

УДК 621.316.723.2

И.Р. Дюкин, студент гр. ЭиЭм-2804-04-00 (ВятГУ)  
г. Киров

## УПРАВЛЯЕМЫЙ ТИРИСТОРАМИ ПРОДОЛЬНЫЙ КОМПЕНСАТОР

Аннотация. В настоящее время в энергосистемах особое значение приобретает использование управляемых УПК, в которых конденсаторные батареи шунтируются тиристорным регулятором, позволяющим изменять реактивное сопротивление ВЛ и демпфировать субсинхронный резонанс, возникающий в сети.

Ключевые слова: передача электроэнергии, колебания активной мощности, субсинхронный резонанс, конденсаторная батарея.

Одним из возможных способов управления работой электрической сети, оснащенной управляемыми устройствами для регулирования ее режимных параметров (мощность, напряжение и ток), является изменение величины емкостного сопротивления УПК, включаемого последовательно в линию электропередачи.

ТУПК применяется для:

- Демпфирования колебаний активной мощности
- Повышения динамической устойчивости
- Динамического управления потоком мощности
- Увеличенная пропускная способность. Основное достоинство заключается в увеличении пропускной способности линии
- Применимо как в новых, так и в существующих системах.

Вполне возможно и практически осуществимо модернизировать существующие УПК, сделав все или часть из них управляемыми тиристорами, тем самым значительно повысив их эффективность работы в сети.

Во взаимосвязанных энергосистемах передача электроэнергии от одной системе к другой может осуществляться принудительно в зависимости от сопротивления линий электропередачи, соединяющей эти районы. ТУПК — это средство для оптимизации потоков электроэнергии между районами при различной нагрузке и конфигурации сети.

Благодаря применению ТУПК, становится возможным контролировать потоки мощности для достижения ряда целей:

- Минимизация суммарных потерь активной мощности
- Уменьшение кольцевых перетоков
- Устранение перегрузок линии
- Оптимизация распределения нагрузки между параллельными цепями
- Принудительное распределение мощности по линиям
- Контроль перетока мощности между районами

Колебания активной мощности в системах передачи электроэнергии могут возникать в системообразующих линиях при передаче большой мощности. Такие колебания могут быть вызваны рядом причин, таких как повреждение линии, изменение конфигурации сети или внезапное изменение мощности генератора. Наличие колебаний активной мощности ограничивает пропускную способность линии. Часто можно найти решение путем строительства дополнительных линий или модернизации существующих линий, но это требует больших капитальных вложений и занимает много времени, если не становится невозможным вообще из-за отсутствия необходимых разрешений. В некоторых случаях может быть возможно установить стабилизаторы на генераторах, но это не всегда будет эффективно, особенно для межзонных колебаний мощности, которые могут быть низкой частоты (обычно от 0,2 Гц до 0,7 Гц). В любом случае, ТУПК будет привлекательной альтернативой для рассмотрения. Он предлагает экономичный, надежный, нечувствительный к своему расположению в системе и не поддающийся влиянию локальных колебаний. В ряде случаев это окажется наилучшим практически осуществимым решением. Компания АВВ разработала и запатентовала оригинальную стратегию управления, которая повышает эффективность демпфирования с помощью ТУПК по сравнению с обычной технологией.

Важным преимуществом ТУПК является его способность быстро повышать степень компенсации, что делает его очень полезным в качестве инструмента для улучшения устойчивости после повреждений.

Благодаря такому качеству ТУПК, степень компенсации последовательного конденсатора может быть временно увеличена в случае аварийной ситуации в сети, тем самым повышая динамическую устойчивость сети (напряжение и угол) точно тогда, когда это необходимо. Благодаря этой особенности, ТУПК может иметь более низкую номинальную мощность для стационарных режимов, тем самым уменьшая потери при передаче. Например, во многих случаях желательно, чтобы линия более низкого класса напряжения передавала больше мощности в аварийных условиях, при одной отключенной цепи, чем передача с более высоким номинальным напряжением. Последовательная компенсация не требуется при нормальной работе

поскольку это только неблагоприятным образом повлияет на суммарные потери системы. Для достижения обеих целей т.е. для обеспечения возможности передачи электроэнергии во время непредвиденных ситуаций и в то же время для поддержания потерь при передаче на как можно более низком уровне, в нормальных условиях эксплуатации может быть предпочтительно использован ТУПК.

Явление субсинхронного резонанса (ССР) вызывало беспокойство в прошлом в ситуациях, когда риск возникновения ССР служил препятствием для использования последовательной компенсации.

С появлением ТУПК больше не нужно беспокоиться о подобных проблемах, и последовательная компенсация может быть использована в полной мере. Риск ССР раньше был связан с использованием последовательной компенсации линий передачи, питаемых тепловой генерацией, особенно в случаях высокой степени компенсации. Анализ показал, что дополнительная последовательная резонансная частота компенсированной линии совпадает с некоторой плохо затухающей частотой крутильных колебаний вала турбогенератора и, следовательно, может вызвать повышенные механические напряжения в валах. ТУПК устраняет этот риск совпадающих резонансных частот, заставляя последовательные конденсаторы действовать индуктивно в полосе подсинхронных частот, тем самым делая возникновение резонанса в системе передачи совершенно невозможным для подсинхронных частот. Этот индуктивный характер ТУПК стал возможным благодаря использованию дросселя с тиристорным управлением параллельно последовательному конденсатору. Система управляется запатентованной схемой управления, называемой SVR (синхронное изменение напряжения).

В ТУПК вся конденсаторная батарея (или ее часть), снабжена параллельной катушкой индуктивности с тиристорным управлением, которая содержит импульсы тока, которые складываются в фазе с током линии, чтобы повысить емкостное напряжение сверх уровня, который был бы получен только за счет тока линии. Каждый тиристор запускается один раз за цикл и имеет интервал проводимости, который короче половины цикла номинальной частоты сети. Регулируя дополнительное напряжение так, чтобы оно было пропорционально линейному току. ТУПК имеет повышенную реакцию, превышающую реактивное сопротивление конденсатора. Тиристорный ключ встроен в схему защиты от перенапряжения конденсатора. Он заменяет быстрое защитное устройство и позволяет снизить номинальную мощность защитного параллельного варистора.

Был разработан алгоритм управления SVR (синхронное изменение напряжения) с помощью которого ТУПК проявляет индуктивное сопротивление во всем частотном диапазоне, представляющем интерес для ССР. Как

следствие этого свойства последовательного конденсатора, ССР эффективно исключается.

SVR-подход к контролируемой последовательной компенсации дает ряд преимуществ:

- Отсутствие риска резонанса во всем диапазоне частот ССР
- Надежная работа ТУПК без какой-либо необходимости в специальной настройке в соответствии с различными конфигурациями сети и различными режимами вращения синхронного генератора
- Дополнительно переменное повышение напряжения может быть использовано для целей управления системой, таких как демпфирование колебаний мощности

Power Grid Corporation of India Ltd (PGCIL) приобрела у компании ABB два ТУПК с тиристорным управлением, которые были установлены на двухцепной ЛЭП 400 кВ Руркела – Райпур между Восточным и Западным регионами сети в Индии. Протяженность ЛЭП составляет 412 км. Основное назначение этой крупной электропередачи переменного тока – обеспечить экспорт избыточной энергии из восточных регионов в западные регионы при нормальных условиях эксплуатации, а также при непредвиденных обстоятельствах.

ТУПК позволяет гасить колебания мощности между районами, которые в противном случае представляли бы собой ограничение на передачу мощности по электропередаче. Моделирование, проведенное на этапе проектирования и, впоследствии, подтвержденное на этапе ввода в эксплуатацию и испытаний доказало эффективность ТУПК в качестве устройства для демпфирования колебаний мощности.

В Швеции производство электроэнергии основано главным образом на гидроэнергетике на севере и атомной энергетике в центре и на юге страны. Передача электроэнергии осуществляется на напряжении 400 кВ по ЛЭП значительной протяженности. Чтобы повысить пропускную способность этих линий и тем самым свести их количество к минимуму, повсеместно используется последовательная компенсация.

Атомная электростанция Форсмарк, расположенная в центральной части Швеции, соединена с севером страны несколькими линиями различной длины, каждая из которых является компенсированной линией. Однако одна из генераторных установок в Форсмарке мощностью 1300 МВт подвержена риску ССР в связи с определенными условиями в сети. В случае отказа защиты конденсатора от ССР, генератор отключится с последующей потерей генерации. Однако, в настоящее время такие меры стали неприемлемыми поскольку требования к доступности электроэнергии неуклонно растут. В

результате, часть существующего последовательного конденсатора в Штеде (30 % от его общего реактивного сопротивления) была перестроена в ТУПК. ТУПК, оснащенный таким образом был введен в эксплуатацию в 1997 году.

При работе ТУПК риск ССР исключается для всех возможных условий эксплуатации системы. Преимущества заключаются в повышении доступности электроэнергии от Forsmark, а также в сохранении высокого уровня передачи мощности по системе благодаря последовательной компенсации.

#### Список литературы:

1. Ю.П. Рыжов. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с., ил.
2. Электропередача переменного тока / Постолатий В.М., Веников В.А., Астахов Ю.Н., Чалый Г.В., Калинин Л.П.
3. Управляемые линии электропередачи / Ю.Н. Астахов, В.М. Постолатий, И.Т. Комендант, Г.В. Чалый. Под ред. В.А. Веникова. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 296 с.
4. Кочкин В.И., Шакарян Ю.Г. Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011, - 312 с. ил.
5. Веников В.А. Дальние электропередачи. Госэнергоиздат, 1960, 311 с.

#### Информация об авторах:

Дюкин Ильяс Рафаилович, студент гр. ЭиЭм-2804-04-00, ВятГУ, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36, [stud142741@vyatsu.ru](mailto:stud142741@vyatsu.ru)