

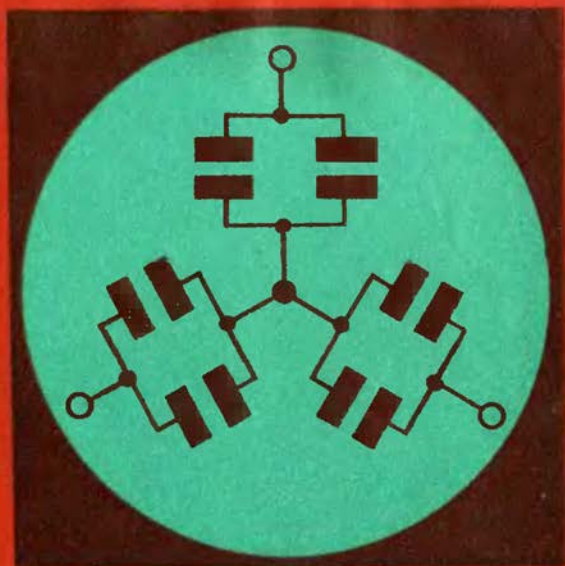
Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

6П72-1-082

а

И 49

31.2



В. П. ИЛЛЯШОВ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК



~~6П2-082~~

Библиотека
Э.Т. ТРОМОНТЕРА

И 49

31.2

Выпуск 451

В. П. ИЛЬЯШОВ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

302189 01

Ир82

та



МОСКВА
«ЭНЕРГИЯ»
1977



К

6П 2.10

И 49

УДК 621.319.4.072.8

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Зевакин А. И., Каминский Е. А., Ларионов В. П.,
Мусаэлян Э. С., Розанов С. П., Семенов В. А., Синьчугов Ф. И.,
Смирнов А. Д., Соколов Б. А., Устинов П. И.

ВАСИЛИЙ ПЕТРОВИЧ ИЛЬЯШОВ АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Редактор В. В. Красник

Редактор издательства И. П. Березина

Обложка художника В. В. Карпова

Художественный редактор Н. П. Стрельцов

Технический редактор Н. А. Галанчева

Корректор И. А. Володяева

ИБ № 390

Сдано в набор 8/VII 1976 г.

Подписано к печати 28/I 1977 г.

Т-03440 Формат 84 × 108¹/₃₂

Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 5,46

Уч.-изд. л. 5,70

Тираж 20 000 экз.

Зак. 344

Цена 21 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 13 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли. 107005. Москва, В-5, Денисовский пер., 30.

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНТИ,
Люберцы, Октябрьский пр-кт 403 Заказ 2658.

Ильяшов В. П.

И 49 Автоматическое регулирование мощности кон-
денсаторных установок. Изд. 2-е, перераб. и доп.
М., «Энергия», 1977.

104 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 451)

В книге рассматривается автоматическое регулирование мощности
конденсаторных установок промышленных предприятий в зависимости
от характера нагрузок и требований к качеству напряжения в элек-
тросетях. Рассмотрены вопросы монтажа и эксплуатации устройств
автоматического регулирования. Первое издание вышло в 1966 г. Во
втором издании рассмотрены новые технические решения по автома-
тическим управляемым компенсирующим устройствам.

Книга рассчитана на электромонтеров, мастеров, бригадиров, за-
нимающихся монтажом и эксплуатацией электроустановок.

И 30312-055
051(01)-77 39-76

6П2.10

© Издательство «Энергия», 1977

ПРЕДИСЛОВИЕ

При наращивании мощности электростанций и повышении потребления электроэнергии в народном хозяйстве СССР обращается особое внимание на улучшение качества электроэнергии и рациональное ее расходование.

Одним из основных мероприятий по улучшению качества электроэнергии и ее экономии является компенсация реактивной мощности электрических установок конденсаторами. Это повышение достигается выработкой реактивного тока. Компенсировать реактивную мощность экономически выгодно в той же сети (на том же напряжении), где она потребляется, при этом будут минимальные потери энергии, а следовательно, потребуются меньшие мощности трансформаторов. Для поддержания наиболее выгоднейшего режима работы промышленного предприятия целесообразно осуществлять устройства, автоматически регулирующие мощность конденсаторных установок в зависимости от времени суток, изменения тока или напряжения.

Автоматическое регулирование мощности компенсирующих устройств является средством получения дополнительной экономии от уменьшения потерь энергии в электрических сетях. Учитывая более низкие удельные стоимости конденсаторных установок и малые потери в них по сравнению с потерями в синхронных компенсаторах, а также возможность установки конденсаторов практически в любой точке сети и на любую необходимую автоматически регулируемую мощность, конденсаторные установки в перспективе должны получить широкое внедрение.

В связи с большой потребностью в конденсаторных установках с автоматическим регулированием их мощности постоянно ведется работа по их усовершенствованию. Во 2-м издании книги переработаны и дополнены отдельные разделы в связи с выпуском комплектных устройств автоматического регулирования типа АРКОН, ВАКО и др. Рассмотрены новые технические решения по управляемым быстродействующим источникам реактивной мощности. Учтены новые «Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях».

Все замечания и пожелания по книге просьба направлять в адрес издательства «Энергия» по адресу: 113114 Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Автор

1. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Основными потребителями электроэнергии на промышленных предприятиях являются индуктивные приемники, главным образом асинхронные электродвигатели и трансформаторы. Для работы этих приемников требуется создание переменного магнитного поля, для чего необходим намагничивающий (реактивный ток). Поэтому в электросетях переменного тока кроме активной мощности, необходимой для обеспечения работы электроприемников, происходит передача реактивной мощности. Покрытие реактивной, как и активной мощности осуществляется генераторами электростанций.

Для экономического режима работы системы электроснабжения необходимо стремиться к уменьшению передаваемой реактивной мощности по электросетям как путем улучшения режима работы электроприемников, упорядочения технологического процесса и др., так и путем установки специальных компенсирующих устройств. К основным компенсирующим устройствам относятся конденсаторы для повышения коэффициента мощности, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели, выпрямители с опережающим углом сдвига фаз тока относительно напряжения, новые статические управляемые компенсирующие устройства (вентильные и ферромагнитные) и др.

В настоящей книге рассматриваются не все мероприятия по компенсации реактивной мощности, а только вопросы использования конденсаторных установок, подключаемых параллельно элементам электросетей. Применение конденсаторных установок не только дает возможность повысить степень компенсации реактивной мощности до требуемой величины и уменьшить потери электроэнергии в элементах сети электроснабжения, но является наряду с другими мероприятиями средством регулирования напряжения в различных точках электросети и повышения качества электроэнергии.

При включении конденсаторной установки параллельно с электроприемником (рис. 1), имеющим недостаточно высокий коэффициент мощности, результирующий угол сдвига фаз φ_2 , как видно из векторной диаграммы, будет меньше угла сдвига фаз φ_1 электроприемника, и реактивная составляющая тока I_2 в неразветвленной цепи, представляющая собой геометрическую сумму токов конденсаторной установки I_C и реактивной составляющей тока I_1 электроприемника, также будет меньше, а коэффициент мощности будет выше. Таким образом, присоединение конденсаторной установки параллельно с электроприемником повышает его коэффициент мощности.

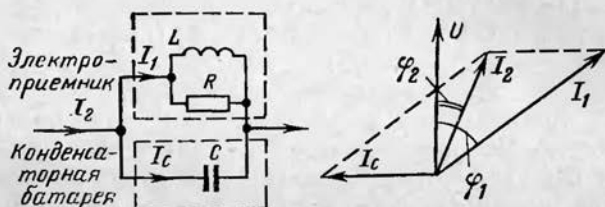


Рис. 1. Схема и векторная диаграмма электрической цепи с конденсаторной установкой.

Реактивная мощность трехфазной конденсаторной установки, соединенной треугольником, определяется по формуле, квар:

$$Q_{\Delta} = \omega C U^2 \cdot 10^{-3},$$

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; C — суммарная емкость всех трех фаз установки, мкФ; U — линейное напряжение, кВ.

Например, реактивная мощность трехфазной конденсаторной установки напряжением 6,3 кВ, соединенной треугольником и состоящей из 24 конденсаторов емкостью 2 мкФ каждый, составит:

$$Q = 314 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6,3^2 \cdot 10^{-3} \approx 600 \text{ квар.}$$

При соединении трехфазной конденсаторной установки звездой реактивная мощность ее равна, квар:

$$Q_{\text{зв}} = \frac{1}{3} \omega C U^2 \cdot 10^{-3},$$

где C — сумма емкостей всех трех фаз, мкФ.

Из формулы видно, что соединение треугольником позволяет получить от конденсаторов одной и той же

емкости в 3 раза большую мощность, чем соединение звездой. Это следует из того, что с переходом к соединению треугольником напряжение на каждой фазе конденсатора повышается в отношении 1,73 раза, а мощность конденсатора пропорциональна квадрату напряжения сети. Необходимо иметь в виду, что потребность энергетической системы в реактивной мощности уменьшается при повышении уровня напряжения и увеличивается при его снижении. Особенно резко это сказывается при кратковременных снижениях напряжения в энергетической системе — при авариях, когда уменьшение реактивной мощности, вырабатываемой конденсаторами, отрицательно отражается на устойчивости электроснабжения.

Низкий коэффициент мощности при одной и той же активной мощности приводит к повышению тока, а следовательно, и к увеличению потери напряжения, что вызывает отклонение напряжения от номинального значения в системе электроснабжения и ухудшает режим работы электроприемников. Напряжение в электрической сети можно повысить, если подключить к ней компенсирующее устройство.

Например, при подключении к сети электроприемников напряжением 6 кВ конденсаторной установки мощностью 600 квар при реактивном сопротивлении сети от данной точки до источника питания $x \approx 2,4$ Ом (при расчетах достаточно учитывать сопротивление только элемента сети, ближайшего к установке) напряжение в сети повысится на

$$\Delta U = \frac{Qx \cdot 10^{-3}}{U} = \frac{600 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}}{6} = 0,24 \text{ кВ},$$

или

$$\Delta U \% = \frac{Qx}{10U^2} = \frac{600 \cdot 2,4}{10 \cdot 6^2} = 4\%.$$

Поскольку проблема компенсации реактивной мощности имеет народнохозяйственное значение, разработаны новые указания по компенсации реактивной мощности [1], в основу которых заложены принципиально новые положения с точки зрения проектирования, монтажа и эксплуатации компенсирующих устройств. Выбор средств компенсации реактивной мощности должен производиться одновременно с выбором всех элементов питающей и распределительной сетей для нормального и послеаварийного режимов работы; при этом должна

обеспечиваться наибольшая экономичность при соблюдении всех технических ограничений.

Критерием экономичности при выборе источников реактивной мощности и мест их размещения является минимум приведенных затрат на оборудование (коммутационная аппаратура, устройства регулирования и т. п.), установки компенсирующего устройства и оплату потерь электрической энергии в питающих и распределительных сетях. Повышение степени компенсации реактивной мощности приводит также к снижению установленной мощности генераторов электростанций, трансформаторов, уменьшению сечений проводов и кабелей и т. п. Выбор средств компенсации реактивной мощности следует производить для каждой проектируемой электроустановки отдельно, исходя из конкретных условий ее работы, учитывая при этом, что наибольший экономический эффект достигается при их размещении как можно ближе к электроприемникам потребляющим реактивную мощность.

Распределять конденсаторные установки на разных ступенях электроснабжения промышленного предприятия следует на основании технико-экономических расчетов. Место установки регулируемых конденсаторных установок в сетях напряжением до 1000 В должно определяться с учетом требований регулирования напряжения сети или регулирования реактивной мощности. При составлении баланса реактивной мощности по узлам сети в нормальных режимах ее работы следует учитывать возможность увеличения потребления реактивной мощности при регулировании напряжения, для чего необходимо предусматривать резерв реактивной мощности в узлах этих сетей.

2. СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Рост активных нагрузок электросетей промышленных предприятий сопровождается потреблением реактивной мощности. Ее увеличение в элементах сети приводит к увеличению диапазонов изменения напряжения в различных ее точках; компенсация реактивной мощности должна решаться одновременно с вопросом регулирования напряжения в сети. Для этих целей получили

широкое распространение конденсаторные установки, размещаемые в любых точках распределительных сетей напряжением 0,22—10 кВ в непосредственной близости к месту потребления реактивной мощности. При этом можно или полностью отказаться от регулируемых под нагрузкой цеховых трансформаторов, или значительно уменьшить их диапазон регулирования, что приводит к снижению потерь энергии в сетях и улучшению качества напряжения у электроприемников.

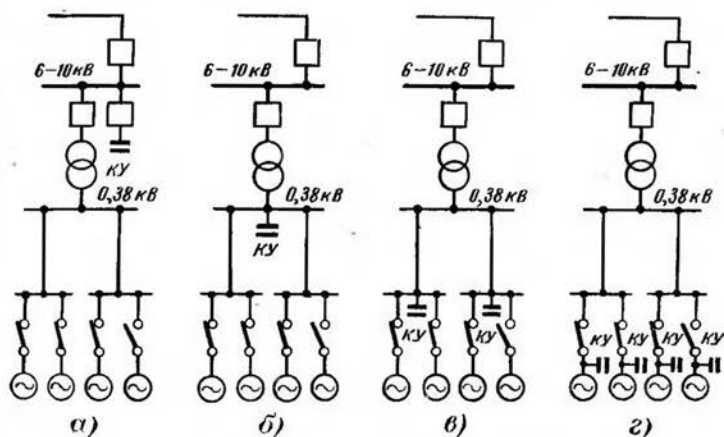


Рис. 2. Способы компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий.

а — централизованная на стороне высшего напряжения; *б* — централизованная на стороне низшего напряжения; *в* — групповая; *г* — индивидуальная

Для покрытия реактивной мощности конденсаторами в сетях промышленных предприятий получили распространение централизованная, групповая и индивидуальная виды компенсации (рис. 2). При централизованной компенсации на стороне высшего напряжения (рис. 2, *а*), когда конденсаторная установка присоединяется к шинам 6—10 кВ трансформаторной подстанции, получается хорошее использование конденсаторов, их требуется меньше и стоимость 1 квар установленной мощности получается минимальной по сравнению с другими способами. При компенсации по этой схеме разгружаются от реактивной мощности только расположенные выше звенья энергосистемы, а внутривозовские

распределительные сети и даже трансформаторы подстанции остаются не разгруженными от реактивной мощности, а следовательно, потери энергии в них не уменьшаются и мощности трансформаторов на подстанции не могут быть уменьшены.

При централизованной компенсации на стороне низшего напряжения (рис. 2, б), когда конденсаторная установка присоединяется к шинам 0,38 кВ трансформаторной подстанции, от реактивной мощности разгружаются не только вышерасположенные сети 6—10 кВ, но и трансформаторы на подстанции, однако внутриводские распределительные сети 0,38 кВ остаются неразгруженными.

При групповой компенсации (рис. 2, в), когда конденсаторные установки устанавливаются в цехах и присоединяются непосредственно к цеховым распределительным пунктам (РП) или шинам 0,38 кВ, разгружаются от реактивной мощности и трансформаторы на подстанции и питательные сети 0,38 кВ. Неразгруженными остаются только распределительные сети к отдельным электроприемникам. В целях равномерного распределения компенсирующих устройств целесообразно подключать конденсаторную установку к шинам РП таким образом, чтобы реактивная нагрузка этого РП составляла более половины мощности подключаемой конденсаторной установки.

При индивидуальной компенсации (рис. 2, г), когда конденсаторная установка подключается непосредственно к зажимам потребляющего реактивную мощность электроприемника, что является основным требованием создания реактивной мощности по возможности ближе к месту ее потребления, такой способ будет наиболее эффективным в отношении разгрузки от реактивной мощности питательной и распределительной сетей, трансформаторов и сетей высшего напряжения. При индивидуальной компенсации происходит саморегулирование выработки реактивной мощности, так как конденсаторные установки включаются и отключаются одновременно с приводными электродвигателями машин и механизмов.

Практически распространенными способами компенсации реактивной мощности электроснабжения промышленных предприятий является групповая компенсация, возможны также варианты комбинированного размеще-

ния конденсаторных установок. Определение наивыгоднейших решений выбора способа компенсации реактивной мощности производится на основании технико-экономических расчетов тщательных исследований производственных условий, факторов конструктивного характера и т. д. [1]. При выборе места размещения конденсаторной установки в распределительной сети необходимо учитывать ее влияние на режим напряжения и величину потерь энергии в сети. Как правило, компенсация реактивной мощности должна производиться в той же сети (на том же напряжении), где она потребляется, при этом будут минимальные потери энергии, а следовательно, и меньшие мощности трансформаторов.

При компенсации реактивной мощности необходимо также учитывать характер изменения нагрузки предприятия. Если нагрузка предприятия подвергается значительным колебаниям реактивной мощности, необходимо установить конденсаторную установку с автоматическим регулированием ее мощности. При загрузке большей части графика постоянной реактивной нагрузкой возможна установка соответствующей части постоянно включенной нерегулируемой конденсаторной установки, а остальную часть конденсаторной установки предусматривают с автоматическим регулированием ее мощности в зависимости от графика реактивной мощности предприятия.

Кроме установки специальных компенсирующих устройств для выравнивания графика реактивной нагрузки на предприятии необходимо стремиться к уменьшению передачи реактивной мощности по электрическим сетям естественными мерами: упорядочением технологического процесса, улучшением режима работы электроприемников и др. Особое внимание следует обратить на компенсацию реактивной мощности в сетях с резко переменными нагрузками, ртутными выпрямителями или другими преобразователями, которые создают высшие гармонические тока и напряжения, вредно отражающиеся на работе конденсаторов. В этих случаях необходимо предусматривать специальные защиты, которые отключают конденсаторные установки при возникновении высших гармоник, или специальные устройства (фильтры), ограничивающие действие гармоник.

3. ВЫБОР МОЩНОСТИ И РАЗМЕЩЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Критерием экономичности выбора и размещения компенсирующих устройств при проектировании и реконструкции распределительных сетей является минимум приведенных затрат [1]. При этом мощность компенсирующих устройств и место их размещения определяются одновременно с выбором других ее элементов и устройств для регулирования напряжения. Компенсация реактивной мощности должна обеспечить при наименьших затратах выполнение следующих обязательных условий работы сети и энергосистемы: устойчивость в нормальных и аварийных режимах, покрытие реактивных нагрузок сети, поддержание надлежащего уровня напряжения у электроприемников.

Для любого графика нагрузки промышленного предприятия необходим такой режим работы компенсирующих устройств, который обеспечил бы максимальное снижение суммарных потерь энергии, а график реактивной мощности отражал бы наибольшую степень компенсации. Выбор типа, места установки и режима работы компенсирующих устройств должен выполняться в соответствии с новыми «Указаниями по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях» [1], содержащими рекомендации и преследующими цель обеспечения наибольшего экономического эффекта при выборе средств и степени компенсации реактивной мощности. Эти Указания распространяются на всех потребителей электроэнергии и являются обязательными для электроснабжающих организаций и организаций, проектирующих электроустановки, независимо от их ведомственной принадлежности.

Новые «Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях» ограничиваются задачей выбора средств компенсации реактивной мощности для режима прямой последовательности основной частоты. Вопросы использования средств компенсации для симметрирования и регулирования напряжения сети, а также для снижения высших гармоник в Указаниях не рассматриваются.

Для упрощенных расчетов применяют графический способ [3], с помощью которого можно при отсутствии подробных данных определить мощность компенсирую-

щего устройства. По номограмме, приведенной на рис. 3, представлены удельные величины потребной мощности на 1 кВт активной нагрузки в зависимости от величины естественного $\cos \varphi_1$ до компенсации и требуемой величины $\cos \varphi_2$, полученной в результате компенсации.

Например, если естественный $\cos \varphi_1 = 0,7$, а заданная величина $\cos \varphi_2 = 0,93$ и активная нагрузка составляет 800 кВт, то по кривым номограммы находим удельную величину потребной мощности конденсаторной установки, равную 0,62 квар/кВт; отсюда потребная мощность конденсаторной установки получается $0,62 \cdot 800 = 496$ квар.

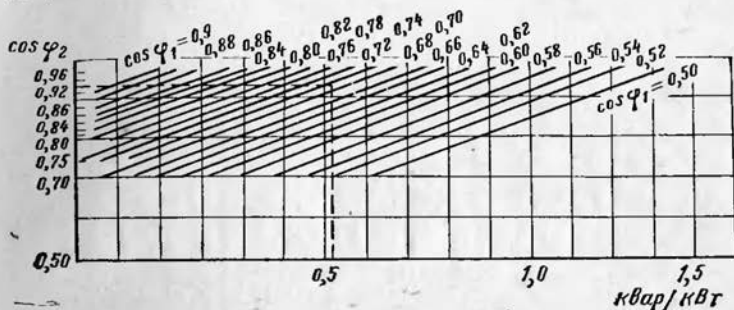


Рис. 3. Номограмма для выбора потребной мощности компенсирующих устройств.

Такое определение мощности компенсирующего устройства может оказаться необходимым в условиях эксплуатации для включения или отключения конденсаторной установки в данном режиме потребления электрической энергии.

После выбора мощности компенсирующих устройств и целесообразности их распределения в сети 380 В или 6—10 кВ и в соответствии с технико-экономическими расчетами необходимо рассмотреть вопрос о размещении этих устройств в пределах цехов или предприятий. Применительно к действующим стандартным мощностям комплектных конденсаторных установок они могут быть либо установлены у цеховых групповых распределительных пунктов, либо присоединены к магистральным шинопроводам и т. п.

На рис. 4 приведена схема электроснабжения района вспомогательных цехов металлургического завода, в состав которого входят литейный цех, блок цехов кузнечного, механического, термонаплавочного, деревообрабатывающего и др.

Питание всех потребителей района осуществляется через центральную распределительную подстанцию ЦРП по радиальным кабельным линиям на напряжении 6 кВ. К разным секциям РУ 6 кВ ЦРП присоединяются комплектные однотрансформаторные и двухтрансформаторные подстанции (КТП) для питания отдельных цехов, РУ 6 кВ дуговой печи ДСП-6 и трансформа-

Рис. 4. Схема электроснабжения района вспомогательных цехов металлургического завода на напряжение 6 кВ и 380 В.

Представляется целесообразным заводам-изготовителям в КТП включать поставку и конденсаторных установок усредненной мощности, подключенных непосредственно к шинам низкого напряжения КТП.

При равномерном графике активной и реактивной нагрузок и трехфазной работе можно устанавливать на стороне 6—10 кВ нерегулируемые конденсаторные установки. При неравномерном, плавно изменяющемся графике активных и реактивных нагрузок при трехфазной работе необходимо устанавливать на стороне 6—10 кВ, как правило, конденсаторные установки со ступенчатым автоматическим регулированием их мощности. При резкопеременных ударных циклических нагрузках (мощные прокатные станы, дуговые электрические печи и т. п.) рекомендуется предусматривать применение на стороне 6—10 кВ новых быстродействующих источников реактивной мощности.

Однако вопросы ограничения влияния электроприемников с резкопеременной ударной нагрузкой на качество напряжения необходимо решать комплексно совместно с выбором типа и параметров электроприводов и системы электроснабжения.

При решении задачи выбора мощности конденсаторных установок и размещения их в распределительных сетях необходимо учитывать номинальное напряжение сети, где предполагается их установка; допустимые колебания напряжения в сети; график потребляемой реактивной мощности и характеристики основных потребителей данной сети; отключающую способность коммутационной аппаратуры; возможность возникновения резонансных явлений; применение автоматического регулирования мощности конденсаторных установок; потребность в реактивной мощности не только в системе в целом, но и для всего района с соответствующим учетом необходимого резерва; номенклатуру выпускаемых заводами комплектных конденсаторных установок; возможность сочетания регулирования напряжения с помощью трансформаторов с РПН и конденсаторных установок.

Управляемые конденсаторные установки напряжением ниже 1000 В могут оказаться более экономичными вследствие их большего технико-экономического эффекта и меньшей стоимости коммутационной аппаратуры. В сетях же напряжением выше 1000 В удельная стоимость самих конденсаторов ниже, а стоимость коммутационной аппаратуры для автоматического управления секциями значительно выше. Частота включений и отключений секций конденсаторных установок при

прочих равных условиях больше для сетей напряжением до 1000 В и меньше для конденсаторных установок, присоединяемых к сетям напряжений выше 1000 В.

Совместное использование регулирующего и компенсирующего эффектов рассредоточенных конденсаторных установок малой и средней мощности более экономично, чем использование крупных конденсаторных установок. При выборе мощности компенсирующих устройств следует учитывать, что чрезмерное дробление мощности конденсаторных установок приводит соответственно и к значительному увеличению необходимой аппаратуры управления, измерения и др.

Для сети напряжением до 1000 В применяются следующие типы конденсаторных установок УК-0,38-НУЗ мощностью 220; 320; 430 и 540 квар с аппаратурой дистанционного управления. Установки могут работать в режиме автоматического или ручного (кнопочного) управления. Выбор режима управления осуществляется переключателем.

В автоматическом режиме управление осуществляется автоматическим регулятором конденсаторных установок типа АРҚОН. При ручном управлении командный блок регулятора АРҚОН отключается, а включение и отключение конденсаторных ячеек производится кратковременным нажатием кнопки через приставки П-АРҚОН.

Установки типа УК-0,38-110-НУЗ мощностью 110 квар работают в режиме автоматического или ручного управления. При работе в автоматическом режиме включение и отключение конденсаторов производится в зависимости от отклонения напряжения сети за пределы уставок.

Установки типа УК-0,38-УЗ мощностью 36, 54, 72, 108 и 144 квар предназначены для групповой компенсации реактивной мощности в осветительных сетях напряжением 380 В с лампами ДРЛ и люминесцентными лампами, подключаемыми непосредственно без выключателей к осветительным сетям.

На напряжения 6 и 10 кВ рекомендуется применять конденсаторные установки типа УК-6 (10) мощностью в единице 450, 600, 750, 1050 и 1200 квар с присоединением через отдельный выключатель, а также со встроенным вакуумным выключателем типа ВНВ-10/320 для дистанционного и автоматического управления конден-

саторными установками мощностью 600, 900, 1200 и 1800 квар.

При напряжении 35 кВ ввиду значительной стоимости выключателей высокого напряжения присоединение конденсаторной установки при мощности ступени менее 2500 квар неэкономично. Применение мощных конденсаторных установок напряжением до 35 кВ возможно, и по своим технико-экономическим показателям они в ряде случаев превосходят синхронные компенсаторы. Если учесть, что применение синхронных компенсаторов мощностью менее 37,5 МВ·А неэкономично из-за больших потерь энергии в них, то применение в системе электроснабжения промышленных предприятий мощных конденсаторных установок 5—10—15 Мвар наружной установки напряжением до 35 кВ заслуживает особого внимания.

По сравнению с другим электрическим оборудованием конденсаторы имеют небольшие удельные потери: 0,3—0,45% номинальной мощности, т. е. 3—4,5 Вт на 1 квар, и в зоне нормальных температур почти постоянны.

Потери активной мощности в конденсаторах определяются по формуле

$$\Delta P = \operatorname{tg} \delta Q,$$

где Q — мощность конденсаторной установки, квар;
 $\operatorname{tg} \delta$ — удельные потери, для конденсаторов напряжением

Таблица 1

Потери активной мощности в конденсаторных установках

КУ 0,38 кВ			КУ 6—10 кВ		
Мощность установки, квар	Удельные потери, кВт/квар	Общие потери, кВт	Мощность установки, квар	Удельные потери, кВт/квар	Общие потери, кВт
75	0,0045	0,34	300	0,003	0,9
100	0,0045	0,45	450	0,003	1,35
150	0,0045	0,68	600	0,003	1,8
200	0,0045	0,9	750	0,003	2,25
300	0,0045	1,35	900	0,003	2,7
400	0,0045	1,8	1050	0,003	3,15
500	0,0045	2,25	1200	0,003	3,6
600	0,0045	2,7	1500	0,003	4,5
800	0,0045	3,6	2000	0,003	6,0
1000	0,0045	4,5	2500	0,003	7,5

выше 1000 В равны 0,003, для конденсаторов напряжением до 1000 В равны 0,0045.

Например, для конденсаторной установки 3—10 кВ мощностью 600 квар потери составляют $0,003 \cdot 600 = 1,8$ кВт.

Потери активной мощности в конденсаторных установках для различных мощностей и напряжение приведены в табл. 1.

4. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Ввиду малой мощности конденсаторов в единице они обычно соединяются в группы, секции и целые установки. В принципе не существует каких-либо препятствий, ограничивающих получение конденсаторных установок на любую мощность и на любое напряжение, и они могут выполняться как однофазными, так и трехфазными с параллельным или параллельно-последовательным соединением конденсаторов. Соединение конденсаторов в установках выполняется в виде двух основных схем — треугольником или звездой. Выбор той или иной схемы соединений конденсаторов зависит от различных факторов технического и конструктивного характера.

Конденсаторы напряжением 220, 380, 500 и 600 В изготавливаются в основном в трехфазном исполнении, но по отдельным заказам могут изготавливаться и в однофазном. Трехфазные конденсаторы соединяются только

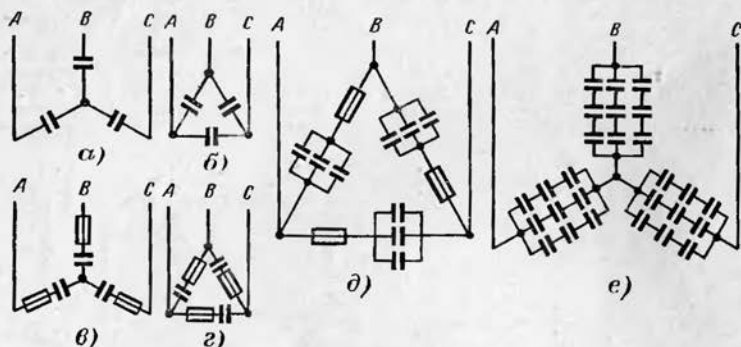


Рис. 5. Схемы соединений конденсаторных установок.
а, в, е — звездой; б, г, д — треугольником.

треугольником (рис. 5, б, г), а однофазные могут соединяться как звездой, так и треугольником (рис. 5, а, в, д, е). Однофазные конденсаторы применяются в сетях для индивидуальных однофазных электроприемников (электрические печи и др.).

В осветительных и силовых сетях напряжением 220 и 380 В применяют главным образом трехфазные конденсаторные установки с параллельным соединением конденсаторов, соединенных по схеме треугольника. В осветительных сетях трехфазные конденсаторные установки обычно подключаются непосредственно (без выключателя) к групповым линиям этих сетей после выключателя (рис. 6, а). В силовых сетях трехфазные конденсаторные установки могут подключаться как непосредственно под общий выключатель с электроприемником (рис. 6, б), так и через отдельный выключатель к шинам распределительных щитов напряжением 380 В (рис. 6, в, г, д).

При необходимости комплектования конденсаторной установки напряжением 380 В большой мощности применяются секционированные схемы, состоящие из нескольких отдельных секций конденсаторных установок, которые через свой выключатель подключаются к шинам распределительного щита напряжением 380 В.

Конденсаторы напряжением 1,05; 3,15; 6,3 и 10,5 кВ изготавливаются только в однофазном исполнении и могут соединяться в схемах конденсаторных установок как по схеме треугольника (рис. 7, а) с предохра-

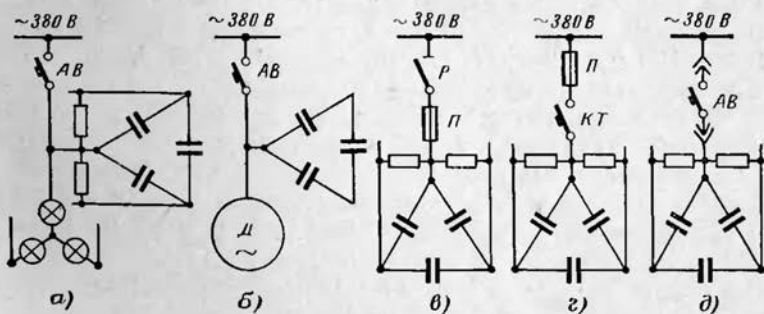


Рис. 6. Схемы присоединения конденсаторных установок напряжением 380 В.

а, б — с общим выключателем; в — с рубильником и предохранителем; г — с предохранителем и контактором; д — с автоматическим выключателем.

лями индивидуальной защиты конденсаторов, так и по схеме звезды и двойной звезды (рис. 7, б, в). Благодаря появлению высококачественных материалов, синтетических хлорированных пропитывающих жидкостей и совершенствованию технологии изготовления конденсаторов промышленностью разработана единая серия (I, II, III и IV) конденсаторов с улучшенными удельными характеристиками. Для всех серий эти конденсаторы изготавливаются двух габаритов: для первого — с высотой

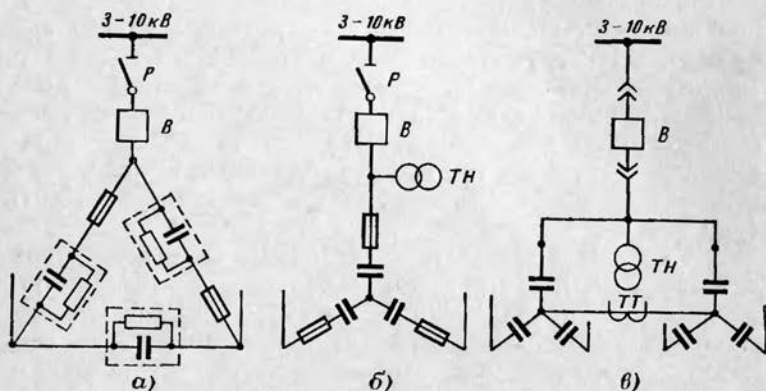


Рис. 7. Схемы присоединения конденсаторных установок напряжением 3—10 кВ.

а — с выключателем и конденсаторами со встроенными разрядными сопротивлениями; б — с выключателем и трансформаторами напряжения для разряда; в — в виде двойной звезды с выкатным выключателем.

бака без изолятора 325 мм; для второго — 640 мм. Размеры основания корпуса конденсатора составляют 380×120 мм для напряжений 0,22—10,5 кВ. Мощность конденсатора в единице 50—100 квар.

Шкала напряжений и мощности конденсаторов имеет широкий диапазон, допускающий комплектовать конденсаторные установки на различные напряжения и мощности. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50 Гц выпускаются в соответствии с ГОСТ 1282-72. Основные технические данные конденсаторов напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц приведены в табл. 2. Основные технические данные конденсаторов напряжением выше 1000 В, частотой 50 Гц приведены в табл. 3.

Таблица 2

Основные технические данные конденсаторов до 1000 В, частотой 50 Гц

Тип конденсатора	Напря- жение, кВ	Мощ- ность, квар	Емкость, мкФ	Общая высота, мм
Конденсаторы серии I				
КМ1-0,22-4,5-3У3	0,22	4,5	296	404
КМ1-0,38-13-3У3	0,38	13	286	404
КМ1-0,5-13-3У3	0,5	13	165	404
КМ1-0,66-13-3У3	0,66	13	95	418
КМ2-0,22-9-3У3	0,22	9	592	719
КМ2-0,38-26-3У3	0,38	26	572	719
КМ2-0,5-26-3У3	0,5	26	330	719
КМ2-0,66-26-3У3	0,66	26	190	733
Конденсаторы серии II				
КС1-0,22-6-3У3	0,22	6	395	410
КС1-0,38-18-3У3	0,38	18	397	410
КС1-0,5-18-3У3	0,5	18	229	410
КС1-0,66-20-3У3	0,66	20	146	424
КС1-0,22-6-3У1	0,22	6	395	472
КС1-0,38-14-3У1	0,38	14	309	472
КС1-0,5-14-3У1	0,5	14	178	472
КС1-0,66-16-3У1	0,66	16	117	472
КС2-0,22-12-3У3	0,22	12	790	725
КС2-0,38-36-3У3	0,38	36	794	725
КС2-0,5-36-3У3	0,5	36	458	725
КС2-0,66-40-3У3	0,66	40	292	739
КС2-0,22-12-3У1	0,22	12	790	787
КС2-0,38-28-3У1	0,38	28	618	787
КС2-0,5-28-3У1	0,5	28	357	787
КС2-0,66-32-3У1	0,66	32	234	787
Конденсаторы серии III				
КС1-0,22-8-3У3	0,22	8	526	410
КС1-0,38-25-3У3	0,38	25	551	410
КС1-0,66-25-3У3	0,66	25	183	418
КС1-0,22-8-3У1	0,22	8	526	472
КС1-0,38-20-3У1	0,38	20	442	472
КС1-0,66-20-3У1	0,66	20	146	466
КС2-0,22-16-3У3	0,22	16	1052	725
КС2-0,38-50-3У3	0,38	50	1102	725
КС2-0,66-50-3У3	0,66	50	366	739
КС2-0,22-16-3У1	0,22	16	1052	787
КС2-0,38-40-3У1	0,38	40	884	787
КС2-0,66-40-3У1	0,66	40	292	787

Примечания: 1. 3У3 — конденсаторы трехфазные внутренней установки, 3У1 — наружной установки.

2. Масса конденсаторов всех типов первого габарита (КС1) 30 кг, второго габарита (КС2) 60 кг.

Таблица 3

Основные технические данные конденсаторов выше 1000 В, частотой 50 Гц

Тип конденсатора	Напря- жение, кВ	Мощность, квар	Емкость, мкФ	Общая высота, мм
Конденсаторы серии I				
KM1-3,15-13-2У3	3,15	13	4,2	441
KM1-6,3-13-2У3	6,3	13	1,0	471
KM1-10,5-13-2У3	10,5	13	0,4	526
KM1-3,15-12-2У1	3,15	12	3,8	466
KM1-6,3-12-2У1	6,3	12	1,0	506
KM1-10,5-12-2У1	10,5	12	0,35	546
KM2-3,15-26-2У3	3,15	26	8,4	756
KM2-6,3-26-2У3	6,3	26	2,1	786
KM2-10,5-26-2У3	10,5	26	0,8	841
KM2-3,15-24-2У1	3,15	24	7,7	781
KM2-6,3-24-2У1	6,3	24	1,9	821
KM2-10,5-24-2У1	10,5	24	0,7	861
Конденсаторы серии III				
KC1-1,05-37,5-2У3	1,05	37,5	108	418
KC1-3,15-37,5-2У3	3,15	37,5	12	441
KC1-6,3-37,5-2У3	6,3	37,5	3	471
KC1-10,5-37,5-2У3	10,5	37,5	1	526
KC1-1,05-30-2У1	1,05	30	86,7	466
KC1-3,15-30-2У1	3,15	30	10	466
KC1-6,3-30-2У1	6,3	30	2	506
KC1-10,5-30-2У1	10,5	30	1	546
KC2-1,05-75-2У3	1,05	75	217	739
KC2-3,15-75-2У3	3,15	75	24	756
KC2-6,3-75-2У3	6,3	75	6	786
KC2-10,5-75-2У3	10,5	75	2	841
KC2-1,05-60-2У1	1,05	60	173	787
KC2-3,15-60-2У1	3,15	60	19	787
KC2-6,3-60-2У1	6,3	60	5	821
KC2-10,5-60-2У1	10,5	60	2	861
Конденсаторы серии IV				
KC1-3,15-50-2У3	3,15	50	16	441
KC1-6,3-50-2У3	6,3	50	4	471
KC1-10,5-50-2У3	10,5	50	1,4	526
KC1-3,15-37,5-2У1	3,15	37,5	12	466
KC1-6,3-37,5-2У1	6,3	37,5	3	506
KC1-10,5-37,5-2У1	10,5	37,5	1,1	546
KC2-3,15-100-2У3	3,15	100	32,7	756
KC2-6,3-100-2У3	6,3	100	8	786
KC2-10,5-100-2У3	10,5	100	2,9	841
KC2-3,15-75-2У1	3,15	75	24	781
KC2-6,3-75-2У1	6,3	75	6	821
KC2-10,5-75-2У1	10,5	75	2,2	861

Примечания: 1. 2У3 — конденсаторы однофазные внутренней установки, 2У1 — наружной установки. 2. Масса конденсаторов всех типов первого габарита (KC1) 30 кг, второго габарита (KC2) 60 кг.

Для конденсаторных установок напряжением выше 10 кВ применяются схемы соединений фаз в звезду с параллельно-последовательным соединением однофазных конденсаторов в фазе. При последовательном соединении однофазных конденсаторов напряжение, приходящееся на один конденсатор, равно напряжению фазы установки, деленному на число последовательно включенных конденсаторов. Обычно это напряжение не совпадает точно с номинальным напряжением конденсаторов, поэтому при подсчете реактивной мощности конденсаторной установки необходимо учитывать отклонение фактической мощности конденсаторов от номинальных значений.

Фактическая реактивная мощность конденсатора Q , включенная в сеть с напряжением U_c , отличным от номинального напряжения конденсатора U_n , определяется следующим образом, квар:

$$Q = Q_n \left(\frac{U_c}{U_n} \right)^2,$$

где Q_n — номинальная мощность конденсатора, квар.

Если конденсатор типа КМ2-10,5 номинальной мощностью 26 квар подключить к шинам подстанции напряжением 10 кВ, то его фактическая мощность составит, квар:

$$Q = 26 \left(\frac{10}{10,5} \right)^2 = 23,6,$$

или соответственно 90% номинальной мощности конденсатора.

Таким образом, при установке конденсаторов необходимо учитывать фактический уровень напряжения в сети, к которой будут присоединяться конденсаторы. В условиях эксплуатации конденсаторных установок может возникнуть необходимость использовать при параллельно-последовательном соединении конденсаторы с различными напряжениями и мощностью. В этом случае необходимо соблюдать два условия:

1. При различных напряжениях и одинаковой мощности следует комплектовать конденсаторы в группы таким образом, чтобы ток во всех группах при последовательном соединении был равным и мог быть определен по формуле

$$I_{гр} = \frac{Q_1 m_1}{\sqrt{3} U_{1л}} = \frac{Q_2 m_2}{\sqrt{3} U_{2л}} = \frac{Q_3 m_3}{\sqrt{3} U_3},$$

где $Q_{1,2,3}$ — номинальная мощность одного конденсатора, квар; $m_{1,2,3}$ — количество конденсаторов, включенных в группе параллельно; $U_{1,2,3}$ — номинальное напряжение конденсаторов, кВ.

Например, необходимо скомплектовать конденсаторную установку для напряжения 6 кВ из имеющихся в наличии однофазных конденсаторов типа КМ-0,5 и КМ-1,05 мощностью по 25 квар в единице (рис. 8, а). Проверяем ток, проходящий по группам:

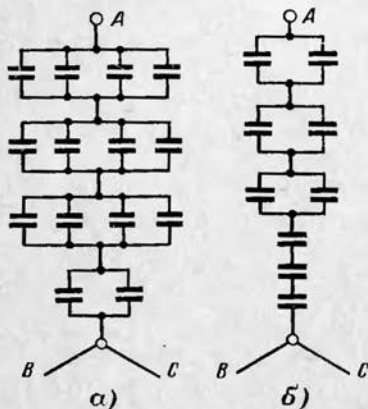


Рис. 8. Схемы соединений конденсаторных установок (одной фазы) при различном напряжении (а) или мощности (б) конденсаторов.

$$I = \frac{25 \cdot 4}{1,05} \approx \frac{25 \cdot 2}{0,5} = 100 \text{ А.}$$

2. При одинаковом напряжении, но различной мощности следует комплектовать конденсаторы в группы таким образом, чтобы мощность во всех группах была одинаковой и соответственно ток при последовательном соединении один и тот же. Количество параллельно соединенных конденсаторов

в группе в зависимости от их мощности будет различно.

Например, необходимо скомплектовать конденсаторную установку для напряжения 6 кВ из имеющихся в наличии однофазных конденсаторов типа КМ-0,66 мощностью 25 и 50 квар в единице (рис. 8, б). Проверяем ток, проходящий по группам:

$$I_{\text{гр}} = \frac{25 \cdot 2}{0,66} = \frac{50 \cdot 1}{1,66} = 76 \text{ А.}$$

В зависимости от наличия конденсаторов и необходимой мощности конденсаторной установки могут быть и другие комбинации параллельно-последовательного соединения конденсаторов. При этом необходимо учитывать, что разнотипность в габаритах конденсаторов различной мощности и напряжения может привести к выполнению специальной нетиповой конструкции такой конденсаторной установки.

В процессе управления конденсаторной установки при отключении от сети в ней остается электрический заряд, напряжение которого примерно равно напряжению сети в момент разрыва тока. Для быстрого снижения напряжения на зажимах отключенной от сети конденсаторной установки предусматриваются специальные активные или индуктивные сопротивления, которые подключают параллельно конденсаторам. Разряд конденсаторной установки необходим также для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, так как естественный саморазряд происходит медленно.

Схемы соединений разрядных сопротивлений в трехфазных конденсаторных установках выполняются: треугольником, открытым треугольником и звездой. Наиболее надежной схемой для установки до 1000 В следует считать соединение треугольником, так как при обрыве одной фазы будет происходить разряд по схеме открытого треугольника во всех трех фазах.

Для конденсаторных установок выше 1000 В в качестве разрядных сопротивлений рекомендуется применять два однофазных трансформатора напряжения, соединенных в открытый треугольник, причем если для конденсаторов до 1000 В «Правила устройства электроустановок» рекомендуют в целях экономии электроэнергии работу без постоянного присоединения сопротивлений с автоматическим присоединением последних в момент отключения конденсаторов, то для конденсаторов выше 1000 В разрядные сопротивления должны быть постоянно присоединены к конденсаторам. Поэтому в цепи между сопротивлениями и конденсаторами не должно быть каких-либо коммутационных аппаратов.

При разделении конденсаторных установок на несколько секций для многоступенчатого регулирования в схемах форсировки каждая секция с отдельным выключателем должна иметь свой комплект разрядных сопротивлений.

Для конденсаторной установки, присоединенной через общий с трансформатором или электродвигателем выключатель, разрядные сопротивления не требуются, так как разрядка конденсаторов происходит через обмотки этих электроприемников. Наилучший способ разряда конденсатора, а также надежное снижение напряжения на зажимах конденсаторов при внезапных разрывах электрической цепи дает применение конден-

саторов со встроенными разрядными сопротивлениями. При этом исключается необходимость установки для разряда конденсаторов трансформаторов напряжения и другой аппаратуры.

У конденсаторов со встроенными разрядными сопротивлениями на напряжение 380 В сопротивления устанавливаются снаружи между выводами конденсатора. У конденсаторов на напряжения 3—6—10 кВ ввиду отсутствия малогабаритных сопротивлений, рассчитанных на высокое напряжение, разрядное сопротивление устанавливается внутри верхней части бака конденсатора и присоединяется параллельно выводам.

Значение разрядного сопротивления R , Ом, определяется по формуле

$$R \leq \frac{U_{\phi}^2}{Q} 10^6,$$

где U_{ϕ} — фазное напряжение сети, кВ; Q — мощность конденсаторной установки, квар.

Величина капитальных затрат на конденсаторную установку определяется мощностью, напряжением, наличием автоматического регулирования, типом распределительных устройств, используемых при подключении установки в электрической сети. С увеличением мощности конденсаторной установки удельные характеристики снижаются, так как стоимость и монтаж коммутационной, защитной, измерительной и разрядной аппаратуры, а также вводных ячеек и аппаратуры автоматического регулирования почти не зависят от мощности конденсаторной установки.

Для специальных конденсаторных установок различных напряжений стоимость их определяется в зависимости от конкретной схемы и конструкции установки.

5. УПРАВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Каждая конденсаторная установка должна иметь общую защиту всей установки в целом от токов короткого замыкания, осуществляемую в соответствии с ПУЭ. Конденсаторные установки напряжением 380 В должны иметь защиту от токов к.з. с наименьшим временем отключения и обеспечением по возможности требования селективности. Если конденсаторные установки напряжением 380 В комплектуются из конденсаторов,

имеющих встроенные индивидуальные предохранители, то необходимо выполнить только общую защиту, которая может быть осуществлена установкой предохранителей с рубильником или контактором или автоматического выключателя (см. рис. 6).

Выбор тока плавких вставок предохранителей I_B для общей защиты конденсаторной установки определяется по формуле

$$I_B \leq 1,6n_{\text{общ}} \frac{Q_n}{\sqrt{3}U_{\text{л}}},$$

где $n_{\text{общ}}$ — общее количество конденсаторов в установке, шт; Q_n — номинальная мощность одного конденсатора, квар; $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение сети, кВ.

Например, для конденсаторной установки напряжением 380 В, состоящей из трех конденсаторов по 26 квар, ток плавкой вставки предохранителей общей защиты установки будет:

$$I_B = 1,6 \cdot 3 \frac{26}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 200 \text{ А}.$$

Автоматический выключатель должен иметь комбинированный расцепитель, обеспечивающий защиту от перегрузки и максимальную защиту с плавной регулировкой тока. Уставка тока максимального токового реле или расцепителя автомата, исходя из перегрузочной способности конденсаторов, не должна превышать 130% номинального тока конденсаторной установки. Для предыдущего примера

$$I_y = 1,3 \cdot 3 \frac{26}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 155 \text{ А}.$$

Защита конденсаторных установок в осветительных сетях осуществляется тем же автоматом, что и вся сеть, к которой подключена конденсаторная установка. При присоединении конденсаторной установки непосредственно к электроприемнику защита ее осуществляется защитой электроприемника. Общая защита конденсаторной установки напряжением 380 В большой мощности должна осуществляться аналогично защитах конденсаторных установок напряжением 6—10 кВ с помощью релейной аппаратуры.

Конденсаторные установки напряжением 3—6—10 кВ в соответствии с ПУЭ должны иметь следующие виды защиты [2]:

от короткого замыкания, общую для всей конденсаторной установки, выполняемую в виде максимальной

токовой защиты, действующей на отключение без выдержки времени;

от короткого замыкания в самих конденсаторах, не снабженных встроенной индивидуальной защитой;

от перегрузки токами высших гармоник, если такая перегрузка возможна;

от повышения напряжения, когда известно, что уровень напряжения в месте присоединения конденсаторной установки будет превышать 110% номинального

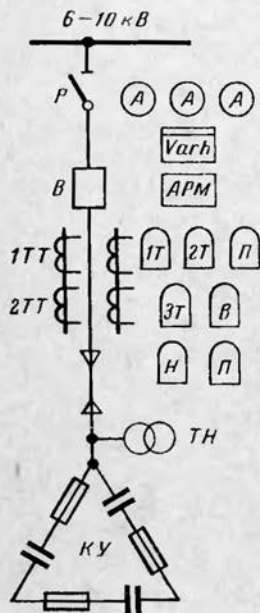


Рис. 9. Основные виды релейной защиты и установленные измерительные приборы конденсаторной установки 6—10 кВ.

АРМ — устройство автоматического регулирования; 1Т, 2Т — мгновенная максимально-токовая защита от короткого замыкания; 3Т — максимально-токовая защита от перегрузки высшими гармониками; Н — защита максимального напряжения.

напряжения. При применении автоматического регулирования по напряжению отдельной защиты от повышения напряжения не выполняют, так как в схеме автоматического регулирования предусматривается отключение конденсаторной установки при повышении напряжения сверх номинального;

от однофазных замыканий на землю при токе однофазного замыкания в сети 20 А и выше.

Основные виды релейной защиты и установленные измерительные приборы конденсаторной установки 6—10 кВ приведены на рис. 9.

Измерение тока в цепи конденсаторной установки позволяет контролировать нормальную работу конденсаторов. Равенство емкостей всех трех фаз конденсаторной установки должно измеряться тремя амперметрами, указывающими ток в каждой фазе установки, либо одним амперметром с переключателем. По показаниям амперметров можно судить о нагрузке конденсаторов токами как основной, так и высших гармоник.

Для подключения трех амперметров достаточно двух трансформаторов тока, третий амперметр выключается на сумму токов, проходящих в двух других фазах.

При подключении конденсаторной установки через общий выключатель с электроприемником (двигателем, трансформатором и т. п.) может быть предусмотрено раздельное измерение токов в цепи конденсаторной установки и электроприемника для контроля их нагрузок.

Для нормальной эксплуатации конденсаторных установок необходимо контролировать напряжение на их зажимах, которое не должно превышать допустимой для них величины. Измерение напряжения в цепи конденсаторных установок производится вольтметром, который может быть подключен на вторичной обмотке разрядного трансформатора напряжения. Однако целесообразно подключать вольтметр к шинам распределительного устройства, так как при этом представляется возможность измерения напряжения в сети при отключенной конденсаторной установке. Так же включается вольтметр при отсутствии разрядного трансформатора напряжения, когда применяются конденсаторы со встроенными разрядными сопротивлениями.

Учет выработанной конденсаторной установкой реактивной энергии осуществляется счетчиками реактивной энергии, которые устанавливаются на присоединениях конденсаторных установок мощностью 100 квар и выше при условии, если отдача ими реактивной энергии учитывается при расчете предприятия с энергосистемой.

Присоединение конденсаторных установок параллельно электроприемникам возможно в сети как ниже, так и выше 1000 В. Включение конденсаторных установок может производиться рубильником или разъединителем при ручном управлении или выключателем при дистанционном управлении на переменном или постоянном оперативном токе. Однако эти способы не могут обес-

печить быстроты оперативного управления и требуют наличия на подстанциях обслуживающего персонала. В каждом отдельном случае целесообразно отдавать предпочтение автоматическому управлению конденсаторными установками.

Схемы управления конденсаторными установками аналогичны схемам управления трансформаторами, электродвигателями и т. п. При этом необходимо особое внимание обратить на следующее. Включение и отключение конденсаторных установок следует производить по возможности быстрее во избежание повторных зажигания при переключении.

При дистанционном автоматическом управлении следует предусматривать в схеме включения конденсаторной установки после ее отключения выдержку времени порядка 3—5 мин, которая необходима для разрядки конденсаторов до безопасного напряжения (не выше 50 В). В схеме автоматического управления предусматривается установка переключателя для перевода на ручное или автоматическое управление. При этом должна быть учтена возможность обязательного ручного аварийного отключения выключателя конденсаторной установки.

Конденсаторная установка должна принудительно отключаться при возможном исчезновении напряжения в сети. В схеме управления должно быть предусмотрено запрещение повторного включения конденсаторной установки при ее отключении от действия релейной защиты вследствие внутренних повреждений в конденсаторах или нарушения режима работы сети. При этом должен быть подан звуковой сигнал от установленного для этой цели указательного реле.

В схемах сигнализации с автоматическим регулированием нет необходимости подавать звуковой сигнал при автоматическом отключении или включении конденсаторной установки или предусматривать указательное реле. В этом случае следует устанавливать счетчик числа операций срабатывания автоматики.

Конденсаторные установки напряжением выше 1000 В обязательно должны иметь блокировки. Помимо обычной блокировки между выключателем и разъединителем устраивается дополнительно блокировка на выключателе с действием на замок двери конденсаторной установки. Блокировка должна быть устроена таким

образом, чтобы двери конденсаторной установки нельзя было открыть при включенном выключателе и нельзя было включить выключатель при открытых дверях в конденсаторной установке.

В конденсаторных установках, состоящих из нескольких секций, разъединители этих секций должны быть снабжены блокировкой с основным выключателем установки, которая запрещает управление разъединителями секций при включенном выключателе.

6. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ

Одной из важных проблем, определяющих прогресс в развитии конструкций конденсаторных установок с автоматическим регулированием их мощности, является разработка и освоение специальной комплектующей аппаратуры. Основным коммутирующим аппаратом конденсаторной установки является выключатель, предназначенный для включения и отключения чисто емкостной нагрузки, выполняемой с учетом мероприятий по ограничению переходных процессов. Обычные выключатели не обладают достаточной механической прочностью, необходимой при работе с конденсаторными установками. Процессы, происходящие при отключении конденсаторов, представляют некоторые особенности по сравнению с процессами при отключении другого вида электрооборудования.

При отключении конденсаторов напряжение на их зажимах в течение всего процесса отключения остается практически постоянным благодаря наличию в конденсаторе электрического заряда. При разрядке конденсатора даже с разрядным сопротивлением требуется значительно больше времени, чем для перемещения контактов выключателя из одного крайнего положения в другое. Поэтому можно считать, что на зажимах присоединенного к конденсатору выключателя напряжение остается постоянным в течение всего процесса отключения, а на зажимах выключателя, присоединенного к сети, меняется синусоидально.

В момент начала отключения напряжение между подвижными и неподвижными контактами равно нулю, но через половину периода, т. е. через 0,01 с, оно равно удвоенной амплитуде напряжения сети. В этот момент

расстояние между контактами выключателя может быть еще настолько мало, что воздушный промежуток будет пробит и ток возобновится. Так как в этот момент на конденсатор действует двойное напряжение, то и ток может в 2 раза превысить ток включения разряженного конденсатора. Таким образом, ток при отключении конденсатора может возобновляться несколько раз, пока не произойдет окончательного разрыва его на контактах выключателя.

Переходные процессы, возникающие при отключении конденсаторов, аналогичны процессам при включении.

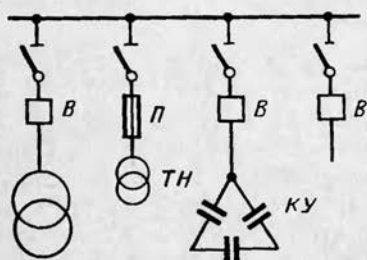


Рис. 10. Схема подключения обособленной конденсаторной установки к электрической сети.

При исследовании процесса включения существенное значение имеет то обстоятельство, как расположена подключаемая конденсаторная установка — отдельно, обособленно от других конденсаторных установок (рис. 10) или она находится вблизи них и отделена от них лишь малыми активными и реактивными сопротивлениями, уже подклю-

ключенными к сети (рис. 11, а). Имеется в виду также включение и отключение конденсаторных установок, работающих параллельно с другой установкой, или при коммутации под напряжением отдельных секций регулируемой конденсаторной установки (рис. 11, б).

Броски тока и перенапряжения, сопровождающие переходные процессы в обособленных конденсаторных установках, как правило, не представляют опасности ни для конденсаторов, ни для другого оборудования установки. При параллельной работе конденсаторных установок или отдельных ее секций броски тока и перенапряжения могут достигать более значительных размеров, чем в обособленной конденсаторной установке. Однако отечественный и зарубежный опыт показывает, что даже для мощных конденсаторных установок максимальный ток включения меньше ударного тока короткого замыкания, который выдерживает выключатель.

Для автоматического управления конденсаторными установками напряжением 380 В необходим быстро-

действующий малогабаритный автоматический выключатель или контактор для коммутации чисто емкостной нагрузки на номинальный ток 300—800 А, допускающий 20—30 операций в сутки при автоматическом регулировании. Ударный ток короткого замыкания, допускаемый в защищаемой этими выключателями сети, должен быть не менее 50 кА в соответствии с принятым ударным током короткого замыкания для распределительных щитов низкого напряжения цеховых трансформаторных подстанций. При отсутствии специально приспособленного выключателя для работы в конденсаторных установках с автоматическим регулированием

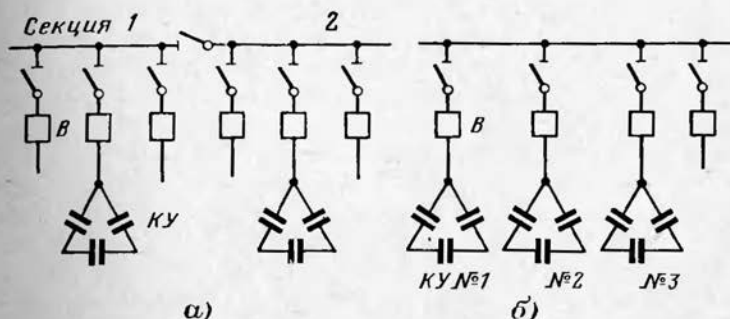


Рис. 11. Схемы подключения конденсаторных установок в распределительных сетях.

напряжением ниже 1000 В могут быть применены контакторы типа КТУ-4 или КТ-6043 с предохранителями либо автоматы типа А 4000 с дистанционным управлением с необходимыми видами защит, сигнализацией и др.

Следует учитывать, что эти выключатели проверены и предназначены для управления электроприемниками с индуктивной нагрузкой, поэтому при применении для управления конденсаторными установками их нужно выбирать с запасом по току не менее чем на 50% выше номинального тока конденсаторной установки.

Для автоматического управления конденсаторными установками напряжением 3—10 кВ обычные масляные и воздушные выключатели не полностью удовлетворяют специальным требованиям, предъявляемым к выключателям, коммутирующим чисто емкостную нагрузку. Наиболее пригодны для работы в конденсаторных установ-

ках применяемые за рубежом вакуумные и элегазовые выключатели, допускающие быстрые и частые переключения и практически исключающие повторные зажигания дуги. При отсутствии специального выключателя для управления конденсаторными установками напряжением 3—10 кВ применяются малообъемные масляные выключатели типов ВМГ-133, ВМП-10 и другие, с запасом по току не менее чем на 50% выше номинального тока конденсаторной установки, но они не приспособлены для отключения чисто емкостной нагрузки, и в процессе отключения не исключена возможность повторного возникновения дуги, а при большом количестве коммутационной операции во время эксплуатации требуется замена их контактной системы.

Выключатели нагрузки типов ВН и ВНП 6—10 кВ применяются только для ручного управления конденсаторной установки мощностью до 400 кВ·А. Для автоматического управления, т. е. частого включения и отключения конденсаторной установки, выключатели нагрузки не могут быть рекомендованы. Чтобы избежать повторного зажигания дуги, замыкание и размыкание контактов выключателя должны быть по возможности быстрыми. При ручном управлении выключателями конденсаторных установок должно быть дано соответствующее указание эксплуатационному персоналу о возможно быстром переключении контактов выключателя.

Практически на промышленных предприятиях применяются типовые схемы с параллельным включением конденсаторных установок мощностью 500—2500 квар, располагаемых на двух секциях одного распределительного устройства напряжением 6—10 кВ, при этом аварий с выключателями по причине параллельного включения или отключения конденсаторных установок не отмечалось. Это объясняется тем, что переходные процессы, сопровождающиеся бросками тока большой величины, происходят настолько быстро, что термический эффект и динамические усилия не представляют опасности для выключателей и переключателей при автоматическом управлении конденсаторными установками мощностью 500—2500 квар.

Для коммутации секций в конденсаторных установках при автоматическом или ручном управлении применяется вакуумный выключатель. Отключать ток короткого замыкания им не допускается. Вакуумный

выключатель нагрузки типа ВНВ-10/320 нормального исполнения внутренней установки для напряжений 6—10 кВ с номинальным током 320 А может изготавливаться в тропическом исполнении. Его характеристики: ток динамической устойчивости 70 кА; ток термической устойчивости 30 кА при 0,3 с; допустимое число срабатываний— до 30 000 без замены камеры; ход контактов 4 мм, время включения 0,015 с. Анализ зарубежного опыта показывает, что для коммутации конденсаторных установок высокого напряжения наиболее целесообразно применять элегазовые выключатели [4]. Камера этого выключателя заполняется элегазом (шестифтористой серы) до давления 0,2—0,3 МПа*, обладающим надежными дугогасящими и изоляционными свойствами. Время отключения элегазового выключателя 0,01 с, что исключает возможность повторного зажигания при коммутации конденсаторных установок. Элегазовый выключатель не пожароопасен вследствие отсутствия внешнего выброса пламени и, таким образом, может устанавливаться во взрывоопасных помещениях и т. п.

Следует отметить влияние высших гармонических тока и напряжения на работу конденсаторных установок. В сетях переменного тока, питающих преобразовательные установки, даже если источники электрической энергии имеют синусоидальные э.д.с., не только ток, но и напряжение отличаются от синусоидальных и содержат высшие гармонические. При широком применении постоянного тока в системе электроснабжения промышленных предприятий возникает необходимость в компенсации реактивной мощности статических преобразовательных агрегатов.

Однако указанные статические преобразовательные агрегаты по отношению к сети переменного тока являются еще и источниками высших гармонических тока. Поэтому параллельное включение конденсаторов к шинам преобразовательных установок со стороны переменного тока позволяет использовать их, кроме компенсации реактивной мощности, также для создания фильтров высших гармоник. При включении конденсаторной установки в сеть, по которой протекают высшие гар-

* По системе единиц СИ давление измеряется в мегапаскалях, $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$.

монические токи, вызванные работой преобразовательных агрегатов, потребляемый конденсаторной установкой ток будет также содержать высшие гармонические, которые могут опасно перегрузить конденсаторы.

Для ограждения конденсаторной установки от высших гармонических тока последовательно с ней включают реактор. Такое включение реактора обеспечивает нормальную работу конденсаторной установки, но приводит к увеличению потерь мощности и повышению напряжения во всех конденсаторах. В этих условиях

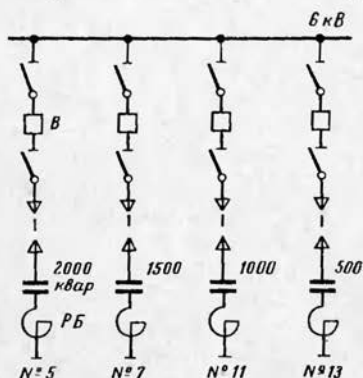


Рис. 12. Схема подключения фильтров высших гармоник с выключателем на каждой группе конденсаторной установки.

рекомендуется по согласованию с заводом-изготовителем применять конденсаторы с повышенным номинальным напряжением 6,6 кВ для сетей 6 кВ и 11 кВ для сетей 10 кВ. Поэтому на мощных конденсаторах реакторы включаются последовательно с частью конденсаторов, с которыми создается резонансный контур для первых из ряда высших гармонических. Для этого конденсаторная установка выполняется в виде нескольких параллельных групп, каждая из которых

при помощи последовательного включения реактора настраивается в резонанс на одну из высших гармоник — обычно 5-ю, 7-ю, 11-ю и 13-ю.

На рис. 12 приведена схема подключения фильтров высших гармоник одной из четырех секций распределительного устройства 6 кВ, потребителями которого являются статические преобразовательные агрегаты приводов мелкосортного прокатного стана металлургического комбината. Для компенсации реактивной мощности предусматриваются четыре конденсаторные установки, подключаемые к каждой из четырех секций РУ 6 кВ. Каждая такая конденсаторная установка в свою очередь состоит из четырех групп, мощности которых распределяются следующим образом:

первая группа фильтра 5-й гармоники (250 Гц) мощностью 2000 квар с реактором индуктивностью 2,7 мГн,

вторая 7-й гармоники (350 Гц) мощностью 1500 квар с реактором 1,8 мГн; третья 11-й гармоники (550 Гц) мощностью 1000 квар с реактором 1,1 мГн; четвертая 13-й гармоники (650 Гц) мощностью 500 квар с реактором 1,4 мГн.

Конденсаторные установки выполняются из однофазных конденсаторов по схеме звезда с реакторами, соединенными в нулевой точке.

Так как при расчете компенсирующих устройств не всегда могут быть учтены все необходимые условия, то при вводе установки в эксплуатацию проверяется наличие гармоник. При получении уточненных данных о перегрузке конденсаторов токами высших гармоник или перенапряжениях необходимо будет принять соответствующие меры для устранения их воздействия.

7. РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

При решении вопросов регулирования мощности компенсирующих устройств необходимо учитывать условия работы как внутризаводской системы электроснабжения, так и энергетической системы. Если в энергетической системе даже в ночное время наблюдается недостаток реактивной мощности, то целесообразна круглосуточная работа конденсаторных установок промышленных предприятий. Если же в ночное время в энергетической системе отсутствует дефицит реактивной мощности, то конденсаторные установки промышленных предприятий должны на это время полностью отключаться, так как их работа может недопустимо повысить напряжение в сети и причинить ущерб как электроприемникам, так и самим конденсаторам. Если в данном районе в периоды малых нагрузок необходимо обеспечить режим напряжения, а установленные в системе синхронные компенсаторы работают в индуктивном режиме, то работа конденсаторных установок на предприятиях в это время является недопустимой.

Таким образом, энергетическая система должна устанавливать наиболее рациональное распределение реактивных нагрузок между синхронными компенсаторами энергетической системы и конденсаторными установками промышленных предприятий с учетом уровней на-

пряжения в сети, а также экономической целесообразности.

При изменении активных и реактивных нагрузок промышленных предприятий во многих случаях целесообразно изменять мощность конденсаторных установок. Постоянное включение конденсаторных установок при переменных режимах нагрузки ведет к отклонению от наивыгоднейшего режима компенсации реактивной мощности и колебаниям напряжения в сети. Для поддержания наивыгоднейшего режима работы сети целесообразно либо иметь устройство, автоматически регулирующее мощность конденсаторной установки в зависимости от различных факторов, либо регулировать мощность конденсаторной установки с диспетчерского пункта. Нерегулируемые конденсаторные установки практически не всегда улучшают режим работы электрической сети, поскольку при этом получается почти одинаковое повышение напряжения при любых нагрузках, что может привести к недопустимому повышению напряжения в режимах малых нагрузок. Кроме того, в режимах малых нагрузок в части электрической сети могут появиться опережающие токи, которые приведут к увеличению потерь электроэнергии, т. е. к снижению экономичности работы электрической сети.

При достаточно большой установленной мощности нерегулируемых конденсаторных установок опережающие токи в режимах малых нагрузок могут возникнуть даже в питающих сетях. Поэтому наиболее экономичный режим работы электрических сетей промышленных предприятий может быть достигнут применением автоматического регулирования мощности конденсаторных установок.

Из анализа суточных графиков нагрузок промышленных предприятий выявляются следующие виды изменений реактивных мощностей, вызываемых технологическими процессами:

1. Медленные изменения среднего уровня суммарной нагрузки, обусловленные технологическими и другими причинами, определяющими суточный график нагрузки предприятий, ночной минимум летом, вечерний максимум зимой и др. В этих случаях изменения реактивных нагрузок должны регулироваться компенсирующими устройствами энергетической системы, либо автоматическим регулированием конденсаторных установок про-

мышленных предприятий, либо взаимным сочетанием обоих этих мероприятий с учетом обеспечения максимальной экономичности электроснабжения предприятия.

2. Быстрые колебания нагрузки около среднего уровня, вызванные случайными включениями или отключениями потребителей, как, например, толчки нагрузки, связанные с работой мощных потребителей или другими технологическими причинами. Период таких колебаний нагрузок может составлять несколько минут. Ликвидация сравнительно быстрых колебаний и набросов реактивных нагрузок, которые в некоторых случаях могут сопровождаться снижением напряжения и приводить к нарушению устойчивости электрической системы, целесообразно осуществлять форсированием возбуждения синхронных двигателей или синхронных компенсаторов, а также кратковременным форсированием мощности конденсаторных установок.

Особое место в этом случае занимают статические устройства, позволяющие практически безынерционно регулировать генерируемую реактивную мощность. Имеется в виду применение реакторов с подмагничиванием и вентилях с искусственной коммутацией, устройства с параллельным включением емкости и регулируемой индуктивности. При наличии этих устройств электрическая система в целом может работать экономичнее, поскольку улучшаются условия ее статической устойчивости. Следовательно, подобная задача о применении регулируемых источников реактивной мощности должна решаться в комплексе с вопросами регулирования напряжения в узлах нагрузки общей системы электроснабжения предприятия.

Для анализа нагрузки промышленных предприятий рассмотрим суточные графики потребляемой реактивной мощности этих предприятий и компенсации ее конденсаторными установками.

Когда конденсаторная установка включена постоянно в течение суток (рис. 13, а), при минимальной нагрузке в ночные часы и обеденные перерывы происходит перекомпенсация реактивной мощности и повышение напряжения выше номинального. В часы максимума нагрузки предприятия компенсация реактивной мощности оказывается недостаточной. Для обеспечения нормальной работы необходимо применять регулирующее компенсирующее устройство, причем экономический эф-

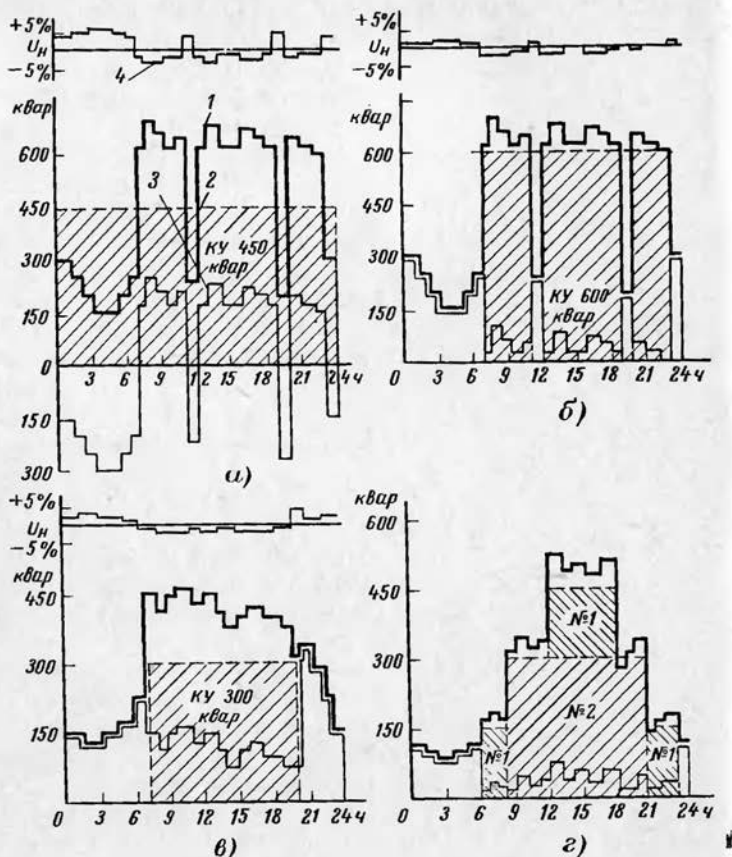


Рис. 13. Графики потребляемой реактивной мощности и компенсации ее конденсаторными установками.

а — регулирования нет, конденсаторы постоянно включены; б — одноступенчатое автоматическое регулирование по времени суток; в — одноступенчатое автоматическое регулирование по току нагрузки; г — многоступенчатое автоматическое регулирование по току нагрузки; 1 — потребляемая реактивная мощность; 2 — реактивная мощность, которую компенсирует конденсаторная установка; 3 — реактивная мощность после компенсации; 4 — напряжение после компенсации.

фект тем больше, чем больше степень неравномерности графика нагрузки предприятия.

Когда применена регулируемая конденсаторная установка, включаемая автоматически в зависимости от времени суток (рис. 13, б), происходит более равномерная компенсация реактивной мощности, при этом умень-

шаются колебания напряжения и оно приближается к номинальному. Регулируемая мощность конденсаторной установки определяется исходя из наилучшей компенсации суточного графика потребления реактивной мощности.

Если для промышленного предприятия по условиям работы энергосистемы и из-за других мероприятий по регулированию напряжения необходимо уменьшить отклонение уровня напряжения в нормированных пределах, применяется регулируемая конденсаторная установка, управляемая автоматически в зависимости от напряжения сети (рис. 13, в). В этом случае для поддержания номинального напряжения конденсаторная установка должна автоматически включаться при увеличении нагрузки и понижении напряжения в сети ниже номинального и автоматически отключаться при повышении напряжения в сети выше номинального. При несоблюдении этих условий, например в ночные часы минимальной нагрузки, когда напряжение сети выше номинального, а конденсаторная установка будет оставаться включенной, произойдет еще большее повышение напряжения и увеличение потерь электрической энергии.

На подстанциях, питающих потребителей, нагрузка которых изменяется в течение суток, причем изменение нагрузки сопровождается соответствующим изменением реактивной мощности, автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок может быть осуществлено в зависимости от тока нагрузки. Так, при изменении подключаемых нагрузок в утренние часы (рис. 13, г) автоматически вначале включается конденсаторная установка № 1 мощностью 150 квар, по мере увеличения нагрузки включается конденсаторная установка № 2 мощностью 300 квар, а конденсаторная установка № 1 отключается, при дальнейшем росте подключаемых нагрузок при включенной конденсаторной установке № 2 включается и конденсаторная установка № 1. При снижении нагрузок цикл отключения автоматически происходит в обратном порядке.

Таким образом, применение регулируемых конденсаторных установок является средством получения дополнительной экономии от уменьшения потерь электроэнергии в электрических сетях при неравномерном графике реактивной нагрузки, а также средством регулирования

уровня напряжения, увеличения пропускной способности электрических сетей и получения дополнительной мощности трансформаторов в связи с разгрузкой их от реактивной мощности.

8. ВЫБОР КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Для потребителей электроэнергии, у которых изменения нагрузок отличаются от графика суммарной нагрузки сети, обеспечение качества напряжения в результате централизованного регулирования в большинстве случаев затруднительно. Возникает необходимость в применении средств местного регулирования. Наиболее целесообразными средствами в этом случае являются конденсаторные установки, при использовании которых одновременно повышается и экономичность работы сети. При использовании в качестве компенсирующих устройств конденсаторных установок следует учитывать, что они допускают только ступенчатое регулирование.

Количество ступеней регулирования конденсаторных установок может быть определено на основании изучения материалов диспетчерской службы.

Для вновь проектируемых предприятий количество ступеней регулирования определяется по усредненным графикам нагрузки предприятия. При этом максимальные ступени увеличения напряжения при включении конденсаторной установки во избежание резких колебаний напряжения не должны повышать 1—2% номинального напряжения сети.

Регулирующий эффект при включении одной ступени конденсаторной установки может быть определен по формуле, %:

$$\Delta U = \frac{Qx_c}{10U^2},$$

где Q — реактивная мощность секции конденсаторной установки, квар; U — линейное напряжение сети, кВ; x_c — реактивное сопротивление элементов сети, ближайших к установке, Ом.

При мощности ступени конденсаторной установки, равной 300 квар, линейном напряжении сети 6 кВ и реактивном сопротивлении сети 1,8 Ом напряжение повысится на 1,5% номинального напряжения, или на 0,9 кВ.

Количество ступеней регулирования конденсаторных установок следует, как правило, выбирать не более трех—пяти с одинаковой или различной мощностью ступеней, а мощность ступеней должна соответствовать изменению нагрузки по графику. При сравнительно спокойном изменении графика нагрузки количество ступеней должно быть минимальным, а мощность равномерно распределена по графику нагрузки. При увеличении количества ступеней регулирования с трех и более потери электроэнергии дополнительно снижаются всего лишь на величину менее 1% общей сэкономленной электроэнергии при работе всей установки. Поэтому регулируемая конденсаторная установка не должна иметь более трех ступеней регулирования. Конденсаторные установки значительной мощности необходимо разбивать на секции даже при отсутствии регулирования для обеспечения возможности отключать секции для осмотра, очистки от загрязнения и замены поврежденных элементов установки.

После того как установлены ступени регулирования и их мощность, необходимо определить последовательность коммутационных операций, которая может быть выполнена по одному из следующих исполнений:

1) применение одинаковых по мощности конденсаторных установок, например 100 : 100 : 100 : 100 : 100 квар и т. д.;

2) по мощности, отличающейся в арифметической прогрессии, например 100 : 200 : 300 : 400 квар и т. д.

3) по мощности, отличающейся в геометрической прогрессии, например 100 : 200 : 400 : 800 квар и т. д.;

4) смешанные комбинации из различных мощностей.

В первом исполнении — это простая схема автоматики, так как включение и отключение конденсаторной установки происходит последовательно. Но при определенной мощности регулирования количество выключателей равно количеству одинаковых конденсаторных установок и соответственно числу ступеней. Во втором и третьем исполнениях количество выключателей и конденсаторных установок меньше, а число ступеней намного больше.

Наиболее экономична и целесообразна схема регулирования при применении мощности конденсаторных установок, отличающихся по геометрической прогрессии.

В этом случае при меньшем количестве выключателей число ступеней регулирования увеличивается.

На рис. 14 показано, как при двух различных по мощности конденсаторных установках получают три ступени регулирования, а при трех конденсаторных установках — семь ступеней регулирования. При этом требуется увеличение числа оперативных переключателей, что несколько усложняет схему автоматического устройства, однако это экономически целесообразно. В зависимости от графика суммарных реактивных нагрузок

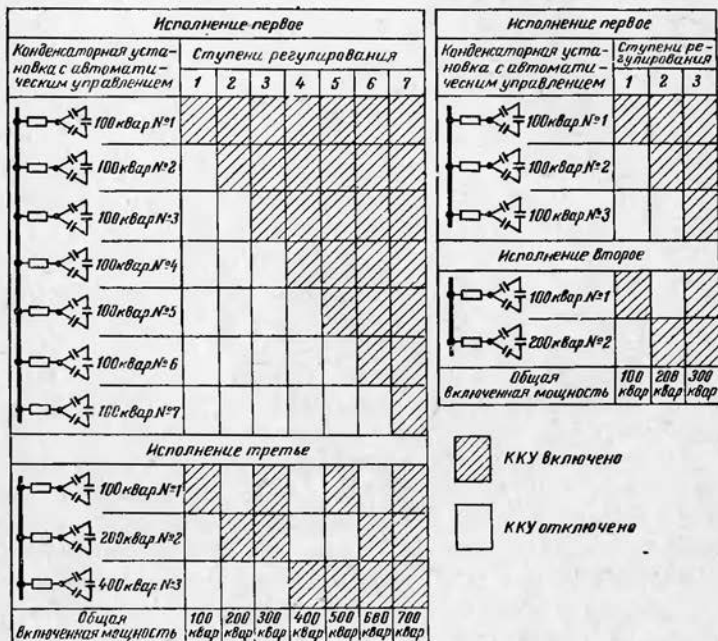


Рис. 14. Сравнение числа ступеней конденсаторной установки и последовательность коммутационных операций при автоматическом регулировании.

предприятия конденсаторные установки могут иметь постоянную нерегулируемую часть, которая включается и отключается вручную, для покрытия в основном реактивной нагрузки в часы минимума; она может быть порядка 20—50% общей мощности конденсаторной установки. Остальная часть выполняется регулируемой

с включением секций конденсаторной установки в часы максимума изменений реактивных нагрузок предприятия.

Выбор мощности регулируемых и нерегулируемых секций конденсаторных установок при проектировании не всегда можно определить с достаточной точностью, и его следует уточнять в условиях эксплуатации в зависимости от графика реактивной нагрузки предприятия. Поэтому схемы управления регулируемых и нерегулируемых секций конденсаторных установок должны быть

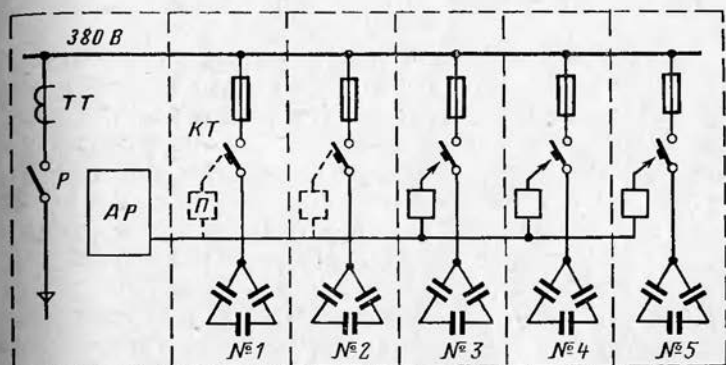


Рис. 15. Конденсаторная установка с постоянно включенными секциями с конденсаторами (№ 1 и 2) и секциями (№ 3, 4, 5), управляемыми автоматически.

выполнены аналогично и допускать в случае необходимости во время эксплуатации перевод любой секции из регулируемых в нерегулируемые и обратно.

На рис. 15 приведена схема конденсаторной установки, состоящая из пяти секций, управляемых автоматическим регулятором типа АРКОН. По условиям эксплуатации одна часть секций конденсаторной установки автоматически регулируемая, другая постоянно включена и управляется вручную. Схема регулятора АРКОН допускает перевод на ручное или автоматическое управление любой из секций конденсаторной установки, что при перемене секций с ручного на автоматическое управление исключит неравномерный износ коммутационного оборудования.

Схемы регулируемых и нерегулируемых секций могут быть составлены из различных конденсаторных

установок в зависимости от мощности установленных в них конденсаторов и особенностей конструкции, но каждая секция должна иметь выключатель для оперативного управления; аппаратуру защиты от коротких замыканий; устройство для автоматического отключения в случае исчезновения напряжения в сети, в том числе и нерегулируемых постоянно включенных секций.

9. СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Регулирование мощности включением и отключением всей установки или отдельных ее секций позволяет достигнуть экономичного режима работы электрических сетей промышленных предприятий и одновременно использовать конденсаторные установки как средство местного регулирования напряжения. Регулирование мощности может производиться вручную эксплуатационным персоналом; автоматически от действия различных электрических параметров и неэлектрических датчиков, форсированной мощности конденсаторных установок, быстродействующими, регулируемые, статическими генераторами реактивной мощности; диспетчером — непосредственно или распоряжением по телефону.

Регулирование мощности вручную эксплуатационным персоналом в определенное время суток не может являться надежным способом регулирования, хотя оно еще и продолжает применяться на промышленных предприятиях. Регулирование вручную в основном зависит от качества работы дежурного персонала, при этом могут быть случаи, когда из-за небрежности персонала конденсаторная установка долгое время оставалась не включенной или, наоборот, отключалась, что приводило соответственно к недокомпенсации или перекомпенсации.

Наиболее экономичные режимы работы сетей могут быть достигнуты при использовании конденсаторных установок с автоматическим регулированием мощности. В зависимости от характеристики сети, требований потребителя и энергосистемы автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок может выполняться:

- 1) по времени суток, когда важно ограничить отдачу промышленным предприятиям реактивной мощности

в сеть энергетической системы в течение суток по определенной программе с установившейся технологией производства;

2) по уровню напряжения, если необходимо уменьшить отклонение уровня напряжения электрической сети промышленного предприятия от оптимального значения;

3) по току нагрузки, если рост и снижение полной нагрузки меняются в течение рабочего дня и сопровождаются соответственным изменением реактивной мощности;

4) по величине коэффициента мощности, если его изменение пропорционально определенному изменению реактивной мощности;

5) по величине и направлению реактивной мощности, когда важно ограничить отдачу промышленными предприятиями реактивной мощности в сеть энергетической системы;

6) в зависимости от технологии производства, когда регулирование мощности конденсаторных установок может осуществляться от неэлектрических датчиков (температуры, давления и т. п.);

7) по различным комбинированным схемам: в зависимости от времени суток с коррекцией по напряжению, по времени суток, напряжению и направлению реактивной мощности, по напряжению с коррекцией по току, с применением неэлектрических датчиков от различных устройств;

8) в связи с внедрением диспетчерского управления и телемеханизации электроснабжения промышленных предприятий целесообразно осуществлять централизованное регулирование мощности конденсаторных установок диспетчером непосредственно или косвенно распоряжением по телефону на основе анализа графика нагрузки данного предприятия или даже целого района энергетической системы;

9) для ликвидации быстрых колебаний и набросов реактивных нагрузок. В этом случае может применяться форсировка мощности конденсаторных установок автоматическим переключением параллельно-последовательных соединений конденсаторов на повышенное или пониженное по отношению к номинальному напряжение, а также применяться и другие быстродействующие регулируемые источники реактивной мощности.

Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок зависит от различных электрических параметров и неэлектрических датчиков и может быть одноступенчатым или многоступенчатым. При одноступенчатом регулировании автоматически включается или отключается вся конденсаторная установка или одновременно включаются или отключаются несколько конденсаторных установок в определенное время суток.

При многоступенчатом регулировании допускается поочередное автоматическое включение или отключение нескольких конденсаторных установок с одноступенчатым регулированием либо включение и отключение отдельных секций конденсаторной установки по заданной программе или в определенной последовательности.

Одноступенчатое регулирование (рис. 16, а) является простейшим способом регулирования мощности конденсаторных установок, требует меньших капитальных затрат по сравнению с многоступенчатым за счет более простой схемы и отсутствия дополнительной коммутационной аппаратуры. При многоступенчатом регулировании (рис. 16, б) автоматически отключаются или включаются отдельные конденсаторные установки или секции, снабженные своим выключателем. Многоступенчатое автоматическое регулирование конденсаторных установок напряжением 6—10 кВ (рис. 16, в) может выполняться с одним главным выключателем и несколькими переключателями для автоматического управления секциями. Чем больше количество секций в установке, тем плавнее происходит регулирование, но

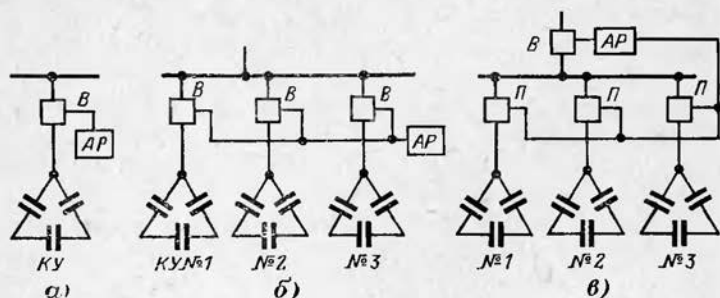


Рис. 16. Схемы конденсаторных установок.

а — одноступенчатое регулирование; б — многоступенчатое регулирование; в — многоступенчатое регулирование с одним главным выключателем В и тремя выключателями П для переключения секций установки в бес-
токовую паузу.

тем больше затраты на дополнительную коммутационную аппаратуру.

Однако если на одном и том же предприятии имеется несколько индивидуальных конденсаторных установок с одноступенчатым регулированием, то можно с помощью последовательной схемы автоматически осуществить их разновременное отключение и включение и, таким образом, выполнить многоступенчатое регулирование общей мощности всех конденсаторных установок, установленных на данном предприятии. Таким образом, автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок большинства промышленных предприятий можно выполнять одноступенчатым по простым, а следовательно, и надежным схемам регулирования.

Параметры и схемы автоматического регулирования мощности конденсаторных установок выбирают с учетом проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях исходя из анализа графика нагрузки, уровней колебания напряжения в различных точках сети, наличия в системе других компенсирующих устройств, а также требований энергетической системы. Кроме того, выбор параметров регулирования зависит от условий, а также от того, в какой отрасли промышленности необходимо производить регулирование реактивной мощности: металлургической, машиностроительной, химической, легкой и т. д.

В условиях металлургической промышленности с мощными резко переменными активными и реактивными нагрузками представляется целесообразным применение быстродействующих бесконтактных регуляторов реактивной мощности. В металлургических цехах с нормальными условиями работы регулирование реактивной мощности может осуществляться в зависимости от требуемых параметров по времени суток или напряжению для данной категории нагрузок.

Для машиностроительной и другой промышленности со спокойным графиком изменения нагрузок регулирование реактивной мощности может осуществляться по времени суток с небольшим количеством ступеней регулирования. В химической и другой промышленности, связанной с наличием взрывоопасной среды и отсутствием конденсаторов для применения во взрывоопасной среде, конденсаторные установки могут применяться

только централизованно на питающих подстанциях с регулированием реактивной мощности по времени суток или напряжению, с небольшим количеством ступеней регулирования.

Для регулирования реактивных нагрузок в электросетях в городах и сельских районах целесообразно применение централизованного регулирования по времени суток с осуществлением управления конденсаторными установками токами тональной частоты по питающим линиям электропередачи.

Для выполнения всех условий, требований и мероприятий регулирование реактивной мощности конденсаторных установок должно быть многообразным — от простых, но надежных, до сложных комплектных автоматических устройств. При осуществлении этих устройств автоматического регулирования необходимо стремиться к максимальной простоте и ясности схем, не уменьшая надежности их работы. Одной из важных характеристик регулирующего устройства, обеспечивающих меньшее количество переключений при обеспечении того же качества напряжения, является коэффициент возврата. Поэтому во всех случаях следует отдавать предпочтение конструкциям устройств, которые без ущерба для других свойств обеспечивают коэффициент возврата, практически близкий к единице.

Во избежание чрезмерного износа переключателя регулятор не должен оказывать регулирующего воздействия при кратковременных колебаниях напряжения, а также действовать при глубоких, но кратковременных снижениях напряжения в сети.

В настоящее время на смену регуляторам реактивной мощности релейного типа, имеющим низкий коэффициент возврата и в связи с этим невысокую точность, инерционность и недостаточно высокую скорость включения и отключения секций конденсаторных установок, приходят электронные регуляторы, выполненные на полупроводниковых элементах. Эти устройства практически безынерционны, обеспечивают высокую точность, потребляют незначительную мощность, не имеют механических частей, отличаются высокой надежностью и позволяют значительно упростить конструкцию регулирующего устройства.

Независимо от типа и схемы устройства автоматического регулирования оно должно быть обеспечено

надежным источником питания для четкой работы как самого устройства, так и оперативных цепей автоматического управления. В схеме автоматического устройства должна предусматриваться установка переключателя для перевода на ручное или автоматическое управление, а также запрещение производства повторного включения конденсаторной установки ранее, чем произойдет разрядка ее конденсаторов. Это запрещение осуществляется при помощи реле времени, устанавливаемых в схеме управления выключателем. Орган выдержки времени этих реле не должен нарушаться кратковременными периодическими изменениями режима работы сети.

Ниже приводятся схемы автоматического регулирования мощности конденсаторных установок в зависимости от различных параметров. При этом в схемах автоматического регулирования релейная защита и сигнализация не показаны, так как они выбираются в каждом конкретном случае отдельно по ПУЭ. Схемы автоматического регулирования приведены в различных вариантах управления выключателем, однако они в принципе во всех случаях пригодны как для конденсаторных установок напряжением ниже 1000 В, так и для установок напряжением выше 1000 В. Схемы автоматического регулирования с применением неэлектрических датчиков должны также учитывать все вышеуказанные условия управления выключателем конденсаторных установок.

10. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО ВРЕМЕНИ СУТОК

В целях упрощения схем автоматического регулирования (АР) реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий целесообразным является программное автоматическое регулирование по времени суток, которое может быть с достаточной точностью определено на базе прогнозируемых графиков нагрузок с учетом технологических процессов работы предприятия. Такое регулирование обеспечивает правильное взаимодействие между источниками реактивной мощности, устройствами по регулированию напряжения в энергетической системе и установками по

компенсации реактивных нагрузок на данном промышленном предприятии.

При регулировании по времени суток и заданной программе, согласованной с учетом технологии производства, можно получить максимальный эффект регулирования реактивной мощности при минимальном количестве переключений выключателей конденсаторных установок. За то же время при регулировании по другим параметрам (напряжению, току, реактивной мощности и др.) количество переключений выключателей конденсаторных установок будет в несколько раз больше, поскольку изменение этих параметров в течение суток происходит почти ежеминутно и отражается на перегрузке выключателей.

Таким образом, при регулировании по времени суток условия работы выключателей конденсаторных установок более спокойны и равномерны, чем по другим параметрам регулирования реактивной мощности.

Для конденсаторных установок 6—10 кВ и выше число коммутационных переключений по условиям работы высоковольтных выключателей (допускающее всего 2000 операций без капитального ремонта) должно быть минимально ограничено (только вакуумные и элегазовые выключатели допускают практически неограниченное число коммутационных переключений). Это еще раз подтверждает, что автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок по времени суток является наиболее простым, надежным и эффективным средством.

Автоматическое регулирование по времени суток может осуществляться по различным программам, которые задает энергоснабжающая организация, или по определенному графику в зависимости от технологии производства предприятия. Суточный график реактивной нагрузки промышленного предприятия с установившейся технологией можно представить в следующем виде: в утренние часы, с началом работы первой смены предприятия, реактивная нагрузка начинает расти и к 9—11 ч достигает максимума. Затем, ближе к обеденному перерыву, реактивная нагрузка несколько снижается и в обеденный перерыв, когда большая часть нагрузок отключается, снижается до минимума.

После перерыва реактивная нагрузка снова возрастает и к 13—14 ч достигает максимума. Перед окон-

чанием первой смены и началом второй происходит некоторое снижение нагрузки. С началом работы второй смены график реактивных нагрузок изменяется с той же закономерностью, как это было в период первой смены. Если при таком графике реактивных нагрузок предприятия держать постоянно включенной конденсаторную установку и не регулировать ее мощность, то в этом случае не может быть достигнут наилучший экономический эффект.

При минимальной реактивной нагрузке предприятия будет происходить излишняя перекомпенсация с отдачей реактивной мощности во внешнюю сеть, а следовательно, и повышение напряжения, которое может оказаться недопустимым. При максимальной реактивной нагрузке, наоборот, будет недокомпенсация и понижение напряжения в сети промышленного предприятия.

Для обеспечения экономичной работы предприятия конденсаторные установки должны иметь автоматическое регулирование их мощности в соответствии с суточным графиком реактивной нагрузки. В этом случае может быть использовано наиболее простое устройство автоматического регулирования по времени суток с помощью электрических часов с сигнальными контактами типа ЭВЧС с 24-часовой программой включения и отключения, устанавливаемое на центральном пункте предприятия (например, на главном распределительном или диспетчерском пункте предприятия).

На рис. 17 представлены различные условия применения регулирования по времени суток. При одноступенчатом автоматическом регулировании имеется возможность управления с помощью одних электрических часов одновременно несколькими конденсаторными установками, расположенными на различных подстанциях одного предприятия (рис. 17,а). Однако это может быть целесообразно при незначительных расстояниях между подстанциями и при наличии свободных жил контрольных или телефонных кабелей, используемых для передачи импульсов на включение и отключение конденсаторных установок. При больших расстояниях (300 м и более) между подстанциями и отсутствии жил кабелей экономичнее установить на каждой подстанции индивидуальные электрические часы. В этом случае создается дополнительная возможность одновременного управления конденсаторными установками, расположен-

ными на различных подстанциях, и этим самым получается регулирование ступенями, т. е. осуществляется многоступенчатое регулирование (рис. 17, з).

На промышленных предприятиях, имеющих несколько конденсаторных установок, рассредоточенных на отдельных подстанциях, может быть осуществлена схема

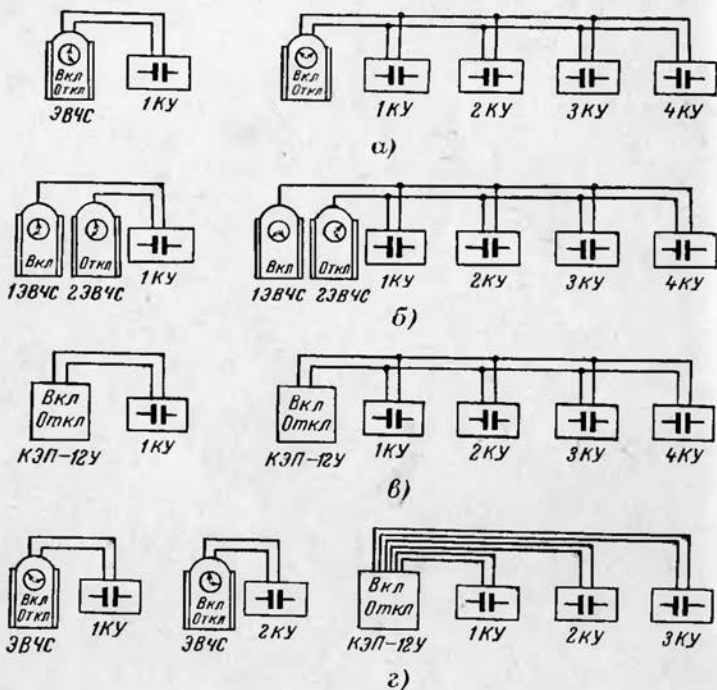


Рис. 17. Автоматическое регулирование по времени суток.

а — одноступенчатое регулирование с одним ЭВЧС для одной или нескольких конденсаторных установок; б — то же, но с двумя ЭВЧС; в — то же, но с одним КЭП-12У; г — многоступенчатое регулирование с одним ЭВЧС или КЭП-12У.

одноступенчатого регулирования по времени суток с использованием двух комплектов электрических часов для одновременного включения и отключения всех конденсаторных установок в зависимости от заданного времени суток. В этой схеме одни электрические часы используются для включения, другие — для отключения (рис. 17, б).

На предприятиях, где отсутствует электрочасофикация, может быть применен командный электропневматический прибор типа КЭП-12У с программным включением и отключением электрических или пневматических цепей с общим количеством до 12 (рис. 17, в, г).

Для целей автоматического регулирования мощности конденсаторных установок по времени суток могут быть использованы также и другие устройства, производящие включение и отключение конденсаторных установок в определенное время суток. Ввиду простоты выполнения регулирующих устройств по времени суток, только косвенно связанных с электрическими параметрами сетей, они могут быть применены практически в любой схеме электроснабжения как на действующих, так и на вновь строящихся предприятиях.

По своему назначению схемы программного автоматического регулирования мощности конденсаторных установок по времени суток могут быть разделены на две группы:

1) простые релейные схемы с применением электро-механических часов КЭП-12У и др.;

2) сложные устройства, работающие по заданной программе при помощи средств телемеханики, диспетчеризации по каналам высокой частоты и др., а также с применением счетно-вычислительных машин.

Одной из простейших схем регулирования является автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок по времени суток, которое может производиться на предприятиях, имеющих электрочасофикацию, с помощью электровторичных сигнальных часов с 24-часовой программой включения типа ЭВЧС-24, питающихся от электропервичных часов на постоянном токе в сети напряжением 24 В. Эти контактные часы изготавливаются, как правило, с одной сигнальной цепью и имеют один контакт, одинаково срабатываемый при всех настраиваемых положениях стрелки часов. Для работы в схемах автоматики это не всегда удобно, да и к тому же контакт этих часов при срабатывании замыкается на 5—20 с, что создает дополнительные трудности, так как у многих аппаратов и реле, на которые будут действовать эти часы, время срабатывания порядка 1 с. Для нормального действия схемы необходимо иметь минимум два контакта, осуществляющих отдельно включение и отключение выключателя конденсатор-

ной установки. Общий вид и габариты электровторичных сигнальных часов типа ЭВЧС-24 приведены на рис. 18.

Номинальная потребляемая мощность механизма сигнальных часов 0,41 Вт. Наименьший интервал подачи сигнала 5 мин. Продолжительность сигнала 5—20 с. При вывинчивании винта в термореле продолжительность сигналов уменьшается, при ввинчивании увеличивается. Установка порядка подачи сигналов произво-



Рис. 18. Конструкция электровторичных сигнальных часов типа ЭВЧС-24.

дится ввинчиванием в соответствующие гнезда штифтов (для четных промежутков штифты ввинчиваются по наружному кругу, а для нечетных — по внутреннему).

На рис. 19 приведена схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток с применением электровторичных часов типа ЭВЧС-24 с одним контактом и двумя реле времени с примерной программой по времени включения и отключения конденсаторной установки.

Схема работает следующим образом: при замыкании контакта ЭВЧС на время, соответствующее заданной программе, и в зависимости от положения размыкающего или замыкающего контакта выключателя В включается либо реле времени 1В на включение конденсаторной установки, либо реле 2В на ее отключение. Введение в схему двух реле времени необходимо потому, что продолжительность замыкания контакта ЭВЧС длится до 15 с и, как видно из временной характеристики, при

выдержках реле по 10 с можно достигнуть перекрытия продолжительности времени замыкания контакта ЭВЧС 15 с и, таким образом, не допустить ложного включения или отключения конденсаторной установки. При замыкании контакта ЭВЧС в соответствии с графиком нагрузки предприятия подается импульс на включение конденсаторной установки в 7, 12, 16 и 20 ч на отключение в 11, 14, 19 и 23 ч.

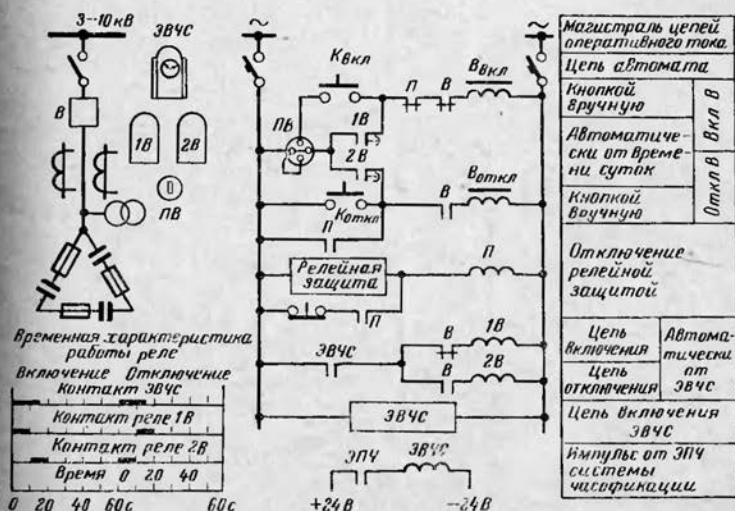


Рис. 19. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток с двумя реле времени.

Для определения правильной последовательности работы устройства после осмотра или ремонта необходимо учитывать, что при первоначальном включении конденсаторной установки следует вводить схему автоматики в положение, соответствующее времени суток, т. е. если между 7 ч и 11 ч установка должна находиться во включенном состоянии, то и автоматика должна быть введена во включенное состояние, иначе может нарушиться порядок последовательности операций управления конденсаторной установкой.

В схеме управления перевода с ручного на автоматическое предусматривается переключатель ПВ. Для запрета автоматического включения конденсаторной установки при ее отключении от действия релейной защиты

служит промежуточное реле Π , выполненное с само-блокировкой и кнопкой возврата.

На рис. 20 приведена схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток с применением ЭВЧС с примерной программой по времени включения и отключения конденсаторной установки. В этой схеме в отличие от схемы с двумя реле времени (см. рис. 19) перекрытие продолжительности замыкания контакта ЭВЧС достигается взаимной блокировкой двух промежуточных реле 1П и 2П.

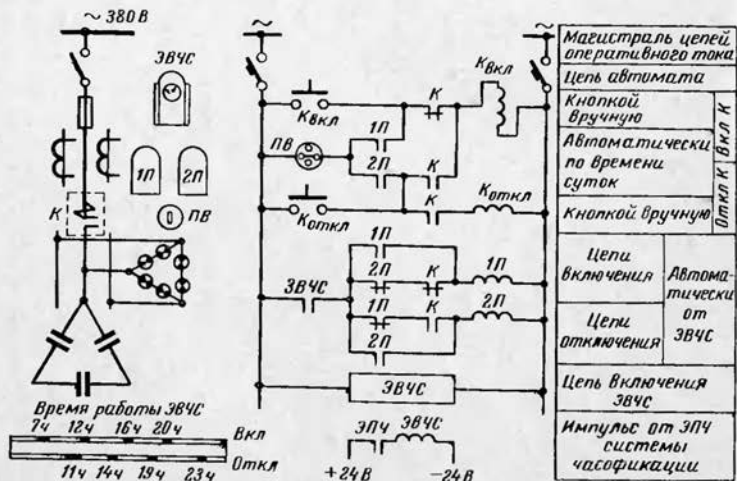


Рис. 20. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток с двумя промежуточными реле.

При замыкании контакта ЭВЧС, например в 7 ч, включается реле промежуточное 1П, своим замыкающим контактом замыкает цепь катушки включения контактора и включает конденсаторную установку. Контакт контактора K в цепи 1П размыкается, а контакт 1П замыкается, удерживая катушку 1П во включенном состоянии до тех пор, пока не разомкнется контакт ЭВЧС. Цепь катушки 2П, разомкнувшаяся контактом 1П, также удерживается в отключенном состоянии. При размыкании контакта ЭВЧС (через 15 с) схема снова приходит в первоначальное состояние, только взаимно меняются положения контактов контактора K в цепях 1П и 2П. При последующем замыкании ЭВЧС, например в 11 ч,

произойдет соответственно отключение конденсаторной установки и т. д.

На рис. 21 приведена принципиальная схема одноступенчатого регулирования по времени суток с применением одного комплекта ЭВЧС, но для управления одновременно несколькими конденсаторными установками. Схема работает следующим образом: при замыкании контакта ЭВЧС одновременно для каждой конденсаторной установки включаются разделительные промежуточные реле 1П, 2П и 3П, необходимые для

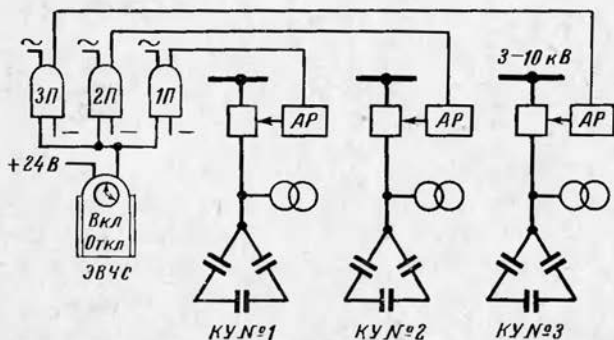


Рис. 21. Принципиальная схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток одновременно несколькими конденсаторными установками.

разделения оперативных цепей управления на каждой установке, которые своими контактами в схеме автоматики вместо контакта ЭВЧС включают или отключают свою конденсаторную установку.

На предприятиях, имеющих электрочасофикацию, могут быть использованы автоматические устройства в виде блоков БРВ-1 и БРВ-2, предназначенные для размножения контактов электровторичных часов типа ЭВЧС в системе автоматического регулирования конденсаторных установок по времени суток. Блоки типа БРВ-1 применяются для автоматического регулирования конденсаторных установок напряжением 380 В, а блоки типа БРВ-2 — для конденсаторных установок напряжением 6—10 кВ.

Принципиальная схема соединений блока размножения контактов типа БРВ-1 с электровторичными часами и конденсаторной установкой приведена на рис. 22,

конструкция блока размножения контактов типа БРВ-1 — на рис. 23. Блок представляет собой металлический шкаф, в нижней части которого крепится рейка с зажимами для присоединения контрольного кабеля, а

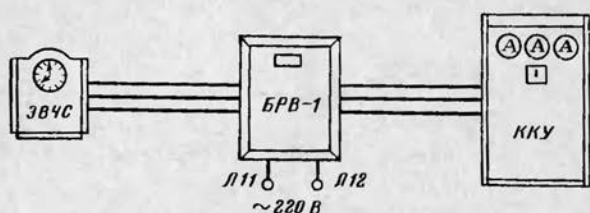


Рис. 22. Принципиальная схема соединений блока размножения контактов типа БРВ-1 с электровторичными часами ЭВЧС и конденсаторной установкой.

внизу корпуса шкафа имеется отверстие для его подвода. К стене шкаф крепится четырьмя болтами М8.

На предприятиях, где отсутствует электрочасофикация, в схемах автоматического регулирования мощности

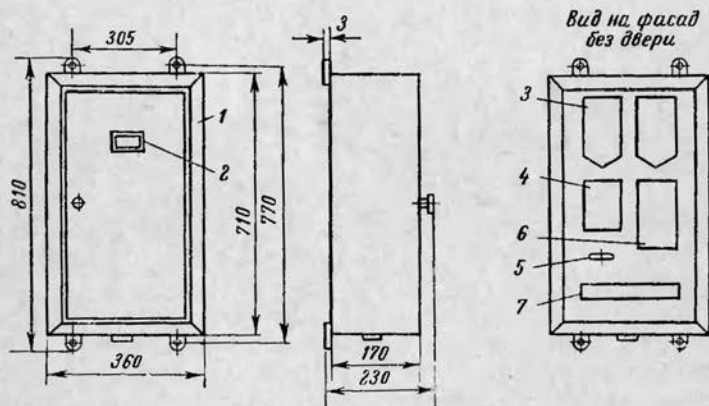


Рис. 23. Конструкция блока типа БРВ-1.

1 — шкаф; 2 — маркировочная таблица; 3 — реле времени РВВ и РВО; 4 — автомат А; 5 — выключатель ПВ; 6 — реле РП; 7 — набор зажимов.

конденсаторных установок по времени суток может быть применен командный электропневматический прибор типа КЭП-12У с программным включением и отключением 12 электрических или пневматических цепей. Потребляемая мощность прибора равна 40 Вт, рабочее на-

пряжение переменного тока 220 В, мощность электрических контактов при активной нагрузке 500 В·А при напряжении 220 В и токе не более 5 А. Конструкция командного электропневматического прибора типа КЭП-12У приведена на рис. 24. Прибор устанавливается только в вертикальном положении.

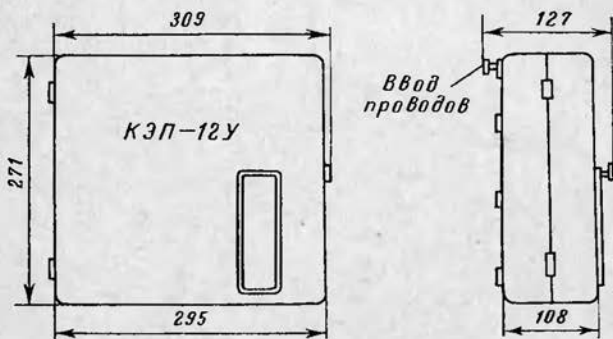


Рис. 24. Конструкция командного электропневматического прибора типа КЭП-12У.

На рис. 25 приведены принципиальные схемы одноступенчатого и многоступенчатого автоматического регулирования по времени суток с применением КЭП-12У для управления несколькими конденсаторными установками. В принципе схема автоматики с прибором КЭП-12У аналогична схеме регулирования с двумя комплектами ЭВЧС.

При необходимости получения более полной и точной компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях индивидуальное управление отдельными конденсаторными установками не всегда может удовлетворять этим требованиям. Поэтому наиболее целесообразно регулирование по времени суток для нескольких конденсаторных установок, имеющих на промышленном предприятии, осуществлять от автоматического устройства программного управления (рис. 26), расположенного в центральном пункте предприятия (в главном распределительном устройстве или на диспетчерском пункте).

Простейшим программным управлением может быть группа электрических контактных часов, от которых по

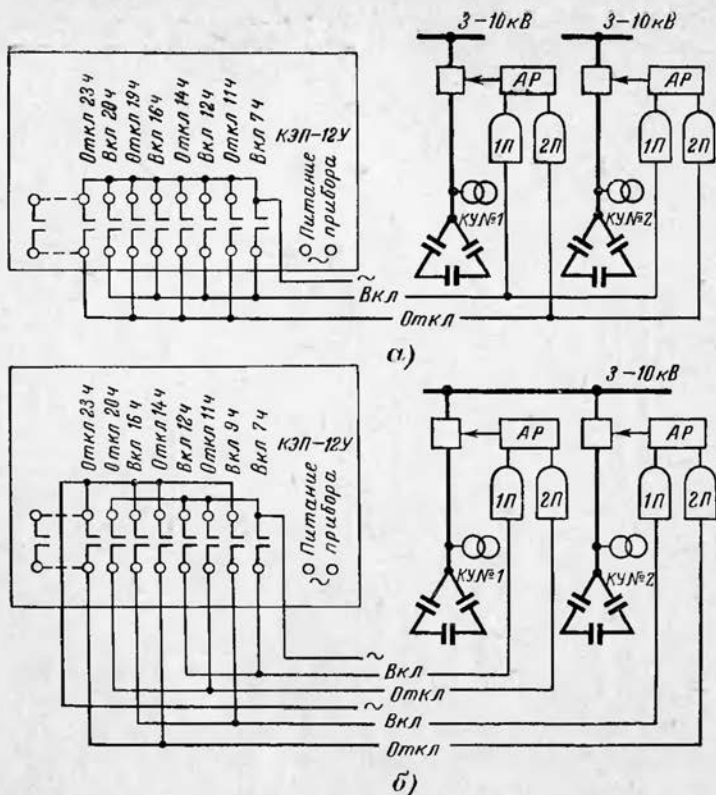


Рис. 25. Принципиальная схема автоматического регулирования по времени суток прибором КЭП-12У несколькими конденсаторными установками.

а — одноступенчатое регулирование; б — многоступенчатое регулирование.



Рис. 26. Схема программного управления несколькими конденсаторными установками от общего автоматического устройства.

кабельным или телефонным линиям осуществляется связь с аппаратурой управления на конденсаторных установках в различных пунктах предприятия. В определенные часы суток по заданной программе диспетчера и в соответствии с графиком реактивной нагрузки предприятия электрические контактные часы дают импульс на включение или отключение той или иной конденсаторной установки.

Могут применяться и более сложные и совершенные автоматические устройства для регулирования мощности конденсаторных установок по времени суток, основанные на применении логических и полупроводниковых элементов и счетно-решающих устройств по программе, записанной на магнитной ленте. Способы программного регулирования мощности конденсаторных установок по заданному часовому графику (по времени суток) могут быть самые разнообразные, и применение их возможно не только в промышленных электрических сетях, но и в городских и сельских электрических сетях.

При большом количестве конденсаторных установок малой мощности, расположенных на значительных расстояниях одна от другой, как это может иметь место и в городских и особенно в сельских сетях, регулирование по часовому графику является вполне доступным и простым. Это регулирование можно осуществить внедрением циркулярной передачи, направляемой по определенному часовому графику из диспетчерского пункта центральной распределительной подстанции, сигналами соответствующей тональной частоты по обычным сетям 6—10 кВ. Полученные сигналы дешифруются на месте конденсаторной установки, давая импульс на ее включение или отключение.

На рис. 27 приведена конструкция конденсаторной установки в водопыленепроницаемом шкафу, установленная на опоре. Такой шкаф с тремя трехфазными конденсаторами первого габарита и аппаратурой автоматического управления закрепляется на несложном металлическом кронштейне на опоре и подключается к проводам линии передачи 380 В. Автоматическое управление установкой может быть осуществлено по контрольному кабелю от ближайшего пункта управления (или подстанции) либо по проводам линии передачи токами тональной частоты, либо диспетчером с пульта управления.

При наличии диспетчеризации и телеуправления в системе электроснабжения промышленного предприятия регулирование мощности конденсаторных установок может осуществляться и без автоматики, непосредственно диспетчером предприятия, дистанционно средствами телемеханики или распоряжением по телефону. При этом может быть достигнута максимальная экономич-

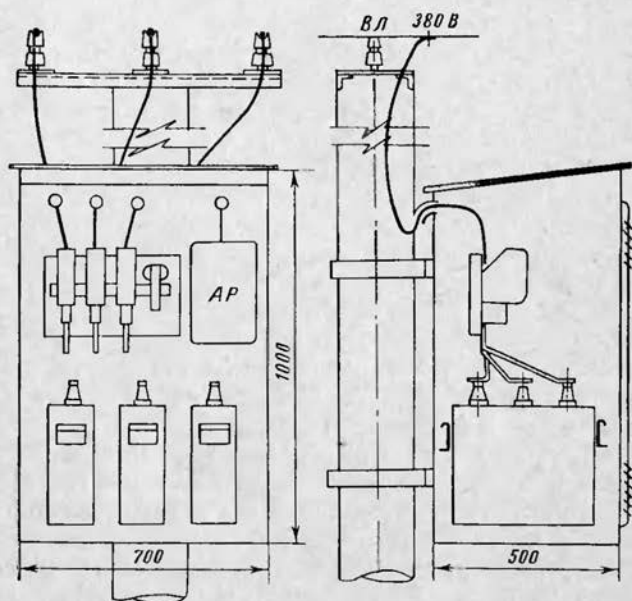


Рис. 27. Конструкция шкафа с конденсаторами мощностью 3 по 18 квар, напряжением 380 В и аппаратурой автоматического управления, установленной на опоре линии передачи.

ность электроснабжения предприятия, поскольку включение и отключение конденсаторных установок будет производиться оперативно и организованно на основании анализа диспетчером графика активных и реактивных нагрузок промышленного предприятия и энергетической системы.

При определении величины и качества загрузки питающих линий реактивной мощностью диспетчер может централизованно управлять конденсаторными установками, максимально используя выдаваемую ими мощ-

ность, и повышать тем самым напряжение в часы наибольшей нагрузки. При этом появляется возможность не допускать перетоков реактивной мощности в энергосистему, снижать напряжение в часы минимальных нагрузок.

11. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО УРОВНЮ НАПРЯЖЕНИЯ

При использовании конденсаторных установок для регулирования напряжения следует иметь в виду, что:

при увеличении мощности конденсаторной установки напряжение повышается, и наоборот, уменьшение мощности установки при наличии прежнего потребления реактивной энергии приводит к снижению напряжения;

регулирование мощности конденсаторных установок практически осуществляется только ступенями, следовательно, и регулирование напряжения будет осуществляться не плавно, а ступенями;

при снижении напряжения мощность конденсаторной установки снижается пропорционально квадрату напряжения, в то время как желательно было бы иметь в этом случае повышение мощности;

конденсаторная установка не является потребителем реактивной мощности и поэтому возможности регулирования ее напряжения в сторону снижения напряжения отсутствуют.

Регулирование мощности только одной конденсаторной установки дает незначительное изменение напряжения, но регулирование мощности всех или большинства конденсаторных установок в данном сетевом районе может дать весьма существенный эффект по регулированию напряжения в сети. Следует также учитывать, что основное назначение конденсаторных установок — это компенсация реактивных нагрузок, и следовательно, эффект их как регулятора напряжения используется без каких-либо дополнительных затрат. В сочетании с другими мероприятиями по регулированию напряжения, например с трансформаторами с регулированием напряжения под нагрузкой, регулируемые конденсаторные установки во многих случаях могут быть целесообразно использованы для местного регулирования напряжения. Однако нельзя допускать, чтобы конденсаторные установки оставались включенными в часы минимальной

нагрузки, когда напряжение и так высокое (увеличиваются потери, повышается напряжение, сокращается срок службы конденсаторов и электрооборудования). В то же время очевидно, что система регулирования по напряжению должна быть отстроена от кратковременных понижений, вызываемых, например, включением крупных электродвигателей.

Одним из простых способов автоматического регулирования по напряжению является регулирование, осуществляемое одним реле минимального напряжения, действующим на включение и отключение конденсаторной установки при колебаниях напряжения в сети, либо двумя реле напряжения — минимальным и максимальным, из которых одно включает, другое отключает конденсаторную установку при отклонениях напряжения от номинального. Для регулирования по напряжению могут быть использованы реле напряжения электромагнитные, индукционные, электронные, допускающие точную настройку и четкое срабатывание контактов при $\pm 10\%$ номинального напряжения сети. При этом установки реле напряжения должны допускать возможность настройки в пределах с интервалами $\pm 5-10\%$, т. е. 85, 90, 95, 100, 105, 110% номинального напряжения сети. При многоступенчатом регулировании по напряжению и наличию большого числа секций конденсаторных установок настройки могут быть более узкими, в пределах 1—2% номинального напряжения сети.

Для выполнения простейших устройств одноступенчатого регулирования по напряжению используется электромагнитное реле серии РН-50, принимаемое в схемах автоматики, с пределами регулирования напряжения, например 90 В при включении конденсаторной установки и 105 В при ее отключении. Недостатком реле РН-50 является низкий коэффициент возврата, но при последовательном включении с обмоткой реле добавочного сопротивления можно получить точность, достаточную для работы автоматики.

Применение дорогостоящих систем регулирования по напряжению для большинства конденсаторных установок напряжением до 1000 В и выше небольшой мощности, устанавливаемых на промышленных предприятиях, экономически не оправдано. В случае применения для регулирования напряжения на предприятии силовых трансформаторов с регулированием напряжения под

нагрузкой и конденсаторных установок с автоматическим регулированием по напряжению уставки напряжения в схемах регулирования должны быть такими, чтобы обеспечивалось минимальное количество переключений. В схеме автоматики конденсаторной установки пределы уставки напряжения должны составить примерно половину ширины ступени регулирования напряжения силового трансформатора. Уставка напряжения на отключение конденсаторной установки не зависит от расстояния до пункта питания, так как превышение

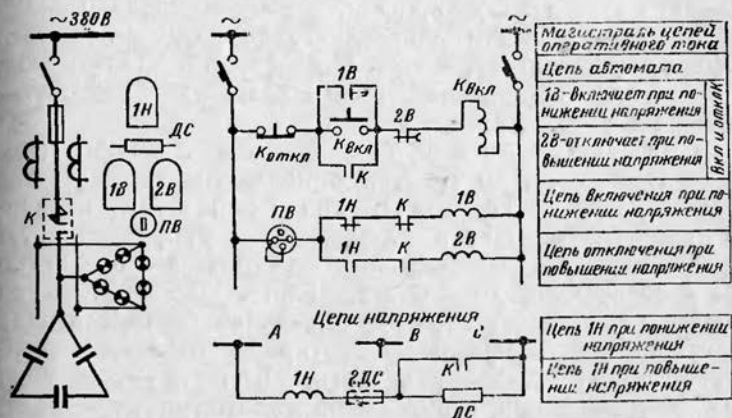


Рис. 28. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по напряжению с одним реле напряжения.

напряжения во всех случаях опасно для электроприемников и должно устанавливаться в зависимости от допускаемого повышения напряжения для потребителей электроэнергии и указания энергетической системы.

На рис. 28 приведена схема одноступенчатого автоматического регулирования мощности конденсаторной установки по напряжению, где в качестве пускового органа принято одно реле минимального напряжения типа РН-54. Размыкающий контакт 1Н работает в цепи включения конденсаторной установки при понижении напряжения в сети. Замыкающий контакт работает в цепи отключения при повышении напряжения в сети. При понижении напряжения в сети ниже заданного предела, например до 95% номинального напряжения, создается

цепь включения контактора конденсаторной установки, а именно: реле напряжения *1Н* срабатывает и замыкает свой контакт *1Н* в цепи катушки реле времени *1В*. Реле времени *1В* с заданной выдержкой времени (не менее 2—3 мин) замыкает свой контакт *1В* в цепи катушки контактора (без защелки) и автоматически включает конденсаторную установку в сеть.

После включения конденсаторной установки напряжение в сети несколько возрастает; для того чтобы конденсаторная установка не отключалась, автоматически происходит изменение напряжения уставки срабатывания реле *1Н* шунтированием последовательно включенного с катушкой добавочного сопротивления *ДС*. Реле напряжения *1Н* в этом случае может срабатывать, только если напряжение в сети возрастает выше увеличенной уставки срабатывания.

При повышении напряжения выше заданного предела (например, до 105% номинального напряжения) подготавливается цепь отключения выключателя конденсаторной установки, а именно: реле напряжения *1Н* срабатывает и замыкает свой контакт *1Н* в цепи катушки реле времени *2В*. Реле времени *2В* с выдержкой времени размыкает свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора и автоматически отключает конденсаторную установку от сети. Для осуществления выдержки времени, необходимой для отстройки от кратковременных понижений и повышений напряжения в сети, предусматривается реле времени типа РВП-2, действующее с выдержкой времени 2—3 мин.

В схемах одноступенчатого регулирования по напряжению для повышения точности работы автоматики может быть применена схема с двумя реле напряжения, приведенная на рис. 29. Одно реле своим контактом включает конденсаторную установку при понижении напряжения в сети, другое реле отключает ее при повышении напряжения.

Для более точной настройки схемы автоматики в связи с низким коэффициентом возврата реле напряжения в цепи его катушки последовательно включается добавочное сопротивление. При этом наладка схемы с двумя реле напряжения по сравнению со схемой с одним реле напряжения получается проще и достигается большая точность срабатывания реле. В остальном работа схемы одноступенчатого автоматического регули-

рования по напряжению с двумя реле напряжения аналогична работе схемы с одним реле напряжения.

Схемы с автоматическим регулированием в зависимости от уровня напряжения сети применяются также и в комплектных конденсаторных установках, изготавливаемые заводами электропромышленности. Эти установки работают как в режиме автоматического регулирования, так и с ручным кнопочным управлением.

В режиме автоматического управления команды на включение и отключение конденсаторов поступают от

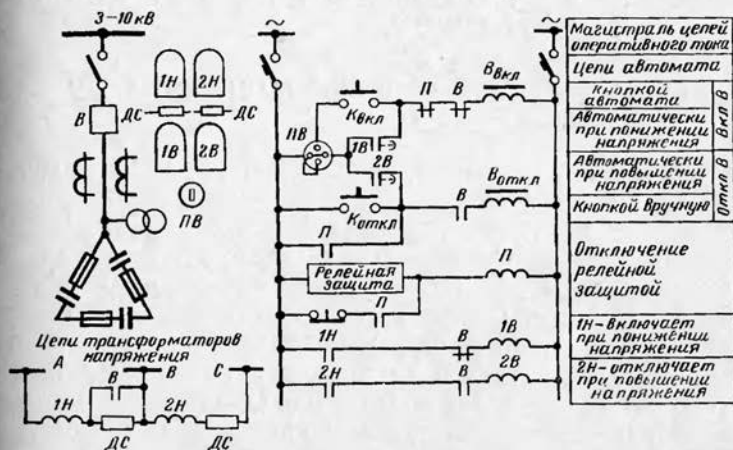


Рис. 29. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по напряжению с двумя реле напряжения.

1Н — реле минимального напряжения РН-54/160; 2Н — реле максимального напряжения РН-53/200; ДС — добавочное сопротивление порядка 1000 Ом; В — выключатель.

реле напряжения. При снижении входного напряжения до уровня уставки включения конденсаторная установка включается, при повышении входного напряжения до уровня уставки отключения конденсаторная установка отключается.

Перевод в режим ручного управления производится поворотом переключателя в соответствующее положение; при этом элементы автоматического регулирования отключаются.

Например, такая конденсаторная установка мощностью 110 квар типа УК-0, 38-110 НУЗ предназначена для компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий.

Установка состоит из шкафа, в котором размещены три конденсатора, соединенных по схеме треугольника, контактор в главной цепи, измерительные приборы, аппаратура управления и сигнализации.

Установка имеет устройство одноступенчатого автоматического регулирования в зависимости от уровня напряжения сети. Основные размеры $700 \times 650 \times 1760$ мм. Масса 350 кг.

Схемы многоступенчатого автоматического регулирования мощности конденсаторных установок по напряжению сети могут выполняться с помощью автоматического регулятора АРКОН.

12. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО ТОКУ НАГРУЗКИ

В результате анализа графика нагрузок промышленного предприятия может оказаться, что равномерно распределенная нагрузка между фазами резко меняется в течение дня, причем рост и снижение полной нагрузки сопровождаются соответствующими изменениями реактивной мощности. В этих условиях регулирование мощности конденсаторной установки целесообразно осуществить по току нагрузки с помощью двух токовых реле, установленных на вводе подстанции. Одно из реле включает конденсаторную установку при росте нагрузок, другое отключает ее при снижении нагрузок. Изменяя уставки тока срабатывания реле с учетом их коэффициента возврата, можно обеспечить автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок при различных нагрузках на вводе подстанции.

Для отстройки от кратковременных понижений и повышений тока в схеме предусматриваются два реле времени типа РВП-2, действующие с выдержкой времени порядка 2—3 мин.

В качестве пускового органа могут быть использованы токовые реле: индукционные, электромагнитные, например серии РТ-80; РТ-40, РЭВ, РТВ, имеющие коэффициент возврата соответственно 0,85; 0,8; 0,7. Для более точного регулирования и уменьшения диапазона между регулируемыми нагрузками следует применять токовые реле с более высоким коэффициентом возврата. В случае неравномерности нагрузки по отдельным фазам для правильной работы схемы пусковые токовые

реле включения и отключения конденсаторной установки надо подсоединять на одну из фаз трансформаторов тока.

На рис. 30 приведена схема одноступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки с применением двух электромагнитных токовых реле типа РТ-40, установленных на вводе подстанции с примерной программой включения и отключения конденсаторной установки.

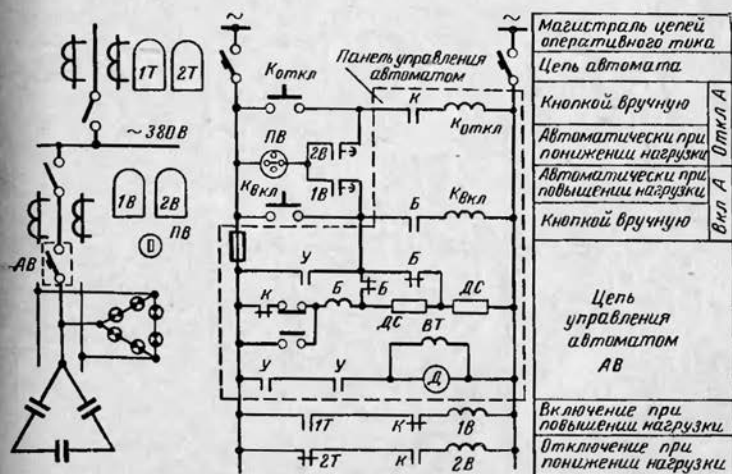


Рис. 30. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки.

При нагрузке на вводе подстанции меньше уставки тока включения 5 А конденсаторная установка остается отключенной. При увеличении нагрузки до значения тока 5 А срабатывает реле 1Т и замыканием своего контакта в цепи реле времени 1В с выдержкой времени 2—3 мин дает импульс на включение конденсаторной установки. Токовое реле 2Т, имея ток уставки 3 А, должно также сработать, однако отключение конденсаторной установки при этом не происходит, так как размыкающий контакт этого реле размыкается, а замыкающий блок-контакт автомата К в цепи 2В замыкается и тем самым подготавливается цепь для отключения конденсаторной установки. При снижении нагрузки на вводе подстанции до 3 А срабатывает реле 2Т и замыканием

своего контакта в цепи $2B$ с выдержкой времени 2—3 мин дает импульс на отключение конденсаторной установки.

Для более точной настройки автоматики или при наличии других типов токовых реле могут быть выполнены и другие схемы. Например, на рис. 31 приведена схема одноступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки с включением двух токовых реле через

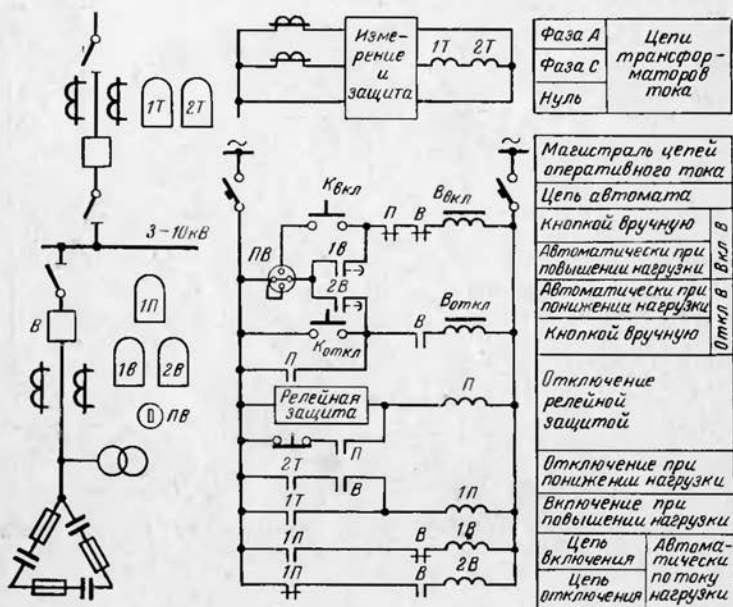


Рис. 31. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки.

1Т, 2Т — реле электромагнитные токовые с замыкающими контактами РТ-40/6; П, 1П — реле промежуточные РП-25.

дополнительное промежуточное реле 1П, которое регулирует очередность включения реле 1Т и 2Т в зависимости от их срабатывания по заданному току нагрузки.

Для осуществления многоступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки могут быть использованы схемы одноступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки. На рис. 32 приведена принципиальная схема многоступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки двух конденса-

торных установок с примерной программой включения и отключения, действующая аналогично схемам одноступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки. Для конденсаторной установки № 1 принимается уставка тока включения 4 А для реле 1Т и уставка тока отключения 2 А для реле 2Т. Для конденсаторной установки № 2 принимается уставка тока включения 5 А для реле 3Т и уставка тока отключения 3 А для реле 4Т.

При небольшой нагрузке конденсаторные установки находятся в отключенном состоянии, так как хотя реле 2Т и 4Т сработали и контакты их замкнуты, но открыты блок-контакты выключателей. При росте нагрузки и достижении тока 4 А срабатывает реле 1Т и с выдержкой времени включает конденсаторную установку № 1. При дальнейшем росте нагрузки срабатывает реле 3Т и также с выдержкой времени включает конденсаторную установку № 2. При снижении нагрузки до 3 А срабатывает реле 4Т и с выдержкой времени отключает конденсаторную установку № 2, а при дальнейшем снижении нагрузки срабатывает реле 2Т и отключает конденсаторную установку № 1.

Многоступенчатое автоматическое регулирование по току нагрузки может быть осуществлено для напряжения до 1000 В с помощью контакторов типа КТВ, установленных на каждой конденсаторной установке, и электромагнитных токовых реле типа РЭВ, действующих с выдержкой времени. На рис. 33 приведена принципиальная схема многоступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки двух конденсаторных установок, подключенных к шинам подстанции через контакторы.

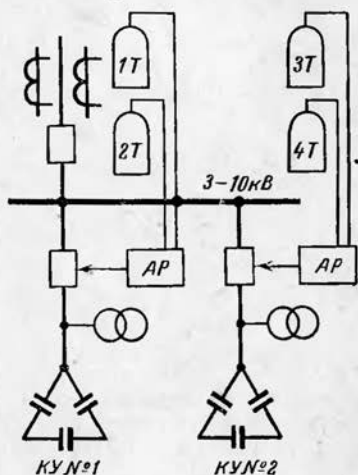


Рис. 32. Принципиальная схема многоступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки несколькими конденсаторными установками напряжением 3—10 кВ.

Одним из устройств по компенсации реактивной мощности, выполненных на полупроводниковых элементах и предназначенных для автоматического управления одноступенчатой конденсаторной установкой по величине полного тока нагрузки в сетях переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 В, является устройство типа ВАКО [16] (выключатель автоматический конденсаторный). Выключатель действует по принципу реле: если входной ток превышает величину выбранной уставки включения, устройство с выдержкой времени включает контактор конденсаторной установки, отключение

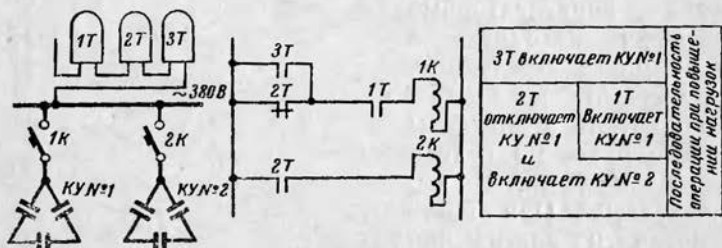


Рис. 33. Принципиальная схема многоступенчатого автоматического регулирования по току нагрузки несколькими конденсаторными установками напряжением 380 В.

контактора также происходит с выдержкой времени, когда входной ток становится меньше выбранной уставки отключения. Устройство ВАКО отключает конденсаторную установку с выдержкой времени или блокирует ее включение, если напряжение в сети 1,1 номинального значения и выше.

Устройство ВАКО предназначено для одноступенчатого управления, однако оно может быть использовано и для многоступенчатого регулирования. При наличии на предприятии нескольких конденсаторных установок с индивидуальными устройствами ВАКО можно путем выбора различных уставок тока включения и отключения в пределах, допускаемых устройством, установить такой порядок включения и отключения конденсаторных установок, который осуществлял бы их многоступенчатое автоматическое регулирование по величине полного тока нагрузки.

Токовая цепь устройства ВАКО рассчитана на номинальный ток 5 А. Напряжение питания 220 и 380 В

переменного тока 50 Гц. Допустимое отклонение $\pm 15\%$ номинального напряжения. Выбор уставок тока дискретный, независимый и соответствует величинам: уставка включения 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 А, уставка отключения 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 А. Потребляемая мощность цепи тока 3,0 В·А, цепи напряжения 15 В·А. Коэффициент возврата равен единице. Основная относительная погрешность уставок включения и отключения — не более $\pm 2,5\%$.

Выдержка времени фиксированная и составляет не менее 75 с во всем диапазоне изменения напряжения питания и температуры. Исполнение устройства ВАКО соответствует работе при температурах от -40 до $+40^\circ\text{C}$ и верхнем пределе относительной влажности 98% при 20° более низких температурах без конденсации влаги.

Устройство ВАКО может быть использовано для управления как на новых, так и на действующих конденсаторных установках. На рис. 34 приведена схема одноступенчатого регулирования по полному току нагрузки с регулятором ВАКО.

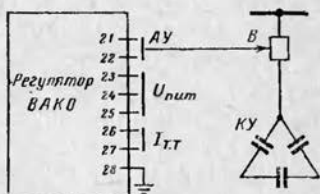


Рис. 34. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по полному току нагрузки регулятором ВАКО.

При установке устройства ВАКО необходимо присоединить заземляющий провод к зажиму 28, вторичную обмотку трансформатора тока нагрузки — к зажимам 26 и 27, напряжения питания 220 В — к зажимам 25 и 24, напряжение 380 В — к зажимам 25 и 23, цепь управления выключателем — к зажимам 21 и 22, а также установить требуемые уставки: включения — при помощи переключателя «Уставки Вкл», отключения — при помощи переключателя «Уставки Откл».

Конструкция устройства ВАКО смонтирована на пластмассовом основании, к которому крепится шасси с лицевой панелью. Для защиты от механических повреждений узлов и деталей устройство ВАКО закрывается глухим металлическим кожухом и крышкой. На лицевой панели размещены переключатели «Уставки Вкл» и «Откл», предохранитель и контрольные зажимы логического элемента. Обозначение положений переключателей соответствует уставкам тока.

Устройство ВАКО устанавливается на щитах толщиной до 30 мм и имеет как переднее, так и заднее присоединение. Масса устройства ВАКО не более 7 кг. Основные размеры: длина 255, ширина 175 и высота 235 мм. Устройство ВАКО поставляется настроенным согласно данным, указанным в паспорте.

При переводе на ручное управление контактором конденсаторной установки устройство ВАКО должно быть отключено от напряжения питания. При ручном управлении контактором конденсаторной установки допускается оставлять токовый вход присоединенным к трансформатору тока. Переключение на ручное управление контактором конденсаторной установки допускается при любом состоянии контактора, а переключение с ручного управления на автоматическое производится только при отключенном контакторе (при разряженных конденсаторах конденсаторной установки).

При заказе на устройство ВАКО следует указывать вид присоединения (передний или задний).

13. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО ХАРАКТЕРУ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок может быть выполнено в зависимости от изменения направления реактивной мощности, когда важно ограничивать отдачу промышленными предприятиями реактивной мощности в сеть энергетической системы. Однако такое регулирование не всегда может соответствовать экономическому режиму работы системы электроснабжения промышленного предприятия.

Например, в максимуме нагрузок энергетической системы, когда требуется включение всех абонентских конденсаторных установок, на некоторых подстанциях предприятий возможны перетоки реактивной мощности от потребителя к системе. При таком регулировании произойдет отключение конденсаторной установки, что крайне нежелательно. Это обстоятельство приводит к тому, что указанный параметр регулирования может быть применен при условии обследования соответствующего режима эксплуатации абонентской сети.

В схеме автоматического регулирования мощности конденсаторной установки по направлению реактивной мощности в качестве пускового органа могут быть ис-

пользованы обычные реле мощности при условии частичной компенсации внутреннего угла сдвига в реле включением емкости последовательно с обмоткой напряжения и соответствующим сочетанием подводимых напряжений и тока.

На рис. 35 приведена схема одноступенчатого автоматического регулирования по направлению реактивной мощности с применением двух реле мощности типа РБМ-171, включенных на трансформаторы тока ввода

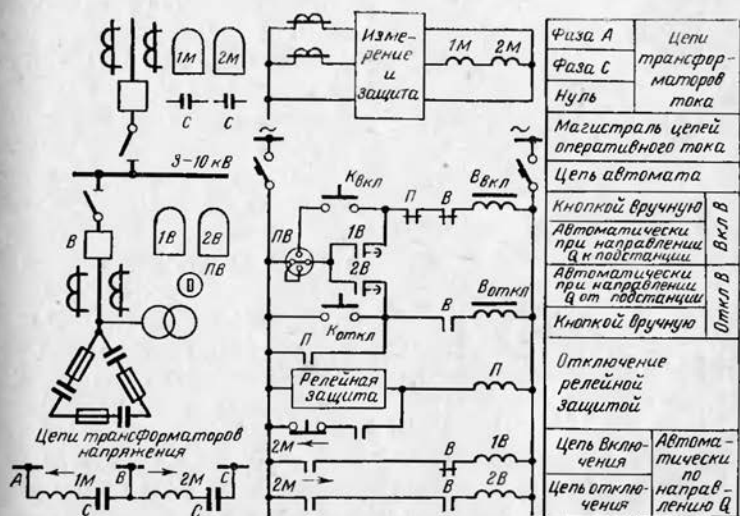


Рис. 35. Схема одноступенчатого автоматического регулирования по направлению реактивной мощности.

С — дополнительная емкость порядка 9 мкФ.

подстанции. Схема работает следующим образом: если вырабатываемая конденсаторной установкой реактивная мощность полностью расходуется в сети потребителя, а реактивная мощность из сети энергетической системы не поступает, то вращающий момент реле будет равен нулю. Таким образом, реактивная мощность потребителя при включенной конденсаторной установке полностью компенсируется.

При выработке конденсаторной установкой реактивной мощности в размере большем, чем смогут израсходовать электроприемники потребителя, избыток реактивной мощности будет иметь направление от подстанции

промышленного предприятия к энергетической системе. В соответствии с этим изменением направления реактивной мощности изменяет свой знак и вращающий момент реле $2M$ в сторону замыкания контакта в цепи реле $2B$, которое срабатывает и с заданной выдержкой времени замыкает свой контакт в цепи выключателя с последующим отключением конденсаторной установки.

При отстающем коэффициенте мощности на вводе подстанции, когда реактивная мощность имеет направ-

ление от энергетической системы к подстанции, реле $2M$ будет иметь вращающий момент в сторону размыкания контакта, а реле $1M$ — в сторону замыкания контакта в цепи реле $1B$, которое с выдержкой времени срабатывает и дает импульс на включение конденсаторной установки.

В схеме автоматического регулирования мощности конденсаторных установок по величине и направлению реактивной мощности может быть применен также регулятор реактивной мощности, в котором в качестве управляющего органа используется трехфазный счетчик реактивной энергии (рис. 36).

В этом счетчике счетный механизм заменен барабаном из изоляционного материала с контактным цилиндром со ступенчатыми вырезами; к этому цилиндру прижимаются щеточные контакты, замыкающие цепи управления при определенном угле поворота барабана, имеющего ограничение вращения в случае включения и отключения секций конденсаторной установки в пределах поворота на угол $\pm 180^\circ$.

Вращающий момент счетчика — реактивная энергия выражается формулой

$$M = k U I \sin \varphi,$$

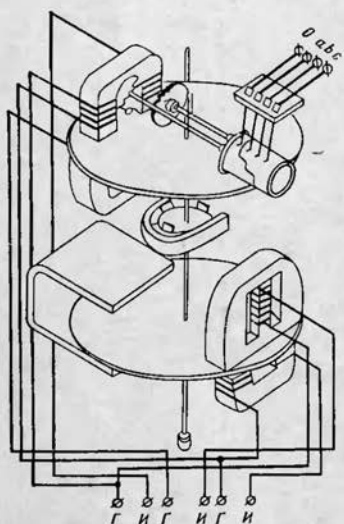


Рис. 36. Кинематическая схема управляющего органа регулятора реактивной мощности.

где k — постоянный коэффициент счетчика; U — напряжение сети; I — ток нагрузки; φ — угол сдвига фазы между током и напряжением.

Следовательно, при любом отклонении угла φ на подвижную часть прибора будет действовать момент, пропорциональный $\sin \varphi$. Направление вращения диска зависит от знака угла φ , т. е. от характера реактивной нагрузки. При $\cos \varphi = 1$ диск счетчика будет неподвижен. Это свойство реактивного счетчика позволяет использовать его в схемах автоматического поддержания и отключения секций конденсаторной установки. Схема управления могла бы быть осуществлена непосредственно от щеточных контактов счетчика к выключателям секций конденсаторных установок. Однако ввиду малой величины вращающего момента диска счетчика применяются различные варианты исполнения контактной системы таких регуляторов, в том числе щеточные ртутные с устройством дополнительного промежуточного звена, служащего для усиления импульса от этих контактов, например через полупроводниковый усилитель, и др.

В случае резких изменений реактивной нагрузки в течение суток возможно выполнение автоматического регулирования мощности конденсаторных установок по величине коэффициента мощности. Для этой цели в качестве датчика может быть использован фазометр, в котором на шкале в местах, соответствующих заданным пределам коэффициента мощности, устанавливаются датчики. При совмещении стрелки фазометра с датчиком в зависимости от коэффициента мощности подается импульс на включение или отключение конденсаторной установки.

Используется также релейно-электронная схема фазометра с двумя фотосопротивлениями. Фотосопротивления устанавливаются на шкале фазометра с обратной стороны против специально просверленных отверстий. Эти отверстия сверлятся в местах, соответствующих заданному пределу коэффициента мощности. При загорании стрелкой фазометра луча осветительной лампы подается импульс на включение или отключение конденсаторной установки.

Для компенсации реактивной мощности электротермических установок индукционного нагрева, потребляющих значительное количество электрической энергии с

очень низким коэффициентом мощности, обычно составляющим 0,15—0,4, применяются регулируемые конденсаторные установки, реактивная мощность которых в несколько раз превышает активную мощность электро-термической установки. По ходу технологического процесса работа печи характеризуется значительным изменением параметров печи, поэтому для поддержания коэффициента мощности близким к номинальному применяются автоматические регуляторы, изменяющие мощность конденсаторной установки по ходу процесса. Такие регуляторы разработаны и выпускаются серийно.

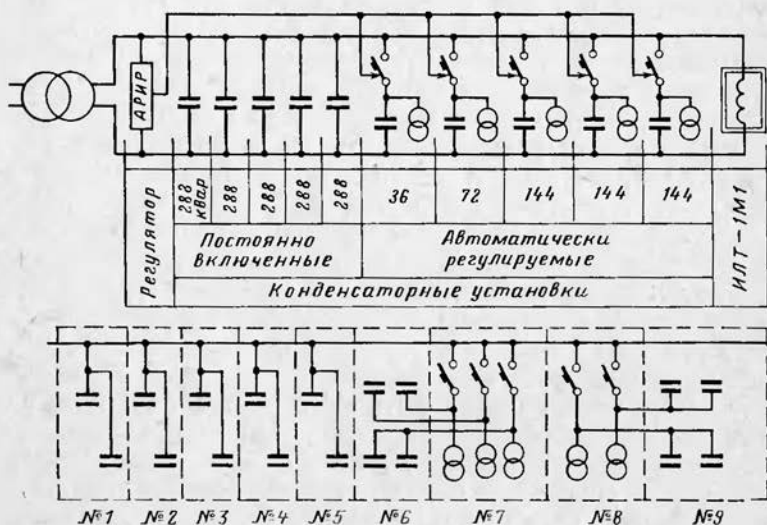


Рис. 37. Схема конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности индукционной печи типа ИЛТ-1М1.

Для поддержания электрического режима индукционных плавильных и нагревательных установок промышленной частоты применяется автоматический регулятор типа АРИР, подключающий определенную часть конденсаторной установки в зависимости от изменения индуктивности в процессе плавки.

Принципиальная схема конденсаторной установки с регулятором АРИР для компенсации реактивной мощности индукционной печи типа ИЛТ-1М1 приведена на рис. 37. Управление электрическим режимом печи осуществляется путем ступенчатого переключения регули-

руемой части конденсаторной установки, составляющей 30—40% общей мощности установки (остальная часть конденсаторной установки подключена постоянно), а также путем воздействия на переключатель ступеней напряжения печного трансформатора. Исполнительными органами являются промежуточные реле, осуществляющие включение конденсаторов конденсаторной установки и переключающего устройства печного трансформатора.

Регулятор АРИР обеспечивает поддержание оптимального электрического режима в процессе плавки и состоит из блока автоматического регулирования коэффициента мощности, блока регулирования тока, блока коррекции уставки по коэффициенту мощности и блока питания напряжением 220 В. Ручное подключение и отключение ступеней конденсаторной установки производится с помощью кнопок, установленных на щите ручного управления печью.

Конструктивно регулятор АРИР представляет собою шкаф с двусторонним обслуживанием с размерами 700 × 600 × 2000 мм и массой 260 кг, устанавливаемый в непосредственной близости от щита управления печью.

14. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

В зависимости от технологии производства возможно осуществление комбинированных схем регулирования мощности конденсаторных установок от неэлектрических датчиков НД, например температуры, давления, либо от включения или отключения отдельных производственных механизмов, поточных линий и других устройств, если при этом изменение реактивной нагрузки будет соответствовать технологической загрузке промышленного предприятия. На рис. 38 приведена принципиальная схема регулирования мощности неэлектрическими датчиками в зависимости от производственных процессов: например, включение конденсаторной установки осуществляется только при обязательном срабатывании контактов датчиков при определенной температуре $1НД$ и давлении $2НД$, а отключение возможно раздельно при повышении температуры или давления против номинального.

На рис. 39 приведена принципиальная схема регулирования мощности неэлектрическим датчиком в зависимости от режима работы технологических участков производства, которые включаются и отключаются в работу с диспетчерского пункта предприятия. При включении этих технологических участков их механический

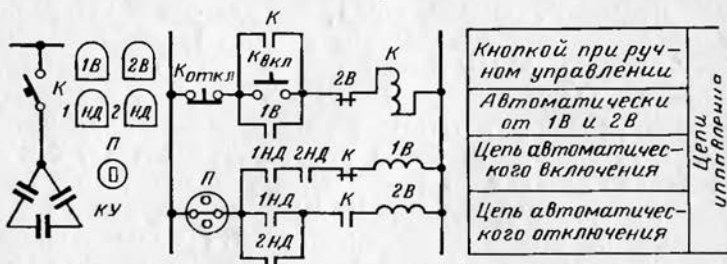


Рис. 38. Принципиальная схема автоматического регулирования неэлектрическими датчиками в зависимости от производственных процессов.

1НД — датчик температуры; 2НД — датчик давления.

или электрический контакт НД замыкается в цепи автоматики и включает конденсаторную установку, при отключении участка контакта НД размыкается и отключает конденсаторную установку. Переключатель П

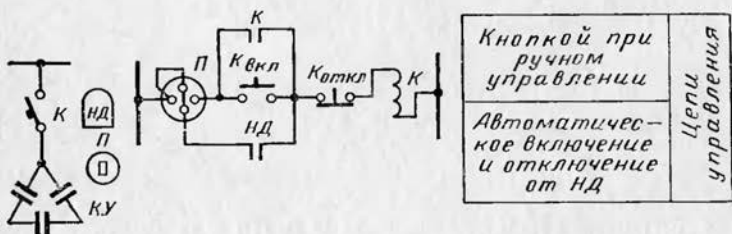


Рис. 39. Принципиальная схема автоматического регулирования неэлектрическим датчиком НД в зависимости от режима работы технологического участка.

предусматривается для перевода с ручного на автоматическое управление. Схема проста, исключает несвоевременное включение и отключение конденсаторной установки и тем самым осуществляет автоматическое регулирование реактивной мощности предприятия.

Возможны и другие комбинации схем управления конденсаторных установок в зависимости от технологии

производства. Любая схема автоматики с неэлектрическими датчиками должна учитывать основные условия автоматического управления конденсаторными установками: исключение возможности повторного включения конденсаторной установки до ее полного разряда, для чего в схеме автоматического включения и отключения выключателя предусматриваются реле времени $1B$ и $2B$ с выдержкой времени не менее 3 мин, наличие возможности ручного аварийного отключения выключателя конденсаторной установки независимо от схемы автоматики.

В схеме автоматики на рис. 39 реле времени могут и не устанавливаться, если по технологии производства время включения конденсаторной установки после ее отключения будет более 3 мин, т. е. достаточное для разряда конденсаторов.

Таким образом, использование контактов неэлектрических датчиков дает возможность заменить ручное включение и отключение конденсаторных установок либо автоматическое управление от сложных электрических параметров своевременным управлением конденсаторными установками в зависимости от графика реактивной нагрузки данных предприятий. Следовательно, пристройка контакта неэлектрического датчика к любому технологическому механизму делает возможным одновременно включать и отключать с приводным электродвигателем соответствующего механизма конденсаторную установку и тем самым осуществлять саморегулирование выработкой реактивной мощности.

15. КОМБИНИРОВАННЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В комбинированных схемах регулирования мощности используются несколько параметров. Эти схемы могут быть выполнены как для одноступенчатого, так и для многоступенчатого регулирования. В работе схем комбинированного регулирования следует особенно обратить внимание на исключение возможности повторного включения конденсаторной установки в заряженном состоянии. Для этого необходимо, чтобы включение конденсаторной установки обязательно происходило с выдержкой времени, требуемой для разрядки конденсаторов (не менее 2—3 мин после ее отключения).

На рис. 40 приведена одна из простых комбинированных схем одноступенчатого регулирования по времени суток с коррекцией по напряжению, в которой используются электровторичные сигнальные часы типа ЭВЧС и реле минимального напряжения. Эта схема предусматривает сочетание схем автоматического регулирования по времени суток и напряжению и работает следующим образом. Если после включения ЭВЧС конденсаторной установки в заданное время суток окажется

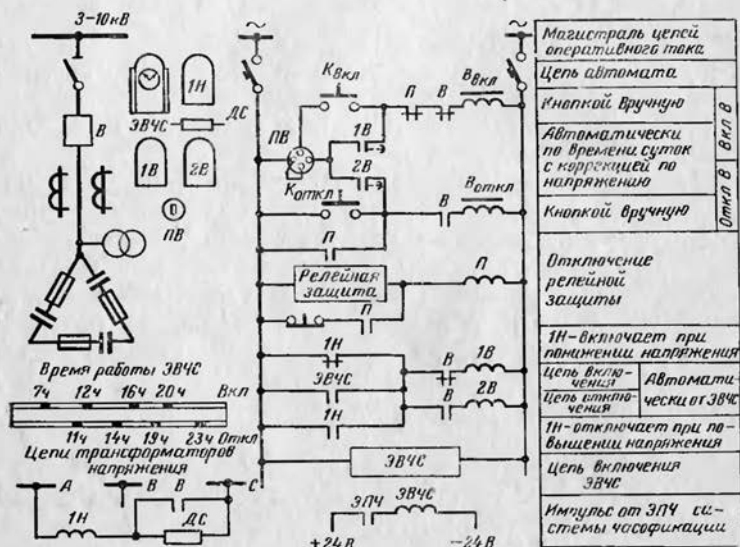


Рис. 40. Комбинированная схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток с коррекцией по напряжению.

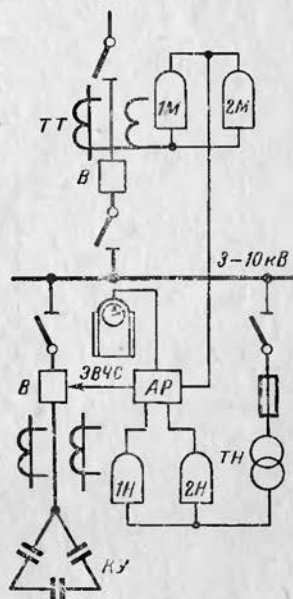
ся, что напряжение будет повышенное, то реле напряжения 1Н отключит конденсаторную установку. Если по заданному времени суток ЭВЧС отключит конденсаторную установку, а напряжение в сети очень низкое, то реле 1Н снова включит ее. Если до отключения по заданному времени суток напряжение в сети почему-либо повысится, то реле 1Н отключит конденсаторную установку. Таким образом, ЭВЧС включает или отключает конденсаторную установку по программе, заданной по времени суток, а реле напряжения 1Н вводит кор-

реактивы в зависимости от величины напряжения в данный промежуток времени.

На рис. 41 приведена комбинированная принципиальная схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток, напряжению и направлению реактивной мощности. В этой схеме также предусматривается сочетание схем автоматического регулирования по отдельным параметрам.

Работа схемы может быть представлена следующим образом. Автоматическое включение конденсаторной

Рис. 41. Принципиальная комбинированная схема одноступенчатого автоматического регулирования по времени суток, напряжению и направлению реактивной мощности.



установки должно происходить или при значительном понижении напряжения в сети, или при направлении реактивной энергии от системы к подстанции.

Автоматическое отключение может происходить при направлении реактивной энергии от подстанции к системе, но при условии наличия на шинах подстанции номинального напряжения. Такое условие в цепи отключения необходимо для сохранения на шинах номинального напряжения. Автоматическое отключение может происходить также при значительном повышении напряжения на шинах подстанции, к которым подключена конденсаторная установка.

Одним из комбинированных устройств компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения, выполненных на полупроводниковых элементах, предназначенных для многоступенчатого автоматического регулирования мощностей конденсаторных установок в сетях переменного тока высокого и низкого напряжения, является устройство типа АРКОН [15]. Устройство АРКОН может быть использовано для автоматического управления как вновь устанавливаемыми, так и действующими конденсаторными установками промышленных предприятий.

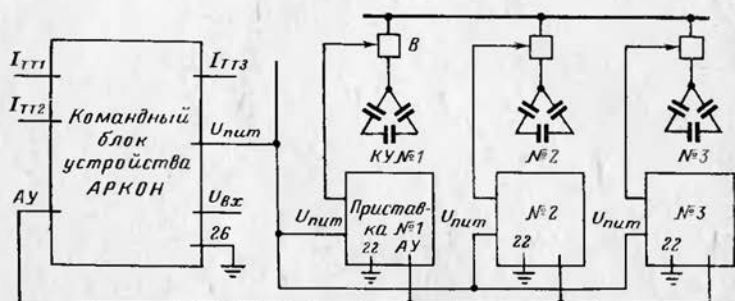


Рис. 42. Структурная схема подключения автоматического регулятора конденсаторных установок типа АРКОН с тремя приставками.

В устройстве АРКОН предусматривается возможность выбора регулирования по следующим основным комбинированным параметрам: реактивному току нагрузочного узла и напряжению сети; напряжению сети и току конденсаторной установки; напряжению сети.

Устройство работает при температуре окружающей среды от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха до 80% при 20°C и высоте над уровнем моря до 1000 м. Устройство состоит из командного блока и управляемого им программного блока для осуществления многоступенчатого регулирования конденсаторными установками. Структурная схема автоматического управления конденсаторными установками регулятором АРКОН приведена на рис. 42.

Командный блок в зависимости от величины входного сигнала с заданной выдержкой времени 1—3 мин выдает программному блоку команды включения или

отключения. Программный блок осуществляет последовательно автоматическое включение или отключение коммутационной аппаратурой секций конденсаторной установки и представляет собой набор идентичных приставок, количество которых определяется числом подключаемых секций и логикой коммутации. Приставки могут совмещаться по три в общем кожухе.

Для ручного управления приставками предусматриваются кнопки управления. Выбор режима управления конденсаторными установками, автоматически или вручную, осуществляется переключателем. Выбор программы многоступенчатого регулирования (включение и отключение) может быть выполнено по нормальному единичному коду 1:1:1 либо по нормальному двоичному коду 1:2:4. При регулировании равными ступенями по нормальному единичному коду соотношение мощностей секций конденсаторной установки выбираются равными 1:1:1, а по нормальному двоичному коду 1:2:4. Каждая приставка управляет одним коммутирующим аппаратом конденсаторной установки.

Например, программным блоком из трех приставок при коммутации по нормальному единичному коду регулирование осуществляется тремя равными ступенями, а при коммутации по нормальному двоичному коду — семью ступенями.

Максимальное число ступеней регулирования устройством АРКОН при коммутации по нормальному единичному коду составляет 15 приставок, а по нормальному двоичному коду — 4 приставки.

Номинальное входное напряжение командного блока выбирается 100, 220 и 380 В переменного тока частотой 50 ± 1 Гц. Номинальный ток коррекции выбирается 5; 3,75 и 2,5 А. В установках напряжением выше 1000 В подключение устройства осуществляется через трансформаторы тока и напряжения. В установках напряжением 220/380 В токовые цепи присоединяются через трансформатор тока, а цепи напряжения — непосредственно к силовой сети.

Командный блок имеет три уставки по напряжению: плавно регулируемую уставку на включение, дискретно регулируемую уставку на отключение и плавно регулируемую уставку на форсированное включение секций конденсаторной установки при уменьшении напряжения ниже заданного уровня.

Уставка на отключение конденсаторной установки регулируется в пределах 0,9—1,2 номинального напряжения при помощи переключений «Грубо» ступенями через 10% (90, 100, 110%) и переключений «Точно» ступенями через 1% (от 0 до 10%).

Уставка на включение регулируется в пределах 0,94—0,995 напряжения уставки на отключение, что составляет регулировку ширины зоны нечувствительности в пределах от 0,06 до 0,005 напряжения уставки на отключение. Уставка на форсированное включение регулируется в пределах от 0,70 до 0,90 напряжения уставки на отключение. Форсирование обеспечивает одновременное включение всех секций конденсаторной установки без выдержки или с выдержкой времени, регулируемой в пределах от 3 до 10 с. Коэффициент возврата по каждой уставке контролируемого напряжения блока равен 1.

Устройство АРКОН надежно работает при изменении напряжения питания от 85 до 120% номинального напряжения. Мощность, потребляемая командным блоком по цепи питания при номинальном напряжении, составляет не более 10 В·А, приставкой — 8 В·А. Мощность, потребляемая командным блоком по цепи входного напряжения при номинальном напряжении, составляет не более 7,5 В·А, по цепи токовой коррекции при номинальном токе — не более 5 В·А. Командный блок поставляется на номинальное входное напряжение 380 В; номинальное напряжение цепей питания, в том числе и приставок, равно 220 В. В случае других напряжений до включения устройства необходимо произвести переключение на нужные номинальные напряжения.

Перед подключением устройства к сети командный блок (зажим 26) и приставка (зажим 22) должны быть заземлены.

В зависимости от параметра регулирования и места конденсаторной установки подключение устройства АРКОН к сети производится:

1) при регулировании «по напряжению» на командный блок подается входное напряжение $U_{вх}$, одно из фазных или линейных напряжений сети и напряжение питания $U_{пит}$;

2) при регулировании «по напряжению с коррекцией по току нагрузки» на командный блок кроме напряже-

ний $U_{вх}$ и $U_{пит}$ подается ток свободной фазы от трансформатора тока ввода $I_{ТТ1}$ (при двух вводах $I_{ТТ1}$ и $I_{ТТ2}$) и тока такой же свободной фазы $I_{ТТ3}$ от трансформатора тока конденсаторной установки (при регулировании по скомпенсированному току, т. е. с учетом конденсаторной установки). Командный блок и приставки выполнены в виде щитового прибора. Для защиты от механических повреждений и от загрязнений узлы и детали закрываются металлическим кожухом.

Устройство АРКОН монтируется на щитах управления в неотапливаемых помещениях, в шкафах наружной установки и на панелях комплектных конденсаторных установок. Командный блок и приставки устройства имеют переднее и заднее присоединение проводов и допускают крепление на щитах толщиной до 30 мм.

Ширина командного блока 210 мм, длина 325 мм, высота 290 мм, масса — не более 12 кг. Ширина приставки 180 мм, длина 230 мм, высота 135 мм, масса 2,5 кг.

При заказе на устройство АРКОН следует указывать требуемое количество командных блоков и приставок программного блока, а также вид присоединения — переднее или заднее.

Для компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий устройство АРКОН получило распространение для многоступенчатого автоматического регулирования с комплектными конденсаторными установками серии УК-0,38-НУЗ мощностью от 220 до 540 квар, а также серии УК-6 (10) мощностью от 600 до 1800 квар.

Практика монтажа и наладки подтвердила, что устройство АРКОН является надежным и экономически выгодным для промышленных предприятий. Устройство обычно устанавливается во вводной ячейке комплектных конденсаторных установок с измерительными приборами и сигнализацией. На действующих установках устройство АРКОН может быть размещено на панелях распределительных щитов и щитов управления.

16. ФОРСИРОВКА МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Применение конденсаторов для повышения коэффициентов мощности в некоторых случаях может привести к снижению запаса устойчивости системы электроснаб-

жения, так как известно, что понижение напряжения в сети вызывает снижение реактивной мощности, выдаваемой в сеть конденсаторными установками, поскольку мощность конденсаторной установки уменьшается пропорционально квадрату напряжения. Для устранения этого недостатка применяют форсировку мощности конденсаторной установки путем автоматического изменения схемы соединения конденсаторов в установке. При этом обеспечивается на определенное время неизменная или даже повышенная выдача реактивной мощности при снижении напряжения до определенной величины. В результате форсировки мощности конденсаторной установки изменяются как напряжение, так и емкость фазы, приходящиеся на каждый отдельный конденсатор.

По назначению форсировка может быть кратковременной — для поддержания устойчивости энергетической системы в моменты резкого снижения напряжения, при коротком замыкании либо других аварийных режимах и длительной — для уменьшения дефицита реактивной мощности в нормальных режимах в связи с увеличением выдачи ее в часы максимума нагрузки или для резервирования при выходе из строя или вывода в ремонт других источников реактивной мощности и т. п.

Схемы форсировки предусматривают параллельно-последовательное подключение конденсаторов к установке на повышенное по отношению к номинальному напряжение. Автоматическое переключение конденсаторных установок осуществляется высоковольтными выключателями от пусковых органов схемы форсировки, реагирующих на скорость изменения напряжения во времени, что обеспечивает включение основного выключателя и переключающего или шунтирующего переключателя.

Простейший вид форсировки может быть осуществлен при наличии нескольких регулируемых конденсаторных установок, обычно управляемых по определенному графику нагрузки предприятия, а при резком изменении напряжения или реактивной мощности все могут одновременно включиться или отключиться автоматически от специального реле форсировки. В этом случае представляется возможным поддерживать напряжение до необходимой величины и не допускать, например, отключения пускателей электродвигателей и т. п. Форсированное одновременное включение всех секций

конденсаторных установок без выдержки времени и с выдержкой времени в пределах от 3 до 10 с обеспечивает регулятор АРКОН.

Из схем длительной форсировки конденсаторной установки наиболее рациональной является схема с переключением из треугольника на двойную звезду (рис. 43, а) для сетей с изолированной нейтралью трансформатора. Включением выключателя 2В половины секций двух фаз установки, примыкающие к одному углу треугольника, соединяются параллельно и напряжение

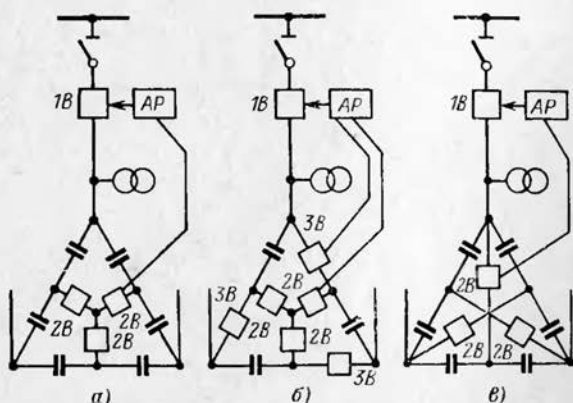


Рис. 43. Принципиальные схемы форсировки мощности конденсаторных установок.

1В — главный выключатель; 2В, 3В — выключатели форсировки; АР — автоматическое регулирование.

на каждой из них возрастает с половины линейного до фазного напряжения. Кратность форсировки при этом достигает: по напряжению 1,15 номинального напряжения, по мощности 1,33 номинальной мощности. Такие перегрузки в течение нескольких часов могут выдержать конденсаторы, предназначенные для этой цели [6].

Из кратковременных форсировок конденсаторной установки схема с переключением со звезды на треугольник (рис. 43, б) дает трехкратное форсирование мощности:

$$k = \frac{Q_{\Delta}}{Q_{\text{зв}}} = \frac{\omega CU^2 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{3} \omega CU^2 \cdot 10^{-3}} = 3,$$

где ω — угловая частота; C — суммарная емкость трех фаз конденсаторной установки, мкФ; U — линейное напряжение сети, кВ.

Очередность работы выключателей схемы форсировки от действия автоматического регулирования по какому-либо параметру происходит следующим образом: например, при резком понижении напряжения отключается выключатель $3B$ и включается $2B$; после восстановления нормального напряжения может произойти обратное переключение этих выключателей. При переключении внутренней схемы соединения конденсаторной установки (рис. 43, в) с треугольника на двойной треугольник при замыкании вершин с серединой треугольника происходит четырехкратное форсирование мощности конденсаторной установки. От действия автоматического регулирования, например при понижении напряжения, включается выключатель форсировки $2B$, соединяя вершины с серединой противоположной стороны треугольника конденсаторной установки. Переключение выключателя $2B$ может произойти обратно, если напряжение снова восстановилось.

Могут быть и другие варианты схем форсировки мощности конденсаторных установок.

Переключение в схемах форсировки приводит к перезарядке емкостей конденсаторов через небольшие индуктивности, что обуславливает большие толчки тока и перенапряжения, могущие представлять опасность для самих конденсаторов и коммутационной аппаратуры. Поэтому при проектировании схем форсировки эти вопросы должны подробно исследоваться и в каждом отдельном случае согласовываться с заводом-изготовителем конденсаторов и коммутационной аппаратуры.

Следует также при форсировке учитывать необходимость обеспечения разряда конденсаторов в связи со сложными переключениями в схеме конденсаторной установки. Поэтому трансформаторы напряжения для разряда необходимо устанавливать параллельно переключаемым частям в каждой фазе конденсаторной установки. При применении конденсаторов со встроенными разрядными сопротивлениями опасность разрядки конденсаторов исключается, так как каждый конденсатор независимо от схемы переключения при форсировке разряжается через свое встроенное разрядное сопротивление.

ление и нет необходимости в установке трансформаторов напряжения для разряда.

Наряду с достоинством, получаемым от регулирующего эффекта при форсировке мощности конденсаторных установок, имеется и существенный недостаток в связи с перегрузкой конденсаторов. Эта перегрузка при значительном повышении напряжения приводит к повышению температуры диэлектрика, а следовательно, и сокращению срока службы конденсаторов.

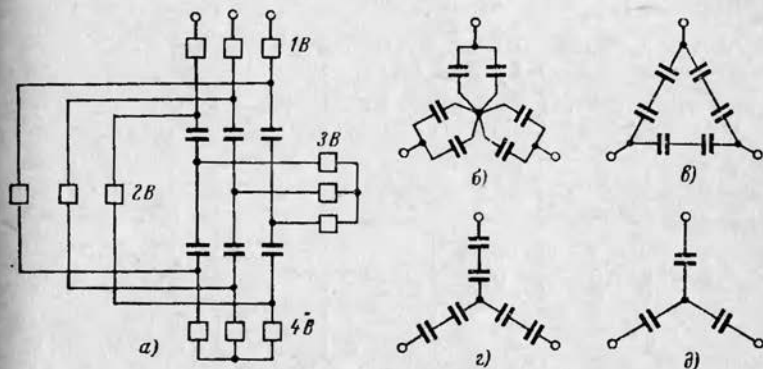


Рис. 44. Схема ступенчатого регулирования мощности конденсаторной установки снижением рабочего напряжения.

Для повышения эксплуатационной надежности конденсаторов может быть использована схема ступенчатого регулирования мощности конденсаторных установок без их отключения, но с изменением схемы и соответствующим снижением рабочего напряжения конденсаторов по сравнению с номинальным.

На рис. 44, а приведена схема соединения конденсаторной установки, в которой, не меняя общего количества конденсаторов, можно изменять схему их соединений для получения различной мощности при различном напряжении на конденсаторах (табл. 4). Схема ступенчатого переключения может выполняться только из однофазных конденсаторов. Кроме того, в схеме предусмотрено отключение половины конденсаторов для уменьшения мощности всей установки в 2 раза в случае необходимости отключения части конденсаторов для аварийных и ремонтных работ. Выбор схемы зависит от

графика реактивной нагрузки предприятия. Изменение схемы соединения конденсаторов осуществляется четырьмя одинаковыми или различными по мощности ступенями, а число выключателей не превышает их количества при регулировании по обычным схемам.

Т а б л и ц а 4

Соотношения напряжений на конденсаторах и мощности конденсаторной установки

Схема соединения конденсаторов (рис. 44)	Напряжение на конденсаторах, отн. ед.	Мощность конденсаторной установки, отн. ед.	Положение выключателей			
			1В	2В	3В	4В
б	1,0	1,0	Включен	Включен	Включен	Включен
в	0,865	0,75	"	"	Отключен	Отключен
г	0,5	0,25	"	Отключен	То же	Включен
д	1,0	0,5	"	"	Включен	Отключен

Повышение надежности конденсаторов объясняется тем, что конденсаторная установка на полную мощность будет работать только в течение нескольких часов при максимальной нагрузке, а остальное время она будет находиться при пониженном напряжении и не будет испытывать перегрузки. Независимо от уменьшения мощности конденсаторной установки либо снижения напряжения на ее элементах до необходимой величины потери мощности при изменении схемы соединения остаются практически постоянными. В зависимости от параметров и схемы регулирования включение или отключение выключателей соответствующих ступеней регулирования конденсаторной установки может производиться как при отключении ее от сети с разрядом конденсаторов, т. е. с перерывом в выработке реактивной мощности, так и при отключении без разряда, т. е. без перерыва.

Кроме схемы, указанной на рис. 44, возможны и другие комбинации соединения конденсаторов в установке для получения от нее различной мощности.

17. НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЯЕМЫМ КОМПЕНСИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВАМ

Увеличение активных нагрузок на промышленных предприятиях сопровождается соответствующим ростом потребления реактивной мощности. В связи с этим проблема компенсации и наиболее эффективного распределения реактивной мощности приобретает важное значение. Особое место здесь занимают установки, позволяющие практически безынерционно регулировать генерируемую реактивную мощность. Имеется в виду применение реакторов с подмагничиванием и вентилялей с искусственной коммутацией, устройств с параллельным включением емкости и регулируемой индуктивности. Достоинствами таких компенсаторов являются отсутствие вращающихся частей и возможность плавного и практически безынерционного регулирования выдаваемой реактивной мощности.

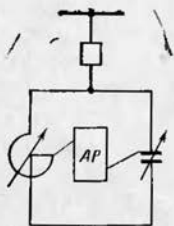


Рис. 45. Принципиальная схема статического компенсатора реактивной мощности, состоящего из управляемого реактора и форсируемой конденсаторной установки.

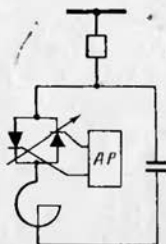


Рис. 46. Принципиальная схема управляемого статического источника реактивной мощности (ИРМ) с искусственной коммутацией вентилей.

На рис. 45 приведено управляемое ферромагнитное устройство, представляющее собой статический компенсатор реактивной мощности, состоящий из управляемого реактора с параллельно включенной форсируемой конденсаторной установкой. Управляемый реактор представляет собой электромагнитный аппарат, индуктивное сопротивление которого плавно регулируется путем подмагничивания ферромагнитного сердечника постоянным током аналогично магнитному усилителю. В одну из обмоток реактора подключается форсируемая кон-

денсаторная установка, служащая одновременно для устранения высших гармоник.

Использование искусственной коммутации в схемах статических компенсирующих устройств, основанной на применении электронной техники, открывает новые возможности быстродействующего регулирования реактивной мощности и достижения высоких динамических показателей устройств компенсации реактивной мощности в энергетических системах.

В настоящее время становится актуальным определение областей наиболее целесообразного применения различных систем, регулируемых источников реактивной мощности (ИРМ) и их технико-экономическое сопоставление с синхронными компенсаторами и регулируемы конденсаторными установками.

Создание таких быстрорегулируемых ИРМ позволит иметь установки, дающие возможность безынерционно изменять различные реактивные параметры электрических систем. Установки ИРМ могут явиться мощным средством обеспечения стабильного напряжения в сетях, питающих резкопеременные нагрузки на металлургических заводах с прокатными станами, наличие которых недопустимо снижает качество напряжения.

Статическое устройство ИРМ состоит из конденсаторной установки и специального регулирующего звена из индуктивности с полупроводниковыми вентилями. Суммарная реактивная мощность такой установки Q_k меняется за счет переменной слагающей реактивной мощности индуктивностей Q_L , которая вычитается из неизменной составляющей реактивной мощности конденсаторной установки Q_C при неизменном линейном напряжении сети U_n :

$$Q_k = Q_C - Q_L.$$

Мощности конденсаторной установки и индуктивностей подбираются в каждом конкретном случае. При этом максимальная мощность, равная мощности конденсаторной установки, выдается в сеть при запертых вентилях. Мощность, потребляемая схемой, максимальна при отключенной конденсаторной установке и равна мощности реакторов (индуктивностей), когда вентили полностью открыты.

На рис. 46 приведена принципиальная схема управляемого статического ИРМ, каждая фаза которого со-

стоит из индуктивности и двух управляемых вентиляй, включенных встречно-параллельно. Переход схемы из одного режима в другой осуществляется изменением величины напряжения управления, подаваемого автоматическим регулятором АР на вход электронной схемы управления вентилями.

Регулирование реактивной мощности при резкопеременных нагрузках с помощью ИРМ производится гораздо быстрее, чем синхронным компенсатором, поскольку

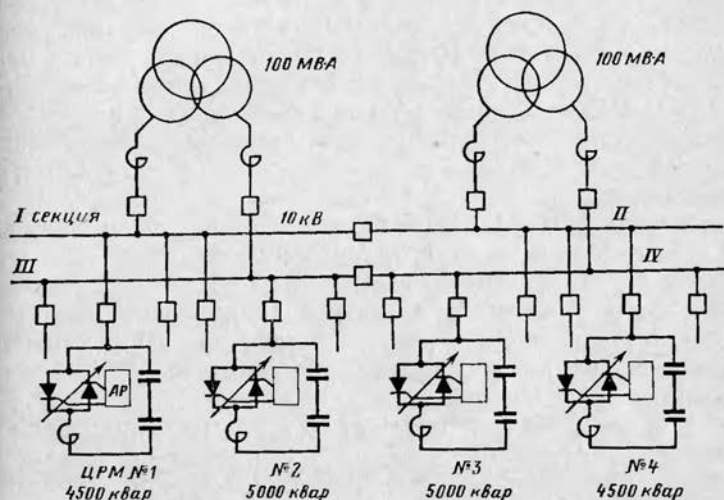


Рис. 47. Схема электроснабжения металлургического завода с использованием статических регулируемых источников реактивной мощности (ИРМ).

как система возбуждения, так и сам силовой элемент оказываются практически безынерционными. При этом под воздействием ИРМ отклонения напряжения на шинах, с которых осуществляется питание этих нагрузок, снижается примерно до 2—2,5%, в то время как эти отклонения при отсутствии ИРМ могут составлять 15—17%. Положительное влияние ИРМ сказывается также и на напряжении в других точках системы электроснабжения предприятия, доводя отклонения в этих точках до 1—2%.

На рис. 47 приведена схема электроснабжения металлургического завода, в состав которой входят кон-

верторный цех с установкой непрерывной разливки стали, прокатные станы и др. Питание этих нагрузок осуществляется от двух трансформаторов мощностью по 100 МВ·А с расщепленными обмотками напряжением 220/10/10 кВ. Распределительное устройство 10 кВ имеет четыре секции, на каждой из которых предусматривается компенсирующее устройство, дополняющее реактивную мощность, получаемую от крупных синхронных двигателей кислородной станции и др.

Для получения наиболее эффективного результата от генерирования реактивной мощности и регулирования напряжения в сети 10 кВ, имеющей частые и большие колебания, применены новые автоматические регулируемые ИРМ, состоящие из нерегулируемой конденсаторной установки и регулирующего звена из индуктивности (реактора) с управляемыми полупроводниковыми вентилями.

Схемы с ИРМ могут быть использованы и для пофазного регулирования напряжения сети. Поскольку схема ИРМ фактически составлена из трех независимых фаз, то при несимметрии фазных напряжений сети это устройство может быть использовано для выравнивания несимметрий путем пофазного автоматического регулирования реактивной мощности.

Имеются и другие схемы с вентилями и индуктивностями, позволяющими регулировать реактивную мощность и напряжение сети. Тиристорные компенсаторы реактивной мощности типа ТК-125-380УЗ предназначены для компенсации реактивной мощности с автоматическим плавным поддержанием коэффициента мощности или напряжения в сетях переменного тока напряжением до 0,4 кВ частотой 50 Гц в условиях умеренного климата. Тиристорные компенсаторы применяются на цеховых подстанциях и в промышленных сетях с резкопеременным (толчкообразным) характером нагрузки, в сетях с быстроизменяющимся непрограммируемым графиком нагрузки (например, в сети с одиночными и групповыми тиристорными электроприводами постоянного тока или со сварочными нагрузками).

Тиристорные компенсаторы могут применяться эффективно в сетях с любым графиком изменения реактивной нагрузки совместно с конденсаторными установками нерегулируемыми или со ступенчатым регулированием.

Тиристорные компенсаторы реактивной мощности обладают рядом преимуществ, в том числе автоматическим плавным поддержанием заданного значения коэффициента мощности; большим быстродействием; плавным регулированием реактивной мощности с ограничением выше номинального значения; возможностью (в связи с быстродействующей плавной автоматической компенсацией) поддержания стабильности питающего напряжения. Номинальная реактивная мощность компенсатора 125 квар, номинальный ток 190 А, напряжение сети 380 В, значение уставок коэффициента мощности 0,3—1, диапазон регулирования мощности 25—125 квар.

Конструктивно тиристорный компенсатор выполнен в виде шкафа, остовом которого служит каркас из профилированной стали, закрытый металлической обшивкой, а снизу — сеткой с отверстиями для ввода подводящих кабелей или шин. Обслуживание компенсатора двустороннее со стороны передней и задней дверей. Для удобства обслуживания элементы автоматики расположены поблочно на панелях, которые по ламелям соединяются штепсельными разъемами с остальными элементами схемы компенсатора. Длина компенсатора 1000, высота 2000, глубина 820 мм. Масса — не более 900 кг.

18. МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Комплектная поставка заводами устройств автоматического регулирования мощности конденсаторных установок имеет преимущество по сравнению с поставкой отдельных аппаратов и изделий с последующей сборкой и монтажом на месте установки. При комплектной поставке могут быть применены промышленные методы монтажа, ускоряющие ввод установки в эксплуатацию, повышающие надежность и снижающие стоимость всей установки. При получении устройств автоматического регулирования заказчик должен проверить их внешнее состояние. При этом следует особое внимание обратить на комплектность поставки всех деталей, а также установить требуемый параметр автоматического регулирования для конденсаторной установки. К поставке устройства прилагается паспорт из-

делия и инструкция по монтажу и эксплуатации, а также указание по подводу и подключению контрольных кабелей.

Электромонтажные работы выполняются в соответствии с требованиями ПУЭ и действующими инструкциями по монтажу.

Одной из главных причин, вызывающих неправильную работу устройства, является несоблюдение условий монтажа контактных соединений. Необходимо тщательно следить за исправностью всех контактов в цепи токоведущих и заземляющих частей, так как неисправность контактов любого из элементов схемы может быть причиной аварии в установке.

При монтаже конденсаторных установок в параллельно-последовательном соединении конденсаторов в звезду тщательно подбирают конденсаторы по емкости для отдельных фаз звезды и последовательных групп, чтобы получить одинаковое распределение напряжения на всех конденсаторах.

Измерение емкости конденсаторов допускается производить любыми приборами с небольшой относительной погрешностью. Емкость конденсаторов проверяется не только при монтаже, но и во время эксплуатации, так как для обеспечения селективности защита должна быть отстроена от величины начального небаланса, возникающего из-за различия емкости отдельных конденсаторов. Особенно это условие необходимо учитывать при замене неисправного конденсатора новым во время эксплуатации.

Применение балансных защит оказывается возможным только при точном подборе емкостей конденсаторов и высокой селективности действия реле.

Наладка и испытание автоматического устройства производится в соответствии с требованиями ПУЭ. При наладке конденсаторных установок и устройств автоматического регулирования их мощности необходимо особо обратить внимание на то, чтобы при неоднократных пробных включениях конденсаторной установки под напряжением разрядные сопротивления обязательно были подключены к конденсаторам и повторные включения конденсаторной установки после ее отключения производились не ранее чем через 3—5 мин после разрядки конденсаторов. В противном случае включение в сеть установки с неразряженными конденсаторами может

привести к выходу из строя выключателя или конденсаторов.

Установка и включение в эксплуатацию конденсаторной установки с автоматическим регулированием ее мощности допускается с разрешения энергоснабжающей организации. Общий порядок сдачи и приемки в эксплуатацию должен соответствовать ПУЭ, ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей, «Инструкции по эксплуатации конденсаторов для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50 Гц» и «Указаниям по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях».

При сдаче установки в эксплуатацию должна предъявляться соответствующая документация, показывающая технические данные конденсаторной установки и устройства автоматического регулирования, протоколы испытания релейной защиты и пусковых испытаний установки.

Конденсаторные установки предназначены для параллельного включения с электроприемниками и во время эксплуатации работают с полной нагрузкой, зависящей от изменения напряжения и высших гармонических. В связи с этим должны строго контролироваться напряжение, ток и окружающая температура в пределах допустимых значений для данного вида установки. Величину напряжения и тока следует ежедневно замерять и записывать в журнал эксплуатации.

Периодические осмотры конденсаторных установок осуществляются персоналом, обслуживающим подстанции, одновременно с осмотром другого оборудования в соответствующие сроки, установленные для каждого вида оборудования. Могут быть и внеочередные осмотры, связанные с аварией установки, отключением релейной защитой и т. п.

При повторном автоматическом отключении конденсаторной установки включение ее разрешается только после устранения причин, вызвавших отключение, с обязательной проверкой емкости каждого конденсатора. Все операции по включению и отключению конденсаторных установок производятся в соответствии с требованиями ПТЭ. В дополнение к указанным выше требованиям запрещается включать конденсаторную установку в то время, когда напряжение на сборных шинах

превышает наивысшее допустимое для конденсаторов данного типа. Повторное включение конденсаторной установки после ее отключения допускается не ранее чем через 1 мин для конденсаторов напряжением 660 В и ниже и не ранее чем через 5 мин для конденсаторов напряжением 1050 В и выше при условии остаточного напряжения на конденсаторах не более 50 В.

Перед прикосновением к токоведущим частям конденсаторной установки после ее отключения независимо от автоматического разряда конденсаторов на разрядное сопротивление необходимо произвести индивидуальный разряд каждого конденсатора, замыкая его выводы накоротко при помощи заземленного металлического стержня сечением не менее 25 мм² и длиной не более 350 мм, укрепленного на изоляционной штанге.

19. КОНДЕНСАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ ЗА РУБЕЖОМ

Основными странами за рубежом по выпуску и наличию установленной мощности конденсаторных установок являются США и Япония. В США уже установлено свыше 100 млн. квар мощности конденсаторов, в Японии свыше 70% производства реактивной мощности приходится на конденсаторные установки. В последние годы в ряде стран наметилась устойчивая тенденция к широкому использованию конденсаторных установок как средству регулирования реактивной мощности и напряжения в распределительных сетях [13].

Совместное использование регулирующего и компенсирующего эффектов рассредоточенных конденсаторных установок малой мощности признано более экономичным, чем использование конденсаторных установок большой мощности только в магистральных сетях энергосистем. В ведущих фирмах наряду с увеличением объема производства и применения силовых конденсаторов одновременно увеличивается единичная мощность конденсаторов до 75—100 квар, и намечаются к разработке конденсаторы единичной мощности 225, 417 квар и т. д. — до 1667 квар [6].

Автоматическое управление выполняется по различным принципам и параметрам датчиков. В США наиболее распространенным является управление по времени суток от часового механизма с длительным заводом, устанавливаемого в соответствии с суточным гра-

фи́ком покрытия реактивной мощности. Некоторые фирмы применяют регулирование по напряжению. Необслуживаемые конденсаторные установки управляются средствами телемеханики либо аппаратурой дистанционного радиоуправления с посылкой кодированных сигналов.

В США и Швейцарии для расчета активных и реактивных нагрузок, определения расходов электроэнергии и потерь в сети, координации работы устройств регулирования релейной защиты и устойчивости системы электроснабжения промышленных предприятий применяется вычислительная техника.

Для регулирования мощности фирмы ГДР, ЧССР, ФРГ, ПНР, Финляндии и других стран применяют устройства, реагирующие на величину и направления реактивной мощности [19].

В качестве коммутационной аппаратуры для конденсаторных установок напряжением свыше 1000 В применяются специальные выключатели двух типов: более мощный — для отключения токов короткого замыкания и коммутации всей конденсаторной установки в целом, облегченный — только для переключения отдельных секций конденсаторных установок при автоматическом их регулировании. Облегченный тип не допускает отключения токов короткого замыкания.

Наиболее распространенными выключателями, используемыми главным образом в качестве выключателя нагрузки в цепях конденсаторных установок, являются вакуумный и элегазовый выключатели. В США выпускаются различные типы вакуумных выключателей нагрузки на напряжения 13,8—138 кВ [4].

Конденсаторные установки выполняются различного назначения и исполнения. В США выпускаются комплектные установки низкого напряжения мощностью 360—1440 квар с токоограничивающими предохранителями, установленными внутри изолятора на каждом конденсаторе, а также установки мощностью 1320 квар с воздушными выключателями и автоматическим регулированием. В ФРГ выпускаются конденсаторные установки мощностью до 1500 квар с автоматическим регулированием.

В Швеции выпускаются конденсаторные установки низкого и высокого напряжений с регулированием мощностью 800 квар и более, для наружной и внутренней

установки, в защищенном исполнении, а также с конденсаторами, расположенными на боковую стенку. В ГДР выпускаются конденсаторные установки на напряжения 380 и 500 В, 50 Гц, мощностью 240—960 квар, состоящие из панели (ввода) питания и пристроенных с правой или левой стороны панелей с конденсаторами. Конденсаторные установки имеют ручное управление с возможностью переключения на автоматическое регулирование, которое осуществляется по арифметическому ряду. Автоматическое управление производится регулятором реактивной мощности, который постоянно контролирует необходимую (предписанную) величину реактивной мощности, вступая в действие на основании измерения этой величины и регулирует ее до тех пор, пока фактическая величина не будет доведена до заданной величины реактивной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. М., «Энергия», 1974. 72 с.
2. Правила устройств электроустановок. М., «Энергия», 1966. 464 с.
3. Ермилов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М., «Энергия», 1969. 304 с.
4. Попов Н. А. Вакуумные выключатели. М., «Энергия», 1965. 112 с.
5. Гительсон С. М. Оптимальные распределения конденсаторов на промышленных предприятиях. М., «Энергия», 1967. 152 с.
6. Берковский А. М. и Лысков Ю. И. Мощные конденсаторные батареи. М., «Энергия», 1967. 168 с.
7. Баркан Я. Д. Автоматизация регулирования напряжения в распределительных сетях. М., «Энергия», 1971. 232 с.
8. Ильяшов В. П. Конденсаторные батареи 3—6—10 кВ с автоматическим регулированием мощности (технический проект). Ростовское отделение ГПИ Тяжпромэлектропроект, 1968. 68 с.
9. Ильяшов В. П. Техническое задание на разработку нового электрооборудования для комплектных конденсаторных установок. Ростовское отделение ГПИ Тяжпромэлектропроект, 1965. 106 с.
10. Ильяшов В. П. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. М., «Энергия», 1966. 62 с.
11. Ильяшов В. П. Комплектные конденсаторные установки. М., «Энергия», 1968. 88 с.
12. Ильяшов В. П. Конденсаторные установки промышленных предприятий. М., «Энергия», 1972. 248 с.
13. Морозов М. М. Высоковольтные конденсаторы. М., ВНИИЭМ, 1965. 58 с.
14. Гулевич А. И. и Киреев А. П. Производство силовых конденсаторов. М., «Высшая школа», 1969. 440 с.

15. Инструкция по автоматическому регулятору конденсаторных батарей АРҚОН. Рижский опытный завод Латвглавэнерго, Рига, 1971. 48 с.

16. Инструкция по автоматическому регулятору конденсаторной установки типа ВАҚО. Рижский опытный завод Латвглавэнерго, Рига, 1973. 24 с.

17. Каталог 04.01.74-74 на косинусные конденсаторы. Каталог 4.01.65-73 на установки конденсаторные серии УҚ-0,38 и УҚ-6(10) кВ Усть-Каменогорского конденсаторного завода. М., Информэнерго, 1973 и 1974. 12 с.

18. Либкинд М. С., Черновец А. К. Управляемый реактор с вращающимся магнитным полем. М., «Энергия», 1971. 80 с.

19. Красник В. В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электросетях предприятий. М., «Энергия», 1975. 112 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Компенсация реактивной мощности	5
2. Способы компенсации реактивной мощности	8
3. Выбор мощности и размещение конденсаторных установок	12
4. Схемы соединения конденсаторных установок	18
5. Управление конденсаторными установками	26
6. Переходные процессы в конденсаторных установках	31
7. Регулирование мощности конденсаторных установок	37
8. Выбор конденсаторных установок	42
9. Системы регулирования мощности конденсаторных установок	46
10. Автоматическое регулирование по времени суток	51
11. Автоматическое регулирование по уровню напряжения	65
12. Автоматическое регулирование по току нагрузки	70
13. Автоматическое регулирование по характеру реактивной мощности	76
14. Автоматическое регулирование от неэлектрических датчиков	81
15. Комбинированные схемы автоматического регулирования	83
16. Форсировка мощности конденсаторных установок	89
17. Новые решения по управляемым компенсирующим устройствам	95
18. Монтаж и эксплуатация конденсаторных установок	99
19. Конденсаторные установки за рубежом	102
Список литературы	104

Цена 21 коп.