

Сравнение основных типов преобразователей для питания светодиодов в сети переменного тока¹

М. АЛТИНАЙ¹, Б. ЧАКИР¹, Е. ШЕХИРЛИ², Ё. ЮСТЮН³

¹ Университет Коджаэли, Измит, Турция.

² Университет Кастамону, Кастамону, Турция.

³ Стамбульский технический университет, Стамбул, Турция.

E-mail: eshirli@kastamonu.edu.tr

Аннотация

В статье сравниваются схемы устройств управления светодиодными источниками света мощностью 8 Вт, построенных на повышающе-понижающих преобразователях и преобразователях *SEPIC*, которые подключаются к сети переменного тока через однофазные диодные выпрямители. Эти преобразователи работают с частотой переключения 63 кГц, причём индуктивности преобразователя *SEPIC* намотаны попарно. Для обеих схем приведены реальные коэффициенты мощности, коэффициенты гармоник тока и напряжения сети, а также напряжение на мощном светодиоде и его ток. Проведено сравнение требований стандарта *IEC61000-3-2* и характеристик повышающе-понижающего преобразователя и преобразователя *SEPIC*. На основе вольт-амперной характеристики построена модель электрической схемы мощного светодиода.

Ключевые слова: устройство управления для светодиода, коррекция коэффициента мощности, повышающе-понижающий преобразователь, преобразователь *SEPIC*, коэффициент мощности, коэффициент гармоник.

1. Введение

В последнее время большое внимание уделяется применению мощных светодиодов (СД) для целей освещения, что обусловлено их высокой световой отдачей по сравнению с другими источниками света, такими как люминесцентные лампы, лампы накаливания и металлогалогенные лампы. Однако для питания мощных СД требуется напряжение

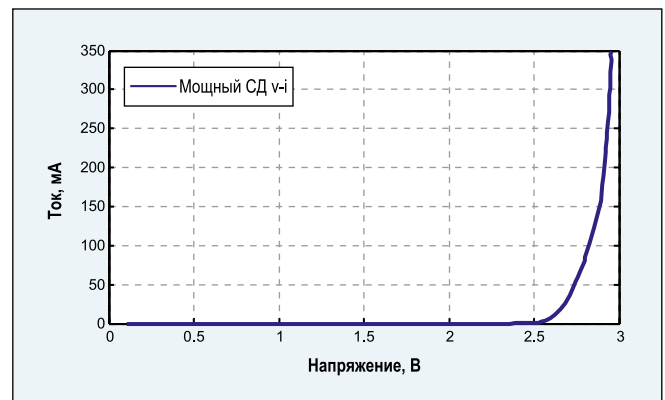
постоянного тока. Это напряжение постоянного тока в большинстве случаев может быть обеспечено в результате выпрямления однофазного напряжения переменного тока. При непосредственном использовании неуправляемых выпрямителей это может привести к нелинейным искажениям тока сети и уменьшению коэффициента мощности, причём следует отметить, что величина гармоник тока сети ограничивается требованиями международных стандартов, например, *IEC 61000-3-2*. Для решения этой проблемы в качестве устройств управления (УУ) для СД можно использовать схемы с высокими коэффициентами мощности или с коррекцией коэффициента мощности (ККМ). Кроме того, однофазные схемы ККМ можно реализовать, поместив после неуправляемого мостикового выпрямителя любой преобразователь постоянного тока в постоянный. В литературе имеется ряд работ на эту тему.

Применение преобразователей, обеспечивающих ККМ, в качестве УУ для СД описано в [1]. В [2] описано УУ, основанное на преобразователе Кука (*Cuk converter*). УУ для СД, которое состоит из обратноходового преобразователя и преобразователя *SEPIC*, описано в [3, 4], а в [5] опи-

сано УУ, включающее в себя сочетание понижающего и обратноходового преобразователей. В [6] в качестве УУ для СД используются преобразователь переменного тока в постоянный и преобразователь постоянного тока в постоянный. В [8–10] проведено описание и сопоставление преобразователей с ККМ, в котором рассмотрены основные преобразователи постоянного тока в постоянный. Подробный анализ, описание конструкции и работы преобразователей постоянного тока в постоянный содержатся в [11]. В [12] проведено сравнение основных предназначенных для питания натриевых ламп высокого давления преобразователей постоянного тока в постоянный с ККМ, которые включают в себя понижающие преобразователи, повышающие преобразователи, повышающе-понижающие преобразователи (ППП), преобразователи *SEPIC* и *ZETA*. Ещё одно сравнение, охватывающее предназначенные для питания мощных СД ППП и преобразователи *SEPIC* и Кука, содержится в [13].

В данной статье проведено сравнение схем УУ для СД, включающих в себя ППП и преобразователи *SEPIC*. Обе эти 8-ваттные схемы подключены к сети через однофазные диодные выпрямители. Кроме того, они работают с частотой переключения 63 кГц и используют легкодоступные микросхемы. Для обеих схем приведены реальные коэффициенты мощности, коэффициенты гармоник (КГ) тока и напряжения сети, а также напряжение на мощном СД и его ток. Кроме того, проведено сравнение требований стандарта *IEC61000-3-2* и полученных реальных характеристик и построена модель электрической схемы мощного СД.

Рис. 1. Вольт-амперная характеристика мощного СД



¹ Перевод с английского Е.И. Розовского.

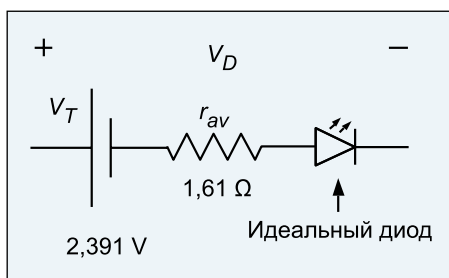


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема мощного СД

2. Мощный светодиод

Использовавшиеся в этой работе вольт-амперная характеристика и модель электрической схемы мощного СД получены с помощью цифровых мультиметров *Fluke 15B* и *Fluke 17B*.

Вольт-амперная характеристика мощного СД, полученная при увеличении тока одного мощного СД, приведена на рис. 1. Как видно на рисунке, между током и напряжением имеется экспоненциальная зависимость, и после включения СД ток очень быстро возрастает. При этом напряжение на СД изменяется не сильно вплоть до достижения током значения 340 мА [14, 14а]. Исходя из рис. 1, была получена модель электрической схемы мощного СД (рис. 2). В этой модели заложено, что пороговое напряжение и сопротивление мощного СД равны, соответственно, 2,391 В и 1,61 Ом.

3. Устройство управления

Здесь будут описаны ППП и преобразователь *SEPIC* с ККМ, которые используются в качестве УУ для СД. Оба преобразователя подключаются к сети через однофазные диодные выпрямители. Изменяя коэффициент заполнения, можно установить требуемое значение постоянного напряжения на мощном СД, обеспечивая при этом высокое значение коэффициента мощности. Более того, обе схемы могут обеспечивать напряжение, величина которого будет больше или меньше входного напряжения.

3.1. Повышающе-понижающий преобразователь

ППП, состоящий из индуктивности L , конденсатора C , диода D и переключателя S (рис. 3), подключается к сети через диодный мост и при помощи высокочастотного переключения обеспечивает получение постоянного на-

Рис. 3. ППП с ККМ

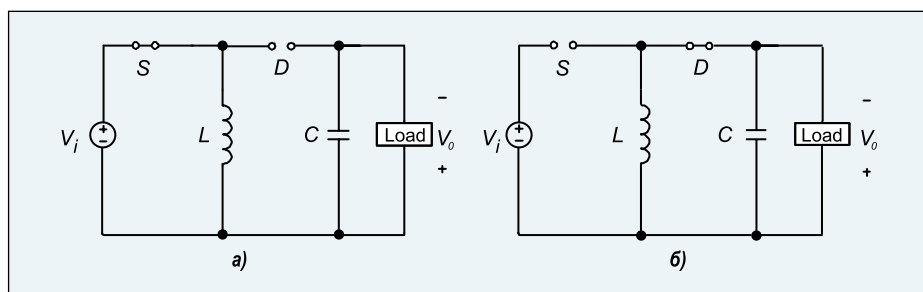
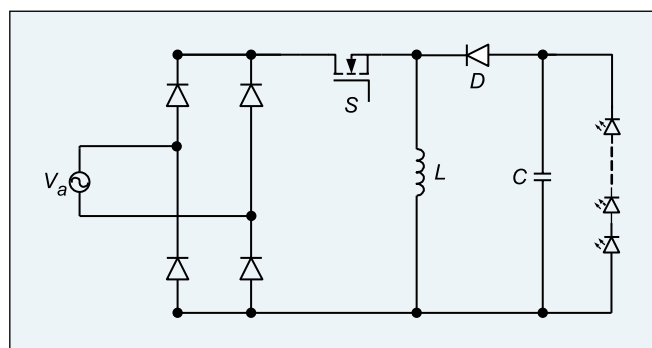
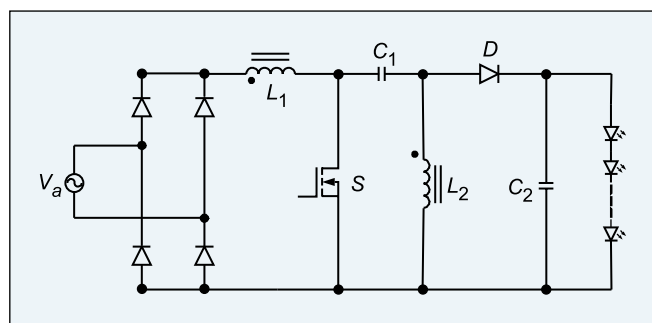


Рис. 4. Состояние переключения: а – открыто, б – закрыто

Рис. 5. Преобразователь *SEPIC* с ККМ



пряжения, которое питает СД. Этот преобразователь работает по принципу передачи энергии индуктивности, и когда переключатель включён, индуктивность запасает энергию, а переключатель отключает передачу этой энергии в нагрузку.

Напряжение на СД можно сделать выше или ниже входного напряжения при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Кроме того, работа на высокой частоте обеспечивает высокий коэффициент мощности [8], но так как напряжение на СД имеет обратную полярность относительно входного напряжения, то во избежание появления высокочастотных помех необходимо использовать входной фильтр.

Для выбора пассивных элементов можно воспользоваться следующими уравнениями [11]:

$$L_{max} = R_{Lmin} \cdot (1 - D_{max})^2 / (2 \cdot f_s), \quad (1)$$

$$C_{min} = D_{max} \cdot V_o / (f_s \cdot R_{Lmin} \cdot V_{ripple}) \quad (2)$$

где L_{max} – максимальное значение индуктивности в режиме прерывистой проводимости, R_{Lmin} – минимальное сопротивление нагрузки, D_{max} – максимальное значение коэффициента заполнения, f_s – частота переключения, C_{min} – минимальное значение ёмкости, V_o – выходное напряжение, V_{ripple} – пульсации напряжения на выходе преобразователя.

3.2. Преобразователь *SEPIC*

Преобразователь *SEPIC* с ККМ, состоящий из двух индуктивностей и двух конденсаторов, показан на рис. 5. При этом индуктивности этого преобразователя намотаны попарно, то есть на одном и том же сердечнике.

Положения переключателя S показаны на рис. 6, и когда он включён, то на индуктивность L_1 поступает энергия от источника питания, а на индуктивность L_2 – от конденсатора C_1 . Когда переключатель S выключен, C_1 за-

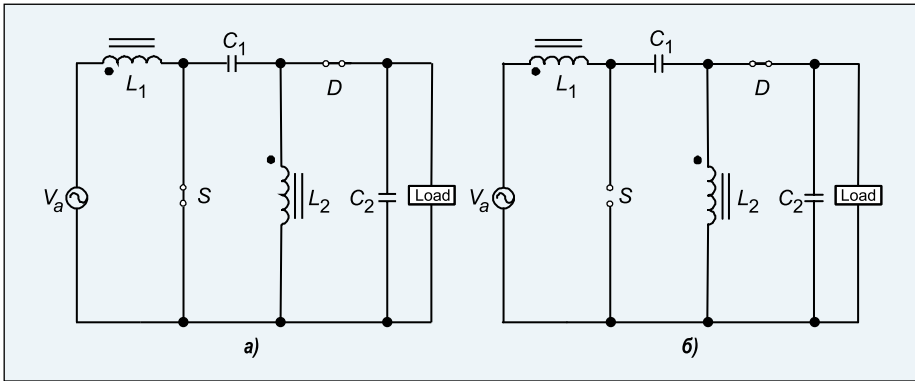


Рис. 6. Состояние переключения: а – открыто, б – закрыто



Рис. 7. Экспериментальная установка

ряжается от источника питания и L_1 , токи индуктивностей L_1 и L_2 протекают через диод D и нагрузку, а конденсатор C_2 заряжается [15, 16]. При этом работа переключателя на высокой частоте обеспечивает ККМ.

Наиболее важным преимуществом преобразователя *SEPIC* перед ППП является совпадение полярности выходного напряжения с полярностью входного напряжения. Однако в *SEPIC* пассивных элементов больше, чем в ППП. В то же время, наличие кон-

денсатора на входной стороне обеспечивает непрерывность входного тока и способствует уменьшению помех [15].

Для выбора пассивных элементов можно воспользоваться уравнениями (3) – (5) [16, 17]:

$$L_{1min} = L_{2min} = D_{max} \cdot V_{in} / (2 \cdot \Delta I_L \cdot f_s), \quad (3)$$

$$C_2 \geq I_{out} \cdot D_{max} / (V_{ripple} \cdot f_s), \quad (4)$$

$$C_1 = I_{out} \cdot D_{max} / (\Delta V_{C1} \cdot f_s), \quad (5)$$

где L_{1min} и L_{2min} – минимальные значения индуктивностей L_1 и L_2 , D_{max} – максимальное значение коэффициента заполнения, V_{in} – входное напряжение, ΔI_L – пульсирующая компонента постоянного тока через катушки индуктивности, f_s – частота переключения, C_1 и C_2 ёмкости соответствующих конденсаторов, I_{out} – выходной ток, V_{ripple} – пульсации напряжения на выходе преобразователя, ΔV_{C1} – пульсации напряжения на конденсаторе C_1 .

4. Применение

В этом разделе описана реализация УУ для СД, в которых используются ППП с ККМ и преобразователь *SEPIC* с ККМ. Экспериментальная установка показана на рис. 7. Оба преобразователя подключались к сети через понижающий трансформатор 220/24 В (50 Гц). В качестве нагрузки использовались две параллельные цепочки из трёх последовательно соединённых мощных СД. Как следует из рис. 1 и 2, для оптимальной работы напряжение на каждом из СД должно составлять максимум 3 В, так что на мощные СД подавалось напряжение до 10 В. Кроме того, при реализации схем применялись легкодоступные микросхемы *SG3524*, *IR2117*, *TC4427* и *LM317*.

4.1. Повышающе-понижающий преобразователь с коррекцией коэффициента мощности

Схема УУ, реализованной на основе ППП с ККМ, приведена на рис. 8. ШИМ-сигналы формируются благодаря отсутствию обратной связи и использованию микросхемы *SG3524*. В реализованной схеме использо-

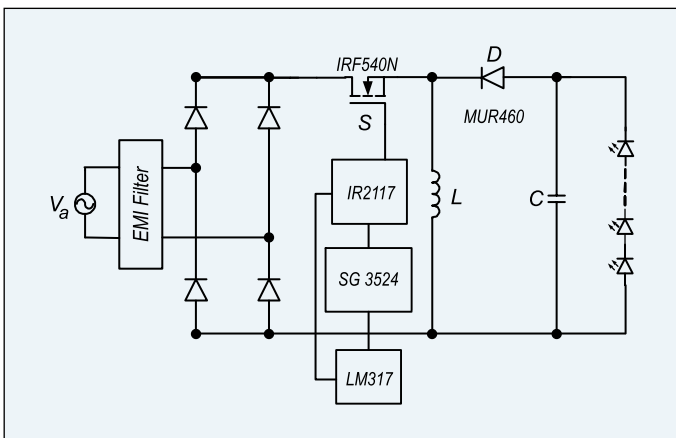


Рис. 8. Применение ППП с ККМ

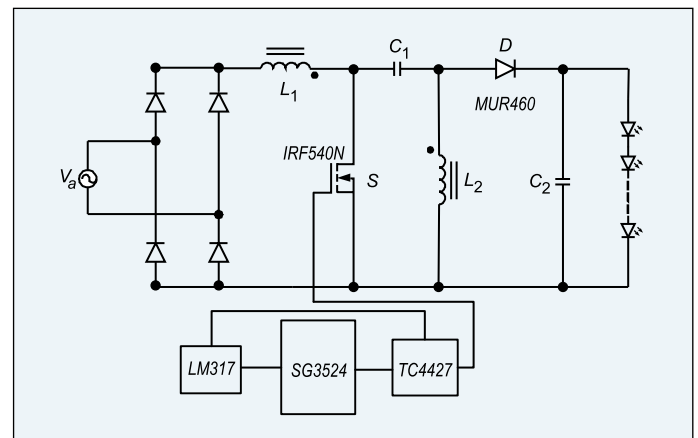


Рис. 9. Применение преобразователя *SEPIC* с ККМ

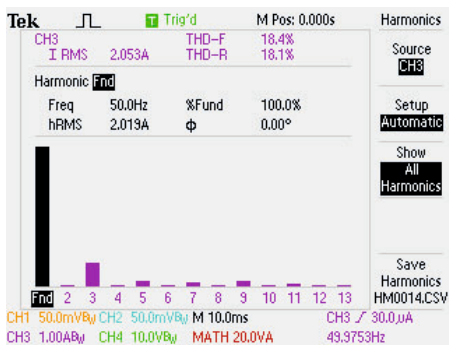


Рис. 10. Гармоники тока сети в случае ППП с ККМ

вались полевой МОП-транзистор *IRF540N*, УУ для полевого МОП-транзистора *IR2117*, ультрабыстрый диод *Mur460*, индуктивность 100 мкГн и конденсатор ёмкостью 1000 мкФ [18–21].

Коэффициент заполнения регулируется подсоединённым к *SG3524* потенциометром, а частота была равна 63 кГц. Для уменьшения высокочастотных помех и во избежание проникновения в сеть прерывистого тока использовался, как и в [22], фильтр электромагнитных помех типа π . Пассивные элементы выбирались при помощи уравнений (1) и (2).

4.2. Преобразователь SEPIC с коррекцией коэффициента мощности

Схема УУ, реализованного на основе преобразователя *SEPIC* с ККМ, приведена на рис. 9. Она, опять же, построена по принципу работы без обратной связи. ШИМ-сигналы формируются благодаря отсутствию обратной связи и использованию микросхемы *SG3524*. В реализованной схеме использовались микросхема *SG3524* (для формирования ШИМ-сигналов), полевой МОП-транзистор *IRF540N*, УУ для полевого МОП-транзистора *TC4427*, ультрабыстрый диод *Mur460*, индуктивность 100 мкГн и конденсатор ёмкостью 1000 мкФ [18–23].

Коэффициент заполнения также регулируется подсоединённым к *SG3524* потенциометром, а частота опять была равна 63 кГц. Использовалась та же нагрузка, что и в случае УУ на основе ППП с ККМ. Пассивные элементы выбирались при помощи уравнений (4) – (6). УУ на основе преобразователя *SEPIC* с ККМ позволяет обеспечить требуемый результат и без фильтра электромагнитных помех.

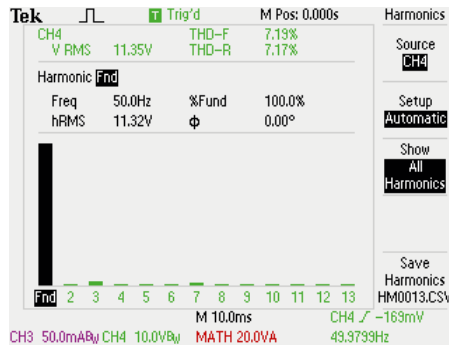


Рис. 11. Гармоники напряжения сети в случае ППП с ККМ

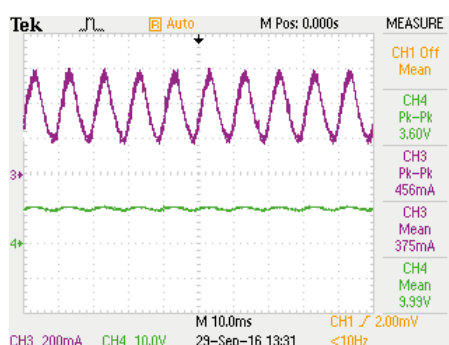


Рис. 13. Ток и напряжение на мощном СД в случае ППП с ККМ

5. Результаты измерений

КГ тока и напряжения сети, коэффициенты мощности, напряжение на мощном СД и его ток были измерены как в случае УУ на основе ППП с ККМ, так и в случае УУ на основе преобразователя *SEPIC* с ККМ. При проведении измерений использовались осциллограф *TPS2024B* и программное обеспечение для решения задач энергосистем *TPS2PWR1*.

5.1. Повышающе-понижающий преобразователь с коррекцией коэффициента мощности

Как следует из рис. 10, КГ тока сети в случае ППП с ККМ составил 18,4%. При этом коэффициент мощности был равен 0,925, КГ напряжения сети оказался равным 7,19% (рис. 11), а формы тока и напряжения сети подобны друг другу и обе синусоидальные (рис. 12), тогда как ток СД непостоянен и имеет пики до 400 мА (рис. 13).

5.2. Преобразователь SEPIC с коррекцией коэффициента мощности

Как следует из рис. 14, КГ тока сети в случае преобразователя *SEPIC*

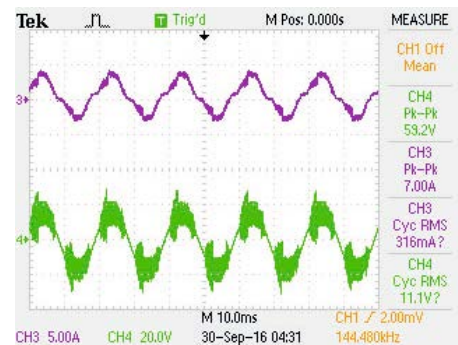


Рис. 12. Ток и напряжение сети в случае ППП с ККМ

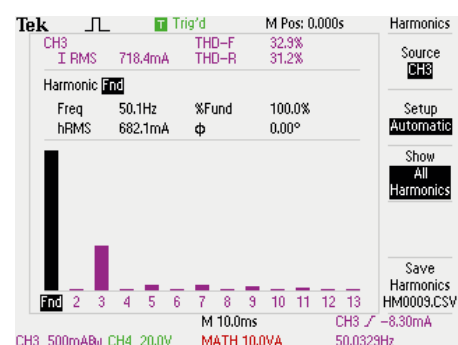


Рис. 14. Гармоники тока сети в случае преобразователя SEPIC с ККМ

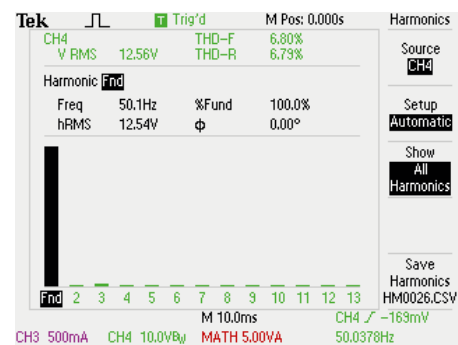


Рис. 15. Гармоники напряжения сети в случае преобразователя SEPIC с ККМ

с ККМ составил 32,9%. При этом коэффициент мощности был равен 0,912, КГ напряжения сети оказался равным 6,80% (рис. 15), а формы тока и напряжения сети подобны друг другу и обе синусоидальные (рис. 16), тогда как ток СД непостоянен и имеет пики до 200 мА (рис. 17).

6. Заключение

В статье проведено сравнение УУ для СД на основе ППП с ККМ и преобразователя *SEPIC* с ККМ и представлены вольт-амперная характеристика и эквивалентная электрическая схема мощного СД. Эти УУ были реализованы с использованием легкодоступных и дешёвых микросхем, после чего

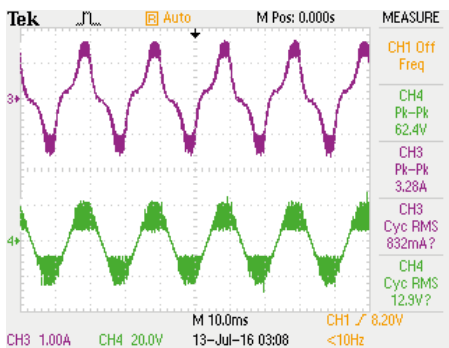


Рис. 16. Ток и напряжение сети в случае преобразователя SEPIC с ККМ

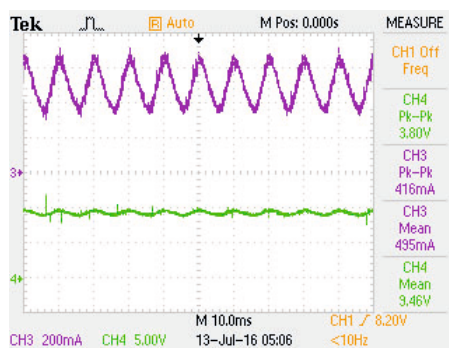


Рис. 17. Ток и напряжение на мощном СД в случае преобразователя SEPIC с ККМ

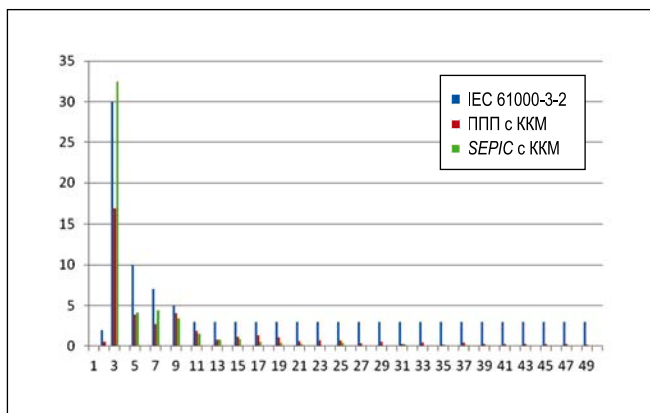


Рис. 18. Сравнение гармоник тока сети

были измерены КГ тока (18,4 и 32,9% соответственно) и напряжения (7,19 и 6,80% соответственно) сети, коэффициенты мощности (0,925 и 0,912 соответственно), напряжение на мощном СД и его ток (колебания тока составили 400 и 200 мА соответственно). ППП с ККМ соответствует классу С из стандарта IEC 61000-3-2.

В результате установлено, что в случае ППП с ККМ коэффициент гармоник тока сети и коэффициент мощности лучше, чем в случае преобразователя SEPIC с ККМ, тогда как гармоник напряжения сети и колебания тока мощного СД оказались лучше в случае преобразователя SEPIC с ККМ.

На рис. 18 проведено сравнение КГ тока сети, соответствующих классу С из стандарта IEC 61000-3-2 и измеренных в случаях УУ на основе ППП с ККМ и УУ на основе преобразователя SEPIC с ККМ. Из рисунка следует, что оба преобразователя в целом удовлетворяют требованиям IEC 61000-3-2, хотя в случае преобразователя SEPIC с ККМ третья гармоника несколько превышает приведённое в стандарте предельно допустимое значение. С другой стороны, УУ на основе преобразователя SEPIC с ККМ было реализовано без входного филь-

тра. После добавления входного фильтра можно ожидать полного удовлетворения требований стандарта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cheng, H.L., Lin, C.W. Design and Implementation of a High-Power-Factor Led Driver With Zero-Voltage Switching-On Characteristics // IEEE Transaction on Power Electronics. – 2014. – Vol. 29, No. 9. – P. 4949–4958.
2. Mohammed, L., Saudin, N., Hamid, N.F.A., Ramly, N.H., Isa, Z.M., Ahamad, N.B. Cuk Converter as a Led Lamp Driver // IEEE Int. Conf. on Power and Energy, Kota Kinabalu Sabah, Malezya, 2012. P. 262–267.
3. Lamar, D.G., Ariasm, M., Rodriguez, A., Fernandes, A., Hernando, M.M., Sebastian, J. Design Oriented Analysis and Performance Evaluation of a Low-Cost High-brightness Led Driver Based on Flyback Power Factor Corrector // IEEE Transaction on Industrial Electronics. – 2013. – Vol. 60, No. 7. – P. 2614–2626.
4. Ma, H., Lai, J.S., Feng, Q., Yu, W., Zheng, C., Zhao, Z. A Novel Valley-Fill Sepic-derived Power Supply without Electrolytic Capacitors for Led Lighting Application // IEEE Transaction on Power Electronics. – 2012. – Vol. 20, No. 6. – P. 3057–3071.
5. Paul, E., Aleyas, M.V., Oommen, A.P. A Single Stage High Power Factor Supply Based on Integrated Buck Flyback Converter // Int. Journal of Advanced Research in Electrical,

Electronics and Instrumentation Engineering. – 2013. – Vol. 2, No.1. – P. 680–688.

6. Arias, M., Vazquez, A., Sebastian, J. An Overview of the AC-DC and DC-DC Converters for Led Lighting Applications // Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications. – 2012. – Vol. 53, No. 2. – P. 156–172.

7. Arias, M., Vazquez, A., Sebastian, J. Integrated Double Buck-Boost Converter as a High-Power-Factor Driver for Power-Led Lamps // Int. Journal of Scientific Engineering and Research. – 2014. – Vol. 2, No. 1. – P. 74–77.

8. Grigore, V. Topological Issues in Single-Phase Power Factor Correction. PhD thesis, Helsinki University of Technology, 2001.

9. Sharifipour, B., Huang, J.S., Liao, P., Huber, L., Javanovich, M.M. Manufacturing and Cost Analysis of Power-Factor-Correction Circuits // IEEE APEC98, Anaheim, Canada, pp. 490–494.

10. Zhang, J., Javanovich, M.M., Lee, F.C. Comparison Between CCM Single Stage and Two Stage Boost PFC Converters // IEEE APEC99, Dallas, USA, pp. 335–341.

11. Kazmierczuk, M.K. Pulse Width Modulated DC-DC Power Converters, 1st edition, Singapore: Wiley, 2008.

12. Costa, M.A.D., Marchesan, T.B., Da Silveira, S.J., Seidel, R.A., Do Prado, R.N., Alvarez, J.M.A. Integrated Power Topologies to Supply HPS Lamps: Comparative Study // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2010. – Vol. 25, No. 8. – P. 2124–2132.

13. Cabral, H.G., Marques, A.R., Pedrollo, G.R., De Faria, P.F., Dos Reis, F.S. Performance Comparison of Buck-boost Family Converters for Driving LED Lamps // 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Application INDUSCON, 2014, Cascatinha, Brazil.

14. Sehirlir, E., Altunay, M., Cakir, B. Comparison of a Single Phase Linear and Buck-boost Led Driver // Light&Engineering. – 2015. – Vol. 23, No. 3. – P. 78–84.

14а. Алтунай М., Чакур Б., Шехирли Э. Сравнение линейного и повышающе-понижающего преобразователей для питания светодиодов от сети переменного тока // Светотехника. – 2015. – № 4. – С. 59–63.

15. Url-5 < <http://www.switchingpower-magazine.com/downloads/Sepic%20Analysis.pdf> >, Visit date, 21.05.2016.

16. Url-6 < <http://www.ti.com/lit/an/slyt309/slyt309.pdf> >, Visit date, 21.05.2016.

17. Url-7 < <http://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf> >, Visit date, 21.05.2016.

18. Data sheet SG3524. Regulating Pulse-Width Modulators. Texas Instrument, 2003.

19. Data sheet IRF540N. IRF540N Power Mosfet. International Rectifier, 2001.

20. Data sheet MUR460. Ultrafast Plastic Rectifier, Vishay General Semiconductor, 2012.

21. Data sheet IR2117. Single Channel Driver, International Rectifier, 2007.

22. User Guide for FEBL7732_L28U008A, «8.4W LED Driver at Universal Line Using Buck-Boost Featured Fairchild Product FL7732, Fairchild, (2012).

23. Data sheet TC4427. 1.5 A Dual High-Speed Power Mosfet Drivers, 2014.



Мерал Алтинай (Meral Altınay), Ph.D. (2005 г.). Доцент технологического факультета Университета Коджаэли. Область научных интересов: моделирование, проектирование устройств управления,

работающих в режиме переключения, качество электроэнергии



Бекир Чакир (Bekir Çakır), Ph.D. (1995 г.). Профессор машиностроительного факультета Университета Коджаэли. Область научных интересов: проектирование встроенных систем, электронные

схемы устройств управления, системы с возобновляемыми источниками энергии, интеллектуальные энергосистемы



Эрдал Шехирли (Erdal Şehirli), M. Sc. (2009 г.). Аспирант (Ph.D.) Университета Коджаэли и преподаватель факультета электронной техники профессионально-технического училища Университе-

та Кастамону. Область научных интересов: устройства управления для светодиодов, электрические машины и приводы, выпрямители напряжения и нелинейные системы управления



Ёргюр Юстюн (Özgür Üstün), Ph.D. (2000 г.). Доцент Стамбульского технического университета. Область научных интересов: силовая электроника, электрические машины и преобразование энергии.

Правила оформления рукописей, подаваемых в журнал «Светотехника»

Журнал публикует неопубликованные нигде ранее результаты оригинальных исследований и обзорные статьи на русском языке по различным направлениям светотехники. Рукописи статей принимаются на русском и (или) английском языках.

Все авторы несут ответственность за содержание статьи.

Плата с авторов за публикацию не взимается, гонорар не выплачивается.

Структура статьи

Статья должна иметь структуру IMRAD:

1. Название
2. Авторы
3. Аннотация
4. Ключевые слова
5. Введение (Introduction)
6. Методы (Methods)
7. Результаты (Results)
8. Подтверждение и признание участия третьих лиц, финансирования работы (Acknowledgement)
9. Дискуссия или заключение (Discussion)
10. Список литературы

В конце раздела «Введение» следует сформулировать основную цель и задачи работы.

Список литературы

Научная статья является частью развивающейся мировой научной дискуссии, поэтому в списке литературы должно быть не менее 30% адекватных ссылок на публикации ведущих мировых научных изданий на английском языке, входящих в базы данных цитируемых международных агентств, например, Scopus и Web of Science. Среди ссылок на статьи из баз должны быть статьи, опубликованные не позднее двух-пяти лет назад.

Порядок работы с редакцией и рецензирование

Статья проходит двойное рецензирование.

Рецензенты дают заключение по следующим пунктам: а) соответствует ли статья тематике журнала; б) яв-

ляется ли статья оригинальным исследованием или обзором; в) приведены ли в оригинальном исследовании чётко сформулированные новые научные результаты; г) достаточно ли надёжно обоснованы выводы статьи; д) понятно ли изложен материал статьи, соблюдено ли в ней единообразие в терминах и обозначениях; е) соблюдена ли структура IMRAD; ж) приведены ли ссылки на свежие данные и работы по теме, опубликованные в журналах, входящих в базы цитирования, например, Scopus и Web of Science.

В случае несоответствия тематике журнала, или отсутствия в статье сформулированного научного результата, или при значительном количестве выявленных фактических ошибок статья может быть отклонена от публикации без подробной рецензии.

При положительном заключении рецензентов, статья редактируется и отправляется в вёрстку. Редакция не согласовывает с авторами изменения и сокращения рукописи, имеющие редакционный характер и не затрагивающие принципиальных вопросов.

Оформление статьи

Оформление списка авторов

Первыми указываются инициалы, затем фамилия. Если коллектив авторов включает сотрудников разных учреждений, следует указать место работы каждого автора сноской при фамилии автора. Хотя бы для одного автора должен быть указан адрес электронной почты для корреспонденции.

На отдельном листе следует приложить краткие сведения об авторах (когда и какой вуз окончен, настоящее место работы и занимаемое положение, учёная степень и учёное звание, почётное звание, область научных интересов и т.п.). Следует также представить цветную фотографию каждого автора в электронном виде.

Оформление рисунков и таблиц

Таблицы, иллюстрации (рисунки, фотографии) и подписи к иллюстрациям нумеруются по порядку упоминания в тексте. Название иллюстра-