

## ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ И ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.311

Н.П. Боярская, В.П. Довгун

### ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА СПЕКТРЫ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

В статье рассмотрены результаты влияния на спектральный состав токов и напряжений современных светотехнических приборов на основе светодиодов. Проведенные исследования показывают, что в распределительных сетях из-за светодиодных источников света наблюдаются значительные искажения формы кривых токов. Во многих случаях уровень искажений превышает пределы, определяемые международными стандартами. Кроме того, такие источники света приводят к росту тока в нулевом проводе даже при полностью симметричном характере нагрузки. И это увеличение тока может привести к аварийным ситуациям из-за перегорания нулевого провода.

**Ключевые слова:** качество электроэнергии, светодиодные источники света, высшие гармоники.

N.P. Boyarskaya, V.P. Dovgun

### THE LIGHT-EMITTING DIODE LIGHT SOURCE INFLUENCE ON THE CURRENT SPECTRA AND THE SUPPLY NET VOLTAGES

*The results of the modern lighting devices based on LEDs influence on the current spectral composition and voltages are considered in the article. The conducted research shows that in the distribution networks the considerable distortions of the current curves are observed because of the LED light sources. In many cases, the distortion level exceeds the limits defined by the international standards. Furthermore, such light sources lead to the current increase in the neutral conductor even when the load has fully symmetrical nature. This current increase can lead to the emergencies because of the neutral conductor burnout.*

**Key words:** electric power quality, light-emitting diode light sources, the highest harmonics.

**Введение.** Основной причиной ухудшения качества электроэнергии является широкое распространение нелинейных нагрузок, создающих при своей работе токи несинусоидальной формы. Их можно представить в виде суммы гармонических составляющих, частоты которых кратны основной частоте питающей сети. Высшие гармоники оказывают неблагоприятное влияние на работу силового электрооборудования, устройств релейной защиты и автоматики, вызывают ускоренное старение изоляции [1, 2].

Конечно, основным источником гармонических искажений в распределительных сетях являются нелинейные нагрузки крупных промышленных потребителей. Однако в последние годы отмечается значительное ухудшение качества электрической энергии в сетях непромышленных потребителей – торговых комплексов, наружного освещения, офисных зданий, учебных заведений, жилых зданий.

**Цель исследований.** Анализ влияния светодиодных источников света на спектральный состав токов и напряжений питающих распределительных сетей.

**Материалы и методы исследований.** С введением в России Федерального закона от 23.11.2009. № 261-ФЗ (ред. от 18.07.2011) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", который стимулирует потребителей к применению энергосберегающих технологий и устройств с нелинейными вольт-амперными характеристиками, проблема качества электроэнергии в сетях общего назначения продолжает усложняться.

В современных электроосветительных сетях все больше используются энергозэкономичные световые приборы, к которым, прежде всего, относятся светодиодные лампы и прожекторы. Для распределительных сетей они служат нелинейной нагрузкой.

Для измерения основных показателей качества электроэнергии, а также гармонических составляющих тока и напряжения, использовался анализатор качества электроэнергии PM175 SATEC. Измерения проводились в соответствии с методикой, подробно изложенной в [3]. Для измерений была использована схема трехпроводного прямого соединения без трансформаторов тока (рис. 1).

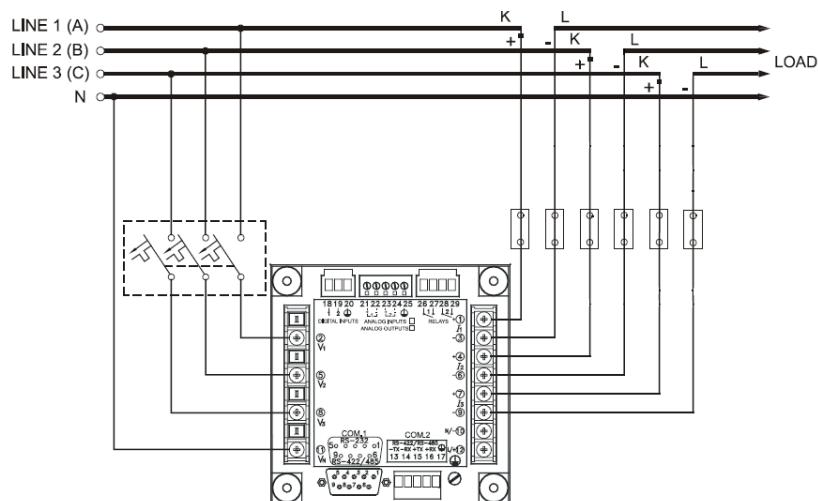


Рис. 1. Схема проведения измерений

Измерения гармонического состава токов и напряжений для каждого типа световых приборов проводились в течение 4 ч.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Внешний вид исследуемых источников света представлен на рис. 2. Измерения проводились в лабораторных условиях и для получения симметричной нагрузки в каждую фазу включалось по одному световому прибору соответствующего типа. Первоначально измерялись параметры светодиодных световых приборов по отдельности, а затем были проведены измерения всей группы исследуемых бытовых ламп и прожекторов (колонка «ВСЕ»).

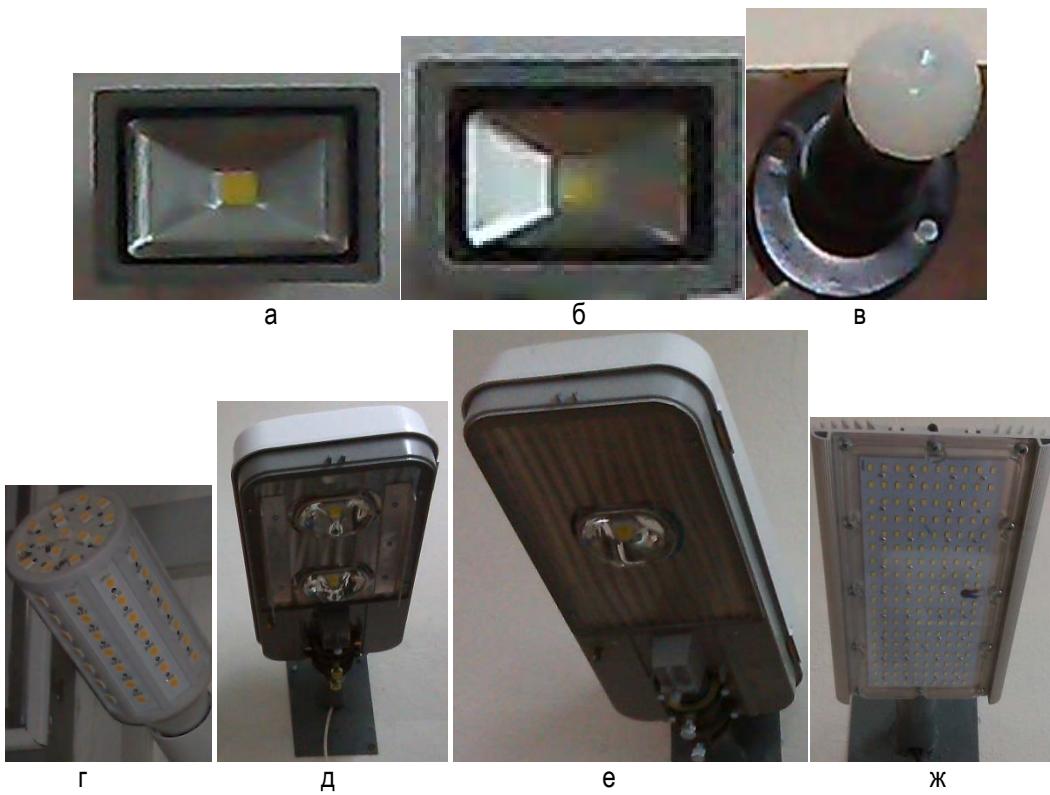


Рис. 2. Внешний вид исследуемых устройств

Потребителями являлись следующие источники света:

- прожекторы светодиодные мощностью 10 Вт на фазу (рис. 2, а);
- прожекторы светодиодные мощностью 20 Вт на фазу (рис. 2, б);
- маломощные светодиодные лампы мощностью 4 Вт на фазу (рис. 2, в);

- светодиодные лампы мощностью 15 Вт на фазу (рис. 2, г);
- светодиодные светильники мощностью 102 Вт на фазу (DYMA-ДКУ-121-100-220) (рис. 2, д);
- светодиодные светильники мощностью 50 Вт на фазу (DYMA-ДКУ-131-44-220) (рис. 1, е);
- светодиодные светильники мощностью 90 Вт на фазу (Diora 90) (рис. 2, ж).

Источники света, показанные на рис. 2, а, б, в, г, чаще всего используются в бытовых устройствах и внутреннем освещении помещений. Прочие светотехнические устройства предлагаются к использованию для освещения автомобильных трасс и жилой застройки города.

Источники света были приобретены в розничной торговой сети, изготовлены самыми разнообразными производителями светотехнического оборудования. Все измерения выполнялись одними теми же измерительными приборами в одинаковых внешних условиях и в течение одинакового времени работы.

Следует отметить, что мощность для светодиодных светильников наружного освещения фактически оказалась меньшей, чем заявленная в паспорте.

Данные, полученные в результате измерений, сведены в табл. 1 (гармонический состав токов), в которой приводятся данные для нечетных гармонических составляющих. Относительные значения четных гармоник не превышают 1 % и поэтому не приводятся.

Таблица 1  
Мощность светодиодных светильников

Номер гармонической составляющей	Тип осветительных приборов							
	Гармонический состав токов осветительных приборов (в % к фазному току)							
	СД 10 Вт	СД 20 Вт	Лампа 4Вт	Лампа 15 Вт	DYMA-ДКУ-121-100-220	DYMA-ДКУ-131-44-220	Diora 90	ВСЕ
3	93	14,2	32	37,1	11,1	11,0	15,0	25,6
5	82	95	13,7	14,2	7,0	7,2	9,0	44,6
7	69,8	92	12,9	10,4	3,2	5,2	6,8	18,6
9	60	9,8	10,1	9,3	1,1	1,0	2,1	20,1
11	55	77	7,7	3,3	3,9	1,6	2,8	13,6
13	53	73	9,2	6,75	2,9	2,5	2,42	17,7
15	50,9	6,8	4,4	5,46	11	14,5	18	12,3
Ток фазы	0,01 А	0,04 А	0,03А	0,13А	0,36 А	0,2 А	0,32 А	0,34
Коэф. мощ.	0,62	0,98	0,65	0,77	0,635	0,9	0,765	0,78

Данные по спектральным составам напряжений сведены в табл. 2.

Таблица 2  
Спектральный состав напряжений

Номер гармонической составляющей	Тип осветительных приборов							
	Гармонический состав напряжения осветительных приборов (в % к фазному)							
	СД 10 Вт	СД 20 Вт	Лампа 4Вт	Лампа 15 Вт	DYMA-ДКУ-121-100-220	DYMA-ДКУ-131-44-220	Diora 90	ВСЕ
3	3,2	5,2	5,8	5,24	0,43	0,36	0,4	5,8
5	0,45	2,19	2,7	2,52	1,7	2,13	1,52	1,4
7	0,39	0,73	1,15	0,72	1,2	1,5	0,9	0,97
9	0,18	0,55	0,99	0,7	0,2	0,14	0,15	0,5
11	1,11	0,75	0,73	0,55	0,75	0,32	0,79	0,73
13	0,53	0,48	0,52	0,56	0,3	0,3	0,33	0,45

Как следует из табл. 1–2, все источники света имеют в спектрах токов весьма существенную величину гармонической составляющей 3-го порядка (3-ю гармонику), а светодиодные прожекторы вплоть до 15-й. Это не может не сказаться на появлении токов в нулевом проводе, так как еще раз подчеркнем, что нагрузка на фазы была полностью симметричной. Кроме того, следует учесть, что в табл. 1 приводятся средние значения уровней гармонических составляющих за период проведения измерений. Если рассматривать мгно-

венные значения, то величины высших гармонических составляющих тока будут еще больше. В то же время спектральный состав напряжений светотехнических приборов находится в полном соответствии с ГОСТ 13109-97. Напоминаем, что нормально-допустимыми в соответствии с ГОСТ являются уровни гармонических составляющих 8 %, а предельно допустимыми – 12 %. Кроме измерения величин гармонических составляющих тока и напряжения, проводились измерения тока в нулевом проводе. Данные измерений совместно с данными об уровне потребляемого тока приведены в табл. 3.

Таблица 3  
Измерение тока в нулевом и фазном проводе

Уровень тока	Тип осветительных приборов							
	СД10 Вт	СД 20 Вт	Лампа 4Вт	Лампа 15Вт	DYMA-ДКУ-121-100-220	DYMA-ДКУ-131-44-220	Diora 90	ВСЕ
В нулевом проводе	0,01 А	0,003А	0,032А	0,16А	0,2А	0,08А	0,32 А	0,81
В фазном проводе	0,01А	0,04 А	0,03А	0,14А	0,36 А	0,2 А	0,32А	1,1А
Соотношение $I_0/I_\phi$	1,0	0,075	1,06	1,14	0,56	0,4	1,0	0,74

Данные табл. 3 позволяют сделать выводы о том, что использование маломощных светодиодных прожекторов, светодиодных ламп и светильников наружного освещения типа Diora 90 особенно опасно в случае старой электропроводки и в зданиях, а также в сети наружного освещения, так как уровни токов в нулевом проводе превышают уровни фазных токов, что может привести к перегоранию нулевого провода и к аварии в системе электроснабжения. Кроме того, использование светодиодных световых приборов приводит, как следует из табл. 1, к существенному снижению коэффициента мощности.

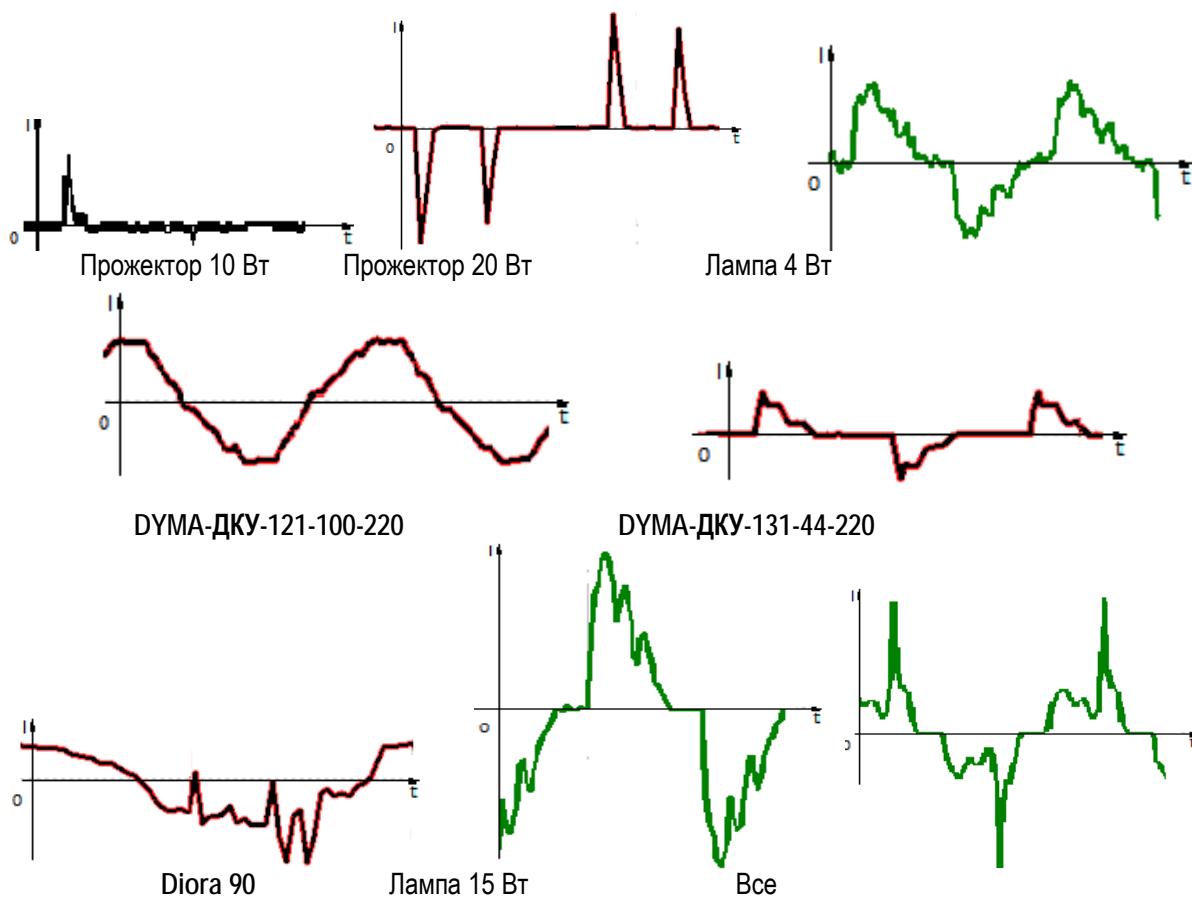


Рис. 3. Осциллограммы токов

**Заключение.** В сетях освещения, в которых используются приборы на основе светодиодов, наблюдаются значительные искажения формы кривых токов. В качестве иллюстрации можно привести осциллограммы токов в точке соединения с сетью (рис. 3).

Достаточно часто коэффициент искажения синусоидальности кривой тока превышает 30 % даже при полностью симметричной нагрузке. Это вызывает значительное увеличение потерь по сравнению с синусоидальным режимом. Кроме того, появление гармоник, кратных трем, приводит к существенному росту тока в нулевом проводе. А это может привести к аварии, вызванной повреждением нулевого провода.

Поэтому при использовании светодиодных источников света необходимо в обязательном порядке предусматривать мероприятия по поддержанию качества электроэнергии и надежности систем электроснабжения. Наибольший эффект получается при использовании специальных компенсирующих устройств – активных и пассивных фильтров гармоник.

Наиболее простым решением для наружного освещения будет установка пассивных фильтров гармоник в распределительной сети освещения. В [4] показано, что наибольшую эффективность такой фильтр имеет, если он включается в сеть одновременно с включением электроприемника, для которого предназначен. Со световыми приборами бытового назначения не все так однозначно, так как невозможно прогнозировать количество и распространенность таких световых приборов у населения. Поэтому для решения такой задачи наиболее подходящими были бы активные фильтры [5].

Стоимость пассивного фильтра для компенсации двух гармонических составляющих тока в этом случае составит порядка 30–35 тыс. руб. (по предварительной оценке, приведенной в [4]). Согласно методике, изложенной там же, в результате использования таких фильтров экономия будет не менее 5 % от затрат на оплату электроэнергии. А вот стоимость активного фильтра для бытовой сети будет, как минимум, на порядок выше.

### Литература

1. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях: пер. с англ. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.
2. Akagi H. Active harmonic filters // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93. – N. 12. – P. 2128–2141.
3. Анализ качества электроэнергии в распределительных сетях АПК / Н.П. Боярская, В.П. Довгун, С.А. Темербаев [и др.] // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 3. – С. 169–182.
4. Боярская Н.П., Довгун В.П., Кунгс Я.А. Проблемы компенсации высших гармоник в распределительных сетях агропромышленного комплекса/ Красноярск. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 123 с.
5. Темербаев С.А., Боярская Н.П., Довгун В.П. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ // Журн. Сибир. Федер.- ун-та. – 2013. – № 1. – С. 107–120.

