

ИННОВАЦИИ В ПРОГРАММЕ НИОКР ОАО «ФСК ЕЭС». ЧАСТЬ I

АВТОРЫ:

СОФЬИН В.В.
ОАО «РОССЕТИ»

СЕЛЕЗНЕВ В.Ю.
ОАО «ФСК ЕЭС»

КАПУСТИН Д.С.
ОАО «ФСК ЕЭС»

ШАКАРЯН Ю.Г.,
Д.Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

НОВИКОВ Н.Л.,
Д.Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

В ОАО «ФСК ЕЭС» в настоящий момент сформирована и реализуется программа НИОКР на 2013–2018 гг. Основной задачей программы является разработка и внедрение инновационных решений, направленных в первую очередь на обеспечение надежного и устойчивого функционирования электросетевого комплекса страны, обеспечение энергоэффективности. Кроме того, программа подразумевает создание так называемых активно-адаптивных сетей в структуре интеллектуальной электроэнергетической системы Российской Федерации. В реализации программы

принимают участие ведущие институты РАН, отраслевые научно-исследовательские и проектные организации, высшие учебные заведения, а также производители электрооборудования.

О некоторых результатах реализации программы инновационного развития ОАО «ФСК ЕЭС» пойдет речь в данной статье. За истекший период получены определенные результаты в разработке, изготовлении и практическом применении ряда инновационных технологий и оборудования. Наиболее интересные из них описаны в настоящей статье.



Целями реализации программы НИОКР ОАО «ФСК ЕЭС» являются создание интеллектуальной энергетической системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) и обеспечение устойчивого инновационного развития Единой национальной электрической сети (ЕНЭС).

1. КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АКТИВНО-АДАПТИВНОЙ СЕТЬЮ

В 2011–2012 гг. по инициативе ОАО «ФСК ЕЭС» была разработана Концепция развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью [1]. В разработке Концепции принял участие целый ряд отраслевых и академических институтов.

Концепция определила принципы построения инновационной Единой национальной электрической сети (интеллектуальной ЕНЭС), соответствующей современным требованиям развития электроэнергетики. Были также проанализированы задачи управления режимами функционирования магистральных, межсистемных и распределительных сетей Единой электроэнергетической системы (ЕЭС). При этом особое внимание было уделено развитию и совершенствованию технологий производства, передачи, преобразования, распределения и потребления электрической энергии.

В Концепции изложены идеология, базовые технологии и механизмы реализации интеллектуальной ЕНЭС. Обобщается отечественный и мировой (адаптированный к нашим условиям) опыт разработки и создания электрических сетей, использующих современные информационные технологии для мониторинга, автоматизированного и автоматического управления элементами энергосистемы и электроустановками потребителей. Описаны принципы и возможные области применения новейших технологий управления процессами в ЕЭС/ЕНЭС.



Рис. 1. Опытный полигон «Цифровая подстанция» в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Концепция рассмотрена и одобрена на совместном заседании НТС ОАО «ФСК ЕЭС» и Российской академии наук и в 2012 г. утверждена правлением ОАО «ФСК ЕЭС». Предполагается, что для систематизации технологий и научных исследований реализация Концепции ИЭС ААС должна происходить в соответствии с «дорожной картой» [2]. Этот документ обобщает мнение экспертного сообщества о важнейших технологиях, относящихся к интеллектуальной энергетике, и об уровне их развития в мире. Кроме того, «дорожная карта» связывает Концепцию с проектами инвестиционной программы и программами инновационного развития ОАО «ФСК ЕЭС».

2. ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ

В 2010–2011 гг. по заказу ОАО «ФСК ЕЭС» тремя организациями: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», ОАО «Институт «Энергосетьпроект» и ЗАО «Континуум» – была разработана концепция программно-аппаратного комплекса (ПАК) «Цифровая подстанция ЕНЭС» (ЦПС). Тогда же были начаты работы в рамках пилотного проекта – опытного полигона для отработки

и комплексных испытаний основных элементов и подсистем цифровой подстанции, а также комплексных технических решений по управлению технологическими процессами ЦПС [3]. Структура опытного полигона «Цифровая подстанция», созданного в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», представляет собой:

- ПС № 301 напряжением 110/10 кВ – действующую электроустановку, имеющую специализированный двухобмоточный трансформатор, состоящий из трехфазной группы по 40 МВА (вторая обмотка переключаемая, позволяющая получать 10, 20, 35 и 90 кВ). Подстанция обеспечивает электроэнергией испытательные стенды НТЦ ФСК ЕЭС, на которых проводятся испытания новейшего электротехнического оборудования для электросетевого комплекса ОАО «ФСК ЕЭС», в частности устройств компенсации реактивной мощности, сверхпроводящих кабелей и др.;



Рис. 2 (а). Фаза тиристорного вентиля



Рис. 2 (б). Насосная установка для охлаждения тиристорных вентилях

- две группы оптических измерительных трансформаторов тока и напряжения, установленных на ОРУ 110 кВ;
- в Центре управления «Цифровой подстанцией» (ЦУПС) созданы цифровой информационно-измерительный комплекс, состоящий из четырех интеллектуальных электронных устройств – ИЭУ, или, в терминах стандарта IEC 61850, IED; информационный вычислительный комплекс (на базе SCADA «КОТМИ-2010»); установлены цифровая защита трансформатора и контроллер управления выключателем 110 кВ;
- лабораторная часть опытного полигона «Цифровая подстанция» (формируется в настоящее время) будет оснащена тестово-моделирующим комплексом, в состав которого входят комплекс, моделирующий работу энергосистемы в реальном масштабе времени RTDS; испытательный

комплекс OMICRON, с программными имитаторами цифровых терминалов и имитаторами цифровых информационных потоков данных для «прогрузки» шин процесса и станционной шины при штормовых и других видах испытаний. Коммуникационные среды ЦУПС ПС № 301 и лабораторной части в будущем планируется объединить высокоскоростным волоконно-оптическим каналом связи.

Опытный полигон «Цифровая подстанция» уже на данной стадии выполняет роль «инновационного локомотива» электросетевого комплекса по созданию АСУ ТП ПС в соответствии с технологией «Цифровая подстанция». На полигоне уже побывали представители организаций – разработчиков микропроцессорных средств РЗА и ПА, эксплуатационных организаций, таких как ОАО «МРСК Центра», МЭС Центра – филиал ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «РЖД» и др.

На опытном полигоне «Цифровая подстанция» прошли первые

комплексные испытания по согласованной с ОАО «ФСК ЕЭС» программе. Цель испытаний – проверка совместной работы оборудования различных производителей, предназначенного для ПС «Эльгауголь» электросетевого кластера ОЭС Востока, где запланировано создание АСУ ТП ПС по технологии «Цифровая подстанция».

3. СРЕДСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

ЕЭС России является одним из наиболее крупных и протяженных энергообъединений в мире, осуществляющим большие транзитные передачи мощности на значительные расстояния. Применение современных устройств FACTS позволяет регулировать напряжения и потоки реактивной мощности в электрических сетях, оптимизировать потокораспределение, обеспечивать повышение пропускной способности

и гибкое управление режимами работы. Электрическая сеть из простой системы транспорта электроэнергии превращается в активную структуру, параметры и характеристики которой могут изменяться в режиме онлайн.

Наряду с уже получившими практическое применение управляемыми шунтирующими реакторами с подмагничиванием (УШРП) и статическими тиристорными компенсаторами (СТК) разработаны и разрабатываются новейшие типы устройств FACTS, такие как управляемые шунтирующие реакторы с тиристорным управлением (УШРТ), устройства регулирования напряжения на базе преобразователей напряжения СТАТКОМ и вставки постоянного тока на их основе, асинхронизированные компенсаторы (АСК), фазоворотные устройства (ФПУ), устройства управляемой продольной компенсации (УППК), активные фильтры высших гармоник (АФВГ).

3.1. УПРАВЛЯЕМЫЙ ШУНТИРУЮЩИЙ РЕАКТОР (УШРТ)

представляет собой трансформатор, на вторичные обмотки которого подключены тиристорные вентили. В комбинации с конденсаторными батареями такие УШРТ представляют собой аналог статических компенсаторов реактивной мощности (СТК), включенных на высокое напряжение. УШРТ обладают рядом преимуществ перед традиционными сетевыми СТК:

- возможность исполнения на любой требуемый класс напряжения;
- меньшие габариты и потери, меньшая стоимость;
- высокая надежность схемы (так как режим КЗ для УШРТ является номинальным).

Разработанный и изготовленный в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с ООО «Тольяттинский трансформа-



Рис. 3. Силовая часть и конденсаторные батареи СТАТКОМ

тор» УШРТ 500 кВ 180 Мвар является первым в мировой практике. Новые технические решения позволили обеспечить быстродействие 0,03 с, что гарантирует надежную работу УШРТ в качестве линейного реактора, в том числе в режимах включения ВЛ на холостой ход и в цикле ОАПВ.

Управляемый шунтирующий реактор предназначен для установки на подстанциях и линиях электропередачи высокого напряжения до 500 кВ.

Пилотным объектом для внедрения УШРТ выбрана ПС 500 кВ «Пенза-2». Результаты разработки УШРТ были рассмотрены и одобрены Техническим советом ОАО «ФСК ЕЭС».

3.2. СТАТКОМ

представляет собой устройство компенсации реактивной мощности на базе управляемых транзисторов (IGBT). Являясь преобразователем напряжения, СТАТКОМ по сути представляет собой статический аналог синхронного компенсатора, выгодно отличаясь от последнего существенно более высоким быстродействием, отсутствием вращающихся частей и возможностью пофазного управления.

По заданию ОАО «ФСК ЕЭС» создан первый в отечественной практике СТАТКОМ мощностью 50 Мвар, 15,75 кВ, который внедрен в эксплуатацию на Выборгском выпрямительно-инверторном комплексе. СТАТКОМ на данном объекте обеспечивает более надежную работу вставки постоянного тока Россия – Финляндия и позволяет расширить диапазоны регулирования реактивной мощности. Последнее имеет большое значение для обеспечения эффективного функционирования упомянутой вставки.

На базе СТАТКОМов единичной мощностью 100 Мвар, 35 кВ создается первая в России вставка постоянного тока мощностью 200 МВт на ПС 220 кВ «Могоча» для обеспечения совместной работы ОЭС Сибири и ОЭС Востока. Планируется, что в текущем году должен быть осуществлен запуск этой вставки. Она позволит повысить надежность электроснабжения потребителей (прежде всего Забайкальской железной дороги) и увеличит надежность функционирования как ОЭС Сибири, так и ОЭС Востока.

Еще одна подобная вставка на ПС 220 кВ «Хани» будет способствовать



Рис. 4. Асинхронизированный компенсатор (АСК) мощностью 100 МВА на ПС 500 кВ «Бескудниково»

увеличению эффективности совместной работы ОЭС Сибири и ОЭС Востока.

3.3. АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ И НАКОПИТЕЛИ

В последнее время в энергосистемах широко применяются статические устройства компенсации на базе силовой электроники. Наряду с несомненными достоинствами (высокое быстродействие, отсутствие вращающихся частей) они обладают и целым рядом недостатков: генерация гармоник, зависимость реактивной мощности от напряжения в точке подключения. В то же время электромашинные компенсаторы реактивной мощности (в отличие от статических устройств) выдерживают кратковременную двукратную перегрузку, что для статических устройств может быть достигнуто только за счет удвоения установленной мощности. Важна также устойчивость к возможным импульсным перенапряжениям в линиях (например, вследствие грозовой деятельности).

По заданию ОАО «ФСК ЕЭС» ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с ОАО «Силовые машины» разработали, изготовили и ввели в эксплуатацию новый тип электромашинных компенсаторов реактивной мощности – асинхронизированный компенсатор (АСК) мощностью 100 МВА [4].

Наличие двух обмоток возбуждения и векторного управления придает новые свойства и преимущества таким компенсаторам по сравнению с традиционными синхронными компенсаторами с одной обмоткой, а именно:

- расширенный диапазон регулирования реактивной мощности от +100 Мвар до –100 Мвар (у традиционных синхронных компенсаторов от +100 Мвар до –40 Мвар);
- улучшенное демпфирование колебаний режимных параметров при возмущениях в сети;
- повышенная живучесть

за счет возможности работы в резервных режимах при отказах в системе возбуждения.

Два компенсатора типа АСК-100–4 установлены в Москве на ПС 500 кВ «Бескудниково» и введены в эксплуатацию в апреле 2012 г. В октябре того же года прошли системные испытания, которые подтвердили полное соответствие их технических характеристик техническому заданию [5].

С дальнейшим развитием АСК связано создание на их базе маховичных накопителей энергии. Вращающийся маховик является аккумулятором кинетической энергии. Заряд-разряд маховичного накопителя сопровождается изменением частоты вращения маховика. Для маховичных накопителей большой мощности оптимальным является вариант асинхронизированного компенсатора с маховиком (АСКМ).

В настоящее время разработку АСКМ по программе НИОКР

ОАО «ФСК ЕЭС» проводит Институт энергетики и электрификации РАН совместно с ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» и ОАО «Силовые машины». Конструктивно АСКМ выполняется в виде электрической машины с симметричной многофазной обмоткой на шихтованном роторе. Статор машины подключен к сети. Установленная мощность преобразователя в цепи обмотки ротора АСКМ пропорциональна максимальному значению полной мощности машины (при номинальной реактивной и максимально допустимой активной) и диапазону регулирования частоты вращения. Причем разумное соотношение мощностей машины и возбuditеля получается при диапазоне скольжений не более $\pm 15\%$.

АСКМ вместе с функцией регулирования напряжения способен:

- осуществлять противоаварийное управление в случае возникновения возмущений в энергосистеме;
- выполнять функцию дополнительного быстродействующего средства регулирования частоты в энергосистеме;
- демпфировать воздействия на энергосистему резкопеременной активной и реактивной нагрузки специфических потребителей;
- выравнивать графики генерирования и потребления в изолированных энергосистемах или в системах с нестабильными нетрадиционными источниками энергии;
- функционировать в качестве резервного источника энергоснабжения.

Предварительный анализ и проработки подтвердили реальную возможность создания АСКМ на мощ-

ность 100 МВА с временем обмена номинальной мощностью 5–10 с.

3.4. ФАЗОПОВОРОТНЫЕ УСТРОЙСТВА (ФПУ)

Фазоповоротные устройства (ФПУ) являются одним из основных элементов управляемых линий переменного тока (FACTS). Причем среди остальных устройств FACTS они обладают наиболее широким спектром применения в энергосистемах. На сегодняшний день в мире насчитывается более 100 электроэнергетических объектов, оснащенных ФПУ, в таких странах, как Германия, Великобритания, Франция, Бельгия, Нидерланды, США и Канада.

В настоящее время ОАО «ЭНИН» в рамках договора НИОКР с ОАО «ФСК ЕЭС» ведет инновационную отечественную разработку первого в мире образца ФПУ с тиристорным коммутатором, установка которого запланирована в ВЛ 220 кВ «Восход» – «Татарская» – «Баранбинская» (ОЭС Сибири, ПС 500 кВ «Восход»). Особенности данной разработки являются: применение быстродействующего полупроводникового преобразователя (тиристорного коммутатора) для формирования угла регулирования ФПУ, а также цифровое микропроцессорное управление, позволяющее интегрировать ФПУ в структуру цифровых подстанций нового поколения. Основными разработчиками и производителями ФПУ являются: ОАО «ЭНИН», НИУ МЭИ, ООО «Тольяттинский трансформатор», ОАО «Электровыпрямитель», Саранск.

ФПУ устанавливается в рассечку ВЛ 220 кВ «Восход» – «Татарская». Проходная мощность устройства составляет 100 МВА, угол регулирования фазы выходного напряжения ± 20 эл. град. с шагом 1,33 эл. град.

Основные задачи, решаемые ФПУ на объекте установки:

- устранение токовых перегрузок ВЛ 220 кВ в ремонтных и послеаварийных режимах;
- снижение суммарных потерь мощности параллельного транзита 500/220 кВ «Баранбинская» – «Татарская» – «Восход».

Принципиальными преимуществами ФПУ с полупроводниковым тиристорным преобразователем являются: повышенная надежность преобразователя по сравнению с электромеханическим РПН; высокое быстродействие, позволяющее использовать ФПУ в динамических режимах работы сети; высокая дискретность изменения угла регулирования выходного напряжения; цифровое управление ФПУ, упрощающее его интеграцию в общую систему управления режимом работы сети. В настоящее время осуществляется изготовление оборудования опытно-промышленного образца ФПУ. Планируемый срок поставки устройства на ПС 500 кВ «Восход» ОЭС Сибири – 2014 г.

Опытно-промышленная эксплуатация ФПУ на ПС 500 кВ «Восход» позволит прояснить и отработать основные этапы проектирования и технологию управления процессами в электрической сети в установившихся и динамических режимах работы. Полученный опыт будет использован при последующем проектировании аналогичных ФПУ для других мест установок. На сегодняшний день существует необходимость разработки и применения подобных устройств как минимум в десяти точках ЕНЭС.

3.5. УСТРОЙСТВА УПРАВЛЯЕМОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Как известно, среди управляемых электропередач переменного тока (FACTS) в мировой электроэнергетике электропередачи сверхвысо-



Рис. 5. ФПУ производства Siemens (Германия)

кого напряжения (400 кВ и выше) с неуправляемыми и управляемыми устройствами продольной емкостной компенсации (НУПК и УУПК) имеют наибольшее распространение. Такие электропередачи даже с использованием НУПК (а в большинстве случаев с применением НУПК + УУПК и устройств управляемой параллельной компенсации) позволяют:

- существенно повысить пропускную способность электрической связи с заданными запасами статической и динамической устойчивости;
- обеспечить оптимальное перераспределение потоков мощности в сечениях между отдельными энергосистемами, уменьшая потери электрической энергии;
- улучшить уровни напряжения системы;
- обеспечить эффективное демпфирование электро-механических колебаний между энергосистемами;
- снизить стоимость передачи электроэнергии за счет сокращения

количества параллельных линий и степени параллельной компенсации.

Электропередачи с установками продольной емкостной компенсации активно используются в Бразилии, США, Канаде и даже в Японии.

В нашей стране этой проблеме уделялось весьма скромное внимание: в 1960-е годы были созданы две неуправляемые установки (средней мощностью 400–600 МВА) на ПС 500 кВ «Тыреть» (на связи Иркутской и Красноярской энергосистем) и на ПС 500 кВ «Вешкайма» (ВЛ 500 кВ Волжская ГЭС – Москва). Причем последняя была демонтирована в 1970-е годы.

По программе НИОКР ОАО «ФСК ЕЭС» ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» проводит научно-исследовательские и проектные работы по созданию и применению УУПК на электропередаче 500 кВ Саяно-Шушенская ГЭС – «Новокузнецкая», «Кузбасская» с установкой НУПК до 30% (2x410 МВА) и УУПК до 20% (2x270 МВА) на ПС 500 кВ «Шереш» («Таштагол»). Это позволит увеличить до 500–600 МВт пропускную

способность указанной электропередачи и увеличить выдачу мощности Саяно-Шушенской ГЭС [6].

Следует отметить, что еще в 2005–2007 гг. ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Институт «Энергосетьпроект» рассматривали предложения по применению устройств FACTS в «золотом сечении» 500 кВ ОЭС Урала – Средней Волги – Центра: УПК 50% на ВЛ 500 кВ «Бугульма» – «Бекетово» (390 МВА у шин ПС 500 кВ «Бекетово»), УПК 50% на ВЛ 500 кВ Воткинская ГЭС – «Вятка» – «Звезда» – Костромская ГРЭС (490 МВА у шин 500 кВ ПС «Вятка») и СТК ±200 МВА (или СТАТКОМ) на ПС 500 кВ «Бекетово» и «Вятка». Было установлено, что применение этих устройств позволит увеличить на 300–400 МВт пропускную способность этого сечения в обоих направлениях.

Имеется также предложение ОАО «СО ЕЭС» (поддерживаемое ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС») использовать для увеличения пропускной способности на ВЛ 500 кВ «Восход» – «Ишим» – «Курган» 50–80% емкостной компенсации.

4. КОМПАКТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Одним из наиболее эффективных средств развития электрических сетей является создание компактных ВЛ в сочетании с устройствами FACTS, в том числе с устройствами фазового регулирования – компактными управляемыми ВЛ. ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с Институтом энергетики Республики Молдова и ОАО «Институт «Энергосетьпроект» выполнили разработку

основных технических решений по созданию указанных ВЛ [7].

Компактизация ВЛ достигается за счет сокращения междуфазных расстояний. При этом расстояния между фазами определяются с учетом сохранения минимально допустимых по диэлектрической прочности воздушных промежутков «фаза-фаза» при наибольших рабочих напряжениях, внутренних и грозовых перенапряжениях. Одноцепные и многоцепные компактные ВЛ с минимально допустимыми расстояниями между фазами, необходимой конструкцией расщепленной фазы и оптимальным расположением фаз обеспечивают оптимизацию параметров линий за счет изменения параметров электромагнитного поля в междуфазном и окружающем линию пространстве. Усиление электромагнитного поля внутри линии (за счет сближения фаз) улучшает электрические параметры и увеличивает пропускную способность ВЛ. Ослабление электромагнитного поля во внешнем пространстве приводит к улучшению экологических показателей.

Применение устройств фазового регулирования на двухцепных компактных ВЛ обеспечивает управление эквивалентными параметрами и характеристиками линии в целом и, соответственно, пропускной способностью ВЛ. Данное регулирование осуществляется путем изменения углового сдвига между трехфазными системами векторов напряжений разных цепей с помощью фазоповоротных устройств, установленных на подстанциях.

В рамках указанных выше разработок была определена зависимость величины передаваемой мощности от типа конструкции ВЛ (компактная/традиционная). Разработаны и проанализированы различные конфигурации ВЛ 220 и 500 кВ с варьированием числа проводов в фазе,

радиуса расщепления, междуфазных расстояний и расположения фаз относительно друг друга и земли. По результатам исследований были определены наиболее эффективные варианты компактных управляемых ВЛ 220 и 500 кВ, обеспечивающие наилучшие технико-экономические показатели при одновременной минимизации воздействия на окружающую среду. Проведено их сопоставление с ВЛ традиционной конструкции. Показано, что применение компактных управляемых ВЛ позволяет обеспечить (по контрасту с ВЛ традиционного исполнения):

- увеличение пропускной способности в 1,2–1,6 раза;
- экономию капитальных вложений до 37% для ВЛ 220 кВ и до 33% для ВЛ 500 кВ в расчете на 1 МВт натуральной мощности;
- ослабление уровней электромагнитных полей во внешнем пространстве, что обеспечивает уменьшение воздействия ВЛ на окружающую среду и население;
- сокращение площадей земельных угодий, отчуждаемых под воздушные линии, до 36% для ВЛ 220 кВ и до 42% для ВЛ 500 кВ в расчете на 1 МВт натуральной мощности;
- повышение устойчивости ВЛ при воздействии неблагоприятных атмосферных факторов;
- управление величиной и направлением потоков мощности в электрических сетях;
- повышение эффективности использования устройств регулирования реактивной мощности; снижение суммарных потерь электроэнергии в энергосистеме.

В заключение отметим, что в настоящее время ведутся работы по выбору пилотного проекта создания современной компактной управляемой линии электропередачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников Р. Н., Дементьев Ю. А., Моржин Ю. И., Шакарян Ю. Г. Основные положения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью // Энергия единой сети, 2012, № 4. – С. 4–11.
2. Бердников Р. Н., Данилин И. В., Холкин Д. В., Моржин Ю. И. Навигатор для интеллектуальной энергетики // Энергия единой сети, 2012, № 4. – С. 12–17.
3. Моржин Ю. И., Попов С. Г. Цифровая подстанция – концепция, технология внедрения. Создание опытного полигона «Цифровая подстанция» ЕНЭС // Энергия единой сети, 2012, № 5. – С. 4–19.
4. Шакарян Ю. Г., Сокур П. В., Плотникова Т. В., Довганюк И. Я., Мнев Р. Д., Пинчук Н. Д., Антонюк О. В., Ройтгарц М. Б., Жуков Д. В., Дементьев Ю. А., Седунов В. М. Новые электромашинные компенсаторы реактивной мощности с двухосным возбуждением // Энергия единой сети, 2012, № 4. – С. 52–55.
5. Мнев Р. Д., Плотникова Т. В., Сокур П. В. Испытания асинхронизированных компенсаторов на подстанции «Бескудниково» // Энергия единой сети, 2013, № 1. – С. 32–37.
6. Фокин В. К. Повышение выдачи активной мощности генераторами Саяно-Шушенской ГЭС с помощью управляемой продольной компенсации на электропередаче 500 кВ СШ ГЭС – «Новокузнецкая», «Кузбасская» // Энергия единой сети, 2013, № 2. – С. 66–73.
7. Шакарян Ю. Г., Тимашова Л. В., Карева С. Н., Постолатий В. М. Технические аспекты создания и режимные особенности работы в энергосистемах компактных управляемых ВЛ 220, 500 кВ // Энергия единой сети, 2012, № 4. – С. 36–43.