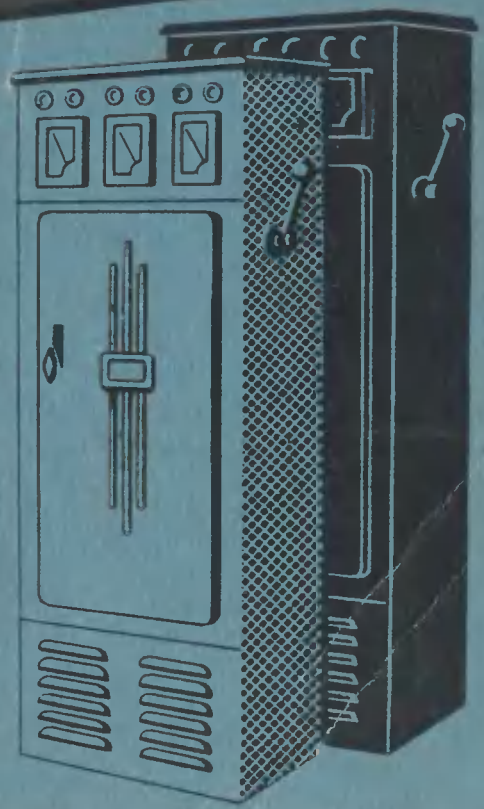
6П2.1
К65

Библиотека электромонтера



Б А КОНСТАНТИНОВ, К.И.СОКОЛОВА, Г.Н.ШУЛЯТЬЕВА

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ И СПОСОБЫ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

с1245259

621.
К63

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 170

Б. А. КОНСТАНТИНОВ, К. И. СОКОЛОВА,
Г. Н. ШУЛЯТЬЕВА

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ И СПОСОБЫ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Под редакцией
Б. А. КОНСТАНТИНОВА

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А., Мадрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устиов П. И.

УДК 621.3.018.14
К 65

В брошюре дается понятие о коэффициенте мощности. Приводятся причины низкого значения коэффициента мощности и указываются способы его повышения.

Брошюра предназначена для электромонтеров, занятых обслуживанием электрических установок, и для работников электроцехов промышленных предприятий.

с. 124529.



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

1. КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Программой КПСС определена главная экономическая задача СССР — создать в течение двух десятилетий материально-техническую базу коммунизма. За этот период объем промышленного производства возрастет не менее чем в шесть раз. Будут технически перевооружены промышленность, строительство, транспорт, связь, сельское хозяйство и другие отрасли народного хозяйства.

Перед советскими энергетиками поставлена задача осуществить в ближайшие годы сплошную электрификацию страны при значительном увеличении энергетических мощностей электрических станций.

Одновременно с наращиванием энергетических мощностей на электрических станциях и повышением темпов электрификации народного хозяйства приобретают большое значение вопросы рационального, экономного расходования электроэнергии всеми потребителями и в особенности промышленными предприятиями, представляющими наиболее энергоемкий участок потребления электроэнергии.

Одним из важных мероприятий по экономии электроэнергии является повышение коэффициента мощности электрических установок.

От величины коэффициента мощности электроустановок потребителей зависят: а) использование мощностей генераторов на электрических станциях, трансформаторов на понизительных и повысительных подстанциях; б) расход цветного металла на линиях передач, в кабелях и проводах электрических сетей; в) величина потерь в сетях; г) уровень напряжения отдельных участков электрических сетей; д) себестоимость электрической энергии.

Повышение коэффициента мощности электрических установок промышленных предприятий является су-

щественным в деле создания энергетических резервов народного хозяйства для удовлетворения возрастающей потребности в электроэнергии.

Ведущая роль в выполнении этой задачи принадлежит персоналу, обслуживающему электрические установки промышленных предприятий, который в своей повседневной работе может и должен проявлять инициативу и упорство при выявлении и внедрении мероприятий, способствующих эффективной экономии электроэнергии.

2. ПОНЯТИЕ О КОЭФФИЦИЕНТЕ МОЩНОСТИ

Понятие о коэффициенте мощности связано с применением переменного электрического тока.

Величина коэффициента мощности зависит от соотношения величин активного, индуктивного и емкостного сопротивлений машин и аппаратов, включенных в цепь переменного тока.

Основными потребителями электроэнергии на промышленных предприятиях являются индуктивные приемники, такие как асинхронные двигатели и трансформаторы. Для работы этих приемников требуется создание переменного поля, для чего необходим намагничивающий ток. Как известно, переменный ток может рассматриваться состоящим из активной составляющей тока и реактивной составляющей [Л. 1, 2].

Активной составляющей тока называется та его составляющая, которая идет на создание работы, полезно используемой в электродвигателях и прочих приемниках электроэнергии.

Реактивной составляющей тока называется та его составляющая, которая используется для намагничивания индуктивных приемников. Реактивная составляющая тока и является намагничивающим током.

Активная составляющая тока равна полному току, умноженному на cos φ:

$$I_{\text{акт}} = I \cos \varphi.$$

Реактивная составляющая тока равна полному току, умноженному на sin φ:

$$I_{\text{реакт}} = I \sin \varphi.$$

На диаграмме рис. 1 показано разложение тока на активную и реактивную составляющие для цепи пере-

менного тока с приемниками, обладающими активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.

На рис. 1, *а* показан случай преобладания индуктивного сопротивления над емкостным; здесь вектор тока *I* отстает от вектора напряжения *U* на угол φ.

На рис. 1, *б* показан случай преобладания емкостного сопротивления над индуктивным; здесь вектор тока *I* опережает вектор напряжения *U* на угол φ.

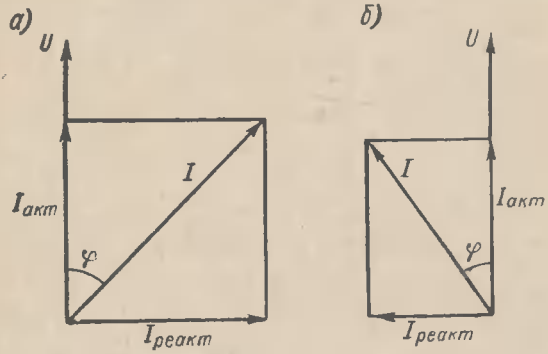


Рис. 1. Разложение тока на активную и реактивную составляющие.

Если при этом в цепь переменного тока включить амперметр, то он покажет величину полного тока.

При переменном токе различают три вида мощности: активную, реактивную и полную.

Активная мощность *P* равна произведению напряжения на активную составляющую тока:

$$P = UI\cos\varphi.$$

Эта мощность измеряется в ваттах *(вт)* или киловаттах *(квт)*.

Реактивная мощность *Q* равна произведению напряжения на реактивную составляющую тока:

$$Q = UI\sin\varphi \text{ или } Q = P\operatorname{tg}\varphi.$$

Эта мощность измеряется в вольтметрах реактивных *(вар)* или киловольтамперах реактивных *(квар)*.

Полная мощность *S* равна произведению напряжения на полный ток:

$$S = UI.$$

Эта мощность измеряется в вольтамперах *(ва)* или киловольтамперах *(ква)*. Приведенные формулы действительны для цепей однофазного тока.

Для цепей трехфазного тока в формулы вводится множитель $\sqrt{3}$, т. е.

$$P = UI\cos\varphi\sqrt{3}; \quad Q = UI\sin\varphi\sqrt{3};$$
$$S = UI\sqrt{3}.$$

На рис. 2 показан треугольник мощностей для цепи переменного тока, из которого следует, что полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

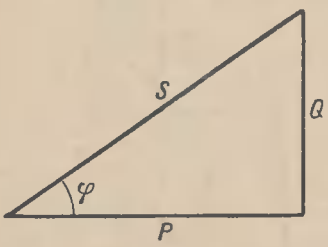


Рис. 2. Треугольник мощностей.

В отличие от активной мощности, полезно используемой в работе, реактивная мощность не выполняет полезной работы, она служит лишь для создания магнитных полей в индуктивных приемниках (например, в электродвигателях, трансформаторах и т. п.), циркулируя все время между источником тока и приемниками.

Величина $\cos\varphi$ равна отношению активной мощности к полезной:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S},$$

отсюда $P = S\cos\varphi$.

Величина $\cos\varphi$ показывает, какую часть от полной мощности составляет активная мощность. Чем меньше $\cos\varphi$, тем меньше активная мощность (при одной и той же полной мощности), и наоборот. Следовательно, по величине $\cos\varphi$ можно судить, какая часть полной мощности используется для полезной работы.

Так как $\cos\varphi$ дает соотношение между двумя мощностями (активной и полной), то он называется коэффициентом мощности. Чем меньше $\cos\varphi$, тем меньшая часть полной мощности используется для полезной работы. Наоборот, чем больше $\cos\varphi$, тем бóльшая часть полной мощности используется для полезной работы.

Из приведенных выше формул для выражения активной мощности видно, что одну и ту же величину активной мощности можно получить при меньшем токе, если уве-

личить $\cos\varphi$, и наоборот. Следовательно, при большем значении величины $\cos\varphi$ лучше используются электрические установки.

По величине коэффициента мощности можно судить о степени использования и качестве эксплуатации электрических установок переменного тока на промышленных предприятиях.

Электрические установки промышленных предприятий по характеру потребления активной и реактивной мощности можно разделить на следующие группы:

1. *Установки, потребляющие только активную мощность:* электрические лампы накаливания, печи сопротивления и нагревательные приборы.

В электрической цепи, содержащей такие установки, изменение напряжения и тока по величине и направлению по кривой, характерной для переменного тока (синусоиде), происходит одновременно. Напряжение и ток в этом случае совпадают по фазе. Иначе говоря, угол φ сдвига фаз между ними равен нулю и $\cos\varphi = 1$.

2. *Установки, потребляющие как активную, так и реактивную мощность:* асинхронные двигатели, трансформаторы, реакторы, электромагнитные аппараты защиты и управления, линии передачи и другие элементы, нуждающиеся в реактивной мощности для создания электромагнитных полей.

В такой электрической цепи изменение тока по величине и направлению несколько запаздывает относительно изменения напряжения, вследствие наличия в цепи электродвижущей силы самоиндукции. Между током и напряжением появляется сдвиг фаз. Величина угла φ сдвига фаз будет тем больше, чем большую величину имеет индуктивная нагрузка по отношению к активной нагрузке; $\cos\varphi$ будет при этом соответственно уменьшаться. Так, в случае холостого хода асинхронных двигателей или трансформаторов, а также при малой их нагрузке, когда активная мощность мала, а реактивная мощность, требующаяся для создания магнитных полей, велика по сравнению с активной мощностью, величина $\cos\varphi$ имеет низкое значение. Наоборот, с увеличением нагрузки индуктивных приемников, т. е. с увеличением активной составляющей тока, $\cos\varphi$ увеличивается.

3. *Установки, обладающие емкостью,* вырабатывающие и отдающие реактивную мощность в сеть, например

конденсаторы. При этом в электрической цепи изменение тока происходит раньше изменения напряжения, т. е. ток опережает напряжение по фазе. В таких цепях также имеется сдвиг фаз, но противоположный сдвигу фаз, происходящему в цепях с индуктивной нагрузкой. Как и в предыдущем случае, величина опережения током напряжения измеряется углом φ; $\cos\varphi$ будет уменьшаться при увеличении емкостной нагрузки, но характер уменьшения будет иной.

4. *Установки, совмещающие потребление активной мощности с выработкой реактивной мощности.* К ним относятся синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения.

При наличии в электрической цепи индуктивной и емкостной нагрузки и соответствующем подборе их величин можно добиться уменьшения угла φ сдвига фаз между током и напряжением на данном участке сети и повысить $\cos\varphi$ до требуемого значения. Подобный способ подбора индуктивных и емкостных сопротивлений носит название *компенсации сдвига фаз.*

Следует отметить, что в цепях, где ток отстает от напряжения по фазе, $\cos\varphi$ принято называть *отстающим,* а в тех цепях, где ток опережает напряжение по фазе, $\cos\varphi$ называют *опережающим.*

Зная величины потребляемых активной и реактивной мощностей, можно вычислить коэффициент мощности для промышленного предприятия в целом, а также и для отдельных групп одиночных приемников электроэнергии.

Различают значения мгновенного, среднего и средневзвешенного коэффициента мощности.

Мгновенный коэффициент мощности определяется с помощью фазометра для данного момента времени. Он может быть также определен по амперметру, вольтметру и ваттметру при одновременном отсчете их показаний из выражения:

$$\cos\varphi = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3}UI},$$

где P — активная мощность в трехфазной сети, *квт;*

U — напряжение, *в;*

I — ток, *а.*

Средний коэффициент мощности представляет собой среднее значение, полученное из ряда мгновенных значений коэффициента мощности,

$$\cos\varphi_{\text{сред}} = \frac{\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2 + \ldots + \cos\varphi_n}{n}.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности вычисляется по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии за определенный промежуток времени (час, смену, сутки, месяц, квартал, год).

При делении разности показаний реактивного счетчика на разность показаний активного счетчика за определенный период времени получается значение

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P}.$$

Зная $\operatorname{tg}\varphi$, легко получить по тригонометрическим таблицам $\cos\varphi$.

Необходимо учесть, что в соответствии с действующими Правилами устройства электроустановок при проектировании новых и реконструкции действующих установок следует предусматривать величину коэффициента мощности в размере 0,92—0,95.

Это требование распространяется на электроустановки потребителей всех отраслей народного хозяйства. Лишь при избытке реактивной мощности в энергосистеме, а также при питании электроустановок потребителей непосредственно от шин генераторов электростанций допускается уменьшение указанной величины.

Работа энергетического персонала промышленных предприятий в области повышения коэффициента мощности, а также и поддержания его на уровне 0,92—0,95 должна проводиться по плану мероприятий, составленному на основании технико-экономического анализа режима работы действующего электрооборудования.

3. ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ НИЗКОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Наибольшее влияние на значение коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий оказывают асинхронные двигатели и трансформаторы.

Асинхронные двигатели являются основным потребителем реактивной мощности. Для создания электромагнитных полей эти двигатели всегда нуждаются в намагничивающем токе и поэтому работают с коэффициентом мощности ниже единицы.

Величина коэффициента мощности асинхронных двигателей зависит от степени их нагрузки. Недогрузка двигателей значительно снижает их коэффициент мощности. Это может быть объяснено следующими причинами. Намагничивающий ток асинхронного двигателя, а значит, и реактивная мощность при изменениях нагрузки изменяются незначительно; активная же мощность изменяется пропорционально механической нагрузке на валу. При уменьшении нагрузки асинхронного двигателя соответственно уменьшается потребляемая активная мощность при незначительном уменьшении реактивной мощности. Из рис. 2 следует, что в этом случае угол φ увеличивается, а $\cos\varphi$ — коэффициент мощности электродвигателя снижается. Так, если асинхронный двигатель с номинальной мощностью 55 *квт,* напряжением 380 *в,* 1480 *об/мин* при коэффициенте полезного действия 0,91 потребляет из сети при полной нагрузке 60 *квт* активной мощности и 29 *квар* реактивной мощности, то он имеет коэффициент мощности 0,9.

Тот же двигатель при половинной нагрузке потребляет 32 *квт* активной мощности и 23 *квар* реактивной мощности и имеет при этом коэффициент мощности, равный 0,81.

Коэффициент мощности асинхронных двигателей при холостом ходе очень мал и составляет величину порядка 0,1—0,25.

В табл. 1 в соответствии с данными каталогов приводятся изменения усредненных значений коэффициента мощности асинхронных двигателей небольшой мощности в зависимости от изменения их нагрузки.

Слабая нагрузка трансформаторов также вызывает понижение коэффициента мощности предприятия. При холостом ходе коэффициент мощности трансформатора снижается до величины 0,1—0,2. Следует иметь в виду, что наиболее резкое снижение коэффициента мощности трансформаторов имеет место при нагрузке их менее 60% от их номинальной мощности. Так, например, при снижении нагрузки трансформаторов с 40 до 20% от их номинальной мощности коэффициент мощности уменьшается на 0,08—0,09, а при снижении нагрузки со 100 до 60% — коэффициент мощности трансформаторов уменьшается лишь на 0,01—0,02.

Низкий коэффициент мощности (порядка 0,3—0,4) имеют сварочные трансформаторы в связи с резко пере-

Таблица 1

Коэффициент мощностн				Коэффициент мощности			
100% нагрузки	75% нагрузки	50% нагрузки	25% нагрузки	100% нагрузки	75% нагрузки	50% нагрузки	25% нагрузки
0,91	0,90	0,87	0,74	0,83	0,80	0,70	0,50
0,90	0,89	0,85	0,72	0,82	0,78	0,69	0,49
0,89	0,87	0,82	0,67	0,81	0,77	0,68	0,48
0,88	0,86	0,80	0,63	0,80	0,76	0,67	0,47
0,87	0,85	0,78	0,60	0,79	0,75	0,65	0,46
0,86	0,84	0,77	0,58	0,78	0,73	0,63	0,44
0,85	0,82	0,74	0,56	0,77	0,72	0,62	0,42
0,84	0,81	0,72	0,54	0,76	0,70	0,60	0,40

менной нагрузкой и наличием значительного количества холостых ходов.

Низкий коэффициент мощности приводит к следующим последствиям:

1. *Увеличение полной мощности генераторов на станциях, неполное использование мощности первичных двигателей, увеличение полной мощности трансформаторов.* Уменьшение коэффициента мощности (при той же передаваемой активной мощности) приводит к необходимости увеличения полной мощности генераторов на станциях и трансформаторов в энергетической системе. Это происходит из-за увеличения тока при снижении коэффициента мощности. Диаграмма на рис. 3 дает картину изменения полной мощности трансформаторов (в *ква*) в зависимости от изменения коэффициента мощности при одной и той же передаваемой активной мощности в 1000 *квт*.

У трансформаторов при уменьшении коэффициента мощности потребителей уменьшается пропускная способность в части активной мощности вследствие повышения реактивной мощности. Для передачи потребителям 1000 *квт* активной мощности при коэффициенте мощности, равном единице, понадобится трансформатор мощностью 1000 *ква*. Если же коэффициент мощности в цепи уменьшится до 0,5, то для передачи той же активной мощности 1000 *квт* потребуется трансформатор мощностью в 2000 *ква*. Ухудшение коэффициента мощности приводит также к тому, что первичные двигатели у генераторов на станциях (мощность первичных двигателей выбирается по активной мощности генераторов) оказы-

ваются загруженными не полностью. Это понижает их коэффициент полезного действия и ухудшает эксплуатационные характеристики всей установки, что, в свою очередь, вызывает увеличение расхода топлива на станциях.

2. *Понижение напряжения в сети.* Как указывалось выше, уменьшение коэффициента мощности при одной и той же передаваемой активной мощности приводит к по-

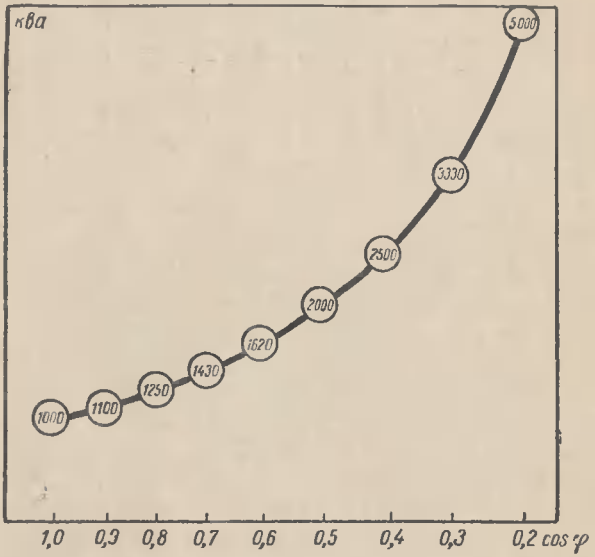


Рис. 3. Увеличение мощности трансформаторов при уменьшении коэффициента мощности.

вышению величины тока, а следовательно, к увеличению потери напряжения, что вызывает понижение напряжения у потребителей. Если напряжение у приемников электроэнергии на промышленных предприятиях снижается сверх допустимых пределов, то это приводит в ряде случаев к снижению производительности и ухудшению качества выпускаемой продукции.

3. *Увеличение сечения и веса кабелей и проводов.* Уменьшение коэффициента мощности при передаче одной и той же активной мощности влечет за собой из-за повышения величины тока необходимость увеличения сечения (а следовательно, и веса) кабелей и проводов.

Например, при передаче активной мощности в 4000 *квт* при напряжении 6 *кв* на расстояние в 1 *км* в случае снижения коэффициента мощности с 0,9 до 0,7 потребуется увеличение веса меди в кабелях примерно на 60%.

4. *Увеличение потерь электроэнергии на нагревание кабелей и проводов сетей и обмоток электрических машин.* При одной и той же передаваемой активной мощности ток тем больше, чем меньше коэффициент мощности. А так как потери мощности на нагревание пропорциональны квадрату тока (по закону Ленца — Джоуля потери мощности пропорциональны I^2r), то уменьшение коэффициента мощности, вызывающее увеличение тока, приводит к увеличению потерь электроэнергии. Так, например, при одной и той же передаваемой активной мощности в случае снижения коэффициента мощности с 0,9 до 0,7, т. е. в 1,29 раза, потери мощности (а следовательно, и электроэнергии) возрастут в 1,66 раза.

Таким образом, низкий коэффициент мощности является отрицательным фактором как для предприятий энергоснабжающей системы, так и для промышленных предприятий.

На промышленных предприятиях низкий коэффициент мощности вызывает снижение напряжения и увеличение потерь электроэнергии в трансформаторах и электрических сетях, ограничивает активную мощность, потребляемую предприятием (при недостаточной мощности трансформаторов), уменьшает пропускную способность электрической сети предприятия. Отсюда становится понятным, насколько велико значение повышения коэффициента мощности во всех звеньях энергетической системы, в том числе и на промышленных предприятиях.

4. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В целях повышения коэффициента мощности на промышленных предприятиях особое внимание должно быть обращено на правильный выбор как электродвигателей (по мощности и типу), так и трансформаторов (их количества и мощности). Самое широкое распространение должны получить синхронные двигатели; применение этих двигателей является одним из наиболее экономичных и рациональных способов повышения коэффициента мощности.

Для снижения потребления реактивной мощности в действующих электрических установках, в первую очередь на промышленных предприятиях, должны быть проведены мероприятия по улучшению использования установленного электрооборудования и рационализации электрохозяйства. К этим мероприятиям относятся: снятие избыточной мощности незагруженных асинхронных двигателей, переключение обмотки статора слабо загруженных асинхронных двигателей с треугольника на звезду, применение ограничителей холостого хода на станках, рациональный режим работы трансформаторов.

Большое значение в вопросе повышения коэффициента мощности имеет рационализация технологических процессов и улучшение использования оборудования, установленного на промышленных предприятиях.

Рассмотрим методы повышения коэффициента мощности непосредственно в приемниках электроэнергии, без применения специальных компенсирующих устройств.

1. *Правильный выбор электродвигателей по мощности и типу.* Мощность электродвигателей следует выбирать в соответствии с режимом производственного оборудования и не допускать излишних запасов мощности (в целях перестраховки).

Асинхронный двигатель работает с наилучшим коэффициентом полезного действия (к. п. д.) и коэффициентом мощности ($\cos \varphi$) при нагрузке от 75 до 100% своей номинальной мощности. При равных условиях в смысле мощности, числа оборотов и типа исполнения (закрытый или открытый) асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором имеют более высокий $\cos \varphi$ (примерно в 1,04—1,05 раза выше) и более высокий к. п. д. (примерно в 1,03 раза больше), чем двигатели с фазным ротором. Рекомендуется поэтому применять асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, а не двигатели с фазным ротором (если это допускается условиями пуска и работы).

Не следует устанавливать электродвигатели закрытого типа (с худшими энергетическими показателями) в тех помещениях, в которых по условиям окружающей среды и безопасности допускается установка электродвигателей открытого или защищенного типа.

Учитывая, что из общей потребляемой промышленным предприятием реактивной мощности около 65—70%

приходится на долю асинхронных двигателей, необходимо обратить особое внимание на правильный выбор их по мощности и типу еще в стадии проектирования с тем, чтобы избежать в процессе эксплуатации снятия избыточной мощности.

Для новых установок в ряде случаев наиболее рациональным и экономичным способом компенсации реактивной мощности является применение синхронных двигателей, если они допускаются по условиям производства.

Применение синхронных двигателей должно быть обосновано расчетным сравнением затрат для вариантов: установки синхронного двигателя с коэффициентом мощности, равным единице, или с опережающим коэффициентом мощности и установки асинхронного двигателя той же мощности с батареей конденсаторов для компенсации реактивной мощности. В расчетные затраты должны быть включены все капиталовложения в установку со сроком окупаемости их в течение 8 лет, а также суммарные годовые расходы на потери электроэнергии и амортизацию установок.

Наивыгоднейшие значения коэффициента мощности синхронного электродвигателя определяются в зависимости от удельного расхода активной мощности на компенсацию (*квт/квар*), с учетом коэффициента загрузки, а также числа часов работы в году.

2. *Замена слабо загруженных асинхронных двигателей двигателями меньшей мощности (снятие избыточной мощности).* При систематической недогрузке асинхронных двигателей в первую очередь должны быть приняты меры к увеличению нагрузки электродвигателей путем рационализации технологического процесса и увеличения загрузки производственного оборудования.

При замене электродвигателей особое внимание следует обращать на то, чтобы новый электродвигатель (менее мощный) не явился через некоторое время препятствием для рационального использования и повышения загрузки рабочей машины.

Замена электродвигателей, безусловно, целесообразна, если асинхронный двигатель по мощности выбран с запасом по отношению к мощности рабочей машины и имеет место значительная разница в мощностях старого и нового электродвигателей.

Асинхронные двигатели, средняя нагрузка которых по мощности не превышает 45% от их номинальной мощности, следует заменить соответствующими электродвигателями меньшей мощности. Если средняя нагрузка асинхронных двигателей равна или больше 70% номинальной мощности, то замена их двигателями меньшей мощности нецелесообразна.

Если же средняя нагрузка находится в пределах 45—70% от номинальной мощности асинхронных двигателей, то для решения вопроса об их замене необходимо про-

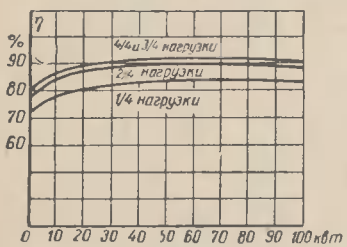


Рис. 4. Зависимость средних значений к. п. д. от мощности (для электродвигателей открытого и защищенного типов).

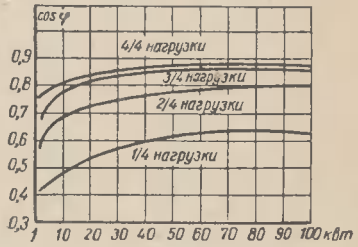


Рис. 5. Зависимость средних значений cos φ от мощности (для электродвигателей открытого и защищенного типов).

извести соответствующий расчет проверки целесообразности такой замены.

Целесообразность замены электродвигателей должна быть проверена сопоставлением величин потерь активной мощности до и после замены.

Пусть при фактической нагрузке на валу $P_{ф\cdot в}$ потребляемая мощность из сети большим (незагруженным) электродвигателем будет P_1; данной мощности соответствует коэффициент полезного действия η_1 и коэффициент мощности cos φ.

Мощность P_1 определяется измерением, а η и cos φ_1 могут быть определены по кривым значений коэффициентов полезного действия и мощности электродвигателей при частичной нагрузке (рис. 4 и 5).

Реактивная мощность, потребляемая данным электродвигателем, составляет:

$$Q_1 = P_1 \operatorname{tg} \varphi_1.$$

При той же фактической нагрузке на валу $P_{ф\cdot в}$ по-

требляемая мощность из сети меньшим электродвигателем (полностью загруженным) составляет P_2, причем

$$P_2 = \frac{P_{ф.в}}{\eta_2}.$$

Коэффициент полезного действия η_2 и коэффициент мощности этого электродвигателя $\cos \varphi_2$ будут соответствовать значениям их при номинальной мощности электродвигателя.

Реактивная мощность второго электродвигателя, установленного в результате замены, будет:

$$Q_2 = P_2 \operatorname{tg} \varphi_2.$$

Для того чтобы определить, насколько снизятся потери активной мощности в сети, питающей рассматриваемые приемники, вследствие уменьшения реактивной мощности (при повышении коэффициента мощности), вводят *переводной коэффициент реактивной мощности.** Переводным коэффициентом реактивной мощности K в данной точке сети называется величина снижения потерь активной мощности (от источника питания до данной точки сети), приходящаяся на единицу (1 *квар*) уменьшения реактивной мощности. При этом указанное уменьшение реактивной мощности обусловливается проведением мероприятий по повышению коэффициента мощности.

с. 1945959

Значения K задаются энергосистемой. В сетях напряжением 380/220 *в* на промышленных предприятиях значение K обычно бывает порядка 0,1—0,15.

Пусть переводной коэффициент реактивной мощности в данной точке сети K. При замене электродвигателей должны уменьшаться потери активной мощности в результате:

а) снижения потребления реактивной мощности

$$\Delta P' = K(Q_1 - Q_2);$$

б) повышения коэффициента полезного действия

$$\Delta P'' = P_1 - P_2 = \frac{P_{ф.в}}{\eta_1} - \frac{P_{ф.в}}{\eta_2} = P_{ф.в}\left(\frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 \eta_2}\right).$$

---

* Этот коэффициент часто называют экономическим эквивалентом реактивной мощности.

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

Следует указать, что полное уменьшение потерь активной мощности при замене электродвигателя большей мощности электродвигателем, который обладает меньшей мощностью составит:

$$\Delta P = K(Q_1 - Q_2) + P_{\text{ф.в}}\left(\frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 \eta_2}\right).$$

В качестве примера можно было бы привести следующий случай.

При центробежном насосе установлен асинхронный двигатель с паспортными данными: $P_{\text{н}} = 55$ *квт*; $U_{\text{н}} = 380$ *в*; $n = 1450$ *об/мин*; $\eta_{\text{н}} = 0{,}91$; $\cos \varphi_{\text{н}} = 0{,}9$.

Измерения, произведенные по ваттметру, амперметру и вольтметру, показали, что мощность, потребляемая электродвигателем из сети, составляет $P_1 = 32$ *квт*, а $\cos \varphi_1 = 0{,}81$.

Указанной нагрузке электродвигателя по данным каталога соответствует коэффициент полезного действия $\eta_1 = 0{,}875$.

Умножая величину потребляемой электродвигателем из сети мощности на величину к.п.д., получаем нагрузку электродвигателя на валу:

$$P_{\text{ф.в}} = 32 \cdot 0{,}875 = 28 \text{ } квт.$$

Потребляемая реактивная мощность

$$Q_1 = P_1 \operatorname{tg} \varphi_1 = 32 \cdot 0{,}72 = 23{,}04 \text{ } квар.$$

Требуется определить целесообразность замены указанного электродвигателя, мощность которого составляет 55 *квт*, электродвигателем с паспортными данными: $P_{\text{н}} = 28$ *квт*; $U_{\text{н}} = 380$ *в*; $n = 1450$ *об/мин*; $\eta_{\text{н}} = 0{,}9$; $\cos \varphi_{\text{н}} = 0{,}89$.

В этом случае электродвигатель будет загружен полностью, и его коэффициент полезного действия и коэффициент мощности будут соответствовать паспортным данным.

Следовательно, $\eta_2 = 0{,}9$ и $\cos \varphi_2 = 0{,}89$. При этом $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0{,}51$.

Потребляемая новым электродвигателем реактивная мощность составит:

$$Q_2 = P_2 \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{28}{0{,}9} 0{,}51 = 31{,}1 \cdot 0{,}51 = 15{,}86 \text{ } квар.$$

Пусть переводной коэффициент реактивной мощности в данной точке сети будет $K = 0{,}1$. Тогда уменьшение потерь активной мощности, которое будет иметь место в результате снижения потребления реактивной мощности, составит:

$$\Delta P' = K(Q_1 - Q_2) = 0{,}1\,(23{,}04 - 15{,}86) = 0{,}718\ квт.$$

Уменьшение потерь активной мощности в самом электродвигателе из-за повышения коэффициента полезного действия с $\eta_1 = 0{,}875$ до $\eta_2 = 0{,}9$ будет:

$$\Delta P'' = P_1 - P_2 = 32 - 31{,}1 = 0{,}9\ квт.$$

Такой же результат получим из следующего выражения:

$$\Delta P'' = P_{ф.в}\left(\frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1\eta_2}\right) = 28\left(\frac{0{,}9 - 0{,}875}{0{,}875 \cdot 0{,}9}\right) = 0{,}896 \approx 0{,}9\ квт.$$

Общее снижение потерь активной мощности при замене незагруженного электродвигателя мощностью 55 *квт* электродвигателем мощностью 28 *квт* составит:

$$\Delta P = \Delta P' + \Delta P'' = 0{,}718 + 0{,}9 = 1{,}618\ квт.$$

При продолжительности работы электродвигателя $T = 4500$ часов в год годовая экономия электроэнергии будет

$$\Delta PT = 1{,}618 \cdot 4500 = 7281\ квт \cdot ч.$$

3. *Переключение обмотки статора незагруженных асинхронных двигателей с треугольника на звезду.* В целях улучшения коэффициента мощности и коэффициента полезного действия у слабо загруженных асинхронных двигателей, при нагрузке не выше 40% от номинальной мощности, рекомендуется производить переключение статорной обмотки этих электродвигателей с треугольника на звезду.

Способ применим только для тех электродвигателей, у которых выведены все шесть концов обмотки статора (начала и конца фаз), причем нормально обмотка статора включена в треугольник.

Если у такого электродвигателя (при нагрузке не выше 40%) переключить обмотку статора с треугольника на звезду, то электродвигатель будет работать с более высоким коэффициентом мощности и к.п.д., так как в

подобном случае переключение обмотки статора ведет к уменьшению потребности в намагничивающем токе и уменьшению потерь.

Опытные данные показывают, что для электродвигателей, загруженных лишь на 25%, при переключении обмотки статора с треугольника на звезду коэффициент мощности становится приблизительно равным номинальному (при номинальной нагрузке электродвигателя).

Указанный способ имеет то преимущество, что не вызывает никаких затруднений при возвращении к нормальной схеме в целях улучшения использования приводного механизма.

Подсчет экономии электроэнергии производится по способу, приведенному в примере снятия избыточной мощности в асинхронных двигателях.

В связи с введением в ГОСТ напряжения 660 *в* и выпуском электродвигателей на 660/380 *в* (при 660 *в* обмотка статора включается в звезду, а при 380 *в* — в треугольник), этот способ может получить большое распространение.

4. *Установка ограничителей холостого хода станков.* Установка ограничителей холостого хода электродвигателей станков производится в целях сокращения непроизводительных расходов электроэнергии и улучшения коэффициента мощности путем отключения электродвигателей на межоперационный период станков.

Межоперационным периодом принято считать ту часть станочного времени, которая затрачивается на: а) отвод инструмента в его исходное положение; б) снятие обработанной детали со станка; в) установку на станке новой детали; г) подвод инструмента в рабочее положение.

Ограничитель холостого хода, применяемый в схеме управления электродвигателем с помощью магнитного пускателя, выполняет роль отключающего и включающего устройства, подвижная часть которого в определенный момент производственного процесса приходит в соприкосновение с одной из деталей станка или перестает касаться ее, в результате чего производится размыкание или замыкание цепи катушки магнитного пускателя, что вызывает отключение или включение электродвигателя. На рис. 6 показана схема включения ограничителя холостого хода в цепь магнитного пускателя у трехфаз-

1280—

ного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

В зависимости от типа станка и характера обработки изделия ограничитель холостого хода может быть, например, смонтирован на линии движения суппорта станка или шпинделя станка с таким расчетом, чтобы отключение электродвигателя осуществлялось благодаря непосредственному механическому воздействию на ограничитель со стороны суппорта стола, шпинделя в их конеч-

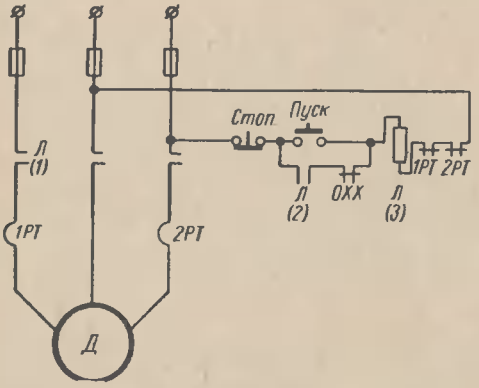


Рис. 6. Схема включения ограничителя холостого хода в цепь магнитного пускателя.

Л (1) — главные контакты; *Л (2)* — блок-контакты; *Л (3)* — катушка магнитного пускателя; *1РТ* и *2РТ* — тепловая защита; *ОХХ* — ограничитель холостого хода.

ном или исходном рабочих положениях. В других случаях ограничитель механически соединяется с рычагами педального управления или рычагами управления фрикционной муфтой станка.

Во всех случаях при установке ограничителей холостого хода необходимо исходить из сравнения числа технологических циклов в час с допустимым числом включений, которое гарантируется заводом для данного типа пусковой аппаратуры. Не следует допускать очень быстрых повторных включений электродвигателя.

Обычно установка ограничителей холостого хода на станках является экономически целесообразной в тех случаях, когда длительность межоперационного времени больше 10 *сек.*

5. *Замена и перестановка незагруженных трансформаторов.* Несмотря на то, что реактивная мощность, расходуемая на намагничивание трансформатора, сравнительно невелика, с ней приходится считаться ввиду значительного количества трансформаторов, установленных на предприятиях, при непрерывной работе их в течение суток.

Отношение реактивной мощности, расходуемой на намагничивание трансформатора, к его нагрузке (выраженной в *ква*) уменьшается по мере увеличения нагрузки. Коэффициент мощности сети, от которой питается трансформатор, увеличивается с ростом нагрузки трансформатора. Поэтому необходимо строго следить за нагрузкой всего предприятия в целом и каждого трансформатора в отдельности. При уменьшении нагрузки подстанций (обеденные перерывы, выходные дни, нерабочие смены) или при наличии на подстанции предприятия нескольких трансформаторов, нужно отключать часть из них. В этом случае для дежурного персонала должна быть составлена инструкция с указанием, какие трансформаторы должны быть отключены при той или иной нагрузке.

Необходимо следить за равномерным распределением нагрузок фаз трансформаторов, так как при неравномерном распределении нагрузки ухудшается использование мощности трансформаторов, что снижает коэффициент мощности.

В табл. 2 на основании данных каталогов приведена зависимость величины коэффициента мощности транс-

Таблица 2

Мощность трансформатора, *ква*	Коэффициент мощности трансформаторов на стороне высшего напряжения											
	При $\cos\varphi=0{,}8$ со стороны низшего напряжения и нагрузке				При $\cos\varphi=0{,}7$ со стороны низшего напряжения и нагрузке				При $\cos\varphi=0{,}6$ со стороны низшего напряжения и нагрузке			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
(40) 50	0,76	0,75	0,72	0,65	0,66	0,64	0,62	0,55	0,56	0,55	0,52	0,46
100	0,77	0,76	0,74	0,68	0,67	0,65	0,64	0,58	0,57	0,56	0,54	0,50
(160) 180	0,77	0,76	0,74	0,68	0,67	0,65	0,64	0,58	0,57	0,56	0,55	0,50
(250—400) 320	0,77	0,76	0,74	0,68	0,67	0,65	0,64	0,58	0,57	0,56	0,55	0,50
(630) 560	0,77	0,76	0,74	0,68	0,67	0,65	0,64	0,58	0,57	0,56	0,55	0,50
1 000	0,76	0,76	0,76	0,67	0,67	0,66	0,64	0,57	0,57	0,56	0,54	0,48

Примечание. В скобках указаны мощности трансформаторов, принятых к серийному выпуску на 1963—1967 гг.

форматоров со стороны высшего напряжения от величины коэффициента мощности со стороны низшего напряжения.

Потери в трансформаторах можно разделить на два вида: *постоянные, или потери холостого хода,* и *переменные, или потери при нагрузке.* Это относится как к потерям активной мощности, так и к потерям реактивной мощности.

Потери активной мощности ($\Delta P_{\text{пост}}$ и $\Delta P_{\text{перем}}$ в *квт*) определяются по каталогам, причем указываемые в каталоге переменные потери $\Delta P_{\text{перем}}$ относятся к номинальной мощности трансформаторов.

Реактивные потери в киловольт-амперах реактивных определяются по току холостого хода и напряжению короткого замыкания. Постоянные потери реактивной мощности, т. е. потери при холостом ходе,

$$\Delta Q_{\text{пост}} = 0{,}01 i_{\text{х.х}} S_{\text{н}},$$

где $i_{\text{х.х}}$ — ток холостого хода от полного тока при номинальной нагрузке, %;

$S_{\text{н}}$ — номинальная мощность трансформатора, *ква.*

Переменные потери реактивной мощности при номинальной нагрузке трансформатора

$$\Delta Q_{\text{перем}} = 0{,}01 U_{\text{к}} S_{\text{н}},$$

где $U_{\text{к}}$ — напряжение короткого замыкания, %.

Следует напомнить, что напряжением короткого замыкания трансформатора называется подводимое к первичной обмотке напряжение, при котором, в случае замыкания вторичной обмотки накоротко, в первичной обмотке трансформатора протекает номинальный ток.

В каталогах указывается напряжение короткого замыкания в процентах (по отношению к номинальному значению напряжения первичной обмотки).

Наименьшие потери в трансформаторе при работе его с постоянной нагрузкой будут тогда, когда постоянные потери равны переменным.

Повышение нагрузки трансформаторов до 60% приводит к заметному повышению коэффициента мощности, а при нагрузках, больше 60%, улучшение его становится незначительным.

Рационализация работы трансформаторов заключается в замене слабо загруженных (меньше 30% от номинальной мощности) трансформаторов и перегруппировке

их, а также в отключении их на время работы на холостом ходу. Замена трансформаторов является целесообразной лишь при снижении потребления реактивной мощности и уменьшении потерь активной мощности.

6. *Повышение качества ремонта электрооборудования.* При проведении ремонта электрооборудования необходимо не снижать энергетические показатели последнего.

Надлежащее качество ремонта электрооборудования является залогом его исправной работы при высоких энергетических показателях.

Особое внимание следует обращать на качество ремонта асинхронных двигателей. Неудовлетворительный ремонт их может служить причиной снижения коэффициента мощности. Так, если при сработанных подшипниках вместо тщательного ремонта ограничиться, как иногда и поступают, обточкой ротора, что увеличивает воздушный зазор (междужелезное пространство), то тем самым при дальнейшей эксплуатации cos φ электродвигателя ухудшается.

Увеличение воздушного зазора у электродвигателей, хотя бы на несколько десятых миллиметра, влечет весьма значительное понижение cos φ.

При перемотке электродвигателя часто совершают следующую ошибку: в пазы электродвигателя помещают не прежнее и не соответствующее измененному напряжению число проводников, а меньшее. В результате этого ухудшаются cos φ и к.п.д. электродвигателя.

Для контроля за качеством ремонта электродвигателей и трансформаторов следует производить испытание их после ремонта.

5. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Мероприятия по повышению коэффициента мощности приемников электроэнергии без применения специальных компенсирующих устройств имеют большое значение в деле повышения коэффициента мощности и значительно снижают потребность электроустановок в реактивной мощности, передаваемой источниками электрической энергии — электрическими станциями.

Однако в ряде отраслей промышленности не представ-

ляется возможным только этими способами довести значения коэффициента мощности до величины 0,92—0,95 и возникает необходимость установки на предприятиях специальных компенсирующих устройств — источников реактивной мощности.

Основными типами специальных компенсирующих устройств являются:

1) косинусные конденсаторы;
2) синхронные компенсаторы;
3) синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения;
4) синхронизированные асинхронные двигатели;
5) фазокомпенсаторы (трехфазные возбудители).

Специальные компенсирующие устройства в электрических установках промышленных предприятий служат для повышения коэффициента мощности. Установка их производится лишь после того, как осуществлены способы повышения коэффициента мощности непосредственно у самих приемников электроэнергии.

Применение на предприятиях любого вида компенсирующего устройства допускается только с разрешения энергетической системы, от которой снабжается электроэнергией данное предприятие. Потребители электроэнергии на основании проверки режимов работы оборудования применяют наиболее целесообразные способы повышения коэффициента мощности.

Выбор целесообразного в технико-экономическом отношении способа компенсации производится путем сопоставления различных вариантов установки компенсирующих устройств. При этом сравнивают первоначальные затраты на установку компенсирующих устройств и ежегодные расходы, связанные с эксплуатацией компенсирующих устройств. Если варианты экономически равноценны, то предпочтение отдается тому, который в большей степени обеспечивает разгрузку силовых трансформаторов и электрических сетей.

Одним из основных средств для улучшения коэффициента мощности путем установки специальных компенсирующих устройств является применение косинусных конденсаторов. Потери активной мощности в конденсаторах незначительны и находятся в пределах 0,3—0,5 *квт* на 100 *квар*.

Для установки косинусных конденсаторов не нужен

Существующие значения													
$tg\,\varphi_1$	$\cos\varphi_1$												
0,00	1,00	0											
0,14	0,99	14	0										
0,20	0,98	20	6	0									
0,25	0,97	25	11	5	0								
0,29	0,96	29	15	9	4	0							
0,33	0,95	33	19	13	8	4	0						
0,36	0,94	36	22	16	11	7	3	0					
0,39	0,93	39	25	19	14	10	6	3	0				
0,42	0,92	42	28	22	17	13	9	6	3	0			
0,45	0,91	45	31	25	20	16	12	9	6	3	0		
0,48	0,90	48	34	28	23	19	15	12	9	6	3	0	
0,51	0,89	51	37	31	26	22	18	15	12	9	6	3	0
0,54	0,88	54	40	34	29	25	21	18	15	12	9	6	3
0,56	0,87	56	42	36	31	27	23	20	17	14	11	8	5
0,59	0,86	59	45	39	34	30	26	23	20	17	14	11	8
0,62	0,85	62	48	42	37	33	29	26	23	20	17	14	11
0,64	0,84	64	50	44	39	35	31	28	25	22	19	16	13
0,67	0,83	67	53	47	42	38	34	31	27	24	21	18	15
0,70	0,82	70	56	50	45	41	37	34	31	27	24	21	18
0,72	0,81	72	58	52	47	43	39	36	33	30	27	24	21
0,75	0,80	75	61	55	50	46	42	39	36	33	30	27	24
0,77	0,79	77	63	57	52	48	44	41	38	35	32	29	26
0,80	0,78	80	66	60	55	51	47	44	41	38	35	32	29
0,83	0,77	83	69	63	58	54	50	47	44	41	38	35	32
0,85	0,76	85	71	65	60	56	52	49	46	43	40	37	34
0,88	0,75	88	74	68	63	59	55	52	49	46	43	40	37
0,91	0,74	91	77	71	66	62	58	55	52	49	46	43	40
0,94	0,73	94	80	74	69	65	61	58	55	52	49	46	43
0,96	0,72	96	82	76	71	67	63	60	57	54	51	48	45
0,99	0,71	99	85	79	74	70	66	63	60	57	54	51	48
1,02	0,70	102	88	82	77	73	69	66	63	60	57	54	51
Желательные значения	$\cos\varphi_2$	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89
	$tg\,\varphi_2$	0,00	0,14	0,20	0,25	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51

	0																				
	2	0																			
	5	3	0																		
	8	6	3	0																	
	10	8	5	2	0																
	12	10	7	4	3	0															
	15	13	10	7	5	3	0														
	18	16	13	10	8	5	2	0													
	21	19	16	13	11	8	5	3	0												
	23	21	18	15	13	10	7	5	2	0											
	26	24	21	18	16	13	10	8	5	3	0										
	29	27	24	21	19	16	13	11	8	6	3	0									
	31	29	26	23	21	18	15	13	10	8	5	2	0								
	34	32	29	26	24	21	18	16	13	11	8	5	3	0							
	37	35	32	29	27	24	21	19	16	14	11	8	6	3	0						
	40	38	35	32	30	27	24	22	19	17	14	11	9	6	3	0					
	42	40	37	34	32	29	26	24	21	19	16	13	11	8	5	2	0				
	45	43	40	37	35	32	29	27	24	22	19	16	14	11	8	5	3	0			
	48	46	43	40	38	35	32	30	27	25	22	19	17	14	11	8	6	3	0		
0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70			
0,54	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,83	0,85	0,88	0,91	0,94	0,96	0,99	1,02			

фундамент, так как конденсаторы не имеют вращающихся частей; эксплуатация конденсаторов проще и дешевле, чем других компенсирующих устройств. Конденсаторные установки позволяют легко увеличивать или уменьшать их установленную мощность в зависимости от потребности. Выход из строя отдельного конденсатора, при надлежащей его защите, обычно не отражается на работе всей конденсаторной установки.

Конденсаторы могут устанавливаться в виде отдельных единиц в любой точке сети, у электродвигателей, группами в цехах или крупными батареями.

Необходимая мощность компенсирующего устройства в киловольт-амперах реактивных (*квар*) для промышленного предприятия определяется из выражения:

$$Q_к = P_{ср}(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)\ [квар],\ *$$

где $P_{ср}$ — среднегодовая активная нагрузка предприятия, *квт;* эта величина находится делением годового потребления электрической энергии (в *квт·ч*) на число часов работы предприятия, которое принимается: для двухсменных предприятий 4000 *ч,* для трехсменных 6000 *ч* и для непрерывно работающих предприятий 8000 *ч;*

$\operatorname{tg}\varphi_1$ — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий средневзвешенному за год коэффициенту мощности до установки компенсирующего устройства;

$\operatorname{tg}\varphi_2$ — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий расчетному коэффициенту мощности после установки компенсирующего устройства.

В ряде случаев необходимо предварительно произвести ориентировочный расчет потребной мощности компенсирующего устройства, для чего может быть использована табл. 3. В этой таблице указана потребная мощность компенсирующего устройства (в *квар*) при различных значениях $\cos\varphi$ для потребляемой активной мощности в 100 *квт*.

Пусть, например, необходимо с помощью компенсирующего устройства повысить коэффициент мощности

* В настоящее время рассматривается вопрос об учете коэффициента мощности в часы суточного максимума нагрузки энергосистемы.

предприятия с потребляемой активной мощностью 300 *квт* со значения 0,85 до значения 0,92. В этом случае по табл. 3 в графе «существующие значения» находят величину $\cos\varphi_1$, равную 0,85, а в графе «желательные значения» — величину $\cos\varphi_2$, равную 0,92. В месте пересечения горизонтальной линии, проведенной из клетки 0,85 с вертикальной линией, проведенной из клетки 0,92, для потребляемой активной мощности в 100 *квт* находим нужную реактивную мощность 20 *квар*.

При потребляемой активной мощности в 300 *квт* необходимая реактивная мощность компенсирующего устройства составит:

$$20 \cdot \frac{300}{100} = 60 \text{ квар}.$$

Косинусные конденсаторы. Для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока 50 *гц* отечественной промышленностью выпускаются конденсаторы на следующие номинальные напряжения: 220, 380, 500, 1050, 3150, 6300, 10500 в. При этом на напряжения 1050, 3150, 6300, 10500 *в* конденсаторы выпускаются однофазными, а на напряжения 220, 380, 500 *в* трехфазными с соединением фаз внутри конденсатора в треугольник.

Основными элементами конструкции конденсаторов является бак с изоляторами и выемная часть, состоящая из батарей секций простейших конденсаторов. Каждая секция состоит из двух металлических обкладок с выводами и изоляционных прокладок. Обкладки секций конденсаторов выполняются из алюминиевой фольги, а изолирующие прослойки из специальной конденсаторной бумаги, пропитанной минеральным маслом или синтетическим жидким диэлектриком.

В электроустановках промышленных предприятий наибольшее применение получили конденсаторы типа КМ (косинусные масляные), в которых секции пропитаны минеральным маслом. Также применяются конденсаторы типа КМВ (косинусные масляные для внутренней установки) и конденсаторы типа КС (косинусные соволовые).

В паспорте конденсатора обозначаются: напряжение, емкость, частота и реактивная мощность.

Реактивная мощность однофазного конденсатора Q *(квар)* пропорциональна его емкости C *(мкф)*, квадрату

напряжения U *(в)*, частоте тока f и определяется по формуле:

$$Q = U^2 2\pi f C 10^{-9},$$

где $\pi = 3{,}14$.

Это выражение пригодно для определения мощности как однофазного, так и трехфазного конденсатора, в котором фазы соединены треугольником. Для трехфазного конденсатора величина емкости C *(мкф)* представляет сумму емкостей всех трех фаз.

Для трехфазного конденсатора с соединением фаз звездой реактивная мощность определяется из выражения:

$$Q = \frac{1}{3} 2\pi f C 10^{-9}.$$

Паспортная мощность конденсатора соответствует его фактической емкости, номинальным значениям напряжения U и частоты f.

При подсчетах мощности конденсаторной установки следует учитывать, что рабочая мощность конденсатора изменяется в зависимости от величины фактического напряжения на данном участке сети. Так, конденсатор типа КМ-0,22 с номинальными данными 220 *в*, 4 *квар* при присоединении его в точке сети, где напряжение равно 210 *в*, будет иметь мощность около 3,5 *квар*.

В соответствии с мощностью конденсаторов размеры их разделяются на два габарита: первый габарит — мощность до 10 *квар* и второй — мощность до 25 *квар*.

В табл. 4 приведены технические данные и размеры конденсаторов переменного тока при частоте 50 *гц* типов КМ, КМВ и КС, применяемых для улучшения коэффициента мощности. Габаритные размеры конденсаторов даны на рис. 7.

Общий вес масла в конденсаторах типа КМ и КМВ первого габарита составляет 7—10 *кг*, вес свободного масла 3—5 *кг*. Общий вес масла в конденсаторах типа КМ и КМВ второго габарита, примерно, равен 16—18 *кг*, вес свободного масла 12—15 *кг*. Общий вес совола в конденсаторах типа КСВ первого габарита — около 12 *кг* и второго габарита — около 25 *кг*.

Разработан новый типаж конденсаторов с повышенной удельной мощностью: на напряжение 0,38 *кв* — типовой мощностью 13,5 и 27 *квар* при пропитке минераль-

Таблица 4

Тип	Номинальные данные			Размеры бака			Высота конденсатора с изоляторами, *мм*	Расстояние между осями изоляторов, *мм*	Испытательные напряжения переменного тока 50 *гц*		Вес конденсатора, *кг*
	напряжение, *в*	емкость, *мкф*	мощность, *квар*	длина, *мм*	ширина, *мм*	высота, *мм*			между выводами, *в*	на корпус, *в*	
КМ-0,22	220	263	4	380	110	370	435	80	484	2500	24
КМ-0,38	380	220	10	380	110	370	435	80	840	2500	24
КМ-0,50	500	127	10	380	110	370	435	80	1100	2500	24
КМ-1,05	1050	28,8	10	380	110	370	460	160	2310	5000	24
КМ-3,15	3150	3,22	10	380	110	370	490	160	6930	18000	24
КМ-6,3	6300	0,80	10	380	110	370	540	160	13860	25000	24
КМ-10,5	10500	0,29	10	380	110	370	570	160	23100	35000	25
КМ2-0,22	220	657	10	318	145	860	930	80	484	2500	65
КМ2-0,38	380	552	25	318	145	860	930	80	840	2500	65
КМ2-0,50	500	318	25	318	145	860	930	80	1100	2500	65
КМ2-1,05	1050	72,2	25	318	145	860	965	160	2310	5000	65
КМ2-3,15	3150	8,0	25	318	145	860	995	160	6930	1800	65
КМ2-6,3	6300	2,0	25	318	145	860	1040	160	13860	25000	65
КМ2-10,5	10500	0,724	25	318	145	860	1090	160	23100	35000	65
КС-0,22	220	330	5	390	110	330	430	80	484	2500	28
КС-0,38	380	330	15	390	110	330	430	80	836	2500	28
КС-0,50	500	191	15	390	110	330	430	80	1100	2500	28
КС-1,05	1050	43,2	15	390	110	355	455	160	2310	5000	29
КС-3,15	3150	4,8	15	390	110	355	485	160	6930	18000	29
КС-6,3	6300	1,2	15	390	110	355	525	160	13860	25000	29
КС-10,5	10500	0,43	15	390	110	355	555	160	23100	35000	29
КМВ-П-0,22	220	587	9,02	310	131	850	940	90	490	2500	60
КМВ-П-0,38	380	420	19,0	310	131	850	940	90	840	2500	60
КМВ-П-0,50	500	248	19,5	310	131	850	940	90	1100	2500	60
КМВ-П-3,15	3150	8,1	25,2	310	131	850	975	160	6930	18000	60
КМВ-П-6,3	6300	1,99	24,8	310	131	850	1020	160	13900	25000	60

ным маслом, а также 18 и 36 *квар* при пропитке соволом; на напряжение 0,66—10,5 *кв* — типовой мощностью 17 и 34 *квар* при пропитке минеральным маслом, а также 25 и 50 *квар* при пропитке соволом. Размеры корпусов проектируются для первого габарита 120×380×325 *мм* и для второго габарита 120×380×640 *мм*.

При применении конденсаторов различают централизованную, групповую и индивидуальную компенсацию реактивной мощности.

При централизованной компенсации (рис. 8) конденсаторы устанавливают на стороне низшего или высшего напряжения подстанций промышленных предприятий. При централизованной компенсации заводская электрическая сеть от реактивных токов не разгружается, причем при установке конденсаторов на стороне высшего напряжения подстанции не разгружаются и трансформаторы предприятия.

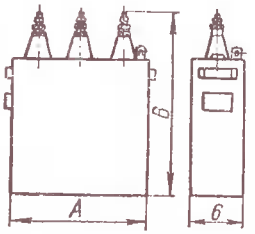


Рис. 7. Габаритные размеры конденсаторов типа КМ.

При групповой компенсации (рис. 9) батарея конденсаторов присоединяется к цеховому распределительному устройству. В этом случае от реактивных токов разгружаются лишь питающая сеть и трансформаторы предприятия, но не распределительная сеть.

При индивидуальной компенсации (рис. 10) конденсаторы устанавливают непосредственно у приемников, например у электродвигателей. При этом от реактивных токов разгружаются не только элементы системы, но и вся питающая и распределительная сеть и трансформаторы предприятия. Этот способ является по эффективности наиболее совершенным, но он требует значительных затрат на установку компенсирующих устройств.

Технико-экономические расчеты показывают, что в большинстве случаев наиболее целесообразным является применение на промышленных предприятиях групповой компенсации.

В трехфазных сетях переменного тока 3150, 6300 и 10500 *в* однофазные конденсаторы соответствующих номинальных напряжений соединяются в треугольник или звезду.

В зависимости от напряжения сети трехфазные батареи конденсаторов могут комплектоваться из однофазных конденсаторов при последовательном или параллельно-последовательном соединении конденсаторов в каждой фазе батареи.

Батареи косинусных конденсаторов любых напряжений могут присоединяться к сети или через отдельный аппарат управления, предназначенный для включения и отключения только конденсаторов, или через общий ап-

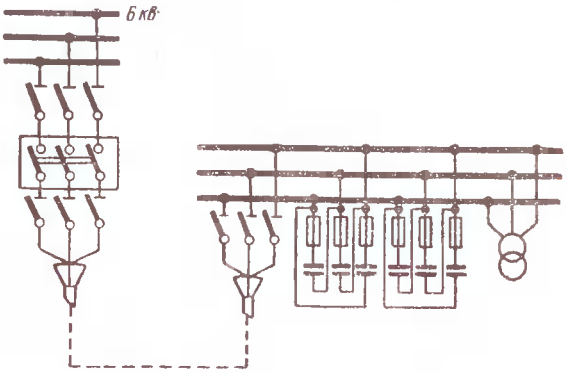


Рис. 8. Схема включения конденсаторов к шинам подстанции.

парат управления с силовым трансформатором, асинхронным двигателем или другим приемником электроэнергии.

Косинусные конденсаторы в установках напряжением до 1 *кв* включаются в сеть и отключаются от сети с помощью автоматов или рубильников. Конденсаторы, применяемые в установках напряжением выше 1 *кв*, включаются в сеть и отключаются от сети только посредством выключателей или разъединителей мощности.

Для безопасности обслуживания отключенных конденсаторов при снятии электрического заряда требуется применение разрядных сопротивлений, присоединяемых параллельно к конденсаторам. В целях надежного разряда присоединение разрядных сопротивлений к конденсаторам следует производить без промежуточных разъединителей, рубильников или предохранителей. Разрядные сопротивления должны обеспечивать быстрое, порядка 1 *мин*, автоматическое снижение напряжения на

зажимах разряженного конденсатора, причем потери активной мощности во время нормальной работы конденсаторов не должны превышать 1 *вт* на 1 *квар* мощности батареи.

При непосредственном, под общий выключатель, соединении конденсаторов с приемником электроэнергии не требуется специальных разрядных сопротивлений. В этом случае конденсаторная батарея разряжается на обмотки токоприемника.

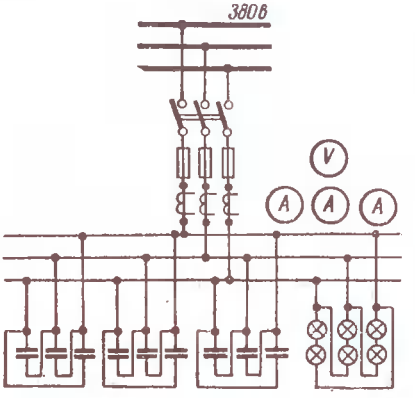


Рис. 9. Схема включения конденсаторов к цеховому распределительному устройству.

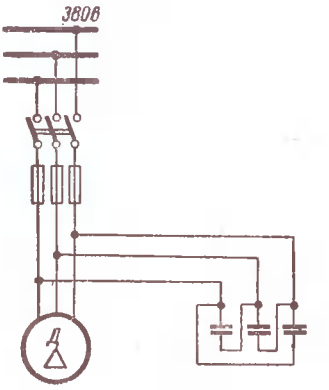


Рис. 10. Схема включения конденсаторов непосредственно у электродвигателя.

В качестве разрядного сопротивления при напряжении до 1 *кв* для батарей конденсаторов обычно применяют лампы накаливания на напряжение 220 *в*. Соединение ламп, включенных по несколько штук последовательно в каждой фазе, производится по схеме треугольника.

При напряжении выше 1 *кв* в качестве разрядного сопротивления устанавливают трансформаторы напряжения, включаемые по схеме треугольника или открытого треугольника.

Постоянное присоединение ламп накаливания, применяемых обычно в качестве разрядных сопротивлений для батарей конденсаторов напряжением до 500 *в*, вызывает непроизводительные потери энергии и расход ламп.

Чем меньше мощность батареи, тем бóльшая мощность ламп приходится на 1 *квар* установленных конден-

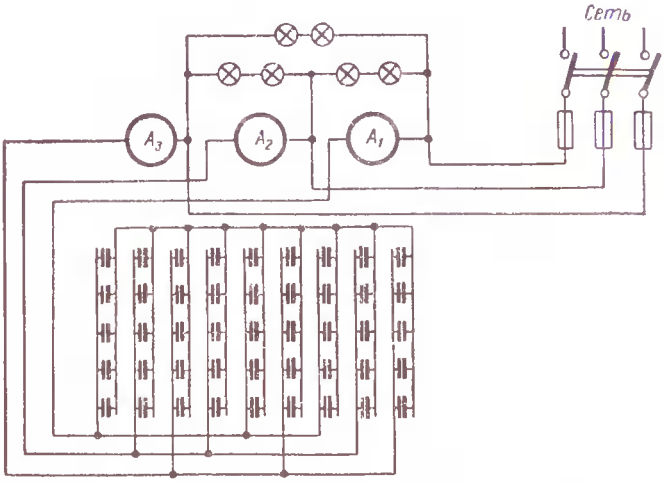


Рис. 11. Схема включения ламп накаливания для разряда батареи конденсаторов (до 1 *кв*) до переделки рубильника.

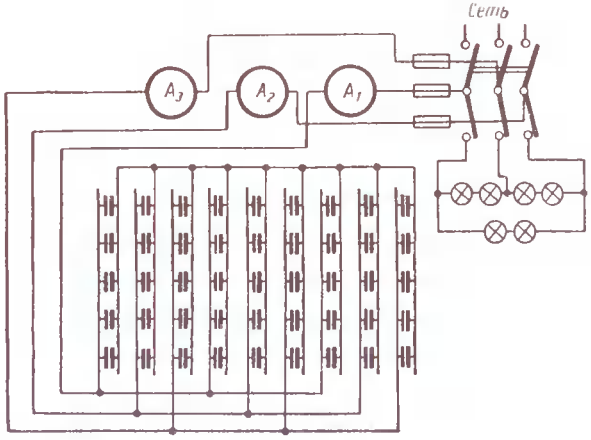


Рис. 12. Схема включения ламп накаливания для разряда батареи конденсаторов (до 1 *кв*) после переделки рубильника.

саторов. Для конденсаторных батарей напряжением до 500 *в* рекомендуется взамен постоянного присоединения разрядных ламп включение их автоматически, после отключения конденсаторной установки. Так, например, на Мурманском лесозаводе внедрено следующее устройство для автоматического включения и отключения ламп разрядного сопротивления (рис. 11, 12).

К имеющемуся в каждом шкафу батареи косинусных конденсаторов трехполюсному рубильнику, служащему

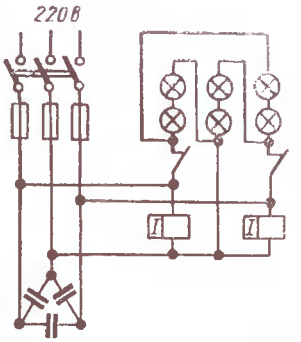


Рис. 13. Схема автоматического разряда конденсаторов в электросетях 220 *в* при помощи реле МКУ-48.

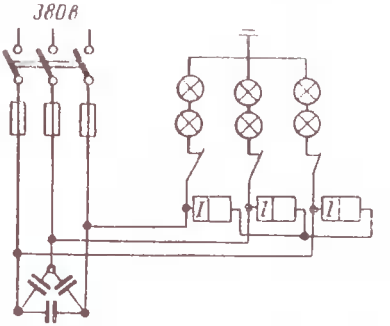


Рис. 14. Схема автоматического разряда конденсаторов в электросетях 380 *в* при помощи реле МКУ-48.

для отключения и включения батареи, к нижней части основных ножей приклепываются дополнительно изготовленные из медной шины добавочные ножи. В нижней части изоляционной плиты, где собран рубильник, устанавливаются изготовленные также из медной шинки губки, к клеммам которых присоединяются разрядные лампы. Добавочные ножи приклепываются под таким углом, чтобы в момент начала отключения главных ножей они входили в добавочные губки, ввиду этого лампы включаются до отключения батареи.

Обратное включение происходит в том же порядке, т. е. при начале включения батареи лампы загораются и за счет свободного хода главных ножей рубильника добавочные ножи выходят из добавочных губок и лампы гаснут.

Также может быть рекомендована схема автоматического разряда конденсаторов при помощи промежуточного реле МКУ-48, 220 *в* (рис. 13, 14). При включении батареи косинусных конденсаторов реле включаются, размыкают свои нормально замкнутые контакты и тем самым отключают разрядные лампы. При отключении батареи разряд происходит на обмотки реле, которые продолжают оставаться включенными. При снижении напряжения до 80—100 *в* контакты реле замыкаются и разряд происходит одновременно на реле и лампы, что ускоряет процесс гашения заряда конденсаторов. При неисправности цепи разряда (обрыв обмотки или нарушение цепей) происходит отключение реле и включение ламп, которые служат разрядным сопротивлением и одновременно сигнализируют о неисправности в цепи разряда.

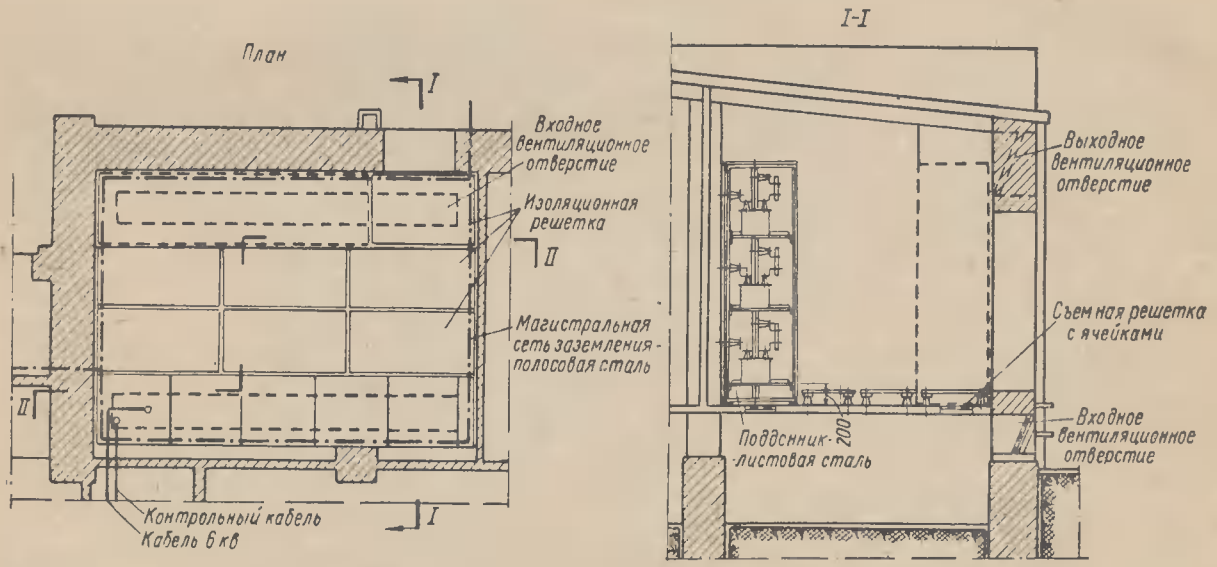
Трехфазные конденсаторы включаются в сеть так же, как и любые токоприемники трехфазного тока. Конденсаторы, входящие в состав батареи напряжением выше 1 *кв*, снабжаются групповой защитой в виде плавких предохранителей. При выполнении групповой защиты один предохранитель защищает каждые 5—10 конденсаторов, номинальный ток одной группы — не более 100 *а*. Кроме того, устанавливаются общие предохранители для всей батареи.

Для конденсаторов напряжением до 1 *кв*, имеющих встроенные предохранители, устанавливаются также общие предохранители для батареи в целом, а при значительной мощности батареи — и для отдельных секций.

Конструкция каркаса батарей конденсаторов должна обеспечивать хорошую обозреваемость конденсаторов, изоляторов, предохранителей и остального оборудования при осмотре их под напряжением, свободный доступ к конденсаторам и контактам шин во время текущего ремонта при снятом напряжении, а также возможность замены конденсаторов.

Конденсаторные установки с общим количеством масла в одной установке более 600 *кг* должны располагаться в отдельном помещении с выходом наружу или в общем помещении.

Конденсаторные установки с количеством масла в одной установке менее 600 *кг* могут размещаться в помещениях щитов управления и распределительных устройств напряжением до и выше 1000 *в*, а также в основных и вспомогательных помещениях производств.


План
I
Входное вентиляционное отверстие
Изоляционная решетка
II
Магистральная сеть заземления - полосовая сталь
II
I
Контрольный кабель
Кабель 6 кв
I-I
Выходное вентиляционное отверстие
Съемная решетка с ячейками
Входное вентиляционное отверстие
Поддонник - листовая сталь
200

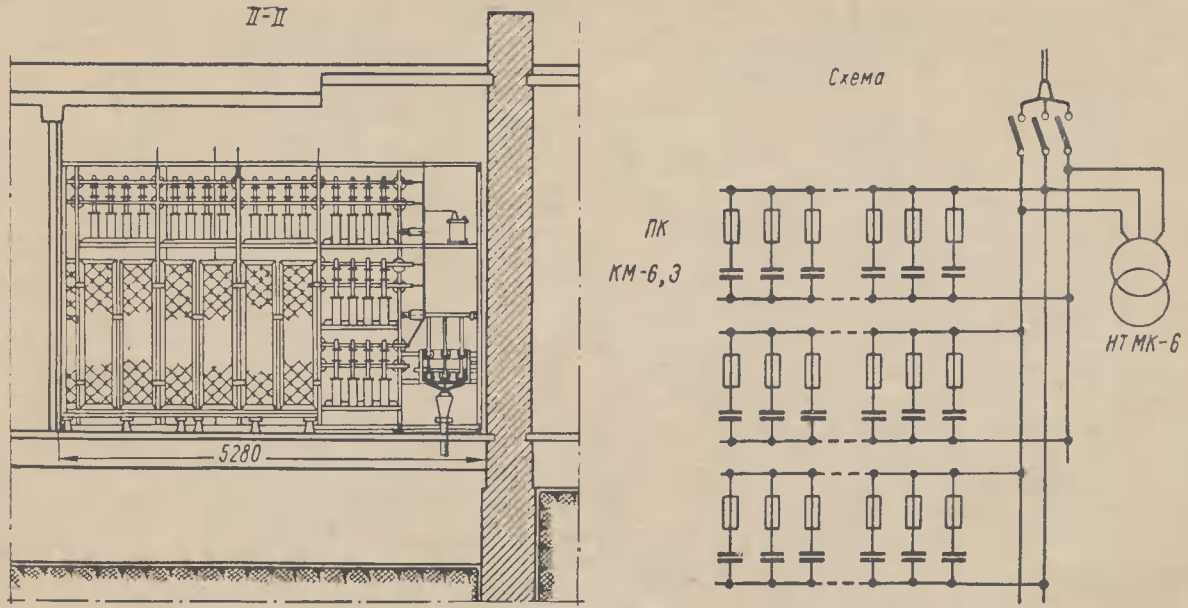


Рис. 15. Установка конденсаторов при напряжении 6 *кв.*

отнесенных к категории Г и Д согласно противопожарным нормам и правилам.

При расположении внутри помещений конденсаторной установки выше 1000 *в* с общим количеством масла более 600 *кг* под установкой должен быть устроен маслоприемник, рассчитанный на 20% общего количества масла. При наружной установке устройство маслоприемников под конденсаторы не требуется.

На рис. 15 представлен чертеж установки батареи конденсаторов напряжением 6 *кв*.

Батареи конденсаторов напряжением до 1 *кв* можно устанавливать в помещениях подстанций, цехов и в других производственных помещениях с нормальной средой при условии, что конструкция или расположение батареи исключает возможность механического повреждения и случайных прикосновений к частям, находящимся под напряжением. Следует обратить особое внимание на то, что установка конденсаторов не допускается в помещениях:

а) сырых, пыльных, пожароопасных и взрывоопасных;
б) горячих цехов;
в) с едкими парами и газами;
г) подверженных длительному сотрясению.

Температура окружающего воздуха в помещении конденсаторов не должна превышать 35° С. Чтобы следить за температурой, в помещении батарей следует устанавливать термометр.

При установке конденсаторов в производственных помещениях нельзя допускать нагрева их тепловым излучением, например от печей. В помещениях батарей конденсаторов устраивают вентиляционные отверстия.

В табл. 5 приводятся размеры живых сечений этих отверстий.

Строительное сечение отверстия, закрываемого жа-

Таблица 5

Живое сечение отверстия, $м^2$	Мощность батареи, *квар*							
	100	200	300	400	500	600	700	800
Нижнее	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Верхнее	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6

люзи, следует брать больше живого сечения в зависимости от толщины полос жалюзи (обычно вдвое больше).

В тех случаях, когда естественной вентиляцией не удается обеспечить допустимую температуру, в помещениях батарей конденсаторов устраивается искусственная вентиляция, включаемая по мере надобности.

Помещение батареи конденсаторов по возможности располагается с северной стороны. Устройство отопления для этого помещения не нужно. Естественное освещение для него также не требуется. Искусственное освещение помещений батарей осуществляется при помощи нормальных светильников, применяемых для закрытых помещений. В помещении батареи для ремонтного освещения необходимо иметь штепсельные розетки, питающиеся от трансформаторов напряжением 12 *в*.

В помещении конденсаторов напряжением более 1 *кв* устанавливают сетчатые ограждения, обеспечивающие невозможность прикосновения ко всем элементам оборудования, находящимся под напряжением. Одним из важных средств безопасности является блокировка, которую устраивают между выключателем и разъединителями, а также на выключателе или разъединителе между выключателем и кабельной перемычкой к батарее с действием на замок двери в сетчатом ограждении в помещении батареи. Блокировка должна быть устроена таким образом, чтобы двери сетчатых ограждений нельзя было открыть при включенном выключателе и нельзя было бы включить выключатель при открытых дверях.

У входа в помещение конденсаторов напряжением более 1 *кв* устанавливается «лампа безопасности», включающаяся во всех случаях при отключенном выключателе. Кожухи конденсаторов, металлические конструкции, на которых они стоят, сетчатые ограждения, нетоковедущие части аппаратов и приборов, расположенные в помещении батареи, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие оказаться под напряжением при повреждениях установки, должны быть присоединены к сети защитного заземления.

Присоединение сети заземления помещения батареи к общему контуру защитного заземления подстанции или цеха производится не менее чем в двух точках. В этом же помещении устанавливаются зажимы для присоединения переносных заземляющих устройств.

Согласно указаниям Государственной инспекции по энергонадзору, помимо конденсаторов типа КМ, специально предназначенных для повышения коэффициента мощности, на промышленных предприятиях допускаются

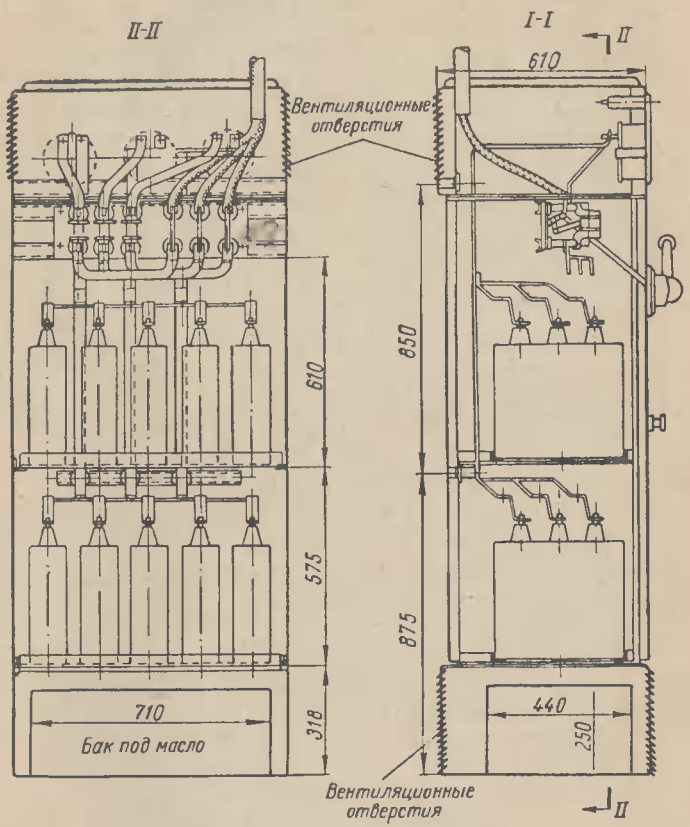


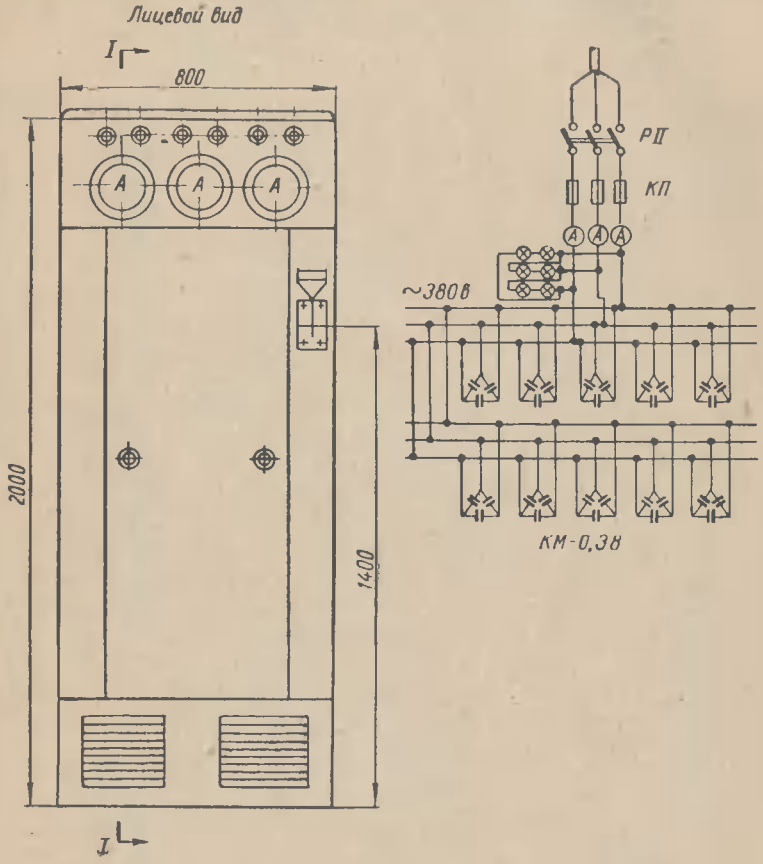
Рис. 16. Установка конденсато

для этой цели также металлобумажные однофазные конденсаторы типа КБГ-МН, КМБГ, МБГП и СМ-0,65.

Конденсаторы типа КБГ-МН любой емкости, выпускаемые на номинальное напряжение 400 *в*, разрешается устанавливать в электрических сетях напряжением 220 *в*,

а выпускаемые на номинальное напряжение 600 *в* и выше — в сетях при напряжении 380 *в*.

Конденсаторы типа КМБГ в 1956 г. перемаркированы на МБГП. Конденсаторы КМБГ и МБГП при любой ем-



ров при напряжении до 380 *в*.

кости и номинальном напряжении 600 *в* и выше допускаются к установке только в электрических сетях напряжением 220 *в*. В электрических сетях напряжением 380 *в* и выше установка конденсаторов типа КМБГ и МБГП не допускается.

Таблица 6

Наименование конденсатора	Номинальное напряжение, *в*	Емкость банки, *мкф*	Основные размеры, *мм* (рис. 10)			Вес одной банки, *кг*
			l	*b*	*h*	
КБГ-МН	400, 600 1 000, 1 500	1, 2, 4, 6, 8	49—69	29—64	60—110	0,11—0,75
КМБГ	600	2, 4, 10	46—66	31—43	48—114	0,12—0,125
МБГП	400, 600, 1 000, 1 500	1, 2, 4, 10, 15, 20, 25, 30	46—69	16—64	50—115	0,125—1,2
СМ	650	5	93	78	120	1,35

Конденсаторы типа СМ-0,65 допускаются к установке в сетях напряжением 380 и 500 *в*. На рис. 16 представлен чертеж установки батареи напряжением до 380 *в*. В табл. 6 приведены основные технические данные указанных конденсаторов, а на рис. 17 их габаритные размеры.

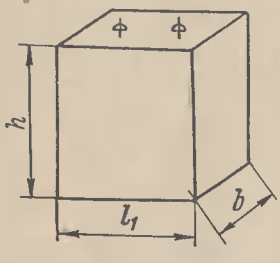


Рис. 17. Габаритные размеры конденсаторов типов КБГ-МН, КМБГ, МБГП и СМ.

Эти конденсаторы удобно размещать в металлических ящиках-шкафах в несколько ярусов с общей мощностью конденсаторов в одном ящике-шкафу порядка 30—50 *квар*. При установке конденсаторов в специальном помещении, доступном только обслуживающему персоналу, размещение таких конденсаторов можно производить на стеллажах.

При установке в ящиках или на стеллажах между отдельными банками конденсаторов со всех сторон для улучшения условий охлаждения должно быть обязательно выдержано расстояние порядка 10 *мм*.

Для осуществления защиты, удобства монтажа и эксплуатации батареи конденсаторов разбиваются на отдельные секции, рассчитанные на ток 6—10 *а*, причем каждая секция должна быть защищена плавкими предохранителями.

Отдельные помещения и ящики для конденсаторов имеют верхние и нижние вентиляционные отверстия —

жалюзи, защищенные мелкой сеткой. Температура среды, окружающей конденсаторы или ящики-шкафы, не должна превышать 35° С.

К батарее металлобумажных конденсаторов следует подключать без промежуточных рубильников или предохранителей специальное разрядное сопротивление, например лампы накаливания.

Так же, как и при установке конденсаторов КМ, металлические части установки конденсаторов КБГ-МН, КМБГ, МБГП и СМ-0,65, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие оказаться под напряжением при повреждениях установки, присоединяют к сети защитного заземления.

Мощность банок конденсаторов типа КБГ-МН при рабочем напряжении сети 220 и 380 *в*, в зависимости от емкости, указана в табл. 7.

Таблица 7

Емкость банки, *мкф*	Мощность банки (*квар*) при рабочем напряжении сети, *в*	
	220	380
1	0,015	0,045
2	0,030	0,090
4	0,060	0,180
6	0,090	0,270
8	0,120	0,360
10	0,150	0,450

На рис. 18 представлен шкаф для конденсаторов типа КБГ-МН.

Прочие компенсирующие устройства. Помимо косинусных конденсаторов, на промышленных предприятиях применяются и другие компенсирующие устройства. К ним относятся синхронные компенсаторы, синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения, синхронизированные асинхронные двигатели и фазокомпенсаторы. В отдельных случаях в качестве синхронных компенсаторов используются имеющиеся на предприятиях синхронные генераторы, а иногда и синхронные двигатели, работающие только в качестве компенсаторов и не несущие никакой механической нагрузки.

Синхронные компенсаторы применяются в качестве генераторов реактивной мощности для улучшения коэффициента мощности. Благодаря отсутствию механической нагрузки конструкция синхронных компенсаторов является облегченной по сравнению с обычными синхронными двигателями.

Режим работы синхронного компенсатора определяется величиной подаваемого в его ротор постоянного тока

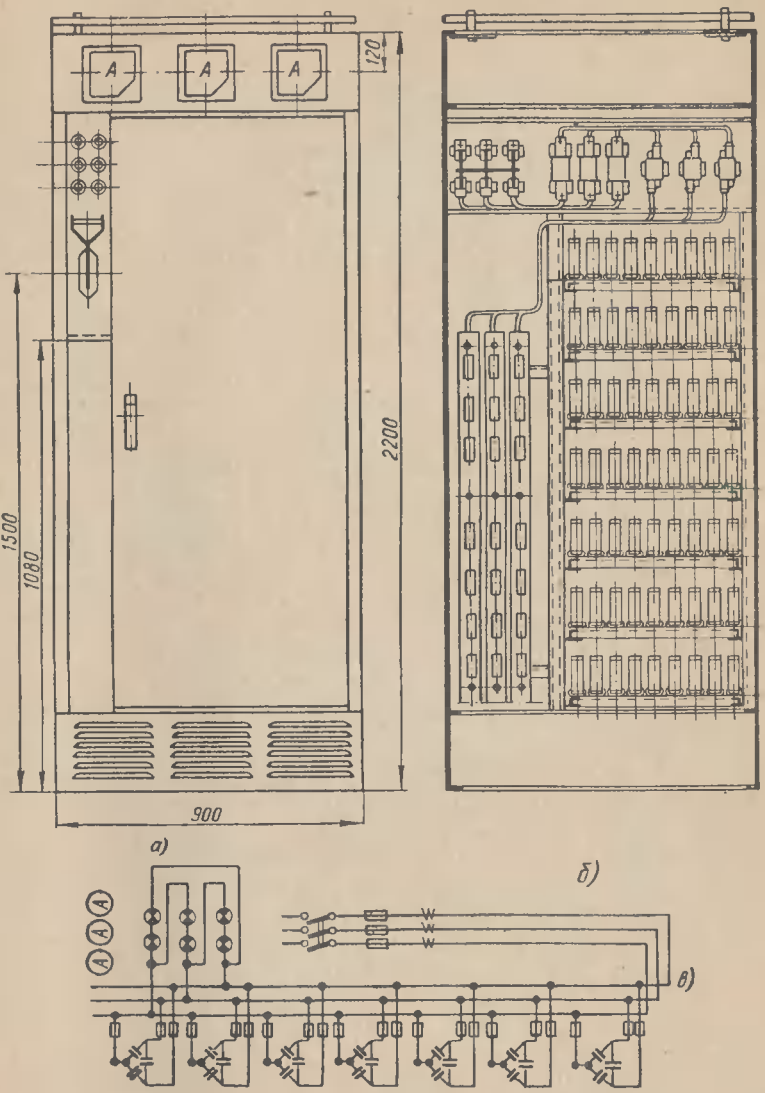


Рис. 18. Шкаф для конденсаторов типа КБГ-МН: *а* — внешний вид; *б* — размещение электроаппаратуры в шкафу; *в* — схема электрических соединений.

возбуждения. При перевозбуждении компенсатор является источником отдаваемого в сеть опережающего тока.

Обычно синхронный компенсатор загружается бо́льшим или меньшим опережающим током, в зависимости от задания; загрузка отстающим током допускается с целью снижения напряжения на шинах заводской подстанции, если напряжение имеет высокую величину (сверх допустимых пределов).

При отстающем токе синхронные компенсаторы работают также устойчиво, но с пониженной против номинальной мощностью.

Потери активной мощности в синхронных компенсаторах крупной мощности составляют около 2—3 *квт* на 100 *квар* реактивной мощности.

Как показывают технико-экономические расчеты, применение синхронных компенсаторов на промышленных предприятиях целесообразно при потребной мощности компенсирующего устройства не менее 5000 *квар* при напряжении 6 *кв* и не менее 10 000 *квар* при 10 *кв*.

Применение вместо асинхронных двигателей синхронных двигателей той же мощности, предназначенных для работы с коэффициентом мощности, равным единице, является оправданным во всех случаях, где это возможно по условиям технологического процесса. Необходимость же применения синхронных электродвигателей с мощностью, превышающей потребную мощность приводного механизма и предназначенных для работы в режиме перевозбуждения (т. е. с опережающим коэффициентом мощности порядка 0,9 или 0,8), должна быть доказана технико-экономическим расчетом.

Некоторые предприятия (в основном предприятия угольной и нефтяной промышленности), располагающие мощными асинхронными двигателями, применяют синхронизацию асинхронных двигателей.

Одна из схем синхронизации изображена на рис. 19. От источника постоянного тока последний подводится к двум кольцам, замкнутым накоротко, и к третьему кольцу ротора асинхронного двигателя. При этом сопротивление обмотки ротора при прохождении постоянного тока будет:

$$\frac{1}{2}r + r = \frac{3}{2}r,$$

где r — сопротивление одной фазы ротора.

Величина требуемого постоянного тока определится из равенства условий нагрева обмотки ротора при протекании в ней переменного тока в одном случае и постоянного тока в другом случае:

$$3I^2_{\text{пер}}r = I^2_{\text{пост}}\frac{3}{2}r.$$

Отсюда вытекает, что величина требуемого для синхронизации постоянного тока, который подводится в обмотку ротора электродвигателя, определится следующим образом:

$$I_{\text{пост}} = I_{\text{пер}}\sqrt{2}.$$

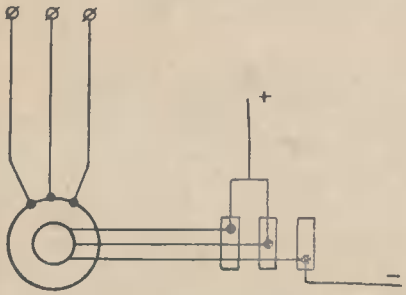


Рис. 19. Схема включения синхронизированного асинхронного двигателя.

Величина напряжения постоянного тока

$$U_{\text{пост}} = I_{\text{пост}}\frac{3}{2}r.$$

При питании постоянным током фазного ротора асинхронного двигателя последний втягивается в синхронизм и получает возможность работы с опережающим коэффициентом мощности, приобретая свойства, сходные с синхронным двигателем.

Необходимо иметь в виду, что при синхронизации асинхронные двигатели работают с постоянно опущенными щетками на кольца и, следовательно, щеточный механизм и кольца таких двигателей должны быть приспособлены к подобному режиму.

В угольной промышленности в послевоенный период получила распространение так называемая схема ДАГ, в которой в качестве выпрямителей для питания фазного ротора асинхронного двигателя применялись селеновые выпрямители.

Применение синхронизации асинхронных двигателей может производиться в виде исключения в районах с недостатком реактивной мощности после проверки экономичности такой компенсации и лишь для асинхронных двигателей мощностью 100 *квт* и выше, имеющих равномерную активную нагрузку, составляющую не менее 50%

от номинальной мощности двигателя. Неэкономично применять синхронизацию асинхронных двигателей, предназначенных для работы исключительно в качестве компенсаторов, так как при этом значительно возрастают потери активной мощности.

Показателем целесообразности синхронизации асинхронных двигателей считается снижение активных потерь в элементах энергетической системы и установках потребителей в результате уменьшения потребления реактивной мощности.

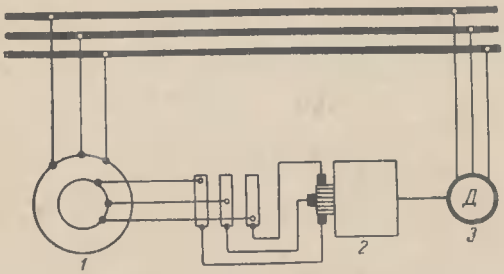


Рис. 20. Схема включения фазокомпенсатора.

1 — главный асинхронный двигатель с фазным ротором; *2* — фазокомпенсатор; *3* — вспомогательный электродвигатель.

В довоенный период в отдельных случаях при крупных асинхронных двигателях (например, приводящих в движение прокатные станы) устанавливались фазокомпенсаторы.

Фазокомпенсаторы служат для питания отдельных асинхронных двигателей намагничивающим током. Фазокомпенсатор представляет собой коллекторную машину переменного тока, соединенную через контактные кольца с ротором асинхронного двигателя. Фазокомпенсатор позволяет осуществлять питание асинхронного двигателя трехфазным намагничивающим током той же частоты, что и частота скольжения ротора, и тем самым избавить сеть от необходимости снабжать электродвигатель реактивным током. Фазокомпенсатор получает вращение либо через соответствующую передачу от асинхронного двигателя, к которому он приключен, либо от специального электродвигателя (рис. 20).

В настоящее время фазокомпенсаторы применяются редко в связи с наличием других более экономичных средств компенсации реактивной мощности, например конденсаторов.

Использование имеющихся на предприятиях синхронных генераторов и синхронных двигателей в качестве синхронных компенсаторов из-за низкой экономичности допускается лишь в виде исключения, например при остром недостатке реактивной мощности и невозможности применения более рациональных средств.

6. УСТАНОВКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОСИНУСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Установка на предприятиях всех видов компенсирующего электрооборудования, в том числе и конденсаторов, допускается только с разрешения соответствующей энергосистемы.

В помещении конденсаторной батареи должны находиться:

а) однолинейная принципиальная схема установки конденсаторов;

б) список конденсаторов с указанием порядкового номера, заводского номера, номинальной мощности и емкости каждого конденсатора и конденсаторной батареи в целом;

в) термометр для измерения температуры окружающего воздуха;

г) разрядная штанга для контрольного разряда конденсаторов;

д) противопожарные средства — огнетушитель, ящик с песком и совком.

При сдаче конденсаторной установки в эксплуатацию должны быть также предъявлены акт о наружном осмотре конденсаторов и протоколы испытаний релейной защиты и пусковых испытаний батареи.

Новые конденсаторы перед вводом их в эксплуатацию на месте установки должны испытываться повышенным напряжением.

Перед испытанием производится проверка мегомметром отсутствия замыкания между выводами и корпусом каждого конденсатора. Ниже указаны величины испытательных напряжений промышленной частоты для ис-

пытания в течение 1 *мин* конденсаторов между токоведущими частями и заземленным корпусом:

Номинальное напряжение конденсаторов, *кв*	0,22	0,38	0,50	1,05	3,15	6,3	10,5
Испытательное напряжение между обкладками перед сдачей в эксплуатацию, *кв*	0,42	0,72	0,95	2	5,9	11,8	20
Испытательное напряжение при испытаниях на корпус, *кв*	2,1	2,1	2,1	4,3	15,8	22,3	30

При отсутствии источников тока достаточной мощности испытания переменным током могут быть заменены испытанием выпрямленным напряжением удвоенной величины.

Перед первым включением батареи производится внешний осмотр всех контактных соединений; проверяется мегомметром исправность цепи разряда батареи, а также целость плавких вставок предохранителей. Кроме того, измеряется емкость каждого конденсатора с целью выявления конденсаторов с пробитыми или отключенными секциями. При этом конденсаторы напряжением выше 1000 *в*, у которых отклонения емкости от номинального значения превышают плюс 33% при напряжении 3150 *в*, плюс 16% — при 6300 *в* и плюс 9% — при 10 500 *в*, не должны допускаться в эксплуатацию.

Отклонение от паспортных данных измеренной емкости однофазного конденсатора или каждой фазы трехфазного конденсатора при напряжении до 1000 *в* должно быть не более ±10%. При этом для трехфазных конденсаторов паспортные данные вычисляются для одной фазы.

Перед вводом батареи конденсаторов в эксплуатацию производится проверка равномерного распределения нагрузки всех трех фаз. Равномерность нагрузки определяется показаниями трех амперметров. Токи в различных фазах батареи не должны отличаться друг от друга более чем на 5%.

После проверки готовности конденсаторной установки к включению производится ее проверка в следующей последовательности. Батарея кратковременно включается на полное рабочее напряжение. Включение производится три раза — толчком, причем всякий раз батарея остается под напряжением в течение нескольких минут.

Для обеспечения полного разряда повторное включение производится не ранее чем через 3 *мин* после отключения. Если в батарее и на ее питающей линии не наблюдается никаких ненормальных явлений, ее оставляют под напряжением на 24 часа. За это время также не должно быть никаких ненормальностей (шума в конденсаторах, вспучивания конденсаторных баков, недопустимого повышения температуры окружающей среды и пр.).

Затем после отключения батареи конденсаторов производится контрольный разряд каждого конденсатора с помощью специального разрядного устройства, проверяется целость плавких вставок предохранителей, повторно измеряется емкость конденсаторов.

В процессе эксплуатации надзор за работой конденсаторной батареи в основном сводится к наблюдению за приборами в цепи батареи (амперметрами, вольтметрами), периодическому наружному осмотру конденсаторов через сетчатое ограждение, контролю за температурой помещения.

При обнаружении в конденсаторах ненормальных явлений (шум, вытекание масла, вспучивание бака), перегорании плавких вставок, повышении напряжения свыше 110% от номинального, а также при неравномерности показаний амперметров или при температуре воздуха помещения выше допустимой для данного типа конденсаторы должны немедленно отключаться от сети.

При внеочередной проверке батареи конденсаторов, находящейся в эксплуатации, производятся все операции, перечисленные для случая ввода в эксплуатацию (кроме испытания повышенным напряжением). Такая проверка необходима:

а) перед включением батареи в эксплуатацию после аварийного отключения выключателя батареи, если внешним осмотром не обнаружено поврежденных конденсаторов и не выяснена причина отключения при осмотре и измерении изоляции остальных элементов, имеющих общую с батареей защиту (разрядное сопротивление, кабельная перемычка и др.);

б) перед включением батареи после длительного перерыва.

Испытание отдельных конденсаторов батареи производится в следующих случаях:

а) при обнаружении во время осмотра конденсаторов, ремонта или чистки батареи дефектов в виде следов прохождения тока замыкания на землю, признаков нагрева и т. д.;

б) перед установкой резервного конденсатора взамен выбывшего.

При производстве периодических проверок конденсаторов, находящихся в эксплуатации, необходимо немедленно после отключения батареи от сети и разряда конденсаторов проверить у наиболее нагретых конденсаторов при помощи термометра температуру широкой стенки конденсатора. Если эта температура превышает наивысшую допустимую температуру для данного типа, конденсатор должен быть снят с эксплуатации. В этом случае после проверки температуры необходимо измерить емкость конденсаторов и проверить отсутствие подтеков масла.

Целость плавких вставок предохранителей, а также целость цепи разрядных сопротивлений и исправность их должны проверяться не реже одного раза в месяц. Все обнаруженные при осмотре неисправности и самый факт осмотра должны быть записаны в журнал эксплуатации.

Измерение электрической емкости может производиться микрофарадометром, который непосредственно указывает величину емкости, или при помощи прецизионного вольтметра на напряжение 220 или 120 *в* и миллиамперметра.

В действующих Правилах устройства электроустановок и Правилах технической эксплуатации и безопасности обслуживания электрических установок промышленных предприятий нет указаний на необходимость производить в процессе эксплуатации профилактические испы-

Таблица 8

Номинальное напряжение конденсатора, *кв*	Испытательное напряжение, *кв*		Номинальное напряжение конденсатора, *кв*	Испытательное напряжение, *кв*	
	между обкладками	на корпус		между обкладками	на корпус
0,22	0,37	1,87	3,15	5,15	13,5
0,38	0,64	1,87	6,3	10,2	19
0,5	0,85	1,87	10,5	17,2	26
1,05	1,72	3,75			

тания повышенным напряжением косинусных конденсаторов, установленных на промышленных предприятиях. Для косинусных конденсаторов, установленных на электростанциях, подстанциях и в сетях, эксплуатируемых энергосистемами, приняты следующие нормативы для профилактических испытаний (сроки этих испытаний не устанавливаются), приведенные в табл. 8.

7. ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Снижение потребности предприятий в реактивной мощности, целесообразный выбор мощности и типа компенсирующих устройств и рациональное размещение их на промышленных предприятиях — важнейшая проблема электроснабжения, получившая название улучшения или повышения коэффициента мощности.

Устойчивость работы энергетической системы и величина напряжения у потребителей связаны со значением коэффициента мощности.

Использование мощности генераторов и трансформаторов, сечений кабелей и проводов находится в зависимости от величины коэффициента мощности. Величина потерь электроэнергии в отдельных элементах электрических установок также зависит от величины коэффициента мощности.

Основными потребителями реактивной энергии являются промышленные предприятия, присоединенные к сетям районных энергетических систем. Отсюда ясно, какое большое значение имеет проведение мероприятий по улучшению коэффициента мощности на промышленных предприятиях.

Как указывалось выше, в первую очередь при всех условиях на предприятиях должны проводиться мероприятия по повышению коэффициента мощности самих приемников электроэнергии, т. е. по снижению потребления ими реактивной мощности. Однако проведение одних только этих мероприятий может оказаться недостаточным.

Непрерывное развитие энергетического хозяйства и, в частности, рост мощностей энергетических систем в нашей стране вызывает, наряду с вводом в действие новых генераторов на электростанциях, повышение мощ-

ности компенсирующих установок как на станциях и подстанциях энергетических систем, так и на промышленных предприятиях.

Компенсирующие устройства служат, с одной стороны, для повышения коэффициента мощности, а с другой стороны, для регулирования величины напряжения. Эти вопросы неразрывно связаны между собой.

Наиболее распространенными компенсирующими устройствами являются: на подстанциях энергетических систем — синхронные компенсаторы, на промышленных предприятиях — синхронные электродвигатели, работающие с коэффициентом мощности, равным единице, или в режиме перевозбуждения, и косинусные конденсаторы.

На промышленных предприятиях получили распространение три вида компенсации реактивной мощности: централизованная (установка компенсирующих устройств на подстанциях предприятий), групповая (установка компенсирующих устройств в цехах у распределительных и групповых щитов) и индивидуальная (установка компенсирующих устройств непосредственно у приемников).

Индивидуальные компенсирующие устройства включаются и отключаются совместно с приемниками, а централизованные и групповые компенсирующие устройства, независящие от приемников, в ряде случаев (особенно это относится к конденсаторам) включены непрерывно, т. е. круглосуточно, и сравнительно редко отключаются в периоды малой нагрузки, например в ночные смены и выходные дни. Если за режимом работы централизованных компенсирующих устройств на промышленных предприятиях может быть установлен более или менее действенный контроль со стороны энергоснабжающей организации, то групповые конденсаторные установки на промышленных предприятиях, работающих в одну или две смены, остаются в отношении режима работы бесконтрольными и в большинстве случаев работают круглосуточно. При существующей тарифной системе на электроэнергию (оплата ее стоимости в зависимости от величины месячного средневзвешенного коэффициента мощности) промышленным предприятиям выгодно оставлять включенными компенсирующие устройства круглосуточно. С государственной же точки зрения такое положение является явно нецелесообразным как в техническом, так и экономическом отношениях.

Когда конденсаторы на промышленных предприятиях, работающих в одну или две смены, оставляют включенными в ночные смены и выходные дни, это приводит к опережающему (емкостному) сдвигу фаз, загрузке линий, питающих промышленные предприятия, реактивными токами, а следовательно, к излишним потерям электроэнергии и, наконец, к повышению напряжения в сети.

Последнее обстоятельство вызывает в ряде случаев необходимость, в целях регулирования напряжения на подстанциях энергетических систем, пускать синхронные компенсаторы с отстающим (индуктивным) сдвигом фаз, что опять-таки приводит к потерям электроэнергии.

Отсюда следует, что в настоящее время уже нельзя довольствоваться повышением средневзвешенного коэффициента мощности предприятий, так как за значением средневзвешенных величин могут скрываться неучтенные потери электроэнергии, вызываемые включением компенсирующих устройств в часы слабой загрузки предприятий при отсутствии надобности в них. Во избежание этого следует широко применять автоматические включения и отключения компенсирующих устройств и, в первую очередь, батарей конденсаторов в зависимости от уровня напряжения в сети и потребности предприятий в реактивной мощности в различное время суток.

Для компенсации реактивной мощности на наших промышленных предприятиях применяют схемы автоматического управления включением и отключением батарей конденсаторов в зависимости от следующих факторов:

а) уровня напряжения;
б) величины тока;
в) направления реактивной мощности;
г) величины коэффициента мощности;
д) времени суток.

Кроме того, используются схемы, в которых применяется одновременно несколько видов регулирования. Выбор того или иного вида регулирования определяется в каждом конкретном случае местными условиями.

В технической литературе приводятся схемы включения автоматических устройств для компенсирующих установок, применяемые на промышленных предприятиях [Л. 5, 11]. Но темпы внедрения этих автоматических устройств при непрерывном росте потребляемой мощно-

сти и широком применении компенсирующих установок еще недостаточны.

Перед советскими энергетиками стоит серьезная задача по внедрению автоматики для компенсирующих устройств в целях дальнейшего улучшения коэффициента мощности на промышленных предприятиях, регулирования напряжения и снижения потерь электроэнергии. Все эти вопросы должны решаться комплексно.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ШКАЛА СКИДОК С ТАРИФА И НАДБАВОК К ТАРИФУ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ЗА КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ($\cos\varphi$) И ПРАВИЛА ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

I. Шкала скидок и надбавок

Величина средневзвешенного коэффициента мощности (за месяц)	Размер скидки с тарифа на электроэнергию, %	Размер надбавки к тарифу на электроэнергию, %	Величина средневзвешенного коэффициента мощностн (за месяц)	Размер скидки с тарифа на электроэнергию, %	Размер надбавки к тарифу на электроэнергню, %
1	6	—	0,69	—	28,0
0,99	6	—	0,68	—	31,0
0,98	6	—	0,67	—	34,0
0,97	6	—	0,66	—	37,0
0,96	6	—	0,65	—	40,0
0,95	6	—	0,64	—	43,0
0,94	4	—	0,63	—	46,0
0,93	2	—	0,62	—	49,0
0,92	—	—	0,61	—	52,0
0,91	—	—	0,60	—	55,0
0,90	—	—	0,59	—	58,0
0,89	—	1,5	0,58	—	61,0
0,88	—	2,0	0,57	—	64,0
0,87	—	2,5	0,56	—	67,0
0,86	—	3,0	0,55	—	70,0
0,85	—	3,5	0,54	—	73,0
0,84	—	4,0	0,53	—	76,0
0,83	—	4,5	0,52	—	79,0
0,82	—	5,0	0,51	—	82,0
0,81	—	5,5	0,50	—	85,0
0,80	—	7,0	0,49	—	88,0
0,79	—	8,5	0,48	—	91,0
0,78	—	10,0	0,47	—	94,0
0,77	—	11,5	0,46	—	97,0
0,76	—	13,0	0,45	—	100,0
0,75	—	14,5	0,44	—	103,0
0,74	—	16,0	0,43	—	106,0
0,73	—	17,5	0,42	—	109,0
0,72	—	19,0	0,41	—	112,0
0,71	—	22,0	0,40	—	115,0
0,70	—	25,0			

II. Правила применения шкалы скидок и надбавок за коэффициент мощности *

1. Шкала скидок и надбавок за коэффициент мощности электроустановок применяется к промышленным предприятиям с присоединенной мощностью трансформаторов (электродвигателей) 100 *ква* и более, получающим электроэнергию от электростанций совнархозов, в том числе через сети коммунального хозяйства, и оплачивающим ее по двухставочным или одноставочным тарифам.

При оплате электроэнергии по двухставочному тарифу скидки и надбавки исчисляются как с основной, так и с дополнительной платы за электроэнергию.

Шкала скидок и надбавок и правила применения этой шкалы не распространяются на расчеты за электроэнергию с оптовыми потребителями (городами-перепродавцами и с конторами Главсельэлектро).

2. Размеры скидок и надбавок за достигнутый потребителем средневзвешенный коэффициент мощности определяются по шкале в зависимости от величины коэффициента мощности.

3. Определение величины средневзвешенного коэффициента мощности электроустановок производится на границе раздела электросети организации, снабжающей электроэнергией, и потребителя на основании показаний счетчиков активной и реактивной энергии с учетом расхода электроэнергии на освещение производственных и непроизводственных (связанных с производством) помещений: цехов, заводоуправлений, фабрично-заводских комитетов, складов, гаражей, конюшен и т. д., собственных железнодорожных подъездных путей и территорий предприятий.

В случае временного отсутствия счетчиков энергии средневзвешенный коэффициент мощности определяется согласно инструкции б. Министерства электростанций.

4. Установка на предприятиях компенсирующего оборудования (статических конденсаторов, синхронных компенсаторов и пр.) производится только с разрешения энергосистемы.

5. За повышение средневзвешенного коэффициента мощности электроустановок сверх величины 0,92, производимое предприятиями с разрешения энергосистемы путем использования синхронных компенсаторов, генераторов промышленных электростанций и при помощи синхронизации асинхронных двигателей, скидка производится не по шкале, а в размере 0,25% за каждую 0,01 повышения коэффициента мощности электроустановок до максимальной величины, устанавливаемой энергосистемой.

Установка счетчиков реактивной энергии на указанном компенсирующем оборудовании обязательна.

Скидка не производится за превышение установленной максимальной величины коэффициента мощности электроустановок.

6. Предприятиям, имеющим коэффициент мощности электроустановок выше 0,92, обусловленный технологией производства, скидка

---

* В настоящее время рассматривается вопрос об учете коэффициента мощности в часы суточного максимума нагрузки энергосистемы и необходимых изменениях действующей шкалы скидок и надбавок за коэффициент мощности для обеспечения его оптимального уровня.

производится не по шкале, а в размере 0,5% за каждую 0,01 повышения коэффициента мощности сверх величины, достигнутой в декабре 1957 г.

Для вновь вводимых в действие или реконструируемых предприятий с высоким коэффициентом мощности, обусловленным технологией производства, исходной является величина коэффициента мощности, предусмотренная проектом, но не ниже 0,92—0,95.

При понижении указанными предприятиями коэффициента мощности электроустановок ниже 0,9 предприятиям начисляется надбавка к тарифу на электроэнергию по шкале.

7. Энергосистема вправе устанавливать отдельным предприятиям, питающимся от шин электростанций или районных подстанций, имеющих мощные синхронные компенсаторы, пониженную величину коэффициента мощности в пределах 0,8—0,9, если использованы все возможности для увеличения коэффициента мощности за счет рационализации электрохозяйства, а установка специальных компенсирующих устройств не разрешается вследствие избытка реактивной мощности.

В этом случае, при соблюдении установленной энергосистемой величины коэффициента мощности электроустановок, потребители освобождаются от надбавки к тарифу на электроэнергию.

При снижении потребителем установленной величины средневзвешенного коэффициента мощности электроустановок применяется шкала скидок и надбавок.

8. Режим и график работы генераторов блок-станций потребителей, синхронных компенсаторов и других компенсирующих устройств, могущих отдавать реактивную энергию в районную сеть, устанавливаются энергосистемой.

Отдача в сеть энергосистемы потребителем или блок-станцией излишней реактивной энергии производится только с согласия энергетической системы. В такого рода случаях должны быть установлены счетчики реактивной энергии со стопорами для отдельного учета получаемой и отдаваемой в сеть энергосистемы реактивной энергии.

Поступившая в сеть энергосистемы реактивная энергия оплачивается энергосистемой по плановой себестоимости энергосистемы.

Калькуляция себестоимости реактивной энергии у потребителя или блок-станции должна быть согласована с Совнархозом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер А. Я., Методы повышения коэффициента мощности асинхронных двигателей и их синхронизация, НТОЭП, Госэнергоиздат, 1956.

2. Касаткина А. С., Перекалин М. А., Электротехника, Госэнергоиздат, 1961.

3. Константинов Б. А., Улучшение коэффициента мощности и регулирование напряжения на промышленных предприятиях, ЛДНТП, 1963.

4. Литвак Л. В., Рациональная компенсация реактивных нагрузок на промышленных предприятиях, Госэнергоиздат, 1963.

5. Поляков Б. А., Конденсаторные установки для повышения коэффициента мощности, Госэнергоиздат, 1962.

6. Тайц А. А., Мешель Б. С., Регулирование напряжения и реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1960.

7. Телешев Б. А., Электротехника, Госэнергоиздат, 1963.

8. Федоров А. А., Электроснабжение промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1961.

9. Правила устройства электроустановок, «Энергия», 1964.

10. Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1961.

11. Руководящие указания по повышению коэффициента мощности в установках потребителей электроэнергии, Госэнергоиздат, 1961.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Коэффициент мощности и экономия электроэнергии . . 3
2. Понятие о коэффициенте мощности 4
3. Причины и последствия низкого значения коэффициента мощности 9
4. Способы повышения коэффициента мощности приемников электроэнергии 13
5. Способы повышения коэффициента мощности с помощью специальных компенсирующих устройств 24
6. Установка и эксплуатация косинусных конденсаторов . 50
7. Пути дальнейшего улучшения коэффициента мощности на промышленных предприятиях 54

Приложение. Шкала скидок с тарифа и надбавок к тарифу на электроэнергию за коэффициент мощности электроустановок и правила ее применения 58

Константинов Борис Алексеевич
Соколова Клавдия Ивановна
Шулятьева Галина Николаевна

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ
И СПОСОБЫ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ

М.—Л., издательство «Энергия», 1965
62 стр. с рис.
Бланк-заказ № 16, 1965 г. № 15.

Редактор *Т. Д. Раскина*
Техн. редактор *О. С. Житникова*

Сдано в производство 27/VIII 1965 г.
Подписано к печати 14/VII 1965 г.
М-45706. Печ. л. прив. 3,36.
Уч.-изд. л. 3,1. Бум. л. 1.
Формат 84×108¹/₃₂. Тираж 16 000 экз.
Цена 11 коп. Заказ 1875.

Ленинградская типография № 1
«Печатный Двор» им. А. М. Горького
Главполиграфпрома Государственного
комитета Совета Министров СССР
по печати, Гатчинская ул., 26.

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Вышли из печати

Юриков П. А., Защита изоляции от атмосферных перенапряжений (Трубчатые разрядники). Вып. 157.
Каминский Е. А., Как сделать проект небольшой электроустановки. Вып. 158.
Дадиомов М. С., Управление осветительными сетями. Вып. 159.
Лейбзон Я. И. и Милич М. Б., Регулируемые электроприводы переменного тока с индукторными муфтами скольжения. Вып. 160.
Ермилов А. А., Электроснабжение промышленных предприятий. Вып. 161.
Зак С. М., Монтаж светильников с газоразрядными лампами. Вып. 162.
Овчинников В. В., Электромагнитные реле тока и напряжения. Вып. 163.
Голубев М. Л., Релейная защита и автоматика подстанций с короткозамыкателями и отделителями. Вып. 164.
Живов М. С., Индустриальный монтаж осветительных электроустановок. Вып. 165.
Барзам А. Б., Как читать схемы релейной защиты и электроавтоматики. Вып. 166.
Карпов Ф. Ф., Как выбрать сечение проводов и кабелей, изд. 2. Вып. 167.
Дидух Ю. И. и Кутьин А. И., Автоматическое управление наружным освещением. Вып. 168.

Готовятся к печати

Епишин В. Ф., Резка проводов и тросов.
Иевлев В. И. и Карягин А. Г., Монтаж распределительных устройств на тепловых электростанциях.
Минин Г. П., Измерение мощности, изд. 2.
Рабинович Г. А. и Ситниковский А. Я., Автоматизация ленточных конвейеров.
Сидлик Л. З., Измерения при наладке воздушных выключателей.
Чернев К. К., Безопасные способы работы в электроустановках.
Шуров В. М., Монтаж, наладка и обслуживание регуляторов.

Издательство заказов на книги не принимает и книг не высылает.

Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга — почтой».

Цена 11 коп.