

Анализ качества энергии выпускаемых устройств управления для светодиодов¹

А. МУКХЕРДЖИ¹, Т.С. БАНЗАЛ², А. СОНИ³

¹ Университет Суреш Гиан Вихар, Джайпур, Индия
E-mail: mukherjeeanirudh73@gmail.com

² Университет Суреш Гиан Вихар, Джайпур, Индия

³ Университет Манипал, Джайпур, Индия

Аннотация

Светодиоды (СД) быстро вытесняют лампы накаливания и компактные люминесцентные лампы в большинстве развивающихся стран мира. Причиной этого служат, главным образом, их более высокие сроки службы и меньшее энергопотребление по сравнению с остальными вышеупомянутыми типами источников света. Однако следует обратить внимание на один важный момент, а именно, на влияние устройств управления (УУ) на работу СД. СД управляются током, и световой поток СД возрастает по мере увеличения подводимого к нему тока. Это позволяет увеличить световой поток, но одновременно приводит к возрастанию температуры $p-n$ -перехода. Поэтому увеличение тока СД требует дополнительных радиаторов, которые обеспечивали бы отвод выделяемого тепла. Эти дополнительные радиаторы часто трудно разместить. Так что конструкторы используют различные приёмы, позволяющие обеспечить отвод тепла. Это достигается посредством конструирования охлаждающих рёбер радиаторов. Однако этот подход не годится в случаях, когда температура окружающей среды превышает нормальную. Поэтому для удержания температуры СД в заданных пределах требуются УУ с контролируемым выходным током. Кроме того, преобразующие переменный ток в постоянный УУ для СД, которые имеются на рынке, редко содержат схемы коррекции коэффициентов мощности и гармонических искажений, наличие которых предусмотрено стандартом IEC61000-3-2. Эти схемы необходимы для поддержания энергоэффективности близлежащих сетей энергоснабжения и, к тому же, улучшают качество тока, потребляемого СД. В данной работе рассмотрены упомянутые мо-

менты и предложены УУ с коррекцией, основанные на двух схемах: понижающе-повышающей и обратноходовой. Эти схемы были предложены для решения вопросов, связанных с качеством энергии и сроком службы. Моделирование проводилось при помощи программы Green Point компании On semiconductors.

Ключевые слова: устройство управления, температура $p-n$ -перехода, преобразователь переменного тока в постоянный, коэффициент мощности, коэффициент гармоник.

1. Введение

В 2009 г. в [1], где были приведены различные схемы устройств управления (УУ) для светодиодов (СД), была предпринята попытка улучшить их работу, выбрав наилучшую схему. В этой статье, характеристики схем УУ для СД были, фактически, использованы для оценки приемлемости этих схем.

В 2010 г. было предложено УУ для СД, основанное на понижающе-повышающем преобразователе с коррекцией коэффициента мощности [2]. Существенной особенностью схемы этого УУ было то, что она позволяла уве-

личить коэффициент мощности почти до единицы. Главные недостатки этой схемы состоят в том, что (а) ток СД модулирован с частотой, вдвое превышающей частоту сети, и (б) при работе в прерывистом режиме увеличивается нагрузка на компоненты, что отрицательно сказывается на сроке службы устройства [2, 3].

В 2011 г. было проведено исследование неизолированного понижающе-повышающего преобразователя с коррекцией коэффициента мощности, направленное на преодоление недостатков предложенной ранее схемы при работе как в непрерывном, так и в прерывистом режимах. Фактически, предложенное УУ было рассчитано на получение постоянного тока с улучшенным коэффициентом мощности. Однако при этом возросла нагрузка при включении, что отрицательно сказывается на сроке службы осветительной установки с СД [4].

Опубликованное в 2012 г. исследование [5] одноступенчатой обратноходовой схемы с коррекцией коэффициента мощности и переменной индуктивностью в цепи повышения напряжения, которая предназначалась для питания мощных СД от сети с 90–270 В [5], было посвящено ограничениям, присущим стандартным обратноходовым схемам с коррекцией коэффициента мощности и постоянным значением индуктивности в цепи повышения напряжения. Предложенное решение позволило удовлетворить требования стандарта IEC61000-2-3 и соответствующего ему японского стандарта JIS C61000-2-3 к гармоническому составу тока изделий класса С.

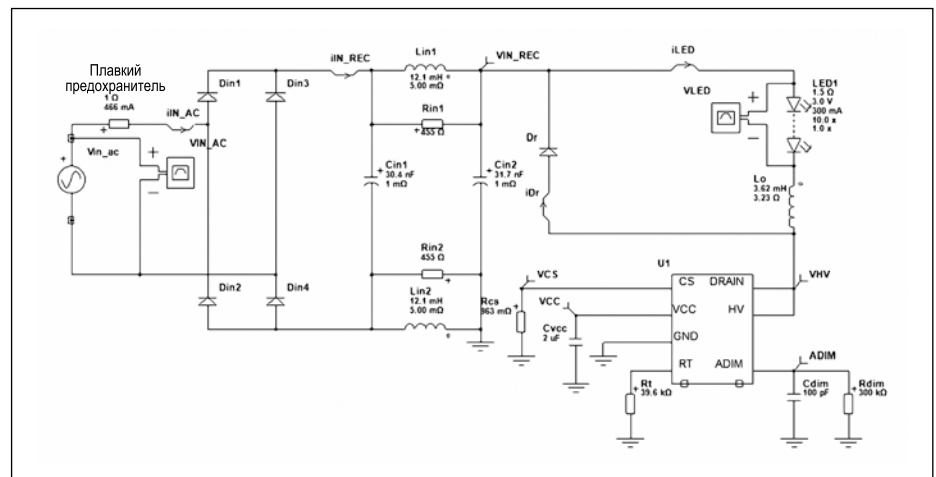


Рис. 1. Предлагаемая схема понижающе-повышающего УУ для СД, в которой используется микросхема FLS0116

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Рис. 2. Формы напряжения и тока на входе УУ с понижающе-повышающим преобразователем

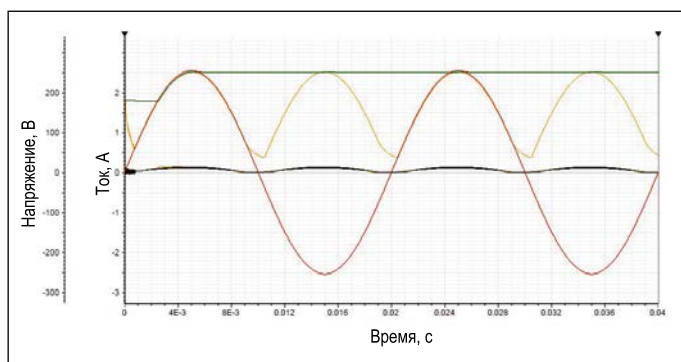


Рис. 3. Формы напряжения и тока на выходе УУ с понижающе-повышающим преобразователем

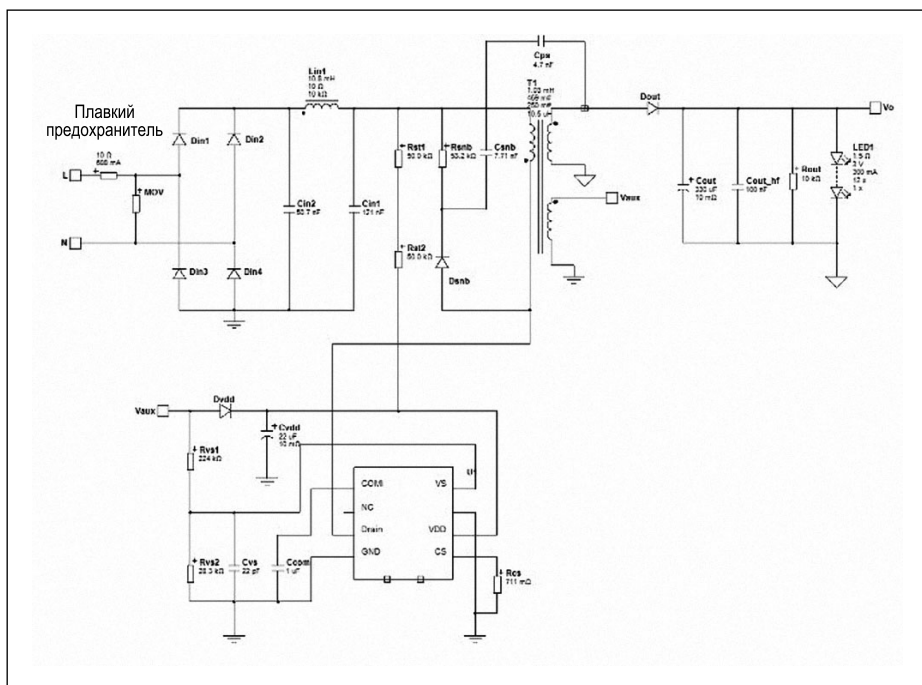
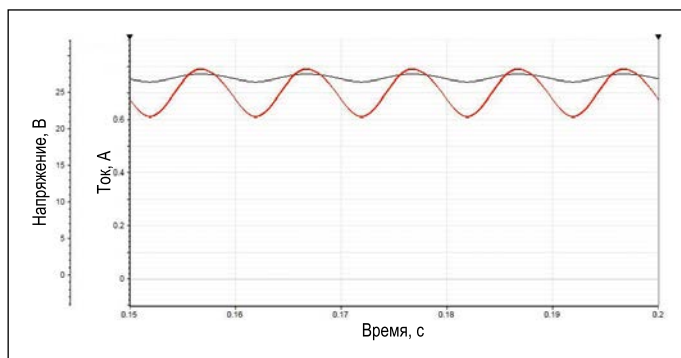


Рис. 4. Предлагаемая схема УУ для СД с обратноходовым преобразователем, в которой используется микросхема NCL3000

Вслед за этой работой появилась статья [6], в которой рассматривалось УУ для СД ламп с коррекцией коэффициента мощности и улучшенным качеством энергии. Предложенное УУ состояло из преобразователя Кука, который работал в режиме непрерывной проводимости для улучшения качества энергии в сети переменного тока.

В 2013 г. было предложено одноступенчатое УУ со схемой коррекции ко-

эффициента мощности, которое предназначалось для установок уличного освещения [7]. В этой схеме повышающий преобразователь с коррекцией коэффициента мощности и полумостовой резонансный преобразователь были совмещены для получения одноступенчатого преобразователя. В полученном резонансном преобразователе переменного тока в постоянный для получения требуемой формы

входного тока использовалась схема чередования, и она включала в себя два программируемых переключателя для уменьшения потерь при переключении в целях увеличения эффективности схемы. Предложенное УУ для СД характеризовалось малыми пульсациями входного тока, низкими потерями при переключении, высоким коэффициентом мощности и низким коэффициентом гармоник входного тока, а также уменьшенным количеством компонентов.

В 2014 г. было проведено исследование гармоник, генерируемых УУ для СД, и способов их уменьшения [Jettanasen and Pothisarn 2014]². Для подавления гармоник до уровней, удовлетворяющих требованиям стандартов, было предложено использовать фильтр нижних частот. Там же была описана выполненная в 2014 г. работа, в которой был проведён сравнительный анализ предназначенных для использования с СД схем преобразователей переменного тока в постоянный с активной коррекцией коэффициента мощности.

В данной работе особое внимание уделено анализу коэффициентов мощности и гармоник в случаях понижающе-повышающей и обратноходовой схем УУ. Формы выходных токов этих схем позволяют судить о сроках службы устройств. Основное внимание при исследовании схем УУ обращалось на контроль температуры точки T и управление током, подаваемым на СД.

2. Предлагаемая схема УУ

Имеющиеся в настоящее время на рынке УУ для СД относятся, в основном, к повышающим преобразователям, которые подают на СД напряжения, превышающие требуемые. Известно, что световой поток СД связан с протекающим через него током. Для увеличения светового потока на СД зачастую подаётся повышенный ток, что приводит к увеличению температуры $p-n$ -перехода и, в конце концов, к отказу устройства [12, 13, Cheng 2004²].

В рамках этой работы был предложена схема УУ для СД с понижающе-повышающим преобразователем, которая приведена на рис. 1. Основ-

² Эта работа в списке литературы отсутствует. – Прим. пер.

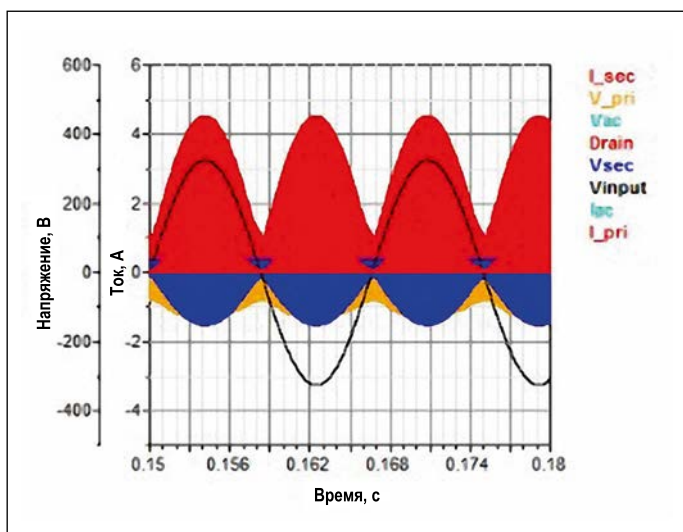


Рис. 5. Формы напряжения и тока на входе УУ с обратноходовым преобразователем

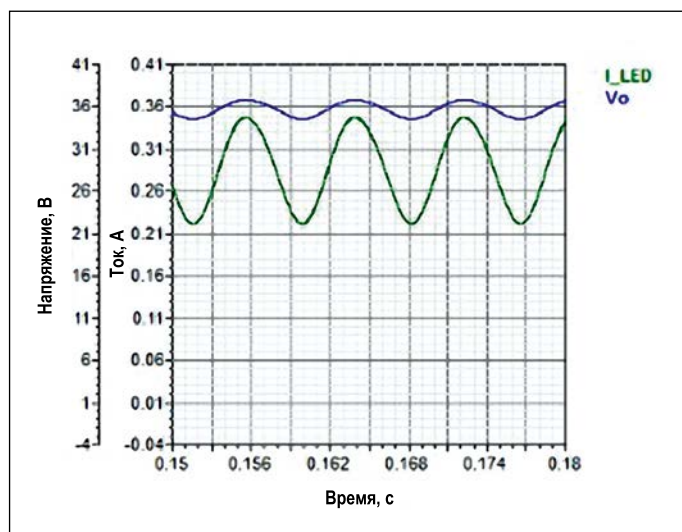


Рис. 6. Формы напряжения и тока на выходе УУ с обратноходовым преобразователем

ной задачей этой схемы было обеспечение неизменного значения тока, подаваемого на СД, без ущерба для срока службы СД [8–10]. УУ с понижающе-повышающим преобразователем не имело гальванической развязки с сетью. Это было обусловлено тем, что гальваническая развязка приводит к уменьшению рассеяния тепла. А так как радиатор не заземлён, то нельзя исключить возможность образования электромагнитных помех. Кроме того, так как электрические компоненты смонтированы не непосредственно на радиаторе, то УУ может использоваться в режиме без гальванической развязки. Частота переключения равна 50 кГц. Моделирование производилось при помощи программы *Green Point* компании *On semiconductors*.

3. Первичный анализ

Полученные формы входных и выходных токов и напряжений приведены на рис. 2 и 3 соответственно. Как видно на рис. 3, выходное напряжение изменяется от 26,5 до 27,7 В при изменении входного напряжения от 90 до 270 В. Из рис. 3 также следует, что при изменении входного напряжения от 90 до 270 В выходной ток изменяется от 0,6 до 0,8 А. Минимальные и максимальные значения коэффициентов мощности и гармоник тока, полученные при равных 90 и 270 В значениях входного напряжения, приведены в табл. 1, из которой следует, что эти коэффициенты удовлетворяют требованиям стандарта [11]. КПД этого УУ равен 84,81%.

Анализ коэффициентов мощности и гармоник тока УУ с понижающе-повышающим преобразователем

Таблица 1

Параметры	90 В	270 В
Коэффициент мощности при низкой мощности	0,928	0,933
Коэффициент мощности при высокой мощности	0,930	0,912
Минимальный коэффициент гармоник тока при полном токе питания СД, %	7,38	10,13
Максимальный коэффициент гармоник тока при полном токе питания СД, %	5,9	11,57

4. УУ для СД с обратноходовым преобразователем

В рамках этой работы были также проведены моделирование и анализ УУ для СД с обратноходовым преобразователем (рис. 4), который был выбран для улучшения коэффициентов мощности и гармоник, с тем чтобы они удовлетворяли требованиям [11]. Дополнительной целью было увеличение КПД системы в диапазоне входных напряжений 90–270 В. Полученные формы входных и выходных токов и напряжений приведены на рис. 5 и 6 соответственно, а результаты анализа приведены в табл. 2, из которой следует, что при 90 В коэффициент мощности оказался равным 0,998 как при низкой, так и при высокой мощности. При 270 В коэффициент мощности при низкой и высокой мощности оказался, соответственно, равным 0,993 и 0,992. Минимальное значение коэффициента гармоник тока было равно 6,38% при 90 В и 12,13% при 270 В,

тогда как максимальные значения коэффициента гармоник оказались равными 6,9% и 12,55% соответственно. Частота переключения была равна 31,6 кГц, КПД этого УУ оказался равным 86,7%.

Как следует из табл. 2, коэффициент гармоник предложенного УУ лежит в пределах, нормированных в стандарте [11], а его коэффициент мощности близок к 0,993. При этом следует учитывать, что о степени ухудшения температуры *p-n*-перехода нельзя судить только исходя из потребляемого устройством тока [16, 17].

5. Заключение

Из приведённых выше результатов моделирования можно сделать вывод, что недостатки первоначальной схемы были в значительной степени исправлены и что при использовании предложенной схемы понижающе-повышающего преобразователя УУ способны обеспечивать питание

Таблица 2

Анализ коэффициентов мощности и гармоник тока УУ с обратным преобразователем

Параметры	90 В	270 В
Коэффициент мощности при низкой мощности	0,998	0,993
Коэффициент мощности при высокой мощности	0,998	0,992
Минимальный коэффициент гармоник тока при полном токе питания СД, %	6,38	12,13
Максимальный коэффициент гармоник тока при полном токе питания СД, %	6,9	12,55

СД постоянными током и напряжением. При этом выходной ток схемы с обратным преобразователем остаётся практически постоянным с не превышающим 5% размахом пульсаций. Кроме того, измеренные в точках T обоих УУ значения температуры составляли 40 и 55 °С соответственно, что предохраняет СД от избыточного увеличения температуры $p-n$ -перехода и, тем самым, обеспечивает увеличение срока службы СД. Для предложенной схемы также были рассмотрены значения коэффициента гармоник и гармонический состав тока, которые оказались соответствующими нормативным требованиям [11]. Благодаря улучшению входного коэффициента мощности, устройство будет подавать в систему меньший реактивный ток. КПД системы значительно улучшилось, и работа с СД не будет сопровождаться проблемами, присущими устройствам с низкими коэффициентами мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu, L. Yang, J. The topologies of white LED lamps' power drivers // 3rd IEEE Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), 2009, 20–22.05.2009, Hong Kong. P. 1–6.

2. Chiu H. – J., et. al. A High Efficiency dimmable LED driver for low power lighting applications // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2010. – Vol. 57, No. 2. – P. 735–743.

3. Aguilar, D., Henze, C.P. LED driver circuit with inherent PFC // 25th IEEE Annual Conference on Applied Power Electronics and Exposition (APEC) 2010, 21–25.02.2010, Palm Springs, CA. P. 605–610.

4. Chern T. – L., et. al. Design of LED driver circuits with single stage PFC in CCM and DCM // 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) 2011, 21–23.06.2011, Beijing. P. 2358–2363.

5. Yuequan, H., Huber, L., Jovanovic, M.M. Single Stage, Universal Input AC/DC LED driver with current controlled variable PFC boost inductor // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2012. – Vol. 27, No. 3. – P. 1579–1588.

6. Srivastava, A., Singh, B. Improved Power Quality based high brightness LED lamp driver // International journal of Engineering, Science and Technology. – 2012. – Vol. 4, No. 1. – P. 135–141.

7. Cheng C. – A., et. al. A single stage LED driver for street lighting applications with interleaving PFC feature // IEEE International Symposium on Next Generation Electronics (ISNE) 2013, 25–26.02.2013, Kaoshiung. P. 150–152.

8. Narendran, N., Bullough, J.D., Maliyagoda, N., Bierman, A. What is the useful life for white LEDs? // Journal Illuminating Engineering Society. – 2001. – Vol. 30, No. 1. – P. 57–67.

9. Narendran, N., Gu, Y. Life of LED based white light sources // IEEE/OSA Journal of display technology. – 2005. – Vol. 1, No.1. – P. 167–171.

10. Jayawardena, A., Liu, Y. – W., Narendran, N. Methods for estimating the junction temperature of AC LEDs // Council for Optical Radiation Measurements (CORM) 2012 Annual Technical Conference, 29.05–01.06.2012, Ottawa, Ontario.

11. IEC-61000-3-2 «Electromagnetic compatibility Part 3-2: Limits-Limits for harmonic current emissions», International Electrotechnical Commission, May 2014.

12. Meneghesso, G., et al. Degradation mechanisms of GaN-based LEDs after accelerated DC current aging // In: IEDM Tech. Dig., 2005. P. 103–106

13. Trevisanello, L., et al. Accelerated life test on high brightness Light Emitting Diode // IEEE Transactions on Device and Materials Reliability. – 2008. – Vol. 8, No. 2. – P. 304–311.

14. Hong, E., Narendran, N. A method of projecting useful life of LED lighting systems // 3rd International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of Photo-Optical Instrumentation Engineers, SPIE:5187, 2004. P. 93–99.

15. Chen, C.H., Tsai, W.L., Tsai, M.Y. Thermal resistance and reliability of low cost and high power LED packages under WHTOL test // Electronics materials and packaging, EMAP2008, Taipei, 22–24.10.2008. P. 271–276.

16. Farkas, G., Van Voorst Vader, Q., Poppe, A., Bogná, G. Thermal investigation of high power optical devices by transient testing // IEEE Transaction Components Packaging Technology. – 2005. – Vol. 28, No. 1. – P. 45–50.

17. Golder, S., Ray K.R., Mazumdar, S. High Efficient DC to DC Boost Converter for White LED Based Lighting system // Light & Engineering. – 2006. Vol. 14, No. 1. – P. 53–59.

17а. Голдер С., Мазумдар С., Рай К. Система наружного освещения со светорегулированием и с подзарядкой аккумуляторов солнечными батареями // Светотехника. – 2006. – № 2. – С. 35–38.



Анируддха Мукхерджи (Aniruddha Mukherjee),

М.Е. Имеет почти 18-летний опыт работы в промышленности и образовании. Сотрудничает с Университетом

Суреш Гуан Вихар (Джайпур). Область исследований: факторы, влияющие на срок службы КЛЛ, СД и РЛВД. Автор ряда публикаций на эту тему



Трилок Чандра Бансал (Trilok Chandra Bansal),

Др. Почётный декан Университета Суреш Гуан Вихар. Руководил многочисленными исследованиями в области физики полупроводников.

Возглавлял многие уважаемые научные сообщества.



Амит Сони (Amit Soni), Ph.D. Имеет

15-летний опыт работы в образовании и промышленности. Декан факультета электро- и электронной техники Университета Манпурал

(Джайпур). Область исследований: материалы для солнечных фотоэлектрических устройств, возобновляемая энергетика, освещение. Автор множества публикаций в известных журналах