

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА

**Т. Н. Савкова**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научные руководители: Ю. Н. Колесник, А. И. Кравченко

В системах электроосвещения со светодиодными источниками света, обладающими нелинейной нагрузкой, возникают искажения форм функций тока и питающего напряжения, а часть мощности передается на частотах высших гармоник. Таким образом, возникает влияние нелинейной нагрузки как на качество электроэнергии, поставляемой другим потребителям, так и на учет потребляемой энергии.

Применяемые в настоящее время счетчики электрической энергии разработаны и поверяются исходя из предположения, что форма кривой напряжения и тока измерительной сети синусоидальная с коэффициентом несинусоидальности не более 12 % (для многотарифных счетчиков активной энергии (CE102BY S6)) [1]. На этом основываются применяемые в счетчиках алгоритмы учета электроэнергии.

Целью исследования является оценка точности измерения количества электрической энергии (активной мощности) приборов учета электрической энергии в условиях воздействия несинусоидальных токов и напряжений.

Счетчики прямого включения рассчитаны на номинальные токи 5, 10, 20, 50 А. Подключение токовой цепи этих счетчиков осуществляется последовательно с сетевыми проводниками и обязательным соблюдением полярности. Измеряемая энергия равна разности показаний счетного механизма за расчетный (учетный) период:

$$\Delta W = \Pi_K - \Pi_H = \Delta \Pi,$$

где  $\Pi_K$  – конечное показание счетчика;  $\Pi_H$  – начальное показание счетчика;  $\Delta \Pi$  – разность показаний.

Для проведения исследования был выбран однофазный многотарифный счетчик активной электрической энергии, основные характеристики которого приведены в табл. 1. Исследуемый счетчик технически исправный, прошел необходимые метрологические испытания и соответствует требованиям нормативных документов – СТБ ГОСТ Р 52322–2007 [1].

Таблица 1

**Характеристика исследуемого счетчика**

Модель счетчика	Тип механизма	Алгоритм учета	Класс точности	Предел допускаемой основной погрешности, %
CE102BYS7 145AOKVZ	Электронный	Программно управляемый	1	$\pm 1,0$

В качестве нагрузки были выбраны светодиодные модули с блоками питания (ОАО «Светотехника»), характеристики которых представлены в табл. 2.

Результаты измерений представлены в табл. 3.

Таблица 2

**Характеристики исследуемой нагрузки**

Наименование объекта измерения	Известные параметры
Светодиодный модуль	50 Вт, угол рассеивания 120°
Светодиодный модуль	30 Вт, угол рассеивания 120°
Светодиодный модуль	10 Вт, угол рассеивания 120°
Блок питания LPC-60-1750	34 V, 60 Вт, IP67
Блок питания GB-50WDR	37 V, 50 Вт, $\cos\phi \geq 0,95$
Блок питания на плате DRM-025 REV1	открытого исполнения
Гирлянда ЕК-0,4	$\sim 220$ В

Таблица 3

**Результаты измерений**

Нагрузка		Результаты измерений цифр. индикатором MS-8229		Расчетные значения	Результаты измерений CE102BYS7		Расчетные значения		
СДМ	Блок питания	$I_{ср}$ , А	$U_{ср}$ , В	$P_{ср}$ , Вт	$W_{нач}$ , кВт·ч	$W_{кон}$ , кВт·ч	$T_{сум}$ , ч	$W_A$ , кВт·ч	$P_{ср}$ , Вт
10Вт	DRM-025 REV1	0,0536	214,5	11,49	9,94	10,45	47,32	0,51	10,78
30Вт	LPC-60-1750	0,175	217,5	37,95	12,99	13,91	23,88	0,92	38,53
50Вт	GB-50WDR	0,2381	220,5	52,49	5,07	6,34	23,99	1,27	52,92
Гирлянда ЕК-0,4		0,0145	221,8	3,21	10,5	11,17	203,3	0,71	3,49

Искажения тока и напряжения сети, вносимые светодиодными модулями и блоками питания к ним, измерялись с помощью цифрового осциллографа OWON SDS8202V. Осциллограммы тока и напряжения представлены на рис. 1. Обработка полученных осциллограмм производилась с помощью программного средства Mathcad [2] (рис. 2). Сравнение полученных результатов с показаниями счетчика позволяет оценить влияние гармонических составляющих мощности.

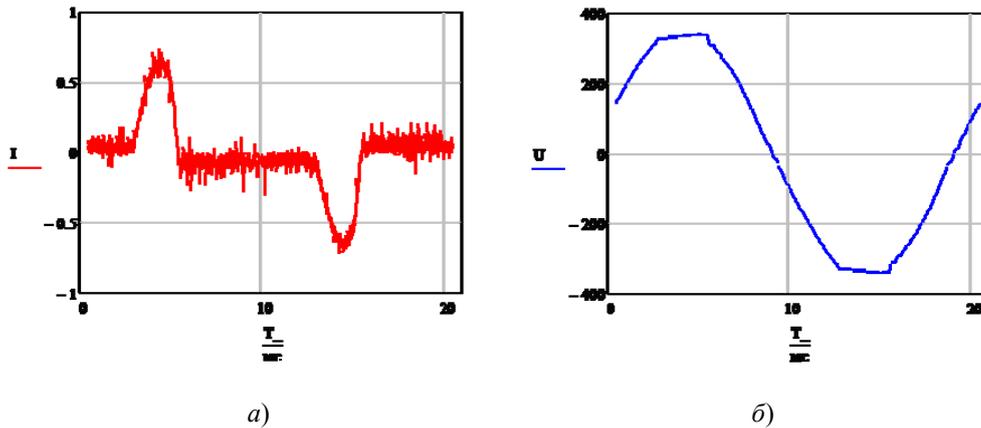


Рис. 1. Осциллограмма тока и напряжения для СДМ 30Вт, блок питания LPC-60-1750

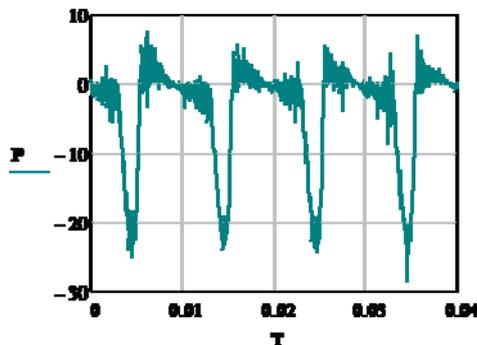


Рис. 2. Определение мощности для СДМ 30 Вт, блок питания LPC-60-1750 с помощью программного средства Mathcad

Определение активной мощности:

$$\text{rows}(I) - 1 = 5000$$

$$n := \text{rows}(I) - 1$$

$$\frac{\sum_{i=0}^n (U_i \cdot I_i)}{n + 1} = 36.1682$$

Светодиодные источники света, подключенные к сети через блоки питания, потребляют из сети несинусоидальные токи при подведении к их зажимам синусоидального напряжения. Токи высших гармоник, проходя по элементам сети, создают падения напряжения на основную синусоиду напряжения, сопротивлениях этих элементов и, накладываясь, приводят к искажениям формы кривой напряжения в узлах электрической сети.

Высшие гармоники тока и напряжения вызывают дополнительные потери активной мощности во всех элементах системы электроснабжения, так как сопротивления этих элементов зависят от частоты.

**Результаты расчета потребляемой активной мощности устройств  
со светодиодными источниками света**

Нагрузка		Результаты измерения потребляемой активной мощности устройств со светодиодными источниками света ( $P_{ср}$ , Вт)		
Мощность СДМ	Блок питания	Цифровой осциллограф OWON SDS8202V точность $\pm 1,0$ %	Счетчик активной э/э CE102BYS7	Относительная погрешность, %
10Вт	DRM-025 REV1	10,69	10,78	0,84
30Вт	LPC-60-1750	37,95	38,53	1,505
50Вт	GB-50WDR	52,54	52,92	0,72
Гирлянда ЕК-0,4		4,14	3,49	15,7

Из полученных данных (табл. 4) можно найти относительную погрешность измерения потребляемой активной мощности счетчика:

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{x} 100 \text{ \%}.$$

Наибольшей относительной погрешностью измерения характеризуются светодиодный модуль (СДМ) 30Вт, блок питания LPC-60-1750 и гирлянда ЕК-0,4. Для определения спектрального состава тока и напряжения периодическое негармоническое воздействие представлялось в виде суммы гармонических сигналов, используя ряд Фурье.

Из графиков спектральных составляющих тока и напряжения для СДМ 30 Вт (блок питания LPC-60-1750) (рис. 3) видно, что амплитуды спектральных составляющих уменьшаются по мере увеличения частоты и наибольшее влияние на погрешность измерения оказывают нечетные – 1-я, 3-я, 5-я, 7-я и 9-я гармоники.

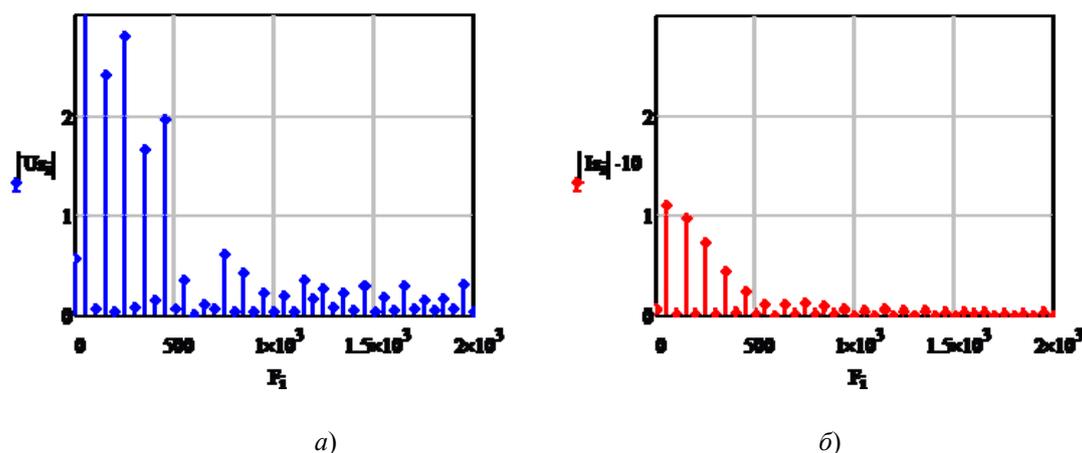


Рис. 3. Амплитудные спектры напряжения и тока для СДМ 30 Вт  
(блок питания LPC-60-1750)

## 504 Секция X. Энергоэффективность, надежность и диагностика...

Погрешность счетчика зависит от относительного содержания мощностей высших гармоник (табл. 4).  $\delta = f\left(\frac{P_k}{P_1}, k=2, 3, \dots\right)$ , где  $P_1, P_k$  – мощность первой и  $k$ -й гармоники.

Данная зависимость является уникальной и определяется экспериментально.

Таблица 5

**Гармонический состав активной мощности СДМ 30 Вт,  
блок питания LPC-60-1750**

Значение	Номер гармоники									
	1		3		5		7		9	
	Re	<i>i</i>	Re	<i>i</i>	Re	<i>i</i>	Re	<i>i</i>	Re	<i>i</i>
комплексное	18,47	5,33	0,141	0,18	0,195	0,188	0,073	0,0008	0,027	0,026
действующее	19,2301		0,23287		0,27151		0,0728		0,03749	
в % от 1-й			1,210		1,411		0,378		0,194	

Таким образом, погрешность счетчиков электрической энергии, вызванная воздействием несинусоидальности токов и напряжений, является систематической и возникает вследствие несовершенства конструкции счетчиков и методов измерения. Для повышения точности учета электрической энергии необходимо исключить или учесть влияние данной погрешности, что может быть достигнуто следующим образом:

- определением поправок и внесением их в результат измерения;
- устранением источников погрешностей.

### Литература

1. СТБ ГОСТ Р 52320–2005 (МЭК 62052-11:2003). Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть 11. Счетчики электрической энергии. – Взамен ГОСТ 26035–83 и ГОСТ 30207–94 (МЭК 1036-90); введ. 2007–10–07. – 19 с. – Ч. 21. – 19 с.
2. Mathcad 14 для студентов и инженеров. Русская версия: Валерий Очков – Москва, БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.