

УДК 621.31:64.011.23

С.Ж.Мурзаханова

*Карагандинский государственный технический университет
(E-mail: mjsamal@mail.ru)*

Контроль качества электроэнергии

В статье дано понятие качества электроэнергии (ЭЭ), приведены основные показатели её качества. Кратко рассмотрены существующие стандарты по контролю качества ЭЭ, к которым относится и Межгосударственный стандарт, используемый в Казахстане. Перечислены основные показатели качества ЭЭ, соответствующие Межгосударственному стандарту. Приведены основные отличия между старым и новым стандартами. Для определения данных параметров реализуются различные средства измерения согласно стандарту. В статье дана выполняющая основные задачи измерения структурная схема средства измерения, показателей качества электроэнергии, к которым относятся: обнаружение помех и их оценка; регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов; оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на соответствие установленным требованиям; определение источника помех; проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии.

Ключевые слова: электрическая энергия, качество электроэнергии, Межгосударственный стандарт, показатели качества электроэнергии, предельно допустимые значения, средства измерения ПКЭ.

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество.

Понятие «качество электрической энергии» отличается от понятия качества других товаров. Качество электроэнергии проявляется не непосредственно, а через качество работы электрических приемников.

Качество электрической энергии — степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. В свою очередь, параметр электрической энергии — величина, количественно характеризующая какое-либо свойство электрической энергии. Под параметрами электрической энергии понимают напряжение, частоту, форму кривой электрического тока. Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду [1].

К примеру, в России показатели и нормы качества электрической энергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трёхфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети или электроустановки потребителей, устанавливаются Межгосударственным стандартом ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (от 22 июля 2013 г. N 400-ст). Аналог данного стандарта был введен еще 1999 г. Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации, в котором принимал участие и Казахстан.

Кроме того, в 2014 г. в Минске был принят Межгосударственный стандарт «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Этот стандарт был принят Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС), который представляет

собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств [2].

Основные отличия стандартов, используемых в наших странах, в частности стандарта ГОСТа Р 54149–2010, от европейского стандарта EN 50160: 2010 состоят в требованиях к ряду ПКЭ: в EN 50160 отсутствуют предельно допускаемые значения для части показателей КЭ (качество электроэнергии), важный для наших сетей показатель — коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, введены менее жесткие по сравнению с ГОСТом Р 54149–2010 требования к отклонениям частоты и напряжения, необоснованные для российских сетей, неполные данные к показателям КЭ в сетях высокого напряжения и др.

Европейский стандарт рассчитан на применение в электрических сетях стран, имеющих иные требования к проектированию электрических сетей и иной по сравнению с казахстанским уровень состояния этих сетей.

При пересмотре ГОСТа 13109–87 и разработке редакции ГОСТа 13109–1997 г. показатели и нормы КЭ подробно анализировались и обсуждались и были обоснованно приняты. ГОСТ 13109–1997 был введен в действие в 1999 г., и техническое состояние сетей не дает пока оснований для пересмотра норм КЭ в направлении их смягчения и гармонизации с европейскими.

Что же касается структуры и содержания стандарта, общих подходов к нормированию КЭ и требований к методам измерения показателей КЭ, то положения новых отечественного и европейского стандартов достаточно близки.

Утвержденный ГОСТ Р 54149–2010 включен в программу национальной стандартизации Российской Федерации для переоформления его в Межгосударственный стандарт организации ЕврАзЭС. Настоящий стандарт вступил в силу с января 2013 г. [3].

Согласно Межгосударственному стандарту основными показателями КЭ являются:

- установившееся отклонение напряжения δU_v ;
- размах изменения напряжения δU_i ;
- доза фликера P_i ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- отклонение частоты Δf ;
- длительность провала напряжения Δt_n ;
- импульсное напряжение $U_{имп}$;
- коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$ [4].

К основным задачам измерения показателей качества электроэнергии относятся: обнаружение помех и их оценка; регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов; оценка измеренных значений ПКЭ на соответствие установленным требованиям; определение источника помех; проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии.

Для организации измерений необходимо определить вид контроля, точку осуществления измерений и виды контролируемых ПКЭ.

В зависимости от длительности наблюдения можно выделить два вида организации контроля качества электроэнергии: периодический и постоянный. Отличие постоянного контроля (мониторинга) от периодического заключается в непрерывности во времени измерений и обработки результатов [5].

Номенклатуру измеряемых параметров, характеризующих качество электроэнергии, устанавливают ГОСТ 13109–97 и ГОСТ Р 51317.4.30–2008.

Большинство отечественных сертифицированных средств измерения (СИ) ПКЭ спроектированы и реализованы под ГОСТ 13109–97. Номенклатура измеряемых параметров включает собственно ПКЭ (нормируемые и ненормируемые), а также вспомогательные параметры электрической энергии, являющиеся дополнительными характеристиками ПКЭ. Однако и эта достаточно обширная номенклатура не охватывает всего необходимого перечня, когда возникает задача анализа КЭ. Здесь под анализом подразумевается комплекс измерений и расчетов, необходимых при выявлении источника ухудшения КЭ, при определении долевого и фактического вклада в уровни ПКЭ в точке общего присоединения. При этом токи и напряжения должны представляться соответствующими векторами.

В целом же при определении номенклатуры параметров, измеряемых конкретным СИ, следует исходить из его назначения и области применения. Такой подход позволяет использовать в каждом конкретном случае не универсальные приборы, а специализированные на решение определенных задач.

Общие требования, предъявляемые к СИ ПКЭ, являются обязательными по причине того, что определяют те условия, при которых СИ ПКЭ должны нормально функционировать в рамках основной погрешности при обеспечении должного уровня безопасности от поражения электрическим током.

СИ ПКЭ должны обеспечивать возможность проведения измерений в трех фазах контролируемой сети с заземленной или изолированной нейтралью. Номинальные напряжения входных измерительных каналов 57,7; 100 и 220 В.

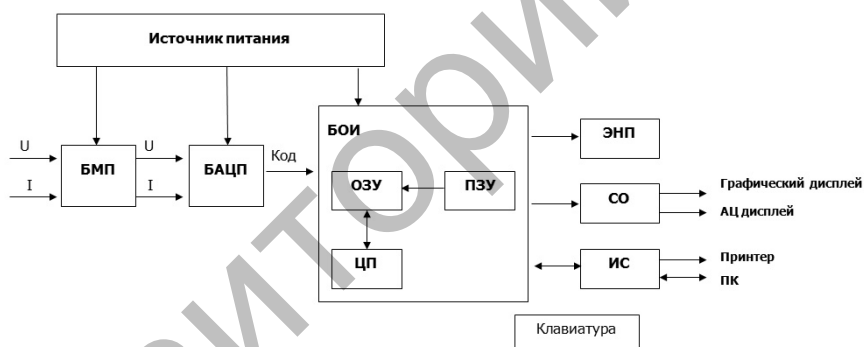
В случае работы прибора под Стандарт МЭК 61000.4.30 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Техника испытаний и измерений. Методы измерений качества электрической энергии» СИ ПКЭ должно быть дополнено четырьмя каналами по току: ток трех фаз и ток в нейтрали.

СИ ПКЭ должны в реальном масштабе времени обеспечивать непрерывное измерение ПКЭ и вспомогательных параметров электроэнергии. СИ ПКЭ должны быть цифровыми программируемыми приборами, использующими высокоразрядные аналого-цифровые преобразователи и быстродействующие процессоры.

СИ ПКЭ должны обладать достаточной по объему энергонезависимой памятью, позволяющей длительно сохранять результаты измерений. Архивы с результатами контроля КЭ, накапливаемые в памяти СИ, должны содержать информацию о времени проведения измерений.

СИ ПКЭ должны обеспечивать возможность отображения как текущей информации о параметрах режима, так и архивной, накопленной ранее. Большинство из существующих СИ ПКЭ имеют для этого алфавитно-цифровой дисплей, а небольшое число приборов дополнительно оснащено графическим дисплеем, который упрощает проведение измерений и оперативный анализ результатов.

В качестве примера реализации средства измерения можно привести следующую схему:



В схеме представлены следующие сокращения: БМП — блок масштабных преобразователей; БАЦП — блок аналогово-цифрового преобразования; БОИ — блок обработки информации; ОЗУ — оперативно запоминающее устройство; ЦП — центральный процессор; ПЗУ — постоянно запоминающее устройство; ЭНП — энергонезависимая память; СО — средство отображения; ИС — интерфейс связи; АЦ — алфавитно-цифровой дисплей

Рисунок 1. Структурная схема средства измерения показателей качества электроэнергии

Измеряемые напряжения и токи подаются на входные зажимы блока масштабных преобразователей (делителей), в котором путем аналоговой обработки формируются сигналы, пропорциональные параметрам входного напряжения, т.е. происходят масштабные преобразования до уровня (приблизительно 1В), необходимого для нормальной работы блока аналогово-цифрового преобразователя.

Мгновенные значения сигналов на выходах БМП преобразуются в цифровые коды с помощью БАЦП, в котором осуществляются согласование по времени входных сигналов и их оцифровка. Оцифровка производится из расчета 256 выборок 14-разрядного кода на период основной частоты. Коды оцифрованных сигналов поступают в блок обработки информации.

В БОИ центральный процессор производит обработку полученной от АЦП информации в соответствии с программами постоянного запоминающего устройства.

Результаты измерений заносятся в энергонезависимую память для хранения (если прибор работает в режиме «измерений»), а также выводятся на средства отображения.

В большинстве приборов СО представляет собой алфавитно-цифровой дисплей. В некоторых приборах имеется также графический дисплей, который позволяет отображать векторные диаграммы, спектры, гистрограммы и осциллограммы токов и напряжений.

С помощью интерфейса связи типа RS-232(RS-485) осуществляется вывод результатов измерений по каналам связи на внешнюю ПЭВМ или принтер.

Клавиатура прибора используется для управления прибором при его настройке и просмотре результатов измерений.

На начало 2011 г. в Государственный реестр средств измерения РФ внесено более 50 измерительных приборов и комплексов как отечественного, так и зарубежного производства, способных производить оценку показателей качества электроэнергии в соответствии со стандартами: ГОСТ 13109–97, ГОСТ Р 51317.4.30 (EN 61000–4–30) [5].

Наиболее распространенные приборы для контроля качества электроэнергии как российского, так и зарубежного производства, включая «ЭРИС-КЭ.02», «Энергомонитор-3.3 Т1», «РЕСУРС-UF», ИВК «ОМСК-М», сведены в таблице [5].

Т а б л и ц а

Данные по средствам измерения показателей качества электроэнергии

Наименование средства измерения	Стандарт, под которым работает СИ	Данные о производителе
1	2	3
Серия приборов ЭРИС КЭ	ГОСТ 13109–97	ООО «Энергоконтроль», Москва
Энергомонитор-3.3 Т1	ГОСТ 13109–97 и EN 50160	ООО «НПП МАРС-ЭНЕРГО», Санкт-Петербург
«РЕСУРС-UF»	ГОСТ 13109–97	НПП «Энерготехника», Пенза
ИВК «Омск-М»	ГОСТ 13109–97	ООО «Энерготехнология», Омск
С.А 8230 — однофазный графический анализатор качества питания	EN50160	Chauvin Arnoux, Франция
С.А 8335 QUALISTAR PLUS+AmpFlex450 — анализатор параметров электросетей, качества и количества электроэнергии (с клещами AmpFlex 450 мм)	EN50160	Chauvin Arnoux, Франция
Fluke 434 — анализатор качества электроэнергии для трехфазной сети	EN50160	FLUKE, США
MI 2092 — анализатор качества электроэнергии	EN50160	Metrel, Словения
Power Sentinel 1133А — регистратор (анализатор)	Полностью программируемый	Arbiter Systems, США
РQM-701 — анализатор параметров качества электрической энергии	ГОСТ Р 51317.4.7–2008	Sonel, Польша
АКЭ-823 — микропроцессорный регистратор — анализатор качества электроэнергии	нд	АКИП, Россия
МЭТ-5080 — многофункциональный электрический тестер — анализатор качества электроэнергии	нд	АКИП, Россия

1	2	3
Парма РК 3.01 — регистратор (анализатор) качества электроэнергии	ГОСТ 13109–97	ООО «ПАРМА», Россия
Энергомонитор-3.2 — прибор для непрерывного измерения показателей качества электрической энергии и электроэнергетических величин (ПКЭ)	ГОСТ 13109–97 и EN50160	ООО «НПП Марс-Энерго», Россия
Энерготестер ПКЭ — прибор для измерения показателей качества электрической энергии и электроэнергетических величин	ГОСТ 13109–97, ГОСТ Р 51317.4.30–2008	ООО «НПП Марс-Энерго», Россия
Анализатор качества электроэнергии AR 5	ГОСТ 13109–97	CIRCUTOR, Испания
Прибор для измерения качества и учета электрической энергии, регистрации и контроля нормальных и аварийных режимов энергосети G4400	ГОСТ 13109–97, EN50160, IEC61000–4–15, IEC61000–4–7, IEC61000–4–30	ELSPECT Ltd, Израиль

Таким образом, рекомендуется при выборе средств измерения для проведения контроля качества электроэнергии учесть следующее:

- средство измерения показателей качества электроэнергии должно соответствовать Госстандарту и обязательно должно быть зарегистрировано в Государственном реестре средств измерения;
- средство измерения должно обеспечивать, помимо контроля по напряжению, измерения дополнительных характеристик электроэнергии по току и мощности [5].

Средства измерения должны постоянно модернизироваться и соответствовать обновленному стандарту. Согласно ГОСТу Р 54149–2010 все измерения должны быть проведены согласно ГОСТу Р 51317.4.30–2008 и ГОСТу Р 51317.4.7–2008. Это принципиальное отличие от старого стандарта, и именно оно позволяет выстроить единую систему требований к построению системы контроля качества электрической энергии.

В новом стандарте есть отличия по интервалам усреднения показателей качества электроэнергии. Интервалы усреднения ПКЭ согласованы с ГОСТом Р 51317.4.30–2008 и составляют:

- отклонение частоты — интервал усреднения 10 секунд вместо 20 секунд в ГОСТе 13109–97;
- медленные изменения напряжения — интервал усреднения 10 минут вместо 1 минуты в ГОСТе 13109–97, важно отметить, что в старом стандарте данный ПКЭ именовался «установившиеся отклонения напряжения»;
- фликер — нет изменений по интервалам усреднения между старым и новым стандартом, 10 минут для кратковременного и 2 часа для длительного фликера;
- несимметрия напряжений — интервал усреднения 10 минут вместо 3 секунд в старом стандарте;
- гармонические составляющие напряжения — интервал усреднения 10 минут вместо 3 секунд в старом стандарте.

Кроме того, отчетный период по указанным выше параметрам в новом стандарте составляет 1 неделю вместо 1 дня в старом.

В новом ГОСТе Р 54149–2010 введены новые категории событий:

- прерывания напряжения, определяемые как падение напряжения ниже 5 % опорного напряжения во всех фазах (кратковременные — до 3 минут, длительные — более 3 минут, как в EN50160);
- интергармонические составляющие напряжения.

В проекте протокола измерения ПКЭ, разработанном на основе ГОСТа Р 54149–2010, добавлены таблицы классификации провалов напряжения, прерываний напряжения и перенапряжений. Длительность провалов напряжения и перенапряжений определена от 10 мсек до 1 мин (как в EN50160).

Гармонические составляющие напряжения должны измеряться в соответствии с ГОСТом Р 51317.4.7–2008, который был разработан на основе международного стандарта IEC 61000–4–7 (включая использование при измерении гармонических подгрупп).

В соответствии с ГОСТом Р 51317.4.30–2008 непосредственно в сам ГОСТ Р 54149–2010 введено понятие маркирования данных для следующих категорий событий:

- отклонение частоты;
- медленные изменения напряжения;
- фликер;
- несимметрия напряжений;
- гармонические составляющие напряжения.

При этом маркированные данные не должны учитываться при подготовке протоколов измерений. Маркирование данных позволяет не фиксировать одно и то же событие КЭ в нескольких категориях одновременно. Это очень важное положение, которое ранее было упомянуто только в РД 153–34.0–15.501–00, а теперь в явном виде введено в стандарт КЭ.

В новом стандарте для медленных изменений напряжения убраны режимы наименьших и наибольших нагрузок. Кроме того, ранее для данного ПКЭ в старом стандарте существовали нормально допустимые и предельно допустимые значения: ± 5 и ± 10 %, а выход за данные пределы фиксировался показателями T1 и T2. Теперь в протоколе указываются только предельно допустимые значения и время T2. Сами пределы теперь определяются границами ± 10 % от номинального напряжения [6].

Безусловно, переход на новый стандарт КЭ приведет к необходимости модернизации парка приборов КЭ, обучения специалистов, все это потребует значительных затрат времени и средств. Однако это необходимый шаг на пути создания современной системы по контролю качества электроэнергии как в Казахстане, так и в странах СНГ.

Казахстан входит в число стран, принявших Международный стандарт по контролю качества электроэнергии. Этот ряд также дополнили и другие страны СНГ, что, в свою очередь, упрощает контроль качества ЭЭ и не требует дополнительных средств измерений и метрологической поддержки для взаимоподдержания стандартов по контролю качества электроэнергии. В данной статье была предложена структурная схема средства измерения показателей качества электроэнергии, соответствующая современным требованиям стандарта. Ранее все средства измерения были спроектированы и реализованы под ГОСТ 13109–97. Приведенная схема полностью соответствует требованиям стандарта по конструктивному, климатическому исполнению, электропитанию, а также другим требованиям, касаемым принципа работы, хранения и отображения результатов измерений. Средство измерения производит измерение и контроль всех основных (одиннадцать) показателей качества электроэнергии, указанных в стандарте. Кроме того, возможно расширение функциональных возможностей средства измерения с помощью увеличения элементной базы, а также с применением программного обеспечения. Благодаря программному обеспечению можно управлять логикой работы прибора. Программная составляющая определяет функциональность системы и позволяет настраивать и расширять аппаратную часть. В качестве примера можно использовать одну из распространенных сред, LabVIEW, которая является чрезвычайно удобной для программирования задач ввода-вывода и обработки сигналов. С помощью модуля LabVIEW Electrical Power Suite инженеры могут проводить измерения качества электроэнергии согласно международным стандартам IEC 61000–4, EN 50160:2008 и IEEE 37.111[7].

Наряду с данной графической средой рекомендуется использование современной аппаратуры. Разработкой необходимой аппаратуры занимаются множество компаний и научных институтов, примером которых могут быть National Instruments, Agilent Technologies, ADLink Technology и т.д. Стоит отметить, что в нынешнее время активно развивается концепция активно-адаптивной сети, где используются системы сбора данных, осуществляющих мониторинг качества электрической энергии и качества релейной защиты на всех электроустановках электрической сети.

Список литературы

- 1 [ЭР]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Качество_электрической_энергии
- 2 Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. — Минск, 2014.

- 3 [ЭР]. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2011/69/11.php>
- 4 ГОСТ 13109–97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. — Введ.1999–01–01. — М.: Изд-во стандартов, 1997. — Переизд. 2002.
- 5 [ЭР]. Режим доступа: <http://www.rae.ru/monographs/156–4935>
- 6 Зисман М.Л., Кац М.М., Кричевский М.Я. Анализ нового стандарта качества электрической энергии ГОСТ Р 54149–2010 в сравнении со старым ГОСТом 13109–97 // Энергия и менеджмент — Минск: ПТК «Техэнергосервис», 2012. — № 6(69).
- 7 [ЭР]. Режим доступа: <http://russia.ni.com>

С.Ж.Мырзаханова

Электр энергия сапасын бақылау

Мақалада электр энергия (ЭЭ) сапасы туралы негізгі түсінік беріліп, оның негізгі көрсеткіштері келтірілген. Қысқаша түрде ЭЭ сапасын бақылау бойынша қазіргі стандарттары қарастырылған, оған Қазақстанда да қолданылатын Мемлекетаралық стандарт та кіреді. Жаңа және алдыңғы стандарттардың негізгі айырмашылықтары келтіріліген. Берілген параметрлерді анықтау үшін стандартқа сай түрлі өлшеу құралдары жүзеге асырылады. Мақалада электр энергия сапасы көрсеткіштерін өлшеу құралының құрылымдық сұлбасы ұсынылған. Бұл өлшеу құралы электр энергия сапасы көрсеткіштерін өлшеу үшін негізгі қызметін атқарады, оған кіретіндері: бөгеттерді анықтау және оларды бағалау; өлшенген сандық сипаттамаларды тіркеу, өңдеу және шығару; электр энергия сапасы көрсеткіштерінің өлшенген мәндерінің берілген талаптарға сәйкестігін бағалау; электр энергиясын жеткізуші мен тұтынушы арасындағы коммерциялық есеп айырысуды өткізу.

S.Zh.Murzakhanova

Power quality control

The paper gives the basic concept of the quality of electric power and the main indicators of quality of electricity. Briefly considered existing standards for quality control of electric power which include Interstate standard used in Kazakhstan. The article gives information about the main indicators of power quality corresponding to interstate standards. The main differences between the old and new standards are considered. The various measuring devices are implemented to determine these parameters. The article shows the block diagram of the measurement of the quality of electricity, perform basic measurements of power quality, which include: interference detection and evaluation; registration of measured numerical characteristics for processing and display of results; evaluation of the measured values of the power quality (PQ) for compliance with the requirements; determining the source of the interference; conducting commercial payments between the supplier and consumer of electricity.

References

- 1 https://ru.wikipedia.org/wiki/Power_quality
- 2 Eurasian Council for Standardization, Metrology and Certification. Interstate standard. Electrical energy. Compatibility of technical equipment. Control and monitoring of the quality of electric power supply systems of general purpose [Text], Minsk, 2014.
- 3 <http://www.news.elteh.ru/arh/2011/69/11.php>
- 4 State standard 13109–97. Interstate standard. Electrical energy. Compatibility of technical equipment. Quality standards for electrical energy in power systems of general purpose [Text], Introd.1999–01–01, Moscow: Publ. standards, 1997, Reissued, 2002.
- 5 <http://www.rae.ru/monographs/156–4935>
- 6 Zisman M.L., Katz M.M., Krichevsky M.Ya. *Energy and Management*, Minsk: Tehenergосervis, 2012, 6 (69).
- 7 <http://russia.ni.com>