

## АНАЛИЗ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В УСЛОВИЯХ АВТОНОМНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

*Зачена Ю. В., ст. преп., Василькова Т.С., магистрантка  
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина  
E-mail: saue@kdu.edu.ua*

Рассмотрены конденсаторно-реакторные компенсаторы (SVC) статических источников реактивной мощности для автономных генераторных установок, выполненные по различным схемам. Проведено сравнение классических SVC по массогабаритным и энергетическим показателям с новейшими системами комбинированного ступенчато-плавного регулирования передачи энергии.

**Ключевые слова:** компенсатор, реактивная мощность, тиристорный коммутатор.

**Введение.** В электрических сетях нарушения устойчивости наиболее вероятны в аварийных или послеаварийных режимах [1]. В автономных системах генерации энергии на базе асинхронных генераторов, у которых мощности отдельных нагрузок соизмеримы с мощностью системы, устойчивость может нарушаться и при нормальных режимах.

Наиболее опасным в этом смысле является прямой пуск короткозамкнутых асинхронных двигателей, составляющих, как правило, основную часть нагрузки. Большой пусковой ток этих двигателей вызывает резкое снижение напряжения в системе, что приводит к увеличению скольжения остальных работающих двигателей или снижению производительности другого рода нагрузки. Соотношение загрузки двигателей и снижения напряжения в сети обычно бывает таково, что реактивная мощность, потребляемая двигателями, возрастает. Это вызывает дальнейшее понижение напряжения и может привести к опрокидыванию работающих двигателей и возникновению лавины напряжения. Кроме того, при автономной работе асинхронного генератора, ввиду его ограниченной перегрузочной способности, становится особо важной задачей также равномерное распределение нагрузки. Это существенно уменьшает риск нарушения устойчивости при различных возмущениях (к.з., толчках нагрузки и пр.).

Таким образом, при генерации энергии в системе АГ-нагрузка справедливо соотношению, требующее равенства генерации и потребления как активной, так и реактивной мощности. Основным нормативным показателем поддержания баланса активной мощности является частота переменного тока, нормативным показателем же поддержания баланса реактивной мощности является уровень напряжения. Причем в последнем случае критерий должен учитываться для каждого вида нагрузки (двигательная, осветительная, полупроводниковые приборы и т.д.) и величины номинального напряжения. Поэтому, в отличие от баланса активной мощности, необходимо обеспечить баланс реактивной мощности не только по системе в целом, но и в отдельных узлах нагрузки [1].

В связи с этим, эффективное использование автономных источников энергии на базе машин переменного тока невозможно без установки дополнительного источника реактивной мощности (ИРМ), способного осуществлять периодические накопления энергии с последующим возвратом ее в сеть.

**Цель работы.** Анализ существующих способов и систем компенсации реактивной мощности в условиях автономных генераторных установок на базе машин переменного тока.

**Материал и результаты исследования.** Как известно, напряжение автономного генератора, а также напряжение на зажимах нагрузки не остаются постоянными, а изменяются в процессе нарастания отдаваемой генератором активной мощности [1, 2]. Причиной этого является увеличение внутреннего падения напряжения, ослабление основного магнитного потока, снижение частоты напряжения. В связи с этим при изменении нагрузки в пределах статической устойчивости генератора необходимо принимать специальные меры по стабилизации напряжения генераторов.

Стабилизацию можно осуществлять двумя путями – регулированием скорости вращения первичного двигателя и регулированием основного магнитного потока. Первый вариант практически не применяется из-за сложности практической реализации, особенно в условиях резкопеременной нагрузки, второй получил наибольшее распространение и может реализовываться различными способами в зависимости от вида и типа применяемого источника реактивной мощности.

К техническим средствам компенсации реактивной мощности относятся следующие виды компенсирующих устройств: конденсаторные батареи, синхронные двигатели и компенсаторы, вентильные статические источники реактивной мощности.

**Конденсаторные батареи.** Наибольшее распространение на промышленных предприятиях имеют конденсаторы (КБ) – крупные (в отличие от конденсаторов радиотехники) специальные устройства, предназначенные для выработки реактивной емкостной мощности. Широкое применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности объясняется их значительными преимуществами по сравнению с другими видами КУ: незначительные удельные потери активной мощности, отсутствие вращающихся частей, простота монтажа и эксплуатации, относительно невысокая стоимость, малая масса, отсутствие шума во время работы, возможность установки около отдельных групп ЭП.

Недостатками конденсаторных батарей являются: пожароопасность, наличие остаточного заряда, повышающего опасность при обслуживании; чувстви-

тельность к перенапряжениям и толчкам тока; возможность только ступенчатого, а не плавного регулирования мощности. Конденсаторы, как правило, собираются в батареи (КБ) и выпускаются заводами электротехнической промышленности в виде комплектов компенсирующих устройств (ККУ).

*Синхронные двигатели.* Известно, что при увеличении тока возбуждения выше номинального значения синхронные двигатели (СД) могут вырабатывать реактивную мощность, следовательно, их можно использовать как средство компенсации реактивной мощности. Главным отличием СД от АД является то, что магнитное поле, необходимое для их работы, создаётся в основном от отдельного источника постоянного тока (возбудителя). Вследствие этого СД в нормальном режиме (при  $\cos j = 1$ ) почти не потребляет из сети реактивной мощности, необходимой для создания главного магнитного потока, а в режиме перевозбуждения, т.е. при работе с опережающим коэффициентом мощности, может генерировать емкостную мощность в сеть.

Преимуществом СД, используемого для компенсации реактивной мощности, по сравнению с КБ, является возможность плавного регулирования генерируемой реактивной мощности.

Недостатком является то, что активные потери на генерирование реактивной мощности для синхронных двигателей больше, чем для КБ, так как зависят от квадрата генерируемой мощности СД. В связи с этим в системах электроснабжения промышленных предприятий их применяют, главным образом, для компенсации в пике нагрузок.

*Синхронные конденсаторы.* Разновидностью СД являются синхронные конденсаторы (СК), которые представляют собой СД облегчённой конструкции без нагрузки на валу. Они имеют ограниченное применение в сетях промышленных предприятий и лишь в ряде случаев используются для улучшения показателей качества напряжения для мощных ЭП с резкопеременной ударной нагрузкой (дуговые печи, прокатные станы и т.п.). При работе в режиме перевозбуждения синхронный конденсатор является генератором реактивной мощности. Наибольшая мощность в режиме перевозбуждения называется его номинальной мощностью. При работе в режиме недовозбуждения синхронный конденсатор является потребителем реактивной мощности. По конструктивным условиям он обычно не может потреблять из сети такую же реактивную мощность, которую он может генерировать. Изменение тока возбуждения синхронного конденсатора обычно автоматизируется. При работе из сети потребляется активная мощность порядка 2-4%.

Синхронные конденсаторы предназначены для компенсации коэффициента мощности сети и поддержания нормального уровня напряжения сети в районах сосредоточения потребительских нагрузок. Нормальным является перевозбужденный режим работы синхронного конденсатора, когда он отдаёт в сеть реактивную мощность.

Однако применение в качестве источников реак-

тивной мощности синхронных двигателей или компенсаторов требует наличия независимого источника энергии, поэтому для создания автономных источников электроэнергии они малопригодны.

В настоящее время существует два подхода реализации систем компенсации реактивной мощности:

- тиристорные устройства коммутации конденсаторов и реакторов;
- самокоммутируемые статические преобразователи.

*Тиристорные компенсаторы реактивной мощности.* Статические компенсаторы реактивной мощности (SVC) состоят из стандартных шунтирующих элементов реактивной мощности (реакторов и конденсаторов). Они могут быть сгруппированы в две основные категории: конденсаторы с тиристорным переключением и конденсаторы с тиристорным управлением.

*Тиристор с коммутацией конденсаторов (Thyristor Switched Capacitor – конденсаторная батарея с тиристорным переключением).* На рис. 1 показана принципиальная схема статического компенсатора с тиристорным переключением конденсаторов (TSC). Каждое однофазное отделение состоит из двух основных частей – конденсатора С и тиристорных переключателей VS1 и VS2 (рис. 1,а).

Кроме того, установлен дроссель L, целью которого является ограничение скорости нарастания тока через тиристор и предотвращение резонанса в сети ( $X_L$  обычно 6% по отношению к  $X_C$ ). Статические компенсаторы типа TSC обладают следующими свойствами: ступенчатым контролем, средней задержкой в половину сетевого периода [3].

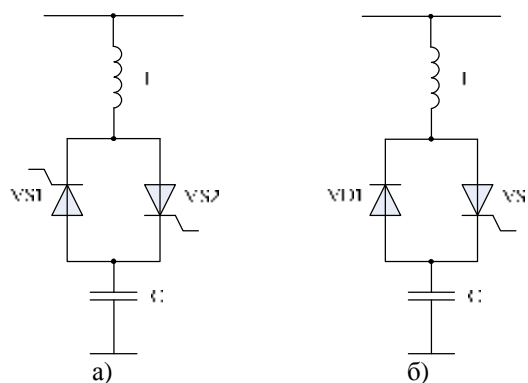


Рисунок 1 – Статический компенсатор с тиристорным переключением конденсаторов (TSC)

Несмотря на теоретически простую схему включения конденсаторов, ее распространению препятствует ряд практических недостатков: компенсация реактивной мощности не является непрерывной; каждый из конденсаторов требует отдельного коммутатора, что не экономично; устойчивое состояние напряжения через непроводящие тиристорные переключатели в два раза выше пика напряжения, и тиристор должен быть на это рассчитан или защищен внешними средствами от скачков напряжения и токов короткого замыкания.

Устранить указанные недостатки позволяет замена одного из тиристорных коммутаторов диодом [4]

(рис. 1,б). Среди преимуществ такой конфигурации можно выделить следующие: уровни компенсации могут быть реализованы в нескольких цепях, кроме того, топология таких систем проще и более экономична. Основным недостатком является то, что такое схемотехническое решение имеет время задержки одного полного цикла. Кроме того, обе схемные реализации системы TSC не способны подавлять появление подсинхронных колебаний автономных генераторов, а наоборот, создают условия для их возникновения.

*Тиристорно-управляемый дроссель (Thyristor Controlled Reactor – реактор с тиристорным управлением).* На рис. 2 показана схема статического компенсатора с тиристорным управлением дросселя (TCR). В большинстве случаев компенсатор также включает в себя фиксированные конденсаторы и фильтры для низких гармоник. Каждая из трех ветвей включает индуктор L и тиристорные переключатели VS1 и VS2. Дроссели могут быть включены как постоянно, так и включаться поэтапно [5-7].

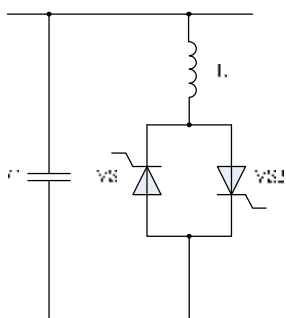


Рисунок 2 – Статический компенсатор с тиристорным управлением (TCR)

При использовании управления «фаза-угол» получается непрерывный диапазон потребления реактивной мощности. Это приводит, однако, к генерации нечетных гармонических составляющих тока в процессе управления. При увеличении угла открывания тиристоров ток реактора снижается. Это эквивалентно увеличению индуктивности и снижению реактивной мощности, поглощенной реактором. Однако следует отметить, что изменения тока в реакторе может быть только в дискретные моменты времени, это означает, что корректировка не может быть чаще, чем один раз за полцикла.

Статические компенсаторы типа TCR характеризуются способностью осуществлять постоянный контроль, максимальную задержку половины цикла и практически не имеют переходных процессов. К главным недостаткам можно отнести низкую частоту гармонических составляющих тока и большие потери при работе в индуктивной области [5].

В целях устранения низких частот гармоник тока используются инертные фильтры (рис. 3).

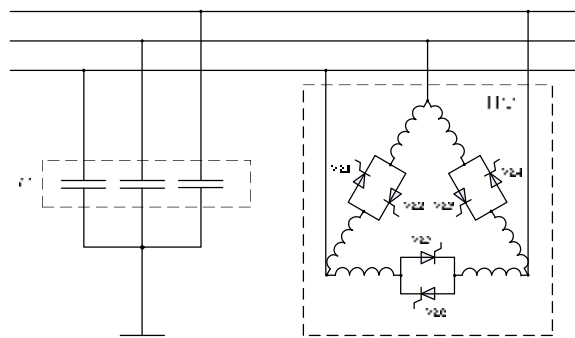


Рисунок 3 – Статический компенсатор типа FC-TCR

Одной из основных характеристик статических компенсаторов реактивной мощности является то, что количество реактивной мощности системы зависит от приложенного напряжения (рис. 4).

При номинальном напряжении система FC-TCR (фиксированный конденсатор – тиристорно-управляемый реактор) имеет линейную характеристику, которая ограничена номинальной мощностью реактора и конденсатора. За этими пределами характеристика является нелинейной [8, 9]. Это обстоятельство является одним из главных недостатков этого типа компенсаторов реактивной мощности.

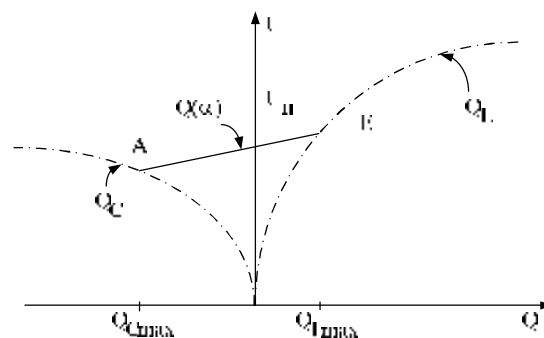


Рисунок 4 – Характеристика напряжения - реактивной мощности FC-TCR

На рисунке приняты следующие обозначения:

$Q_C = B_C \times U^2$  – характеристика реактивной мощности на конденсаторах;

$Q_L = |B_C - B_{Lmax}| \times U^2$  – характеристика реактивной мощности на индуктивности;

$Q(\alpha) = |B_C - B_L(\alpha)| \times U^2$  – результирующая характеристика реактивной мощности системы.

В некоторых случаях для компенсации реактивной мощности используют систему TSC и TCR совместно (рис. 5).

Вольт-амперная характеристика этого компенсатора представлена на рис. 6. Как видно из рисунка, характеристика такого компенсатора является линейной во всем диапазоне работы.

Благодаря координации управления между реакторами и конденсаторами, можно получить полностью бесступенчатое регулирование. Статические компенсаторы комбинированных TSC и TCR типа

характеризуются постоянным контролем степенью компенсации, практически не имеют переходных процессов, низкой генерацией гармоник (так как регулируемый номинал реактора мал по сравнению с общей реактивной мощностью), а также гибкостью в управлении и эксплуатации. Очевидным недостатком комбинированной системы TSC-TCR по сравнению с TCR или TSC – их более высокая цена за счет использования более сложной системы управления [3].

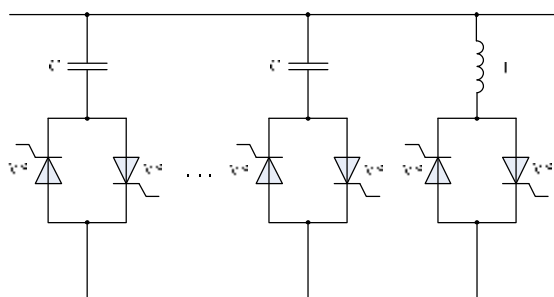


Рисунок 5 – Комбинированные TSC и TCR компенсаторы

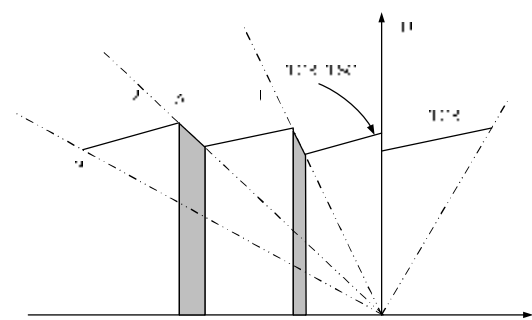


Рисунок 6 – Вольт-амперная характеристика комбинированного TSC – TCR компенсатора

Такие системы называются SVC (Static VAR Compensator). Они обладают достаточной динамикой для того, чтобы подавлять возникновение подсинхронных колебаний. Кроме того, при отсутствии нагрузки для ограничения роста напряжения установки SVC часто проектируются с учетом необходимости служить и поглотительными устройствами реактивной мощности.

Все рассмотренные выше системы компенсации реактивной мощности уже достаточно хорошо известны и широко используются в определенных областях промышленности. Однако наряду с ними внедряются и более современные системы. Одним из таких решений является применение *самостоятельно коммутируемых преобразователей*. Эта технология имеет более сложную техническую реализацию и использует контроллеры единого потока мощности (UPFCs) и системы динамического восстановления напряжения (DVR).

Основными преимуществами самостоятельно коммутируемых компенсаторов реактивной мощности являются значительное сокращение размера, потенциальное снижение стоимости за счет исключения большого числа инертных компонентов и относительно низкие требования для полупроводниковых

переключателей [2, 10]. Самокоммутируемые компенсаторы используются для стабилизации системы передачи, улучшения регулирования напряжения и коэффициента мощности, а также регулируют неустойчивую нагрузку. Кроме того, они могут быть использованы в классических системах поперечной компенсации. На рис. 7 приведена структура компенсатора реактивной мощности при повышении класса преобразователя источника напряжения. Пренебрегая внутренними потерями мощности от общего преобразователя, контроль реактивной мощности осуществляется путем изменения амплитуды основных компонентов  $U_{MOD}$  выходного напряжения.

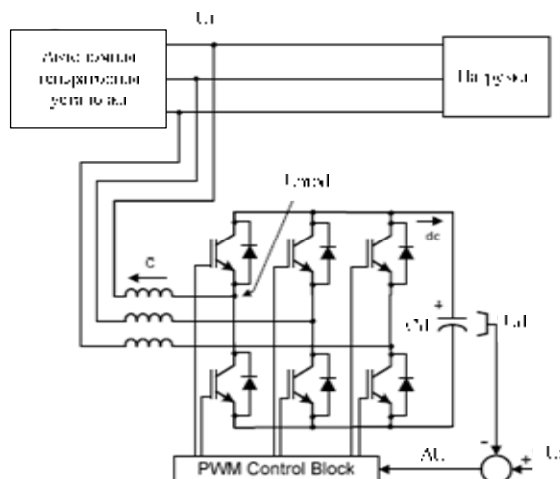


Рисунок 7 – Самостоятельно коммутируемый компенсатор реактивной мощности

Когда  $U_{MOD}$  больше напряжения  $U_G$ , компенсатор реактивной мощности создает реактивную мощность, когда  $U_{MOD}$  меньше, чем  $U_G$ , компенсатор поглощает реактивную мощность. Принцип его действия похож на синхронную машину. Компенсации тока могут быть опережающими или отстающими, в зависимости от относительной амплитуды  $U_G$  и  $U_{MOD}$ . Конденсатор  $C_0$ , подключенный к цепи постоянного тока преобразователя, остается постоянным и равным справочному значению  $U_z$  со специальным контуром обратной связи, который контролирует фазовый угол между  $U_G$  и  $U_{MOD}$ .

В настоящее время наиболее распространены *трехуровневые компенсаторы с нейтральной точкой (NPC) преобразователя* (рис. 8). Три уровня преобразователей [11] являются стандартной конфигурацией для среднего напряжения преобразователей, таких, как привода электрических машин и активные интерфейсные выпрямители. Преимуществом трехуровневых преобразователей является то, что они могут уменьшать содержание генерируемых гармоник, так как они производят сигналы напряжения больших уровней, чем обычной двухуровневой конфигурации (системы TSC и TCR).

Трехуровневый преобразователь состоит из 12 самостоятельно коммутируемых полупроводников, таких, как IGBT транзисторы или IGBTs с шестью ветвями диодов, соединенных между собой и серединой каждой пары переключателей. При подключении

источника постоянного тока последовательно с выходными клеммами преобразователь может производить набор сигналов ШИМ (PWM Control blok), в котором частота, амплитуда и фаза напряжения переменного тока могут регулироваться.

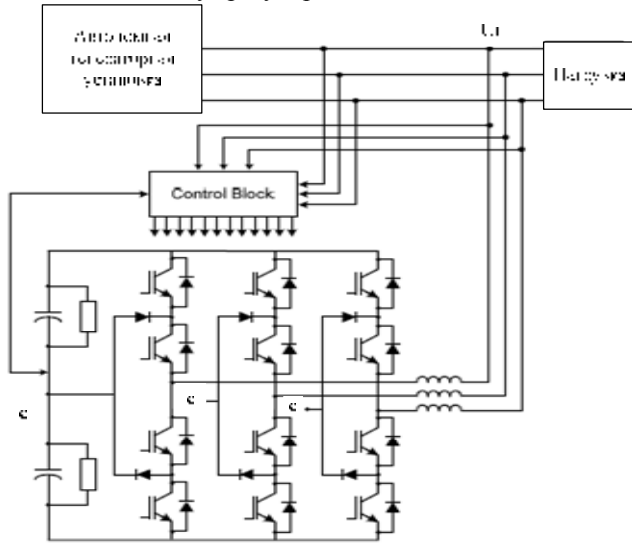


Рисунок 8 – Компенсатор реактивной мощности с трехуровневым инвертором (NPC)

Эти свойства самокоммутируемых преобразователей с высокой производительностью на данный момент реализованы в:

- статическом синхронном компенсаторе серии STATCOM,
- статическом синхронном компенсаторе серии SSSC,
- унифицированном электроэнергетическом регуляторе потока (UPFC),
- интерлайн-регуляторе потока (IPFC),
- сверхпроводящем электромагнитном запоминающем устройстве (SMES).

*Статический синхронный компенсатор серии STATCOM (STATic synchronous COMpensator).*

Компенсаторы STATCOM способны поглощать и возвращать реактивную мощность  $Q$ , их применение обычно ограничивается статической компенсацией по причинам экономического характера.

Когда напряжение в точке подключения остается постоянным, компенсатор STATCOM ведет себя как компенсатор SVC типа. Однако в режиме ограничения мощности компенсатор STATCOM становится источником тока, тогда как компенсатор SVC приобретает свойства конденсатора. Компенсаторы STATCOM могут также вести себя как активные фильтры.

Среди множества функций этих компенсаторов классическими являются следующие:

- регулирование напряжения путем поглощения или возврата реактивной мощности;
- подавление подсинхронных колебаний.

При снижении напряжения SVC ведет себя как конденсатор, и реактивная мощность падает пропорционально квадрату напряжения. Система STATCOM в такой же ситуации переходит в режим постоянного источника тока. Напряжение на выводах конденсато-

ра может поддерживаться постоянным [10, 12].

*Статический синхронный компенсатор серии SSSC (Static Synchronous Series Compensator).*

В этих системах удается исключить недостаток систем TCSC (конденсаторная батарея с тиристорным управлением), состоящий в невозможности плавного перехода от емкостного режима к индуктивному без предварительного отключения.

SSSC может возвращать только реактивную мощность, за исключением случаев, когда контур постоянного тока получает подпитку от накопителя энергии.

В распределении энергии используется принцип, который получил название DVR (Dynamic Voltage Restorer – система динамического восстановления напряжения), хотя по функциональности они несколько отличаются. Здесь целью является поддержка сети в отношении ее наиболее уязвимых потребителей при кратковременных возмущениях.

Мощности систем STATCOM и других типов SSSC настолько высоки, что использование их без применения накопителей энергии достаточной емкости затруднительно.

*Унифицированный контроллер Power Flow (Unified Power Flow Controller).*

Это наиболее сложная из систем компенсации реактивной энергии (рис. 9). Она позволяет осуществлять следующие функции:

- непосредственное управление напряжением. Сложение или вычитание напряжений, фазированных узлом поперечной компенсации. Эти действия производятся над реактивной мощностью;
- поперечный компенсатор – путем управления поперечным преобразователем с переводом последнего в режиме накопителя или компенсатора реактивной мощности;
- продольный компенсатор – путем добавления последовательного напряжения со сдвигом на  $90^\circ$  по отношению к току связи. При этом необходимо управлять выходным напряжением и реактивной мощностью на выходе;
- фазосдвигающее устройство: если величина и фаза продольного напряжения таковы, что при поддержании такого же напряжения на выходе модуля оно уменьшает величину сдвига фаз по отношению к входу. Это имеет значение при управлении передаваемой активной мощностью;
- возможность управления как реактивной, так и активной мощностью.

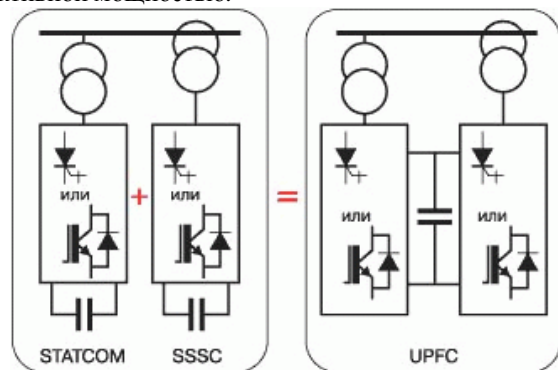


Рисунок 9 – Система компенсации UPFC



В настоящее время эти системы не особенно распространены. Однако областью их использования на сегодняшний день являются системы энергопотребления, где особенно сложно или экономически нецелесообразно осуществить строительство линий электропередач.

*Сверхпроводящие магнитные накопители энергии (SMES).*

Система SMES представляет собой устройство для хранения и мгновенной отдачи большого количества энергии [12], которая хранится в магнитном поле, создаваемом потоком постоянного тока в катушке из сверхпроводящего материала с криогенным охлаждением. Такие системы могут осуществлять заряд/разряд несколько тысяч раз без какого-либо ухудшения магнита. Время перезарядки может быть ускорено в соответствии с конкретными требованиями, в зависимости от пропускной способности системы.

Наибольшего технико-экономического эффекта в системах компенсации и передачи энергии можно достичь только при независимом регулировании активной и реактивной мощности потока. Традиционные решения, такие, как шунтирование индуктора или секционирование конденсатора и угла сдвига фаз регулятора, влияют одновременно как на активный, так и на реактивный поток мощности в цепи. Использование унифицированного электроэнергетического регулятора потока (UPFC) позволяет регулировать активную и реактивную мощности потока в цепи. Тем не менее, сейчас разрабатывается новая концепция, еще находящаяся в стадии исследования – SEN-трансформаторы [13].

*SEN-трансформатор (ST)* – это новое семейство контролируемого потока мощности трансформаторов, который отвечает современным требованиям независимой активной и реактивной составляющей потока мощности в линии передачи (рис. 10).

Главным преимуществом ST, по сравнению с UPFC, является его низкая стоимость, а недостатком этого варианта являются его низкие динамические характеристики.

Техническим решением системы компенсации является последовательное соединение трех фаз вторичных обмоток трансформатора. Эта связь позволяет независимо управлять амплитудой напряжения и фазовым сдвигом в каждой фазе.

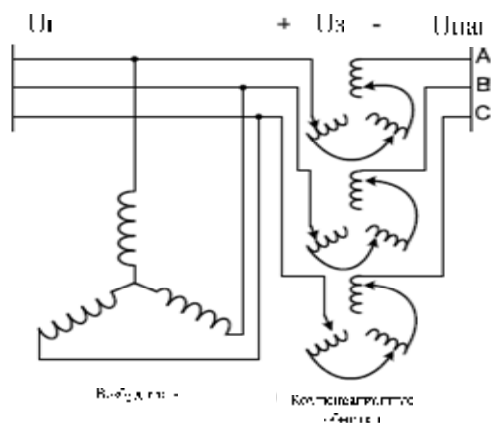


Рисунок 10 – SEN-трансформатор (ST)

**Выводы.** Таким образом, для успешного функционирования систем компенсации энергии должны быть приняты во внимание различные требования, предъявляемые к автономным генерирующим установкам.

По сравнению с тиристорно коммутируемыми конденсаторами и реакторами, самостоятельно коммутируемые компенсаторы реактивной мощности имеют следующие преимущества:

- они могут предоставить как опережающие, так и отстающие составляющие реактивной мощности, что, в свою очередь, снижает возможность резонансов в некоторых критических условиях эксплуатации;
- высокая частота модуляции самокоммутируемых преобразователей практически не искажает токов генераторов, что позволяет использовать технически простые фильтры;
- такие системы имеют функцию плавного пуска, что исключает появление переходных пусковых токов;
- самокоммутируемые компенсаторы реактивной мощности способны генерировать номинальный реактивный ток. Эта способность поддерживать мощность в системе намного выше, чем с помощью тиристорного управления, так как в последних ток в конденсаторах и реакторах пропорционален напряжению;
- самокоммутируемый компенсатор при надлежащем контроле также может выступать в качестве активного фильтра гармонических составляющих.

На сегодня такие технологии являются достаточно дорогостоящими, требуют обслуживания высококвалифицированными специалистами и выполняются только для установок большой и сверхбольшой мощности. В связи с этим при создании автоматических систем стабилизации напряжения автономных энергетических установок малой мощности необходимо ориентироваться на классические системы конденсаторно-реакторных компенсаторов как единственный на данный момент приемлемый источник реактивной энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / [Веников В. А. и др.]. – М.: Транспорт, 1970. – 204 с.
2. Juan W. Dixon, Jaime Garcia and Luis Moran, "Control System for a Three-Phase Active Power Filter Which Simultaneously Compensates Power Factor and Unbalanced Loads", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 42, N. 6, December 1995, pp 636-641.
3. H. Frank and S. Ivner, "Thyristor-Controlled Shunt Compensation in Power Networks," ASEA Journal, vol. 54, pp. 121-127, 1981.
4. J. W. Dixon, Y. del Valle, M. Orchard, M. Ortuzar, L. Moran and C. Maffrand, "A Full Compensating System for General Loads, Based on a Combination of Thyristor Binary Compensator, and a PWM-IGBT Active Power Filter", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 50, N. 5, October 2003, pp. 982-989.
5. S. Torseng, "Shunt-Connected Reactors and

Capacitors Controlled by Thyristors,” IEE Proc. Part C, vol. 128, n. 6, pp. 366-373, Nov. 1981.

6. Canadian Electrical Association, “Static Compensators for Reactive Power Control,” Cantext Publications, 1984.

7. H. Jin, G. Goos and L. Lopes, “An Efficient Switched- Reactor-Based Static Var Compensator”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, N° 4, July/August 1994, pp. 997-1005.

8. T. J. Miller, “Reactive power Control in Electric Systems,” John Willey & Sons, 1982.

9. L. Moran, P. Ziogas, G. Joos, “Analysis and Design of a Synchronous Solid-State VAR Compensator,” IEEE Trans. Industry Applications, vol. IA-25, n. 4, pp. 598-608, July/August 1989.

10. R. Grunbaum, B. Halvarsson, A. Wilk-wilczynski, “FACTS and HVDC Light for Power System Interconnections”, Power Delivery Conference, Madrid, Spain, September 1999.

11. [http://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/SeminarPDFs/Sen\\_CEIC\\_Seminar\\_4\\_15\\_03.pdf](http://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/SeminarPDFs/Sen_CEIC_Seminar_4_15_03.pdf); Kalyan Sen, “Recent Developments in Electric Power Transmission Technology”, The Carnegie Mellon Electricity Industry Center, EPP Conference Room, April 15, 2003.

12. Cheung K.Y.C, Cheung S.T.H, Navin De Silvia R.G, Juvonen M.P.T, Singh R, Woo J.J. Large-Scale Energy Storage Systems. Imperial College London: ISE2, 2002/2003.

Стаття надійшла 15.12.2010 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.

## АНАЛІЗ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ АВТОНОМНИХ ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

*Зачепа Ю. В., ст. викл., Василькова Т.С., магістрантка  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна  
E-mail: [saue@kdu.edu.ua](mailto:saue@kdu.edu.ua)*

Розглянуто конденсаторно-реакторні компенсатори (SVC) статичних джерел реактивної потужності для автономних генераторних установок, виконані за різними схемами. Проведено порівняння класичних SVC за масогабаритними і енергетичними показниками з новітніми системами комбінованого ступінчато-плавного регулювання передачі енергії.

**Ключові слова:** компенсатор, реактивна потужність, тиристорний комутатор.

## ANALYSIS OF THE SYSTEM REACTIVE POWER COMPENSATION IN THE CONDITIONS OF AUTONOMOUS GENERATOR SETS

*Zachepa Y., Sen. Lect., Vasilkova T., master  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine  
E-mail: [saue@kdu.edu.ua](mailto:saue@kdu.edu.ua)*

Considered capacitor-reactor compensators (SVC) static reactive power sources for stand-alone generator sets made by various mechanisms. A comparison of classic SVC for mass and size coefficients and energy indicators with the newest systems of combined step-modulating energy transfer

**Key words:** compensator, reactive power, a thyristor switch.