

УДК 621.391.832

А.Ю. Олисовец, В.И. Туев, С.П. Шкарупо

## Устройство питания светодиодной лампы с уменьшенным значением эмиссии помех

Установлено, что типовое техническое решение устройств питания светодиодных ламп характеризуется повышенным значением эмиссии гармоник. Предложено новое техническое решение устройства подключения светодиодного светового прибора в сеть переменного тока, экспериментальные исследования которого подтвердили его электромагнитную совместимость в части эмиссии гармоник.

**Ключевые слова:** Светодиод, устройство питания, эмиссия гармоник, ток, освещение, электромагнитная совместимость.

Традиционные источники света – лампы накаливания – до сих пор являются самыми распространёнными осветительными приборами бытового назначения, излучающими свет высокого качества. Как электропотребитель лампа накаливания, обеспечивая резистивный характер нагрузки, не даёт эмиссии гармоник и имеет единичное значение коэффициента мощности [1]. Основным недостатком ламп накаливания – малая величина световой отдачи, не превышающая значение 14 лм/Вт. В последнее десятилетие ведутся интенсивные исследования по применению твердотельных светоизлучающих диодов для целей освещения и достигнуты впечатляющие результаты в части световой отдачи, превышающей значение 120 лм/Вт. Однако вопросы электромагнитной совместимости светодиодных источников света решены неокончательно. В данной работе проведен анализ электромагнитной совместимости светодиодных источников света в части эмиссии гармоник.

Постановка задачи. Из анализа многочисленных литературных источников [1–4] следует, что устройства питания светодиодных ламп строятся в соответствии с электрической схемой, приведенной на рис. 1.

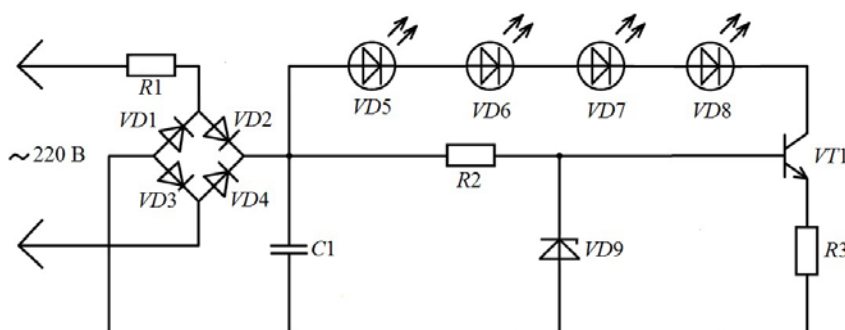


Рис. 1. Типовая электрическая схема устройств питания светодиодных ламп

Устройство содержит двухполупериодный выпрямитель на диодах  $VD1$ – $VD4$ , на который подается напряжение электрической сети через гасящий резистор  $R1$ . С выхода выпрямителя пульсирующее напряжение подается на конденсатор  $C1$  и далее на параметрический стабилизатор тока светоизлучающих диодов (СИД)  $VD5$ , ...,  $VD8$  как на рис. 1, либо на импульсный преобразователь в других устройствах [3].

Соотношение временных диаграмм напряжения электрической сети  $U(t)$  и формы потребляемого тока  $I(t)$  в типовой схеме устройств питания приведено на рис. 2.

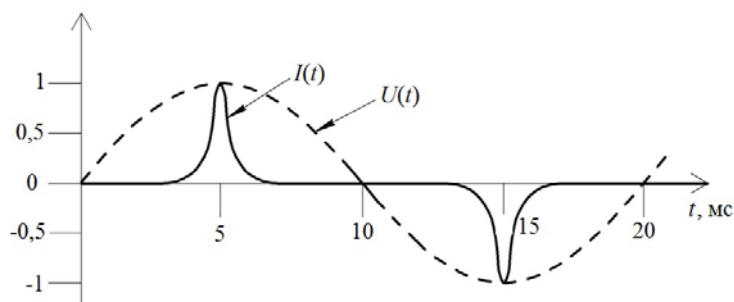


Рис. 2. Соотношение временных диаграмм напряжения электрической сети (пунктир) и формы потребляемого тока (сплошная линия) в типовой схеме устройств питания

Потребление тока происходит короткими импульсами синхронно по времени с максимальными значениями напряжения питающей сети. Энергия импульса тока тратится на восстановление заряда конденсатора  $C1$ , израсходованного на питание светодиодной части за половину периода питающего переменного напряжения. Несоответствие формы потребляемого тока форме питающего напряжения свидетельствует о нелинейном характере протекающих процессов и наличии эмиссии гармоник [5]. Предельные значения гармоник ограничены требованиями государственного стандарта [6].

Таким образом, целью работы является оценка эмиссии помех в типовом устройстве питания светодиодных ламп и разработка устройства со сниженным значением эмиссии помех при увеличенных значениях светового потока и коэффициента мощности (отношения активной части к значению полной потребляемой мощности [2]).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Осуществить спектральный анализ потребляемого из электрической сети тока.
2. Разработать конструкцию устройства питания с уменьшенной эмиссией гармоник.

Последующие исследования проводятся при следующих допущениях и ограничениях, не влияющих на общность полученных выводов и заключений:

1. Безинерционность светодиодов на частотах питающей сети и ее гармоник.
2. Пропорциональность излучаемого светового потока протекающему через светодиод току.
3. Идентичность светодиодов в лампе.

### Спектральный анализ потребляемого тока в типовой схеме устройств питания

Спектральный анализ проведен разложением аппроксимирующей временную форму тока, которая представлена на рис. 2, функции в ряд Фурье:

$$I(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cdot \sin k\omega t, \quad (1)$$

где  $a_k, b_k$  – коэффициенты разложения в ряд Фурье;  $\omega$  – круговая частота питающей сети.

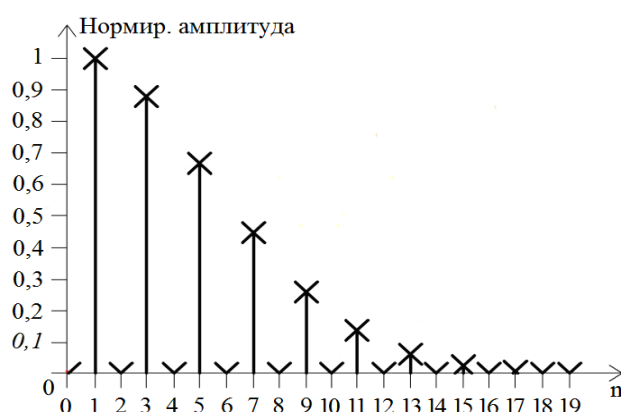


Рис. 3. Спектр тока, потребляемого от сети, в типовой схеме устройств питания

Вследствие симметричности формы тока относительно горизонтальной оси нулевая составляющая и четные гармоники в (1) имеют значения, равные нулю.

Спектральные составляющие тока, потребляемого от сети в типовой схеме устройств питания, рассчитанные в соответствии с (1) и нормированные относительно значения первой гармоники, приведены на рис. 3.

Типовое техническое решение устройств питания светодиодных ламп не удовлетворяет требованиям стандарта.

С целью устранения выявленного недостатка предложено новое техническое решение устройства питания [6].

Функциональная схема устройства приведена на рис. 4, на котором обозначено: 1 – контроллер; 2, 3 – аналого-цифровые преобразователи (АЦП); 4 – диодный выпрямитель; 5.1, 5.2, ..., 5.n – управляемые ключи; 6.1, 6.2, ..., 6.n – СИД; 7 – первый резистор; 8, 9 – второй и третий резисторы.

Устройство, изображенное на рис. 4, работает следующим образом.

В выключенном состоянии ключи 5.1, ..., 5.n разомкнуты, что предотвращает выход СИД из строя при включении устройства. При включении устройства контроллер 1 с помощью АЦП 2 определяет момент перехода пульсирующего напряжения на выходе диодного выпрямителя 4 через ноль и подает логические сигналы на управляющие входы управляемых ключей 5.1, 5.2, ..., 5.n таким образом, чтобы управляемые ключи перешли в замкнутое состояние. К выходным клеммам диодного выпрямителя 4 оказывается подключена цепь из последовательно соединенных СИД 6.1, замкнутого ключа 5.n и резистора 7. Светится СИД 6.1. С увеличением значения напряжения на выходных клеммах диодного выпрямителя 4 возрастает значение тока, протекающего по цепи последовательно соединенных СИД 6.1 – замкнутый ключ 5.n – резистор 7. Ток в цепи контролируется контроллером 1 с помощью АЦП 3 по падению напряжения на резисторе 7. При достижении тока в цепи максимального значения для выбранного типа СИД контроллер 1 изменяет логический сигнал на управляющим входе управляемого ключа 5.1 таким образом, чтобы управляемый ключ 5.1 перешел в ра-

замкнутое состояние. К выходным клеммам диодного выпрямителя 4 оказывается подключена цепь из последовательно соединенных СИД 6.1, 6.2, замкнутого ключа 5.n и резистора 7. Светятся СИД 6.1 и 6.2. При дальнейшем увеличении напряжения на выходных клеммах диодного выпрямителя 4 контроллер последовательно размыкает ключи 5.2; 5.3 и т.д., поочередно подключая светодиоды СИД 6.3; 6.4 и т.д. После достижения напряжения на выходных клеммах диодного выпрямителя 4 максимального мгновенного значения напряжения и, соответственно, тока, протекающего по цепи СИД 6.1; 6.2; ... 6.n-1, замкнутый ключ 5.n, резистор 7, напряжение и ток уменьшаются. При достижении тока в цепи, который равен минимальному значению тока для выбранного типа СИД контроллер 1 изменяет логический сигнал на управляющем входе управляемого ключа 5.n-1 таким образом, чтобы управляемый ключ 5.n-1 перешел в замкнутое состояние. При дальнейшем уменьшении напряжения на выходных клеммах диодного выпрямителя 4 контроллер последовательно замыкает ключи 5.n-2; 5.n-3 и т.д., поочередно выключая светодиоды СИД 6.n-2; 6.n-3 и т.д.

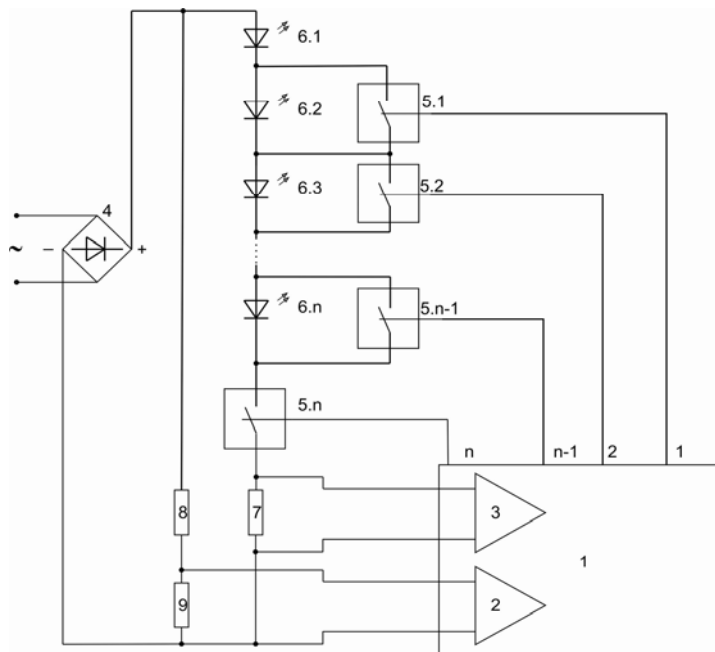


Рис. 4. Функциональная схема устройства питания светодиодной лампы

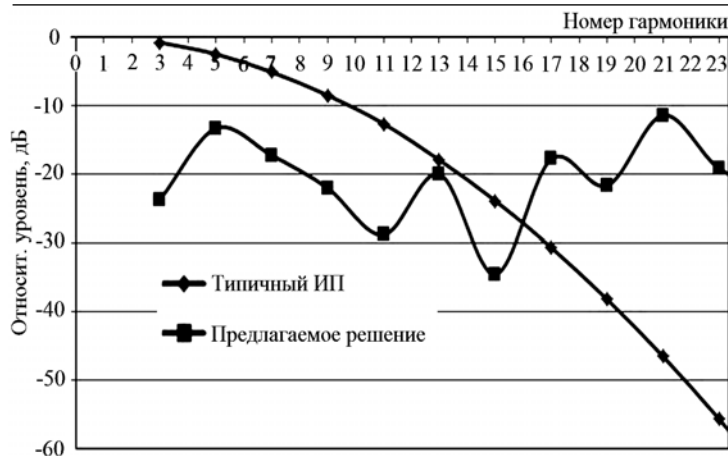
В результате за половину периода переменного питающего напряжения с максимальной яркостью светятся один, два, три, ...,  $n-1$ ,  $n$ ,  $n-1$ , ..., три, два один СИД, обеспечивая максимальное значение светового потока. Ток в цепи СИД меняется от минимального до максимального значения с частотой в  $4 \times n$  раз большей частоты питающего переменного напряжения.

По предлагаемой функциональной схеме (см. рис. 4) был изготовлен макет устройства, содержащий четыре последовательно соединенных СИД типа КИПД-152 [4], причем анод первого СИД подключен к положительной выходной клемме диодного выпрямителя, первый резистор, одним выводом соединенный с отрицательной выходной клеммой диодного выпрямителя, а входные клеммы диодного выпрямителя подключены к источнику переменного напряжения, четыре управляемых ключа, причем первый ключ подключен параллельно второму СИД, второй ключ подключен параллельно третьему СИД, третий ключ – параллельно четвертому СИД, первый вывод четвертого ключа подключен к катоду четвертого СИД, а второй вывод – ко второму выводу первого резистора, контроллер с процессором и двумя АЦП, дифференциальные входы первого из них подключены к первому резистору, дифференциальные входы второго АЦП подключены к третьему резистору делителя напряжения из второго и третьего резисторов, подключенного между положительной и отрицательной выходными клеммами двухполупериодного диодного выпрямителя, а четыре выхода процессора подключены соответственно к управляющим входам первого, второго, третьего и четвертого управляемых ключей.

Нормированные значения экспериментально измеренных значений гармонических составляющих тока приведены на рис. 5.

В результате сравнения полученных результатов со спектральными составляющими тока, потребляемого от сети в типовой схеме устройств питания, установлено, что предложенное устройство имеет на 12–23 дБ меньшее значение третьей, пятой, ..., одиннадцатой гармоник питающей сети. Превышение значений семнадцатой и более высоких гармоник в предложенном техническом решении относительно типовой схемы устройств питания может быть устранено применением фильтра нижних частот.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что типовое техническое решение устройств питания светодиодных ламп характеризуется повышенным значением эмиссии гармоник.



Предложено новое техническое решение устройства подключения светодиодного светового прибора в сеть переменного тока, экспериментальные исследования которого подтвердили его электромагнитную совместимость в части эмиссии гармоник.

Рис. 5. Нормированные значения экспериментально измеренных значений гармонических составляющих тока

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта RFMEFI57714X0061.

#### Литература

1. Махлин А. Особенности проектирования блока питания для светодиодных ламп // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 1. – С. 30–33.
2. Семёнов Б.Ю. Экономическое освещение для всех. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 224 с.
3. Китаев В.Е. Расчёт источников электропитания устройств связи: учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.
4. Гончарова Ю.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность / Ю.С. Гончарова, И.Ф. Гарипов, В.С. Солдаткин // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 2 (28). – С. 51–53.
5. Туев В.И. Микроволновые усилители с большим динамическим диапазоном / В.И. Туев, В.М. Коротаев. – Томск : Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 175 с.
6. ГОСТ 30804.3.2–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. – М.: Госстандарт России, 2013. – 29 с.
7. Заявка на патент на изобретение. Российская Федерация, МПК 7: H 01 L 33/00, H05B 37/02. Схема подключения светодиодного светового прибора в сеть переменного тока / В.И. Туев, С.П. Шкарупо, А.Ю. Олисовец, А.Ю. Хомяков, В.С. Солдаткин, А.В. Иванов, Ю.В. Ряполова, А.А. Вилисов (RU). – №2015124588; заявл. 23.06.2015.

#### Олисовец Артем Юрьевич

Аспирант каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭТЭМ)  
Тел.: 8-952-897-66-89  
Эл. почта: celll@list.ru

#### Туев Василий Иванович

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. РЭТЭМ  
Тел.: (382-2) 70-15-06  
Эл. почта: tvi\_retem@main.tusur.ru

#### Шкарупо Семен Петрович

Аспирант каф. РЭТЭМ  
Тел.: 8-952-886-66-03  
Эл. почта: rk9uba@yandex.ru

Olisovets A.Y., Tuev V.I., Shkarupo S.P.

#### LED lamp power supply unit with reduced noise emissions

It was found that the typical solution to LED lamp power supply is characterized by the increased harmonics emission. A new technical solution to connect the LED device to AC power was proposed. Experimental studies have confirmed its electromagnetic compatibility with regard to the emission of harmonics.

**Keywords:** Power supply, light emitting diode, emission of harmonics.