

Проведен анализ факторов, влияющих на точность и единство измерений параметров, характеризующих качество электрической энергии

**УДК 621.2**

**А.И. Колбасин**, канд. техн. наук,  
**И.Г. Натарова**  
Харьковская национальная академия городского хозяйства

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Введение.** В Украине с 1.01.2000 г. действует ГОСТ 13109-97 [1], в котором установлены требования к следующим показателям качества электрической энергии (КЭ):

- установившееся отклонение напряжения;
- размах изменения напряжения;
- доза фликера;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- отклонение частоты;
- длительность и глубина провала напряжения;
- импульсное напряжение;
- коэффициент временного перенапряжения.

В том же стандарте [1, табл.3] установлены требования к точности средств измерений, используемых при измерениях указанных показателей (табл.1).

Таблица 1

Погрешности измерений показателей качества электроэнергии

Показатель КЭ, единица измерения	Нормы КЭ (пункты стандарта)		Пределы допустимых погрешностей измерений показателей КЭ	
	нормально допустимые	предельно допустимые	абсолютной	относительной, %
1	2	3	4	5
Установившееся отклонение напряжения $\delta U_y$ , %	$\pm 5$ (5.2.1)	$\pm 10$ (5.2.1)	$\pm 5$	—
Размах изменения напряжения $\delta U_t$ , %	—	Кривые 1, 2 на рисунке (5.3.1, 5.3.2)	—	$\pm 8$
Доза фликера, отн.ед.: кратковременная $P_{st}$ длительная $P_{Lt}$	— —	1,38; 1,0 1,0; 0,74 (5.3.3, 5.3.4)	—	$\pm 5$ $\pm 5$
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения $K_U$ , %	По таблице 1 (5.4.1)	По таблице 1 (5.4.1)	$\pm 0,05$ при $K_U < 1$	$\pm 10$

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$ , %	По таблице 2 (5.4.2)	По таблице 2 (5.4.2)	$\pm 0,05$ при $K_{U(n)} < 1,0$	$\pm 5$ при $K_{U(n)} > 1,0$
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2U}$ , %	2 (5.5.1)	4 (5.5.1)	$\pm 0,3$	—
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U}$ , %	2 (5.5.2)	4 (5.5.2)	$\pm 0,5$	—
Отклонение частоты $\Delta f$ , Гц	$\pm 0,2$ (5.6.1)	$\pm 0,4$ (5.6.1)	$\pm 0,03$	—
Длительность провала напряжения $\Delta t_p$ , с	—	30 (5.7.1)	$\pm 0,01$	—
Импульсное напряжение $U_{имп}$ , кВ	—	—	—	$\pm 10$
Коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$ , отн.ед.	—	—	—	$\pm 10$

Кроме того, в ГОСТ 13109 (табл.4) установлены интервалы усреднения результатов измерений:

Таблица 2

Интервалы усреднения результатов измерений показателей КЭ

Показатель КЭ	Интервал усреднения, с
Установившееся отклонение напряжения	60
Размах изменения напряжения	—
Доза фликера	—
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения	3
Коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения	3
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности	3
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	3
Отклонение частоты	20
Длительность провала напряжения	—
Импульсное напряжение	—
Коэффициент временного перенапряжения	—

**Цель работы:** провести анализ факторов, влияющих на точность измерения показателей КЭ.

**Основная часть.** Метрологическое обеспечение средств измерений предусматривает наличие эталонов ряда физических величин (от государственных до рабочих), с помощью которых единица измерений передается к рабочим средствам измерений.

Среди показателей качества к величинам, для которых можно воспользоваться соответствующими государственными эталонами и поверочными схемами, относятся импульсное напряжение (напряжение переменного тока, единица измерения – Вольт), коэффициент искажения синусоидальности напряжения и коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения (коэффициент гармоник, единица измерения – %), длительность провала напряжения (интервал времени, единица измерения – секунда) и отклонение частоты (частота, единица измерения – Герц [2]). Поэтому для метрологического обеспечения средств измерения перечисленных показателей, в принципе, можно применять соответствующие рабочие эталоны.

Некоторые параметры характеризуются безразмерными величинами и определяются с помощью косвенных измерений, опирающихся на измерение напряжения (установившееся отклонение напряжения, размах изменения напряжения, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям, коэффициент временного перенапряжения). В этом случае для метрологического обеспечения теоретически также можно использовать рабочие эталоны напряжения и соответствующие оценки погрешностей, сопровождающих косвенные измерения.

При измерениях коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям неизбежно проявляется еще одна физическая величина – угол фазового сдвига, от точности определения которого существенно зависит погрешность измерений. Средства измерений угла фазового сдвига метрологически обеспечены благодаря наличию соответствующей поверочной схемы и государственного эталона.

Доза фликера является специфической количественной оценкой амплитудной модуляции напряжения переменного тока, определяемой в некотором диапазоне частот. И, хотя есть государственный эталон и поверочная схема в области измерений параметров амплитудной модуляции, переход от коэффициента амплитудной модуляции к дозе фликера требует проведения дополнительных перерасчетов. К тому же диапазон частот (диапазон радиочастот), на который рассчитана существующая поверочная схема, не соответствует частотам, используемым в электроэнергетике (единицы – десятки Герц).

Следует заметить, что некоторые показатели КЭ (импульсное напряжение, длительность провала напряжения, коэффициент временного перенапряжения) являются условно определенными величинами, поскольку их определения сопровождаются дополнительными условиями. Например, провалом считается таковым, если напряжение снижается ниже  $0,9 U_{ном}$ . При этом точность определения начала и конца провала, конечно, будет сказываться на точности измерения длительности провала.

Точность определения коэффициентов несимметрии будет зависеть и от наличия величины высших гармоник и от того, по каким алгоритмам они вычисляются.

Коэффициенты, характеризующие искажения формы кривой напряжения, согласно ГОСТ 13109 определяются за интервал усреднения, равный трем секундам. Однако это не вносит дополнительной погрешности лишь в случае периодических сигналов. При непериодических сигналах результат измерений будет зависеть от соотношения «периодической» и «непериодической» (интергармоники, импульсные и шумовые составляющие) составляющих сигнала. Кроме того, поскольку в современных измерителях используется цифровая обработка сигналов (ЦОС), то на результат измерения коэффициентов искажений и гармоник заметно влияют специфические особенности

ЦОС: вид и размер окна при цифровой обработке, степень подавления высокочастотных составляющих и т.п.

ЦОС также является источником дополнительной погрешности, если интервалы дискретизации и фаза исследуемого сигнала несинхронны.

Еще одним важным фактором, влияющим на точность определения показателей качества, является нестационарность процессов, протекающих в электрических сетях. Этот фактор может проявляться двояким образом. С одной стороны, поскольку минимальное время усреднения равно 3 с, то по результатам измерения показателей качества невозможно определить детальную структуру, например, переходного процесса – измеренные экстремальные значения окажутся меньше их действительных значений.

С другой стороны, при наличии нестационарности измеряемого сигнала проявятся динамические свойства используемого средства измерений. Возникающие при этом переходные процессы в самом средстве измерения будут зависеть как от аппаратной реализации прибора, так и от используемых алгоритмов обработки данных. В то же время при определении характеристик и испытаниях средств измерения показателей качества используют тестовые наборы сигналов, которые являются периодическими, а следовательно, такие измерительные сигналы не позволяют оценить динамические характеристики приборов.

**Выводы.** Проведенный анализ показал, что для более качественного измерения показателей качества необходимо провести исследования, направленные на уточнения определений показателей качества, на развитие моделей измеряемых сигналов с учетом нестационарности процессов в электрических сетях, а также совершенствования методик проверки характеристик измерителей показателей качества электроэнергии.

### Литература

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Межгосударственный стандарт.
2. ДСТУ 3538—97 „Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань часу і частоти”.

---



---

### МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

О.І. Колбасін, І.Г. Натарова

*Проведено аналіз факторів, що впливають на точність і єдність вимірювань параметрів, що характеризують якість електричної енергії*

### METROLOGICAL ASPECTS OF MEASUREMENT OF POWER QUALITY PARAMETERS

A. I. Kolbasin, I. G. Natarova

*The analysis of the factors influencing accuracy and unity of measurements of parameters, describing quality of electric energy is carried out.*