

Чуприков В.С.

ЗАО СП АО «Ансальдо-ВЭИ» (г. Москва, Россия)

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ФУНКЦИИ

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (СТК) широко используются для решения различных проблем передачи и распределения электрической энергии, связанных с большими и быстрыми колебаниями реактивной мощности.

Установка СТК на электрической подстанции промышленного предприятия, содержащего мощные резкопеременные нагрузки типа дуговых сталеплавильных печей (ДСП), приводов прокатных станков и т.п., обеспечивает снижение колебаний напряжения, фильтрацию высших гармоник и стабилизацию напряжения на шинах нагрузки, что повышает производительность оборудования и снижает вредное влияние подобных нагрузок на работу бытовых потребителей электроэнергии: освещения, радио- и телеаппаратуры, электронно-вычислительной техники и других. Компенсация среднего значения реактивной мощности нагрузки уменьшает потери на передачу электроэнергии от центров ее генерирования к потребителям.

Применение СТК в энергосистемах позволяет повысить устойчивость и пропускную способность линий электропередач, стабилизировать напряжение на шинах подстанции, снизить уровень внутренних перенапряжений, а также уменьшить потери электроэнергии в ЛЭП.

СТК для ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Выполняемые функции

- Стабилизация напряжения на шинах подстанции
- Снижение отклонений напряжения при больших возмущениях в системе
- Регулирование реактивной мощности
- Симметрирование нагрузки
- Демпфирование колебаний активной мощности в линии
- Снижение внутренних перенапряжений (при подключении СТК непосредственно к линии электропередачи)

РЕЗУЛЬТАТ

- Повышение статической и динамической устойчивости передачи
- Увеличение передаточной способности электропередачи из-за улучшения устойчивости при большой передаваемой мощности

Таким образом, по аналогии с охраной окружающей среды, СТК являются своего рода «очистными системами» для энергетической среды, восстанавливая качество электроэнергии, испорченное потребителями, и снижая активные потери на передачу электроэнергии. Бурный рост применения СТК в мире объясняется, в

первую очередь, его высокой эффективностью - сроки окупаемости составляют 1-2 года.

2. СХЕМНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ И РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основная схемная конфигурация СТК включает в себя конденсаторные батареи, настроенные как фильтры высших гармоник – фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ), постоянно подключенные к шинам или коммутируемые выключателями и являющиеся источниками реактивной мощности, и включенные параллельно им в треугольник три фазы управляемых тиристорами реакторов - тиристорно-реакторную группу (ТРГ), являющуюся плавно-регулируемым потребителем реактивной мощности. Угол зажигания тиристоров может быстро изменяться таким образом, чтобы ток в реакторе отслеживал реактивный ток нагрузки или реактивную мощность в энергосистеме. Номинальная мощность ФКЦ и ТРГ выбирается для каждого конкретного объекта в зависимости от назначения СТК, параметров и конфигурации энергосистемы и подстанции и требований по диапазону и алгоритмам регулирования реактивной мощности. Для каждого отдельного случая производится расчет требуемой мощности ТРГ и ФКЦ и определяется их состав.

2.1. СТК для сетей 110-500 кВ

СТК для сетей высокого напряжения 110-500 кВ устанавливаются на крупных районных подстанциях в узлах подключения местных нагрузок и служат, в основном, для регулирования напряжения на шинах подстанции. Использование таких СТК обеспечивает повышение пропускной способности и устойчивости электропередач, в частности, за счет демпфирования колебаний активной мощности в линии. **При этом увеличение пропускной способности электропередачи достигает 1-2 МВт на 1 Мвар установленной мощности СТК.**

В зависимости от длины линий и типов нагрузки эти компенсаторы имеют различные диапазоны регулирования реактивной мощности, но наиболее характерны случаи, когда мощности СТК в режиме выдачи и потребления реактивной мощности равны между собой. С целью поддержания рабочей точки СТК в середине регулировочной характеристики используются другие средства компенсации реактивной мощности – шунтирующие реакторы, конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы.

Типовая схема такого СТК (рис. 1) состоит из постоянно подключенных ФКЦ мощностью Q_m и одной или нескольких ТРГ суммарной мощностью $2Q_m$, диапазон плавного регулирования реактивной мощности СТК от $-Q_m$ до $+Q_m$.

Оборудование СТК обычно выполняется на класс напряжения от 20 до 35 кВ и подключается либо через специальный понижающий трансформатор к шинам подстанции, либо к третичной обмотке подстанционного автотрансформатора. Преимущества такого подключения СТК по сравнению с выполнением его на класс напряжения 110 или 220 кВ заключаются в снижении затрат на коммутационную аппаратуру и другие аппараты, а также оборудование СТК и его обслуживание. При большой мощности СТК оборудование ТРГ разбивается на несколько одинаковых групп. При этом снижаются потери в оборудовании СТК за счет применения плавно-ступенчатого регулирования, уменьшается уровень токов высших гармоник и повышается его надежность – при аварийном отключении одной группы остальные остаются в работе.

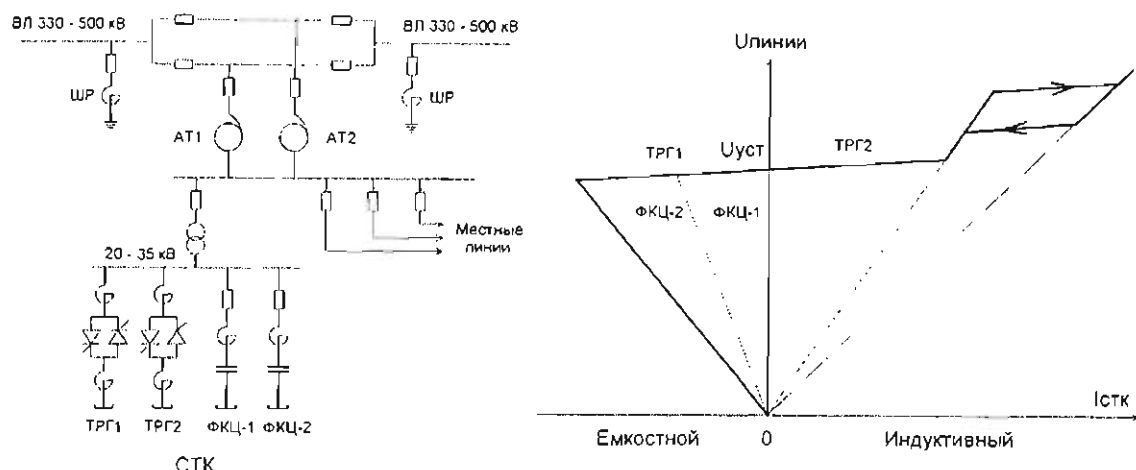


Рис.1. Типовая схема СТК (ТРГ + ФКЦ) и ее регулировочная характеристика

2.2. СТК для сетей сверхвысокого напряжения

Применение СТК на передачах СВН класса напряжения 750 – 1150 кВ носят исключительно системный характер и по ряду особенностей существенно отличаются от рассмотренных выше.

Основная функция таких СТК – регулирование реактивной мощности в зависимости от передаваемой по линии активной мощности. Требуемая на конце участка линии реактивная мощность $Q_{\text{треб}}$ определяется известным соотношением:

$$Q_{\text{треб}} = Q_C \cdot [(P/P_C)^2 - 1],$$

где Q_C – зарядная мощность участка линии;

P – активная мощность, передаваемая по этому участку;

P_C – натуральная мощность линии.

На рис. 2-б приведен график этой зависимости. Традиционным способом регулирования реактивной мощности в линии является совместное использование шунтирующих реакторов (ШР) и синхронных компенсаторов (СК). Типовая схема подстанции СВН приведена на рис. 2-а. Шунтирующие реакторы выполнены на класс напряжения линии и подключаются непосредственно к ней для обеспечения компенсации зарядной мощности линии и снижения напряжения при включении участка в режиме холостого хода. Требуемая мощность (количество) ШР рассчитывается для каждого участка линии исходя из требований обеспечения допустимого уровня перенапряжения при включении холостой линии.

СК подключается на третичную обмотку подстанционного автотрансформатора или через специальный трансформатор на шины ВН подстанции. По мере увеличения передаваемой по линии активной мощности требуется компенсировать часть реактивной мощности, потребляемой ШР, что обеспечивается путем выдачи реактивной мощности синхронным компенсатором. Т.е. реакторы потребляют реактивную мощность, а СК ее выдает. При приближении передаваемой по линии мощности к натуральной значительно возрастают потери электроэнергии в средствах компенсации. Если на каждой стороне подстанции установлено 2 и более ШР, мощность СК можно уменьшить и регулирование реактивной мощности будет иметь плавно-ступенчатый характер за счет отключения части ШР (на рис.2-б показано пунктиром), при этом снижаются и потери. Однако в этом случае возникают проблемы с быстрым подключением отключенных ШР при возникновении перенапряжений на линии.

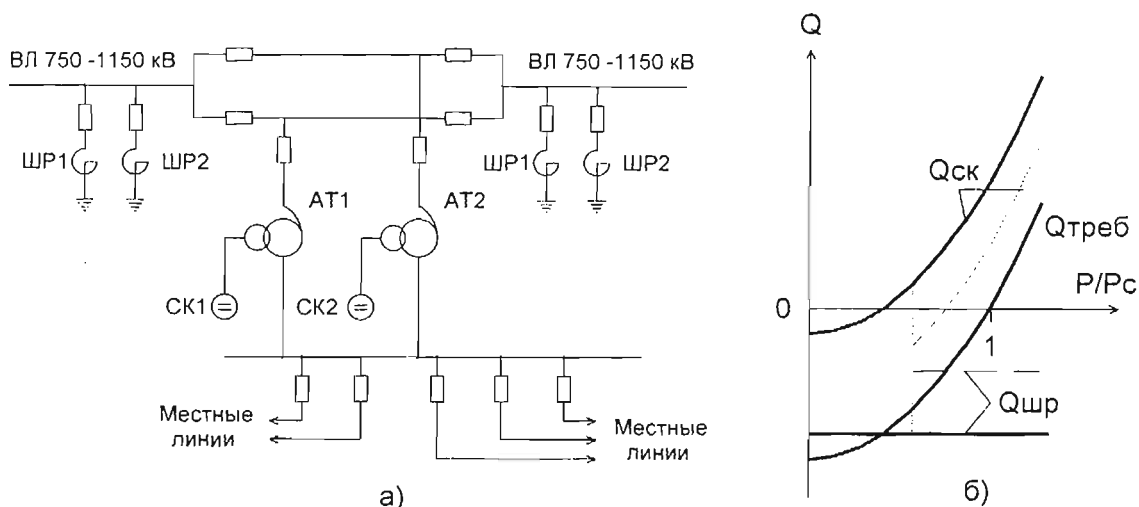


Рис.2. Схема подстанции СВН (а) и зависимость реактивной мощности от передаваемой по линии активной мощности (б)

При использовании СТК вместо СК для такого принципа компенсации реактивной мощности линии схема СТК и его функции близки к рассмотренным выше. Диапазон его регулирования, согласно рис.2, смещен в сторону выдачи реактивной мощности. Например, СТК для линий 765 кВ (Гидро-Квебек, Канада) имеет мощность ТРГ 550 Мвар, а мощность ФКЦ 450 Мвар, т.е. диапазон его регулирования составляет от -100 до +450 Мвар.

Другое дело, когда точка подключения СТК переносится непосредственно на линию (рис.3). В этом случае он может выполнять функции шунтирующего реактора – снижения внутренних перенапряжений. Алгоритм работы такого СТК следующий: перед включением линии ФКЦ отключены, СТК находится в состоянии готовности. При появлении напряжения на приемном конце линии в этот же полупериод частоты сети ТРГ включается в режиме непрерывного тока, т.е. с полной индуктивной проводимостью. После окончания переходного режима включения линии СТК переводится в режим регулирования напряжения на линии, подключая ФКЦ по мере роста передаваемой мощности.

Для подтверждения возможности выполнения СТК функции шунтирующего реактора нами в ВЭИ проводились специальные исследования на физической модели длинной линии переменного тока и СТК в виде одной ТРГ, подключенной на ее приемном конце [2]. Была разработана специальная система управления, которая обеспечила работу ТРГ в режиме непрерывного тока с момента появления напряжения на приемном конце линии. При включении холостой линии без устройств компенсации максимальное значение перенапряжения составило 2,3 при установившемся значении 1,4. При закороченных тиристорах в ТРГ, т.е. наличии шунтирующего реактора, максимальное значение перенапряжения составило 1,5 при установившемся значении 0,85 (мощность реактора превышала зарядную мощность линии). При работе ТРГ от специальной системы управления максимальное значение перенапряжения составило также 1,5 при установившемся значении 1,0 – в соответствии с уставкой регулятора напряжения. Таким образом, было экспериментально доказано, ТРГ может выполнять функции шунтирующего реактора при соответствующем управлении тиристорами.

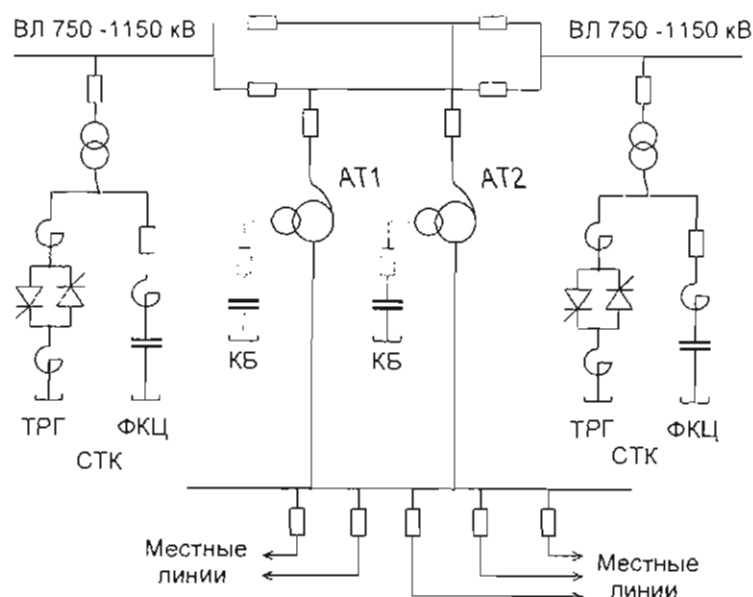


Рис.3. Подстанция СВН с СТК

Недостатком подключения СТК непосредственно к линии является необходимость периодической коммутации ФКЦ. Одним из вариантов решения этой проблемы является перенос конденсаторов с шин НН трансформатора СТК на шины подстанции (на рис.3 показано пунктиром), так как при включении холодной линии конденсаторная мощность не требуется. При этом необходимо принять меры для снижения уровня высших гармоник в токе СТК – применять 12-пульсную схему ТРГ или секционировать ТРГ с использованием принципа плавно-ступенчатого регулирования.

Подобную системную задачу наша компания решает сейчас в сетях 220 кВ Республики Ангола, поставив 2 СТК мощностью 60 Мвар для энергокомпании ENE-E.P. СТК выполнен на базе управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа (УШРТ), подключаемого непосредственно к линии электропередачи 220 кВ (рис.4), и предназначен для разгрузки линии от реактивной мощности и поддержания напряжения на линии.

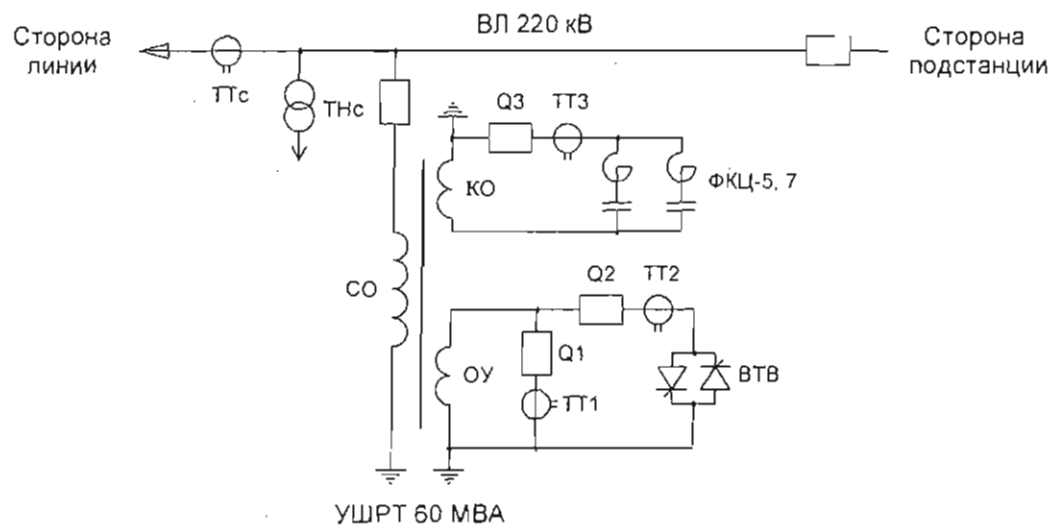


Рис.4. Схема УШРТ 220 кВ 60 Мвар

Литература

1. Чуприков В.С. Применение статических тиристорных компенсаторов для ограничения коммутационных перенапряжений на линиях переменного тока. // Тезисы докладов Всесоюзной н/т конференции «Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной, силовоточной и полупроводниковой техники», ч. I. М., 1989 г.
2. Чуприков В.С. Управление статическим тиристорным компенсатором для линий электропередачи. // «Электричество», N4, 1990 г.
3. Кузьменко В.А., Таратута И.П., Чуприков В.С. Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (опыт разработки и внедрения). // "Электро", №5, 2003 г.