

Способы подключения обмоток асинхронных двигателей

Большинство АДКЗ имеет три обмотки, каждая из которых соответствует своей фазе и имеет начало и конец.

Системы обозначения обмоток могут быть разными. В современных электродвигателях принята система обозначения обмоток U, V, W, а их выводы обозначают цифрой 1 начало обмотки и цифрой 2 – ее конец, то есть обмотка U имеет два вывода U1 и U2, обмотка V – V1 и V2, а обмотка W – W1 и W2.

Однако еще до сих пор в эксплуатации находятся асинхронные двигатели, сделанные во времена СССР и имеющие старую систему маркировки. В них начала обмоток обозначаются С1, С2, С3, а концы С4, С5, С6. Значит, первая обмотка имеет выводы С1 и С4, вторая С2 и С5, а третья С3 и С6. Соответствие старых и новых систем обозначений представлено на рисунке.

Определение начал и концов обмоток. распределительную коробку выведено 6 проводов без указания об их принадлежности к определенной обмотке и обозначения начал и концов. В этом случае дело сводится к решению двух задач:

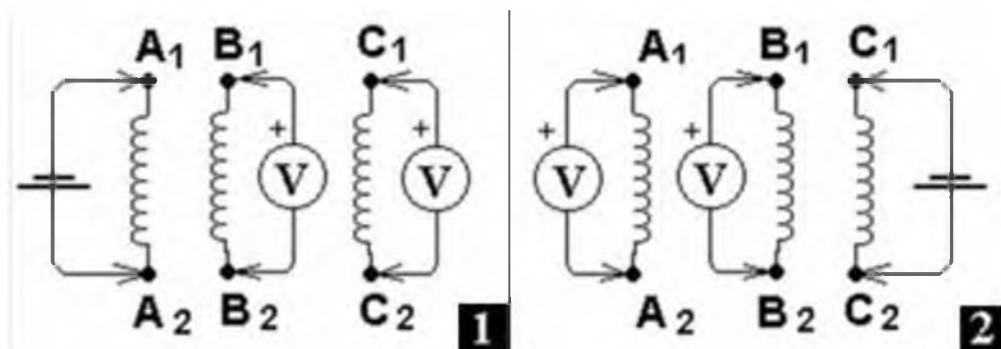
- определению пар проводов, относящихся к одной обмотке;
- нахождению начала и конца обмоток.

Первая задача решается "прозваниванием" всех проводов тестером, можно решить её с помощью лампочки от фонарика и батареек, подсоединяя имеющиеся провода в цепь последовательно с лампочкой. Если последняя загорается, значит, два проверяемых конца относятся к одной обмотке. Таким способом определяются три пары проводов (А, В и С на рисунке ниже) относящихся к трем обмоткам.



Определение пар проводов относящихся к одной обмотке

Вторая задача (определение начала и конца обмоток) требует наличия батарейки и стрелочного вольтметра. Цифровой не годится из-за инертности.



Нахождение начала и конца обмоток

К концам одной обмотки (например, А) подключается батарейка, к концам другой (например, В) - стрелочный вольтметр. Теперь, если разорвать контакт проводов А с батарейкой, стрелка вольтметра качнется в ту или иную сторону. Затем необходимо подключить вольтметр к обмотке С и проделать ту же операцию с разрывом контактов батарейки. При необходимости меняя полярность обмотки С (меняя местами концы С1 и С2) нужно добиться того, чтобы стрелка вольтметра качнулась в ту же сторону, как и в случае с обмоткой В. Таким же образом проверяется и обмотка А - с батарейкой, подсоединенной к обмотке С или В.

В итоге всех манипуляций должно получиться следующее: при разрыве контактов батарейки с любой из обмоток на 2-х других должен появляться электрический потенциал одной и той же полярности (стрелка прибора качается в одну сторону). Теперь остается пометить выводы одного пучка как начала (А1, В1, С1), а выводы другого - как концы (А2, В2, С2) и соединить их по необходимой схеме - "треугольник" или "звезда" (если напряжение двигателя 220/127В).

Извлечение недостающих концов. Пожалуй, самый сложный случай - когда двигатель имеет соединение обмоток по схеме "звезда", и нет возможности переключить ее на "треугольник" (в распределительную коробку выведено всего лишь три провода - начала обмоток С1, С2, С3) (см. рисунок ниже). В этом случае для подключения двигателя по схеме "треугольник" необходимо вывести в коробку недостающие концы обмоток С4, С5, С6.



Табличка разбираемого электродвигателя



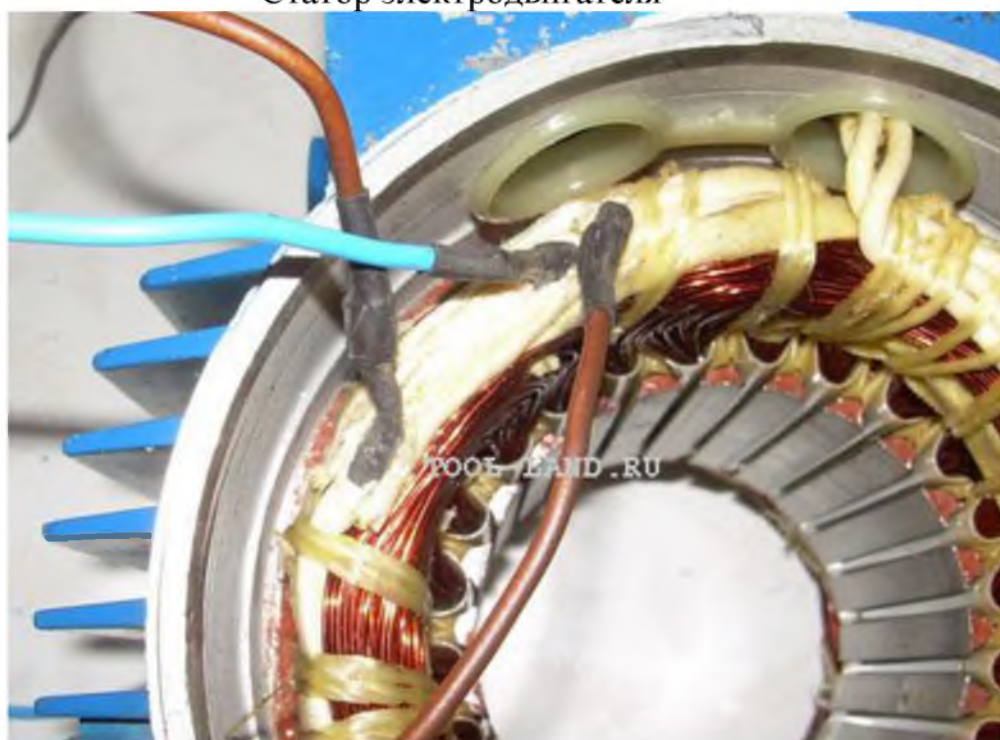
Клеммная колодка

Чтобы сделать это, обеспечивают доступ к обмотке двигателя, сняв крышку и, возможно, удалив ротор. Отыскивают и освобождают от изоляции место спайки. Разъединяют концы и припаивают к ним гибкие многожильные изолированные провода. Все соединения надежно изолируют, крепят провода прочной нитью к обмотке и выводят концы на клеммный щиток электродвигателя.

Определяют принадлежность концов началам обмоток и соединяют по схеме "треугольник", подсоединив начала одних обмоток к концам других (С1 к С6, С2 к С4, С3 к С5). Работа по выводу недостающих концов требует определенного навыка. Обмотки двигателя могут содержать не одну, а несколько спаек, разобраться в которых не так-то и просто. Поэтому если нет должной квалификации, возможно, не останется ничего иного, как подключить трехфазный двигатель по схеме "звезда", смирившись со значительной потерей мощности.



Статор электродвигателя



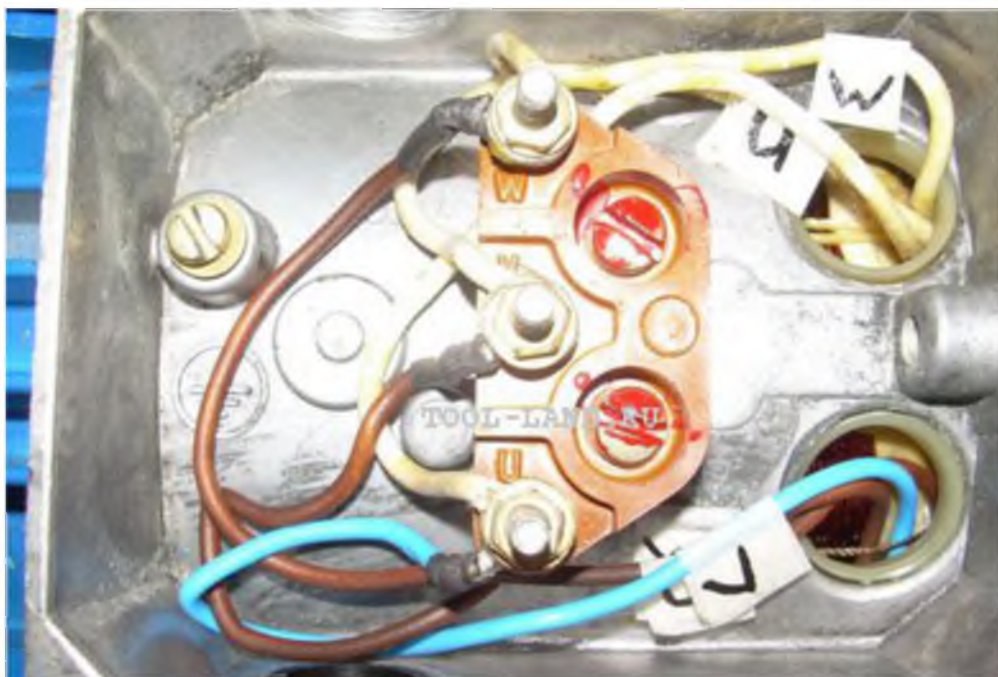
Припаянные провода



Припаянные провода



Вывод проводов в клеммную коробку

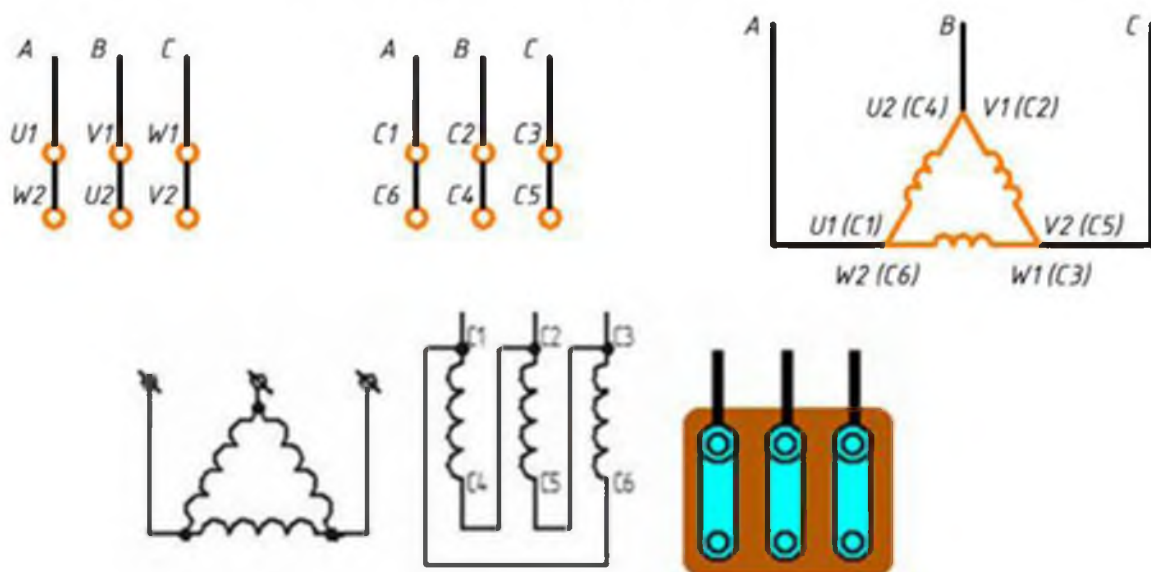


Подключение проводов к клеммной колодке

Соединение треугольником

При таком соединении обмотки объединяют в треугольник, когда начало одной обмотки соединяется с концом следующей – и так по кругу. Если линейное напряжение в трехфазной сети 380 В, то через обмотки будут протекать токи гораздо больших величин, чем при соединении звездой. Поэтому мощность электродвигателя будет выше.

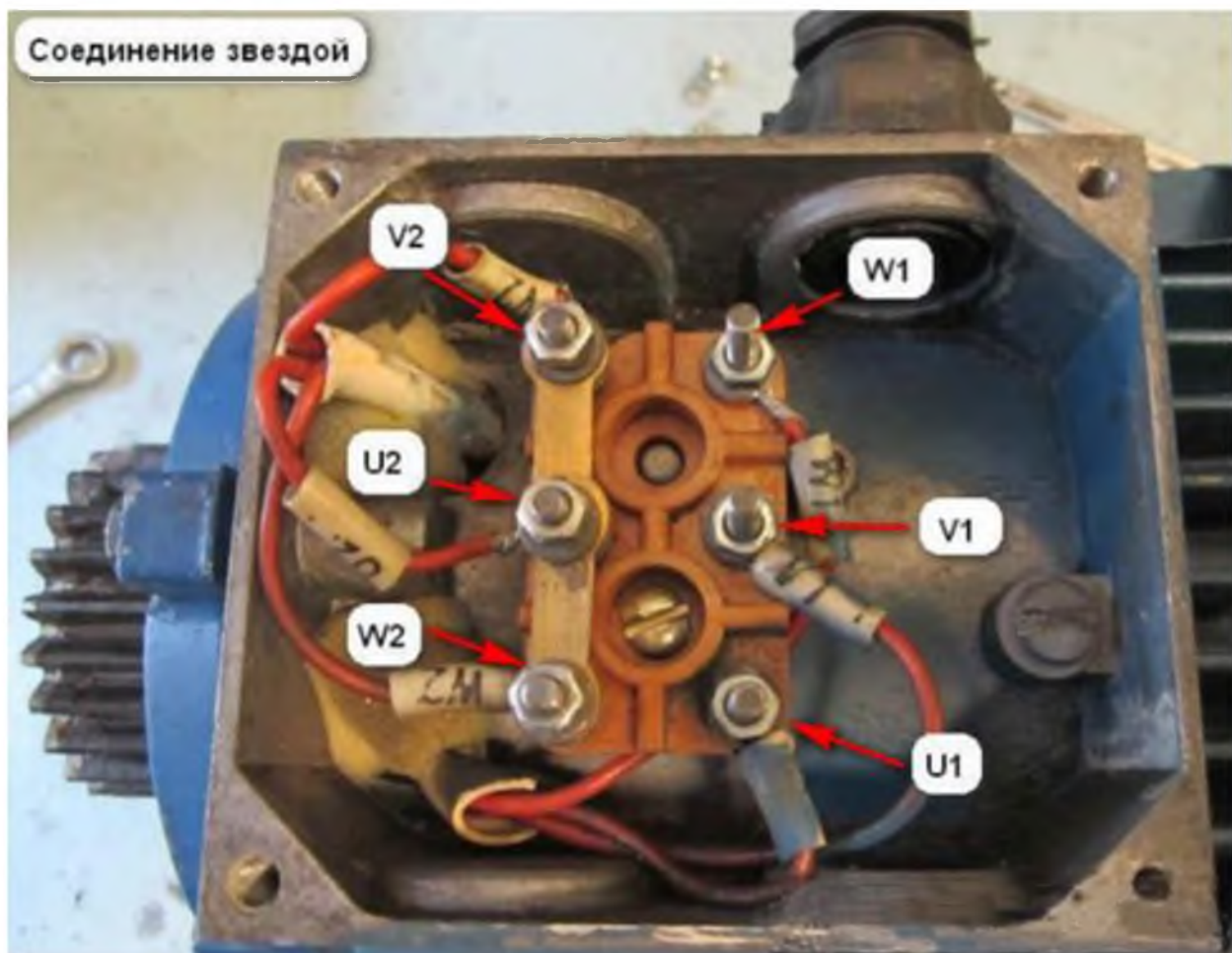
Схема подключения "треугольник"





Подключение обмоток асинхронного двигателя треугольником

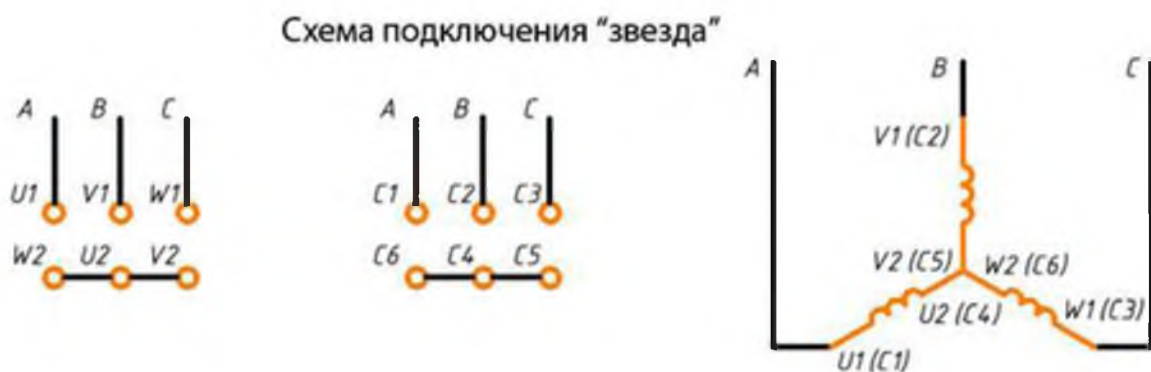
При соединении треугольником в момент запуска АДКЗ потребляет большие пусковые токи, которые могут в 7—8 раз превышать номинальные и способны вызвать перегрузку сети, поэтому на практике инженеры нашли компромисс – запуск двигателя и его раскручивание до номинальных оборотов производится по схеме звезда, а затем происходит автоматическое переключение на треугольник.

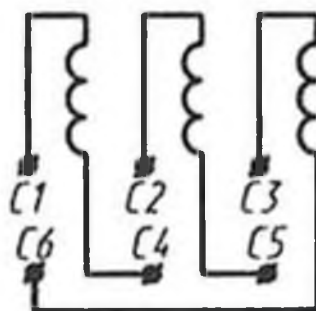


На фото «вскрытой» коробки видно, что провода, ведущие к обмоткам подписаны и перемычками соединены в одну точку концы всех обмоток — V2, U2, W2. Это свидетельствует о том, что имеет место соединение звездой. С первого взгляда может показаться, что концы обмоток расположены в логичном порядке V2, U2, W2, а начала «перепутаны» — W1, V1, U1. Однако, это сделано с определенной целью.

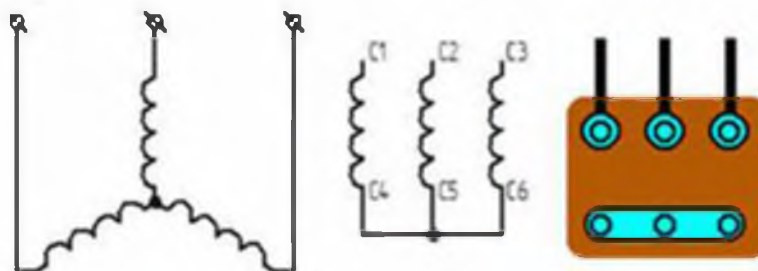
Соединение звездой

При таком соединении все концы обмоток объединяют в одной точке, а к их началам подключают фазы. На принципиальной схеме такой способ подключения напоминает звезду, за что и получил название.





Положение контактов в распределительной коробке трехфазного двигателя



Подключение трехфазного двигателя по схеме звезда



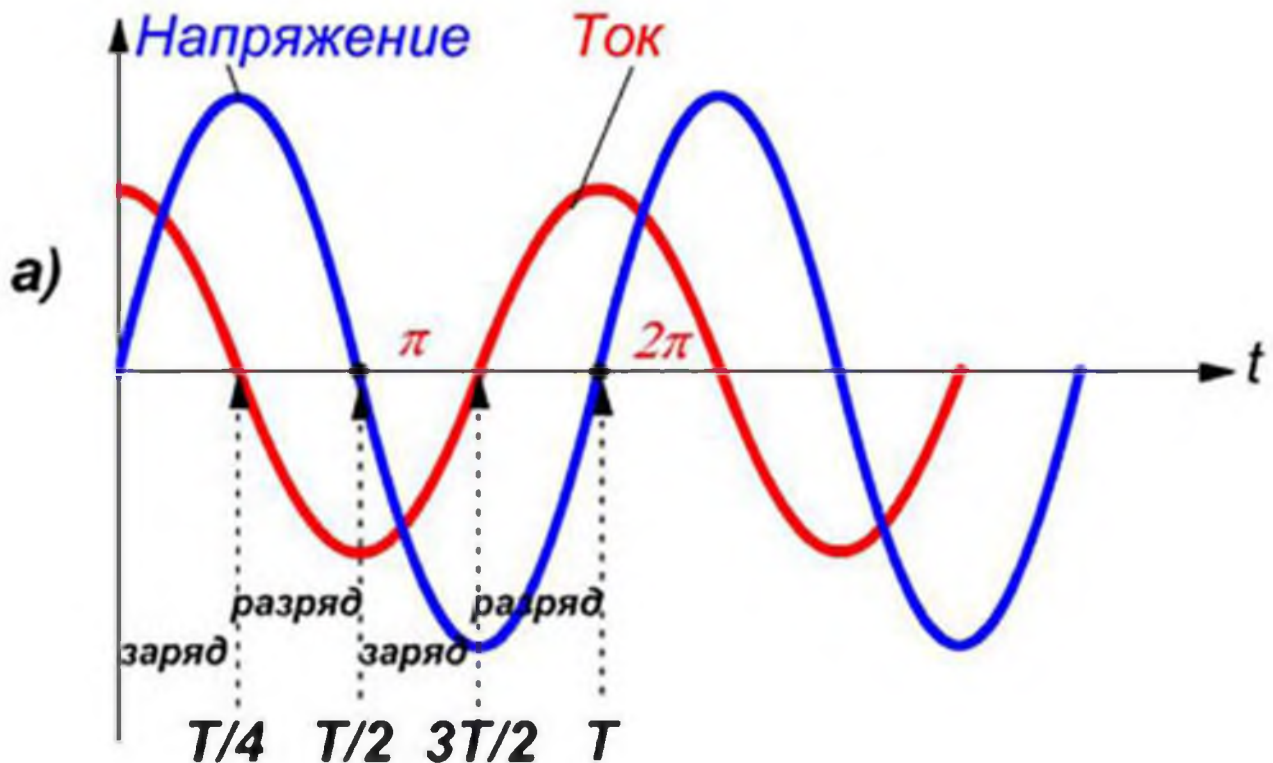
Распределительная коробка трехфазного двигателя с положением перемычек для подключения по схеме звезда

Подключение обмоток асинхронного двигателя звездой

При соединении звездой к каждой обмотке в отдельности приложено фазной напряжение в 220 В, а к двум обмоткам, соединенных последовательно линейное напряжение 380 В. Главное преимущество такого способа подключения – это небольшие токи запуска, так как линейное напряжение приложено к двум обмоткам, а не к одной. Это позволяет двигателю «мягко» стартовать, но мощность его будет ограничена, так как протекающие токи в обмотках будут меньше, чем при другом способе подключения.

Сдвиг фаз при помощи конденсаторов

Электрический конденсатор известен своим уникальным свойством не пропускать постоянный ток, но пропускать переменный. Зависимость токов, протекающих через конденсатор, от приложенного напряжения показана на графике.

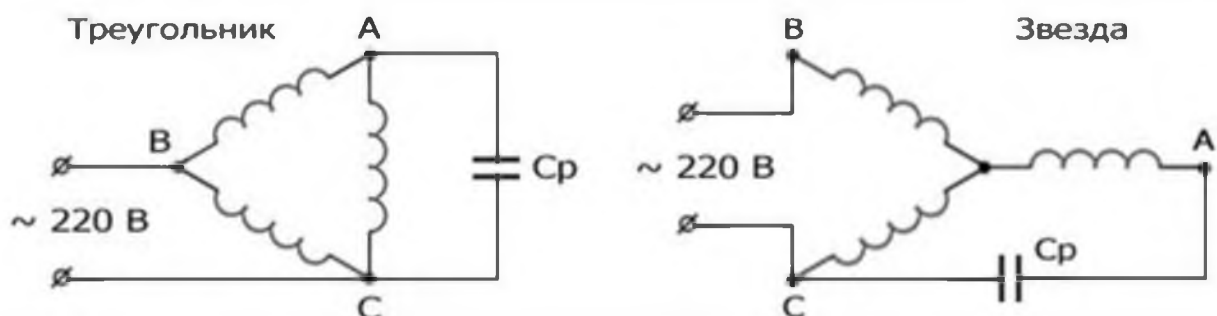


Ток в конденсаторе всегда будет «лидировать» на четверть периода

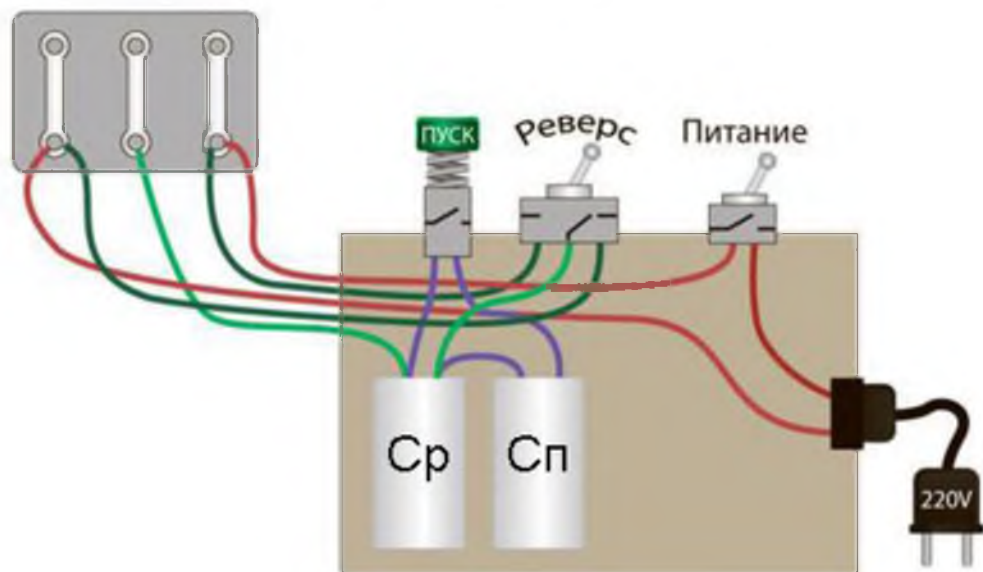
Из графика видно, что за один период переменного синусоидального напряжения, конденсатор два раза заряжается и два раза разряжается. Ток, протекающий через конденсатор, опережает напряжение на четверть периода, то есть — $2 \cdot \pi/4 = \pi/2 = 90^\circ$. Сдвиг фаз в 90° не является идеальным в 120° , но вполне достаточен для того, чтобы на роторе появился необходимый вращательный момент.

Схемы подключения трехфазных двигателей в однофазную сеть

для сдвига фазы достаточно подключить параллельно какой-либо из обмоток конденсатор. Обозначение C_p говорит о том, что это рабочий конденсатор.



Так подключают рабочий конденсатор



Следует отметить, что соединение обмоток в треугольник предпочтительней, так как с такого АДКЗ можно «снять» полезной мощности больше, чем со звезды. Но существуют двигатели, предназначенные для работы в сетях с напряжением 127/220 В. О чем обязательно должна быть информация на шильдике.



Очень редкий представитель в большом семействе асинхронных двигателей

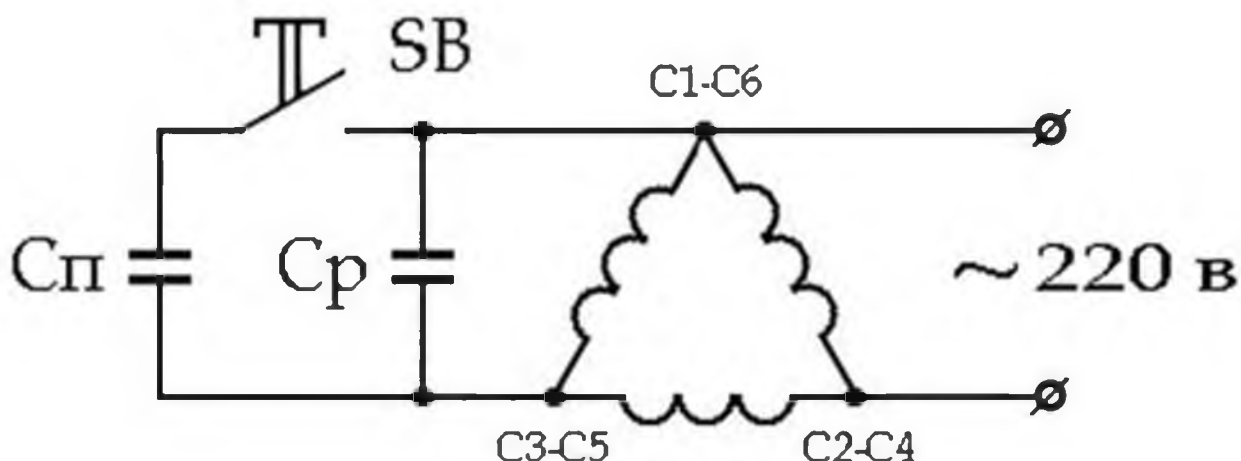
такой двигатель, можно включать в сеть 220 В по схеме звезда, а это обеспечит и плавный пуск, и до 90% от паспортной номинальной мощности. Промышленностью выпускаются АДКЗ специально предназначенные для работы в сетях 220 В, которые могут называть конденсаторными двигателями.

Если рабочее напряжение двигателя составляет 220/127В, то к однофазной сети на 220В двигатель можно подключить по схеме «звезда». При подключении 220В по схеме «треугольник», двигатель сгорит.



Следует обратить внимание, что на шильдике указано рабочее напряжение 220 В и параметры рабочего конденсатора 90 мкФ (микрофарад, 1 мкФ=10⁻⁶ Ф) и напряжение 250 В.

Для облегчения пуска мощных АДКЗ в сетях 220В кроме рабочего применяют еще и пусковой конденсатор, который включается на непродолжительное время. После старта и набора номинальных оборотов пусковой конденсатор отключают, и вращение ротора поддерживает только рабочий конденсатор.



Пусковой конденсатор – $C_{\text{п}}$, подключают параллельно рабочему $C_{\text{р}}$. Из электротехники известно, что при параллельном соединении емкости конденсаторов складываются. Для его «активации» применяют кнопочный выключатель SB, удерживаемый несколько секунд. Емкость пускового конденсатора обычно минимум в два с половиной раза выше, чем рабочего, причем сохранять заряд он может достаточно долго. При случайном прикосновении к его выводам можно получить довольно сильно ощутимый разряд через тело. Для того чтобы разрядить $C_{\text{п}}$ применяют резистор, подключенный параллельно. Тогда после отключения пускового конденсатора от сети, будет происходить его разряд через резистор. Его выбирают с достаточно большим сопротивлением 300 кОм—1 МОм и рассеиваемой мощностью не менее 2 Вт.

Расчет емкости рабочего и пускового конденсатора

Необходимая емкость рабочих конденсаторов для работы трехфазного двигателя в однофазной сети зависит от схемы подключения обмоток двигателя и других параметров. Для соединения "звездой" емкость рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{р}} = 2800 \cdot I / U$$

Для соединения "треугольником":

$$C_{\text{р}} = 4800 \cdot I / U$$

Где $C_{\text{р}}$ - емкость рабочего конденсатора в мкФ, I - ток в А, U - напряжение сети в В. Ток рассчитывается по формуле:

$$I = P / (1.73 \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \phi)$$

Где P - мощность электродвигателя кВт; η - КПД двигателя; $\cos \phi$ - коэффициент мощности, 1.73 - коэффициент, характеризующий соотношение между линейным и фазным токами. КПД и коэффициент мощности указаны

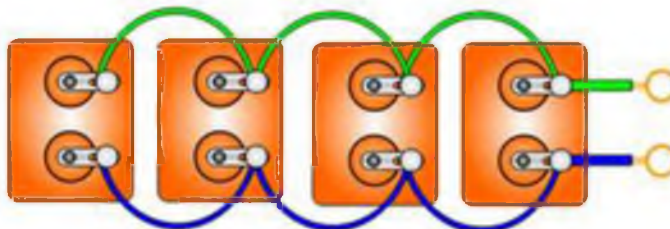
в паспорте и на табличке двигателя. Обычно их значение находится в диапазоне 0,8-0,9.

На практике величину емкости рабочего конденсатора при подсоединении "треугольником" можно посчитать по упрощенной формуле $C = 70 \cdot P_n$, где P_n - номинальная мощность электродвигателя в кВт. Согласно этой формуле на каждые 100 Вт мощности электродвигателя необходимо около 7 мкФ емкости рабочего конденсатора.

Исходя из условия запуска двигателя под нагрузкой близкой к номинальной, пусковая емкость должна быть в 2-3 раза больше рабочей, то есть, если емкость рабочего конденсатора 80 мкФ, то емкость пускового конденсатора должна быть 80-160 мкФ, что даст пусковую емкость (сумма емкости рабочего и пускового конденсаторов) 160-240 мкФ. Но если двигатель имеет небольшую нагрузку при запуске, емкость пускового конденсатора может быть меньше или, как писалось выше, его вообще может не быть.

Отметим, что у двигателя подключенного к однофазной сети через конденсатор, работающего без нагрузки, по обмотке, питаемой через конденсатор, идет ток на 20-30% превышающий номинальный. Поэтому, если двигатель используется в недогруженном режиме, то емкость рабочего конденсатора следует уменьшить. Но тогда, если двигатель запускался без пускового конденсатора, последний может потребоваться.

Лучше использовать не один большой конденсатор, а несколько поменьше, отчасти из-за возможности подбора оптимальной емкости, подсоединяя дополнительные или отключая ненужные, последние можно использовать в качестве пусковых. Необходимое количество микрофарад набирается параллельным соединением нескольких конденсаторов, исходя из того, что суммарная емкость при параллельном соединении подсчитывается по формуле: $C_{\text{общ}} = C_1 + C_1 + \dots + C_n$.



Параллельное соединение конденсаторов

Поэтому, если двигатель будет работать в сети 220 В, то конденсатор должен быть с номинальным напряжением не менее, чем $1,5 \cdot 220 = 360$ В, а лучше 400—450 В. Также необходимо учитывать то, что рабочий конденсатор задействован во все время работы двигателя, а пусковой – только во время запуска.

Рассмотрим в следующей таблице, какие конденсаторы могут применяться в качестве рабочих и пусковых.

	Металлобумажные конденсаторы МБГО, МБГТ, МГБЧ, МГБП	Полипропиленовые пленочные конденсаторы СВВ60 (аналог К78-17), СВВ65	Пусковые конденсаторы CD60
Изображение			
Технология изготовления	Нанесение металлизированной пленки на конденсаторную бумагу, являющуюся диэлектриком	Нанесение металлизированной пленки на тонкую полипропиленовую ленту	Алюминиевая фольга и электролит. В качестве диэлектрика используется диоксид алюминия
Рабочее напряжение, В	160, 200, 300, 400, 600, 1000 В	450, 630 В	220—450 В
Диапазон емкостей, мкФ	0,1—20 мкФ	1—150 мкФ	50—1500 мкФ
Материал и форма корпуса	Металлический прямоугольный герметичный корпус	Пластиковый цилиндрический корпус, у СВВ65 металлический цилиндрический взрывозащищенный корпус	Цилиндрический металлический взрывозащищенный корпус, покрытый пленкой из термостойкого поливинилхлорида
Где применяются	В качестве рабочих конденсаторов асинхронных двигателей	В качестве рабочих и пусковых конденсаторов асинхронных двигателей	В качестве пусковых конденсаторов.
Достоинства	Небольшая цена	Небольшие габариты, малый разброс характеристик, долговечность	Высокая емкость при небольших габаритных размерах

	Металлобумажные конденсаторы МБГО, МБГТ, МГБЧ, МГБП	Полипропиленовые пленочные конденсаторы СВВ60 (аналог К78-17), СВВ65	Пусковые конденсаторы CD60
Недостатки	Большие габариты, высокие потери, быстрое старение при повышенных температурах	Цена выше, чем у металлобумажных конденсаторов	Не рекомендуется применять в качестве рабочих конденсаторов

Обозначения выводов обмоток асинхронных двигателей

обмотки статора открытая схема шесть выводов	первая фаза C ₁ жёлтый	C ₄ жолт
	вторая фаза C ₂ зелёный	C ₅ зелё
	третья фаза C ₃ красный	C ₆ красн

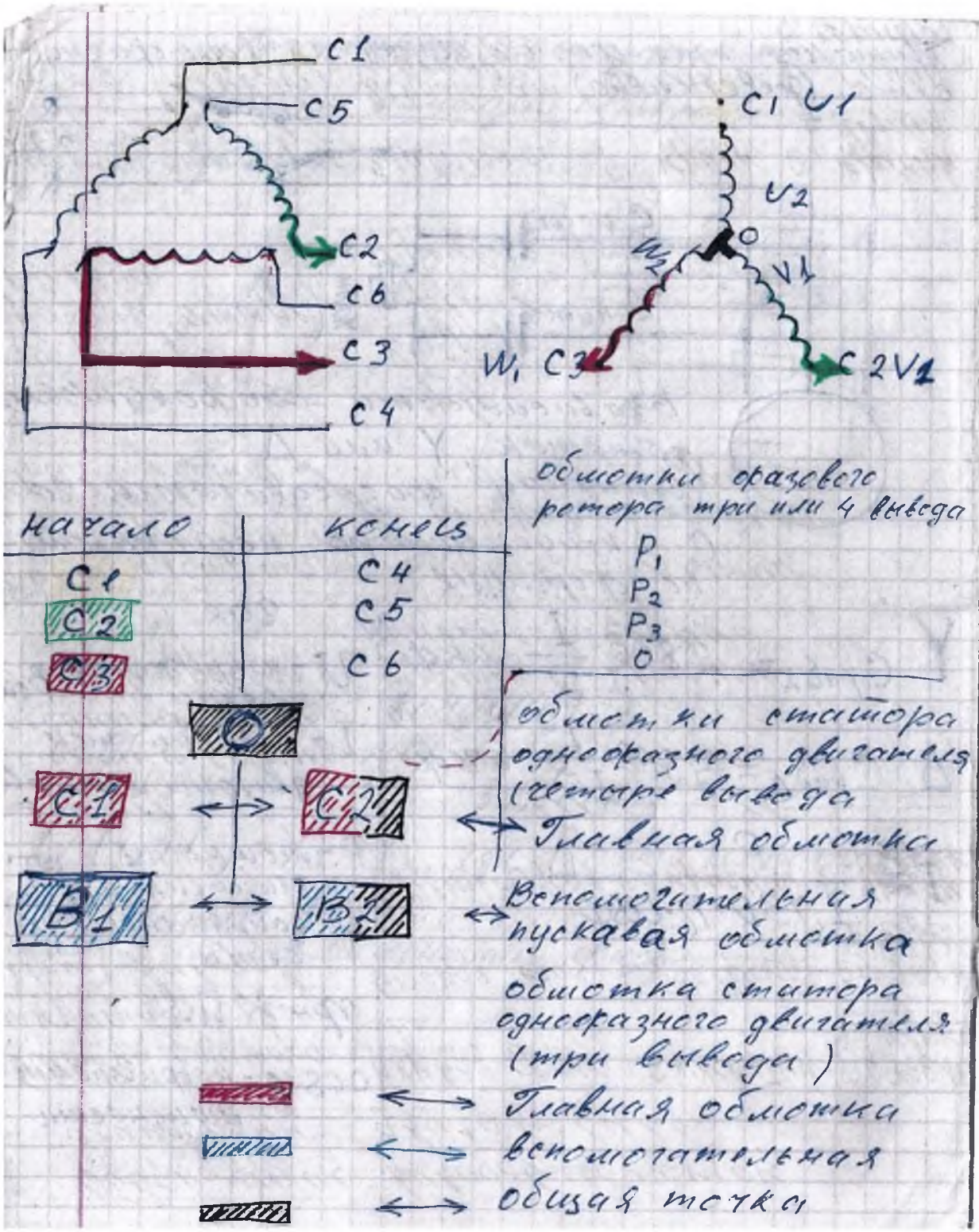
обмотки статора соединения звездой (3 или 4 провода)	первая C ₁ жёлтый	
	вторая C ₂ зелёный	
	третья C ₃ красный	
	нулевой O чёрный	

обмотки статора соедн треугольником (три вывода)	первая C ₁ желтый	
	вторая C ₂ зелёный	
	третья C ₃ красный	

обмотки фазо- вого ротора (три или четыре) вывода	первая	P ₁
	вторая	P ₂
	третья	P ₃
	нулевая	O

обмотки статора однофазного дви- гателя (4 вывода)	глав. обмот	C ₁ красн	C ₂ красн
	вспомогат. пусковая	B сини	B ₂ сини

с черным



Схемы торможения асинхронных двигателей

После отключения от сети электродвигатель продолжает движение *по инерции*. При этом кинетическая энергия расходуется на преодоление всех видов сопротивлений движению. Поэтому скорость электродвигателя через промежуток времени, в течение которого будет израсходована вся кинетическая энергия, становится равной нулю.

Такая остановка электродвигателя при движении по инерции называется *свободным выбегом*. Многие электродвигатели, работающие в продолжительном режиме или со значительными нагрузками, останавливают путем свободного выбега.

В тех же случаях, когда продолжительность свободного выбега значительна и оказывает влияние на производительность электродвигателя (работа с частыми пусками), для сокращения времени остановки применяют искусственный метод преобразования кинетической энергии, запасенной в движущейся системе, называемый *т о р м о ж е н и е м*.

Все способы торможения электродвигателей можно разделить на *два основных вида*:

м е х а н и ч е с к о е;

э л е к т р и ч е с к о е.

При *механическом торможении* кинетическая энергия преобразуется в тепловую, за счет которой происходит нагрев трущихся и прилегающих к ним частей механического тормоза.

При *электрическом торможении* кинетическая энергия преобразуется в электрическую и в зависимости от способа торможения двигателя либо отдается в сеть, либо преобразуется в тепловую энергию, идущую на нагрев обмоток двигателя и реостатов.

Наиболее совершенными считают такие схемы торможения, при которых механические напряжения в элементах электродвигателя незначительны.

Схемы динамического торможения асинхронных двигателей

Динамическое торможение АД (торможение постоянным током) осуществляется путем подключения к двум любым обмоткам статора источника постоянного тока.

При этом с помощью группы контактов асинхронный двигатель сначала отключают от питания трехфазным переменным током, и только после этого, замыкают группу контактов и подают постоянный ток. Величину постоянного тока регулируют сопротивлением.

Этот тормозной режим используется для точной остановки двигателей. Во время торможения обмотка статора создаёт постоянное неподвижное магнитное поле. При вращении ротора относительно этого магнитного поля изменяется направление ЭДС ротора.

При этом ток ротора будет зависеть от сопротивления в цепи ротора (если таковое имеется). Это приведет к изменению направления электромагнитного момента, то есть он станет тормозным и под действием этого момента происходит торможение.

Кинетическая энергия вращающихся частей переходит в *теплоту*, выделяющуюся в цепи ротора за счет токов, индуцированных в ней неподвижным полем статора. Изменяя величину подведенного к обмотке статора напряжения либо сопротивление в цепи ротора, можно регулировать величину тормозного момента.

Основными достоинствами этого тормозного режима являются возможность регулировать момент торможения и возможность точной остановки.

Постоянное напряжение можно подводить к обмотке статора только на время торможения. После остановки двигатель нужно **отключить** от сети постоянного тока.

Для управления моментом при динамическом торможении асинхронным двигателем с фазным ротором по программе с заданием времени используются узлы схем, приведенные на рис. 1, из которых схема рис. 1, а применяется при наличии сети постоянного тока, а схема рис. 1, б — при отсутствии ее.

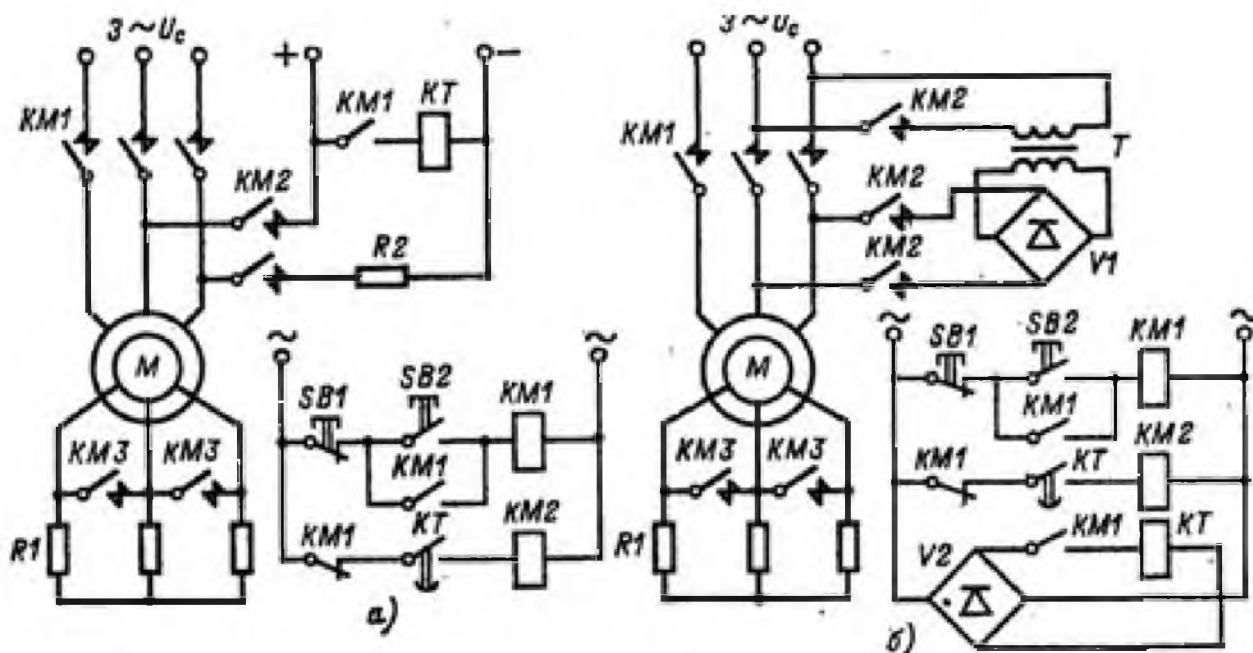


Рис. 1 Схемы управления динамическим торможением асинхронных двигателей с фазным ротором с заданием времени при наличии и отсутствии сети постоянного тока

В качестве тормозных резисторов в роторе используются пусковые резисторы $R1$, включение которых в режиме динамического торможения производится отключением контакторов ускорения, показанных в рассматриваемых узлах схем условно в виде одного контактора $KM3$, команда на отключение которого подается блокировочным контактом линейного контактора $KM1$.

Эквивалентное значение постоянного тока в обмотке статора при торможении обеспечивается в схеме рис. 1, а дополнительным

резистором R2, а в схеме рис. 1. б соответствующим выбором коэффициента трансформации трансформатора Т.

Контактор торможения КМ2 может быть выбран как на постоянном, так и на переменном токе в зависимости от требуемого числа включений в час и использования пусковой аппаратуры.

Приведенные на рис. 1 схемы управления могут использоваться для управления режимом динамического торможения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Для этого обычно используется схема с трансформатором и выпрямителем, приведенная на рис. 1, б.

Данный вид торможения *применяется:*

- в подъёмно-транспортных машинах;
- в циркулярных пилах;
- в двухсистемных электровозах;
- в конвейерах для безопасной остановки механизмов при отключении электродвигателей и т. д.

Для реализации динамического торможения в промышленности используют Блоки Динамического Торможения (БДТ)

Технические характеристики	БДТ-3М	БДТ-8	БДТ-9
Мощность электродвигателя, не более, кВт	15	32	90
Номинальное напряжение питания силовой сети, В	380/220	380/220	380/220
Номинальное напряжение питания цепей управления, В	220±10%	220±10%	220±10%
Продолжительность торможения, с	2-15	2-15	2-15
Ток торможения, не более, А	63	80	200
Количество каналов регулирования тока и времени торможения, шт	2	2	2
Габаритные размеры, мм	115×113×88	115×113×88	115×113×88
Масса, не более, кг	1,0	1,1	1,6





Схемы торможения противовключением асинхронных двигателей

При управлении моментом при торможении противовключением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с контролем скорости применяется узел схемы, приведенный на рис. 2.

В качестве реле противовключения используется реле контроля скорости SR, укрепляемое на двигателе. Реле настраивается на напряжение отпадания, соответствующее скорости, близкой к нулю и равной $(0,1 - 0,2) \omega_{уст}$.

Схема используется для остановки двигателя с торможением противовключением в реверсивной (рис. 2, а) в в нереверсивной (рис. 2, б) схемах. Команда SR используется для отключения контакторов KM2 или KM3 и KM4, отключающих обмотку статора от напряжения сети при скорости двигателя, близкой к нулю. При реверсировании двигателя команды SR не используются.

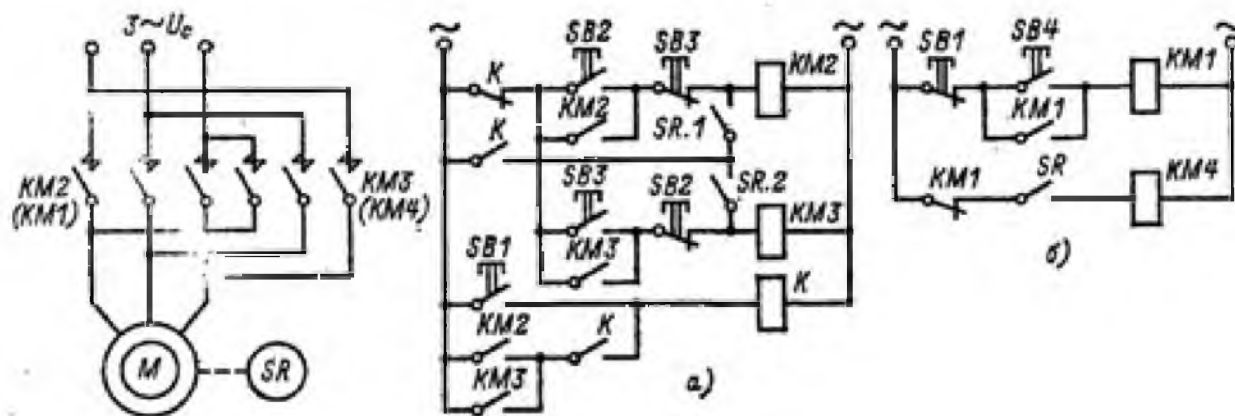


Рис. 2 Узлы схемы управления торможения противовключением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с контролем скорости при остановке в реверсивной и нереверсивной схемах.

Узел управления асинхронным двигателем с фазным ротором в режиме торможения противовключением с одной ступенью, состоящей из R1 и R2, приведен на рис. 3. Управляющее реле противовключения KV, в качестве которого применяется, например, реле напряжения постоянного тока типа РЭВ301,

которое подключено к двум фазам ротора через выпрямитель V. Реле настраивается на напряжение отпадания.

Часто для настройки реле KV используется дополнительный резистор R3. Схема в основном применяется при реверсировании АД со схемой управления, приведенной на рис. 3, а, но может использоваться и при остановке в нереверсивной схеме управления, приведенной на рис. 3, б.

При пуске двигателя реле противовключения KV не включается и ступень противовключения резистора ротора R1 выводится сразу после подачи управляющей команды на пуск.

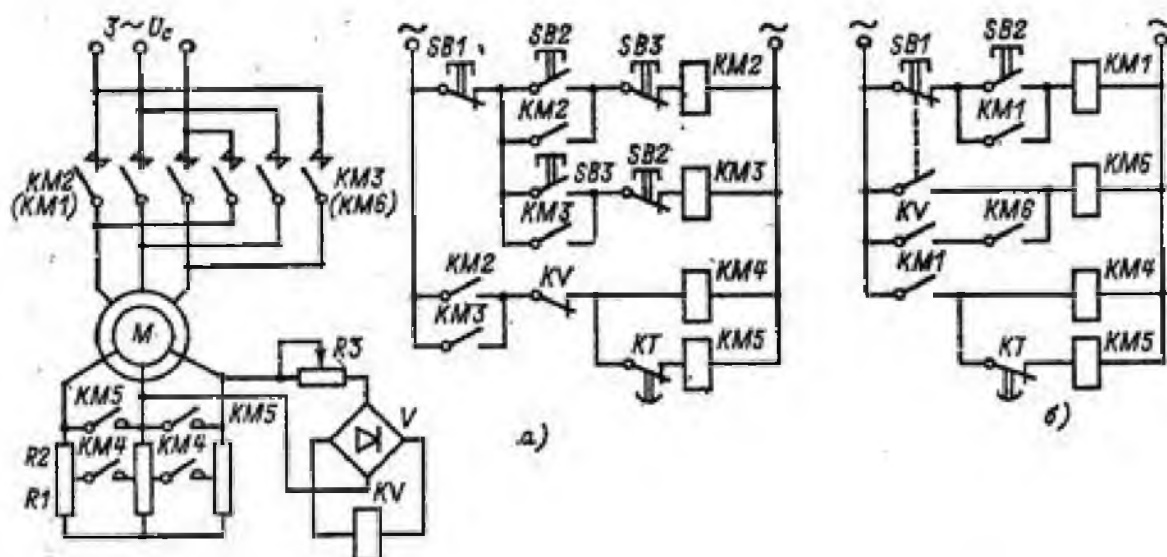


Рис. 3. Узлы схем управления торможением противовключением асинхронных двигателей с фазным ротором с контролем скорости при реверсе и остановке

В режиме противовключения после подачи команды на реверс (рис. 3, а) или остановку (рис. 3, б) скольжение электродвигателя повышается и происходит включение реле KV.

Реле KV отключает контакторы KM4 и KM5 и тем самым вводит полное сопротивление R1 + R2 ротор двигателя.

В конце процесса торможения при скорости асинхронного двигателя, близкой к нулю и составляющей примерно 10 - 20 %

установившейся начальной скорости $\omega_{пер} = (0,1 - 0,2) \omega_{уст}$, реле KV отключается, обеспечивая команду на отключение ступени противовключения R1 с помощью контактора КМ4 и на реверсирование электродвигателя в реверсивной схеме или команду на остановку электродвигателя в нереверсивной схеме.

В приведенных схемах в качестве управляющего устройства может применяться командоконтроллер и другие аппараты.

Электромеханическое реле контроля скорости

Реле контроля скорости (РКС) используется, как датчик скорости и предназначено для работы в схемах торможения электродвигателей, чтобы отключить двигатель от сети после снижения скорости до нуля. Реле работает по принципу асинхронного двигателя. С валом электродвигателя, частоту вращения которого необходимо контролировать, связан постоянный магнит 3 датчика через валик 4. Постоянный магнит помещен внутри алюминиевого цилиндра 2, имеющего обмотку в виде беличьей клетки.

При вращении ротора двигателя и тем самым магнита 3 уже при небольших скоростях на цилиндр 2 начинает воздействовать вращающий момент, под действием которого он поворачивается и обеспечивает с помощью упора 8 переключение контактов 10. При скорости двигателя, близкой к нулю, цилиндр переходит в среднее положение, и контактная система возвращается в исходное состояние.





Схемы механического торможения асинхронных двигателей

При остановке асинхронных двигателей, а также для удержания механизма передвижения или подъема, например в крановых промышленных установках, в неподвижном состоянии при отключенном двигателе применяется механическое торможение. Оно обеспечивается электромагнитными колодочными или другими тормозами с трехфазным электромагнитом переменного тока, который при включении растормаживает тормоз. Электромагнит тормоза YB включается и отключается вместе с двигателем (рис 4, а).

Напряжение на электромагнит тормоза YB может подаваться контактором торможения $KM2$, если нужно отключать тормоз не одновременно с двигателем, а с некоторой задержкой по времени, например после окончания электрического торможения (рис. 4, б)

Выдержку времени обеспечивает реле времени KT , получающее команду на начало отсчета времени, обычно при отключении линейного контактора $KM1$ (рис. 4, в).

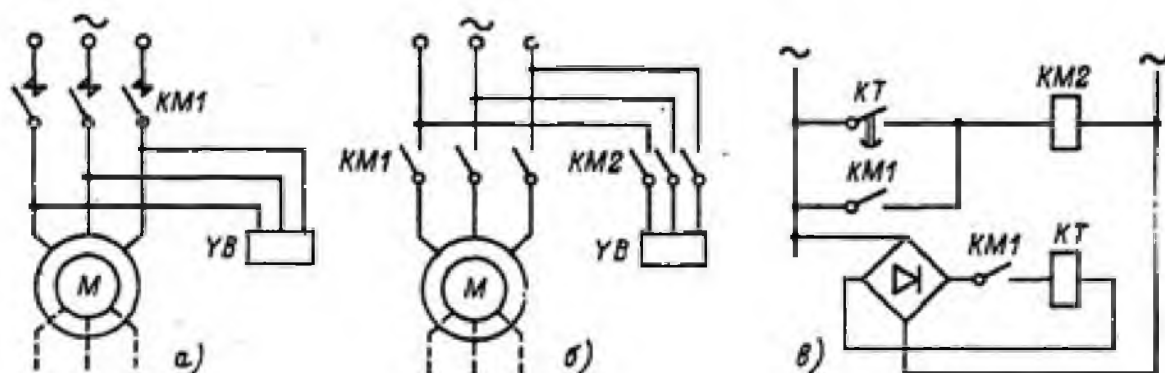


Рис. 4. Узлы схем, осуществляющих механическое торможение асинхронных двигателей

В асинхронных электроприводах применяются также электромагнитные тормоза постоянного тока при управлении электродвигателем от сети постоянного тока.

Остановка электродвигателя осуществляется при помощи колодочного или ленточного тормоза. При запуске двигателя используется катушка. Лента тормозная ЛАТЗ встроена, как правило, в крановое оборудование. При таком методе торможения, энергия кинетического рода конвертируется в тепловую, которая теряется в ленте или колодках.



Схемы конденсаторного торможения асинхронных двигателей

Для торможения АД с короткозамкнутым ротором применяется также конденсаторное торможение с самовозбуждением. Оно обеспечивается конденсаторами $C1 - C3$, подключенными к обмотке статора. Включаются конденсаторы по схеме звезды (рис. 5, а) или треугольника (рис. 5, б).

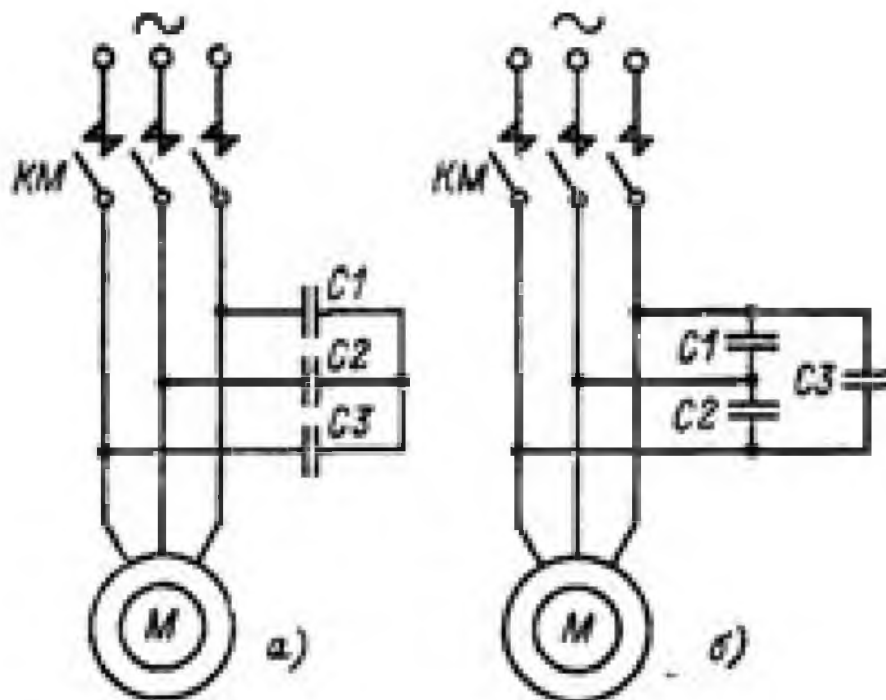


Рис. 5. Узлы схем, осуществляющих конденсаторное торможение асинхронных двигателей

При отключении двигателя от сети токи разряда конденсаторов *создают магнитное поле*, вращающееся с низкой угловой скоростью.

Машина переходит в режим генераторного торможения, частота вращения снижается до значения, соответствующего частоте вращения возбужденного поля. Во время разряда конденсаторов появляется большой **тормозной момент**, который с уменьшением частоты вращения падает.

В начале торможения происходит быстрое поглощение запасенной ротором кинетической энергии при малом тормозном пути. Торможение резкое, ударные моменты достигают 7 Мном. Значение пика тормозного тока при самых больших значениях емкости не превышает пускового тока.

С ростом емкости конденсаторов тормозной момент увеличивается и торможение длится до более низкой частоты вращения. Исследования показали, что оптимальное значение емкости лежит в пределах 4 - 6 Сном. Конденсаторное торможение прекращается при частоте вращения 30 - 40% номинальной, когда частота вращения ротора становится равной частоте вращения поля статора от возникающих в статоре свободных токов. При этом в процессе торможения поглощается более $3/4$ кинетической энергии, запасенной приводом.

Плавный пуск электродвигателя

Для обеспечения постепенного старта электродвигателей, используются *устройства плавного пуска (УПП)*.

Современные УПП изготовлены на базе микроэлектронных компонентов и обладают широким спектром использования.

Необходимость плавного пуска электродвигателя является очень важной характеристикой электроприводов, используемых в оборудовании самого разного назначения – от компрессоров и вентиляторов до шнековых дробилок и мельниц.

УПП: назначение устройства

УПП, или как его еще называют *софт-стартер*, обеспечивает снижение *пусковых токов*. Это обеспечивает электродвигателю:

- отсутствие рывков при запуске;
- смягчение стартовых ударов;
- уменьшение износа механических деталей электропривода;
- увеличение рабочего ресурса электродвигателя.

Плавный пуск – это не единственная функция софт-стартеров: они также способны производить остановку двигателя, в функционал УПП может входить:

- *контроль* изменения *напряжения* в электросети;
- *тепловая защита* двигателя;
- *контроль превышения* стартовых токов;
- *контроль* «потери» фаз;
- *защита* от короткого замыкания.

Устройство плавного пуска ВЕСПЕР.



Для безударного запуска электродвигателей, которыми оснащается оборудование с «тяжелым» стартом, используется устройство плавного пуска ВЕСПЕР. Оно представляет собой аппарат прямоугольной формы, оснащенный контактами для подключения цепей управления и самого двигателя.

УПП или софт-стартеры этой российской марки имеют индикаторы и панель управления с ЖК-экраном для отображения рабочих параметров.

Возможности управления и функционал софт-стартером Веспер

Используя панель управления можно:

- снимать показания работы двигателя;
- устанавливать необходимые режимы пуска;

- режимы торможения;
- программировать УПП на ограничение тока и т.д.

Кроме этого в софт-стартерах Веспер предусмотрен сетевой разъем, с помощью которого устройство подключается к ПК для обмена данными и внесения изменений в программный блок.

Устройство плавного пуска ВЕСПЕР для электродвигателя из серии ДМС предназначено для плавного старта и торможения приводов механизма с режимами старта «тяжелый» и «очень тяжелый».

К такому оборудованию относятся центрифуги дробилки, компрессоры, мельницы и ряд других механизмов работающих с большой механической нагрузкой.

Характеристики

- Диапазон мощностей 11 - 800 кВт (свыше 400 кВт по спецзаказу);
- Пусковой ток 100 - 450% от номинального тока двигателя;
- Максимальное время пуска 150 с;
- Полное цифровое управление;
- Электронная защита двигателя;
- Полная защита двигателя;
- Исчерпывающая диагностика;
- Пульс-старт;
- Дистанционное управление;
- Напряжение питания 380 В, 50 Гц.

Модель софт-стартера	ДМС-015Н	ДМС-020Н	ДМС-030Н	ДМС-040Н	ДМС-050Н	ДМС-060Н	ДМС-075Н	ДМС-100Н
Мощность, кВт	11	15	22	30	37	45	55	75
Номинальный ток, А	22	30	43	57	72	85	104	142

Модель софт-стартера	ДМС-125Н	ДМС-150Н	ДМС-200Н	ДМС-250Н	ДМС-300Н	ДМС-350Н	ДМС-400Н	ДМС-550Н
Мощность, кВт	93	110	160	185	220	250	315	400
Номинальный ток, А	190	204	270	340	420	460	580	710

Основные характеристики	Напряжение питания	380 В
	Частота	50 Гц ($\pm 5\%$)
	Выходное напряжение после старта	U _{вх} минус 1 В
	Мощность потерь	$P(Вт) = 3 \times I \text{ фазн} \times 1В$
	Мощность потребления цепи управления	» 20 В•А
	Управляющее напряжение	220 В (+10% -15%)
	Изоляция	2,5 кВ между шасси, силовой цепью и управляющей цепью
	Бай-пасс	Возможен обход софт-стартера после запуска
	Дополнительные контакты	1. Вращение 2. Окончание разгона 3. Авария
Настраиваемые параметры	Стартовое напряжение	$0...50\% \times U_{вх}$
	Время разгона1	0...40 с
	Максимальное время разгона	0...150 с
	Время торможения	0-30 с
	Конечное напряжение	$0-70\% \times U_{вх}$
	Перегрузка	$70-150\% \times I_{ном}$
	Ограничение тока при пуске	$100-450\% \times I_{ном}$
Защитные функции	Количество стартов в час	От 4 стартов в час при максимальной нагрузке до 60 стартов в час в зависимости от нагрузки.
	Максимальный ток	10×I _{ном} в течение 0,5 с; 4×I _{ном} в течение 20 с; 3×I _{ном} в течение 60 с; 1×I _{ном} длительно.
	Виды защиты	Перегрузка, короткое замыкание, обрыв и дисбаланс фаз, пониженное и

		повышенное напряжение сети, неправильная последовательность фаз, защита от затянувшегося пуска, перегрев софт-стартера
Конструкция, условия работы	Охлаждение	До 22 кВт – естественное, свыше 22 кВт – принудительное встроенным вентилятором.
	Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254-96	IP00
	Окружающая температура	0-50°C

УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО ПУСКА INSTART

Предназначены для плавного запуска асинхронных короткозамкнутых электродвигателей путем постепенного повышения напряжения на статоре двигателя.

Устройства плавного пуска оснащены всеми необходимыми функциями для эффективного управления и защиты электродвигателей вне зависимости от области применения

Описание

Устройство плавного пуска INSTART: принцип работы и преимущества использования

Софт-стартеры – устройства, используемые для плавного пуска короткозамкнутых электрических двигателей. Старт с их помощью осуществляется постепенным повышением напряжения тока на статоре привода.

Устройство плавного пуска INSTART – востребованное силовое оборудование, которое состоит из силового блока на тиристорах и микропроцессорной системы управления. Софт-стартеры этой марки оснащены всем необходимым для эффективной защиты и управления двигателями разной мощности, которые применяются в оборудовании различного назначения.

Возможности и особенности эксплуатации УПП INSTART

В функционал софт-стартеров этой марки входит:

- Остановка и запуск двигателя;
- Электронная защита двигателя – при старте и в режиме by-pass;
- Электронная защита самого софт-стартера;

Устройство плавного пуска INSTART для электродвигателя может иметь до 8 режимов остановки и пуска двигателя, оснащено системой защиты по десяти различным параметрам. В каждой фазе УПП этой марки оснащается тиристорными модулями, которые подключаются по параллельно-встречному принципу – это позволяет управлять всеми 3 фазами в процессе остановки и полного периода запуска двигателя.

Использование устройств плавного запуска двигателя позволяет:

- уменьшить износ деталей электроприводов;
- устранить гидравлические удары в задвижках двигателя в процессе запуска;
- увеличить срок службы электродвигателя.



УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО ПУСКА ЛИДЕР

Устройство плавного пуска серии LD1000 обеспечивает плавный разгон и торможение электродвигателя, тем самым снижает нагрузку на электросеть и пускаемые механизмы. Данную задачу LD1000 реализует за счёт ограничения пускового тока и крутящего момента путём плавного нарастания подаваемого напряжения на электродвигатель.



Описание

Устройство плавного пуска ЛИДЕР: характеристики работы и достоинства софт-стартера

Один из лучших образцов высокотехнологичного электронного софт-стартера российского производства – это устройство плавного пуска ЛИДЕР, силовой прибор для ограничения стартового момента электрических двигателей.

Его применение улучшает эксплуатационные характеристики электродвигателей, исключает механические удары, позволяет снизить простои оборудования и расходы на его ремонт. Благодаря применению софт-стартеров обеспечивается контролируемый, «мягкий» запуск и остановка электроприводов.

УПП серии LD1000 обеспечивают плавный запуск электроприводов, что позволяет снизить ударную нагрузку на механизмы и уменьшить нагрузку на электросеть путем постепенного нарастания стартового напряжения.

Эксплуатационные параметры устройств для софт-старта

Софт-стартеры Лидер обеспечивают защиту:

- электропривода от перегрузки по току;
- от короткого замыкания;
- от пропадания фазы;
- резких перепадов напряжения.

УПП серии LD1000 обладают следующими техническими параметрами:

- диапазон рабочих температур - от 0 до +50°С;
- максимальное время стартового момента – 1 минута;
- возможность использования режима «bypass»;
- напряжение питания – частота - 50 Гц, 380В;

Также устройство плавного пуска ЛИДЕР для электродвигателя способно обеспечить ограничение стартовых значений тока до 450% от стандартного тока электродвигателя.

Характеристики

- Напряжение питания **380В, 50 Гц**;
- Максимальное время пуска **60с**;
- Ограничение пускового тока до **450%** от номинального тока двигателя;
- Управление обходным контактором (по системе «by-pass»);
- Защита электродвигателя (короткое замыкание, перенапряжение, падение

напряжения, перегрузка, обрыв фазы, перегрузка по току и др.);

- Рабочая температура от **0** до **+50°C**, относительная влажность воздуха не более **95%** без образования конденсата. Гарантия **24** месяца!



№	Модель	Мощность (кВт)	Номинальный ток (А)	Вес(кг)
1	LD1000-4T-0075	7,5	18	5,5
2	LD1000-4T-0150	15	30	5,5
3	LD1000-4T-0220	22	44	5,5
4	LD1000-4T-0300	30	60	5,5
5	LD1000-4T-0370	37	75	11,5
6	LD1000-4T-0450	45	90	11,5
7	LD1000-4T-0550	55	110	11,5
8	LD1000-4T-0750	75	145	24,8
9	LD1000-4T-0900	90	175	24,8
10	LD1000-4T-1100	110	210	24,8
11	LD1000-4T-1320	132	250	24,8
12	LD1000-4T-1600	160	300	24,8
13	LD1000-4T-2000	200	370	24,8
14	LD1000-4T-2500	250	470	32
15	LD1000-4T-3200	320	570	32
16	LD1000-4T-4000	400	720	32

Выбор схемы соединения фаз электродвигателя - соединение обмоток звездой и треугольником

Для включения асинхронного электродвигателя в сеть его статорная обмотка должна быть соединена звездой или треугольником.

Чтобы электродвигатель включить в сеть по схеме "звезда", нужно все концы фаз (C4, C5, C6) соединить электрически в одну точку, а все начала фаз (C1, C2, C3) присоединить к фазам сети. Правильное соединение концов фаз электродвигателя по схеме "звезда" показано на рис. 1, а.



Для включения электродвигателя по схеме "треугольник" начало первой фазы соединяют с концом второй и начало второй — с концом третьей, а начало третьей — с концом первой. Места соединений обмоток подключают к трем фазам сети. Правильное соединение концов фаз электродвигателя по схеме "треугольник" показано рис. 1, б.

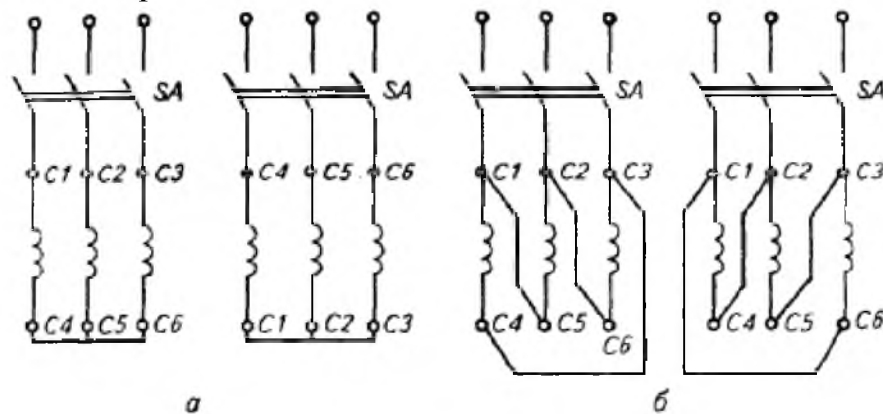
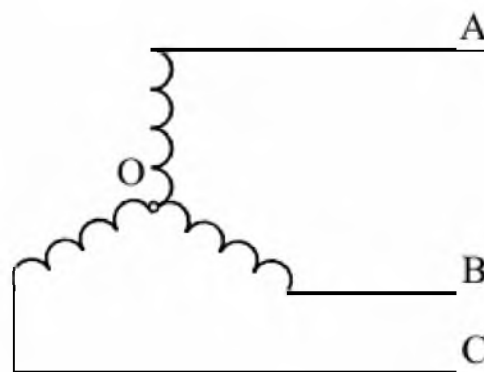


Рис. 1. Схемы включения трехфазного асинхронного электродвигателя в сеть: а - фазы соединены звездой, б - фазы соединены треугольником



Соединение фаз двигателя по схеме "звезда"

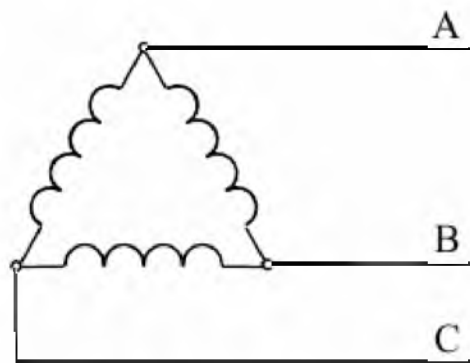


Рис. 2. Соединение фаз двигателя по схеме "треугольник"

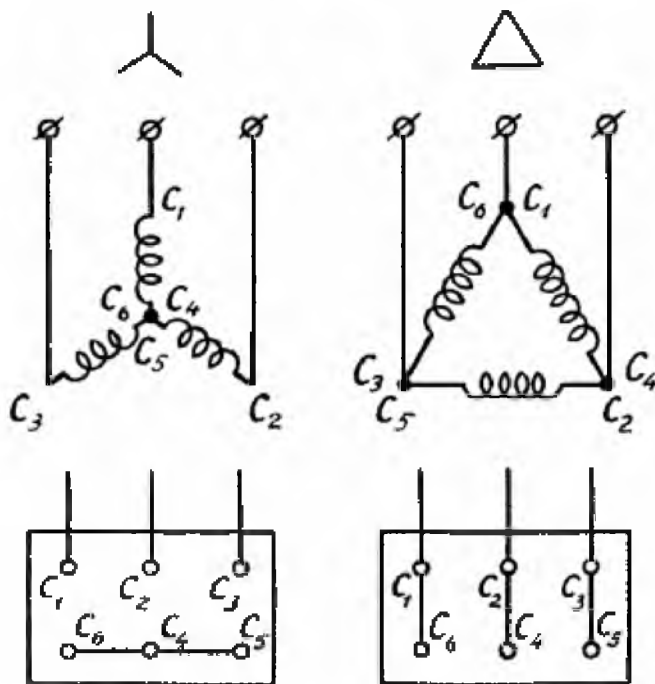
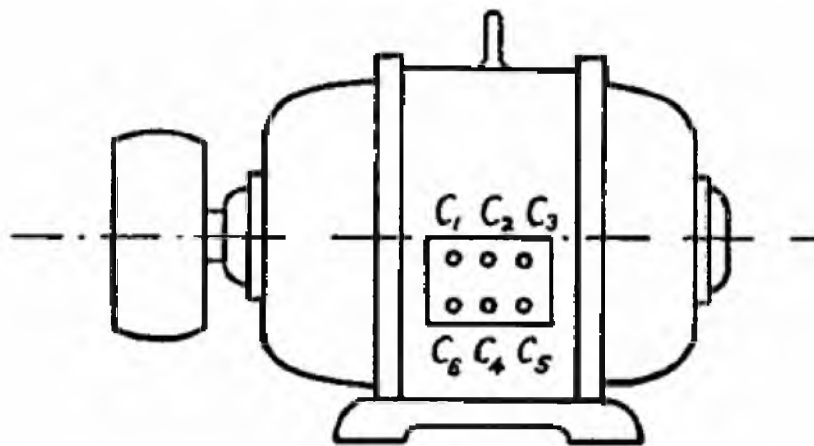


Рис. 3. Соединение обмоток

электродвигателя звездой и треугольником

Для выбора схемы соединения фаз трехфазного асинхронного электродвигателя можно использовать данные таблицы 1.

Таблица 1. Выбор схемы соединения обмоток

Напряжение электрического двигателя, В	Напряжение сети, В	
	380/220	660/ 380

380/220	звезда	-
660/380	треугольн ик	звез да

Из таблицы видно, что при подключении асинхронного двигателя с рабочим напряжением 380/220 В к сети с линейным напряжением 380 В соединять его обмотки можно только звездой! Соединять концы фаз такого электродвигателя по схеме "треугольник" нельзя. Неправильный выбор схемы соединения обмоток электродвигателя может привести к выходу его из строя во время работы.

Вариант соединения обмоток треугольником предусмотрен для подключения двигателей 660/380 В к сети с линейным напряжением 660В и фазным 380 В. В этом случае обмотки двигателя могут соединяться по схеме, как "звезда", так и "треугольник".

Такие двигатели могут включаться в сеть при помощи переключателя схем со звезды на треугольник (рис. 4). Это техническое решение позволяет уменьшить пусковой ток трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя большой мощности. При этом сначала обмотки электродвигателя соединяют по схеме "звезда" (при нижнем положении ножей переключателя), потом, когда ротор двигателя наберет номинальную частоту вращения, его обмотки переключают в схему "треугольник" (верхнее положение ножей переключателя).

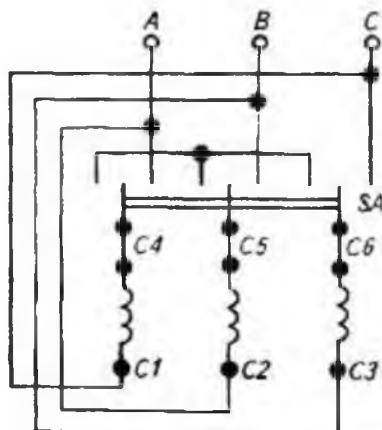


Рис. 4. Схема включения трехфазного электродвигателя в сеть при помощи переключателя фаз со звезды на треугольник

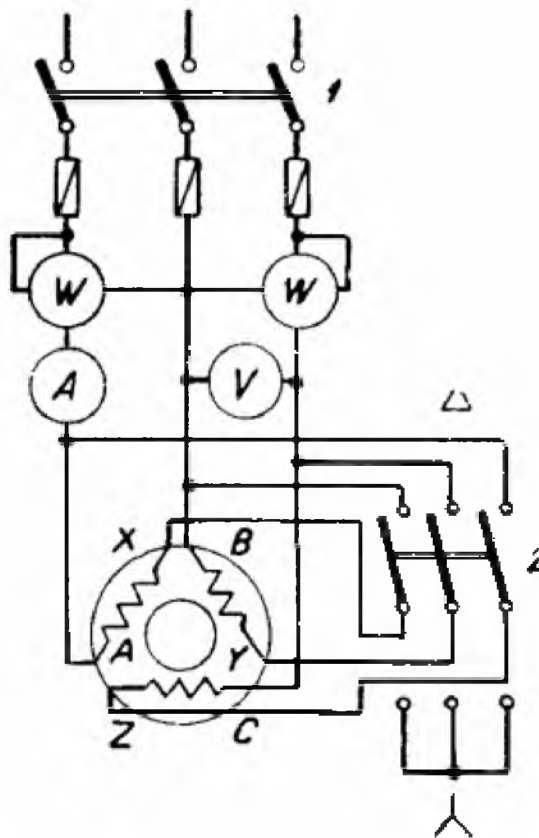


Рис. 5. Подключение звезда-треугольник

Снижение пускового тока при переключении его обмоток со звезды на треугольник происходит потому, что вместо предназначенной для данного напряжения сети схемы "треугольник" (660В) каждая обмотка двигателя включается на напряжение в 1,73 раза меньше (380В). При этом потребляемый ток снижается в 3 раза. Снижается также в 3 раза и мощность, развиваемая электродвигателем при пуске.

Но, в связи со всем вышесказанным, такие схемные решения можно использовать только для двигателей с номинальным напряжением 660/380 В и включении их в сеть с таким же напряжением. При попытке включения электродвигателя с номинальным напряжением 380/220 В по такой схеме он выйдет из строя, т.к. его фазы нельзя включать в сеть "треугольником".

Номинальное напряжение электрического двигателя можно посмотреть на его корпусе, где в виде металлической пластинки размещается его технический паспорт.

Для изменения направления вращения электродвигателя достаточно поменять местами две любые фазы сети независимо от схемы его включения (рис. 6). Для изменения направления вращения асинхронного электродвигателя применяют электрические аппараты ручного управления (реверсивные рубильники, пакетные переключатели) или аппараты дистанционного управления (реверсивные электромагнитные пускатели). Схема включения трехфазного асинхронного электродвигателя в сеть реверсивным рубильником показана на рис. 7.

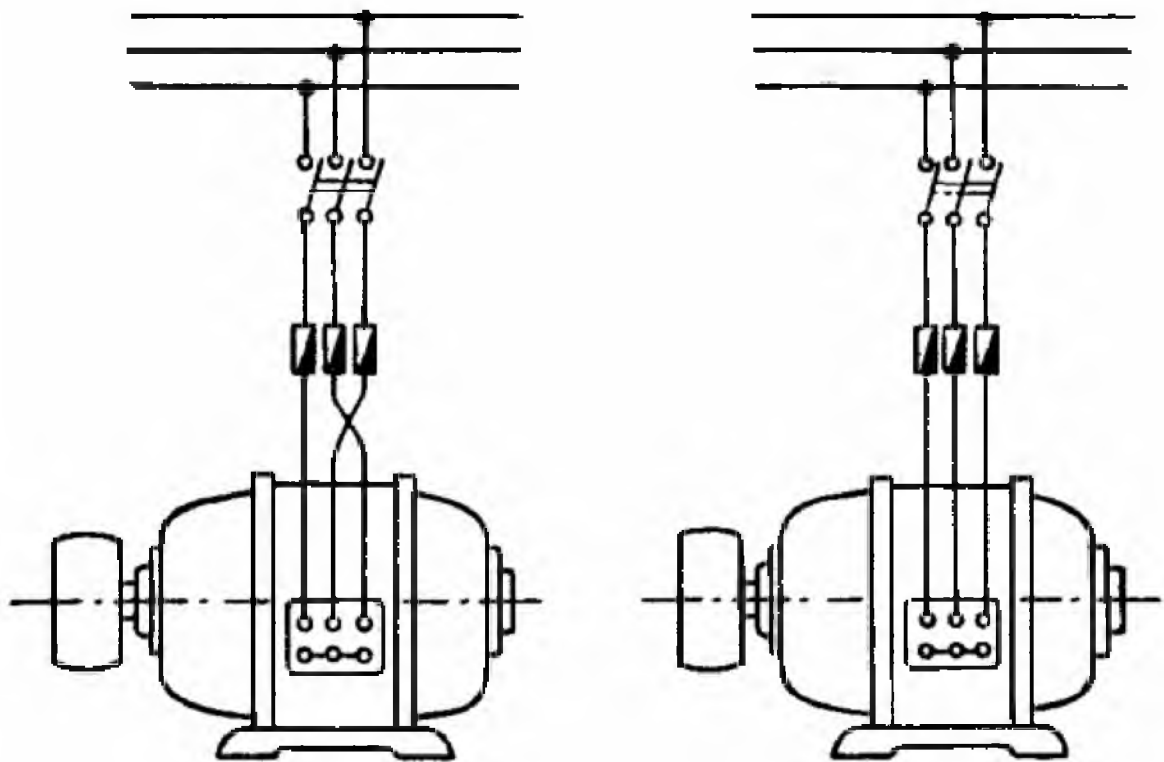


Рис. 6. Реверс трехфазного асинхронного двигателя

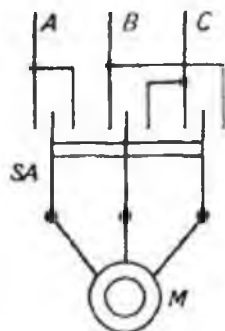


Рис. 7. Схема включения трехфазного электродвигателя в сеть реверсивным рубильником

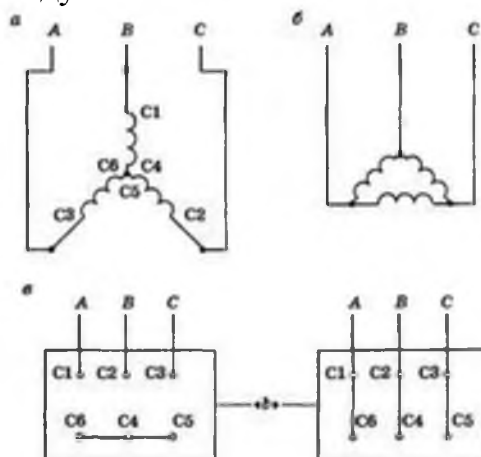
Как подключить асинхронный двигатель

Асинхронный двигатель - это двигатель переменного тока, частота вращения ротора которого отличается от частоты вращения магнитного поля, которое создается током обмотки статора. Асинхронный двигатель преобразует электрическую энергию в механическую. Благодаря своей простоте устройства, надежности в эксплуатации двигатели такого типа являются самыми распространенными электрическими машинами в мире.

Смотрите: Устройство и принцип действия асинхронных двигателей, а также Асинхронные двигатели с фазным ротором, Однофазные и двухфазные асинхронные двигатели



Фазные обмотки статора электродвигателя соединяются в звезду или треугольник (в зависимости от напряжения сети). Если в паспорте электродвигателя указано, что обмотки выполнены на напряжение 220/380 В, то при включении его в сеть с линейным напряжением 220 В обмотки соединяют в треугольник, а при включении в сеть 380 В - в звезду.



Схемы соединения обмоток статора трехфазного асинхронного двигателя: а - в звезду, б - в треугольник, в - в звезду и треугольник на клеммном щитке электродвигателя

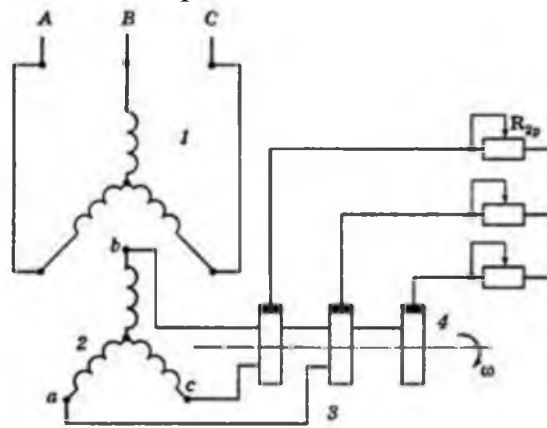


Схема включения асинхронного электродвигателя с фазным ротором: 1 - обмотка статора, 2 - обмотка ротора, 3 - контактные кольца, 4 - щетки, R - резисторы.

Для изменения направления вращения вала асинхронного двигателя необходимо изменить направление вращения магнитного поля статора. Для этого достаточно поменять местами два любых провода, соединяющих обмотку статора с питающей сетью.

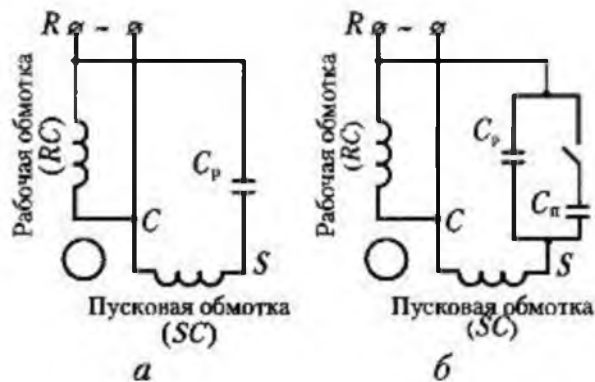


Схема включения однофазных конденсаторных двигателей: а - с рабочей емкостью C_p , б - с рабочей емкостью C_p и пусковой емкостью C_n .

Ссылки на видео Электродвигатель

<https://youtu.be/uXwamyaiUKo> Устройство АЭД с КЗР

<https://youtu.be/oXFySwZTC0k> Устройство АЭД с КЗР

https://youtu.be/J_NGIRsI98E Начало конец обмоток

<https://youtu.be/Mvk4eUgbQCU> Асинхронный электродвигатель с фазным и короткозамкнутым ротором.

Условные графические обозначения электрических машин на схемах

Условные графические обозначения электрических машин (ГОСТ 2.722-68). Имеются три способа изображения обозначений электрических машин: упрощенный однолинейный, упрощенный многолинейный и развернутый. На рис. 1 а, б показаны упрощенные однолинейные обозначения генератора и двигателя трехфазного переменного тока, а на рис. 1 в упрощенное многолинейное обозначение трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором, обмотка у которого соединена звездой.



Развернутые обозначения электрических машин могут изображаться в виде цепочек окружностей, расположенных с учетом сдвига фаз (рис. 1 г) и без него (рис. 1 д). Обмотку ротора обозначают в виде окружности.

Обозначения машин постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением изображены соответственно на рис. 1 е, ж, з. Якорь этих машин отображаются окружностью с соприкасающимися с ней прямоугольниками - коллекторами и щетками.

На рис. 1 и ... л показаны упрощенные схемы соответственно: синхронной машины трехфазного тока с обмоткой возбуждения на явнополюсном роторе и обмоткой статора, соединенной звездой, асинхронного двигателя, у которого обмотка статора соединена в треугольник, синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов и обмоткой статора соединенной звездой.

На рис. 1 м показаны упрощенное, а на рис. 1 и развернутое обозначение поворотного трехфазного автотрансформатора (потенциал-регулятора) и на рис. 1, о, п - трехфазного поворотного трансформатора-фазорегулятора.

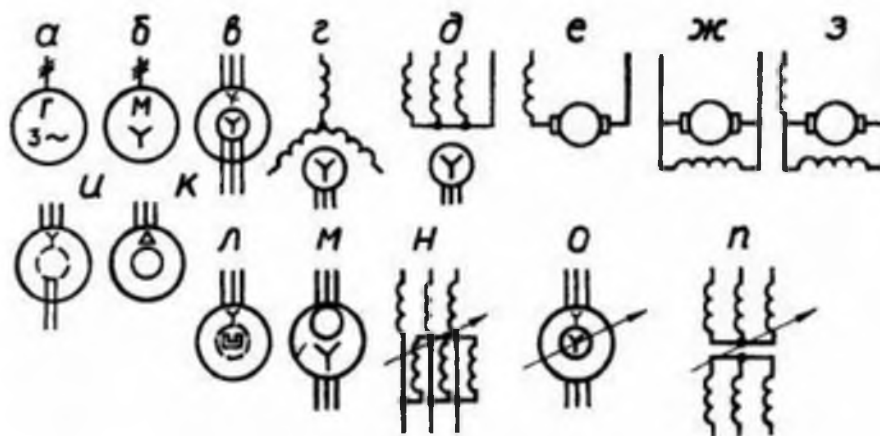


Рис. 1. Условные обозначения электрических машин на схемах

Условные графические обозначения трансформаторов и автотрансформаторов согласно ГОСТ 2.723-68 показаны на рис. 2. Так на рис. 2 а, б показаны упрощенные однолинейные обозначения трехфазных двухобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов.

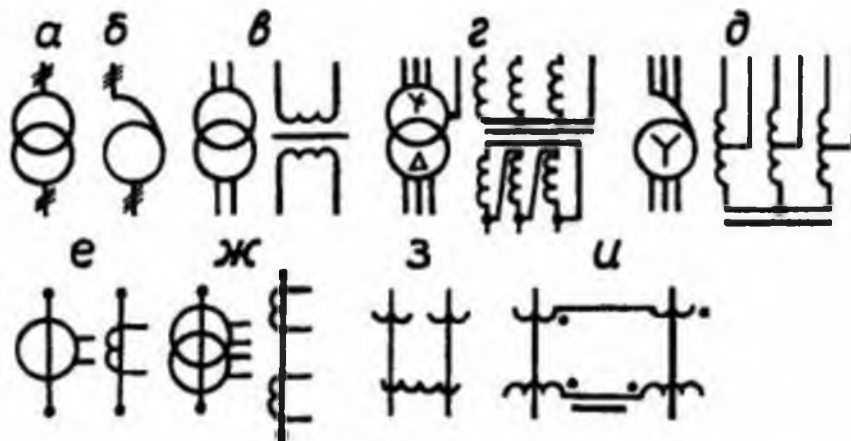


Рис. 2. Условные обозначения трансформаторов, автотрансформаторов и магнитных усилителей на схемах

Упрощенное многолинейное и развернутое обозначение однофазного двухобмоточного трансформатора показано на рис. 2 в, на рис 2 е и ж - трехфазных двухобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов, а на рис 2 е и ж - измерительные трансформаторы с одной и двумя обмотками.

На рис. 2з и 2и приведены обозначения на схемах магнитных усилителей соответственно с двумя рабочими и общей управляющей обмоткой, а также с двумя рабочими обмотками, включенными последовательно и обмоткой управления, состоящей из двух встречно включенных обмоток.

ГОСТ 2.722-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические

Устройство и принцип действия асинхронных электродвигателей

Электрические машины, преобразующие электрическую энергию переменного тока в механическую энергию, называются **электродвигателями переменного тока**.

В промышленности наибольшее распространение получили **асинхронные двигатели трехфазного тока**. Рассмотрим устройство и принцип действия этих двигателей.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на использовании вращающегося магнитного поля.

Для уяснения работы такого двигателя сделаем следующий опыт.

Укрепим подковообразный магнит на оси таким образом, чтобы его можно было вращать за ручку. Между полюсами магнита расположим на оси медный цилиндр, могущий свободно вращаться.

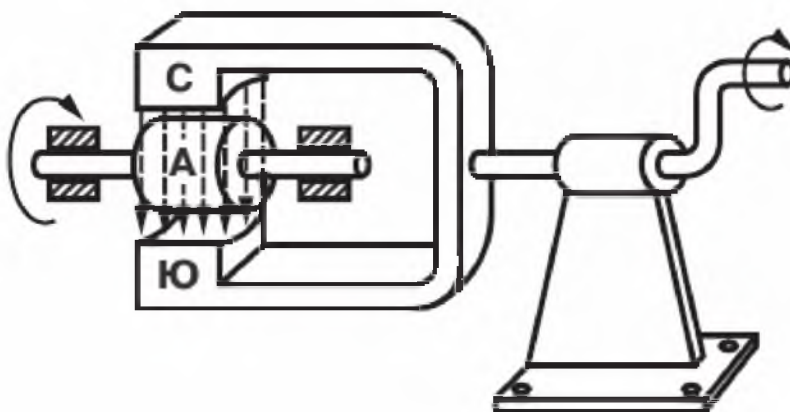


Рисунок 1. Простейшая модель для получения вращающегося магнитного поля

Начнем вращать магнит за ручку по часовой стрелке. Поле магнита также начнет вращаться и при вращении будет пересекать своими силовыми линиями медный цилиндр. В цилиндре, по закону электромагнитной индукции, возникнут вихревые токи, которые создадут свое собственное магнитное поле — поле цилиндра. Это поле будет взаимодействовать с магнитным полем постоянного магнита, в результате чего цилиндр начнет вращаться в ту же сторону, что и магнит.

Установлено, что скорость вращения цилиндра несколько меньше скорости вращения поля магнита.

Действительно, если цилиндр вращается с той же скоростью, что и магнитное поле, то магнитные силовые линии не пересекают его, а

следовательно, в нем не возникают вихревые токи, вызывающие вращение цилиндра.

Скорость вращения магнитного поля принято называть синхронной, так как она равна скорости вращения магнита, а скорость вращения цилиндра — **асинхронной** (несинхронной). Поэтому сам двигатель получил название **асинхронного двигателя**. Скорость вращения цилиндра (ротора) отличается от синхронной скорости вращения магнитного поля на небольшую величину, называемую **скольжением**.

Обозначив скорость вращения ротора через n_1 и скорость вращения поля через n мы можем подсчитать **величину скольжения в процентах** по формуле:

$$s = (n - n_1) / n.$$

В приведенном выше опыте вращающееся магнитное поле и вызванное им вращение цилиндра мы получали благодаря вращению постоянного магнита, поэтому такое устройство еще не является **электродвигателем**. Надо заставить электрический ток создавать вращающееся магнитное поле и использовать его для вращения ротора. Задачу эту в свое время блестяще разрешил М. О. Доливо-Добровольский. Он предложил использовать для этой цели **трехфазный ток**.

Устройство асинхронного электродвигателя М. О. Доливо-Добровольского

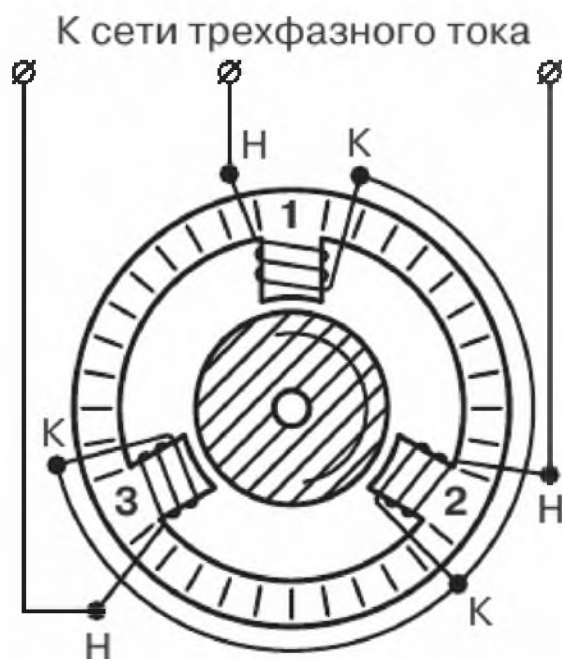


Рисунок 2. Схема асинхронного электродвигателя Доливо-Добровольского

На полюсах железного сердечника кольцевой формы, называемого **статором электродвигателя**, помещены три обмотки, сети трехфазного тока 0 расположенные одна относительно другой под углом 120° .

Внутри сердечника укреплен на оси металлический цилиндр, называемый **ротором электродвигателя**.

Если обмотки соединить между собой так, как показано на рисунке, и подключить их к сети трехфазного тока, то общий магнитный поток, создаваемый тремя полюсами, окажется вращающимся.

На рисунке 3 показан график изменения токов в обмотках двигателя и процесс возникновения вращающегося магнитного поля.

Рассмотрим - подробнее этот процесс.

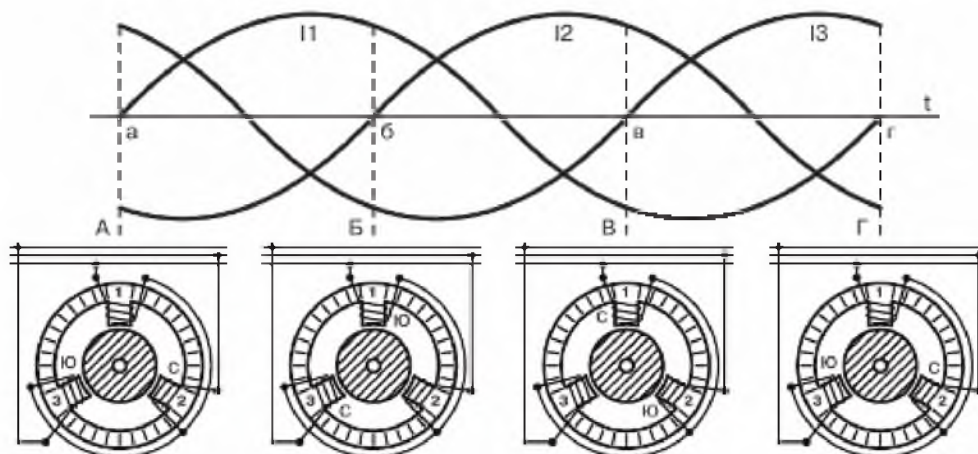


Рисунок 3. Получение вращающегося магнитного поля

В положении «А» на графике ток в первой фазе равен нулю, во второй фазе он отрицателен, а в третьей положителен. Ток по катушкам полюсов потечет в направлении, указанном на рисунке стрелками.

Определив по правилу правой руки направление созданного током магнитного потока, мы убедимся, что на внутреннем конце полюса (обращенном к ротору) третьей катушки будет создан южный полюс (Ю), а на полюсе второй катушки — северный полюс (С). Суммарный магнитный поток будет направлен от полюса второй катушки через ротор к полюсу третьей катушки.

В положении «Б» на графике ток во второй фазе равен нулю, в первой фазе он положителен, а в третьей отрицателен. Ток, протекая по катушкам полюсов, создает на конце первой катушки южный полюс (Ю), на конце третьей катушки северный полюс (С). Суммарный магнитный поток теперь будет направлен от третьего полюса через ротор к первому полюсу, т. е. полюсы при этом переместятся на 120° .



В положении «В» на графике ток в третьей фазе равен нулю, во второй фазе он положителен, а в первой отрицателен. Теперь ток, протекая по первой и второй катушкам, создаст на конце полюса первой катушки — северный полюс (С), а на конце полюса второй катушки — южный полюс (Ю), т. е. полярность суммарного магнитного поля переместится еще на

120°. В положении «Г» на графике магнитное поле переместится еще на 120°.

Таким образом, суммарный магнитный поток будет менять свое направление с изменением направления тока в обмотках статора (полюсов).

При этом за один период изменения тока в обмотках магнитный поток сделает полный оборот. Вращающийся магнитный поток будет увлекать за собой цилиндр, и мы получим таким образом асинхронный электродвигатель.

Напомним, что на рисунке 3 обмотки статора соединены «звездой», однако вращающееся магнитное поле образуется и при соединении их «треугольником».

Если мы поменяем местами обмотки второй и третьей фаз, то магнитный поток изменит направление своего вращения на обратное.

Такого же результата можно добиться, не меняя местами обмотки статора, а направляя ток второй фазы сети в третью фазу статора, а третью фазу сети — во вторую фазу статора.

Таким образом, **изменить направление вращения магнитного поля можно переключением двух любых фаз.**

Мы рассмотрели устройство асинхронного двигателя, имеющего на статоре три обмотки. В этом случае вращающееся магнитное поле двухполюсное и число его оборотов в одну секунду равно числу периодов изменения тока в одну секунду.

Если на статоре разместить по окружности шесть обмоток, то будет создано **четырёхполюсное вращающееся магнитное поле**. При девяти обмотках поле будет шестиполюсным.



При частоте трехфазного тока f , равной 50 периодам в секунду, или 3000 в минуту, число оборотов n вращающегося поля в минуту будет:

при двухполюсном статоре $n = (50 \times 60) / 1 = 3000$ об/мин,

при четырехполюсном статоре $n = (50 \times 60) / 2 = 1500$ об/мин,

при шестиполюсном статоре $n = (50 \times 60) / 3 = 1000$ об/мин,

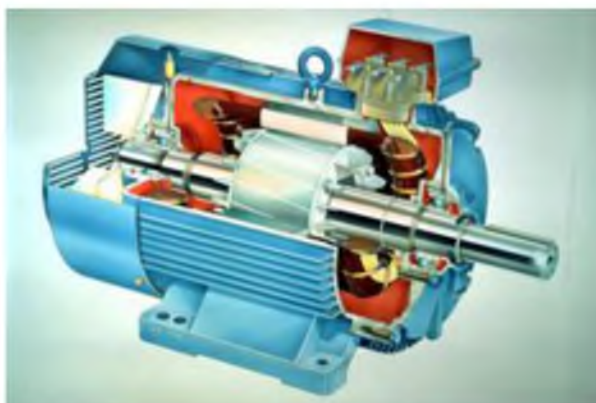
при числе пар полюсов статора, равном p : $n = (f \times 60) / p$,

Итак, мы установили скорость вращения магнитного поля и зависимость ее от числа обмоток на статоре двигателя.

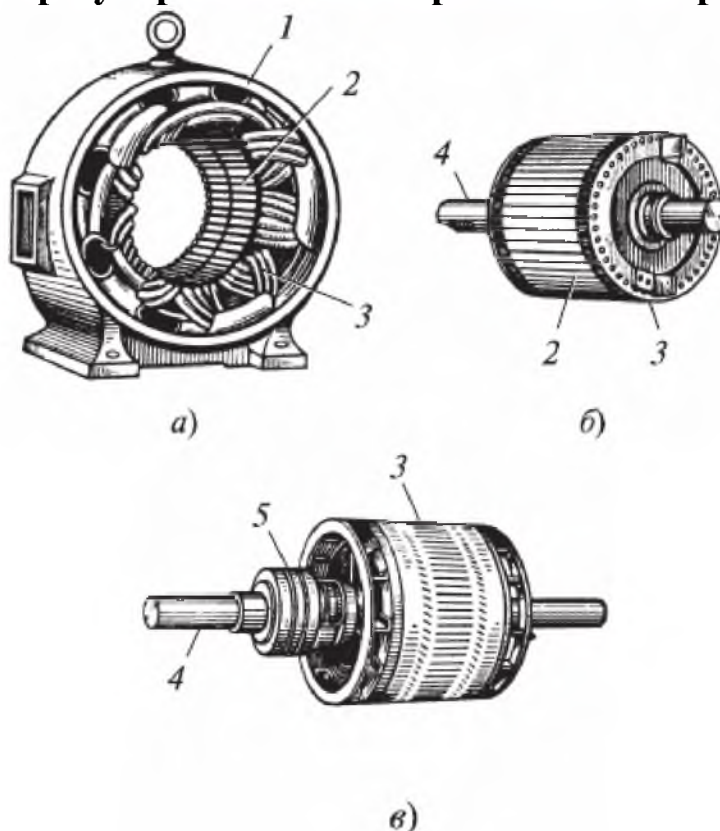
Ротор же двигателя будет, как нам известно, несколько отставать в своем вращении.

Однако отставание ротора очень небольшое. Так, например, при холостом ходе двигателя разность скоростей составляет всего 3%, а при нагрузке 5 - 7%. Следовательно, обороты асинхронного двигателя при

изменении нагрузки изменяются в очень небольших пределах, что является одним из его достоинств.



Рассмотрим теперь устройство асинхронных электродвигателей

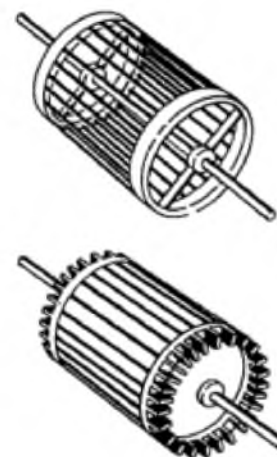


Асинхронный электродвигатель в разобранном виде: а) статор; б) ротор в короткозамкнутом исполнении; в) ротор в фазном исполнении (1 — станина; 2 — сердечник из штампованных стальных листов; 3 — обмотка; 4 — вал; 5 — контактные кольца)

Статор современного асинхронного электродвигателя имеет невыраженные полюсы, т. е. внутренняя поверхность статора сделана совершенно гладкой.

Чтобы уменьшить потери на вихревые токи, сердечник статора набирают из тонких штампованных стальных листов. Собранный сердечник статора закрепляют в стальном корпусе.

В пазы статора закладывают обмотку из медной проволоки. Фазовые обмотки статора электродвигателя



соединяются «звездой» или «треугольником», для чего все начала и концы обмоток выводятся на корпус — на специальный изоляционный щиток. Такое устройство статора очень удобно, так как позволяет включать его обмотки на разные стандартные напряжения.

Ротор асинхронного двигателя, подобно статору, набирается из штампованных листов стали. В пазы ротора закладывается обмотка.

В зависимости от конструкции ротора асинхронные электродвигатели делятся на **двигатели с короткозамкнутым ротором и фазным ротором**.

Обмотка короткозамкнутого ротора сделана из медных стержней, закладываемых в пазы ротора. Торцы стержней соединены при помощи медного кольца. Такая обмотка называется обмоткой типа «беличьей клетки». Заметим, что медные стержни в пазах не изолируются.

В некоторых двигателях «беличью клетку» заменяют литым ротором.



Асинхронный двигатель с фазным ротором (с контактными кольцами) применяется обычно в электродвигателях большой мощности и в тех случаях; когда необходимо, чтобы электродвигатель создавал большое усилие при трогании с места. Достигается это тем, что в обмотки фазного двигателя включается пусковой реостат.

Короткозамкнутые асинхронные двигатели пускаются в ход двумя способами:

- 1) Непосредственным подключением трехфазного напряжения сети к статору двигателя. Этот способ самый простой и наиболее популярный.
- 2) Снижением напряжения, подводимого к обмоткам статора. Напряжение снижают, например, переключая обмотки статора со «звезды» на «треугольник».

Пуск двигателя в ход происходит при соединении обмоток статора «звездой», а когда ротор достигнет нормального числа оборотов, обмотки статора переключаются на соединение «треугольником».

Ток в подводящих проводах при этом способе пуска двигателя уменьшается в 3 раза по сравнению с тем током, который возник бы при пуске двигателя прямым включением в сеть с обмотками статора, соединенными «треугольником». Однако этот способ пригоден лишь в том

случае, если статор рассчитан для нормальной работы при соединении его обмоток «треугольником».

Наиболее простым, дешевым и надежным является **асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором**, но этот двигатель обладает некоторыми недостатками — малым усилием при трогании с места и большим пусковым током. Эти недостатки в значительной мере устраняются применением фазного ротора, но применение такого ротора значительно удорожает двигатель и требует пускового реостата.



Типы асинхронных электродвигателей

Основной тип асинхронных машин — **трехфазный асинхронный двигатель**. Он имеет три обмотки на статоре, смещенные в пространстве на 120° . Обмотки соединяются в звезду или треугольник и питаются трехфазным переменным током.

Двигатели малой мощности в большинстве случаев выполняются как **двухфазные**. В отличие от трехфазных двигателей они имеют на статоре две обмотки, токи в которых для создания вращающегося магнитного поля должны быть сдвинуты на угол $\pi/2$.

Если токи в обмотках равны по модулю и сдвинуты по фазе на 90° , то работа подобного двигателя ничем не будет отличаться от работы трехфазного. Однако такие двигатели с двумя обмотками на статоре в большинстве случаев питаются от однофазной сети и сдвиг, приближающийся к 90° , создается искусственным путем, обычно за счет конденсаторов.

Однофазный двигатель, имеющий только одну обмотку на статоре, практически неработоспособен. При неподвижном роторе в двигателе создается только пульсирующее магнитное поле и вращающий момент

равен нулю. Правда, если ротор такой машины раскрутить до некоторой скорости, то далее она может выполнять функции двигателя.

В этом случае, хотя и будет только пульсирующее поле, но оно складывается из двух симметричных — прямого и обратного, которые создают неравные моменты — больший двигательный и меньший тормозной, возникающий за счет токов ротора повышенной частоты (скольжение относительно обратносинхронного поля больше 1).

В связи с изложенным однофазные двигатели снабжаются второй обмоткой, которая используется как пусковая. В цепь этой обмотки для создания фазового сдвига тока включают конденсаторы, емкость которых может быть достаточно велика (десятки микрофард при мощности двигателя менее 1 кВт).

В системах управления используются двухфазные двигатели, которые иногда называют **исполнительными**. Они имеют две обмотки на статоре, сдвинутые в пространстве на 90° . Одна из обмоток, называемая обмоткой возбуждения, непосредственно подключается к сети 50 или 400 Гц. Вторая используется как обмотка управления.

Для создания вращающегося магнитного поля и соответствующего момента ток в обмотке управления должен быть сдвинут на угол, близкий к 90° . Регулирование скорости двигателя, как будет показано ниже, осуществляется изменением значения или фазы тока в этой обмотке. Реверс обеспечивается изменением фазы тока в управляющей обмотке на 180° (переключением обмотки).

Двухфазные двигатели изготавливаются в нескольких исполнениях:

- с короткозамкнутым ротором,
- с полым немагнитным ротором,
- с полым магнитным ротором.

Линейные двигатели

Преобразование вращательного движения двигателя в поступательное движение органов рабочей машины всегда связано с необходимостью использования каких-либо механических узлов: зубчатых реек, винта и др. Поэтому иногда целесообразно выполнение двигателя с линейным перемещением ротора-бегунка (название "ротор" при этом может быть принято только условно — как движущегося органа).

В этом случае двигатель, как говорят, может быть развернут. Обмотка статора линейного двигателя выполняется так же, как и у объемного двигателя, но только должна быть заложена в пазы на всю длину максимального возможного перемещения ротора-бегунка. Ротор-бегунок обычно короткозамкнутый, с ним сочленяется рабочий орган механизма. На концах статора, естественно, должны находиться ограничители, препятствующие уходу ротора за рабочие пределы пути.

Асинхронные электродвигатели.

Общая характеристика асинхронных электродвигателей.

Асинхронной машиной называется электрическая машина, одна из обмоток которой, обмотка статора, подключается к источнику переменного тока, а другая, обмотка ротора, выполняется короткозамкнутой (в виде беличьей клетки) или фазной, выходы которой подключаются к контактными кольцам.

Особенностью работы асинхронных электродвигателей является неравенство (асинхронность) частот вращения ротора и магнитного поля, что и определило их название.

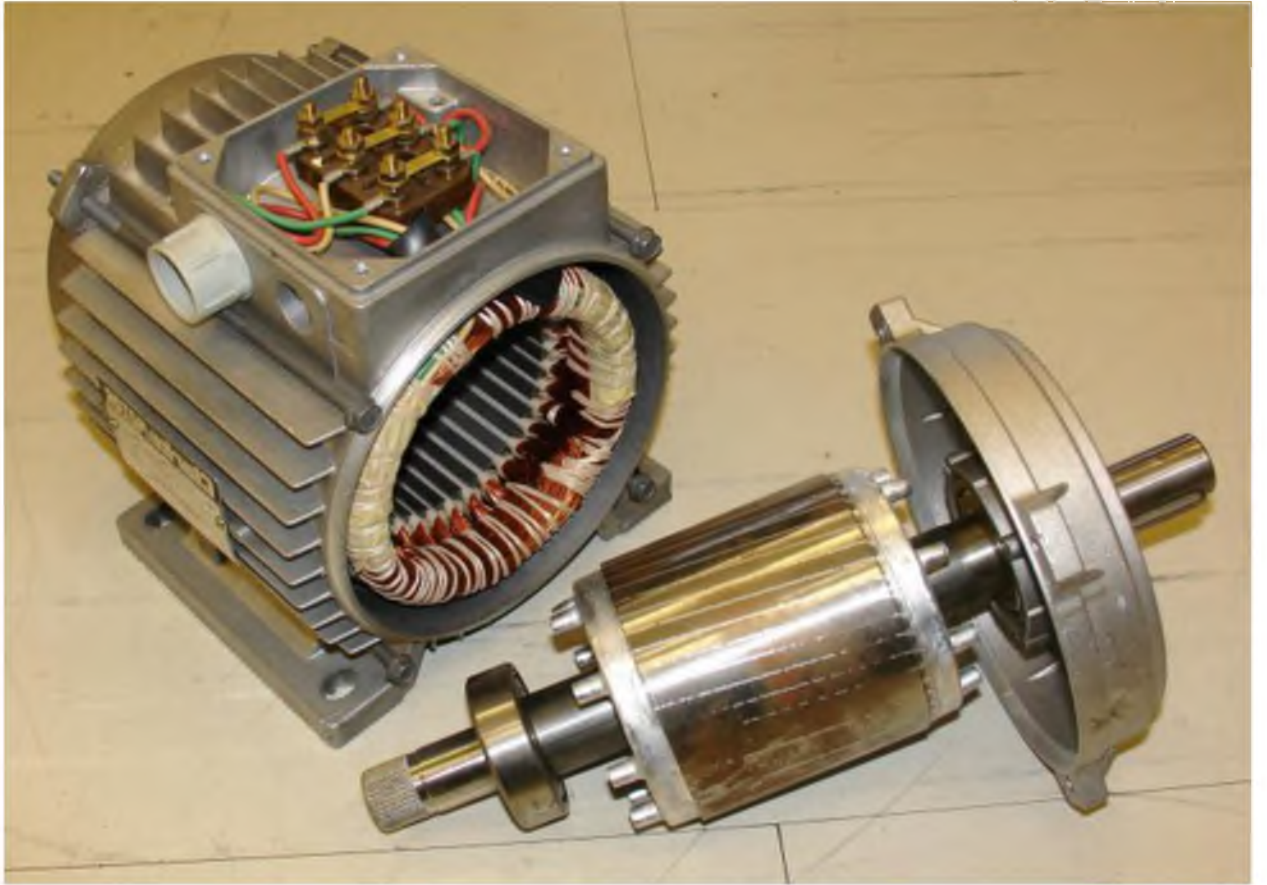
Из всего спектра выпускаемых в настоящее время электрических моторов наибольшее распространение получил двигатель ***асинхронный трёхфазный***. Практически половина производимой в мире электроэнергии используется именно этими машинами. Они широко применяются в металлообрабатывающей и деревообрабатывающей промышленности. Асинхронный двигатель незаменим на фабриках и насосных станциях. Без таких машин не обойтись и в быту, где они используются и в другой домашней технике, и в ручном электроинструменте.



Область применения этих электрических машин расширяется с каждым днём, так как совершенствуются и сами модели, и используемые для их изготовления материалы. Каковы же основные части этой машины. Разобрав двигатель асинхронный трехфазный, можно наблюдать два главных элемента.

1. Статор.

2. Ротор.



Одна из важнейших деталей - **статор**. На фото сверху эта часть двигателя расположена слева.

Он состоит из следующих основных элементов:

1. **Корпус.**

Он необходим для соединения всех деталей машины. Если двигатель небольшой, то корпус изготавливают цельнолитым. В качестве материала используют чугун. Применяются также сталь или сплавы алюминия. Иногда корпус малых двигателей совмещает функции сердечника. Если же двигатель имеет большие размеры и мощность, то корпус сваривают из отдельных частей.

2. **Сердечник.**

Этот элемент двигателя запрессовывается в корпус. Служит он для улучшения качеств магнитной индукции. Выполняется сердечник из пластин электрической стали. Для того чтобы снизить потери, неизбежные при появлении вихревых токов, каждая пластина покрывается слоем специального лака.

3. **Обмотка.**

Она размещается в пазах сердечника. Состоит из витков медной проволоки, которые собираются в секции. Соединённые в определённой последовательности, они образуют три катушки, которые в совокупности являются обмоткой статора. Подключается она непосредственно к сети, поэтому называется первичной.

Ротор — это подвижная часть двигателя. На фото он находится справа.

Служит он для преобразования силы магнитных полей в механическую энергию. Состоит ротор асинхронного двигателя из следующих деталей:

1. Вал.

На хвостовиках его закреплены подшипники. Они запрессовываются в щиты, крепящиеся болтами к торцовым стенкам коробки статора.

2. Сердечник.

Собирается на валу, состоит из пластин специальной стали, обладающей таким ценным свойством, как низкое сопротивление магнитным полям. Сердечник, обладая формой цилиндра, и является основой для укладки обмотки якоря. Роторная, или, как её ещё называют, вторичная обмотка получает энергию благодаря магнитному полю, которое появилось вокруг катушек статора при прохождении по ним электрического тока.

Двигатели по типу изготовления подвижной части
Различаются:

1. Имеющие ***короткозамкнутую обмотку ротора***.
Один из вариантов исполнения этой детали показан на
рисунке.



Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором
имеет обмотку, сделанную из алюминиевых стержней,
которые располагаются в пазах сердечника. В торцевой
части они замкнуты кольцами накоротко.

2. Электродвигатели, ***имеющие ротор, изготовленный
с контактными кольцами***.



У обоих типов асинхронных двигателей конструкция статора одинаковая. Различаются они только исполнением якоря.

Расшифровка обозначений АД.

Двигатель серий **4А.**

4АН160М6У3

4 – номер серии;

А – асинхронный двигатель;

Н – защищенного исполнения;

160 – высота оси вращения;

М – средняя длина статора, (**S** – малая длина, **L** – большая длина);

6 – число полюсов двигателя (синхронная скорость вращения 1000 об\мин);

У3 – климатическое исполнение (**У** – умеренный климат, **3** – категория размещения).

Двигатель серий **5А, 6А.**

5, 6 – номер серии;

А – асинхронный двигатель;

И – Интерэлектро;

Р – исполнение с согласованным по международным стандартам установочными размерами;

РА – российские асинхронные;

Остальные элементы условных обозначений соответствуют серии 4А.

Двигатели серии АИ (асинхронный Интерэлектро)

Предназначены для замены АД серии 4А и соответствуют рекомендациям Международной электротехнической комиссии (МЭК). Двигатели исполнения АИС имеют привязку мощностей и установочных размеров по стандартам CENELEC для экспортных поставок, а двигатели АИР – привязку по нормам DIN для внутренних поставок. Двигатели основного исполнения имеют степени защиты IP54 и IP44 (закрытые), а с высотой оси вращения 200 мм и выше IP23 (защищенные).

Машины имеют модификации

К – с фазным ротором;

С – с повышенным скольжением;

Р – с повышенным пусковым моментом;

V – однофазные;

Е – многоскоростные.

По климатическому исполнению: тропические, влагоморозостойкие, химистойкие, водостойкие.

Однофазные двигатели.

Эти двигатели выпускаются с двумя обмотками на статоре, одна из которых называется главной, а вторая вспомогательной или пусковой. Во вторую обмотку на

время пуска или постоянно включается конденсатор или реже резистор, что необходимо для пуска двигателя в ход.

Однофазные двигатели имеют более низкие показатели по сравнению с трехфазными.

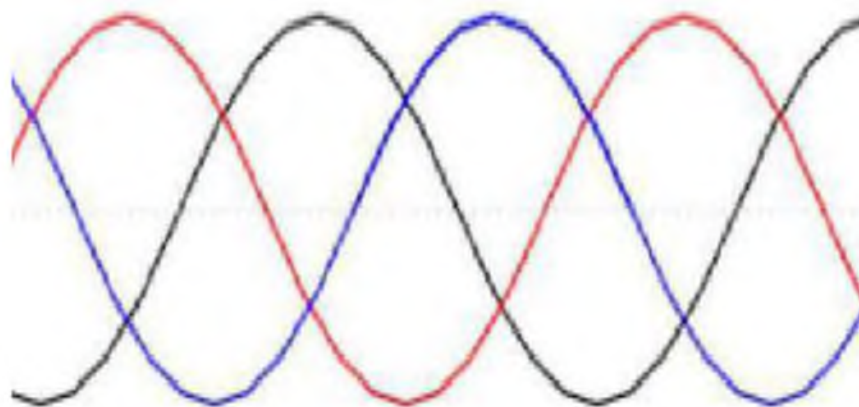
Универсальные двигатели.

Выполняются как трехфазные и могут работать как от трехфазных, так и от однофазных сетей. Обычно при однофазном питании они имеют пусковые и рабочие характеристики на 20-40% ниже, чем при трехфазном питании. При однофазном режиме для пуска двигателей используются конденсаторы емкостью 0,5-4 мкФ.

Принцип работы:

Якорь трёхфазного асинхронного двигателя, исполненный подобным образом, приводится во вращение благодаря эффекту возникновения переменного магнитного поля в статорных катушках. Чтобы понять, каким образом это происходит, необходимо вспомнить физический закон самоиндукции. Он гласит, что вокруг проводника, по которому проходит поток заряженных частиц, возникает магнитное поле. Величина его будет прямо пропорциональна индуктивности провода и интенсивности протекающего в нём потока заряженных частиц. Кроме того, это магнитное поле формирует силу с определённой направленностью, которая является причиной вращения ротора. Для эффективной работы двигателя необходимо иметь мощный магнитный поток. Создаётся он благодаря специальному способу монтажа первичной обмотки.

Известно, что источник питания имеет переменное напряжение. Следовательно, магнитное поле вокруг статора будет иметь такую же характеристику, напрямую зависящую от изменения тока в подающей сети. Каждая фаза трёхфазного тока смещена одна относительно другой на 120° . Что происходит в обмотке статора



Каждая фаза сети питания подключается к соответствующей катушке статора, поэтому возникающее вокруг них магнитное поле будет смещено на 120° . Источник питания имеет переменное напряжение, следовательно, вокруг катушек статора, которыми располагает асинхронный двигатель, будет возникать переменное магнитное поле.

Схема асинхронного двигателя собирается так, чтобы магнитное поле, возникающее вокруг катушек статора, постепенно изменялось и последовательно переходило от одной обмотки к другой. Таким образом создаётся эффект вращающегося магнитного поля.

Можно вычислить его частоту вращения. Измеряться она будет в оборотах за минуту.

Определяется по формуле:

$$n=60f/p,$$

где f — это частота переменного тока в подключенной сети (Гц),

p — соответствует числу пар полюсов, смонтированных на статоре.

Так работает ротор, теперь необходимо рассмотреть, какие процессы возникают во вторичной обмотке. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет конструкционную особенность. Дело в том, что к его якорной обмотке напряжение не подводится. Оно там возникает благодаря магнитоиндукционной связи с первичной обмоткой. Поэтому и происходит процесс,

обратный тому, что наблюдался в статоре, в соответствии с законом, который гласит, что при пересечении проводника, а в нашем случае это короткозамкнутая обмотка ротора, магнитным потоком в нём возникает электрический ток.

Откуда берётся магнитное поле? Оно возникло вокруг первичной катушки при подключении трёхфазного источника питания. Соединим статор и ротор. Что получится? Таким образом, имеем асинхронный короткозамкнутый двигатель с ротором, в обмотке которого проходит электрический ток. Он и будет причиной возникновения магнитного поля вокруг якорной обмотки. Однако полярность этого потока будет отличаться от созданного статором. Соответственно, и сила, образуемая им, будет вступать в противодействие с той, которая вызвана магнитным полем первичной обмотки. Это и приведёт в движение ротор, так как на нём собрана вторичная катушка, и хвостовики вала якоря закреплены в корпусе двигателя на подшипниках.

Рассмотрим ситуацию взаимодействия сил, возникающих от магнитных полей статора и ротора, с течением времени. Знаем, что магнитное поле первичной обмотки вращается и обладает определённой частотой. Созданная им сила будет перемещаться, имея аналогичную скорость. Это заставит асинхронный двигатель заработать. И его ротор будет свободно вращаться вокруг оси. Эффект скольжения Ситуация, когда силовые потоки ротора как бы отталкиваются от вращающегося магнитного поля статора, получила название скольжения. Следует отметить, что частота асинхронного двигателя (n_1) всегда меньше той, с

которой перемещается магнитное поле статора. Объяснить это можно так. Чтобы в роторной обмотке возник ток, она должна быть пересечена магнитным потоком с определённой угловой скоростью. И поэтому справедливо утверждение, что скорость вращения вала больше либо равна нулю, но меньше интенсивности перемещения магнитного поля статора. Ротор имеет частоту вращения, зависящую от силы трения в подшипниках, а также от величины отбора мощности с вала ротора. Поэтому он как бы отстаёт от магнитного поля статора. Именно из-за этого частота называется асинхронной. Таким образом, электроэнергия питающего источника преобразовалась в кинетическую энергию вращающегося вала. Скорость его вращения прямо пропорциональна частоте тока питающей сети и количеству пар полюсов статора. Для увеличения частоты вращения якоря можно использовать частотные преобразователи. Однако работа этих устройств должна быть согласована с количеством пар полюсов.

Режимы работы электродвигателей

Предусматриваются 8 номинальных режимов, которые в соответствии с международной классификацией имеют условные обозначения S1 - S8.

Продолжительный режим работы S1 - работа машины при неизменной нагрузке достаточно длительное время для достижения неизменной температуры всех ее частей.

Кратковременный режим работы S2 — работа машины при неизменной нагрузке в течение времени, недостаточного для достижения всеми частями машины установившейся температуры, после чего следует остановка машины на время, достаточное для охлаждения машины до температуры, не более чем на 2°C превышающей температуру окружающей среды.

Для кратковременного режима работы нормируется продолжительность рабочего периода 15, 30, 60, 90 мин.

Повторно-кратковременный режим работы S3 - последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время работы при неизменной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды.

Режимы S1 - S3 являются в настоящее время основными, номинальные данные на которые включаются отечественными электромашиностроительными заводами в каталоги и паспорт машины.

Номинальные режимы S4 - S8 введены для того, чтобы впоследствии упростить задачу эквивалентирования произвольного режима номинальным, расширив номенклатуру последних.

Повторно-кратковременный режим работы с влиянием пусковых процессов S4 - последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время пуска, достаточно длительное для того, чтобы пусковые потери оказывали влияние на температуру частей машины, время работы при постоянной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды.

Повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов S4: t_n и t_n - время пуска и торможения

Повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S5 - последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает достаточно длительное время пуска, время работы при постоянной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, время быстрого электрического торможения и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды.

Переменяющийся режим работы S6 — последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает время работы с постоянной нагрузкой и время работы на холостом ходу, причем длительность этих

периодов такова, что температура машины не достигает установившегося значения.

Переменяющийся режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S7 — последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает достаточно длительный пуск, работу с постоянной нагрузкой и быстрое электрическое торможение. Режим не содержит пауз.

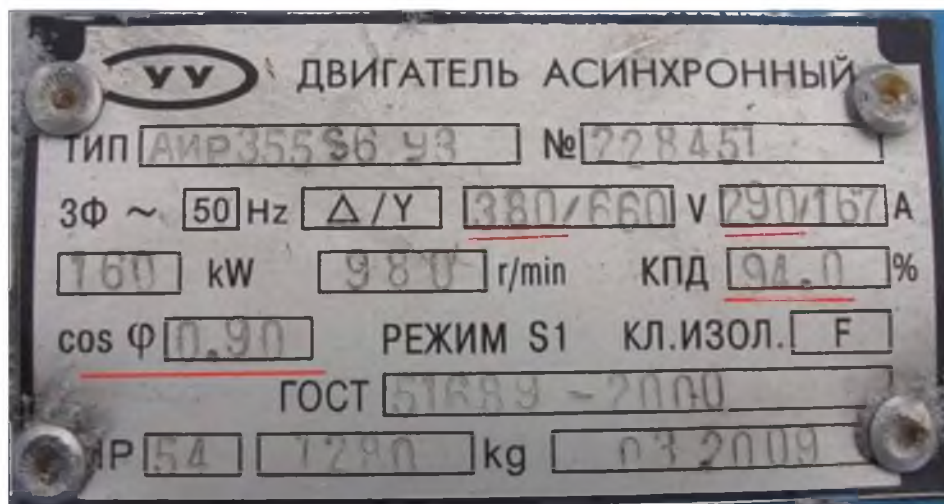
Переменяющийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения S8 — последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает время работы с неизменной нагрузкой и неизменной частотой вращения, затем следует один или несколько периодов при других постоянных нагрузках, каждой из которых соответствует своя частота вращения (например, этот режим реализуется при переключении числа пар полюсов асинхронного двигателя). Режим не содержит пауз.

Классы изоляции, нагрев электродвигателей

Во время работы электродвигателей происходит их нагрев. Температура нагрева может быть разной, т.е. одни двигатели нагреваются меньше, другие - больше. Величина установившейся температуры двигателя зависит от нагрузки на его валу.

При *большой нагрузке* выделяется **большое** количество теплоты в единицу времени, значит, выше установившаяся температура двигателя. Допустимый нагрев электрических двигателей зависит от класса изоляции обмоток.

На табличке электродвигателя со всеми данными указан и параметр, называемый **класс изоляции**.



Нагревостойкость — способность электроизоляционных материалов выдержать без вреда для них воздействие повышенной температуры и резкие смены температуры.

Нагревостойкость. одно из самых важных качеств электроизоляционных материалов, так как она определяет допустимую нагрузку электрических машин и аппаратов.

Повышение температуры обмоток электродвигателей сверх допустимых значений, ***резко сокращается срок службы изоляции.*** Нагревостойкость изоляции является основным требованием, определяющим надежность работы и срок службы электрической машины, который нормально должен составлять ***15—20 лет.***

Электрические машины с изоляцией класса **A** практически не изготавливаются, а класса **E** — находят ограниченное применение в машинах малой мощности.

Применяют в основном изоляцию классов **B** и **F**, а в специальных машинах, работающих в тяжелых условиях (металлургия, горное оборудование, транспорт), — класса **H**. В результате использования более нагревостойких материалов, улучшения свойств электротехнических сталей и улучшения конструкций за последние 60—70 лет удалось уменьшить массу электрических машин в **2,5—3** раза.

При неизменной нагрузке на валу в двигателе выделяется определенное количество теплоты в единицу времени.

***Предельные допустимые превышения температуры
активных частей электродвигателей***

(при температуре окружающей среды 40°C):

Класс E: допустимая температура нагрева до **120°C**.

Класс B: допустимая температура нагрева до **130°C**.

Класс F: допустимая температура нагрева до **155°C**.

Класс H: допустимая температура нагрева до **180°C**.

Предельно допускаемые превышения температуры для отдельных частей электрических машин

Части машин	Предельно допустимые превышения температуры °С, при классе изоляции									
	А	Е	В	F	Н	А	Е	В	F	Н
	Общего применения О					Тяговые Т				
Обмотка якоря машин постоянного тока и обмотки синхронных машин переменного тока	60	75	80	100	125	85	105	120	140	160
Многослойные обмотки возбуждения машин постоянного и переменного тока компенсационные обмотки	60	75	80	100	125	85	115	130	155	180
Однорядные обмотки возбуждения с неизолированными поверхностями	60	80	90	110	135	85	115	130	155	180
Коллекторы и контактные кольца	60	70	80	90	100	95	95	95	95	105

В таблице приведены в качестве примера предельно допускаемые превышения температуры для отдельных частей электрических машин:

общего применения (**О**);

тяговых (**Т**).

При продолжительном режиме работы при измерении температуры обмоток по методу сопротивления (т. е. по измерению сопротивления соответствующей обмотки в результате нагрева), а температуры коллектора и контактных колец с помощью термометров. Эти данные соответствуют температуре окружающей среды:

+40°C для машин **О**;

+25°C для машин **Т**.

Температурой окружающего воздуха, при которой общепромышленный электродвигатель может работать с номинальной мощностью, считается **40°C**.

Если температура окружающей среды больше или меньше **+40°C** для общепромышленного исполнения электродвигателя, то стандарт разрешает определенные изменения допустимых превышений температур.

При повышении температуры окружающего воздуха более **40°C**, нагрузка на электродвигатель должна быть снижена настолько, чтобы температура отдельных его частей не превышала допустимых значений. При работе машины в горных местностях, где из-за понижения атмосферного давления ухудшается теплоотдача, стандарт

предусматривает некоторое уменьшение допустимых превышений температуры.

Независимо от снижения температуры окружающего воздуха, увеличивать токовые нагрузки более чем на 10% номинального не допускается. У асинхронных двигателей на это может влиять изменение напряжения питающей сети, вместе с уменьшением напряжения питающей сети, в квадрате уменьшается мощность на валу двигателя и, кроме того, уменьшение **напряжения** ниже 95% от номинального приводит к значительному росту тока двигателя и нагреву обмоток.

Рост *напряжения* выше 110% от номинального также ведет к росту тока в обмотках двигателя, увеличивается нагрев статора за счет вихревых токов.

При повышении температуры многие из материалов начинают обугливаться и становятся *проводниками*. Все материалы от длительного воздействия повышенных температур задолго до обугливания приобретают хрупкость, легко разрушаются и теряют свои изолирующие свойства. Этот процесс называется **тепловым старением**.

Опыт показывает, что повышение температуры изоляции на 10°C сокращает срок ее службы примерно в **два раза**.

Так, для изоляции класса А повышение температуры с 95 до 105°C сокращает срок ее службы с 15 до 8 лет, а нагрев до 120°C — до двух лет. В основе этого явления лежит общий закон зависимости скорости химических

реакций от температуры, описываемый уравнением Ван-Гоффа-Арениуса.

То есть технологические перегрузки рабочих машин или колебания напряжения в питающей сети ведут за собой увеличение тока в обмотках машин и превышение температуры обмоток выше допустимых для данного класса, в результате срок службы машин быстро уменьшается.

Приведенные предельные температуры нагрева для отдельных классов изоляции не могут быть полностью использованы в практике, так как в условиях эксплуатации электрических машин и аппаратов не представляется возможным установить точный контроль за температурой изоляции наиболее нагретых деталей.

Поэтому существующие стандарты на электрические машины устанавливают более низкие пределы допускаемых температур отдельных деталей машин в зависимости от конструкции этих деталей и расположения их в машине. Нормируют не сами температуры, а максимально допустимые превышения температур, так как от нагрузки машины зависит только превышение температуры.

В производственных условиях измерение температуры узлов электрических машин и электроаппаратуры выполняется непосредственно термометром или косвенно на основе измерения их сопротивления.

Контроль температуры нагрева электродвигателей мощностью выше 100 кВт проводят с помощью встроенных дистанционных термометров. Для измерения температуры

электродвигателей меньшей мощности, а также для измерения температуры в точках электродвигателей, где установка дистанционных термометров невозможна, пользуются переносными спиртовыми или ртутными термометрами. При измерениях ртутными термометрами следует иметь в виду, что в области переменных магнитных полей возникает положительная погрешность, т. е. термометр покажет завышенное значение температуры. Для более точного измерения температуры нижнюю часть термометра обертывают тонкой алюминиевой фольгой, обматывая ее так, чтобы прилегание к месту измерения было плотным. Сверху оболочку из фольги накрывают для теплоизоляции ватой. В труднодоступных местах измерения проводят сразу после остановки электродвигателя.

Методом сопротивления измеряют среднюю температуру. Он основан на изменении сопротивления проводника с изменением его температуры. Замеряя сопротивление проводника в холодном и горячем состоянии, рассчитывают температуру проводника.

Повышение температуры двигателя происходит неравномерно. Вначале она возрастает быстро: почти вся теплота идет на повышение температуры, и лишь малое количество ее уходит в окружающую среду. Перепад температур (разница между температурой двигателя и температурой окружающего воздуха) пока еще невелик. Однако по мере увеличения температуры двигателя перепад возрастает и теплоотдача в окружающую среду увеличивается. Рост температуры двигателя замедляется.

Температура двигателя прекращает возрастать, когда вся вновь выделяемая теплота будет полностью рассеиваться в окружающую среду. Такая температура двигателя называется *установившейся*.

Величина установившейся температуры двигателя зависит от нагрузки на его валу. При большой нагрузке выделяется большое количество теплоты в единицу времени, значит, выше установившаяся температура двигателя.

После отключения двигатель охлаждается. Температура его вначале понижается быстро, так как перепад ее большой, а затем по мере уменьшения перепада - медленно.

Величина допустимой установившейся температуры двигателя обуславливается свойствами изоляции обмоток. В отдельных точках частей машины температура может быть выше средней. Так, например, в открытых машинах с воздушным охлаждением, у которых хорошо охлаждаются лобовые части обмоток, пазовые части нагреваются больше, чем лобовые.

Превышения *температуры* в отдельных наиболее нагретых точках должны быть не более:

65 °С — для изоляции класса **A**;

90 °С — для изоляции класса **B**;

110°С — для изоляции класса **F**;

135°С — для изоляции классов **H**.

Чувствительными к нагреву являются и некоторые механические узлы и детали электродвигателей. Для них в паспортах электродвигателей задаются допустимые превышения температур над температурой окружающей среды 35 °С.

Допустимые превышения температуры для подшипников качения составляют 60°С, для подшипников скольжения — 45°С, для стальных деталей коллекторов и контактных колец — 70°С. Температуру подшипников скольжения можно измерить, погружая термометр непосредственно в масло подшипника.

При достаточном навыке ориентировочное представление о степени нагрева можно получить, притрагиваясь ладонью к нагретому элементу конструкции (ладонь без болевых ощущений обычно выдерживает температуру около 60°С), но важно помнить, прежде всего - безопасность.

Предельные допустимые превышения температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды 40°С и высоте над уровнем моря не более 1000 м должны быть не более значений, указанных в таблице. При температурах больше 40°С и высоте более 1000 м эти значения должны быть уменьшены в соответствии с ГОСТ (Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования).

Непосредственные измерения температуры при помощи термометров или термошупов дают надежные результаты, но не позволяют определять температуру внутренних наиболее нагретых частей обмотки. На основе

измерения омического сопротивления обмотки можно определить только некоторое среднее значение ее температуры. Поэтому нормы предельно допустимой температуры обмоток указываются с учетом метода ее измерения.

Техническое обслуживание (ТО) электродвигателей
Техническое обслуживание проводят на месте установки без демонтажа и разборки.

В объем работ ТО входят:

- очистка электродвигателя от пыли и грязи;
- проверка исправности заземления;
- проверка крепления электродвигателя и его элементов;
- проверка степени нагрева и уровня вибрации и шума, надежности контактных соединений;
- измерение сопротивления изоляции;
- устранение обнаруженных неисправностей.

У двигателей с фазным ротором проверяют состояние контактных колец и щеточного механизма.

Сроки ТО электродвигателей зависят от характеристики помещений и рабочих машин, с которыми они работают.

ТО электродвигателей серий 4А, Д, АО2СХ проводят ***1 раз в три месяца***, кроме электродвигателей, установленных на зернодробилках, молотилках, прессах, измельчителях кормов (пыльные влажные помещения), для которых ТО осуществляют ***1 раз в полтора месяца***.

Такую же периодичность обслуживания имеют электродвигатели, работающие на открытом воздухе или под навесом. Для двигателей молочных вакуум-насосов и пастеризаторов (особо сырые помещения) ТО выполняют ***1 раз в два месяца***.

Периодичность ТО для электродвигателей серии АО2, установленных в сухих и влажных, а также сырых помещениях, для электродвигателей, используемых в пыльных и особо сырых помещениях, определена в

соответствии с ППРЭ — системе планово-предупредительных ремонтов электрооборудования.

Текущий ремонт (ТР) электродвигателей

Проводят либо на месте их установки, либо на пункте технического обслуживания, в мастерской и т.д. Текущие ремонты на месте установки электрооборудования выполняют специализированные выездные бригады.

В соответствии с ППРЭ в *объем текущего ремонта электродвигателя входят:*

- очистка от пыли и грязи;
- отсоединение от питающих проводов и заземления;
- демонтаж на месте установки и разборка;
- очистка обмотки;
- измерение сопротивления изоляции обмотки и при необходимости сушка обмотки;
- промывка подшипников, проверка и их замена при необходимости;
- ремонт или замена поврежденных выводных проводов обмотки и клеммной панели, коробки выводов, сборка;
- смазка подшипников;
- испытание на холостом ходу;
- покраска, установка электродвигателя на рабочее место, центровка с рабочей машиной и испытание под нагрузкой.

У электродвигателей с фазным ротором проверяют состояние контактных колец, при необходимости выполняют их проточку и шлифовку, регулируют щеточный механизм и, если нужно, заменяют щетки.

При сушке обмоток электродвигателя удаляется влага из пор и трещин обмотки, но сами трещины и поры в лаковой пленке сохраняются. Значит, сохраняется вероятность довольно быстрого увлажнения обмотки электродвигателя при его "дыхании" в процессе эксплуатации, а следовательно, и вероятность пробоя.

Устранение пор и трещин лаковой пленки проводников обмотки позволяет избежать ее увлажнения на длительный срок. Трещины и поры могут быть устранены только пропиткой обмотки в лаке.

Пропитка обмотки повышает ее надежность, но усложняет технологию ремонта, требует наличия пропиточных ванн, емкостей для хранения лака и т.д. Кроме того, увеличивается время нахождения электродвигателя в ремонте, оно может оказаться больше времени простоя между рабочими циклами. В этом случае потребуются замена ремонтируемого электродвигателя на резервный. Поэтому необходимо в каждом конкретном случае перед текущим ремонтом проводить тщательную диагностику состояния электродвигателя и на основе полученных данных решать вопрос об объеме и месте проведения ремонта.

Периодичность ТР (текущих ремонтов) электродвигателей серий 4А, Д, АО2СХ в соответствии с ППРЭ составляет **24 месяца**, за исключением электродвигателей, установленных на молочных вакуум-насосах и пастеризаторах в особо сырых помещениях, в которых влажность превышает 98%, в этом случае периодичность текущих ремонтов составляет **18 месяцев**.

Периодичность ТР электродвигателей серии АО2 составляет 24 месяца для сухих, влажных (влажность до 75%) и сырых помещений и 18 месяцев для пыльных и особо сырых помещений (влажность до 98%), исключая электродвигатели зернодробилок, молотилок, прессов, измельчителей кормов, для которых периодичность-**12 месяцев**.

Такую же периодичность ТР имеют электродвигатели серии АО2, работающие на открытом воздухе или под навесом.

Система ППРЭ определяет периодичность обслуживания и ремонта применительно к помещению и рабочей машине, для которых электродвигатель используют. Влияние режима работы электродвигателя на изменение характеристики изоляции обмотки при определении периодичности ТО и ТР не учитывается. Кроме того, ППРЭ не учитывает срок эксплуатации электродвигателя. В соответствии с ППРЭ одинаковую периодичность имеют новый электродвигатель, впервые подвергавшийся ТО или ТР, и электродвигатель, уже неоднократно прошедший ТО и ТР. Не оговаривается периодичность ТО и ТР электродвигателей, установленных на рабочие машины после капитального ремонта или модернизации.

В этих условиях возрастает значение диагностики электрооборудования и роль руководителей электротехнической службы хозяйства при составлении месячных и годовых графиков ТО и ТР электрооборудования.

Качественно выполненная диагностика электрооборудования хозяйства позволит скорректировать сроки проведения технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования. При помощи диагностики можно выявить и вывести из работы для ремонта (модернизации) или для списания электрооборудование, выработавшее свой ресурс и имеющее предельно допустимые параметры надежности. В результате ликвидируется опасность внезапного отказа электрооборудования и аварийной остановки технологического процесса.

Модернизация своевременно выведенного в ремонт электрооборудования позволит повысить его надежность и, как следствие, обеспечить непрерывность технологического процесса сельскохозяйственного производства.

В результате диагностики может быть принято решение об удлинении сроков между проведением ТО и ТР для электрооборудования, имеющего высокие параметры надежности, что позволит экономить затраты на проведение технического обслуживания электрооборудования.

Меры повышения эксплуатационной надежности электродвигателей.

Основные причины выхода из строя электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве:

- несоответствие тяжелым условиям среды;
- несоответствие или отсутствие защиты от неполнофазных режимов работы и аварийных перегрузок;
- недостаточный уровень эксплуатации.

Для устранения первой причины принимают следующие меры: выпускают электродвигатели повышенной надежности; модернизируют электродвигатели старых серий при ремонте; выносят электродвигатели за пределы влажной агрессивной среды.

Повышая надежность электродвигателей, заводы выпускают узкоспециализированные исполнения для условий сельскохозяйственного производства. Электродвигатели второй серии сельскохозяйственного исполнения АО2СХ хорошо себя оправдали в эксплуатации.

При работе в животноводческих помещениях срок службы электродвигателей сельскохозяйственного исполнения достигает **6...8 лет**, а второй серии общепромышленного исполнения - всего **1...2 года**.

В четвертой серии электродвигателей общепромышленного исполнения использованы те же изоляционные и активные материалы, что и в двигателях АО2СХ. Поэтому электродвигатели серий 4А и АО2СХ работают с одинаковой надежностью. Отличие выпускаемых электродвигателей специализированного исполнения 4АСХ заключается только в анодировании или никелировании крепежных частей двигателя и более качественной окраске.

Модернизированные электродвигатели четвертой серии 4АМ обладают повышенной надежностью. Отечественная электропромышленность совместно со странами социалистического содружества приступила к выпуску новой серии двигателей АИ (интернациональной), характеристики и надежность которых еще более повышены.

Современные электродвигатели общепромышленного исполнения относятся к универсальным, так как их можно использовать в особо сырых, с химически активной средой животноводческих помещениях, в которых содержание влажности составляет 80...100%, аммиака - 2...140 мг/м³, сероводорода - 10...90 и углекислого газа - 0,03...0,88 мг/м³, запыленность - до 240 г/м³.

В сельскохозяйственном производстве используют разнообразные серии электродвигателей, в том числе и старые - А, АО и А2, АО2.

При капитальных и текущих ремонтах старые серии электродвигателей желательно модернизировать. Обычно электромашиностроительные заводы при изготовлении электродвигателей применяют двукратную пропитку обмоток. Электроремонтные заводы иногда отступают от технологии ремонта и применяют только однократную пропитку обмотки, что заметно снижает надежность двигателей. В качестве простейшей модернизации электродвигателей при их ремонте можно считать применение не двух, - а трехкратной пропитки.

Трехкратная пропитка обмоток лаком, модифицированным ингибиторами.

Вид простейшей модернизации, повышающей надежность электродвигателей при текущем ремонте. Ингибитор, диффундируя в лаковую пленку и заполняя ее поры, препятствует проникновению влаги. Для исследований применяли хроматные и БДН ингибиторы,

лучшие результаты были получены при использовании БДН ингибитора - это смесь диэтиланилина, бензотриазола и паранитрофенола, растворенная в ацетоне. При пропитке обмотки использовали эмаль ГФ-92ХС, модифицированную путем добавления 6% (от массы эмали) ингибитора.

Лобовые части обмотки статора обрабатывают краскораспылителем или окунают в специальные растворы (электродвигатели малой мощности).

Экспериментальные данные показали, что после двух месяцев эксплуатации сопротивление изоляции обмоток электродвигателей, пропитанных модифицированной эмалью, оказалось в 4 раза выше, чем сопротивление изоляции электродвигателей, пропитанных немодифицированной эмалью ГФ-92ХС.

Капсулирование лобовых частей электродвигателей

Это второй вид модернизации старых серий. Предложенный ВНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства нечерноземной зоны РФ способ капсулирования обмоток при помощи эпоксидных смол ввиду сложности технологии капсулирования можно применять только на ремонтных заводах при капитальных ремонтах двигателей.

Кроме того, следует учесть, что двигатель с капсулированной эпоксидным компаундом обмоткой становится неремонтопригодным.

Способ капсулирования лобовых частей обмоток при помощи эластомеров на основе синтетического каучука применяют при текущих ремонтах электродвигателей.

При эксплуатации капсулированных электродвигателей в течение стойлового периода сопротивление изоляции обмоток было не ниже 500 МОм. Исследования показали, что срок службы капсулированных электродвигателей достигает **8 лет** в тяжелых условиях животноводческих

помещений. Опыт эксплуатации электродвигателей показывает необходимость усиления изоляции выводных концов при помощи липкой полихлорвиниловой ленты, лака или капсулирования.

Применение лобовых охладителей обмоток мощных электродвигателей старых серий

Суть способа заключается в нанесении на лобовые части обмотки слоя изоляционного лака. Затем на обмотку укладывают алюминиевые сегменты, плотно охватывающие обмотку и плотно прилегающие к пакету статора. В результате герметизируется (капсулируется) не только обмотка, но и резко возрастает ее теплоотдача. Опыты показали, что срок службы электродвигателей также может достигать 8 лет, при этом мощность двигателя может быть увеличена на одну ступень. Недостаток способа заключается в его сложности.

Для повышения эксплуатационной надежности электродвигателей практиковали выносить их в специальные помещения, расположенные рядом с фермами, что требует больших дополнительных расходов кабельной продукции. Поэтому данный способ повышения эксплуатационной надежности целесообразно осуществлять при строительстве новых объектов, заранее учитывая при проектировании технологию производства, расход электротехнических материалов, надежность электрооборудования и экономические показатели.

При монтаже электродвигателей в помещении необходимо учитывать обеспечение надежности их работы. Так, существующие системы крышной вентиляции животноводческих комплексов по откорму крупного рогатого скота в основном выполнены таким образом, что на электродвигатель постоянно стекает влага, поступающая в помещение из окружающей среды через вентиляционную трубу, отчего наблюдается значительный выход

электродвигателей из строя. Смещение электродвигателя относительно вентиляционной трубы (вентилятора) резко сократило аварийность данных электродвигателей.

К числу эффективных профилактических мероприятий, предотвращающих возможное увлажнение изоляции, относится создание микроклимата внутри оболочки электродвигателя путем подогрева обмоток электродвигателя в период его нерабочего состояния. При токовом методе подогрева и сушке электродвигателей непосредственно на рабочем месте обмотки подключают через: конденсаторы (рис.1, а), однотиристорное устройство (рис.1, б), двухтиристорное устройство (рис.1, с).

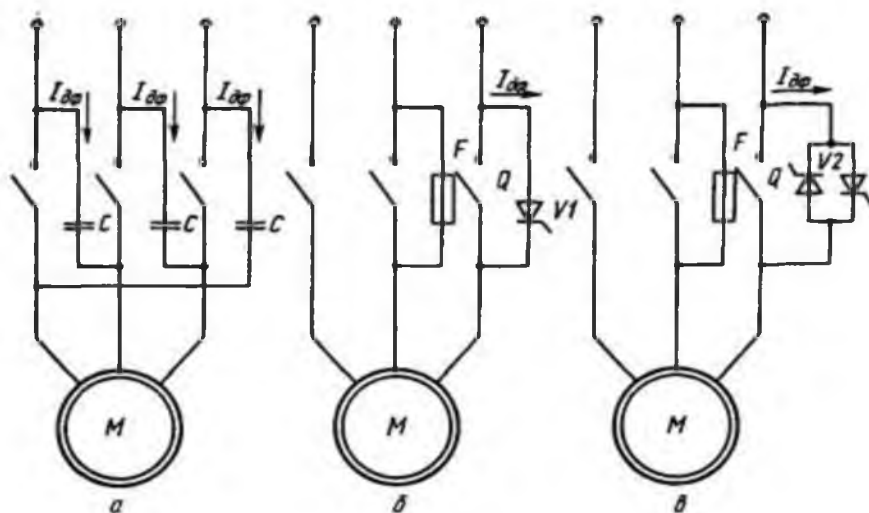


Рисунок 1. - Принципиальные схемы подогрева обмоток электродвигателя при помощи:

- а - конденсаторов C ;
- б - однотиристорного устройства;
- в - двухтиристорного устройства.

Обмотки могут быть подключены и к вторичной обмотке понижающего трансформатора, например сварочного. Ток в обмотке электродвигателя должен быть таким, чтобы температура электродвигателя превышала температуру окружающей среды на $5...10^{\circ} \text{C}$, что препятствует проникновению внутрь изоляции влаги и ее

агрессивных примесей. При таком подогреве электродвигателя улучшается коэффициент мощности электроустановки фермы в целом. Необходимо отметить, что при несколько завышенной мощности (на 25...30%) электродвигателя и подключении батареи конденсаторов к клеммам он может не отключаться от сети в случае потери фазы и работать в режиме однофазного питания, сохраняя непрерывный технологический процесс (например, доение).

Кроме того, индивидуальные конденсаторные батареи, соединенные в звезду, можно использовать в качестве элемента реле защиты от потери фазы для двигателей, однофазный режим которых недопустим (рис.52). Емкость фаз индивидуальных батарей конденсаторов (ИБК), соединенных треугольником, для электродвигателей единой серии основного общепромышленного исполнения мощностью до 10 кВт определяют из

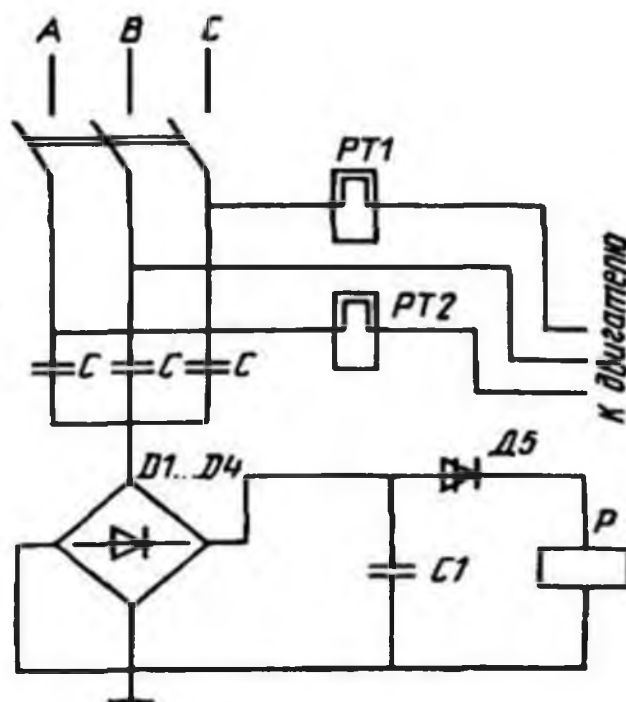


Рисунок 2. - Схема с использованием конденсаторов для защиты от потери фазы.

следующих выражений: $C = 1,3(1 + 2P_n)$; $C = 3,0(1 + P_n)$; $C = 3,7(1 + P_n)$, $C = 3,5(3 + P_n)$ при частоте вращения соответственно 3000; 1500; 1000; 750 об/мин.

При мощности электродвигателей выше 10 кВт $C = 10 + P_n$ при частоте вращения 3000, 1500 и 1000 об/мин и $C = 30 + 2P_n$ - при 750 об/мин (P_n измеряют в киловаттах, C - в микрофарадах).

Емкость фаз ИБК для электродвигателей исполнения А02СХ должна быть увеличена на 35% по сравнению с вычисленной по приведенным выражениям. При использовании ИБК в период нерабочих пауз необходимо соблюдать особую предосторожность, так как электродвигатель хотя и неподвижен, но находится под напряжением. Кроме того, необходимо периодически контролировать емкость ИБК, а также эффективность компенсации коэффициента мощности.

Периодичность противосыровостных мероприятий зависит от места установки электрооборудования и его исполнения.

При применении тиристорных устройств по двум фазным проводам протекает несинусоидальный ток. Исследованиями установлено, что при токе нагрева от однополярного устройства, составляющем 0,1% номинального тока питающего трансформатора, в смежных электроприемниках начинают наблюдаться вибрации, дребезжание систем контакторов и пускателей. При больших токах нагрева наблюдаются отказы контакторов, пускателей и реле, а также ослабление крепления и нарушение центровки электродвигателей.

В двухтиристорных устройствах импульсы тока двухполярны и в составляющих тока нагрева отсутствуют четные гармоники и постоянная составляющая. Поэтому даже при токе нагрева, соизмеримом с номинальным током питающего трансформатора, в режимах работы смежных

электроприемников не наблюдается отрицательных явлений. Нормирование качества электроэнергии у приемников зависит от коэффициента несинусоидальности.

Одно из главных условий долговечной работы электрических машин – выбор аппаратуры управления электродвигателями и их защиты в соответствии с Правилами устройства электроустановок.

Текущий ремонт

Текущий ремонт выполняется для обеспечения и восстановления работоспособности электродвигателя. Он заключается в замене или восстановлении отдельных частей. Проводится на месте установки машины или в мастерской.

Периодичность выполнения текущего ремонта электродвигателей определяется системой ППР. Она зависит от места установки двигателя, типа станка или машины, в составе которой он используется, а также от продолжительности работы в сутки. Электродвигатели подвергаются текущему ремонту в основном *1 раз в 24 месяца*.

При проведении текущего ремонта выполняются следующие операции:

- очистка, демонтаж, разборка и дефектация электродвигателя;
- замена подшипников;
- ремонт выводов, клеммной коробки;
- ремонт поврежденных участков лобовых частей обмотки;
- сборка электродвигателя;
- покраска электродвигателя;
- испытание на холостом ходу и под нагрузкой.

У машин постоянного тока и электродвигателей с фазным ротором дополнительно выполняется ремонт щеточно-коллекторного механизма.

Таблица 1 .

Возможные неисправности электродвигателей и причины их вызывающие

Неисправность	Причины
Электродвигатель не запускается	Обрыв в питающей сети или в обмотках статора
Электродвигатель при пуске не проворачивается, гудит, нагревается	Отсутствует напряжение в одной из фаз, оборвана фаза, электродвигатель перегружен, оборваны стержни ротора
Пониженная частота вращения и гул	Износ подшипников, перекос подшипниковых щитов, изгиб вала
Электродвигатель останавливается при увеличении нагрузки	Пониженное напряжение сети, неправильное соединение обмоток, обрыв одной из фаз статора, межвитковое замыкание, перегрузка двигателя, обрыв обмотки ротора (у двигателя с фазным ротором)
При пуске электродвигатель сильно шумит	Погнут кожух вентилятора или в него попали посторонние предметы
Электродвигатель при работе перегревается, соединение обмоток правильное, шум равномерный	Повышенное или пониженное напряжение сети, электродвигатель перегружен, повышена температура окружающей среды, неисправен или засорен вентилятор, засорена поверхность двигателя
Работающий двигатель остановился	Перерыв в подаче электроэнергии, длительное понижение напряжения, заклинивание механизма

Пониженное сопротивление обмотки статора (ротора)	Загрязнена или отсырела обмотка
Чрезмерный нагрев подшипников электродвигателя	Нарушена центровка, неисправны подшипники
Повышенный перегрев обмотки статора	Оборвана фаза, повышено или понижено-питающее напряжение, машина перегружена, межвитковое замыкание, замыкание между фазами обмотки
При включении электродвигателя срабатывает защита	Неправильно соединены обмотки статора, замыкание обмоток на корпус или между собой

Текущий ремонт проводится в определенной технологической последовательности.

До начала ремонта:

- просматривается документация;
- определяется наработка подшипников электродвигателя;
- проводится деффектовка электродвигателя, определяется объем необходимых работ.

Для проведения работ назначается бригадир, готовятся необходимые инструменты, материалы, приспособления, в частности, подъемные механизмы.

Перед началом демонтажа:

- электродвигатель отключается от сети, принимаются меры по исключению случайной подачи напряжения;
- подлежащая ремонту машина очищается от пыли и грязи щетками, обдувается сжатым воздухом от компрессора;
- отворачивают винты крепления крышки коробки выводов, снимают крышку и отсоединяют кабель (провода), подводящий питание к двигателю;
- электрический кабель отводят, соблюдая необходимый радиус изгиба, чтобы не повредить его;
- болты и другие мелкие детали складывают в ящик, который входит в набор инструментов и приспособлений.



При демонтаже электродвигателя необходимо нанести керном метки, чтобы зафиксировать положение полумуфт относительно друг друга, а также отметить, в какое отверстие полумуфты входит палец. Прокладки под лапами следует связать и разметить, чтобы после ремонта каждую группу прокладок установить на свое место, это облегчит центровку электрической машины. Следует разметить также крышки, фланцы и другие детали. Несоблюдение этого правила может привести к необходимости повторной разборки.

Снимают электродвигатель с фундамента или рабочего места за рым-болты. Использовать для этой цели вал или подшипниковый щит запрещается. Для съема используются подъемные устройства.

Разборка электродвигателя выполняется с соблюдением определенных правил. Начинается она с удаления полумуфты с вала. При этом используются ручные и гидравлические съемники. Затем снимается кожух вентилятора и сам вентилятор, отвертываются болты крепления подшипниковых щитов, снимается задний подшипниковый щит легкими ударами молотка по наставке из дерева, меди, алюминия, вынимается ротор из статора, снимается передний подшипниковый щит, демонтируются подшипники.

После разборки выполняется очистка деталей сжатым воздухом с использованием волосяной щетки для обмоток и металлической для кожуха, подшипниковых щитов, станины. Засохшая грязь удаляется деревянной лопаточкой. Применять отвертку, нож и другие острые предметы запрещается.

Дефектовка электродвигателя предусматривает оценку его технического состояния и определение неисправных узлов и деталей.



При дефектовки механической части проверяется:

- состояние крепежных деталей;
- отсутствие трещин корпуса и крышек;
- износ посадочных мест под подшипники и состояние самих подшипников.

В машинах постоянного тока серьезным узлом, подлежащим всестороннему рассмотрению, является щеточно-коллекторный механизм.

Здесь наблюдаются повреждения щеткодержателя, трещины и сколы на щетках, износ щеток, царапины, и выбоины на поверхности коллектора, выступление миканитовых прокладок между пластинами. Большинство неисправностей щеточно-коллекторного механизма устраняется при текущем ремонте. В случае наличия серьезных повреждений этого механизма машина отправляется в капитальный ремонт.

Неисправности электрической части скрыты от глаза человека, обнаружить их труднее, нужна специальная аппаратура.

Число повреждений обмотки статора при этом ограничено следующими дефектами:

- обрыв электрической цепи,
- замыкание отдельных цепей между собой
- замыкание отдельных цепей на корпус,
- межвитковые замыкания.



Обрыв обмотки и замыкание ее на корпус может быть обнаружено с использованием мегаомметра. Межвитковые замыкания определяются с помощью аппарата ЕЛ-15. Обрыв стержней короткозамкнутого ротора находят на специальной установке. Неисправности, устраняемые при проведении текущего ремонта (повреждение лобовых частей, обрыв или обгорание выводных концов), могут быть определены мегаомметром или визуально, в отдельных случаях требуется аппарат ЕЛ-15. При проведении дефектовки измеряется сопротивление изоляции для установления необходимости сушки.

Непосредственно текущий ремонт электродвигателя заключается в следующем. При срыве резьбы нарезается новая (к дальнейшей эксплуатации допускается резьба, имеющая не более двух срезанных ниток), болты заменяются, крышка заваривается. Поврежденные выводы обмоток покрываются несколькими слоями изоляционной

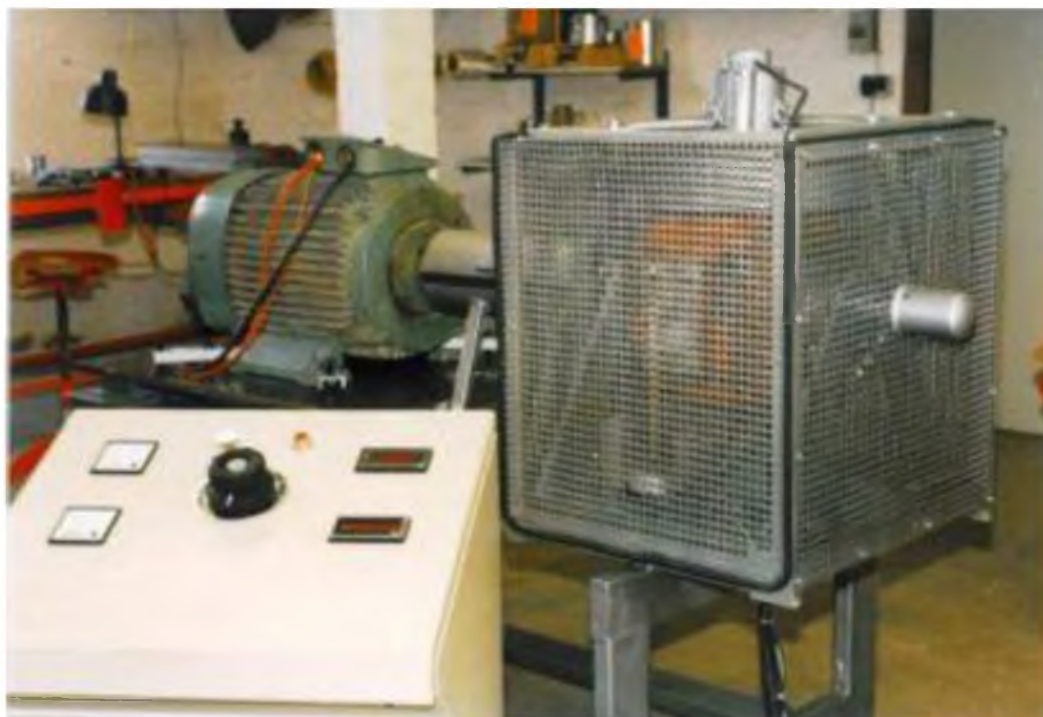
ленты или заменяются, если изоляция их по всей длине имеет трещины, отслоения или механические повреждения.

При нарушении лобовых частей обмотки статора на дефектный участок наносится лак воздушной сушки. Подшипники заменяются на новые, если есть трещины, сколы, вмятины, цвета побежалости и другие неисправности. Посадку подшипника на вал обычно осуществляют путем предварительного его нагрева до 80...90°С в масляной ванне.

Установка подшипников осуществляется вручную с помощью специальных патронов и молотка или механизированным способом с использованием пневмогидравлического пресса.

Необходимо отметить, что в связи с внедрением единых серий электрических машин объем ремонта механической части резко сократился, т. к. уменьшилось число разновидностей подшипниковых щитов и крышек, появилась возможность заменять их новыми.

Порядок сборки электродвигателя зависит от его габарита и конструктивных особенностей. Для электродвигателей 1 - 4 габаритов после напрессовки подшипника устанавливается передний подшипниковый щит, вводится ротор в статор, надевается задний подшипниковый щит, надевается и крепится вентилятор и крышка, после этого устанавливается полумуфта. Далее согласно объему текущего ремонта проводятся прокрутка на холостом ходу, сочленение с рабочей машиной и испытание под нагрузкой.



Проверку работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом осуществляют следующим образом.

После проверки действия защиты и сигнализации выполняют пробный пуск его с прослушиванием стука, шума, вибраций и последующим отключением. Затем электродвигатель запускают, проверяют разгон до номинальной частоты вращения и нагрев подшипников, измеряют ток холостого хода всех фаз.

Измеренные в отдельных фазах значения тока холостого хода не должны отличаться друг от друга более чем на $\pm 5\%$. Разница между ними более 5 % указывает на неисправность обмотки статора или ротора, на изменение воздушного зазора между статором и ротором, на неисправность подшипников. Продолжительность проверки, как правило, не менее 1 часа. Работу электродвигателя под нагрузкой осуществляют при включении технологического оборудования.

Послеремонтные испытания электродвигателей согласно действующим Нормам должны включать две проверки - измерение сопротивления изоляции и работоспособность защиты. Для электродвигателей до 3 кВт

измеряется сопротивление изоляции обмотки статора, а для двигателей более 3 кВт дополнительно измеряется коэффициент абсорбции. При этом у электродвигателей напряжением до 660 В в холодном состоянии сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм, а при температуре 60 °С - 0,5 МОм. Измерения производят мегаомметром на 1000 В.

Проверка срабатывания защиты машин до 1000 В при системе питания с заземленной нейтралью осуществляется непосредственным измерением тока однофазного короткого замыкания на корпус с помощью специальных приборов или измерением полного сопротивления петли "фаза - нуль" с последующим определением тока однофазного короткого замыкания. Полученный ток сравнивается с номинальным током защитного аппарата с учетом коэффициентов ПУЭ. Он должен быть больше тока плавкой вставки ближайшего предохранителя или расцепителя автоматического выключателя.

В процессе выполнения текущего ремонта для повышения надежности электродвигателей старых модификаций рекомендуется проводить мероприятия по модернизации.

Простейшая из них - трехкратная пропитка обмотки статора лаком с добавкой ингибитора. Ингибитор, диффундируя в лаковую пленку и заполняя ее, препятствует проникновению влаги. Можно также проводить капсулирование лобовых частей с помощью эпоксидных смол, но при этом электродвигатель может стать неремонтопригодным.

Способы подключения обмоток асинхронных двигателей

Большинство асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором имеет *три обмотки*, каждая из которых соответствует своей фазе и имеет *начало и конец*.

Системы обозначения обмоток могут быть разными. В современных электродвигателях принята система обозначения обмоток **U, V, W**, а их выводы обозначают цифрой 1 начало обмотки и цифрой 2 – ее конец.

обмотка **U** имеет два вывода **U1** и **U2**;

обмотка **V** имеет два вывода **V1** и **V2**;

обмотка **W** имеет два вывода **W1** и **W2**.

Однако еще до сих пор в эксплуатации находятся асинхронные двигатели, сделанные во времена СССР и имеющие старую систему маркировки.

В них начала обмоток обозначаются **C1, C2, C3**, а концы **C4, C5, C6**.

первая обмотка имеет выводы **C1** и **C4**,

вторая обмотка имеет выводы **C2** и **C5**,

третья обмотка имеет выводы **C3** и **C6**.

Определение начал и концов обмоток.

В распределительную коробку выведено 6 проводов без указания об их принадлежности к определенной обмотке и обозначения начал и концов. Последовательность нахождения начал и концов обмоток электрических машин:

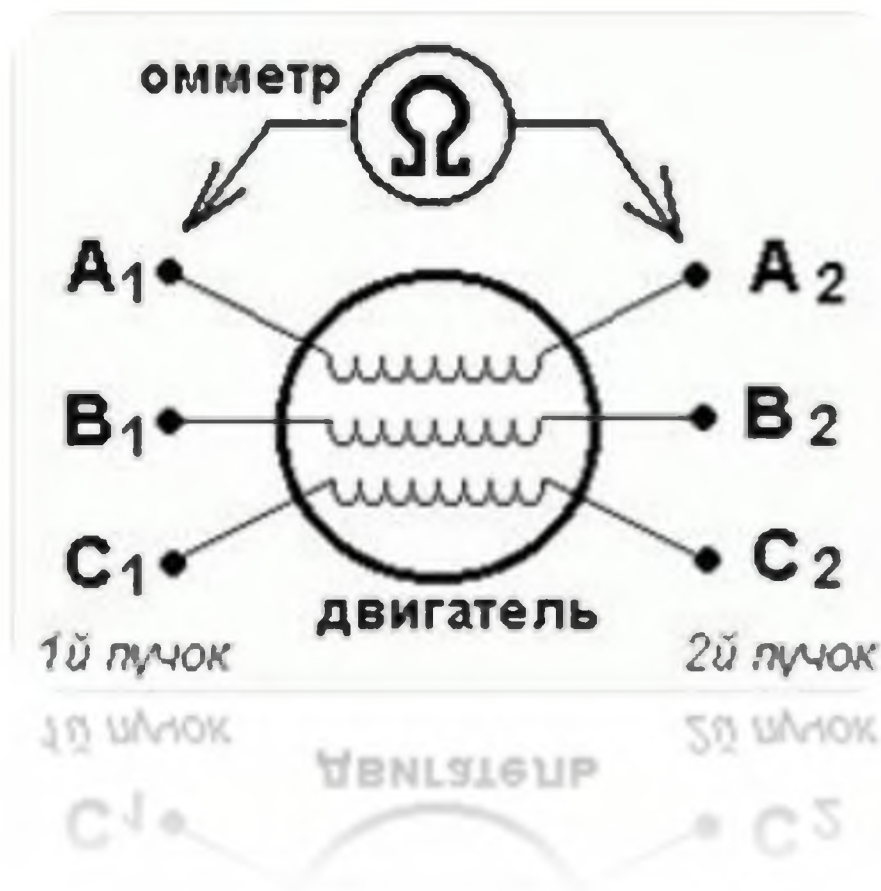
1 определить пары проводов, относящихся к одной обмотке;

2 найти начала и конец обмоток электрической машины.

Первая задача решается "прозваниванием" всех проводов тестером,

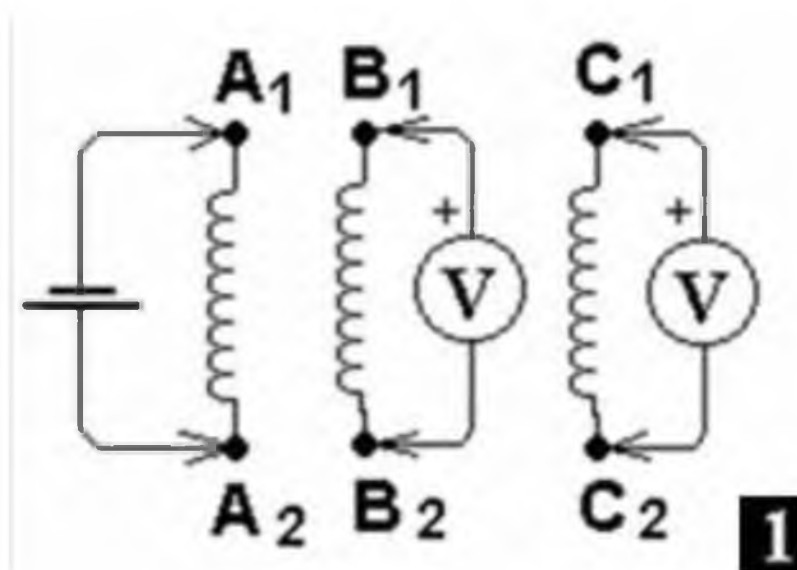
Также можно решить её с помощью лампочки от фонарика и батареек, подсоединяя имеющиеся провода в цепь последовательно с лампочкой. Если последняя загорается, значит, два проверяемых конца относятся к одной обмотке.

Таким способом определяются три пары проводов (А, В и С на рисунке ниже) относящихся к трем обмоткам.

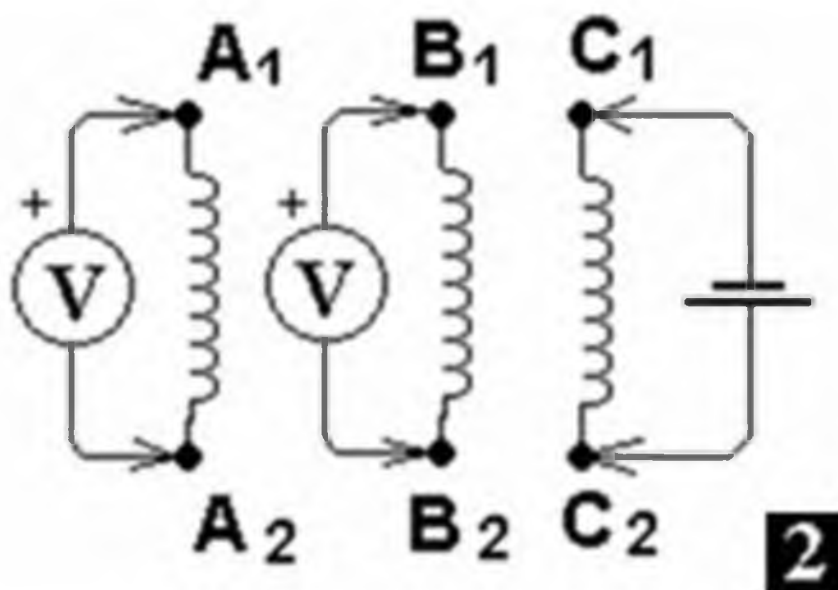


Определение пар проводов относящихся к одной обмотке

Вторая задача (определение начала и конца обмоток) требует наличия батарейки и стрелочного вольтметра. Цифровой не годится из-за инертности.



Нахождение начала и конца обмоток



К концам одной обмотки (например, А) подключается батарейка, к концам другой (например, В) - стрелочный вольтметр.

Если разорвать контакт проводов А с батарейкой, стрелка вольтметра качнется в ту или иную сторону.

Подключить вольтметр к обмотке С и проделать ту же операцию с разрывом контактов батарейки. При необходимости меняя полярность обмотки С (меняя местами концы С1 и С2) нужно добиться того, чтобы стрелка вольтметра качнулась в ту же сторону, как и в случае с обмоткой В.

Таким же образом проверяется и обмотка **A** - с батареей, подсоединенной к обмотке **C** или **B**.

В итоге всех манипуляций должно получиться следующее:

При разрыве контактов батарейки с любой из обмоток на 2-х других должен появляться электрический потенциал одной и той же полярности (стрелка прибора качается в одну сторону).

Теперь остается пометить выводы одного пучка как начала (**A1**, **B1**, **C1**), а выводы другого - как концы (**A2**, **B2**, **C2**) и соединить их по необходимой схеме - "треугольник" или "звезда"

Извлечение недостающих концов. Пожалуй, самый сложный случай - когда двигатель имеет соединение обмоток по схеме "звезда", и нет возможности переключить ее на "треугольник" (в распределительную коробку выведено всего лишь три провода - начала обмоток С1, С2, С3) (см. рисунок ниже). В этом случае для подключения двигателя по схеме "треугольник" необходимо вывести в коробку недостающие концы обмоток С4, С5, С6.



Табличка разбираемого электродвигателя



Клеммная колодка

Чтобы сделать это, обеспечивают доступ к обмотке двигателя, сняв крышку и, возможно, удалив ротор. Отыскивают и освобождают от изоляции место спайки. Разъединяют концы и припаивают к ним гибкие многожильные изолированные провода. Все соединения надежно изолируют, крепят провода прочной нитью к обмотке и выводят концы на клеммный щиток электродвигателя.

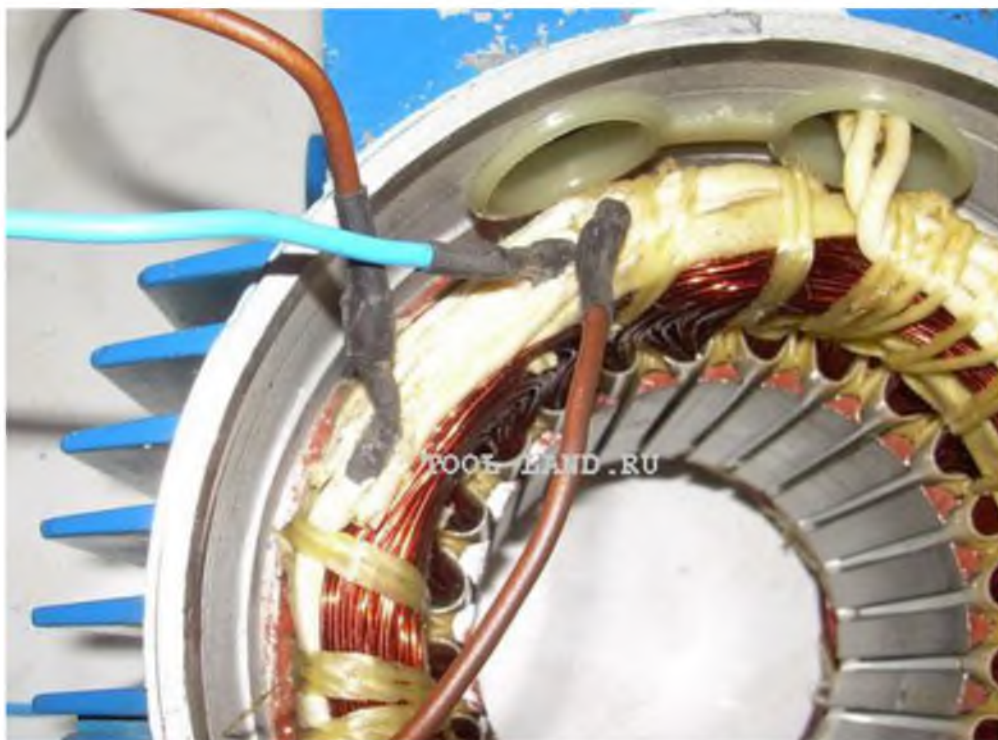
Определяют принадлежность концов началам обмоток и соединяют по схеме "треугольник", подсоединив начала одних обмоток к концам других

(С1 к С6, С2 к С4, С3 к С5). Работа по выводу недостающих концов требует определенного навыка.

Обмотки двигателя могут содержать не одну, а несколько спаек, разобраться в которых не так-то и просто. Поэтому если нет должной квалификацией, возможно, не останется ничего иного, как подключить трехфазный двигатель по схеме "звезда", смирившись со значительной потерей мощности.



Статор электродвигателя



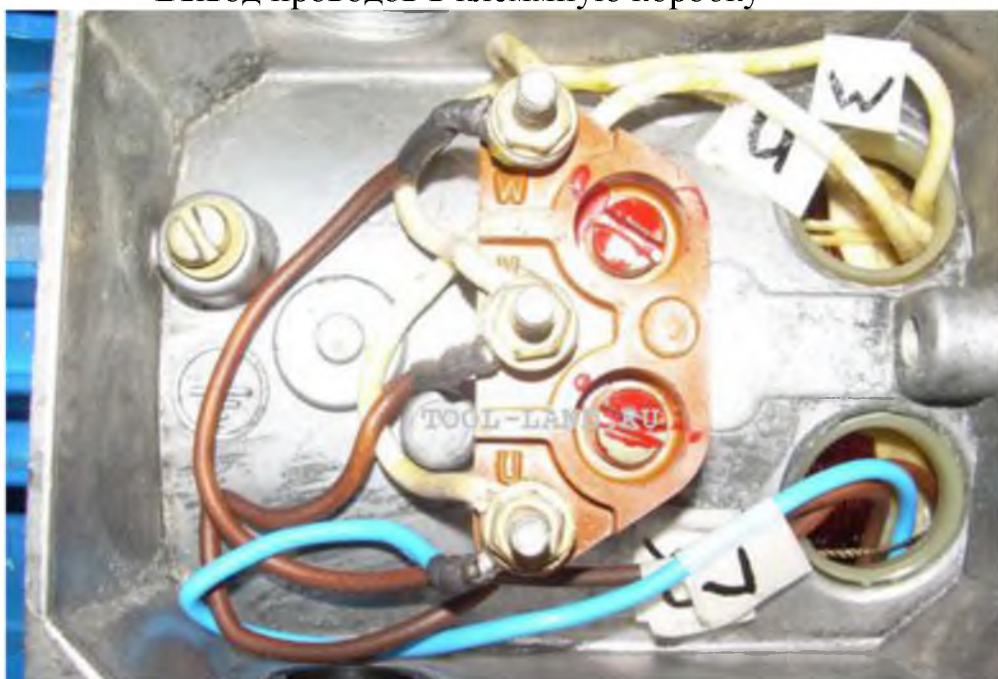
Припаянные провода



Припаянные провода



Вывод проводов в клеммную коробку

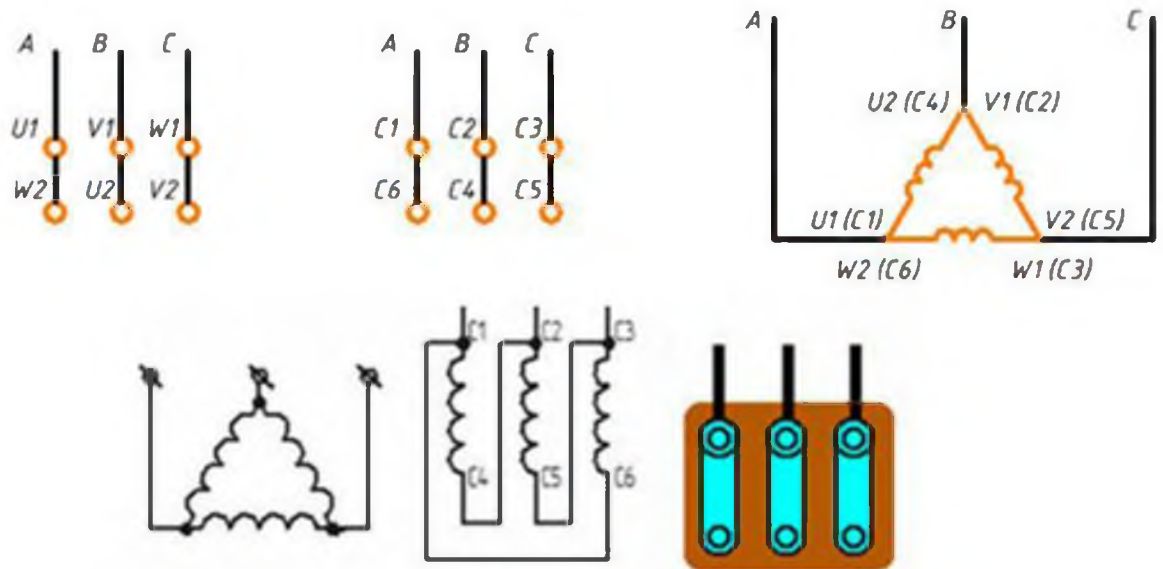


Подключение проводов к клеммной колодке

Соединение треугольником

При таком соединении обмотки объединяют в треугольник, когда начало одной обмотки соединяется с концом следующей – и так по кругу. Если линейное напряжение в трехфазной сети 380 В, то через обмотки будут протекать токи гораздо больших величин, чем при соединении звездой. Поэтому мощность электродвигателя будет выше.

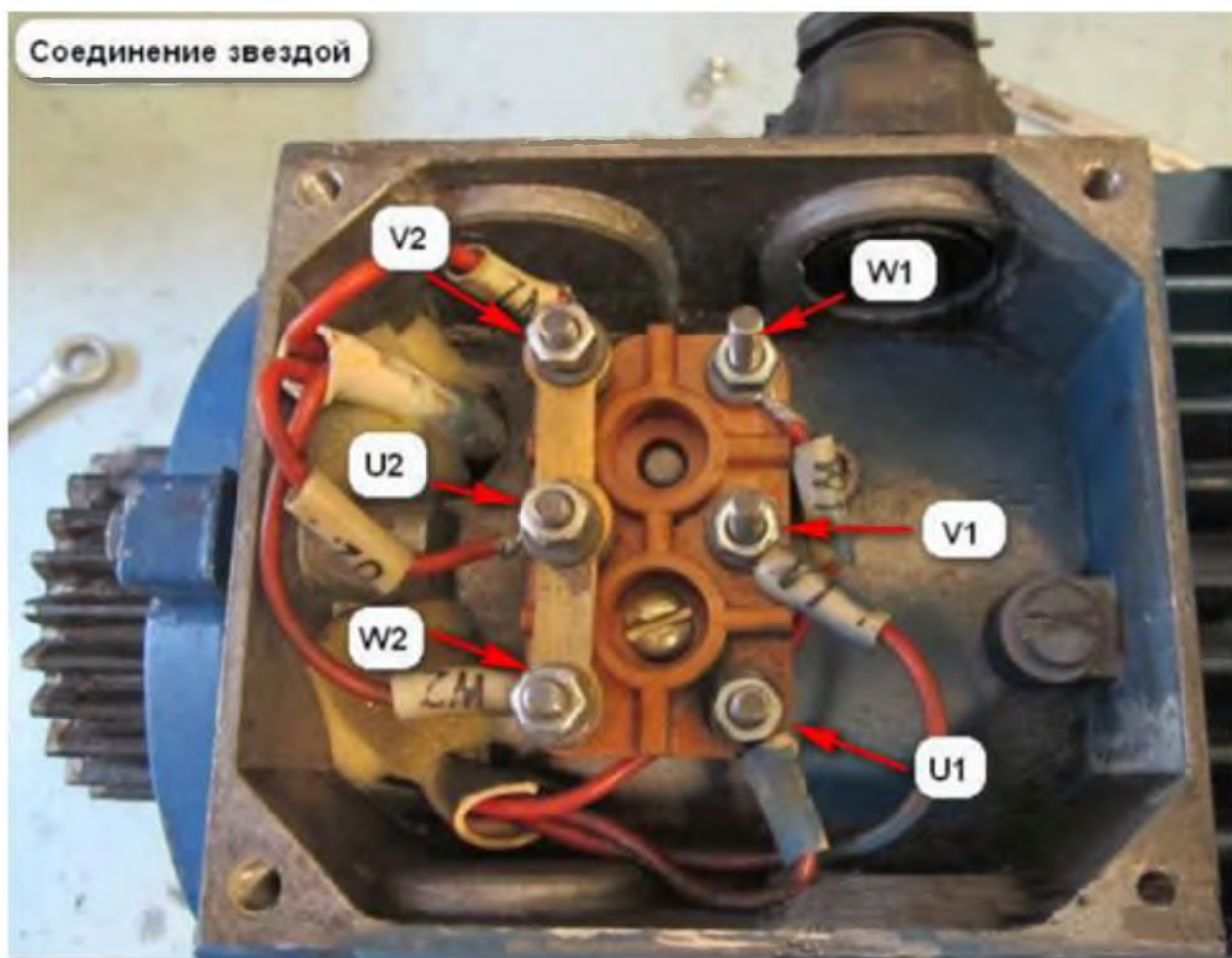
Схема подключения "треугольник"



Подключение обмоток асинхронного двигателя треугольником

При соединении треугольником в момент запуска асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором потребляет большие пусковые токи, которые могут в 7—8 раз превышать номинальные и способны вызвать перегрузку сети, поэтому на практике инженеры нашли компромисс – запуск двигателя и его раскручивание до номинальных

оборотов производится по схеме звезда, а затем происходит автоматическое переключение на треугольник.



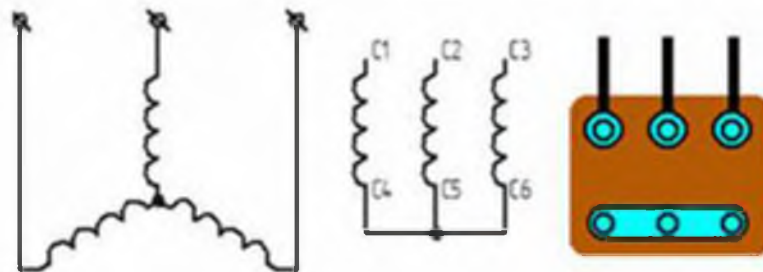
На фото «вскрытой» коробки видно, что провода, ведущие к обмоткам подписаны и перемычками соединены в одну точку концы всех обмоток — V2, U2, W2. Это свидетельствует о том, что имеет место соединение звездой. С первого взгляда может показаться, что концы обмоток расположены в логичном порядке V2, U2, W2, а начала «перепутаны» — W1, V1, U1. Однако, это сделано с определенной целью.

Соединение звездой

При таком соединении все концы обмоток объединяют в одной точке, а к их началам подключают фазы. На принципиальной схеме такой способ подключения напоминает звезду, за что и получил название.



Положение контактов в распределительной коробке трехфазного двигателя



Подключение трехфазного двигателя по схеме звезда



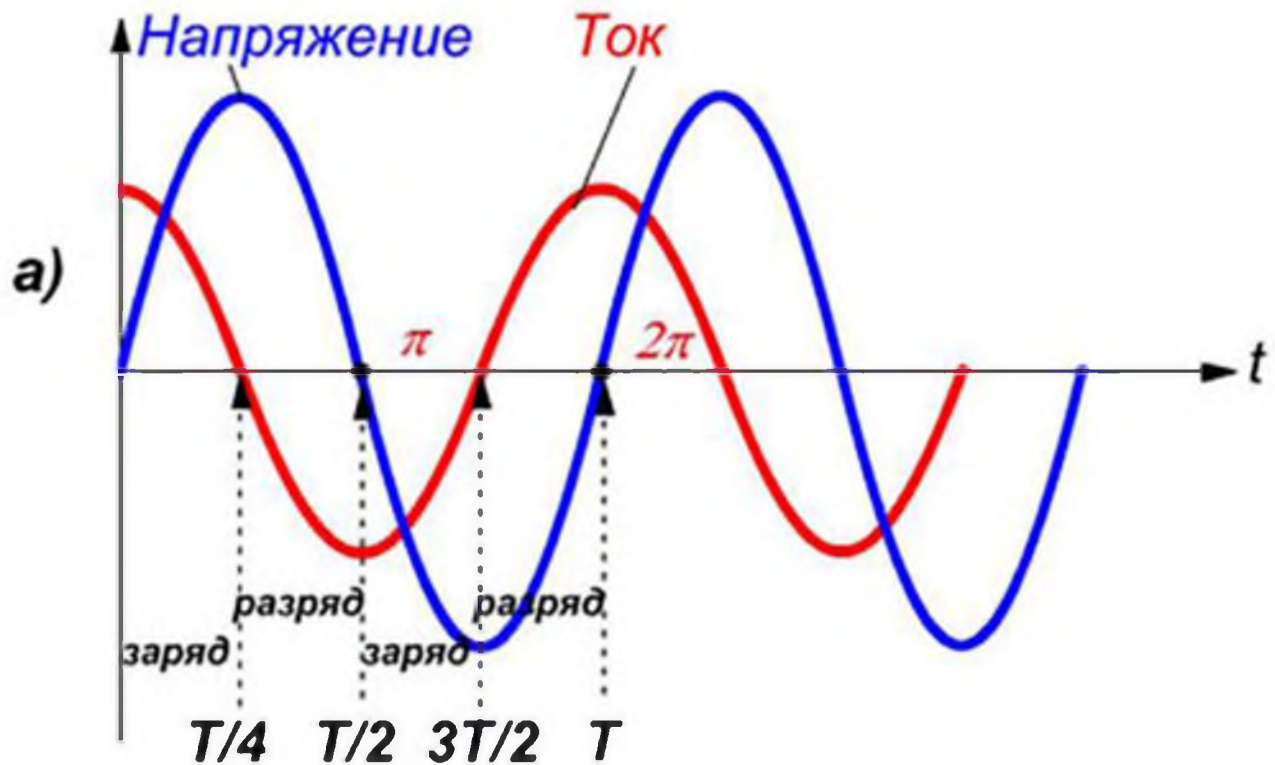
Распределительная коробка трехфазного двигателя с положением перемычек для подключения по схеме звезда

Подключение обмоток асинхронного двигателя звездой

При соединении звездой к каждой обмотке в отдельности приложено фазной напряжение в 220В, а к двум обмоткам, соединенных последовательно линейное напряжение 380 В. Главное преимущество такого способа подключения – это небольшие токи запуска, так как линейное напряжение приложено к двум обмоткам, а не к одной. Это позволяет двигателю «мягко» стартовать, но мощность его будет ограничена, так как протекающие токи в обмотках будут меньше, чем при другом способе подключения.

Сдвиг фаз при помощи конденсаторов

Электрический конденсатор известен своим уникальным свойством не пропускать постоянный ток, но пропускать переменный. Зависимость токов, протекающих через конденсатор, от приложенного напряжения показана на графике.

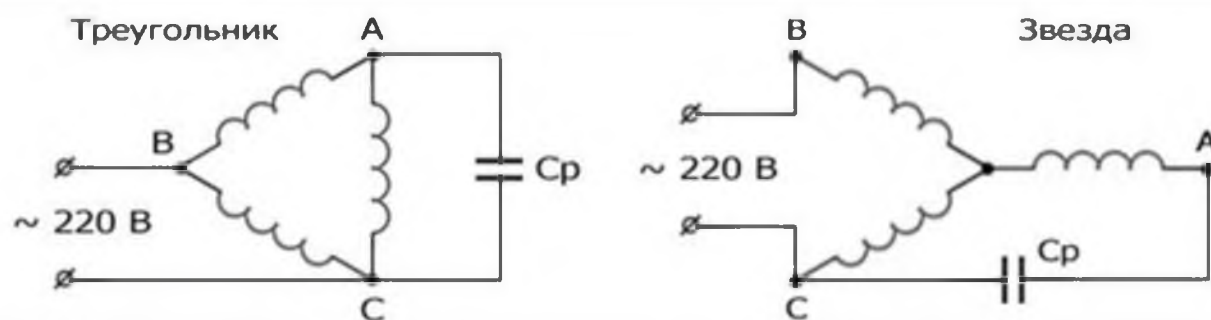


Ток в конденсаторе всегда будет «лидировать» на четверть периода

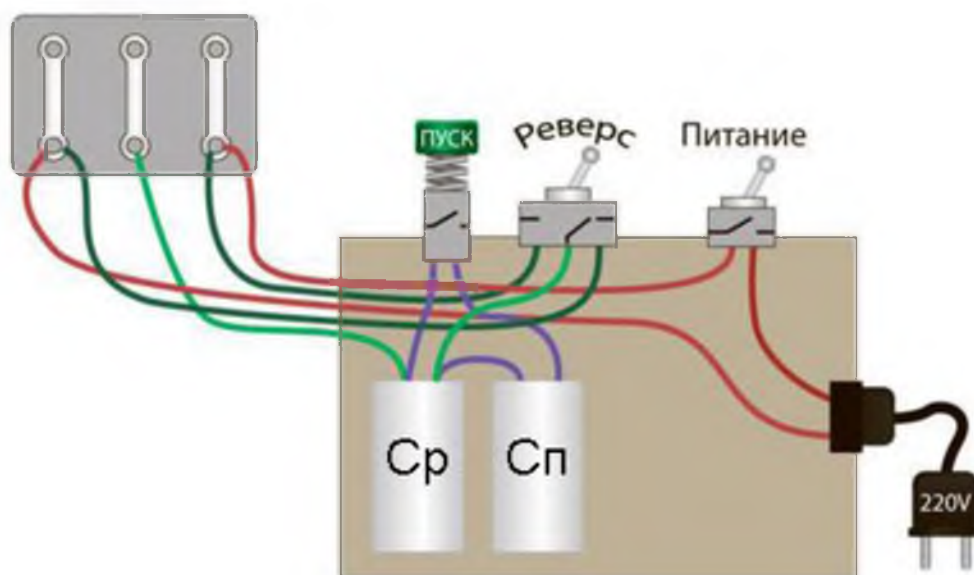
Из графика видно, что за один период переменного синусоидального напряжения, конденсатор два раза заряжается и два раза разряжается. Ток, протекающий через конденсатор, опережает напряжение на четверть периода, то есть — $2 \cdot \pi / 4 = \pi / 2 = 90^\circ$. Сдвиг фаз в 90° не является идеальным в 120° , но вполне достаточен для того, чтобы на роторе появился необходимый вращательный момент.

Схемы подключения трехфазных двигателей в однофазную сеть

для сдвига фазы достаточно подключить параллельно какой-либо из обмоток конденсатор. Обозначение C_p говорит о том, что это рабочий конденсатор.



Так подключают рабочий конденсатор



Следует отметить, что соединение обмоток в треугольник предпочтительней, так как с такого асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором можно «снять» полезной мощности больше, чем со звезды. Но существуют двигатели, предназначенные для работы в сетях с напряжением 127/220 В. О чем обязательно должна быть информация на шильдике.



Очень редкий представитель в большом семействе асинхронных двигателей

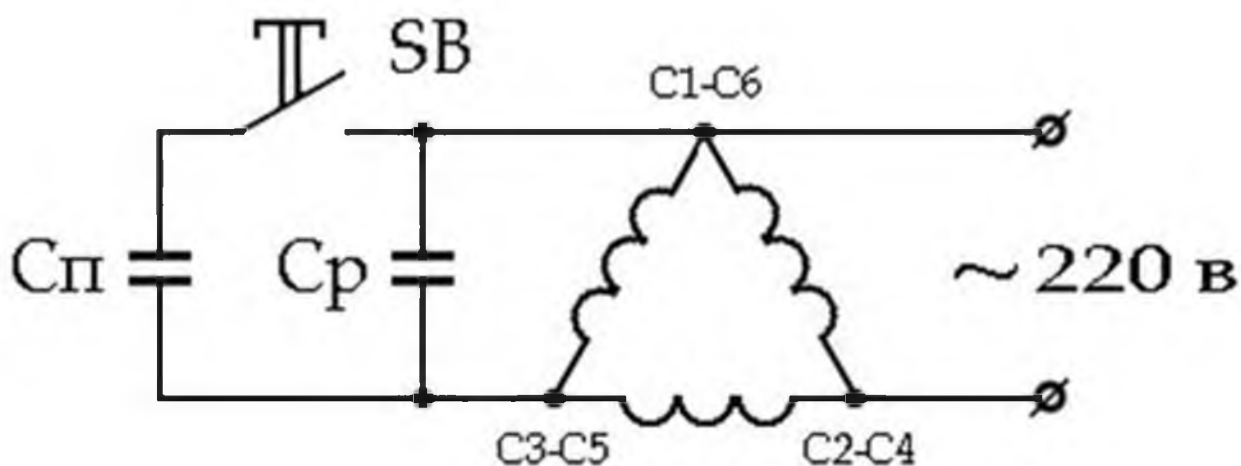
такой двигатель, можно включать в сеть 220В по схеме звезда, а это обеспечит и плавный пуск, и до 90% от паспортной номинальной мощности. Промышленностью выпускаются АДКЗ специально предназначенные для работы в сетях 220В, которые могут называть конденсаторными двигателями.

Если рабочее напряжение двигателя составляет 220/127В, то к однофазной сети на 220В двигатель можно подключить по схеме «звезда». При подключении 220В по схеме «треугольник», двигатель **сгорит**.



Следует обратить внимание, что на шильдике указано рабочее напряжение 220В и параметры рабочего конденсатора 90 мкФ (микрофард, $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$) и напряжение 250 В.

Для облегчения пуска мощных АДКЗ в сетях 220В кроме рабочего применяют еще и пусковой конденсатор, который включается на непродолжительное время. После старта и набора номинальных оборотов пусковой конденсатор отключают, и вращение ротора поддерживает только рабочий конденсатор.



Пусковой конденсатор – $C_{\text{п}}$, подключают параллельно рабочему $C_{\text{р}}$. Из электротехники известно, что при параллельном соединении емкости конденсаторов складываются. Для его «активации» применяют кнопочный выключатель SB, удерживаемый несколько секунд. Емкость пускового конденсатора обычно минимум в два с половиной раза выше, чем рабочего, причем сохранять заряд он может достаточно долго. Для того чтобы разрядить $C_{\text{п}}$ применяют резистор, подключенный параллельно. Тогда после отключения пускового конденсатора от сети, будет происходить его разряд через резистор. Его выбирают с достаточно большим сопротивлением 300 кОм—1 МОм и рассеиваемой мощностью не менее 2 Вт.

Расчет емкости рабочего и пускового конденсатора

Необходимая емкость рабочих конденсаторов для работы трехфазного двигателя в однофазной сети зависит от схемы подключения обмоток двигателя и других параметров.

Ток рассчитывается по формуле:

$$I = P / (1.73 \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \phi),$$

где P - мощность электродвигателя кВт;

n - КПД двигателя;

$\cos\phi$ - коэффициент мощности;

1.73 - коэффициент, характеризующий соотношение между линейным и фазным токами.

КПД и коэффициент мощности указаны в паспорте и на табличке двигателя. Обычно их значение находится в диапазоне 0,8-0,9.

Для соединения *"звездой"* емкость рассчитывается по формуле:

$$C_p = 2800 \cdot I / U$$

Для соединения *"треугольником"*:

$$C_p = 4800 \cdot I / U$$

Где C_p - емкость рабочего конденсатора в мкФ, I - ток в А, U - напряжение сети в В.

На практике величину емкости рабочего конденсатора при подсоединении *"треугольником"* можно посчитать по упрощенной формуле $C = 70 \cdot P_n$, где P_n - номинальная мощность электродвигателя в кВт.

Согласно этой формуле на каждые **100 Вт** мощности электродвигателя необходимо около **7 мкФ** емкости рабочего конденсатора.

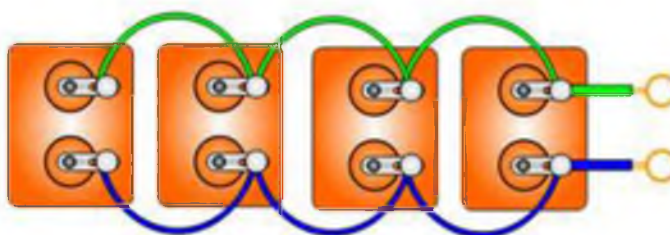
Исходя из условия запуска двигателя под нагрузкой близкой к номинальной, **пусковая емкость** должна быть **в 2-3 раза больше рабочей**, то есть, если емкость рабочего конденсатора 80 мкФ, то емкость пускового конденсатора должна быть 80-160 мкФ, что даст пусковую емкость (сумма емкости рабочего и пускового конденсаторов) 160-240 мкФ.

Но если двигатель имеет небольшую нагрузку при запуске, емкость пускового конденсатора может быть меньше или, как писалось выше, его вообще может не быть.

Отметим, что у двигателя, подключенного к однофазной сети через конденсатор, работающего без нагрузки, по обмотке, питаемой через конденсатор, идет ток на 20-30% превышающий номинальный. Поэтому, если двигатель используется в недогруженном режиме, то емкость рабочего

конденсатора следует уменьшить. Но тогда, если двигатель запускался без пускового конденсатора, последний может потребоваться.

Лучше использовать не один большой конденсатор, а несколько поменьше, отчасти из-за возможности подбора оптимальной емкости, подсоединяя дополнительные или отключая ненужные, последние можно использовать в качестве пусковых. Необходимое количество микрофарад набирается параллельным соединением нескольких конденсаторов, исходя из того, что суммарная емкость при параллельном соединении подсчитывается по формуле: $C_{\text{общ}} = C_1 + C_1 + \dots + C_n$.



Параллельное соединение конденсаторов

Поэтому, если двигатель будет работать в сети 220В, то конденсатор должен быть с номинальным напряжением не менее, чем $1,5 \cdot 220 = 360\text{В}$, а лучше 400—450В. Также необходимо учитывать то, что рабочий конденсатор задействован во все время работы двигателя, а пусковой – только во время запуска.

Рассмотрим в следующей таблице, какие конденсаторы могут применяться в качестве рабочих и пусковых.

	Металлобумажные конденсаторы МБГО, МБГТ, МГБЧ, МГБП	Полипропиленовые пленочные конденсаторы СВВ60 (аналог К78-17), СВВ65	Пусковые конденсаторы CD60
Изображение			
Технология изготовления	Нанесение металлизированной пленки на конденсаторную	Нанесение металлизированной пленки на тонкую полипропиленовую	Алюминиевая фольга и электролит. В качестве диэлектрика используется диоксид

	Металлобумажные конденсаторы МБГО, МБГТ, МГБЧ, МГБП	Полипропиленовые пленочные конденсаторы СВВ60 (аналог К78-17), СВВ65	Пусковые конденсаторы CD60
	бумагу, являющуюся диэлектриком	ленту	алюминия
Рабочее напряжение, В	160, 200, 300, 400, 600, 1000 В	450, 630 В	220—450 В
Диапазон емкостей, мкФ	0,1—20 мкФ	1—150 мкФ	50—1500 мкФ
Материал и форма корпуса	Металлический прямоугольный герметичный корпус	Пластиковый цилиндрический корпус, у СВВ65 металлический цилиндрический взрывозащищенный корпус	Цилиндрический металлический взрывозащищенный корпус, покрытый пленкой из термостойкого поливинилхлорида
Где применяются	В качестве рабочих конденсаторов асинхронных двигателей	В качестве рабочих и пусковых конденсаторов асинхронных двигателей	В качестве пусковых конденсаторов.
Достоинства	Небольшая цена	Небольшие габариты, малый разброс характеристик, долговечность	Высокая емкость при небольших габаритных размерах
Недостатки	Большие габариты, высокие потери, быстрое старение при повышенных температурах	Цена выше, чем у металлобумажных конденсаторов	Не рекомендуется применять в качестве рабочих конденсаторов

Обозначения выводов обмоток асинхронных двигателей

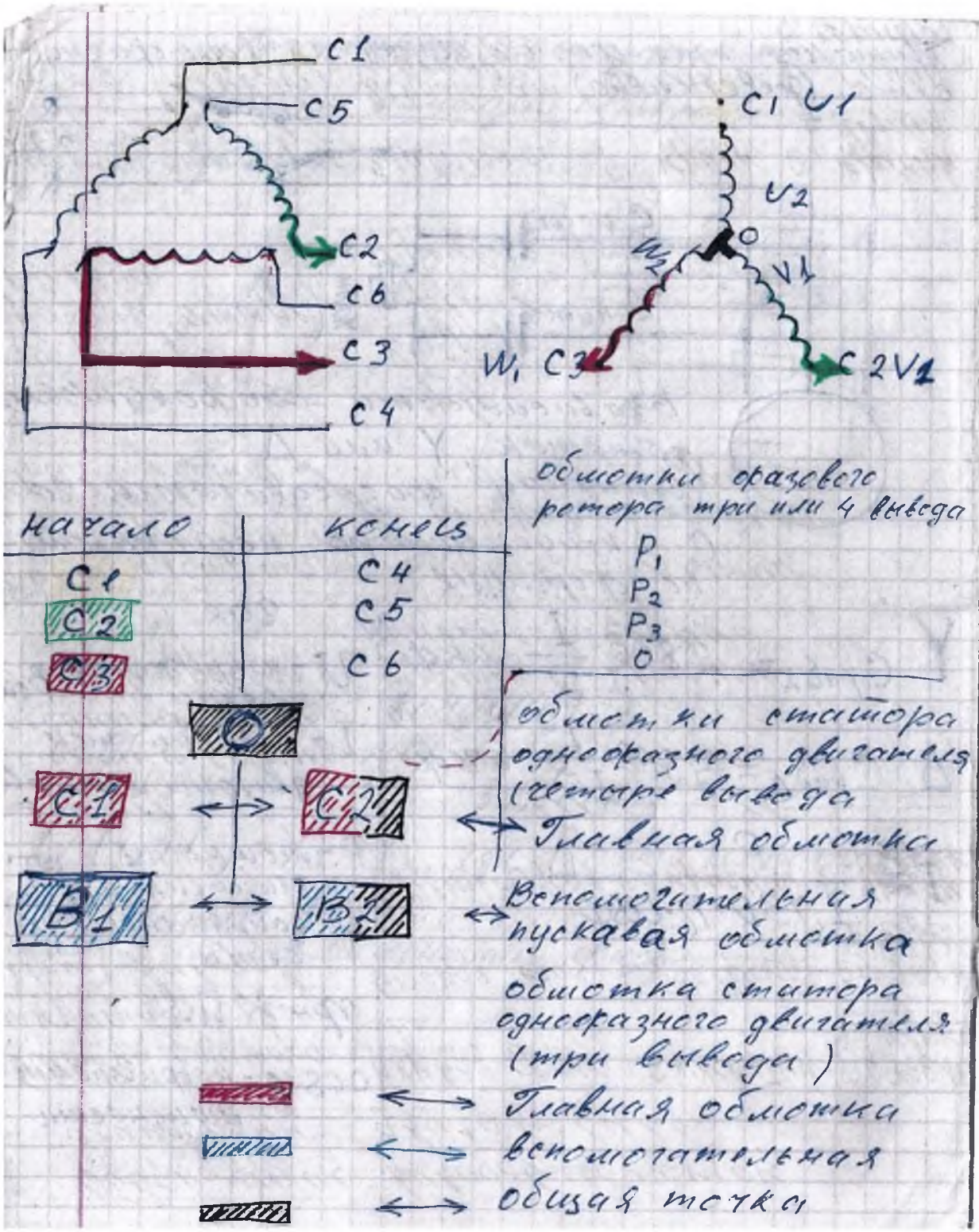
обмотки статора открытая схема шесть выводов	первая фаза C ₁ жёлтый	C ₄ жёлт C ₅ чёрн
	вторая фаза C ₂ зелёный	C ₅ зелё C ₆ чёрн
	третья фаза C ₃ красный	C ₆ красн C ₇ чёрн

обмотки статора соединения звездой (3 или 4 провода)	первая C ₁ жёлтый	
	вторая C ₂ зелёный	
	третья C ₃ красный	
	нулевой O чёрный	

обмотки статора соедн треугольником (три вывода)	первая C ₁ жёлтый	
	вторая C ₂ зелёный	
	третья C ₃ красный	

обмотки фазо- вого ротора (три или четыре) вывода	первая	P ₁
	вторая	P ₂
	третья	P ₃
	нулевая	O

обмотки статора однофазного дви- гателя (4 вывода)	глав. обмот	C ₁ красн	C ₂ красн C ₃ чёрн
	вспомогат. пусковая	B сини	B ₂ сини C ₄ чёрн



Основные причины выхода из строя электродвигателей, признаки неисправностей

К основным причинам поломки электродвигателей можно отнести нарушение правил их эксплуатации, а также старение и износ деталей механизма.

Все дефекты электродвигателей можно разделить на **два типа:**

- механические;
- электрические.

К типу *электрических* можно отнести:

- обрыв обмоток статора;
- повреждения изоляции и межвитковый пробой обмоток;
- повреждения токопроводящих частей обмоток и пробой на корпус двигателя;
- повреждения изоляции и пробой обмоток между собой;
- повреждения листов сердечников;
- повреждения контактных колец.

К *механическим* можно отнести повреждения:

- перекосы корпуса;
- ослабление крепежных соединений деталей электродвигателя;
- повреждения поверхностей деталей или их формы.

Если механические повреждения электродвигателей достаточно легко и просто выявляются даже визуально, то электрические неисправности возможно обнаружить только при проведении специальных измерений, ориентируясь на косвенные признаки. Только определив точную причину неисправности асинхронного электродвигателя, принимается решение о способе ремонта электродвигателя и составе ремонтных работ.

Ниже приведен *примерный список* основных причин выхода из строя электродвигателей, а также признаков данных неисправностей:

Признаки неисправности	Неисправность электродвигателя
Нагрузка двигателя нормальная, однако, активная сталь статора перегревается	Неисправность вентилятора или повышение напряжения сети.
Активная сталь сильно нагревается даже при холостом ходу электродвигателя, а также нормальном напряжении сети.	Задевание ротора об статор или наличие заусенцев приводят к местным замыканиям между листами активной стали; пробой обмотки на корпус или короткие замыкания в обмотке статора приводят к выгоранию и оплавлению зубцов активной стали.
Обмотка статора равномерно перегревается.	Нарушена нормальная вентиляция электродвигателя, имеет место его перегрузка при номинальной мощности ввиду заниженного напряжения на выходах двигателя. Обмотка статора соединена в треугольник, а не в звезду.

Короткое или витковое замыкание между двумя фазами.	Обмотка статора сильно перегревается. Неодинаковые ток в отдельных фазах. Сильные шумы при работе электродвигателя.
Статор и ротор двигателя перегреваются. Имеется пульсация тока в статоре, сильные шумы при работе электродвигателя. Двигатель не развивает номинальной частоты вращения и плохо запускается. Момент вращения не достигает номинальных показателей.	Плохой контакт в цепи ротора (в нулевой точке или в пайках лобовых частей обмотки, в соединениях между параллельными группами, в соединениях между стержнями), в соединениях обмотки с контактными кольцами, в соединениях между пусковым реостатом и контактными кольцами.
Электродвигатель не запускается.	Перегорание предохранителя приводит к отсутствию тока в статоре.
Электродвигатель не запускается, издает нехарактерные шумы и работает толчками при ручном поворачивании. Отсутствие тока в одной фазе статора.	Имеет место обрыв обмотки статора или обрыв в фазе цепи сети. Если это произошло во время работы электродвигателя, обмотка ротора или статора может полностью перегореть.

Электродвигатель не запускается даже при нормальном напряжении на выводах статора, а также при одинаковом токе в трех фазах статора	Наличие обрыва нескольких фаз в соединительных проводах между пусковым реостатом и ротором, а также непосредственно в пусковом реостате. Смещение подшипниковых стояков или щитов, или же сильный износ вкладышей подшипников приводят к значительному притяжению ротора к статору (одностороннему).
Электродвигатель с нагрузкой не запускается; без нагрузки и с короткозамкнутым ротором – запускается.	Увеличена нагрузка при пуске электродвигателя.
Щетки неверно установлены в щеткодержатели или имеют сильный износ; обеспечивается плохой контакт между арматурой и щетками, имеется несоответствие размеров щеток и обойм щеткодержателей.	Искрение при работе электродвигателя, сильный нагрев щеток и коллектора.
Обнаруживаются сильные стуки в подшипниках качения.	Разрушены тела или дорожки качения.

При работе электродвигателя наблюдаются сильные вибрации.

Допущена неправильная и неточная центровка валов двигателя, имеет место перекос соединительных полумуфт, допущено нарушений балансировки ротора при помощи муфт и шкивов.