

Эталоны и поверочные установки для средств измерений параметров электроэнергии.

Состояние и перспективы

УДК 681.2.089

Сергеев С.Р.,
ООО «НПП Марс-Энерго»



ОТ НОВЫХ ИДЕЙ ДО УМНЫХ СЕТЕЙ
Энергопрорыв

В статье рассматривается оборудование для поверки средств электрических измерений, применяемых в электроэнергетике как в условиях лаборатории, так и в условиях их эксплуатации. Указанные средства и методы поверки и калибровки представляют интерес для метрологических служб организаций, предприятий отрасли и изготовителей средств электрических измерений.

Постоянное повышение требований к точности измерений в электроэнергетике требует изменений в метрологическом обеспечении учета электроэнергии и измерений на всех этапах — от генерации до потребления. Эта тенденция приводит к необходимости увеличения числа эталонов 1-го разряда, обеспечивающих поверку рабочих средств электрических измерений (СИ) классов точности 0,05...0,2. Эталоны 1-го разряда периодически (как правило, раз в год) поверяются на первичных эталонах метрологических институтов (ВНИИМ, ВНИИМС, УНИИМ). Но первичный эталон для одной величины — один на всю Россию (и СНГ), а эталонов 1-го разряда становится все больше и больше. Поэтому «НПП Марс-Энерго» совместно с институтами метрологии были выполнены работы по созданию и подготовке серийного выпуска вторичных эталонов:

- установки электроэнергетические эталонные «ВЭТ-МЭ 1.0»;
- установки эталонные «ВЭТ 175-1».

НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В 2012 году был утвержден новый «Государственный первичный эталон единицы электрической мощности в диапазоне частот 1–2500 Гц «ГЭТ 153-2012», в создании которого компания «НПП Марс-Энерго» принимала активное участие. Ряд основных элементов эталона изготовлен в «НПП Марс-Энерго»: источник фиктивной мощности, низкоиндуктивные шунты, резистивный делитель напряжения. Также с участием «НПП Марс-Энерго» создавалось программное обеспечение для эталонного комплекса. Новый Государственный первичный эталон возглавил поверочную схему для средств измерений (СИ) электрической мощности и энергии в расширенном диапазоне частот от 1 до 2500 Гц [1]. Звеньями этой схемы, непосредственно осуществляющими передачу единиц активной и реактивной мощности (энергии) от ГЭТ 153-2012 рабочим эталонам, являются однофазный и трехфазный вторичные эталоны единицы электрической мощности (ВЭТ 153.1 и ВЭТ 153.3). Кроме основной задачи — передачи еди-

Ключевые слова: низковольтные измерения, высоковольтные измерения, показатели качества электроэнергии, шунты переменного тока, поверка электроизмерительных приборов

Keywords: low-voltage measurements, high-voltage measurements, power quality parameters, AC current shunts, testing of measuring instruments

ниц мощности, воспроизведенной в виде однофазной мощности при синусоидальной форме кривых тока и напряжения, вторичные эталоны должны решать задачи расширения функций первичного эталона, и в частности обеспечить:

- передачу единиц трехфазным СИ, в том числе при несимметричных системах напряжений и токов, при искаженных формах кривых напряжения и тока;
- передачу единиц трехфазным СИ показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в соответствии с новыми межгосударственными стандартами;
- и, в перспективе, передачу единиц СИ векторных величин, синхронизированных с UTC, с входными и/или выходными сигналами, соответствующими протоколам стандарта IEC 61850-9-2LE.

Установка «ВЭТ-МЭ 1.0» (рис. 1) обеспечивает передачу единиц электрической мощности от Государственного первичного эталона единицы электрической мощности ГЭТ 153-2012 рабочим эталонам и СИ электрической мощности и электрической энергии и измерение ряда электроэнергетических величин (в том числе параметров активной и реактивной мощности) в диапазонах:

- напряжения — от 0,01 до 576 В и при номинальных значениях поддиапазонов: 0,07; 0,7; 7; 60; 120; 240 и 480 В;
- силы тока — от 0,01 А до 44 А (для поддиапазонов измерения в соответствии с номинальными токами шунтов ШЭ);
- частоты основной гармоники (f_1) — от 16 до 450 Гц;
- угла сдвига фаз между основными гармониками напряжения и тока — от 0 до ± 180 градусов;
- напряжения и тока гармоник (до 50-й).

В состав установки входят низкоиндуктивные шунты переменного тока ШЭ с номинальными токами от 0,01 до 100 А и характеристиками, указанными в таблице 1.

Вторичный эталон позволяет передавать единицы величин, указанных в таблице 2, эталонам первого разряда, например, поверочным установкам с границами погрешностей измерений

$\pm(0,01-0,05)\%$. Также вторичный эталон передает величины параметров гармоник (до 50) и интергармоник.

Для выполнения поверки широкой номенклатуры электроизмерительных приборов, измерителей (анализаторов) ПКЭ и счетчиков электроэнергии классов точности до 0,05 в «НПП Марс-Энерго» с 2004 года выпускается установка поверочная универсальная УППУ-МЭ. Установки эксплуатируются в большинстве ЦСМ РФ и в СНГ, в метрологических службах крупных предприятий электроэнергетики, а также на заводах-изготовителях электросчетчиков и измерительных преобразователей.

В настоящее время в «НПП Марс-Энерго» выпускается 2 вида поверочных установок типа УППУ-МЭ: стационарная и переносная.



Рис. 1. Вторичный эталон мощности «ВЭТ-МЭ 1.0»

Табл. 1. Основные характеристики шунтов переменного тока ШЭ

Наименование характеристики	Значение
Диапазон номинальных токов (I_H), А	от 0,01 до 100
Диапазон номинальных напряжений (U_H), В	от 0,01 до 1,0
Диапазон номинальных коэффициентов преобразования шунта ($K_{шн}$), А/В	от 10^{-2} до 10^4
Рабочий диапазон частот, кГц	от 0 до 100
Предел допускаемого отклонения $K_{ш}$ от $K_{шн}$ (δ_1) (при выпуске, до первичной калибровки), %	$\pm 0,025$
Предел основной допускаемой относительной погрешности $K_{ш}$ на постоянном токе (после первичной калибровки) ($\delta_{пт}$), $\pm\%$	от $2 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-4}$
Пределы допускаемой абсолютной угловой погрешности $K_{ш}$ в рабочем диапазоне частот (δ_ϕ), \pm мкрад	от 4 до 10
Пределы допускаемой дополнительной погрешности $K_{ш}$, вызванной нагревом протекающим током ($\delta_{ТТ}$), %	$\pm 0,001-0,003$
Температурный коэффициент $K_{ш}$, не более, %/К	$2 \cdot 10^{-6}$

Табл. 2. Основные характеристики ВЭТ-МЭ 1.0

Измеряемые величины	Диапазон	Границы допускаемой погрешности*
Переменное напряжение, В	от 0,1 до 576	$\delta = \pm 0,004$
Сила переменного тока, А	от 0,01 до 44	$\delta = \pm 0,004$
Частота основной гармоники напряжения, f_1 , Гц	от 16 до 450	$\delta = \pm 0,0001$
Угол сдвига фаз между основными гармониками тока и напряжения, градус	от 0 до ± 180	$\Delta = \pm k_F \cdot f_1$, где $k_F = 0,00003$ °С/Гц
Активная электрическая мощность, Вт	U — от $0,1U_H$ до $1,2U_H$ I — от $0,1I_H$ до $1,1I_H$	$\delta = \pm 0,004$
Реактивная электрическая мощность синусоидальных сигналов U и I , вар		$\delta = \pm 0,005$

* δ — относительная погрешность, %; Δ — абсолютная погрешность.



Рис. 2. УППУ-МЭ 3.1КМ-С

**Стационарная
(лабораторная)
поверочная установка
УППУ-МЭ 3.1КМ-С**

В 2012–2013 годах была проведена разработка новой установки. Необходимость этой разработки вызвана потребностями промышленности и, как следствие, метрологических служб в эталонных СИ, позволяющих поверять новые типы приборов, соответствующих новым стандартам. Практически новая установка стала прототипом вторичного эталона.

Эталонный прибор «Энергомонитор-3.1КМ», входящий в состав установки, (Гос. реестр № 52854-13) имеет расширенные диапазоны измерения, что позволяет поверять ваттметры с напряжением до 800 В, вольтметры от 1 до 900 В и электросчетчики прямого включения с током до 120 А. Основная погрешность измерения активной мощности $\pm 0,01\%$.

Источник испытательных сигналов (генератор) и эталонное СИ монтируются в приборной стойке. Одна из модификаций обеспечивает дополнительно поверку СИ постоянного тока. Установка с использованием калиброванных катушек позволяет

поверять токоизмерительные клещи и СИ с клещами на номинальных токах до 3000 А.

Управление установкой осуществляется с помощью встроенной клавиатуры и графического дисплея блока «Энергоформа-3.1» и прибора «Энергомонитор-3.1КМ», либо на АРМ с помощью программного обеспечения (ПО) «Энергоформа».

Для типовых испытаний СИ и электросчетчиков при искаженной форме сигнала на компьютере задаются требуемые параметры: гармоники и их фазы, действующие значения первых гармоник тока и напряжения.

В комплект Установки (рисунок 2) дополнительно может быть включен Преобразователь постоянного тока и напряжения в частоту типа «ПТНЧ» (№ 34892-07), предназначенный для:

- поверки измерительных преобразователей, имеющих выходной информационно-измерительный сигнал в виде постоянного напряжения или тока;
- обеспечения многоместной поверки счетчиков электрической энергии с импульсным выходом.

Для одновременной поверки трех однофазных шунтовых электросчетчиков с I_n до 100 А в состав «УППУ-МЭ» может входить устройство для поверки шунтовых счетчиков «УПШС».

Основные преимущества по сравнению с предыдущей моделью:

- увеличено быстродействие;
- увеличена мощность: до 45 В·А для фазы напряжения и 300 В·А для фазы тока;
- расширены диапазоны значений напряжения от 0,1 до 960 В и тока до 120 А;
- добавлена возможность поверки СИ постоянного тока;
- добавлены возможности поверки СИ (анализаторов) ПКЭ, выпускаемых по стандарту ГОСТ 30804.4.30-2013 [2];
- улучшены эргономические показатели и пр.
- УППУ-МЭ 3.1КМ-С позволяет передавать единицы величин эталонам второго разряда с классом точности 0,05.

**Переносная поверочная
установка УППУ-МЭ**

Задачу поверки большинства низковольтных рабочих СИ электроэнергетики в полевых условиях на месте эксплуатации многие годы позволяет решать

комплект средств поверки УППУ-МЭ 3.3Т1-П. Его новые модификации позволяют выполнять поверку большинства рабочих СИ (в том числе электросчетчиков класса точности до 0,5S и анализаторов качества) как в лабораторных, так и в полевых условиях. В состав УППУ-МЭ 3.3Т1-П входит переносной эталонный прибор «Энергомонитор-3.3Т1» и переносной программируемый трехфазный источник тока и напряжения (фиктивной мощности) «Энергоформа-3.3-12» (до 12 А).

Для поверки СИ класса точности 0,05 (в том числе электросчетчиков 0,2S) в составе установки УППУ-МЭ 3.1КМ-П используется эталонный прибор «Энергомонитор-3.1КМ-П» (класса точности 0,05 или 0,02).

Для поверки счетчиков электроэнергии прямого включения в составе установки используется источник фиктивной мощности «Энергоформа-3.3-100», выходной фазный ток которого увеличен до 120 А.

ПО «Энергоформа» управляет и эталонным прибором, и источником.

Для удобства пользователей была выпущена методика поверки электросчетчиков на местах эксплуатации МИ 3322-2011 [3], которая уточняет стандартные методики в части применения новых средств поверки.

В 2016 году введен новый стандарт ГОСТ Р 56750-2015 «Счетчики электрической энергии с аналоговыми входами, подключаемые к маломощным датчикам...» [4], где датчик тока (напряжения) — это электрическое, оптическое или другое устройство, генерирующее сигнал напряжения, пропорциональный измеряемому току (напряжению) по величине и имеющий фиксированный фазовый сдвиг между первичной величиной и вторичным сигналом напряжения. Метрологическое обеспечение данного вида счетчиков нуждается в дальнейшей нормативно-технической поддержке и развитии.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Вторичный эталон «Установка высоковольтная «ВЭТ 175-1» предназначен для воспроизведения, хранения и передачи единицы коэффициента масштабного преобразования в диапазоне значений от 10 до 3300 и угла фазового сдвига в диапазоне значений от 0 до 0,1 радиана напряжения переменного тока в диапазоне значений от 1 до $330/\sqrt{3}$ кВ промышленной частоты в соответствии с ГОСТ 8.746-2011 [5]. Первые экземпляры этих вторичных эталонов внесены в федеральный реестр эталонов и один из них применяется в метрологической службе «НПП Марс-Энерго» для поверки эталонов 1-го разряда, таких как высоковольтные эталонные трансформаторы, масштабные преобразователи напряжения.

Предприятие «НПП Марс-Энерго» имеет эталоны 1-го разряда для передачи единиц коэффициента и угла фазового сдвига масштабного преобразования напряжения и тока:

- измерительные трансформаторы тока и напряжения класса точности 0,01;
- приборы сравнения «Энергомонитор-3.1КМ Н-02-001-2-0-50» с погрешностями определения модуля коэффициента масштабного преобразования $\pm 0,002\%$ и угла фазового сдвига $\pm 0,1$ мин.

«НПП Марс-Энерго» аккредитовано на право поверки СИ. Это позволяет выпускать соответствующие эталонные масштабные преобразователи. Накоплен опыт работ на базе передвижной лаборатории высоковольтной метрологической «МЭ-Аудит» (ЛВМ). Применение ЛВМ обеспечивает комплексное метрологическое обслуживание АИИС КУЭ. Были выпущены и аттестованы новые методики поверки и измерений для СИ, входящих в АИИС КУЭ и АСУ ТП. ЛВМ внесена в Госреестр СИ под № 37652-08. В состав ЛВМ на базе спецавтомобиля включены комплекты оборудования для выполнения поверки на местах следующих СИ:

- измерительные трансформаторы тока (ТТ) до 30 кА;
- измерительные трансформаторы напряжения (ТН) до 330 кВ;
- счетчики электроэнергии;
- прочие электроизмерительные приборы из состава подстанций (ПС).

Для периодической поверки ТН на месте эксплуатации при помощи преобразователей напряжения высоковольтных серии ПВЕ, входящих в состав ЛВМ, выпущена рекомендация МИ 3050-2007 [6]. Эта методика применяется для поверки однофазных ТН класса точности 0,2 и класса напряжений от 6 до 110 кВ. Все блоки из комплекта ЛВМ могут переноситься одним человеком, в том числе в закрытые КРУ.

Для поверки одно- и трехфазных ТН от 6 до 35 кВ выпускается мобильная поверочная трехфазная установка типа «УПТВ-3». Разработана соответствующая методика поверки ТН на местах эксплуатации МИ 3239-2009 [7]. «УПТВ-3» может включаться в состав ЛВМ.

Для поверки однофазных ТН от 35 до 330 кВ выпускается установка поверочная высоковольтная однофазная «УПВО-1-35 (110; 220; 330)», которая также состоит из комплекта переносного оборудования и может входить в состав ЛВМ. Для этого разработана соответствующая методика поверки ТН на 220–330 кВ на местах эксплуатации МИ 3314-2011 [8]. По метрологическим характеристикам «УПВО-1» полностью соответствует требованиям ГОСТ 8.216-88:

- для поверки ТН класса точности 0,2 используется ПВЕ класса точности 0,05;
- для поверки ТН класса точности 0,5 используется ПВЕ класса точности 0,1.

С 2007 года выпущено более 60 ЛВМ «МЭ-Аудит», которые комплектуются по требованиям Заказчика и успешно эксплуатируются предприятиями энергосистемы от Калининграда до Сахалина, а также в странах Таможенного союза. Все указанные методики и описания приборов доступны на сайте «НПП Марс-Энерго». Таким образом, возникшие в практической

метрологии проблемы с поверкой электромагнитных ТН 6–330 кВ на местах эксплуатации успешно решены с помощью ЛВМ.

Еще одна задача, решаемая в настоящее время, — это поверка перспективных электронных ТН и ТТ, выпускаемых по ГОСТ Р МЭК 60044-7-2010 и ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010. Они в первую очередь будут использоваться на цифровых ПС ПАО «Россети». В 2013 году «НПП Марс-Энерго» выполнена ОКР по разработке эталонного комплекса для поверки электронных трансформаторов, в том числе с выходными измерительными сигналами по протоколу стандарта IEC 61850-9-2LE. Комплекс КЭТ-61850 (рисунок 3) обеспечивает их первичную поверку при выпуске из производства.

В дальнейшем должен быть создан передвижной эталонный комплекс для периодических проверок на местах. С этой целью проводится разработка переносного прибора сравнения нового поколения «Энергомонитор-61850».

ВЫВОДЫ


Таким образом, выпускаемая линейка СИ позволяет выполнять передачу электроэнергетических единиц измерения от государственного эталона к рабочим эталонам и, далее, к рабочим СИ в соответствии с современными требованиями. Перспективы развития СИ в электроэнергетике требуют проведения НИОКР для дальнейшего совершенствования эталонной базы электрических измерений. 



Рис. 3. КЭТ-61850-НТ

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.551-2013. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрической мощности и электрической энергии в диапазоне частот от 1 до 2500 Гц.
2. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии.
3. МИ 3322-2011. Рекомендация. ГСИ. Счетчики электрической активной и реактивной энергии. Методика поверки на местах эксплуатации при помощи комплекта переносных средств поверки производства «НПП Марс-Энерго».
4. ГОСТ Р 56750-2015. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Счетчики электрической энергии с аналоговыми входами, подключаемые к маломощным датчикам, используемым в качестве трансформаторов напряжения и тока.
5. ГОСТ 8.746-2011. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от $0,1/\sqrt{3}$ до $750/\sqrt{3}$ кВ.
6. МИ 3050-2007. Рекомендация. ГСИ. Трансформаторы напряжения измерительные $6/\sqrt{3}$... $110/\sqrt{3}$ кВ. Методика поверки на месте эксплуатации при помощи преобразователя напряжения ПВЕ.
7. МИ 3239-2009. Рекомендация. Измерительные трансформаторы напряжения $6/\sqrt{3}$; 6; $10/\sqrt{3}$; 10 кВ. Методика поверки на месте эксплуатации при помощи трехфазной высоковольтной поверочной установки «Установка УПТВ-3-10».
8. МИ 3314-2011. Рекомендация. ГСИ. Трансформаторы напряжения измерительные $220/\sqrt{3}$, $330/\sqrt{3}$ кВ. Методика поверки на месте эксплуатации при помощи преобразователя напряжения «ПВЕ».

REFERENCES

1. GOST 8.551-2013. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for measuring instruments of electrical power and energy in the frequency range from 1 to 2500 Hz.
2. GOST 30804.4.30-2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality measurement methods. IEC 61000-4-30:2008 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4.30. Testing and measurement techniques. Power quality measurement methods.
3. MI 3322-2011. Recommendation. State system for ensuring the uniformity of measurements. Active and reactive energy meters. On-site calibration methods with use of portable test systems manufactured by "NPP Mars-Energo".
4. GOST R 56750-2015. Electricity metering equipment (a.c.). Particular requirements. Meters with analog inputs connected to the low-power sensor (electronic transformers) of voltage and current.
5. GOST R 8.746-2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for instruments measuring the ratio error and phase displacement of a.c. power frequency voltage in the range from $0,1/\sqrt{3}$ to $750/\sqrt{3}$ kV.
6. MI 3050-2007. Recommendation. State system for ensuring the uniformity of measurements. Instrument voltage transformers rated from $6/\sqrt{3}$ to $110/\sqrt{3}$ kV. On-site calibration methods with use of reference voltage transducers of CHVT series.
7. MI 3239-2009. Recommendation. State system for ensuring the uniformity of measurements. Instrument voltage transformers rated at $6/\sqrt{3}$; 6; $10/\sqrt{3}$; 10 kV. On-site calibration methods with use of high-voltage three-phase test sets Marstest-VT-3.
8. MI 3314-2011. Recommendation. State system for ensuring the uniformity of measurements. Instrument voltage transformers rated at $220/\sqrt{3}$; $330/\sqrt{3}$ kV. On-site calibration methods with use of reference voltage transducers of CHVT series.