

# Новые эталонные средства измерений производства ООО «НПП МАРС-ЭНЕРГО» и их применение в электроэнергетике

Гиниятуллин И.А., Сергеев С.Р.

## ВВЕДЕНИЕ

Последнее время в зарубежной и отечественной электроэнергетике наблюдается переход от традиционных средств учета и измерения (счетчики электроэнергии, ваттметры, варметры, измерители коэффициента мощности, вольтметры и т.д.) к многофункциональным квантующим средствам измерений (СИ), способным одновременно и в реальном масштабе времени анализировать десятки электрических величин и параметров энергетических сетей, характеризующих процессы производства, распределения и потребления электрической энергии. Происходит рост парка СИ показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

В 2005 г. введена серия стандартов на счетчики электроэнергии ГОСТ Р 52320 - 52323. Стандарты предусматривают проведение испытаний счетчиков на соответствие требованиям к точности в условиях искажений формы кривых напряжения и тока, т.е. при наличии гармоник и субгармоник. Необходимость ужесточения требований к счетчикам вызвана проведением гармонизации российских стандартов с международными в преддверии вступления в ВТО. Требования стандартов МЭК обусловлены тяжелой электромагнитной обстановкой при эксплуатации счетчиков: кондуктивные и радиочастотные помехи, различные нелинейные нагрузки, создающие значительные искажения формы кривых.

В связи с этим остро встает проблема технического обеспечения единства измерений и, как следствие, необходимость модернизации существующей эталонной базы для проведения учетных операций на внешнем и внутреннем энергетическом рынке.

## РАБОЧИЕ ЭТАЛОНЫ

Задача метрологического обеспечения современных многофункциональных СИ электроэнергетических величин и показателей качества электрической энергии (ПКЭ) решается созданием вторичных (рабочих) эталонов по следующим двум направлениям:

1. калибраторы, позволяющие синтезировать (воспроизводить) с необходимой точностью измеряемые величины и параметры,
2. эталонные СИ [1], позволяющие измерять величины с помощью тех же методов, которые использованы в поверяемых СИ (компараторы, эталонные счетчики и другие эталонные СИ).

В России уже создан ряд широкодиапазонных многофункциональных калибраторов [2] ПКЭ. Данные калибраторы имеют класс точности 0,1, что несколько ограничивает область их применения.

Современный эталонный прибор [3] выполняет аналого-цифровое преобразование мгновенных значений гармонических входных сигналов с последующим вычислением значений измеряемых величин из полученного массива данных в соответствии с программой.

В настоящее время появление таких многофункциональных приборов, как эталонный прибор «Энергомонитор 3.1» (класса 0,02), позволяет дополнить подсистемы ГЭМ для метрологического обеспечения многофункциональных квантующих СИ электроэнергетических величин и ПКЭ нового поколения. В частности, в приборе «Энергомонитор 3.1» используется метод обработки массива мгновенных значений, не требующий синхронизации частот измеряемых сигналов и квантования (метод некогерентной выборки), что позволяет проводить измерения параметров сигнала искаженной формы. Этот метод подробно описывался в [4, 5]. Прибор «Энергомонитор 3.1» является в настоящее время и наиболее точным эталонным

счетчиком, выпускаемым в России. Он был разработан в «НПП Марс-Энерго» с участием специалистов лаборатории электроэнергетики «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» г. Санкт-Петербург, где расположен ГЭМ. Прибор внесен в государственный реестр СИ России под № 26459-04.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЕРКИ СИ

Для полноценной реализации всех возможностей прибора «Энергомонитор 3.1» в части выполнения поверки широкого спектра электроизмерительных приборов и счетчиков электроэнергии (ЭЭ) в «НПП Марс-Энерго» был разработан комплекс технических средств, который окончательно оформился в виде Установки поверочной универсальной «УППУ-МЭ 3.1» (см. рисунок 1).



Рис. 1. «УППУ-МЭ 3.1»

Установка «УППУ-МЭ 3.1» (далее - установка) внесена в госреестр СИ. Установка предназначена для калибровки и поверки эталонных и рабочих средств измерений электроэнергетических величин класса точности 0,05: - однофазных и трехфазных счетчиков активной и реактивной электрической энергии,

- однофазных и трехфазных ваттметров, варметров и измерительных преобразователей активной и реактивной мощности,
- энергетических фазометров, частотомеров и измерителей коэффициента мощности,
- вольтметров, амперметров и измерительных преобразователей напряжения и тока в промышленной области частот;
- приборов для измерения ПКЭ.

В состав установки входят:

- эталонное СИ - прибор электроизмерительный эталонный многофункциональный «Энергомонитор - 3.1»,
- источник испытательных сигналов (ИИС),
- автоматизированное рабочее место (АРМ) с компьютером.

В состав ИИС входят:

- Блок генератора-синтезатора «Энергоформа-3.1»,
- Усилитель тока и напряжения «УТН-3.1» (3 шт.),
- Блок коммутации «БК-3.1».

ИИС и эталонное СИ монтируются в приборной стойке. Установка обеспечивает формирование трехфазной системы токов и напряжений с параметрами и в диапазонах, указанными в таблице 1 (основные параметры).

Таблица 1. Характеристики ИИС «УППУ-МЭ 3.1»

Наименование технической характеристики	Значение технической характеристики	Примечание		
		Диапазон	Дискретность установки	Погрешность установки
1 Частота первой гармоники переменного тока, Гц	45...70	0,01	абсолютная $\pm 0,01$	
2 Гармонический состав сигнала, n	0...40	-	-	
3 Действующее значение первой гармоники напряжения, $U_1$ , В	20...240 5...20	0,01 0,01	относительная $\pm 1\%$ $\pm [1,0 + 0,5 * ((U_n/U) - 1)]$	$U_n$ $220/(220 \cdot \sqrt{3})$ ; $60/(60 \cdot \sqrt{3})$ В
4 Действующее значение первой гармоники тока, $I_1$ , А	0,1...50 0,002...0,1	0,0001	относительная $\pm 1\%$ $\pm [1,0 + 0,5 * ((I_n/I) - 1)]$	$I_n$ : 50; 10; 2,0; 0,5 А
5 Коэффициент нелинейных искажений при генерации синусоидального сигнала напряжения (тока) не более, %	-	-	1	
6 Нестабильность напряжения (тока) не более за минуту, %	-	-	$\pm 0,02$	
7 Выходная мощность по каждой фазе тока, В·А напряжения, В·А	$\geq 50$ $\geq 15$	-	-	При токе 50А При $U = (0.8 \dots 1.1)U_n$
8 Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения, % от $U_1$	0...50	0,01	-	
9 Коэффициент n-ой гармонической составляющей тока, % от $I_1$	0...50	0,01	-	
10 Фазовый угол: между напряжениями первой гармоники разных фаз; между током и напряжением первой гармоники одной фазы; между напряжением первой и n-й гармоники одной фазы; между током первой и n-й гармоники одной фазы, град	0...360	0,01	абсолютная $\pm 1^\circ$	20...240 В

Управление установкой осуществляется с помощью встроенной клавиатуры и графического дисплея блока «Энергоформа-3.1» и прибора «Энергомонитор - 3.1», либо АРМ с помощью программного обеспечения (ПО) «Энергоформа». Совместное использование установки и ПО, что вполне допустимо для эталонного прибора, существенно расширяет его функциональные возможности и позволяет обрабатывать результаты поверки в автоматическом режиме.

ПО «Энергоформа» управляет и прибором, и ИИС по СОМ-портам (RS-232). В режиме поверки на мониторе компьютера выводятся установленные параметры испытательных сигналов (рисунок 2), которые могут быть изменены оператором и сохранены на диске.

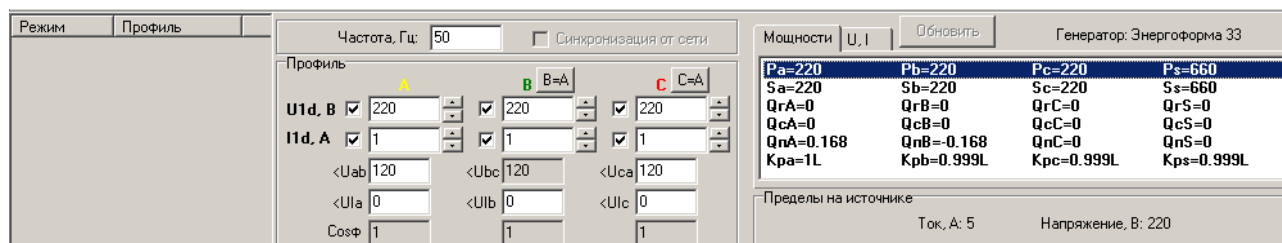


Рис.2

Результаты измерений принимаются от эталона автоматически, а с индикатора поверяемого прибора вносятся вручную. Погрешность поверяемого прибора (рис. 3) рассчиты-

вается автоматически. Результаты заносятся в протокол и оформляются полуавтоматически. В результате автоматизации время поверки СИ сокращается в 5-10 раз.

Рис. 3. Окно поверки.

Для испытаний СИ и электросчетчиков при искаженной форме сигнала на компьютере задаются требуемые параметры: гармоники и их фазы, действующие значения первых гармоник тока и напряжения. При редактировании сигнала его форма автоматически отображается на дисплее в виде диаграммы (рисунок 4). Кроме того, источник «Энергоформа-3.1» запрограммирован на генерацию сигналов специальной формы в соответствии с ГОСТ Р 52320 - 52323 (например, рисунок А.5).



Рис. 4

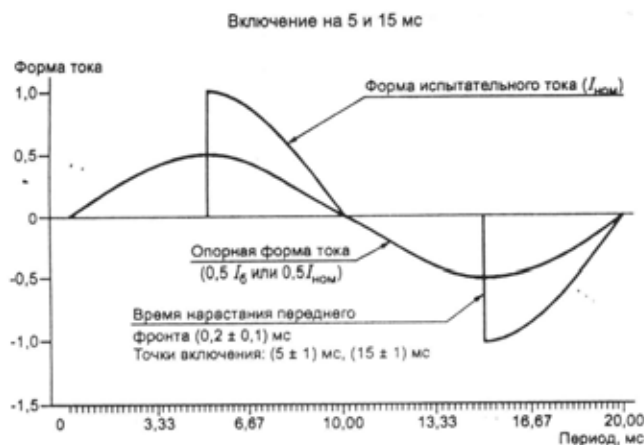


Рисунок А.5 — Форма тока при фазовом управлении

Метрологические характеристики (МХ) установки определяются МХ эталонного СИ, входящего в комплект установки. Основные МХ приведены в таблице 2.

До настоящего времени существовал один тип калибратора для поверки по ПКЭ – это «Ресурс-К2». Однако, для поверки multifunctional СИ и измерителей ПКЭ потребовалась разработка новой модели эталонного прибора «Энергомонитор 3.1К», входящего в состав установки поверочной «УППУ-МЭ 3.1». Установка позволяет поверять СИ с номинальным током до 1000 А, что решает проблему поверки приборов с клещами. Следующим шагом, вероятно, должна быть корректировка ГОСТ 13109 и соответствующих Методик с целью гармонизации с международными стандартами качества ЭЭ. В перспективе можно предположить проведение международных сличений СИ ПКЭ, т.к. неизбежен рост экспорта ЭЭ.

Таблица 2. Основные МХ прибора «Энергомонитор - 3.1»

Наименование технической характеристики	Значение технической характеристики	Примечание
1 Предел допускаемой относительной погрешности измерения напряжения %	$\pm [0,01+0,005  (U_n/U) - 1  ]$	$U_n$ .60 (60 $\sqrt{3}$ ) 120 (120 $\sqrt{3}$ ) 220 (220 $\sqrt{3}$ ) В. Поддиапазоны измерений от 0,3 $U_n$ до 1,1 $U_n$
2 Номинальные значения измеряемых токов ( $I_n$ ), А	0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 50,0	Среднеквадратические значения. Поддиапазоны измерений от 0,3 $I_n$ до 1,1 $I_n$
3 Предел допускаемой относительной погрешности измерения тока (%)	$\pm [0,01+0,005  (I_n/I) - 1  ]$ $\pm [0,01+0,01 (I_n/I) - 1  ]$	для $I_n$ от 0,1 А до 50 А для $I_n$ 0,05 А
4 Предел допускаемой относительной погрешности измерения активной мощности (P), %	$\pm [0,015+0,005  (P_n/P) - 1  ]$ $\pm [0,025+0,005  (P_n/P) - 1  ]$	$P_n = U_n \cdot I_n$ $\cos\varphi = 1$ $\cos\varphi$ 0,5L; 0,5C
5 Предел допускаемой относительной погрешности измерения реактивной мощности (Q), %, рассчитываемой по алгоритмам: $Q_1 = \sqrt{(S^2 - P^2)}$ - геометрический метод, $Q_2 = UI \sin\varphi$ - метод сдвига, $Q_3 = UI \cos(\varphi + 90^\circ)$ - метод перекрестного включения	$\pm [0,03+0,01  (Q_n/Q) - 1  ]$ $\pm [0,05+0,01  (Q_n/Q) - 1  ]$	для каждого поддиапазона измерения тока $\sin\varphi = 1$ $\sin\varphi$ 0,5L; 0,5C
6 Предел допускаемой относительной погрешности измерения полной мощности (S), %	$\pm [0,02+0,005  (S_n/S) - 1  ]$	$S_n = U_n \cdot I_n$
7 Диапазон измерения коэффициента мощности ( $K_p$ )	От 0,1 до 1	$K_p = P / S$ $\pm 0,005$
8 Диапазон измерения частоты переменного тока (F), Гц	От 40 до 70	$\pm 0,01$ Гц

Для поверки менее точных СИ (класса точности от 0,5) с номинальными токами до 7А выпускается переносной поверочный комплекс, состоящий из эталонного прибора «Энергомонитор 3.3» (зарегистрирован в Государственном реестре СИ под № 24224-03) и источника переменного тока и напряжения трехфазного программируемого «Энергоформа 3.3».



Рис. 5. Комплекс «УППУ-МЭ 3.3»

МХ комплекса определяются МХ прибора «Энергомонитор 3.3», которые хорошо известны. Поверка прибора может производиться с помощью установки «УППУ-МЭ 3.1» или аналогичной. Общий вид комплекса представлен на рисунке 5.

Комплекс малогабаритный и достаточно мобильный. Управляется он тем же ПО «Энергоформа», что используется для установки «УППУ-

МЭ 3.1». Для поверки электросчетчиков используется ПО «Энергомониторинг СИ». При этом комплекс может применяться без компьютера, т.к. параметры сигнала можно задавать вручную, а результаты поверки записываются в память прибора «Энергомонитор 3.3» и выводятся на его дисплей.

Источник обеспечивает формирование трехфазной системы токов и напряжений с параметрами и в диапазонах, указанными в таблице 3 (основные параметры).

Таблица 3. Характеристики источника «Энергоформа 3.3».

Наименование технической характеристики	Значение технической характеристики			Примечание
	Диапазон	Дискретность установки	Точность уста- новки	
1 Частота первой гармоники переменного тока, Гц	47,5...55	0,01	±0,01	
2 Гармонический состав сигнала, n	1...40	-	-	
3 Действующее значение первой гармоники напряжения, $U_1$ , В	20...240	0,01	±2%, относительная	
4 Действующее значение первой гармоники тока, $I_1$ , А	0,05...7,0	0,0001	±2% относительная	
5 Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения (тока), % от $U_1$ ( $I_1$ )	0...50	0,01	-	
6 Фазовый угол: между напряжениями первой гармоники разных фаз; между током и напряжением первой гармоники одной фазы; между напряжением первой и n-й гармоники одной фазы; между током первой и n-й гармоники одной фазы, град	0...360	0,01	±2° абсолютная	
7 Коэффициент нелинейных искажений при генерации синусоидального сигнала не более, %	-	-	1%	
8 Нестабильность установленного действующего значения напряжения (тока) не более за минуту, %	-	-	±0,03	
9 Нестабильность установленного значения мощности не более за минуту, %	-	-	±0,05	
10 Выходная мощность источника по току, В·А по напряжению, В·А	≥ 5 ≥ 10	-	-	На нагрузке 0,2 Ом 4,8 кОм

Для решения других задач метрологического обеспечения в «НПП Марс-Энерго» (Санкт-Петербург) разработаны и выпускаются необходимые приборы и методики, позволяющие комплектовать высоковольтные метрологические лаборатории (ЛВМ), в том числе передвижные. ЛВМ при выпуске из производства проходит испытания и поверку с получением сертификата и свидетельства. Комплекс основных работ, которые выполняются на базе лаборатории ЛВМ «МЭ - Аудит» следующий.

## **1. Поверка и калибровка СИ**

- Поверка счетчиков электроэнергии класса 0,5 и менее точных
- Поверка измерительных трансформаторов напряжения (ТН) от 6 до 110 кВ
- Поверка измерительных трансформаторов тока (ТТ) до 5 кА
- Поверка установок поверочных типа МК 6800, У 1134 и др.
- Поверка электроизмерительных приборов класса 0,5

## **2. Аттестация АИИС КУЭ, проверка измерительных каналов и их элементов без отключения**

- Проверка правильности подключения электросчетчиков
- Проверка метрологических характеристик электросчетчиков
- Проверка метрологических характеристик измерительных каналов (ИК) в сети 0,4 кВ
- Измерение падения напряжения в линии присоединения счетчика к ТН
- Измерение нагрузки ТТ. Определение коэффициента трансформации ТТ в сети 0,4 кВ.
- Измерение нагрузки ТН

## **3. Ведение коммерческих расчетов с потребителями электроэнергии**

- Снятие суточного графика нагрузки в сети 0,4 - 330 кВ (до 8 суток)
- Измерение средней электрической мощности за получасовой интервал

## **4. Регистрация и анализ показателей качества электроэнергии (ПКЭ), в том числе для сертификации ЭЭ по ГОСТ 13109**

- Регистрация ПКЭ в сети 0,4 кВ и в высоковольтных сетях (до 8 суток)
- Регистрация параметров трехфазной сети: P, Q, S, U, I, cos φ (всего более 20)

## **5. Энергоаудит и определение потерь мощности**

- Определение потери мощности в линии электропитания в сети 0,4 кВ
- Определение распределения нагрузки по фазам и измерение тока в нулевом проводе в сети 0,4 кВ
- Определение параметров потребления токоприемников
- Осциллографирование аварийных процессов и т.д.

Методики поверки имеются в ГОСТ на соответствующие средства измерений (счетчики, ТТ, ТН и пр.), а так же разрабатываются на каждый образец АИИС КУЭ. Остальные необходимые МВИ были разработаны, аттестованы и внесены в федеральный реестр.

ЛВМ «МЭ - Аудит» комплектуется по заказу потребителя в соответствии со стоящими перед ним задачами по метрологическому обеспечению производства и классу высокого напряжения. Для обеспечения мобильности поверочного комплекта поверки ТН нашим предприятием выпускается серия высоковольтных измерительных преобразователей ПВЕ на классы напряжений от 3 до 220 кВ. Его масса в 10 раз меньше, чем у эталонного ТН. Например, эталонный ТН класса 0,05 весит 500 кг, а ПВЕ-110 (на класс напряжений 110 кВ, класса точности 0,1) весит около 20 кг и имеет меньшие габариты. Он используется в качестве эталонного ТН.

## **ВЫВОДЫ**

Таким образом, выпускаемая линейка СИ позволяет выполнять передачу электроэнергетических величин от государственного эталона к рабочим эталонам и, далее, к рабочим СИ в соответствии с современными требованиями.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 8.551-86. ГСОЕИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений электрической мощности и коэффициента мощности в диапазоне частот 40...20000 Гц.
2. Базаркин В.В., Жуков А.И. и др., «Калибраторы фиктивной мощности для автомати-

- зации поверки счетчиков электрической энергии». Информационные материалы 1-й научно-практической конференции "Метрология электрических измерений в электроэнергетике", М.: НЦ ЭНАС, 2001.
3. Шапиро Е.З. "Эталонная база России в области низковольтных энергетических измерений. Состояние, проблемы, перспективы развития". Информационные материалы 4-го научно-технического семинара "Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике", Москва, 2000.
  4. Гублер Г.Б., Гутников В.С., «Алгоритмы цифровой обработки сигналов многофункционального эталонного прибора для измерений электроэнергетических величин». Информационные материалы 1-й научно-практической конференции «Метрология электрических измерений в энергетике». – М.: НЦ ЭНАС, 2001
  5. Шапиро Е.З., Никитин А.Ю., Гиниятуллин И.А., «Многофункциональный эталонный прибор "Энергомонитор 3.1" для калибровки и поверки средств измерений электроэнергетических величин». Информационные материалы 1-й научно-практической конференции "Метрология электрических измерений в электроэнергетике", М.: НЦ ЭНАС, 2001.

Гиниятуллин Ильдар Ахатович, директор ООО «НПП МАРС-ЭНЕРГО»  
Сергеев Сергей Ростиславович, зам. директора по качеству  
190031, г. Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, д. 113"А"  
Тел.: (812) 315-1368 E-mail: [mail@mars-energo.ru](mailto:mail@mars-energo.ru) [www.mars-energo.ru](http://www.mars-energo.ru)

г. Санкт-Петербург, 2005 г.