

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

АВТОРЫ:

БАЛАБИН М.А.,
К.Т.Н.
ФИЛИАЛ ОАО «НТЦ
ФСК ЕЭС» – СИБНИИЭ

ЛАВРУШЕНКО Н.Б.,
ФИЛИАЛ ОАО «НТЦ
ФСК ЕЭС» – СИБНИИЭ

НАУМКИН Р.И.,
К.Т.Н.
ФИЛИАЛ ОАО «НТЦ
ФСК ЕЭС» – СИБНИИЭ

Синхронизированные векторные измерения являются одной из ключевых технологий, лежащих в основе технологии активно-адаптивных сетей. Эта технология значительно повышает качество мониторинга режима ЭЭС. Вместе с тем устрой-

ства, реализующие эту технологию, стали широко применяться только в последние 15 лет. Однако, всё еще остаются открытыми вопросы, связанные с функциональными характеристиками и точностью измерений устройств синхронизированных векторных измерений.

Ключевые слова: синхронизированные векторные измерения, активно-адаптивные сети, мониторинг режимов ЭЭС, устройство синхронизированных векторных измерений, стандарт IEEE.



Испытательный
полигон СибНИИЭ

ТЕХНОЛОГИЯ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Две ключевые особенности составляют сущность технологии синхронизированных векторных измерений (что видно в её названии). Во-первых, измерения параметров режима (в частности, частоты, основных гармоник токов и напряжений) осуществляются с привязкой результатов измерений к высокоточному сигналу точного времени. Во-вторых, производимые измерения являются векторными, то есть измеряются не только действующие значения токов и напряжений, но и их фазные углы. Рассмотрим подробнее эти два аспекта.

За счет высокоточной временной синхронизации обеспечивается одновременное измерение параметров режима в географически удаленных друг от друга точках энергосистемы. Измерения преобразуются в цифровой вид и снабжаются меткой всемирного координированного времени UTC. Передавая результаты измерений в центр сбора информации, можно сопоставлять все измерения с одинаковой меткой времени и получить мгновенный срез параметров режима энергосистемы в любой момент времени. Таким образом, становится возможным наблюдать быстротекущие пространственно распределенные процессы в энергосистеме. В традиционных системах телемеханики точность временной синхронизации как правило не превышает 0,1 с, что приводит к непредсказуемому временному сдвигу до 0,2 с между метками измерений, сделанными на разных подстанциях. Это существенно затрудняет сопоставление записей любых процессов с характерными частотами выше 1–2 Гц, сделанных в разных точках

энергосистемы. Устройства синхронизированных векторных измерений обладают синхронизацией как минимум 1 мкс, что позволяет точно наблюдать развитие возмущений в энергосистеме как во времени, так и в пространстве. Измерения производятся через регулярные промежутки времени, частота измерений может выбираться при настройке устройства и, как правило, составляет от 10 до 50 раз в секунду. В качестве источника сигналов точного времени выступают приемники спутниковых систем навигации GPS или ГЛОНАСС.

Это делает возможным измерение не только действующих значений, но и фазных углов токов и напряжений. Поясним это утверждение. На рис. 1 показан фрагмент измеряемого косинусоидального сигнала, математически задаваемого формулой $x(t) = (\sqrt{2} X_m \cos)(2\pi ft + \varphi)$, (где X_m – действующее значение сигнала, f – частота, а φ – фазный угол). Метка времени, сопоставленная с каждым измерением, задает для синусоиды начало координат $t=0$, что позволяет вычислить не зависящее от переменной времени векторное представление сигнала $X = X_m e^{i\varphi}$, где фазный угол φ привязан к шкале точного времени. Если параметры сигнала изменяются во времени, то и компоненты вектора будут зависеть от времени: $X(t) = X_m(t) e^{i\varphi(t)}$. Другими словами, углы измеряются относительно идеальной опорной косинусоиды, жестко привязанной к сигналу точного времени. Поскольку во всех точках энергосистемы измерения производятся одновременно, то все углы измеряются относительно общей опорной косинусоиды и становится возможным непосредственно измерять параметры режима, не измеряемые другими способами. Появляется возможность не только рассчитывать взаимные углы между шинами в установившемся режиме (а эти величины являются важнейшими

в сетях переменного тока), но и в переходных режимах непосредственно наблюдать за качаниями роторов генераторов в реальном времени.

В англоязычной терминологии комплексное представление гармонического сигнала называют фазором (phasor), а фазор, дополнительно снабженный меткой точного времени, – синхрофазором (synchrophasor). Поскольку прямые кальки с английского («синхрофазор» или «синхровектор») в российской практике не прижились, далее условимся везде использовать термин «фазор» в смысле «комплексное представление гармонического сигнала, снабженное меткой точного времени».

Устройства, реализующие данную технологию, в международной практике называются Phasor Measurement Unit – PMU. В российской практике пока нет установившегося варианта названия данного класса устройств, как правило, используются названия «устройство синхронизированных векторных измерений» (УСВИ) «векторный измерительный преобразователь». Функции УСВИ могут реализовываться как самостоятельным специализированным устройством, так и функциональным блоком в составе многофункционального устройства, например, совмещаться с устройством релейной защиты или аварийным осциллографом. Многофункциональные устройства зачастую оснащаются двумя комплектами входов – один – для подключения к трансформаторам релейной защиты, второй – для подключения к высокоточным измерительным трансформаторам.

В настоящее время УСВИ выпускаются многими мировыми производителями энергетического оборудования (Siemens, ABB, SEL и др.). Отечественные разработчики также не отстают от мировых тенденций.

ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

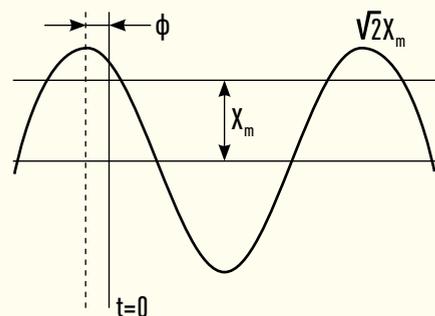


Рис. 1А

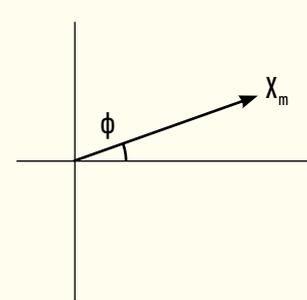


Рис. 1Б

В России существует пять компаний, представивших УСВИ своей разработки. Устройства, производимые тремя из них, уже используются в СМПР ЕЭС [1].

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Основными документами, регламентирующими характеристики УСВИ, является серия стандартов, опубликованных IEEE. Исторически первым стандартом в сфере синхронизированных векторных измерений был стандарт IEEE 1344, утвержденный в 1995 году. Этот стандарт был принят в то время, когда УСВИ были еще в значительной степени экспериментальной технологией, и поэтому не получил широкого распространения. В 2005 году был выпущен заменивший его стандарт IEEE C37.118-2005. Стандарт 2005 года был полностью переработан и включал уточненные определения, требования к точности измерений при установившихся входных

сигналах и протокол для передачи потока измеряемых данных. В то же время стандарт не включал никаких требований к точности измерений в переходных режимах.

В 2011 году IEEE провела ревизию стандарта 2005 года. Стандарт был разделен на две части: IEEE C37.118.1-2011 и C37.118.2-2011. Стандарт C37.118.1 включает в себя ключевые определения и требования к точности измерений фазовых, частоты и скорости изменения частоты. Требования к точности задаются как для установившихся входных сигналов, так и в переходных режимах. В настоящее время в IEEE уже идет работа по уточнению требований стандарта к точности измерений и доступны первые черновики поправок к стандарту C37.118.1. Ожидается, что на основе стандарта C37.118.1 будет разработан международный стандарт МЭК 60255-118-1.

Спецификация протокола передачи данных, обратно совместимого с протоколом 2005 года, была выделена в стандарт C37.118.2. В 2012 году был принят стандарт МЭК 61850-90-5, описывающий интеграцию УСВИ в цифровую подстанцию. Кроме того, можно отметить, что последняя вер-

сия известного файлового формата COMTRADE, выпущенная в 2013 году (МЭК 60255-24 ed2.0 / IEEE C37.111-2013), включает поддержку хранения фазорных данных.

Работа в области стандартизации ведется и в России. Ожидается, что в ближайшее время системным оператором будут разработаны требования к УСВИ, применяемым в ЕЭС. Требования будут сформулированы с учетом положений стандартов IEEE и международной практики.

ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Устройства синхронизированных векторных измерений представляют собой сложные цифровые устройства. Существует множество алгоритмов обработки цифровых сигналов, которые можно использовать в УСВИ. Точность измерений в первую очередь зависит от выбора алгоритма. Более того, не существует единственного оптимального алгоритма, который бы превосходил все другие алгоритмы во всех возможных случаях. Любой алгоритм может предоставить лишь компромиссное решение между противоречивыми требованиями точности измерения, помехоустойчивостью и динамическими характеристиками. Точность УСВИ, особенно во время переходных процессов, является темой многочисленных публикаций как международных (например, [2,3]), так и российских (например, [4,5,6]) исследователей.

Разработка УСВИ включает в себя обязательную стадию тестирования

БЛОК-СХЕМА ТЕСТОВО-МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

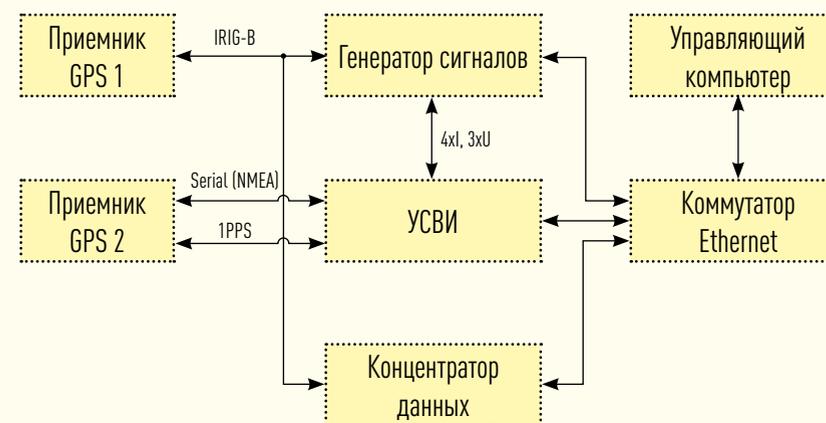


Рис. 2

для определения измерительной точности устройства и подтверждения соответствия стандартам. Такие проверки должны выполняться как производителем, так и независимыми лабораториями. Точность, надежность и легкая взаимозаменяемость УСВИ от разных производителей особенно важна для электросетевых компаний, применяющих УСВИ. Для этого необходимо как независимое тестирование УСВИ на соответствие стандарту, так и сравнительные испытания УСВИ различных производителей.

Обычные генераторы сигналов не предназначены для решения поставленной задачи, которая требует формирования синхронизованного по времени сигнала с динамически изменяющимися параметрами. Необходимо было найти специализированное решение. Такой специализированный тестовый комплекс был создан в СибНИИЭ в рамках разработки устройства синхронизированных векторных измерений УСВИ-101, выполненной в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» по заказу ОАО «ФСК ЕЭС».

СТРУКТУРА И ИСПОЛНЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Комплекс представляет собой модернизированный вариант предыдущей версии, представленной два года назад. Новый комплекс получил название «Тестово-моделирующий комплекс для тестирования УСВИ» (сокращенно ТМК). ТМК выполняет тестирование УСВИ в пакетном режиме: оператор ТМК выбирает набор тестовых сигналов с помощью графического пользовательского интерфейса и запускает процесс тестирования. ТМК выполняет все тесты последовательно и обрабатывает полученные результаты тестирования в автоматическом режиме, без участия человека. Когда последовательность тестов завершена, оператор ТМК может просмотреть сгенерированные отчеты по результатам тестирования с различными уровнями детализации. Блок-схема ТМК показана на рис. 2.

ТМК оборудован двумя приемниками спутниковой системы навигации GPS (Global Positioning System, Глобальная Система Позиционирования) для синхронизации времени: SEL-2407 от Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. и Trimble Acutime Gold. Первый приемник имеет интерфейс IRIG-B, второй – 1PPS+NMEA. Тестируемый УСВИ может быть подключен к любому из них в зависимости от поддерживаемого интерфейса временной синхронизации. Первый GPS-приемник также используется для синхронизации сигнала генератора и концентратора данных.

Управляющий компьютер предоставляет графический интерфейс пользователя ТМК. Перед началом процедуры тестирования управляющий компьютер используется для настройки и конфигурации испытываемого УСВИ встроенными средствами, такими как web-интерфейс, Telnet/SSH или последовательный порт. Библиотека тестовых сигналов хранится на управляющем компьютере. Пользователь ТМК имеет возможность собрать и запустить к исполнению произвольную последовательность тестов из библиотеки тестовых сигналов. Управляющий компьютер через Ethernet-соединение отправляет тестовые сигналы в цифровой форме на генератор сигналов.

Генератор сигналов (используется прецизионный испытательный стенд релейной защиты и универсальный калибратор OMICRON CMC256plus) получает цифровое представление тестового сигнала от управляющего компьютера и выдает сигналы на свои аналоговые выходы один за другим. Генерация каждого аналогового сигнала синхронизована по времени с сигналом точного времени, полученным от GPS-приемника. Генератор сигналов создает XML-протокол испытаний, содержащий полный список запущенных тестов с UTC-метками времени, отмечающими начало запуска каж-

дого теста. Затем тестовый протокол передается от генератора сигналов управляющему компьютеру.

Генератор сигналов может быть присоединен к УСВИ одним из двух способов в зависимости от коммуникационных возможностей УСВИ. Если УСВИ оборудован традиционными аналоговыми входами, предназначенными для соединения с измерительными трансформаторами, то он может быть подключен к аналоговым входам генератора сигнала. Если УСВИ оснащен цифровыми измерительными входами, то ТМК может передавать тестовый сигнал УСВИ, используя протокол МЭК 61850-9-2, с помощью специализированного программного генератора сигналов.

УСВИ передает поток данных по протоколу IEEE C37.118 от своего коммуникационного порта (последовательный порт или Ethernet, используя TCP/IP или UDP/IP) к концентратору данных. Концентратор представляет собой высокопроизводительный компьютер с установленной на нем операционной системой реального времени и специализированным программным обеспечением. Время на концентраторе данных синхронизируется точным временным сигналом, полученным от GPS-приемника. Концентратор получает данные от УСВИ в формате протокола C37.118 и вычисляет задержку передачи данных УСВИ. Затем поток измеренных фазов (снова в формате протокола IEEE C37.118) передается на управляющий компьютер по TCP/IP.

Управляющий компьютер получает измерения фазов от концентратора данных и сохраняет их как файлы на жесткий диск. Затем, программное обеспечение управляющего компьютера анализирует оба файла: тестовый XML-протокол, созданный генератором сигналов, и сохраненный поток векторных измерений. Когда анализ завершен, результаты

тестирования доступны пользователю в графической форме, включая таблицы с ошибками измерений и различные графики.

БИБЛИОТЕКА ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ

Тестовые сигналы хранятся в расширяемой библиотеке сигналов. Библиотека тестовых сигналов была составлена в соответствии с принципами, сформулированными в [4]. Все тестовые сигналы, реализованные в ТМК, можно разделить на две основные группы:

- математически заданные сигналы;
- сигналы, полученные моделированием электро-механических переходных процессов.

Сигналы первой группы составлены с учетом требований стандарта C37.118.1-2011. Эта группа тестов состоит из следующих множеств сигналов:

- тесты с отклонением значений тока, напряжения и частоты от номинальных значений;
- тесты с гармоническими искажениями формы сигналов тока и напряжения;
- тесты с интергармоническими искажениями;
- тест ширины полосы пропускания (с синусоидально модулированными амплитудой и углом);
- тесты с линейным изменением частоты сигнала;
- тесты со ступенчатыми изменениями амплитуды и угла сигнала.

Сигналы второй группы формируются моделированием электро-механических переходных процессов в крупном энергообъединении в программном комплексе «Мустанг». Реализованы следующие типы аварийных возмущений:

- КЗ с успешным ТАПВ линии (с нарушением и сохранением устойчивости);
- КЗ с неуспешным ТАПВ линии (с нарушением и сохранением устойчивости);
- аварийный режим с нарушением устойчивости, в котором асинхронный режим имеет многочастотный характер;
- аварийный режим с аperiodической составляющей в сигнале тока.

Тестовые сигналы представлены в векторной (фазорной) форме, таким образом, результаты измерений могут непосредственно сравниваться с тестовыми сигналами для вычисления ошибок измерения УСВИ.

Итоговый анализ результатов тестирования может быть представлен различными способами. Краткий отчет содержит в себе основной обзор последовательности испытаний: количество пройденных или не пройденных тестов для УСВИ. Отдельно анализируется соответствие двум классам УСВИ, описанным в стандарте: классу М (Measurement) и классу Р (Protection). Детальный отчет содержит погрешности всех измерительных каналов тока и напряжения (TVE, RMS, и ошибки фазового угла), измерений частоты и скорости изменения частоты. Вычисляются два типа ошибок: стандартное отклонение и максимальная ошибка. Для динамических тестов имеется возможность построить графики зависимости ошибки от времени. Результаты, получен-



Подписка на 2015 год

ПОДПИСКА ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

Для оформления подписки на журналы «Энергоэксперт» и «Релейщик» свяжитесь с менеджером по тел. (495) 228-60-05 или e-mail: mda@energyexpert.ru



Подписка на 2015 г. (6 номеров) – 4800 рублей
Подписка на полугодие (3 номера) – 2400 рублей
Стоимость одного номера – 800 рублей
Стоимость включает НДС и цену доставки



Подписка на 2015 г. (4 номера) – 3600 рублей
Подписка на полугодие (2 номера) – 1800 рублей
Стоимость одного номера – 900 рублей
Стоимость включает НДС и цену доставки

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ В ПОЧТОВОМ ОТДЕЛЕНИИ

Вы можете оформить подписку на наши журналы в любом почтовом отделении через подписной каталог российской прессы «ПОЧТА РОССИИ».

Индексы каталога: журнал «Энергоэксперт» – 11447, «Релейщик» – 16755.



Реклама

СРАВНЕНИЕ ОБЩЕЙ ВЕКТОРНОЙ ОШИБКИ УСВИ В ТЕСТАХ С ОТКЛОНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ

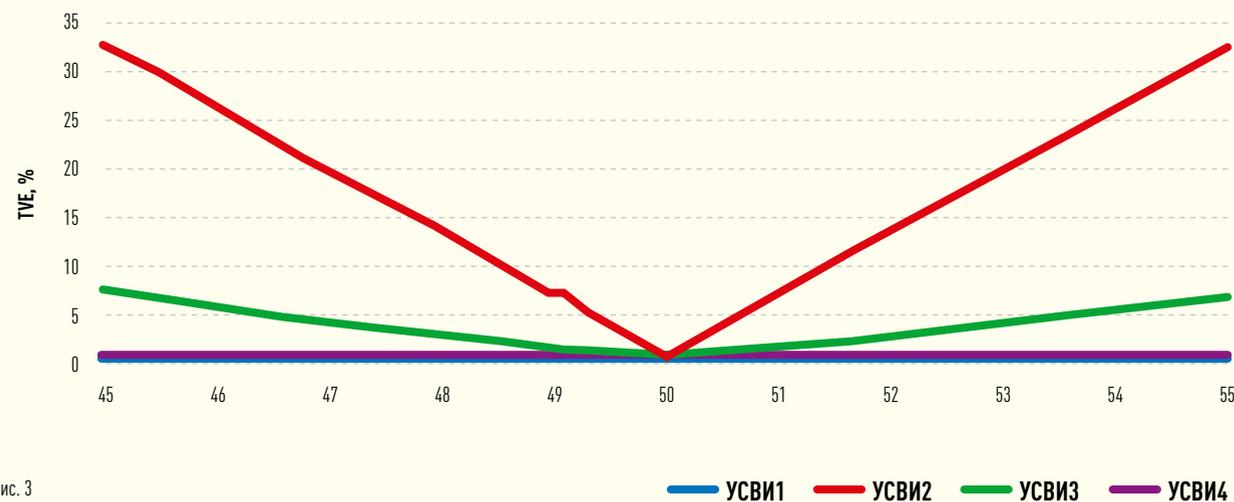


Рис. 3

ИНФОРМАЦИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ (IEEE)

IEEE – это некоммерческая ассоциация, объединяющая более 350 000 членов в 150 странах, работающих в таких областях, как компьютерные, телекоммуникация и биомедицинские технологии, электроэнергетике, средства связи и транспорта, электроника.

IEEE – печатает 30% мировой литературы по электротехнике, компьютерам и технологиям контроля и управления.

IEEE – поддерживает более 800 действующих стандартов.

ные от тестирования группы тестов, суммируются в аналитических диаграммах как зависимости ошибок от «основных влияющих величин»: например, для тестов отклонения частоты будет построена диаграмма зависимости ошибки частоты от величины отклонения частоты.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НЕСКОЛЬКИХ УСВИ

В СибНИИЭ было проведено сравнительное тестирование УСВИ нескольких производителей. Из них УСВИ1–УСВИ3 являются устройствами российского, а УСВИ4 – устройством зарубежного производства. Результаты этого тестирования приведены далее.

На рис. 3 изображен график для тестов с отклонением частоты, показывающий зависимость общей векторной ошибки (TVE) от отклонения частоты от ее номинального

значения. Во время испытаний сигнал отклонения частоты изменялся от 45 Гц до 55 Гц ($\pm 10\%$ от номинального значения). TVE УСВИ2 и УСВИ3 линейно растет вместе с увеличением отклонения частоты от номинала, подобного роста не наблюдается у УСВИ1 и УСВИ4, что может свидетельствовать об использовании алгоритмов вычисления фазов, корректно учитывающих отклонение частоты сигнала.

На рис. 4 и 5 приведены результаты измерений TVE для тестов ширины полосы пропускания. Во время этих тестов действующее значение и угол сигнала одновременно модулируются синусоидально. На рис. 4 показан график зависимости TVE от частоты модуляции сигнала. Видно, что с ростом частоты модуляции ошибка измерения растет у УСВИ2 и УСВИ3, ошибка УСВИ2 возрастает особенно быстро, превосходя разрешенный стандартом предел для TVE в 3%. На рис. 5 представлен пример графика, где показаны значения мгновенных TVE для частоты модуляции равной 0,1 Гц. На графике заметно,

СРАВНЕНИЕ ОБЩЕЙ ВЕКТОРНОЙ ОШИБКИ УСВИ В ТЕСТАХ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

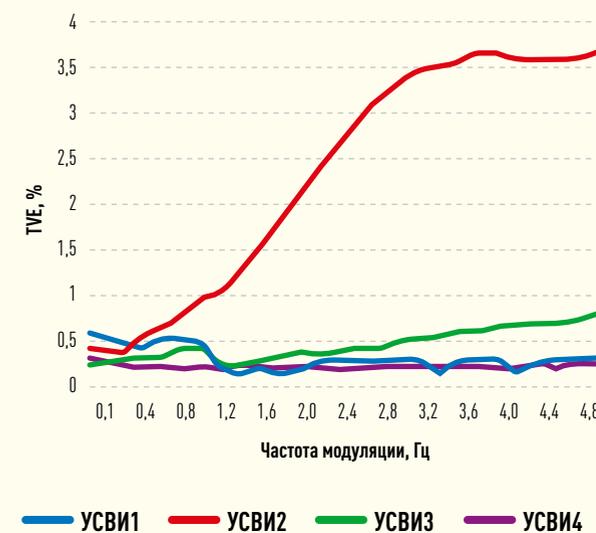


Рис. 4

СРАВНЕНИЕ ОБЩЕЙ ВЕКТОРНОЙ ОШИБКИ УСВИ В ТЕСТЕ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ. КХ=0.1, КА=0.1, F=0.1ГЦ

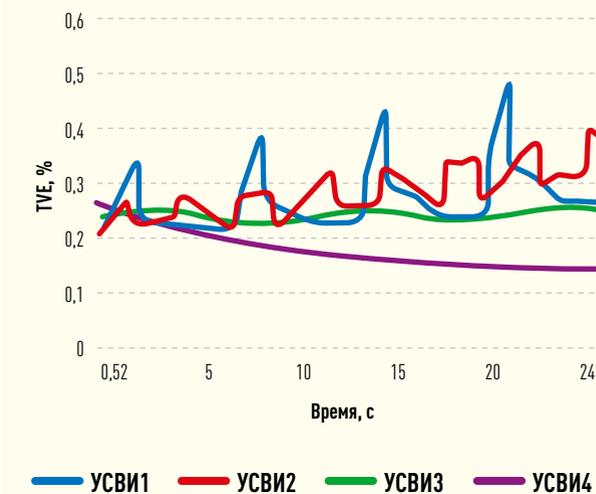


Рис. 5

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ УСВИ В ТЕСТАХ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СИГНАЛА

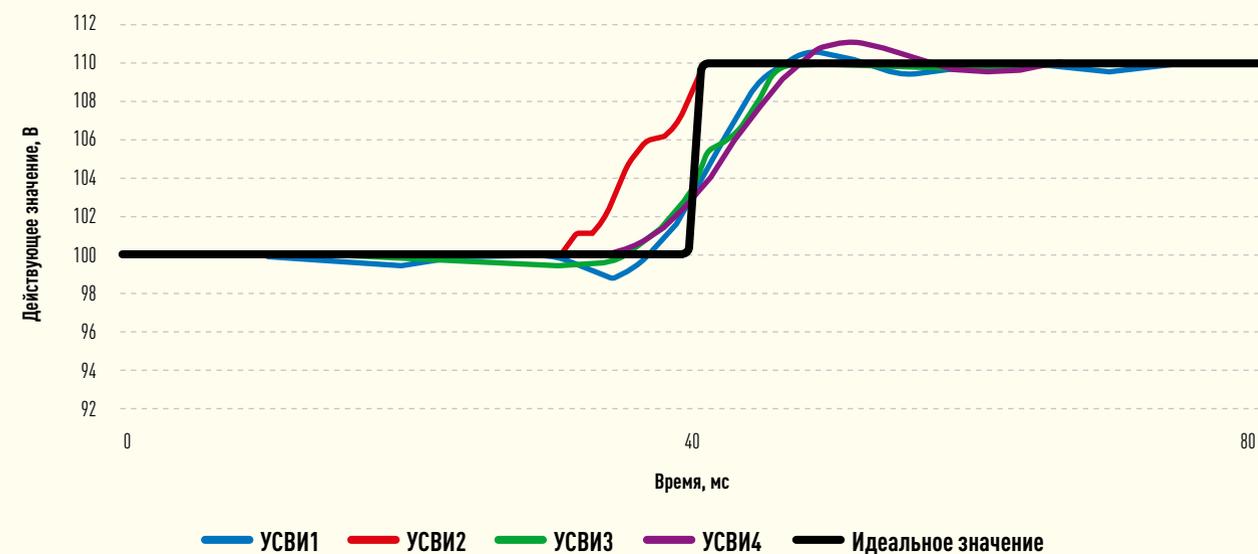


Рис. 6

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ФАЗНОГО УГЛА УСВИ В ТЕСТАХ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СИГНАЛА

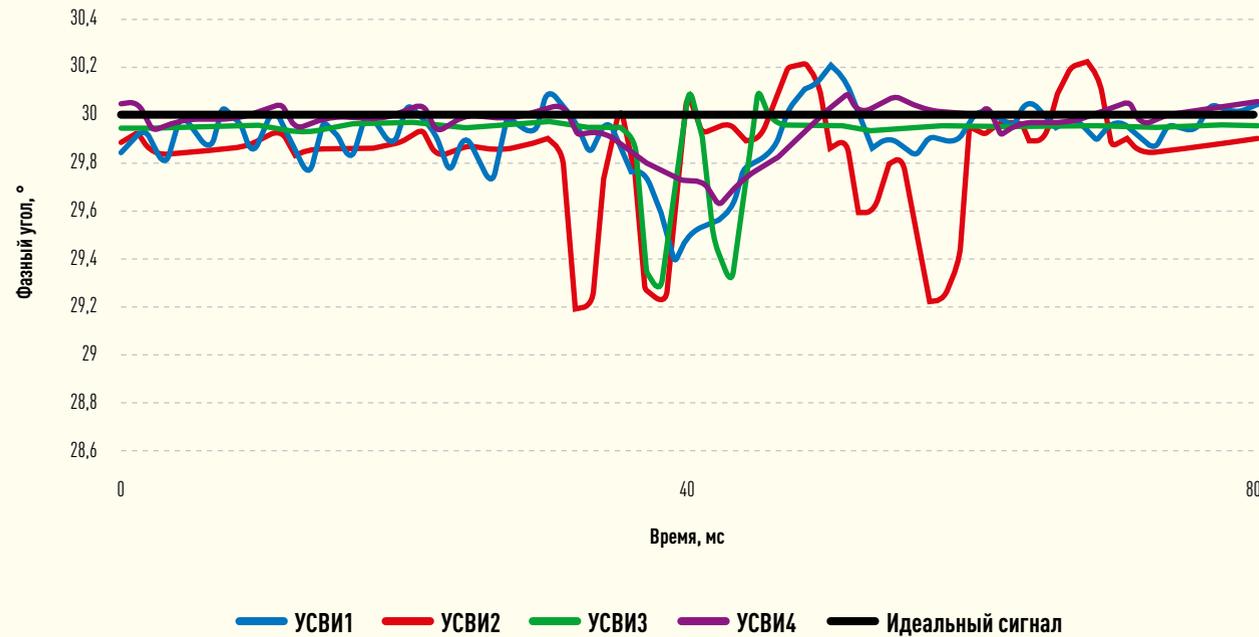


Рис. 7

СРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА УСВИ В ТЕСТАХ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА

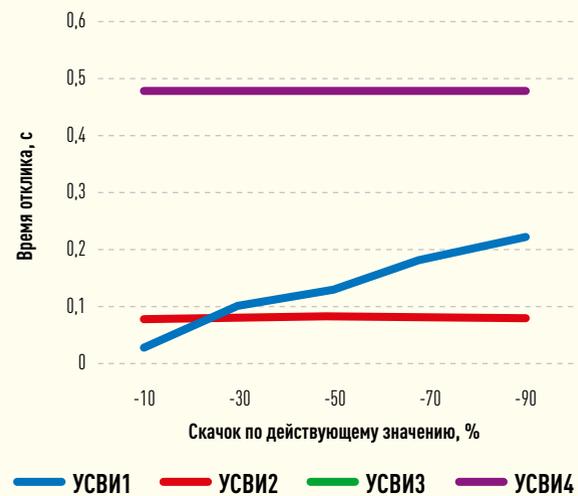


Рис. 8

СРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОТКЛИКА УСВИ В ТЕСТАХ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ФАЗНОГО УГЛА СИГНАЛА

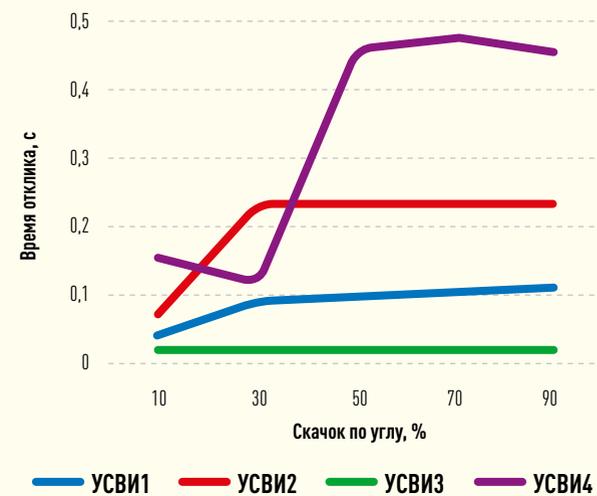


Рис. 9



III Международный Форум SMART ENERGY & SMART GRID ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

17 декабря 2014 г., отель Radisson Blu Belorusskaya

Генеральный партнер:



Партнер:



При поддержке:



Ассоциация Солнечной Энергетики России



Партнеры:



Официальный консультант:



III Форум "SMART ENERGY & SMART GRID" • Москва • 17 декабря 2014

Ежегодная кроссиндустриальная площадка для телеком и энергетического рынка

Форум по праву считается первой и эффективной кроссиндустриальной площадкой для детального обсуждения концепции Smart Grid как основы для дальнейшего развития технологического, информационного и экономического взаимодействия между всеми субъектами энергетического рынка.

Реклама

Среди докладчиков:

Состав докладчиков может измениться по независящим от организаторов причинам



Роман Бердников, первый заместитель Генерального директора по технической политике, *Россети*



Александр Голомолзин, заместитель руководителя, *ФАС*



Игорь Кожуховский, заместитель генерального директора, *РЭА*



Александр Зажигалкин, заместитель руководителя, *Росстандарт*



Минэнерго РФ, докладчик уточняется



Владимир Софин, директор Департамента технологического развития и инноваций, *Россети*



Дмитрий Холкин, руководитель центра системных исследований и разработок ИЭС ААС, *НТЦ ФСК ЕЭС*



Александр Джинчарадзе, советник генерального директора, *Россети*



Анатолий Левенчук, Президент, *ТехИнвестЛаб*



Александр Логинов, руководитель подразделения «Мониторинг состояния» департамента «Корпоративные технологии», *Siemens*



Дмитрий Новицкий, заместитель генерального директора по науке, *Институт энергетических систем*



Антон Вивчар, заместитель директора, *Совет производителей энергии*



Януш Биалек*, Директор центра энергетических систем, *Сколтех*



Виктор Филатов, генеральный директор, *Альтэнерго*



Григорий Сизов, руководитель службы продаж телематических сервисов, *ВымпелКом*



Юрий Радыгин, заместитель директора по перспективному развитию, *БЭСК Инжиниринг*



Елена Никитина, ведущий инженер департамента "Управление элентроэнергией", *Siemens*

* Ожидает дополнительного подтверждения

Партнерами Форума в разные годы выступали:



Генеральный продюсер Форума:

Елена Корнилова
тел.: +7 (495) 698-63-85
моб.: +7 (903) 507-71-81
e-mail: ek@connectica-lab.ru

По вопросам участия:

Евгения Сауткина
тел.: +7 (495) 698-63-85
моб.: +7 (903) 527-63-54
e-mail: es@connectica-invitation.ru

www.smartgrid-forum.com

СРАВНЕНИЕ ЗАДЕРЖЕК ПЕРЕДАЧИ УСВИ

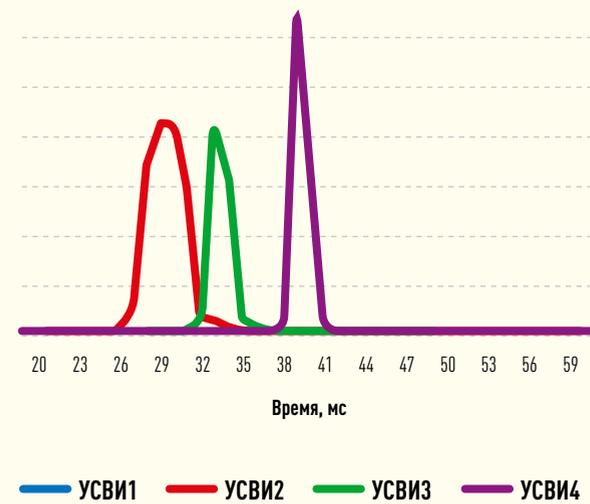


Рис. 10

ОБЩАЯ ВЕКТОРНАЯ ОШИБКА В ТЕСТАХ С АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В СИГНАЛЕ ТОКА

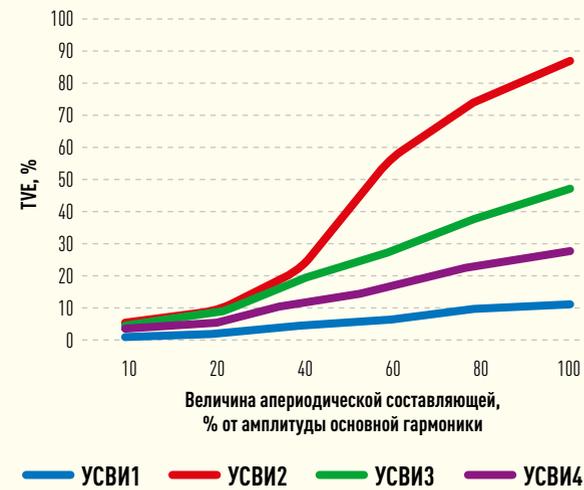


Рис. 11

ТАПВ С НАРУШЕНИЕМ УСТОЙЧИВОСТИ



Рис. 12

СРАВНЕНИЕ ОБЩЕЙ ВЕКТОРНОЙ ОШИБКИ УСВИ В ТЕСТЕ С ТАПВ С НАРУШЕНИЕМ УСТОЙЧИВОСТИ

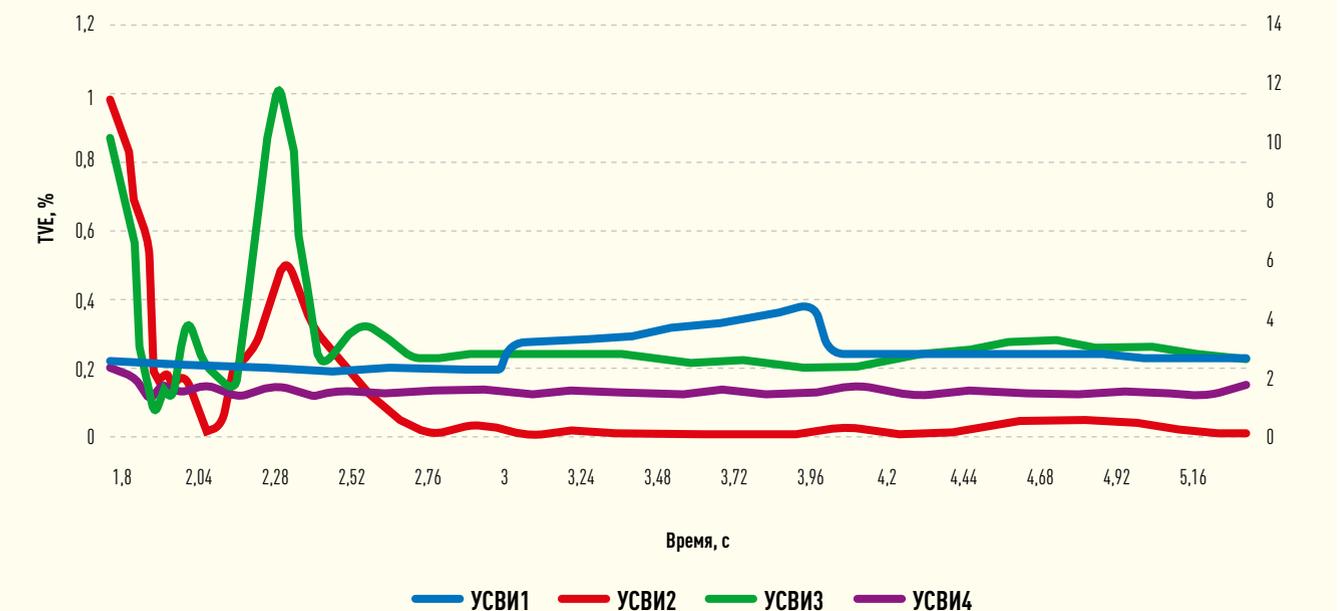


Рис. 13

что у УСВИ2 и УСВИ3 имеются периодические ступенчатые изменения ошибки, причем, «пилы» скачков совпадают с началом каждой секунды UTC. Это может объясняться периодической коррекцией внутреннего таймера УСВИ по синхросигналу GPS-приемника.

На рис. 6–9 показаны тесты со ступенчатым изменением сигнала. Рис. 6–7 содержат графики сигнала с 10 %-ным мгновенным изменением действующего значения входного сигнала. На рис. 6 отклик УСВИ2 сдвинут влево от момента скачка, а отклик УСВИ4 – вправо, что может быть вызвано неточностью компенсации задержки цифрового фильтра. На рис. 7 видно, что при этом в измерениях фазного угла наблюдаются небольшие осцилляции. Измерения угла особенно долго осциллируют у УСВИ2.

Стандарт С37.118 определяет величину скачка только в 10%, однако в качестве дополнитель-

ного эксперимента был построен график зависимости времени отклика (response time) от величины скачка: на рис. 8 – по действующему значению, а на рис. 9 – по фазному углу сигнала. Показатель времени отклика является важной величиной, так как показывает, насколько быстро восстанавливается нормальный процесс измерений после события коммутации. В зависимости от используемых алгоритмов УСВИ это время может быть константным или зависеть от величины скачка сигнала. Включение такой информации в документацию УСВИ их производителями было бы полезно для проектировщиков WAMS/WACS систем.

На рис. 10 приведена гистограмма задержек передачи измерений, зафиксированных при периодичности измерений 50 фазов в секунду. Задержка передачи измерения вычисляется как разность между моментом времени, указанном

в кадре УСВИ, и моментом когда этот кадр доступен для считывания на цифровом выходе УСВИ. На гистограмме видно, что средние значения УСВИ колеблются от 30 до 40 миллисекунд. Согласно стандарту, время задержки передачи при данной периодичности измерений составляет: для класса М – 60 мс, для класса Р – 40 мс. Из всех УСВИ только УСВИ 2 соответствует требованиям класса Р. Для УСВИ1 время задержки на порядок превышало аналогичные значения других УСВИ и требования стандарта, поэтому на графике оно не приводится. Несмотря на то, что средние значения УСВИ3 укладываются в требования класса Р, его распределение задержек имеет длинный «хвост», наличие которого не позволяет говорить о соответствии классу Р. Для УСВИ4 даже среднее время удовлетворяет только требованиям класса М, что можно связать с тем, что УСВИ4 использует коммуникационный протокол TCP, который не очень пригоден для УСВИ класса Р.

На рис. 11 показаны результаты испытаний с входным сигналом тока, содержащим аperiodическую составляющую. С ростом амплитуды аperiodической составляющей растет и погрешность измерения основной гармоники тока. Рост близок к линейному, но скорость роста существенно отличается между УСВИ различных моделей.

На рис. 12–13 показан тест с проигрыванием переходного электро-механического процесса при ТАПВ. На рис. 12 изображены идеальные значения действующего значения и фазного угла, на рис. 13 изображены TVE УСВИ. Для сохранения наглядности графика ошибка УСВИ2 была вынесена на правую ось. На рис. 13 видно, что УСВИ2 и УСВИ3 показывают существенно большую погрешность измерений, чем другие. Подобное поведение наблюдалось во всех тестах, полученных моделированием электро-механических переходных процессов.

Эти же УСВИ показывали большие погрешности на тестах ширины полосы пропускания, что свидетельствует о том что, тесты ширины полосы пропускания хорошо оценивают точность измерений УСВИ при переходных электро-механических процессах. Причиной этих погрешностей является использование алгоритмов, плохо работающих при отклонении частоты от номинального значения.

Из всех протестированных УСВИ только УСВИ3 оснащен, помимо аналоговых измерительных входов, цифровым измерительным входом, работающим по протоколу МЭК 61850-9-2LE для получения мгновенных значений тока и напряжения с цифровых трансформаторов. В ходе тестирования на цифровой вход УСВИ3 подавались сигналы из той же библиотеки сигналов. Результаты испытаний, как и следовало ожидать, совпали с результатами, полученными при тестировании

с аналоговыми сигналами. Отличия сводились к отсутствию ошибок измерений, вызванных точностью калибровки и случайным шумом в аналоговых цепях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный в Филиале ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» – СибНИИЭ стенд является современной разработкой для тестирования УСВИ. ТМК удовлетворяет современным стандартам тестирования УСВИ и не имеет аналогов в России. Тестовые сигналы хранятся в расширяемой библиотеке тестов, что делает процесс добавления новых тестов очень простым. Реализованный в настоящее время набор тестовых сигналов содержит как сигналы, определенные в стандарте IEEE C37.118.1, так и сигналы не из стандарта. Правильно подобранная коллекция тестовых сигналов очень важна для качественной оценки характеристик. Работа над пополнением тестовой библиотеки будет продолжена.

Приведенные результаты сравнительных испытаний УСВИ показывают, что ни одно из протестированных устройств (3 из которых — отечественные) не соответствует требованиям стандарта IEEE C37.118.1 2011 в полной мере. Этот результат ни в коем случае не следует интерпретировать как неспособность отечественного производителя разработать качественное конкурентоспособное оборудование. Во-первых, в испытаниях использовались не окончательные, а предварительные версии устройств. Можно ожидать, что окончательные версии микропрограмм существенно улучшат качество измерений. Во-вторых, независимое тестирование шести устройств зарубежного производства [2] дало те же результаты: ни одно из устройств не прошло все без исключения тесты. Можно предположить, что требования стан-

дарта по ряду показателей являются неоправданно жесткими. Это подтверждается и тем, что первые опубликованные поправки к C37.118.1 в значительной степени сводятся к ослаблению требований стандарта 2011 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.В., Сацук Е.И., Дубинин Д.М. Развитие технологий мониторинга и управления в ЭЭС России на базе системы мониторинга переходных режимов. // IV международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», сборник докладов. 3-7 июня 2013 г., Екатеринбург.
2. Verifying Interoperability and Application Performance of PMUs and PMU-Enabled IEDs at the Device and System Level. Project report (PSERC Publication 12-21). Power Systems Engineering Research Center, 2012.
3. Hu Yi, Novosel D., "Progresses in PMU testing and calibration," Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 6-9 April 2008, pp. 150-155.
4. Балабин М.А., Гёрнер К., Наумкин И.Е., Ретанц К. Тестовые испытания устройств синхронизированных измерений векторных величин энергосистем // Электричество. – 2011. – № 04. – с.17а-27.
5. Жуков А.В., Куликов Ю.А., Герасимов А.С., Есипович А.Х. Программа динамических испытаний цифровых регистраторов системы мониторинга в тестовой схеме физической модели энергосистемы. // 3-я Международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», сборник докладов. Санкт-Петербург, 30 мая – 3 июня 2011 г.
6. Мокеев А.В. Интеллектуальные устройства для активно-адаптивных сетей. // Энергоэксперт, – №2, – 2012, с. 62-64.



6-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЕ ТРУДА В ЭНЕРГЕТИКЕ

SAPE 2015

22-24 апреля, Сочи, «Главный медиацентр»



- ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПАНИЙ
- СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ И КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЯНОЙ, УГОЛЬНОЙ, ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
- ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
- АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРСОНАЛА НЕ ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК
- ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТЭК

Электронная почта: contact@sape-expo.ru
Тел.: +7 (499) 181-52-02 (доб. 134)
Факс.: +7 (499) 181-52-02 (доб. 184)
WWW.SAPE-EXPO.RU

Protect yourself!
Приди на SAPE!

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Организатор



Электрификация
Восточный филиал