ПИЛОТНЫЙ ПРОЕКТ ВНЕДРЕНИЯ ПК ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОАО «СО ЕЭС»

АВТОРЫ:

НЕБЕРА А.А.

ШУБИН Н.Г.,
К.Т.Н.

КАЗАКОВ П.Н.,
ЗАО «РТСОФТ»

ЖУКОВ А.В.,
К.Т.Н.

САЦУК Е.И.,
Д.Т.Н.

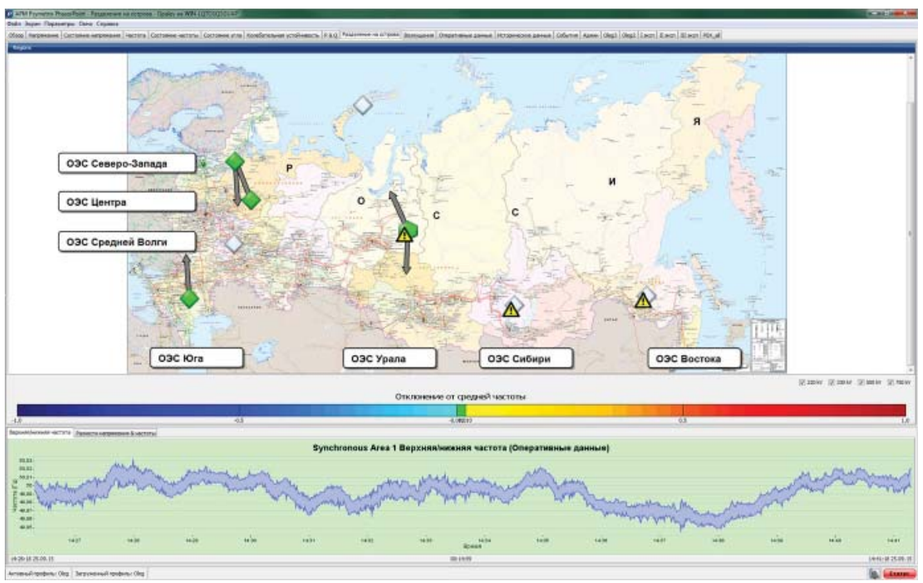
ДУБИНИН Д.М.

ОПАЛЕВ О.Л.

УТКИН Д.Н.,
ОАО «СО ЕЭС»

Оперативная информация о возникающих низкочастотных колебаниях и иных динамических характеристиках электрических режимов позволяет эффективно повысить ситуационную осведомленность диспетчеров и своевременно провести необходимые превентивные меры для предотвращения аварийных ситуаций. Перечень пусковых органов централизованной противоаварийной автоматики, обеспечивающей повышение пропускной способности электрических сетей ряда энергообъединений ЕЭС России, ограничен дискретными событиями — отключениями линий электропередачи и/или генераторов. Никакие другие события в энергосистеме — опасные нарастания мощности в сечениях электрической сети, критические увеличения относительных фазовых углов напряжения, значительные снижения/повышения напряжения и прочие, способные послужить индикаторами угрозы или начала развития нежелательных процессов, не используются для запуска противоаварийной автоматики.

Ключевые слова: СМПР; мониторинг; архитектура; низкочастотные и субсинхронные колебания; контроль пределов передаваемой мощности.



Одной из задач, решаемой при развертывании ПК для СМПР, является визуализация динамики изменения параметров электроэнергетического режима

В августе 2014 г. ОАО «СО ЕЭС» инициирована реализация пилотного проекта внедрения программного комплекса для системы мониторинга переходных режимов («ПК для СМПР») в главном диспетчерском центре. Этот комплекс разработан компанией Psymetrix и предназначен для построения верхнего уровня систем мониторинга переходных режимов (WAMS).

При выборе программного комплекса для пилотного проекта принимались во внимание следующие критерии:

- опыт применения в различных энергосистемах;
- масштабируемость от единиц до нескольких тысяч PMU;
- наличие аналитических приложений для контроля низкочастотных колебаний.

Реализация данного проекта предусматривает прием синхронизированных векторных измерений (СВИ) первоначально от 10 PMU, в последующем количество PMU может быть увеличено. В качестве 10 точек мониторинга были выбраны объекты электроэнергетики, оснащенные программно-техническими комплексами системы мониторинга переходных режимов и расположенные в различных операционных зонах единой энергосистемы России. Для мониторинга были выбраны мощные электростанции, расположенные в системообразующих узлах. Перечень точек мониторинга параметров электроэнергетического режима в ПК для СМПР приведен в табл. 1.

ОАО «СО ЕЭС» совместно со специалистами электростанций была организована работа по переконфигурации концентраторов векторных данных для обеспечения передачи в диспетчерские центры синхронизированных векторов фазных напряжений и фазных токов, а также параметров частоты и скорости изменения частоты по каждому присоединению.

Кроме того, для реализации приема СВИ в ПК для СМПР выполнена модификация программного обеспечения программно-аппаратного комплекса «Автоматическая система сбора информации от регистраторов СМПР», развернутого во всех диспетчерских центрах ОАО «СО ЕЭС». Структурная схема сбора СВИ в ПК для СМПР показана на рис. 1.

Основными задачами, решаемыми при развертывании ПК для СМПР в главном диспетчерском центре, являются визуализация динамики изменения параметров электроэнергетического режима, анализ технологических нарушений и аварийных ситуаций, мониторинг низкочастотных колебаний (МНЧК), реализация сбора и хранения аварийных архивов и т.п.

Ниже приведен перечень основных функций в приобретаемой ОАО «СО ЕЭС» комплектации ПК для СМПР:

1. Визуализация:
   - отображение данных в режиме реального времени и ретроспективных данных;
   - верхнеуровневая обзорная диаграмма параметров;
   - многоуровневое иерархическое географическое представление;
   - приближение (масштабирование), панорамный обзор, прокручивание областей вверх/вниз;
   - управление уведомлениями и сигнализацией;
   - динамическая привязка к базисным значениям углов.
2. Мониторинг состояния системы:

№	Наименование объекта	Присоединение	Тип PMU
1	Ленинградская АЭС	ВЛ 750 кВ Ленинградская АЭС – Ленинградская	МИП-02А-40.01
2	Калининская АЭС	ВЛ 750 кВ Калининская АЭС — Владимирская	МИП-02А-40.01
3	Курская АЭС	ВЛ 750 кВ Курская АЭС — Североукраинская	МИП-02А-40.01
4	Ростовская АЭС	ВЛ 500 кВ Ростовская АЭС — Буденновск	МИП-02А-40.01
5	Балаковская АЭС	ВЛ 500 кВ Балаковская АЭС — Ключики	МИП-02А-40.01
6	Рефтинская ГРЭС	ВЛ 500 кВ Рефтинская ГРЭС — Тюмень, ц. 1	РЭС-3 Прософт
7	Сургутская ГРЭС-2	ВЛ 500 кВ Сургутская ГРЭС-2 — Пыть-Ях	РЭС-3 Прософт
8	Кольская АЭС	ВЛ 330 кВ Кольская АЭС — Княжегубская ГЭС, ц. 1	МИП-02А-40.01
9	Воткинская ГЭС	ВЛ 500 кВ Воткинская ГЭС — Вятка	МИП-02А-40.01
10	Назаровская ГРЭС	ВЛ 500 кВ Назаровская ГРЭС — Красноярская ГЭС, ц. 1	МИП-02А-40.01

Таблица 1

– цветовая градиентная раскраска контролируемых областей для:
а) модулей напряжений;
б) частоты;
в) разницы фаз;
– просмотр отклонений и разниц фаз по всей энергосистеме;
– масштабирование для энергосистем любого размера и количества точек замеров PMU;
– график разброса максимальных и минимальных контролируемых значений;
– графики отображения относительных значений фаз по отношению к базисному.

3. Пользовательские настройки функций визуализаций и управления событиями:
– MyViews — набор пользовательских настраиваемых графических и табличных форм представления данных;
– составные события — логические комбинации одновременных событий, позволяющие создавать точные агрегированные, высокоуровневые оповещения и предупреждения.

4. Воспроизведение ретроспективных данных:
– графические отображения с географической иерархией с возможностью воспроизведения архивных данных;
– полное воспроизведение функциональности, доступной в режиме реального времени;
– временная выборка любого зафиксированного периода;
– выбор промежутков по дате/времени или из журнала событий;
– управление скоростью воспроизведения событий: нормальная скорость, замедленная, ускоренная «перемотка» и т.д.

5. Мониторинг колебательной устойчивости энергосистемы:
– определение устойчивости энергосистемы для нескольких доминирующих видов низкочастотных колебаний:
а) частоты;
б) амплитуды;
в) демпфирования;
г) относительного фазового угла;
– генерация аварийных сигналов для спектра слабозатухающих колебаний и/или колебаний большей амплитуды;
– отображение на географической подложке районов с зафиксированными типами колебаний;
– «быстрый анализ» для генерации аварийных предупреждений;
– анализ трендов изменений;
– онлайн-представление результатов для оперативного управления;
– ретроспективное представление данных для послеаварийного анализа, системного тестирования и статистики.

6. Анализ аварийных событий:

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СБОРА СВИ В ПК ДЛЯ СМПР

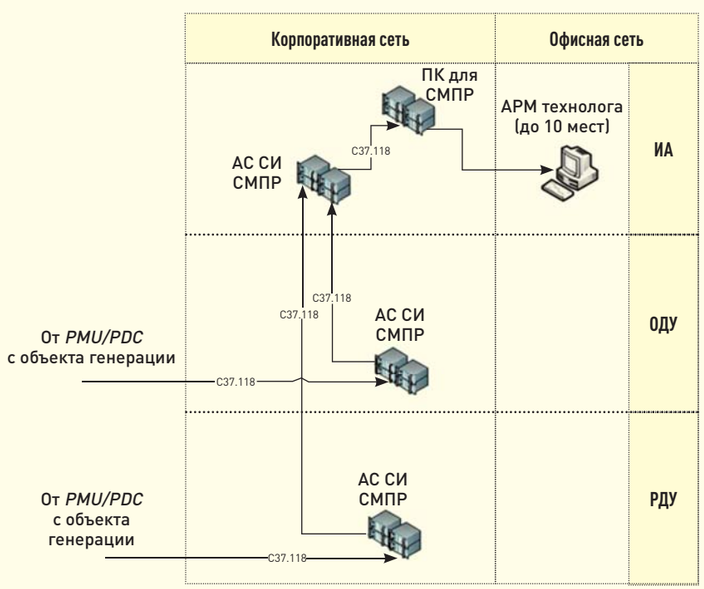


Рис. 1

ПРИНЦИП СТУПЕНЧАТОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАСТРОЙКИ СИСТЕМНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

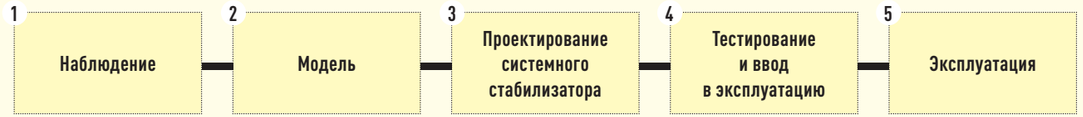


Рис. 2

– определение нарушений системы посредством углового передвижения;
– идентификация местоположения инициирующего события (угол для перемещения);
– определение места возникновения нарушений на иерархической географической схеме;
– запись времени, места (сигнала), тип и влияние события.

7. Функции концентратора векторных данных:
– стандартные функции контроля данных:
а) входные потоки данных в протоколе IEEE C37.118;
б) агрегированные/выходные потоки;
в) выбор сигналов для выходных потоков;
г) фильтрация и снижение частоты дискретизации;
д) увеличение частоты дискретизации;
– поддержка сетевых протоколов TCP, одноадресная передача UDP, многоадресная передача UDP и т.д.;
– корректировка данных, масштабирование;
– проверка достоверности меток времени;
– генерация выходного потока данных на основе архивов для целей обучения/предпусковых испытаний;
– высокая эксплуатационная готовность;
– восстановление данных между платформами Psymetrix;
– центральный PDC-концентратор, интегрированный с ПК для СМПР.

8. Сервер архивных данных:
– возможность записи краткосрочных архивов (от 3 до 12 месяцев с периодом дискретизации 20 мс);
– возможность записи долговременных архивов (до 5 лет с периодом дискретизации 1 с);
– возможность записи аварийных архивов с периодом дискретизации 20 мс;
– журналирование событий с фильтрацией.

9. Поддержка интерфейсов и протоколов:
– C37.118-2005 (импорт и экспорт);
– IEC 60870-5-104 (импорт и экспорт);
– COMTRADE (импорт и экспорт);
– CSV экспорт;
– ODBC/JDBC для доступа SQL.

Одной из основных функций комплекса является функция мониторинга низкочастотных колебаний, обеспечивающая идентификацию параметров колебаний в энергосистеме, контроль частоты, амплитуды, фазы и уровня демпфирования (скорость или постоянную времени затухания) колебаний параметров режима в различном спектре частот. На основе анализа перечисленных характеристик низкочастотных колебаний, а именно, при фиксировании сильных колебаний или слабо демпфируемых колебаний, приложение МНЧК генерирует предупредительные сигналы. Также результаты работы приложения МНЧК предназначены для верификации параметров динамических расчетных моделей энергосистем.

Ввод комплекса в промышленную эксплуатацию запланирован на 2016 г. К этому времени предполагается накопить достаточный объем измерений и результатов их анализа, что позволит оценить возможности программного комплекса и принять решение о направлениях развития этого направления в ОАО «СО ЕЭС».

В ближайшей перспективе используемый функционал может быть расширен дополнительными средствами анализа, позволяющими:

– определять пути распространения низкочастотных колебаний по электрической сети энергосистемы и выяв-

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ВЕРИФИКАЦИИ ТЕЛЕСИГНАЛОВ

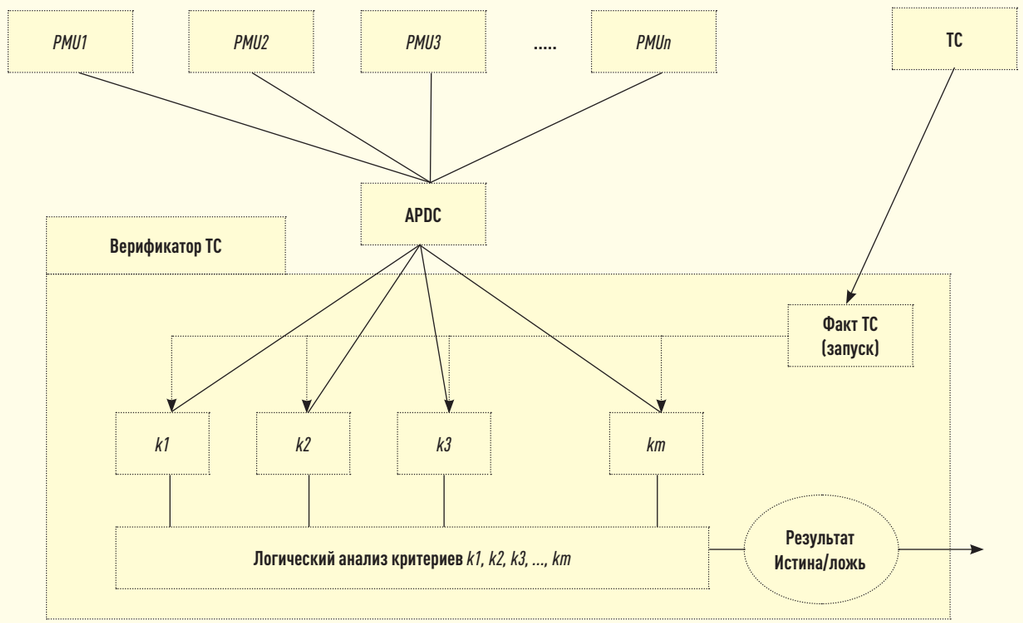


Рис. 3

лять источник указанных колебаний. В сочетании с функционалом приложения МНЧК данное приложение может быть использовано диспетчером в режиме реального времени для упреждения развития аварийных ситуаций, связанных с нарушением устойчивости энергосистемы, путем своевременного воздействия на источник, провоцирующий незатухающие колебания режима;

– использовать ступенчатую автоматизированную технологию настройки системных стабилизаторов, принцип которой представлен на рис. 2.

С учетом того, что ПК для СМПР представляет собой универсальную платформу, на базе которой могут быть реализованы дополнительные аналитические приложения, в качестве перспектив развития пилотного проекта рассматривается возможность реализации дополнительных алгоритмов на базе СВИ:

– режимных пусковых органов для противоаварийной автоматики (ПА);
– систем режимной верификации достоверности телесигналов (ТС) о статусе состояния (включено/выключено) линий электропередачи;
– аналога устройства фиксации отключения линии (ФОЛ), действующего на основе анализа режимных параметров.

РЕЖИМНЫЕ ПУСКОВЫЕ ОРГАНЫ ПА

В современной практике перечень пусковых органов централизованной противоаварийной автоматики (ЦСПА), обеспечивающей повышение пропускной способности электрических сетей 110–500 кВ ряда энергообъединений ЕЭС России, ограничен дискретными событиями — отключениями линий электропередачи и/или генераторов. Никакие другие события в энергосистеме — опасные нарастания передачи мощности в сечениях электрической сети, критические увеличения относительных фазовых углов напряжения, значительные снижения/повышения модулей напряжения и прочие, способные послужить индикаторами угрозы или начала развития нежелательных процессов, не используются в качестве триггеров для запуска действия автоматики.

С появлением СВИ в дополнение к существующим дискретным пусковым органам ПА могут быть добавлены режимные пусковые органы, реагирующие на:

– абсолютные значения режимных параметров (активные и реактивные мощности в электрических связях и сечениях, токи, частота, модули и фазовые углы напряжений);
– тренды и скорости изменения режимных параметров во времени;
– чувствительность одних режимных параметров к изменению других, таких, например, как частные производные ∂U/∂Q (индикатор опасных режимов с точки зрения устойчивости нагрузки по напряжению), ∂δ/∂P (индикатор приближения тяжелых режимов с точки зрения угловой устойчивости) и др.

Перечисленные режимные пусковые органы могут использоваться не только в комплексах ЦСПА, но в перспективных интеллектуальных ПА, обеспечивающих плавный дискретный ввод режима в область допустимых значений, которые можно создать по образу и подобию ЦСПА, но использующих в качестве технологического алгоритма счетчик оптимизации электрического режима по активной и реактивной мощности, оперирующий аналоговыми и дискретными переменными управления.

СИСТЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ТС

На практике нередки случаи формирования ложных ТС об изменении состояния коммутационных аппаратов. В недавнем прошлом возникновение ложных ТС не являлось существенной проблемой, поскольку достоверность/недостоверность факта отключения коммутационного аппарата могла быть подтверждена в результате телефонного звонка нижестоящему оперативному персоналу. В настоящее время увеличивается количество необслуживаемых подстанций (ПС), кроме того, ТС начинают находить новое практическое применение в SCADA/EMS/DMS, являясь основой для определения текущего состояния топологии расчетных моделей сети, на которых базируется целый комплекс умных технологий, начиная со статического оценивания состояния электрического режима, заканчивая различными видами анализа и оптимизации режима.

Принцип действия. По факту прихода ТС об изменении состояния коммутационных аппаратов, способных изменить топологию расчетной модели сети, на основе обработки режимных параметров, поступающих на диспетчерские центры в составе потоков СВИ, вычисляется группа расчетных критериев. Далее на основании логического анализа динамики расчетных критериев производится автоматический вывод истинности ТС. Структурная схема процесса верификации ТС приведена на рис. 3.

В качестве расчетных критериев могут использоваться:

– векторная невязка (или ее модуль) напряжений из выражения закона Ома для электрической связи $\dot{U}_i - \dot{U}_j - \Delta\dot{U}_{ij} = \varepsilon \cdot u_{ij}$;
– векторная невязка (или ее модуль) баланса токов по электрической связи $\dot{I}_i - \dot{I}j - \pm\varepsilon \cdot i_{ij}$;
– устойчивые статистические связи между параметрами режима в параллельных или смежных электрических связях;
– расчетные выражения для вычисления Z электрической связи.

РЕЗЕРВНЫЕ УСТРОЙСТВА ФОЛ

В настоящее время вывод из работы устройств ФОЛ с одной из сторон линии электропередачи, являющейся пусковым органом ЦСПА, означает, что данный пусковой орган полностью выводится из действия ЦСПА со всеми вытекающими последствиями в отношении ужесточения системных ограничений (снижение допустимых перетоков мощности по сети).

При наличии on-line потока СВИ с обеих концов линии электропередачи возможно создать резервный ФОЛ, работающий на основе быстрого анализа динамики изменения режимных параметров.

ИНФОРМАЦИЯ

Переходной режим в энергетических системах — это переход системы из одного устойчивого состояния в другое в результате воздействия определенного возмущающего фактора: отключения или включения генератора, линии, нагрузки, короткого замыкания и т. п.

Такой переход всегда сопровождается изменением параметров электрической сети, при этом в сети возникают нежелательные колебания токов, напряжений, частоты и других параметров.

В зависимости от совокупности различных факторов системы переходной режим может завершиться переходом в новый стационарный режим или перейти в серьезную системную аварию. Одним из методов предотвращения таких аварийных ситуаций является подход, основанный на математическом моделировании рабочих режимов энергосистем. При этом точность моделирования существенно повышается с помощью непрерывной верификации и соответствующей коррекции моделей на основе постоянного онлайн анализа переходных режимов, для чего и существуют системы мониторинга переходных режимов (СМПР).

Современные компьютеризованные системы мониторинга переходных режимов формируют распределенные системы с использованием синхронизированных векторных измерений для углубленной аналитики динамических процессов, происходящих в энергосистеме. Такие системы предоставляет диспетчеру информацию нового качества, что позволяет решать ряд сложных задач.

Принципы действия резервного ФОЛ аналогичны принципу действия системы верификации ТС с учетом двух отличий:

- резервный ФОЛ должен работать в постоянном ждущем режиме (в отличие от системы верификации ТС, где запуск инициируется по факту прихода ТС) или для запуска резервного ФОЛ необходим постоянно действующий режимный критерий отключения;
- необходимо обеспечить быстродействие резервного ФОЛ не ниже 200 мс.

С развитием технологий синхронизированных измерений до уровня наблюдения и фиксации мгновенных значений параметров режима существенно расширятся возможности on-line диагностики высоковольтного оборудования, появится возможность создания базовых интеллектуальных пусковых органов для РЗ и ПА на объектах электроэнергетики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие оперативной информации о характеристиках возникающих низкочастотных колебаний и иных динамических характеристиках электрических режимов позволяет улучшить ситуационную осведомленность диспетчеров и принимать превентивные меры по предотвращению развития аварийных ситуаций.

Применение технологии СВИ в масштабах Объединенной электроэнергетической системы требует выбора и применения программной платформы верхнего уровня, удовлетворяющей высоким требованиям по производительности, устойчивости и масштабируемости. Создание такой платформы, начатое в рамках пилотного проекта, позволит создать практическую основу для разработки и применения новых алгоритмов, рассмотренных в настоящей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilson D. (Psymetrix, UK), Goutard E. (Alstom Grid, France). Connection and management of distributed generation using synchrophasor measurement and advanced distribution management system. 21st International Conferenceon Electricity Distribution. Frankfurt, 6–9 June 2011.
2. Уилсон Д., Фолкс Р. (ALSTOMGRID, Великобритания). Международный опыт мониторинга устойчивости энергосистем с использованием технологии WAMS. IV международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». Екатеринбург, 3–7 июня 2013 г.
3. Жуков А.В., Дубинин Д.М., Опалев О.Л., Уткин Д.Н. (ОАО «СО ЕЭС»). Развитие задач мониторинга и управления в ЕЭС России на базе Системы мониторинга переходных режимов. Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем». М., 27–29 мая 2014.
4. Жуков А.В., Дубинин Д.М., Опалев О.Л., Уткин Д.Н. (ОАО «СО ЕЭС»). Разработка алгоритмов идентификации и мониторинга низкочастотных колебаний по данным СМПР. Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем». М., 27–29 мая 2014.
5. Небера А.А., Казаков П.Н. (ЗАО «РТСофт») Программный комплекс PhasorPoint: новые аспекты международного опыта и перспективы применения в России. Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем». М., 27–29 мая 2014.

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МЕДИАКИТ 2016
УЧРЕДИТЕЛЬ: ПАО «ФСК ЕЭС» ИЗДАТЕЛЬ: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»
+7 (495) 727-1909 (доб. 1304, 1731)
adv@ntc-power.ru

УМНЫЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ
СЕТЕВЫЕ КОМПАНИИ РОССЕТИ ЛИЧНО В РУКИ ФСК ЕЭС
ПРОИЗВОДИТЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ИНЖЕНЕРЫ РУКОВОДИТЕЛИ
СПЕЦИАЛИСТЫ МИНЭНЕРГО МЕНЕДЖЕРЫ НИИ
МРСК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ВУЗЫ РАН
ЭНЕРГОХОЛДИНГИ
СТУДЕНТЫ ПМЭС ЦЕЛЕВАЯ РАССЫЛКА МОЛОДЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ
ГЛАВНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ
ПОСТАВЩИКИ ОБОРУДОВАНИЯ МЭС ПРОЕКТИРОВЩИКИ
WWW.ЭНЕРГИЯ-ЕДИНОЙ-СЕТИ.РФ