

## Расширение области применения многофункциональных УСВИ и КСВД

**Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Родионов А.В.**  
**ООО «Инженерный центр «Энергосервис»**  
**Мокеев А.В., доктор техн.наук**  
**Северный (Арктический) федеральный университет,**  
**Россия**  
**a.rodionov@ens.ru**

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

устройства синхронизированных векторных измерений, интеллектуальные электронные устройства, концентраторы синхронизированных векторных данных.

### 1 ВВЕДЕНИЕ

В последние годы технология синхронизированных векторных измерений все активнее находит применение в интеллектуальных электронных устройствах (ИЭУ) различного функционального назначения, в том числе в устройствах релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики, измерительных устройствах [1-3]. Преимущества указанной технологии связаны с возможностью расчетов на основе синхронизированных векторов тока и напряжения параметров режима электрической сети и параметров самой сети.

Успешное внедрение автоматизированных систем мониторинга переходных режимов WAMS (Wide Area Measurement Systems) с использованием устройств синхронизированных векторных измерений (Phasor Measurement Unit) предопределило перспективность использования ИЭУ с поддержкой указанной технологии для решения других важных задач, связанных с повышением надежности и экономичности функционирования энергосистем. Перспективными областями применения подобных ИЭУ являются АСУ ТП подстанций, автоматизированные системы технологического управления нового поколения WACS (Wide Area Control Systems), распределенные систем релейной защиты и автоматики WAPS (Wide Area Protection System), а также автоматизированные системы измерений, защиты и управления WAMPACS (Wide Area Monitoring, Protection and Control System). Применение данного класса интеллектуальных электронных устройств позволяет реализовать принципиально новые алгоритмы противоаварийного управления и управления нормальными режимами энергосистем.

Наиболее перспективна реализация технологии синхронизированных векторных измерений для многофункциональных ИЭУ. Специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» разработан ряд многофункциональных интеллектуальных устройств с поддержкой технологии векторных измерений, в том числе устройство синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-УСВИ с функциями концентратора векторных данных, устройство сопряжения с шиной процесса ENMU, многофункциональное измерительное устройство ESM, устройство релейной защиты и автоматики ENBC с функциями контроллера присоединения. В докладе рассматриваются вопросы эффективности применения данных

устройств в составе СМПР, в автоматизированных системах технологического управления, для реализации функций релейной защиты и автоматики.

Рассмотрены также вопросы по расширению функциональных возможностей концентраторов векторных данных (КСВД). КСВД, установленные на подстанциях или электростанциях используются в большинстве случаев как агрегаторы данных УСВИ и как устройства передачи данных на КСВД верхнего уровня. В разработанном специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» концентраторе векторных данных ES-PDC добавлены возможности, позволяющие реализовывать дополнительные функции, в том числе выполнение расчетных задач на основе программируемых сценариев и визуализация измерений.

## 2 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

### 2.1 Общие сведения

Технология синхронизированных векторных измерений в последние годы наряду с УСВИ все активнее применяется в ИЭУ различного функционального назначения, прежде всего в устройствах релейной защиты и автоматики. Мировым лидером в производстве подобных ИЭУ является американская компания SEL, которая включает модули УСВИ не только в устройства РЗА, но и в измерительные устройства, в том числе счетчики электрической энергии [5]. Так же следует отметить новое поколение устройств РЗА SIPROTEC 5 фирмы Siemens, в которых опционально может применяться модули УСВИ.

С другой стороны, расширение функциональных возможностей УСВИ и автоматизированных систем на их основе во многом связана с поддержкой технологии цифровой подстанции, в том числе поддержкой шины процесса и шины подстанции. Поэтому представляется целесообразным реализация модуля УСВИ в составе устройств сопряжения с шиной процесса.

Рассмотрим преимущества расширения функциональных возможностей различных ИЭУ на примере продукции фирмы ООО «Инженерный центр «Энергосервис».

### 2.2 Устройство синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-УСВИ

Устройства ЭНИП-2-УСВИ (рис. 1) разработаны на базе серийно выпускаемых с 2009 года многофункциональных измерительных преобразователей ЭНИП-2, отличительная особенность которых связана с реализацией быстрых синхронных измерений параметров режима энергосистемы [4].



Рис. 1: Устройство синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-УСВИ

Устройства ЭНИП-2-УСВИ могут интегрироваться как в системы мониторинга переходных режимов (СМНР), так и в автоматизированные системы технологического управления, в том числе АСУ ТП цифровых подстанций при использовании модификации ЭНИП-2-УСВИ с цифровыми входами для подключения к шине процесса согласно МЭК 61850-9-2LE.

Устройство синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-УСВИ является одним из самых компактных устройств своего класса и может устанавливаться не только в шкафы СМНР, но и в релейные отсеки КРУ, и на панелях ОПУ.

Опционально устройства ЭНИП-2-УСВИ содержат встроенный GPS/ГЛОНАСС-приемник сигналов точного времени и ЖКИ экран. На дисплее отображаются измерения в табличной форме, в виде векторной диаграммы и в режиме осциллографа.

В последних модификациях ЭНИП-2-УСВИ реализован встроенный концентратор синхронизированных векторных данных (КСВД). Наличие встроенного КСВД и GPS/ГЛОНАСС-приемника позволяет с минимальными затратами произвести установку одного устройства УСВИ на объекте и снизить требования к каналам передачи данных. Такое решение может применяться для тестирования эффективности применения УСВИ на объекте, а также для случая, когда требуется установка всего одного УСВИ на объект.

Наряду с ЭНИП-2-УСВИ для применения в составе СМНР электростанций серийно выпускаются интеллектуальные устройства ЭНМВ-3, осуществляющие синхронизированные измерения токов и напряжений системы возбуждения генераторов (рис.2).



Рис. 2: Устройство ЭНМВ-3

Опыт создания и внедрения СМНР с использованием устройств синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-УСВИ и ЭНМ-3 позволил специалистам ООО «Инженерный центр «Энергосервис» использовать существующие наработки для создания других устройств с поддержкой технологии векторных измерений.

### 2.3 Устройства сопряжения с шиной процесса

В последние годы все заметнее тенденция, связанная с расширением функциональных возможностей аналоговых устройств сопряжения с шиной процесса, подключаемых к традиционным трансформаторам тока и напряжения (SAMU) или устройства сопряжения, встраиваемые в современные датчики тока и напряжения (AMU).

Устройство сопряжения ENMU, предназначенное для подключения к электромагнитным измерительным трансформаторам тока и напряжения, наряду формированием и передачей потоков выборочных значений токов и напряжений (SV80 и SV256) выполняет также функции УСВИ, многофункционального измерительного преобразователя телемеханики, регистратора аварийных процессов и концентратора векторных измерений.

В малогабаритном устройстве сопряжения, встроенном в комбинированный датчик тока и напряжения ТЕСV.P1-10 6-10 кВ, также реализован модуль измерения синхронизированных векторов тока и напряжения [5,6].

Использование векторных измерений можно рассматривать как дополнение или как альтернативу sampled values (МЭК 61850-9-2LE), так как для многих ИЭУ достаточно использование синхронизированных векторов токов и напряжений основной гармоники для

вычисления параметров режима энергосистемы и параметров сети. При этом резко снижается трафик передачи данных по промышленной сети и снижаются требования к вычислительным ресурсам микропроцессоров ИЭУ различного функционального назначения и микропроцессорам централизованных систем управления.

#### *2.4 Многофункциональные измерительные устройства*

С 2017 года ООО «Инженерный центр «Энергосервис» приступает к серийному производству нового многофункционального измерительного интеллектуального устройства ESM, которое выполняет функции телеизмерений, счетчика коммерческого учета электроэнергии, прибора измерения показателей качества электроэнергии и устройства синхронизированных векторных измерений.

Интеллектуальное измерительное устройство ESM в зависимости от типа входов имеет 4 основные модификации. Устройства ESM-HV и ESM-ET имеют аналоговые входы, а устройства ESM-SV и ESM-SVF – цифровые входы. Устройства ESM-HV предназначены для подключения к традиционным электромагнитным измерительным трансформаторам тока и напряжения, а устройства ESM-ET предназначена для совместной работы с современными датчиками тока и напряжения с низкоуровневыми аналоговыми выходами (датчики тока типа LPCT или датчики тока на базе катушки Роговского, емкостные или резистивные датчики напряжения). Устройства ESM-SV предназначены для подключения к шине процесса согласно МЭК 61850-9-2, а устройства ESM-SVF - для подключения к низкоуровневой шине процесса на базе промышленной сети FlexRay [5,6].

Для интеграции в АСУ ТП цифровых подстанций устройства ESM содержат встроенный сетевой коммутатор и до четырех портов Ethernet. ESM может быть дополнен функциями сбора дискретных сигналов и выдачи команд управления через внешние модули ЭНМВ, подключаемые к порту RS-485. Например, ESM совместно с ЭНМВ-1-16/3R обеспечивает полный объем телеизмерений, телесигнализацию и телеуправление для одного присоединения.

Отличительными особенностями измерительных многофункциональных устройств ESM являются расширенные диапазоны измерений параметров режима электрической сети, высокая точность измерений по основной гармонике и с учетом высших гармоник, наличие “быстрых” (20 мс и более) и “медленных” (200 мс и более) измерений, измерения синхронизированных векторов тока и напряжения основной и высших гармоник, реализация различных методов измерений реактивной мощности и энергии, возможность учета “некачественной” электроэнергии.

Отличительной же особенностью ESM как устройства синхронизированных векторных измерений является чрезвычайно малые габариты и вес, а также возможность измерения синхронизированных векторов тока и напряжения высших гармоник.

#### *2.5 Устройства релейной защиты и автоматики*

Тенденция к расширению функциональных возможностей характерна и для устройств РЗА, особенно для устройств релейной защиты и автоматики 6-35 кВ. В настоящее время многие российские и зарубежные производители разрабатывают или серийно производят устройства, сочетающие функционал устройств РЗА и контроллеров присоединения. Указанное сочетание функциональных возможностей наиболее оправданно в случае применения современных датчиков тока и напряжения.

Специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» разработаны опытные образцы многофункциональных интеллектуальных устройств ENBC, выполняющих функции устройства РЗА и контроллера присоединения. Устройства ENBC предназначены для работы совместно с цифровыми комбинированными датчиками тока и напряжения (КДТН) TECV.P1-10 [5,6]. Устройство ENBC подключается к КДТН посредством низкоуровневой шины процесса FlexRay и обеспечивает прием выборочных значений тока и напряжения или синхронизированных векторных измерений фазных токов и напряжений.

Многофункциональное устройство ENBC обеспечивает обмен данными с АСУ ТП подстанции, другими ENBC и прочими интеллектуальными электронными устройствами на объекте по сети Ethernet в рамках шины подстанции (MMS- и GOOSE-сообщения).

Передача синхронизированных векторов тока и напряжения между ENBC позволяет более широко использовать дифференциальный принцип выполнения защиты отдельных

присоединений, шин и т.д. Кроме того, за счет передачи синхронизированных векторов тока и напряжения появляется возможность более эффективно реализовать задачи регулирования напряжения и компенсацию реактивной мощности.

### 3 КОНЦЕНТРАТОРЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ДАННЫХ

#### 3.1 Общие сведения

Концентраторы синхронизированных векторных данных (КСВД) занимают важное место при создании систем мониторинга переходных процессов. Наибольший интерес с точки зрения расширения функциональных возможностей представляют КСВД, установленные на подстанциях и электростанциях. В настоящее время они используются преимущественно для сбора данных от УСВИ, агрегации и регистрации векторных данных и их передачи в КСВД системного оператора. Информация, собираемая и регистрируемая КСВД, на объектах практически не используется.

#### 3.2 Концентраторы векторных данных ES-PDC

Концентратор данных векторных измерений ES-PDC имеет несколько исполнений в зависимости от количества опрашиваемых устройств синхронизированных векторных измерений [7]. На рис. 3 представлена модификация концентратора данных векторных измерений на базе промышленного компьютера, предназначенная для установки в 19” стойку.



Рис. 3: Концентратор векторных данных ES-PDC

ES-PDC выполняет следующие функции

- сбор данных от УСВИ или других КСВД по протоколу IEEE C37.118.2,
- агрегации векторных измерений от нескольких УСВИ по метке времени UTC,
- расчет параметров режима электрической сети,
- передачу клиентским устройствам данных по протоколу IEEE C37.118.2,
- архивирование данных: циклические и аварийные архивы (CSV-файлы)
- организацию доступа к архивным данным по протоколам FTP, HTTPS/SOAP.

Концентратор ES-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 УСВИ для предотвращения потери данных в результате сбоя каналов передачи данных. Принятые от УСВИ данные хранятся в циклических архивах внутренней базы данных с настраиваемой глубиной хранения. В аварийных режимах дополнительно ES-PDC обеспечивает запись архивов аварийных событий. По наступлению настраиваемых событий (уставки, триггеры) производит запись полученных данных в аварийный архив. Доступ к архивным данным предоставляется с использованием протоколов FTP, HTTPS/SOAP.

В концентраторе данных векторных измерений ES-PDC предусмотрена удобная система конфигурирования через специализированное программное обеспечение “ES Конфигуратор”, позволяющая настроить потоки данных, архивирование, вычисление дополнительных величин, контроль доступа, настройки входных и выходных потоков данных. Предусмотрена возможность установки панели диагностики на базе устройства ЭНМИ-6 с выводом диагностической информации о работе ES-PDC, опрашиваемых УСВИ и других компонентов СМПП (рис.4).

При организации системы СМПП предусмотрена поддержка различных способов резервирования данных: на уровне дисковых накопителей внутри одного КСВД, резервирование каналов связи внутри одного КСВД, резервирование каналов связи между двумя КСВД, резервирование данных между КСВД. Концентраторы ES-PDC для обеспечения резервирования питания могут оборудоваться двумя встроенными источниками питания для подключения к двум независимым источникам питания.



Рис. 4: Панель диагностики СМПП на базе ЭНМИ-6

Вопросы расширения функциональных возможностей ES-PDC неразрывно связаны с автоматизированными системами WAMS, WAMPACS и ее компонентами.

#### 4 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Инженерный центр «Энергосервис» разрабатывает и производит все основные компоненты программно-технического комплекса СМПП: устройства синхронизированных векторных измерений ЭНИП-2-УСВИ, устройство для синхронизированных измерений параметров возбуждения генераторов ЭНМВ-3, концентратор векторных данных ES-PDC, блок коррекции времени ЭНКС-2, модуль диагностики ЭНМИ-6 для мониторинга состояния компонент СМПП (рис.5).

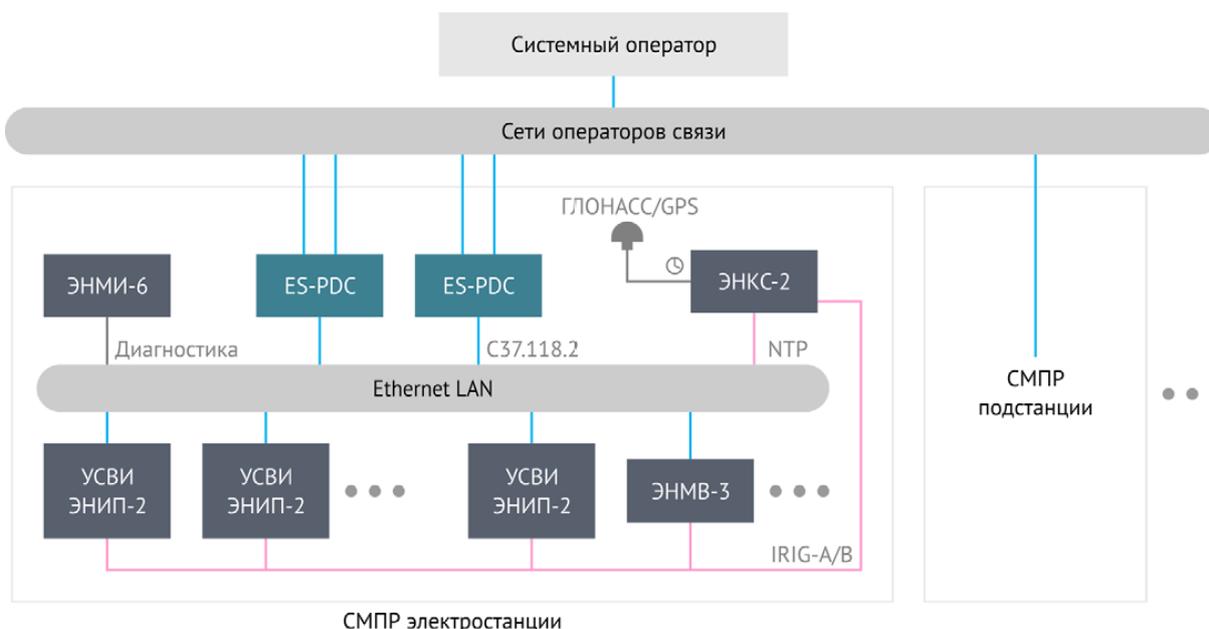


Рис. 5: Система мониторинга переходных режимов

На базе перечисленных выше компонентов может быть реализованы как очень простые, так и сложные системы СМПР. Для реализации простейшей система на подстанции, когда необходимо обеспечить векторные измерения всего на одном присоединении, достаточно использования ЭНИП-2-УСВИ со встроенным GPS/ГЛОНАСС-приемником сигналов точного времени и со встроенным концентратором векторных данных. При небольшом количестве контролируемых присоединений для создания системы используется несколько ЭНИП-2-УСВИ, блок коррекции времени ЭНКС-2 и компактная версия ES-PDC. Указанное оборудование может быть распределено по подстанции или скомпоновано в небольшом навесном шкафу. Традиционное решение, связанное с использованием шкафа-стойки СМПР, целесообразно использовать только на объектах с большим количеством контролируемых присоединений.

В качестве УСВИ в составе системы могут применяться не только ЭНИП-2-УСВИ, но и УСВИ сторонних производителей, а также ИЭУ с поддержкой технологии векторных измерений, в том числе многофункциональные устройства ESM, устройства сопряжения ENMU и т.д.

The screenshot displays the ES-PDC software interface. On the left, a code editor shows the implementation of a programmable scenario. The code includes variable declarations for time constants, frequency, and angular velocity, followed by calculations for dynamic components and a loop for processing 15 data points.

```

5
6 // Эмуляция локального хранилища, в котором хранятся предыдущие
7 var MEM = {
8   ts: {
9     usec: 0
10  },
11  omega: Math.PI * 2 * 50,
12  m_turb_ekv: 0
13 };
14
15 const f_ust = 47.5;
16 const j_ekv = 14203;
17
18 var f = val["GRU6_GEN1", "f"];
19 var p_sum = val["GRU6_GEN1", "P"] + val["GRU6_GEN2", "P"] + val["GRU6_GEN3", "P"];
20
21 var ust = f <= f_ust;
22 var omega = Math.PI * 2 * f;
23 var delta_omega = omega - MEM.omega;
24 var delta_t = (ts.usec - MEM.ts.usec) / 1000;
25 var m_gen_ekv = p_sum / omega;
26 var m_turb_ekv = 2 * (j_ekv * delta_omega / delta_t + m_gen_ekv);
27
28 var mdyn1 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
29 var mdyn2 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL2", "P"]);
30 var mdyn3 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_TEC3_VL1", "P"]);
31 var mdyn4 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_TEC3_VL2", "P"]);
32 var mdyn5 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
33 var mdyn6 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
34 var mdyn7 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
35 var mdyn8 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL2", "P"]);
36 var mdyn9 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL2", "P"]);
37 var mdyn10 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_TEC3_VL1", "P"]);
38 var mdyn11 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
39 var mdyn12 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
40 var mdyn13 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
41 var mdyn14 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL2", "P"]);
42 var mdyn15 = Math.abs(m_turb_ekv) - (val["ORU110_PM_KL1", "P"]);
43
44 var mdyn_min = Number.maxValue;
45 var mdyn_min_i = -1;
46 var mdyn_array = [mdyn1, mdyn2, mdyn3, mdyn4, mdyn5, mdyn6, mdyn7, mdyn8, mdyn9, mdyn10, mdyn11, mdyn12, mdyn13, mdyn14, mdyn15];
47
48 for (i = 0; i < 15; i++) {
49   if (mdyn_min > mdyn_array[i]) {
50     mdyn_min = mdyn_array[i];
51     mdyn_min_i = i;
52   }
53 }
54

```

On the right, a table titled "= True" lists parameters and their values:

Параметр	Значение
val["GRU6_GEN1", "Uphs_a"]	6
val["GRU6_GEN1", "Uphs_b"]	6
val["GRU6_GEN1", "Uphs_c"]	6
val["GRU6_GEN1", "Iphs_a"]	1,25
val["GRU6_GEN1", "Iphs_b"]	1,25
val["GRU6_GEN1", "Iphs_c"]	1,25
val["GRU6_GEN1", "f"]	50
val["GRU6_GEN1", "ROCOF"]	0
val["GRU6_GEN1", "P"]	6
val["GRU6_GEN1", "Q"]	4,5
val["GRU6_GEN1", "Q1"]	1
val["GRU6_GEN2", "Uphs_a"]	6
val["GRU6_GEN2", "Uphs_b"]	6
val["GRU6_GEN2", "Uphs_c"]	6
val["GRU6_GEN2", "Iphs_a"]	2,5
val["GRU6_GEN2", "Iphs_b"]	2,5
val["GRU6_GEN2", "Iphs_c"]	2,5
val["GRU6_GEN2", "f"]	50
val["GRU6_GEN2", "ROCOF"]	0
val["GRU6_GEN2", "P"]	12
val["GRU6_GEN2", "Q"]	9
val["GRU6_GEN2", "Q2"]	1
val["GRU6_GEN3", "Uphs_a"]	6
val["GRU6_GEN3", "Uphs_b"]	6
val["GRU6_GEN3", "Uphs_c"]	6
val["GRU6_GEN3", "Iphs_a"]	1
val["GRU6_GEN3", "Iphs_b"]	1
val["GRU6_GEN3", "Iphs_c"]	1
val["GRU6_GEN3", "f"]	50
val["GRU6_GEN3", "ROCOF"]	0
val["GRU6_GEN3", "P"]	15
val["GRU6_GEN3", "Q"]	0
val["GRU6_GEN3", "Q3"]	0
val["GRU6_1", "Uphs_a"]	0
val["GRU6_1", "Uphs_b"]	0
val["GRU6_1", "Uphs_c"]	0

Рис. 6: Реализация программируемых сценариев в ES-PDC

Возможности системы могут быть существенно расширены, если вместо ЭНИП-2-УСВИ использовать более многофункциональные устройства, например, ESM, ENBC или ENMU. Расширение функциональных возможностей системы при использовании ESM связаны с

возможностью измерений и регистрации синхронизированных векторов высших гармоник тока и напряжения. При применении устройства ENMU появится возможность измерения синхронизированных векторов тока не только от измерительной, но и от релейной обмотки измерительных трансформаторов тока. Перечисленные возможности позволяют использовать указанные синхронизированные векторы в распределенных устройствах защиты, режимной и противоаварийной автоматики (WAMPACS). Но при этом необходимо также осуществлять ввод-вывод дискретных данных.

Устройстве ЭНИП-2-УСВИ содержит 5 дискретных входов. Для расширения возможностей по дискретному вводу-выводу могут быть использованы модули ЭНМВ-1. В концентраторе векторных данных ES-PDC добавлены возможности по приему/передаче GOOSE-сообщений для взаимодействия с ЭНМВ-1.

В концентраторе векторных данных ES-PDC добавлены возможности, позволяющие реализовывать дополнительные функции, в том числе выполнение расчетных задач с формированием управляющих воздействий на основе программируемых сценариев и визуализация измерений (рис.6).

## 5 ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Системы СМРР на базе продукции Инженерный центр «Энергосервис» на ряде подстанций 500 кВ и на тепловых и гидравлических электростанциях России. Передача данных векторных измерений с ES-PDC производится в диспетчерские центры Системного оператора 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, в том числе циклических и аварийных архивов.

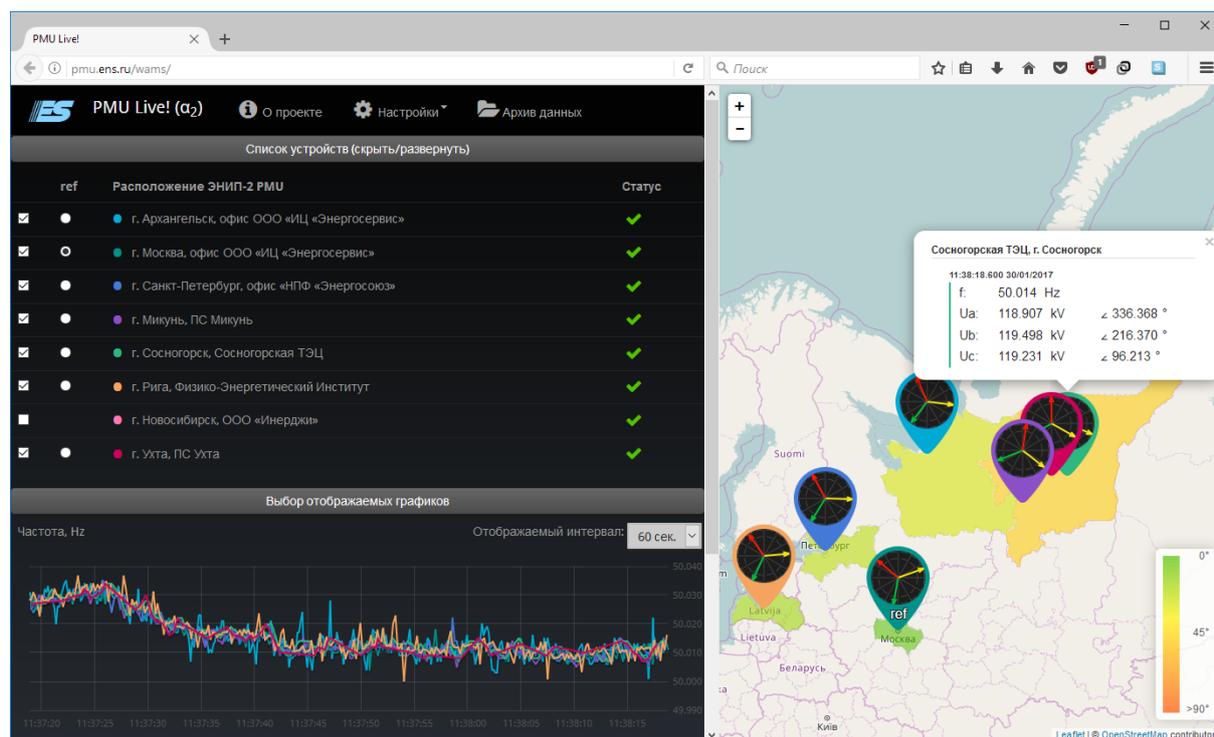


Рис. 7: Экранная форма проекта PMU Live!

Для демонстрации возможностей ЭНИП-2-УСВИ и ES-PDC организован онлайн-проект PMU Live! ([www.pmu.ens.ru/pmulive](http://www.pmu.ens.ru/pmulive)). На сайте проекта в режиме реального времени можно просматривать векторные измерения, осуществляемые в разных городах России (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Архангельск) и в столице Латвии (Рига). Данные для отображения на сайте поступают от ЭНИП-2-УСВИ размещенных в обычных офисах. ЭНИП-2-

УСВИ подключены в офисную сеть электропитания, синхронизируются от встроенного или внешнего приемника глобальных навигационных систем и через сеть Интернет с использованием GSM-сети передают результаты измерений на ES-PDC, установленный в офисе Инженерного центра «Энергосервис». В ближайшее время запланировано расширение возможностей проекта PMU Live! за счет установки УСВИ в других городах России и городах других стран.

Результаты векторных измерений предоставляются в удобном графическом виде (рис.6): 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-УСВИ в виде сжатых CSV файлов в формате ZIP.

Наряду с открытой частью проекта PMU Live! имеется и закрытая часть, связанная с организацией СМПП на подстанциях 220 кВ Комиэнерго (ПС Ухта и ПС Микунь), а также Сосногорской ТЭЦ. На подстанциях установлены ЭНИП-2-УСВИ со встроенными GPS/ГЛОНАСС-приемниками сигналов точного времени. Для сбора и передачи данных используется компактная модификация ES-PDC и GSM-модем. На Сосногорской ТЭЦ установлена новая модификация ЭНИП-2-УСВИ со встроенным концентратором векторных данных.

## 6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширение функциональных возможностей УСВИ, применение многофункциональных интеллектуальных устройств с поддержкой технологии синхронизированных векторных измерений позволит повысить эффективность различных автоматизированных систем технологического управления и внедрить устройства релейной защиты и системы автоматики нового поколения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Phadke A.G., Thorp J.S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. NY.: Springer Science & Business Media, 2008.
- [2] Kezunovic M., Meliopoulos S., Venkatasubramanian V., Vittal V. Application of Time-Synchronized Measurements in Power System Transmission Networks. NY, Springer, 2014.
- [3] Héctor J. Altuve Ferrer, Edmund O. Schweitzer, III et al. Modern Solutions for Protection, Control, and Monitoring of Electric Power Systems. SEL, 2010..
- [4] Мокеев А.В., Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Ульянов Д.Н. Расширение функциональных возможностей УСВИ [Электронный ресурс] // Сб. межд. научно-техн.конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. Сочи, 2015.
- [5] Мокеев А.В., Бовыкин В.Н., Хромцов Е.И. Особенности реализации технологий цифровой подстанции и векторных измерений в распределительных устройствах 6-35 кВ // Релейная защита и автоматизация. 2015. № 4. С. 44-49.
- [6] Бовыкин В.Н., Мокеев А.В., Перелыгин Л.В. Расширение функциональных возможностей интеллектуальных электронных устройств // Релейная защита и автоматизация. 2016. № 4. С. 28-34.
- [7] Мокеев А.В., Бовыкин В.Н., Миклашевич А.В., Родионов А.В. Системы векторных измерений // Цифровая подстанция. 2014. № 3. С.42-46.