

ТРАНСПОРТ И ЭНЕРГЕТИКА

Аль Зухаири Али Мохаммед, аспирант,
Виноградов А. А., канд. техн. наук, проф.,
Нестеров М. Н., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК И БАТАРЕЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

alimk22@yahoo.com

При передаче электрической энергии от электрической станции к потребителю в линиях электропередачи (ЛЭП), распределительных сетях и связанных с ними устройствами теряется в общей сложности около 15% всей вырабатываемой энергии. В связи с этим вопрос снижения потерь приобретает важное экономическое значение. Одним из наиболее эффективных средств снижения потерь мощности является установка источников реактивной мощности в нагрузочных узлах, в частности, установка конденсаторных батарей (КБ), включенных параллельно нагрузке. Однако только небольшая часть этих КБ может быть постоянно подключена к электрической сети. Эта часть соответствует минимальному потреблению реактивной мощности электроприемниками и элементами электропередачи. Остальная часть КБ должна отключаться при снижении потребления реактивной мощности с целью повышения экономичности работы сети.

Ключевые слова: конденсаторная установка, резервуары водоснабжения, водопроводные сети, гидравлические мини турбины, реактивная мощность.

1. Конденсаторные установки

Конденсаторная установка представляет собой скомпонованную в виде отдельной конструктивной единицы группу соединенных по определенной схеме конденсаторов, оборудованную регулирующей, коммутирующей, защитной и сигнализационной аппаратурой. В сетях промышленных предприятий конденсаторные установки могут выполнять различные функции: создание симметричного режима, регулирование напряжения, регулирование коэффициента мощности и т. п., но основным их назначением является компенсация реактивной мощности. Способы компенсации показаны на

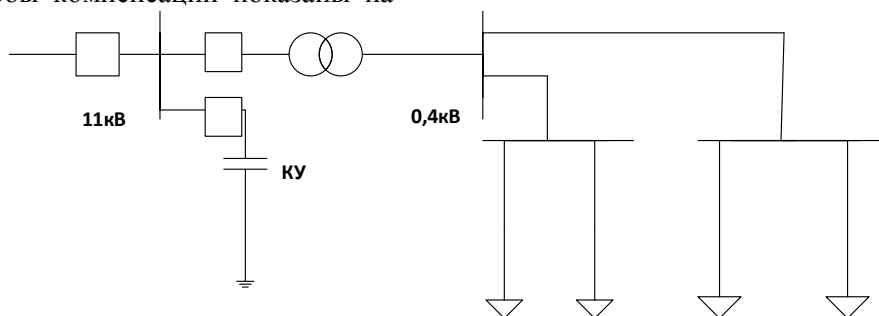


Рис. 1. Централизованный способ компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий, конденсаторная установка (КУ) на стороне высшего напряжения

При выборе мощности конденсаторной установки и места ее размещения в распределительной сети должны учитываться:

1. номинальное напряжение сети и его допустимые отклонения;

2. графики потребляемой реактивной мощности и характеристики основных потребителей;

3. отключающая способность коммутационной аппаратуры;

4. возможность возникновения резонансных явлений;

5. экономический эффект от ее использования;
6. применение автоматического регулирования мощности установки;
7. потребность в реактивной мощности в электрической системе в целом, с учетом необходимого резерва;
8. возможность совместного регулирования напряжения с помощью трансформаторов с регуляторами напряжения под нагрузкой и конденсаторной установки;
9. номенклатура выпускаемых промышленностью комплектных конденсаторных установок.

Размещение конденсаторных установок наиболее выгодно вблизи мест потребления реактивной мощности.

Схемы соединения конденсаторов в фазе конденсаторной установки зависят от ее номи-

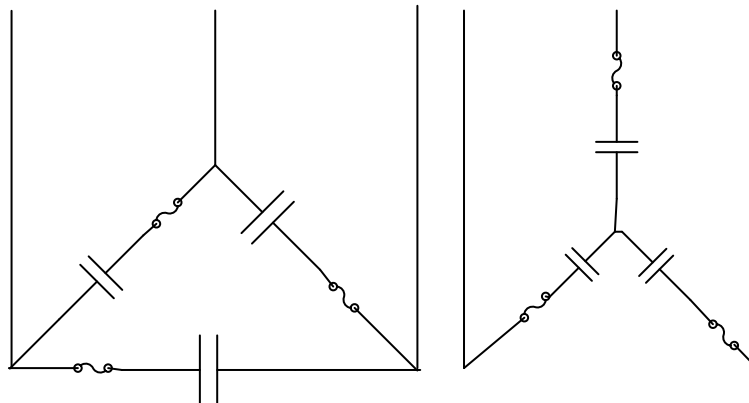


Рис. 2 Схемы соединения конденсаторов в компенсирующих установках

Наиболее экономичный режим работы сети может быть достигнут регулированием мощности конденсаторной установки, осуществляемый подключением или отключением всей установки или ее ступеней. Наиболее эффективно ступенчатое регулирование. Число ступеней регулирования определяется по усредненным графикам нагрузки. Батареи конденсаторов могут быть использованы также как средство регулирования напряжения в точке присоединения. Регулирующий эффект или процентное изменение напряжения при включении одной ступени равно:

$$\Delta U\% = QX_3 / (10U_{НОМ}^2) \quad (1)$$

где Q - реактивная мощность ступени, квар; $U_{НОМ}$ - номинальное напряжение сети, кВ; X_3 - эквивалентное реактивное сопротивление элементов сети, ближайших к установке, Ом.

Максимальные ступени увеличения напряжения при включении установки во избежание его резких колебаний не должны превосходить 1-2% номинального. Обычно число ступеней составляет от 3 до 5. Регулирование может быть ручным, осуществляемым обслуживающим персоналом, и автоматическим. Наиболее гибким и

удобным является автоматическое регулирование, при котором осуществляется непрерывное слежение за регулируемым параметром или параметрами (при регулировании по нескольким параметрам одновременно) и воздействие на него, при его отклонении от заданного значения, подключением или отключением ступеней конденсаторной установки.

Конденсаторы на номинальное напряжение от 1 до 11 кВ выпускаются, как правило, однофазными, и соединение их в установке на соответствующее номинальное напряжение может быть как звездой, так и треугольником с параллельным соединением конденсаторов в фазе с предохранителями индивидуальной или групповой защиты конденсаторов. В установках на номинальное напряжение свыше 11 кВ соединение фаз производится звездой со смешанным соединением конденсаторов в фазе (рис. 2).

удобным является автоматическое регулирование, при котором осуществляется непрерывное слежение за регулируемым параметром или параметрами (при регулировании по нескольким параметрам одновременно) и воздействие на него, при его отклонении от заданного значения, подключением или отключением ступеней конденсаторной установки.

2. Шунтовые конденсаторные батареи

Для улучшения использования генераторов и трансформаторов (разгрузка их от выработки и трансформирования реактивной мощности) и снижения потерь энергии в электрических системах применяются шунтовые конденсаторные батареи. Для комплектации типовых шунтовых батарей на напряжения 6, 10, 35 и 110 кВ используются выпускаемые промышленностью готовые блоки конденсаторов типа БКЭ. В мощных батареях обычно используются те же конденсаторы, которые применяются в батареях продольной компенсации реактивного сопротивления линий электропередачи. Конденсаторные батареи могут состоять из многих тысяч конденсаторов, и для повышения их надежности целесообразно использовать конденсаторы со

встроенными плавкими предохранителями, отключающими секцию при ее пробое. Использование конденсаторов со встроенными предохранителями предъявляет дополнительные требования к схемам их соединения в батареях.

3. Схемы соединения конденсаторов в батареях

В связи с тем, что в конденсаторных батареях возможно сложное последовательно-параллельное соединение конденсаторов, необходимо обеспечить надежное срабатывание плавких предохранителей от энергии, запасенной в остальных неповрежденных секциях данной батареи. Лучше всего это обеспечивается при параллельном соединении секций в батарее. Так как обычно номинальное напряжение секции близко к 1 кВ, то и номинальное напряжение конденсаторов, используемых для комплектации шунтовых батарей, также близко к 1 кВ.

В ряде случаев для комплектации конденсаторных батарей используются конденсаторы на напряжение более 1 кВ. Так как в этих конденсаторах секции включаются как параллельно, так и последовательно, то в них обычно не применяются встроенные плавкие предохранители, так как их надежное срабатывание может быть обеспечено лишь при большом количестве секций, включенных параллельно. В этом случае для отключения поврежденных конденсаторов используются внешние предохранители. Однако эти предохранители нечувствительны к пробое одной секции вследствие недостаточного изменения тока при нескольких последовательно соединенных секциях. Они срабатывают только при пробое всех последовательно соединенных секций.

Чаще всего, однако, пробой одной секции в последующем приводит к выходу всей батареи из строя вследствие порчи пропитывающего состава длительно существующим дуговым разрядом, возникающим в поврежденной секции.

При использовании в батареях конденсаторов на напряжение более 1 кВ и внешних предохранителей усложняется эксплуатация батареи, так как необходимо обеспечить регулярный (не реже 1 раза в сутки) осмотр батареи с заменой отключенных конденсаторов, чтобы не вызвать существенной перегрузки оставшихся.

Рассмотрим возможные схемы соединения конденсаторов в батарее (рис. 3). Обозначим через n количество последовательно соединенных конденсаторов или рядов параллельно соединенных конденсаторов в ряду. Общее количество конденсаторов в батарее равно nm .

$$n = U_{\text{раб.наиб.б}} K_4 / (U_{\text{ном.к}} K_1 K_2 K_3) \quad 2)$$

где $U_{\text{раб.наиб.б}}$ - наибольшее рабочее напряжение батареи; $U_{\text{ном.к}}$ - номинальное напряжение конденсатора; ($K_1 < 1$) коэффициент, учитывающий наличие гармонических в сети; ($K_2 < 1$) коэффициент, учитывающий возможную перегрузку конденсатора за счет разброса в значениях емкости (при последовательном соединении конденсаторов или рядов конденсаторов);

($K_3 < 1$) коэффициент, учитывающий изменение емкости конденсаторов или рядов параллельно соединенных конденсаторов из-за перегорания предохранителей; ($K_4 > 1$) коэффициент, учитывающий повышение напряжения на батарее при наличии включенного последовательно с батареей реактора. Обычно $K_2 = 0,95 \div 0,98$; $K_3 = 0,9 \div 0,98$ в зависимости от схемы соединения батареи.

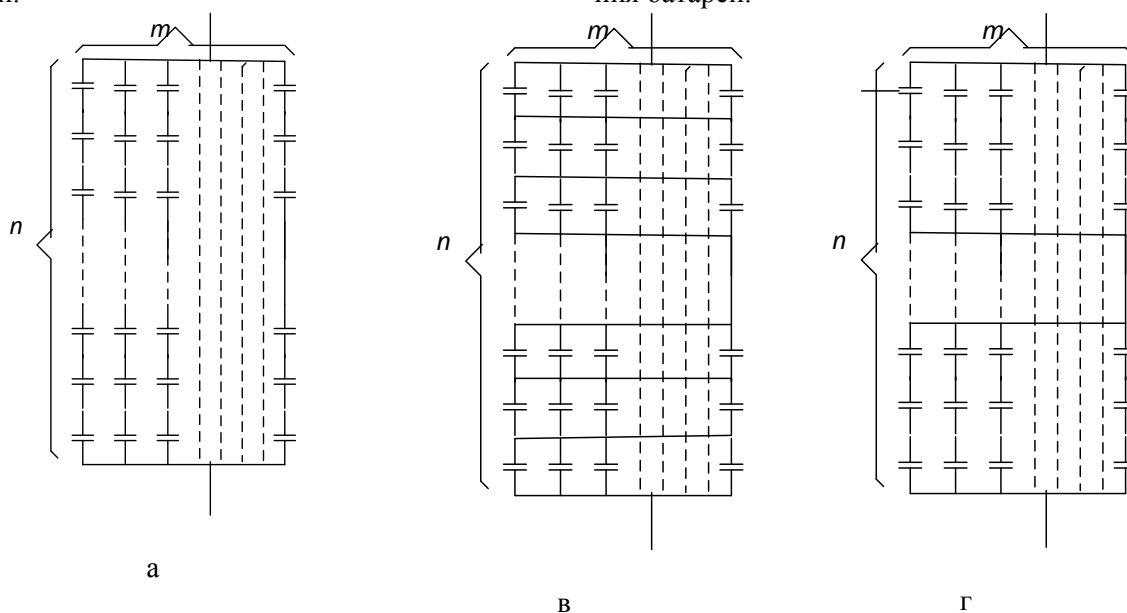


Рис. 3. Схемы соединения конденсаторов в батарее

4. Типы батарей конденсаторов

Батареи конденсаторов в ячейке

➤ Применение и конструкция

Для компенсации отдельных двигателей предусмотрена стационарная система компенсации реактивной мощности. В сетях среднего напряжения используют батареи конденсаторов в металлическом корпусе. Ассортимент продукции включает решения для установки как в помещениях, так и вне помещений, поддерживающие одноступенчатую фиксацию или многоступенчатую коммутацию. В соответствии с требованиями допускается использование реакторов пускового тока или других защитных и измерительных элементов. Данные компоненты обеспечивают автоматическую компенсацию сети путем поддержания предварительно установленного уровня коэффициента мощности.

➤ Доступные опции

Прерыватели цепи; Размыкающие переключатели; Переключатели заземления; Реакторы пускового тока или расстроенные дроссели; Разрядные катушки; Защита от несимметрии напряжений; Автоматические контроллеры коэффициента мощности.

Батареи конденсаторов на открытой стойке

➤ Применение и конструкция Как правило, батареи конденсаторов на открытой стойке производства компании Samwha применяются для улучшения коэффициента мощности в сети. Улучшение коэффициента мощности также предполагает улучшенную возможность передачи электроэнергии и контроль распределения потока мощности. Кроме того, батареи конденсаторов повышают стабильность по напряжению и снижают потери в сети. Установка конденсаторов проводится в высоковольтной сети или распределительной сети.

➤ Достоинствами батарей конденсаторов на открытой стойке являются Снижение потерь в сети; Повышение стабильности по напряжению; Повышение качества электроэнергии; Ограничение или уменьшение зарядов, приводящих к чрезмерному расходу реактивной мощности; Повышение нагрузки на действующие линии электропередач и трансформаторы.

5. Выбор типа конденсаторных установок

Выбор по возможности регулирования

нерегулируемые кУ - крм(Ук1) устанавливаются там, где нет колебаний потребления реактивной мощности. Это: индивидуальная компенсация двигателей (когда кУ включается и отключается вместе с двигателем), компенсация сетей освещения (кУ включается и отключается вместе с общецеховым освещением) и другие подобные случаи). во всех остальных случаях требуется установка регулируемых кУ.

Выбор по скорости срабатывания

в случае теоретического подбора кУ можно воспользоваться следующими правилами:

кУ с контакторной коммутацией (КРМ, КРМФ) применимы практически на всех промышленных предприятиях. исключениями являются предприятия с резкопеременной нагрузкой (порты, роботизированные производства и т.д.)

кУ с тиристорной коммутацией (КРМТ, КРМТФ) должны применяться на предприятиях с резко переменной нагрузкой - порты, цеха по выпуску сварной сетки, роботизированные производства, складские комплексы с обширным подъемным, крановым оборудованием, а также там, где важен низкий уровень шума.

Выбор по наличию фильтров гармоник

при теоретическом выборе кУ следует воспользоваться правилом:

$S_{\text{нн}} / S_{\text{тр}} > 15 \%$ - требуется кУ с фильтрами гармоник

$S_{\text{нн}} / S_{\text{тр}} < 15 \%$ - возможна установка кУ без фильтров гармоник

Здесь $S_{\text{нн}}$ - общая мощность всех потребителей с нелинейной нагрузкой (устройства плавного пуска, частотные приводы, сварочные аппараты и т.д.) $S_{\text{тр}}$ - мощность трансформатора.

номер гармоники N определяется по формуле:

$$N = \sqrt{\frac{A_N \cdot 100}{V_{\text{cc}} \% \cdot Q}}$$

где A_N - мощность трансформатора, ВА; V_{cc} - напряжение короткого замыкания трансформатора, %; Q - мощность кБ, вар.

Эмпирическое выражение для примерного определения параметра THDI (%):

$$THDI = \frac{A_c}{A_{\text{nc}}} \cdot 35,$$

где A_c - полная нелинейная нагрузка, кВА; A_{nc} - полная суммарная линейная и нелинейная нагрузка, кВА.

6. Проблемы, связанные конденсаторы и решения

Электрические напряжения

Комплектные распределительные устройства должны выдерживать пусковые токи и перенапряжения при коммутации конденсаторов операций. Если распределительное устройство предназначено для нормальных оценок, меры предосторожности должны быть приняты, когда выступления действующего оборудования не являются достаточно высокими

Конденсаторы

Переходный перенапряжения $2 U_m$ на клеммах обычно осуществляется без особого старения при условии, что этого не происходит

более 1000 раз в год. В пусковые токи во время включения не должна превышать 100 раз конденсаторной батареи номинального тока. Такой пусковой ток может быть выдержана в 1000 раз в год. Пусковой ток в 30 раз $I_{бск}$ может быть принято 100000 раз в год. В случае более высоких пусковых токов, ограничить индуктивности обычно называют перенапряжения индуктивности соединены последовательно с конденсаторных батарей.

Конденсаторов дизайн

Существуют два случая:

- Одноместный банк

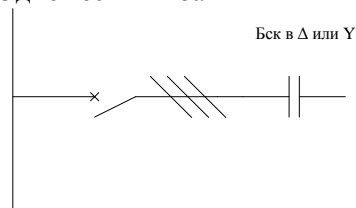


Рис. 4. Одноместный банк

Оборудование, как правило, простую конструкцию, потому что:

а) сети S_{cc} не вызывает пусковые токи больше 100. Исара,

б) количество операций невелико, так как нет никакого регулирования реактивной энергии. Поэтому нет необходимости в перенапряжения индуктивности. Конденсаторов напрямую подключен к сети через устройства защиты, выбирается в зависимости от напряжения, ток короткого замыкания, и тепловые характеристики тока (емкостный ток + 30%).

с) Т.е. должна быть ниже, чем решений мощностью устройства защиты, для ряда операций, связанных.

- Несколько банков

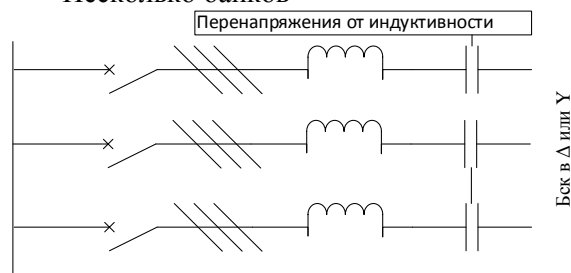


Рис. 5. Несколько банков

В связывающие индуктивности, как правило, очень низкая между различными конденсаторных. Создание токи должны быть ограничены перенапряжения индуктивности в серии с банком:

а) Чтобы избежать превышения 100 Исара допустимую для конденсаторов.

б) Чтобы избежать превышения включающая способность распределительного устройства.

• Комплектные распределительные устройства тепловой рейтинг

Один распределительное характеристикой является его постоянное состояние отопление, которое соответствует его номинальным током.

Когда этот распределительные переключатели и / или защищает конденсаторы, реальный ток в банке должно быть принято во внимание, что может быть выше, чем назначенного тока. Это постоянные перенагрузки как правило, из-за гармоник тока с частотами выше промышленной частоты.

Силовые конденсаторы могут принять 1,3 раза присвоено текущее значение.

Таким образом, максимальная емкостный ток назначен на 50 Гц для всего оборудования будет $0,7 I_n$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валерий Николаев, Мачтовые конденсаторные установки в распределительных сетях 6-10 кВ, Валерий Николаев, Евгений Володин, [Электронный ресурс], <http://www.elec.ru/>.

2. Denis Koch, control equipment for MV capacitor banks, Cahier Technique Merlin Gerin n° 142 / 1992.

3. Кучинский Г. С., Назаров Н. И., силовые электрические конденсаторы, москва энергоатомиздат 1992 с279-294

4. Гулевич А. И., Киреев А. П., Производство силовых конденсаторов, МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1981.

5. В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев, Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей, 2006.

6. [Электронный ресурс], компенсация реактивной мощности, Выбор типа конденсаторных установок, Электронная версия: www.matic.ru

7. Виноградов А. А., Духанин С.А., Проблемы энергосбережения в ЖКХ городов и районов на примере города Белгорода/ Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 67-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2009 года. Самара, Изд-во Самарского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. С.660-662.

8. Виноградов А. А., Нестеров М.Н., Сапрыка А.В., Сапрыка В.А., Анализ электропотребления с учетом качества электрической энергии в сетях переменного тока г. Белгорода/ Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний журнал. 2008. № 3(15), С. 49-56.

9. Виноградов А. А., Нестеров М.Н. Неоднозначность решения уравнений установившегося режима простой электрической системы переменного тока // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. №11. С. 6-8.