

Функциональные различия в управлении режимами электрических сетей с передачей постоянного тока на базе преобразователей тока и напряжения

К.В. Желнина, М.Е. Гольдштейн

ФГАОУ ВО " Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)",
Челябинск, Россия

Аннотация - Актуальным при управлении режимами электроэнергетических систем является перераспределение мощностей между неоднородными сечениями или линиями электропередач (ЛЭП), обеспечение устойчивости систем, повышение пропускной способности ЛЭП. В ряде случаев решить эти задачи можно, применяя в электроэнергетической системе электропередачи (ППТ) и вставки постоянного тока (ВПТ), которые могут быть выполнены, как на преобразователях тока (ПТ) так и на преобразователях напряжения (ПН). Сегодня еще недостаточно исследованы различия в функциональных возможностях ППТ/ВПТ на базе ПТ и ПН. Исследование проводилось для одного из проблемных районов Челябинской энергосистемы. Для расчета и анализа установившихся режимов работы электрической сети использован программный комплекс RASTR.WIN с вводом в него моделей ППТ/ВПТ на базе ПТ и ПН. Анализ режимов электрической сети горнозаводского района при перспективных электрических нагрузках показал недопустимые перегрузки одной из двухцепных линий электропередач, а также неоптимальное распределение потоков энергии между параллельными сечениями. Выполнен анализ режимов района при переводе двухцепной электропередачи на постоянный ток, как с применением ПТ, так и ПН. Перевод двухцепной электропередачи на постоянный ток позволяет увеличить ее пропускную способность. Применение ППТ на базе ПН существенно расширяет возможности регулирования режимов сетевого района по сравнению с применением ППТ на базе ПТ.

Ключевые слова: электропередачи и вставки постоянного тока, преобразователь тока, преобразователь напряжения, режим электрической сети.

Functional difference in managing of regimes of electrical grids with direct current transmission which based on current source converter (CSC) and voltage source converter (VSC)

Ksenija Zhelnina, Mihail Gol'dshstejn

South Ural State University (national research university)
Chelyabinsk, Russian Federation

Abstract - The relevant issues in managing regimes of electrical grids are redistribution of power between non-uniform cross-section or transmission lines, providing sustainability of the system, increasing transmission capacity of lines. In some cases it can be resolved by implementing high voltage direct current (HVDC) transmission and Back to Back (BB), which might be based either on current source converter (CSC) or on voltage source converter (VSC). Nowadays it is not research enough the difference between functional opportunities HVDC/ BB based on these converters. The research was made for the one of the most problem areas of Chelyabinsk region. The calculation and analysis of steady state were done by means of the program package RASTR. WIN. The analysis of electrical grid of the area with the prospective loads showed unacceptable overload of one of the transmission lines and the distribution of power in two parallel non-uniform cross-sections was not optimal. The analysis of regimes of the region was done after rearranging the transmission line to the direct current with using CSC and VSC. Rearranging the transmission line to the direct current let increase its transmission capacity. Using HVDC based on VSC expands flexibility of the grid in comparison to HVDC based on CSC.

Key-words: High voltage direct current transmission, Back to Back, current source converter, voltage source converter, regime of the electrical grid.

I. ВВЕДЕНИЕ

Возможны режимы энергосистем, в которых их элементы работают в предельных условиях, в то время как другие элементы слабо загружены. В этих случаях актуальным становится повышение пропускной способности линий электропередач (ЛЭП), устойчивости синхронных генераторов и перераспределение потоков мощности в неоднородных сетях. Внедрение в электроэнергетику технологий передач (ППТ) [1-5] и вставок постоянного тока (ВПТ) помогает решать часть этих задач. Проведем сравнение расширяющихся функциональных возможностей управления режимами района электрической сети при переводе одной из двухцепных передач переменного тока на постоянный при применении первоначально конечных подстанций на базе преобразователей тока (ПТ), а затем и преобразователей напряжения (ПН).

II. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выбран представленный на рис. 1 проблемный район Челябинской энергосистемы Злауост – Аша 500-110 кВ. В этом районе самым крупным потребителем является завод АМЗ с потребляемой мощностью $S_{AMЗ} = 113,6 + j52,4$ МВА. Расчет режимов сетевого района проводился с помощью программного комплекса RASTR.WIN, предназначенного для расчета и анализа установившихся режимов электрических систем.

Вследствие большого уровня потребляемой заводом мощности питающие его ЛЭП оказываются загруженными. В нормальном режиме самой загруженной является двухцепная линия Кропачево -110 – Симская с токовой нагрузкой 74,2 % от допустимого тока. В послеаварийном режиме при отключении одной из цепей ЛЭП нагрузка линии составляет 134 %. При этом токовая нагрузка других ЛЭП, по которым энергия передается в том же направлении, что и по линии Кропачево-110 – Симская, не превышает допустимых значений. Следовательно, целесообразным является часть мощности с этой ЛЭП перераспределить по наименее загруженным линиям.

Реализовать такой вариант можно путем перевода двухцепной ЛЭП переменного тока Кропачево -110 – Симская на биполярную линию постоянного тока. При этом передача постоянного тока может быть основана как на базе преобразователей тока, так и преобразователей напряжения. Номинальный и допустимый ток передачи при этом увеличивается в 3 раза.

III. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Так как в исходном режиме мощность по этой ЛЭП идет к п/с Симская, то п/с Кропачево выполняем выпрямительной, а п/с Симская – инверторной. Схемы и оборудование этих подстанций одинаковы. В каждом полюсе включено по одному двухмостовому преобразователю, каждый мост которого подключен к

преобразовательному трансформатору с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН).

Во всех длительных режимах работы передачи угол регулирования на выпрямительной подстанции α поддерживают на уровне 10 град. эл., угол δ инверторов 15 град. эл. [5]. Параметры ППТ рабочего режима, рассчитанные с помощью программы DCT, разработанной на кафедре ЭССиС ЮУрГУ и более 20 лет используемой в учебном процессе, приведены в таблицах 1 и 2, которые содержат значения передаваемой активной мощности в начале P_B и конце P_I передачи, потребляемой преобразовательными подстанциями (соответственно выпрямительной и инверторной) реактивной мощности Q_B и Q_I , ток передачи I_d , напряжения вентильных обмоток трансформаторов E_{2B} , E_{2I} , углы коммутации γ_B , γ_I и угол опережения включения тиристорных инверторов β .

Таблица 1 – Параметры ППТ рабочего режима выпрямительной подстанции

P_B , МВт	U_B , кВ	I_d , А	E_{2B} , кВ	γ_B , град. эл.	Q_B , МВАр
-142,8	184	776	20,81	14,8	-26,17

Таблица 2 – Параметры ППТ рабочего режима инверторной подстанции

P_I , МВт	U_I , кВ	E_{2I} , кВ	β , град. эл.	γ_I , град. эл.	Q_I , МВАр
139,7	180	20,74	25	10	-50,86

При таком режиме работы напряжения в некоторых узлах сети достигают значения 55 кВ вследствие потребления преобразовательными подстанциями большой реактивной мощности Q_B и Q_I .

Появляется дефицит реактивной мощности в сетевом районе. Поэтому для обеспечения реактивной мощностью преобразователей на конечных подстанциях дополнительно устанавливаются источники реактивной мощности. В рассматриваемом режиме их мощность для выпрямительной подстанции составляет $Q_{ир.в} = 41,8$ МВАр в режиме потребления, а для инверторной подстанции $Q_{ир.и} = 109,9$ МВАр в режиме генерации.

При вводе в электросетевой район электропередачи постоянного тока появляется возможность регулирования потоков мощности. В таблице 3 представлены параметры ряда режимов такой передачи при регулировании значения передаваемой активной мощности P_B . Регулирование выполняется с переключением отпаяк РПН на трансформаторах преобразовательных подстанций для сохранения нормируемых значений углов преобразователей преобразовательных подстанций, а также соответствующие этому режиму значения потерь ΔP .

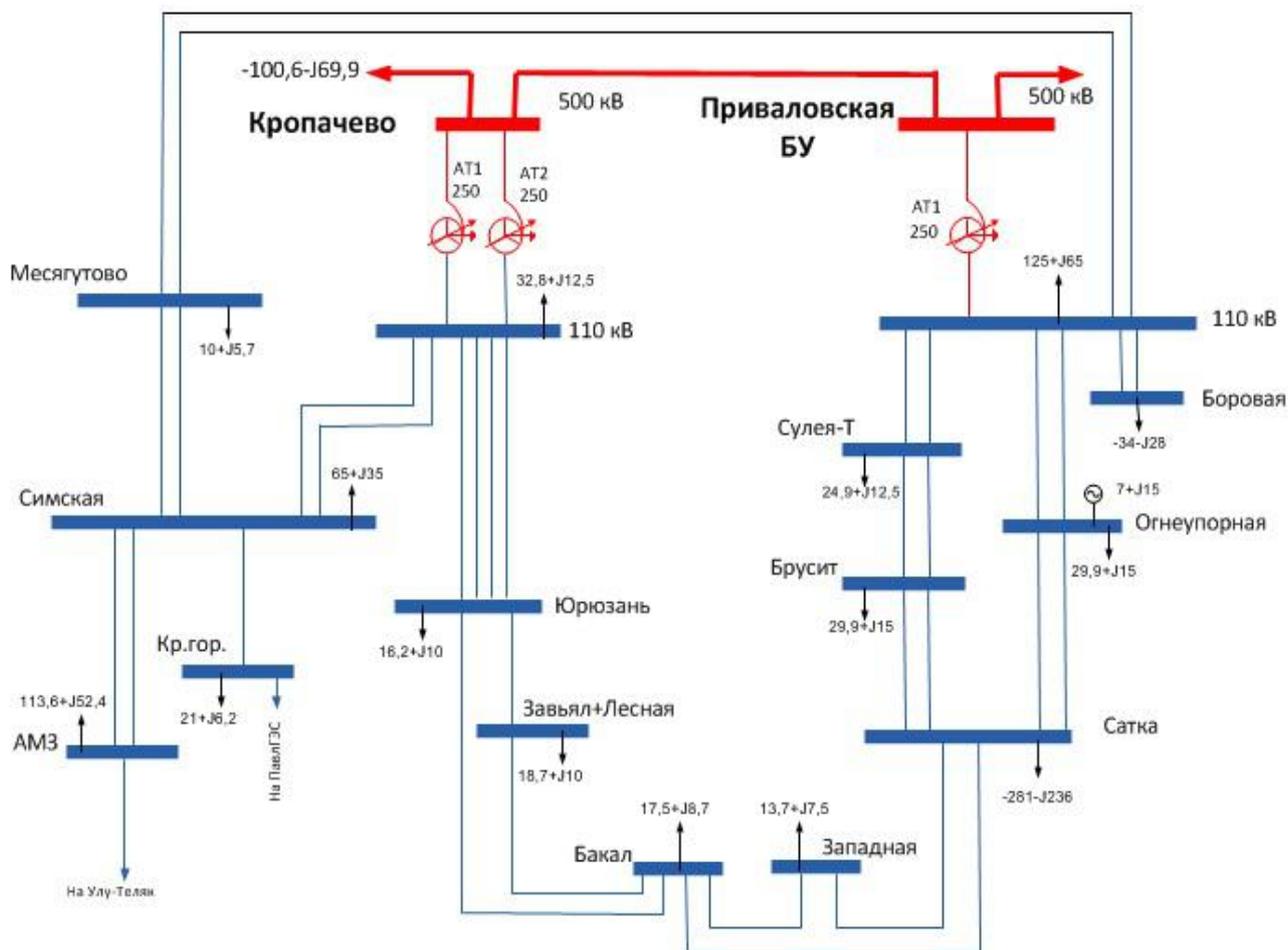


Рис. 1 – Сетевой район Златовост – Апта 500-100 кВ

Таблица 3 – Параметры режима ППТ при изменении передаваемой мощности P_v

P_v , МВт	P_i , МВт	Q_v , Мвар	Q_i , Мвар	Qирм.в., Мвар	Qирм.и., Мвар	ΔP , МВт
-35	34,8	-6,4	-9,3	-88,6	144,6	29,39
Месягутово-Симская 100 %						
-40	39,7	-7,33	-10,86	-86,9	141,3	26,42
Месягутово-Симская 96,3 %						
-50	49,6	-9,16	-14,1	-83,4	135,2	22,79
Месягутово-Симская 87,8 %						
-101,5	100	-40,74	-31,65	-41,6	113	10,24
Перегруженных линий нет						

Преобразователь напряжения характеризуется большими возможностями управления потоками электроэнергии. Изменяя угол управления вентилей и, следовательно, угол фазового сдвига между векторами напряжения преобразователя и напряжением сети, получим режим генерации или потребления из сети активной мощности. Регулируя значение напряжения преобразователя с помощью широтно-импульсной модуляции, получим режим генерации или потребления

реактивной мощности. Таким образом, управляя ключами преобразователя напряжения, можно работать в любом из четырех квадрантов его PQ – диаграммы [3, 4, 6, 7].

Используя такие функциональные возможности преобразователя напряжения и конечных подстанций, выполненных на таких преобразователях, рассмотрим разные варианты режимов электрической сети. При работе передачи постоянного тока с номинальной активной мощностью и отсутствующей реактивной получаем следующую загрузку ЛЭП (в процентах от допустимого тока): АМЗ – Симская – 121,7%; Месягутово – Приваловская 82,8 %, АМЗ – Улу-Теляк – 81,2 %; Месягутово – Симская – 122,9 %. Но напряжения в узлах низкие (опускаются до 55 кВ). Таким образом, конечные подстанции должны работать, выдавая реактивную мощность для восстановления нормального режима сети. Реактивную мощность могут генерировать или потреблять преобразователи напряжения конечных подстанций. Дополнительных источников реактивной мощности не требуется. В таблице 4 приведены параметры режима передачи постоянного тока при регулировании значения активной мощности P_v и реактивной мощности Q_v только преобразователями напряжения.

Таблица 4 – Параметры режима ППТ при регулировании активной и реактивной мощности преобразователями напряжения.

Рв, МВт	Ри, МВт	Qв, Мвар	Qi, Мвар	ΔP, МВт
-35	34,8	-95	135,3	29,39
Месягутово-Симская 100 %				
-40	39,7	-94,23	130,44	26,42
Месягутово-Симская 96,3 %				
-50	49,6	-92,56	121,1	22,79
Месягутово-Сим 87,8 %				
-101,5	100	-82,1	82,1	10,24
Перегруженных линий нет				

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ввод передачи постоянного тока в электросетевой район дает возможность регулирования потоков мощности, тем самым изменяя значения токов и потерь в линиях. Регулирование может производиться как с помощью передач постоянного тока на базе преобразователей тока, так и преобразователей напряжения. Однако, преобразователи тока могут работать только в I и IV квадрантах PQ – диаграмм. В этом заключается их недостаток, так как для поддержания параметров режима в допустимых пределах необходима установка на преобразовательных подстанциях дополнительных источников реактивной мощности. Преобразователи напряжения работают во всех 4 квадрантах PQ – диаграмм, что дает дополнительные функциональные возможности в управлении режимами энергосистем. В частности, уменьшая передаваемую по передаче активную мощность, можно генерировать реактивную мощность, необходимую в узлах примыкания передачи к энергосистемам и без дополнительных ее источников. Следует заметить, что диапазон совместного регулирования активной и реактивной мощности конечных преобразовательных подстанций определяется PQ – диаграммами их преобразователей напряжения.

В рассматриваемом сетевом районе переводом двухцепной ЛЭП Кропачево – Симская с переменного тока на постоянный удалось увеличить пропускную способность этой передачи, сделав ее нагрузку в предельных режимах значительно меньше допустимой. Кроме того, используя возможности регулирования активной мощности передачи и реактивной мощности в примыкающих узлах, провести перераспределение мощностей по другим ЛЭП переменного тока (например, загрузить ЛЭП Приваловская-110 – Месягутово, и Месягутово – Симская) и тем самым более равномерно загрузить ЛЭП, по которым энергия передается в одном направлении.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование проводилось для наиболее проблемного электросетевого района Челябинской энергосистемы Златоуст – Аша 500-110 кВ, содержащего крупного потребителя. На основе проведенных исследований режимов горнозаводского района Челябинской энергосистемы показано, что перевод одной из двухцепных линий электропередачи с переменного тока на постоянный позволяет существенно увеличить ее пропускную способность. Важным фактором перехода электропередачи на постоянный ток является также возможность проводить перераспределение потоков мощности в сети переменного тока. Сравнение передачи постоянного тока показало, что передача постоянного тока на базе преобразователей напряжения имеет большие функциональные возможности по сравнению с передачей постоянного тока на базе преобразователей тока. Передача на базе преобразователей напряжения позволяет регулировать режимы электрических сетей и не требует дополнительных источников реактивной мощности для восстановления нормального режима работы электросетевого района.

Список литературы

- [1] Виджей К. Суд HVDC and FACTS Controllers: применение статических преобразователей в энергетических системах: Пер. с англ.: НП «НИИА», 2009. – С. 344.
- [2] Ситников, В.Ф. Совершенствование методов и средств управления режимами энергетических систем на основе элементов гибких электропередач (FACTS). – Иваново, 2009.
- [3] Гольдштейн М.Е., Корбуков Н.В. Допустимые длительные режимы передачи постоянного тока на базе преобразователей напряжения. Электроэнергетика глазами молодежи: науч. Тр. IV междунар. Научн.-техн. конф., Т1, г. Новочеркасск, 14-18 октября 2013 г./ М-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. Гос. Политех. ун-т им. М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 148 – 151.
- [4] Bulatov B.G., Gol'dshtein M.E., Korbukov N.V. Modeling of HVDC and DC Links Based Voltage Converters in Software for Calculating Long-Time Regimes of Power Systems. Power Technology and Engineering. March 2016, Volume 49, Issue 6, pp 468-471.
- [5] Ю.П. Рыжов Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов – М: Издательский дом МЭИ, 2007.
- [6] Кочкин, В.И. Преобразователь напряжения как управляемый элемент электрических сетей / В.И. Кочкин, М.В. Пешков, Д.В. Романенко // Известия НИИПТ. – 2004. – №60. – С. 128-146.
- [7] Кочкин В.Н., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий.–М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.