

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ FACTS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РОССИИ

В статье проанализированы основные проблемы энергосистемы России, отраженные в Стратегии развития энергетики РФ. Также рассмотрены поставленные задачи до 2030 года и освещены приоритетные направления научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Электроэнергетика». Для решения задачи повышения эффективности линий электропередачи рассмотрены различные варианты решения с применением ряда инструментов технологии гибких линий электропередачи на переменном токе FACTS. Проанализированы основные устройства FACTS, используемые в электрических сетях высокого напряжения: устройство продольной компенсации, усовершенствованные статические компенсаторы на базе управления источников направления типа СТАТКОМ, а также традиционные статические тиристорные компенсаторы.

Ключевые слова: проблемы электроэнергетики России, FACTS, устройства продольной компенсации, СТАТКОМ, статический тиристорный компенсатор.

ВВЕДЕНИЕ

Одними из главных стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики России до 2030 года являются: 1) энергетическая безопасность; 2) энергетическая эффективность экономики; 3) бюджетная эффективность энергетики; 4) экологическая безопасность энергетики.

Энергетическая безопасность является одной из важнейших составляющих национальной безопасности страны.

К числу основных проблем в сфере электроэнергетики в технологической части относятся: 1) дефицит генерирующих и сетевых мощностей в ряде регионов страны; 2) отсутствие электрической связи Сибирь - Урал - Центр с пропускной способностью, позволяющей эффективно использовать сибирские гидро- и топливные ресурсы, реализовать эффекты широтной протяженности Единой энергетической системы России и другие системные эффекты; 3) низкая энергетическая и экономическая эффективность отрасли (низкий коэффициент полезного действия большинства тепловых электростанций, высокие потери в электрических сетях, неоптимальная загрузка генерирующих мощностей в Единой энергетической системе России, в том числе наличие «запертых» мощностей).

Стратегией определены ряд ключевых задач, решение которых позволит достичь стратегических целей развития электроэнергетики России. Приведем некоторые из них: 1) сбалансированное развитие генерирующих и сетевых мощностей, обеспечивающих необходимый уровень надежности снабжения электроэнергией как страны в целом, так и отдельных ее регионов; 2) дальнейшее развитие Единой энергетической системы России, в том числе за счет присоединения и объединения изолированных энергосистем; 3) расширенное строительство и модернизация основных производственных фондов в электроэнергетике (электростанции, электрические сети) для обеспечения потребностей экономики и общества в электроэнергии; 4) обеспечение живучести, режимной надежности, безопасности и управляемости электроэнергетических систем, а также необходимого качества электроэнергии; 5) развитие малой энергетики в зоне децентрализованного энергоснабжения за счет повышения эффективности использования местных энергоресурсов, развития электросетевого хозяйства, сокращения объемов по-

требления завозимых светлых нефтепродуктов.

Основой для развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и проведения государственной энергетической политики является создание устойчивой национальной инновационной системы. Инновационная составляющая обеспечит ТЭК высокоэффективными технологиями и оборудованием отечественного производства, научно-техническими и инновационными решениями для поддержания и укрепления энергетической безопасности страны. Именно инновационная направленность развития топливно-энергетического комплекса создаст необходимые условия для прогрессирования процесса реализации новых научно-технических, технологических и организационно-экономических решений в рамках общегосударственного регулирования.

Из ряда приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Электроэнергетика» могут быть выделены следующие: 1) создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети – Smart Grids); 2) создание электрического транзита ультравысокого напряжения постоянного и переменного тока Сибирь - Урал - Европейская часть России; 3) уменьшение затрат на сооружение линий электропередачи на основе организационно-технических мероприятий; 4) внедрение технических решений с целью уменьшения потерь в сетях электроснабжения; 5) широкое развитие распределенной генерации; 6) развитие силовой электроники и устройств на их основе, прежде всего различного рода сетевых управляемых устройств (гибкие системы передачи переменного тока – FACTS) [1,10,11].

Также необходимо отметить, что в свете недавних событий в мире, введенных ограничений для потребителей из России на рынки технологий и высокотехнологичных продуктов, стало актуально развитие отечественных технологий и производств во всех сферах. При выборе инструментов для реализации энергетической стратегии России и поставленных им задач необходимо учесть и фактор доступности тех или иных технологий и технических решений на отечественном рынке. Таким образом, Стратегия развития энергетики России определяет основные проблемы в сфере энер-

гетики, ключевые задачи топливно-энергетического комплекса и приоритетные направления развития отрасли в целом.

Рассматривая существующие проблемы и поставленные задачи в части электроэнергетики, необходимо учесть тот факт, что есть множество составляющих элементов сети электроснабжения, использующихся малоэффективно. Это и трансформаторы на подстанциях, и линии электропередачи. Повышая эффективность эксплуатации незагруженных трансформаторов и линий электропередачи можно оптимизировать инвестиционную нагрузку проектов в сторону уменьшения, инициированных для решения поставленных задач. Наиболее результативным на данном этапе развития может стать рассмотрение именно линий электропередачи на предмет повышения эффективности эксплуатации [12-14].

Для решения задачи повышения эффективности линии электропередачи можно рассмотреть различные варианты исполнения с применением ряда инструментов. Наиболее прогрессирующим по данному направлению является развитие силовой электроники и устройств на их основе. Разработка и внедрение устройств гибких систем передачи переменного тока – FACTS занимает лидирующие позиции по данному направлению.

Рассмотрим ряд устройств на базе технологии FACTS: 1) устройство продольной компенсации (УПК); 2) совершенствование статических компенсаторов на базе управления источников направления типа СТАТКОМ; 3) традиционные статические тиристорные компенсаторы (СТК).

УСТРОЙСТВО ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Устройства продольной компенсации являются традиционным техническим средством, применяемым для повышения пропускной способности, обеспечения эффективной загрузки и работы в целом линий. Данный вид компенсаторов широко применяется в электроэнергетике, в особенности в удаленных районах, где генерация удалена от потребителей, например в скандинавских странах, Канаде и США. В России устройства УПК наиболее оптимальны для применения на территориях МЭС Сибири, где есть крупные центры генерации, как ГЭС, а основные потребители удалены на значительные расстояния.

Устройства УПК предназначены для решения следующих задач: 1) повышение пропускной способности линий электропередачи; 2) улучшение уровня напряжения системы; 3) снижение потерь в электропередаче за счет оптимизации распределения активной мощности между параллельными линиями.

Продольная компенсация является наиболее экономичным способом увеличения пропускной способности внутрисистемных и межсистемных связей. При использовании УПК снимается проблема увеличения технических параметров линий электропередачи и межсистемных «сечений». Стоимость УПК составляет примерно 10% от стоимости новой линии электропередачи, имеющей эквивалентную пропускную способность. Таким образом, срок окупаемости УПК составляет всего несколько лет.

Особое значение приобретает использование

управляемых УПК (УУПК), в которых часть конденсаторной батареи шунтируется тиристорным регулятором, позволяющим плавно изменять ее эквивалентную емкость в зависимости от режима работы линии. При этом появляется возможность не только гибкого изменения сопротивления линии, но и демпфирования переходных процессов в энергосистемах, в том числе подавление субсинхронного резонанса, возникающего при взаимодействии электрических колебаний в сети с механическими колебаниями вращающихся частей турбогенераторов электрических станций.

Последней модификацией устройства УПК является компенсатор с тиристорным управлением TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) (рис. 1). Такое устройство позволяет плавно регулировать реактивное сопротивление ЛЭП в достаточно широких пределах. Основными преимуществами компенсатора TCSC являются: 1) непрерывное поддержание запланированной величины компенсации; 2) плавное управление потоками мощности в сети; 3) демпфирование колебаний с частотой 0,5-2 Гц.

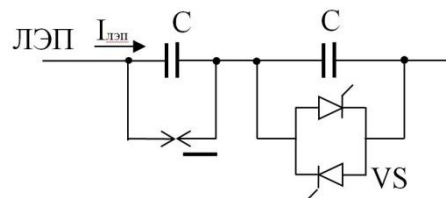


Рис. 1. Схема УПК с тиристорным управлением

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СТАТИЧЕСКИЙ КОМПЕНСАТОР ТИПА СТАТКОМ

Новые открытия в сфере полупроводниковой технологии позволили в начале 1990-х годов подготовить производство запираемых тиристоров GTO (Gate Turn-off Thyristor), IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor), GCT (Gate Commutated Thyristor), а также мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) с быстродействующими диодами. Эти полупроводниковые устройства легли в основу разработки компенсаторов типа СТАТКОМ, где используются управляемые преобразователи напряжения. Принцип работы компенсатора СТАТКОМ основан на формировании желаемых мгновенных значений напряжений и токов, потребляемых на входе устройства, за счет применения векторного управления и широтно-импульсной модуляции. В компенсаторах СТАТКОМ для линий электропередачи используется трехуровневая схема преобразователя напряжения. Три уровня напряжения (ноль, половина и полное) позволяют задать двухступенчатую основу синусоиды, что снижает мощность фильтрокомпенсирующих цепей. СТАТКОМ обладает высоким быстродействием, скорость перехода от максимальной выдачи реактивной мощности при ее управлении к максимальному потреблению составляет всего полпериода основной частоты.

На рис. 2 приведена двухуровневая схема СТАТКОМа, базирующаяся на применении шестифазной мостовой схемы Ларионова с широтно-импульсным управлением.

Статический компенсатор реактивной мощности

позволяет поддерживать требуемый уровень и качество напряжения, повысить пропускную способность линий электропередачи [2].

Известны и другие схемы выполнения СТАТКО-Ма. В частности, фирма Альстом использует многоуровневую схему, в которой при использовании однократных за период промышленной частоты импульсов удается сформировать ступенчатую э.д.с., достаточно близкую по форме к синусоиде. Этот принцип позволяет обойтись без использования фильтров, применить сравнительно дешевые вентили ГТО, добиться невыходящих потерь (0,8%).

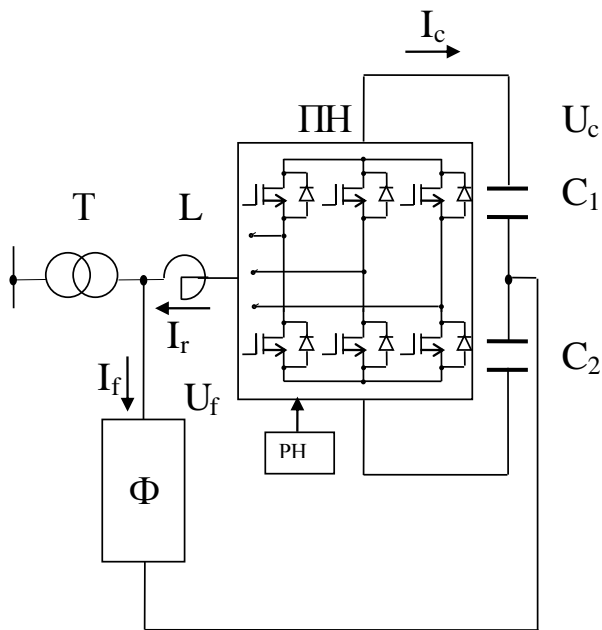


Рис. 2. Двухуровневая схема СТАТКОМа с ШИМ-управлением

В первом отечественном СТАТКОМ, созданном ОАО «НТЦ электроэнергетики» совместно с ООО «НПЦ Энерком-Сервис», применена система управления, релейной защиты и автоматики собственной разработки. Отличием отечественного СТАТКОМ от зарубежных аналогов является то, что в нем использованы только транзисторные вентили. Такой подход создает возможность более гибкого управления и дополнительного снижения потерь.

На базе этой технологии ООО «НПЦ Энерком-Сервис» в настоящее время разрабатывает оборудование вставки постоянного тока мощностью 200 МВт для создания несинхронной связи энергосистем Сибири и Востока, в настоящее время работающих раздельно [7, 15-17].

СТАТИЧЕСКИ ТИРИСТОРНЫЙ КОМПЕНСАТОР

Статический тиристорный компенсатор (СТК) разрабатывается в двух основных модификациях: 1) для промышленных установок типа дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и мощных электроприводов прокатных станов; 2) для высоковольтных линий электропередачи. Также есть специальное исполнение СТК для применения на тяговых подстанциях электрифицированных железных дорог.

Статические тиристорные компенсаторы применяются для решения задач того же направления, что и

управляемые реакторы, но основаны на иной элементной базе. Данные устройства более универсальны, т.к. помимо регулирования индуктивной мощности могут обеспечивать и регулирование реактивной мощности. Эффективность применения СТК, для линий электропередачи, определяется реализацией ими следующих функций: 1) повышение статической и динамической устойчивости передачи; 2) снижение отклонений напряжения при больших возмущениях в системе; 3) стабилизация напряжения; 4) ограничение внутренних перенапряжений; 5) увеличение передаточной способности электропередачи из-за улучшения устойчивости при большой передаваемой мощности; 6) фильтрация токов высших гармоник [8, 18].

Основная схемная конфигурация СТК включает в себя набор фильтров высших гармоник – фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ), постоянно подключенных к сети или коммутируемых выключателями, и включенные параллельно им в треугольник три фазы управляемых тиристорами реакторов, образующих тиристорно-реакторную группу (ТРГ) (рис. 3) [3].

Система управления и защиты СТК обеспечивает быструю компенсацию реактивной мощности нагрузки и поддержание регулируемого параметра в соответствии с заданной уставкой; выполняет защиту оборудования СТК; контроль и сигнализацию отказов. Также система управления может быть модифицирована под конкретные требования проекта. Минимальное время реакции системы регулирования СТК на изменение регулируемого параметра составляет 10 мс для нагрузок типа ДСП и 25-100 мс для общепромышленных нагрузок и сетевых подстанций.

При использовании СТК на линиях электропередачи высокого напряжения его эффективность тем больше, чем выше точка его подключения [5]. Оборудование СТК обычно выполняется на класс напряжения от 10 до 35 кВ и подключается либо через специальный понижающий трансформатор к шинам подстанции, либо к третичной обмотке подстанционного автотрансформатора [5,9].

Наибольший эффект имеет место при подключении СТК непосредственно к линии электропередачи или шинам высокого напряжения подстанции. При этом компенсатор может реализовывать ряд системных функций, связанных с режимами работы линии электропередачи [10, 11].

Тиристорно-реакторная группа является основным элементом СТК, регулирующим потребление реактивного тока компенсирующими реакторами и, соответственно, потребление реактивной мощности СТК. ТРГ состоит из тиристорных модулей, каждый из которых является независимым электрическим и конструктивным узлом. Широкий диапазон применяемых тиристоров позволяет оптимизировать конструкцию вентили для каждого конкретного применения.

Система управления и защиты СТК имеет повышенную помехозащищенность, так как обмен информацией, прием и выдача сигналов осуществляется по волоконно-оптическим световодам.

В системе управления реализованы: 1) контур регулирования по реактивному току/мощности нагрузки; 2) контур регулирования по реактивному току/мощности питающей линии; 3) контур поддержания

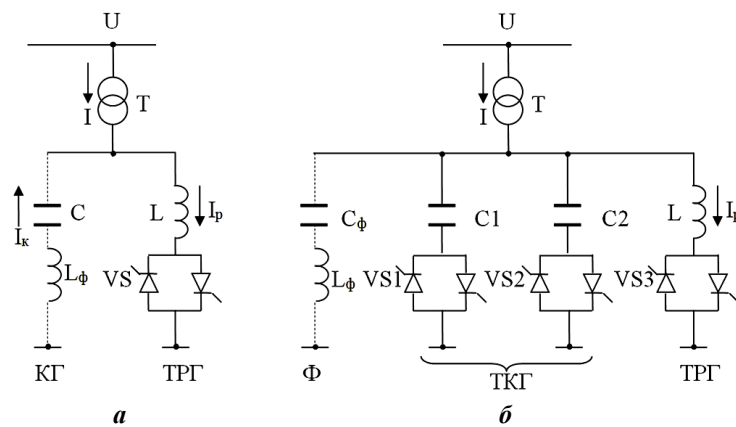


Рис. 3. Типовая схема СТК (ТРГ + ФКЦ) для линий электропередачи:
а – с базовой емкостью C; б – с дополнительными тиристорно-коммутируемыми конденсаторами

напряжения на шинах подстанции с возможностью задания требуемой величины статизма регулировочной характеристики.

Также в систему управления интегрирован интерфейс SCADA, позволяющий визуализировать процессы, происходящие на объекте, и облегчить дистанционное управление и просмотр текущих параметров СТК.

Статический тиристорный компенсатор мощностью 160 МВАр находится в постоянной эксплуатации на ПС 500 кВ «Заря» МЭС Сибири. С 1989 года ТРГ мощностью 160 МВАр на напряжение 33 кВ с системой водяного охлаждения эксплуатируется на Волжском трубном заводе в составе СТК, поставленного по заказу фирмы «Italimpianti». С 1991 г. ТРГ мощностью 109 МВАр на напряжение 33 кВ с системой водяного охлаждения эксплуатируется на Белорусском металлургическом заводе в составе СТК, поставленного по заказу фирмы «Voest Alpine» (Австрия). В 1999 г. были смонтированы и введены в эксплуатацию два СТК 10 кВ 7,5 МВАр для прокатного стана Молдавского металлургического завода. Специально для этого объекта были разработаны тиристорные вентили с воздушным охлаждением и новый шкаф управления, включающий в себя как систему автоматического управления СТК, так и световую систему управления и контроля тиристоров. В 2000 г. на ММЗ была произведена замена старой системы управления СТК на дублированный комплект принципиально новой системы управления, информация о которой приведена выше. С 2006 г. были введены в промышленную эксплуатацию 17 СТК общей мощностью 920 МВАр. В настоящее время идет монтаж оборудования 3 СТК мощностью 430 МВАр [6, 19-20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Загруженность линий электропередач на магистральных участках в среднем по России составляет 40-50% от номинальной пропускной способности. Пропускная способность в основном ограничивается устойчивостью передачи. Данный факт дает обоснованность применения различных устройств и методов укрепления устойчивости и повышения эффективности использования линий электропередач. Наиболее оптимальным на данное время является использование силовой электроники и устройств на их основе, прежде

всего различного рода сетевых управляемых устройств (гибких систем передачи переменного тока – FACTS) и применение устройств на их основе (УПК, СТАТ-КОМ, СТК). Применение подобных устройств в России распространено не очень широко. В основных случаях для энергосистемы проекты по внедрению стартовали в начале уже XXI века, тогда как в мире устройства на основе силовой электроники применяются достаточно широко.

2. Применение устройств на базе технологии FACTS станет основой для создания сетей нового поколения – интеллектуальных сетей. Основой для построения технически и экономически эффективных транзитов мощности между крупными энергорайонами Сибири, Урала и Европейской части России, высвобождению «запертых» мощностей. Позволит более эффективно использовать линии электропередач, что в свою очередь на порядок облегчит инвестиционную нагрузку на проекты по увеличению присоединенной мощности к электросетям общего пользования; уменьшая транзит реактивной мощности по линиям, снизит потери в сетях электроснабжения. Также, повышая динамическую устойчивость энергосистемы в целом, создаст платформу для развития распределенной генерации как на основе традиционных генерирующих станций, так и на базе альтернативной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
2. Hingorani N.G., Gyugi L. Understanding FACTS. Concept and technology of Flexible AC Transmission Systems. IEEE Press book. 2000.
3. Mathur R.M. Static compensators for reactive power control: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Кочкин В.И. Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. М.: НИЦ ЭНАС, 2002. 247 с.
5. Николаев А.А., Тухватуллин М.М. Повышение эффективности ЛЭП на примере производственного отделения ООО «БашРЭС» Сибайских электрических сетей за счет применения статических тиристорных компенсаторов // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды III международной конференции: сборник статей. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т.1. 732 с.
6. Николаев А.А., Тухватуллин М.М. Исследование

динамических и статических режимов работы СТК для линий электропередач на математической модели // Сборник статей девятнадцатой ежегодной международной научно-технической конференции «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Москва: МЭИ, 2013. Т.1. 185 с.

7. Официальный сайт ОАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. Москва. Режим доступа: <http://fsk-ees.ru>, свободный. Загл. с экрана.

8. Использование статического тиристорного компенсатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи для обеспечения устойчивости электроэнергетической системы и повышения надежности внутривзаводского электроснабжения / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, В.С. Ивекеев, И.А. Ложкин, В.Е. Котышев, М.М. Тухватуллин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №1. С.59-69.

9. Корнилов Г.П. Применение регулируемых компенсирующих устройств для повышения эффективности ЛЭП на примере Сибайских РЭС ООО «БашРЭС» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.2. №70. С. 112-114.

10. Кочкин В.И., Нечаев О.П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. 248 с.: ил.

11. Корнилов Г.П., Федоров А.А., Клецкий Н.И. Выбор источников реактивной мощности на основе технико-экономических расчетов // Промышленная энергетика. 1979. №10. С.20-22.

12. Компенсирующие устройства в системах промышленного электроснабжения / Г.П. Корнилов, А. С. Карандаев, А.А. Николаев и др. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 235 с.

13. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / В.А. Веников, Л.А. Жуков, И.И. Карташев, Ю.П. Рыжов. М.: «Энергия», 1975. 136 с.: ил.

14. Федоров А.А., Корнилов Г.П. О применении компенсирующих устройств в системах электроснабжения с мощными нелинейными нагрузками // Электричество. 1980. №7. 64 с.

15. Корнилов Г.П. Разработка и исследование компенсирующих устройств для систем электроснабжения с вентильными преобразователями: дис. ... канд.техн.наук : 05.09.03 / Корнилов Геннадий Петрович. М., 1978. 235 с.

16. Особенности компенсации реактивной мощности на крупном металлургическом предприятии / А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, П.А. Пушкарев // Промышленная энергетика. 2010. № 12. С. 43-49.

17. Корнилов Г.П. Средства и перспективы управления реактивной мощностью крупного металлургического предприятия / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, А.Ю., Коваленко, Е.А. Кузнецов // Электротехника. 2008. №15(148). С. 32-38.

18. Математическая модель статического компенсатора реактивной мощности / Т.Р. Храмшин, Г.П. Корнилов. А.А. Мурзинов, А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014. Новосибирск, 2014. С. 418-425.

19. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 1999-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 35 с.

20. Разработка фильтрокомпенсирующего устройства дуговой сталеплавильной печи / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, А.С. Зайцев, С.В. Скакун, Ф.Ф. Урманова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2015. №5/6. С. 58-63/54-61.

INFORMATION IN ENGLISH

ANALYSIS OF THE MODERN FACTS DEVICES, USED FOR INCREASING THE FUNCTIONING EFFICIENCY OF RUSSIAN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Tukhvatullin M.M., Ivekeev V.S., Lozhkin I.A., Urmanova F.F.

The article analyzes the main problems of the Russian Power System, reflected in the Russian Federation Energy Development Strategy. The tasks until 2030 year were reviewed and the priority areas of scientific progress in the electrical power and energy area were considered. The different ways of solution using a series of instruments of the flexible power lines technologies on the FACTS AC current were reviewed for solving the task of increasing the efficiency of the power lines. The main devices FACTS, which are using in a high voltage electrical power lines: a series compensator, an improved static condenser based on the control of the referral sources STATCOM type, and also a traditional static thyristor compensators, were analyzed.

Keywords: Russian electrical power and energy problems, FACTS, series compensators, STATCOM, static thyristor compensator.

REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030* [Russia's Energy Strategy until 2030], *Uverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. № 1715-r* [№1715 from 13 November 2009].
2. Hingorani N.G., Gyugi L. Understanding FACTS. Concept and technology of Flexible AC Transmission Systems. IEEE Press book. 2000.
3. Mathur R.M. Static compensators for reactive power control. *Per. s angl. M.: Energoatomizdat* [Translate from English. Moscow: Energoatomizdat]. 1987, 160 p.

4. Kochkin V.I., Nechaev O.P. *Primenenie staticheskikh kompensatorov reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyah energosistem i predpriyatii* [Application of static VAR compensator in electric networks of power and enterprises], Moscow: NC ENAS, 2002? 247 p.
5. Nikolaev A.A., Tukhvatullin M.M., *Povyshenie effektivnosti LEP na primere proizvodstvennogo otdeleniya ООО «BashRES» Sibayskikh elektricheskikh setey za schet primeneniya staticheskikh tiristornykh kompensatorov* [Improving the effectivity of the power lines on the example of the production department of "BashRES" Sibai electrical networks using the static thyristor compensators], *Elektroenergetika glazami molodezhi: nauchnye trudy III mezhdunarodnoy konferentsii: sbornik statey* [Electric and power industry in the eyes of youth: research works III International Conference], Yekaterinburg: UrFU, 2012, 732 p.
6. Nikolaev A.A., Tukhvatullin M.M. *Issledovanie dinameskikh i staticheskikh rezhimov raboty STK dlya liniy elektroperedach na matematicheskoy modeli* [Research of dynamic and static STC modes for power lines using a mathematical model], *Sbornik statey devyatnadsatoy ezhegodnoy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskaya konferentsii «Radioelektronika, elektrotehnika i energetika»* [A collection of articles nineteenth annual international scientific-technical conference "Radio electronics, electrical engineering and energy"], Moscow: MPEI, 2013, 183 p.
7. *OJSC «FNC UES»* [Mode of access] www.fsk-ees.ru. – Moscow. Header from the screen.

8. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Ivekeev V.S., Lozhkin I.A., Kotyishev V.E., Tukhvatullin M.M. *Ispol'zovanie staticheskogo tiristorogo kompensatora sverh-moshchnoy dugovoy staleplavil'noy pechi dlya obespecheniya ustoychivosti elektroenergetiche-skoy sistemy i povysheniya nadezhnosti vnutrizavodskogo elektrosnabzheniya* [Using of the static var compensator of the ultra-high power electric arc furnace for supporting of electrical power system's stability and increasing reliability of factory power supply], *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Russian Internet Journal of Industrial Engineering], 2014, no.1, pp.59-69.

9. Kornilov G.P. *Primenenie reguliruemyykh kompensiruyushchih ustroystv dlya povy-sheniya effektivnosti LEP na primere Sibayskikh RES OOO «BashRES»* [Employment of controllable reactive power compensators for increasing the efficiency of power lines on the example of LLC "BashRES" Sibai], *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Actual problems of modern science, technology and education], Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University, 2012, vol.20, no.70, pp.112-114.

10. Kochkin V.I., O.P.Nechaev. *Primenenie staticheskikh kompensatorov reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyah energosistem i predpriyatii* [Application of static var compensator in electric networks of power systems and enterprises], Moscow, SC ENAS, 2002, 248p., I.

11. Kornilov G.P., A.A. Fedorov, N.I. *Kletsky Vychor istochnikov reaktivnoy moshchnosti na osnove tekhniko-ekonomicheskikh raschetov* [The choice of reactive power sources on the basis of technical and economic calculations], *Promyshlennaya energetika* [Industrial power], 1979, no.10, pp.20-22.

12. Kornilov G.P., A.S. Karandaev, A.A. Nikolaev *Kompensiruyushchie ustroystva v sistemah promyshlennogo elektrosnabzheniya* [Reactive power compensators in industrial power supply systems], Magnitogorsk, Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 235 p.

13. Venikov V.A., Zhukov L.A., Kartashev I.I. *Staticheskie istochniki reaktivnoy moshchnosti v elektricheskikh setyah* [Static reactive power sources in electrical networks], Moscow, Energy, 1975, 136 p.: I.

14. Fedorov A.A., Kornilov G.P. *O primeneni*

kompensiruyushchih ustroystv v sistemah elektro-snabzheniya s moshchnymi nelineynymi nagruzkami [About application of compensation devices in power systems with powerful non-linear loads], *Electricity*, 1980, no.7, 64 p.

15. Kornilov G.P. *Razrabotka i issledovanie kompensiruyushchih ustroystv dlya si-stem elektrosnabzheniya s ventil'nymi preobrazovatelyami* [Development and research of reactive power compensators for power supply systems with the valve inverters], Dissertation ... PhD(Eng.), 05.09.03, Moscow, 1978, 235 p.

16. Karandaev A.S., Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Pushkarev P.A. *Osobennosti kompensatsii reaktivnoy moshchnosti na krupnom metallurgicheskom predpriyatii* [Features of reactive power compensation in the largest metallurgical enterprise], *Promyshlennaya energetika* [Industrial power], 2010, no.12, pp. 43-49.

17. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Kovalenko A.J., Kuznetsov E.A. *Sredstva i perspektivy upravleniya reaktivnoy moshchnost'yu krupnogo metallurgicheskogo predpriyatia* [Means and reactive power management perspective a large metallurgical enterprises]. *Elektrotehnika* [Electric equipment], 2008, no.15(148), pp. 32-38.

18. Hramshin T.R., Kornilov G.P., Murzikov A.A., Karandaev A.S., Hramshin V.R., *Matematicheskaya model' staticheskogo kompensatora reaktivnoy moshchnosti* [Mathematical model of static var compensator. Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya APEP-2014, Actual problems of electronic instrument APEP 2014, Novosibirsk, 2014, pp. 418-425.

19. GOST 13109-97, *Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektro-snabzheniya obshchego naznacheniya* [Quality standards for electric power supply systems of the general purpose], 1999-01-01, Moscow, [Standards Publishing House], 1998, p. 35.

20. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Zaitsev A.S., Skakun S.V., Urmanova F.F. *Razrabotka fil'trokompensiruyushchego ustroystva dugovoy staleplavil'noy pechi* [Development of filter compensating device in electric arc steel-making furnace]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont* [Electric equipment: exploitation and repair], 2015, №5/6, pp. 58-63/54-61.

Информация о других журналах издательства

Журнал «Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах» основан в 2011 году на базе сборников, которые издавались в период работы кафедры вычислительной техники и прикладной математики (с 2013 кафедры вычислительной техники и программирования): 2003 и 2004 годах – сборник трудов «Новые программные средства для предприятий Урала», в 2005 и 2007 годах – «Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации»; в 2006 – «Разработка новых программных средств для предприятий Урала».

Журнал публикует научные работы по следующим рубрикам: технические средства обеспечения информационных процессов; обыкновенные дифференциальные уравнения и дифференциальные уравнения с частными производными; математические модели естественных и технических наук; уравнения математической физики; теория систем автоматического управления; теория моделирования; теория информации; искусственный интеллект; системный анализ; общие вопросы автоматизации и вычислительной техники; теория автоматического управления; теоретические основы программирования; вычислительные сети; программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и сетей; системы автоматического управления, регулирования и контроля; автоматизированные системы управления технологическими процессами; автоматизация проектирования; автоматизация научных исследований; педагогика и методика подготовки кадров высшей квалификации в области математики, программирования, разработки автоматизированных систем и информационных технологий.

Электронная версия журнала доступна:

- на информационном портале ФГБОУ ВПО «МГТУ» www.mgtu.ru (раздел «Журнал «Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах»);
- на платформе eLIBRARY.