

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Музыченко Н.М. Модуляционные источники питания. – Томск: Радио и связь, 1990. – 336 с.
2. Dixon J.W., Del Valle Y., Orchard M., Ortúzar M., Morán L., Maftrand C. A Full Compensating System for General Loads, Based on a Combination of Thyristor Binary Compensator, and a PWM-IGBT Active Power Filter // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2003. – V. 50. – № 5. – P. 982–989.
3. Михальченко Г.Я., Стребков А.С., Хвостов В.А., Шумейко С.А. Промышленная электроника в энергосбережении. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2007. – 248 с.
4. Кобзев А.В. Многозонная импульсная модуляция. Теория и применение в системах преобразования параметров электрической энергии. – Новосибирск: Наука, 1979. – 304 с.
5. Михальченко Г.Я. Двойная модуляция потока энергии при воспроизведении сигналов в многофазных преобразователях // Техническая электродинамика. – 1988. – № 5. – С. 34–43.
6. Алейников О.А., Баушев В.С., Кобзев А.В., Михальченко Г.Я. Исследование локальной устойчивости периодических режимов в нелинейных импульсных системах // Электричество. – 1991. – № 4. – С. 16–21.
7. Андриянов А.И., Михальченко Г.Я. Сравнительная характеристика различных видов ШИМ по топологии областей существования периодических режимов // Электричество. – 2004. – № 12. – С. 46–54.
8. Михальченко Г.Я., Малаханов А.А. Математическая модель однофазного корректора коэффициента мощности // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2008. – № 2 (18). – Ч. 2. – С. 143–149.
9. Гаврилов А.А., Михальченко Г.Я., Михальченко С.Г. Нелинейная динамика преобразователей с многофазной импульсной модуляцией // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – № 2 (20). – С. 171–178.
10. Бородин К.В., Михальченко С.Г. Математическое моделирование динамики инвертирующего DC/DC преобразователя на напряжения // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2008. – № 2 (18). – Ч. 2. – С. 150–156.

Поступила 28.06.2010 г.

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА ПО УСТАНОВКЕ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА НА ПОДСТАНЦИИ НОВО-АНЖЕРСКАЯ 500 КВ

О.А. Мастерова, М.В. Тюлькин

Томский политехнический университет  
E-mail: moa9999@yandex.ru

*Проанализирована эффективность реализации пилотного проекта ОАО «ФСК ЕЭС» по замене синхронных компенсаторов на статические тиристорные компенсаторы на подстанции Ново-Анжерская 500 кВ. Рассмотрено влияние данного устройства на режимы Кузбасской энергосистемы с точки зрения регулирования напряжения, повышения устойчивости и пределов передаваемой по линиям электропередачи мощности, снижения темпов износа оборудования.*

### Ключевые слова:

*Гибкие (управляемые) системы, электропередачи переменного тока, статический тиристорный компенсатор, пропускная способность, регулирование напряжения.*

### Key words:

*Flexible system, alternative current transmission, static VAR compensator, transfer capability, voltage regulation.*

Согласно основным направлениям технической политики ОАО «ФСК ЕЭС», для повышения надежности и управляемости Единой национальной электрической сети необходимо создание и обоснованное внедрение новейших разработок, таких, как гибкие системы передачи переменного тока [1].

Термин управляемые (гибкие) системы электропередачи переменного тока – Flexible Alternative Current Transmission System (FACTS) введен в обращение Институтом электроэнергетики EPRI (США). FACTS является одной из наиболее перспективных электросетевых технологий, суть которой состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии превращается

в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей [2].

Устройствами, реализующими эту технологию, являются:

- управляемые шунтирующие реакторы;
- статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности;
- синхронные статические компенсаторы реактивной мощности типа СТАТКОМ;
- синхронные статические продольные компенсаторы реактивной мощности на базе преобразователей напряжения;
- управляемые тиристорами устройства продольной емкостной компенсации;
- управляемые фазоповоротные устройства;

- вставки постоянного тока на базе преобразователей напряжения и т. д.

Программа создания в России гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока и устройств регулирования напряжения включает два этапа [3].

Первым этапом программы предусматривается организация практического внедрения этих устройств путем создания и реализации пилотных проектов.

На втором этапе, по мере накопления опыта практического применения технологий и устройств FACTS, анализа возможностей различных устройств FACTS в нормальных и аварийных режимах работы, будут выбраны наиболее оптимальные виды устройств FACTS, при необходимости уточнены технические требования к этим устройствам, определены места их установки в электрических сетях, на электростанциях и, возможно, у некоторых потребителей.

Задачей данного исследования является оценка эффективности реализации пилотного проекта по замене синхронного компенсаторов на статический тиристорный компенсатор (СТК) мощностью 100 МВар на напряжение 11 кВ (4 тиристорно-реакторных группы с параллельно включенными через выключатель конденсаторными батареями соизмеримой мощности) на подстанции (ПС) Ново-Анжерская 500 кВ Магистральных электрических сетей Сибири.

Как известно, статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности широко исполь-

зуются для решения различных проблем передачи и распределения электрической энергии, связанных с большими и быстрыми колебаниями реактивной мощности [4]. Они предназначены для оптимизации режимов работы электрических сетей с целью повышения пропускной способности и устойчивости линий электропередачи, стабилизации напряжения в узлах нагрузки, обеспечения параллельной устойчивой работы энергосистем, уменьшения потерь электроэнергии и повышения ее качества.

Основу СТК составляют накопительные элементы (емкости, индуктивности), реакторно-тиристорные и конденсаторно-тиристорные блоки. СТК за счет тиристорного управления обладают исключительным быстродействием и осуществляют безынерционное плавное регулирование (наибольшая скорость регулирования от 1 до 100 % за 0,3 с) реактивной мощности во всем диапазоне, от мощности, отдаваемой конденсаторами, до мощности, потребляемой индуктивностью. Система автоматического управления СТК обеспечивает быструю компенсацию реактивной мощности и поддержание регулируемого параметра (например, напряжения) в соответствии с заданной уставкой. Так же эта система выполняет защиту оборудования СТК, контроль отказов и может быть модифицирована под конкретные условия эксплуатации.

СТК имеют различные схемы подключения к высоковольтной сети и управления потребляемой реактивной мощностью. На ПС Ново-Анжерская 500 кВ установлен СТК с управлением в цепи ре-

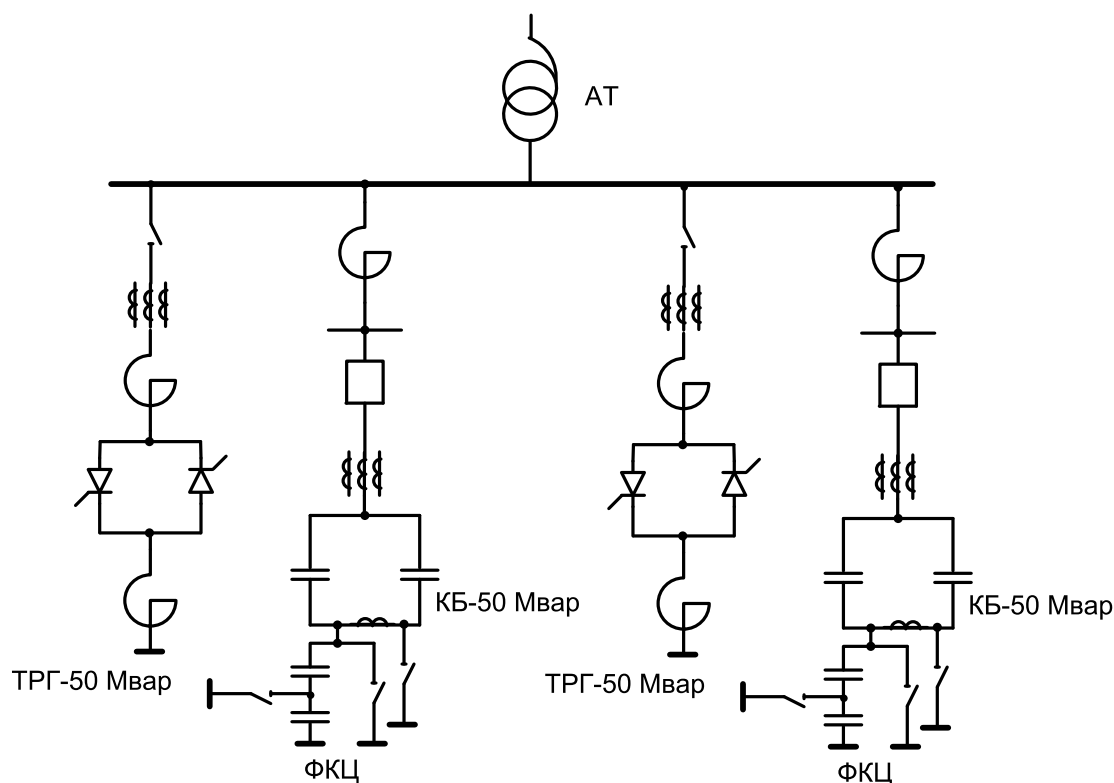


Рисунок. Схема СТК, установленного на ПС Ново-Анжерская 500 кВ

актора. Подключение модулей СТК осуществляется к третичной обмотке автотрансформатора, рисунок.

СТК включает в себя конденсаторные батареи (КБ), включенные параллельно им в треугольник три фазы управляемых тиристорами реакторов – тиристорно-реакторная группа (ТРГ), а также фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ). Угол зажигания тиристоров может быстро изменяться так, чтобы ток в реакторе отслеживал ток нагрузки или реактивную мощность в энергосистеме.

Мощность батареи может иметь лишь два фиксированных значения – либо нулевое, либо номинальное; мощность реактора за счет тиристорной группы изменяется плавно от нулевого значения до номинального. Мощность СТК может изменяться от потребления до выработки (в пределах диапазона регулирования) за 1–2 периода промышленной частоты при практически неизменном напряжении на выходе СТК.

Обычно в часы минимума нагрузок выключатель КБ находится в отключенном положении, а в часы максимума этот выключатель переводят во включенное положение. Эти операции на ПС Ново-Анжерской 500 кВ планируется производить автоматически, т. е. вмешательство человека в технологический процесс будет сведено к минимуму.

Для анализа эффективности использования СТК на ПС Ново-Анжерская 500 кВ и оценке его влияния на режимы Кузбасской энергосистемы проведен ряд расчетов в программном комплексе MUSTANG.

Модель сети 110...500 кВ Кузбасской энергосистемы, используемая для расчетов, составлена по данным замеров активных и реактивных нагрузок узлов потребления, активной мощности и напряжения генераторных узлов, соответствующим летнему режиму 2009 г. Данные по предполагаемому увеличению нагрузок (в связи с повышением потребления электрической энергии в Сибирском регионе) получены с помощью умножения на коэффициент  $k_{ув} = 1,2$  мощностей нагрузочных узлов.

Расчеты режимов включают в себя: расчеты установившегося летнего режима по состоянию на 2009 г. и режима при перспективном увеличении потребления электрической энергии, расчеты послеаварийных установившихся режимов (после отключения одной из ЛЭП 500 кВ), расчеты утяжеленных режимов.

По результатам проведенных исследований установлено, что:

1. Установка СТК на ПС Ново-Анжерская позволяет влиять на уровни напряжения в узлах сети 500 кВ Кузбасской энергосистемы (только в Северном и Центральном ее районах) и не решает проблему дефицита реактивной мощности и пониженных напряжений на юге Кузбасса. Влияние СТК на напряжения узлов с номинальным напряжением 220 и 110 кВ также незначительно. В табл. 1 представлены результаты расчетов уровней напряжения на шинах под-

станций различных районов Кузбасской энергосистемы в нормальном установившемся и послеаварийном (отключение линии Ново-Анжерская 500 кВ (НАП-500) – Назаровская ГРЭС (НАЗГРЭС) режимах.

Таблица 1. Результаты влияния СТК по районам Кузбасса

Район	Подстанции	Напряжение, кВ			
		без СТК		при включенном СТК	
		Норм. режим	Послеав. режим	Норм. режим	Послеав. режим
Северный	Юрга-500	501,60	506,19	507,21	509,98
	НАП-500	494,03	496,71	499,14	500,44
Центральный	Заискитимская	220,05	226,31	222,66	227,81
	Красная поляна	210,52	223,36	212,73	224,11
Южный	БГРЭС	462,45	489,06	466,66	490,56
	НК-500	446,94	479,73	450,67	480,69

2. Наличие СТК позволяет исключить частые коммутации неуправляемых шунтирующих реакторов (ШР), установленных на ПС Ново-Анжерская, для поддержания нормальных уровней напряжения при увеличении нагрузок и в послеаварийных режимах.

Таблица 2. Напряжения на шинах ПС Ново-Анжерская 500 кВ в различных режимах

Режим	Напряжение, кВ		
	без СТК; ШР включены	при включенном СТК; один ШР отключен	при включенном СТК; ШР включены
Норм. установившийся режим при перспективном увеличении потребления	494,03	502,03	499,14
Откл. ЛЭП НАП-500 – Итат	497,16	506,52	501,08
Откл. ЛЭП НАП-500 – НГРЭС	496,71	505,29	500,44
Откл. ЛЭП НАП-500 – Итат при перспективном увеличении потребления	474,28	486,72	486,98
Откл. ЛЭП НАП-500 – НГРЭС при перспективном увеличении потребления	476,19	487,15	487,24

Так, при отключении линии НАП-500 – Итат, используя СТК, возможно поддерживать напряжение на ПС Ново-Анжерская без отключения ШР на уровне 501,08 кВ (без СТК оно снижается до 497,16 кВ и требуется отключение ШР). Существует и такой режим, в котором действие СТК более эффективно, чем отключение ШР (послеаварийный режим при отключении линии НАП-500 – Беловская ГРЭС (БГРЭС) и НАП-500 – Томская 500 кВ.

3. СТК позволяет, в отличие от включения-отключения ШР, осуществлять плавное регулирование напряжения, добиваясь тем самым оптимальных уровней напряжения на ПС Ново-Анжерская и связанных с ней подстанциях 500 кВ.
4. Применение СТК увеличивает предельную мощность  $P_{пред}$  передаваемую по сети, повышает запасы по статической устойчивости электростанций и узлов нагрузки, увеличивая тем самым пропускную способность электрической сети 500...220 кВ.
5. К недостаткам СТК, установленного на ПС Ново-Анжерская, можно отнести уменьшение пределов регулирования напряжения на шинах 500 кВ из-за подключения СТК к низкой стороне автотрансформатора.

**Выводы**

Проанализирована эффективность замены синхронных компенсаторов на подстанции Ново-Анжерская 500 кВ на статические тиристорные компенсаторы.

Использование статического тиристорного компенсатора оказывает заметное влияние на увеличение управляемости, повышение надежности и экономичности работы северных и центральных районов Кузбасской энергосистемы, однако не позволяет решить проблему дефицита реактивной мощности на юге Кузбасса.

Применение подобных устройств, при их оптимальном размещении, может быть весьма эффективно при создании управляемых (гибких) систем электропередачи переменного тока.

**Таблица 3.** Значения предельной мощности и коэффициентов запаса статической устойчивости  $K_3$

Режим	Состояние компенсирующих устройств	$P_{пред}$ , МВт	$K_3$ , %
Норм. установившийся режим	Без СТК	1307,7	72,3
	При включенном СТК	1482,7	75,5
Норм. установившийся режим при перспективном увеличении потребления	Без СТК	747,7	51,5
	При включенном СТК	922,7	60,7

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС». 2006. URL: [http://www.fsk-ees.ru/evolution\\_technology\\_techpolitic.html](http://www.fsk-ees.ru/evolution_technology_techpolitic.html) (дата обращения 13.02.2009).
2. Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г. Перспективы применения в ЕЭС России гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока // Электротехника. – 2004. – № 8. – С. 30–36.
3. Приказ № 380 29.05.2006. О создании управляемых линий электропередачи. и оборудования для них. 2006. URL: <http://www.matic.ru/index.php?pages=728> (дата обращения 12.04.2008).
4. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – М.: НЦЭАС, 2000. – 458 с.

Поступила 09.09.2010 г.