

генерации. В России на данный момент есть очень яркие перспективы развития, но из-за высокой цены вопросы развитие данной перспективы откладываются.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гатина Р.З., Гафуров Н.М., Зайнуллин Р.Р. Перспективы развития малой энергетики с использованием топливных элементов. // Вестник КГЭУ, 2018, том 10, № 1 (37)
2. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 5. С. 52-70
3. Яруллин Р.С., Салихов И.З., Черезов Д.С., Нурисламова А.Р. Перспективы водородных технологий в энергетике и в химической промышленности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 70-83.
4. Плетнев М.А, Копысов А.Н. Социально-экономические проблемы развития водородной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 36-45.

Научный руководитель: к.т.н. Р.А. Уфа, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

### УСТРОЙСТВА FACTS (СТАТКОМ)

Д.Д. Сарнаков

Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А03

FACTS устройства подразделяются на устройства первого и второго поколения.

Устройства первого поколения или FACTS-1 – приборы, которые способны регулировать напряжение и компенсировать реактивную мощность.

Устройства второго поколения или FACTS-2 – это улучшенные устройства FACTS-1. Они обладают свойством векторного регулирования, это свойство, при котором регулируется величина и фаза вектора напряжения.

Из устройств FACTS наиболее часто используются такие устройства как: статический компенсатор реактивной мощности, устройства продольной компенсации, синхронный статический компенсатор (СТАТКОМ), компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения, фазовращательный трансформатор и так далее.

В дальнейшем будет подробнее рассмотрен СТАТКОМ.

Назначение:

Статический синхронный компенсатор решает проблемы с качеством электроэнергии, эффективностью её передачи и распределения. Решение данных проблем достигается за счёт компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения. Таким образом, можно сказать, что статком является управляемым источником напряжения, значение внутреннего сопротивления которого, близко к нулю. Подключение синхронного компенсатора производится через линейный реактор, он преобразует разность напряжения в сети в выходной ток компенсатора. Так статком преобразуется из источника напряжения в источник тока. Подключение статического компенсатора представлено на рисунке 1. На основе вышесказанного можно сформулировать, что принцип работы статкома заключается в том, чтобы за счёт векторного управления и широтно-импульсной модуляции выработать мгновенные значения токов и напряжений, которые поступят на устройства.

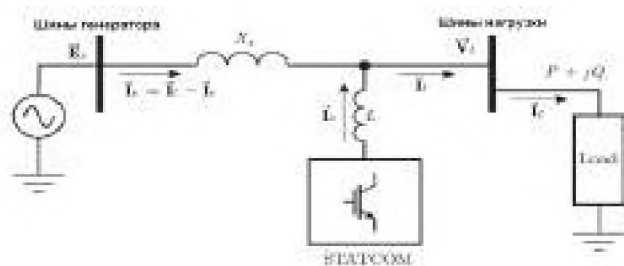


Рис. 1. Однолинейная схема подключения СТАТКОМа

Если сравнивать устройства FACTS первого и второго поколения, то у СТАТКОМА можно выделить ряд преимуществ по сравнению с СТК. К преимуществам СТАТКОМА относятся:

- Улучшенные динамические характеристики;
  - Низкий уровень потерь;
  - Имеет менее габаритные размеры (в 2 раза меньше, чем СТК);
  - Высокие динамические характеристики;
  - Лёгкость замены неисправных устройств;
  - Способность вести активную фильтрацию гармонических токов нагрузки;
  - Резервирование силовой части.
- Примеры проектов:

В Чили в 2011 году на подстанции Cerro Navia 220 кВ была установлена система FACTS, которая включала СТАТКОМ. Данная подстанция принадлежит компании Transelec SA, крупнейшему оператору энергосети, которая поставляет энергию 90 % населения страны. Данная система была установлена для увеличения пропускной способности из-за повышения количества произведённой электроэнергии. Установкой статкома компанией были решены такие проблемы, как: динамическое регулирование реактивной мощности в условиях неисправности в сети, регулирование напряжения в условиях статической устойчивости, недостаток пропускной способности.

Статический компенсатор используется в электродуговых печах, т. к. печи создают проблемы связанные с качеством электроэнергии в сети. Работа без компенсатора вызывает напряжение вариации, которое передаётся другим потребителям в цепи. Со статкомом же мерцание сокращается.

В прокатных станках приводы понижают коэффициент мощности и могут стать причиной резких падений напряжения и гармонических искажений. Статком повышает коэффициент мощности и обеспечивает фильтрацию гармоник в режиме реального времени.

У ветровых электростанций высокие критерии подключения к энергоснабжающим организациям. Важнейшим требованием является возможность поглощения реактивных мощностей. Статком решает данную задачу и создаёт возможность динамического управления напряжением и током.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. nrec.com: NR Electric Co.: сайт. – Нанкин, 1995-2022 – URL: <https://www.nrec.com> (дата обращения: 10.11.2022).
2. Международная Энергосберегающая корпорация: сайт. – Санкт-Петербург, 2000-2022. – URL: <http://iescorporation.org> (дата обращения: 08.11.2022).
3. Музей энергетики: сайт. – Москва, 2014-2022. – URL: <http://energymuseum.ru> (дата обращения: 09.11.2022).
4. Нидек АСИ ВЭИ: сайт. – Москва, 2013-2022. – URL: <https://nidec-asi-vei.ru> (дата обращения: 10.11.2022).
5. Проект Cerro Navia. – URL: <https://new.abb.com/facts/ru/vypolnennyye-proekty/proekt-cerro-navia> (дата обращения 10.03.2020).

6. Шакарян, Ю.Г. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России. /Ю.Г. Шакарян. – Москва: открытое акционерное общество «федеральная сетевая компания единой энергетической системы», 2009. – 35 с.
7. Хромов электро: сайт. – Красногорск, 2005-2022. – URL: <https://khomovelectro.ru> (дата обращения: 09.11.2022).

Научный руководитель: к.т.н Р.А. Уфа, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

А.А. Боргояков  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ21

Одной из важнейших целей электроэнергетики является обеспечение надежности электроснабжения потребителей электроэнергии. Электроэнергетическая система (ЭЭС) должна обеспечивать бесперебойное питание потребителей качественной электроэнергией. Для достижения этой цели энергосистема должна быть устойчива к различным видам оказываемых на нее возмущений. Для оценки поведения энергосистемы при различных возмущениях, были введены понятия статической и динамической устойчивости. В данной работе будет подробнее рассмотрена именно динамическая устойчивость, так как ее нарушение может привести к тяжелым последствиям.

Динамическая устойчивость – это способность электроэнергетической системы, после сильного возмущения, вернуться в установившийся режим, при котором ее параметры возвращаются к нормальным значениям или допустимым для эксплуатации [1]. Сильным возмущением считается короткое замыкание, отключение или включение большого генерирующего оборудования, нагрузки, линии электропередач или трансформатора [1]. Эти факторы приводят к резкому изменению режима работы энергосистемы, которое проявляется в значительных отклонениях параметров от нормальных [1]. Получается, что динамическая устойчивость важна для энергосистемы, ведь если система не вернется после какой-либо аварии в устойчивое состояние, то это может привести к тяжелым последствиям и экономическим потерям, а самое главное, будет нарушена надежность электроснабжения потребителей.

В рамках современных тенденций развития ЭЭС происходит существенное изменение процессов, связанных с динамической устойчивостью. Одним из перспективных направлений развития электроэнергетики в мире является внедрение современных способов генерации электроэнергии, а именно использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Именно эта тенденция влияет на динамическую устойчивость энергосистемы, и иногда не в лучшую сторону. Данный тренд также характерен для ЭЭС России, в нее массово внедряется альтернативная энергетика, а именно солнечные и ветровые электростанции, и их доля с каждым годом возрастает и будет возрастать [2]. Данные генерирующие объекты подключаются к энергосистеме не напрямую, а с помощью силовых преобразователей, инверторов. Для объединенной энергетической системы (ОЭС) Сибири более свойственно внедрение солнечных электростанций (СЭС), и их доля выше, чем доля ветровых установок [3], в связи с этим, далее рассматриваем именно этот вид ВИЭ.

Солнечная электростанция – электростанция, которая преобразует солнечную радиацию в электроэнергию. Она состоит из солнечных панелей, которые и преобразуют энергию, цепей постоянного тока, а также преобразователя постоянного тока, который предназначен для управления режимом работы источника энергии для отбора его мощности в точке максимума