

УДК: 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Элчиева Малика Сайталиевна – к.э.н. доцент,

Карыбекова Бермет Кенжекуловна – доцент,

Шумкаров Медер – магистрант,

Ошский технологический университет

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7555261>

Аннотация: Данная статья посвящена одной из актуальных проблем повышения пропускной способности линии. Рассматриваемая проблема включает в себя метод повышения пропускной способности ВЛЭП с помощью устройства продольной компенсации

Ключевые слова: устройство продольной компенсации, электрическая энергия, дальние электропередачи, пропускная способность

INCREASING THE CAPACITY OF AN OVERHEAD POWER LINE WITH A SERIES COMPENSATION DEVICE

Abstract: This article is devoted to one of the urgent problems of increasing the throughput of the line. The problem under consideration includes a method for increasing the transmission capacity of an overhead transmission line using a series compensation device.

Key words: longitudinal compensation device, electrical energy, long-distance power transmission, capacity

ВВЕДЕНИЕ

Продольной компенсацией называется последовательное включение конденсаторов в линию электропередач.

Продольная компенсация обеспечивает повышение динамической (угловой) устойчивости линии электропередачи и стабильность напряжения основной сети. Применение УПК, основанных на этой технологии позволяет улучшить качество напряжения вдоль линии и оптимизировать распределение потоков между идущими параллельно линиями электропередач.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Продольная компенсация является техническим мероприятием, применяемым для снижения передаточных реактивных сопротивлений в магистральной системе ВЛЭП 500 кВ с целью увеличения ее пропускной способности. Ее применение позволяет:

- 1) значительно увеличить динамическую устойчивость;
- 2) оптимизировать напряжение;
- 3) повысить пропускную способность ВЛЭП

В зависимости от вида применяемых устройств продольной компенсации (УПК) продольная компенсация бывает двух видов:

- 1) фиксированная продольная компенсация
- 2) управляемая продольная компенсация.

Фиксированная продольная компенсация является предпочтительным решением по улучшению пропускной способности протяженных (более 200 км) магистральных ВЛЭП 500 кВ. Последовательное включение в линию емкостного сопротивления позволяет:

- 1) компенсировать индуктивное сопротивление ВЛЭП;

- 2) уменьшить угловое отклонение;
- 3) уменьшить падение напряжения.

Применение продольной компенсации позволяет:

- 1) улучшить качество напряжения;
- 2) увеличить стабильность работы системы.

Такая компенсация является саморегулирующейся, так как изменения в передаче тока непосредственно приводят к выработке конденсатором реактивной мощности, выражаемой в Мвар. Это делает продольную компенсацию сравнительно простым и выгодным с экономической точки зрения процессом.

Устройство продольной компенсации представляет из собой конденсатор, который компенсирует индуктивное сопротивление линии электропередач [3].

Технология продольной компенсации заключается в последовательном включении в ВЛЭП 500 кВ конденсаторов, поэтому электрооборудование УПК должно размещаться на платформе, полностью изолированной относительно земли. На данной платформе, выполненной из стали, располагается конденсатор и системы защиты от повышения напряжения. Защита от повышения напряжения является главным фактором, который необходимо учитывать при проектировании, так как конденсаторная батарея должна выдерживать проходящий через нее ток КЗ [4]. Система защиты включает в себя два вида защит:

- 1) первичную защиту, предназначенную для защиты от повышения напряжения, которая состоит из:
 - а) нелинейных металл оксидных варисторов
 - б) быстродействующего устройства защиты (БУЗ)
 - в) быстродействующего переключателя цепи обхода батареи конденсатора.
- 2) дополнительной защиты, которая осуществляется за счет монтируемой на земле электроники.

Принцип действия продольной компенсации основан на том, что в системе электропередачи максимальная активная мощность, которую может передать ЛЭП, обратно пропорциональна последовательному реактивному сопротивлению линии.

$$P_{\max} = \frac{U_1 U_2}{X_L} \sin \delta \quad (1)$$

Поэтому, компенсировав данное последовательное реактивное сопротивление при помощи конденсатора продольной компенсации, достигается увеличение передачи активной мощности.

Конденсатор продольной компенсации представляет собой саморегулирующееся устройство. Напряжение на таком конденсаторе меняется само (без управления) пропорционально протекающему в линии току. Дополнительно, применение УПК позволяет частично компенсировать падения напряжения, вызываемые передаточным реактивным сопротивлением, что приводит к повышению стабильности напряжения системы электропередачи.

Использование установок продольной емкостной компенсации, включаемых в расщелку ВЛЭП является вторым видом технических мероприятий, позволяющим существенно повысить пропускную способность ВЛ по режиму напряжения [1] (рис. 1).

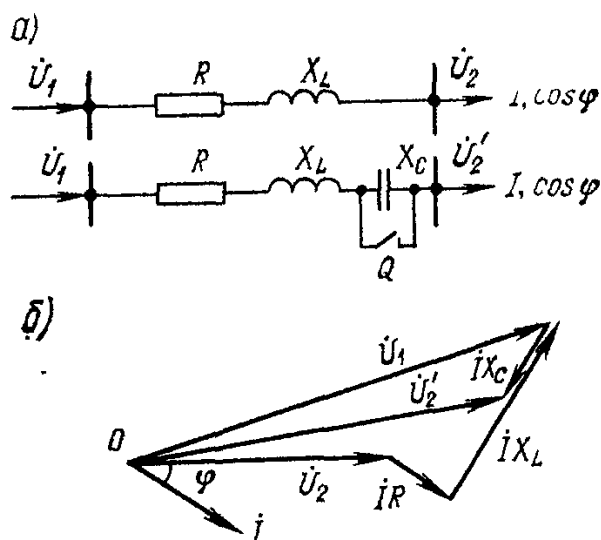


Рис.1. а) схема замещения ВЛЭП с продольной компенсацией и без
б) векторные диаграммы напряжений ВЛЭП с продольной компенсацией и без

На пропускную способность ВЛЭП напряжением 500кВ существенное влияние оказывают электромагнитные процессы, протекающие в ней, и являющиеся большой проблемой при передаче по ней электроэнергии. ВЛЭП 500кВ имеют достаточно большую зарядную мощность и большое индуктивное сопротивление, которые отрицательно сказываются на ее пропускной способности. Поэтому необходима компенсация их в режиме холостого хода и в режиме малых нагрузок с целью избежания повышения напряжения сверх нормы на концах ВЛ.

Решением данной проблемы является применение различных компенсирующих устройств. Отметим, что пропускная способность линий 500 кВ в малой степени ограничивается нагревом проводов и в большей степени ограничивается устойчивостью электропередачи (статической, динамической).

Применение продольной компенсации является самым распространенным и целесообразным средством повышения пропускной способности ВЛЭП 500 кВ, когда последовательно в линию включаются конденсаторы УПК (устройства продольной компенсации), уменьшающие ее результирующее реактивное сопротивление. Применение компенсирующих и управляющих устройств позволяет увеличить передаваемую мощность по ВЛ уменьшая ее индуктивное сопротивление и максимально возможно увеличивая угол между напряжениями ее в начале и в конце линии. На сегодняшний день для таких целей используют: ФПУ, СТАТКОМ, СТК, ТУПК, АСК, ОРПМ и другие, что тоже приводит к значительным дополнительным затратам [2].

Мощность и место размещения УПК на линии должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами. При умеренной величине продольной компенсации ограничиваются одной УПК на линии. Если сопротивлениями конденсаторов УПК компенсируется более 50 % сопротивления линии, то необходимо установить УПК не меньше чем на двух подстанциях. Сосредоточение слишком большого компенсирующего сопротивления в одном месте приводит к увеличению кратности внутренних перенапряжений и вызывает трудности в обеспечении правильного действия применяющихся в настоящее время устройств релейной защиты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На мощных подстанциях напряжением 500 кВ можно применять синхронные компенсаторы с регуляторами сильного действия, которые предназначены, как для регулирования напряжения, так и для повышения устойчивости электрической системы. Синхронные компенсаторы могут быть заменены на ИРМ (источники реактивной мощности), которые могут выдавать или поглощать из линии реактивную мощность и тем самым обеспечивать поддержание напряжения в точке их присоединения. Применение регулируемых устройств поперечной компенсации позволяет изменять характеристики линии, ее натуральную мощность и вести режим так, чтобы натуральная мощность всегда соответствовала передаваемой. При этом достигается наиболее благоприятное распределение напряжения вдоль линии, увеличивается ее пропускная способность.

Также альтернативным техническим решением уменьшения индуктивности ВЛЭП 500 кВ с целью повышения ее пропускной способности, является применение управляемой продольной компенсации, принцип действия которой основан на применении схем УПК с управлением. УПК с управлением состоит из конденсаторной батареи и подключенной параллельно ей тиристорно-реакторной группы с плавным регулированием при помощи обычных тириستоров. УПК установили в районе середины линии. Данное техническое решение позволило повысить передаваемую по линии мощность с 300 до 400 МВт, при этом даже достигнут предел нагрузки линии по нагреву.

Эта установка управляемой продольной компенсации включает в себя шесть, включенных последовательно модулей. Каждый модуль состоит из:

- 1) параллельно соединенных конденсаторных батарей;
- 2) ограничителя перенапряжения
- 3) встречно включенных тириستоров с токоограничивающими реакторами.

ВЫВОД

Сравнивая, рассмотренные выше, два технических решения по созданию управляемой продольной компенсации, выявлено, что первое решение имеет больше преимуществ по сравнению со вторым техническим решением. Преимущества первого решения:

- позволяет образовывать не зависящее от величины тока линии регулируемое напряжение, как в емкостном, так и в индуктивном диапазоне сопротивлений;
- позволяет наиболее эффективно производить демпфирование колебаний мощности во время переходных процессов;
- позволяет наиболее эффективно распределять передаваемую по сечению мощность между шунтирующими связями;
- имеет более широкий диапазон регулирования по управлению передаваемой мощности;
- тиристорное оборудование находится на потенциале земли за трансформатором, это облегчает его эксплуатацию.

К техническим преимуществам применения установки продольной компенсации можно отнести:

- 1) увеличение передаваемой по линии мощности;
- 2) повышение стабильности работы энергосистем при пиковых нагрузках;
- 3) значительное снижение потерь активной мощности;
- 4) повышение качества электроэнергии в сетях;

- 5) высокую экономичность распределения мощности в параллельных линиях;
- 6) отсутствие необходимости возведения дополнительных генерирующих источников на удаленных территориях;
- 7) не требуется увеличения технических параметров ЛЭП (размеров опор, сечения проводов, гирлянд изоляторов и т.д.)
- 8) возможность автоматического и безынерционного регулирования напряжения;
- 9) отсутствие в установке движущихся частей делает УПК простыми и надежными на протяжении их всей эксплуатации;

К экономическим преимуществам применения установок продольной компенсации можно отнести следующие:

- 1) энергосбережение, за счет уменьшения количества линий электропередач;
- 2) экономия средств на защиту окружающей среды;
- 3) стоимостные показатели УПК не велики по сравнению со строительством новой линии электропередач, которое обходится в 10 раз дороже, чем установка УПК, дающего ту же пропускную способность.
- 4) окупаемость установки УПК происходит в течении нескольких лет, по сравнению с окупаемостью традиционных ВЛЭП.

Недостатками продольной компенсации являются:

- 1) возникновение резкого увеличения тока короткого замыкания близ места установки компенсирующих устройств и применение, в связи с этим, для шунтирования БК быстродействующих разрядников;
- 2) возможность возникновения в электрической системе резонансных явлений — самовозбуждения, самораскачивания роторов электродвигателей, мигание ламп накаливания и т.д.
- 3) происходит ограничение установленной мощности компенсирующих устройств:
 - а) по условию надёжной работы релейной защиты электропередачи;
 - б) по возникающим резонансными явлениями.

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 передачи переменного и постоянного тока [Текст]/: Учебное пособие для вузов/ В.А.Веников, Ю.П. Рыжов. -М.: Энергоатомиздат, 1985.-320с.
- 3. **Герасименко А.А.** Передача и распределение электрической энергии. Учебник для вузов [Текст]/ А.А.Герасименко, В.Т.Федин.// – Ростов-н/Д.: Феникс. 2006. - 720 с.
- 4. **Рыжов Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для ВУЗов[Текст]/ Ю.П. Рыжов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 488 с.: илл.