Метрология
Электро
Энергетики

9-я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

• МЕТРОЛОГИЯ • УЧЕТ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ • ИЗМЕРЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ •

Материалы конференции

Энергия Белых ночей 2018

Санкт-Петербург

Ответственные за подготовку трудов
конференции к изданию:

Секретарь оргкомитета:
Корнеева Наталья Борисовна
Тел./факс: (812) 327-21-11

Председатель технического комитета:
Шапиро Ефим Зиновьевич, д. т. н.
Тел.: (812) 323-96-79

Ответственность за подбор, достоверность и точность приведенных фактов, экономико-статистических и технических данных, собственных имен и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится данных, не подлежащих открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов и рекламодатели.

© Верстка сборника — Н. А. Дубовская, 2018
© Дизайн обложки — В. В. Морозов, 2018

Содержание

Клионский М.Д., Шипелев К.И.
Комплексный вторичный эталон единиц электрической емкости, тангенса угла потерь, коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига при напряжении до 100 кВ 5

Засыпкин С.А., Башко Н.А., Розина О.Ю.
Государственный вторичный эталон единиц коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 3 до 36 кВ 9

Ахмеев А.А., Артеменко В.А.
Эталонная установка большого постоянного тока 13

Ахмеев А.А., Воронская Е.В.
Исследование характеристик трансформаторов тока на частотах до 2500 Гц 18

Данилов А.А.
Практические рекомендации по решению вопросов метрологического обеспечения измерительных систем 24

Леонов А.В., Орнатский О.А.
Исследование метрологических характеристик модуля измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь «МВ-конденсатор» 30

Громочкова Е.В.
Современные методы и средства измерения высокого напряжения постоянного тока 41

Киселев В.В., Дубровская Т.А.
Обзор отечественной и международной нормативной базы в сфере контроля качества электрической энергии 51

Никифоров В.В.
Актуальные вопросы правового регулирования и оценки соответствия качества электрической энергии и ЭМС технических средств 66

Кузнецов П.Л., Дидик Ю.И.
Метрологическое обеспечение измерений характеристик суперконденсаторов 80

Раскулов Р.Ф.
О стандартизации измерительных трансформаторов 84

Большаков О.В.
Измерения электрических величин при наличии гармоник 91

Гиниятуллин И.А.
Метрологическое обеспечение измерительных каналов цифровой подстанции 95

Сергеев С.Р.
Эталоны и поверочные установки для ЭлТА-счётчиков электроэнергии и электронных трансформаторов напряжения и тока. Состояние и перспективы **103**

Компания ООО Флюк СиАйЭс
Использование эталонного генератора для калибровки счетчиков электроэнергии **110**

Долженков А.В.
Обзор инновационных разработок ОАО «Электроприбор» для контроля качества электроэнергии и коммерческого учета **123**

Петренас В.Ю., Федоров Р.Е.
Модернизация установок для поверки счетчиков электрической энергии АО «Энергомера» **130**

Комплексный вторичный эталон единиц электрической емкости, тангенса угла потерь, коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига при напряжении до 100 кВ

М.Д. Клионский, К.И. Шипелев
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Во ВНИИМ создан и утвержден новый высоковольтный вторичный эталон в области измерений следующих физических величин: электрической емкости, тангенса угла потерь, коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига. Диапазон напряжения составляет от 1 В до 100 кВ.

Эталон содержит комплекс следующих высоковольтных технических средств: конденсаторы газонаполненные измерительные КГИ, меры тангенса угла потерь МПВ-1, МПВ-5, делители напряжения ДН, автоматический мост переменного тока СА7100М1, киловольтметр КВЦ-120-0,25, трансформатор напряжения с встроенным выпрямительным диодом ИОГ-100/7,5/130 (100 кВ по переменному напряжению и 130 кВ по постоянному напряжению), пульт управления ПУ 220-21/4,4 (рис. 1). Для обеспечения поверки трансформаторов и делителей напряжения в состав эталона включены низковольтные высокостабильные меры емкости МЕК-1 и МЕК-2 значением 100 и 10 нФ соответственно, работающие при напряжении до 120 В. Для проведения измерений в диапазоне 1-15 В включен прецизионный измеритель емкости и тангенса угла потерь АН2700А. Для поверки делителей напряжения ДН с обозначением ЕО, работающих также на постоянном напряжении, в состав вспомогательного оборудования включены: устройство УИ300.1 в качестве источника постоянного напряжения до 300 В и мультиметр 34401А в качестве измерителя отношения двух постоянных напряжений.

Эталон обеспечивает хранение и передачу единиц электрической емкости (С), тангенса угла потерь (D), коэффициента масштабного преобразования (К) и угла фазового сдвига (φ) в диапазонах значений, приведенных в таблице 1.

Средства измерений (СИ) емкости и тангенса угла потерь из состава эталона работают в диапазоне переменного напряжения промышленной частоты и имеют номинальные значения воспроизводимой величины или диапазон измерений, приведенные в таблице 2.

Рис. 1. Комплексный эталон ВНИИМ до 100 кВ
1 и 2 – Меры ёмкости МЕК-1 и МЕК-2 значением 10 нФ и 100 нФ; 3 и 8 – Меры тангенса угла потерь МПВ-5 и МПВ-1 до 10 кВ; 4 и 7 – Делители напряжения на 50 и 100 кВ; 5 – Трансформатор напряжения до 100 кВ; 6 – Конденсаторы КГИ на 10, 30 и 100 кВ; 9 – Мост высоковольтный автоматический СА-7100М1

Таблица 1

Диапазоны измерений

Измеряемая величина	Диапазон измерений
Емкость	От 1 пФ до 100 нФ
Тангенс угла потерь (безразмерная величина)	От $3 \cdot 10^{-6}$ до 1
Коэффициент масштабного преобразования (безразмерная величина)	От 0,1 до 10000
Угол фазового сдвига	От $3 \cdot 10^{-5}$ до 0,1 рад (От 0,1 до 350 мин)

Таблица 2

Диапазон рабочего напряжения частотой 50 Гц и номинальные значения воспроизводимой величины или диапазон измерений

Наименование СИ	Напряжение	Емкость	Тангенс угла потерь
КГИ 100-1-50	От 1 В до 100 кВ	50 пФ	$3 \cdot 10^{-6}$
МЕК-1 МЕК-2	От 1 до 120 В	100 нФ 10 нФ	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$ $0{,}6 \cdot 10^{-4}$
МПВ-1	От 500 В до10 кВ	От 100 пФ до 100 нФ	От $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ до 0,1
МПВ-5	2; 5; 10 кВ	1 нФ	От $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ до 0,1
СА7100М1	От 100 В до 100 кВ	От 1 пФ до 100 нФ	От $2 \cdot 10^{-6}$ до 1

Доверительные границы погрешности вторичного эталона при измерении емкости и тангенса угла потерь, вычисленные с вероятностью, равной 0,95, приведены в таблице 3 (относительная граница погрешности по емкости δ(C), и абсолютная - по тангенсу угла потерь Δ(D).

Таблица 3

Характеристики точности вторичного эталона при измерении емкости и тангенса угла потерь

Диапазон $C_{ном}$	Диапазон или номинальное значение	δ(C), %	Δ(D), 10^{-4}	Напряжение
От 1 до 1000 пФ	От $3 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$; $1 \cdot 10^{-4}$	От 0,005 до 0,01	0,02 0,1	От 1 В до 100 кВ
	От $2 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$		0,5	
	0,1 и 1		1-5	
От 10 нФ до 100 нФ	От $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}$; $1 \cdot 10^{-3}$	0,02	0,2 0,5	От 1 В до 2 кВ
	$1 \cdot 10^{-2}$	0,1	1	
	0,1 и 1		2-10	

Расширенная неопределенность измерений емкости и тангенса угла потерь, k=2:

по емкости (относительная), U_O(C), % от 0,005 до 0,1

по тангенсу угла потерь (абсолютная), U(D), в зависимости от значения D:

От $2 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ $0,02 \cdot 10^{-4}$

$1 \cdot 10^{-4}$ $0,1 \cdot 10^{-4}$

От $2 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ $(0,5\text{-}1) \cdot 10^{-4}$

0,1 и 1 $(1\text{-}10) \cdot 10^{-4}$

Доверительные границы погрешности вторичного эталона при измерении коэффициента масштабного преобразования δ(K), и угла фазового сдвига Δ(φ), вычисленные с вероятностью, равной 0,95, приведены в таблице 4 (относительная граница погрешности по коэффициенту масштабного преобразования δ(K), и абсолютная – по углу фазового сдвига Δ(φ).

Расширенная неопределенность измерений коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига, k=2:

по коэффициенту масштабного преобразования (относительная), U_O(C), % От 0,01 до 0,02

по углу фазового сдвига (абсолютная), U(D), рад От $2 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-4}$

(мин) (От 0,07 до 1)

Таблица 4

Характеристики точности вторичного эталона при измерении коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига

Диапазон К	Диапазон φ		δ(К), %	Δ(φ)		Напряжение
	рад	мин		рад	мин	
От 0,1 до 10000	От $3 \cdot 10^{-5}$ до 0,01	От 0,1 до 35	0,01	От $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}$	От 0,07 до 0,35	От 100 В до 100 кВ
	0,1	350	0,02	$3 \cdot 10^{-4}$	1	

Эталон позволяет также поверять киловольтметры классов точности 0,5 -1,5 при напряжении до 100 кВ.

Поверку СИ емкости и тангенса угла потерь из состава эталона проводят сличением с государственными первичными эталонами (ГПЭ) единицы электрической емкости ГЭТ 25-79 и единицы угла потерь ГЭТ 143-85. Для измерения коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига во вторичном эталоне используют метод компарирования токов, который реализуется с помощью тех же СИ емкости и тангенса угла потерь. С целью осуществления прослеживаемости к государственному первичному специальному эталону (ГПСЭ) единиц коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига ГЭТ 175-2009, созданному во ВНИИМС, в состав вторичного эталона включен делитель напряжения ДН-50ЕО, поверяемый по указанному первичному специальному эталону. Делитель работает при значениях переменного и постоянного напряжения от 5 до 50 кВ, и имеет следующие номинальные значения воспроизводимой величины: $К_{пер} = К_{пост} = 500$, $\varphi = 3 \cdot 10^{-4}$ рад (1 мин).

Создание вторичного эталона обеспечивает поверку во ВНИИМ следующих высоковольтных СИ (при напряжении до 100 кВ):

- Измерителей параметров изоляции, измерителей параметров трансформаторного масла, мостов переменного тока;
- Измерительных конденсаторов;
- Мер тангенса угла потерь;
- Делителей напряжения:

- переменного тока до 100 кВ;
- постоянного тока до 120 кВ;

- Измерительных трансформаторов напряжения классов точности 0,5 – 0,01;
- Киловольтметров с погрешностью 0,5 – 1,5 %.

Государственный вторичный эталон единиц коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 3 до 36 кВ

С.А. Засыпкин, Н.А. Башко, О.Ю. Розина
ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии»

В настоящее время значительно вырос интерес к измерениям с высокой точностью коэффициентов масштабного преобразования напряжения ($К_U$) переменного тока промышленной частоты, а также углов фазового сдвига (φ_U) между входными и выходными напряжениями масштабных преобразователей.

Наибольшая потребность в измерении параметров $К_U$ и φ_U существует в электромашиностроении при производстве трансформаторов напряжения (ТН) и в электроэнергетике при эксплуатации ТН и различного рода высоковольтных делителей напряжения с целью повышения точности учета электроэнергии, контроля качества электроэнергии, защиты и автоматизации систем управления.

Информация о действительных значениях коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты позволяет существенно сэкономить энергетические ресурсы, повысить энергоэффективность производства, передачи и потребления электроэнергии, а также обеспечить надёжную работу электрооборудования. Определение действительных значений $К_U$ и φ_U проводится в порядке поверки или калибровки ТН.

Метрологическое обеспечение измерения $К_U$ и φ_U осуществляется, в основном, Центрами стандартизации и метрологии, которые обладают необходимыми эталонными средствами измерений на передвижных высоковольтных лабораториях и способны проводить поверку на месте эксплуатации ТН.

На вершине поверочной схемы находится государственный первичный специальный эталон единиц коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты ГЭТ 175-2009, ФГУП «ВНИИМС», г. Москва.

Для передачи единиц коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты от ГЭТ 175-2009 к эталонному оборудованию

организаций, осуществляющих поверку рабочих средств измерений, во ФГУП «УНИИМ», г. Екатеринбург, создан и аттестован государственный вторичный эталон единиц коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 3 до 36 кВ, регистрационный номер 2.1.ZZC.0265.2017 (далее - ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017 или эталон).

Единицы коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига электрического напряжения переменного тока промышленной частоты переданы от ГЭТ 175-2009 к ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017 по результатам калибровки в 2017 году.

Основные метрологические характеристики ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017:

Диапазон номинальных значений напряжения переменного тока промышленной частоты составляет от 3 до 36 кВ.

Номинальная частота напряжения переменного тока составляет 50 Гц.

Диапазон номинальных значений коэффициента масштабного преобразования (K_U) напряжения переменного тока промышленной частоты составляет от 30 до $360\cdot\sqrt{3}$.

Эталон воспроизводит значения K_U со средним квадратическим отклонением результата измерений $S_0(K_U)$, не превышающим $3{,}6\cdot10^{-5}+2{,}4\cdot10^{-9}\cdot K_{U(изм)}$, при 10 независимых измерениях, где $K_{U(изм)}$ - измеренный коэффициент масштабного преобразования напряжения.

Неисключенная систематическая погрешность $\Theta_0(K_U)$ не превышает $7{,}41\cdot10^{-5}$.

Стандартная неопределенность:

- оцененная по типу А $u_A(K_u) \le 3{,}6\cdot10^{-5} + 2{,}4\cdot10^{-9}\cdot K_{u(изм)}$;
- оцененная по типу В $u_B(K_u) \le 3{,}9\cdot10^{-5}$.

Нестабильность $\nu_0(K_U)$ эталона при воспроизведении K_U составляет $1{,}0\cdot10^{-3}$ %/год.

Диапазон значений угла фазового сдвига (φ_U) напряжения переменного тока промышленной частоты составляет от 0 до 0,1 радиан.

Номинальное значение φ_U составляет 0 радиан.

Эталон воспроизводит значения φ_U со средним квадратическим отклонением результата измерений $S_0(\varphi_U)$, не превышающим $6\cdot10^{-6}$ + $+ 0{,}015\cdot\varphi_{U(изм)}$ рад, при 10 независимых измерениях, где $\varphi_{U(изм)}$ - измеренный угол фазового сдвига напряжения, рад.

Неисключенная систематическая погрешность $\Theta_0(\varphi_U)$ не превышает $1{,}14\cdot10^{-4}$ рад.

Стандартная неопределенность:

- оцененная по типу А $u_A(\varphi_u) \le 6{,}0\cdot10^{-6} + 0{,}015\cdot\varphi_{u(изм)}$ рад;
- оцененная по типу В $u_B(\varphi_u) \le 6{,}0\cdot10^{-5}$ рад.

Нестабильность $\nu_0(\varphi_u)$ эталона при воспроизведении φ_U составляет $1{,}0 \cdot 10^{-5}$ рад/год.

Метрологические характеристики ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017 соответствуют ГОСТ Р 8.746-2011 [1].

В состав ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017 входят:

- эталонный трансформатор напряжения типа NVRD;
- прибор сравнения типа КНТ-05;
- магазин нагрузок;
- источник высокого напряжения переменного тока от 0 до 40 кВ;
- средства измерений для контроля характеристик высокого напряжения переменного тока и условий проведения измерений.

ФГУП «УНИИМ» разработана и утверждена методика калибровки «ГСИ. Трансформаторы напряжения. Методика калибровки» МК 44-264-2016, предназначенная для калибровки измерительных трансформаторов напряжения, изготовленных по ГОСТ 23625-2001[2] и ГОСТ 1983-2015 [3], с помощью ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017. Оценивание неопределенностей измерений при калибровке ТН с использованием методики калибровки МК 44-264-2016 проводится в соответствии с ГОСТ Р 54500.3 [4].

Расширенная неопределенность результатов измерения коэффициента масштабного преобразования напряжения калибруемого трансформатора составляет $3{,}8 \cdot 10^{-5} ... 1{,}08 \cdot 10^{-4}$, при k = 2, доверительная вероятность P = 0,95.

Расширенная неопределенность результатов измерения угла фазового сдвига напряжения калибруемого трансформатора составляет $4{,}4 \cdot 10^{-5} ... 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ рад, при k = 2, доверительная вероятность P = 0,95.

Внедрение ГВЭТ 2.1.ZZC.0265.2017 для средств измерений K_U и φ_U внесет свой вклад в структуру обеспечения единства измерений K_U и φ_U в областях промышленности, науки и техники и будет способствовать надёжной и эффективной работе высоковольтного электрооборудования.

Литература

1 ГОСТ Р 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».

2 ГОСТ 23625-2001 «Трансформаторы напряжения измерительные лабораторные. Общие технические условия».

3 ГОСТ 1983-2015 «Трансформаторы напряжения. Общие технические условия».

4 ГОСТ Р 54500.3-2011/ Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

Сведения об авторах

Засыпкин Сергей Анатольевич, заведующий лабораторией
ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «УНИИМ»)
Тел.: (343) 350-25-71, +7 912 669 77 27
e-mail: ZasypkinSA@uniim.ru

Башко Николай Александрович, ведущий инженер
ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «УНИИМ»)
Тел.: +7 (343) 350-25-71
e-mail: BashkoNA@uniim.ru

Розина Ольга Юрьевна, научный сотрудник
ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «УНИИМ»)
Тел.: +7 (343) 217 35 47, +7 912 638 91 64
e-mail: rozina@uniim.ru

Эталонная установка большого постоянного тока

А.А. Ахмеев, В.А. Артеменко
ФГУП «УНИИМ»

Для измерения больших токов (по классификации МБМВ более 100 А) на предприятиях энергетики и в промышленности используются измерительные преобразователи, позволяющие преобразовать значения больших токов в величину, которую могут измерить цифровые или аналоговые приборы прямого действия.

Исторически в Свердловском филиале ВНИИМ им. Д.И. Менделеева (в настоящее время - ФГУП «УНИИМ»), начиная с 50-х годов проводились работы по созданию эталонных мер сопротивления на токи 1000 А, 6000 А и выше. В ходе этих мероприятий удалось достигнуть точность порядка 0,02 % в диапазоне токов до 6 кА, 0,05 % в диапазоне токов до 12,5 кА (используя комбинированную меру сопротивления). Эти меры сопротивления использовались в качестве эталонных мер при поверке рабочих средств измерений [1].

Для метрологического обеспечения шунтов постоянного тока была разработана МИ 1991-89 [2].

На основе специально разработанных прецизионных мер сопротивления в 70-х годах была создана установка большого постоянного тока (УБПТ), с рабочим диапазоном токов до 10 кА и погрешностью ±0,1 %. В 2004 году установка выработала свой ресурс и стала непригодной к дальнейшей эксплуатации.

В 80-х годах проводились НИР по заявкам промышленности по созданию комплекта поверки измерительных преобразователей БПТ с рабочими диапазонами до 2000 А и 7500 А, и погрешностью ±0,1 %. В основе этой установки лежал магнитный компаратор. Испытания были успешно проведены, но внедрения не было.

С 2010 г. ФГУП «УНИИМ» проводит мероприятия по передаче единицы ампера средствам измерений большого постоянного тока [3].

С 2015 по 2017 гг. ФГУП «УНИИМ» выполнял работы по созданию эталонной установки большого постоянного тока. По окончании этой работы эталонная установка большого постоянного тока была включена в состав ГЭТ 152, также была изменена концепция эталона ГЭТ 152 и изменилось его наименование. Приказом Росстандарта № 597 от 02.04.2018 г. был утвержден ГЭТ 152-2018 «Государственный первичный эталон единиц коэффициентов преобразования силы электрического тока».

Созданная эталонная установка большого постоянного тока, позволяет передавать единицу измерительным преобразователям постоянного электрического тока в диапазоне от 3,75 до 1000 А.

Состав эталонной установки большого постоянного тока:

• Измерительная установка (содержит набор катушек сопротивления, мультиметр, компаратор-калибратор, источник питания постоянного тока, термостат, масштабный преобразователь постоянного тока, компьютер);

• Эталоны сравнения;

• Вспомогательное оборудование обеспечивающее функционирование эталона.

Внешний вид эталонной установки большого постоянного тока приведен на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид эталонной установки большого постоянного тока

Основой эталонной установки большого постоянного тока, хранящей единицу коэффициента преобразования силы постоянного электрического тока, является масштабный преобразователь постоянного тока на основе магнитного компаратора постоянного тока [4], который был разработан ФГУП «УНИИМ»/

В основу работы масштабного преобразователя постоянного тока положен эффект изменения магнитного состояния материала при одновременном его намагничивании в постоянном и переменном полях.

Блок схема созданного масштабного преобразователя постоянного тока приведена на рис. 2.

Для исследования характеристик масштабного преобразователя постоянного тока производилось по схеме приведенной на рис. 3.

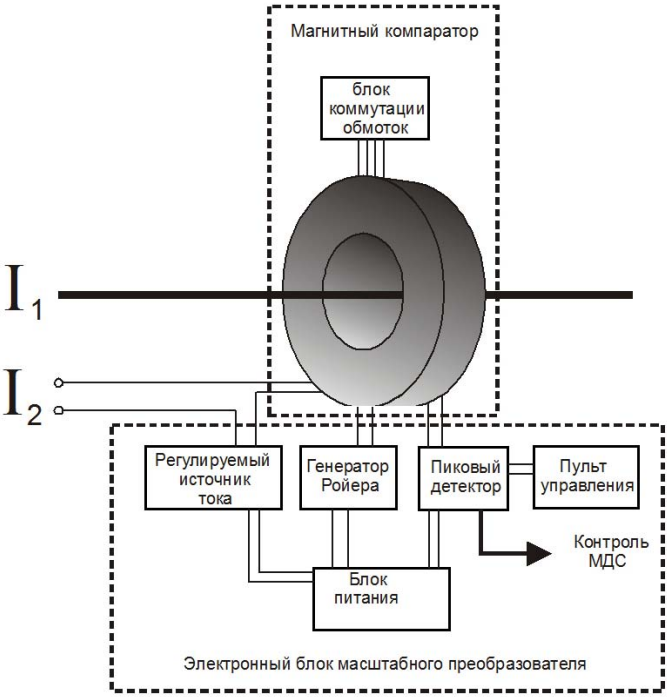

Рис. 2. Блок схема масштабного преобразователя постоянного тока

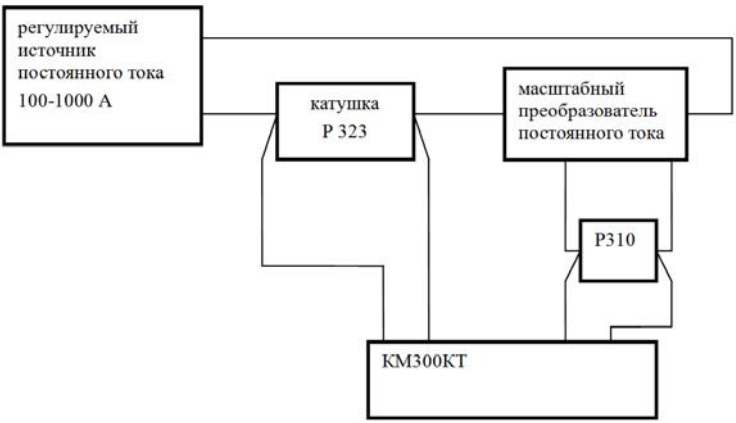

Рис. 3. Схема исследований характеристик масштабного преобразователя

Результаты исследования характеристик масштабного преобразователя приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований метрологических характеристик

Коэффициент масштабного преобразования	Ток, А	Расширенная неопределенность (положительная полярность тока), %	Расширенная неопределенность (отрицательная полярность тока), %
1	2	7	7
1000:1	100	0,0027	0,0026
	250	0,0011	0,0015
	500	0,0011	0,0008
	750	0,0011	0,0009
	1000	0,0012	0,0012
500:1	100	0,0027	0,0030
	250	0,0016	0,0012
	500	0,0007	0,0009
	500	0,0008	0,0008
	500	0,0008	0,0009
300:1	100	0,0018	0,0017
	200	0,0012	0,0016
	300	0,0008	0,0009

В результате проведенных исследований установлены метрологические характеристики масштабного преобразователя постоянного тока из состава эталонной установки большого постоянного тока.

Сопоставление измерительных возможностей созданной эталонной установки большого постоянного тока с зарубежными аналогами проведено по результатам анализа строк калибровочных и измерительных возможностей НМИ разных стран и данных отчетов о ключевых и пилотных сличениях Консультативного Комитета по количеству вещества – метрология в химии МКМВ в области измерений больших токов (постоянных). Результаты анализа показали, что по своим характеристиками эталонная установка большого постоянного тока не уступает зарубежным аналогам в охватываемом диапазоне токов.

В дальнейшем для метрологического обеспечения резистивных измерительных преобразователей (шунтов), характеристики которых нормируются в диапазоне первичных токов от 10 до 10000 А, запланировано

расширение измерительных возможностей эталонной установки большого постоянного тока до 10 кА. Ведутся работы по приобретению источника постоянного тока и проектирование конструкции масштабного преобразователя силы постоянного электрического тока.

Литература

1 Семенко Н.Г, Гамазов Ю.А. Измерительные преобразователи больших электрических токов и их метрологическое обеспечение. Москва: Издательство стандартов, 1984, 132 с.

2 МИ 1991-89. ГСИ. Преобразователи измерительные электрических величин. Шунты постоянного тока измерительные методика поверки.

3 «Исследование магнитного компаратора постоянного тока в диапазоне токов до 500 ампер». Гусев Д.В., Ахмеев А.А. 6-я научно-техническая конференция «Энергия Белых ночей 2013». «Метрология. Измерения. Учет и оценка качества электрической энергии. с 69-73.

4 W.J.M.Moore & P.N.Miljanic. The Current Comparator. IEE 4, Petyer Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1988, 120 с.

Сведения об авторах

Артеменко Вячеслав Александрович, ведущий инженер
ФГУП «УНИИМ»
Тел.: (343) 355-38-57

Ахмеев Андрей Александрович, заведующий отделом
ФГУП «УНИИМ»
Тел.: (343) 217-29-20
lab262@uniim.ru

Исследование характеристик трансформаторов тока на частотах до 2500 Гц

А.А. Ахмеев, Е.В. Воронская
ФГУП «УНИИМ»

Наиболее распространенным видом измерительных преобразователей переменного электрического тока, используемых в предприятиях энергетики, являются электромагнитные преобразователи – измерительные трансформаторы тока (ТТ).

Нормируемыми метрологическими характеристиками ТТ на переменном синусоидальном токе являются коэффициент и угол масштабного преобразования тока. Централизованное метрологическое обеспечение измерений этих величин реализовано в РФ с помощью государственного первичного эталона единиц коэффициентов преобразования силы электрического тока ГЭТ 152 [1].

Существует ряд задач, для решения которых необходимо исследовать и в перспективе обеспечить метрологически измерение параметров ТТ не только на частоте промышленной сети, но и в более широком диапазоне частот [2]:

1) В предприятиях энергетики используются регистраторы и аварийные осциллографы, в которых измерительные каналы, регистрирующие силу тока, подключены к ТТ. Однако, не известна погрешность передачи с помощью ТТ измерительной информации о быстро изменяющихся процессах (переключения, аварийные события, резкое изменение нагрузки и пр.), т.е. степень адекватности регистрации реальных процессов, происходящих в сетях электроснабжения.

2) В электроэнергетике существует проблема оценки качества электрической энергии, которое, в частности, связано с искажениями синусоидального электрического тока и напряжения в сети за счет нелинейных потребителей электроэнергии. В цепях измерения показателей качества электроэнергии используются ТТ, характеристики которых, как говорилось выше, не нормированы в части гармонических составляющих, что не позволяет полноценно использовать их при измерениях с целью анализа качества электрической энергии и поиска виновника искажений показателей качества электроэнергии в электрических сетях.

3) Существуют ТТ для специальных целей, для работы в цепях с переменной частотой, например при испытаниях электродвигателей; ТТ для работы в цепях с повышенной частотой, например, на морских судах, в схемах электропечей и устройств индукционного нагрева; трансформа-

торы постоянного тока, которые также требуют нормирования своих метрологических характеристик.

Для воспроизведения и передачи единиц коэффициента и угла масштабного преобразования тока используют два основных метода определения характеристик ТТ, описанные в литературе[3]:

1) дифференциально-нулевой метод путем сравнения поверяемого трансформатора тока с эталонным, имеющим такой же номинальный коэффициент трансформации, что и поверяемый. Этот метод был разработан еще в 1930-е годы и получил широкое распространение на практике, благодаря простоте его реализации и высокой точности [4];

2) расчетно-экспериментальное определение значений коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального тока с помощью магнитных компараторов при взаимной компенсации магнитных полей сравниваемых токов.

В 2009 году была опубликована статья [5] о новом подходе к определению характеристик ТТ при наличии гармонических искажений. В предлагаемом подходе использовалась схема исследования характеристик трансформаторов тока в диапазоне частот, приведенная на рис. 1.

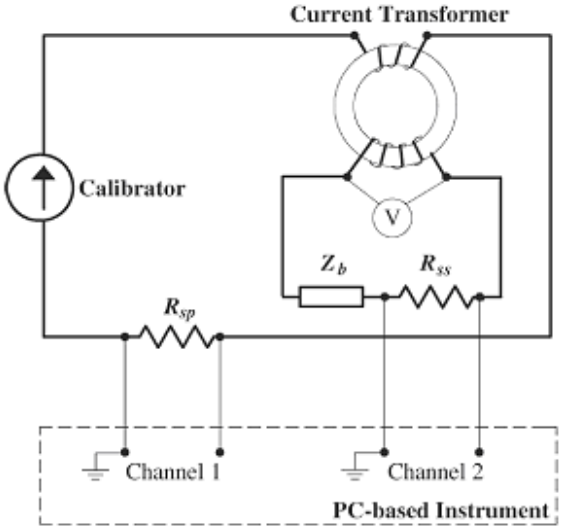

Рис. 1. Схема исследования характеристик трансформаторов тока в диапазоне частот [5]

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований характеристик ТТ в диапазоне частот до 800 Гц, а также проведено теоретическое объяснение полученных результатов на основе эквивалентной схемы ТТ, подтверждающее, что с увеличением частоты первичного тока увеличивается влияние реактивной составляющей нагрузки ТТ на его характеристики.

Основным ограничением данного подхода является использование безреактивных шунтов, которые выпускаются для номинальных токов до 100 А, соответственно характеристики ТТ, при использовании этого подхода, можно определить в диапазоне токов до 100 А, для увеличения тока необходимо использовать метод эквивалентной м.д.с.

При определении состава измерительной установки для исследования характеристик ТТ на частотах до 2500 Гц нами использовался опыт проведения работ по определению характеристик ТТ на частоте 50 Гц. Эталонный трансформатор тока, подключается последовательно в цепь первичного тока с ТТ, характеристики которого определяются. Вторичные токи от эталонного и исследуемого ТТ сравниваются прибором сравнения, который вычисляет разность по углу (фазе) и амплитуде сигналов двух вторичных токов и выдает результат измерений на индикатор. Отличием от применяемой схемы на частоте 50 Гц является наличие генератора сигнала с усилителем, задающего частоту от 40 до 2500 Гц и силу тока в первичной цепи исследуемых ТТ. Схема установки приведена на рис. 2.

На данный момент проведено предварительное исследование зависимости метрологических характеристик ТТ от частоты первичного тока в диапазоне от 40 до 2500 Гц. В таблице 1 приведены типы и номинальные характеристики исследуемых ТТ.

Пример зависимости погрешности по коэффициенту и углу масштабного преобразования ТТ от диапазона частот приведен на рис. 3 и 4 соответственно.

Таблица 1

Исследуемые ТТ

Тип	Коэффициент трансформации, А/А	Номинальная частота, Гц
ТОП-0,66	50/1	50
ТФ1	150/1	400
ТОП-0,66	75/5	50
ТОП-0,66	150/5	50
ТТИ-А	150/5	50
ТВИ-35	400/5	50

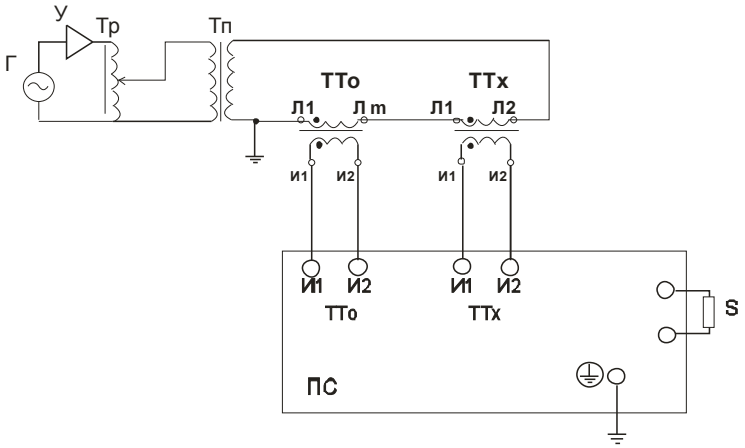

Рис. 2. Схема установки для исследования характеристик трансформаторов тока на частотах до 2500 Гц
Г - генератор гармонического сигнала; У - усилитель; Тр – регулировочный трансформатор; Тп – трансформатор питания; ТТо – эталонный трансформатор тока; ТТх – исследуемый трансформатор тока; S – вторичная нагрузка ТТх, ПС - прибор сравнения

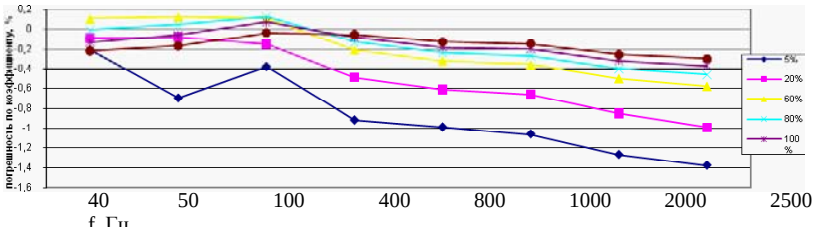

Рис. 3. Зависимость погрешности по коэффициенту масштабного преобразования ТТ от частоты

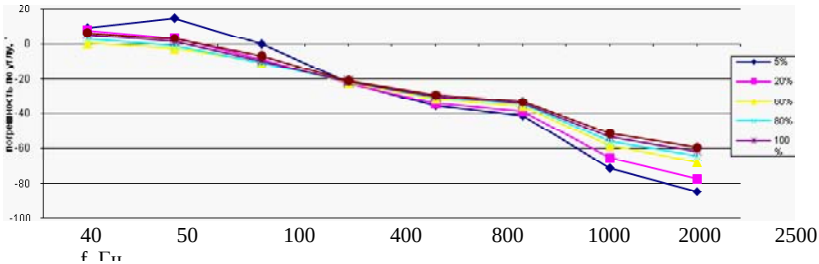

Рис. 4. Зависимость погрешности по углу масштабного преобразования ТТ от частоты

По результатам проведенных исследований выявлено, что на характеристики ТТ в диапазоне частот влияет множество факторов, такие как материал сердечника, конструктивные особенности изготовления первичной и вторичной обмоток, а также изменение характеристик вторичной нагрузки.

В результате проведенных работ оценена техническая возможность исследования метрологических характеристик ТТ в расширенном диапазоне частот и предложен вариант технического решения измерительной установки. Современный уровень развития средств измерений и тенденция перехода к цифровой обработке сигналов позволит сделать измерительную установку для исследования погрешностей измерительных ТТ в расширенной области частот (40 - 2500) Гц с возможностью дистанционного управления оператором процессом исследований с автоматизированного рабочего места.

Для подтверждения достоверности предварительных результатов необходимо разработать и утвердить методики передачи единиц коэффициентов преобразования силы электрического тока и методики калибровки средств измерений, входящих в состав измерительной установки.

К 2019 году планируется создать макет измерительной установки, позволяющий исследовать характеристики ТТ в диапазоне частот от 40 до 2500 Гц при токах до 1000 А. Для решения задач, изложенных выше, будут выполнены исследования характеристик ТТ, применяемых на территории РФ в диапазоне частот разных производителей с различными коэффициентами трансформации.

Литература

1. ГОСТ Р 8.859-2013. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального тока.

2. Воронская Е.В., Ахмеев А.А., Дидик Ю.И., Шабуров А.М. О метрологическом обеспечении измерительных трансформаторов тока в расширенной области частот.//Сборник докладов X всероссийской научно-технической конференции 3-5 октября 2017 г. Метрологическое обеспечение измерительных систем. – г. Пенза.

3. Н.Г. Семенко, Ю.А. Гамазов. Измерительные преобразователи больших электрических токов и их метрологическое обеспечение.// Издательство стандартов. – Москва. – 1984.

Методические указания № 214 по поверке измерительных трансформаторов при повышенных частотах.// Издательство стандартов. – Москва. – 1964.

4. Antonio Cataliotti, Dario Di Cara, Alexander E. Emanuel, Salvatore Nuccio. A novel approach to current transformer characterization in the

presence of harmonic distortion.// IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. 58, No. 5, May 2009, С. 1446-1453.

Сведения об авторах

Ахмеев Андрей Александрович,
ФГУП «УНИИМ», заведующий отделом 26
620000, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
(343) 217-29-20
lab262@uniim.ru

Воронская Екатерина Владимировна,
ФГУП «УНИИМ», зам. зав. лабораторией 262
620000, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
(343) 217-81-85
ekaterina@uniim.ru

Практические рекомендации по решению вопросов метрологического обеспечения измерительных систем

А.А. Данилов
ФБУ «Пензенский ЦСМ»

Вопросы минимизации количества и упрощения процедур метрологического обеспечения средств измерений (СИ), сокращения их длительности и стоимости, до сих пор остаются актуальными.

Наиболее остро эти вопросы стоят при проведении метрологического обеспечения измерительных систем (ИС).

1. ИС, применяемые в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, лишены «гибкости»

С принятием в 1993 г. закона «Об обеспечении единства измерений» [1] была ликвидирована важная особенность ИС – их гибкость, способность к модернизации, перестроению в зависимости от решаемой измерительной задачи.

Сегодня любое внесение изменений в описание типа сопровождается длительной процедурой (до 40 рабочих дней) оказания государственной услуги Росстандартом [2].

Рассуждая формально, после фактического внесения изменений в ИС до выхода соответствующего приказа Росстандарта можно считать, что ИС не соответствует утвержденному типу. Сказанное касается внесения изменений в утвержденный тип ИС как влияющих, так и не влияющих на метрологические характеристики, включая даже лишь простую (казалось бы) замену наименований измерительных каналов (ИК).

Некоторые допущения для создания «гибкости» АИИС КУЭ в части внесения изменений в описание типа, не влияющих на метрологические характеристики, предложеныв пункте 2.2 МИ 2999-2018 [3].

Возможный способ легального выхода из этой наиболее типичной непростой ситуации в рамках действующего законодательства – утверждение типа ИС класса ИС-1 по ГОСТ Р 8.596 [4], либо класса ИС-2, но с бОльшим количеством ИК, чем требуется на момент утверждения типа. Это даст возможность при эксплуатации ИС увеличивать фактически установленное количество ИК до предельного количества (указанного в описании типа ИС) из номенклатуры, регламентированной описанием

типа ИС по измеряемым величинам, диапазонам измерений, характеристикам погрешности, составу.

При этом целесообразно наименование ИК «не привязывать» к наименованиям объекта, свойства которого подлежат измерениям, т.к. в случае необходимости «привязку» ИК к наименованиям можно сделать в соответствующем разделе эксплуатационной документации, например, в формуляре [5, 6] или в аттестованной методике (методе) измерений.

Целесообразно также включить в комплект ЗИП (запасные части, инструмент, принадлежности) запасные СИ, входящие в состав ИК, которые можно было бы использовать взамен отказавших установленных, хотя, разумеется, это сопряжено с финансовыми вложениями. Однако в противном случае может оказаться, что на момент вынужденного ремонта «под рукой» может не оказаться СИ, входящих в состав ИК согласно описанию типа, что приведет к необходимости приобретения СИ другого типа, внесения изменений в утвержденный тип ИС и т.д. – «скупой платит дважды».

Также целесообразно проводить утверждение типа ИС с изменяемым программным обеспечением (ПО) с указанием в описании типа версия ПО «не ниже». Это даст возможность проводить модификацию метрологически не значимой части ПО при условии, что оно было грамотно разделено на метрологически значимую и метрологически не значимую части [7].

При утверждении методики поверки ни в коем случае не следует включать в приложение к методике перечень и состав ИК, т.к. иначе при любом изменении в составе ИК потребуется внесение изменений и в методику поверки.

Следует, правда, отметить, что эта «половинчатая» мера обеспечения «гибкости» ИС не спасает от необходимости обращения в Росстандарт за получением соответствующей государственной услуги при введении новых ИК, отличающихся измеряемыми величинами, диапазонами измерений, характеристиками погрешности, составом, а также при модификации метрологически значимой части ПО.

Учитывая, что большинство ИС применяются вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, для придания им «гибкости» разумно было бы рассмотреть вопрос об упрощении процедуры внесения изменений в описание типа ИС.

2. Эксплуатация и поверка образцов СИ, предъявленных на испытания

Рассуждая формально, образцы СИ (в том числе и единичные экземпляры ИС), предъявленные на испытания, изготовлены до утверждения

типа СИ, а потому даже после подписания приказа Росстандарта являются СИ не утвержденного типа.

В соответствии с ранее действовавшими ПР 50.2.009 [8] «*1.10. Образцы средств измерений, предъявленные на испытания для целей утверждения типа, в случае положительных результатов, подлежат поверке в процессе эксплуатации, хранения и после ремонта в соответствии с проверенной в процессе испытаний методикой поверки*». При этом свидетельство о первичной поверке испытанных образцов СИ оформлялось без ее фактического проведения – на основании положительных результатов испытаний в целях утверждения типа.

Разумность этого пункта не вызывает сомнений, особенно в отношении единичных экземпляров ИС, предъявляемых на испытания. Целесообразно было бы внести изменения в действующий порядок утверждения типа СИ [9], дополнив его предложением, процитированным выше. Его целесообразно было бы также дополнить и фразой, которая позволила бы использовать протокол опробования методики поверки, проводимой при утверждении типа ИС, в качестве основания для оформления свидетельства о поверке испытанных экземпляров ИС. Учитывая, что свидетельство о поверке может быть оформлено лишь после подписания Приказа Росстандарта об утверждении типа этих ИС, возможно, потребуется соответствующее внесение изменений и в порядок проведения поверки СИ [10].

Пока же получается, что на объект приходится выезжать дважды: первый раз для проведения испытаний, второй – для проведения поверки. Совмещение этих процедур – есть нарушение действующего законодательства.

Справедливости ради следует отметить и возможность, предусмотренную пунктом 9.3 МИ 3000-2018 [11], в соответствии с которым «*допускается при проведении испытаний в целях утверждения типа и опробовании методики поверки при их проведении одновременно оформлять результаты калибровки ИК и использовать их в дальнейшем при поверке АИИС КУЭ при условии выполнения требований Постановления Правительства Российской Федерации от 02.04.2015 №311*». Правда, при этом Испытатель должен быть одновременно аккредитован в национальной системе аккредитации на калибровку измерительных каналов АИИС КУЭ.

3. Сокращение продолжительности и трудоемкости поверки

Некоторые способы сокращения продолжительности и трудоемкости поверки приведены в [12], из которых наиболее действенными явля-

ется автоматизация операций поверки. Так, в работе [13] предлагается способ автоматизации операции проверки ошибок информационного обмена, осуществляемого дистанционно, а в работе [14] предлагается способ автоматизации операции проверки статуса поверки компонентов ИС с использованием сведений о составе ИС, приведенных в электронном формуляре по ГОСТ 2.612 [6], и сведений о результатах поверки, приведенных в соответствующем разделе Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений.

К сожалению, автоматизировать операцию проверки метрологических характеристик ИК ИС, проверяемых комплектно, зачастую невозможно, поскольку современные калибраторы пока позволяют автоматизировать операцию проверки метрологических характеристик ИК лишь комплексного компонента ИС и то только в том случае, если такая возможность реализована при проектировании ИС.

Проведение выборочной поверки ИК ИС законодательно допускается лишь при проведении первичной поверки [10]. Например, в методике поверки системы измерительной автоматизированной учета воды АСУВ «НемоАква» (№ 64126-16 в Госреестре СИ) предусмотрена проверка ошибок информационного обмена не для всех 20 млн. шт. ИК, а лишь для их представительной выборки. Количество ИК, входящих в представительную выборку, было рассчитано в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2859-1-2007 [15] и составляет 1250 ИК при количестве ИК более 500 000.

Таким образом, приведенные выше практические рекомендации, связанные в том числе с внесением изменений в действующие нормативно-правовые акты [9, 10], могли бы упростить процедуры метрологического обеспечения автоматизированных систем на этапе их эксплуатации.

Кроме того, нельзя не отметить, что требует переработки ГОСТ Р 8.596 [4], о чем неоднократно говорилось на конференциях различного уровня, который также целесообразно дополнить разделом «Установление интервалов между поверками», т.к. действующие рекомендации [16] на практике невозможно распространить на многоканальные автоматизированные системы.

Литература

1. Закон РФ от 27 апреля 1993 г. № 4871-1 «Об обеспечении единства измерений».

2. Приказ Минпромторга России от 25 июня 2013 г. № 970 «Об утверждении Административного регламента по предоставлению Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной услуги по утверждению типа стандартных образцов или типа средств измерений».

3. МИ 2999-2018 ГСИ. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учета электрической энергии. Рекомендации по составлению описания типа.

4. ГОСТ Р 8.596-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.

5. ГОСТ 2.610-2006 ЕСКД. Правила выполнения эксплуатационных документов.

6. ГОСТ 2.612-2011 ЕСКД. Электронный формуляр. Общие положения.

7. ГОСТ Р 8.654-2015 ГСИ. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.

8. ПР 50.2.009-94 Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений, утвержденный постановлением Госстандарта РФ от 8 февраля 1994 г. №8.

9. Приказ Минпромторга России от 30 ноября 2009 г. № 1081 «Об утверждении Порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, Порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, Порядка выдачи свидетельств об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, установления и изменения срока действия указанных свидетельств и интервала между поверками средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения».

10. Приказ Минпромторга России от 2 июля 2015 г. № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

11. МИ 3000-2018 ГСИ. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учета электрической энергии. Методика поверки

12. Данилов А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. – СПб.: Политехника-Принт, 2017. – 146 с.

13. Шейнин Э.М. О метрологии больших систем учета энергоресурсов. – Измерительная техника, 2012, №12. – С. 55-58.

14. Кондаков В.Ю., Крылов В.С., Шейнин Э.М. Повышение достоверности метрологического контроля многоканальных измерительных систем – Метрология, 2016, № 3. – С. 18-22.

15. ГОСТ Р ИСО 2859-1-2007 Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества

16. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений

Сведения об авторе
Данилов Александр Александрович,
д. т. н., профессор, и. о. директора ФБУ «Пензенский ЦСМ»
Тел.: (841-2) 49-51-90, факс: 49-82-65
aa-dan@mail.ru
www.penzacsm.ru

Исследование метрологических характеристик модуля измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь «МВ-конденсатор»

А.В. Леонов, ФГУП «ВНИИМС»
О.А. Орнатский, ООО «ОЛТЕСТ»

Введение

Основным способом измерения емкости на высоком напряжении является мостовой метод, при котором происходит уравновешивание токов в цепи эталонного и измеряемого конденсаторов. Долгое время основными приборами были мосты переменного тока на основе схемы Шеринга с ручной балансировкой. Но с развитием технологий на их смену приходят мосты, в которых процесс измерения автоматизирован.

Автоматические прецизионные высоковольтные мосты переменного тока, работающие на промышленной частоте, находят применение в составе эталонов и поверочных установок. В первую очередь, речь идет об эталонах масштабного преобразования высокого напряжения промышленной частоты и высоковольтных эталонах емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Производством автоматических прецизионных высоковольтных мостов занимаются такие фирмы, как Haefely Test AG (Tettex Instruments), Measurement International и ООО «ОЛТЕСТ».

1 Описание и принцип работы

По заказу ФГУП ВНИИМС фирмой ООО «Олтест» был изготовлен вариант прецизионного моста под названием: модуль измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь “МВ-конденсатор” (далее – мост) который входит в состав государственного первичного специального эталона единиц электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь на напряжении переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ и является его важной составной частью необходимой для передачи единицы.

В техническом задании на изготовление моста были заданы метрологические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Требуемые метрологические характеристики

№ п/д	C_x/C_0	Пределы основной допускаемой относительной погрешности моста при измерении емкости δ_C, %	Пределы основной допускаемой абсолютной погрешности моста при измерении тангенса угла потерь $\Delta_{tg\delta}$
1	0,01...0,1	$\pm[2\times10^{-3}+2\times10^{-4}\times(C_0/C_X-10)+$ $+\lvert tg\delta_x-tg\delta_0\rvert]$	$\pm[2\times10^{-5}+2\times10^{-6}\times(C_0/C_X-10)+$ $+0{,}005\times\lvert\lvert tg\delta_x-tg\delta_0\rvert]$
	0,1...1,0	$\pm[1\times10^{-3}+\lvert tg\delta_x-tg\delta_0\rvert]$	$\pm[1\times10^{-5}+0{,}005\times\lvert tg\delta_x-tg\delta_0\rvert]$
2	1,0...10		
3	$10...10^2$		
4	$10^2...10^3$	$\pm[2\times10^{-3}+\lvert tg\delta_x-tg\delta_0\rvert]$	$\pm[2\times10^{-5}+0{,}005\times\lvert tg\delta_x-tg\delta_0\rvert]$

Внешний вид моста приведен на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид

Мост позволяет измерять:

● емкость и тангенс угла потерь объекта измерений, с использованием внешнего эталонного конденсатора;

• электрическое напряжение, приложенное к внешнему эталонному конденсатору;

• частоту напряжения.

В основе принципа действия моста лежит уравновешивание ветвей модифицированной схемы Шеринга, в которой в качестве двух низковольтных плеч использован электромагнитный компаратор токов (КТ).

КТ представляет собой экранированный дифференциальный трансформатор, состоящий из трех обмоток с тесной индуктивной связью. КТ содержит две обмотки W_X и W_0, через которые протекают сравниваемые токи (ток в цепи эталонного конденсатора и ток в цепи объекта измерений), и обмотку W_Y, которая служит для выделения сигнала неравновесного состояния.

Структурная схема моста, отображающая принцип его работы, приведена на рис. 2.

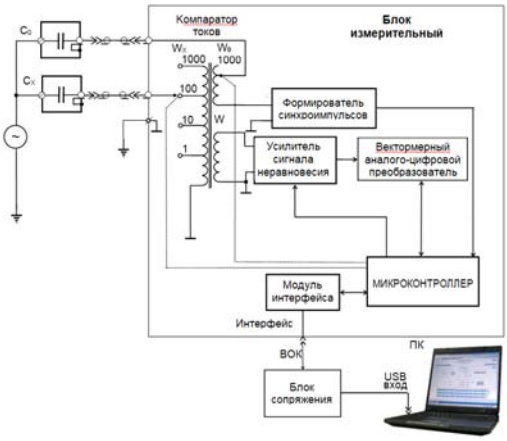

Рис. 2. Схема моста

Персональный компьютер (ПК) предназначен для управления процессом измерения, визуализации результатов измерений, а также просмотра архива результатов измерений.

Блок измерительный (БИ) объединяет основные составные части Моста. Связь ПК и БИ осуществляется с помощью Блока сопряжения (БС) через полностью диэлектрический волоконно-оптический кабель. БС подключен к ПК через USB-вход. В качестве источника питания БИ используется встроенный аккумулятор.

Модуль интерфейса (МИ) осуществляет в БИ функцию преобразования оптических сигналов в электрические.

Усилитель сигнала неравновесия (УСН) усиливает сигнал неравновесия мостовой цепи до уровня, необходимого для эффективной работы вектормерного аналого-цифрового преобразователя (ВАЦП).

Микроконтроллер осуществляет преобразование команд, поступающих из ПК, в сигналы управления узлами измерительного блока, а также передает в ПК через ВОК значения кодов, вырабатываемых АЦП, информацию о перегрузке входных цепей по току и о разряде аккумулятора.

Формирователь синхроимпульсов (ФСИ) вырабатывает импульсы синхронные с измерительным сигналом. Период данных импульсов измеряется с помощью микроконтроллера. Благодаря этому формируемые им опорные колебания для синхронных детекторов ВАЦП когерентны с токами, сравниваемыми КТ.

Основой, на которой базируется процесс измерения, является вариационный метод измерения. Используемая в мосте разновидность вариационного метода измерения предусматривает изменение (вариацию) отношения токов на известное с необходимой точностью значение. Разность значений измеряемой величины до и после вариации используется в качестве калибровочного сигнала. Вычисления, необходимые для получения результата, осуществляет ПК.

Процесс измерения можно условно разделить на следующие основные этапы:

- выбор чувствительности и измерение рабочего напряжения;
- выбор п/д;
- уравновешивание измерительной цепи в пределах п/д;
- измерение значения остаточного сигнала неравновесия и «нулей» прибора (при отключенных с помощью коммутаторов $К_1$ и $К_2$ сравниваемых токах);
- вычисление результата измерения по равновесным значениям декадных коммутаторов и значению остаточного сигнала неравновесия;
- коррекция результата с учетом влияния сопротивлений подводящих проводов, обмоток и коммутаторов в цепи объекта измерения и образцовой меры.

Выбор чувствительности осуществляют изменением коэффициента передачи УСН.

Смена п/д осуществляется переключением числа витков обмотки W_X, а уравновешивание в пределах п/д – переключением витков обмотки W_0.

После уравновешивания с помощью ВАЦП измеряется остаточный сигнал неравновесия.

Используя результат этого измерения, равновесные значения числа витков обмоток КТ, а также значение емкости $С_0$, введенное оператором, ПК производит вычисление и выводит на экран измеренные значения

емкости и тангенса угла потерь объекта, и действующее значение первой гармоники рабочего напряжения и его частоты.

Управление элементами, участвующими в выполнении указанных выше операций, а также передачу измерительной информации в ПК осуществляет микроконтроллер, получающий команды от ПК.

Блок измерительный обеспечивает измерение емкостей на 4-х п/д при отношении C_X к C_0 в диапазоне от 0,01 до 1000.

Процесс работы моста полностью автоматизирован. Для управления и отображения результатов на ПК используется специальное программное обеспечение. Основное диалоговое окно программы приведено на рис. 3.

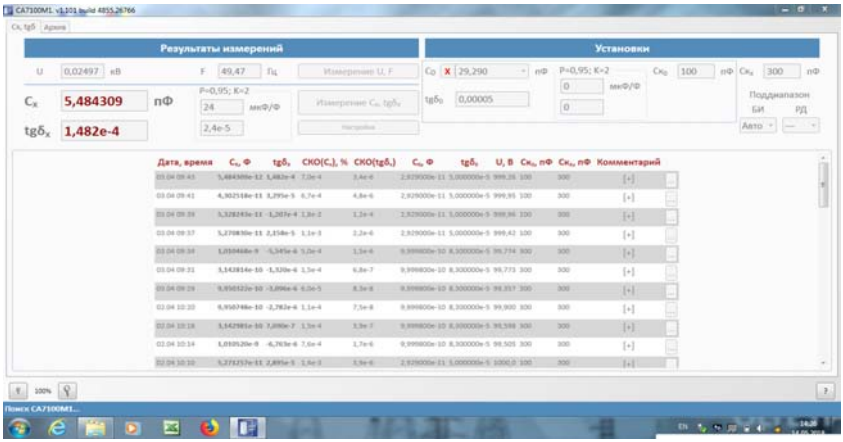

Рис. 3. Основное диалоговое окно программы ПО

Основное диалоговое окно исполняет роль панели управления моста и позволяет оператору осуществлять управление процессом измерения и считывать результаты. Так же с помощью ПО можно просматривать результаты предыдущих измерений или передавать их в формате эксель для дальнейшей обработки.

2 Метод исследований

Исследования моста проходили по следующей программе:

1. Определение основных метрологических характеристик методом циклических перестановок;

2. Определение основных метрологических характеристик с помощью калибратора и эталонных емкостей.

2.1 Определение основных метрологических характеристик методом циклических перестановок

Методом циклических перестановок был предложен Cutkosky и Shields в 1960 году. Авторами этот метод использовался для определения погрешностей отношений на выводе обмоток трансформатора напряжений, но он так же может быть применен для определения погрешностей компаратора токов при измерении отношения токов.

Метод циклических перестановок позволяет определить погрешность компаратора токов при измерении отношения токов, которое номинально равно отношению двух целых чисел m/n. На рис. 4 показан принцип метода.

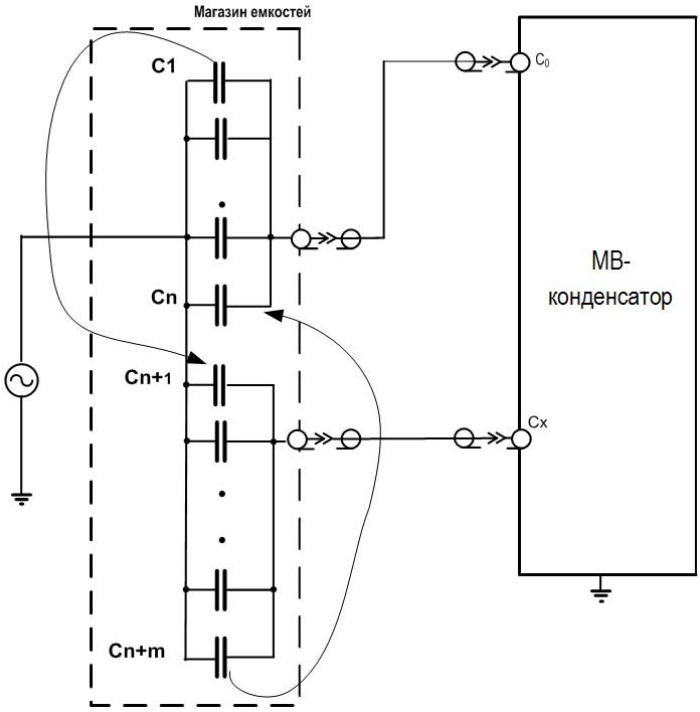

Рис. 4. Принцип метода циклических перестановок

Для реализации метода циклической перестановки использовался специально разработанный для этой цели магазин поверочный МП-01, схема которого показана на рис. 5.

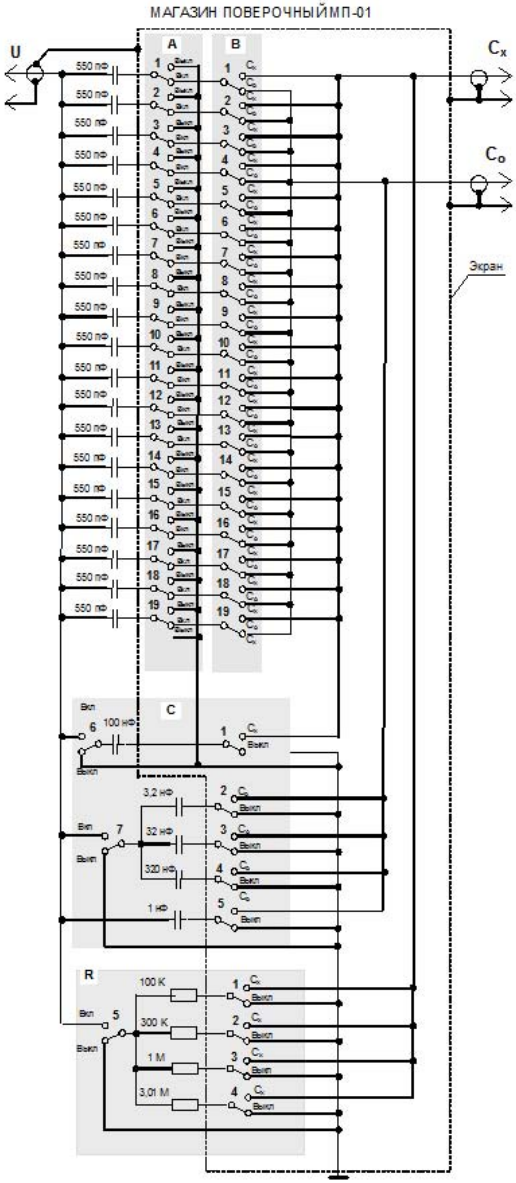

Рис. 5. Магазин поверочный МП-01

Этот магазин содержит 19 высокостабильных конденсаторов, относительная разность емкостей которых не превышает 2×10^{-4}, а разность

тангенсов – 10^{-4}. Для обеспечения высокой кратковременной стабильности указанные конденсаторы находятся в толстостенный алюминиевый корпус, выполняющий роль теплового интегратора, который сверху покрыт теплоизоляцией из пенополиэтилена толщиной 15 мм. Такой набор конденсаторов позволил исследовать погрешности на первом и втором п/д с точностью не более ±1 ppm в диапазоне отношений от 1/18 до 18. Благодаря высокой точности подгонки емкости конденсаторов для вычисления погрешности отношений нет необходимости решать очень громоздкую систему уравнений, а можно ограничиться лишь усреднением погрешностей измерений, полученных при проведении циклических измерений.

Магазин имеет два ряда переключателей (A и B), с помощью которых осуществляется подключение выбранных конденсаторов к входам C_0 (обмотка N_0) и C_X (обмотка N_X) моста.

При исследовании моста в точке диапазона измерения, соответствующей отношению $C_X/C_0=m/n$ ко входу C_0 подключалось m конденсаторов, а ко входу C_X – n конденсаторов. Проведя серию из n+m измерений, была получена погрешность измерения емкости $\delta_{C_{m/n}}$, определяемая по формуле:

$$\delta_{C_{m/n}} = \frac{\sum_{i}^{m+n}\left(\frac{C_{Xi} - C_0 \times \frac{m}{n}}{C_0 \times \frac{m}{n}}\right)}{m+n}$$

и погрешность при измерении тангенса угла потерь:

$$\Delta tg\delta_{m/n} = \frac{\sum_{i}^{m+n}\Delta tg\delta_i}{m+n}.$$

2.2 Определение основных метрологических характеристик с помощью калибратора и эталонных емкостей

Определения метрологических характеристик этим методом применялся калибратор Fluke 9100, меры электрической ёмкости – газонаполненные конденсаторы и измеритель Arb. System.

На рис. 6 изображена схема измерений.

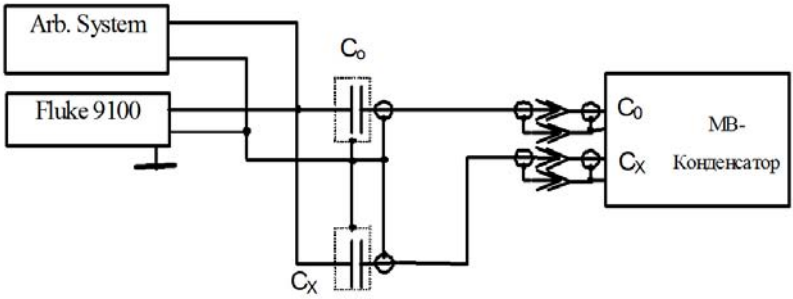

Рис. 6. Схема измерений с помощью калибратора и эталонных емкостей

Принцип метода основан на измерении на первом этапе прямого отношения емкостей и подаваемого на них напряжения, а на втором этапе обратного отношения емкостей и подаваемого на них напряжения.

На первом этапе в качестве C_o подключалась мера номиналом 1000 пФ, а в качестве C_x мера номиналом 300 пФ. Одновременно проводилось измерение напряжения U_1, подаваемого с калибратора. На втором этапе конденсаторы подключались в обратном порядке и проводились измерения.

Аналогичные измерения проводились для пары C_o=1000 пФ и C_x=1000 пФ.

Погрешность измерений определялась по формуле:

$$\delta C = 100 \frac{\left(K_1 \cdot K_2 - \frac{U_1}{U_2} \right)}{U_1 / U_2}$$

где: $K_1=C_x/C_o$, $K_2=C_o/C_x$.

3 Результаты исследований

3.1 Определение основных метрологических характеристик методом циклических перестановок

Результаты определения основных метрологических характеристик методом циклических перестановок приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения основных метрологических методом циклических перестановок

C_x/Co	$C_{хном}$, пФ	Результаты измерений		Полученные значения погрешностей	
		C_i	$tg\delta_i$	δC,%	Δtgδ
0,1	550	5,500508E-10	-4,67E-06	-6,4E-05	-9,7E-08
		5,500314E-10	2,01E-06		
		5,500391E-10	-9,01E-07		
		5,499696E-10	8,24E-07		
		5,498885E-10	-1,38E-06		
		5,500286E-10	-2,78E-06		
		5,499923E-10	-8,90E-07		
		5,500509E-10	4,46E-06		
		5,500403E-10	3,21E-06		
		5,498923E-10	-4,73E-06		
		5,500150E-10	3,78E-06		
0,2	1100	1,100093E-09	-2,33E-06	-1,5E-05	-7,4E-07
		1,100012E-09	-4,72E-07		
		1,099909E-09	-3,09E-06		
		1,100048E-09	7,91E-07		
		1,099929E-09	-1,51E-06		
		1,100008E-09	2,19E-06		
0,5	2750	2,749999E-09	-5,29E-06	1,2E-05	-5,3E-07
		2,750037E-09	-4,93E-06		
		2,749965E-09	8,61E-06		
0,9	4950	4,950259E-09	-1,38E-05	-9,1E-05	-1,6E-07
		4,949984E-09	-1,35E-05		
		4,949955E-09	-1,29E-05		
		4,949873E-09	-1,21E-05		
		4,949815E-09	-1,22E-05		
		4,949884E-09	-1,27E-05		
		4,949980E-09	1,87E-05		
		4,949953E-09	1,80E-05		
		4,949790E-09	1,65E-05		
		4,949638E-09	1,56E-05		
		4,949906E-09	1,58E-05		
		4,949968E-09	1,38E-05		
		4,950038E-09	1,35E-05		
		4,950215E-09	1,27E-05		
		4,950293E-09	1,41E-05		
		4,949947E-09	-1,69E-05		
		4,950043E-09	-1,66E-05		
		4,950101E-09	-1,64E-05		
		4,950272E-09	-1,49E-05		
1	2200	2,750025E-09	3,50E-07	0,0E+00	1,7E-07
		2,749975E-09	-3,60E-07		

3.2 Определение основных метрологических характеристик с помощью калибратора и эталонных емкостей

Результаты определения основных метрологических характеристик с помощью калибратора и эталонных емкостей приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения основных метрологических методом циклических перестановок

№ изм.	C_0	Cx	U_1, В	U_2, В	U_1/U_2	$K_1=C_1/C_2$	$K_2=C_2/C_1$	$K_1.K_2$	δ, %
1	9,95751E-10	2,82227E-11	99,99526	99,994954	1,00000306	35,28187195	0,02834325	1,00000283	$-2{,}26\cdot10^{-5}$
2	2,82228E-11	9,95751E-10							
1	9,95751E-10	1,00226E-10	99,99034	99,990287	1,00000053	9,93503813	0,10065385	0,99999982	$-7{,}07\cdot10^{-5}$
2	1,00226E-10	9,95751E-10							

Выводы

Было проведено исследование метрологических характеристик модуля измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь «МВ-конденсатор». В результате чего были подтверждены установленные в техническом задании метрологические характеристики двумя не зависимыми способами, что говорит о достижении высокого уровня точности. Так же диапазон измерений может быть существенно увеличен по верхней границе за счет применения расширителей, изготавливаемых тем же производителем, что требует новых исследований и открывает возможности по существенному расширению диапазона измерений государственного первичного специального эталона единиц электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь на напряжении переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ.

Сведения об авторах
Леонов А.В., научный сотрудник,
ФГУП «ВНИИМС»
aleonov@vniims.ru

Орнатский О.А., к. т. н., технический директор,
ООО «ОЛТЕСТ»
oleg.ornatsky@gmail.com

Современные методы и средства измерения высокого напряжения постоянного тока

Е.В. Громочкова,
Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС),
gromochkova@vniims.ru

Измерения на высоком напряжении постоянного тока используются в следующих отраслях промышленности:

• приборостроение, электротехника, изоляционные материалы, провода и кабели при испытаниях электрической прочности изоляции электротехнического оборудования, при испытаниях кабелей, проводов и шнуров на определение электрического сопротивления токопроводящих жил и проводников при высоком напряжении;

• электроэнергетика. В настоящий момент на территории России существует только одна вставка напряжения постоянного тока – Выборгская, но она самая крупная в мире. Передача электроэнергии на напряжении постоянного тока обладает рядом преимуществ – работает более устойчиво, чем на напряжении переменного тока, уменьшаются потери в ЛЭП, отсутствует необходимость в синхронизации работы электростанций. Предназначается для транспорта электроэнергии на дальние расстояния, передачи мощности через большие водные пространства по кабельным линиям;

• испытания высоковольтного оборудования;

• испытания преобразователей для железнодорожного транспорта.

Наибольшее распространение в настоящий момент получили следующие методы измерения высокого напряжения постоянного тока:

• шаровые разрядники;

• электростатические киловольтметры;

• резистивные делители;

• измерительные системы высокого напряжения.

Методы измерения, при которых к устройствам прикладывают все измеряемое напряжение – шаровые разрядники, электростатические киловольтметры.

Шаровые разрядники - используется явление пробоя воздушного промежутка известной длины между электродами специальной формы. Метод основан на том, что при известных размерах шаров и расстояния между ними измерение напряжения производится при пробое промежутка электрическим разрядом (разрядное напряжение заранее известно). Шаровые разрядники являются наиболее широко используемым типом пикового вольтметра. Существенным недостатком этого вида при-

боров является то, что они нарушают режим цепи в момент перекрытия искрового промежутка. Также недостатком является то, что на погрешности измерений сказываются атмосферные условия (влажность, удельная плотность воздуха, наличие ионизирующего излучения, близость заземленных окружающих предметов, близость других разрядных устройств, запыленность окружающей среды).

К этой же группе относятся приборы, основывающиеся на прямом или косвенном измерении электростатических сил, действующих на электроды (электростатические киловольтметры). Недостаток – существенное влиянии на точность приборов оказывают искажения поля, возникающие из-за отклонений формы электродов, состояния их поверхности, возникновения коронных разрядов на заусенцах электродов, нестабильность характеристик пружинок, от расположенных вблизи заземленных или заряженных предметов, степени ионизации межэлектродного расстояния, зависящего от запыленности воздуха.

Существуют также методы измерений при которых к устройству, прикладывают полное напряжение, известную часть которого измеряют на низком напряжении. Это резисторные масштабные преобразователи, устройства с добавочным сопротивлением, масштабные преобразователи напряжения постоянного тока.

При своей принципиальной простоте с большим трудом поддаются аттестации на высоком напряжении в силу специфических условий их работы при воздействии высоких рабочих напряжений. Это связано с неподдающимися эффективному контролю изменениями сопротивления их элементов при высоком напряжении, вследствие нагрева элементов, из которых изготовлены резисторы, появление токов утечки и коронных разрядов на элементах конструкции.

К малораспространенным методам можем отнести следующие:

- электрооптический метод
- метод с использованием пучков заряженных частиц ускоряющего типа. Использование этого метода позволяет обеспечить возможность проведения абсолютных измерений. Существенным недостатком метода является необходимость мер радиационной безопасности и помехоустойчивости аппаратуры
- роторные киловольтметры
- дифференциальный (компенсационный метод), именно этот метод положен в основу Государственного первичного специального эталона единицы электрического напряжения постоянного тока – вольта – в диапазоне ± (1...500) кВ (ГЭТ 181-2010), суть метода заключается в том, что от полного, подлежащего измерению высокого напряжения вычитают почти такую же по величине известную точно часть, а малую разницу измеряют при низком напряжении точным вольтметром.

В таблицах 1 – 6 приведены данные из базы международной базы данных измерительных и калибровочных возможностей (KCDB) в области измерения высокого напряжения постоянного тока по странам-хранителям национальных эталонов, метрологические характеристики которых сопоставимы с характеристиками ГЭТ 181-2010.

Из приведенных в таблицах 1 – 6 сведений видим, что в основном национальные эталоны, используемые для измерения высокого напряжения постоянного тока выполнены на основе киловольтметров и/или измерительных систем на основе резистивных делителей и высокоточных вольтметров.

В Российской Федерации высшей точностью в области измерений высокого напряжения постоянного тока обладает Государственный первичный специальный эталон единицы электрического напряжения постоянного тока – вольта – в диапазоне ± (1...500) кВ (ГЭТ 181-2010)

Принцип работы ГЭТ 181-2010 основан на дифференциальном методе.

Структурная схема ГЭТ 181-2010 представлена на рис. 1.

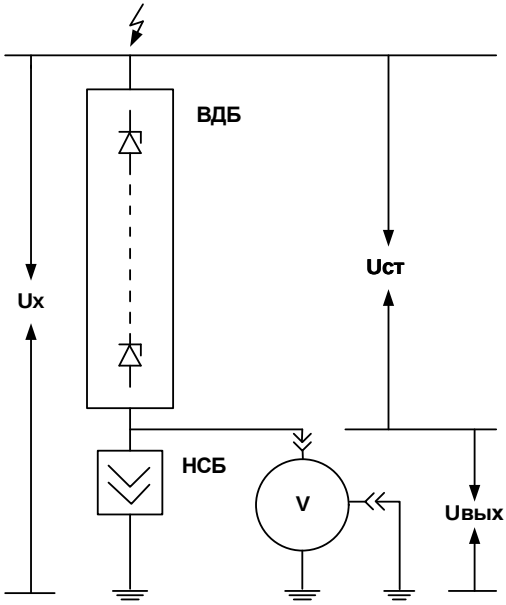

Рис. 1. Структурная схема ГЭТ 181-2010

ВДБ – высоковольтный дифференциальный блок; НСБ – низковольтный измерительно-стабилизирующий блок; V – цифровой высокоточный вольтметр; Ux – измеряемое напряжение; Uст – напряжение стабилизации выбранного предела измерения; Uвых – разностное напряжение; Эталонная установка состоит из трех основных элементов – ВДБ, НСБ, высокоточный вольтметр

Таблица 1

Измерительные и калибровочные возможности Федерального физико-технического ведомства Германии (PTB)

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Germany, PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt)

KCDB

Calibration or Measurement Service			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent Variable		Expanded Uncertainty							
Quantity	Instrument or Artifact	Method of Measurement	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a reltive one?	Uncertainty Matrix	Comments	NMI Service Identifier
High DC voltage: high voltage sources	High DC voltage supply	Direct measurement with reference system	-400	400	kV	Minimum source output current	0.1 mA to 0.5 mA	2E-06 to 1E-04		2	95%	Yes	Mx2.3.8.1	Approved on 06 August 2013	2.3.394a
High DC voltage: high voltage meters	Measuring system for high DC voltage	Comparison with reference system	-100	300	kV	Current	up to 10 mA	2E-06 to 1E-05		2	95%	Yes	Mx2.3.8.2	Approved on 06 August 2013	2.3.395
High DC voltage: ratios	High voltage resistive divider	Comparison with reference divider	3.3E-06	1		Voltage	-100 kV to 300 kV	2E-06 to 1E-05		2	95%	Yes	Mx2.3.8.2	Approved on 06 August 2013	2.3.395a
						Current	up to 10 mA								

Таблица 2

Измерительные и калибровочные возможности Национальной электротехнической лаборатории (LCOE), Испания

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Spain, CEM (Centro Español de Metrologia)

LCOE (Laboratorio Central Oficial de Electrotecnica), INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial)

Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty								
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	Uncertainty matrix	Comments	NMI	NMI Service Identifier
High DC voltage: high voltage sources	High DC voltage sources	Comparison with reference system	1	200	kV			100 (50 for 1 kV level)	mV/kV	2	95%	Yes		Approved on 06 August 2013	LCOE	59
High DC voltage: high voltage meters	Measuring system for high DC voltage	Comparison with reference system	1	200	kV			100 (50 for 1 kV level)	mV/kV	2	95%	Yes		Approved on 06 August 2013	LCOE	60
High DC voltage: ratios	DC high voltage dividers, DC high voltage probes	Comparison with reference divider	1E-06	1		Voltage	1 kV to 200 kV	100 (50 for 1 kV level)	1E-06	2	95%	Yes		Approved on 06 August 2013	LCOE	61

Таблица 3

Измерительные и калибровочные возможности Национальный метрологический институт Швеции (RISE)

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Sweden, RISE (Research Institutes of Sweden AB)

Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty							
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	Uncertainty matrix	Comments	NMI Service Identifier
High DC voltage: ratios	DC voltage divider	Comparison with reference divider	1E-06	1		Input voltage	1 kV to 200 kV	15	1E-06	2	95%	Yes		Approved on 06 August 2013	493
						Output voltage	0.1 V to 10 V								
High DC voltage: ratios	DC voltage divider	Comparison with reference divider	1E-06	1		Input voltage	200 kV to 1000 kV	20	1E-06	2	95%	Yes		Approved on 07 April 2016	494
						Output voltage	0.1 V to 10 V								

Таблица 4

Измерительные и калибровочные возможности Национальный метрологический институт Финляндии (MIKES)

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Finland, MIKES (VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Centre for Metrology / Mittatekniikan keskus)

Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty							
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	Uncertainty matrix	Comments	NMI Service Identifier
High DC voltage: high voltage sources	DC kilovolt source	Dedicated set-up for high voltage measurement	1	1000	kV			5 to 100	µV/V	2	95%	Yes	8_1_12	Approved on 06 January 2015	HV1n
High DC voltage: high voltage meters	DC kilovoltmeter, dedicated set-up for high voltage	Comparison with dedicated set-up for high voltage	1	1000	kV			5 to 100	µV/V	2	95%	Yes	8_1_12	Approved on 06 January 2015	HV3n
High DC voltage: ratios	High voltage resistive divider, DC high voltage probe	Comparison with reference divider	1E-06	1		Input voltage	1 kV to 1000 kV	5E-06 to 100E-06		2	95%	Yes	8_1_3	Approved on 06 January 2015	HV5n
						Output voltage	100 mV to 1000 V								

Таблица 5

Измерительные и калибровочные возможности Национальной лаборатории метрологии и испытаний (LNE), Франция

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, France, LNE (Laboratoire national de métrologie et d'essais)

KCDB

Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty							
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	Uncertainty matrix	Comments	NMI Service Identifier
High DC voltage: high voltage meters	DC kilovoltmeter, dedicated set-up for high voltage	Comparison to a voltmeter with a resistive divider	1	250	kV	Temperature	23 °C	7 to 40	µV/V	2	95%	Yes	Matrix 8.1.2	Approved on 06 January 2015	71
						Relative humidity	< 60 %								
High DC voltage: ratio	High voltage resistive divider, DC high voltage probe	Comparison with a resistive divider	1.0E-05	1		Voltage	1 kV to 250 kV	5E-06 to 20E-06		2	95%	Yes	Matrix 8.1.3	Approved on 06 January 2015	122
						Temperature	23 °C								
						Relative humidity	< 60%								

Таблица 6

Измерительные и калибровочные возможности Корейского института эталонов и науки (KRISS)

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Republic of Korea, KRISS (Korea Research Institute of Standards and Science)

KCDB

Calibration or Measurement Service			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent Variable		Expanded Uncertainty							
Quantity	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	Uncertainty matrix	NMI service identifier	Comments
High DC voltage: high voltage sources	DC kilovolt source	Divided voltage measurement	2	100	kV			170	µV/V	2	95%	Yes		8.1.1	Approved on 10 November 2014
High DC voltage: high voltage meters	DC kilovoltmeter	Comparison with divided voltage	2	100	kV			170	µV/V	2	95%	Yes		8.1.2	Approved on 10 November 2014
High DC voltage: ratios	High voltage resistive divider, DC high voltage probe	Ratio calibration at low voltage	1E-05	1E-04		Maximum input voltage	100 kV	150	µV/V	2	95%	Yes		8.1.3	Approved on 10 November 2014

ВДБ обеспечивает компенсацию большей части измеряемого высокого напряжения постоянного тока – от 1 до 500 кВ, в реальном масштабе. Малая часть напряжения от 1 В до 1 кВ измеряется высокоточным вольтметром.

При подаче на устройство измеряемого напряжения U_X, достаточного для того, чтобы вся цепочка стабилитронов работала в режиме лавинного пробоя, по устройству потечет ток I_{CT}. При этом на цепочке стабилитронов появится падения напряжения, называемое напряжением стабилизации:

$$U_{CT} = \sum_{i=1}^{m} U_{CT.i},$$

Поскольку для того, чтобы величина напряжения стабилизации устройства U_{CT} при изменении измеряемого напряжения U_X оставалась постоянной (стабильной), необходимо зафиксировать ток I и поддерживать его всегда постоянным, следовательно, низковольтный блок должен обеспечивать режим $I_{CT} = const$.

Если обеспечить режим, при котором измеряемое напряжение U_X несколько больше U_{CT}, то через ВБ потечет ток I_{CT}, и на стабилизаторе тока появится разностное напряжение, которое может быть измерено вольтметром.

Относительная расширенная неопределенность измерений напряжения постоянного тока с использованием этого метода составляет не более 5,00E-05 для всего диапазона напряжения от 1 до 500 кВ (обеих полярностей).

Измерительные и калибровочные возможности России в этом виде измерений были подтверждены в ходе международных сличений в рамках темы COOMET/EM-S7.

Несомненным преимуществом применения дифференциального метода в работе ГЭТ 181-2010 является также возможность непосредственной оценки – без применения масштабного коэффициента – при проведении измерений амплитуды электрического напряжения постоянного тока в диапазоне ± (1...500) кВ

Дальнейшая перспектива совершенствования ГЭТ 181-2010 с целью улучшения его метрологических характеристик заключается в проведении исследований ГПСЭ в части улучшения его метрологических характеристик в диапазоне до 100 кВ, а также исследованиях компонент высоковольтной части ГПСЭ, выполненных на новой элементной базе.

Обзор отечественной и международной нормативной базы в сфере контроля качества электрической энергии

В.В. Киселев, Т.А. Дубровская,
Всероссийский научно-исследовательский
институт метрологической службы (ФГУП «ВНИИМС»),
E-mail: kiseliev@vniims.ru, dubrovskaya_ta@mail.ru

Действующим стандартом ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) дано следующее определение понятию: **качество электрической энергии** (power quality) **КЭ**: Степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей КЭ.

В международной практике электрическая энергия рассматривается как **продукция,** представленная в материально-вещественной форме, в отношении которой устанавливаются требования к качеству, производимая генерирующими организациями, транспортируемая по электрическим сетям и поступающая в рыночное обращение.

Начало нормированию требований к контролю качества электроэнергии в России положил стандарт ГОСТ 13109 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (последовательно в редакциях 1967, 1987 и 1997 гг.). Этот стандарт более сорока лет вплоть до 01.07.2014 являлся единственным в стране нормативным документом, устанавливающим в России как номенклатуру показателей качества электрической энергии (КЭ) и нормы КЭ, так и основополагающие требования к контролю, методам и средствам измерений показателей КЭ.

Нормативная база в области качества электрической энергии действует в нашей стране уже более 50 лет.

На Рис. 1 представлено развитие нормативной базы контроля качества электрической энергии в России и за рубежом.

Предпосылкой внедрения новых стандартов явилось существенное обновление элементной базы объектов электроэнергетики, а также изменение требований к ПКЭ на международном уровне.

Большинство измерителей, регистраторов, анализаторов и прочих средств измерений ПКЭ, производимые в России, используются при проведении испытаний и анализа качества электрической энергии на объектах.

Использование устаревших и неинтересных технологий в наше время, становится убыточным и опасным в современном энергоснабжении. Поэтому-то и создаются новейшие энергетические разработки. Которые

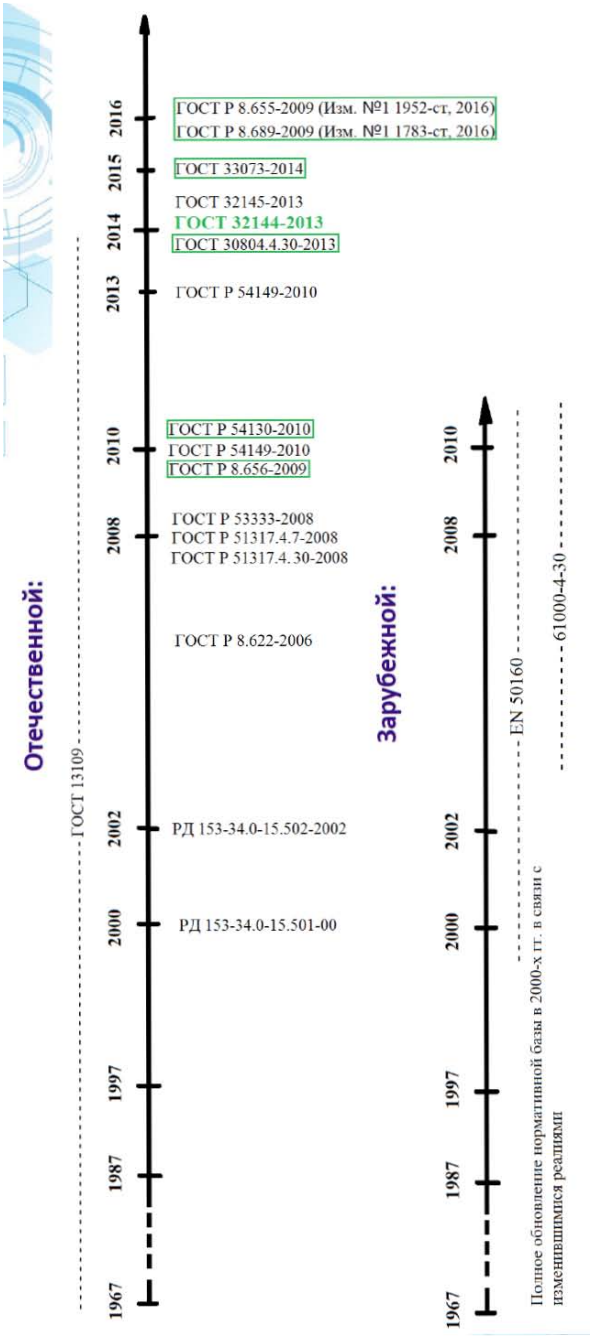

Рис. 1. Этапы развития нормативной базы контроля качества электрической энергии

оптимизируют и вводят в эксплуатацию. Новые технологии и их ввод в эксплуатацию требует внедрения нового метрологического обеспечения. Разработка соответствующей мировому опыту НБ способствует установлению обязательных требований к надёжности и безопасности функционирования объектов электроэнергетики, установлению единых правил работы в энергосистеме России, а также единых правил ее технологического функционирования, минимизации риска возникновения системных аварий и последствий при сбоях в работе энергообъектов.

Возвращаясь к истории... В начале 2000-х гг. были приняты два руководящих документа:

• РД 153-34.0-15.501-00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах энергоснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии»;

• РД 153-34.0-15.502-2002 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах энергоснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии».

Данные документы установили процедуры выполнения измерений, обработки и представления результатов и вместе с ГОСТ 13109 стали основой контроля КЭ в России и СНГ. Необходимо отметить, что зарубежная нормативная база в области контроля КЭ ранее находилась на более высоком уровне, чем отечественная.

С развитием элементной базы к 2003 г. в мире был принят стандарт международной электротехнической комиссии МЭК 61000-4-30 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-30. Техника испытаний и измерений. Методы измерений показателей качества электрической энергии», содержащий новые требования к алгоритмам и методикам измерения ПКЭ (Стандарт переиздавался с изменениями и дополнениями в 2008 и 2015 гг. и действует до настоящего времени). Он фактически стал основным международным стандартом, который упорядочил методику измерений, требуемые точности, интервалы усреднения и алгоритмы вычисления параметров, а также стал ориентиром для многих производителей анализаторов КЭ.

В последнее десятилетие отечественная стандартизация в сфере КЭ, ее параметров, средств измерений, норм, контроля и мониторинга, стремительно изменяется. Начиная с 2008 г. был разработан и введен в действие целый ряд документов, направленных на нормирование рынка электроэнергетики в этой сфере. Документы последовательно дорабатываются и совершенствуются рядом заинтересованных организаций, осуществляется пересмотр документов и введение новых.

С целью сократить отставание отечественной нормативной базы от мирового опыта в 2008 году были приняты и с января 2010 года введены

в действие два стандарта на методы измерений ПКЭ, основанные на базе МЭК 61000 частей 4-30 и 4-7:

ГОСТ Р 51317.4.30-2008 (МЭК 61000-4-30:2008) «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений ПКЭ»;

ГОСТ Р 51317.4.7-2008 (МЭК 61000-4-7:2002) «Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств».

В 2008 году на смену утратившим силу с июля 2007 года РД 153-34.0-15.501-00 и РД 153-34.0-15.502-2002 появился ГОСТ Р 53333-2008 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», устанавливающий основные положения по организации и проведению контроля КЭ, который в т.ч. включал рекомендуемые формы протоколов измерений.

Таким образом, в России появился комплект стандартов, который должен был стать базой для формирования и развития системы контроля КЭ.

Однако часть положений ранее принятого ГОСТ 13109 не согласовывалась с ГОСТ Р 51317.4.30-2008 и ГОСТ Р 51317.4.7-2008. В связи с этим возникла необходимость разработки нового стандарта КЭ и новых форм отчета, согласованных с новыми ГОСТ Р.

Практически в то же время в Европе был разработан и введен в действие стандарт EN 50160 «Характеристики напряжения электроэнергии, подаваемой от общих распределительных систем», который определяет основные показатели качества электроэнергии и их нормативные значения, и также действует по сей день в издании от 2010 г.

Следующим этапом было внедрение ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы КЭ в системах электроснабжения общего назначения».

Целью разработки стандарта было внедрение в РФ нового нормативного документа по требованиям к КЭ, отвечающего рыночным отношениям в электроэнергетике и экономике страны, учитывающего рекомендации и положения международных стандартов и новых национальных стандартов по методам и средствам измерения и оценки показателей КЭ, а также сближение структуры и положений данного стандарта, в частности, с европейским стандартом EN 50160:2010. Приказом Росстандарта ввод в действие ГОСТ Р 54149-2010 определен с 01.01.2013 с одновременным прекращением действия ГОСТ 13109-97, однако ввиду отсутствия приборного парка, позволяющего производить измерения на соответствие, срок его действия был продлен до 01.07.2014.

В связи со вступлением в 2012 году России во Всемирную торговую организацию (ВТО) все требования ГОСТ Р 54149-2010 должны были быть приведены к требованиям международных стандартов.

Контроль и обеспечение КЭ является сложной технической задачей, которую позволило решить введение в действие ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», который был разработан на основе применения ГОСТ Р 54149-2010 и соответствует европейскому стандарту EN 50160:2010 со ссылками на разработанные ранее стандарты на базе МЭК по ЭМС. Стандарт действует до настоящего времени.

Таким образом, был принят ряд новых стандартов с учетом требований зарубежных стандартов.

Но время не стоит на месте. В связи с созданием систем непрерывного контроля качества электрической энергии; актуальностью развития энергоэффективной цифровой экономики, внедрения инновационных технологий в электроэнергетике, в частности, интеллектуальных сетей и систем для автоматизации объектов электроэнергетики (цифровой подстанции – ЦПС) обновление НБ становится одним из приоритетных направлений.

Для МО современной ПС (в т.ч. ЦПС), а также метрологического контроля измерительных комплексов необходима разработка отечественных стандартов, нормирующих ПКЭ, на базе серии стандартов МЭК 61850 и 61869, а также ряда отечественных и зарубежных нормативных документов (далее – НД) в области разработки и производства приборов ПКЭ.

На Рис. 2 представлен План разработки нормативной базы, составленный специалистами ВНИИМС, и необходимый для МО современной подстанции (в т.ч. ЦПС) в области ПКЭ на 2018-2025 гг., в основе которой лежат стандарты серий МЭК 61850 и 61869.

Рис. 2. План разработки нормативной базы для метрологического обеспечения современной подстанции (в т.ч. ЦПС) в области ПКЭ

Мы с Вами в настоящее время переживаем очередной этап в развитии и модернизации НБ в сфере КЭ.

В Таблице 1 представлен текущий статус зарубежных нормативных документов на КЭ, и стадия разработки в РФ.

Особое внимание хотелось бы обратить на уже разработанные, но пока не утвержденные в РФ два межгосударственных стандарта ГОСТ на базе двух частей МЭК 62586-1(2017) «Измерение параметров качества электрической энергии в системах электроснабжения. Часть 1. Средства измерений показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ)» и МЭК 62586-2(2017) «Измерение качества электроэнергии в системах электроснабжения. Часть 2. Функциональные испытания и требования к неопределенности».

В рамках разработки ОАО «БЕЛЛИС» (Республика Беларусь) межгосударственных стандартов ГОСТ на базе МЭК 62586 частей 1 и 2 в рамках работ ТК 232 «Аппаратура для измерения электрической энергии и контроля нагрузки», специалисты ФГУП «ВНИИМС» подготовили аутентичные переводы стандартов и приняли участие в разработке и экспертизе данных стандартов.

Стандарты были направлены в ТК 445 «Метрология учета энергоресурсов» (выполнение функций по ведению дел секретариата возложено на ФГУП «ВНИИМС») на экспертизу. Проект нормативного документа направлен в Бюро МГС на принятие в декабре 2017 г. В настоящее время документ находится на рассмотрении в государственных органах по стандартизации стран СНГ. Ожидаются результаты голосования по данным стандартам.

Так же следует обратить внимание на стандарт IEC/TS 62749(2015) «Оценка качества электроэнергии. Характеристики электроэнергии, поставляемой коммунальными электросетями» и его актуальность. Данный стандарт МЭК на нормы качества электрической энергии в сетях общего назначения был введен в действие за рубежом в 2015 г. в форме технического руководства (спецификации).

Данный стандарт устанавливает требования (общие, а также по подразделам – для низковольтных и высоковольтных систем, систем среднего уровня напряжения) к точности, отклонениям частоты, диапазона поставляемого напряжения, небалансу и колебаниям напряжения, фликеру, измерениям гармоник и интергармоник, провалам и выбросам, прерываниям напряжения, быстрым изменениям напряжения, превышению напряжения и переходным процессам в сети. Стандарт также нормирует оценку качества электрической энергии в системах и на местах эксплуатации для кратковременных (вкл. единичные события) и длительных процессов. Кроме того, в стандарте содержатся рекомендации касательно поддержания и улучшения качества электрической энергии.

Таблица 1

Качество электрической энергии

ТК	Проект стандарта на Качество электрической энергии	Текущий статус нормативных документов, и стадия разработки в РФ	Текущий статус оригинала МЭК
ТС 85	Серия IEC 62586(2017) Ed.2.0 Power quality measurement in power supply systems Измерение параметров качества электрической энергии в системах электроснабжения. Part / Часть 1: Power quality instruments (PQI) - Приборы контроля качества электроэнергии; Part / Часть 2: Functional tests and uncertainty requirements - Функциональные испытания и требования к неопределенности	Действуют. Обсуждается актуальность разработки ГОСТ Р МЭК в зависимости от результатов голосования в РФ по соответствующим межгосударственным стандартам ГОСТ Республики Беларусь	Действует с 23.05.2017 07.03.2017
	Нормы качества электрической энергии. Характеристики электрической энергии в сетях общего назначения IEC/TS 62749(2015) Оценка качества электроэнергии. Характеристики электроэнергии, поставляемой коммунальными электросетями (Assessment of power quality - Characteristics of electricity supplied by public networks)	Действует. ВНИИМС планирует подготовку аутентичного перевода стандарта с последующей разработкой ГОСТ Р	Действует с 09.04.2015
	Сети электрические распределительные низковольтные до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Безопасность. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 12. Приборы для измерения и мониторинга рабочих характеристик IEC 61557-12(2007) Сети электрические распределительные низковольтные до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока. Безопасность. Оборудование для испытания, измерения или контроля средств защиты. Часть 12. Приборы для измерения и мониторинга рабочих характеристик (Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 12: Performance measuring and monitoring devices (PMD)	Действует. ВНИИМС планирует подготовку аутентичного перевода стандарта с последующей разработкой ГОСТ Р	Действует с 18.08.2007

Для метрологического обеспечения (далее - МО) испытаний цифровых средств измерений (далее – ЦСИ) и МО ЦПС, а также метрологического контроля *измерительных комплексов*, используемых в интеллектуальных сетях и системах для автоматизации объектов электроэнергетики (*ЦПС*) (далее – ИКЦПС) необходима разработка отечественных стандартов на базе серии стандартов МЭК 61850, а также ряда отечественных и зарубежных нормативных документов (далее – НД) в области разработки и производства измерительных трансформаторов (далее - ИТ).

Данная задача является одной из самых приоритетных на пути внедрения подстанций нового поколения. Предлагаю оценивая актуальность применения в РФ стандартов на базе международных и стандартов иностранных государств понять: какие наработки уже имеются (в частности – разработано специалистами ФГУП «ВНИИМС»), какие стандарты (на мой взгляд) являются наиболее важными, и разработка каких НД может быть намечена на перспективу.

В Таблице 2 представлен перечень стандартов на базе МЭК 61850 «Системы автоматизации и сети связи на подстанциях» (Communication networks and systems for power utility automation), включающих требования к интеллектуальным сетям и системам для автоматизации объектов электроэнергетики, которые планируются специалистами ФГУП «ВНИИМС» к разработке, в случае приемлемого финансирования, и, в моем понимании, являются наиболее важными и первостепенными для МО современных объектов электроэнергетики, в т.ч., и в области ПКЭ, с указанием текущего статуса и стадии разработки.

В Таблице 3 представлен перечень стандартов на протоколы синхронизации времени интеллектуальных сетей и систем; а в Таблице 4 – перечень стандартов на трансформаторы и первичные преобразователи измерительные на базе серии МЭК 61869 «Трансформаторы измерительные» (Instrument transformers).

Метрология электроэнергетических измерений (в том числе особенности эталонной базы для МО интеллектуальных сетей и систем для автоматизации объектов электроэнергетики); учет электрической энергии и оценка эффективности систем энергоснабжения (в том числе методики оценки качества электрической энергии по результатам измерений ПКЭ и задачи МО измерений в интеллектуальных сетях) являются одними из приоритетных. Вследствие этого, необходимо уделить особое внимание при разработке НБ для МО ЦПС проработке НД на ПКЭ ЦПС, включая стандарты, нормирующие цифровой интерфейс для ИТ, а также использование ИТ для измерения ПКЭ (на базе серии стандартов МЭК 61869). Выполнение указанных работ необходимо для обеспечения контроля качества электрической энергии.

Таблица 2

Интеллектуальные сети и системы для автоматизации объектов электроэнергетики

ТК	Проект стандарта на Интеллектуальные сети и системы для автоматизации объектов электроэнергетики на базе серии IEC 61850 Системы автоматизации и сети связи на подстанциях (Communication networks and systems for power utility automation)	Текущий статус нормативных документов, и стадия разработки в РФ	Текущий статус оригинала МЭК
ТС57	Часть 1: Введение и обзор IEC/TR 61850-1(2013) Часть 1. Введение и обзор (Part 1: Introduction and overview)	ВНИИМС планирует подготовку аутентичного перевода проекта стандарта с последующей разработкой ГОСТ Р	Действует с 07.05.2012
	Часть 2: Термины и определения IEC/TS 61850-2(2003) Часть 2. Словарь терминов (Part 2: Glossary)		Действует с 15.08.2003
	Часть 3: Общие требования IEC 61850-3(2013) Часть 3. Общие требования (Part 3: General requirements)	ВНИИМС подготовлен проект аутентичного перевода стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 12.12.2013
	Часть 4: Построение системы и управление проектом IEC 61850-4(2011) Часть 4. Построение системы и управление проектом (Part 4: System and project management)	ВНИИМС подготовлен и зарегистрирован аутентичный перевод стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 11.04.2011
	Часть 5: Требования к функциям и устройствам в части информационного обмена IEC 61850-5(2013) Часть 5. Коммуникационные требования к функционалам и приборному моделированию (Part 5: Communication requirements for functions and device models)	ВНИИМС подготовлен проект аутентичного перевода стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 30.01.2013
	Часть 6: Информационный обмен между интеллектуальными электронными приборами (устройствами) электрических подстанций IEC 61850-6(2009) Часть 6. Язык описания конфигурации для связи в электрических подстанциях, относящихся к интеллектуальным электронным устройствам (Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs)		Действует с 17.12.2009
	Часть 7-1: Базовая структура связи для подстанции и линейного оборудования. Принципы построения и устройства IEC 61850-7-1(2011) Часть 7-1. Базовая структура связи для подстанции и линейного оборудования. Принципы построения и моделирования (Part 7-1: Basic communication structure - Principles and models)		Действует с 15.07.2011

Таблица 2, окончание

ТК	Проект стандарта на Интеллектуальные сети и системы для автоматизации объектов электроэнергетики на базе серии IEC 61850 Системы автоматизации и сети связи на подстанциях (Communication networks and systems for power utility automation)	Текущий статус нормативных документов, и стадия разработки в РФ	Текущий статус оригинала МЭК
ТС57	Часть 8-1: Назначение на определенный коммуникационный сервис – Назначения на MMS (ИСО 9506-1 и ИСО 9506-2) и ИСО/МЭК 8802-3 IEC/TS 61850-8-1(2011) Часть 8-1. Схема распределения особой услуги связи (SCSM). Схема распределения для производственной системы модульной конструкции MMS (ISO 9506-1 и ISO 9506-2) и по ISO/IEC 8802-3 (Part 8-1. Specific communication service mapping (SCSM) - Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3)	ВНИИМС подготовлен проект аутентичного перевода стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 17.06.2011
	Часть 9-2: Схема особого коммуникационного сервиса (SCSM). Значения выборок по ISO/IEC 8802-3 IEC 61850-9-2(2011) Часть 9-2. Схема особого коммуникационного сервиса (SCSM). Значения выборок по ISO/IEC 8802-3 (Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3)	ВНИИМС подготовлен и зарегистрирован аутентичный перевод стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 22.09.2011
	Часть 10: Испытание на совместимость IEC 61850-10(2012) Часть 10. Испытания на соответствие (Part 10: Conformance testing)	ВНИИМС подготовлен проект аутентичного перевода стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 14.12.2012
	Часть 90-17. Использование IEC 61850 для передачи данных о качестве электроэнергии IEC 61850-90-17(2017) Системы автоматизации и сети связи на подстанциях. Часть 90-17. Использование IEC 61850 для передачи данных о качестве электроэнергии (Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-17: Using IEC 61850 to transmit power quality data)	ВНИИМС планирует подготовку аутентичного перевода стандарта с последующей разработкой ГОСТ Р	Действует с 22.05.2017

Таблица 3

Синхронизация времени

ТК	Проект стандарта серии Интеллектуальные сети и системы для автоматизации объектов электроэнергетики Синхронизация временИ	Текущий статус нормативных документов, и стадия разработки в РФ	Текущий статус оригинала
ТС 57	Протокол точной тактовой синхронизации для сетевых систем измерения и управления IEEE_std_1588-2008 Стандарт на протокол точной синхронизации времени для систем измерений и управления (IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems)	ВНИИМС подготовлен проект аутентичного перевода НД, планируется разработка ГОСТ Р	27.03.2008
	Простой протокол (тактовой) синхронизации времени RFC4330 Простой протокол синхронизации времени (Simple Network Time Protocol (SNTP)		01.2006
	Протокол сетевого времени. Спецификация протокола и алгоритмов RFC5905 Протокол сетевого времени. Спецификация протокола и алгоритмов (Network Time Protocol. Protocol and Algorithms Specification)		06.2010

Таблица 4

Трансформаторы и первичные преобразователи измерительные

ТК	Проект стандарта серии Трансформаторы и первичные преобразователи измерительные на базе серии IEC 61869 Трансформаторы измерительные (Instrument transformers)	Текущий статус нормативных документов, и стадия разработки в РФ	Текущий статус оригинала МЭК
ТС 38	Часть 4. Дополнительные требования к комбинированным трансформаторам IEC 61869-4(2013) Часть 4. Дополнительные требования к комбинированным трансформаторам (Part 4: Additional requirements for combined transformers)	ВНИИМС подготовлен и зарегистрирован аутентичный перевод стандарта. Разработка окончательной редакции ГОСТ Р	Действует с 19.11.2013
	Часть 5. Дополнительные требования к емкостным трансформаторам напряжения IEC 61869-5(2011) Часть 5. Дополнительные требования к емкостным трансформаторам напряжения (Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers)		Действует с 13.07.2011
	Часть 6. Дополнительные общие требования к электронным измерительным трансформаторам и отдельно-стоящим датчикам тока низкой мощности IEC 61869-6(2016) Часть 6. Дополнительные общие требования к маломощным измерительным трансформаторам (Part 6: Additional general requirements for low-power instrument transformers)	ВНИИМС подготовлен проект аутентичного перевода проекта стандарта, планируется разработка ГОСТ Р	Действует с 27.04.2016
	Часть 9. Цифровой интерфейс для измерительных трансформаторов IEC 61869-9 (2016) Часть 9. Цифровой интерфейс для измерительных трансформаторов (Part 9: : Digital interface for instrument transformers)		
	Часть 10. Дополнительные требования к автономным пассивным преобразователям (датчикам) тока низкой мощности IEC 61869-10(2017) Часть 10. Дополнительные требования к маломощным пассивным преобразователям (датчикам) тока (Part 10: Additional requirements for low-power passive current transformers)		Действует с 13.12.2017
	Часть 11. Дополнительные требования к автономным пассивным преобразователям (датчикам) напряжения низкой мощности IEC 61869-11(2017) Трансформаторы измерительные. Часть 11. Дополнительные требования к маломощным пассивным преобразователям (датчикам) напряжения (Instrument transformers - Part 11: Additional requirements for low power passive voltage transformers)		

Таблица 4, окончание

ТК	Проект стандарта серии Трансформаторы и первичные преобразователи измерительные на базе серии IEC 61869 Трансформаторы измерительные (Instrument transformers)	Текущий статус нормативных документов, и стадия разработки в РФ	Текущий статус оригинала МЭК
ТС 38	Часть 13. Требования к отдельно-стоящему устройству сопряжения с шиной (УСШ) IEC 61869-13(draft) Часть 13. Требования к отдельно-стоящему устройству сопряжения с шиной (УСШ) (Part 13: Stand alone merging unit)	ВНИИМС планирует подготовку аутентичного перевода проекта стандарта с последующей разработкой ГОСТ Р	Рассылка второй редакции проекта стандарта МЭК. 2019 (май)
	Часть 100. Руководство по применению трансформаторов тока для релейной защиты и автоматики IEC/TR 61869-100(2017) Часть 100. Руководство по применению трансформаторов тока для релейной защиты и противоаварийной автоматики (Part 100: Guidance for application of current transformers in power system protection)	ВНИИМС планирует подготовку аутентичного перевода стандарта с последующей разработкой ГОСТ Р	Действует с 20.01.2017
	Часть 102. Феррорезонансные колебания на подстанциях с индуктивными трансформаторами напряжения IEC/TR 61869-102(2014) Часть 102. Феррорезонансные колебания на подстанциях с индуктивными трансформаторами напряжения (Part 102: Ferroresonance oscillations in substations with inductive voltage transformers)		Действует с 21.01.2014
	Часть 103. Использование измерительных трансформаторов для измерения показателей качества электрической энергии IEC/TR 61869-103(2017) Часть 103. Использование измерительных трансформаторов для измерения показателей качества электрической энергии (Part 103: The use of instrument transformers for power quality measurement)	ВНИИМС подготовлен и зарегистрирован аутентичный перевод стандарта. Разработка первой редакции ГОСТ Р	Действует с 07.05.2012

На Рис. 3 схематически представлен расширенный перечень НТБ на построение и МО интеллектуальных сетей и систем для автоматизации объектов электроэнергетики. Цифры над «стрелочками» означают количество проектов НД (аутентичных переводов, МИ, стандартов), разработанных специалистами ФГУП «ВНИИМС» в указанной области и на базе упомянутых в блоке стандартов.

Выводы и предлагаемые решения:

• Отсутствие завершенной, четко определенной и логично структурированной нормативной базы в сфере контроля качества электрической энергии инновационных технологий в электроэнергетике ввиду актуальности развития цифровой экономики, создает барьеры в процессе их внедрения;

• Должны быть актуализированы действующие стандарты, гармонизированы с МЭК и национальными стандартами зарубежных стран, сформированы новые нормы проектирования и эксплуатации с учетом появления новых устройств, новых моделей поведения потребителей и производителей электроэнергии, новых подходов к управлению энергетическими объектами и оборудованием и т.д., в т.ч. и в сфере контроля качества электрической энергии; регламентированы взаимосвязи между действующими и разрабатываемыми НД;

• Следует организовать голосование заинтересованных организаций по разработанным ОАО «БЕЛЛИС» (Республика Беларусь) стандартам ГОСТ на базе МЭК 62586-1(2017) и МЭК 62586-2(2017), и донести результаты до Росстандарта;

• Актуальна разработка стандарта «Нормы качества электрической энергии. Характеристики электрической энергии в сетях общего назначения» на базе IEC/TS 62749(2015). Специалисты ФГУП «ВНИИМС» в рамках работы ПК 1 ТК 445 готовы подготовить аутентичный перевод данного стандарта МЭК и зарегистрировать его в ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». Необходимо определиться, какому ТК следует поручить разработку стандарта;

• Необходимо внедрение национального стандарта ГОСТ Р на базе международного стандарта IEC/TR 61869-103:2012 «Трансформаторы измерительные. Часть 103. «Использование измерительных трансформаторов для измерения показателей качества электрической энергии» (IEC 61869-103:2012 «Instrument transformers. Part 103. The use of instrument transformers for power quality measurement»). Специалисты ФГУП «ВНИИМС» в рамках работы ПК 1 ТК 445 готовы разработать проект стандарта.

Рис. 3. Расширенный перечень НТБ на построение и МО интеллектуальных сетей и систем для автоматизации объектов электроэнергетики

Актуальные вопросы правового регулирования и оценки соответствия качества электрической энергии и ЭМС технических средств

В.В. Никифоров,
ООО «ЛИНВИТ»

В последние годы во всех странах отмечается повышенное внимание к вопросам регулирования качества электрической энергии, поставляемой потребителям. Это обстоятельство обусловлено расширяющимся применением в установках потребителей электрических и электронных устройств, восприимчивых к качеству электрической энергии и/или ухудшающих качество электрической энергии (в том числе, из-за быстрых переключений нагрузки). Повышение требований к качеству электрической энергии обусловлено научно-техническим прогрессом и нет оснований полагать, что в обозримой перспективе такая тенденция может измениться.

О внимании к вопросам качества электрической энергии свидетельствуют принятие регулирующих правовых актов (законов, регламентов, административных правил и т. д.), издание на национальном, региональном и международном уровнях различных нормативно-технических документов, руководств и рекомендаций в этой области, разработка и создание систем непрерывного мониторинга качества электрической энергии.

Общепринятым определением понятия «качество электрической энергии» («powerquality») является: «Степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей качества электрической энергии». Это определение, приведенное в IEC 61000-4-30:2008 [1], соответствует определению понятия «качество» по ИСО 9000:2015 [2].

Правовой основой обеспечения качества электрической энергии, поставляемой субъектами электроэнергетики потребителям, является Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» [3] и Федеральный закон 184-ФЗ «О техническом регулировании» [4].

Правовое регулирование при ограничении искажений, создаваемых электрооборудованием и электрическими установками потребителей и влияющих на качество электрической энергии в системах электроснабжения, осуществляется на основании ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» [5].

Для регулирования качества электрической энергии в точках ее поставки потребителям должны быть выбраны показатели качества и установлены предельно допускаемые значения показателей (нормы качества). Одновременно должны быть установлены нормы низкочастотных кондуктивных помех, создаваемых электроустановками, подключенными к сети.

Система нормативных правовых документов и стандартов, применяемая при регулировании качества электрической энергии и электромагнитной совместимости технических средств (в отношении кондуктивных низкочастотных помех, создаваемых электрооборудованием и электроустановками), приведена на схеме (Рис.1)

Проблема согласованного регулирования, следовательно, состоит в том, чтобы установить в правовых документах и стандартах систему соответствующих требований и норм и обеспечить согласованное ограничение кондуктивных электромагнитных помех:

• создаваемых отдельными образцами электрооборудования, поступающими в обращение – изготовителями электрооборудования;

• создаваемых при суммарном влиянии образцов электрооборудования внутри электрических установок, поступающих в обращение (вводимых в эксплуатацию) – проектными и монтажными организациями;

• создаваемых внутри электрических установок при применении пользователями новых образцов электрооборудования, приобретаемых на рынке – пользователями электрических установок;

• вносимых в электрические установки из подключенных электрических сетей – организациями, обеспечивающими поставки электрической энергии.

Требования к качеству электрической энергии, а также требования ЭМС к электроустановкам потребителей (в отношении создаваемых уровней низкочастотных кондуктивных помех) действуют международные (IEC) и европейские (CENELEC) стандарты.

В России используются принципы гармонизации требований, т. е. разработка национальных стандартов на основе международных. Под эгидой Росстандарта действует технический комитет ТК 030 «Электромагнитная совместимость технических средств». Вопросами стандартизации качества электрической энергии занимается профильный подкомитет ТК 030 ПК 06 «Качество электрической энергии».

Основными стандартами, устанавливающими требования к качеству электрической энергии и методы испытаний и измерений, являются межгосударственные стандарты, подготовленные ТК 030 и введенные в действие приказами Росстандарта на территории Российской Федерации (Таблица 1).

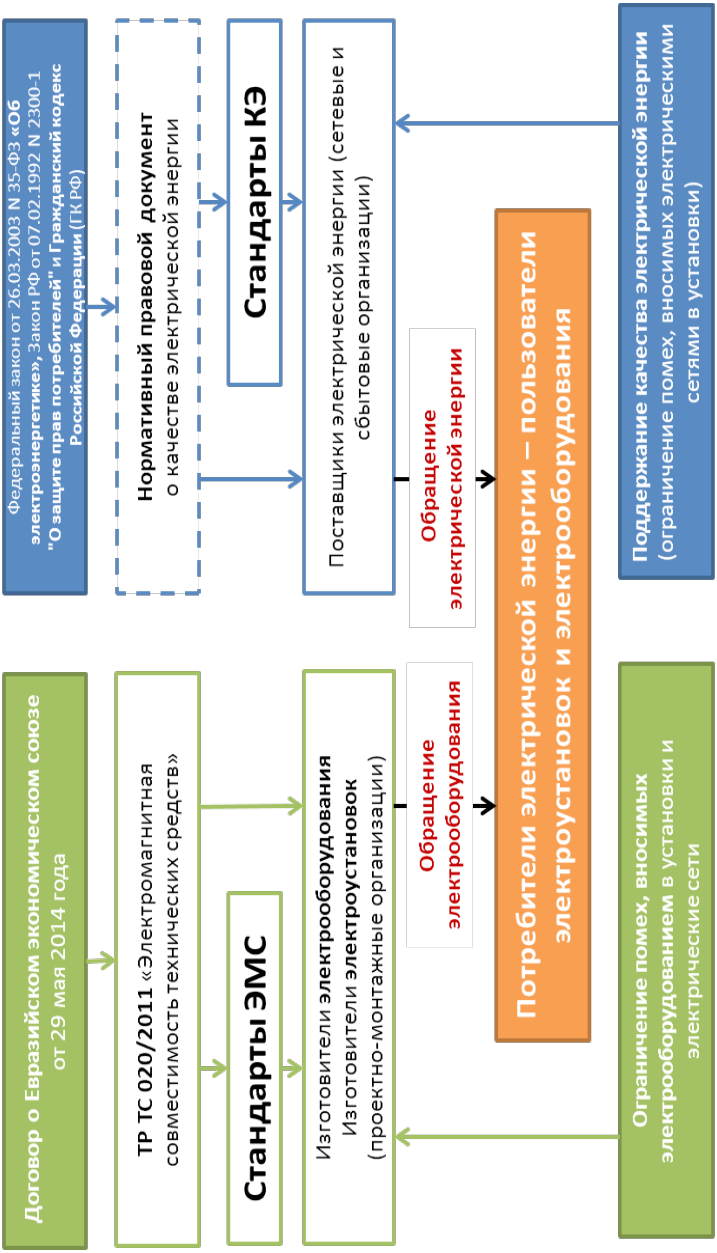

Рис. 1. Применяемая система правовых документов и стандартов

Таблица 1

Перечень введенных в действие межгосударственных стандартов

Обозначение стандарта	Наименование
ГОСТ 32144–2013	Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
ГОСТ 33073–2014	Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии
ГОСТ 30804.4.30–2013 (IEC 61000-4-30:2008)	Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерения показателей качества электрической энергии
ГОСТ 30804.4.7–2013 (IEC 61000-4-7:2009)	Совместимость технических средств электромагнитная Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств
ГОСТ 30804.4.15–2012	Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Технические требования и методы испытаний

В ГОСТ 32144–2013 [6] установлены для добровольного использования на основе международных стандартов показатели и нормы качества электрической энергии, методы измерений, приведенные путем ссылок на стандарты, а также правила оценки соответствия в точках поставки электрической энергии. ГОСТ 32144–2013 соответствует европейскому стандарту в области качества электрической энергии EN 50160:2010 [7], применяемому в странах ЕС.

Целью введения в действие ГОСТ 32144–2013 явилось предоставление возможности поставщикам и покупателям электрической энергии вносить в добровольном порядке в договоры купли-продажи и договоры об оказании услуг по передаче электрической энергии требования к качеству электрической энергии, а также предоставления возможности применять ссылки на ГОСТ 32144–2013 в нормативных правовых актах в рамках реализации положений Федерального закона от 29.06.2015 «О стандартизации в Российской Федерации» [8].

Со стороны потребителя вопросы влияния на параметры качества электрической энергии регулируются ТР ТС 020/2011, положения которого реализуются путем применения межгосударственных стандартов, включенных в утвержденные перечни, устанавливающих требования и методы испытаний технических средств, утвержденные Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 03.02.2015 № 8 (Таблица 2).

Таблица 2

Перечень межгосударственных стандартов по ограничению эмиссии, вызываемой ТС

Номер стандарта	Наименование
ГОСТ 30804.3.2–2013 (IEC 61000-3-2:2009)	Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний»
ГОСТ 30804.3.3–2013 (IEC 61000-3-3:2008)	Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения
ГОСТ Р 51317.3.4–2006 (МЭК 61000-3-4:1998)	Ограничение эмиссии гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током более 16 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний
ГОСТ IEC/TS 61000-3-5-2013	Ограничение колебаний напряжения и фликера, вызываемых техническими средствами с номинальным током более 75 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний
ГОСТ 30804.3.11-2013 (IEC 61000-3-11:2000)	Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 75 А (в одной фазе)
ГОСТ 30804.3.12-2013 (IEC 61000-3-12:2004)	Нормы гармонических составляющих тока, создаваемых техническими средствами с потребляемым током более 16 А, но не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным распределительным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний

В соответствии с Программой работ по межгосударственной стандартизации на 2016–2018 гг. и Программой национальной стандартизации на 2018 год, утвержденной приказом Росстандарта от 23.10.2017 № 2199, ведется разработка межгосударственных стандартов, устанавливающих методы оценки допустимых уровней кондуктивных низкочастотных помех от электроустановок и требования к приборам для измерения качества электрической энергии (Таблица 3).

Таблица 3

Проекты стандартов по ограничению электромагнитных помех от технических средстви требованиям к средствам измерения

Проект стандарта	Наименование
Проект ГОСТ (IEC/TR 61000-3-6:2008)	Оценка допустимых уровней электромагнитной эмиссии при подключении искажающих установок, к системам электроснабжения низкого, высокого и крайне высокого напряжения
Проект ГОСТ (IEC/TR 61000-3-7:2008)	Оценка допустимых уровней электромагнитной эмиссии при подключении установок, вызывающих колебания напряжения, к системам электроснабжения низкого, высокого и крайне высокого напряжения
Проект ГОСТ (IEC/TR 61000-3-14:2011)	Оценка допустимых уровней электромагнитной эмиссии в части гармоник, интергармоник, колебаний напряжения и асимметрии при подключении возмущающих установок к системам электроснабжения низкого напряжения
Проект ГОСТ (IEC 62586-1:2013)	Приборы для измерения качества электрической энергии. Общие положения
Проект ГОСТ (IEC 62586-2:2013)	Приборы для измерения качества электрической энергии. Функциональные требования и испытания

Развитие нормативно – технического, метрологического обеспечения в области качества электрической энергии способствует решению задач по обеспечению и управлению качества электрической энергии, передаваемой потребителям, но не является достаточным.

Главная проблема обусловлена несовершенством правового регулирования в РФ в этой области. Прежде всего, на законодательном уровне не установлены требования к качеству электрической энергии. При этом

три Федеральных закона содержат положения о необходимости обеспечения требуемого качества электрической энергии и ответственности за него:

• Гражданский Кодекс Российской Федерации (ГК РФ) от 30.11.1994 № 51-ФЗ, статья 542;

• Закон Российской Федерации от 7.02.1992 № 2300-1 «О защите прав потребителей», статья 7;

• Федеральный закон Российской Федерации от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» , статья 11, п.2, статья 38, 1.

Кроме указанных Федеральных законов, в ряде других нормативных правовых актах также отмечается необходимость обеспечения качества электрической энергии и ответственности за него, в том числе:

• Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 «Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг», п.15;

• Постановление Правительства РФ от 4.05.2012 № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии», п.7 раздела 1.

Таким образом, в каждом из приведенных выше законодательно-правовых актов содержатся положения об обязанности субъектов электроэнергетики обеспечивать выполнение обязательных требований к качеству электрической энергии в сферах своей ответственности. Но на практике они не реализуются,поскольку сами обязательные требования к качеству электрической энергии на правовом уровне не установлены.

Отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к электрической энергии как продукции, и оценке соответствия регулируются Федеральным законом от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании». При этом обязательные для применения и исполнения требования к электрической энергии как объекту технического регулирования должны быть установлены техническим регламентом о качестве электрической энергии. Однако такой технический регламент в РФ отсутствует.

Единственным правовым документом в области качества электрической энергии является Постановление Правительства РФ от 1.12.2009 № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии», в котором в части обязательной сертификации включена электрическая энергия в системах электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц [9]. В целях его реализации Росстандарт опубликовал «Информацию о

продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, с указанием нормативных документов, устанавливающих обязательные требования»[10]. В документе указаны обязательные требования только к двум из девяти показателей качества электрической энергии: отклонению частоты переменного тока и отклонениям напряжения электропитания согласно пунктам 4.2.1 и 4.2.2 ГОСТ 32144.

Требования к качеству электрической энергии в точках поставки, эквивалентные указанным выше, установлены также в постановлении Правительства РФ от 06.05.2011 N 354 [11]. За исключением постановлений Правительства РФ [9] и [11], другие нормативные правовые акты, в которых установлены нормы качества электрической энергии, поставляемой потребителям, отсутствуют.

Контроль и надзор за их соблюдением осуществляет Росстандарт согласно постановлению Правительства РФ от 17.06. 2004 № 294 «О Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии». Он проводится межрегиональными территориальными управлениями (МТУ) Росстандарта в виде плановых и внеплановых проверок в пределах предоставленных полномочий.

Правовые нормы, относящиеся к изготовителям технических средств, способных ухудшить качество электрической энергии, введены Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 020/2011 [5] средств. Под «техническим средством» понимается компонент, аппарат и установка, т.е. правовые документы в области электромагнитной совместимости распространяются на электрооборудование и электрические установки.

Он устанавливает требования по электромагнитной совместимости технических средств в целях обеспечения на единой таможенной территории Таможенного союза защиты жизни и здоровья человека, имущества, а также предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей (пользователей) технических средств.В нем установлены требования к техническим средствам по уровню устойчивости к электромагнитным помехам (помехоустойчивости), обеспечивающему его функционирование в электромагнитной обстановке, для применения в которой оно предназначено, а также по ограничению помехоэмиссии по условиям обеспечения электромагнитной совместимости, виды электромагнитных помех, в том числе, кондуктивных, типы технических средств, на которые распространяются требования по электромагнитной совместимости, а также правила обращения на рынке, включающие обязательное подтверждение соответствия технических средств установленным требованиям поэлектромагнитной совместимости.

В России введены в действие межгосударственные стандарты по ограничению кондуктивных помех, создаваемых техническими средствами с потребляемым током до 75 А на фазу: эмиссии гармоник токов, из-

менений напряжения, колебаний напряжения и фликера, вызываемых оборудованием, подключаемым к электрическим сетям в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Выполнение этих обязательных требований по эмиссии помех и помехоустойчивости должно обеспечиваться на этапе производства соответствующего оборудования.

Отметим, что требования гармонизированных международных стандартов по эмиссии гармоник тока не распространяются на технические средства напряжением свыше 1000 В из-за больших различий значений импеданса для сетей среднего и высокого напряжения в разных странах.

Технические средства с эмиссией электромагнитных помех, превышающих установленные в стандартах нормы, не должны допускаться на рынок и соответственно приобретаться. Таким образом, в РФ приняты меры технического регулирования в отношении изготовителей технических средств, способных ухудшить качество электрической энергии. Они аналогичны мерам, введенным европейской Директивой 2004/108/ЕС от 16.12. 2004 года, декларирующей, что электрические распределительные сети должны быть защищены от электромагнитных помех, которые могут также воздействовать на подключаемое оборудование.

В соответствии с положениями Федерального закона от 27.12.2003 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» электрическая энергия, поставляемая потребителям всех категорий (физическим и юридическим лицам), является объектом установления, применения и исполнения обязательных требований и объектом обязательного подтверждения соответствия. Качество электрической энергии определяет меру опасности этой продукции для жизни и здоровья граждан, имущества и природной среды.

Соответственно необходима разработка и принятие правовым актом технического регламента о качестве электрической энергии. В техническом регламенте должны быть установлены обязательные требования к качеству электрической энергии и формы обязательного подтверждения соответствия этим требованиям.

Положения о качестве электрической энергии, установленные в Федеральном законе «Об электроэнергетике» и в связанных с ним постановлениях Правительства Российской Федерации, могут практически применяться только после разработки технического регламента о качестве электрической энергии, предусмотренного указанным законом в пункте 2 статьи 28 «Государственное регулирование безопасности в сфере электроэнергетики».

В настоящее время в связи с формированием Единого экономического пространства Евразийского экономического союза (ЕврАзЭС) и предусмотренном обеспечении общего доступа в сфере электроэнергетики разработка единого технического регламента о качестве электриче-

ской энергии является актуальнейшей задачей. Однако до сих пор электрическая энергия даже не включена евразийской комиссией в единый перечень продукции, подлежащей обязательной регламентации.

В части правового регулирования в области качества электрической энергии Россия существенно отстает от других стран. Так, в странах Евросоюза правовое регулирование качества электрической энергии с применением различного уровня нормативных правовых документов (законов, директив, сетевых кодексов, регламентов, постановлений контролирующих органов в области электроэнергетики) включает такие важные положения, как установление обязательных требований к качеству напряжения (качеству электрической энергии) при передаче электрической энергии потребителям, установление ответственности сбытовых и сетевых организаций и потребителей электрической энергии за выполнение указанных требований, организация и проведение мониторинга качества электрической энергии, в том числе, непрерывного, и информирование потребителей о качестве электрической энергии, установление требований к потребителям по ограничению эмиссии искажающих токов в электрические сети и др.

Обязательные требования, применяемые в странах Евросоюза к качеству напряжения (качеству электрической энергии), соответствуют требованиям стандарта EN 50160:2010 и устанавливаются путем ссылки на его нормы в нормативных правовых до-кументах или непосредственного введения в них норм данного стандарта. В отдельных стра-нах допускаются нормы, отличающиеся для некоторых показателей от установленных в EN 50160:2010. В Великобритании Законодательный акт 2012 № 381 «Регламент о безопасности, качестве и непрерывности электрической энергии» [12] устанавливает допустимые значения изменений частоты и напряжения при передаче сетевыми организациями электрической энергии в установки потребителя или в иные электрические сети. ВНорвегии действует Директива о качестве электрической энергии [13].

Кроме того, на основании законодательства стран Евросоюза в большинстве распределительных систем низкого и среднего напряжений проводится мониторинг качества электрической энергии, в том числе с использованием большого количества измерительных приборов.

Системы мониторинга создаются и действуют на уровне сетевых организаций и на национальном уровне (Таблица 4). В нескольких странах введены в действие системы непрерывного мониторинга. Одной из основных целей развертывания систем непрерывного мониторинга является создание постоянно функционирующей компьютерной модели национальной энергетической системы, позволяющей управлять режимами и эффективно обеспечивать качество электрической энергии.

Таблица 4

Страна	Начало программы мониторинга	Число измерительных приборов (2016 г.)
Чешская республика	2006 г.	Стационарные 15379
		Подвижные 400
Франция	1998 г. (СВН и ВН), 2010 г.(НН)	Стационарные (СВН) 670
		Портативные (СВН) 14
		Стационарные (ВН/СН) 4000
		Стационарные (НН) 270 000
Греция	2008 г.	Стационарные 400
Италия	2006 г. (СВН, ВН, СН)	Стационарные (СВН/ВН) 180
		Стационарные (СН) 4000
		Стационарные (НН) 35 000 000 («умные» счетчики конечных пользователей)

Помимо проблемы правового регулирования в части установления обязательных требований к качеству электрической энергии в РФ не решены задачи, относящиеся к обеспечению качества электрической энергии при технологическом присоединении энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрической сети.

Режимы работы электроустановок с нелинейными характеристиками могут существенно влиять на качество электрической энергии, передаваемой по сетям. В настоящее время существенно выросли объемы техники, в том числе бытовой, с нелинейными характеристиками, являющейся источниками гармоник токов. Распространяясь по внутренним сетям, приводя ко многим вредным последствиям, а также проникая во внешние распределительные сети, они ухудшают показатели качества электрической энергии в точках поставки/передачи.

Указанные выше стандарты (Таблица 2) устанавливают предельные уровни эмиссии гармоник токов для отдельной единицы оборудования соответствующего вида.

Это важно, но, в общем случае, может оказаться недостаточным для принятия решения о возможности технологического присоединения электроустановки потребителя с несколькими или многими техническими средствами, создающими подобные помехи. При этом форма напряжения в конкретной сети может сильно отличаться от формы тестового напряжения, которое применяется при проверке допустимого уровня

эмиссии. Следовательно, в данном случае допустимый общий уровень эмиссии гармоник нужно еще определить.

В международных стандартах/технических отчетах (Таблица 3) содержатся рекомендации по оценке допустимой эмиссии кондуктивных помех от потребителя во внешнюю сеть, в том числе, гармоник токов для оценки максимально допустимого уровня и определения условий подключения потребителя к сети.Межгосударственные стандарты Таможенного союза на основе указанных международных стандартов находятся в стадии разработки.Для этого необходима информация от потребителя о составе и характеристиках соответствующего электрооборудования и эмиссии гармоник тока в конкретных случаях, что должно быть предусмотрено на правовом уровне взаимоотношениями сетевой организации и потребителя, чего пока нет.

Следует принимать во внимание также, что значения показателей, характеризующих несинусоидальность, несимметрию и колебания напряжения, зависят не только от уровней искажений, создаваемых электроустановками потребителя, но и от импеданса электрической сети, к которой присоединена электроустановка.

Таким образом, в РФ на текущий момент отсутствует нормативно-правовая база для установления требований к потребителям, влияющим на качество электрической энергии, и позволяющая сетевым организациям корректно определять условия подключения их к электрической сети и соответственно решать проблемы качества электрической энергии. Отсюда и ограничение обязательных требований к качеству электрической энергии, установленныхтолько по двум показателям.

Для обеспечения реализации требований к продукции, устанавливаемых в нормативных правовых актов и стандартах, применяются способы оценки соответствия.

Наиболее эффективным способом оценки соответствия качества электрической энергии является непрерывный контроль качества в точках поставки (при наличии действующей системы мониторинга с развитой измерительной и информационной структурой) с одновременной оценкой соответствия кондуктивных низкочастотных помех, создаваемых электрооборудованием и электроустановками потребителей, установленным требованиям ЭМС.

Для введения в действие системы непрерывного контроля качества электрической энергии в точках поставки, необходимо иметь продуманную государственную программу по созданию таких систем и управлению ими. Поэтому в настоящее время представляется целесообразным совершенствовать существующий порядок оценки соответствия качества электрической энергии за счет использования тех данных, которые могут

быть получены от имеющихся в сетевых организациях средств непрерывного контроля качества электрической энергии.

Выводы

В развитии нормативно-технической, методической и метрологической базы для решения задач контроля и управления качеством электрической энергии в РФ достигнуты определенные результаты: разработаны и введены в действие новые стандарты по требованиям к качеству электрической энергии, современным методам измерения показателей, контролю и мониторингу качества электрической энергии. На их основе разработаны новые средства измерений показателей с освоением промышленного выпуска.

Однако система мер государственного регулирования в отношении субъектов электроэнергетики в РФ, влияющих на качество электрической энергии, не имеет в настоящее время законченного характера.

В рамках государственного регулирования в электроэнергетике необходимо разграничение прав, обязанностей и ответственности субъектов электроэнергетики и потребителей за поддержание необходимого качества электрической энергии.

Необходима разработка Технического регламента о качестве электрической энергии, с установлением на правовом уровне обязательных для исполнения требований к качеству электрической энергии, с разработкой правил присоединения нелинейных потребителей с необходимыми методическими указаниями, а также с определением форм и схем оценки соответствия электрической энергии установленным требованиям.

Литература

1. IEC 61000-4-30:2008 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-30. Техника испытаний и измерений. Методы измерений качества электрической энергии

2. ИСО 9000:2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь

3. Федеральный закон от 26 марта 2006 N 35-ФЗ «Об электроэнергетике»

4. Федеральный закон от 27 декабря 2002 N 184-ФЗ «О техническом регулировании»

5.Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств»

6. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромаг-нитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

7. EN 50160-2010 Характеристики напряжения электричества, поставляемого общественными распределительными сетями

8. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации»

9. Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 N 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии»

10. Информация о продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия (в форме обязательной сертификации) (опубликована Росстандартом на сайте wwwgost/ru)

11. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 N 354 «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов»

12. Регламент о безопасности, качестве и непрерывности электрической энергии (законодательный акт № 2665, 2002 г.), Великобритания

13. Директива о качестве электрической энергии (PQD 2005), Норвегия

Метрологическое обеспечение измерений характеристик суперконденсаторов

П.Л. Кузнецов, ОАО «Элеконд»
Ю.И. Дидик, ФГУП «УНИИМ»

Суперконденсаторы («ультраконденсаторы», «ионисторы» и пр.), далее СК – конденсаторы с двойным электрическим слоем[1]), отличающиеся от обычных электролити-ческих конденсаторов повышенными значениями электрической ёмкости – от единиц до сотен фарад и более. Их используют в цепях постоянного тока (типичное напряжение от 2,3 до 2,7 В) как в качестве источника энергии при перебоях питания, так и с целью отдачи большой мощности на коротком интервале времени.

Измеряемыми параметрами СК являются электрическая ёмкость и внутреннее сопротивление (эквивалентное последовательное сопротивление, ЭПС, ESR).

ОАО "Элеконд" является ведущим разработчиком и производителем электролитиче-ских конденсаторов на территории РФ и стран СНГ. В данный момент предприятие осваивает производство суперконденсаторов ёмкостью порядка от 100 до 3000 Ф, и организует систему контроля характеристик новой продукции.

Действующая поверочная схема для электрической ёмкости [1] охватывает диапазон до 0,01 Ф (меры и измерители ёмкости) и, в лучшем случае, до 1 Ф (мосты переменного тока). В этой связи для реализации контроля основных характеристик в соответствии с действующим законодательством было принято решение использовать методы косвенных измерений [2].

Анализ источников (информационные материалы иностранных производителей СК, отечественные разработки [3]) показал целесообразность разработки методики измерений ёмкости и внутреннего сопротивления СК, опирающейся на стандарт МЭК [2].

Сущность метода измерений, изложенного в этом стандарте, состоит в следующем. Предварительно заряженный конденсатор подвергают разряду стабилизированным током, регистрируя вольт-секундную характеристику (рис.1).

1) Двойной электрический слой - совокупность электрических зарядов противоположных знаков, распределённых вдоль границы соприкосновения двух фаз (например, металла и электролита). Технологическая возможность получения сверхбольших значений ёмкости достигается применением пористых электродов с соответствующей эквивалентной поверхностью большой площади.

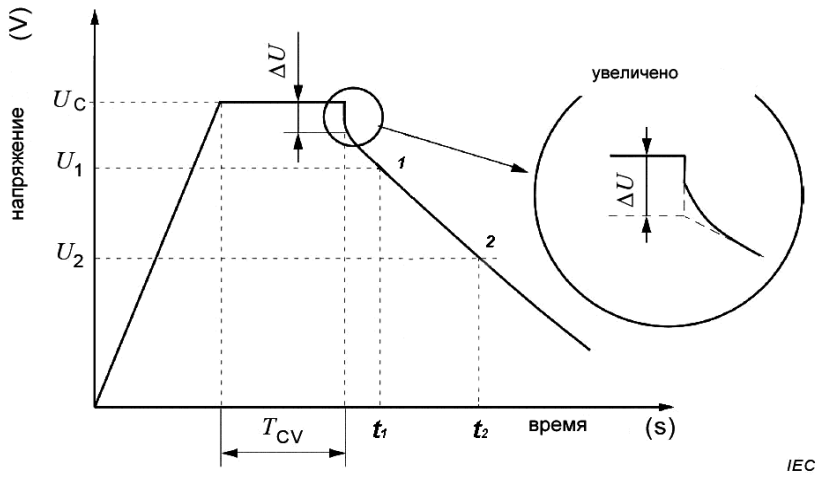

Рис. 1. Вольт-секундная характеристика конденсатора

Ёмкость конденсатора определяют через силу тока разряда I_d и скорость разряда k :

$$C = I_d / k, \quad (1)$$

где $k = (U_1 - U_2) / (t_1 - t_2)$ по графику рис. 1[2]).

Внутреннее сопротивление находят через падение напряжения ΔU в момент начала переходного процесса коммутации конденсатора на разряд (рис. 1):

$$R_i = \Delta U / I_d. \quad (2)$$

Падение напряжения ΔU на эквивалентном сопротивлении по совокупности результатов регистрации вольт-секундной характеристики рассчитывают как[3])

$$\Delta U = U_C - (U_B + k \cdot t_X) = k \cdot (t_3 - t_X), \quad (3)$$

где U_C – напряжение заряда конденсатора;

2) Примечание - коэффициент k имеет отрицательное значение (падающая кривая); направление тока разряда конденсатора также следует принять отрицательным (при заряде – положительное направление).

3) Примечание - U_B, t_3 и t_X - величины условные в том смысле, что зависят от выбора начала координат на рисунке 1 при проведении расчетов. Этот выбор должен производиться исходя из удобства проведения вычислений.

$U_в$ – координата точки пересечения прямой линии, соединяющей U_1 и U_2, с вертикальной осью напряжения;

t_3 – координата точки пересечения той же линии с горизонтальной линией $u = U_C$;

t_x – момент времени включения тока разряда (координата на оси времени).

Расчетные операции по формулам (1 - 3) допускается проводить:

• графическим методом, путем обработки участка вольт-секундной характеристики от момента времени, предшествующего включению разрядного тока до момента t_2 (по размеру график должен занимать лист формата А4);

• численным методом путем обработки данных вручную или с помощью средств вычислительной техники, включая использование лицензионного программного обеспечения (например, программный пакет Excel, включая обработку данных методом регрессионного анализа);

• автоматизированным методом путем машинной обработки полученной в результате измерений информации с помощью специально разработанного программного обеспечения, сопряженного с измерительной установкой.

Схема измерительной установки, разработанная специалистами ОАО «Элеконд» для реализации методики измерений, приведена на рисунке 2.

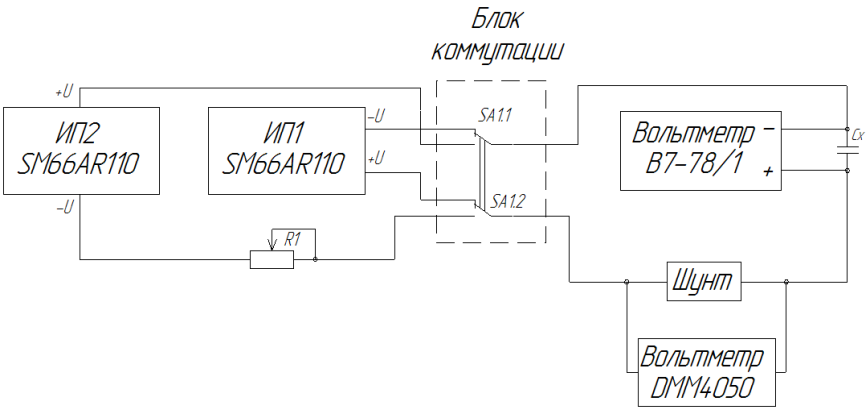

Рис. 2. Структурная схема измерительной установки
C_x – испытуемый конденсатор; **R1** – переменный резистор

Заключение:

1. Разработанная в ОАО «Элеконд» методика измерений ёмкости и эквивалентного последовательного сопротивления СК аттестована ФГУП «УНИИМ» в 2017 г. Методика измерений электрической емкости и эквивалентного последовательного сопротивления (ЭПС) конденсаторов с двойным электрическим слоем на постоянном токе устанавливает процедуру измерений электрической емкости и эквивалентного последовательного сопротивления методом косвенных измерений по вольт-секундной характеристике цикла «заряд – разряд» с использованием средств измерений, приведенных в документе на методику, и обеспечивает получение результатов измерений с погрешностью измерения емкости СК ±5 %, эквивалентного последовательного сопротивления – не более ±10 %.

2. Утвержденная методика применяется в ОАО «Элеконд» при контроле характеристик выпускаемых СК.

Литература

1. ГОСТ 8.371-80 ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений электрической емкости.

2. IEC 62391-1 (Ed. 2.0 2015-10) International Standard. Fixed electric double-layer capacitors for use in electric and electronic equipment – Part 1: Generic specification.

3. Отчет о НИР «Проведение центром коллективного пользования научным оборудо-ванием «Наноэлектроника и нанотехнологические приборы» научно-исследовательских работ в области создания и характеризации перспективных нанотехнологических устройств на основе углеродных наноструктур и композиций» ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012. - 304 с.

Сведения об авторах

Кузнецов Павел Леонидович,
ОАО «Элеконд», главный метролог
Адрес: 427968, Удмуртия, г. Сарапул, ул. Калинина, д. 3
Тел.: +7 (34147) 2-99-92
E-mail: elecond44@elcudm.ru

Дидик Юрий Иванович,
ФГУП «УНИИМ», ведущий научный сотрудник
Адрес: 620000, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, д. 4
Тел.: +7 (343) 350-23-13
E-mail: lemma@uniim.ru

О стандартизации измерительных трансформаторов

Р.Ф. Раскулов
ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока»

В 2014-2015 гг. ОАО «СЗТТ» проводилась работа по пересмотру межгосударственных стандартов ГОСТ 7746 «Трансформаторы тока. Общие технические условия» и ГОСТ 1983 «Трансформаторы напряжения. Общие технические условия» с учетом требований стандартов МЭК серии 61869 [1].

Пересмотренные межгосударственные стандарты ГОСТ 1983-2015 и ГОСТ 7746-2015, полностью соответствуют современным требованиям энергетики и метрологии, и содержат общие требования ко всем типам измерительных трансформаторов (ИТ), выпускаемых в СНГ.

При пересмотре было получено свыше 200 замечаний и предложений по содержанию первых редакций ГОСТ 1983 и более 150 по ГОСТ 7746.

Большинство замечаний относилось к введенным в ГОСТы требованиям из стандартов МЭК серии 61869, и в окончательных редакциях ГОСТ 7746 и 1983 остались только необходимые для энергетики и метрологии положения из стандартов МЭК серии 61869.

Например, при разработке окончательных редакций ГОСТ 1983 и ГОСТ 7746 в них включены только те требования общего стандарта МЭК 61869-1 «Измерительные трансформаторы – Часть 1: Общие требования», которые приемлемы для энергетики (ориентировочно 4 страницы из 62 страниц стандарта МЭК 61869-1).

Прямое применение стандартов МЭК неприемлемо по многим причинам, приведенным в [2, 3].

Значительная часть требований стандартов МЭК к условиям эксплуатации, конструкции, по изоляции, механической прочности, климатическим воздействиям, испытаниям и др. параметрам имеется в действующих ГОСТах, а во многом требования МЭК противоречат действующим в СНГ стандартам.

Например, в перечне испытаний МЭК нет квалификационных, периодических и испытаний на соответствие утвержденному типу.

О недопустимости прямого применения стандартов МЭК обсуждалось на международных конференциях «Инновационные решения в области качества изготовления и надежности эксплуатации измерительных трансформаторов тока и напряжения», проходивших в 2011 и 2013 г. в С. Петербурге при участии практически всех производителей ИТ в СНГ, а также представителей энергетики и метрологии.

Разработка стандартов в области электротехники и энергетики должна проводиться, используя имеющиеся ГОСТы, в которые должны вноситься необходимые изменения, в том числе используя стандарты МЭК.

Для этого необходимо иметь технически грамотные переводы стандартов МЭК, но они не должны иметь статуса ГОСТ, а иметь статус официального перевода стандарта или рекомендации МЭК.

В работе [4] приведено, что «Методологически неверно копировать зарубежные стандарты».

За последние годы Техническим комитетом МЭК ТС 38 разработано большое количество стандартов на ИТ (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что в области традиционных ИТ стандарты МЭК уже переработаны и дальнейшее развитие стандартизации происходит в области электронных ИТ, на которые разработан свой общий стандарт 61869-6-2016.

В структуре стандартов МЭК имеется один общий стандарт 61869-1, а все остальные содержат частные требования к отдельным типам трансформаторов.

Однако практически в каждом стандарте на отдельные типы ИТ требований часть общих требований заменяется на частные.

Данная структура МЭК неудобна, так как при работе со стандартами на изделия постоянно приходится ссылаться на общий стандарт.

При пересмотре межгосударственных стандартов выяснилась потребность в следующих стандартах:

- Дополнительные требования к ТТ для работы в переходных режимах;
- Дополнительные требования к комбинированным трансформаторам;
- Дополнительные требования к антирезонансным ТН;
- Стандарт на электронные ИТ;
- Разработать дополнительный стандарт на емкостные ТН.

Отличие структуры стандартов по ГОСТ 7746 и 1983 от структуры МЭК в том, что базовыми являются два стандарта, а не один, так как в одном стандарте невозможно охватить общие требования к трансформаторам тока и напряжения.

В дальнейшем, при разработке стандартов на новые типы ИТ, новые стандарты будут содержать в себе частные требования к конкретным типам ИТ, а общие требования уже содержатся в ГОСТ 7746 и ГОСТ 1983.

Например, при разработке стандарта на комбинированные трансформаторы в нем потребуется привести только требования к взаимному влиянию обмотки напряжения и токовой обмотки и методы этих испытаний, а все остальные требования уже имеются в ГОСТ 7746 и ГОСТ 1983.

Таблица 1

Стандарты МЭК на ИТ

Стандарты на серию изделий	Стандарт на изделие	Изделия	Старый стандарт
61869-1-2007 Общие требования к измерительным трансформаторам	**61869-2 -2012**	Дополнительные требования к трансформаторам тока	60044-1 60044-6
	61869-3 -2011	Дополнительные требования к индуктивным трансформаторам напряжения	60044-2
	61869-4 -2013	Дополнительные требования к комбинированным трансформаторам	60044-3
	61869-5 -2011	Дополнительные требования к ёмкостным трансформаторам напряжения	60044-5
61869-6-2016 Дополнительные общие требования к электронным измерительным трансформаторам и маломощным автономным датчикам	**61869-7**	Дополнительные требования к электронным трансформаторам напряжения	60044-7
	61869-8	Дополнительные требования к электронным трансформаторам тока	60044-8
	61869-9-2016	Цифровой интерфейс для измерительных трансформаторов	
	61869-10-2017	Дополнительные требования к маломощным автономным датчикам тока	
	61869-11-2017	Дополнительные требования к маломощному автономному датчику напряжения	60044-7
	61869-12	Дополнительные требования к комбинированному электронному измерительному трансформатору или к комбинированным автономным датчикам	
	61869-13	Автономное объединяющее устройство	
	61869-14	Дополнительные требования к трансформаторам постоянного тока	
	61869-15	Дополнительные требования к трансформаторам постоянного напряжения	

Таблица 2

Структура стандартов на ИТ с учетом перспективы развития

Общие межгосударственные стандарты	Наименование нового ГОСТа	Аналогичный стандарт (руководство) МЭК
ГОСТ 7746 Трансформаторы тока. Общие технические условия	Дополнительные требования к трансформаторам тока для работы в переходных режимах	МЭК 61869-2 Часть 2: Дополнительные требования для трансформаторов тока МЭК 60044-6 Часть 6: Требования к трансформаторам тока для защиты в условиях переходных процессов. IEC/TR 61869-100 Ed. 1.0 Руководство по применению трансформаторов тока для защиты электрических систем
	Дополнительные требования к комбинированным трансформаторам	МЭК 61869-4 Часть 4: Дополнительные требования к комбинированным трансформаторам
ГОСТ 1983 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия	Дополнительные требования к емкостным трансформаторам напряжения	МЭК 61869-5 Часть 5: Дополнительные требования к емкостным трансформаторам»
	Дополнительные требования к антирезонансным трансформаторам напряжения	Instrument transformers - Part 102: Феррорезонансные колебания на подстанциях с электромагнитными трансформаторами напряжения

В настоящее время в России действует ряд идентичных переводов стандартов МЭК по ИТ:

ГОСТ IEC 60044-1-2013 Трансформаторы измерительные. Часть 1. Трансформаторы тока.

ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 Трансформаторы измерительные. Часть 8. Электронные трансформаторы тока.

ГОСТ Р МЭК 60044-7-2010 Трансформаторы измерительные. Часть 8. Электронные трансформаторы напряжения.

ГОСТ IEC 61869-3-2012 Трансформаторы измерительные. Часть 3. Дополнительные требования к индуктивным трансформаторам напряжения.

ГОСТ Р МЭК 61869-2–2015 Трансформаторы измерительные. Часть 2. Дополнительные требования к трансформаторам тока.

В СНГ действуют следующие идентичные переводы МЭК (не действуют в России):

ГОСТ IEC 61869-1-2015 Трансформаторы измерительные. Часть 1. Общие требования.

ГОСТ IEC 60050-321-2014 Международный электротехнический словарь. Часть 321. Измерительные трансформаторы.

Все эти стандарты практически бесполезны, а имеют только информативный характер.

Кроме этого ведется разработка серии предстандартов на ИТ со структурой, скопированной со структуры МЭК, где имеется один общий стандарт ГОСТ Р «Трансформаторы измерительные. Часть 1. Общие технические условия», полностью скопированный из ГОСТ 7746-2001 и ГОСТ 7746-2015, и стандарты содержащие частные требования.

При разработке стандартов обязательно должны соблюдаться требования нормативных документов:

1. Разрабатываемые стандарты должны соответствовать принципам национальной стандартизации, изложенным в разделе 4 «ГОСТ Р 1.0 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»:

«...недопустимости разработки национальных стандартов на объекты и аспекты стандартизации, стандартизированные на межгосударственном уровне.

2. Требованиям ГОСТ Р 1.2-2016 «Стандартизация в Российской Федерации. СТАНДАРТЫ НАЦИОНАЛЬНЫЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Правила разработки, утверждения, обновления, внесения поправок, приостановки действия и отмены».

Пункт 3.3.2 ГОСТ Р 1.2:

«Требования, устанавливаемые в национальном стандарте, должны:

● быть увязаны с требованиями стандартов, утвержденных (признанных в соответствии с 1.3) ранее и/или действующих в Российской Федерации в качестве национальных стандартов (в том числе межгосударственных стандартов), а также со сводами правил».

Пункт 3.3.4 ГОСТ Р 1.2:

«...При этом в разрабатываемом стандарте следует избегать дублирования требований действующих национальных стандартов Российской Федерации и действующих в этом качестве межгосударственных стандартов, заменяя их соответствующими ссылками по ГОСТ».

3. Требования статьи 4 п.9 Федерального закона «О стандартизации», о непротиворечивости национальных стандартов друг другу.

4. Принцип добровольности применения стандартов, приведенный в статье 4 п.9 Федерального закона «О стандартизации».

5. Оформление должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 1.5-2012 «Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения»:

«4.3.3 Если в стандарте целесообразно привести характеристику продукции, выпускаемой по другому национальному стандарту Российской Федерации или действующему в этом качестве межгосударственному стандарту, то вместо ее изложения или в дополнение к ней дают нормативную ссылку на этот стандарт».

6. Требование п.4.8.4 ГОСТ 1.5-2001 «Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации» на который ссылается ГОСТ Р 1.5-2012:

«В случае, когда в стандарте целесообразно повторить какое-либо положение (или его фрагмент) другого межгосударственного стандарта, это положение (фрагмент) заключают в рамки из тонких линий, а после него приводят в квадратных скобках ссылку на данный стандарт с указанием года его принятия».

Вышеперечисленные переводы МЭК и серия предстандартов на ИТ не соответствуют вышеперечисленным требованиям нормативных документов.

Поэтому необходимо исключить разработку стандартов дублирующих или противоречащих требованиям действующих в СНГ стандартов.

Выводы

1. Разработка стандартов в области электротехники и энергетики должна вестись только на основе ГОСТов, в которые должны вноситься необходимые изменения.

2. Переводы стандартов МЭК должны иметь статус официального перевода, а не статус ГОСТ.

3. При разработке стандартов необходимо строго соблюдать требования нормативных документов и прекратить практику разработки дублирующих стандартов.

4. Структура стандартов на ИТ с использованием межгосударственных стандартов ГОСТ 1983 и 7746 позволит ускорить и облегчить разработку новых стандартов на ИТ.

Литература

1.Раскулов Р.Ф. О стандартах на измерительные трансформаторы / Метрология Учет и контроль качества электрической энергии – Измере-

ния в интеллектуальных сетях.: Материалы 8-й научно-технической конференции. - С. Петербург.– 2016.

2. Раскулов Р.Ф. Новые варианты стандартов на измерительные трансформаторы / Инновационные решения для обеспечения качества изготовления и надежности эксплуатации измерительных трансформаторов тока и напряжения.: Сборник докладов международной научно-технической конференции. - С. Петербург.– 2013.

3. Раскулов Р.Ф. Об изменении стандартов на измерительные трансформаторы // Новости электротехники.– 2012.–№2(74).

4. Боков Г.С. Зачем нужна стандартизация //Энергоэксперт.–2015.-№6 (53).

Сведения об авторе

Раскулов Р.Ф.,
к.т.н., главный метролог,
ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока».
620043, Россия, г. Екатеринбург, ул. Черкасская, 25.
Телефон: (343) 232-59-95, факс: 212-52-55.
e -mail:cztt@cztt.ru

Измерения электрических величин при наличии гармоник

О.В. Большаков
ОАО «ФСК ЕЭС»

Физические величины, которыми привыкли оперировать в электроэнергетике, обладают различными особенностями измерений. Есть величины прямого измерения, например полные токи и напряжения. Они характеризуются мгновенными измеренными значениями и однозначно связаны с физическими процессами, происходящими в электрической цепи в данный момент времени.

Но мы привыкли использовать много других удобных для интегрального описания и понимания величин – например, углы фазовых сдвигов или среднеквадратические значения тех же токов и напряжений. Если мы знаем среднеквадратические значения, то считаем что знаем и амплитудные значения этих токов и напряжений, ведь они однозначно связаны со среднеквадратичными величинамимножителем ($\sqrt{2}$). Однакоэто «однозначное» соотношение верно только для одночастотного синусоидального сигнала.

Реально в сетях ЕНЭС встречаются точки, в которых уровень гармоник напряжения составляет 6 – 8%, а для токов ситуация еще хуже[1]. При этом результаты мгновенных измерений представляют собой сумму всех гармонических сигналов иизмеряются верно. А определение момента перехода сигнала через ноль при наличии гармоник будет зависеть от соотношения гармоник, как и периодсложного сигнала. Определить сдвиги «фаз» для таких составных комплексных сигналов невозможно. Такое же положение с отношением средних и амплитудных значений сигналов.

Отдельного рассмотрения заслуживает мощность и энергия. Из всех остальных величин корректно измеряется в присутствии гармоник только мгновенная активная мощность, поскольку она равна произведению правильно измеряемых мгновенных значений тока и напряжения, хотя и это не всегда верно. Например, в [2] показано расхождение показаний счетчиков активной электроэнергии в присутствии гармоник. Все остальные величины – угловые диаграммы, полная и реактивная мощности и энергии, средние значения, особенно на малых интервалах времени, являются вычисляемыми, и результат будет зависеть от алгоритма их вычисления. Утвержденные алгоритмы для вычисления (определения) этих величин отсутствуют.Например, для вычисления реактивной мощности и энергии возможно: для мгновенных величин напряжения и тока ввести задержку на четверть периода до их перемножения; можно вычислить средние величины напряжения и тока и перемножить на синус

углового сдвига; можно взять активную мощность и тангенс угла; можно воспользоваться тем, что квадрат полной мощности равен сумме квадратов активной и реактивной мощностей и т.д.

Все приведённые вычислительные алгоритмы строго описывают одночастотные измеряемые сигналы (основной частоты) и являются тождественными. Однако они дают разные результаты для несинусоидальных многочастотных сигналов.

Различные средства измерения (СИ), где алгоритмы вычисления величин непрямых измерений, как правило, не описаны (выполнены по одному из «правильных», «тождественных» алгоритмов) могут в случае не синусоидального сигнала получать разные результаты при измерении одних и тех же величин в одной и той же точке сети. Это верно и для свежеповеренных СИ, поскольку их поверяли насинусоидальном сигнале 50 Гц, и при этом они выдают одинаковые результаты измерений, соответствующие классу точности. Методики поверки не предусматривают испытания приборов при входных сигналах с наличием гармоник. Поэтому правильно писать в инструкциях по эксплуатации на СИ **«Применять только для синусоидального сигнала 50 Гц. Для сложных сигналов измерение средних величин не определено».**

Возникает традиционный вопрос «Что делать?».

С точки зрения физикии математики проблем нет никаких. Если результаты измерений по разным алгоритмам различаются, то необходимо определить единственный «правильный» алгоритм и детализировать его так, чтобы измерения, выполненные с его применением, совпадали для всех реальных условий измерения и входных сигналов.

Рассмотрим случай однофазного электрического тока.В общем виде напряжение и ток могут иметь не синусоидальную и непериодическую форму. Анализ непериодических сигналов отнесем к событиям, и онпроизводится на основе записывающих приборов. Обычно эти непериодические сигналы не вносят заметный вклад в средние значения измеряемых величин, поскольку имеют малую длительность. Поэтому далеебудем рассматривать только периодические сигналы тока и напряжения.

Периодические сигналы принято представлять и анализировать с помощью рядов Фурье, например [3]. Сложные сигналы представляют собой суперпозицию основной частоты (50Гц) и гармоник. Гармонический ряд Фурье образует ортогональный базис, т.е. среднее значение произведения двух любых различных гармоник равно нулю. Это означает, что напряжение, например 3-ей гармоники с током 5-ой не создают активной выделяемой мощности при любом сдвиге фаз, т.е. гармоники, начиная с первой и т.д. распространяются по линейной электрической сети независимо, поэтому их так нужно и рассматривать.

Полные сигналы тока и напряжения раскладывается в ряд Фурье, и для каждой гармоники раздельно ииз полученных напряжений и токов для каждой гармоникидолжны вычисляться угловые диаграммы, средние величины, полная и реактивная мощности и энергии. Для того, чтобы найти всю реактивную мощность в классическом понимании нужно сложить реактивные мощности всех гармоник. Углы между напряжениями и токами для каждой гармоники могут быть разными и попытка описать процесс «единым» углом фазового сдвига обречена на провал. Нужно также учитывать, что эквивалентная схема сети может иметь разные характеристики для разных частот (если параметры компонентов сетизависят от частоты).

При рассмотрении трехфазной сети раздельные описания фаз А, В и С не всегда являются самыми удобными. При разных амплитудах фаз удобно применять разложение на прямую, обратную и нулевую последовательности. Однако необходимо помнить, что это возможно только для синусоидальных сигналов одной частоты (например, 50 Гц). Значит для того чтобы вычислить коэффициенты прямой, обратной и нулевой последовательностей необходимо выделить из сигнала основную гармонику по каждой фазе и затем вычислить коэффициенты несимметрии. Так же нужно поступить и для всех остальных гармоник сигнала.

Для сетей, где единицы процентов мощности содержится в гармонических частотах, точность измерения которых не регламентируется для обычных приборов, измерить мощность точнее этих процентов даже эталонными приборами не представляется возможным. Поэтому погоня за классом точности средств измерения 0,1 - 0,2, определенным для частоты 50 Гц, в условиях нынешних сетей с содержанием гармоник местами до 4 - 6% и соответствующей методической погрешностью является бессмысленной. Установка более точных, не учитывающих гармоники, средств измерения поднимает планку ожидаемой точности измерений и сходимости результатов измерений или балансов. Однако если эти измерения выполняются без соблюдения всех условий, для которых определяется точность СИ, то хорошего совпадения результатов не получится.

Таким образом, рассмотренная выше дополнительная методическая погрешность, входящая в общую погрешность измерения, может значительно превосходить погрешность соответствующую классам точности СИ. Показания двух высокоточных счетчиков электроэнергии класса 0,2S установленных в одной точке при наличии гармоник имеют право не сходиться на единицы процентов[2]. Эта разница хорошо видна в неблагополучных по гармоникам точках измерения электроэнергии при сравнении механических счетчиков, слабо чувствительных к гармоникам, и электронных, имеющих более широкополосную частотную характеристику.

В ПАО «ФСК ЕЭС» несколько лет назад были начаты работы по измерению качества электроэнергии, для чего были сформулированы требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ). Разработанные по этим требованиями приборы позволяют раздельно измерять «хорошую» электроэнергию с частотой 50 Гц и нарушения качества электроэнергии в виде гармоник, несимметрии, фликера и т.д. Эти приборы, установленные в пилотной зоне проекта (4 предприятия магистральных сетей) выполняют корректные измерения вычисляемых электрических величин - угловых, средних, реактивной энергии. СИ ПКЭ каждый входной сигнал раскладывает в ряд Фурье и одноименные гармоники токов и напряжений обрабатываются независимо от других. Каждая гармоника при этом имеет свои величины приема и отдачи активной и реактивной мощностей и свою фазовую диаграмму. Это вызывает необходимость рассматривать новые понятия – например, активную и реактивную мощность каждой гармоники и т.д. Направления распространения энергий разных гармоник может не совпадать. Конечно, такое рассмотрение гораздо сложнее, чем общепринятое одночастотное, но это обеспечивает правильное понимание физических процессов, происходящих в сети,в случаяхкогда описание реальных процессовклассическими (одночастотными) терминами и понятияминевозможно.

Предлагаемый подход к косвенным измерениям должен применяться во всех приборах, выполняющих непрямые измерения – счетчиках реактивной энергии, терминалах АСУ ТП, РЗА и т.д. Только в этом случае различные приборы будут одинаково измерять электрические величины при большом содержании гармоник.

Литература

1. Большаков О.В. и др. Автоматизация анализа качества электроэнергии в ЕНЭС // Электроэнергия. Передача и распределение. 2013. № 1 С. 56 — 62.

2. Киселев В.В., Пономаренко И.С. Влияние несинусоидальности напряжения и тока на показания электронных счетчиков электроэнергии// Промышленная энергетика, №2, 2004

3. Большаков О.В., Васильева О.А. О происхождении и измерении гармонических искажений в электрических сетях //Автоматизация и IT в энергетике ноябрь 2016 № 11 (88). С.28-36.

Сведения об авторе

Большаков Олег Вадимович, главный метролог,
ОАО «ФСК ЕЭС»
Тел.: (495) 710-92-72
bolshakov-ov@fsk-ees.ru

Метрологическое обеспечение измерительных каналов цифровой подстанции

И.А. Гиниятуллин
ООО «НПП Марс-Энерго»

«НПП Марс-Энерго» располагает техническими возможностями и опытом разработки и производства эталонных средств измерения для электроэнергетики.

На предприятии **с 2015 года** выпускаются лабораторные эталонные поверочные установки КЭТ (гос. реестр 61768-15) и УПВК (гос. реестр 60987-15) для цифровых ИТН, ИТТ.

С 2017 года разрабатывается мобильный эталонный комплекс «MarsTest-61850» для поверки ИК ЦПС на местах эксплуатации, в состав которого входят:

- эталонный многофункциональный прибор «Энергомонитор-61850»,
- источник сигналов «Энергоформа-61850»,
- калибратор цифрового потока «MarsGen-61850».

Наше оборудование предназначено для калибровки и поверки следующих СИ ЦПС:

- измерительных трансформаторов тока и напряжения,
- устройств Merging Unit,
- счетчиков электроэнергии,
- приборов для измерения ПКЭ,
- УСВИ (PMU),
- других интеллектуальных СИ ЦПС.

С 2017 года разрабатываются методики измерения МИ, СТО по применению эталонных СИ для поверки, калибровки СИ ЦПС в лабораторных условиях и на местах эксплуатации.

Мы предлагаем тренинги технического персонала, метрологов по применению эталонных СИ.

Разработки и производство проводятся в собственной аккредитованной метрологической лаборатории в Санкт-Петербурге в соответствии со стандартом менеджмента качества ISO 9001, в сотрудничестве с метрологическими институтами ВНИИМ, ВНИИМС, структурами Росстандарта и ПАО Россети.

Разработка новых эталонных СИ потребовала объединения усилий ВНИИМ и Марс-Энерго в совместной НИОКР, включающей:

- подготовку нормативных документов, в том числе методик измерений, калибровки и поверки цифровых измерительных каналов для внесения в Госреестр СИ;

• разработку и производство комплекса эталонных СИ для лабораторных и полевых испытаний измерительных каналов ЦПС.

Создание рабочих эталонов было бы невозможно без опоры на эталонную базу ВНИИМ — Государственный эталон электрической мощности.

В настоящее время создатели эталона мощности и сотрудники лаборатории электроэнергетики ВНИИМ развивают направление эталонов следующего поколения для метрологического обеспечения ЦПС.

В 2015 году после внесения в Госреестр СИ эталонов КЭТ и УПВК (рис. 1) предприятия разработчики и изготовители рабочих и эталонных СИ ЦПС получили еще один инструмент для метрологического исследования своих приборов. Это позволило внести в реестр СИ цифровые измерительные трансформаторы, калибраторы цифрового потока, счетчики с цифровым входом и другие СИ, востребованные на развивающемся рынке электроэнергетики ЦПС.

Рис. 1.

В 2017 году запущен проект по разработке и изготовлению комплекса эталонного оборудования для поверки, калибровки СИ ЦПС на местах эксплуатации «МарсТест-61850» (рис. 2). Проект осуществляется по плану мероприятий НТИ «Энерджинет» и соглашению с Фондом содействия инновациям. Назначение комплекса — измерение электроэнергетических величин и формирование эталонных сигналов. Отличие от существующих эталонных комплексов состоит в одновременной поддержке как традиционных средств измерений, так и совместимых с протоколом 61850-9-2LE.

Рис. 2.

Энергомонитор 61850 — эталонный прибор нового поколения для поверки цифровых измерительных трансформаторов тока, напряжения и устройств Merging Unit (класс точности 0,02; 0,05) (рис. 3).

Назначение:

• определение модульной и угловой погрешностей аналоговых и цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения с выходными сигналами в виде аналогового сигнала и в виде потока дискретизированных значений по стандарту МЭК 61850-9-2LE;

• определение метрологических характеристик измерительных объединяющих устройств (Merging Unit) по МЭК 61869-13;

• измерение параметров напряжения и тока с преобразованием их в поток дискретизированных значений по стандарту МЭК 61850-9-2LE;

• измерение электрической мощности (активной, реактивной, полной);

• измерения параметров электрической энергии трехфазных и однофазных сетей.

Энергомонитор-61850-П
Переносной

Энергомонитор-61850-С
Стационарный

Рис. 3.

Энергоформа-61850 — источник фиктивной мощности и испытательных сигналов (рис. 4).

Режимы работы источника «Энергоформа-61850»:

1. Режим реального времени

Преобразование цифрового потока SV61850-9-2 в аналоговые выходные сигналы тока и напряжения.

2. Автономный режим

Выходные аналоговые сигналы формируются в результате цифрового синтеза с помощью редактора сигналов по параметрам, устанавливаемым пользователем. Дополнительно возможна загрузка модулирующего сигнала.

Рис. 4.

МарсГен-61850 — эталонный источник цифрового потока (рис. 5).

Назначение — формирование потока в формате IEC 61850-9-2 с выполнением требований, предъявляемых к временным параметрам передачи пакетов в потоке, его непрерывности и точной привязке к шкале времени UTC.

Рис. 5.

На рисунках 6–9 приведены схемы поверки различный приборов с помощью комплекса МарсТест-61850.

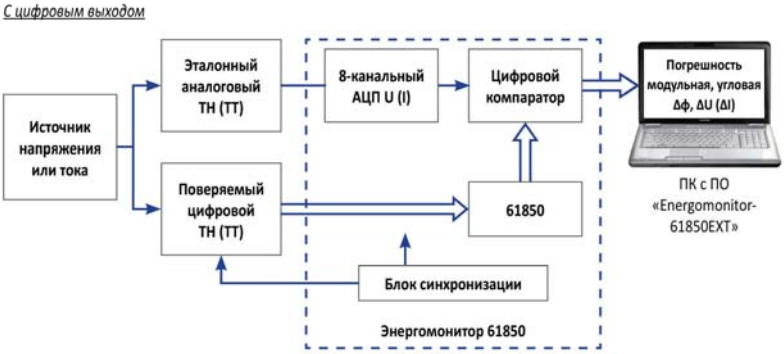

Рис. 6. Поверка ИТН, ИТТ

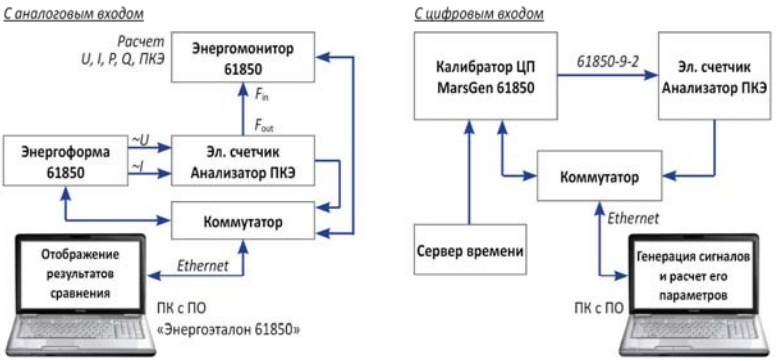

Рис. 7. Поверка счетчиков, ПКЭ

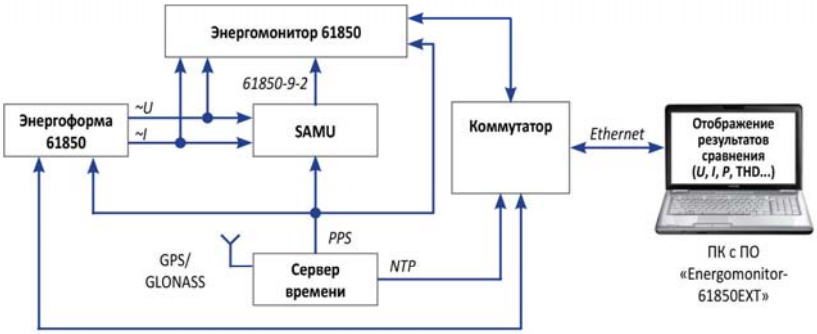

Рис. 8. Поверка SAMU

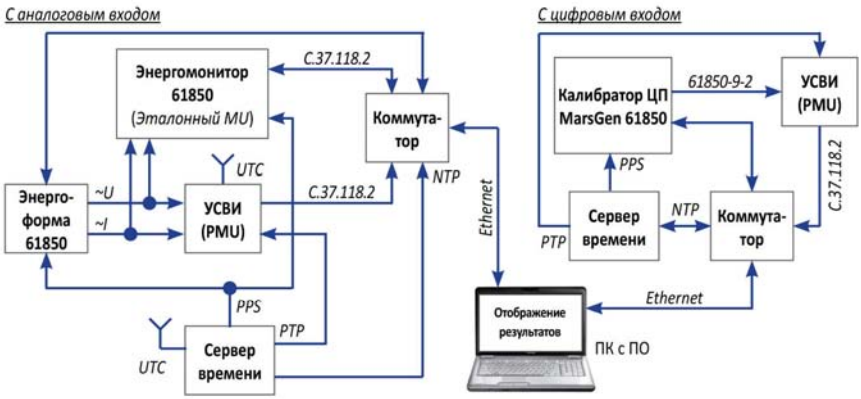

Рис. 9. Поверка УСВИ (PMU)

Реализация пилотных проектов цифровых подстанций на объектах ПАО «Россети» и ПАО «ФСК ЕС» (в частности, на 33-х объектах МЭС планируется реализовать технологии ЦПС в период с 2014 по 2024 г.) должна включать апробацию технологии тестирования, калибровки, поверки отдельны СИ и цифровых измерительных каналов в целом. Наряду с разработкой и внедрением эталонных комплексов для поверки, калибровки СИ ЦПС требуется разработка методик измерений и отраслевых стандартов. Ряд международных стандартов на СИ ЦПС и методы калибровки переведен в разряд ГОСТ и применяется разработчиками и проектировщиками ЦПС. Однако требуется их переработка и адаптация к особенностям российской энергосистемы, применяемым СИ и регламентам поверочных работ.

На базе «НПП Марс-Энерго» ведется разработка и экспериментальное исследование методик поверки (заказчик – ФБУ «Ростест-Москва»):

• методика поверки на месте эксплуатации трансформаторов тока измерительных с первичными токами в диапазоне от 5 до 5000 А и выходным сигналом в виде цифрового потока по стандарту IEC 61850-9-2;

• методика поверки на месте эксплуатации трансформаторов напряжения измерительных с первичными напряжениями в диапазоне от 6 до 220 кВ и выходным сигналом в виде цифрового потока по стандарту IEC 61850-9-2.

Также на предприятии разрабатывается СТО «Общие требования к метрологическому контролю измерительных каналов ЦПС» (заказчик – ПАО «ФСК ЕС»). Целью разработки данного стандарта является разработка общих требований к метрологическому обеспечению и контролю метрологических характеристик ИК ЦПС на

всех этапах жизненного цикла вышеуказанных систем измерения (этапы проектирования, ввода в эксплуатацию и постоянной эксплуатации). Результат работы будет применяться проектными организациями, организациями, выполняющими работы по внедрению и метрологическому обеспечению ИК измерительных систем ЦПС на этапе ввода в эксплуатацию, профильными подразделениями, в функциональной ответственности которых развитие и эксплуатация информационно-технологических (измерительных) систем и подразделениями метрологического обеспечения ПАО «ФСК ЕЭС».

Эталоны и поверочные установки для ЭлТА-счётчиков электроэнергии и электронных трансформаторов напряжения и тока. Состояние и перспективы

С.Р. Сергеев,
ООО «НПП Марс-Энерго»

С декабря 2016 года в РФ введен стандарт ГОСТ Р 56750-2015 [1], разработанный АО «ГК «Таврида Электрик» и ВНИИМС. Выход этого стандарта отражает заинтересованность производителей в нормативах для метрологического обеспечения выпуска счетчиков электрической энергии с аналоговыми входами, подключаемыми к электронным трансформаторам напряжения и тока (ЭлТА-счётчиков). Ранее были введены стандарты ГОСТ Р МЭК 60044-7-2010 [2] и ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 [3], устанавливающие основные технические требования к электронным трансформаторам и методы испытаний. В связи с введением МЭК серии новых стандартов на измерительные трансформаторы (IEC 61869), в настоящее время ведется работа по их адаптации для применения в РФ.

Опираясь на действующие ГОСТ и проекты стандартов на базе IEC 61869, НПП Марс-Энерго в инициативном порядке ведёт разработку новых модификаций широко известной поверочной установки «УППУ-МЭ» и прибора «Энергомонитор-3.1КМ». Это новое эталонное оборудование позволит (в дополнение к традиционным СИ) выполнять поверку как ЭлТА-счётчиков, так и электронных трансформаторов напряжения и тока (ЭТН и ЭТТ) с аналоговыми выходными сигналами. Условное обозначение модификации установки - «УППУ-МЭ 3.1КМ-Э».

Поверка ЭлТА-счётчиков

В данной установке реализованы схемы А.1 и А.4 ГОСТ Р 56750-2015 [1] для поверки ЭлТА-счётчиков (см. рис. 1), что позволяет исключить необходимость применения дополнительного преобразователя фиктивной мощности (со всеми его погрешностями), предлагаемого в других схемах.

Эталонный счётчик представляет собой новую модификацию широко известного эталонного прибора «Энергомонитор-3.1КМ», комплектация которого дополнена программируемым прецизионным шестиканальным усилителем напряжения УН-6.1. Это позволяет расширить диапазон измерений напряжения (в нижней его части) для сигналов напряжения и тока, предусмотренных в ЭлТА-счётчиках, ЭТТ и ЭТН. Эталонный счётчик имеет метрологические характеристики (см. таблица 1), позволяю-

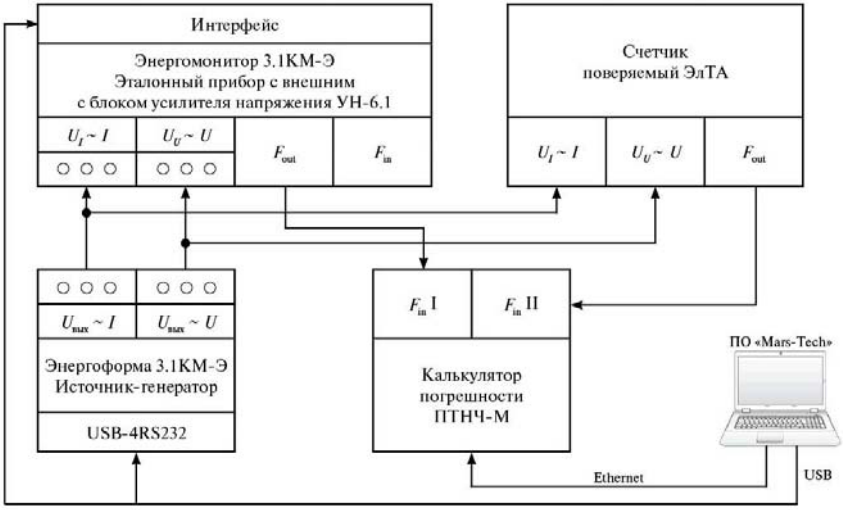

Рис. 1. Реализация схемы поверки ЭлТА-счётчиков

Таблица 1

Новые метрологические характеристики прибора Энергомонитор

Измеряемые величины	Диапазон измерений	Погрешность	Примечание
Сигнал напряжения переменного тока (U_U)	1 мВ ... 10 В	Относительная, %, не более	$U_{U\text{ном}}$: 10 мВ; 100 мВ; 1 В; 10 В
		±0,02	$U_{U\text{ном}} > 2$ В
		±0,03	$U_{U\text{ном}} \le 2$ В
Сигнал переменного тока (U_I)	0,1 мВ ... 10 В	Относительная, %, не более	$U_{I\text{ном}}$: 1; 10; 100 мВ; 1; 10 В
		±0,02	$U_{I\text{ном}} > 2$ В
		±0,03	$U_{I\text{ном}} \le 2$ В
Активная электрическая мощность (P)	От $0{,}01P_н$ до $1{,}44P_н$	Относительная, %, не более	$0{,}9 < \lvert\cos\varphi\rvert < 1{,}0$
		±0,02	$U_н > 2$ В
		±0,03	$U_н < 2$ В
Коэффициент мощности (K_P=P/S)	От 0,1 до 1,0	Абсолютная ±0,001	
Частота переменного тока (f_I)	От 40 до 70	Абсолютная, Гц ±0,001	
Угол фазового сдвига между сигналами напряжения и тока одной фазы (φ_I), градус	От 0 до 360	Абсолютная, градус ±0,01	

щие поверять ЭлТА-счётчики классов точности 0,1; 0,2S и менее точные. При этом сохраняются все его прежние характеристики.

Источник фиктивной мощности представляет собой новую модификацию генератора-синтезатора «Энергоформа-3.1» из состава существующей установки УППУ-МЭ 3.1КМ. Выходная мощность источника «Энергоформа-3.1КМ-Э» не менее 1 ВА на канал, что позволяет обеспечить подключение к установке одновременно от 3 до 12 ЭлТА-счётчиков. Источник «Энергоформа-3.1КМ-Э» сохраняет все характеристики прежнего генератора «Энергоформа-3.1», что позволяет его использовать для поверки СИ ПКЭ, работающих с милливольтовыми сигналами ЭТТ и ЭТН.

Согласно ГОСТ Р 56750 ЭлТА-счётчик должен иметь испытательное выходное устройство по ГОСТ 31818.11 [4]. Для поверки используется традиционный метод сравнения частот. Для автоматизации многоместной поверки применяется прибор ПТНЧ-М, как вычислитель погрешности, с ПО «Mars-Tech» на ПК.

Выходные сигналы источника фиктивной мощности (эталонный калибратор в терминах ГОСТ Р 56750) должны соответствовать входным сигналам эталонного счётчика и поверяемого счётчика электрической энергии (ЭлТА-счётчика). А номинальные значения входных сигналов ЭлТА-счётчика, в свою очередь, соответствуют подключаемым ЭТН и ЭТТ. Для ЭТТ стандартами рекомендованы следующие стандартные (номинальные) значения сигнала тока: от 22,5 мВ до 4 В. Для ЭТН диапазон номинальных сигналов тока различен по разным стандартам, но полный диапазон составляет: от $22{,}5/\sqrt{3}$ мВ до 6,5 В. Для работы только в этом узком милливольтовом диапазоне возможен выпуск отдельной модификации УППУ-МЭ 3.1КМ-Э (рис. 2), имеющей в составе только 2 основных блока: источник фиктивной мощности «Энергоформа-3.1КМ-Э» и эталонный счётчик «Энергомонитор-3.1КМ-Э».

Задачу поверки ЭлТА-счётчиков в полевых условиях на месте эксплуатации позволяет решать модификация УППУ-МЭ 3.1КМ-Э-П, состоящая из переносных приборов: источника фиктивной мощности и эталонного счётчика.

Поверка ЭТН

Стандарты ГОСТ Р МЭК 60044-7 и IEC 61869 не устанавливают методик поверки ЭТН. Поэтому при разработке методик поверки ЭТН, следует руководствоваться требованиями ГОСТ 8.216-2011 [5]. Прибор сравнения «Энергомонитор-3.1КМ-Э», укомплектованный усилителем напряжения УН-6.1, позволяет сформировать поверочную установку типа «Установка

Рис. 2. Установка УППУ-МЭ 3.1КМ-Э специального облегченного стационарного исполнения

2» по ГОСТ 8.216-2011, представленную на рис. 3, для поверки ЭТН классов точности 0,2 и менее точных.

Отличительной особенностью прибора сравнения «Энергомонитор-3.1КМ-Э» является возможность сравнения стандартного вторичного напряжения эталонного трансформатора или ПВЕ (номинальные напряжения 100 или $100/\sqrt{3}$ В) с любым сигналом напряжения, поступающим от ЭТН (номинальные напряжения от $22{,}5/\sqrt{3}$ мВ до 6,5 В). Входящий в состав прибора усилитель напряжения УН-6.1 приводит выходное напряжение ЭТН к номинальному напряжению эталонного ТН в соответствии с номинальным напряжением ЭТН. «Энергомонитор-3.1КМ-Э» измеряет напряжения, частоту и нелинейные искажения в соответствии с требованиями ГОСТ 8.216.

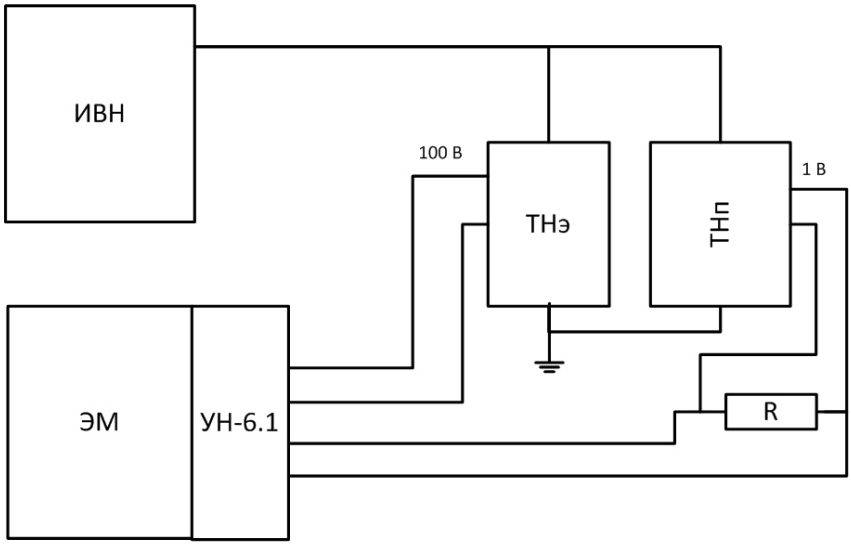

Рис. 3. Установка 2 по ГОСТ 8.216-2011
ИВН - источник высокого напряжения; ТНэ - эталонный трансформатор;
R - нагрузочное устройство; ТНп поверяемый трансформатор;
ЭМ – прибор Энергомонитор-3.1КМ-Э с усилителем УН-6.1

Поверка ЭТТ

При разработке методик поверки ЭТТ следует руководствоваться требованиями ГОСТ 8.217-2003 [6]. Прибор сравнения «Энергомонитор-3.1КМ-Э», укомплектованный усилителем напряжения УН-6.1, позволяет сформировать поверочную установку, представленную на рис. 4. В данной установке эталонный масштабный преобразователь тока представляет собой традиционный эталонный ТТ, во вторичную обмотку которого включен прецизионный шунт. Сопротивление шунта должно соответствовать значению номинальной вторичной нагрузки эталонного ТТ при номинальном вторичном токе.

Погрешности преобразования у шунта типа ШЭ-5.0 (0,2 Ом; 5 А) пренебрежимо малы:

• пределы допускаемой основной относительной погрешности определения сопротивления на номинальной частоте, % .....±0,005

• пределы допускаемого фазового сдвига при преобразовании силы переменного тока в напряжение при частоте переменного тока 50 Гц, мкрад.....±3

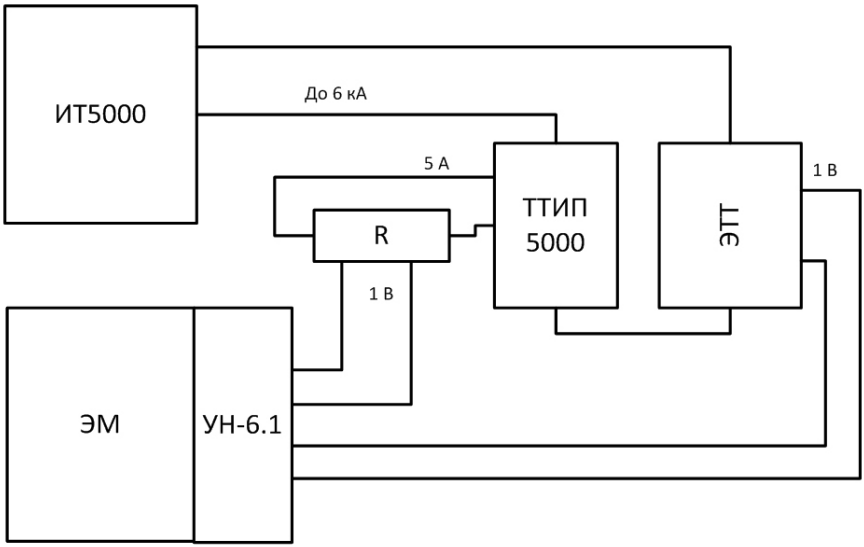

Рис. 4. Установка для поверки ЭТТ
ИТ5000 – регулируемый источник тока; R – шунт; ТТИП – эталонный ТТ;
ЭМ – прибор Энергомонитор-3.1КМ-Э с усилителем УН-6.1;
ЭТТ – поверяемый ЭТТ

Это позволяет использовать его в композиции с многодиапазонным эталонным ТТ класса точности 0,05 (например, типа ТТИП-5000/5). Результаты калибровки данного масштабного преобразователя можно ввести в виде поправок в прибор сравнения. Это обеспечивает точность установки (в целом) необходимую для поверки ЭТТ класса точности 0,2S и менее точных.

Выходные сигналы тока ЭТТ с номинальными напряжениями от 22,5 мВ до 4 В сравниваются с сигналами эталонного преобразователя прибором Энергомонитор-3.1КМ-Э. Использование в составе прибора Энергомонитор-3.1КМ-Э программируемого усилителя УН-6.1 позволяет сравнивать сигналы тока с различными номинальными значениями напряжения.

Выводы

Выпускаемая линейка СИ позволяет выполнять передачу электроэнергетических величин от рабочих эталонов к рабочим СИ в соответствии с современными требованиями.

Литература

1. 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.

2. ГОСТ Р МЭК 60044-7-2010. Трансформаторы измерительные Часть 7. Электронные трансформаторы напряжения

3. ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010. Трансформаторы измерительные Часть 8. Электронные трансформаторы тока

4. ГОСТ 31818.11-2012 (IEC 62052-11:2003). Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть 11. Счетчики электрической энергии

5. ГОСТ 8.216-2011. ГСИ. Трансформаторы напряжения. Методика поверки

6. ГОСТ 8.217-2003. ГСИ. Трансформаторы тока. Методика поверки

7. ГОСТ 8.551-2013. ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений электрической мощности и электрической энергии в диапазоне частот от 1 до 2500 Гц.

Использование эталонного генератора для калибровки счетчиков электроэнергии

Компания ООО Флюк СиАйЭс

В последние годы значительно выросла важность точной калибровки счетчиков электроэнергии. С развитием дерегулирования, ростом конкуренции и увеличением межсетевых перетоков энергии, потребность в проведении большего числа измерений, увеличении их частоты и точности стала особенно настоятельной. Как следствие, поставщики и потребители электроэнергии теперь хотят быть уверенными в том, что распределенная или полученная энергия точно соответствует их ожиданиям. В результате калибровка электросчетчиков в большинстве стран сейчас стала обязательной.

Однако, до недавнего времени калибровка электросчетчиков была задачей, требующей комплексного набора измерительных инструментов, включая источник тока, источник напряжения, эталонный счетчик и импульсный компаратор. Это не только приводило к снижению точности всего процесса калибровки, но вело к росту издержек на приобретение и обслуживание приборов.

Учитывая это, компания Fluke ввела в эталонный генератор 6100A опцию «Энергия».

Данное руководство по применению поясняет, как 6100A может быть использован для калибровки счетчиков электроэнергии, снимая тем самым необходимость использования большого набора оборудования, снижая издержки на испытания и обслуживание прибора, при оптимизации расчета погрешностей и точности измерения.

Обычная процедура калибровки электрического счетчика

Калибровка инструментов для измерения энергии ничем не отличается от любой другой процедуры калибровки. На калибруемый прибор подается заранее известное значение измеряемого параметра, при этом снимаются показания прибора. Эти показания затем сравниваются с поданным значением, и вычисляется ошибка измерения.

Счетчики электроэнергии, почти без исключения, используют технику генерации импульсов для выявления количества измеренной энергии. Каждый импульс отражает некоторое количество ватт-часов (ВА-часов, ВАР-часов и т.д.). Эти импульсы затем преобразуются в числовое значение различными способами.

1. В старых электросчетчиках энергия определяется путем подсчета количества оборотов расположенной на поверхности вращающегося металлического диска метки.

2. С помощью мигающего светодиода.

3. В виде электрического сигнала (обычно ТТЛ).

4. Некоторые современные счетчики даже включают высокотехнологичные механизмы передачи, такие как интерфейсы Ethernet или Bluetooth.

Поскольку счетчики используются для измерения различных диапазонов – от ватт-часов до гигаватт-часов, генерируемые импульсы могут отражать различные количества энергии.

Количество энергии на импульс определяется производителем счетчика и называется константой счетчика (иногда называемой «К»).

К примеру, один счетчик может генерировать 100 импульсов на каждый измеренный киловатт-час, другой – то же количество импульсов на мегаватт-час. В любом случае, калибровочная система должна иметь возможность задания этого числа для расчета количества энергии на основе числа импульсов.

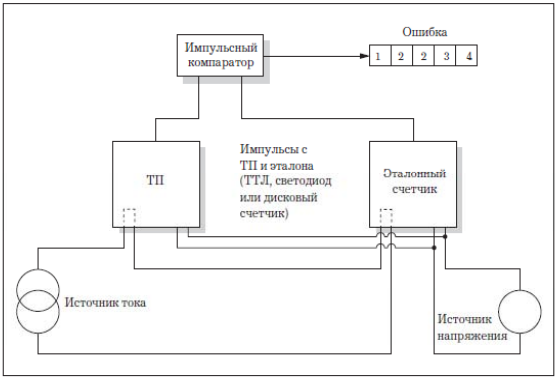

Рис. 1. Типичная схема калибровки электрического счетчика.

Методы калибровки электрических счетчиков

Калибровка обычно проводится методом сравнения с эталоном.

Известное количество энергии одновременно подается на эталонный счетчик и на тестируемый прибор (ТП). Показания эталонного и тестируемого прибора затем сравниваются, и вычисляется ошибка. Для выполнения данной задачи обычно требуется три калибровочных прибора.

1. Источник энергии (источник питания).
2. Эталонный электросчетчик.
3. Прибор для подсчета импульсов от ТП и эталонного счетчика, который затем сравнивает их и отображает значение ошибки

Блок-схема калибровки приведена на рис.1

В данной схеме 6100А используется как простой источник питания (источник тока и напряжения) без использования других функций его опции «Энергия».

Однако, эта опция 6100А позволяет пользователю выполнять калибровку без необходимости использования эталонного счетчика и/или импульсного компаратора, тем самым эффективно заменяя оба данных прибора.

Замена с помощью 6100А эталонного счетчика

Эталонный счетчик служит двум основным целям.Во -первых, он предоставляет основу для сравнения, во-вторых, измеряет реальное количество поданной энергии. То, что 6100А может измерять или рассчитывать время, означает, что прибор может сам с высокой точностью определить количество поданной энергии. Таким образом, функция эталонного счетчика становится излишней. При такой настройке компаратор все еще используется, но импульсы вместо эталонного счетчика генерирует 6100А. Для того чтобы воспроизвести константу «К» тестируемого прибора, генератор 6100А можно запрограммировать на генерацию определенного числа импульсов на единицу поданной энергии.

Эта схема калибровки показана на рис. 2.

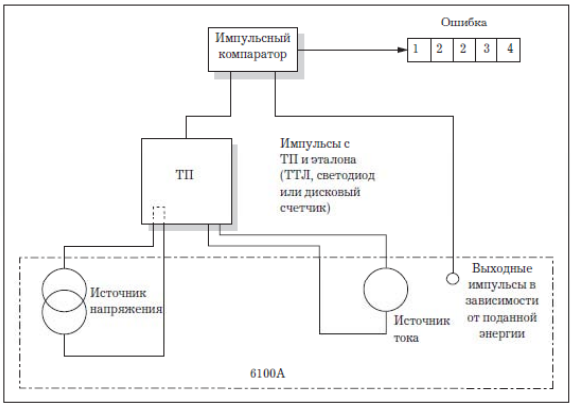

Рис. 2. Схема калибровки с использованием эталонного генератора 6100А.

Замена компаратора с помощью 6100A

Возможности 6100A принимать и сравнивать импульсные сигналы означает, что он также может выполнять все функции компаратора, тем самым делая его излишним. Схема калибровки показана на рис. 3.

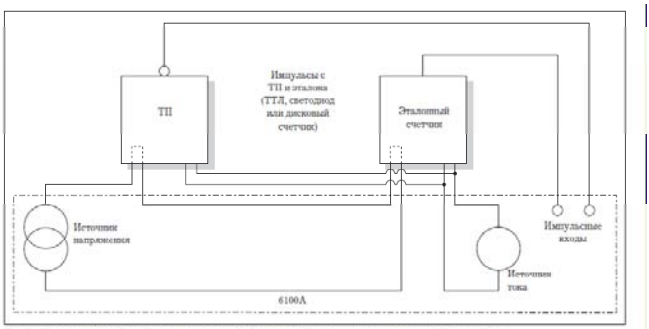

Рис. 3. Эталонный генератор 6100A исключает необходимость использования компаратора в схеме калибровки.

Замена компаратора и эталонного счетчика на 6100A

Таким образом, мы выяснили, что генератор может заменить и компаратор, и эталонный счетчик. Он также может совмещать эти функции и, следовательно, заменять все остальные необходимые приборы, тем самым позволяя проводить процесс калибровки без использования иного оборудования. Более общая схема показана на рис.4.

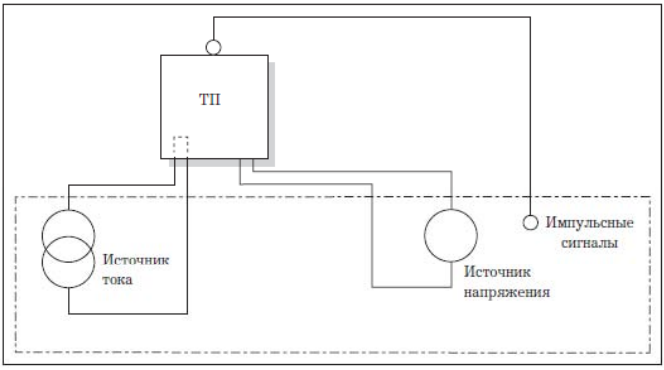

Рис. 4. Использование генератора 6100A для замены компаратора и эталонного счет-чика, а также в качестве источника напряжения и тока.

Сложные формы волны – уникальная функция 6100A

При описанных выше применениях растут требования на проведение проверки или калибровки в условиях несинусоидальных волн. Фактически, много лет существуют различные стандарты, определяющие методики испытаний счетчиков энергии, и в некоторых случаях они описывают конкретные формы волн, которые следует использовать в «типовых испытаниях» (определенных стандартом конструкции). Один из таких стандартов – это IEC 61036. Стандарты по всему миру различны, как различно и их применение и правовой статус.

Формы волн, приведенные на рис. 5, 6, 7 и 8 – это примеры форм, требуемых стандартом IEC 61036, и все они могут быть сгенерированы с помощью эталонного генератора 6100A. Полуволны, сигнал с фазовым регулированием мощности, амплитудно-модулированный сигнал, пачки импульсов могут быть сгенерированы и на канале напряжения, и на канале тока, но в обычных условиях чаще используются на последнем. Эти формы волны легко можно воспроизвести на канале тока или канале напряжения генератора 6100A.

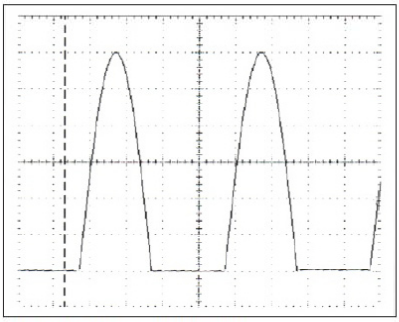

Рис. 5. Полуволновой выпрямленный сигнал.

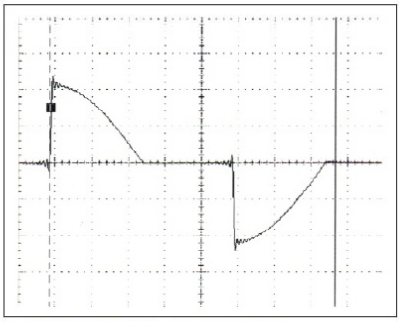

Рис 6. Сигнал с фазовым регулированием мощности

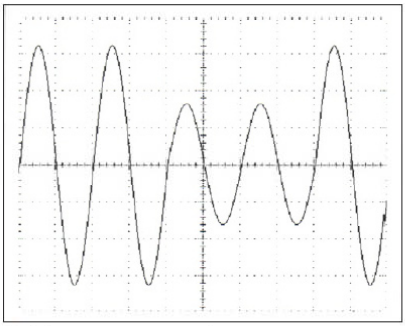

Рис. 7. Амплитудно-модулированный сигнал.

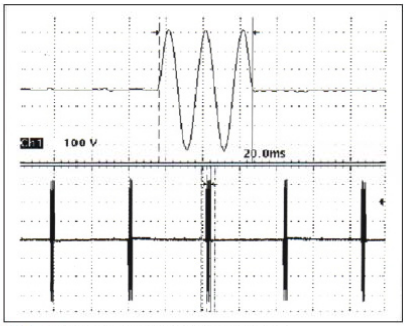

Рис 8. Падения напряжения и короткие замыкания.

Четыре режима испытаний 6100A

При использовании для испытаний, калибровки или утверждения электросчечиков, генератор 6100A может работать в одном из четырех режимов тестирования.

- Свободный режим
- Расчетный/хронированный режим
- Управляемый режим
- Режим энергетических пакетов (также называемый дозированным)

Каждый режим имеет свои выгоды в зависимости от вида проводимых испытаний.

Свободный режим

В свободном режиме 6100A не начинает считать импульсы со счетчика до тех пор, пока не включен выходной переключатель (OPER). С момента включения переключателя подсчет будет продолжаться неопределенное время до тех пор, пока переключатель не будет выключен. В этом режиме не задаются никакие константы или критерии по энергии. Этот режим особенно удобен для проведения поверки, так как позволяет быстро определить состояние счетчика. Свободный режим также полезен при проведении испытаний на ползучесть или проведении настройки счетчиков. Испытания на ползучесть представляют собой тестирование, при котором на катушки напряжения счетчика подается фиксированное напряжение, но при этом в ток в токовых катушках равен нулю. Испытание проводится в течение определенного периода времени и определяет, сколько покажет счетчик при полном отсутствии потребления энергии потребителем. Это легко выполнить с использованием базовых настроек пользовательского интерфейса 6100A, как описано в настоящем руководстве.

Расчетный/Хронированный режим

При установке расчетного/хронированного режима пользователь должен до начала работы ввести или выбрать параметры в трех панелях окна «расчетный/хронированный режим» (см. рис.9).

Сначала есть возможность определить время прогрева. Это позволяет пользователю до испытаний запустить счетчик на определенное время для того, чтобы он достиг рабочей температуры. Затем следует определить критерий длительности испытаний. Эта панель включает три элемента:

1. Тип критерия

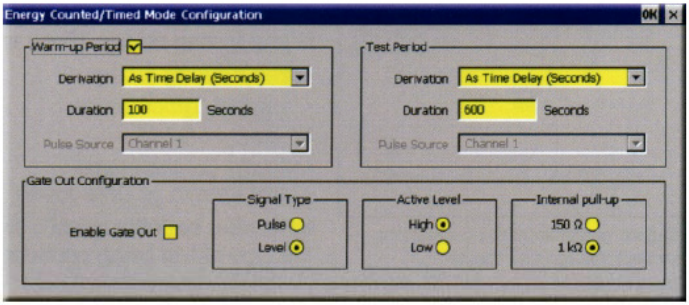

Рис. 9. Окно конфигурации расчетного/хронированного режима.

2. Период измерений
3. Источник импульсов

В выпадающем меню «Тип критерия» определяется способ, которым 6100A подает требуемую энергию. Она может быть задана по времени, количеству импульсов или количеству энергии.

«Период измерений» – это длина периода, зависящая от выбора в меню «Тип критерия». Он может быть задан как время в секундах, минутах или часах, как количество импульсов или как число ватт-часов (выраженное как ватт-часы, киловатт-часы или мегаватт-часы)

Выбрав метод подачи энергии, следует задать источник импульсов.

Этот параметр определяет канал или каналы генератора6 00A, которые будут использоваться для приема и подсчета импульсов со счетчика.

Заметим, что имея шесть входных каналов, 6100A может также использоваться для испытаний многофазных счетчиковс несколькими импульсными выходами.

И, наконец, можно включить и сконфигурировать в соответствии с запросами пользователя выход управления на задней панели 6100A. Включив управляющий выход, оператор может задать тип сигнала (как уровень заданной продолжительности или стартовый и стоповый импульсы). Также можно задать активный уровень – низкий или высокий. Затем можно задать внутреннее сопротивление нагрузочного резистора в 150 Ом или 1 кОм для соответствия внутреннему сопротивлению счетчика или системы мониторинга. Эту величину следует уточнить из руководства пользователя оборудования до его подключения к генератору 6100A.

Управляемый режим

В этом режиме пользователь имеет возможность дистанционно управлять подачей энергии и циклом подсчетов. Это достигается путем

подачи сигнала «активный» на разъем «вход/выход управления» на задней панели прибора. При выборе управляемого режима этот разъем автоматически становится входом управления. Однако до испытаний следует выбрать параметры «активного» сигнала в диалоговом окне «Управляемый режим» (см. рис. 10). В этом окне следует установить тип сигнала, активный уровень и внутреннее нагрузочное сопротивление. Подробности о том, как это осуществить, можно найти в руководстве пользователя 6100A.

После завершения данного процесса 6100A запросит у пользователя длину периода испытаний, время включения и выключения подачи энергии или подсчета импульсов с внешнего оборудования или подачи сигнала «активный» на управляющий выход. Это можно сделать с компьютера с помощью специальной программы, разработанной для задания параметров 6100A.

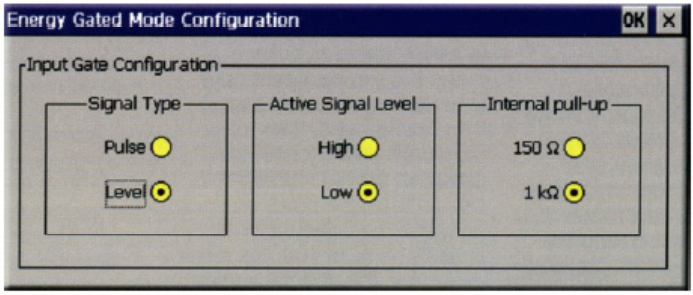

Рис. 10. Экран конфигурации управляемого режима.

Режим энергетических пакетов

В этом режиме, также называемом дозированным режимом, подаваемая с выходов прибора на испытываемый счетчик энергия привязывается к заданному значению. Данное значение может быть задано по времени, количеству импульсов или непосредственно в единицах энергии. Однако в отличие от расчетного/хронированного режима прогревочный период не предусмотрен. Это удобно для тех, кто желает избежать смещения показаний счетчика до испытаний. Смещение показаний возникает тогда, когда испытываемый и эталонный счетчик показывают больше, чем 6100A рассчитывает, во время испытаний. Данное явление нормально и отражает установочное время и время разогрева в процессе испытаний.

Однако при использховании других режимов 6100A показания счетчика, длительность испытаний и расчетные показания совпадают. В режиме энергетических пакетов смещение показаний не возникает, поскольку отсутствует период прогрева.

Как и в других режимах, до испытания следует установить параметры режима в lиалоговом окне (рис.11).

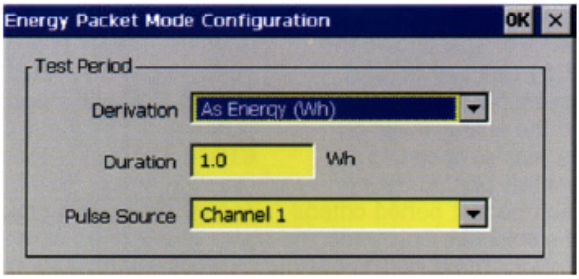

Рис. 11. Окно конфигурации режима энергетических пакетов

Пользовательский интерфейс и базовые настройки 6100A

Интерфейс опции «Энергия» генератора 6100A доступен через меню «Сигнал». Замечание: если вход осуществляется непосредственно после включения, то следует сначала нажать на клавиатуре клавишу Esc. После этого появится кнопка «Подсчет энергии». После нажатия данной кнопки пользователь должен настроить 6100A в соответствии с условиями испытания. Это можно осуществить путем нажатия кнопки «Выставить константы», которая выводит окно «Конфигурация каналов и констант» (см. рис. 12)

Первая панель «Источник сигнала» определяет, какие разъемы на передней панели будут использоваться в качестве импульсных входов. Может быть установлено множество конфигураций – от одного до шести однофазных счетчиков или одного импульсного трехфазного счетчика (выбор «сумма каналов 1, 2 и 3»). Выбрав импульсные входные каналы, пользователь должен определить эталонный счетчик. Это зависит от схемы, которую он собирается использовать для испытаний (как показано на рис. 2, 3 и 4). Если выбран внутренний эталон (рис. 4), то следует выбрать кнопку «Главный выход». Если же в качестве эталона используется внешний одно-или трехфазный счетчик, то следует выбрать одну из остальных пяти кнопок в соответствии с используемой схемой испы-

тания. Два таких примера приведены на рис. 1 и 3. Выпадающее меню «Базовые константы счетчика» позволяет пользователю выбрать одну из трех базовых единиц счетчика, в зависимости от того, какой счетчик используется – ватт-часы (реальная мощность), ВА-часы (кажущаяся мощность) и ВАР-часы (реактивная мощность). Выбрав эти параметры, следует задать константы счетчика для испытываемого и эталонного (если используется) счетчиков и для импульсного выхода генератора 6100A. Для испытываемого и эталонного счетчиков эти параметры следует вводить в соответствии с их документацией. Для панели «Константы (выход)» значение должно устанавливаться в соответствии с эффективной константой счетчика для разъема импульсного выхода. При проведении испытания счетчика на этот выход выдается поток импульсов, отражающий общую мощность, подаваемую на все активные выходы всех приборов 6100A/6101A в системе. Также пользователь может выбрать величину нагрузочных резисторов для импульсных входов. Это особенно полезно для счетчиков, оборудованных выходами с открытым коллектором. С каждой константой счетчика связан отдельный нагрузочный резистор. Для испытываемого и эталонного счетчиков он может быть выбран в 150 Ом или 1 кОм. Внутренний нагрузочный резистор также предусмотрен для импульсного выхода счетчика энергии главного выхода. Его можно включить и отключить с помощью кнопки «Использовать внутреннюю нагрузку».

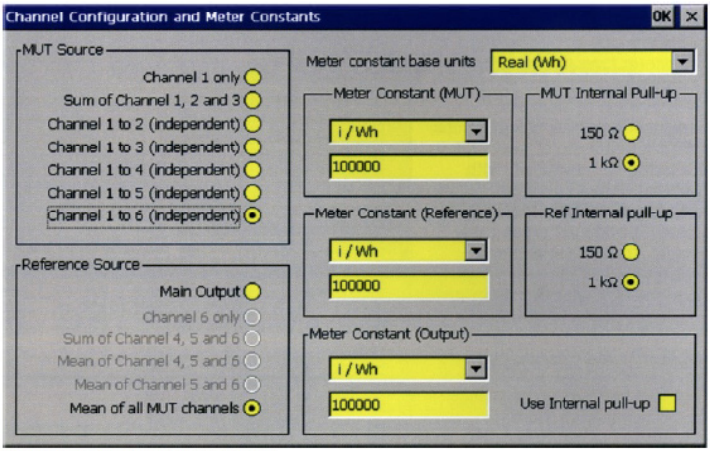

Рис. 12. Окно конфигурации каналов и констант.

Базовая настройка завершена. Тепрь пользователь может выбрать требуемую комбинацию для L1 (L2 или L3 при использовании двух-, трех-

или четырехфазной системы) с помощью меню выходов 6100A. Прибор готов к испытаниям. Для начала испытаний пользователь просто нажимает зеленую кнопку OPER – если прибор не находится в управляемом режиме, в котором кнопку OPER следует нажать для того, чтобы прибор начал распознавать сигнал с управляющего входа. Типичное окно меню выходов при проведении полных испытаний изображено на рис. 13.

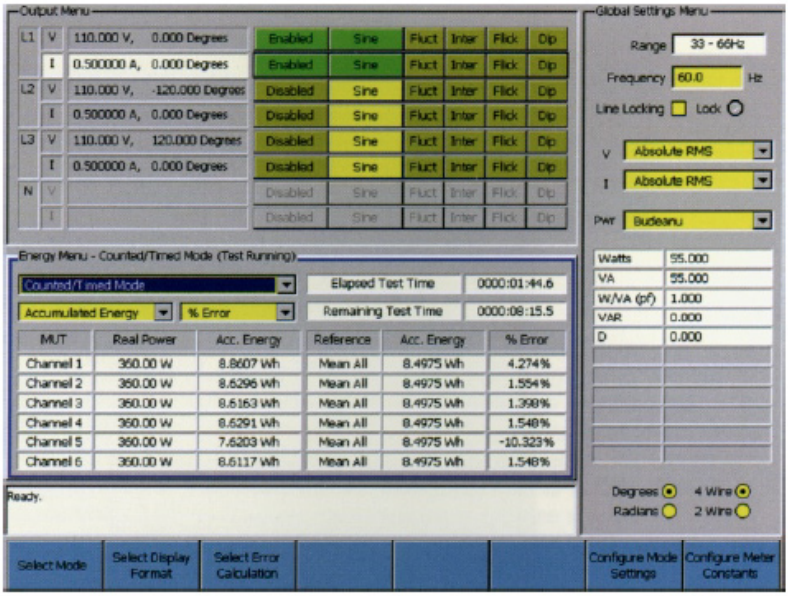

Рис. 13. Окно статуса выходов 6100A.

Здесь следует отметить, что 6100A может использоваться только с приборами, которые имеют вспомогательный вход для питания их цепей. Задача генератора 6100A – точно выдавать выходной сигнал заданного уровня и формы для широкого спектра нагрузок.

Генератор 6100A не может сохранить свою точность, если нагружен краткосрочными поцикловыми колебаниями тока, требуемыми источником питания испытываемого счетчика.

Типичные применения 6100A при испытании электросчетчиков

Испытания счетчиков обычно попадают в одну из трех категорий:

- Испытания/калибровка при эксплуатации

- Промышленные испытания
- Типовые испытания/сертификация

Испытания при эксплуатации

Такие испытания проводятся, когда для уже эксплуатируемого счетчика подходит срок испытания/поверки. Данный режим различен в зависимости от страны, однако в большинстве стран счетчики тестируются пакетом, по несколько штук в метрологической лаборатории. Наиболее часто законодательство предписывает ежегодную поверку. Поэтому в таких странах обычно существует множество метрологических лабораторий. Очевидно, что испытание такого большого количества счетчиков за год требует широкомасштабного пакетного тестирования. Чтобы этого избежать, счетчики испытывают большими массивами с множеством датчиков. Небольшие массивы могут испытывать десять счетчиков одновременно. В некоторых странах это число может доходить до ста и более. Такой метод испытаний имеет множество преимуществ – и не в последнюю очередь то, что одновременно можно испытывать большое число счетчиков.

Однако есть и недостатки. Основной из них – это то, что для таких испытаний требуется большое количество энергии. Необходимая мощность выходит за пределы возможностей 6100A и его систем. Тем не менее, таким лабораториям нередко приходится сталкиваться с заказами на «специальные» испытания. Этот тип испытаний используется для счетчиков, которые по каким-то причинам не могут испытываться в массивах. Этими причинами может быть физический размер, уникальные требования к окружающей среде или просто несовместимость. Для таких задач генератор 6100A идеален. Требования к энергии здесь значительно меньше, а количества входных каналов легко хватает для проведения испытаний даже у одного генератора 6100A.

Типовые и промышленные испытания/ сертификация

Производители счетчиков используют системы 6100A для типовых испытаний и задач сертификации в их собственных инженерных центрах и группах разработки. С появлением множества новых и разнообразных стандартов, различных в зависимости от страны, по всему миру 6100A признают единственным универсальным решением, которое может удовлетворять всем их требованиям и испытать счетчик в соответствии с

ними. Более того, он может сделать это с высочайшей точностью и соответствием национальным стандартам.

К производителям электросчетчиков эта новая философия типовых испытаний и сертификации пришла от их потребителей – предприятий коммунального обслуживания (а также других операторов) и регулирующих агентств, связанных с ними.

Сейчас все эти организации используют 6100A для испытания их электросчетчиков перед вводом в эксплуатацию и для поверки их перед установкой на новом месте.

Те же компании также используют 6100A для поверки существующих счетчиков в полевых условиях, особенно в случаях возникновения споров.

Среди других применений в области «типовых испытаний» по всему миру большинство пользователей выделяют генератор 6100A как средство разработки, проверки и калибровки счетчиков для типовых испытаний и сертификации. Во многих странах соответствие стандартам стало законодательным требованием.

В Европе производители счетчиков, коммунальные компании и регулирующие агентства подчиняются требованиям стандарта IEC 61036. В других странах мира существуют аналогичные стандарты, диктующие нормы производства и применения счетчиковэлектроэнергии.

ООО Флюк СиАйЭс
Тел.: (495) 664-75-12
info@fluke.ru

Обзор инновационных разработок ОАО «Электроприбор» для контроля качества электроэнергии и коммерческого учета

А.В. Долженков
технический директор
ОАО «Электроприбор»

Качество электроэнергии (КЭ) является одним из важнейших факторов надежной, безопасной и длительной эксплуатации современных приборов и электроустановок, применяемых в различных отраслях промышленности и энергетики. Регулярный контроль КЭ на предприятиях электрических сетей, электростанциях и подстанциях позволяет получать полную оперативную информацию о состоянии электрической сети, а также используемой электроэнергии. Анализ измерений показателей КЭ в контрольных точках сетей различных энергосистем в России показывает, что поставляемая потребителям энергия не всегда соответствует установленным нормам. Ущерб, вызванный вследствие ухудшения КЭ несут как потребители, так и энергосистема в целом:

- снижается эффективность процессов генерации, передачи и потребления электроэнергии за счет увеличения потерь в элементах сети;
- уменьшается срок службы электрооборудования, выход из строя устройств РЗА и связи из-за нарушений нормальных режимов работы;
- порча технологического оборудования и дорогостоящего сырья из-за прерывания электроснабжения;
- ухудшение качества продукции в результате низкого качества производимых технологических операций.

Поиск причин показал, что часто ухудшение КЭ является следствием низкого технического состояния линий электропередач и трансформаторных подстанций. Потребитель, проведший в установленном порядке экспертизу КЭ, вправе требовать возмещения ущербов, вызванных низким качеством поставляемой электрической энергии.

Однако, участникам рынка (поставщикам электроэнергии и ее потребителям) фиксации фактов нарушений недостаточно, поэтому основным вектором развития систем анализа ПКЭ в ближайшие годы станет переход от простой фиксации нарушений к определению конкретных виновников и их фактического вклада в нарушения, т.к. зачастую делают виноватым поставщика энергии, хотя может быть виноват и потребитель.

В качестве устройств, выполняющих функции регистрации параметров КЭ и полного набора гармонических характеристик тока и напряжения являются приборы-анализаторы ПКЭ, устанавливающиеся на каждый ввод и каждый фидер электрической подстанции.

Для непрерывного мониторинга состояния электросетей необходима установка недорогих приборов, которые возможно с легкостью установить в любую точку энергосистемы.

Основные требования к таким приборам – доступность, обеспечение измерения и контроля показателей КЭ в соответствии с актуальной нормативной базой, синхронное проведение измерений, легкая интеграция в существующие и разрабатываемые системы предприятия или энергообъекта.

Отечественный производитель полной гаммы щитовых аналоговых и цифровых электроизмерительных приборов ОАО «Электроприбор» (г. Чебоксары) для решения существующих проблем КЭ предлагает новое качественное решение – линейку приборов контроля КЭ, позволяющих без существенных затрат организовать постоянный контроль КЭ.

Решение: системы анализа ПКЭ стали доступными!

Приоритетным направлением разработки ОАО «Электроприбор» (г. Чебоксары) совместно с ЗАО «ИТЦ Континуум» (г. Ярославль) является разработка линейки приборов контроля КЭ и коммерческого учета. Это инновационные разработки, не имеющие полных аналогов в России. Линейка приборов базируется на измерении всех электрических параметров традиционных подстанций, включая измерение и контроль параметров КЭ и технический учет. В более сложных устройствах, помимо вышеописанного функционала, реализована возможность коммерческого учета электроэнергии, что позволяет в одном приборе измерять все электроэнергетические параметры взамен установки целого ряда приборов равнозначного функционала.

1. Приборы контроля КЭ серии ЩМК

Приборы ЩМК96, ЩМК120С, ЩМК120СП способны проводить измерения всех электроэнергетических параметров в точке подключения, осуществлять технический учет электроэнергии и производить расчет параметров КЭ в соответствии с требованиями актуальной норматив-

ной базы по классу А в соответствии с ГОСТ 30804.4.30-2013. В приборах ЩМК120С и ЩМК120СП дополнительно реализована возможность восьмитарифного коммерческого учета электроэнергии по ГОСТ 31819.22-2012 (класс 0,2S), ГОСТ 31819.23-2012 (класс 1). Приборы соответствуют всем требованиям, предъявляемым к счетчикам коммерческого учета.

Ключевые преимущества приборов серии ЩМК:

1) многофункциональность;

2) легкий монтаж в щит (ЩМК96, ЩМК120С) или на панель (ЩМК120СП) (габаритные размеры ЩМК96 - 96х96 мм, ЩМК120С – 120х120 мм, ЩМК120СП – 173х290х88 мм);

3) снижение эксплуатационных затрат за счет многофункциональности прибора и большого межповерочного интервала:

• межповерочный интервал: 10 лет (ЩМК96, ЩМК120С), 12 лет (ЩМК120СП);

• на обслуживании находится только 1 прибор;

• удобство калибровки и поверки из-за единообразия оборудования;

• упрощение проектирования и монтажа за счет сокращения количества и номенклатуры применяемого оборудования, сокращение количества приборов в обменном фонде;

4) в приборах реализованы инновационные решения:

• резервирование питания;

• резервирование передачи информации по интерфейсам RS485 и Ethernet;

• реализованы наиболее распространенные протоколы синхронизации: NTP и PTP. При использовании протокола PTP точность синхронизации позволяет использовать измеренные данные для определения источников возмущений, виновников нарушений норм параметров КЭ и их фактического вклада.

• поддержка интерфейсов: Ethernet (МЭК 60870-5-104, МЭК 61850-8-1), RS485 (Modbus RTU, МЭК 60870-5-101), оптический интерфейс «оптопорт» (МЭК 61107), импульсный выходной интерфейс.

2. Приборы контроля КЭ серии МПК

Переносные приборы МПК1 предназначены для измерения показателей КЭ по току и напряжению в трехфазных сетях и системах переменного тока, МПК2 - для измерения показателей КЭ по напряжению: в точках установки средств измерений показателей КЭ подстанций, систем мониторинга и управления показателями КЭ, с сохранением результатов измерений по заданным алгоритмам в интервалах времени, отсчитываемых внутренними часами реального астрономического времени.

Ключевые преимущества приборов серии МПК:

- измерение параметров КЭ в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30-2013 (класс А), ГОСТ 30804.4.7-2013, ГОСТ 32144-2013г., ГОСТ Р 51317.4.15-2012, ГОСТ Р 8.655-2009, ГОСТ 29322-2014, ГОСТ 29322-2014, ГОСТ 31819.23-2012, ГОСТ 31819.22-2012;
- поддержка интерфейсов: Ethernet (МЭК 60870-5-104, МЭК 61850-8-1), RS485 (Modbus RTU, МЭК 60870-5-101);
- синхронизация времени: NTP (RFC 5905), PTP (IEEE 1588);
- встроенный web-сервер для удаленного доступа к данным и конфигурирования параметров;
- межповерочный интервал - 10 лет.

3. Цифровые электроизмерительные приборы ЩП120

В 2017 году ОАО «Электроприбор» проведена работа по модернизации наиболее популярного цифрового прибора переменного тока и напряжения ЩП120. Модернизация коснулась как технических, так и их потребительских характеристик прибора, существенно расширились программные и функциональные возможности.

Прибор осуществляет контроль параметров КЭ:

- отклонение частоты;
- длительность провала напряжения;
- глубина провала напряжения;
- длительность прерывания напряжения;

• длительность временного перенапряжения;
• измерение гармонических составляющих.

Хранение измеряемых параметров показателей КЭ осуществляется на внешнем персональном компьютере через программное обеспечение «Конфигуратор».

Прибор ЩП120 возможно объединить в единую информационную сеть с другими средствами измерения для передачи информации на верхний уровень по интерфейсу RS485. Поддерживаемые протоколы обмена данными - Modbus RTU, МЭК 60870-5-101.

В виде опций можно заказать: дополнительный интерфейс RS485, до 2-х аналоговых выходов, до 2-х дискретных выходов. Это позволяет более гибко использовать приборы для считывания и передачи измеренной информации в системах телемеханики и АСУ ТП, облегчает сопряжение с распространенными в АСУ ТП энергообъектов SCADA-системами. Межповерочный интервал прибора – 10 лет.

4. Многофункциональный преобразователь Е900ЭЛ

В 2017 году на ОАО «Электроприбор» проведена полная модернизация хорошо знакомого потребителям многофункционального преобразователя Е900ЭЛ, начиная от дизайна и заканчивая функциональными характеристиками и схемотехническими решениями. Преобразователи предназначены для измерения и преобразования электрических параметров в трехфазных трехпроводных и трехфазных четырехпроводных электрических сетях переменного тока в унифицированные выходные сигналы постоянного тока и последовательность цифровых сигналов для передачи по интерфейсам RS485 (Modbus RTU, МЭК 60870-5-101), Ethernet (Modbus TCP, МЭК 60870-5-104).

Преобразователь осуществляет измерение и контроль следующих параметров КЭ:

• отклонение частоты;
• длительность провала напряжения;
• глубина провала напряжения;

• длительность прерывания напряжения;
• длительность временного перенапряжения;
• измерение гармонических составляющих.

Ключевые преимущества Е900ЭЛ:

• многофункциональность;
• увеличенный до 11 лет межповерочный интервал;
• возможность объединения преобразователей в единую сеть с другими средствами измерения и передачи информации посредством линий с интерфейсами RS485 и Ethernet (дополнительно учтена возможность резервирования передачи в случае заказа модификаций с 2 интерфейсами RS485 и Ethernet);
• наличие до 3-х перепрограммируемых выходных унифицированных сигналов постоянного тока позволяет использовать данные преобразователи на объектах энергетики в автоматизированных системах (телемеханики, системах сбора и передачи информации, автоматизированных системах управления технологическими процессами) различного года создания;
• возможность отображения на внешней индикации наиболее значимых для контроля параметров.

5. Прибор контроля КЭ на DIN-рейку «ПРОТЕКТ»

ОАО «Электроприбор» разрабатывает новый прибор для контроля параметров КЭ для монтажа на DIN-рейку – «ПРОТЕКТ». Это бюджетная версия прибора для контроля параметров КЭ.

Ключевые преимущества прибора «ПРОТЕКТ»:

• связь с компьютером по USB и наглядное представление в виде графиков всех параметров, регламентируемых стандартом для устройств;
• архивирование данных на SD-карту для удаленного анализа (демонтаж прибора и удаленное подключение к устройству в этом случае не требуются);

- автономная работа от аккумулятора до 24 часов;
- простое подключение: питание прибора от измерительной сети;
- демократичная цена.

Выводы:

Таким образом, ОАО «Электроприбор» (г. Чебоксары), благодаря многолетнему опыту разработки и производства электроизмерительных приборов, готово предложить своим потребителям широкую линейку приборов для измерения электрических параметров, контроля КЭ и коммерческого учета, полностью отвечающих потребностям рынка и запросам потребителей по функционалу, надежности и доступности для массового оснащения объектов энергетики, промышленных, металлургических и нефтегазовых предприятий.

Применение приборов контроля КЭ и коммерческого учета производства ОАО «Электроприбор» позволит оперативно выявлять и устранять все существующие отклонения показателей качества от нормативного значения, что является важным с точки зрения энергоэффективности и энергобезопасности любого предприятия, поскольку это позволит предотвратить снижение объемов производства продукции и выход из строя дорогостоящего оборудования, вызванного прерыванием электроснабжения.

Мы движемся в ногу со временем и готовы к дальнейшей реализации планов инновационного развития, а также предложений от наших потребителей!

Модернизация установок для поверки счетчиков электрической энергии АО «Энергомера»

В.Ю. Петренас, Р.Е. Федоров,
ООО «КИЭП «Энергомера»

Наше предприятие в течение длительного времени выпускает средства поверки средств измерений электрической мощности и энергии, в том числе - установки для поверки счетчиков электрической энергии.

Для оснащения ранее выпущенных и вновь изготавливаемых установок для поверки счетчиков созданы следующие изделия:

- изолирующий трансформатор тока - трансформатор тока гальванической развязки ТТГР-МА (в дальнейшем - ТТГР-МА);
- комплект ТТ 100 А для установок ЦУ6804М, МК6801;
- комплект СЕ603М для ЦУ6800;
- универсальное фотосчитывающее устройство (в дальнейшем - УФСУ) для установок и портативных приборов.

Выполнены работы по модернизации малогабаритной установки ЦУ6804М - созданы модификации ЦУ6804МНС1, МНС2.

Выполняются работы по созданию многоместной установки СУ201М в развитие существующей установки СУ201.

1. ТТГР-МА

1.1 ТТГР-МА (рис. 1) предназначены для изоляции последовательных цепей однофазных и трехфазных счетчиков электрической энергии от цепей тока поверочных установок при поверке и калибровке счетчиков. Применяются в составе установок или совместно с установками.

1.2 ТТГР-МА выполнен по схеме активного трансформатора тока, обеспечивающей компенсацию токовой и угловой погрешностей. Конструктивно ТТГР-МА содержит проходное отверстие для создания первичной и вторичной обмоток. Количество витков вторичной обмотки, для которых нормируются токовая и угловая погрешности, может быть 1 или 2 (w_2). Количество витков первичной обмотки может быть от 1 до 12 (w_1). Номинальный коэффициент трансформации равен $n=w_2/w_1$.

1.3 Метрологические характеристики ТТГР-МА представлены в таблице 1.1, основные технические характеристики - в таблице 1.2.

Таблица 1.1

Метрологические характеристики ТТГР-МА

Номинальное значение, А		Диапазон первичного тока, А	Пределы допускаемых значений погрешностей при количестве витков внешней вторичной обмотки, равном			
			1		2	
первичного тока	вторичного тока		относительная токовая погрешность, %	абсолютная угловая погрешность,´ (угловых минут)	относительная токовая погрешность, %	абсолютная угловая погрешность,´ (угловых минут)
100n*	100	От 0,01n до 0,05n	±0,080	±4,8	±0,042	±2,6
		От 0,05n до 0,20n	±0,040	±2,4	±0,020	±1,2
		От 0,20n до 120n включ.	±0,020	±1,2	±0,010	±0,6
* $n=w_2/w_1$ - номинальный коэффициент трансформации						

Рис. 1. Общий вид ТТГР-МА

Таблица 1.2

Основные технические характеристики ТТГР-МА

Наименование характеристики	Значение
Номинальное значение первичного тока $I_{н1}$, А	определяется формулой $I_{н1}=100 \cdot n$
Номинальное значение вторичного тока, А	100
Диапазон изменения первичного тока, А	От 0,01·n до 120·n
Верхний предел сопротивления вторичной нагрузки, Ом, при количестве витков вторичной обмотки w_2, равном 1, при первичном токе, А: - от 0,01·n до 2·n - от 2·n до 10·n - от 10·n до 100·n - от 100·n до 120·n	 0,020 0,010 0,005 0,004
Верхний предел сопротивления вторичной нагрузки, Ом, при количестве витков вторичной обмотки w_2, равном 2, при первичном токе, А: - от 0,01·n до 2·n - от 2·n до 10·n - от 10·n до 100·n - от 100·n до 120·n	 0,028 0,014 0,007 0,005
Нормальная область значений частот, Гц	от 45 до 66
Мощность, потребляемая от сети питания 230 В, 50 Гц, В·А, не более	20
Габаритные размеры (ширина х длина х высота) без обмоток, мм, не более	180 х 270 х 95
Масса, кг, не более	5,5

1.4 Отличительной особенностью ТТГР-МА, по сравнению с изделиями других производителей, является более широкий диапазон тока. Минимальное значение силы тока, для которой нормируются погрешности, равно 0,01 А при номинальном значении коэффициента трансформации, равном 1. При других значениях коэффициента трансформации n, минимальное значение силы первичного тока, для которой нормируются погрешности, равно 0,01·n.

1.5 ТТГР-МА обеспечивает возможность повышения, с нормируемыми погрешностями, силы первичного тока в количество раз, равное обратному значению номинального коэффициента трансформации.

1.6 Мощность нагрузки ТТГР-МА составляет 57 В·А при количестве витков вторичной обмотки, равном 1, и составляет 72 В·А при количестве витков вторичной обмотки, равном 2.

1.7 Лабораторные исследования ТТГР-МА при задании высших гармоник до 40-го порядка показывают токовые погрешности не более десятых долей процента, угловые погрешности не более десятых долей градуса для гармоник 30-го и выше порядков.

1.8 Регистрационный номер ТТГР-МА в Государственном реестре средств измерений №66392-17.

1.9 Подробная информация об изделии приведена на сайте Концерна «Энергомера» по адресу http://www.energomera.ru/ru/products/metrology/ttgr-ma .

Примечание. Разработано и сертифицировано и исполнение изолирующего трансформатор тока, выполненного на основе пассивного трансформатора тока с номинальным значением коэффициента трансформации, равным 1 - ТТГР-М100/100. Информация об этом изделии размещена по адресу http://www.energomera.ru/ru/products/metrology/ttgr-m100.

2. Комплект ТТ 100 А для установок ЦУ6804М, МК6801

2.1 Комплект ТТ 100 А для установок ЦУ6804М, МК6801 (далее - комплект ТТ) предназначен для применения совместно с установками для поверки счетчиков электрической энергии ЦУ6804М (любого исполнения) и МК6801. Комплект ТТ создан на основе изделия ТТГР-МА, описанного в разделе 1.

2.2 Комплект ТТ обеспечивает возможность поверки на установках ЦУ6804М и МК6801 счетчиков при токе силой до 100 А. Для этого ТТГР-МА осуществляют повышение в 10 раз силы выходного тока источника «фиктивной» мощности.

2.3 Для поверки, с помощью установок ЦУ6804М и МК6801, счетчиков при силе тока до 60 А, рассматривается возможность применения 2-х комплектов ТТ. При этом будет возможна одновременная поверка 2-х счетчиков (в том числе, на шунтах).

2.4 Общий вид комплекта ТТ, размещенного на установке ЦУ6804МС, представлен на рис. 2.

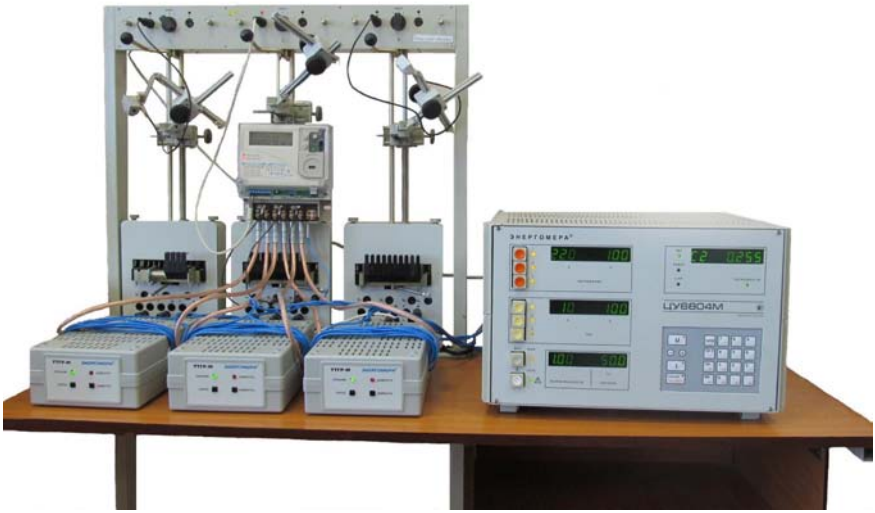

Рис. 2. Общий вид комплекта ТТ, размещенного на установке ЦУ6804МС

2.5 Схемы подключения комплекта ТТ к установкам приведены в эксплуатационной документации на ТТГР-МА и эксплуатационной документации на комплект ТТ.

Монтаж комплекта ТТ на установках не требует применения инструмента и выполнения доработки конструкции.

2.6 Применение комплекта ТТ совместно с установками ЦУ6804М и МК6801 делает эти установки универсальными. Обеспечивается возможность поверки как трансформаторных счетчиков классов точности от 0,2S и менее точных в диапазоне тока от 0,01 до 10 А, так и счетчиков непосредственного подключения (в том числе, выполненных на шунтах) классов точности 0,5S и менее точных в диапазоне тока от 0,1 до 100 А.

Примечание. При появлении спроса возможно создание комплекта ТТ для установок ЦУ6800. При этом будет обеспечена возможность групповой поверки трехфазных счетчиков, датчики тока которых выполнены на шунтах, в диапазоне тока до 120 А.

3. Комплект СЕ603М для ЦУ6800

3.1 В странах СНГ в большом количестве, для регулировки и поверки счетчиков электрической энергии, применяются ранее выпущенные установки ЦУ6800. Общее количество выпущенных установок превышает 1,5 тыс. шт.

3.2 В 2013 г. проведена модернизация установки для регулировки и поверки счетчиков электрической энергии ЦУ6800. При этом сертифицирована, в том числе, модификация (исполнение) ЦУ6800М.

3.3 В качестве эталонного счетчика в модификации (исполнении) ЦУ6800М применен ваттметр-счетчик эталонный многофункциональный СЕ603М, регистрационный номер ваттметра-счетчика в Государственном реестре средств измерений - № 51848-12. Погрешность примененной модификации ваттметра-счетчика СЕ603М-0,05-120 или СЕ603МТ-0,05-120 в режимах измерений напряжения, силы тока, активной мощности составляет ±0,05 % в диапазоне тока до 120 А.

Эталонным счетчиком установок ЦУ6800 других модификаций (не ЦУ6800М) является прибор ЦЭ6806 с основной погрешностью от ±0,1 или от ±0,2 %.

Подробная информация о ваттметре-счетчике СЕ603М приведена по адресу http://www.energomera.ru/ru/products/metrology/ce603m.

3.4 На установках модификаций ЦУ6800М возможна поверка и калибровка счетчиков электрической энергии классов точности 0,2S и менее точных.

3.5 В отличие от установок предшествующих модификаций, установки модификаций ЦУ6800М обеспечивают возможность поверки счетчиков реактивной энергии, измеряющих реактивную энергию следующими методами: геометрический метод, метод сдвига на 1/4 периода, метод сдвига интегрированием сигнала напряжения, по реактивной мощности основной гармоники, а также - метод перекрестного включения.

3.6 Дополнительные возможности, обеспечиваемые эталонным ваттметром-счетчиком СЕ603М - полный контроль параметров сигналов, подаваемых на калибруемые или поверяемые счетчики.

3.7 Преобразование установок предшествующих модификаций в установки модификации ЦУ6800М осуществляется размещением между пультом установки и ближайшим стендом стойки с эталонным счетчиком и блоком соединений, представленных на рис. 3. Блок соединений содержит кабели для подключения к составным частям установки. Подключение вновь вводимых составных частей не требует применения инструмента и доработки конструкции.

3.8 Регистрационный номер установки ЦУ6800 в Государственном реестре средств измерений № 11863-13. В настоящее время проводит-

Рис. 3. Общий вид комплекта СЕ603М для ЦУ6800

ся работа по продлению срока действия свидетельства об утверждении типа.

3.9 При необходимости поверки на установке ЦУ6800 или ЦУ6800М трехфазных счетчиков на шунтах, возможно применение ТТГР-МА или применение комплекта ТТ для установок ЦУ6800. См. примечание к п. 2.5.

4. Универсальное фотосчитывающее устройство

4.1 УФСУ предназначено для контроля частоты мерцания светодиодов электронных счетчиков или частоты вращения дисков индукционных счетчиков при совместной работе с портативными приборами, эталонными счетчиками и установками для поверки счетчиков.

4.2 Общий вид УФСУ представлен на рис. 4.

4.3 При контроле частоты вращения дисков индукционных счетчиков установка порога срабатывания УФСУ, в зависимости от условий, производится с помощью потенциометра. При этом метки и дефекты диска шириной менее 1 см устройством не фиксируются.

4.4 При контроле частоты мерцания светодиодов электронных счетчиков регулировка порога срабатывания УФСУ не требуется. Устройство

Рис. 4. Общий вид универсального фотосчитывающего устройства

фиксирует перепады освещенности в моменты включения и выключения светодиода счетчика.

4.5 В комплект поставки УФСУ входит устройство крепления и кабель для подключения к прибору.

5. Модернизация стендов установок ЦУ6804М

5.1 Одновременно с работами по созданию новых установок проведена модернизация установок ЦУ6804М. Созданы модификации ЦУ6804МНС1, ЦУ6804МНС2.

5.2 Отличие вновь созданных модификаций от существующих заключается в конструкции стенда. Стенд новых модификаций состоит из 2-х частей: собственно стенд на 3 поверочных места и стойка для размещения базового блока. Общий вид опытного образца стенда и стойки установки модификации ЦУ6804МНС2 представлен на рис. 5.

Контактирующие устройства стенда установок модификаций ЦУ6804МНС2 выполнены на основе вертикальных контактов, стендов установок модификаций ЦУ6804МНС1 - на основе горизонтальных контактов, аналогичных выпускаемым до настоящего времени.

Кроме того, с целью обеспечения возможности поверки электронных счетчиков при отсутствии электронного испытательного выходно-

го устройства (импульсный выход), стенды оснащены универсальным фотосчитывающими устройствами. Механизм отвода фотосчитывающих устройств от передних панелей счетчиков является групповым. Отвод фотосчитывающих устройств выполняется одновременно одним рычагом.

Рис. 5. Общий вид опытного образца стенда и стойки установки ЦУ6804М модификации ЦУ6804МНС2

5.3 Размещение базового блока установок модификаций ЦУ6804МНС1, ЦУ6804МНС2 возможно как справа от стенда, так и слева.

6. Многоместные установки СУ201 и СУ201М

6.1 В настоящее время калибровка и поверка выпускаемых АО «Энергомера» трехфазных счетчиков и части многофункциональных однофазных счетчиков выполняется на установках СУ201.

6.2 В связи с повышением требований к установке проводится создание установки СУ201М.

Основные отличия установок СУ201М от установок СУ201 заключаются в следующем:

• созданы универсальные исполнения, содержащие активные изолирующие трансформаторы тока, обеспечивающие возможность поверки как трансформаторных счетчиков с номинальным током 5 А, так и счетчиков непосредственного подключения (в том числе - с датчиками тока, выполненными на шунтах) при токах до 120 А. Класс точности указанных видов счетчиков - 0,2S и менее точные. Класс точности поверяемых, на установках универсального исполнения, трансформаторных счетчиков с номинальным током 1 А - 0,5S;

• существуют исполнения, не содержащие изолирующие трансформаторы тока, предназначенные для поверки счетчиков с изолированными друг от друга цепями напряжения и тока (с датчиками тока на основе трансформаторов тока). Класс точности таких поверяемых счетчиков - 0,2S и менее точные;

• для того, чтобы компенсировать небольшую потерю точности установки (за счет применения изолирующих трансформаторов тока с токовой погрешностью от ±0,01 % и с угловой погрешностью от ±0,6´ (угл. мин.)), применен эталонный счетчик более высокой точности (с погрешностью от ±0,03 %).

6.3 Общий вид установки СУ201М, оснащенной активным изолирующими трансформаторами тока приведен на рис. 6.

Рис. 6. Общий вид установки СУ201М с 6-тью поверочными местами, оснащенной активными изолирующими трансформаторами тока

6.4 Регистрационный номер установки СУ201 в Государственном реестре средств измерений № 37901-14.

Сертификацию установки СУ201М планируется выполнить в 3-4 кв. 2018 г.

6.5 Подробная информация об установке СУ201 приведена по адресу http://www.energomera.ru/ru/products/metrology/su201.

Сведения об авторах

Петренас В.Ю.,
главный конструктор метрологического оборудования
ООО «КИЭП «Энергомера»
E-mail: PetrenasVY@energomera.ru

Федоров Р.Е.,
зам. начальника КБ метрологического оборудования
ООО «КИЭП «Энергомера»
E-mail: FedorovRE@energomera.ru

357113, г. Невинномысск Ставропольского края,
ул. Гагарина, 217,
Тел.: (86554) 5-52-97, доб. 10-67

Материалы конференции

4–7 июня 2018

Санкт-Петербург