

Министерство сельского хозяйства РФ

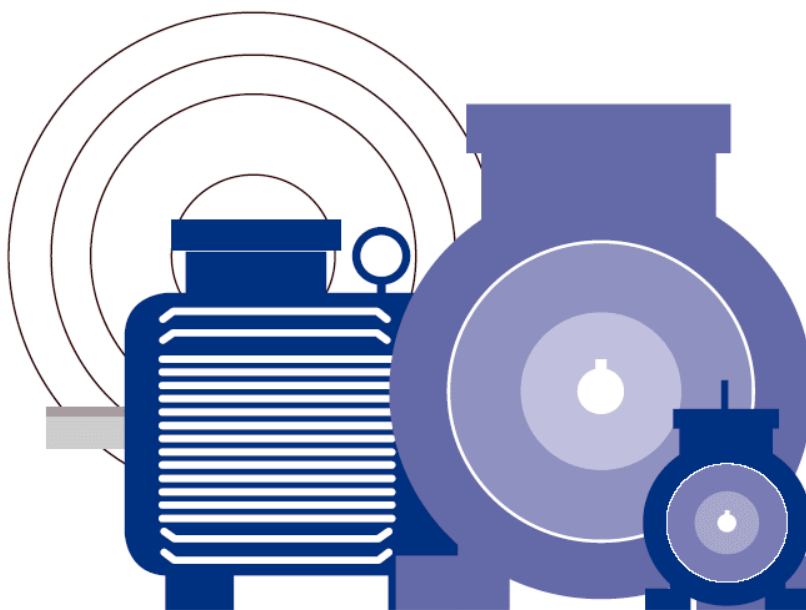
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт Электроэнергетики и природопользования

Безик В.А., Башлыков В.А.,
Кубаткина О.В., Ковалев В.В.

Электрические машины

Вращающиеся электрические машины Учебное пособие



Брянская область
2017

УДК621.313 (07)

ББК 31.261

Э 45

Электрические машины. Вращающиеся электрические машины: учебное пособие / В. А. Безик, В. А. Башлыков, О. В. Кубаткина, В. В. Ковалев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. – 41 с.

Пособие содержит краткие сведения о вращающихся электрических машинах, технические характеристики основных машин используемых в сельском хозяйстве, сведения по монтажу и пуску электродвигателей, основные расчетные формулы. Пособие рекомендуется при изучении дисциплин, связанных с расчетом и использованием вращающихся электрических машин, а также в качестве справочного пособия для инженерно-технических работников. Пособие предназначено для бакалавров и магистров следующих направлений подготовки: 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника, 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника, 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств, 35.03.06 - Агроинженерия, 20.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы.

Рецензент:

д.т.н., профессор кафедры Электроэнергетики и автоматике Кисель Ю.Е.
(ФГБОУ ВО Брянский ГАУ).

Рекомендовано к изданию решением методической комиссии института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол № 2 от 24.10.2017 года.

© Брянский ГАУ, 2017

© Безик В.А., 2017

© Башлыков В.А., 2017

© Кубаткина О.В., 2017

© Ковалев В.В., 2017

1. Общие понятия

Электрическая машина является электромеханическим преобразователем, в котором преобразуется механическая энергия в электрическую или электрическая энергия в механическую.

В зависимости от рода отдаваемого или потребляемого тока электрические машины разделяются на машины переменного и постоянного тока.

Машины переменного тока делятся на синхронные, асинхронные и коллекторные.

В синхронной машине поле возбуждения создается обмоткой, расположенной на роторе и питающейся постоянным током. Обмотка статора соединяется с сетью переменного тока. Обратная схема, когда обмотка возбуждения расположена на статоре, встречается редко. В синхронной машине обмотка, в которой индуцируется ЭДС и протекает ток нагрузки, называется обмоткой якоря, а часть машины с этой обмоткой называется якорем. Часть машины, на которой расположена обмотка возбуждения, называется индуктором.

Синхронные машины применяются в качестве генераторов и двигателей.

В асинхронной машине поле создается в обмотке статора и взаимодействует с током, наводимым в обмотке ротора.

Асинхронные машины применяются в основном в качестве двигателей.

Машина постоянного тока по своему конструктивному выполнению сходна с обратной синхронной машиной, у которой обмотка якоря расположена на роторе, а обмотка возбуждения – на статоре. Большинство машин постоянного тока коллекторные. Они могут работать в качестве генераторов или двигателей.

По мощности электрические машины можно разделить на следующие группы.

– Машины большой мощности:

коллекторные машины мощностью более 200 кВт;

синхронные генераторы мощностью более 100 кВт;

синхронные двигатели мощностью более 200 кВт;

асинхронные двигатели мощностью более 100 кВт при напряжении более 1000 В.

– Машины средней мощности:

коллекторные машины мощностью 1...200 кВт;

синхронные генераторы мощностью до 100 кВт, в том числе высокоскоростные мощностью до 200 кВт;

асинхронные двигатели мощностью 1...200 кВт;

асинхронные машины мощностью 1...400 кВт при напряжении до 1000 В, в том числе двигатели единых серий от 0,25 кВт.

– Машины малой мощности (не вошедшие в вышеперечисленные):

двигатели постоянного тока коллекторные и универсальные;

асинхронные двигатели, синхронные двигатели и др.

2. Асинхронные машины

Схема асинхронной машины показана на рисунке 1. В схеме асинхронной машины и ее принципе действия есть сходство с трансформатором. Отличие заключается в том, что вторичная обмотка размещается на вращающемся роторе и не связана с внешней сетью. На схеме рисунке 1а эта обмотка состоит из стержней, замкнутых накоротко, что соответствует двигателю с короткозамкнутым ротором, а в двигателях с фазовым ротором она соединяется с внешними сопротивлениями — рисунок 1б.

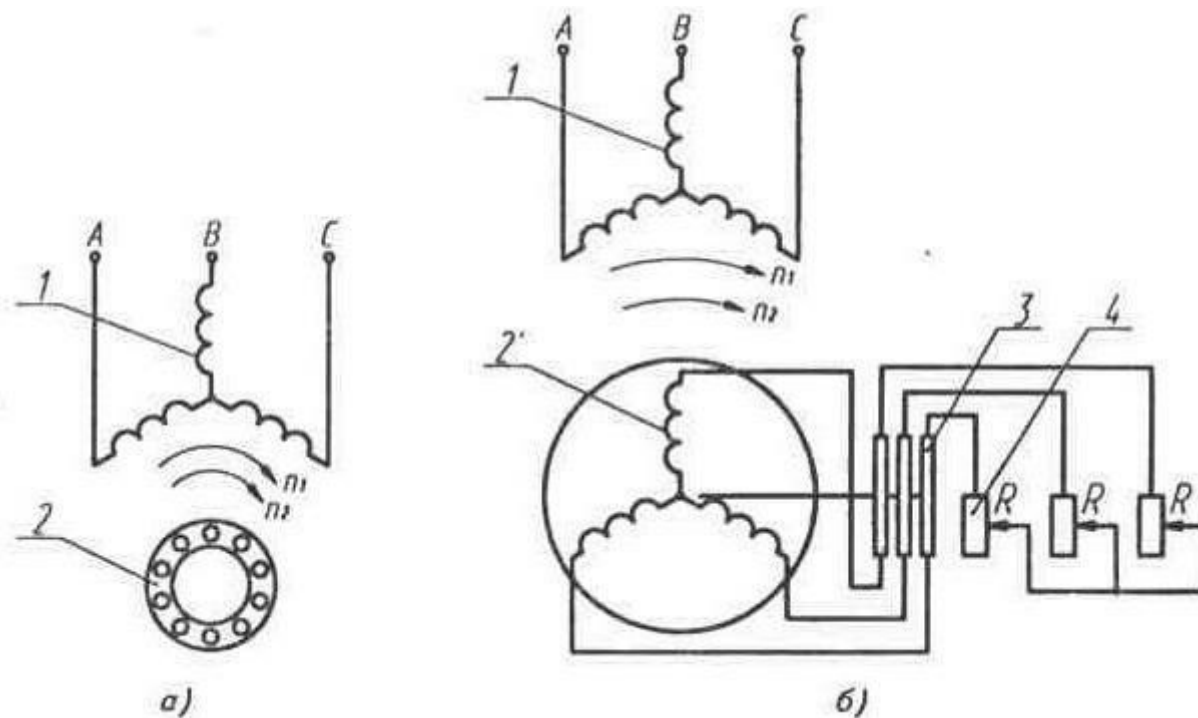


Рисунок 1 – Схемы асинхронной машины:

а) асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; б) асинхронный двигатель с фазным ротором; 1 – обмотки статора, 2 – ротор с короткозамкнутыми стержнями, 2 – обмотки фазного ротора, 3 – контактные кольца, 4 – сопротивления в цепи фазного ротора.

Обмотка статора равномерно распределена по его окружности. Обмотки фаз статора соединяются в звезду или в треугольник.

При питании трехфазной обмотки статора трехфазным током, создается вращающееся магнитное поле, частота вращения которого

$$n_1=60f_1/p$$

где f_1 – частота тока питающей сети, Гц, p – число пар полюсов обмотки статора. Вращающийся магнитный поток Φ индуцирует в обмотках статора и ротора ЭДС E_1 и E_2 . Под действием ЭДС E_2 , в обмотке ротора возникает ток I_2 при взаимодействии которого с магнитным полем создается электромагнитный вращающий момент M . Величина ЭДС E_2 ; и частота ее изменения f_2 зависят от скорости пересечения магнитным полем статора Φ витков обмотки ротора. Частоту вращения поля ротора обозначим n_2 .

Частота пересечения магнитным полем статора обмотки ротора является относительной частотой поля статора относительно ротора и равна разности $n_1 - n_2$. Если разность равна 0, то нет движения поля статора относительно ротора, нет ЭДС E_2 и тока I_2 и вращающего момента M . При увеличении разности $n_1 - n_2$ величины E_2 , I_2 , f_2 и M увеличиваются.

Условием работы асинхронной машины является неравенство частот вращения поля статора и ротора, поэтому машина и называется асинхронной, т. е. несинхронной.

Относительная разность частот вращения поля статора и ротора

$$s = (n_1 - n_2) / n_1$$

называется скольжением. Выражение частоты вращения ротора через скольжение:

$$n_2 = n_1(1 - s).$$

Серии двигателей.

Первая серия асинхронных электродвигателей – серия А – была разработана в 1946-1949 гг. Новая серия А2 была разработана в 1957-1959 гг. с учетом рекомендаций Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Электродвигатели серии 4А

На основе международных рекомендаций в странах – членах бывшего Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) в 1969-1972 гг. были разработаны новые серии электродвигателей, а в СССР – серия 4А.

Серия включает все двигатели общего назначения мощностью до 400 кВт напряжением до 1000 В. В серии повышена мощность двигателей при тех же высотах оси вращения на 2...3 ступени по сравнению с двигателями серии А02 за счет применения новых материалов и рациональной конструкции. Впервые в мировой практике в серии были стандартизированы показатели надежности. Серия имеет модификации и специализированные исполнения. Пример обозначения типа двигателя:

4АН200М4У3,

где 4 – номер серии, А – асинхронный, Н – степень защиты IP23, для закрытых двигателей обозначение не дается, далее может быть буква А, означающая алюминиевые станину и щиты, Х – алюминиевая станина и чугунные щиты, если станина и щиты чугунные, никакого обозначения не дается, 200 – высота оси вращения, мм, М или S, L – условная длина станины.

Далее возможны буквы А или В, обозначающие длину сердечника статора, отсутствие букв означает одну длину в установочном размере, 4 – число полюсов, У – для умеренного климата, 3 – категория размещения.

Специализированные исполнения двигателей по условиям окружающей среды: тропического исполнения Т, буква ставится после числа полюсов, например, 4А132S2Т2, категории размещения 2 и 5; для районов с холодным климатом исполнения ХЛ, например, 4А132S2ХЛ2, категории размещения 2 и 5;

химически стойкого исполнения X, например, 2A90L2XY5, категории размещения 3 и 5; сельскохозяйственного исполнения СХ, например, 4A160M4 СХУ2, категории размещения 1-5.

Технические данные двигателей серии 4А приведены в таблицах 1, 2.

Приняты следующие классы изоляции обмоток двигателей:

высота оси вращения 56, 63 мм – Е,

высота оси вращения 71...132 мм – В,

высота оси вращения 160...355 мм – F.

Таблица 1 – Технические характеристики асинхронных электродвигателей основного исполнения серии 4А

| ТИП | Р, кВт | Скольжение, % | КПД (%) | cos φ | M _{max} /M _н | M _п /M _н | M _{min} /M _н | I _п /I _н |
|---|-----------|------------------|------------|-------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Синхронная частота 3000 мин ⁻¹ | | | | | | | | |
| 4AA50A2 | 0,09 | 8,6 | 60 | 0,7 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4AA50B2 | 0,12 | 9,7 | 63 | 0,7 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4AA56A2 | 0,18 | 8 | 66 | 0,76 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4AA56B2 | 0,25 | 8 | 68 | 0,77 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4A63A2 | 0,37 | 8,3 | 70 | 0,86 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4A63B2 | 0,55 | 8,5 | 73 | 0,86 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4A71A2 | 0,75 | 5,3 | 77 | 0,87 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5,5 |
| 4A71B2 | 1,1 | 6,3 | 77,5 | 0,87 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5,5 |
| 4A80A2 | 1,5 | 5 | 81 | 0,85 | 2,2 | 2 | 1,2 | 6,5 |
| 4A80B2 | 2,2 | 5 | 83 | 0,87 | 2,2 | 2 | 1,2 | 6,5 |
| 4A90L2 | 3 | 5,4 | 84,5 | 0,88 | 2,2 | 2 | 1,2 | 6,5 |
| 4A100S2 | 4 | 4 | 86,5 | 0,89 | 2,2 | 2 | 1,2 | 7,5 |
| 4A100L2 | 5,5 | 4 | 87,5 | 0,91 | 2,2 | 2 | 1,2 | 7,5 |
| 4A112M2 | 7,5 | 2,6 | 87,5 | 0,88 | 2,2 | 2 | 1 | 7,5 |
| 4A132M2 | 11 | 3,1 | 88 | 0,9 | 2,2 | 1,6 | 1 | 7,5 |
| 4A160S2 | 15 | 2,3 | 88 | 0,91 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7,5 |
| 4A160M2 | 18,5 | 2,3 | 88,5 | 0,92 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7,5 |
| 4A180S2 | 22 | 2 | 88,5 | 0,91 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7,5 |
| 4A180M2 | 30 | 1,9 | 90,5 | 0,9 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7,5 |
| 4A200M2 | 37 | 1,9 | 90 | 0,89 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7,5 |
| 4A200L2 | 45 | 1,8 | 91 | 0,9 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7,5 |
| 4A225M2 | 55 | 2,1 | 91 | 0,92 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7,5 |
| 4A250S2 | 75 | 1,4 | 91 | 0,89 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7,5 |
| 4A250M2 | 90 | 1,4 | 92 | 0,9 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7,5 |
| 4A280S2 | 110 | 2 | 91 | 0,89 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A280M2 | 132 | 2 | 91,5 | 0,89 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A315S2 | 160 | 1,9 | 92 | 0,9 | 1,9 | 1 | 0,9 | 7 |

Продолжение таблицы 1

| ТИП | P, кВт | Скольжение, % | КПД (%) | cos φ | M _{max} /M _н | M _п /M _н | M _{min} /M _н | I _п /I _н |
|---|-----------|------------------|------------|-------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Синхронная частота 1500 мин ⁻¹ | | | | | | | | |
| 4AA50A4 | 0,06 | 8,1 | 50 | 0,6 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4AA50B4 | 0,09 | 8,6 | 55 | 0,6 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4AA56A4 | 0,12 | 8 | 63 | 0,66 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4AA56B4 | 0,18 | 8,7 | 64 | 0,64 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4A63A4 | 0,25 | 8 | 68 | 0,65 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4A63B4 | 0,37 | 9 | 68 | 0,69 | 2,2 | 2 | 1,2 | 5 |
| 4A71A4 | 0,55 | 8,7 | 70,5 | 0,70 | 2,2 | 2 | 1,6 | 4,5 |
| 4A71B4 | 0,75 | 8,7 | 72 | 0,73 | 2,2 | 2 | 1,6 | 4,5 |
| 4A80A4 | 1,1 | 6,7 | 75 | 0,81 | 2,2 | 2 | 1,6 | 5 |
| 4A80B4 | 1,5 | 6,7 | 77 | 0,83 | 2,2 | 2 | 1,6 | 5 |
| 4A90L4 | 2,2 | 5,4 | 80 | 0,83 | 2,2 | 2 | 1,6 | 6 |
| 4A100S4 | 3 | 5,3 | 82 | 0,83 | 2,2 | 2 | 1,6 | 6,5 |
| 4A100L4 | 4 | 5,3 | 84 | 0,84 | 2,2 | 2 | 1,6 | 6 |
| 4A112M4 | 5,5 | 5 | 85,5 | 0,86 | 2,2 | 2 | 1,6 | 7 |
| 4A132S4 | 7,5 | 3 | 87,5 | 0,86 | 2,2 | 2 | 1,6 | 7,5 |
| 4A132M4 | 11 | 2,8 | 87,5 | 0,87 | 2,2 | 2 | 1,6 | 7,5 |
| 4A160S4 | 15 | 2,7 | 89 | 0,88 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7 |
| 4A160M4 | 18,5 | 2,7 | 90 | 0,88 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7 |
| 4A180S4 | 22 | 2 | 90 | 0,9 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7 |
| 4A180M4 | 30 | 2 | 91 | 0,89 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7 |
| 4A200M4 | 37 | 1,7 | 91 | 0,9 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7 |
| 4A200L4 | 45 | 1,8 | 92 | 0,9 | 2,2 | 1,4 | 1 | 7 |
| 4A225M4 | 55 | 2 | 92,5 | 0,9 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A250S4 | 75 | 1,4 | 93 | 0,9 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A250M4 | 90 | 1,3 | 93 | 0,91 | 2,2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A280S4 | 110 | 2,3 | 92,5 | 0,9 | 2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A280M4 | 132 | 2,3 | 93 | 0,9 | 2 | 1,2 | 1 | 7 |
| 4A315S4 | 160 | 2 | 93,5 | 0,91 | 1,9 | 1 | 0,9 | 6,5 |
| 4A315M4 | 200 | 1,7 | 94 | 0,92 | 1,9 | 1 | 0,9 | 7 |
| 4A355S4 | 250 | 1,7 | 94,5 | 0,92 | 1,9 | 1 | 0,9 | 7 |
| 4A355M4 | 315 | 1,7 | 94,5 | 0,92 | 1,9 | 1 | 0,9 | 7 |

Таблица 2 – Технические характеристики асинхронных электродвигателей с фазным ротором серии 4А

| типоразмер | мощность, кВт | Скольжение, % | КПД (%) | $\cos \varphi$ | M_{\max}/M_n | Ток ротора, А | Напряжение ротора, В | Масса, кг |
|---|---------------|---------------|---------|----------------|----------------|---------------|----------------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Синхронная частота 1500 мин ⁻¹ | | | | | | | | |
| 4AK160S4 | 11 | 5 | 86,5 | 0,86 | 3 | 22 | 305 | 160 |
| 4AK160M4 | 14 | 4 | 88,5 | 0,87 | 3,5 | 29 | 300 | 185 |
| 4AK180M4 | 18 | 3.5 | 89 | 0,88 | 4 | 38 | 295 | 250 |
| 4AK200M4 | 22 | 2.5 | 90 | 0,87 | 4 | 45 | 340 | 305 |
| 4AK200L4 | 30 | 2.5 | 90,5 | 0,87 | 4 | 55 | 350 | 325 |
| 4AK225M4 | 37 | 3.5 | 90 | 0,87 | 3 | 160 | 160 | 415 |
| 4AK250SA4 | 45 | 3 | 91 | 0,88 | 3 | 170 | 230 | 555 |
| 4AK250SB4 | 55 | 3 | 90,5 | 0,9 | 3 | 170 | 200 | 595 |
| 4AK250M4 | 71 | 2.5 | 91,5 | 0,86 | 3 | 170 | 250 | 640 |
| Синхронная частота 1000 мин ⁻¹ | | | | | | | | |
| 4AK160S6 | 7.5 | 5 | 82,5 | 0,77 | 3,5 | 18 | 300 | 170 |
| 4AK160M6 | 10 | 4.5 | 84,5 | 0,76 | 3,8 | 20 | 310 | 200 |
| 4AK180M6 | 13 | 4.5 | 85,5 | 0,8 | 4 | 25 | 325 | 240 |
| 4AK200M6 | 18.5 | 3.5 | 88 | 0,81 | 3,5 | 35 | 360 | 300 |
| 4AK200L6 | 22 | 3.5 | 88 | 0,8 | 3,5 | 45 | 330 | 315 |
| 4AK225M6 | 30 | 3.5 | 89 | 0,85 | 2,5 | 150 | 140 | 405 |
| 4AK250S6 | 37 | 3.5 | 89 | 0,84 | 2,5 | 165 | 150 | 540 |
| 4AK250M6 | 45 | 3 | 90,5 | 0,87 | 2,5 | 160 | 180 | 600 |
| Синхронная частота 750 мин ⁻¹ | | | | | | | | |
| 4AK160S8 | 5.5 | 6.5 | 80 | 0,7 | 2,5 | 14 | 300 | 170 |
| 4AK160M8 | 7.5 | 6 | 82 | 0,7 | 3 | 16 | 290 | 200 |
| 4AK180M8 | 11 | 4 | 85,5 | 0,72 | 3,5 | 25 | 270 | 260 |
| 4AK200M8 | 15 | 3.5 | 86 | 0,7 | 3 | 28 | 360 | 300 |
| 4AK200L8 | 18.5 | 3.5 | 86 | 0,73 | 3 | 40 | 300 | 320 |
| 4AK225M8 | 22 | 4.5 | 87 | 0,82 | 2,2 | 140 | 102 | 400 |
| 4AK250S8 | 30 | 4 | 88,5 | 0,81 | 2,2 | 155 | 125 | 540 |
| 4AK250M8 | 37 | 3.5 | 89 | 0,8 | 2,2 | 155 | 148 | 595 |

Электродвигатели для привода деревообрабатывающих станков предназначены для привода деревообрабатывающих станков, рабочий инструмент в которых устанавливается непосредственно на вал двигателя. Степень защиты IP54. Осевое смещение вала ротора не превышает 0,08 мм. Возможно одновременное действие радиальной нагрузки и 30% осевой. Двигатели выпускаются с разной длиной конца выступающего вала. Средний ресурс до капитального ремонта не менее 20000

часов, при замене подшипников через 3-5 тысяч часов работы двигателя в зависимости от частоты вращения. Технические характеристики указаны в таблице 3.

Таблица 3 - Электродвигатели для привода деревообрабатывающих станков

| Типоразмер | Мощность, кВт | Частота вращения, мин ⁻¹ | Частота сети, Гц | КПД, % | Сos φ | Кратность пускового момента | Кратность максимального момента | Кратность пускового тока | Средний уровень звука, дБ(А) | Масса, кг |
|-------------|---------------|-------------------------------------|------------------|--------|-------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------|
| 4АМХД 80 А2 | 1,5 | 3000 | 50 | 78,0 | 0,85 | 2,0 | 2,2 | 6,5 | 73 | 24,0 |
| 4АМХД 80 В2 | 2,2 | 3000 | 50 | 80,0 | 0,87 | 2,0 | 2,2 | 6,5 | 73 | 26,0 |
| 4АМХД 90 L2 | 3,0 | 3000 | 50 | 81,0 | 0,89 | 2,0 | 2,2 | 6,5 | 75 | 32,0 |
| 4АМХД 80 А2 | 1,5 | 3600 | 60 | 78,0 | 0,84 | 1,8 | 2,2 | 7,8 | 76 | 24,0 |
| 4АМХД 80 В2 | 2,2 | 3600 | 60 | 80,0 | 0,86 | 1,8 | 2,2 | 7,8 | 76 | 26,0 |
| 4АМХД 90 L2 | 3,0 | 3600 | 60 | 81,0 | 0,88 | 1,8 | 2,2 | 7,8 | 78 | 32,0 |
| 4АМХД 80 А2 | 2,2 | 6000 | 100 | 76,0 | 0,88 | 1,5 | 2,2 | 6,5 | 80 | 24,0 |
| 4АМХД 80 В2 | 3,0 | 6000 | 100 | 78,0 | 0,89 | 1,5 | 2,2 | 6,5 | 85 | 25,0 |
| 4АМХД 90 L2 | 4,0 | 6000 | 100 | 79,0 | 0,90 | 1,5 | 2,2 | 6,5 | 85 | 32,0 |

Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро АИ

Серия разработана в рамках международной организации Интерэлектро, объединявшей электротехников стран – бывших членов СЭВ. Координатором работ по созданию серии был СССР.

Двигатели серии имеют ряд мощностей диапазоном от 0,025 до 400 кВт, ряд высот осей вращения – от 45 до 355 мм.

Двигатели с высотами осей вращения до 71 мм выполняются на напряжение 380 В, остальные – 380 и 660 В при частоте 50 Гц, в экспортном исполнении – 60 Гц.

Обозначения двигателей серии

Пример базового обозначения:

АИР100М4,

где АИ – серия, Р – вариант увязки мощности с установочными размерами (может быть обозначение С), 100 – высота оси вращения, М – длина корпуса по установочным размерам, 4 – число полюсов.

Пример основного обозначения:

АИРБС100М4НПТ2,

где АИР100М4 – базовое обозначение, Б – закрытое исполнение с естественным охлаждением без обдува, С – с повышенным скольжением, Н – малошумные, П – с повышенной точностью установочных размеров, Т – для тропического климата, 2 – категория размещения.

Данные двигателей серии АИ базового исполнения приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические параметры и масса двигателей серии АИ
основного исполнения

| Тип | Значение параметров | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|---------------------------------------|--------|-------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| | Р, кВт | номинальная частота вращения, об/мин. | КПД, % | cos,φ | I _п /I _н | M _п /M _н | M _{max} /M _н | M _{min} /M _н | масса, кг |
| АИР56А2 | 0,18 | 2730 | 65,0 | 0,78 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 3,5 |
| АИР56В2 | 0,25 | 2700 | 66,0 | 0,79 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 3,8 |
| АИР56А4 | 0,12 | 1350 | 58,0 | 0,66 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 3,6 |
| АИР56В4 | 0,18 | 1350 | 60,0 | 0,68 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 4,2 |
| АИР63А2 | 0,37 | 2730 | 72,0 | 0,84 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 5,2 |
| АИР63В2 | 0,55 | 2730 | 75,0 | 0,81 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 6,1 |
| АИР63А4 | 0,25 | 1320 | 65,0 | 0,67 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 5,1 |
| АИР63В4 | 0,37 | 1320 | 68,0 | 0,70 | 5,0 | 2,2 | 2,2 | 1,8 | 6,0 |
| АИР63А6 | 0,18 | 860 | 56,0 | 0,62 | 4,0 | 2,2 | 2,2 | 1,6 | 4,8 |
| АИР63В6 | 0,25 | 860 | 59,0 | 0,62 | 4,0 | 2,2 | 2,2 | 1,6 | 5,6 |
| АИР71А2 | 0,75 | 2820 | 79,0 | 0,80 | 6,0 | 2,6 | 2,7 | 1,6 | 8,7 |
| АИР71В2 | 1,10 | 2800 | 79,5 | 0,80 | 6,0 | 2,2 | 2,4 | 1,6 | 9,5 |
| АИР71А4 | 0,55 | 1360 | 71,0 | 0,71 | 5,0 | 2,3 | 2,4 | 1,8 | 8,1 |
| АИР71В4 | 0,75 | 1350 | 72,0 | 0,75 | 5,0 | 2,5 | 2,6 | 2,4 | 9,4 |
| АИР71А6 | 0,37 | 900 | 65,0 | 0,63 | 4,5 | 2,1 | 2,2 | 1,6 | 8,6 |
| АИР71В6 | 0,55 | 920 | 69,0 | 0,68 | 4,5 | 1,9 | 2,2 | 1,6 | 9,9 |
| АИР71 В8 | 0,25 | 680 | 58,0 | 0,60 | 4,0 | 1,6 | 1,9 | 1,4 | 9,9 |
| АИР80А2 | 1,50 | 2880 | 82,0 | 0,85 | 6,5 | 2,2 | 2,6 | 1,8 | 12,4 |
| АИР80В2 | 2,20 | 2860 | 83,0 | 0,87 | 6,4 | 2,1 | 2,6 | 1,8 | 15,0 |
| АИР80А4 | 1,10 | 1420 | 76,5 | 0,77 | 5,0 | 2,2 | 2,4 | 1,7 | 11,9 |
| АИР80В4 | 1,50 | 1410 | 78,5 | 0,80 | 5,3 | 2,2 | 2,4 | 1,7 | 13,8 |
| АИР80А6 | 0,75 | 920 | 71,0 | 0,71 | 4,0 | 2,1 | 2,2 | 1,6 | 11,6 |
| АИР80В6 | 1,10 | 920 | 75,0 | 0,71 | 4,5 | 2,2 | 2,3 | 1,8 | 15,3 |
| АИР80А8 | 0,37 | 680 | 58,0 | 0,59 | 3,5 | 2,0 | 2,3 | 1,4 | 12,8 |
| АИР80 В8 | 0,55 | 680 | 58,0 | 0,60 | 3,5 | 2,0 | 2,1 | 1,4 | 14,8 |
| АИР90L2 | 3,00 | 2860 | 83,5 | 0,88 | 7,0 | 2,3 | 2,6 | 1,7 | 19,0 |
| АИР90 L4 | 2,20 | 1430 | 80,0 | 0,79 | 6,0 | 2,0 | 2,4 | 2,0 | 18,1 |
| АИР90 L6 | 1,50 | 940 | 76,0 | 0,70 | 5,0 | 2,0 | 2,3 | 1,9 | 19,0 |
| АИР90 LA8 | 0,75 | 700 | 70,0 | 0,71 | 4,0 | 1,5 | 2,0 | 1,5 | 17,7 |
| АИР90 LB8 | 1,10 | 710 | 74,0 | 0,72 | 4,5 | 1,5 | 2,2 | 1,5 | 20,5 |
| АИР100 S2 | 4,00 | 2850 | 87,0 | 0,88 | 7,5 | 2,0 | 2,4 | 1,6 | 26,0 |
| АИР100 L2 | 5,50 | 2850 | 88,0 | 0,88 | 7,5 | 2,1 | 2,4 | 1,6 | 31,5 |
| АИР100 S4 | 3,00 | 1410 | 82,0 | 0,82 | 7,0 | 2,0 | 2,2 | 1,6 | 23,0 |
| АИР100 L4 | 4,00 | 1410 | 85,0 | 0,84 | 7,0 | 2,1 | 2,4 | 1,6 | 29,2 |
| АИР100 L6 | 2,20 | 940 | 81,5 | 0,74 | 6,0 | 1,9 | 2,2 | 1,6 | 27,0 |
| АИР100 L8 | 1,50 | 710 | 76,0 | 0,75 | 3,7 | 1,6 | 2,0 | 1,5 | 24,0 |
| АИР112M2 | 7,50 | 2900 | 87,5 | 0,88 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 1,6 | 40,0 |
| АИР112M4 | 5,50 | 1430 | 85,5 | 0,86 | 7,0 | 2,0 | 2,5 | 1,6 | 38,5 |
| АИР112МА6 | 3,00 | 950 | 81,0 | 0,76 | 6,0 | 2,0 | 2,2 | 1,6 | 33,4 |
| АИР112МВ6 | 4,00 | 950 | 82,0 | 0,81 | 6,0 | 2,0 | 2,2 | 1,6 | 38,8 |
| АИР112МА8 | 2,20 | 700 | 76,5 | 0,71 | 6,0 | 1,8 | 2,2 | 1,4 | 33,4 |
| АИР112МВ8 | 3,00 | 700 | 79,0 | 0,74 | 6,0 | 1,8 | 2,2 | 1,4 | 39,0 |
| АИР132M2 | 11,00 | 2910 | 87,5 | 0,88 | 7,5 | 1,6 | 2,2 | 1,2 | 60,4 |
| АИР132S4 | 7,50 | 1440 | 86,0 | 0,83 | 7,5 | 2,0 | 2,5 | 1,6 | 53,5 |
| АИР132M4 | 11,00 | 1450 | 87,5 | 0,79 | 7,5 | 2,4 | 2,9 | 2,2 | 66,3 |
| АИР132S6 | 5,50 | 960 | 85,0 | 0,80 | 7,0 | 2,0 | 2,2 | 1,6 | 52,3 |
| АИР132M6 | 7,50 | 950 | 85,0 | 0,79 | 7,0 | 2,0 | 2,2 | 1,6 | 64,5 |
| АИР132S8 | 4,00 | 700 | 83,0 | 0,70 | 6,0 | 1,8 | 2,2 | 1,4 | 52,2 |
| АИР132M8 | 5,50 | 700 | 83,0 | 0,74 | 6,0 | 1,8 | 2,2 | 1,4 | 62,2 |
| АИР160S2 | 15,00 | 2920 | 90,5 | 0,89 | 7,0 | 2,1 | 3,0 | 2,0 | 95,7 |
| АИР160M2 | 18,50 | 2920 | 91,0 | 0,89 | 7,0 | 2,2 | 3,0 | 2,0 | 96,9 |
| АИР160S4 | 15,00 | 1460 | 89,5 | 0,86 | 6,5 | 2,3 | 2,7 | 2,0 | 97,1 |
| АИР160M4 | 18,50 | 1460 | 90,0 | 0,86 | 6,5 | 2,3 | 2,7 | 2,0 | 103,9 |
| АИР160S6 | 11,00 | 970 | 87,5 | 0,81 | 6,5 | 1,9 | 2,6 | 1,7 | 98,3 |
| АИР160M6 | 15,00 | 970 | 88,0 | 0,84 | 6,5 | 2,0 | 2,6 | 1,7 | 113,9 |
| АИР160S8 | 7,50 | 720 | 86,0 | 0,72 | 5,5 | 1,7 | 2,3 | 1,5 | 86,9 |
| АИР160M8 | 11,00 | 720 | 87,0 | 0,73 | 5,5 | 1,7 | 2,3 | 1,5 | 108,9 |
| АИР180S2 | 22,00 | 2930 | 90,5 | 0,88 | 7,0 | 2,2 | 2,9 | 2,0 | 118,9 |
| АИР180M2 | 30,00 | 2930 | 92,0 | 0,89 | 7,0 | 2,4 | 2,9 | 2,0 | 137,9 |
| АИР180S4 | 22,00 | 1460 | 91,0 | 0,86 | 6,8 | 2,4 | 2,5 | 1,6 | 129,9 |
| АИР180M4 | 30,00 | 1460 | 91,5 | 0,85 | 7,0 | 2,4 | 2,5 | 1,7 | 150,9 |
| АИР180M6 | 18,50 | 980 | 89,5 | 0,86 | 6,5 | 2,0 | 2,7 | 1,7 | 138,9 |
| АИР180M8 | 15,00 | 730 | 88,0 | 0,74 | 5,5 | 1,8 | 2,4 | 1,6 | 138,9 |

Электродвигатели с повышенным скольжением предназначены для привода механизмов с большой инерционностью, а также механизмов, работающих в повторно-кратковременном (S3) режиме. Скольжение при номинальной нагрузке у этих двигателей выше, чем у базовых, а критическое скольжение составляет около 40%, что достигается за счет повышения сопротивления обмотки ротора. Двигатели унифицированы с основным исполнением: в обозначении имеют дополнительную букву С после названия серии. Технические характеристики указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Технические параметры и масса двигателей серии АИ с повышенным скольжением

| Тип | Значения параметров | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|--------|-------|---------------------------|-------|---------|---------|-------|-----------|
| | Мощность, кВт при S3 ПВ 40% | Номинальная частота вращения, об/мин | КПД, % | cos φ | Критическое скольжение, % | Mп/Мн | Mmax/Мн | Mmin/Мн | In/In | Масса, кг |
| АИРС71А2 | 1,00 | 2700 | 69 | 0,88 | | 40 | 2 | 2,2 | 1,6 | 5,5 |
| АИРС71В2 | 1,20 | 2770 | 72 | 0,83 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 5,5 | 9,5 |
| АИРС71А4 | 0,60 | 1400 | 69 | 0,71 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 5 | 8,1 |
| АИРС71В4 | 0,80 | 1350 | 72 | 0,75 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 5 | 9,4 |
| АИРС71А6 | 0,40 | 930 | 62,5 | 0,7 | 1,9 | | 2,1 | 1,5 | 4,5 | 8,6 |
| АИРС71В6 | 0,63 | 930 | 66 | 0,66 | 1,9 | | 2,1 | 1,5 | 4,5 | 9,9 |
| АИРС71В8 | 0,37 | 670 | 50 | 0,61 | 1,8 | | 2 | 1,5 | 4 | 9,9 |
| АИРС80А2 | 1,90 | 2840 | 76 | 0,8 | 2,1 | | 2,2 | 1,6 | 6,5 | 12,4 |
| АИРС80В2 | 2,50 | 2800 | 76 | 0,86 | 2,1 | | 2,2 | 1,6 | 6,5 | 15 |
| АИРС80А4 | 1,32 | 1380 | 69 | 0,8 | 2,1 | | 2,2 | 1,6 | 5 | 11,9 |
| АИРС80В4 | 1,70 | 1380 | 71 | 0,82 | 2,1 | | 2,2 | 1,6 | 5 | 13,8 |
| АИРС80А6 | 0,75 | 910 | 67 | 0,73 | 2 | | 2,1 | 1,6 | 4 | 11,6 |
| АИРС80В6 | 1,25 | 890 | 66,5 | 0,73 | 2,1 | | 2,1 | 1,6 | 4 | 15,3 |
| АИРС80А8 | 0,45 | 680 | 57 | 0,64 | 1,4 | | 1,7 | 1,4 | 3 | 12,8 |
| АИРС80В8 | 0,60 | 680 | 60 | 0,64 | 1,4 | | 1,7 | 1,4 | 3 | 14,8 |
| АИРС90L2 | 3,50 | 2790 | 80 | 0,86 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 6,5 | 19 |
| АИРС90L4 | 2,40 | 1380 | 77 | 0,81 | 2,2 | | 2,2 | 2 | 6 | 18,1 |
| АИРС90L6 | 1,70 | 900 | 71 | 0,72 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 6 | 19 |
| АИРС90LA8 | 0,90 | 690 | 69 | 0,72 | 1,6 | | 1,9 | 1,5 | 3,5 | 17,7 |
| АИРС90LB8 | 1,20 | 680 | 67 | 0,72 | 1,6 | | 1,9 | 1,5 | 3,5 | 20,5 |
| АИРС100S2 | 4,80 | 2810 | 82 | 0,86 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 7,5 | 26,0 |
| АИРС100L2 | 6,30 | 2810 | 82 | 0,86 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 7,5 | 31,5 |
| АИРС100S4 | 3,20 | 1400 | 77 | 0,8 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 6 | 23,0 |
| АИРС100L4 | 4,25 | 1400 | 83 | 0,78 | 2,5 | | 2,5 | 2 | 6 | 29,0 |
| АИРС100L6 | 2,60 | 940 | 76 | 0,76 | 2 | | 2,2 | 1,6 | 6 | 27,0 |
| АИРС100L8 | 1,60 | 680 | 69,5 | 0,64 | 1,9 | | 2 | 1,6 | 5,5 | 24,0 |
| АИРС160S2 | 17,0 | 2860 | 88,0 | 0,92 | 2,6 | | 3,0 | 2,0 | 6,9 | 95,0 |
| АИРС160M2 | 20,0 | 2850 | 88,5 | 0,93 | 2,7 | | 3,0 | 2,0 | 7,1 | 96,9 |
| АИРС160S4 | 17,0 | 1400 | 85,5 | 0,85 | 2,8 | | 2,8 | 2,4 | 6,0 | 93,9 |
| АИРС160M4 | 20,0 | 1400 | 87,0 | 0,84 | 2,8 | | 2,8 | 2,4 | 6,5 | 103,9 |
| АИРС160S6 | 12,0 | 910 | 82,5 | 0,82 | 2,8 | | 2,8 | 2,4 | 5,5 | 88,9 |
| АИРС160M6 | 16,0 | 900 | 83,0 | 0,87 | 2,5 | | 2,8 | 2,4 | 5,5 | 113,9 |
| АИРС160S8 | 7,5 | 690 | 80,0 | 0,75 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 4,5 | 86,9 | |
| АИРС160M8 | 11,0 | 690 | 82,0 | 0,75 | 2,8 | 2,8 | 2,4 | 5,0 | 108,9 | |

Многоскоростные двигатели предназначены для привода механизмов, требующих ступенчатого регулирования частоты вращения. Технические характеристики указаны в таблице 6.

Таблица 6 – Технические параметры и масса многоскоростных двигателей серии АИ

| Тип | Значения параметров | | | | | | | | Масса, кг |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|---------|---------|-----------|
| | P, кВт | Номинальная частота вращения, об/мин | КПД, % | cos φ | In/Лн | Mп/Мн | Mmax/Мн | Mmin/Мн | |
| АИР63А4/2 | 0,19 | 1380 | 55,0 | 0,66 | 3,5 | 1,6 | 1,8 | 1,0 | 5,1 |
| | 0,265 | 2640 | 61,0 | 0,75 | 4,0 | 1,2 | 1,8 | 0,8 | |
| АИР63В4/2 | 0,265 | 1350 | 57,0 | 0,68 | 3,5 | 1,6 | 2,0 | 1,0 | 6,0 |
| | 0,37 | 2580 | 61,0 | 0,82 | 4,0 | 1,2 | 1,7 | 0,8 | |
| АИР71А4/2 | 0,48 | 1360 | 69,0 | 0,76 | 4,5 | 1,5 | 1,9 | 1,4 | 8,6 |
| | 0,62 | 2780 | 68,0 | 0,85 | 4,5 | 1,5 | 1,9 | 1,3 | |
| АИР71В4/2 | 0,71 | 1370 | 69,0 | 0,84 | 4,5 | 1,75 | 1,9 | 1,5 | 9,4 |
| | 0,85 | 2780 | 68,0 | 0,86 | 4,5 | 1,85 | 2,0 | 1,4 | |
| АИР80А4/2 | 1,12 | 1410 | 74,0 | 0,78 | 5,0 | 1,9 | 2,2 | 1,6 | 13,0 |
| | 1,50 | 2730 | 73,0 | 0,85 | 5,0 | 1,9 | 2,0 | 1,5 | |
| АИР80В4/2 | 1,50 | 1380 | 75,0 | 0,75 | 5,0 | 2,0 | 2,0 | 1,6 | 15,0 |
| | 2,00 | 2720 | 75,0 | 0,84 | 5,0 | 2,0 | 2,1 | 1,6 | |
| АИР90Л4/2 | 2,20 | 1430 | 79,0 | 0,83 | 6,0 | 1,9 | 2,4 | 1,6 | 19,7 |
| | 2,65 | 2850 | 76,0 | 0,82 | 6,0 | 2,0 | 2,4 | 1,5 | |
| АИР90Л6/4 | 1,32 | 930 | 74,0 | 0,68 | 5,0 | 1,6 | 1,9 | 1,5 | 19,6 |
| | 1,60 | 1430 | 74,0 | 0,85 | 5,5 | 1,6 | 2,1 | 1,2 | |
| АИР90Л8/4 | 0,80 | 710 | 62,0 | 0,60 | 3,0 | 1,7 | 2,0 | 1,6 | 19,0 |
| | 1,32 | 1410 | 75,0 | 0,86 | 5,0 | 1,5 | 2,0 | 1,3 | |
| АИР100S4/2 | 3,00 | 1430 | 82,0 | 0,84 | 5,5 | 2,1 | 2,4 | 1,6 | 24,2 |
| | 3,75 | 2790 | 80,0 | 0,90 | 5,5 | 2,0 | 2,4 | 1,6 | |
| АИР100Л4/2 | 4,00 | 1400 | 82,0 | 0,88 | 5,5 | 1,9 | 2,1 | 1,6 | 29,2 |
| | 4,75 | 2820 | 82,0 | 0,91 | 6,0 | 2,2 | 2,4 | 1,6 | |
| АИР100S6/4 | 1,70 | 940 | 76,0 | 0,76 | 4,5 | 1,3 | 1,8 | 1,3 | 22,5 |
| | 2,24 | 1400 | 80,0 | 0,86 | 5,5 | 1,3 | 1,9 | 1,2 | |
| АИР100Л6/4 | 2,12 | 950 | 77,0 | 0,73 | 4,5 | 1,4 | 2,0 | 1,3 | 27,1 |
| | 3,15 | 1430 | 80,0 | 0,86 | 5,5 | 1,5 | 2,1 | 1,4 | |
| АИР100S8/4 | 1,00 | 720 | 70,0 | 0,61 | 4,0 | 1,2 | 1,8 | 1,1 | 21,5 |
| | 1,70 | 1430 | 79,0 | 0,87 | 5,0 | 1,1 | 1,8 | 1,0 | |
| АИР100Л8/4 | 1,40 | 720 | 72,0 | 0,60 | 4,0 | 1,6 | 2,0 | 1,5 | 26,2 |
| | 2,36 | 1430 | 81,0 | 0,89 | 5,5 | 1,4 | 1,9 | 1,0 | |
| АИР100S8/6 | 1,00 | 710 | 72,0 | 0,64 | 5,0 | 1,4 | 2,0 | 1,3 | 22,0 |
| | 1,25 | 970 | 77,0 | 0,66 | 5,5 | 1,5 | 2,2 | 1,0 | |
| АИР100Л8/6 | 1,32 | 710 | 71,0 | 0,66 | 4,0 | 1,6 | 1,9 | 1,4 | 26,0 |
| | 1,80 | 960 | 76,0 | 0,73 | 5,0 | 1,4 | 2,0 | 0,9 | |
| АИР100S6/4/2 | 1,12 | 940 | 72,0 | 0,70 | 4,0 | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 23,0 |
| | 1,25 | 1440 | 72,0 | 0,74 | 5,0 | 1,4 | 2,2 | 1,4 | |
| | 1,60 | 2870 | 72,0 | 0,86 | 7,0 | 1,7 | 2,2 | 1,2 | |
| АИР100Л6/4/2 | 1,40 | 910 | 74,0 | 0,78 | 4,5 | 1,5 | 1,9 | 1,4 | 27,0 |
| | 1,50 | 1460 | 73,0 | 0,72 | 5,0 | 1,6 | 2,6 | 1,4 | |
| | 2,12 | 2880 | 75,0 | 0,82 | 5,0 | 1,4 | 2,3 | 1,4 | |
| АИР100S8/4/2 | 0,63 | 720 | 64,0 | 0,63 | 3,5 | 1,5 | 2,2 | 1,2 | 23,5 |
| | 1,32 | 1460 | 76,0 | 0,80 | 5,5 | 1,4 | 2,4 | 1,0 | |
| | 1,70 | 2900 | 75,0 | 0,90 | 6,0 | 1,2 | 2,2 | 0,7 | |
| АИР100Л8/4/2 | 0,90 | 710 | 63,0 | 0,65 | 4,0 | 1,2 | 1,9 | 1,2 | 28,2 |
| | 1,50 | 1460 | 78,0 | 0,81 | 6,0 | 1,3 | 2,4 | 1,1 | |
| | 2,10 | 2880 | 77,0 | 0,94 | 6,0 | 1,2 | 2,3 | 0,8 | |
| АИР100S8/6/4 | 0,56 | 710 | 54,0 | 0,48 | 3,5 | 1,2 | 2,3 | 1,2 | 23,0 |
| | 1,12 | 940 | 65,0 | 0,67 | 4,5 | 1,1 | 1,8 | 0,8 | |
| | 2,80 | 1410 | 78,0 | 0,70 | 6,0 | 2,6 | 3,1 | 2,5 | |
| АИР100Л8/6/4 | 0,71 | 700 | 57,0 | 0,52 | 3,4 | 1,8 | 2,2 | 1,7 | 27,5 |
| | 1,20 | 940 | 68,0 | 0,61 | 4,5 | 1,7 | 2,0 | 1,4 | |
| | 3,00 | 1430 | 79,0 | 0,66 | 7,5 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | |

| Тип | Значения параметров | | | | | | | | Масса, кг |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|--------|-------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
| | P, кВт | Номинальная частота вращения, об/мин | КПД, % | cos φ | I _n /I _н | M _n /M _н | M _{max} /M _н | M _{min} /M _н | |
| АИР112М8/4 | 2,20 | 710 | 70,0 | 0,65 | 5,0 | 1,2 | 1,8 | 1,0 | 38,6 |
| | 3,60 | 1420 | 77,0 | 0,88 | 6,0 | 1,2 | 1,6 | 1,0 | |
| АИР160S4/2 | 11,0 | 1460 | 89,5 | 0,84 | 7,0 | 1,6 | 2,9 | 1,6 | 99,8 |
| | 14,0 | 2790 | 85,5 | 0,90 | 7,0 | 1,6 | 2,9 | 1,0 | |
| АИР160M4/2 | 14,0 | 1460 | 89,5 | 0,86 | 7,0 | 1,5 | 2,9 | 1,5 | 103,9 |
| | 17,0 | 2930 | 86,5 | 0,91 | 7,0 | 1,6 | 2,9 | 1,0 | |
| АИР160S6/4 | 7,5 | 980 | 86,5 | 0,78 | 6,5 | 1,8 | 2,8 | 1,7 | 88,9 |
| | 8,5 | 1460 | 87,5 | 0,90 | 6,0 | 1,5 | 2,2 | 1,3 | |
| АИР160M6/4 | 11,0 | 980 | 87,5 | 0,79 | 6,5 | 1,7 | 2,8 | 1,7 | 113,9 |
| | 13,0 | 1460 | 88,0 | 0,91 | 6,0 | 1,4 | 2,1 | 1,4 | |
| АИР160S8/4 | 6,0 | 730 | 81,0 | 0,69 | 5,5 | 1,8 | 2,0 | 1,0 | 86,9 |
| | 9,0 | 1460 | 84,0 | 0,88 | 7,0 | 1,5 | 2,0 | 0,8 | |
| АИР160M8/4 | 9,0 | 730 | 81,5 | 0,71 | 5,5 | 1,5 | 2,0 | 1,0 | 108,9 |
| | 13,0 | 1460 | 84,0 | 0,89 | 7,0 | 1,5 | 2,0 | 0,8 | |
| АИР160S6/4/2 | 5,0 | 970 | 81,0 | 0,83 | 4,5 | 1,2 | 1,8 | 1,1 | 93,9 |
| | 5,5 | 1470 | 83,0 | 0,88 | 6,5 | 1,4 | 2,6 | 1,0 | |
| | 7,5 | 2920 | 82,0 | 0,90 | 6,5 | 1,7 | 2,8 | 0,8 | |
| АИР160M6/4/2 | 6,5 | 970 | 82,5 | 0,82 | 4,5 | 1,2 | 2,0 | 1,1 | 103,9 |
| | 7,5 | 1470 | 84,0 | 0,86 | 7,0 | 1,3 | 2,8 | 1,0 | |
| | 10,5 | 2920 | 84,0 | 0,90 | 7,0 | 1,4 | 2,7 | 0,8 | |
| АИР160S8/4/2 | 4,0 | 720 | 79,0 | 0,70 | 4,0 | 1,1 | 1,8 | 1,1 | 93,9 |
| | 5,0 | 1470 | 82,5 | 0,88 | 6,5 | 1,2 | 2,4 | 1,0 | |
| | 6,5 | 2920 | 81,0 | 0,95 | 6,5 | 1,6 | 2,7 | 0,8 | |
| АИР160M8/4/2 | 5,0 | 720 | 79,5 | 0,68 | 4,0 | 1,2 | 2,0 | 1,1 | 103,9 |
| | 7,5 | 1470 | 82,5 | 0,88 | 6,5 | 1,1 | 2,4 | 1,0 | |
| | 10,5 | 2930 | 82,5 | 0,90 | 7,0 | 1,2 | 2,6 | 0,8 | |

Выпускаются специализированные *электродвигатели для привода вентиляторов*, устанавливаемых в животноводческих и птицеводческих помещениях с искусственной вентиляцией. Они могут быть использованы для работы вне помещения.

Частота вращения двигателей АИРП 80-06 и АИРП 80 А6 может регулироваться в диапазоне 1:6 для различных типов путем регулирования питающего напряжения с помощью тиристорных преобразователей или автотрансформаторов. Двигатели устанавливаются на растяжках. Технические характеристики приведены в таблице 7.

Электродвигатели для привода моноблочных центробежных, циркуляционных и вихревых насосов могут применяться во всех отраслях промышленности и аграрного комплекса, в том числе помещениях с химически активной средой. Их характеристики приведены в таблице 8.

Технические характеристики *однофазных общепромышленных электродвигателей* серии АИРЕ приведены в таблице 9.

Таблица 7- Электродвигатели АИР для привода осевых вентиляторов
в животноводческих и птицеводческих помещениях

| Типоразмер | Мощность, кВт | Частота вращения, мин ⁻¹ | КПД, % | Скольжение, % | Cos φ | $\frac{M_{кзк}}{M_{ном}}$ | $\frac{M_{шк}}{M_{ном}}$ | $\frac{I_{кзк}}{I_{ном}}$ | Средний уровень звука, дБ(А) | Масса, кг | Частота сети, Гц | Напряжение, В |
|--------------|---------------|-------------------------------------|-----------|---------------|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|------------------|---------------|
| АИРП 80-О6 | 0,25 | 1000 | 66,0 | 10 | 0,76 | 1,4 | 1,6 | 4,0 | 55 | 9,0 | 50; 60 | 220; 380 |
| АИРП 80 А6 | 0,37 | 1000 | 67,5 | 10 | 0,78 | 1,4 | 1,6 | 4,0 | 55 | 9,9 | 50; 60 | 220; 380 |
| АИРП 80 А8/4 | 0,18/ 0,55 | 750/ 1500 | 56/ 75 | 8/ 5 | 0,62/ 0,70 | 1,5/ 2,6 | 1,9/ 3,2 | 3,5/ 7,0 | 61 | 10,9 | 50 | 380 |

Таблица 8 - Электродвигатели для привода моноблочных насосов

| Типоразмер | Мощность, кВт | Частота вращения, мин ⁻¹ | КПД, % | Cos φ | $\frac{M_{кзк}}{M_{ном}}$ | $\frac{M_{шк}}{M_{ном}}$ | $\frac{I_{кзк}}{I_{ном}}$ | Средний уровень звука, дБ(А) | Масса, кг |
|-------------------------|---------------|-------------------------------------|--------|-------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|
| АИР 80 А2 Ж, Ж2, Ж3 | 1,5 | 3000 | 81,0 | 0,85 | 2,0 | 2,2 | 7,0 | 65 | 13,1 |
| АИР 80 В2 Ж, Ж1, Ж2, Ж3 | 2,2 | 3000 | 82,0 | 0,87 | 2,0 | 2,2 | 7,0 | 65 | 15,7 |
| АИР 80 А4 Ж3 | 1,1 | 1500 | 75,5 | 0,77 | 2,0 | 2,2 | 5,0 | 58 | 12,4 |
| АИР 80 В4 Ж, Ж3 | 1,5 | 1500 | 77,5 | 0,80 | 2,0 | 2,2 | 5,5 | 58 | 14,8 |
| АИР 90 L2 Ж, Ж3 | 3,0 | 3000 | 83,5 | 0,90 | 2,0 | 2,2 | 7,0 | 68 | 20,0 |
| АИР 90 L4 Ж, Ж3 | 2,2 | 1500 | 80,5 | 0,82 | 2,0 | 2,2 | 6,5 | 58 | 19,4 |
| АИР 100 S2 Ж, Ж3 | 4,0 | 3000 | 84,0 | 0,88 | 2,0 | 2,2 | 6,0 | 77 | 23,5 |
| АИР 100 S4 Ж, Ж3 | 3,0 | 1500 | 80,0 | 0,74 | 1,8 | 2,2 | 6,0 | 69 | 22,6 |

Таблица 9 - технические характеристики однофазных общепромышленных электродвигателей серии АИРЕ

| Тип двигателя | Номин. мощн., кВт | Номин. частота вращ., мин ⁻¹ | Масса, кг | Номин. ток при U=380В, А | Номин. момент, Н м | $\frac{M_{кзк}}{M_{ном}}$ | $\frac{I_{кзк}}{I_{ном}}$ | $\frac{M_{шк}}{M_{ном}}$ | Динамич. момент инерции ротора, кг м2 | КПД, % | Cos φ |
|---------------|-------------------|---|-----------|--------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------|-------|
| АИРЕ 80 А2 | 1,1 | 2820 | 14,0 | 8,0 | 3,7 | 0,40 | 4,9 | 2,5 | 0,0019 | 69,0 | 0,91 |
| АИРЕ 80 А4 | 0,75 | 1420 | 13,0 | 5,1 | 5,0 | 0,45 | 4,0 | 2,3 | 0,0035 | 69,0 | 0,96 |
| АИРЕ 80 В2 | 1,5 | 2840 | 15,5 | 9,5 | 5,0 | 0,45 | 4,5 | 2,2 | 0,0022 | 74,0 | 0,97 |
| АИРЕ 80 В4 | 1,1 | 1410 | 14,7 | 7,1 | 7,4 | 0,47 | 3,8 | 2,3 | 0,0037 | 72,0 | 0,98 |
| АИРЕ 90 L2 | 2,2 | 2880 | 17,0 | 14,0 | | 0,25 | 5,0 | 2,0 | | 78,5 | 0,98 |
| АИРЕ 90 L4 | 1,5 | 1410 | 16,0 | 8,0 | | 0,30 | 3,0 | 1,5 | | 72,0 | 0,98 |

Асинхронные *крановые электродвигатели* с фазным ротором серии МТ предназначены для привода крановых и других механизмов, работающих в кратковременных и повторно-кратковременных режимах, в том числе с частыми пусками и электрическим торможением. Двигатели также используются в механизмах длительного режима работы.

Паспортные данные крановых асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором приведены в таблице 10.

Паспортные данные крановых асинхронных двигателей с фазным ротором приведены в таблице 11.

Таблица 10 - Технические характеристики асинхронных крановых электродвигателей с короткозамкнутым ротором

| Тип двигателя | Мощность, кВт | $M_{\text{макс}}/M_{\text{н}}$ | КПД, % | Коэффициент мощности | Высота оси вращения, мм | Класс нагревостойкости |
|---------------|---------------|--------------------------------|--------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| МТКФ 311-6 | 11 | 2,9 | 77,5 | 0,76 | 180 | F |
| МТКН 311-6 | 11 | 2,9 | 81 | 0,77 | 180 | H |
| МТКФ 311-8 | 7,5 | 2,7 | 73,5 | 0,71 | 180 | F |
| МТКН 311-8 | 7,5 | 2,7 | 78,5 | 0,69 | 180 | H |
| МТКФ 312-6 | 15 | 3,2 | 81 | 0,78 | 180 | F |
| МТКН 312-6 | 15 | 3,2 | 83 | 0,78 | 180 | H |
| МТКФ 312-8 | 11 | 2,9 | 78 | 0,74 | 180 | F |
| МТКН 312-8 | 11 | 2,9 | 81,5 | 0,7 | 180 | H |
| МТКФ 411-6 | 22 | 3,3 | 82,5 | 0,79 | 225 | F |
| МТКН 411-6 | 22 | 3,3 | 82,5 | 0,79 | 225 | H |
| МТКФ 411-8 | 15 | 3,2 | 80 | 0,71 | 225 | F |
| МТКН 411-8 | 15 | 3,2 | 80 | 0,71 | 225 | H |
| МТКФ 412-6 | 30 | 3,3 | 83,5 | 0,78 | 225 | F |
| МТКН 412-6 | 30 | 3,3 | 83,5 | 0,78 | 225 | H |
| МТКФ 412-8 | 22 | 3,2 | 80,5 | 0,69 | 225 | F |
| МТКН 412-8 | 22 | 3,2 | 80,5 | 0,69 | 225 | H |
| 4МТКМ 200 LA6 | 22 | 3,3 | 87 | 0,8 | 200 | H |
| 4МТКМ 200 LA8 | 15 | 3,2 | 83 | 0,7 | 200 | H |
| 4МТКМ 200 LB6 | 30 | 3,3 | 87,5 | 0,85 | 200 | H |
| 4МТКМ 200 LB8 | 22 | 3,2 | 83 | 0,75 | 200 | H |
| 4МТКМ 225 M6 | 37 | 3 | 85 | 0,86 | 225 | H |
| 4МТКМ 225 M8 | 30 | 2,8 | 84 | 0,75 | 225 | H |
| 4МТКМ 225 L6 | 55 | 3,4 | 86 | 0,87 | 225 | H |
| 4МТКМ 225 L8 | 37 | 2,8 | 85 | 0,78 | 225 | H |
| МТКН 511-6 | 37 | 3 | 85 | 0,86 | 250 | H |
| МТКН 511-8 | 30 | 2,8 | 84 | 0,75 | 250 | H |
| МТКН 512-6 | 55 | 3,4 | 86 | 0,87 | 250 | H |
| МТКН 512-8 | 37 | 2,8 | 85 | 0,78 | 250 | H |

Таблица 11 - Технические характеристики асинхронных крановых электродвигателей с фазным ротором

| Тип двигателя | Мощность, кВт при ПВ 40% | $M_{\text{макс}}/M_{\text{н}}$ | КПД, % | Коэффициент мощности | Высота оси вращения, мм | Класс нагревостойкости |
|---------------|--------------------------|--------------------------------|--------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| МТФ 311-6 | 11 | 3,0 | 80 | 0,71 | 180 | Н |
| МТН 311-6 | 11 | 3.0 | 80.0 | 0.71 | 180 | Н |
| МТФ 311-8 | 7,5 | 3,0 | 76 | 0,65 | 180 | Ф |
| МТН 311-8 | 7,5 | 3.0 | 76.0 | 0.65 | 180 | Н |
| МТФ 312-6 | 15 | 3,0 | 82 | 0,74 | 180 | Ф |
| МТН 312-6 | 15 | 3.0 | 82.0 | 0.74 | 180 | Н |
| МТФ312-8 | 11 | 3,0 | 78,5 | 0,74 | 180 | Ф |
| МТН 312-8 | 11 | 3,0 | 78.5 | 0.65 | 180 | Н |
| МТФ 411-6 | 22 | 2,8 | 86 | 0,76 | 225 | Ф |
| МТН 411-6 | 22 | 2,8 | 86 | 0,76 | 225 | Н |
| МТФ 411-8 | 15 | 3,2 | 83 | 0,62 | 225 | Ф |
| МТН 411-8 | 15 | 3,2 | 83 | 0,62 | 225 | Н |
| МТФ 412-6 | 30 | 2,8 | 87 | 0,79 | 225 | Ф |
| МТН 412-6 | 30 | 2.8 | 87.0 | 0.79 | 225 | Н |
| МТФ 412-8 | 22 | 3,0 | 83 | 0,7 | 225 | Ф |
| МТН 412-8 | 22 | 3,0 | 83 | 0,7 | 225 | Н |
| 4МТМ 200 LA6 | 22.0 | 2.8 | 86.0 | 0.76 | 200 | Н |
| 4МТМ 200 LA8 | 15.0 | 3.2 | 83.0 | 0.62 | 200 | Н |
| 4МТМ 200 LB6 | 30.0 | 2.8 | 87.0 | 0.79 | 200 | Н |
| 4МТМ 200 LB8 | 22.0 | 3.0 | 83.0 | 0.7 | 225 | Н |
| 4МТМ 225 M6 | 37.0 | 3.0 | 87.0 | 0.81 | 225 | Н |
| 4МТМ 225 M8 | 30.0 | 2.9 | 85.0 | 0.72 | 225 | Н |
| 4МТМ 225 L6 | 55.0 | 2.9 | 88.0 | 0.81 | 225 | Н |
| МКАФ 225 L6 | 55.0 | 2.9 | 88.0 | 0.81 | 225 | Н |
| 4МТМ 225 L8 | 37.0 | 2.9 | 86.0 | 0.74 | 225 | Н |
| МТН 511-6 | 37.0 | 3.0 | 87.0 | 0.81 | | Н |
| МТН 511-8 | 30.0 | 2.9 | 85.0 | 0.72 | | Н |
| МТН 512-6 | 55.0 | 2.9 | 88.0 | 0.81 | | Н |
| МТН 512-8 | 37.0 | 2.9 | 86.0 | 0.74 | | Н |
| 4МТМ 280 S6 | 75.0 | 3.2 | 89.0 | 0.86 | 280 | Н |
| 4МТМ 280 L6 | 110.0 | 3.5 | 91.0 | 0.85 | 280 | Н |
| 4МТМ 280 M8 | 55.0 | 3.2 | 89.0 | 0.81 | 280 | Н |
| 4МТМ 280 L8 | 75.0 | 3.5 | 91.0 | 0.80 | 280 | Н |
| 4МТМ 280 S10 | 45.0 | 3.0 | 86.0 | 0.73 | 280 | Н |
| 4МТМ 280 M10 | 60.0 | 3.2 | 88.0 | 0.74 | 280 | Н |
| 4МТМ 280 L10 | 75.0 | 3.0 | 89.0 | 0.73 | 280 | Н |
| МТН 611-10 | 45.0 | 3.0 | 86.0 | 0.73 | | Н |
| МТН 612-10 | 60.0 | 3.2 | 88.0 | 0.74 | | Н |
| МТН 612-10 | 110.0 | 3.5 | 91.0 | 0.85 | | Н |

В настоящее время начат выпуск *электродвигателей серии 7АИ*. Они имеют ту же, что и для двигателей серии АИ систему обозначений. Технические характеристики двигателей серии 7АИ приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Технические характеристики электродвигателей серии 7АИ базового исполнения

| ТИП | Р, кВт | Ток, А при 380В | частота вращения, мин ⁻¹ | КПД (%) | cos φ | M _{max} /M _н | M _п /M _н | I _п /I _н | Вес кг |
|----------|--------|--------------------|---|---------|-------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 7АИ100L6 | 2.2 | 5.6 | 920 | 76 | 0.76 | 2.1 | 2.1 | 6.5 | 38 |
| 7АИ100S4 | 3 | 6.8 | 1410 | 82.0 | 0.82 | 2.3 | 2.3 | 7.0 | 34 |
| 7АИ132S4 | 7.5 | 15.6 | 1440 | 87.2 | 0.84 | 2.3 | 2.3 | 7.0 | 75 |
| 7АИ132S6 | 5.5 | 12.9 | 960 | 84.0 | 0.77 | 2.1 | 2.1 | 6.5 | 71 |
| 7АИ160M2 | 18.5 | 34.7 | 2930 | 90.0 | 0.90 | 2.3 | 2.2 | 7.5 | 141 |
| 7АИ160M4 | 18.5 | 36.0 | 1450 | 90.5 | 0.86 | 2.3 | 2.2 | 7.5 | 150 |
| 7АИ160S2 | 15 | 28.8 | 2930 | 89.0 | 0.89 | 2.3 | 2.2 | 7.5 | 118 |
| 7АИ160S4 | 15 | 30.1 | 1460 | 89.0 | 0.85 | 2.3 | 2.2 | 7.5 | 125 |
| 7АИ160S6 | 11 | 24.2 | 970 | 87.5 | 0.79 | 2.1 | 2.0 | 6.5 | 134 |
| 7АИ160S8 | 7.5 | 17.8 | 720 | 85.5 | 0.75 | 2.0 | 2.0 | 6.0 | 137 |
| 7АИ160M6 | 15 | 33 | 965 | 89.0 | 0.78 | 2.1 | 2.1 | 7.0 | 154 |
| 7АИ160M8 | 11 | 24.9 | 710 | 87.0 | 0.77 | 2.0 | 2.0 | 6.6 | 152 |
| 7АИ180S2 | 22 | 41 | 2940 | 90.5 | 0.90 | 2.3 | 2.0 | 7.5 | 170 |
| 7АИ180S4 | 22 | 43.2 | 1470 | 91.0 | 0.85 | 2.3 | 2.2 | 7.5 | 185 |
| 7АИ180M2 | 30 | 55 | 2940 | 91.4 | 0.90 | 2.3 | 2.0 | 7.5 | 203 |
| 7АИ180M4 | 30 | 56.3 | 1470 | 91.4 | 0.86 | 2.3 | 2.2 | 7.2 | 201 |
| 7АИ200L2 | 45 | 82.3 | 2950 | 92.3 | 0.90 | 2.3 | 2.0 | 7.5 | 282 |
| 7АИ200L4 | 45 | 85 | 1470 | 92.6 | 0.87 | 2.3 | 2.2 | 7.2 | 280 |
| 7АИ200M2 | 37 | 67.9 | 2950 | 92.0 | 0.90 | 2.3 | 2.0 | 7.5 | 255 |
| 7АИ200M6 | 22 | 44.7 | 980 | 90.0 | 0.83 | 2.1 | 2.1 | 7.0 | 260 |
| 7АИ200M4 | 37 | 70.9 | 1460 | 91.0 | 0.92 | 2.3 | 2.2 | 7.2 | 248 |
| 7АИ225M4 | 55 | 101.8 | 1470 | 92.0 | 0.89 | 2.3 | 2.2 | 7.2 | 331 |
| 7АИ315M2 | 200 | 348 | 2975 | 94.8 | 0.92 | 2.2 | 1.8 | 7.1 | 1082 |
| 7АИ315S2 | 160 | 279 | 2975 | 94.6 | 0.92 | 2.2 | 1.8 | 7.1 | 1024 |
| 7АИ315S4 | 160 | 287.8 | 1480 | 94.9 | 0.89 | 2.2 | 2.1 | 6.9 | 1000 |
| 7АИ315S6 | 110 | 206 | 980 | 94.0 | 0.86 | 2.0 | 2.0 | 6.7 | 1045 |
| 7АИ315S8 | 90 | 178 | 735 | 93.8 | 0.83 | 2.0 | 1.8 | 6.6 | 1050 |
| 7АИ315M4 | 200 | 359.4 | 1480 | 95.0 | 0.89 | 2.2 | 2.1 | 6.9 | 1128 |
| 7АИ315M6 | 132 | 244 | 980 | 94.2 | 0.87 | 2.0 | 2.0 | 6.7 | 1194 |
| 7АИ315M8 | 110 | 217 | 735 | 94.0 | 0.82 | 2.0 | 1.8 | 6.4 | 1132 |
| 7АИ355M4 | 315 | 556 | 1490/1480 | 95.6 | 0.90 | 2.2 | 2.1 | 6.9 | 2698 |
| 7АИ355M6 | 200 | 365/356,4 | 990 | 94.7 | 0.88 | 2.0 | 1.9 | 6.7 | 2020 |
| 7АИ355M8 | 160 | 315/307,2 | 740 | 94.2 | 0.82 | 2.0 | 1.8 | 6.4 | 2048 |
| 7АИ355S4 | 250 | 443/439,5 | 1490/1480 | 95.3 | 0.90 | 2.2 | 2.1 | 6.9 | 2050 |
| 7АИ355S6 | 160 | 292/286,6 | 990 | 94.5 | 0.88 | 2.0 | 1.9 | 6.7 | 1696 |
| 7АИ355S8 | 132 | 261/255,3 | 740 | 93.7 | 0.82 | 2.0 | 1.8 | 6.4 | 1689 |

3. Расчетные данные для определения основных параметров асинхронных двигателей

| Наименование величин | Формула | Принятые обозначения |
|---|--|---|
| Потребляемая активная мощность из сети, кВт | $P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos \varphi$ | U_1, I_1 - линейные значения напряжения, В , и тока двигателя, А; P_2 – полезная мощность на валу, кВт; M, η -вращающий момент кГм, КПД двигателя; $n_{ном}$ - номинальная скорость вращения ротора, мин ⁻¹ |
| Потребляемая реактивная мощность, кВАр | $Q_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \sin \varphi$ | |
| Полезная мощность на валу | $P_2 = P_1 \cdot \eta$ | |
| Потребляемый двигателем ток, А | $I_1 = \frac{P_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_1 \eta \cos \varphi}$ | |
| Вращающий момент двигателя, кГ м | $M = 975 \frac{P_2}{n_{ном}}$ | |
| Синхронная скорость вращения поля, об/мин | $n_1 = 60 f_1 / p$ | |
| Скольжение двигателя | $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$ | n_1 -скорость вращения магнитного поля статора, мин ⁻¹ ; f_1 - частота питающего тока, Гц; p - число пар полюсов машины |
| Скорость вращения ротора, об/мин | $n = n_1(1 - s)$ | n -скорость вращения ротора при нагрузке, мин ⁻¹ ; |
| ЭДС обмоток статора и ротора, В | $E_1 = 4.44 k_{об1} w_1 f_1 \Phi$ $E_2 = 4.44 k_{об2} w_2 f_2 \Phi$ | $k_{об1}$ $k_{об2}$ - обмоточные коэффициенты статора и ротора, равные произведению коэффициентов укорочения; k_y - шага и распределения обмотки; w_1 w_2 - число витков обмоток статора и ротора; m_1 m_2 - числа фаз в обмотках статора и ротора. У двигателей с фазным ротором $m_2=3$, у двигателей с короткозамкнутым ротором $m_2=$, т.е. числу пазов в роторе |
| Коэффициент трансформации по напряжению и по току | $k_e = \frac{w_1 k_{об1}}{w_2 k_{об2}}$ $k_i = \frac{m_1 w_1 k_{об1}}{m_2 w_2 k_{об2}}$ | |
| Параметры схемы замещения, Ом | $z_k = \frac{U_{\phi 1}}{I_k} = \frac{U_{\phi 1}}{I_{II}};$ $r_k = \frac{\Delta P_k}{3 I_u^2}$ $r_k = r_1 + r_2'$ $x_k = x_1 + x_2';$ $r_2' = r_2 k_e k_i$ $x_2' = x_2 k_e k_i$ | z_k r_k x_k - полное, активное и индуктивное сопротивления КЗ двигателя, Ом; I_{II} - пусковой ток, А; ΔP_k - суммарные потери в меди статора и ротора двигателя, Вт; r_1 x_1 - активное и индуктивное сопротивления обмоток статора, Ом; |

| | | |
|---|---|---|
| | | $r_2' x_2'$ - активное и индуктивное сопротивление ротора, приведенные к обмотке статора, Ом; |
| Ток холостого хода, А | $I_x = I_H \left(\sin \varphi - \frac{1}{2k_M} \cos \varphi \right)$ | $I_H \cos \varphi$ - номинальный ток и коэффициент мощности, определяемый по паспорту; $\sin \varphi$ - коэффициент реактивной мощности; k_M - коэффициент перегрузочной способности; s_H - скольжение при номинальной нагрузке; |
| Критическое скольжение | $s_k = s_H \left(k_M + \sqrt{k_M^2 + 1} \right)$ | |
| Уравнение вращающего момента | $M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$ | |
| Скольжение двигателя при введении добавочного сопротивления в ротор | $s_2 = s_H \frac{r_1 + r_{доб}}{r_2}$ | |
| КПД двигателя при введении добавочного сопротивления в ротор | $\eta_2 = \eta_1 - s_2 + s_H$ | |
| Уравнение вращающего момента при добавочном сопротивлении в цепи ротора | $M = M_{\max} \frac{2}{\frac{s_{кр.доб}}{s} + \frac{s}{s_{кр.доб}}}$ | |

4. Синхронные машины

Схема синхронной машины показана на рисунке 2. Синхронная машина отличается от асинхронной тем, что ток в обмотке ротора появляется не при вращении ее в магнитном поле статора, а подводится к ней от постороннего источника постоянного тока. Статор синхронной машины выполнен так же, как и асинхронной и на нем обычно расположена трехфазная обмотка. Обмотка ротора образует магнитную систему с тем же числом полюсов $2p$, что и у статора. Она создает магнитный поток возбуждения и называется обмоткой возбуждения. Вращающаяся обмотка ротора соединяется с внешней цепью источника постоянного тока с помощью контактных колец и щеток. При вращении ротора с частотой n_2 его магнитное поле возбуждения наводит в статоре ЭДС E_1 , частота которой

$$f_1 = (p \cdot n_2) / 60$$

При подсоединении обмотки статора к нагрузке протекающий по ней ток будет создавать магнитный поток, частота вращения которого

$$n_1 = 60f_1 / p$$

Из сравнения этих выражений видно, что $n_1 = n_2$ т. е. магнитные поля статора и ротора вращаются с одинаковой частотой, поэтому такие машины называются синхронными.

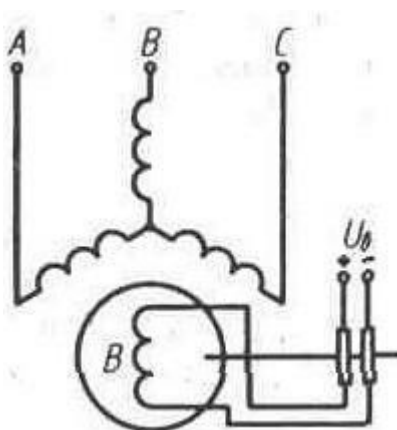


Рисунок 2 - Схема синхронной машины:

B – обмотка возбуждения, U_b – напряжение в цепи возбуждения

Результирующий магнитный поток создается совместным действием обмоток возбуждения и статора и вращается с той же частотой, что и ротор.

Обмотка якоря в синхронной машине – обмотка, в которой индуцируется ЭДС и к которой присоединяется нагрузка.

Индуктор в синхронной машине – часть машины, на которой расположена обмотка возбуждения.

В схеме на рисунке 2 статор является якорем, а ротор – индуктором, но может быть и обратная схема, в которой статор – индуктор и ротор – якорь.

Синхронная машина может работать генератором или двигателем.

В машине с неподвижным якорем применяются две разновидности ротора: явнополюсный ротор (имеет явно выраженные полюсы), неявнополюсный ротор (не имеет явно выраженных полюсов).

Постоянный ток в обмотку возбуждения синхронной машины может подаваться от специального генератора постоянного тока, установленного на валу машины и называемого возбудителем, или от сети через полупроводниковый выпрямитель.

Наибольшее распространение получил генераторный режим работы синхронных машин, и почти вся электроэнергия вырабатывается синхронными генераторами.

Синхронные двигатели применяются при мощности более 600 кВт и до 1 кВт как микродвигатели.

Синхронные генераторы на напряжение до 1000 В применяются в агрегатах для автономных систем электроснабжения. Данные некоторых таких генераторов приведены в таблице 8. Агрегаты с этими генераторами могут быть стационарными и передвижными. Большинство агрегатов применяются с дизельными двигателями, но приводом их могут быть газовые турбины, электродвигатели и бензиновые двигатели.

Таблица 13 – Синхронные явнополюсные генераторы для автономных энергетических систем

| Тип генератора | $P_{н}$, кВт | $U_{н}$, В | $I_{н}$, А | n , об/мин |
|--------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| СГ2–85/45–12 | 314 | 400 | 361 | 500 |
| СГД103–8 | 100 | 400/230 | 180/314 | 750 |
| СГД2–17–36–16УХЛ4 | 630 | 400 | 1140 | 375 |
| СГД2–17–44–16УВ–04 | 630 | 400 | 1140 | 375 |
| ОС–92 | 100 | 400/230 | 180/314 | 1500 |
| ЕСС–52–4 | 5 | 400/230 | 9/15,7 | 1500 |
| ЕСС–91–4 | 50 | 400/230 | 90/157 | 1500 |
| ГСФ–100М | 100 | 400/230 | 181/314 | 1500 |

Для бензоэлектрических агрегатов, с самовозбуждением

| | | | | |
|---------------|---|-----|------|-----|
| ГАБ–8–Т/230–М | 8 | 230 | 20 | 750 |
| ГАБ–8–Т/400–М | 8 | 400 | 11,5 | 750 |

Генераторы синхронные бесщеточные серии ГС. Предназначены для продолжительного режима работы в стационарных и передвижных электроустановках в качестве источника трехфазного тока аварийного электроснабжения; быстрого ввода в действие и приема нагрузки; параллельной работы с промышленной сетью и другими генераторами; специального электроснабжения потребителей, требующих высокое качество электрической энергии.

Технические характеристики генераторов серии ГС приведены в таблицах 14, 15, 16.

Таблица 14 - Основные технические характеристики генераторов синхронных бесщёточных ГС-8, ГС-16, ГС-24 и ГС-30-50

| Параметры | тип генератора | | | |
|--|----------------------|-------|-------|----------|
| | ГС-8 | ГС-16 | ГС-24 | ГС-30-50 |
| 1. Номинальная мощность, кВт | 8 | 16 | 24 | 30 |
| 2. Напряжение, В | 230(400) | 400 | | |
| 3. Частота тока, Гц | 50 | | | |
| 4. Номинальный коэффициент мощности, $\cos\varphi$ | 0,8 (индуктивный) | | | |
| 5. Номинальный ток, А | 14,5 | 29 | 43 | 54 |
| 6. КПД, % | 83,0 | 86,0 | 88,0 | 90,4 |
| 7. Частота вращения, об/мин | 1500 | | | |
| 8. Режим работы | S1 (продолжительный) | | | |
| 9. Система возбуждения | бесщёточная | | | |
| 10. Установка напряжения $U_{н}$, % | от -10 до +5 | | | |

| | | | | |
|--|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| 11. Установившиеся отклонение напряжения при изменении нагрузки от 0 до номинальной U_n , % | ±1 | | | |
| 12. Отклонение напряжения в процессе прогрева до установившейся температуры от U_n , % | 0,5 | | | |
| 13. Переходное отклонение напряжения при сбросе или набросе нагрузки U_n , %: □ 50%, номинальной □ 100%, номинальной | ±10 ±20 | | | |
| при этом время восстановления напряжения, с (не более) | 0,5 (при набросе) 0,1 (при сбросе) | | | |
| 14. Коэффициент небаланса линейных напряжений при холостом ходе, % (не более) | 1 | | | |
| 15. Коэффициент искажения синусоидальной кривой линейного напряжения U_n , % (не более) | 5 | | | |
| 20. Масса, кг. | 146 | 200 | 214 | 288 |

Таблица 15 - Основные технические данные и характеристики генераторов ГС-60М1 и ГС-100М1

| Основные параметры | Тип генератора | |
|--|----------------------------------|----------|
| | ГС-60М1 | ГС-100М1 |
| 1 | 2 | 3 |
| 1. Номинальная мощность, кВт | 60 | 100 |
| 2. Номинальное напряжение, В | 400 | |
| 3. Ток, А | 108 | 180 |
| 4. Частота тока, Гц | 50 | |
| 5. Частота вращения, об/мин | 1500 | |
| 6. Коэффициент мощности ($\cos\phi$) | 0,8(при отстающем токе)) | |
| 7. Уставка напряжения, % от U_n | от минус 10 до +5 | |
| 8. Установившееся отклонение напряжения при изменении нагрузки от 0 до номинальной, % от U_n | ±1 | |
| 9. Переходное отклонение напряжения при сбросе/набросе номинальной нагрузки от 0 до номинальной, % от U_n , при этом время восстановления напряжения в зону регулирования, с | ±25 не более 2,0 | |
| 10. Коэффициент полезного действия, % | 90,0 | 90,6 |
| 11. Класс изоляции | H ГОСТ 8865-93 | |
| 12. Режим работы | S1 ГОСТ 183-74 (продолжительный) | |

Таблица 16 - Основные технические характеристики генераторов синхронных бесщёточных серии ГС-60, ГС-100, ГС-200 и ГС-315

| Параметры\наименование | ГС-60 | ГС-100 | ГС-200 | ГС-315 |
|--|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1. Номинальная мощность, кВт | 60 | 100 | 200 | 315 |
| 2. Напряжение, В | 400 | | | |
| 3. Частота тока, Гц | 50 | | | |
| 4. Номинальный коэффициент мощности, cosφ | 0,8 (индуктивный) | | | |
| 5. Номинальный ток, А | 108 | 180 | 360 | 570 |
| 6. КПД, % | 91,7 | 92,5 | 94 | 95 |
| 7. Частота вращения, об/мин | 1500 | | | |
| 8. Режим работы | S1 (продолжительный) | | | |
| 9. Система возбуждения | бесщёточная | | | |
| 10. Установка напряжения U_H , % | от -10 до +5 | | | |
| 11. Установившиеся отклонение напряжения при изменении нагрузки от 0 до номинальной U_H , % | ±1 | | | |
| 12. Отклонение напряжения в процессе прогрева до установившейся температуры от U_H , % | 0,5 | | | |
| 13. Переходное отклонение напряжения при сбросе или набросе нагрузки $U_{ном}$, %: <input type="checkbox"/> 50%, номинальной <input type="checkbox"/> 100%, номинальной | ±10 ±20 | | | |
| при этом время восстановления напряжения, с (не более) | 0,3 (при набросе) 0,3 (при сбросе) | | | |
| 14. Коэффициент небаланса линейных напряжений при холостом ходе, % (не более) | 1 | | | |
| 19. Масса, кг. | 424 | 542 | 890 | 1230 |

5. Основные расчетные формулы по синхронным машинам

| Определяемый параметр | формула | обозначения |
|---|---|---|
| Частота токов статора | $f_1 = n_2 p / 60$ | n_2 - частота вращения ротора, p - число пар полюсов. |
| ЭДС возбуждения синхронной машины | $E_0 = 4,44 f_1 \Phi w_1 k_{об1}$ | f_1 - частота токов статора, Φ - магнитный поток, w_1 - число витков обмотки статора, $k_{об1}$ - обмоточный коэффициент статора. |
| электромагнитный момент синхронной машины | $M_{я} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2 \omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$ | θ - угол рассогласования полей статора и ротора, ω_1 - синхронная скорость вращения, |

| | | |
|--|--|---|
| | | U_1 - напряжение статора m_1 - число фаз статора, x_q, x_d - внутренние сопротивления по поперечной и продольной осям |
| электромагнитная мощность синхронного генератора | $P_{эм} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$ | |
| ударный ток короткого замыкания | $I_{к.наиб.} = \frac{E_0}{x_d''}$ | x_d'' - сверхпереходное сопротивление |
| ток короткого замыкания | $I_k' = \frac{E_0}{x_d'}$ | x_d' - переходное сопротивление |
| установившийся ток короткого замыкания | $I_{к.уст.} = \frac{E_0}{x_d}$ | x_d - внутреннее сопротивление по продольной оси |

$$T_{э} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot s_K},$$

$$M = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + a \cdot |s_K|)}{\frac{s}{|s_K|} + \frac{|s_K|}{s} + 2 \cdot a \cdot |s_K|}, \quad \text{где } a = \frac{R_1}{R_2'}$$

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s_a}{s_{AK}} + \frac{s_{AK}}{s_a}}, \quad M_K = \frac{3 \cdot U_H^2}{2 \cdot \omega_{0H} \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_K^2})}$$

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_0 \cdot s_{AK}}, \quad \text{модуль жесткости механической характеристики}$$

6. Машины постоянного тока

Схема машины постоянного тока показана на рисунке 3. Обмотка якоря 2 расположена на роторе и представляет собой замкнутую многофазную обмотку, подключенную к коллектору, состоящему из коллекторных пластин 3, изолированных друг от друга, и щеток А и В. Коллектор связывает обмотку якоря с внешней цепью нагрузки при работе машины генератором или с сетью питания при работе двигателем. Обмотка возбуждения располагается на полюсах статора и присоединяется к независимому источнику постоянного тока или к якорю. Магнитный поток возбуждения Φ_B этой обмотки неподвижен в пространстве.

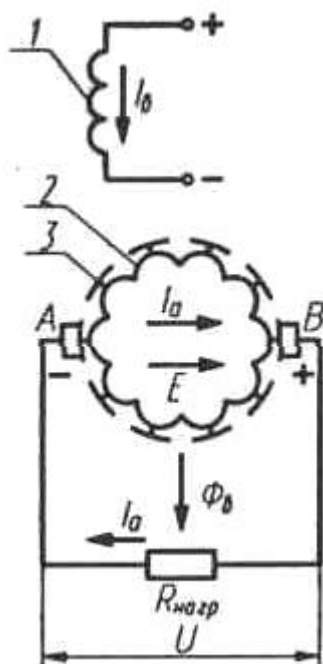


Рисунок 3 - Схема машины постоянного тока:

1 – обмотка возбуждения, 2 – обмотка якоря, 3 – пластины коллектора, A, B – щетки, Φ_0 – магнитный поток возбуждения.

При вращении обмотки якоря в неподвижном магнитном поле в ней индуцируется ЭДС с частотой

$$f_2 = p \cdot n / 60$$

Коллектор осуществляет согласование частоты f_2 с частотой сети постоянного тока $f_1 = 0$, т. е. преобразует переменную ЭДС, индуцированную в обмотке якоря, в постоянную ЭДС между щетками A и B коллектора, и во внешней цепи протекает постоянный ток.

При холостом ходе машины магнитный поток создается только обмоткой возбуждения. При работе машины под нагрузкой обмотка якоря создает свой магнитный поток.

Реакция якоря машины постоянного тока — воздействие магнитного поля якоря на магнитное поле машины. В результате реакции якоря магнитное поле машины искажается, что ведет к искрению под щетками. Кроме того, под действием реакции якоря магнитный поток машины при насыщенной магнитной цепи уменьшается, что приводит к уменьшению ЭДС по сравнению с ее значением при холостом ходе.

Для исключения этого явления делают некоторые изменения в конструкции машины, но действенной мерой является применение компенсационной обмотки, которая располагается в пазах главных полюсов и включается последовательно в цепь якоря таким образом, чтобы ее намагничивающая сила была направлена встречно с намагничивающей силой якоря и компенсировала ее действие. Компенсационная обмотка применяется в машинах средней и большой мощности.

Генераторы постоянного тока

Свойства генераторов зависят от способа питания их обмоток возбуждения, и в зависимости от этого они подразделяются на группы:

- 1 – генераторы с независимым возбуждением, обмотка возбуждения которых получает питание от независимого источника;
- 2 – генераторы с параллельным возбуждением, обмотка возбуждения которых присоединяется параллельно обмотке якоря;
- 3 – генераторы с последовательным возбуждением, обмотка возбуждения которых включается последовательно с обмоткой якоря;
- 4 – генераторы со смешанным возбуждением, у которых применяются обмотки параллельная и последовательная.

Двигатели постоянного тока

Свойства двигателей, как и генераторов, различаются в зависимости от способа включения обмотки возбуждения. Применяются двигатели с последовательным возбуждением – рисунок 4, с параллельным возбуждением – рисунок 5а, со смешанным возбуждением – рисунок 5б.

Новым поколением двигателей постоянного тока являются двигатели серии 4П. Они различаются:

- 1 – по регулировочным свойствам – с нормальным регулированием частоты вращения – до 1 : 5, и с широким регулированием – до 1 : 1000;

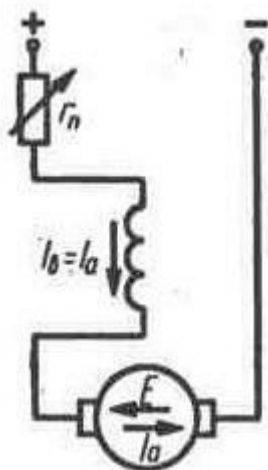


Рисунок 4 - Схема двигателя с последовательным возбуждением:

R_n – сопротивление регулирующего реостата цепи последовательного возбуждения.

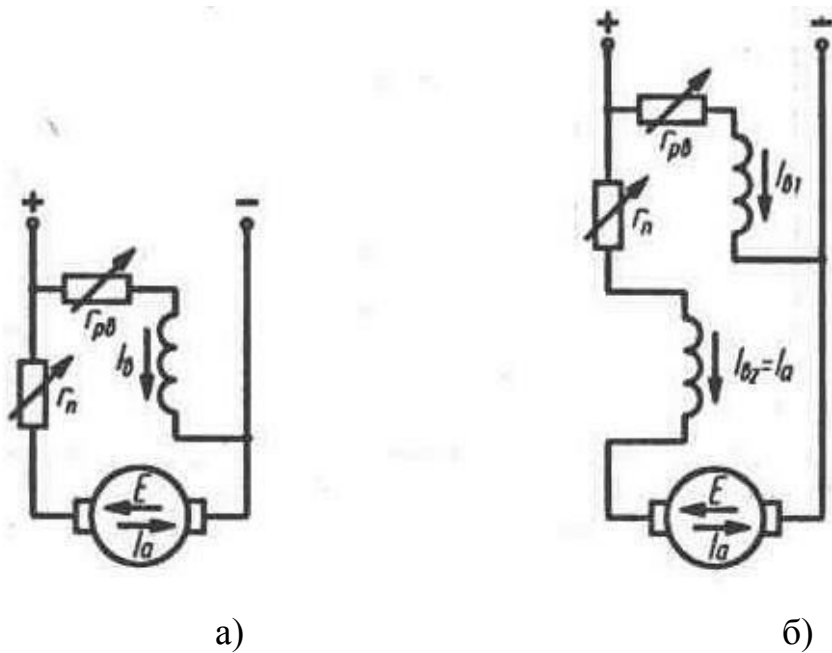


Рисунок 5 – Схемы двигателей с параллельным (а) и смешанным (б) возбуждением.

2 – по типу конструкции: закрытые со степенью защиты IP44; защищенные со степенью защиты IP23;

3 – по условиям эксплуатации:

нормальным, соответствующим значениям климатических факторов внешней среды УХЛ4 и в части воздействия механических факторов внешней среды – группе М1;

тяжелым условиям эксплуатации (УХЛ3 и М8), соответствующим работе во вспомогательных механизмах металлургического производства и др.

Для большинства двигателей номинальное напряжение – 110 и 220 В, диапазон частот вращения – 750...4000 об/мин.

Таблица 17 - Структура условного обозначения электродвигателей серии 4П

| 4П | Б | 80 | А | 2 | Г | О4 |
|-------|---|---------------------|--|---|--|--|
| серия | степень защиты и способ охлаждения: Б – закрытое с естественным охлаждением; О – закрытое с наружным обдувом от вентилятора на валу двигателя | высота оси вращения | условная длина корпуса по МЭК 72-1 (А, В, S, L, М) | условная длина сердечника якоря: 1 – первая длина, 2 – вторая длина | с тахогенератором (без него – пропуск) | климатическое исполнение и категория размещения: УХЛ4 – умеренный и холодный климат; О4 – общеклиматическое исполнение |

Данные двигателей серии 4П показаны в таблице 18.

Таблица 18 - Технические характеристики электродвигателей постоянного тока серии 4П

| Тип Двигателя | Номинальная мощность, кВт | | Номинальное напряжение, В | Ток якоря, А | | Номинальная Частота вращения, мин ⁻¹ |
|---------------|---------------------------|-------|---------------------------|--------------|------|---|
| | УХ4 | 04 | | УХЛ4 | 04 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4ПО80А2 | 0,25 | 0,225 | 110 | 3,5 | 3,2 | 1000 |
| | | | 220 | 1,8 | 1,6 | |
| | 0,37 | 0,33 | 110 | 5,0 | 4,5 | 1500 |
| | | | 220 | 2,5 | 2,25 | |
| | 0,55 | 0,50 | 110 | 7,0 | 6,3 | 2200 |
| | | | 220 | 3,5 | 3,1 | |
| | 0,75 | 0,67 | 110 | 9,4 | 8,5 | 3000 |
| | | | 220 | 4,7 | 4,2 | |
| 4ПО80В1 | 0,37 | 0,33 | 110 | 4,8 | 4,3 | 1000 |
| | | | 220 | 2,4 | 2,07 | |
| | 0,55 | 0,50 | 110 | 7,4 | 6,7 | 1500 |
| | | | 220 | 3,7 | 3,3 | |
| | 0,75 | 0,675 | 110 | 9,4 | 8,5 | 2200 |
| | | | 220 | 4,7 | 4,2 | |
| | 1,1 | 1,0 | 110 | 13,0 | 12,0 | 3000 |
| | | | 220 | 6,5 | 5,9 | |
| 4ПБ80А2 | 0,18 | 0,16 | 110 | 2,8 | 2,52 | 1000 |
| | | | 220 | 1,4 | 1,26 | |
| | 0,25 | 0,225 | 110 | 3,4 | 3,0 | 1500 |
| | | | 220 | 1,7 | 1,5 | |
| | 0,37 | 0,33 | 110 | 4,6 | 4,1 | 2200 |
| | | | 220 | 2,3 | 2,1 | |
| | 0,55 | 0,50 | 110 | 7,0 | 6,3 | 3000 |
| | | | 220 | 3,5 | 3,1 | |
| 4ПБ80В1 | 0,25 | 0,225 | 110 | 3,4 | 6,3 | 1000 |
| | | | 220 | 1,7 | 3,1 | |
| | 0,37 | 0,33 | 110 | 4,8 | 3,0 | 1500 |
| | | | 220 | 2,4 | 1,5 | |
| | 0,55 | 0,50 | 110 | 6,8 | 4,4 | 2200 |
| | | | 220 | 3,4 | 2,2 | |
| | 0,80 | 0,72 | 110 | 9,2 | 6,1 | 3000 |
| | | | 220 | 4,6 | 3,1 | |
| 4ПО100S1 | 0,37 | 0,33 | 110 | 5,0 | 4,5 | 750 |
| | | | 220 | 2,3 | 2,1 | |
| | 0,55 | 0,50 | 110 | 7,3 | 6,6 | 1000 |
| | | | 220 | 3,5 | 3,15 | |
| | 0,75 | 0,67 | 110 | 9,2 | 8,3 | 1500 |
| | | | 220 | 4,5 | 4,05 | |
| | 1,1 | 1,0 | 110 | 12,8 | 10,2 | 2200 |
| | | | 220 | 6,4 | 5,8 | |
| | 1,6 | 1,45 | 110 | 19,0 | 17,2 | 3000 |
| | | | 220 | 9,5 | 8,6 | |

| Тип Двигателя | Номинальная мощность, кВт | | Номинальное напряжение, В | Ток якоря, А | | Номинальная Частота вращения, мин ⁻¹ |
|---------------|---------------------------|-------|---------------------------|--------------|------|---|
| | УХ4 | 04 | | УХЛ4 | 04 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4ПО100S2 | 0,55 | 0,55 | 110 | 7,4 | 6,6 | 750 |
| | | | 220 | 3,7 | 3,3 | |
| | 0,75 | 0,675 | 110 | 10,0 | 9,0 | 1000 |
| | | | 220 | 5,0 | 4,5 | |
| | 1,1 | 1,0 | 110 | 12,7 | 11,4 | 1500 |
| | | | 220 | 6,5 | 5,85 | |
| 1,5 | 1,35 | 110 | 17,4 | 15,7 | 2200 | |
| | | 220 | 8,7 | 7,8 | | |
| 2,2 | 2,0 | 110 | 25,2 | 22,7 | 3000 | |
| | | 220 | 12,2 | 11,0 | | |
| 4ПО100L1 | 0,75 | 0,675 | 110 | 9,8 | 8,8 | 750 |
| | | | 220 | 4,9 | 4,4 | |
| | 1,1 | 1,0 | 110 | 13,8 | 12,4 | 1000 |
| | | | 220 | 6,9 | 6,2 | |
| | 1,5 | 1,35 | 110 | 17,4 | 15,7 | 1500 |
| | | | 220 | 8,7 | 7,8 | |
| 2,2 | 2,0 | 110 | 25,4 | 22,9 | 2200 | |
| | | 220 | 12,7 | 11,4 | | |
| 3,0 | 2,7 | 220 | 16,4 | 14,8 | 3000 | |
| 4ПБ100S1 | 0,25 | 0,225 | 110 | 3,0 | 2,8 | 750 |
| | | | 220 | 1,7 | 1,58 | |
| | 0,37 | 0,33 | 110 | 4,8 | 4,3 | 1000 |
| | | | 220 | 2,4 | 2,2 | |
| | 0,55 | 0,50 | 110 | 6,6 | 6,0 | 1500 |
| | | | 220 | 3,3 | 3,0 | |
| 0,75 | 1,675 | 110 | 8,6 | 7,8 | 2200 | |
| | | 220 | 4,3 | 3,9 | | |
| 1,1 | 1,0 | 110 | 12,8 | 11,9 | 3000 | |
| | | 220 | 6,4 | 5,8 | | |
| 4ПБ100S2 | 0,37 | 0,33 | 110 | 5,0 | 4,5 | 750 |
| | | | 220 | 2,5 | 2,2 | |
| | 0,5 | 0,45 | 110 | 6,0 | 5,4 | 1000 |
| | | | 220 | 3,0 | 2,7 | |
| | 0,75 | 0,675 | 110 | 9,0 | 8,2 | 1500 |
| | | | 220 | 4,5 | 4,1 | |
| 1,1 | 1,0 | 110 | 12,6 | 11,3 | 2200 | |
| | | 220 | 6,3 | 5,7 | | |
| 1,5 | 1,35 | 110 | 16,6 | 15,0 | 3000 | |
| | | 220 | 8,3 | 7,5 | | |

Продолжение таблицы 18

| Тип Двигателя | Номинальная мощность, кВт | | Номинальное напряжение, В | Ток якоря, А | | Номинальная Частота вращения, мин ⁻¹ |
|---------------|---------------------------|-------|---------------------------|--------------|-------|---|
| | УХ4 | 04 | | УХЛ4 | 04 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4ПБ100L1 | 0,45 | 0,405 | 110 | 6,0 | 3,0 | 750 |
| | | | 220 | 3,0 | 2,7 | |
| | 0,6 | 0,54 | 110 | 7,6 | 6,8 | 1000 |
| | | | 220 | 3,8 | 3,4 | |
| | 1,1 | 1,0 | 110 | 13,2 | 11,9 | 1500 |
| | | | 220 | 6,6 | 5,9 | |
| 1,3 | 1,17 | 110 | 15,0 | 13,5 | 2200 | |
| | | 220 | 7,5 | 6,8 | | |
| 1,8 | 1,62 | 220 | 9,8 | 8,8 | 3000 | |
| 4ПО112М1 | 1,5 | 1,35 | 110 | 18,2 | 16,4 | 1000 |
| | | | 220 | 9,0 | 8,1 | |
| | 2,2 | 2,0 | 220 | 12,5 | 11,3 | 1500 |
| | 3,0 | 2,7 | 220 | 17,0 | 15,3 | 2200 |
| 4,0 | 3,6 | 220 | 22,1 | 19,9 | 3000 | |
| 4ПО112М2 | 1,5 | 1,35 | 220 | 9,7 | 8,7 | 750 |
| | 2,2 | 2,0 | 220 | 12,9 | 11,6 | 1000 |
| | 2,5 | 2,25 | 220 | 28,0 | 25,2 | 1500 |
| | 3,0 | 2,7 | 220 | 17,0 | 15,3 | 1500 |
| | 4,0 | 3,6 | 220 | 21,3 | 19,5 | 2200 |
| | 5,5 | 5,0 | 220 | 29,0 | 26,1 | 3000 |
| 4ПБ112М1 | 0,55 | 0,5 | 110 | 6,8 | 6,1 | 750 |
| | | | 220 | 3,4 | 3,0 | |
| | 0,75 | 0,675 | 110 | 9,0 | 8,1 | 1000 |
| | | | 220 | 4,5 | 4,0 | |
| | 1,3 | 1,17 | 110 | 15,2 | 13,8 | 1500 |
| | | | 220 | 7,6 | 6,9 | |
| | 1,5 | 1,35 | 110 | 17,0 | 15,3 | 2200 |
| | | | 220 | 8,5 | 7,6 | |
| 2,2 | 2,0 | 110 | 24,0 | 21,6 | 3000 | |
| | | 220 | 12,0 | 10,8 | | |
| 4ПБ112М2 | 1,0 | 0,9 | 110 | 11,6 | 10,4 | 1000 |
| | | | 220 | 5,8 | 5,2 | |
| | 1,5 | 1,35 | 110 | 16,5 | 14,85 | 1500 |
| | | | 220 | 8,0 | 7,2 | |
| | 2,2 | 2,0 | 110 | 23,2 | 20,8 | 2200 |
| | | | 220 | 11,6 | 10,5 | |
| 3,0 | 2,7 | 220 | 16,2 | 14,6 | 3000 | |

Универсальные коллекторные двигатели

Широко применяются в устройствах автоматики и в бытовых машинах. Питание двигателей может осуществляться как от источников переменного однофазного тока, так и от источников постоянного тока. По принципу устройства двигатель сходен с двигателем последовательного возбуждения. Отличие заключается в конструкции магнитной системы и в том, что катушки его обмотки возбуждения состоят из двух секций с промежуточными выводами – рисунок 8. Секционирование обмотки делается потому, что при работе на переменном токе из-за падения напряжения в индуктивном сопротивлении обмоток частота вращения двигателя оказывается меньше, чем на постоянном токе. Для выравнивания скоростей при работе на постоянном токе включаются все витки обмотки возбуждения, а при работе на переменном токе только часть их.

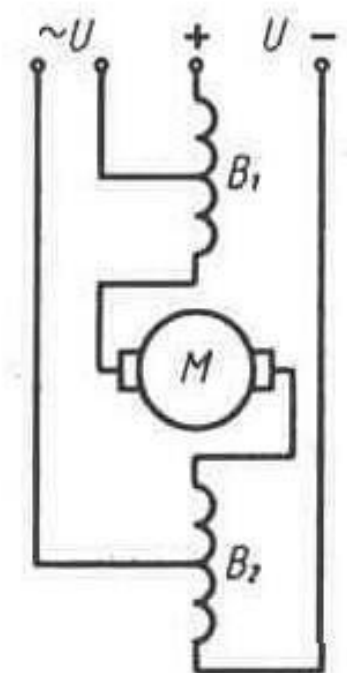


Рисунок 6 - Схема универсального коллекторного микродвигателя:
 B_1, B_2 – обмотки возбуждения.

7. Формулы для определения основных параметров машин постоянного тока

| Наименование величин | Формула | Принятые обозначения |
|---|--|--|
| Мощность, кВт | $P = UI$ | I – ток машины, А; U – внешнее напряжение, В; |
| Токи генератора и двигателя, А | $I_{\Gamma} = I_a - i_B$ $I_{дв} = I_a + i_B$ | I_a – ток якоря; i_a – ток параллельной обмотки возбуждения, А; |
| Внешнее напряжение, В | $U = E - I_a \Sigma R_a$ $U = E - I_a \Sigma R_a$ | ΣR_a – сумма сопротивлений якорной цепи, Ом; E – ЭДС машины, В; |
| ЭДС, В | $E = \frac{N}{a} \cdot \frac{p}{60} n \Phi$ $E = C_e n \Phi$ $C_e = \frac{Np}{a60}$ | N – число проводников обмотки якоря; a – число пар параллельных ветвей в обмотке якоря; p – число пар полюсов; n – скорость вращения, об/мин; |
| Сопротивление якорной цепи, Ом | $\Sigma R_a = R_{я} + R_c + R_{доб}$ | Φ – магнитный поток пары полюсов, вебр; $R_{я}, R_c, R_{доб}$ – сопротивление обмотки якоря, последовательной обмотки возбуждения и добавочных полюсов, Ом; |
| Ориентировочное значение сопротивления цепи якоря, Ом | $\Sigma R_a = \beta (1 - \eta_{НОМ}) \frac{U_{НОМ}}{I_{НОМ}}$ | Значение коэффициента β двигателей различного типа возбуждения: а) для независимого и параллельного возбуждения $\beta = 0,5$; б) для смешенного $\beta = 0,6$; в) для последовательного $\beta = 0,75$; |
| КПД двигателя и генератора | $\eta_{дв} = \frac{P_2}{UI}$ $\eta_{дв} = 1 - \frac{\Sigma \Delta P}{UI}$ $\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{\Sigma \Delta P}{UI + \Sigma \Delta P}$ | $\Sigma \Delta P$ – Сумма потерь в машине, кВт; ΔP_k – потери холостого хода машины или постоянные потери, кВт; ΔP_a – потери на возбуждение, кВт; |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Суммарные потери, кВт</p> | $\sum \Delta P = \Delta P_x + k_3 \Delta P_{\text{щ}} + k_3^2 \Delta P_k$ $\Delta P_x = \Delta P_B + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{СТ}} + \Delta P_{\text{вент}} + \Delta P_{\text{доб}}$ $k_3 = \frac{P_2}{P_{2H}}$ $\Delta P_{\text{щ}} = I_H \Delta U_{\text{щ}}$ | <p>ΔP - механические потери на трение в подшипниках и о коллектор, кВт; ΔP - магнитные потери в стали якоря, кВт; ΔP - вентиляционные потери, кВт; ΔP - добавочные потери в некомпенсированных машинах; $\Delta P = 1\%$ P_B в компенсированных 0,5 %, кВт</p> |
| <p>Переменные потери</p> | $\Delta P_k = I_{\text{ан}}^2 \sum (R_a - R_c)$ | <p>k_3 - коэффициент загрузки; $\Delta U = 2\text{В}$ для графитовых щеток; $\Delta U = 0,6\text{В}$ для металлографитных;</p> |
| <p>Номинальный вращающий момент, кГм</p> | $M_H = 975 \frac{P_{2H}}{n_H}$ $M_H = C_M \Phi I_a$ | <p>C_M - конструктивная постоянная момент Φ - магнитный поток, вебер</p> |
| <p>Расчетные коэффициенты для двигателя параллельного возбуждения</p> | $C_M = \frac{C_e}{1.05}$ $C_e = 1.05 C_M$ | |
| <p>Скоростная характеристика двигателя</p> | $n = \frac{U}{C_a \Phi} - \frac{\sum R_a}{C_e \Phi} I_a$ | |

8. Выбор электродвигателей

Тип, мощность и частота вращения двигателя для данного механизма обычно известны по паспорту установленного на нем двигателя, а если неизвестны, то потребная мощность двигателя рассчитывается по специальным формулам для каждого механизма.

Частота вращения двигателя должна быть равна частоте вращения, необходимой для приводимого механизма, если их валы соединяются непосредственно, или должна быть больше потребной частоты вращения механизма с учетом уменьшения ее редуктором, установленным между валами двигателя и механизма.

Для выбора электродвигателя надо знать режим работы механизма, который он будет приводить в движение, и условия среды, в которой будут работать механизм с двигателем.

Могут быть следующие режимы работы в соответствии с режимами работы приводимых механизмов.

- S1 – номинальный режим работы, при котором двигатель работает достаточно длительно с номинальной мощностью при достижении установившейся температуры.
- S2 – кратковременный режим с длительностью периода неизменной номинальной нагрузки 10, 30, 60 и 90 мин.
- S3 – повторно-кратковременный режим с продолжительностью включения ПВ = 15, 25 и 60%, продолжительность одного цикла принимается равной 10 мин.
- S4 – повторно-кратковременный с частыми пусками, с ПВ = 15, 25, 40 и 60%, с числом включений в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции FI = 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4; 6,3 и 10, где коэффициент инерции FI – отношение момента инерции нагрузки к моменту инерции ротора двигателя.
- S5 – повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением с ПВ = 15, 25, 40 и 60%, с числом включений в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции FI = 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4.
- S6 – перемежающийся, с ПВ = 15, 25, 40 и 60%, продолжительность одного цикла 10 мин.
- S7 – перемежающийся с частыми реверсами при электрическом торможении, с числом реверсов в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции FI = 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4.
- S8 – перемежающийся с двумя или более частотами вращения, с числом циклов в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции FI = 1,2; 1,6; 2; 2,5 и 4.

Зная потребные мощность и частоту вращения двигателя, можно его выбрать по каталогу с ближайшей большей мощностью по сравнению с расчетной, но выбирать нужно из двигателей такого исполнения, которое соответствует условиям внешней среды, где будет установлен двигатель, и режиму работы механизма.

Если нет двигателя в исполнении, соответствующем внешней среде, то придется применять двигатель в нормальном исполнении, но тогда нужно принять меры для защиты его от влияния внешней среды (будка, навес, обертка целлофаном и т. д.), при этом важно не нарушить нормального охлаждения двигателя при работе.

9. Монтаж двигателей

Двигатель небольшой мощности, поступающий вместе с механизмом, обычно установлен на раме и соединен передачей с механизмом.

Двигатели большой мощности для транспортировки снимаются и перевозятся отдельно. Для них также готово место на механизме или специальная рама, которая укрепляется болтами, приваривается и заливается бетоном. Монтаж двигателя в таких случаях заключается в установке его на подготовленное место, что делается силами собственного электрохозяйства или при большом объеме работ силами специализированных монтажных организаций. При этом двигатель укрепляется, присоединяется к механизму через имеющуюся передачу и присоединяется к электрической сети. Остальные работы выполняются при наладке.

При монтаже двигателя, прежде всего, обращается внимание на положение осей валов двигателя и механизма. Если валы соединяются непосредственно, то их оси должны лежать на одной линии. Это лучше всего проверить по положению торцовых частей полумуфт: если они параллельны, то оси лежат на одной линии, при этом также должны совпадать боковые части полумуфт. Положение оси двигателя при креплении его на лапах можно регулировать подкладками под лапы около болтов крепления. При фланцевом креплении двигателя правильное положение осей обеспечивается равномерной затяжкой болтов крепления. Для предупреждения откручивания гаек и ослабления крепления двигателя под гайки подкладываются сначала обычные плоские шайбы, а на них пружинные. При отсутствии пружинных шайб могут применяться вторые гайки – контргайки.

Замена двигателей

Замена двигателей производится, когда они выходят из строя и снимаются для капитального ремонта. Сама замена не сложна, если готов такой же двигатель для замены. Но в электрохозяйстве может быть установлено множество двигателей различных типов и мощностей, поэтому для каждого двигателя может не быть такого же для замены.

При отсутствии для замены двигателя той же серии можно его заменить двигателем другой серии, при этом полезно знать взаимозаменяемые двигатели разных серий. В таблице 19 приводятся пары взаимозаменяемых двигателей серии А02 и 4А с одинаковыми диаметрами концов валов и окружностями крепления фланцев фланцевых двигателей.

Таблица 19 – Взаимозаменяемые двигатели

| Типоразмер двигателя серии АО2 | Соответствующий типоразмер двигателя серии 4А |
|--------------------------------|---|
| АО2–21 | 4А80 |
| АО2–31 | 4А100 |
| АО2–41 | 4А112 |
| АО2–51 | 4А132 |
| АО2–61 | 4А160S, М, 2 полюса |
| АО2–71 | 4А160S, М, 4, 6, 8 полюсов 4А180S, М, 2 полюса |
| АО2–81 | 4А200L, М, 4, 6, 8 полюсов |
| АО2–91 | 4А280S, М, 2 полюса |

У последней пары двигателей не совпадают диаметры окружностей отверстий крепления фланцев. У двигателей серии 4А буквы S, М или L, М обозначают условные длины статора, при которых диаметры валов одинаковы, указаны число полюсов обмотки статора, при которых диаметры валов одинаковы.

У остальных близких по мощности и частоте вращения двигателей диаметры валов не совпадают. При этом не следует пытаться заменить только статор, потому что у разных серий двигателей, хотя они близки по параметрам, статоры разные.

Подготовка двигателей к включению в сеть и к работе

После монтажа нового двигателя вместе с новым механизмом или после замены двигателя производится его подготовка к включению с целью выявления неисправностей и дефектов монтажа не только двигателя, но и электрического и механического оборудования, с ним связанного.

При больших объемах работ подготовка к включению производится при наладке электрического и механического оборудования силами специализированных пуско-наладочных организаций по специальной программе.

При подготовке двигателей к включению и к работе производится:

- внешний осмотр;
- проверка схемы соединения обмоток;
- измерение сопротивления изоляции
- пробный пуск двигателя;
- проверка работы двигателя на холостом ходу и под нагрузкой.

Внешний осмотр

При внешнем осмотре проверяются:

- соответствие данных паспорта электродвигателя проекту, механизму и условиям окружающей среды в месте работы двигателя;
- отсутствие механических повреждений корпуса, коробки выводов, вентилятора охлаждения;
- отсутствие повреждений подводящих проводов (нарушений изоляции, скрытых под изоляцией обрывов и изломов);
- возможность вращения вала от руки, отсутствие заеданий и торможений; враще-

ние ротора проверяется воздействием на деталь, установленную на валу или, при ее недоступности, на вентилятор двигателя наличие заземляющих проводников от электродвигателя до места присоединения к сети заземления.

Проверка схемы соединения обмоток

Большинство двигателей в коробках зажимов имеют шесть выводов, соответствующих началам и концам их фазных обмоток.

Обычно выводы всех фаз обмотки статора двигателя расположены в коробке зажимов согласно рисунка 2а. Такое расположение дает возможность получить соединение фазных обмоток статора в звезду при соединении горизонтально перемычками нижних зажимов и в треугольник при соединении вертикальных пар зажимов (рисунок 7 б, в).

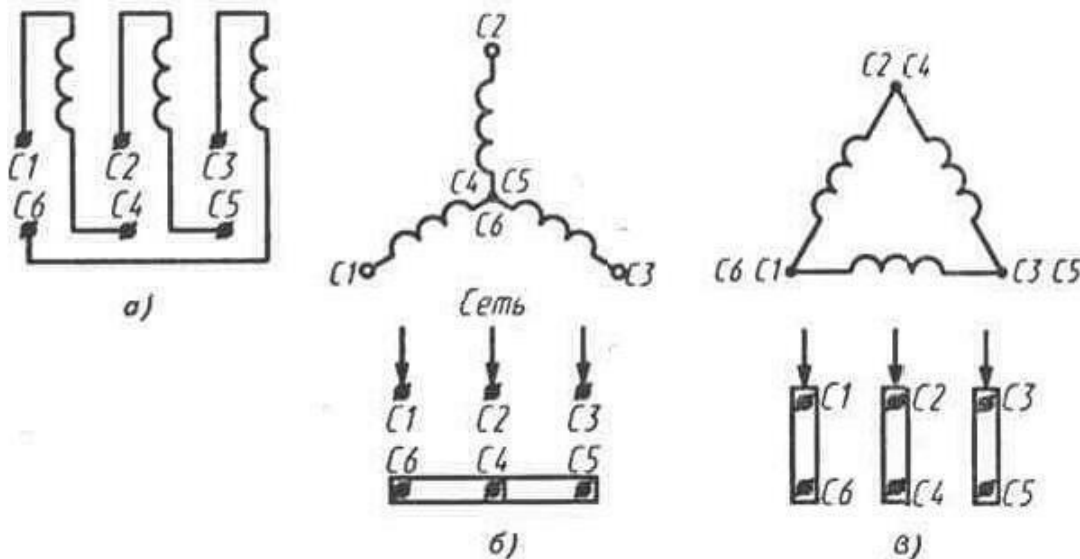


Рисунок 7 - Выводы обмоток статора трехфазного асинхронного электродвигателя: а) схема присоединения начал и концов обмоток к зажимам колодки в выводной коробке; б) схема включения обмоток статора в звезду и соединение выводных зажимов; в) схема включения обмоток статора в треугольник и соединение выводных зажимов.

В некоторых двигателях обмотки фаз статора соединены в звезду и в коробке зажимов находятся только выводы C1, C2 и C3.

Следует учесть, что выводные концы обмоток фаз двигателя одеваются на шпильки и прижимаются гайками, которые могут быть слабо затянуты, поэтому нужно проверять крепление выводных концов их пошатыванием. При слабом креплении этих концов нужно отсоединять подводящие провода и перемычки и затягивать гайки крепления выводных концов обмотки двигателя.

Измерение сопротивления изоляции

Величина сопротивления изоляции электрических машин должна быть не менее 1 кОм на 1 В номинального напряжения машины.

Пробный пуск двигателя

Электродвигатель включают на 2...3 с и проверяют:

- направление вращения;
- работу вращающихся частей двигателя и вращающихся и движущихся частей механизма;
- действие пусковой аппаратуры.

При любых признаках неисправности электрической или механической части двигатель останавливается и неисправности устраняются.

Нужное направление вращения механизма бывает на нем обозначено стрелкой. Нужно также помнить, что при правильном направлении вращения рабочих колес турбомашин (насосов, вентиляторов и т. д.) их лопасти загнуты назад относительно направления вращения.

Правильное направление вращения двигателей транспортирующих машин (транспортеров, шнековых и ковшовых подъемников и др.) определяется по движению их рабочих органов.

Для изменения вращения двигателя достаточно отсоединить от зажимов два провода, подводящих напряжение к двигателю, поменять их местами и снова присоединить. Обычно это делается на выходе пускового аппарата.

Кратковременное включение повторяют 2-3 раза, увеличивая продолжительность включения.

Проверка электродвигателя на холостом ходу и под нагрузкой

Проверку электродвигателя на холостом ходу производят при отсоединенном механизме. Если отсоединить механизм нельзя, то проводится проверка при ненагруженном механизме. Продолжительность проверки - 1ч.

При этом проверяют нагрев подшипников, корпуса двигателя, наличие вибрации, характер шума подшипников.

При ненормальном шуме подшипников и их перегреве двигатель приходится разбирать и устранять причину. При невозможности устранить причину ненормальной работы подшипника он заменяется.

При повышенном нагреве корпуса двигателя (большем, чем у других нормально работающих двигателей) он останавливается и производится проверка прилегания контактов в аппаратах, через которые подводится напряжение к двигателю, проверка плотности затягивания зажимов проводов, начиная от выводных концов в коробке двигателя.

При исправности цепи, подводящей напряжение к двигателю, и его повышенном нагреве он должен отправляться в капитальный ремонт. Перед этим у него должно быть проверено соответствие обозначений выводных концов фазных обмоток, измерено сопротивление обмоток постоянному току, что делается при наладке опытными специалистами.

После проверки двигателя на холостом ходу начинается его проверка под нагрузкой. При нормальной работе двигателя в течение 20...30 мин с механизмом далее продолжается его обкатка вместе с механизмом не менее 8 ч. При этом прирабатываются подвижные детали механизмов, проверяется на нагрев электрооборудование, выявляются его слабые места. Режим обкатки определяется механиками, производившими монтаж технологического оборудования.

Способы пуска в ход асинхронных двигателей

Схемы пуска двигателей в ход должны предусматривать создание большого пускового момента при небольшом пусковом токе и, следовательно, при небольшом падении напряжения при пуске. При этом может требоваться плавный пуск, повышенный пусковой момент и т. д.

На практике применяются следующие способы пуска:

- непосредственное присоединение к сети – прямой пуск;
- понижение напряжения при пуске;
- включение сопротивления в цепь ротора в двигателях с фазовым ротором.

Прямой пуск применяется для двигателей с короткозамкнутым ротором. Для

этого они проектируются так, чтобы пусковые токи, протекающие в обмотке статора, не создавали больших механических усилий в обмотках и не приводили к их перегреву. Но при прямом пуске двигателей большой мощности в сети могут возникать недопустимые падения напряжения. Такое может быть в маломощной сети или при большом удалении от подстанции пускаемого двигателя.

В маломощной сети условия пуска двигателя ухудшаются для самого двигателя, ухудшается работа уже включенных двигателей и ламп накаливания, поэтому должны быть ограничения по мощности двигателя в зависимости от вида нагрузки сети и количества пусков двигателя.

Литература

1. Елифанов А.П. Электрические машины: учеб. для вузов. СПб.: Лань, 2006.
2. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2006.
3. Елифанов А.П., Епифанов Г.А. Электрические машины: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2017. 368 с.
4. Кацман М.М. Электрические машины: учеб. для СПО. М.: Высш. шк., 2002.
5. Сукманов В.И. Электрические машины и аппараты: учеб. для ссузов. М.: Колос, 2001.
6. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2 т. Т. 1: учеб. для вузов. М.: МЭИ, 2006.
7. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2 т. Т. 2: учеб. для вузов. М.: МЭИ, 2006.
8. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учеб. для вузов. СПб.: Питер, 2007.

Оглавление

| | |
|--|----|
| 1. Общие сведения по электрическим машинам | 3 |
| 2. Асинхронные машины | 4 |
| 3. Расчетные данные для определения основных параметров асинхронных двигателей | 18 |
| 4. Синхронные машины | 19 |
| 5. Основные расчетные формулы по синхронным машинам | 23 |
| 6. Машины постоянного тока | 24 |
| 7. Формулы для определения основных параметров машин постоянного тока | 32 |
| 8. Выбор электродвигателей | 34 |
| 9. Монтаж электродвигателей | 35 |
| Литература | 39 |

Учебное издание

Безик Валерий Александрович
Башлыков Виктор Акимович
Кубаткина Ольга Вячеславовна
Ковалев Виталий Витальевич

Электрические машины
Вращающиеся электрические машины
Учебное пособие

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 09.04.2018 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 2,38. Тираж 25 экз. Изд. № 5716.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ