

Библиотека

ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Н. Д. ТОРОПЦЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХФАЗНОГО  
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ  
В СХЕМЕ  
ОДНОФАЗНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ  
С КОНДЕНСАТОРОМ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

С 1124.580

*Выпуск 89*

Н. Д. ТОРОПЦЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХФАЗНОГО  
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ  
В СХЕМЕ ОДНОФАЗНОГО  
ВКЛЮЧЕНИЯ  
С КОНДЕНСАТОРОМ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Большаков Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,  
Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Смирнов А. Д.,  
Устинов П. И.

---

ЭЭ-3-3

В брошюре рассматриваются вопросы использования конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками. Описаны различные схемы включения. Даны простые соотношения для определения рабочей емкости конденсатора. Изложены требования техники безопасности при обслуживании конденсаторов.

Брошюра рассчитана на читателей, связанных с практикой эксплуатации асинхронных двигателей, и прежде всего на сельских электромехаников и электромонтеров.

---

C.1.124580

*Горспцев Николай Демидович.*

Применение трехфазного асинхронного двигателя в схеме однофазного включения с конденсатором. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.

40 с. с черт. (Б-ка электромонтера. Вып. 89)

621.313.33.004.14

\* \* \*

Редактор *Н. В. Астахов*

Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 8/І 1963 г.

Подписано к печати 8/ІІІ 1963 г.

Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

2,05 п. л.

2,1 уч.-изд. л.

T-00192

Тираж 23 000 экз.

Цена 07 коп.

Зак. 8

Типография № 1 Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

Государственная публичная  
библиотека  
им. В. Г. Беллинского  
г. Свердловск

---

---

## 1. ВКЛЮЧЕНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ОДНОФАЗНУЮ СЕТЬ. СПОСОБЫ ПУСКА

Широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства получили асинхронные двигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. Они не имеют скользящих контактов, просты по обслуживанию и устройству.

Двигатель с короткозамкнутым ротором в разобранном виде показан на рис. 1.

Сердечники статора и ротора набираются из листов электротехнической стали. Стержни обмотки ротора замыкаются накоротко, образуя так называемую беличью клетку. Выводы обмотки статора маркируются, благодаря чему облегчается сборка нужной схемы соединения (звезда, треугольник). В соответствии с ГОСТ 183-55 приняты следующие обозначения выводов обмоток отдельных фаз: начало и конец первой фазы  $C_1$  —  $C_4$ , второй  $C_2$  —  $C_5$  и третьей  $C_3$  —  $C_6$ . Расположение зажимов на щитке двигателя может быть, например, таким, как показано на рис. 2. Оно должно удовлетворять требованию простоты соединения обмоток по любой схеме.

Трехфазный ток, проходя по обмоткам статора, создает вращающееся магнитное поле. Скорость вращения поля называется синхронной скоростью.

Ротор асинхронного двигателя, вращаясь в направлении движения поля, развивает скорость, несколько меньшую, чем синхронная, называемую асинхронной (приставка «а» означает отрицание). Отставание ротора характеризуется скольжением, изменяющимся в пределах от единицы (при пуске двигателя) до нуля (при синхронной скорости вращения).

Номинальным режимом работы двигателя называется такой режим, при котором двигатель должен нормально работать в течение всего срока службы. Номинальному режиму работы двигателя соответствует номинальное напряжение. Двигатель при этом потребляет но-

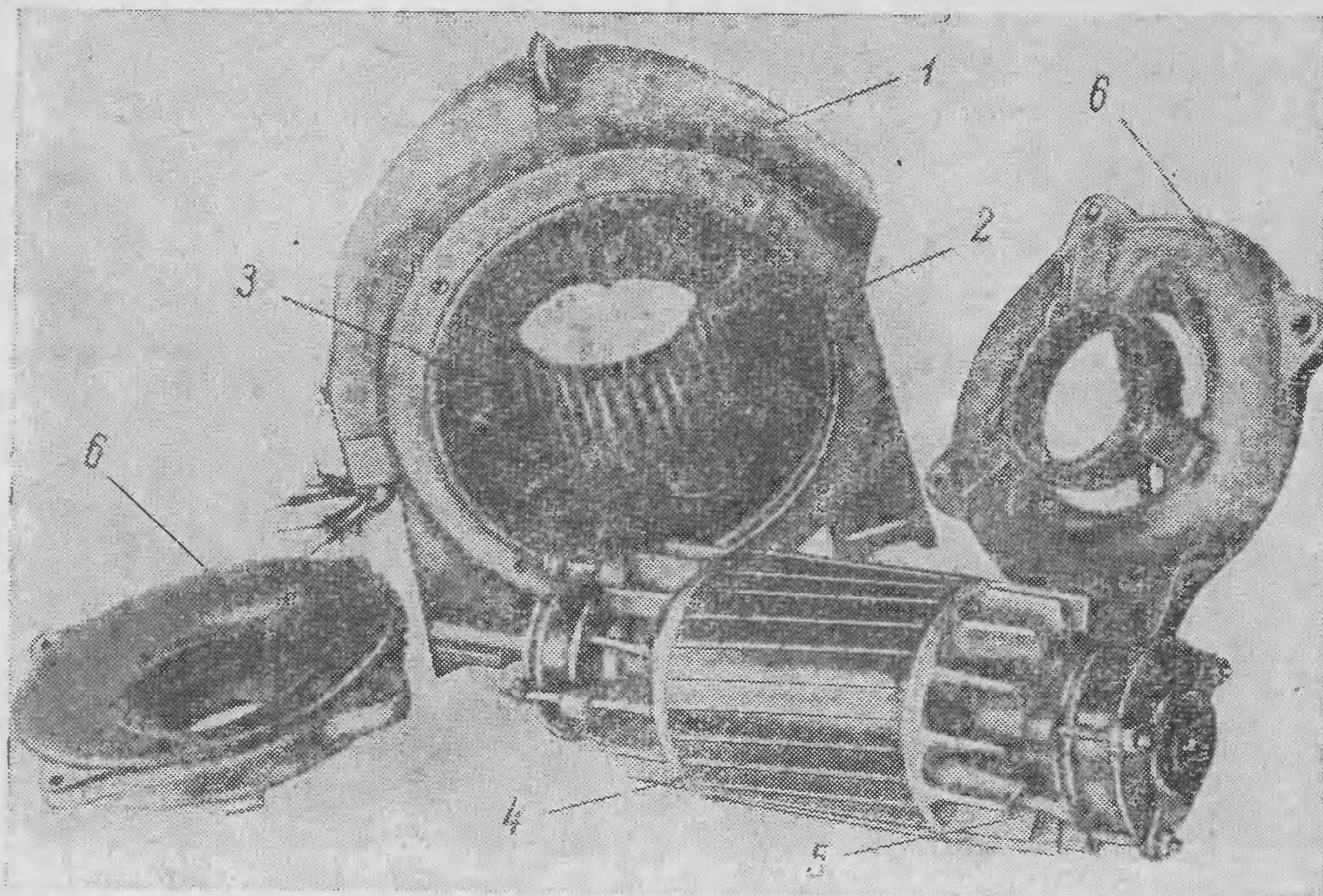


Рис. 1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разобранном виде.

1 — корпус; 2 — сердечник статора; 3 — обмотка статора; 4 — ротор; 5 — вентилятор; 6 — подшипниковые щиты.

минальный ток, имея номинальные скорость вращения и мощность на валу.

Если цепь одной из фаз статора работающего двигателя нарушится (например, вследствие перегорания плавкой вставки предохранителя), то двигатель и в этом случае будет продолжать вращаться, преодолевая сопротивление нагрузки. Однако двигатель окажется в однофазном режиме работы либо с последовательным (рис. 3,а), либо с параллельным (рис. 3,б) соединением обмоток статора. В первом случае одна фаза полностью теряет питание, во втором — происходит уменьшение напряжения на каждой из двух фаз, соединенных последовательно. Скорость вращения двигателя при этом снижается, а скольжение увеличивается. Увеличение

скольжения при неизменной нагрузке на валу сопровождается значительным возрастанием тока. Для предупреждения чрезмерного перегрева обмоток необходимо снизить мощность двигателя до 50—60% номинальной.

Остановив однофазный двигатель, легко убедиться в том, что попытка пустить его в ход непосредственным включением в сеть не приносит успеха. Вращающий момент при пуске оказывается равным нулю. Это обусловлено характером магнитного поля, которое в однофазном двигателе является пульсирующим: ось магнитного поля при неподвижном роторе остается неподвижной в пространстве. Пульсирующее поле может быть представлено в виде двух полей, вращающихся с одной и той же синхронной скоростью в противоположные сто-

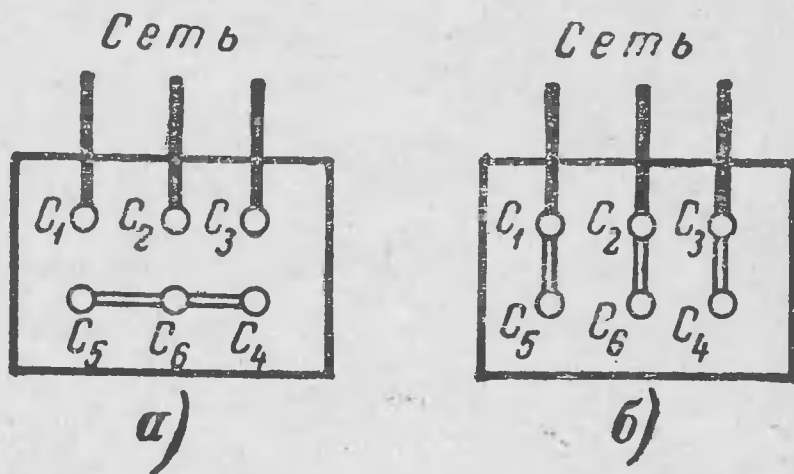


Рис. 2. Расположение зажимов на щитке двигателя.  
а — звезда; б — треугольник.

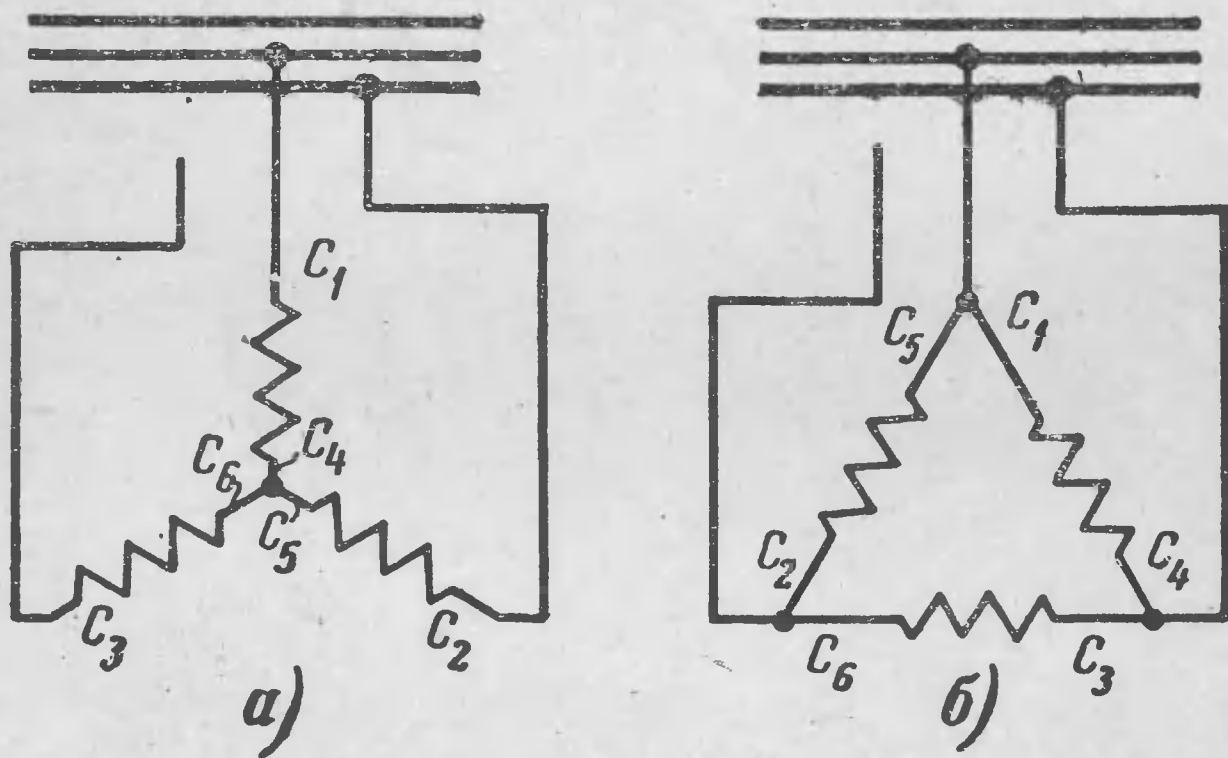


Рис. 3. Однофазное включение асинхронного двигателя.

роны. Наибольшее значение (амплитуда) каждого из них равно половине амплитуды пульсирующего поля.

Разложение пульсирующего поля и его изменение во времени иллюстрируются простым графическим построением, приведенным на рис. 4. При построении принято допущение, что катушка, по которой проходит ток

(показанная в виде одного витка), создает в воздушном зазоре машины синусоидально распределенное магнитное поле (сплошная линия).

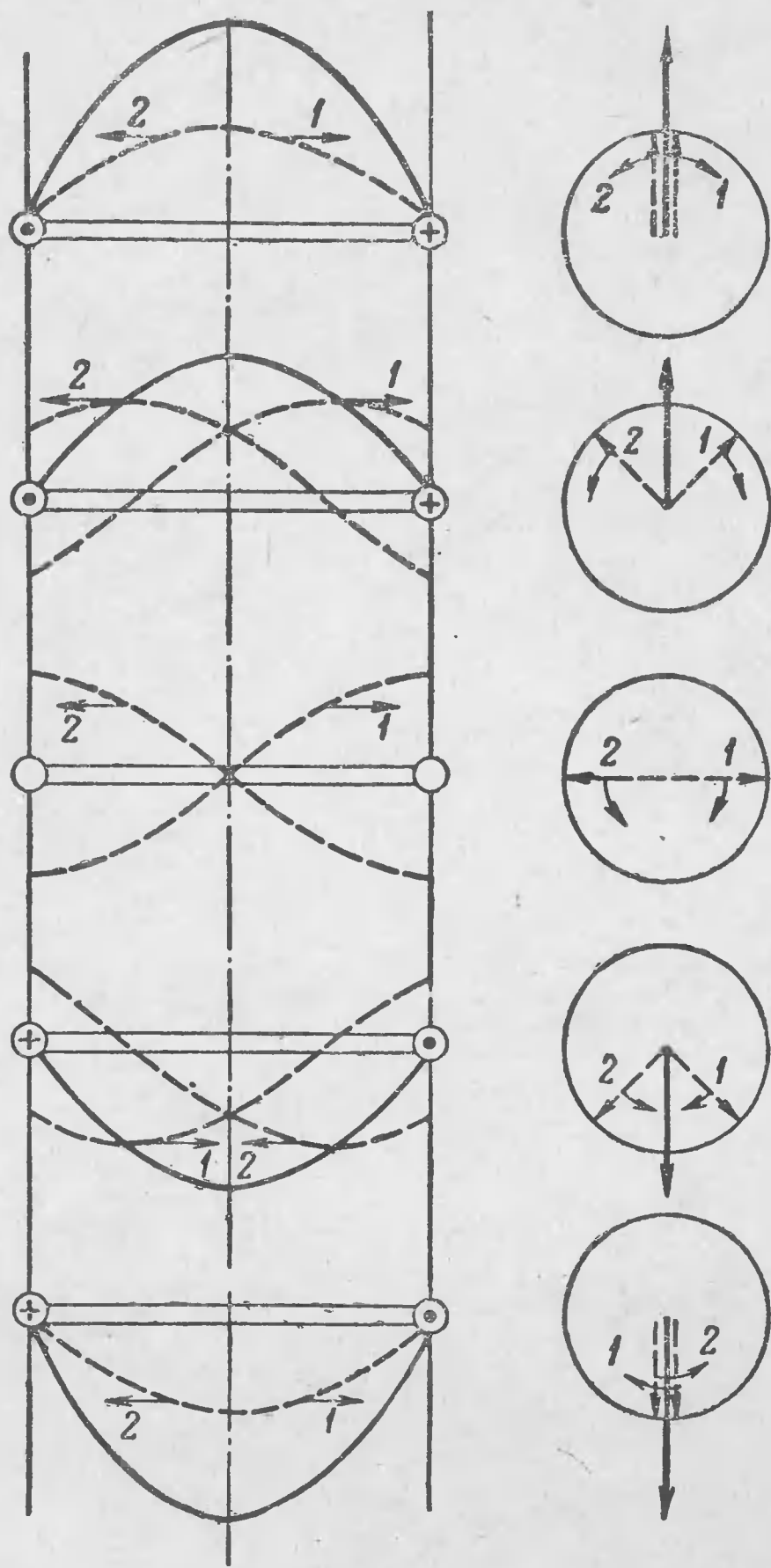


Рис. 4. Разложение пульсирующего магнитного поля на два вращающихся поля.

Каждое из вращающихся полей (пунктирные линии 1 и 2) наводит в обмотке ротора э. д. с., под влиянием которых возникают токи. Взаимодействие вращающихся полей с токами ротора приводит к образованию вращающихся моментов, направленных в противоположные стороны. Неподвижный ротор по отношению к этим

полям находится в одинаковых условиях, поэтому вращающие моменты полностью уравниваются друг друга, чем и объясняется то обстоятельство, что однофазный двигатель не может взят с места.

Для двигателя с вращающимся ротором равенство моментов не сохраняется, поэтому при отключении одной из фаз двигатель продолжает вращаться.

Прямое поле, т. е. поле, направление вращения которого совпадает с направлением вращения ротора, наводит в его обмотке токи небольшой частоты (2—3 гц) при частоте напряжения сети 50 гц. Обозначим момент, обусловленный прямым полем, через  $M_1$ .

Встречному (обратному) полю соответствует тормозной момент  $M_2$ . Токи, индуктированные в обмотке ротора встречным полем, при малых значениях скольжения имеют повышенную частоту (около 100 гц) и, становясь поэтому почти чисто реактивными, оказывают размагничивающее действие. Ослабление встречного поля вызывает уменьшение тормозного момента  $M_2$ .

При вращении ротора ось результирующего поля однофазного двигателя вращается с синхронной скоростью в направлении прямого поля. Результирующий момент однофазного двигателя равен разности моментов от прямого и обратного полей:

$$M = M_1 - M_2.$$

Наличие тормозного момента приводит к ухудшению характеристик двигателя. Однофазный двигатель по сравнению с исходным трехфазным имеет меньшие коэффициенты полезного действия (к. п. д.) и мощности ( $\cos \varphi$ ).

Уменьшение к. п. д. связано с возрастанием потерь, обусловленных появлением обратного поля. Снижение коэффициента мощности объясняется увеличением намагничивающего тока.

Существенным недостатком однофазного двигателя является отсутствие пускового момента. Двигатели малой мощности (например, асинхронный двигатель проигрывателя) можно пустить в ход «от руки», но этот способ пуска неприменим для более мощных приводов. Поэтому задача непосредственного пуска однофазного двигателя от сети имеет важное значение. Одно из возможных ее решений рассматривается в настоящей брошюре. Идея его состоит в образовании в воздушном за-

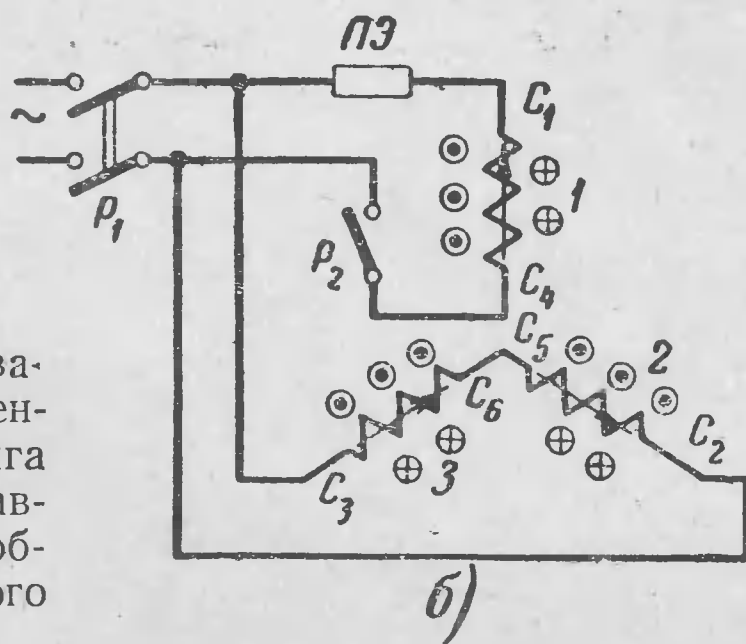
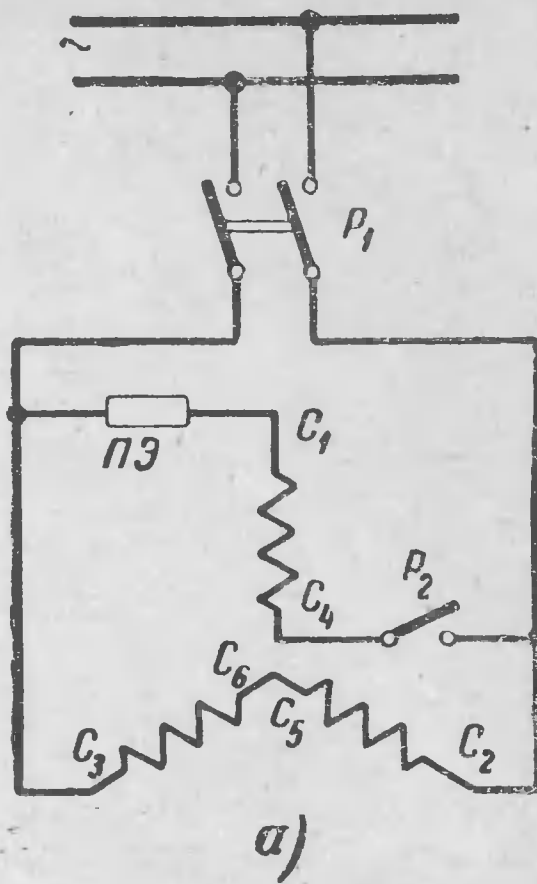


Рис. 5. Образование пространственного угла сдвига между осями главной и пусковой обмоток однофазного двигателя.

зоре машины вращающегося магнитного поля — эллиптического или кругового.

В эллиптическом поле, кроме вращающего момента  $M_1$ , возникает тормозной момент от обратного поля  $M_2$ . В круговом поле тормозной момент отсутствует.

Для получения кругового вращающегося поля должны быть соблюдены определенные условия. При двух статорных обмотках магнитное поле становится круговым, если оси катушек сдвинуты в пространстве на угол 90 эл. град. и токи катушек сдвинуты во времени на четверть периода.

Рассмотрим схему включения трехфазного двигателя в однофазную сеть, показанную на рис. 5,а. Одна обмот-

ка статора образована фазой  $C_1 — C_4$ , другая состоит из двух последовательно соединенных фаз:  $C_2 — C_5$  и  $C_3 — C_6$ . Назовем первую обмотку пусковой, а вторую — рабочей, или главной. Стрелками 1, 2, 3 (рис. 5,б) для некоторого момента времени условно показаны направления и величины пульсирующих полей отдельных фаз исходного трехфазного двигателя. Ось главной обмотки (стрелка 4) находят по правилу параллелограмма (рис. 5,в). Как видно, между осями полей главной и пусковой обмоток создается пространственный сдвиг, равный  $90^\circ$ , и первое из поставленных выше условий выполняется. При соединении обмоток двигателя треугольником получается тот же результат.

Для получения сдвига токов в обмотках во времени возможно применение в цепи пусковой обмотки одного из следующих фазосдвигающих элементов:

активного сопротивления; индуктивной катушки; конденсатора.

В первом и втором случаях создается эллиптическое вращающееся поле, так как сдвиг во времени между токами получается значительно меньшим четверти периода. К достоинству этих способов пуска относятся простота и невысокая стоимость пусковых элементов.

Если в качестве фазосдвигающего элемента использовать конденсатор, то можно получить вращающееся поле, близкое к круговому, а в некоторых случаях — и круговое.

Пуск двигателя в ход производится следующим образом. При замкнутом рубильнике  $P_2$  (рис. 5,а) включается рубильник  $P_1$ . По достижении скорости вращения, близкой к синхронной, цепь пусковой обмотки с пусковым элементом  $ПЭ$  размыкается вручную или посредством центробежного выключателя, обычно встроенного в корпус двигателя. Под напряжением сети на время работы остается только главная фаза.

Сравнение различных способов пуска показало, что пусковой ток для одного и того же значения момента получается наименьшим при пуске посредством включения конденсатора. С уменьшением пускового тока уменьшаются колебания напряжения в линии, что приводит к улучшению условий пуска вследствие известной пропорциональности между вращающим моментом асинхронного двигателя и квадратом приложенного напряжения.

Для одинаковых пусковых токов начальный вращающий момент двигателя с конденсатором в цепи пусковой обмотки в 5—6 раз превосходит момент, получаемый при включении активного сопротивления или индуктивности.

## 2. КОНДЕНСАТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Выше указывалось, что пусковые характеристики однофазного двигателя становятся наиболее благоприятными, когда в качестве пускового элемента используется конденсатор. Для улучшения рабочих характеристик конденсатор определенной емкости оставляют включенным на весь рабочий период.

Асинхронный двигатель, работающий от сети однофазного тока, с конденсатором в его цепи называется конденсаторным.

По вопросам теории и расчета конденсаторного двигателя опубликовано значительное число работ в отечественной и иностранной литературе.

Еще в 1934 г. один из видных советских ученых — академик В. С. Кулебакин, рассмотрев основные свойства конденсаторного двигателя, указал на широкие возможности его применения в народном хозяйстве и, в частности, выдвинул идею использования двигателя при электрической тяге.

Данные теоретических и экспериментальных исследований двигателя с тремя статорными обмотками и специального исполнения нашли отражение в работах М. Крондля (1934 г.), В. Шуйского (1935 г.), И. М. Эдельмана (1936 г.), Г. Б. Меркина (1937 г.), Н. М. Булаева (1937 г.), В. Е. Розенфельда, М. И. Крайцберга, Б. Н. Тихменева (1949 г.), Х. Клауснитцера (1950 г.), О. А. Некрасова (1952 г.), А. Г. Мивера (1953 г.), Ю. С. Чечета (1949, 1950, 1955 гг.) и др. Внимание исследователей продолжают занимать вопросы дальнейшего развития методики проектирования и расчета конденсаторных двигателей. Вместе с тем большой интерес вызывает изучение возможностей улучшения эксплуатационных свойств асинхронного двигателя трехфазного тока, работающего в схеме однофазного включения с конденсатором. Сказанное в значительной мере объясняется расширением области применения

конденсаторного двигателя. Каковы же его характерные особенности?

По сравнению со схемой однофазного включения, показанной на рис. 3, конденсаторный двигатель развивает большую полезную мощность. Ее величина достигает 65—85%<sup>1</sup> номинальной мощности, указанной на щитке. Конденсаторный двигатель как асинхронный короткозамкнутый очень прост по устройству и надежен в работе. Его питание осуществляется от двухпроводной сети. Ценным свойством конденсаторного двигателя является высокий коэффициент мощности, который практически может быть принятым равным единице. Следовательно, двигатель потребляет из сети ток, пропорциональный только активной мощности, так как источником реактивной мощности для него является конденсатор.

Величины пусковой и рабочей емкости при данном напряжении сети и принятой схеме включения зависят от мощности двигателя. С увеличением мощности они возрастают. Начиная с некоторой мощности, применение конденсаторных двигателей экономически уже не оправдывается из-за относительно высокой стоимости конденсаторов.

Предельной мощностью конденсаторного двигателя общего назначения следует признать номинальную мощность 1,7 *квт*, обозначенную на щитке<sup>1</sup>.

Поясним сказанное на примере двигателя серии А в защищенном исполнении с синхронной скоростью вращения 1500 *об/мин*. Стоимость конденсаторов типа КБГ-МН, образующих рабочую емкость, при мощности двигателя 1 *квт* примерно равна стоимости двигателя, т. е. составляет ~100%. Для мощностей 1,7 и 10 *квт* соответственно получаем ~140 и ~270% стоимости самих двигателей.

Мощности от нескольких сотен ватт до 1,7 *квт* имеет огромное число асинхронных трехфазных двигателей, применяемых в народном хозяйстве. В связи с освоением отечественными заводами техники изготовления высококачественных конденсаторов становится реаль-

---

<sup>1</sup> Конденсаторные двигатели специального исполнения (например, электротяговые двигатели рудничных электровозов) могут иметь значительно большую мощность. В настоящей брошюре такие двигатели не рассматриваются.

ным широкое использование конденсаторных двигателей, особенно в условиях сельскохозяйственного производства, где мощность многих машин животноводческих ферм не превышает 1 квт. Последнее иллюстрируется данными табл. 1. Конденсаторный двигатель может также найти применение в промышленности и в быту для привода электроустановок небольшой мощности.

Таблица 1

Наименование механизма	Электродвигатель		
	Тип	Мощность, квт	Скорость вращения, об/мин
Машина для очистки кормов от металлических частиц . . . . .	АОЛ 21-4	0,27	1 400
Вентилятор для помещений животноводческих ферм . . . . .	АОЛ 31-4	0,6	1 410
Корнеклубномойка МП-2,2 . . . . .	АОЛ 31-4	0,6	1 410
Корнерезка РКР-2 . . . . .	АО 32-4	1	1 410
Ковшовый транспортер ТК-0 . . . . .	АО 41-4	1,7	1 420
Жмыходробилка ДЖ-0,5 . . . . .	АОЛ 31-4	1	1 410
Вертикальный смеситель кормов	А 41-6	1	930
Маслоизготовитель МИ-50 и сепаратор „Урал-6“ . . . . .	А 31-4	0,6	1 410
Сепаратор „Звезда-М“ . . . . .	А 31-4	0,6	1 410
Сепаратор „Волга“ . . . . .	А 31-4	0,6	1 410
Машина для стрижки овец . . . . .		0,125	2 800

Отличительным элементом конденсаторного двигателя является конденсатор. Технические данные конденсаторов, пригодных для использования в цепи конденсаторного двигателя, приведены в § 3.

### 3. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы применяются в самых различных областях электротехники. В технике сильных токов их используют преимущественно для улучшения коэффициента мощности. Они необходимы также для пуска и работы конденсаторных двигателей.

Электрические свойства конденсаторов в значительной мере зависят от рода диэлектрика, заключенного между обкладками. По этому признаку различают воздушные конденсаторы, бумажные, слюдяные, масляные, электролитические и т. д.

Каждый конденсатор рассчитан на вполне определенное рабочее (номинальное) напряжение. Рабочим называется напряжение, при котором конденсатор может работать длительно. Номинальное напряжение и емкость указываются в паспортных данных конденсатора.

Конденсаторы типа КБГ-МН предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от  $-60$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  и выполняются постоянной емкостью.

Тип конденсатора КБГ-МН обозначает конденсатор бумажный герметический в металлическом прямоугольном корпусе нормальный.

**Пример 1.** Конденсатор типа КБГ-МН 2В 1000 в, 4 мкф  $\pm 10\%$ , т. е. конденсатор бумажный с двумя изолированными выводами (2В) на номинальное напряжение постоянного тока 1000 в емкостью 4 мкф с допускаемым отклонением  $\pm 10\%$ .

Бумажные конденсаторы выдерживают в течение 4 ч удвоенное рабочее напряжение, в течение 10 сек — утроенное рабочее напряжение.

По величине допускаемого отклонения емкости от номинальной конденсаторы выпускаются трех классов точности:

Класс точности	Допустимое отклонение от номинального
I	$\pm 5\%$
II	$\pm 10\%$
III	$\pm 20\%$

Основные технические данные конденсаторов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размер корпуса (длина, ширина, высота), мм	Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размер корпуса (длина, ширина, высота), мм
400	1	49×29×60	600	4	69×39×110
400	2	49×34×80	600	6	69×64×110
400	4	69×39×95	1 000	1	49×34×80
400	6	69×39×110	1 000	2	69×39×95
400	8	69×64×110	1 000	4	69×64×110
600	1	49×34×60	1 500	1	49×34×110
600	2	49×34×110	1 500	2	69×64×110

При работе конденсаторов в цепях переменного тока величина допустимого напряжения не должна превышать значений, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Номинальное напряжение постоянного тока, в	Допустимое напряжение переменного тока				Номинальное напряжение постоянного тока, в	Допустимое напряжение переменного тока			
	Частота 50 гц		Частота 500 гц			Частота 50 гц		Частота 500 гц	
	Емкость конденсатора, мкф					Емкость конденсатора, мкф			
	до 2	от 4 до 10	до 2	от 4 до 10		до 2	от 4 до 10	до 2	от 4 до 10
400	250	200	125	75	1 000	400	350	200	150
600	300	250	150	100	1 500	500	—	250	—

**Пример 2.** Допустимое напряжение конденсаторов типов КБГ-НМ и БГТ (см. ниже) 6 мкф, 600 в, используемых в сети переменного тока 50 гц, составляет не 600, а только 250 в.

Конденсаторы типа БГТ предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  и выполняются постоянной емкости.

Конденсаторы типа БГТ — бумажные герметические термостойкие. По отклонению емкости от номинальной они изготавливаются трех классов точности, так же как и конденсаторы типа КБГ-МН.

В табл. 4 приведены основные технические данные конденсаторов.

Таблица 4

Рабочее на- пряжение по- стоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размер корпуса (длина, ширина, высота), мм	Рабочее на- пряжение по- стоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размер кор- пуса (длина, ширина, вы- сота), мм
400	1	45×30×54	600	2	65×30×115
400	2	45×60×54	600	4	65×50×115
400	4	65×35×115	600	6	65×70×115
400	6	65×50×115	1 000	1	45×80×54
400	8	65×70×115	1 000	2	65×45×115
600	1	45×45×54	1 000	4	65×80×115

Конденсаторы типа МБГЧ предназначены для работы в цепях переменного или пульсирующего тока в интер-

вале температур от  $-60$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  и выполняются постоянной емкости в корпусах прямоугольной формы. Конденсаторы МБГЧ — металлобумажные (из металлизированной бумаги) герметизированные частотные. По отклонению емкости от номинальной они изготавливаются II и III классов точности.

Основные технические данные конденсаторов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Рабочее напряжение переменного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размер корпуса, (длина, ширина, высота), мм	Рабочее напряжение переменного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размер корпуса (длина, ширина, высота), мм
250	1	$31 \times 31 \times 25$	500	2	$46 \times 51 \times 50$
250	2	$46 \times 16 \times 50$	500	4	$69 \times 34 \times 115$
250	4	$46 \times 31 \times 50$	750	1	$46 \times 56 \times 50$
250	10	$46 \times 61 \times 50$	750	2	$69 \times 39 \times 115$
500	1	$46 \times 31 \times 50$			

Конденсаторы типа ЭП (электролитические пусковые) предназначены для работы в цепях переменного тока в интервале температур от  $-40$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  и выполняются постоянной емкости на номинальные рабочие напряжения 175 и 300 в по III классу точности. Конденсаторы допускают до 30 включений в час при продолжительности включения до 3 сек.

Номинальные значения емкости при напряжении 175 в составляют: 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 и 100 мкф, а при напряжении 300 в: 1,5; 3; 5; 8; 10; 15; 20 и 30 мкф.

#### 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Принципиальные электрические схемы конденсаторного двигателя показаны на рис. 6.

Как и в случае трехфазного включения, обмотки статора могут быть соединены в звезду (рис. 6,а) или в треугольник (рис. 6,б). Напряжение сети подводится к началам двух фаз. К началу третьей фазы и одному из сетевых зажимов присоединяются рабочий конденса-

тор 1 и отключаемый (пусковой) конденсатор 2, который необходим для увеличения пускового момента.

Пусковая емкость

$$C_{\text{п}} = C_{\text{р}} + C_{\text{о}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{р}}$  — рабочая емкость;  
 $C_{\text{о}}$  — отключаемая емкость.

После пуска двигателя конденсатор 2 отключается и в схеме остается только рабочий конденсатор 1.

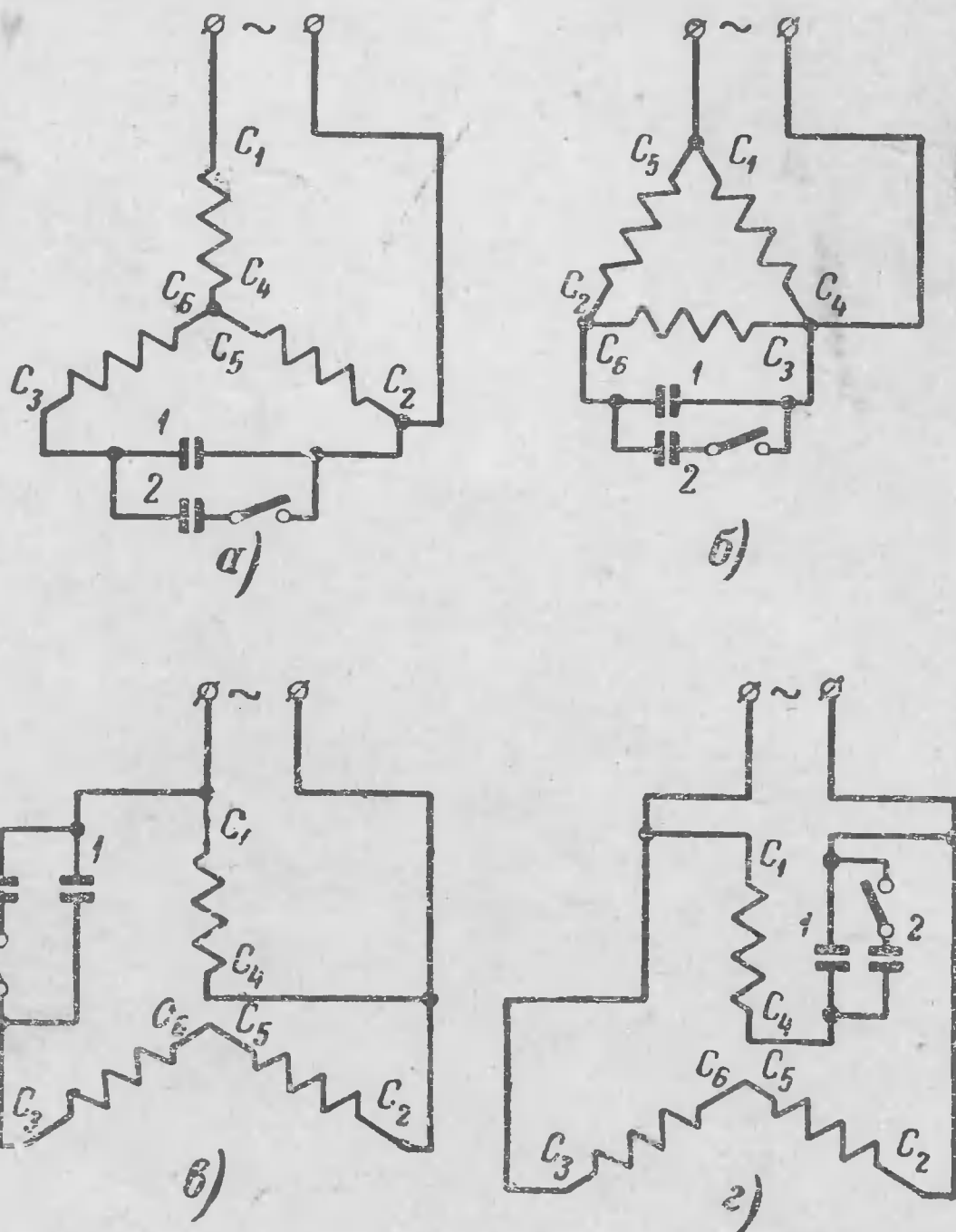


Рис. 6. Принципиальные электрические схемы конденсаторного двигателя  
 1 — рабочий конденсатор; 2 — отключаемый конденсатор.

Изменение направления вращения (реверсирование) производится путем переключения сетевого провода с одного зажима конденсатора на другой.

В других вариантах схем включения (рис. 6, в и г)

С. 1.124580

из трех фаз исходного трехфазного двигателя образованы две обмотки. Одну из них составляют две фазы, соединенные последовательно. Обмотку, в цепи которой находится конденсатор, будем называть конденсаторной фазой, другую обмотку, включаемую на напряжение сети, — главной фазой.

Соединение зажимов на щитке применительно к схеме включения, приведенной на рис. 6,г, для одного на-

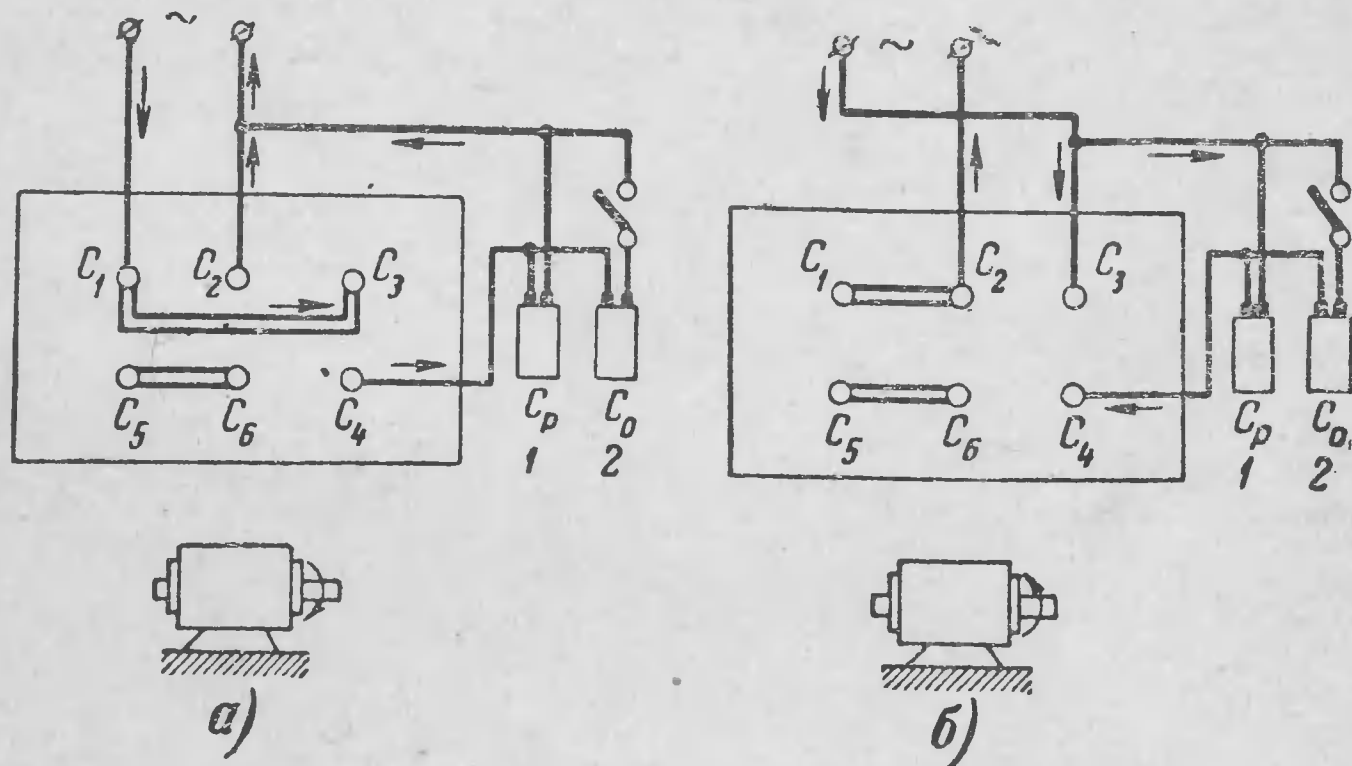


Рис. 7. Соединение зажимов на щитке конденсаторного двигателя для схемы включения на рис. 6,г.

правления вращения показано на рис. 7,а и для другого — на рис. 7,б.

В схеме включения конденсаторного двигателя используется следующая аппаратура управления и защиты: рубильники двухполюсный и однополюсный, центробежное реле, предохранители.

Через двухполюсный рубильник к двигателю подводится питание от сети. Для включения и отключения пускового конденсатора применяется однополюсный рубильник или центробежное реле. Предохранитель защищает двигатель от короткого замыкания.

В схеме конденсаторного двигателя, так же как и при трехфазном включении, можно использовать магнитный пускатель. В этом случае легко осуществляются: дистанционное управление, защита от самозапуска (при сильном снижении напряжения в сети электродвигатель отключается и самопроизвольно включиться не может), а также защита от перегрузки с помощью тепловых реле магнитного пускателя.

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ И ПУСКОВОЙ ЕМКОСТИ

Номинальным напряжением и номинальным током конденсаторного двигателя условимся называть фазные значения этих величин, указанные в паспорте машины. Например, на щитке асинхронного двигателя трехфазного тока типа АОЛ 32-4 обозначено: 1 квт; 127/220 в; 7,3/4,2 а; 1410 об/мин; к. п. д. 78,5%;  $\cos \varphi = 0,79$ . В зависимости от напряжения сети обмотки статора соединяются либо в треугольник (при напряжении 127 в), либо в звезду (при напряжении 220 в). Соответственно ток двигателя при полезной мощности, равной 1 квт, составляет 7,3 а (соединение в треугольник) или 4,2 а (соединение в звезду). Однако, независимо от схемы соединения, фазными значениями напряжения и тока в приведенном примере остаются 127 в и 4,2 а. Их мы и будем считать номинальными при использовании двигателя в качестве конденсаторного.

Емкость и реактивное сопротивление конденсатора находятся в обратной зависимости. Чем меньше емкость, тем больше сопротивление. Изменение емкости вызывает изменение тока. Из этого следует, что ток конденсаторной фазы (рис. 6, в и г) может оказаться меньше или больше номинального. В первом случае мощность двигателя недоиспользуется, во втором — возникает опасность недопустимого перегрева обмоток и повышения напряжений на отдельных участках схемы (на конденсаторной фазе, на конденсаторе). Особенно неблагоприятным оказывается явление резонанса напряжений, при котором ток конденсаторной фазы во много раз превышает номинальную величину, а возникающие перенапряжения представляют опасность для персонала и, кроме того, могут вызвать пробой изоляции обмотки или конденсатора.

В практике эксплуатации конденсаторного двигателя правильный выбор рабочей емкости имеет поэтому большое значение.

*Рабочая (постоянно включенная) емкость выбрана правильно, если фазные токи и напряжения при нагрузке становятся практически номинальными. Развиваемая полезная мощность является номинальной мощностью двигателя. Удовлетворяющая отмеченным условиям*

емкость в дальнейшем будет обозначаться  $C_{р.н}$  и называться рабочей емкостью. Исключение составляет только § 8, в котором рассматривается определение рабочей емкости для любой произвольной нагрузки.

Следует заметить, что полная симметрия напряжений и токов в конденсаторном двигателе не достигается, особенно для схем на рис. 6,а и б. Тем не менее любой схеме включения соответствует одна вполне определенная величина емкости, при которой токи в обмотках нагруженного двигателя несущественно отличаются от номинальных.

Рабочая емкость пропорциональна мощности двигателя (номинальному току) и обратно пропорциональна напряжению. Применительно к рассмотренным схемам включения конденсаторного двигателя для частоты 50 гц она легко может быть подсчитана по соотношениям <sup>1</sup>:

$$\text{для схемы на рис. 6,а } C_{р.н} \approx 2800 \frac{I_n}{U}; \quad (2)$$

$$\text{для схемы на рис. 6,б } C_{р.н} \approx 4800 \frac{I_n}{U}; \quad (3)$$

$$\text{для схемы на рис. 6,в } C_{р.н} \approx 1600 \frac{I_n}{U}; \quad (4)$$

$$\text{для схемы на рис. 6,г } C_{р.н} \approx 2740 \frac{I_n}{U}, \quad (5)$$

где  $C_{р.н}$  — рабочая емкость для номинальной нагрузки, мкф;

$I_n$  — номинальный ток, а;

$U$  — напряжение сети, в.

Таким образом, исходными данными, по которым определяется рабочая емкость, являются номинальный ток двигателя и напряжение сети.

**Пример 3.** Определить рабочую емкость для двигателя типа ТС-1А 0,25 квт, 127/220 в, 2/1,15 а, если двигатель включен по схеме на рис. 6,а, а напряжение сети 220 в. Как видно, номинальный ток конденсаторного двигателя равен 1,15 а. На основании соотношения (2) находим:

$$C_{р.н} \approx 2800 \frac{I_n}{U} = 2800 \frac{1,15}{220} = 14,6 \text{ мкф.}$$

Принимаем  $C_{р.н} \approx 15 \text{ мкф.}$

<sup>1</sup> Проверены автором.

При определении величины пусковой емкости исходят прежде всего из требований создания необходимого пускового момента.

Если по конкретным условиям работы электропривода пуск двигателя происходит без нагрузки, то отключаемой емкости не требуется, и тогда рабочая емкость в соответствии с (1) будет в то же время пусковой. В этом случае схема включения упрощается.

Пуск под нагрузкой совершается при наличии в цепи двигателя и рабочей и отключаемой емкости. Увеличение величины отключаемой емкости приводит к возрастанию пускового момента, и при некотором определенном ее значении последний достигает своей наибольшей величины. Дальнейшее увеличение емкости приводит к обратному результату: пусковой момент начинает уменьшаться.

Величина наибольшего пускового момента зависит не только от емкости, но и от схемы включения двигателя. При соединении обмоток в звезду (рис. 6,а) или в треугольник (рис. 6,б) пусковой момент не превосходит номинального момента при трехфазном включении. Для схем включения, показанных на рис. 6,в и г, наибольший пусковой момент может в несколько раз превышать значение номинального момента, но его реализация сопряжена с появлением значительных перенапряжений в цепи конденсаторной фазы. Однако на практике не возникает необходимости в создании такого большого момента при пуске.

Исходя из условия получения пускового момента, близкого к номинальному, достаточно иметь пусковую емкость, определяемую соотношением

$$C_{\text{п}} \approx (2,5 - 3) C_{\text{р.н.}} \quad (6)$$

Отключаемые конденсаторы работают непродолжительное время, всего несколько секунд за весь период включения. Это позволяет использовать при пуске наиболее дешевые электролитические конденсаторы типа ЭП, специально предназначенные для этой цели.

## 6. НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНДЕНСАТОРЕ

В предыдущем параграфе был рассмотрен вопрос об определении величин рабочей и пусковой емкости для различных схем включения конденсаторного двигателя.

Другим не менее важным практическим вопросом является выбор конденсаторов по напряжению. Действительно, установка конденсаторов с «запасом», т. е. с превышением номинального напряжения переменного тока над тем, под которым они находятся в схеме, приводит к недоиспользованию их реактивной мощности. Кроме того, стоимость конденсаторов с повышением напряжения увеличивается.

С другой стороны, эксплуатация конденсаторов под напряжением, превышающим номинальное, приводит к преждевременному выходу их из строя.

Мы будем сравнивать напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке с напряжением сети.

Для первых двух схем включения конденсаторного двигателя (рис. 6,а и б) без существенных погрешностей может быть принято равенство

$$U_{к.н} \approx U, \quad (7)$$

где  $U_{к.н}$  — напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке (действующее значение);

$U$  — напряжение сети.

Связь между напряжениями при включении двигателя по схеме на рис. 6,г выражается зависимостью

$$U_{к.н} \approx 1,15U. \quad (8)$$

Из последнего выражения видно, что в данном случае напряжение конденсатора на 15% выше напряжения сети.

Превышение напряжения конденсатора над напряжением сети для схемы на рис. 6,в оказывается еще бóльшим:

$$U_{к.н} \approx 2U. \quad (9)$$

Напряжение на конденсаторе при постоянной величине рабочей емкости не остается неизменным. Увеличиваясь с уменьшением нагрузки, оно достигает наибольшей величины при холостом ходе, составляя (1,2—1,25)  $U_{к.н}$ .

При работе двигателя с недогрузкой рекомендуется пользоваться соответственно следующими соотношениями:

$$U_{кр} \approx 1,15U; \quad (10)$$

$$U_{кр} \approx 1,3U; \quad (11)$$

$$U_{кр} \approx 2,2U. \quad (12)$$

В этих соотношениях  $U_{кр}$  — расчетное напряжение конденсатора при работе двигателя с недогрузкой.

Конденсатор выбран правильно, если его номинальное напряжение переменного тока равно расчетному или несколько больше его.

**Пример 4.** Двигатель АОЛ 32-4 127/220 в, 1 квт включен по схеме, приведенной на рис. 6,г. Напряжение сети 220 в. Рабочая емкость 52 мкф состоит из конденсаторов типа КБГ-МН по 2 мкф в каждом.

Требуется определить величину рабочего напряжения конденсаторов.

Расчетное напряжение  $U_{кр}$  вычисляем по выражению (11):

$$U_{кр} = 1,3U = 1,3 \cdot 220 = 286 \text{ в.}$$

По табл. 3 для конденсаторов до 2 мкф при частоте 50 гц находим, что допустимому напряжению переменного тока 300 в (ближайшее большее к 286 в) соответствует номинальное напряжение постоянного тока 600 в. Итак, выбираем конденсаторы с рабочим напряжением 600 в.

Рабочую емкость комплектуем из 26 конденсаторов по 2 мкф каждый.

## 7. ВЫБОР СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Выбор схемы включения конденсаторного двигателя производится с учетом величины напряжения сети и данных двигателя по напряжению.

Схема выбрана правильно, если любая из обмоток исходного трехфазного двигателя при номинальной нагрузке оказывается под напряжением, равным номинальному или близким к нему. При этом имеется в виду, что величина установленной рабочей емкости определена по соотношению, соответствующему схеме.

Кроме согласования данных по напряжению, оцениваются особенности возможных схем. Заметим, что в отдельных конкретных случаях выбор вариантов схем может быть ограничен. В качестве примера сошлемся на двигатель электрорубанка типа И-24-А 0,62 квт, 220 в, 1,88 а, обмотки которого соединены в звезду; нулевая точка недоступна. Очевидно, что как конденсаторный он может иметь только одну схему включения, изображен-

ную на рис. 6,а. Источником питания для двигателя служит сеть однофазного тока напряжением 220 в.

Электрорубанок с конденсаторным двигателем показан на рис. 8.

Рассмотрим теперь особенности конденсаторного двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 6,а.

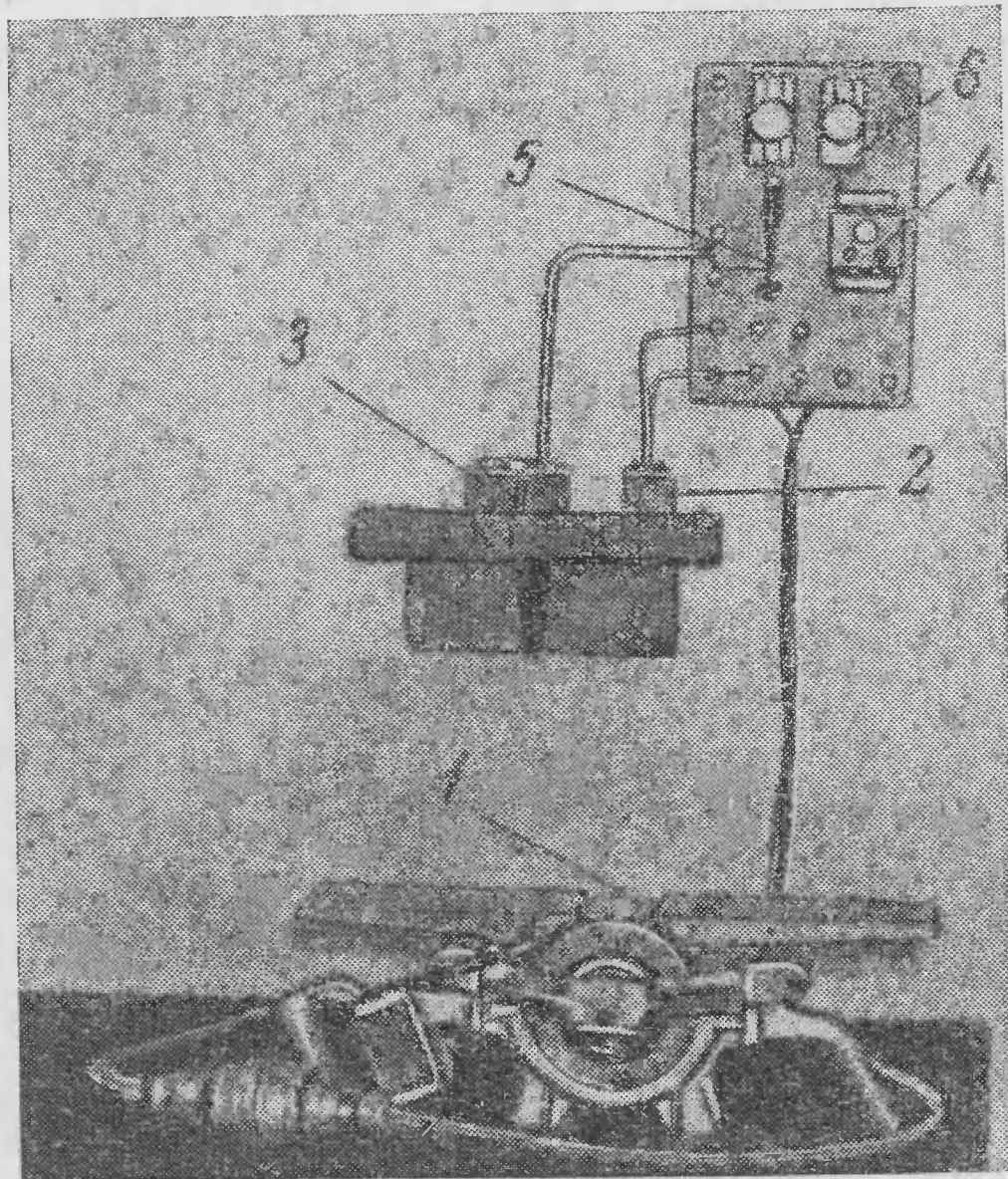


Рис. 8. Электрорубанок с конденсаторным двигателем.

1 — двигатель типа И-24-А; 2 — рабочий конденсатор емкостью 24 мкф; 3 — отключаемый конденсатор емкостью 50 мкф; 4 — кнопочный выключатель; 5 — однополюсный рубильник в цепи отключаемого конденсатора; 6 — плавкие предохранители.

Назовем главной фазой обмотку  $C_1—C_4$ , через которую проходит весь ток. Обмотку  $C_3—C_6$ , соединенную последовательно с конденсатором, назовем конденсаторной фазой и третью обмотку  $C_2—C_5$  — вспомогательной фазой.

Изменение токов этих фаз с изменением скольжения оказывается совершенно различным. Если ток главной фазы с уменьшением нагрузки уменьшается, то ток кон-

денсаторной фазы, наоборот, возрастает, достигая наибольшего значения при холостом ходе.

Вспомогательная фаза при холостом ходе и незначительной нагрузке находится в генераторном режиме; ее активная мощность отрицательна. С возрастанием нагрузки вспомогательная фаза переходит в двигательный режим. При этом ее ток, уменьшаясь, достигает некоторого минимального значения и затем начинает увеличиваться.

Активная мощность по фазам распределяется неравномерно. При номинальной нагрузке главная фаза развивает примерно такую же мощность, как конденсаторная и вспомогательная, вместе взятые. Равенства токов всех фаз номинальному не достигается. Поэтому под номинальной здесь понимается такая нагрузка, при которой токи двух фаз равны номинальному, а ток третьей фазы составляет 70—85% его величины. Это определение относится и к случаю соединения обмоток статора в треугольник.

Характерными особенностями схемы являются относительно небольшие величины пускового момента и напряжения на конденсаторе.

В другой схеме включения (рис. 6,б) обмотки двигателя соединены в треугольник. По аналогии с предыдущей схемой здесь также можно различить главную, конденсаторную и вспомогательную фазы. Вспомогательной назовем фазу  $C_1—C_4$ , к которой подведено напряжение сети. Обмотка  $C_3—C_6$  с параллельно присоединенным конденсатором представляет собой конденсаторную фазу и третья обмотка  $C_2—C_5$  — главную фазу.

Характер изменения токов в фазах с изменением нагрузки остается таким же, как и при соединении в звезду.

**Пример 5.** Выше (§ 5) для двигателя ТС-1А, соединенного в звезду, при напряжении сети 220 в получена рабочая емкость  $C_{р.н} = 14,6$  мкф. Напряжение на конденсаторе в соответствии с (7) равно  $U_{к.н} \approx U = 220$  в.

При напряжении сети 127 в обмотки двигателя соединяются в треугольник по схеме на рис. 6,б. Для нее в соответствии с (3)

$$C_{р.н} = 4800 \frac{I_n}{U} = 4800 \frac{1,15}{127} = 43,5 \text{ мкф.}$$

Сравнивая емкости 43,5 и 14,6 мкф, видим, что для схемы на рис. 6,б рабочая емкость увеличивается в 3 раза.

Напряжение на конденсаторе определяется по тому же соотношению (7):  $U_{к.н} \approx U = 127 \text{ в.}$

Активная мощность между обмотками распределяется неравномерно. Наибольшую мощность при номинальной нагрузке развивают главная и вспомогательная фазы.

Относительно небольшая величина пускового момента, как было отмечено выше, составляет одно из характерных свойств этой схемы. Особенности этой схемы по сравнению с предыдущей состоят в том, что для одного и того же двигателя напряжение на конденсаторе уменьшается в  $\sqrt{3}$  раз, а емкость рабочего конденсатора увеличивается в 3 раза.

Проведенное сравнение показывает, что первая схема (рис. 6,а) является предпочтительнее, так как ее технические и экономические показатели лучше (меньше емкость, меньше размеры батареи конденсаторов, ниже стоимость ее установки). Однако ее применение не всегда оказывается возможным. Так, если напряжение сети равно номинальному напряжению фазы, обмотки двигателя соединяются в треугольник (рис. 6,б) или так, как показано на рис. 6,в.

Три фазы двигателя в схемах, представленных на рис. 6,в и г, образуют две обмотки. Одну из них мы условились называть главной фазой, другую — конденсаторной.

Ток главной фазы возрастает с нагрузкой, конденсаторной — уменьшается. Двигатель работает с нормальной (номинальной) нагрузкой, когда по обеим обмоткам протекает номинальный ток. Вращающееся магнитное поле при этом становится практически круговым, вследствие чего использование двигателя значительно улучшается.

Активные мощности главной и конденсаторной фаз, соответствующие номинальной нагрузке, примерно одинаковы. С уменьшением нагрузки происходит некоторое возрастание мощности конденсаторной фазы. Мощность главной фазы при этом довольно резко уменьшается и на холостом ходу приобретает отрицательное значение: главная фаза становится асинхронным генератором с конденсаторным возбуждением, работающим параллельно с сетью. С появлением нагрузки на валу главная фаза переходит в двигательный режим работы.

Достоинствами схем включения с двумя обмотками (рис. 6,в и г) по сравнению с рассмотренными выше являются возможность получения значительного пускового момента и лучшее использование мощности двигателя.

Сравним схемы на рис. 6,в и г.

Пусть питающая сеть однофазного тока, как это часто встречается на практике, имеет напряжение 220 в. Очевидно, что для включения в эту сеть схемы, приведенной на рис. 6,в, необходимо иметь двигатель на напряжение 220/380 в, а по схеме на рис. 6,г — 127/220 в.

Напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке составит: для схемы на рис. 6,в  $U_{к.н} \approx 2U = 2 \cdot 220 = 440$  в; для схемы на рис. 6,г  $U_{к.н} \approx 1,15 \cdot U = 1,15 \cdot 220 = 253$  в.

Между напряжениями на конденсаторе в том и другом случаях имеется существенная разница. Повышение напряжения связано с некоторым увеличением стоимости конденсаторов и уменьшением безопасности обслуживания. Кроме того, вследствие возрастания индуктивного сопротивления конденсаторной фазы при включении двигателя по схеме на рис. 6,в возникает опасность перенапряжений, особенно при пуске двигателя.

Схема на рис. 6,г, выгодно отличаясь от предыдущей, заслуживает предпочтения. Она является наиболее рациональной схемой включения конденсаторного двигателя.

Заметим, что двигатель на напряжение 127/220 в также может быть включен по схеме, приведенной на рис. 6,в, но на напряжение сети 127 в. Если же номинальные напряжения двигателя равны 220/380 в, а напряжение питающей сети равно 220 в, то здесь вместо схемы включения конденсаторного двигателя с двумя обмотками (рис. 6,в) следует выбрать схему с соединением фаз в треугольник (рис. 6,б), несмотря на увеличение емкости конденсатора.

**Пример 6.** Имеются конденсаторы типов МБГЧ и ЭП. Двигатель 1 квт, 220/380 в, с номинальным током фазы 2,4 а включается на напряжение сети 220 в. Требуется определить величину рабочей и пусковой емкости, а также расчетное напряжение и напряжение на конденсаторах при номинальной нагрузке.

Схема на рис. 6,б. Рабочая емкость по (3)  $C_{р.н} = 4800 \frac{I_n}{U} =$   
 $= 4800 \frac{2,4}{220} = 52,5 \text{ мкф.}$

Номинальное напряжение на конденсаторе по (7)  $U_{н.к} \approx U = 220 \text{ в.}$   
 Расчетное напряжение по (10)  $U_{к.р} \approx 1,15U = 1,15 \cdot 220 \approx 250 \text{ в.}$   
 По табл. 5 выбираем 13 конденсаторов МБГЧ по 4 мкф каждый с рабочим напряжением 250 в.  
 Отключаемую емкость принимаем равной по (6)  $C_o \approx 2C_{р.н} \approx$   
 $= 105 \text{ мкф}$  и выбираем для нее пять конденсаторов типа ЭП по 20 мкф каждый на 300 в.

Схема на рис. 6,в. Рабочую емкость определяем по (4):  $C_{р.н} =$   
 $= 1600 \frac{I_n}{U} = 1600 \frac{2,4}{220} \approx 18 \text{ мкф.}$

Номинальное напряжение на конденсаторе по (9)  $U_{к.н} \approx 2U =$   
 $= 2 \cdot 220 = 440 \text{ в.}$   
 Оно может быть найдено также умножением номинального тока на реактивное сопротивление конденсатора  $X_c$ :

$$U_{к.н} = I_n X_c = I_n \frac{10^6}{\omega C},$$

где  $\omega = 2\pi f$  — угловая частота переменного тока;  
 $C$  — емкость, мкф;  
 $f$  — частота напряжения сети, гц.

Произведя вычисления для  $f = 50 \text{ гц}$ , получим:

$$U_{к.н} = 2,4 \frac{10^6}{314 \cdot 18} = 425 \text{ в.}$$

Расхождение с данными (9) составляет примерно 4%, что для технических расчетов вполне допустимо.

Расчетное напряжение на конденсаторе по (12)

$$U_{к.р} \approx 2,2U = 2,2 \cdot 220 = 484 \text{ в.}$$

По табл. 5 выбираем девять конденсаторов МБГЧ по 2 мкф на рабочее напряжение 500 в.

Для отключаемой емкости конденсаторы типа ЭП не подходят по напряжению. Поэтому отключаемую емкость составляем из конденсаторов типа МБГЧ, приняв ее величину равной

$$C_o \approx 1,5C_{р.н} = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ мкф.}$$

По табл. 5 выбираем семь конденсаторов по 4 мкф на рабочее напряжение 500 в.

Приведенный пример подтверждает целесообразность включения конденсаторного двигателя при отмеченных условиях по схеме на рис. 6,б.

**Пример 7.** Выбрать схему включения конденсаторного двигателя 0,6 квт, 127/220 в с номинальным током фазы 2,5 а, если

напряжение сети 127 в; определить величину рабочей емкости и выбрать конденсаторы типа КБГ-МН.

Сопоставление приведенных данных по напряжению показывает, что включение двигателя возможно по схеме на рис. 6,б или по схеме на рис. 6,в. Произведем вычисления для обеих схем.

**Схема на рис. 6,б.** Рабочая емкость по (3)

$$C_{р.н} = 4800 \frac{I_n}{U} = 4800 \frac{2,5}{127} = 94 \text{ мкф.}$$

Расчетное напряжение на конденсаторе по (10)  $U_{к.р} = 1,15U = 1,15 \cdot 127 = 146 \text{ в.}$

По табл. 3 для частоты 50 гц выбираем конденсаторы емкостью от 4 до 10 мкф с допустимым напряжением переменного тока 200 в, что соответствует номинальному напряжению постоянного тока 400 в, обозначенному на конденсаторах.

По табл. 2 для рабочего напряжения постоянного тока 400 в выбираем 16 конденсаторов по 6 мкф.

**Схема на рис. 6,в.** Рабочая емкость по (4)

$$C_{р.н} = 1600 \frac{I_n}{U} = 1600 \frac{2,5}{127} = 32 \text{ мкф.}$$

Расчетное напряжение на конденсаторе по (12)  $U_{к.р} = 2,2U = 2,2 \cdot 127 = 280 \text{ в.}$

По табл. 3 для частоты 50 гц выбираем конденсаторы емкостью 2 мкф с допустимым напряжением переменного тока 300 в, что соответствует номинальному напряжению постоянного тока 600 в.

По табл. 2 для рабочего напряжения постоянного тока 600 в выбираем 16 конденсаторов по 2 мкф.

При относительно невысоком напряжении на конденсаторах схема на рис. 6,в в данном конкретном случае отличается меньшими емкостью и стоимостью конденсаторов.

## 8. РАБОТА КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ УСЛОВИЯХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ

Эксплуатация конденсаторного двигателя с высокими энергетическими показателями возможна при соблюдении следующих условий:

- 1) постоянство частоты;
- 2) постоянство напряжения на зажимах двигателя (номинальное).
- 3) равенство токов статорных обмоток номинальному.

Обозначим через  $I_{г.ф}$  и  $I_{к.ф}$  токи главной и конденсаторной фаз. Последнее условие применительно к схемам на рис. 6,в и г может быть записано в виде  $I_{г.ф} \approx I_{к.ф} \approx I_n$ .

Выполнение этого равенства достигается правильным выбором рабочей емкости и соответствующей нагрузкой на валу.

Если хотя бы одно из перечисленных условий не удовлетворяется, нормальная эксплуатация двигателя нарушается.

Изменение частоты не является сколько-нибудь существенным, даже в энергосистемах местного значения, поэтому им можно пренебречь. Непостоянство (снижение) напряжения обычно возникает в часы наибольшей нагрузки сети. При этом в значительно большей степени уменьшается вращающий момент, так как для асинхронного двигателя он пропорционален квадрату приложенного напряжения. Так, например, понижение напряжения сети на 30% вызывает уменьшение момента в 2 раза, что равносильно увеличению нагрузки на валу также в 2 раза. При этом двигатель либо остановится, либо будет продолжать вращаться с повышенным скольжением (потребляя большой ток), что может вызвать недопустимый перегрев статорных обмоток, составляющих главную фазу. Отмеченное важное обстоятельство следует на практике иметь в виду, особенно при питании двигателей от сельских электросетей с источниками небольшой мощности.

При длительной эксплуатации двигателя с пониженным напряжением необходимо производить соответствующее уменьшение нагрузки.

К нежелательным последствиям с точки зрения нагрева статорных обмоток может привести также несоблюдение третьего условия. Действительно, при всякой нагрузке, превышающей номинальную, перегружается ток главной фазы. То же самое, как было отмечено, происходит с конденсаторной фазой, только в случае работы с недогрузкой. На холостом ходу ток конденсаторной фазы достигает 120—140% номинального. В последнем случае электрические потери возрастают в 2 раза по сравнению с потерями при номинальном токе.

Сказанное позволяет сделать следующие выводы:

1. Нельзя допускать длительную перегрузку или длительную работу двигателя без нагрузки.

2. При работе двигателя с недогрузкой величину емкости рабочего конденсатора необходимо уменьшать.

Так, для нагрузки, составляющей 50% номинальной, можно принять

$$C_p = 0,85C_{p.n.} \quad (13)$$

Ток конденсаторной фазы при этом не превышает номинальной величины.

Воспользовавшись графиком, представленным на рис. 9, легко определить емкость рабочего конденсатора

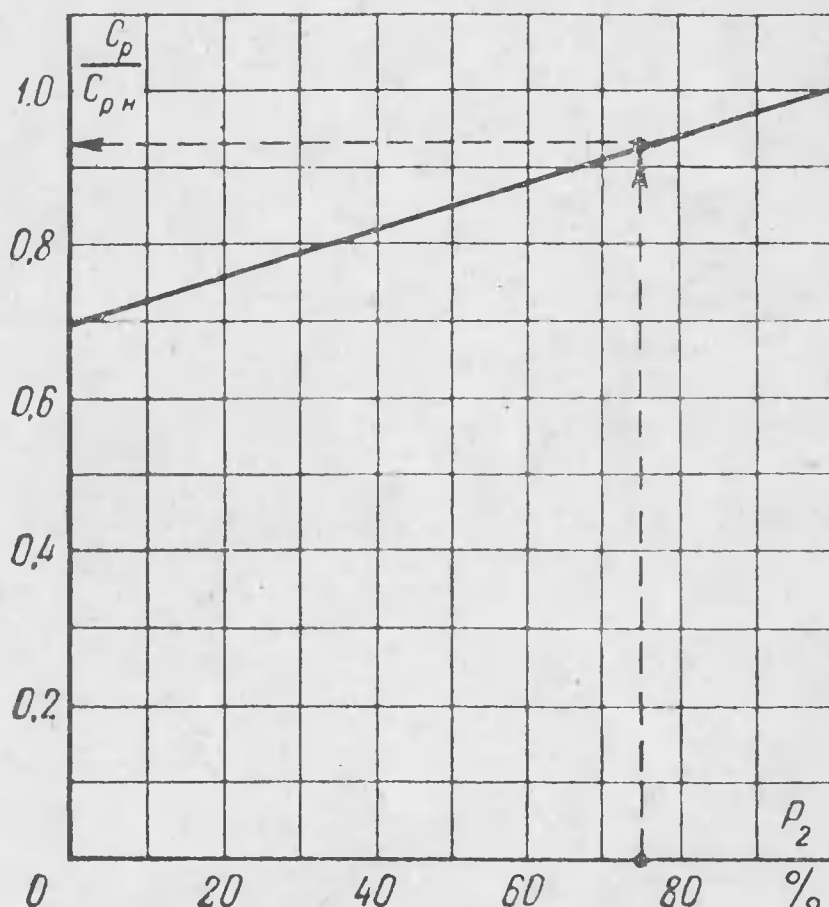


Рис. 9. Зависимость рабочей емкости от нагрузки.

для любой произвольной нагрузки. Для этого, выразив полезную мощность  $P_2$  в процентах номинальной мощности  $P_n$ , находим соответствующее отношение  $C_p/C_{p.n.}$ , а затем и искомую величину емкости. Так, например, для  $P_2=0,75 P_n$  отношение  $C_p/C_{p.n.}=0,93$  (см. стрелки на рис. 9). Следовательно,  $C_p=0,93 C_{p.n.}$

## 9. УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Конденсаторный двигатель прост по конструкции, имеет высокий коэффициент мощности, работает от двухпроводной и, в частности, осветительной сети.

Как было отмечено, применение рациональных схем включения создает возможность получить достаточный пусковой момент, приводит к улучшению использования

мощности машины. Одну из таких схем (рис. 6,2) мы и будем иметь в виду при дальнейшем изложении.

Несмотря на отмеченные положительные свойства, эксплуатация конденсаторного двигателя с рабочей и отключаемой емкостью характеризуется рядом определенных недостатков. Основные из них заключаются в следующем:

1. Для создания необходимого пускового момента приходится включать в цепь конденсаторной фазы дополнительную емкость, отключаемую после пуска. При разрыве цепи отключаемой емкости возникающее в месте разрыва искрение уменьшает безопасность эксплуатации двигателя, особенно во взрывоопасных помещениях. Кроме того, резкое уменьшение тока конденсаторной фазы после отключения дополнительной емкости связано с появлением динамических толчков и уменьшением ускорения ротора, что подтверждается осциллограммами.

2. Описанный выше характер изменения тока конденсаторной фазы приводит к ухудшению использования двигателя и уменьшению его перегрузочной способности.

3. Холостой ход конденсаторного двигателя с постоянной величиной рабочей емкости не только нежелателен, но и опасен, так как ток конденсаторной фазы, достигая в этом случае наибольшего значения, может вызвать недопустимый перегрев обмотки.

Расширение области применения конденсаторного двигателя непосредственно связано с устранением отмеченных недостатков.

Ограничение тока конденсаторной фазы при холостом ходе может быть достигнуто уменьшением емкости конденсатора. А чтобы далее (с ростом нагрузки) ток конденсаторной фазы увеличивался, необходимо производить соответствующее увеличение емкости, т. е. осуществлять ее регулирование. Желательно, чтобы последнее совершалось плавно и автоматически, начиная с момента пуска двигателя.

Автоматическое регулирование эквивалентной емкости или, что то же самое, тока конденсаторной фазы достигается при использовании в схеме дросселя насыщения (ДН). Развитие автоматизации производственных процессов в промышленности привело к значительному

распространению ДН. Известные экономические и эксплуатационные достоинства этого аппарата создают благоприятные возможности для применения его в качестве элемента автоматизированного электропривода и в условиях сельскохозяйственного производства.

Рассмотрим схему включения конденсаторного двигателя (рис. 10), в которой обмотки переменного тока ДН включены на напряжение конденсатора [Л. 7].

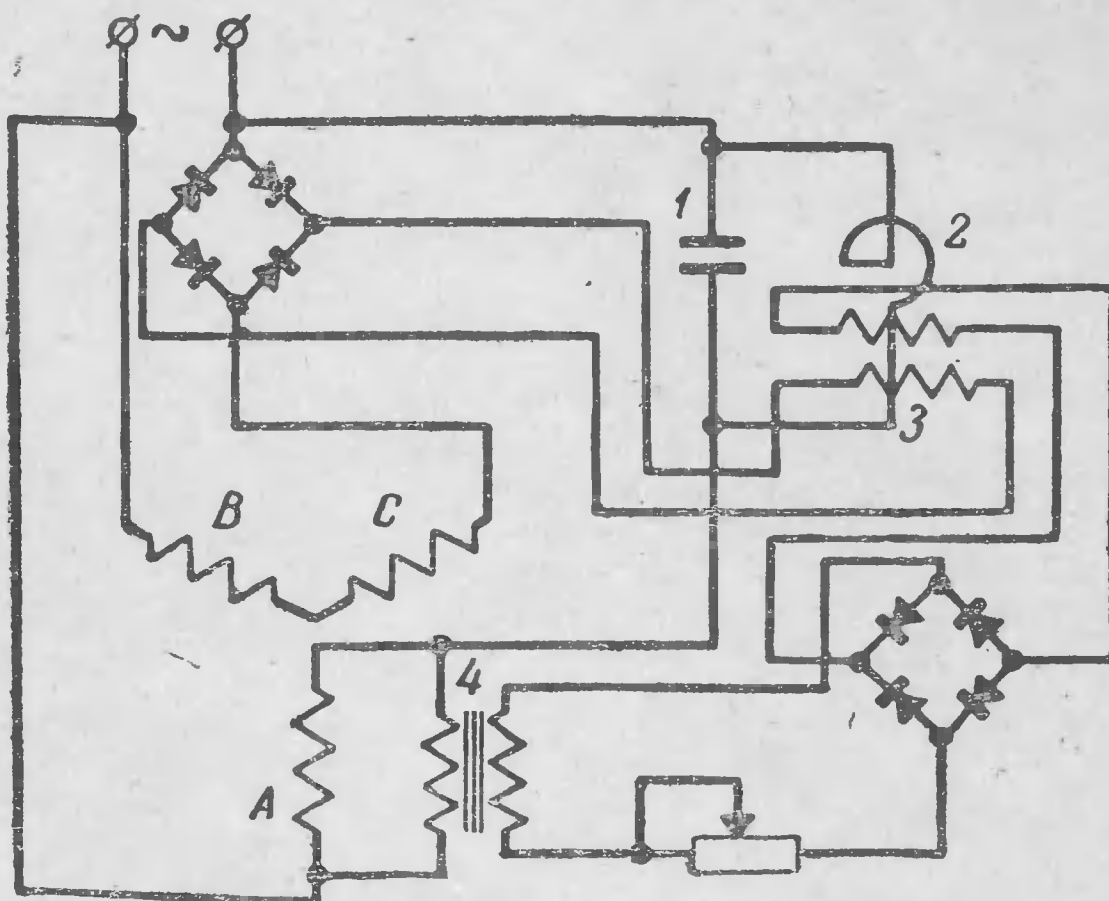


Рис. 10. Схема включения конденсаторного двигателя с регулируемой эквивалентной емкостью. 1 — конденсатор; 2 — обмотки переменного тока ДН; 3 — обмотки подмагничивания ДН; 4 — трансформатор напряжения.

Дроссель насыщения имеет две обмотки подмагничивания, включенные встречно. Ток одной из них пропорционален току главной фазы двигателя, ток другой — напряжению на конденсаторной фазе.

Первая обмотка имеет небольшое число витков. Действие намагничивающей силы (н. с.) этой обмотки проявляется тем сильнее, чем больше скольжение, т. е. чем больше ток главной фазы.

Основной является вторая обмотка подмагничивания с большим числом витков. Действие н. с. этой обмотки, наоборот, проявляется тем сильнее, чем меньше скольжение, что объясняется характером изменения напряжения на конденсаторной фазе с изменением нагрузки.

В первый момент пуска переменный ток ДН должен

быть возможно меньшим. Очевидно, что при равенстве н. с. обмоток подмагничивания он будет равен току холостого хода ДН. Соблюдение равенства н. с. обмоток подмагничивания достигается благодаря тому, что по главной фазе двигателя протекает наибольший (пусковой) ток, а напряжение на конденсаторной фазе в момент пуска практически в 2 раза меньше напряжения по окончании пуска. В результате ток на выходе парал-

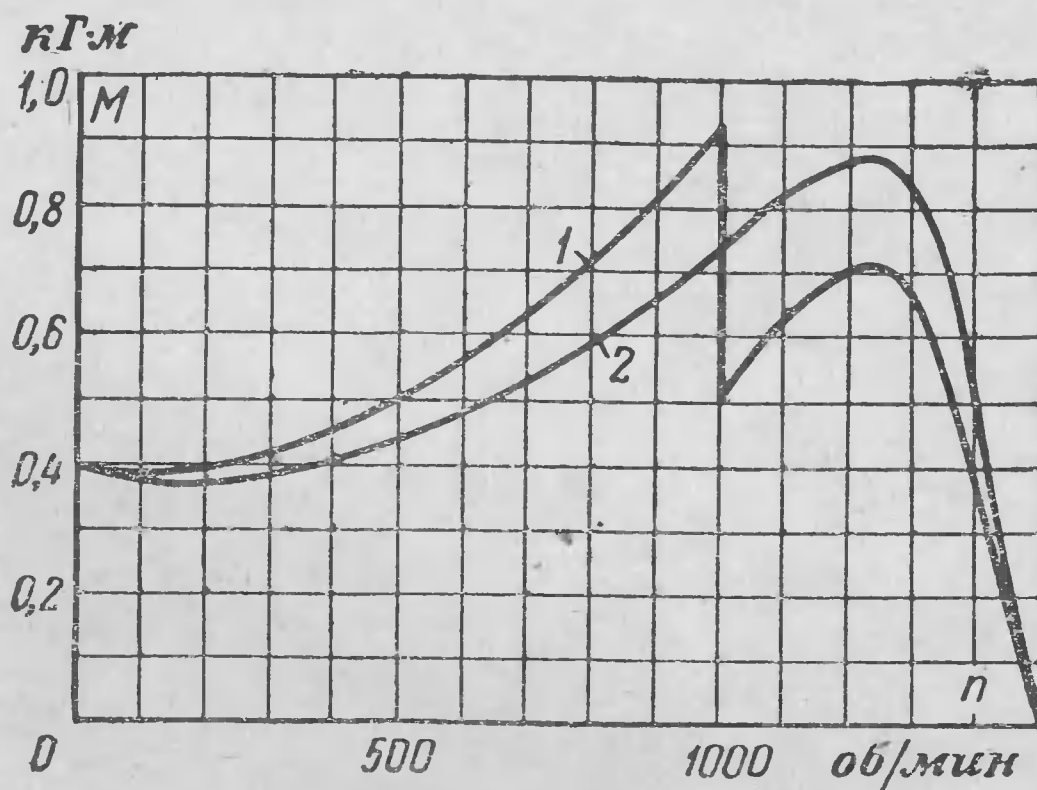


Рис. 11. Механические характеристики конденсаторного двигателя.

лельного участка, образованного конденсатором и обмотками переменного тока ДН, т. е. ток конденсаторной фазы, достигает своего наибольшего значения, определяемого величиной установленной емкости. Незначительным током первичной обмотки трансформатора напряжения пренебрегаем.

По мере увеличения скорости вращения двигателя возрастает результирующая н.с. подмагничивания, вызывая насыщение дросселя. Переменный ток ДН при этом увеличивается, а ток конденсаторной фазы уменьшается. При холостом ходе результирующая н.с. подмагничивания ДН достигает наибольшего значения, вследствие чего ток конденсаторной фазы становится наименьшим.

Увеличение нагрузки на валу двигателя вызывает уменьшение результирующей н.с. подмагничивания, отчего переменный ток ДН уменьшается, а ток конденсаторной фазы возрастает. Уменьшение нагрузки приводит к обратному результату.

На рис. 11 представлены две механические характеристики двигателя АОЛ 32-4 мощностью 1 квт, снятые опытным путем. Характеристика 1 относится к схеме с пусковой и рабочей емкостями (рис. 6,г). Характеристика 2 относится к схеме на рис. 10. Как видно, пусковой момент двигателя для данной емкости конденсатора остается практически одним и тем же в обоих случаях (0,4 кГ·м). При разгоне двигателя характеристика 2 проходит несколько ниже характеристики 1, что объясняется уменьшением эквивалентной емкости при возрастании переменного тока ДН.

Отключение пускового конденсатора в случае использования схемы, приведенной на рис. 6,г, резко уменьшает вращающий момент (вертикальный участок характеристики 1).

Для схемы на рис. 10, напротив, характерны плавный пуск двигателя, увеличенная перегрузочная способность и работа при данной нагрузке с несколько меньшим скольжением.

Для иллюстрации приведем пример применения схемы на рис. 10 в условиях электрической тяги.

Целесообразность использования асинхронного конденсаторного двигателя в электрической тяге подтверждается следующим:

1. Двигатель имеет жесткую скоростную характеристику, вследствие которой средняя скорость вращения лишь на несколько процентов отличается от синхронной. Таким образом, буксование при движении ограничивается.

2. При сверхсинхронной скорости вращения (движение под уклон) машина автоматически переходит в генераторный режим, производя тормозное действие.

3. Как конденсаторный, двигатель работает с высоким коэффициентом мощности.

Опытный образец электровоза подвесной дороги животноводческой фермы с конденсаторным двигателем [Л. 9] показан на рис. 12.

Двигатель электровоза АОЛ 32-4 1 квт, 127/220 в включен по схеме, приведенной на рис. 10, на напряжение сети 220 в.

Контактный провод (полосовая сталь 6×30 мм) крепится на изоляторах. Вторым проводом служит заземленный рельс. Управление электровозом возможно как ручное (кнопочная станция реверсивного магнитного пускателя), так и автоматическое посредством конечных выключателей, установленных в пунктах выгрузки и отправления. Полезный вес состава 0,6 т.

Таким образом, одним из способов улучшения эксплуатационных свойств конденсаторного двигателя является применение регулируемой емкости. Плавное

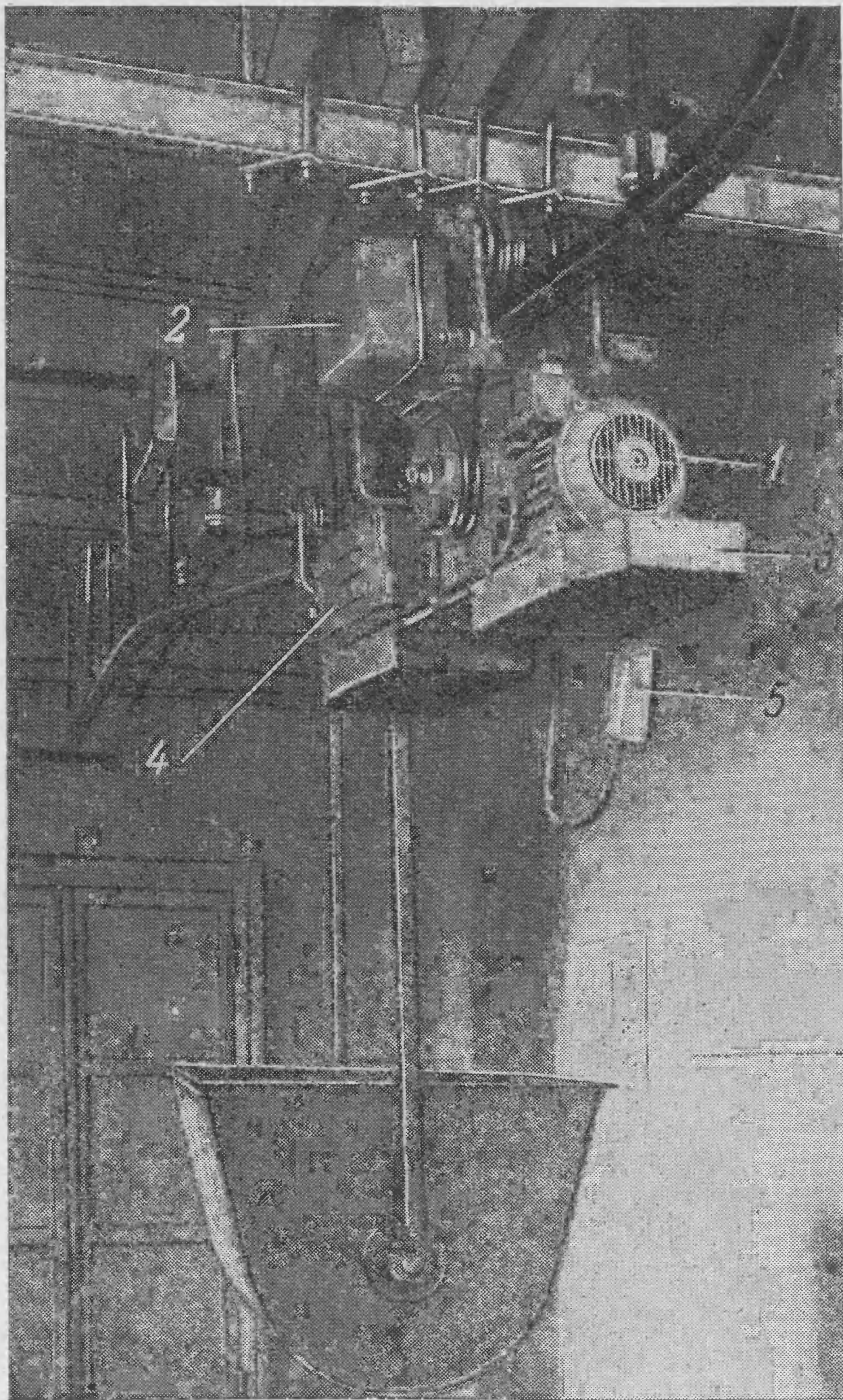


Рис. 12. Электровоз подвесной дороги с конденсаторным двигателем.

1 — двигатель; 2 — реверсивный магнитный пускатель; 3 — коробки с конденсаторами; 4 — кожух дросселя насыщения; 5 — кнопочная станция для ручного управления.

и автоматическое изменение эквивалентной емкости с изменением скольжения проще всего достигается с помощью дросселя насыщения.

Схема конденсаторного двигателя с регулируемой эквивалентной емкостью имеет следующие достоинства:

1. Пуск происходит без переключений в цепи конденсаторной фазы и динамических толчков, неизбежных при пуске с отключаемой емкостью.

2. Уменьшается ток холостого хода конденсаторной фазы.

3. Улучшается использование двигателя.

4. Увеличивается перегрузочная способность.

Схема включения конденсаторного двигателя с автоматически регулируемой эквивалентной емкостью как бесконтактная и искробезопасная может найти применение в условиях электрической тяги, а также в стационарных установках небольшой мощности.

## 10. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ КОНДЕНСАТОРОВ

Использование конденсаторов в силовых электрических цепях, в частности в схемах включения конденсаторного двигателя, связано с проведением обязательных мер, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала. Основной из них является устройство ограждений, исключающих возможность случайного прикосновения к открытым токоведущим частям, находящимся под напряжением. Желательно иметь сетчатые ограждения. При отсутствии металлической сетки они могут быть сделаны в виде кожуха из листовой стали, как показано на рис. 13.

Батарей конденсаторов необходимо надежно закрепить, чтобы предупредить смещение ее от возможных вибраций и сотрясений. Расположение батареи и устройство ограждений должны обеспечивать удобный доступ к конденсаторам.

Замена неисправных плавких вставок предохранителей производится только при замкнутом рубильнике в цепи отключаемой емкости. Всякий раз после выключения двигателя следует замыкать цепь с отключаемой

емкостью, тем самым подготавливая схему к очередному пуску.

Необходимо иметь в виду, что конденсатор с исправной изоляцией после отключения сохраняет напряжение на своих зажимах в течение длительного времени. В наиболее неблагоприятном случае оно может достигать амплитуды напряжения переменного тока. Опасность поражения электрическим током при прикосновении к заряженному конденсатору тем больше, чем больше его емкость и выше напряжение.

При производстве ремонтных работ и испытаниях после каждого отключения конденсатора производится его разряд. В качестве разрядного сопротивления проще всего использовать несколько электрических ламп накаливания, соединенных последовательно.

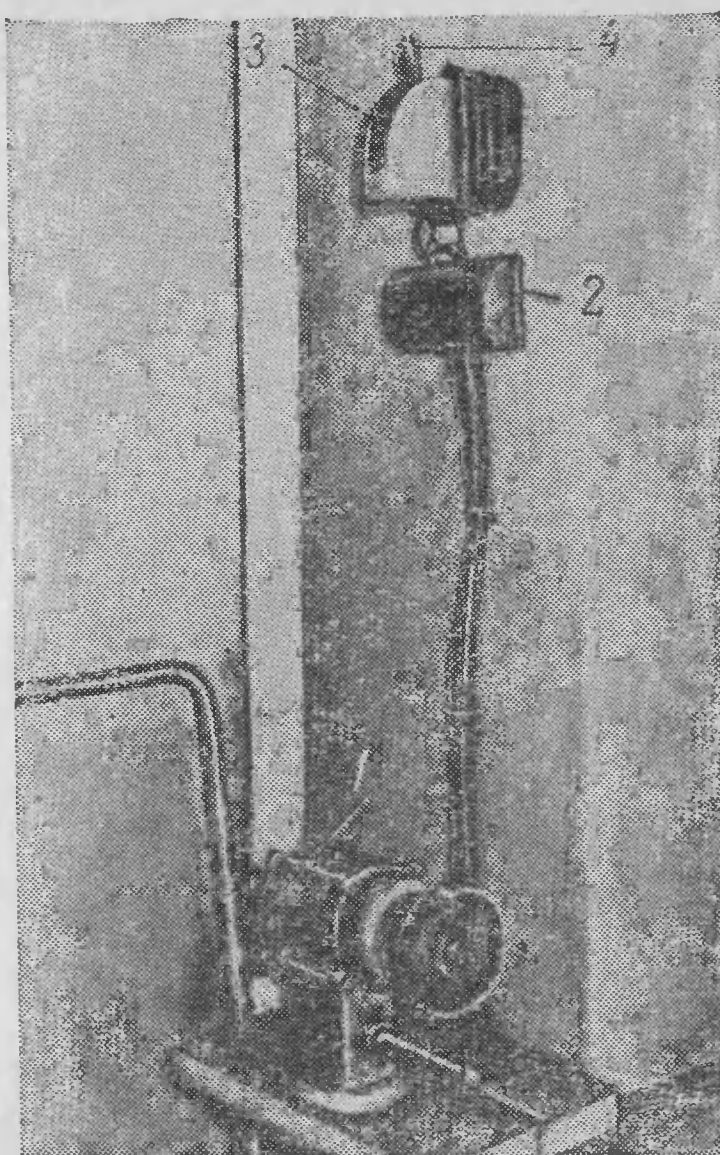


Рис. 13. Электроточилка с конденсаторным двигателем.

1 — двигатель; 2 — кожух из листовой стали с конденсаторами; 3 — положение рукоятки: «Пуск» (включена пусковая емкость); 4 — положение рукоятки: «Работа» (включена только рабочая емкость).

---

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Булаев Н. М., Питание однофазным током трехфазного асинхронного двигателя с конденсатором, «Электричество», 1937, № 12.

2. Меркин Г. Б., Теория и расчет конденсаторных двигателей, Труды ЛИИ, 1937, № 5.

3. Мирер А. Г., Работа трехфазного асинхронного двигателя в специальной схеме однофазного включения, «Электричество», 1953, № 3.

4. Некрасов О. А., Рудничный конденсаторный электро-воз КЭ-2, Углетехиздат, 1952.

5. Ренне В. Т., Электрические конденсаторы, Госэнергоиздат, 1952.

6. Розенфельд В. Е., Крайцберг М. И., Тихменев Б. Н., Рудничный электровоз переменного тока с конденсаторными двигателями, «Электричество», 1949, № 7.

7. Торопцев Н. Д., Авторское свидетельство № 107711 на «Бесконтактное устройство для автоматического управления однофазным асинхронным двигателем» от 31.7.1957 с приоритетом от 4.7.1956.

8. СССР. Государственные стандарты, Конденсаторы, Стандартгиз, Москва, 1960.

9. Торопцев Н. Д., Золотов С. П., Григорьев-Ершов В. А., «Электровоз для монорельсовых подвесных дорог», Авторское свидетельство № 110660 от 2/XII 1957 г. с приоритетом от 21/IV 1956 г.

---

# БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

## ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- Волоцкой Н. В., Люминесцентные лампы и схемы их включения в сеть (Вып. 68)
- Гринберг Г. С. и Дейч Р. С., Применение электромонтажных изделий (Вып. 69)
- Минскер Э. И. и Соколов Н. Г., Электрические проводки металлорежущих станков (Вып. 70)
- Андриевский В. Н., Эксплуатация деревянных опор линий электропередачи (Вып. 71)
- Дормакович П. А., Михалков А. В., Петров А. В., Изготовление и обслуживание газосветных установок (Вып. 72)
- Пономарев Б. А., Электрические измерения (Вып. 73)
- Белоцерковец В. В., Применение строительного монтажного пистолета СМП-1 (Вып. 74)
- Колузаев А. М., Ремонт и обслуживание быстродействующих выключателей типа ВАБ-2 (Вып. 75)
- Хромченко Г. Е., Соединение и оконцевание медных и алюминиевых проводов и кабелей (Вып. 76)
- Ривлин Л. Б., Как определить неисправность асинхронного двигателя (Вып. 77)
- Стешенко Н. Н., Монтаж плоских проводов (Вып. 78)
- Зимин Е. Н., Защита асинхронных электродвигателей напряжением до 500 в (Вып. 79)
- Бариев Н. В., Добровольский Л. А., Седаков Л. В., Электромашинный усилитель поперечного поля (Вып. 80)
- Голубев М. А., Аппаратура для проверки релейной защиты и автоматики (Вып. 81)
- Гумин М. И., Схемы управления масляными выключателями, автоматами и контакторами (Вып. 82)
- Ильин Е. В., Монтаж электрооборудования мостовых кранов (Вып. 83)
- Батхон И. С., Масляные выключатели 35 кв типа ВМ-35 и МКП-35 (Вып. 84)
- Бариев Н. В., Схемы управления электроприводами экскаваторов и их наладка (Вып. 85)
- Минин Г. П., Мегомметр (Вып. 86)
- Анастасиев П. И. и Фролов Ю. А., Воздушные линии до 1000 в (Вып. 87)
- Хомяков М. В. и Якобсон И. А., Термитная сварка многопроволочных проводов (Вып. 88)

## ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

- Андриевский В. Н., Эксплуатация металлических и железобетонных опор линий электропередачи
- Камышев А. Г., Грузовые и пассажирские лифты. Электрооборудование
- Масанов Н. Ф., Тросовые электропроводки
- Семенчев А. В., Машины для погружения в грунт железобетонных фундаментов
- Чернев К. К., Применение защитных средств в электроустановках

Госэнергоиздат заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга — почтой». Такие отделения имеются во всех республиканских, краевых и областных центрах СССР.

Заказ следует адресовать так: название республиканского, краевого или областного центра, книготорга, отделению «Книга — почтой».

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Включение трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть. Способы пуска . . . . .	3
2. Конденсаторный двигатель . . . . .	10
3. Конденсаторы . . . . .	12
4. Электрические схемы конденсаторного двигателя . . . . .	15
5. Определение рабочей и пусковой емкости . . . . .	18
6. Напряжение на конденсаторе . . . . .	20
7. Выбор схемы включения . . . . .	22
8. Работа конденсаторного двигателя при условиях, отличных от номинальных . . . . .	28
9. Улучшение эксплуатационных свойств конденсаторного двигателя . . . . .	30
10. Техника безопасности при обслуживании конденсаторов . . . . .	36
Литература . . . . .	33

---

**Цена 07 коп.**