

Карыбекова Бермет Кенжекуловна, доцент,
Бегматова Дарыйка Монокбаевна, магистрант,
Ошский технологический университет
E-mail: karybekovab65@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА УПРАВЛЯЕМОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В статье рассматривается пропускная способность линии на основе метода управляемой поперечной компенсации и предложены пути ее повышения.

Ключевые слова: компенсирующие устройства, поперечная компенсация, компенсация реактивной мощности, пропускная способность линии, реактор.

Карыбекова Бермет Кенжекуловна, доцент,
Бегматова Дарыйка Монокбаевна, магистрант,
Ош технологиялык университети

АБА ЭЛЕКТР ЧУБАЛГЫЛАРЫНЫН ТУУРАСЫНАН БАШКАРЫЛУУЧУ КОМПЕНСАЦИЯЛОО ЫКМАСЫНЫН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

Макалада линиянын туурасынан башкарылуучу компенсациялоо ыкмасына негизделген өткөрүмдүүлүк жөндөмдүүлүгүн жогорулатуу талкууланат жана аны көбөйтүүнүн жолдору сунушталат

Ачкыч сөздөр: компенсациялоочу түзүлүштөр, туурасынан компенсациялоо, реактивдүү кубаттуулукту компенсациялоо, чубалгылардын өткөрүмдүүлүк жөндөмдүүлүгү, реактор.

Karybekova Bermet Kenjekulovna, docent,
Begmatova Daryika Monokbaevna, graduate student,
Osh technological university

FEATURES OF THE METHOD OF CONTROLLED TRANSVERSE COMPENSATION IN AN OVERHEAD POWER LINE

The article discusses the line capacity based on the method of controlled transverse compensation and suggests ways to increase it.

Key words: compensating devices, transverse compensation, reactive power compensation, line capacity, reactor

Поперечной компенсацией называют параллельное включение в ЛЭП компенсирующих устройств с целью повышения ее пропускной способности за счет изменения ее реактивных параметров (реактивных сопротивлений, токов и мощностей).

Для поперечной компенсации в ЛЭП протяженностью более 100 км в качестве компенсирующих устройств (КУ) используют в основном электрические реакторы, установка которых производится на электрических подстанциях или переключательных пунктах [1].

Установленные на подстанциях реакторы, поглощают реактивную мощность линии электропередачи, которая обусловлена распределением ёмкости вдоль всей

ВЛЭП. Благодаря включению реакторов в линию, происходит улучшение распределения напряжения вдоль всей ВЛЭП, что позволяет:

- 1) создать условия для повышения пропускной способности линии электропередачи;
- 2) уменьшить внутренние перенапряжения;
- 3) обеспечить особые режимы работы ВЛЭП:
 - а) холостой ход;
 - б) синхронизацию;
 - в) автоматические повторные включения.

Все остальные виды компенсирующих устройств (КУ) применяются для осуществления поперечной компенсации уже в электрических сетях, частью которых являются все ВЛЭП 500 кВ. Использование этих устройств в электрических сетях помогает обеспечить значения требуемых параметров напряжений и уменьшить потери электроэнергии в самой электрической сети.

В электрических сетях поперечную компенсацию осуществляют при помощи:

- 1) батарей конденсаторов;
- 2) синхронных компенсаторов
- 3) синхронных электродвигателей.

Батареи конденсаторов устанавливаются на потребительских электрических подстанциях или непосредственно к самим потребителям. Установка синхронных компенсаторов происходит на районных электрических подстанциях районных электрических сетей,

В настоящее время перспективным направлением в осуществлении поперечной компенсации считается применение регулируемых статических устройств продольной компенсации. Использование регулируемых статических устройств для поперечной компенсации позволяет непрерывно и практически безынерционно менять генерацию или потребление реактивной мощности. Регулируемые статические устройства поперечной компенсации представляют из себя вентильные установки с искусственной коммутацией или выполняются в виде подмагничиваемых реакторов. Преимущества применения регулируемых статических устройств для поперечной компенсации заключается в следующем:

- 1) улучшают режимы работы электрических систем при резких колебаниях нагрузки;
- 2) повышают пропускную способность ВЛЭП.

Рассмотрим варианты включения компенсирующего устройства в линию. Рассмотрим первый вариант, когда включение компенсирующего устройства происходит в середине линии (рис.1,а). Эпюры напряжения и реактивной мощности в режиме максимальной мощности, когда величина передаваемой мощности превышает натуральную, приведены на рисунке 1,б.

При параллельном подключении компенсирующих устройств в различные участки линии, они могут работать и в режиме потребления, и в режиме генерации реактивной мощности. Поэтому они могут стабилизировать напряжение линии в различных ее режимах в точке их подключения, разбивая линию на ряд участков, имеющих неизменные напряжения на концах. При управляемой поперечной компенсации, пропускную способность линии необходимо определять через пропускную способность самого длинного ее участка. Таким образом, естественная длина линии заменяется длиной ее наиболее протяжённого участка, а угол сдвига между напряжениями начала и конца линии определяется как сумма углов сдвига напряжений по концам каждого из участков линии.

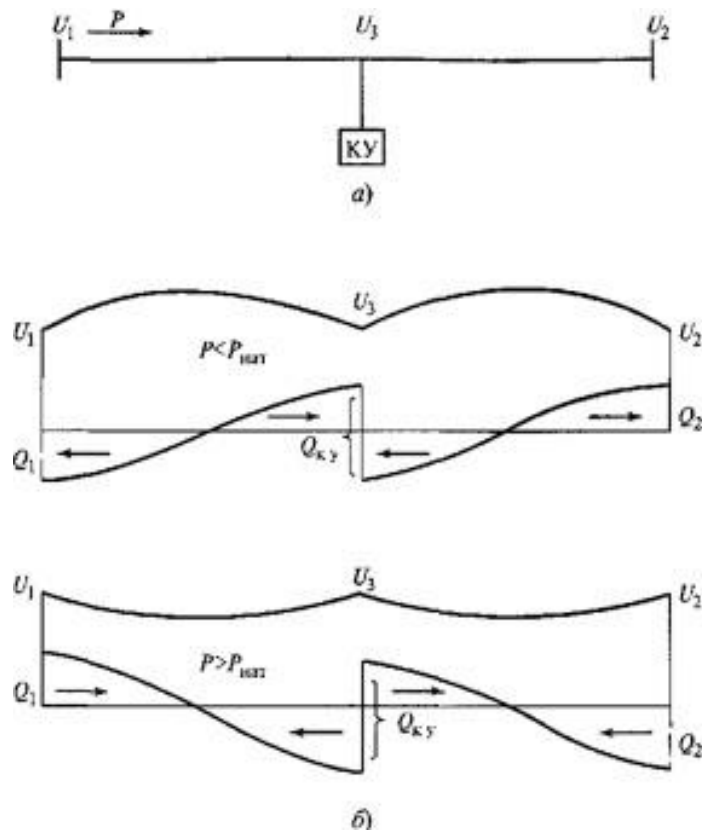


Рис. 1. а) схема включения управляемого компенсирующего устройства в середине линии, б) с эпюры напряжения и реактивной мощности

При одинаковых значениях напряжений $U_1=U_2=U_3=\text{const}$, наблюдается равенство реактивных мощностей конца первого и начала второго участков:

$$Q_{k1} = -ctg \frac{\lambda}{2} + \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \frac{\lambda}{2}} - P_{нб}^2} \quad (1)$$

$$Q_{н2} = ctg \frac{\lambda}{2} + \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \frac{\lambda}{2}} - P_{нб}^2} \quad (2)$$

где $P_{нб}$ - наибольшая передаваемая мощность по линии электропередач

При работе компенсирующего устройства происходит увеличение напряжения на его зажимах при выработке им реактивной мощности. Поэтому для сохранения напряжения в номинальных пределах необходимо произвести компенсацию этой реактивной мощности. Необходимая мощность компенсирующего устройства для обеспечения $U_3=\text{const}$

$$Q_{ку} = Q_{k1} + Q_{н2} \quad (3)$$

Определение угла сдвига между напряжениями по концам каждого из участков линии производится согласно выражению:

$$tg \delta_1 = tg \delta_2 = \frac{P_{нб} tg \frac{\lambda}{2}}{1 - Q_{k1} tg \frac{\lambda}{2}} \quad (4)$$

Соответственно, общий суммарный угол по линии будет:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_1 + \delta_2 \quad (5)$$

В случае включения компенсирующего устройства в середине линии, величина общего суммарного угла по линии может оказаться больше величины угла,

допустимого по условиям статической устойчивости, даже если значения углов по каждому участку будут меньше допустимых значений.

Мощность компенсирующего устройства определили для условия, что на концах передающих и приёмных систем линии выполняется баланс по реактивной мощности.

Рассмотрим второй вариант включения компенсирующего устройства, когда вся линия разбивается на n участков и на границе каждого из них (за исключением приёмных подстанций) устанавливаются компенсирующие устройства, для стабилизации напряжения в точке подключения.

Определение величины мощности, каждого из устанавливаемых КУ для режима, при котором выполняется баланс по реактивной мощности, выполняется так же, как и в предыдущем примере.

Тогда суммарная мощность всех компенсирующих устройств будет:

$$\sum Q_{\text{ку}} = 2(n - 1) \left(\text{ctg} \lambda_1 - \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \lambda_1} - P^2} \right). \quad (6)$$

Если установка компенсирующих устройств происходит на шинах системы, то мощность устанавливаемых компенсирующих устройств будет определяться по следующему выражению:

$$\sum Q_{\text{ку}} = 2n \left(\text{ctg} \lambda - \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \lambda_1} - P^2} \right) \quad (7)$$

Данные уравнения справедливы для случая когда все участки имеют равную длину, а напряжения на концах всех участков равны напряжению в системе.

Соответственно, общий суммарный угол δ_{Σ} между напряжением в начале и в конце линии определяется как сумма углов по каждому участку и будет равен:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_n^1 \delta_i \quad (8)$$

Для поперечной компенсации в качестве компенсирующих устройств (КУ) используют в основном электрические реакторы, установка которых производится на электрических подстанциях или переключательных пунктах.

Шунтирующие реакторы используют для компенсации, существующей в линии избыточной реактивной мощности. Конструкция простейшего сухого шунтирующего реактора представляет собой катушку без магнитопровода с ничтожно малой величиной активного сопротивления и достаточно большой величиной индуктивного сопротивления. Такой реактор нельзя регулировать, что является серьезным его недостатком.

На ВЛЭП 500 кВ применяются мощные управляемые шунтирующие реакторы, имеющие масляное охлаждение [2]. Управляемый шунтирующий реактор представляет из себя переменное индуктивное сопротивление. Управление реактором происходит при помощи плавного регулирования током подмагничивания элементов магнитной цепи. Конструктивное исполнение фазы реактора включает в себя два ферромагнитных стержня. На первом ферромагнитном стержне расположена сетевая обмотка, на втором-обмотка управления.

Если подать постоянное напряжение на обмотку управления, расположенную на втором стержне, то в первом стержне происходит нарастание потока подмагничивания, который имеет встречное направление и тем самым приводит к насыщению стержней управляемого реактора. Как следствие насыщения стержней, происходит увеличение тока в сетевой обмотке, что приводит к изменению величины реактивной мощности, потребляемой реактором.

На практике, для осуществления управляемой поперечной компенсации в ВЛЭП 500 кВ с целью повышения ее пропускной способности, применяют управляемые шунтирующие реакторы трех типов [4]:

- 1) реакторы, управляемые путем подмагничивания постоянным током с использованием специальной обмотки управления;
- 2) реакторы, управляемые путем подмагничивания постоянным током через расщепленную нейтраль сетевой обмотки;
- 3) реакторы трансформаторного типа.

Разработка управляемых шунтирующих реакторов трансформаторного типа (УШРТ) проводилась под руководством проф. Александрова Г.Н. в Санкт-Петербургском политехническом университете.

УШРТ состоит из силового понижающего трансформатора с напряжением короткого замыкания 100% и подключенного ко вторичной обмотке управляемого тиристорами реактора.

УШРТ является разновидностью статического тиристорного компенсатора (СТК). Поэтому, как и для схемы СТК, в схеме УШРТ в режиме открытых тиристоры, они закорачивают вторичную обмотку трансформатора, обеспечивая этим максимально потребляемую мощность УШРТ. В режиме закрытых тиристоры, мощность УШРТ соответствует режиму холостого хода трансформатора. В промежуточных режимах происходит плавное регулирование потребляемой мощности путем изменения угла управления вентилями. Управляемый шунтирующий реактор трансформаторного типа (УШРТ) устанавливается на подстанциях линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжений 110 - 500 кВ (рис.2).



Рис.2. Внешний вид управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа.

УШРТ состоит из двух основных частей:

- 1) электромагнитной части УШРТ- (ЭМЧ);
- 2) тиристорной группы (тиристорного регулятора) включающей в себя:
 - а) трехфазный тиристорный вентиль (ВТВ), который подключается к вентильной обмотке (ВО) ЭМЧ, соединенной в треугольник, посредством выключателя Q1;
 - б) цифровую систему автоматического управления и защиты УШРТ, которая позволяет осуществлять управление ВТВ и коммутацию выключателя Q1 в соответствии с заданными алгоритмами работы, состоящую из шкафа управления (ШУ) и шкафа релейных защит (ШРЗ).
 - в) систему жидкостного охлаждения тиристорных вентилях (СО), состоящую из шкафа системы охлаждения (ШСО) и агрегата воздушного охлаждения (АВО).

Электромагнитная часть УШРТ выполнена в виде трехфазного двухобмоточного реактора, обмотка высокого напряжения (сетевая обмотка – СО) которого соединяется

в звезду с глухо заземленной нейтралью и подключается к шинам высокого напряжения (ВН) на подстанции. Величина напряжения обмотки низкого напряжения (НН) (вентильной обмотки - ВО) зависит от мощности УШРТ и находится в пределах от 10 до 35 кВ.

Главной отличительной особенностью электромагнитной части (ЭМЧ) УШРТ является 100-процентная магнитная связь между сетевой обмоткой высокого напряжения (СО) и вентильной обмоткой низкого напряжения (ВО). Данное свойство позволяет регулировать ток в его первичной сетевой обмотке (СО) путем изменения угла зажигания тиристорного вентиля, который присоединяется параллельно к вентильным обмоткам ВО.

Подключение УШРТ производится на подстанции к секциям шин высокого напряжения (СШ ВН). Управление УШРТ осуществляется в автоматическом режиме через шкаф управления (ШУ) согласно командам, поступающим от оператора ПС через пульт дистанционного управления (ПДУ) или АРМ оператора. Поэтому непосредственное присутствие оперативного персонала на подстанции (ПС) не требуется. При этом, как дополнение, предусматривается наличие режима ручного управления УШРТ с лицевой панели ШУ.

Применение УШРТ на практике позволяет добиться осуществления реализации следующих функций [2]:

- 1) плавного и быстрого регулирования реактивной мощности, для разгрузки электрических сетей и подстанций от реактивных мощностей с целью снижения в них потерь;
- 2) стабилизации напряжения на шинах подстанций;
- 3) демпфирования возникающих качаний генераторов;
- 4) улучшения статических и динамических показателей устойчивости системы.

Однолинейная схема УШРТ показана на рис.3.

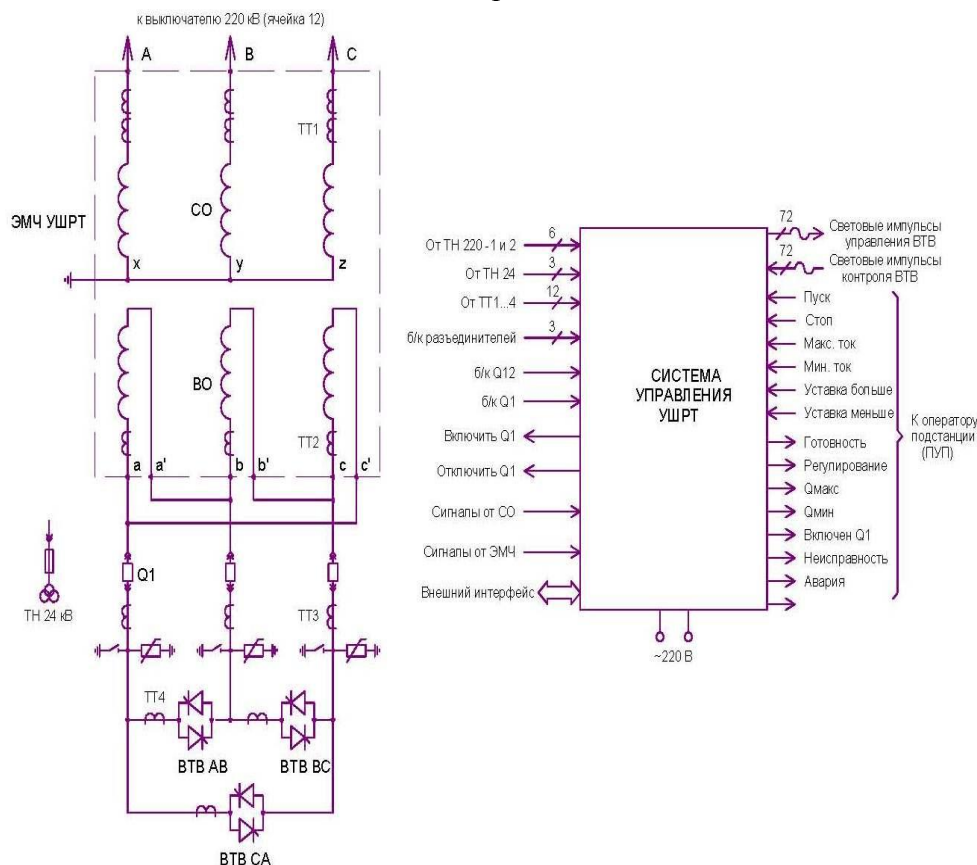


Рис.3. Однолинейная схема УШРТ

Сравнивая УШРТ с традиционными СТК, можно отметить следующие преимущества УШРТ относительно СТК [2]:

- 1) возможность исполнения для любого класса напряжений;
- 2) меньшие габариты, стоимость и потери в целом;
- 3) надежность схемы, поскольку для УШРТ номинальным режимом работы является режим КЗ.

Таблица 1

Основные параметры управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа [4]

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	110,220,330,500
Испытательные напряжения	по ГОСТ 1516.3-96
Номинальная реактивная мощность (потребляемая) при номинальном напряжении, Мвар	25...160
Быстродействие УШРТ:	
время изменения мощности УШРТ в пределах плавного диапазона регулирования, не более, с	0,03
- отработка скачка напряжения уставки, не более, с	0,03
- до уровня 0,9 до установившегося значения с точностью 0,05	0,12
Диапазон изменения уставки по напряжению	10% $U_{ном}$
Диапазон изменения статизма характеристики	1...10%
Пофазное регулирование реактивной мощности	возможно
Суммарные потери в номинальном режиме, % от номинальной мощности, не более	0,55...0,8
В нормальных режимах работы УШРТ содержание высших гармоник в его токе в % от величины тока УШРТ в режимах полного потребления, не более	3,0

Таким образом, регулируемая поперечная компенсация на базе управляемых шунтирующих реакторов по сравнению с продольной (последовательной) компенсацией является более эффективным средством повышения пропускной способности линии электропередач.

Литература:

1. **Александров, Г.Н.** Передача электрической энергии [Текст] / Г.Н. Александров // 2-е изд.- СПб.: Изд-во Политехн.ун-та,2009.-412с.
2. **Веников, В.А.** Дальние электропередачи переменного и постоянного тока [Текст] / В.А. Веников, Ю.П. Рыжов // Учебное пособие для вузов. М: Энергоатомиздат, 1985.-272с.
3. **Идельчик, В.И.** Электрические системы и сети [Текст] / В.И. Идельчик // Москва, Энергоатомиздат, 1989.-592с.
4. **Рыжов Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения [Текст] / Рыжов Ю.П. // Учебник для ВУЗов. Москва, издательский дом МЭИ, 2007. -488с