

СТАТИЧЕСКИЕ КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТАТИЧЕСКИХ КОМПЕНСАТОРОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

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

1.1. Схема и принцип действия СТК

Основная функция статических компенсаторов - компенсация средней реактивной мощности нагрузки. Для обычных промышленных нагрузок типа синхронных и асинхронных двигателей, индукционных печей, освещения и т.д. для компенсации реактивной мощности достаточно установить непосредственно на шинах нагрузки (0,4 или 6-10 кВ) нерегулируемые или ступенчато-регулируемые конденсаторные батареи (КБ).

Для нагрузок, имеющих в своем составе вентильные преобразователи (регулируемый частотный электропривод, регулируемые и нерегулируемые выпрямители и т.д.) и являющиеся источниками токов высших гармоник, к функциям компенсации реактивной мощности добавляются требования фильтрации высших гармоник. В этом случае используются фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ), включающие в себя одну или несколько фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ), состоящих из последовательно соединенных КБ и фильтровых реакторов и настроенных как фильтры высших гармоник на частоты генерируемых нагрузкой токов.

Для резкопеременных нагрузок типа дуговых сталеплавильных печей (ДСП) помимо большого потребления реактивной мощности и генерации токов высших гармоник характерны несимметрия потребляемой мощности по фазам питающего напряжения и броски реактивной мощности, в два и более раз превышающие номинальную мощность ЭПТ. При этом в питающей сети возникают колебания напряжения (фликер), вредно воздействующие на остальных потребителей электроэнергии. Многочисленные исследования, проведенные Международным союзом электротермии показали, что мощность трехфазного КЗ энергосистемы в точке подключения ДСП к шинам общего назначения должна быть в 80...100 раз

больше мощности эквивалентной печи. В противном случае обеспечить допустимый уровень фликера можно только путем быстросрабатывающей пофазной компенсации реактивной мощности, т.е. применением статических тиристорных компенсаторов (СТК). Собственно это условие и является критерием необходимости установки СТК.

Основная схемная конфигурация СТК, приведенная на рис.1, включает в себя фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ), постоянно подключенные к шинам электропечной нагрузки или коммутируемые выключателями в соответствии с требованиями Заказчика и являющиеся источником реактивной мощности, и включенные параллельно им в треугольник три фазы управляемых тиристорами

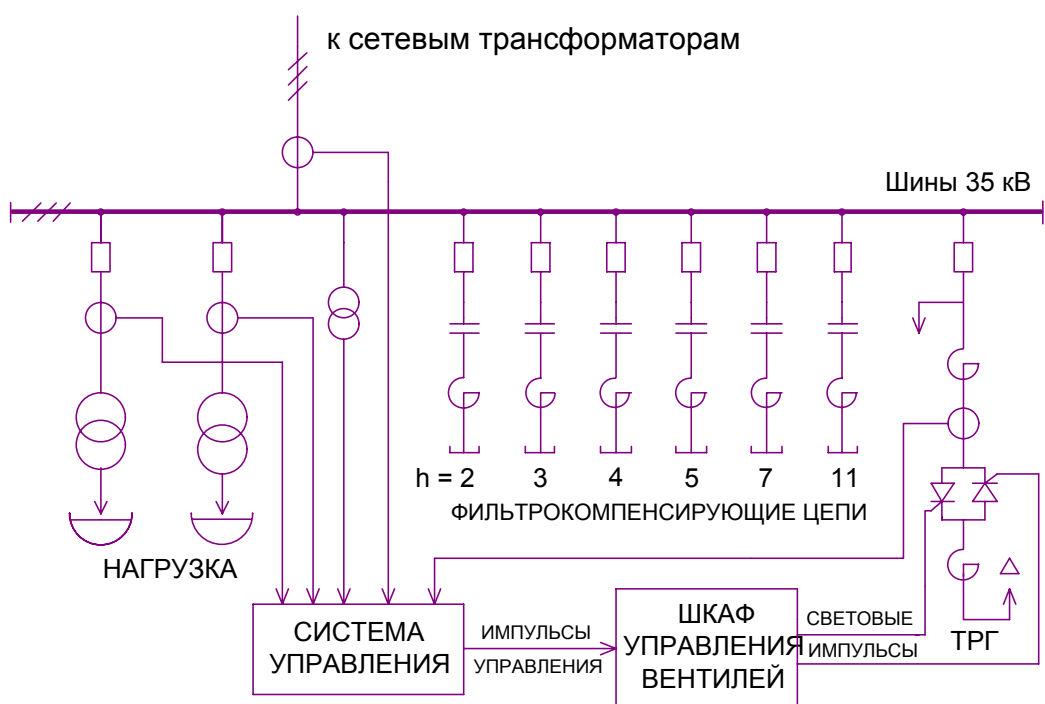


Рис.1. ТИПОВАЯ СХЕМА СТК ДЛЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

реакторов - тиристорно-реакторную группу (ТРГ), являющуюся плавнорегулируемым потребителем реактивной мощности. Угол зажигания тиристора ТРГ может быстро изменяться таким образом, чтобы ток в реакторе отслеживал ток нагрузки или реактивную мощность в энергосистеме.

Принцип действия СТК иллюстрируется рис.2-а. Вариант 1 соответствует использованию в качестве компенсатора некоммутируемой КБ или ФКУ. Генерируемая им реактивная мощность Q_{F1} выбирается исходя из средней реактивной мощности нагрузки Q_{Lcp} и допустимом коэффициенте мощности.

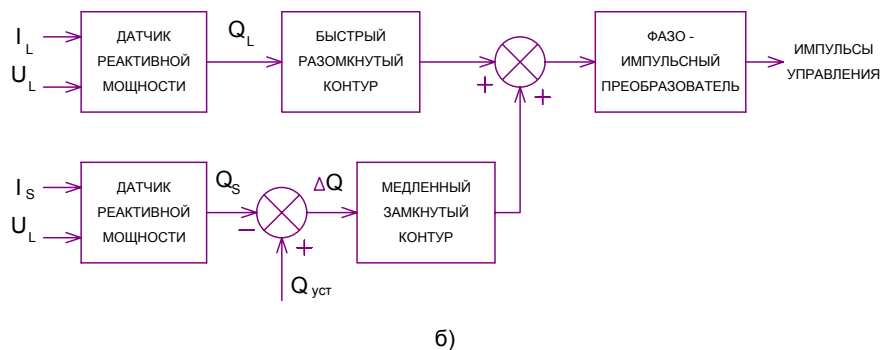
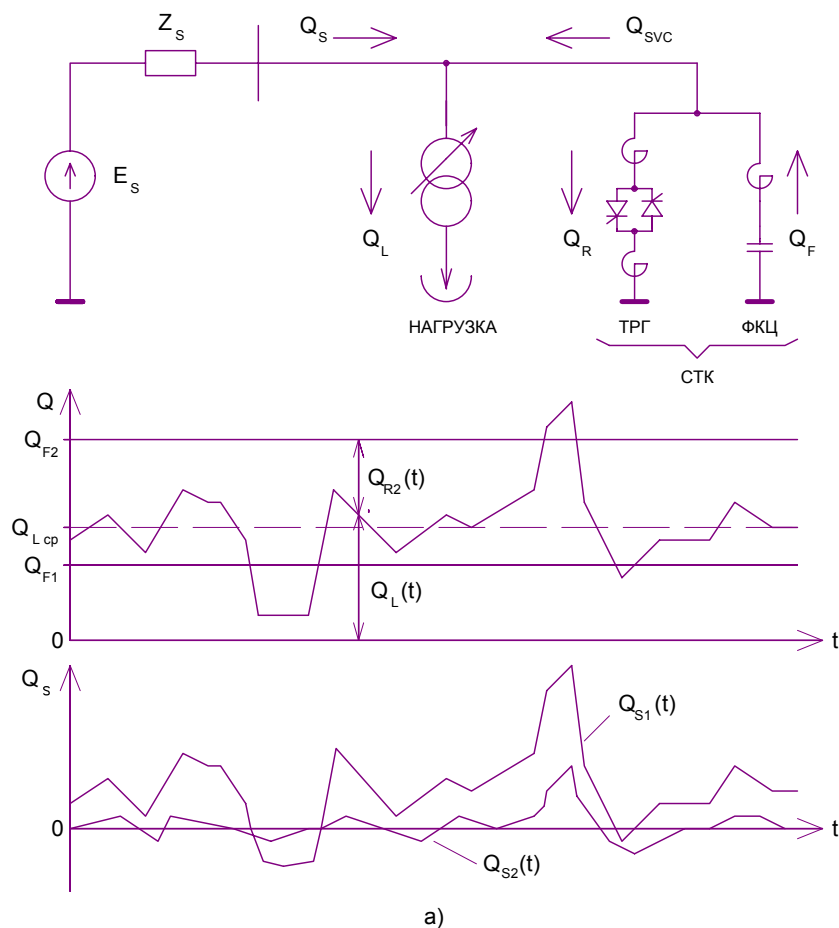


Рис.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТК

При этом переменная составляющая потребляемой из сети реактивной мощности $Q_{S1}(t)$ будет повторять график изменения $Q_L(t)$, вызывая отклонения и колебания напряжения на шинах нагрузки.

При установке СТК (вариант 2) реактивная мощность Q_{F2} , генерируемая ФКЦ, всегда превышает значение Q_{Lcp} , а текущее значение реактивной мощности, потребляемой ТРГ, $Q_R(t)$ в каждый момент времени выбирается равной разности между Q_{F2} и $Q_L(t)$. Качество работы СТК как фликеркомпенсатора определяется двумя параметрами: номинальной мощностью СТК и быстродействием его системы управления. При мощности СТК, равной мощности эксплуатационного КЗ ДСП, и

предельно возможном быстродействии регулятора коэффициент подавления фликера имеет значение 0,75.

Проектирование СТК выполняется индивидуально для каждого конкретного объекта в соответствии с параметрами схемы электроснабжения, характеристиками компенсируемой нагрузки и требований по качеству электроэнергии. Для каждого случая производится расчет требуемой мощности ТРГ и ФКЦ и определяется их состав. ФКЦ настраиваются на основные гармоники, генерируемые как ДСП, так и ТРГ.

Система автоматического управления СТК обеспечивает быструю компенсацию реактивной мощности нагрузки и поддержание регулируемого параметра в соответствии с заданной уставкой, выполняет защиту оборудования СТК, контроль и сигнализацию отказов и может быть модифицирована под конкретные требования Заказчика. На рис.2-б приведена блок-схема регулятора реактивной мощности. Необходимо отметить, что в связи с несимметрией токов ДСП каждая фаза ТРГ имеет свой канал регулирования, содержащий быстрый контур по реактивной мощности нагрузки и медленный по основному контролируемому параметру. Этим параметром, уставка которого обычно задается диспетчером завода, по усмотрению Заказчика могут быть:

- реактивная мощность, потребляемая из энергосистемы;
- коэффициент мощности;
- среднее напряжение на шинах нагрузки.

Шкаф управления тиристорных вентилях преобразует электрические импульсы управления тиристоров в световые, формируемые с помощью полупроводниковых лазеров, и передает их на высокий потенциал посредством волоконно-оптических световодов; принимает контрольные световые импульсы с каждой тиристорной ячейки и регистрирует количество и расположение отказавших тиристоров.

1.2. Особенности использования СТК для ДСП

Использование СТК на предприятиях с мощными ДСП одновременно с выполнением им основных функций приводит к улучшению качественных и количественных показателей сталеплавильного процесса. Основные преимущества применения СТК следующие:

- Существенное снижение возмущений в питающей сети

- Возможность подключения мощных печей к энергосистемам с низкой мощностью к.з.
- Повышение среднего коэффициента мощности
- Снижение токов высших гармоник, текущих в энергосистему
- Компенсация несимметрии токов фаз ДСП
- Увеличение вводимой в печь мощности за счет стабилизации напряжения, обеспечивающее снижение времени плавки и повышение производительности печи
- Снижение расхода электродов и увеличение срока службы футеровки за счет стабилизации процесса горения дуги
- Предотвращения резонансных явлений за счет установки фиксированных фильтров высших гармоник.

С 1985 г. на Молдавском металлургическом заводе (ММЗ) эксплуатируется разработанный нашим предприятием статический тиристорный компенсатор типа СТК160/138-35, подключенный к шинам 35 кВ электропечной нагрузки. Он обеспечивает быстродействующую пофазную компенсацию реактивной мощности электропечной нагрузки и, за счет этого, стабилизацию среднего значения и снижение колебаний напряжения (фликера). Все перечисленные выше положительные факторы влияния СТК нашли подтверждение на ММЗ.

За счет высокой эффективности применения СТК на предприятиях с ДСП срок его окупаемости, согласно мировому опыту, составляет 1 - 1,5 года. К сожалению, отечественные методики расчета экономической эффективности применения СТК не позволяют учесть большинство из перечисленных выше факторов. Однако, учет только снижения штрафов за реактивную мощность и повышения производительности печи уже обеспечивает окупаемость СТК за 2-3 года.

Особенно следует отметить последний фактор. Расчеты, сделанные в [11], показывают что, при мощности к.з. на шинах 35 кВ около 600 МВА, для печи типа ДСП100И6 с трансформатором 80/90 МВА установка СТК обеспечивает увеличение вводимой в печь мощности, и, соответственно, сокращение времени плавки, на 30%. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными на ММЗ.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СТК

Для проведения необходимых расчетов по определению схемы и требуемой мощности СТК, выбора параметров силового оборудования, определению требований к системе управления, при проектировании СТК необходимо иметь ряд исходных данных, перечисленных ниже.

Параметры системы электроснабжения

- Схема внешнего электроснабжения электропечной нагрузки (все возможные варианты)
- Минимальная и максимальная мощность КЗ в точке подключения к шинам общего назначения

Параметры электропечной нагрузки

- номинальная мощность печного трансформатора
- кратность тока ЭКЗ ДСП
- среднее значение активной мощности ДСП
- среднее значение реактивной мощности ДСП
- максимальное значение реактивной мощности ДСП
- средние и максимальные значения токов высших гармоник ДСП

Требования к качеству электроэнергии

- вид регулируемого параметра: суммарная потребляемая реактивная мощность или коэффициент мощности, их допустимые значения
- допустимое значение коэффициента искажений синусоидальности кривой напряжения - по ГОСТ 13109-97
- доза фликера - по ГОСТ 13109-97