

УДК 621.317

Системы электропередачи с управляемыми параметрами

Фабиянский С.В.

Научный руководитель – Федин В.Т., к.т.н., профессор

Создание управляемых систем электропередачи было вызвано необходимостью обеспечения возможности работы линий при загрузке от максимальной расчетной до нулевой в режиме холостого хода, а также для повышения пропускной способности линий электропередачи.

Известно, что передаваемая по линии без потерь активная мощность (АМ) и потребляемая по ее концам реактивная мощность (РМ) определяются как:

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} \sin \delta$$

$$Q_1 = \frac{U_1(U_1 - U_2 \cdot \cos \delta)}{X_L},$$

$$Q_2 = \frac{U_2(U_2 - U_1 \cdot \cos \delta)}{X_L}$$

где U_1 – напряжение в начале линии, U_2 – напряжение в конце линии, X_L – индуктивное сопротивление линии, δ – угол между векторами напряжений в начале и в конце линии.[1]

Устройства на основе современной силовой электроники, созданные для управления работой электропередачи, способны одновременно воздействовать на три параметра: U , X_L , δ , что повышает эффективность и обеспечивает гибкое управление режимами энергосистем. Такие технологии за рубежом называют FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems- гибкие передающие системы переменного тока). Эти устройства применяют для управления и повышения пропускной способности уже существующих линий.

Существует также альтернативная технология, развиваемая в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете на протяжении последних десятилетий, которая заключается в строительстве новых линий увеличенной пропускной способности и их настройке на передаваемую по ним мощность с помощью управляемых шунтирующих реакторов трансформаторного типа (УШРТ). [2]

Реактор – это статическое силовое нелинейное устройство, работа которого основана на явлении электромагнитной индукции. Управляемый реактор - это реактор, у которого индуктивное сопротивление обмотки регулируется за счет изменения насыщения сердечника посредством изменения постоянной составляющей магнитного потока. Реактор трансформаторного типа – реактор, магнитная система которого является стержневой и подобна магнитопроводу силового трансформатора. Переменное магнитное поле реактора является пульсирующим, т.е. изменяющимся по периодическому закону только по временной координате. [3]

Работы, выполненные в указанном выше университете доказали, что при отказе от ограничений расстояний между проводами технически возможно и экономически целесообразно создание электропередач произвольно увеличенной натуральной мощности, индуктивное и волновое сопротивление которых уменьшается при увеличении числа проводов в фазе. Соответственно натуральная мощность таких линий пропорциональна числу составляющих в фазе. При таком изменении принципов

конструирования необходимо увеличить число составляющих в фазе сверх минимального (обусловленного ограничением коронного разряда) на линиях с расщепленными проводами, а также необходимо осуществлять расщепление проводов на линиях напряжением 35..220 кВ, что приводит к многократному уменьшению их индуктивного сопротивления. Связанное с этим многократное повышение натуральной мощности воздушных линий позволяет существенно расширить области применения электропередач каждого из освоенных классов напряжения по передаваемой мощности, по-новому решать проблему обеспечения баланса реактивной мощности в электроэнергетической системе.

УШРТ обеспечивают 100%-ю компенсацию зарядной мощности линий электропередачи. При этом полностью исключается повышение напряжения на линиях сверх наибольшего рабочего в режимах малых нагрузок линий и в режиме их холостого хода. При увеличении передаваемой по линии мощности ток через УШРТ автоматически уменьшается в соответствии с уменьшением избыточной реактивной мощности линий вплоть до нуля при передаче по линии натуральной мощности. В любом режиме работы по линии передается только мощность нагрузки, соответственно потери мощности минимальны. [4]

Надежность работы энергосистем определяется балансами АМ и РМ в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах. Переход из одного состояния в другое требует применения для соблюдения указанных балансов в темпе процессов быстродействующих устройств, которые могут быть созданы только на основе силовой электроники.

Усовершенствованная полупроводниковая технология открыла в начале 90-х годов прошлого века путь к изготовлению запираемых (GTO и GCT) тиристоров, мощных транзисторов (IGBT) и быстродействующих диодов, шкала параметров которых охватывает напряжения от 2500 до 6000 В, а отключаемые токи от 1500 до 4000 А. Новая элементная база дала возможность приступить к созданию нового класса преобразователей – преобразователей напряжения (ПН) и различных статических устройств на их основе (СТАТКОМ, параллельно-последовательный регулятор мощности).

Одномостовая схема ПН приведена на рисунке 1. Преобразователь состоит из шести плеч, включающих в себя встречно-параллельные запираемые тиристоры и обратные диоды. Система управления обеспечивает длительность проводящего состояния каждого плеча, равную 180° . Импульсы управления поступают на запираемые тиристоры через 60° с очередностью 1–2–3–4–5–6. При таком управлении на зажимах А, В и С формируются напряжения, первые гармоники фазных напряжений которых равны:

$$U_A = U_B = U_C = U_{\Pi} = \frac{2}{\pi} \cdot U_d,$$

где U_d – напряжение источника постоянной ЭДС; U_{Π} – напряжение преобразователя.

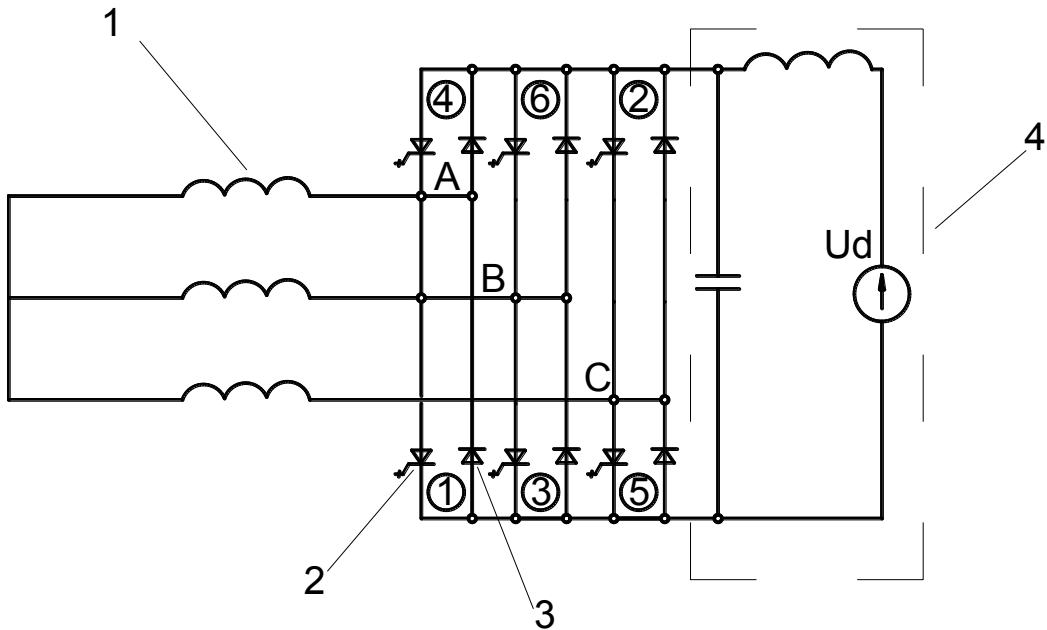


Рисунок 1. Однофазовая схема преобразователя напряжения: 1 – фазное сопротивление ПН; 2 – запираемый тиристор; 3 – обратный диод; 4 – источник постоянной ЭДС

ПН представляет собой статический аналог синхронной машины, в которой регулируемое напряжение U_d источника постоянной ЭДС – эквивалент напряжения (тока) ротора, полупроводниковый коммутатор – эквивалент статора, а угол управления – регулятор энергоносителя (вода, пар, газ) турбины или нагрузки насоса. Рассмотренный ПН используется как базовый модуль при создании управляемых линий.

Пример применения ПН, два комплекта которых объединяются параллельно на стороне постоянного напряжения, показан на рисунке 2. При этом ПН₁ подключается к линии (шинам подстанции) параллельно, а выходное переменное напряжение ПН₂ через трансформатор включается последовательно в линию, образуя дополнительный последовательный вектор напряжения ΔU , величина и фаза p которого изменяются с помощью систем управления ПН₁ и ПН₂ в широких диапазонах: $\Delta U = 0 \div (\pm \Delta U_{\text{зад}})$, $p = 0 \div 360^\circ$ по отношению к напряжению U_1 . Образованная ПН₁ и ПН₂ вставка постоянного тока пониженной по сравнению с передаваемой по ЛЭП мощности может управлять режимами работы ЛЭП.

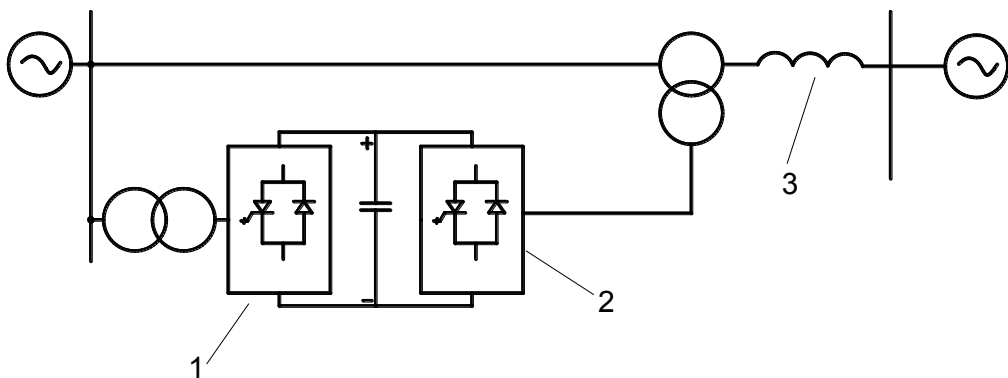


Рисунок 2. Вставка постоянного тока на основе ПН: 1 – ПН₁; 2 – ПН; 3 – индуктивное сопротивление линии электропередачи

Впервые проект такого регулятора мощностью 160 Мвар реализован на линии 138 кВ в штате Кентукки, США, для увеличения пропускной способности существующей ЛЭП и установления перетока мощности, указанного в соглашении о покупке-продаже электроэнергии.

Выводы

1. Современные устройства управления работой электропередачи позволяют решать следующие задачи:

- обеспечение выдачи вводимых в эксплуатацию мощностей электростанций и надежного подключения новых нагрузок потребителей;
- повышение управляемости потоками мощности в процессе передачи электроэнергии между энергорайонами;
- реализация проектов по экспорту электроэнергии.

2. Плавное изменение мощности управляемых реакторов на вновь сооружаемых линиях увеличенной пропускной способности придает электропередаче следующие положительные свойства:

- возможность рационального распределения напряжения и тока в линии;
- повышение пропускной способности ЛЭП по статической устойчивости;
- ограничение коммутационных перенапряжений;
- снижение потерь энергии в линии.

Литература

1. Кочкин В.И. Новые технологии повышения пропускной способности ЛЭП. Управляемая передача мощности // Новости электротехники, - 2008. - №3.
2. Александров, Г. Н. Передача электрической энергии переменным током / Г.Н. Александров. - Л.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Забудский Е.И. Совмещенные регулируемые электромагнитные устройства для улучшения качества электроэнергии // Энергосбережение. - 1998. - Вып. №3. - С.37-42.
4. Александров Г.Н. Технология гибких линий электропередачи и электропередач, настроенных на передаваемую мощность // Электричество, - 2006, №6.