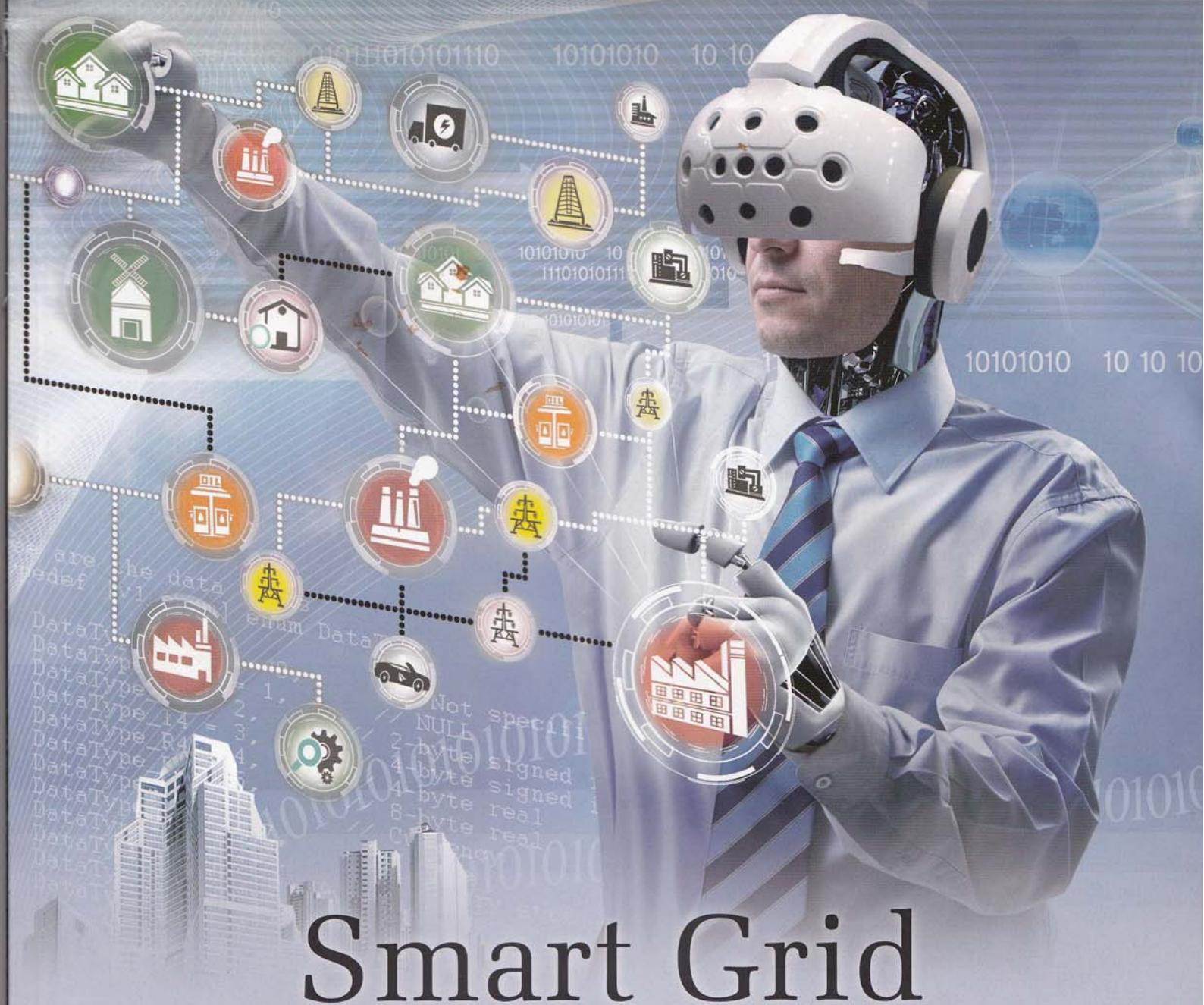


Релейщик

Журнал для специалистов в области цифровой техники и технологий для энергетики

02 / октябрь 2013



Smart Grid

6 ОАО «Россети» планирует направить 34 млрд. рублей на инновационные технологии для энергетики

8 На пути к Smart Grid: ИТ для интеллектуального учета

52 Развитие Системы мониторинга переходных режимов в ЕЭС России

Технология будущего – Sampled Values предоставляет множество преимуществ для энергосистем завтрашнего дня

Интеллектуальные энергосистемы: мотивация, ставки и перспективы

Опыт внедрения селективной защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–35 кВ

Централизованный комплекс релейной защиты и автоматики в распределительных сетях с малой генерацией

12**18****24****46**

Развитие Системы мониторинга переходных режимов в ЕЭС России. Обзор задач мониторинга и управления

Современные тенденции развития систем оперативно-диспетчерского и автоматического управления режимом работы электроэнергетических систем выдвигают требования по повышению уровня их технического совершенства на платформе использования синхронизированных векторных измерений параметров электроэнергетического режима. За рубежом широкое применение получили системы мониторинга Wide Area Measurement System (WAMS), базирующиеся на технологии векторных измерений. В России идеологию применения синхронизированных векторных измерений в технологиях оперативно-диспетчерского и автоматического управления режимами работы ЕЭС России разрабатывает ОАО «СО ЕЭС» [1–4].

Авторы:

Жуков А.В.,
Сацук Е.И.,
Дубинин Д.М.,
Опалев О.Л.

Работы по применению технологии векторных измерений в ЕЭС России для решения практических задач управления начаты в 2005 году. ОАО «СО ЕЭС» инициировало создание в ЕЭС России системы мониторинга переходных режимов (СМПР), предусматривающей регистрацию синхронизированных по времени векторных измерений параметров электроэнергетического режима в отдельных узлах ЕЭС России, благодаря использованию сигналов синхронизации глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Изучение мирового опыта показывает преимущества применения синхронизированных векторных измерений для решения задач управления ЭЭС: качественно новая информация о параметрах электроэнергетического режима предоставляет специалистам возможность совершенствования методов и алгоритмов в целях повышения надежности управления электрическими режимами энергосистемы.

Перспектива развития ЕЭС России, определенная «Энергетической стратегией России на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 года и направленной на повышение управляемости и обеспечение гарантированной надежности функционирования ЕЭС России, предусматривает широкое внедрение гибких систем передачи электроэнергии, а также совершенствование комплексов систем автоматического и диспетчерского управления. Реализация указанных планов ориентирована на внедрение в ЕЭС России управляемых элементов на базе силовой электроники (FACTS, flexible alternating current transmission system). Управляемые режимы работы FACTS неизбежно приведут к изменению параметров электрической сети, динамических свойств энергосистемы и характеристик электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Необходимость учета изменения характеристик энер-

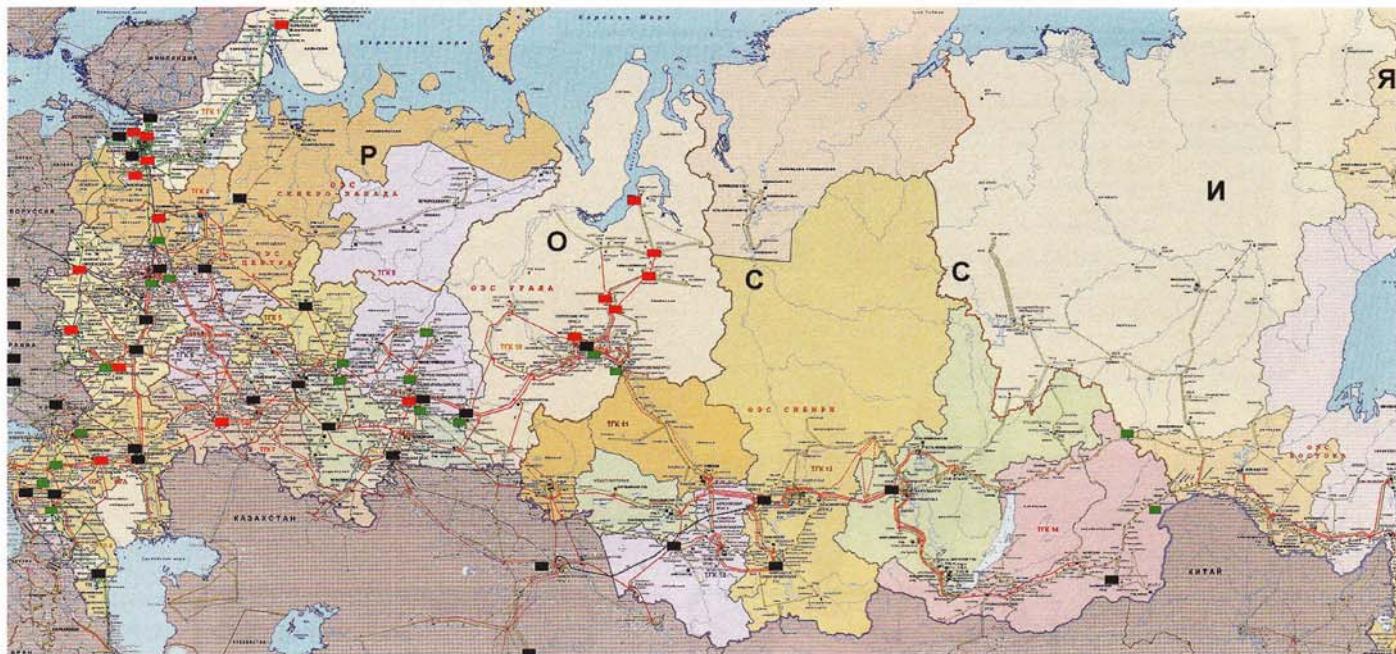


Рис. 1. Схема размещения регистраторов СМПР в ЕЭС/ОЭС. ■ – ПТК СМПР, функционирующие в режимах on-line и off-line; ■ – ПТК СМПР, функционирующие в режиме off-line; ■ – установка новых ПТК СМПР в 2-х летней перспективе

госистемы в реальном масштабе времени ставит задачу повышения технического совершенства систем управления путем разработки и применения адаптивных алгоритмов функционирования, базирующихся на современных ИТ-технологиях и использовании векторных измерений параметров электроэнергетического режима.

РАЗВИТИЕ СМПР В ЕЭС РОССИИ

ОАО «СО ЕЭС» является идеологом развития и применения технологии векторных измерений в ЕЭС России. Работы ведутся по следующим основным направлениям:

■ Создание отечественных устройств синхронизированных векторных измерений:

- первый отечественный векторный измерительный преобразователь (PMU, Phasor Measurement Unit) МИП-01 в составе регистратора Smart-WAMS был создан ЗАО «РТСофт» в 2006 году. В настоящее время четыре отечественных компании выпускают устройства синхронизированных векторных измерений: ЗАО «РТСофт» (МИП-02), ООО «Парма» (ЦРАП ПАРМА РП-11), ООО «Прософт-Системы» (РЭС-3 СМПР), ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» (ЭНИП-3 СМПР);
- компанией ООО «АльтероПауэр» осуществлена разработка концентраторов векторных данных (Phasor Data Concentrator, PDC) и их внедрение в

диспетчерских центрах ОАО «СО ЕЭС» и на объектах электроэнергетики (Сургутской ГРЭС-2 и Березовской ГРЭС);

- ОАО «СО ЕЭС» совместно с разработчиками ведутся работы по повышению технического совершенства PMU в части повышения надежности, точности измерений, увеличения частоты дискретизации измерений, расширения функциональности и т.д. В частности, проведены работы по реализации функций регистрации синхронизированных векторных измерений и аварийных событий на базе регистраторов аварийных событий ПАРМА РП 4.11 (ООО «ПАРМА») и РЭС-3 СМПР (ООО «Прософт-Системы»), что позволяет существенно увеличить количество точек регистрации синхронизированных векторных измерений в ЕЭС России.

■ Разработка нормативно-методической базы применения синхронизированных векторных измерений:

- разработаны требования к векторным измерительным преобразователям и программно-техническим комплексам СМПР (ПТК СМПР) объектов электроэнергетики;
- разработана и апробирована Методика и программа сертификационных испытаний векторных измерительных преобразователей;
- требования к организации мониторинга переходных режимов в энергоси-

стемах для задач противоаварийного управления внесены в Национальный Стандарт РФ (ГОСТ Р 55105-2012) «Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования».

■ Организация работ по проектированию и внедрению ПТК СМПР на энергообъектах:

- разработаны Системные проекты развития СМПР в объединенных энергосистемах Урала и Сибири;
- разработан и реализован проект создания ПТК СМПР в ОАО «Концерн Росэнергоатом» на Белоярской АЭС, Калининской АЭС, Курской АЭС, Нововоронежской АЭС, Смоленской АЭС, Ростовской АЭС, Ленинградской АЭС и Колской АЭС;
- в соответствии с требованиями к организации мониторинга переходных режимов в энергосистемах для задач противоаварийного управления проектирование ПТК СМПР осуществляется на вновь вводимых и реконструируемых действующих объектах электроэнергетики (схема размещения регистраторов СМПР показана на рис. 1).

■ Создание системы автоматического сбора информации в режимах on-line и off-line для задач диспетчерского и

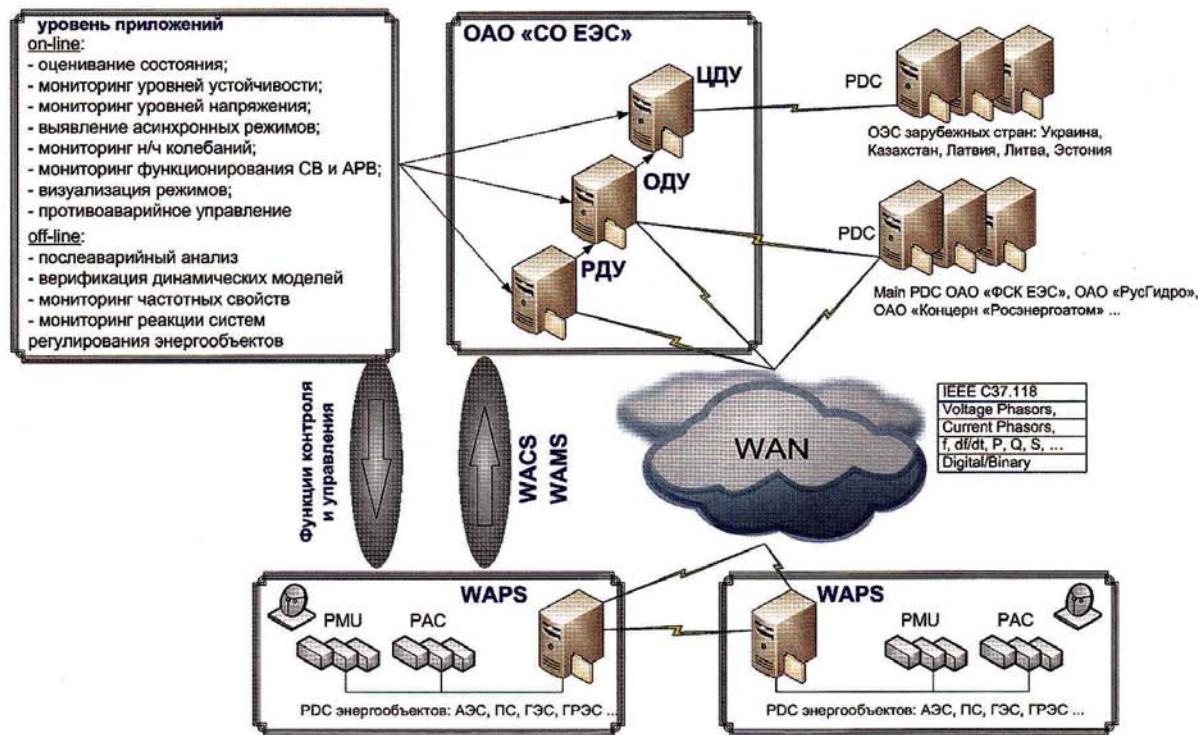


Рис. 2. Структурная схема АС СИ СМПР ЕЭС/ОЭС

автоматического противоаварийного управления

В 2012 году в диспетчерских центрах ОАО «СО ЕЭС» введена в промышленную эксплуатацию Автоматическая система сбора информации с регистраторами СМПР (АС СИ СМПР). Структурная схема АС СИ СМПР показана на рис. 2. Учитывая большой объем передаваемой информации с регистраторов СМПР в диспетчерские центры ОАО «СО ЕЭС», проведены работы по оптимизации информационного обмена технологической информацией между энергообъектами и диспетчерскими центрами, что позволило значительно увеличить эффективность используемых каналов связи.

■ Развитие технологий оперативно-диспетчерского и автоматического управления энергосистемой на базе векторных измерений

С целью повышения качества и надежности оперативно-диспетчерского и автоматического управления энергосистемой ОАО «СО ЕЭС» инициировал разработку и внедрение следующих систем:

- для обеспечения максимальной пропускной способности линий электропередач с учетом реальных схемно-режимных условий работы энергосистемы, определения запасов устойчивости и перетоков активной мощности в контролируемых сечениях в режиме реального времени разработана и введена в промышленную

эксплуатацию Система мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) в северных районах Тюменской области [5]. Работы по дальнейшему развитию СМЗУ и ее внедрению в ОЭС Северо-Запада запланированы в 2013–2014 гг.;

• в целях контроля правильности функционирования систем возбуждения и автоматических регуляторов возбуждения генераторов электростанций разработан и внедрен pilotный проект системы мониторинга системных регуляторов (СМСР) на Северо-Западной ТЭЦ [6]. Работы по дальнейшему развитию СМСР предусмотрены в проекте ее внедрения на Краснодарской ТЭЦ в 2013–2014 гг.;

• для исследования динамических свойств энергосистемы и выявления низкочастотных колебаний, включая идентификацию источника колебаний, разработано и проходит тестирование ПО мониторинга низкочастотных колебаний. Работы по его интеграции с АС СИ СМПР запланированы на 2013–2014 гг.

• синхронизированные векторные измерения применяются в программах оценивания состояния энергосистем в программно-технических комплексах централизованных систем противоаварийной автоматики (ЦСПА).

■ Сопровождение эксплуатации ПТК СМПР на объектах электроэнергетики

ОАО «СО ЕЭС» обеспечивает проведение мероприятий по вводу ПТК СМПР энергообъектов в промышленную эксплуатацию и контролирует функционирование комплексов после их ввода в эксплуатацию на постоянной основе посредством АС СИ СМПР.

В решении вышеперечисленных задач ОАО «СО ЕЭС» активно сотрудничает с российскими и зарубежными партнерами, в том числе с ОАО «НТЦ ЕЭС», ОАО «Институт Энергосетьпроект», ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», ЗАО «РТСофт», ООО «Парма», ООО «Прософт-Системы», ООО «АльтероПауэр», Alstom, исследовательским комитетом В5 «Релейная защита и автоматика» Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения (SC B5 CIGRE «Protection and Automation»), объединением крупнейших мировых системных операторов (VLPGO) и др.

В настоящее время в ЕЭС России введено в эксплуатацию 47 комплексов СМПР, количество PMU составляет 230 единиц. На период 2013–2014 гг. запланировано:

- внедрение ПТК СМПР на Няганьской ГРЭС, Белоярской АЭС-2, Конаковской ГРЭС, ТЭЦ-16 Мосэнерго, Невинномысской ГРЭС, Тюменской ТЭЦ-1, Воткинской ГЭС, Серовской ГРЭС, Нижневартовской ГРЭС, Калининградской ТЭЦ-2, а также на ряде подстанций ОАО «ФСК ЕЭС»;

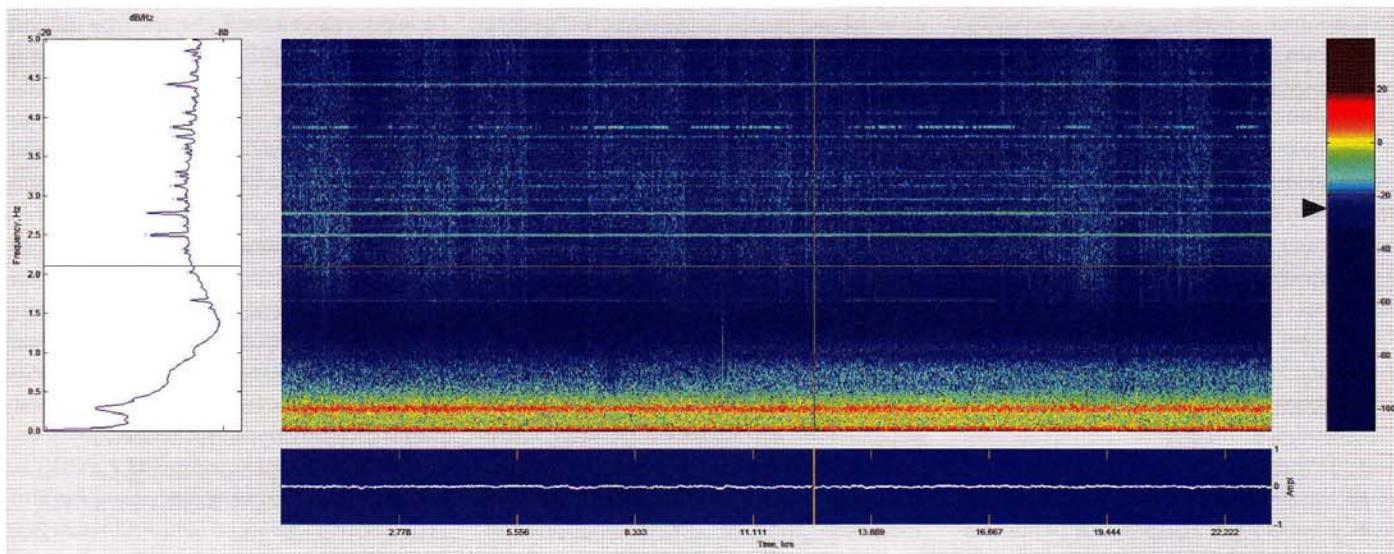


Рис. 3. Суточный спектр частоты Кольской АЭС в диапазоне 0...5 Гц

- модернизация существующих комплексов СМПР ПС 1150 кВ Алтай, Саяно-Шушенской ГЭС, Загорской ГАЭС, Калининской, Курской, Нововоронежской, Ростовской и Смоленской АЭС.

По предварительной оценке к концу 2014 года комплексы СМПР будут развернуты более чем на 60 объектах электроэнергетики (более 300 PMU), а в перспективе до 2020 года (табл. 1) – на 200 объектах электроэнергетики ЕЭС России (более 1000 PMU).

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Внедрение АС СИ СМПР и наращивание количества установленных PMU и концентраторов векторных данных на объектах электроэнергетики обеспечивают техническую возможность применения данных синхронизированных векторных измерений в практических задачах. Очевидно, что данная технология предоставляет более точную (как по величине измеряемых величин, так и по синхронизации времени измерений) информацию по сравнению с существующими системами телеметрии, и основная задача для развития и реализации ее потенциала – разработка новых и адаптация существующего ПО (приложений к ПО) с целью улучшения надежности и качества управления энергосистемой.

Учитывая распределенную (иерархическую) архитектуру систем управления, возможность использования синхронизированных векторных измерений для решения

конкретных задач управления во многом определяется характеристиками каналов передачи данных с уровня энергообъекта в центры обработки информации (диспетчерские центры ОАО «СО ЕЭС»). В связи с этим основные области применения синхронизированных векторных измерений условно разделены на две основных категории:

- аналитические и расчетные приложения с использованием архивной информации (off-line);
- задачи мониторинга и управления режимами работы энергосистем в режиме реального времени (on-line).

Анализ мирового опыта использования синхронизированных векторных измерений для задач управления энергосистемой показывает следующие направления их применения в Системных операторах и энергетических компаниях:

- Для задач оперативно-диспетчерского и автоматического противоаварийного управления:

- управление перетоками мощности электрической сети с учетом наличия и уровня низкочастотных колебаний;

- синхронизация частей системы после их аварийного разделения;
 - управление перетоками мощности электрической сети с контролем относительного угла;
 - мониторинг условий возникновения аварий с целью принятия мер по их предотвращению и развитию;
 - сituационная осведомленность диспетчера (визуализация динамики изменения режимных параметров, интеграция результатов анализа с различными средствами визуализации);
 - мониторинг устойчивости нагрузки по напряжению;
 - оценивание состояния;
 - расчет и графическое отображение резервов реактивной мощности и т.д.
- Мониторинг низкочастотных колебаний (идентификация модального состава колебаний, режимных параметров, доминантных локальных и межзональных мод и определение параметров низкочастотных колебаний, включая коэффициенты демпфирования) предназначен для оценки уровня колебательной устойчивости. В качестве примера на рис. 3 показан су-

Таблица 1. Текущее состояние и перспектива развития СМПР ЕЭС до 2020 года

Операционная зона	кол-во ПТК СМПР	PMU	кол-во ЗО с передачей инфо в on-line	перспектива развития до 2020 года
03 ОДУ Северо-Запада	8	52	5	до 20 энергообъектов
03 ОДУ Сибири	6	17	1	до 40 энергообъектов
03 ОДУ Средней Волги	3	13	1	до 10 энергообъектов
03 ОДУ Урала	16	64	8	до 60 энергообъектов
03 ОДУ Центра	8	57	4	до 30 энергообъектов
03 ОДУ Юга	6	27	1	до 30 энергообъектов
03 ОДУ Востока	-	-	-	до 10 энергообъектов
ВСЕГО	47	230	20	до 200 энергообъектов

точный спектр частоты Кольской АЭС в диапазоне 0–5 Гц, на котором представлены доминантные моды низкочастотных колебаний.

■ Для задач, решаемых технологическим персоналом (специалистами служб электрических режимов, релейной защиты и автоматики):

- верификация расчетных моделей;
- повышение точности оценивания состояния;
- расследование технологических возмущений и аварийных ситуаций (постава-рийный анализ);
- уточнение расчета максимально-допустимых перетоков;
- уточнение статических и динамических характеристик энергосистемы;
- мониторинг корректности работы системных регуляторов;
- определение мест повреждения;
- оценивание состояния;
- уточнение параметров схем замещения линий электропередачи, силового оборудования и нагрузки потребителей.

■ Для задач, решаемых персоналом энергетических компаний:

- диагностика состояния линий передач и силового оборудования;
- мониторинг качества электроэнергии;

• мониторинг корректности работы системных регуляторов;

- расследование технологических возмущений и аварийных ситуаций (постава-рийный анализ);
- определение мест повреждения и т.д.

В последние годы как за рубежом, так и в России ведутся разработки систем автоматического управления энергосистем в нормальных и аварийных режимах работы, использующие в своих алгоритмах данные синхронизированных векторных измерений: системы автоматического управления нормального режима называют WACS (Wide Area Control System), аварийного режима – WAPS (Wide Area Protection System). Векторные измерительные преобразователи, применяемые как пусковой орган систем автоматики, называют PMCU (Phasor Measurement Control Unit). Использование технологии векторных измерений для целей автоматического управления предъявляет повышенные требования к характеристикам измерительных устройств и каналам передачи данных (точности, быстродействию, надежности, электромагнитной совместимости, кибербезопасности и т.д.). Технология, применяемая для мониторинга, управления и защиты на базе векторных измерений, получила в зарубежной технической литературе аббревиатуру WAMPACS (Wide Area Monitoring, Protection and Control System).

Очевидно, что каждая из приведенных выше задач имеет свою специфику и предъявляет свои требования к составу, точности, дискретизации, допустимым задержкам входной информации и времени ее решения. Поэтому актуально рассмотрение вопроса о разработке требований к составу информации для каждой задачи, формализация требований к аппаратной части регистраторов, концентраторов векторных данных, архитектуре построения системы, требований к размещению PMU и PDC на энергообъектах, коммуникационным протоколам обмена данными и т.д. (см. табл. 2).

В принятом в 2011 году международном Стандарте C37.118.1 предъявляются требования к характеристикам PMU в части точности фиксации параметров электроэнергетического режима в стационарных и переходных режимах. Стандартом определены требования для двух классов устройств: PMU класса «M» (measurement) должны производить высокоточные измерения в стационарном режиме, а измерители класса «P» (protection) предназначены для быстрых измерений в переходных режимах. В то же время следует учитывать, что Стандарт не специфицирует требования к алго-

Таблица 2. Требования к входной информации для различных задач

ЗАДАЧИ	класс (М/Р)	цикличность сбора данных	необходимые параметры ЗР	режим сбора данных
режим OFF-LINE – приложения с применением архивных данных				
Пост-аварийный анализ	M	50 Гц	$f, U_{\phi}, I_{\phi}, P, Q, \delta$	при небалансах от 500 МВт
Исследование динамических свойств ЕЭС	M	50 Гц	$f, U_{\phi}, I_{\phi}, P, Q, \delta$	
Верификация расчетных моделей	M	10...50 Гц	$f, U_i, I_i, P, Q, \delta$	
Визуализация динамики изменения параметров электроэнергетического режима	M	50 Гц	$U_i, f, U, I, P, Q, \delta$	непрерывный
Определение параметров схем замещения линий	M	1 Гц	$f, U_{\phi}, I_{\phi}, P, Q, \delta$	периодически
режим ON-LINE – приложения, функционирующие в режиме реального времени				
Мониторинг устойчивости по напряжению	M	1...10 Гц	f, U_i, P, Q, δ	непрерывный
Расчет максимально-допустимых перетоков	M	10...50 Гц	U_i, I_i, P, Q, δ	непрерывный
Мониторинг перетоков в контролируемых сечениях	M	10...50 Гц	U_i, I_i, P, Q, δ	непрерывный
Управление по углу (напряжению, реактивной мощности)	M, P	1...50 Гц	$U_i, P, Q, \delta, \delta_{\text{гей}}$	непрерывный
Мониторинг НЧК, параметров колебаний	M	50 Гц...100 Гц	f, U_i, P, Q, δ	непрерывный
Оценивание состояния	M	1...10 Гц	f, U_i, P, δ	непрерывный
Контроль корректности работы АРВ и СВ	M	1...50 Гц	$U_i, f, P, Q, \delta, I_{\text{возб}}, U_{\text{возб}}$	непрерывный
Контроль корректности регулирования частоты	M	1...10 Гц	f	непрерывный
Восстановление энергосистемы (islanding)	M	1...50 Гц	U_i, f, P, δ	непрерывный
Задачи управления (экспорт данных в ЦСПА, АРЧМ)	M, P	1...50 Гц	$f, U_i, I_i, P, Q, \delta$	непрерывный
Обмен данными с EMS-приложениями	M	1...10 Гц	$f, U_i, I_i, P, Q, \delta$	непрерывный
Системы ПА	P	1...50...400 Гц	в зависимости от алгоритма	непрерывный

ритмам вычислений, временному окну и т.п. и, очевидно, что в стационарном и переходном режимах погрешности измерений различных PMU, и даже PMU одного типа с различными настройками, могут значительно отличаться. В идеальном случае PMU должно быть отстроено от помех в виде свободных составляющих токов и напряжений в электромагнитных переходных процессах и высших гармоник, обеспечивать требуемую точность измерения векторов тока и напряжения при изменении частоты в энергосистеме, а также при изменении огибающих токов и напряжений основной гармоники в условиях переходных процессов [9].

В связи с вышеизложенным актуальным вопросом остается проверка характеристик российских PMU на соответствие требованиям указанного Стандарта и требованиям к точности измерений для анализа возможности их применения в различных задачах.

В настоящее время в функционирующей в ЕЭС России Системе мониторинга переходных режимов применяются PMU 5-ти производителей:

- МИП-01, МИП-02 (ЗАО «РТСофт»);
- ЦРАП ПАРМА РП-11 (ООО «Парма»);
- РЭС-3 СМПР (ОАО «Прософт-Системы»);

- ЭНИП-3 СМПР (ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис»);
- Power Sentinel модели 1133A (Arbiter Systems, USA).

Отечественные производители разрабатывают новые PMU, например, разработан и прошел испытания PMU производства ЗАО «ИТЦ Континум».

ОАО «СО ЕЭС» неоднократно проводил сравнительные испытания отечественных и зарубежных PMU с целью со-поставления их характеристик и оценки возможности их применения в ЕЭС России. Данные испытания проводились на цифровом аналогово-физическом комплексе ОАО «НТЦ ЕЭС» и позволили создать техническую платформу разрабатываемых систем мониторинга переходных режимов, запасов устойчивости и корректности работы системных регуляторов.

В то же время для проверки характеристик PMU в стационарных и переходных режимах на соответствие требованиям Стандарта C37.118.1 ОАО «СО ЕЭС» инициировал их тестирование на программно-аппаратном комплексе RTDS – цифровом симуляторе энергосистемы, работающем в режиме жесткого реального времени. Была разработана

Методика проведения сертификационных испытаний PMU и проведены тестовые испытания в августе текущего года на RTDS в ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». Преимущество проведения испытаний именно на модели RTDS заключается в возможности повторения тестов с одинаковыми параметрами исходной модели и тестовых сигналов неограниченное количество раз. В настоящее время ведется обработка результатов испытаний, которые станут предметом серьезного анализа и обсуждения дальнейших путей совершенствования PMU для их использования в системах автоматического управления (control&protection).

Одна из актуальных задач повышения качества оперативно-диспетчерского управления – оптимизация представления информации диспетчерскому персоналу, в том числе визуализация параметров электроэнергетического режима и состояния силового оборудования объектов электроэнергетики и ЛЭП. Над разработкой и совершенствованием программных продуктов, обеспечивающих адекватное представление процессов в энергетической системе на базе векторных измерений и повышающих оператив-

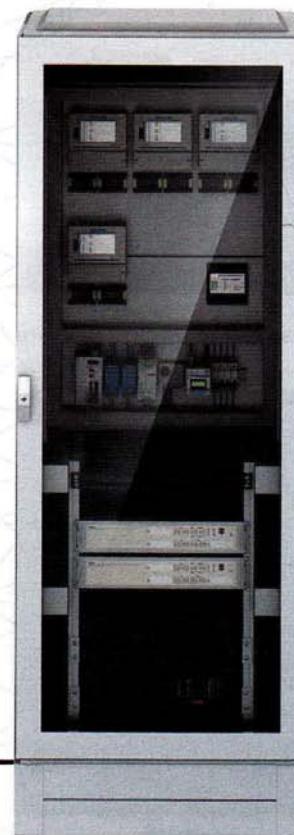
СИСТЕМА МИНИТОРИНГА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ

для массового внедрения
синхронизированных векторных измерений
на подстанциях и электростанциях



Программно-технический комплекс для измерения и передачи синхронизированных векторных измерений в соответствии с C37.118 в составе:

- Устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП
- Концентратор данных векторных измерений ES-PDC
- Подсистема синхронизации времени (GPS, ГЛОНАСС)
- Панель диагностики СМПР



Visualization & Event Alarms Client

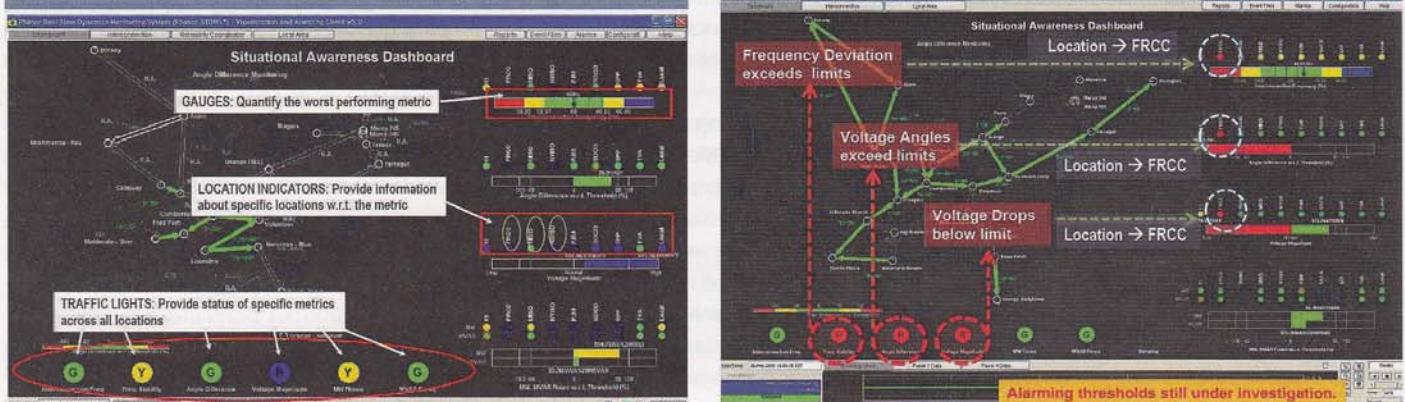


Рис. 4. Экранные формы RTDMS

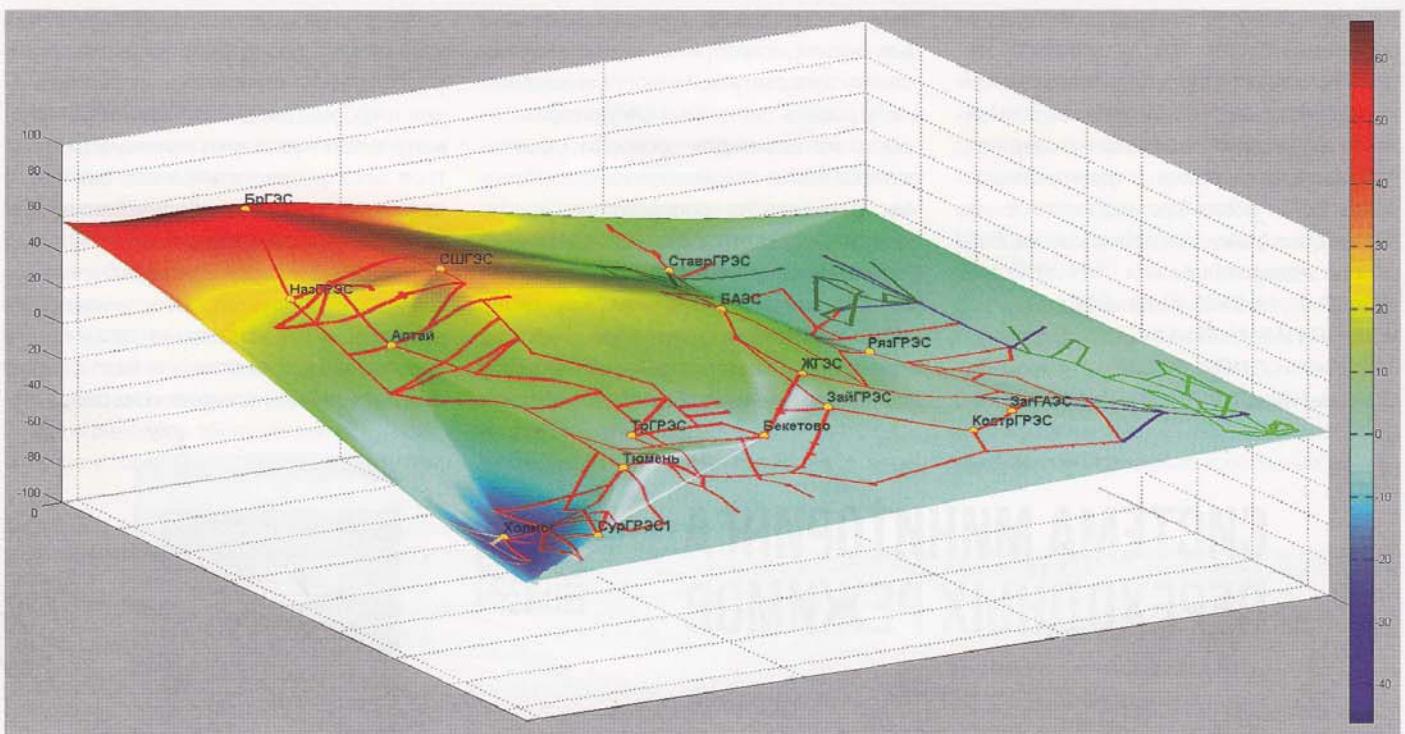


Рис. 5. Распределение относительных углов напряжения по ЕЭС

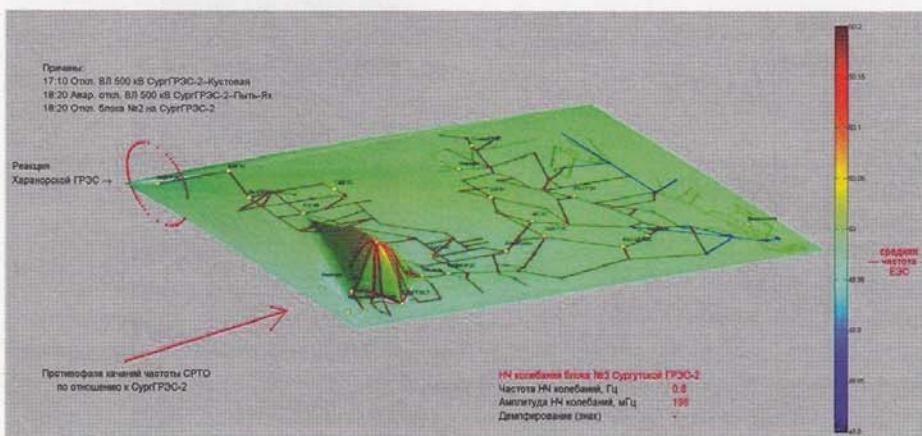


Рис. 6. Качания частоты на Сургутской ГРЭС-2 и идентификация параметров низкочастотных колебаний

ность принятия диспетчером решений, в настоящий момент за рубежом ведут работы такие компании как Alstom, OSIsoft, Elpros, ABB, Siemens, PowerWorld и т.д. Один из наиболее функциональных продуктов – RTDMS (Real Time Dynamic Monitor System, USA), установленный в диспетчерских центрах всех Системных операторов США (рис. 4).

В ОАО «СО ЕЭС» также ведется разработка визуализационных форм представления информации и соответствующего ПО. На рис. 5, 6, 7 представлены скриншоты разработанного прототипа ПО объемного представления динамики изменения параметров электрического режима в масштабах ЕЭС России по

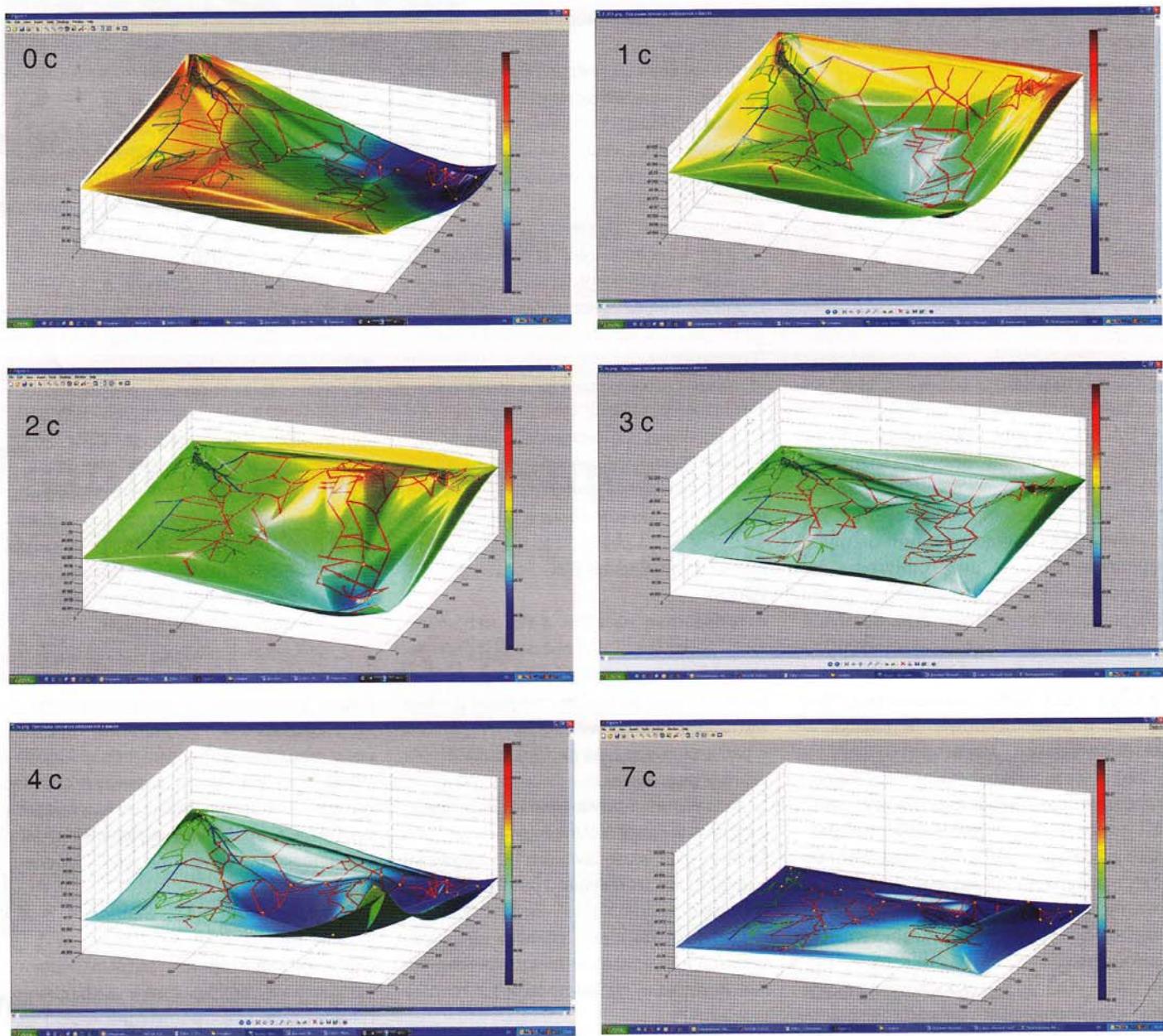


Рис. 7. Процесс распространения волны частоты по ЕЭС при отключении энергоблока Нижневартовской ГРЭС (небаланс 795 МВт)

данным СМПР. Синхронизированность измерений обеспечивает возможность графической визуализации реальных переходных процессов в ЕЭС России. Идея мониторинга режимных параметров в масштабах всего энергообъединения является идеей глобального мониторинга. Она реализована в энергосистемах США, Китая, Испании и др. Технология, образно говоря, выполняет множество последовательных мгновенных снимков состояния энергосистемы, визуализируя динамику изменения режимных параметров и предоставляет диспетчеру четкую картину происходящих процессов в электроэнергетической системе.

Визуализация динамики изменения режимных параметров – перспективное направление разработки и может быть использована для решения следующих задач оперативно-диспетческого управления:

- идентификации технологического возмущения и места его возникновения;
- мониторинга возникновения и развития синхронных (асинхронных) качаний;
- мониторинга разделения энергосистемы на части;
- мониторинга динамических свойств энергосистемы и отдельных ее узлов;
- пост-аварийного анализа технологического возмущения;
- противоаварийных тренировок диспетческого персонала и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя промежуточные итоги развития и применения технологии синхронизированных векторных измерений в ЕЭС России, можно отметить следующее:

- ОАО «СО ЕЭС» осуществляет функции идеолога и координатора развития технологии синхронизированных векторных измерений для задач мониторинга и управления в ЕЭС России;
- стратегия развития и внедрения технологии векторных измерений направлена на решение практических задач мониторинга и повышения эффективности управления ЕЭС России;
- развитие технологии синхронизированных векторных измерений в ЕЭС России

осуществляется силами российских специалистов с учетом опыта, накопленного за рубежом;

■ в настоящее время в России создана технологическая платформа, позволяющая использовать векторные on- и off-line измерения параметров режима в практических задачах оперативно-диспетчерского и автоматического управления;

■ разработанная ОАО «СО ЕЭС» нормативно-методическая база обеспечивает возможность проектирования и внедрения систем WAMPACS на вновь вводимых и реконструируемых объектах электроэнергетики ЕЭС России;

■ ОАО «СО ЕЭС» обеспечивает постоянный мониторинг работы созданной СМПР ЕЭС. Данные регистрации векторных измерений используются для анализа электрических режимов, динамических свойств энергосистемы при проведении системных испытаний, распределении технологических возмущений и аварийных ситуаций в энергосистеме;

■ ОАО «СО ЕЭС» разработаны, внедрены и совершенствуются технологии автоматического мониторинга запасов устойчивости электрической сети и мониторинга корректности работы системных регуляторов электростанций, работающие в режиме реального времени. Ведутся работы по применению технологии векторных измерений при разработке современных устройств противоаварийной автоматики;

■ ОАО «СО ЕЭС» координирует усилия отечественных разработчиков по совершенствованию аппаратной базы устройств синхронизированных векторных измерений, в том числе формирует требования к функциональности и техническим характеристикам регистраторов и является организатором проведения испытаний PMU;

■ ОАО «СО ЕЭС» определяет идеологию и ведет разработку программных средств анализа динамических свойств ЕЭС России, выявления и идентификации низкочастотных колебаний, оценки демпфирующих свойств энергосистемы для последующего их применения в задачах оперативно-диспетчерского и автоматического управления.

В качестве ближайших задач развития технологий управления в ЕЭС России, базирующихся на данных векторных измерений Системы мониторинга

переходных режимов, можно отметить следующие:

- проведение исследований, связанных с применением синхронизированных векторных измерений параметров режима в системах управления в условиях внедрения в ЕЭС России элементов активно-адаптивных сетей;

- разработка адаптивных алгоритмов выбора управляющих воздействий систем автоматического режимного и противоаварийного управления ЕЭС России, базирующихся на современных ИТ-технологиях и использовании векторных измерений параметров электроэнергетического режима;

- разработка отечественных регистраторов СМПР нового поколения с целью их применения в качестве пусковых органов и низовых устройств в системах автоматического режимного и противоаварийного управления ЕЭС России (WACS, WAPS);

- разработка методов и ПО актуализации в режиме on-line параметров схем замещения элементов электроэнергетической системы на основе текущих данных векторных измерений для их применения в расчетных задачах систем автоматического управления;

- разработка пакета прикладных задач к программному комплексу «Советчика диспетчера», включающего ПО анализа и оценки тяжести текущего режима энергосистемы, прогнозирования последствий утяжеления текущего режима энергосистемы и визуализации динамики изменения режимных параметров и их тенденций и т.п.;

- разработка стандарта ОАО «СО ЕЭС» «Требования к системе векторной регистрации параметров электроэнергетического режима для задач оперативно-диспетчерского и автоматического управления ЕЭС России»;

- типизация проектных решений по созданию на объектах электроэнергетики программно-технических комплексов регистрации параметров электроэнергетического режима ЛЭП и оборудования;

- привлечение субъектов электроэнергетики к разработке технологических задач, связанных с оценкой эксплуатационного состояния и остаточного ресурса силового оборудования, корректности работы систем регулирования на базе данных синхронизированных векторных измерений и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аюев Б.И. О системе мониторинга переходных режимов / Энергогорынок, № 2, 2006.

2. Шульгинов Н.Г., Кощев Л.А., Жуков А.В., Демчук А.Т. Повышение эксплуатационной надежности ЕЭС России средствами противоаварийного автоматического управления – Материалы 43-й сессии СИГРЭ, 2010 г.

3. Жуков А.В., Демчук А.Т., Дубинин Д.М. Развитие технологий векторной регистрации параметров для противоаварийного и режимного управления электрическими режимами энергосистем / РЗА 2012 // Тез. докл. XXI междунар. науч.-техн. конф. М., ВВЦ, 2012. С. 232–245.

4. Куликов Ю.А. Использование технологии векторного измерения параметров в ЕЭС России для информационного обеспечения оперативно-диспетчерского управления / «Энергетик», № 1, 2009.

5. Демчук А.Т., Жуков А.В., Кац П.Я., Данилин В.А. Система мониторинга запасов устойчивости энергосистемы с использованием технологии векторного измерения параметров / Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем. Сб. тр. Международной научно-технической конференции, Москва, 2009.

6. Герасимов А.С., Есипович А.Х., Жуков А.В., Демчук А.Т., Негреев А.П. Система мониторинга автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов электростанций ЕЭС России / РЗА 2012 // Тез. докл. XXI междунар. науч.-техн. конф. М., ВВЦ, 2012. С. 457–463.

7. Аюев Б.И., Герасимов А.С., Есипович А.Х., Куликов Ю.А. Верификация цифровых моделей ЕЭС/ОЭС. Электричество, № 5, 2008.

8. Герасимов А.С., Есипович А.Х., Куликов Ю.А., Смирнов А.Н. Опыт верификации динамической модели ЕЭС/ОЭС по данным системы мониторинга переходных режимов. / Сборник научных трудов «Известия НИИ постоянного тока». СПб, 2009.

9. Мокеев А.В. Алгоритмы обработки сигналов ИЭУ на основе технологии векторных измерений / Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. М., 2011.