

НАДЁЖНОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ С УСТРОЙСТВАМИ FACTS

Хамидов Шухрат Вахидович

Институт проблем энергетики АН РУз,

Зав. Лабораторией, д.т.н., профессор,

khamidov_sh@mail.ru

Танирбергенов Расулбек Муратбекович

Институт проблем энергетики АН РУз,

Докторант. tanirbergenovrasul@gmail.com

Бузрукханов Масрурхон Одилхон ўгли

[ТГТУ, Магистрант. odilxonovich@gmail.com](mailto:odilxonovich@gmail.com)

Юсупов Ойбек Уктамович

ТГТУ, Магистрант.

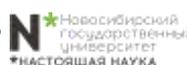
oybekyusupov050@gmail.com

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены вопросы обеспечения надежности электроэнергетических систем с применением технологии “Гибкие управляемые системы электропередачи” - FACTS. Представлены результаты расчетов по применению устройств FACTS при текущих условиях функционирования объединенной энергосистемы Центральной Азии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосистема, надежность, реактивная мощность, компенсаторы, преобразователи, режимы энергосистем.

Надёжность энергосистем определяется развитием новых технологий, при планировании перспективного развития электрических сетей (ЭС), энергосистем (ЭЭС) и их объединений (ОЭС), обосновываются уровни надежности электроснабжения потребителей, важнейшей задачей является обеспечение оптимального уровня надежности, пропускной способности электрических сетей и устойчивой работы ОЭС. *Основные показатели надежности.* Согласно основным положениям теории надежности под надежностью работы электроэнергетической системы следует понимать ее свойство сохранять способность выполнения предназначенных функций в любом интервале времени независимо от воздействия «внешних» условий. Для вычисления полных и корректных характеристик надежности предлагаемые модели расчетов и оптимизации надежности генерирующих мощностей и электрических сетей энергосистем должны содержать следующие компоненты [1-3]:

1. Расчеты нормальных и аварийных (послеаварийных) режимов работы;
2. Оценку динамической и статической устойчивости аварийных (послеаварийных) режимов;
3. Программные процедуры по вводу этих режимов в допустимую по устойчивости и напряжению область для:
 - а) обеспечения динамической устойчивости –аварийную разгрузку турбин, сбалансированную с целенаправленным (выборочным) отключением части нагрузок потребителей устройствами противоаварийной автоматики;
 - б) обеспечения статической устойчивости, а также при перегрузке каких-либо сетевых элементов по току (ЛЭП, трансформаторы связи) – перераспределением нагрузки между электростанциями с последующим выборочным ограничением нагрузок



потребителей противоаварийной автоматикой (АЧР, САОН) или действиями системного оператора (ввод графика аварийной разгрузки, или аварийных ограничений потребителей);

4. Расчеты неполнофазных режимов сетей с заземленной нейтралью с целью выбора наиболее эффективного варианта поддержания рабочего состояния сети;

5. Расчеты токов короткого замыкания для выбора наиболее эффективных способов их снижения.

Решению задач подобного рода в современной энергетике служат технологии гибких систем электропередач переменного тока. Термин «управляемые (гибкие) системы электропередачи переменного тока» – Flexible Alternative Current Transmission System (FACTS) – введен в обращение Институтом электроэнергетики EPRI (США) [4].

FACTS способен работать с мощностями до сотен МВт, состоит из преобразователей переменного тока в постоянный и коммутаторов, является технологией, преобразующей электрическую сеть из пассивного устройства передачи электроэнергии в устройство для управления режимами электросетей. В результате управление значением пропускной способности линии электропередачи осуществляется «в темпе процесса», потоки активной мощности перераспределяются между параллельными линиями электропередачи, и перенаправление их по сохранившимся после аварий линиям электропередачи, предотвращая нарушения устойчивости и обеспечивая повышение надежности электроснабжения потребителей. Устройство FACTS способствует выявлению диапазонов изменения параметров режима энергосистемы, продолжительности существования характерных режимов, пределов устойчивости энергосистемы, минимизации потерь активной мощности в электрических сетях [4-10].

FACTS могут воздействовать на «внешние» условия и условно делятся на 2 поколения [11-13]:

- к первому поколению (FACTS-1) относятся устройства, обеспечивающие регулирование напряжения (реактивной мощности) и обеспечивающие требуемую степень компенсации реактивной мощности в электрических сетях (статический компенсатор реактивной мощности (СТК), реактор с тиристорным управлением, стационарный последовательный конденсатор с тиристорным управлением, фазосдвигающий трансформатор и др.).

- ко второму поколению (FACTS-2) относятся устройства, обеспечивающие регулирование режимных параметров на базе полностью управляемых приборов силовой электроники (IGBT транзисторы, IGCT тиристоры и др.).

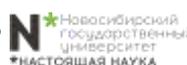
FACTS-2 обладает векторным типом регулирования, при котором регулируется как величина, так и фаза вектора напряжения сети, что является новым качеством регулирования.

Авторами выполнено исследование и анализ эффективности современных типов технологии FACTS в задачах управления объединенной энергосистемой Центральной Азии (ОЭС ЦА) [8-10].

Уровни напряжений в таблице 1 указаны для нормальной схемы и нормального режима. При отклонениях от нормальной схемы и нормального режима, в суточные задания вносятся поправки. В энергосистемах ОЭС ЦА ежеквартально утверждается график напряжений в контрольных точках. В табл. 1 приведен типичный такой график.

Таблица 1. Утвержденный график напряжений в контрольных точках и отклонения фактических напряжений ОЭС ЦА на текущий год

Объекты (диспетчерские названия)	Оборудование	Утвержденные пре-делы коле-бания напряжений, кВ		Уровни напряжений по заявкам энергосистем	Аварийный минимум	Фактические уровни напряжений, кВ
		503÷523	503÷523			
ГЭС – 2	Шины 500	503÷523	503÷523	503÷523	475	501,7

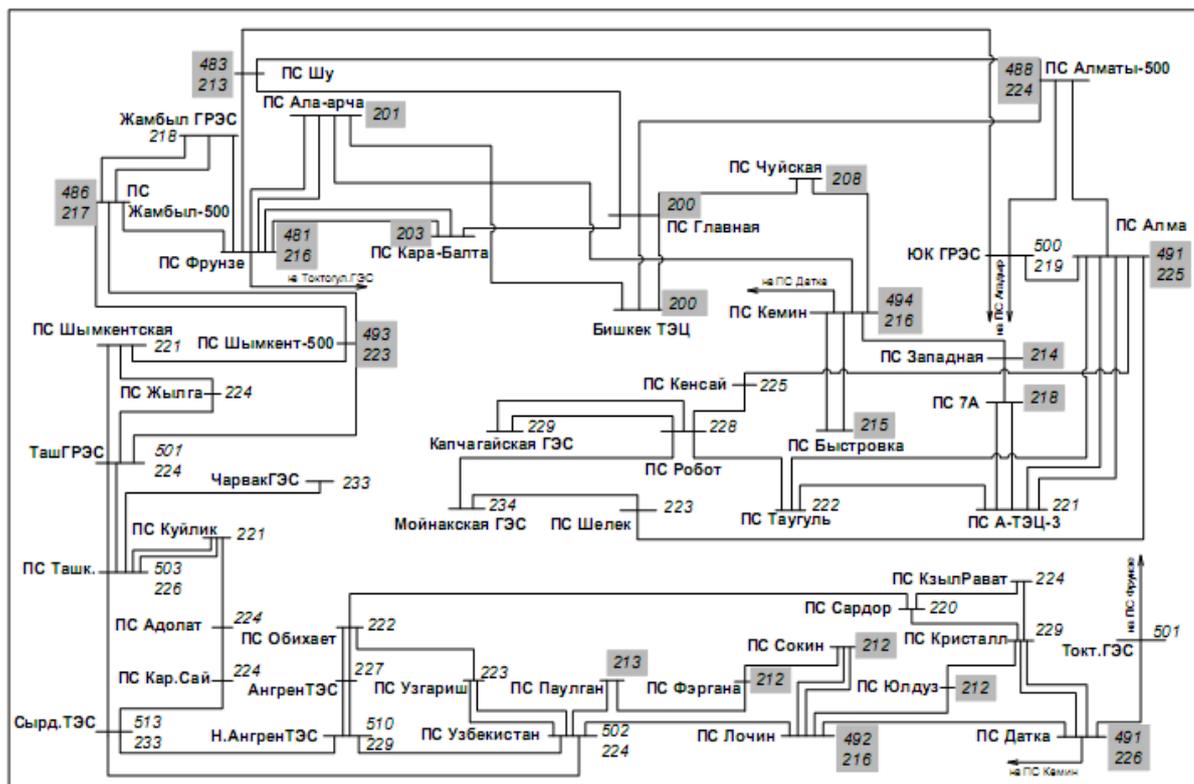


	Шины 220	226÷236	226÷236	205	224,72
ГЭС – 20	Шины 500	515÷525	515÷525	475	513,91
	Шины 220	242÷252	242÷252	215	233,33
ГЭС – 17	Шины 220	228÷240	228÷240	215	235,83
Токтогул ГЭС	Шины 500	503÷525	503÷525	475	501,46
	Шины 220	230÷240	230÷240	210	216,13
ПС Фрун- зенская	Шины 500	495÷525	495÷525	475	481,07
ПС Алматы	Шины 500	500÷525	500÷525	475	488,46
Жамбыл ГРЭС	Шины 220	235÷245	235÷245	210	218,95

На рис.1 приведен фрагмент схемы сетей 220-500 кВ ОЭС ЦА и напряжения, установившиеся в ее узлах.

Рис.1. Фрагмент схемы сетей 220-500кВ ОЭС ЦА и напряжения в узлах

В таблице 1, наряду с утвержденными графиками приведены фактические значения напряжений в опорных узлах ОЭС ЦА. Как видно из этой таблицы, только на ГЭС-20 выдержано напряжение, находящееся в утвержденном диапазоне. Значения напряжений других опорных узлов, приблизились к аварийным.



Как следствие, напряжения других узлов ОЭС ЦА существенно отклоняются от нормальных значений. Так, напряжение на ПС Шу составило 484 кВ, ПС Жамбыл – 486 кВ, на ТЭЦ Бишкек = 200 кВ, что свидетельствует о недостаточной эффективности имеющихся систем регулирования, а в ряде случаев об отсутствии возможностей и соответствующих устройств корректировки параметров режима.

Для решения проблем поддержания в соответствии с графиками напряжений опорных узлов ОЭС ЦА, устройства FACTS могут быть синтезированы по функциональности и внедрены на первом этапе в проблемных частях энергосистемы.

Важной задачей для ОЭС ЦА является обеспечение выполнения утвержденного графика напряжений в контрольных точках энергосистемы. Возникающие в энергосистемах проблемы, связанные с низким напряжением при большой нагрузке;

высоким напряжением при малой нагрузке; высоким напряжением после АПВ; низким напряжением после сбоя эффективно могут быть решены применением устройств технологии FACTS типа SVC, STATCOM, TCSC.

Для задачи управления потоком мощности и связанных с ней проблем «Параллельные потоки», «Инверсия потока», а также задачи выдерживания тепловых ограничений, функционально предназначены технологии FACTS типов TCSC, SSSC, UPFC путем коррекции реактивных сопротивлений линий, угла сдвига фаз.

Расчеты, выполненные с вариантным моделированием устройств FACTS в проблемных участках ОЭС, позволили существенно улучшить режимные параметры и надежность функционирования энергосистемы в результате обеспечения нормативных значений напряжения в электрических сетях, улучшения загрузки электростанций реактивной мощностью, повышения пропускной способности линий, снижения общих потерь мощности при передаче.

Наличие проблем, связанным с ограничениями по потокам мощности в ОЭС ЦА решаются путем установки в них устройств FACTS типа TCSC, SSSC, UPFC, функционально предназначенных для увеличения пропускной способности ЛЭП. Выбор конкретного типа FACTS, обладающего требуемыми корректирующими действиями (подвод реактивной мощности, уменьшение реактивного сопротивления ЛЭП, отвод реактивной мощности), осуществляется в зависимости от характерных проблем

Список использованной литературы

1. Непомнящий В. А. Моделирование надежности электрических сетей. Надежность и безопасность энергетики №3(26). 2014.

<https://www.sigma08.ru/jour/article/viewFile/28/29.pdf>

2. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России. ОАО «ФСК ЕЭС» Москва, 2009.

<https://www.pandia.org/text/77/22/51644.php>

3. Китушин В.Г. «Надежность энергетических систем», Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2003. – 256 с.

4. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В., «Устройства FACTS и их применение для интеллектуального управления режимами электроэнергетических систем», Ташкент: Издательство «Fan ziyosi» . 2022. -320 с.

5. Acha E.A. FACTS: Modeling and Simulation in Power Networks: John Wiley & Sons, 2004. – P. 420.

6. Мисриханов М.Ш. Силовые полупроводниковые устройства (обзор) / М.Ш. Мисриханов, В.Ф. Ситников // Вестник ИГЭУ, 2005. Вып. 6. С. 98 – 117.

7. Ситников В. Ф. «Совершенствование методов и средств управления режимами электроэнергетических систем на основе элементов гибких электропередач (FACTS)». ОАО «Институт «Энергосетьпроект» и кафедра «АУЭС ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, 2009 год. – С. 2-7.

8. Shukhrat Khamidov. Modeling of FACTS Devices and Their Application in Intersystem Tie Lines of the United Power System of Central Asia // Energy Systems Research, Vol. 2, No. 3, 2019. -P.51-54.

9. Sh. Khamidov, S. Tillaev, B. Normuratov. Improving the reliability of UPS Central Asia implementation of FACTS devices. //Energy Systems Research, Vol. 2, No. 3, 2019 // Irkutsk. E3S Web of Conferences 216, 01103 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601103> RSES 2020.



10. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Перспективное развитие электроэнергетики ОЭС Центральной Азии с внедрением устройств FACTS и возобновляемых источников энергии. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 70. Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. В 2-х книгах. / Книга 1 / отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2019. – 371 с.

11. <https://masters.donntu.ru/2010/etf/baydak/diss/index.htm>

12. <http://iescorporation.org/facts/index.html>

13. <https://masters.donntu.ru/2010/etf/baydak/diss/index.htm>

