

СИСТЕМЫ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Бовыкин В. Н., Миклашевич А. В., Мокеев А. В., Родионов А. В.

На совершенствование интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) энергосистем определяющее влияние оказывают две основные технологии: векторных измерений и цифровой подстанции.

Современные ИЭУ должны обеспечивать быстрые и точные синхронные измерения, обладать высокой степенью достоверности контроля параметров режима энергосистемы в условиях интенсивных электромагнитных и электромеханических переходных процессов, также они предусматривают применение скоростных коммуникаций на основе промышленного Ethernet с поддержкой технологий резервирования и безопасности. В максимальной степени соответствуют перечисленным выше требованиям устройства синхронизированных

векторных измерений (УСВИ) или Phasor Measurement Unit (PMU). Подобные устройства в последние годы, наряду с традиционной областью применения – системами мониторинга переходных режимов WAMS (Wide Area Measurement Systems), все чаще стали применяться в АСУ ТП подстанций, в автоматизированных системах измерений, защиты и управления нового поколения WAMPAC (Wide Area Monitoring, Protection and Control System), а также в качестве основных элементов управления и регулирования активно-адаптивных сетей [1, 2].

На основе измерений синхрофазов тока и напряжения в УСВИ другие параметры режима энергосистемы могут быть вычислены в других ИЭУ, например, разность фаз напряжений по концам линии (WAMS), раз-

Рис. 1. Система мониторинга переходных режимов.

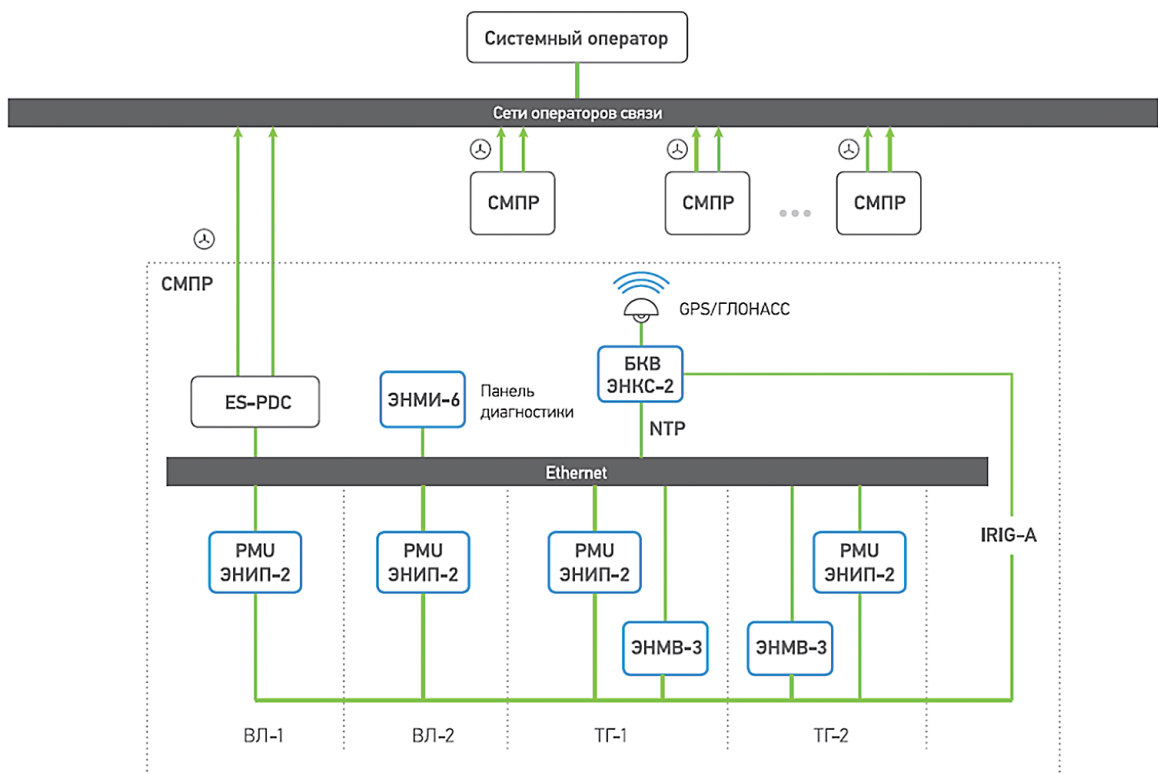




Рис. 2. Интеллектуальное электронное устройство ЭНИП-3.



ность комплексных амплитуд токов по концам линии (продольная дифференциальная защита), напряжение у потребителей (системы регулирования напряжения). При использовании информации, поступающей с различных ИЭУ, могут быть реализованы различные виды режимной и противоаварийной автоматики.

В статье рассматриваются вопросы разработки, испытаний и внедрения систем векторных измерений при использовании продукции ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис».

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

На рис. 1 представлена структурная схема системы мониторинга переходных режимов.

Система мониторинга переходных режимов может быть реализована полностью с использованием продукции ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», в том числе УСВИ ЭНИП-2-Х-Х-А1Е4-Х3 (сокращенно ЭНИП-3), новых устройств с поддержкой технологии векторных измерений и стандартов цифровой подстанции (ENMU, ЭНИП-4), модулей аналогового ввода постоянного напряжения и постоянного тока цепей возбуждения генераторов ЭНМВ-3, блока коррекции времени ЭНКС-2, концентратора данных векторных измерений ES-PDC, панели диагностики на основе модуля индикации ЭНМИ-6 и специализированного программного обеспечения.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ЭНИП-3

Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-3 с функциями векторных измерений разработаны на базе многофункциональных измерительных преобразователей ЭНИП-3. Разработаны две основные модификации нового устройства: с аналоговыми измерительными входами и с цифровым входом согласно IEC 61850-9-2LE [3, 4].

Для передачи данных предусмотрено использование следующих протоколов: IEEE C37.118.2, IEC 60870-5-104 и IEC 61850-90-5 (в разработке). Передача

векторных измерений производится 10, 25, 50, 100 раз в секунду. Точность синхронизации встроенных часов реального времени составляет 1 мкс. Опционально ЭНИП-3 содержит встроенный GPS/ГЛОНАСС-приемник и встроенный цветной сенсорный индикатор. Стоимость базовых модификаций ЭНИП-3 сопоставима со стоимостью цифровых измерительных преобразователей телемеханики.

При разработке интеллектуального электронного устройства ЭНИП-3 были учтены как требования стандарта IEEE C37.118.1, так и нестационарный характер входных сигналов – устройство отстроено от помех в виде свободных составляющих электромагнитных переходных процессов и высших гармоник, обеспечивает требуемую точность измерения синхрофазоров тока и напряжения при электромеханических переходных процессах [5].

При разработке УСВИ специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» использованы робастные и адаптивные алгоритмы обработки сигналов [6, 7]. Первый тип алгоритмов основан на использовании робастных частотных фильтров, которые имеют низкую чувствительность к изменению параметров помехи и к отклонению частоты в энергосистеме. Применение адаптивных ал-

горитмов обработки сигналов в интеллектуальных электронных устройствах энергосистем позволяет реализовать устройства с максимально возможным быстродействием.

ИСПЫТАНИЯ ЭНИП-3

За последние годы проведены испытания ЭНИП-3 на соответствие стандарту IEEE C37.118.1 и исследования функционирования в различных режимах работы энергосистем, в т.ч. испытания в лаборатории ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», исследовательской лаборатории технических средств управления ОАО «Энергосетьпроект», на цифро-аналого-физическом комплексе ОАО «НТЦ ЭЭС» в исследовательской лаборатории НИУ МЭИ.

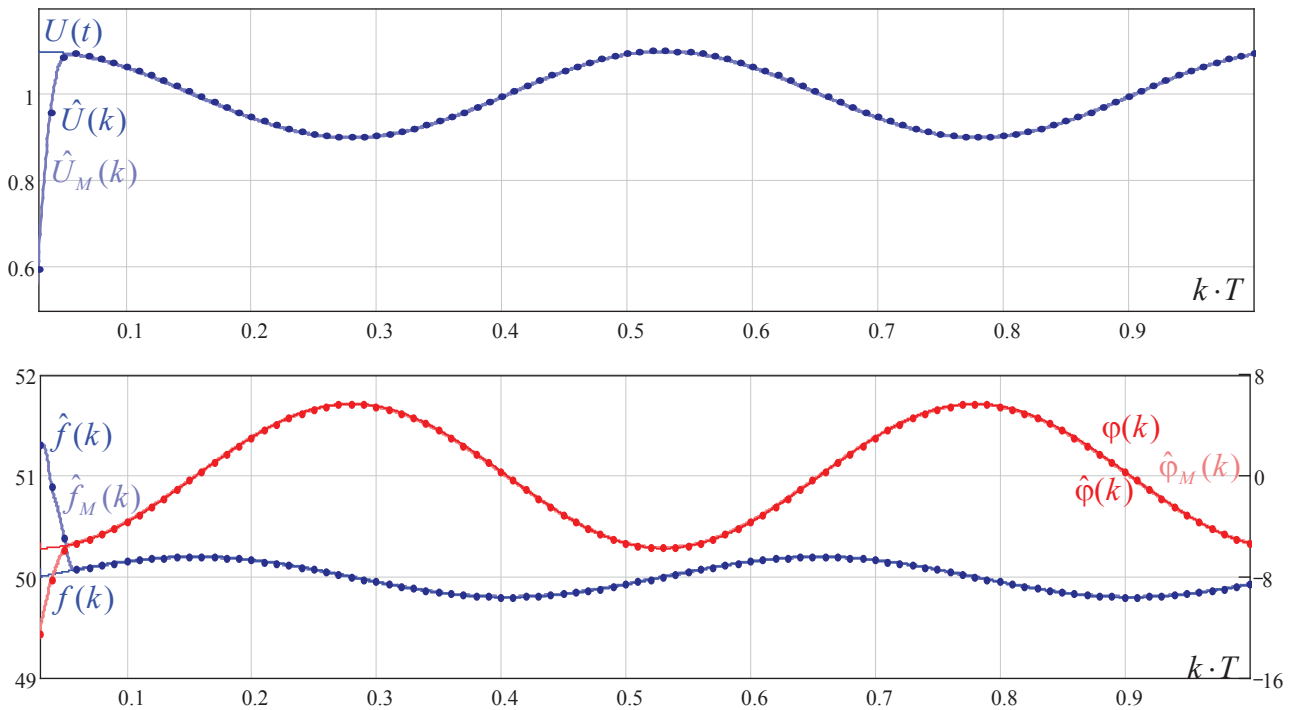
В декабре 2012 г. на цифро-аналого-физическом комплексе ОАО «НТЦ ЭЭС» проходили сравнительные испытания нескольких образцов УСВИ российских производителей. На основании результатов 26 обязательных и ряда дополнительных опытов ОАО «НТЦ ЭЭС» была подтверждена эффективность использования УСВИ ЭНИП-3 в системах мониторинга переходных процессов.

В августе 2013 года на кафедре РЗА МЭИ на установке RTDS прошли тестовые испытания устройств синхронизированных векторных измерений российских производителей на соответствие стандарту IEEE C37.118.1.

На рис. 3 представлены результаты испытаний ЭНИП-3 при использовании первого испытания стандарта IEEE C37.118.1 (Dynamic compliance – measurement bandwidth). На графике показаны: относительное значение огибающей $U(k)$, частоты $f(k)$ и начальной фазы $\varphi(k)$ входного напряжения; $\hat{U}_M(k)$, $\hat{f}_M(k)$, $\hat{\varphi}_M(k)$ – результаты, полученные (в результате) [путем?] математического моделирования, $\hat{U}(k)$, $\hat{f}(k)$, $\hat{\varphi}(k)$ – результаты измерений с помощью ЭНИП-3. Передача векторных измерений производится 100 раз в секунду.

На основании результатов, полученных в результате математического моделирования работы и испытаний ЭНИП-3, произведен сравнительный анализ

Рис. 3. Испытания ЭНИП-3, тест Dynamic compliance – measurement bandwidth.



полученных результатов. Результаты испытаний показали очень точное совпадение результатов математического моделирования функционирования ЭНИП-3 и результатов испытаний.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ЭНИП-3 С ПОДДЕРЖКОЙ ШИНЫ ПРОЦЕССА МЭК 61850-9-2LE

Первым интеллектуальным электронным устройством с поддержкой шины процесса, разработанным ЗАО «Инженерный центр» Энергосервис», является специальная модификация устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3. Устройство имеет те же функциональные возможности, что и обычный ЭНИП-3.

В качестве источника цифровых данных для ЭНИП-3 могут использоваться современные датчики тока и напряжения с цифровым выходом, а также специальные разновидности устройств сопряжения с шиной процесса – SAMU (Stand-Alone Merging Unit), подключаемых к традиционным трансформаторам тока и напряжения.

В рамках первой сессии испытаний на совместимость оборудования по стандарту МЭК 61850, проводимых в 2013 году в НИУ МЭИ при поддержке ООО «Теквел», устройства ЭНИП-3 прошли успешные испытания с волоконно-оптическими трансформаторами тока и напряжения, производимыми фирмой ЗАО «Профотек».

НОВЫЕ УСТРОЙСТВА С ПОДДЕРЖКОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

В последние годы специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» ведется разработка новых устройств с поддержкой технологии векторных измерений и стандартов цифровой подстанции, а именно: устройства сопряжения с шиной процесса ENMU, устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-4, многофункционального интеллектуального электронного устройства ESM, контроллера присоединения ENBC.

Разработка устройств сопряжения с шиной процесса ENMU (рис. 4) ведется с 2011 года. Устройства имеют модульную структуру. Основные модули: модуль тока для подключения к измерительной и релейной обмоткам трансформатора тока, модуль напряжения, процессорный модуль, модуль дискретного ввода-вывода, модуль питания [4].

Процессорный модуль может включать 2 порта 100BASE-TX или 2 порта 100BASE-FX, USB-порт и сервисный Ethernet-порт для конфигурирования, порт IRIG-A для синхронизации часов реального времени. Ведется работа по обеспечению синхронизации внутренних часов

Рис. 4. Устройство сопряжения с шиной процесса ENMU.

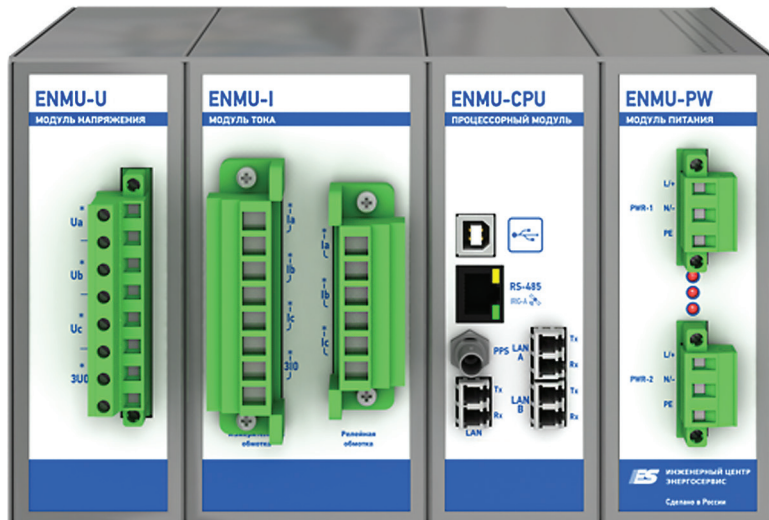


Рис. 5. Многофункциональное интеллектуальное устройство ESM.



ENMU при использовании протокола RTP (IEEE 1588). Опционально процессорный модуль может включать встроенный GPS-приемник. Модули питания предусматривают подключение к одному или двум источникам оперативного тока.

Для реализации SAMU при конфигурировании ENMU задаются следующие возможные режимы работы: формирование отдельных или совмещенных потоков данных (от релейной и измерительной обмоток трансформатора тока) для sampled values и для векторных измерений.

В последних модификациях ENMU реализована одновременная передача 3 потоков sampled values (sv256, sv80m, sv80g), также реализован протокол резервирования PRP (IEC 62439-3). Процессорная плата содержит дополнительный сервисный порт Ethernet.

Отличительной особенностью ENMU является реализация в одном устройстве функций двух устройств: Merging Unit и PCMU (Phasor Control and Measurement Unit). В ENMU наряду с IEC 61850-9-2LE реализована поддержка протокола IEEE C37.118.2 и ведутся работы по поддержке протокола IEC 61850-90-5. Это дает возможность использования ENMU в территориально-распределенных системах управления и измерений WAMPAC. В ENMU предусмотрена одновременная передача данных по протоколам IEC 61850-9-2LE и IEEE C37.118.2 как через один порт, так и через разные порты.

Использование векторных измерений можно рассматривать как альтернативу sampled values (IEC 61850-9-2LE), так как для многих ИЭУ достаточно использование синхрофазоров токов и напряжений основной гармоники для вычисления параметров режима энергосистемы. Дополнительно в ENMU обеспечивается измерение среднеквадратических значений токов и напряжений, а также эквивалентных углов между ними.

В дополнение к устройству синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3 с цифровым входом разрабатывается новое устройство ЭНИП-4 с поддержкой

шины процесса. Принципиальное отличие ЭНИП-4 от ЭНИП-3 связано с увеличением диапазонов работы по току и напряжению (полные диапазоны по току и напряжению в соответствии с IEC 61850-9-2LE). Это дает возможность использовать данные от ЭНИП-4 в системах не только режимной, но и противоаварийной автоматики. Другие отличия связаны с увеличением портов Ethernet: 2 порта для поддержки шины процесса IEC 61850-9-2LE и 2 порта для поддержки протоколов IEEE C37.118.2 и/или IEC 61870-90-5, IEC 60870-5-104.

В 2013 году специалисты ЗАО "Инженерный центр" Энергосервис приступили к разработке многофункционального устройства нового поколения ESM с поддержкой шины процесса и шины подстанции. В ESM в настоящее время реализованы функции устройства синхронизированных векторных измерений, многофункционального измерительного преобразователя телемеханики, счетчика коммерческого учета электроэнергии и прибора измерения показателей качества электроэнергии и (рис.5).

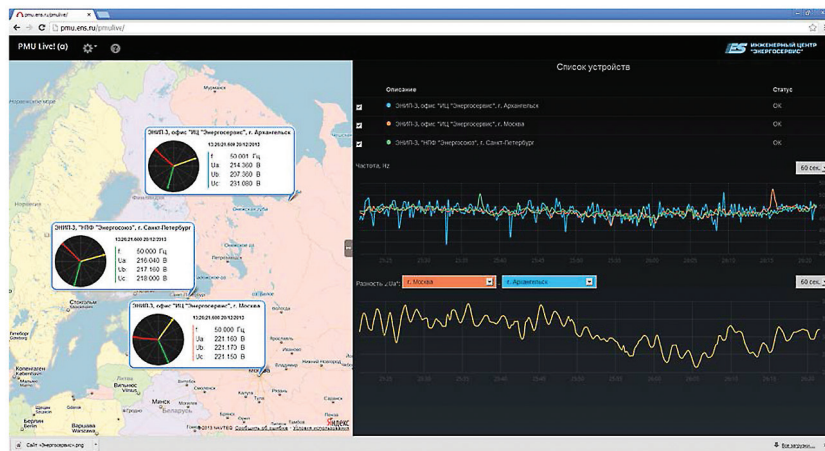
Для индикации показаний ESM разработан специальный модуль индикации

торных измерений по протоколу IEEE C37.118.2 или других концентраторов векторных измерений, агрегацию данных векторных измерений от нескольких PMU по метке времени UTC, передачу клиентским устройствам (вышестоящим PDC или автоматизированным системам обработки данных векторных измерений) пакетов объединяющих данные от нескольких PMU по протоколу согласно IEEE C37.118.2. В качестве УСВИ могут быть использованы многофункциональные преобразователи ЭНИП-3 или устройства других производителей.

PDC может осуществлять расчет следующих дополнительных параметров: мощности, средних и суммарных величин, пересчет величин с учетом коэффициентов трансформации, расчет симметричных составляющих токов, напряжений, мощностей и т. д.

ES-PDC обеспечивает регистрацию и хранение в архивах всех принятых пакетов данных от PMU для предотвращения потери данных в результате сбоя исходящей линии связи. Данные от PMU хранятся в циклических архивах внутренней базы данных с настраиваемой глубиной. В аварийных режимах

Рис. 6. Онлайн-трансляция векторных измерений.



ЭНМИ-6. В случае отдельной установки ESM и ЭНМИ-6 предусматривается как стандартный способ подключения ЭНМИ-6 к устройству ESM с помощью интерфейса RS-485, так и подключение по локальной сети Ethernet. Модуль индикации ЭНМИ-6 в перспективе может использоваться как автономное устройство для отображения параметров устройств в рамках цифровой подстанции (подписка на GOOSE-сообщения, MMS-сообщения).

КОНЦЕНТРАТОР ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ES-PDC

ES-PDC выполняет функции концентратора данных векторных измерений (Phasor Data Concentrator, PDC), в том числе функции по сбору данных от устройств синхронизированных век-

ES-PDC дополнительно обеспечивает запись архивов аварийных событий. По наступлению настраиваемых событий (уставки, триггеры) производит запись полученных данных в аварийный архив (comtrade- и CSV-файлы). Доступ к архивным данным предоставляет по протоколам FTP, HTTPS/SOAP.

В концентраторе данных векторных измерений ES-PDC предусмотрена удобная система конфигурирования через Web-интерфейс, позволяющая настроить потоки данных, архивирование, вычисление дополнительных величин, контроль доступа, настройки входных и выходных потоков данных. Предусмотрена возможность установки панели индикации (на базе устройства ЭНМИ-6) с выводом диагностической информации о работе ES-PDC и опрашиваемых УСВИ.

Поддержка различных способов резервирования данных: на уровне дисковых накопителей внутри одного PDC, резервирование каналов связи внутри одного PDC, резервирование каналов связи между двумя PDC, резервирование данных между PDC.

ES-PDC для обеспечения резервирования питания могут оборудоваться двумя встроенными источниками питания для подключения к двум независимым источникам питания на объекте.

ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для демонстрации возможностей ЭНИП-2 специалистами ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» разработан специальный ресурс rtmulative.ru. На сайте в реальном времени отображаются данные с устройств векторных измерений, подключенных к энергосистеме в различных географических точках России: Архангельске, Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске. Результаты векторных измерений предоставляются в удобном графическом виде: расположение устройств на карте с привязкой к реальным координатам, векторные диаграммы, сводный график частоты, график относительных углов. Сайт разработан с помощью технологии HTML-5 и готов для просмотра на всех платформах, в том числе и на мобильных устройствах. По протоколу FTP доступен архив с данными от устройств ЭНИП-2 в виде сжатых CSV файлов в формате ZIP.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В начале 2014 года введен в работу программно-технический комплекс СМРР подстанции 500 кВ Елабуга. Устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3 установлены на линиях электропередачи 500 кВ Нижнекамская ГЭС – Елабуга и Елабуга – Удмуртская.

Передача данных векторных измерений с ES-PDC производится в диспетчерский центр ОАО «СО ЕЭС – ОДУ» Средней Волги в режиме реального времени по протоколу IEEE C37.118 с циклом передачи данных с концентратора векторных данных 50 раз/сек. В режиме «по запросу» по протоколам FTP, HTTPS/SOAP предусмотрена возможность передачи всего объема зарегистрированных параметров (циклических и аварийных архивов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты испытаний устройств синхронизированных векторных измерений ЭНИП-3 подтвердили соответствие данных устройств стандарту IEEE C37.118.1-2011. Дополнительные испытания на основе «воспроизведения» осциллограмм реальных аварий в энергосистемах и аномальных режимов, а также испытания на электродинамической модели ОАО «НТЦ ЕЭС» подтвердили эффективность использования ЭНИП-3 для построения систем мониторинга переходных режимов (WAMS).

Использование новых разработок ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», в том числе ENMU, ESM и ЭНИП-4, позволяет использовать данные устройства в территориально-распределенных системах измерений, защит и управления (WAMPAC).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.В., Сацун Е.И., Дубинин Д.М. Развитие технологий мониторинга и управления в ЕЭС России на базе системы мониторинга переходных режимов // Сб. межд. научно-техн. конф. «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». – Екатеринбург, 2013.
2. Hector J. Altuve Ferrer, Edmund O. Schweitzer, III et al. Modern Solutions for Protection, Control, and Monitoring of Electric Power Systems / SEL, 2010.
3. Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Мокеев А.В., Ульянов Д. Н. Устройства синхронизированных векторных измерений с поддержкой стандартов IEEE C37.118 и IEC 61850 // Сб. межд. научно-техн. конф. «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». – Екатеринбург, 2013.
4. Бовыкин В.Н., Мокеев А.В. Доступные решения для цифровой подстанции // A&IT. - 2013. - № 3. - С. 2-6.
5. Мокеев А.В. Алгоритмы обработки сигналов ИЗУ на основе технологии векторных измерений / Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. М., 2011.
6. Marquez F.P.G., Mokeev A.V., Zaman N. and etc. Digital Filters and Signal Processing. Rijeka, InTech, 2013. 307 p.
7. Mokeev, A.V. Optimal filter synthesis // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2013. – Krasnoyarsk, 2013. – Pp.. 1-4.



БОВЫКИН Владимир Николаевич

Окончил Архангельский государственный технический университет в 2000 году по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий», выпускник Президентской программы. В ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» работает с 1999 года, заместитель директора Энергетического департамента, начальник управления производством и сбыта микропроцессорных устройств.



МОКЕЕВ Алексей Владимирович

Окончил в 1981 году Ленинградский политехнический институт (ныне НИУ С.-Петербургский государственный политехнический университет), инженер-электрик, специализация «Релейная защита и автоматизация энергосистем». Защитил кандидатскую диссертацию в ЛПИ в 1986 году, докторскую диссертацию в 2011 году. Заместитель генерального директора ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Северного (Арктического) федерального университета.



МИКЛАШЕВИЧ Алексей Викторович

Окончил Архангельский государственный технический университет в 2001 году по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий». В ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» работает с 2000 года, начальник отдела разработки микропроцессорных устройств.



РОДИОНОВ Андрей Вячеславович

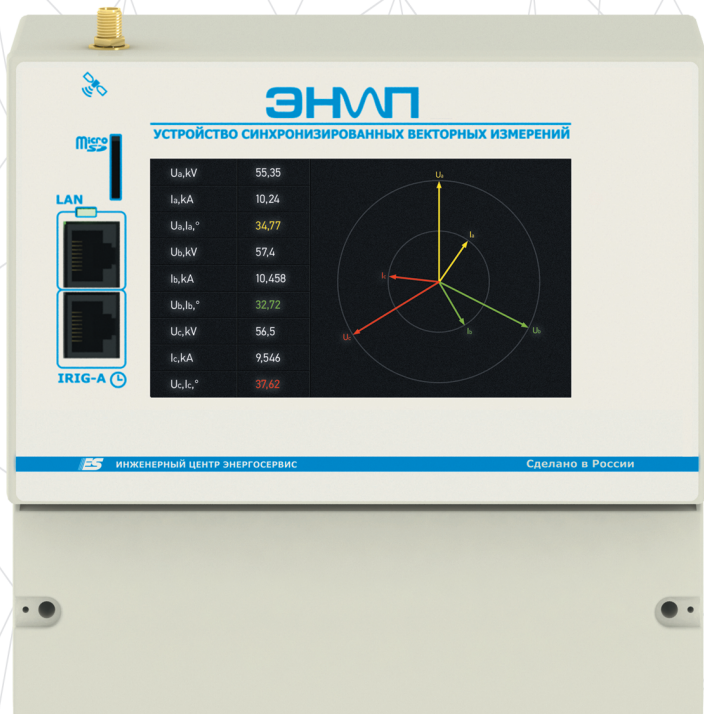
Окончил Поморский государственный университет им. М. В. Ломоносова в 2010 году по специальности «Прикладная информатика». В ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис» работает с 2010 года, инженер-программист отдела разработки микропроцессорных устройств.

ЭНИП-2

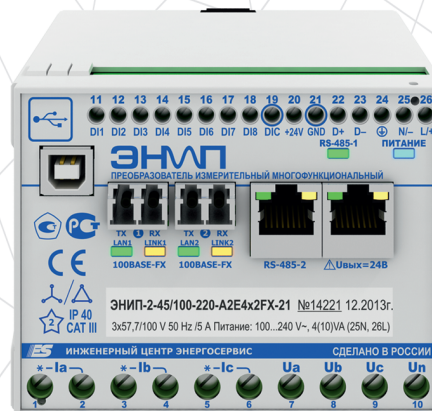
Многофункциональные измерительные преобразователи



ПРОВЕРЕННЫЕ РЕШЕНИЯ



Самое компактное и доступное устройство с поддержкой синхронизированных векторных измерений



Поддержка МЭК 61850



Контроллер присоединения для размещения в ячейках 6-20 кВ

Преобразователи ЭНИП-2 внесены в Государственный реестр средств измерений, аттестованы в ФСК ЕЭС и Россети, соответствуют требованиям ЭМС в системе ГОСТ Р и СЕ

реклама

ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГОСЕРВИС

enip2.ru
(8182) 65-75-65

РАЗРАБОТАНО И СДЕЛАНО В РОССИИ