д$  — дополнительный доход за счет увеличения производительности, улучшения качества продукции, уменьшения затрат за счет различных потерь и т. п.

Определим в качестве примера экономическую эффективность автоматизации водокачки с суточным расходом воды  $200 \text{ м}^3$ . Применение средств автоматизации увеличило капитальные затраты с 590 до 700 руб., при этом годовые эксплуатационные расходы уменьшились с 2850 до 1800 руб., а затраты соответственно с 1200 до 150 ч.

В соответствии с принятыми обозначениями имеем

$K_и = 590 \text{ руб.}$ ,  $Э_и = 2850 \text{ руб.}$ ,  $P_н = 1200 \text{ ч.}$

$K_а = 700 \text{ руб.}$ ,  $Э_а = 1800 \text{ руб.}$ ,  $P_а = 150 \text{ ч.}$

Вычислим срок окупаемости дополнительных капитальных вложений на автоматизацию

$$T_o = \frac{K_n - K_a}{\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_a} = \frac{700 - 500}{2850 - 1800} = 0,1047 \text{ года.}$$

Нормативный срок окупаемости оборудования составляет 5 лет, поэтому автоматизация оказывается весьма эффективной.

Снижение затрат труда

$$\Delta P = \frac{P_n - P_a}{P_n} 100 \% = \frac{1200 - 150}{1200} 100 = 88 \%$$

Дополнительно определим себестоимость 1 м<sup>3</sup> воды для неавтоматизированной

$$C_n = \frac{\mathcal{E}_n}{365} = \frac{2850 \cdot 100}{365 \cdot 200} \cong 4 \text{ руб /м}^3$$

и для автоматизированной водокачки

$$C_a = \frac{\mathcal{E}_a}{365} = \frac{1800 \cdot 100}{365 \cdot 200} \cong 2 \text{ руб /м}^3.$$

Таким образом, по всем показателям автоматизация водокачки имеет высокую эффективность.

### Вопросы для повторения:

1. Какие цели преследует автоматизация производственных процессов?
2. Каковы основные показатели оценки технико-экономической эффективности автоматизации?
3. Как рассчитать затраты на электроэнергию?
4. Как рассчитать срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию?
5. Как определить амортизационные отчисления и отчисления на текущий ремонт?
6. Как определить эффективность автоматизации?

### **Дополнительная литература для студентов**

1. Горошков Б.И., Горошков А.Б. Электронная техника. М.: ОИЦ «Академия», 2010.
2. Шишмарёв В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления. М.: ОИЦ «Академия», 2009.
3. Пантелеев В.Н., Прошин В.М. Основы автоматизации производства. М.: ОИЦ «Академия» 2010.
4. Алиев И.И. Электротехнический справ. М.: Издательское предприятие Радио Софт, 2006.
5. Кисаримов Р.А. Справочник электрика. М.: Издательское предприятие Радио Софт, 2006.
6. Шишмарев В.Ю. Автоматика. М.: Издательский центр Академия, 2005.
7. Кацман М.М. Электрический привод. М.: Издательский центр «Академия», 2005.
8. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления. М.: КолосС, 2005.
9. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизация технологических процессов. М.: КолосС, 2003.

### **Использованная литература**

1. Маскатов Е.А. Электронная техника. М.: ОИЦ «Академия», 2012.
2. Шишмарёв В.Ю. Автоматика. М.: ОИЦ «Академия», 2013.
3. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация технологических процессов. М.: ОИЦ «Академия», 2012.
4. Арестов К.А. Основы электоники и микропроцессорной техники. М.: Колос, 2001.
5. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. М.: Агропромиздат, 1986.
6. Акимова Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. М.: ОИЦ «Академия», 2013.
7. Берикашвили В.Ш., Электронная техника. М.: Издателтский центр «Академия», 2009.

Учебное издание

Ковалев Владимир Иванович

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Учебное пособие

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 23.12.2020 г. Формат 60x84 1/16  
Бумага печатная. Усл. п.л. 29,16. Тираж 100 экз. Изд. № 6810.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ