

УДК 621.314.6

**ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО
ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА НА СЕТЬ****Марущенко С.Г.***ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: kpe@knastu.ru*

В статье рассмотрены причины возникновения искажений сетевого тока при использовании светодиодных осветительных приборов, показаны пути решения данной проблемы. Проведено экспериментальное исследование режимов работы пассивного корректора коэффициента мощности, дан анализ полученных осциллограмм входного тока. Даны рекомендации по выбору оптимальных по цене и качеству источников питания с активной коррекцией коэффициента мощности.

Ключевые слова: светодиодный осветительный прибор, корректор коэффициента мощности, импульсный преобразователь, искажения входного тока

**EFFECT OF SECONDARY POWER SUPPLY LED LIGHTING DEVICE FOR THE
POWER MAINS****Maruschenko S.G.***SEI HPE «Komsomolsk-na-Amure state technical university», Komsomolsk-on-Amur,
e-mail: kpe@knastu.ru*

The reasons of occurrence network current distortions during to use of LED lighting devices are considered in this article. The decision ways of the given problem are shown. The experimental research of the passive power factor corrector operating modes is carried out. The analysis of the received input current oscillograms is given. Advices on selecting the best price and quality power supply with active PFC are given

Keywords: the power factor corrector, the pulse converter, network current distortions, LED lighting device

Включение в сеть переменного тока нелинейных нагрузок, например, осветительного оборудования, содержащего источники вторичного электропитания с импульсным преобразователем (энергосберегающие газоразрядные и светодиодные лампы), управляемых электродвигателей, источников электропитания с емкостным фильтром, приводит к тому, что потребляемый этими устройствами ток имеет импульсный характер с высоким процентом содержания высших гармонических составляющих, из-за которых могут возникать проблемы электромагнитной совместимости при работе различного оборудования. Коэффициент мощности при этом не превышает 0,7.

В соответствии с утвержденной Правительством РФ государственной программой «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» в последнее время руководители предприятий, представители малого и среднего бизнеса все больше обращают внимание на использование энергосберегающего электрооборудования на своем производстве. Исследования показали, что наибольшие затраты электроэнергии приходятся на освещение. Широкое распространение в системах освещения общественных зданий получили светильники типа ARS/R

(устанавливаются в подвесные потолки типа «Армстронг» или «Байкал»). Такой осветительный прибор содержит в себе 4 люминесцентные лампы ЛБ-18 с фактором Т8 и мощностью 18 Вт каждая, таким образом, суммарная мощность светильника составляет 72 Вт. Один из путей снижения энергопотребления – это использование более эффективного по светоотдаче и низкого по потребляемой мощности осветительного оборудования. В настоящее время большой популярностью пользуется светодиодное освещение. Самое простое решение поставленной задачи – это замена в базовом светильнике ARS/R люминесцентных ламп на светодиодные формата Т8, которые имеют меньшую потребляемую мощность (8 Вт), но большую светоотдачу. В настоящее время на рынке представлена широкая номенклатура таких ламп различной ценовой категории и качества. Подавляющая доля таких ламп приходится на азиатских производителей, в основном Китай, либо собирается на месте из тех же китайских комплектующих. Целью нашего исследования было на практике определить степень влияния вторичного источника питания такой лампы на электрическую сеть.

Типовая структура светодиодной лампы содержит сетевой преобразователь (ис-

точник питания) и линейку последовательно-параллельно соединенных светодиодов. Такой способ соединения позволяет стабилизировать по току и напряжению рабочую точку светодиодов, и добиться однородного свечения [10]. Также при таком способе соединения облегчается проектирование блока питания, так как не приходится работать со слишком большим выходным током (па-

раллельное соединение) или высоким выходным напряжением (последовательное соединение). В результате внешнего осмотра печатной платы сетевого преобразователя, было установлено, что в его структуру входят диодный мост с сетевым фильтром, корректор коэффициента мощности (ККМ), импульсный преобразователь. Структура сетевого преобразователя приведена на рис. 1.

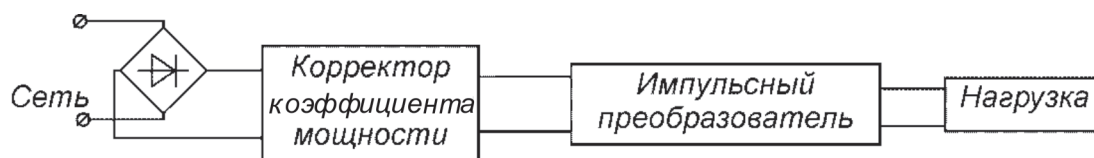


Рис. 1. Структурная схема сетевого преобразователя

Использование импульсного преобразователя позволяет достичь малых массогабаритных показателей блока питания, что очень актуально для ламп данного типа. Для снижения влияния источника питания на сеть применяются активные или пассивные корректоры. Их назначение — формирование входного тока, пропорционального входному напряжению, т.е. устройство с идеальным корректором мощности воспринимается сетью, как активная нагрузка [9]. Пассивные корректоры

представляют собой либо дроссели, либо коммутируемые конденсаторы и чаще всего применяются в устройствах небольшой мощности. На рис. 2 показана схема возможной реализации пассивного корректора и форма потребляемого тока при активной нагрузке [4]. Конденсаторы заряжаются последовательно от сети через диод VD6 и разряжаются параллельно на нагрузку через диоды VD5 и VD7. Ток из сети потребляется в интервале от 30° до 150° , затем от 210° до 330° .

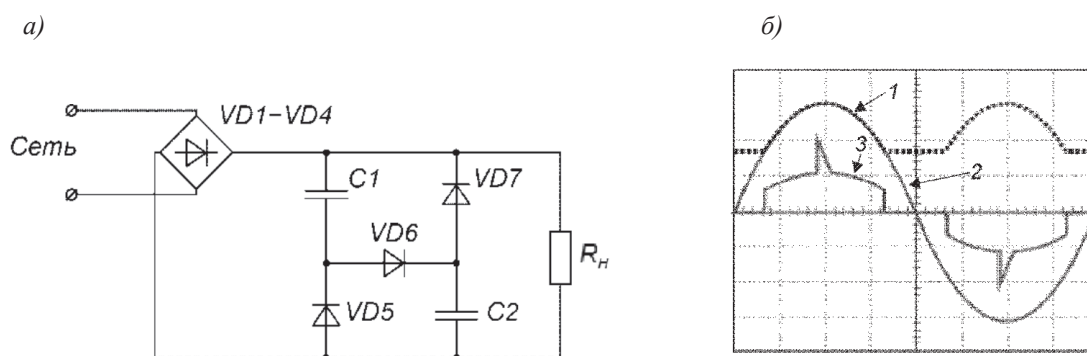


Рис. 2. Реализация коррекции коэффициента мощности:
а — схема пассивного корректора; б — временные диаграммы работы корректора
(1 — напряжение на нагрузке, 2 — входное напряжение, 3 — потребляемый ток)

Рассмотренный выше пассивный корректор прост в реализации, однако, не смотря на то, что фазовый сдвиг между основной гармоникой потребляемого тока и входного напряжения практически отсутствует, коэффициент гармонических искажений у такого корректора достаточно высок.

В сетевом преобразователе тестируемой светодиодной лампы используется аналогичная схема пассивного корректо-

ра коэффициента мощности. Были проведены экспериментальные исследования режима работы данного корректора при подключенном к его выходу импульсным преобразователем с резистивной нагрузкой. Осциллограмма входного тока была снята с токового шунта, включенного последовательно в цепь питания корректора, с помощью цифрового осциллографа RIGOL DS1022 и показана на рис. 3.

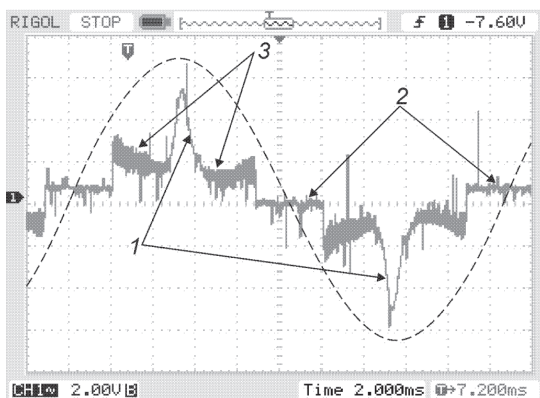


Рис. 3. Осциллограмма потребляемого из сети тока:

- 1 – участки заряда емкостей от сети,
2 – участки разряда емкостей через нагрузку,
3 – участки работы на нагрузку

Для сравнения на рис. 3 пунктиром показано входное напряжение сети. Так как при проведении испытания выпрямитель был нагружен на пассивный корректор и далее на импульсный преобразователь, то форма тока на участках (3) отличается от случая, когда корректор нагружен на активную нагрузку. Как видно из осциллограммы, на кривой тока присутствуют участки заряда емкостей корректора (1) и разряда их (2) на нагрузку. Такой характер работы корректора является причиной появления высших гармонических составляющих в спектре входного тока, что иллюстрируется рисунком 4.

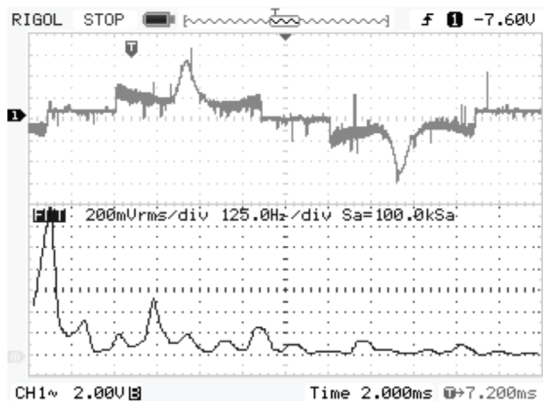


Рис. 4. Спектральный состав входного тока

Для одной лампы такие искажения являются несущественными ввиду относительно малых значений амплитуд гармонических составляющих сетевого тока, однако для системы освещения офисов или производственных помещений, где число ламп может достигать сотен, а то и тысяч, суммарная помеха может сильно загрязнять электрическую сеть.

Одним из решений данной проблемы является использование активного корректора коэффициента мощности, что и реализуется в высокобюджетных светодиодных лампах европейских производителей. Принцип его работы заключается в отслеживании входного напряжения и совершении внутрисхемных коммутаций при помощи активных ключей с целью поддержания пропорциональности входного тока и напряжения. Активный корректор может быть выполнен на основе импульсного преобразователя, например повышающего преобразователя буст-типа [1], при помощи введения соответствующих обратных связей. При этом можно добиться пропорциональности входного тока и напряжения, а так же низкого уровня пульсаций постоянного выходного напряжения.

На сегодняшний день на рынке представлена широкая номенклатура интегральных микросхем активных ККМ от различных фирм – производителей. К основным производителям контроллеров коэффициента мощности можно отнести: Texas Instruments (UCx854, UCC280xx), STMicroelectronics (L4981, L656x), International Rectifier (IR1150), ON Semiconductor (NCP165x, NCP160x). Активные ККМ синтезированные на базе указанных интегральных схем можно включать между выпрямителем и импульсным преобразователем (рис. 1), заменяя, тем самым, пассивный корректор в рассмотренном ранее сетевом преобразователе. В этом случае ККМ будет играть роль буферного каскада, снижающего взаимное влияние питающей сети и импульсного источника питания [2]. Очевидно, что для местных производителей светодиодных ламп, а тем более, для конечных потребителей, такая переделка сетевого преобразователя чрезмерно дорогостоящая и неприемлема.

Более привлекательной является идея использования в сетевых преобразователях специализированных интегральных схем светодиодных драйверов, например, NCL30xxx от компании ON Semiconductor. Серия микросхем драйверов светодиодов NCL30xxx ориентирована на использование в сетевых светодиодных источниках света низкой и средней мощности и использует встроенный ККМ [3].

Еще один производитель, продукция которого заслуживает внимания это Power Integrations, с недавно поступившими на

рынок двумя линейками микросхем светодиодных драйверов LinkSwitch-PL/PH и LYTSwitch™. Микросхемы семейства LinkSwitch (LNK40x и LNK45x) представляют собой комбинацию однокаскадного корректора коэффициента мощности и схемы стабилизации выходного тока. В них также реализована возможность диммирования по первичной стороне при помощи ШИМ или с использованием тиристора. Различие между этими типами микросхем состоит в том, что LinkSwitch-PH оптимизирована для использования в системах с гальванической развязкой, а LinkSwitch-PL – без гальванической развязки [6,7]. В рассматриваемой линейке интегральных схем реализован контроль выходных параметров по первичной стороне, что позволяет исключить схему обратной связи по току на вторичной стороне, содержащую оптопару и использовать стан-

дартные для обратноходового преобразователя компоненты. Используя микросхемы серии LNK45x, LNK46x (LinkSwitch-PL), можно построить источник питания не содержащий выходной импульсный трансформатор (неизолированная система). Это позволяет максимально сократить число используемых компонентов, что уменьшает перечень элементов в спецификации устройства и увеличивает его надежность. Оба семейства микросхем совмещают контроллер и MOSFET ключ на одном кристалле, что обуславливает уменьшение габаритов конечного устройства. Кроме того, размещение контроллера и силового ключа на одном кристалле исключает паразитные влияния на соединения между ними. Одна из возможных схемных реализаций сетевого преобразователя с использованием микросхем этой серии показана на рис. 5.

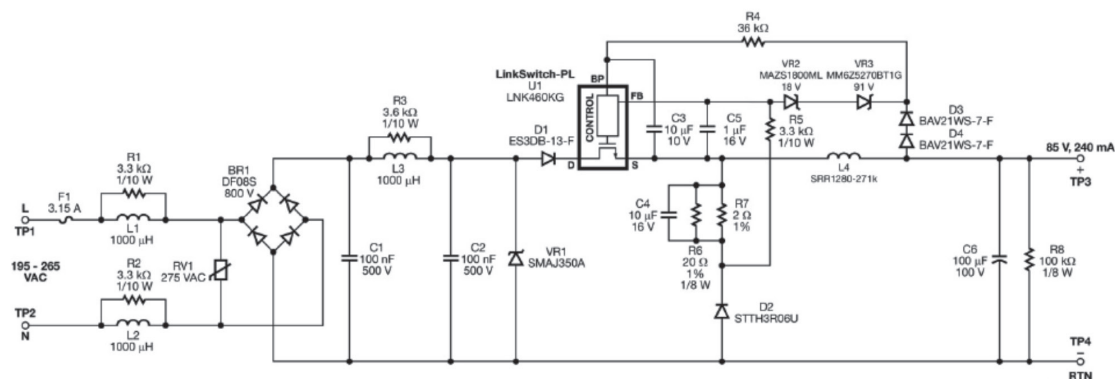


Рис. 5. Схемная реализация светодиодного драйвера

Данная схема разработана специально для использования в светодиодных лампах формата T8 и имеет следующие характеристики: высокий коэффициент мощности ($PF > 0,97$), низкий коэффициент нелинейных искажений ($THD < 15\%$), высокий к.п.д. ($EE > 90\%$). Схема имеет защиту от короткого замыкания на нагрузке с автоматическим восстановлением, защиту от перегрева и от обрыва нейтрали. Драйвер рассчитан на широкий диапазон входных напряжений, что позволяет использовать его в сетях переменного тока от 110 до 220 В. В рассматриваемой схеме использовано минимальное количество элементов (29 компонентов в спецификации), а также отсутствуют входной высоковольтный электролитический конденсатор и выходной трансформатор, что существенно сокращает конструктивные размеры драйвера и увеличивает его

срок службы. Единственным, несущественным недостатком данной схемы, по мнению разработчиков, является отсутствие гальванической развязки.

Микросхемы семейства LYTSwitch™ (LYT4x11 – 4x17) построены по тому же принципу, что и LinkSwitch-PL/PH и представляют собой комбинацию корректора коэффициента мощности и схемы контроля по току, увеличивая, тем самым энергетическую эффективность драйвера до 90%. Сетевые преобразователи, построенные на их основе, обладают коэффициентом мощности более 0.95 и низким коэффициентом гармонических искажений $THD < 10\%$. Кроме того, комбинированная однокаскадная топология конвертера исключает необходимость использования входных высоковольтных электролитических конденсаторов, что ведет к существенному увеличению време-

ни службы источника питания, особенно в условиях повышенных температур в замкнутом пространстве корпуса лампы. Высокая частота переключения силового ключа до 132 кГц позволяет использовать более дешевые моточные изделия малых типоразмеров, при этом функция дрожания частоты (Frequency Jittering) упрощает и удешевляет ЭМИ фильтры. Микросхемы данной серии обладают стандартным набором защитных функций, включая защиту от перенапряжения, от перегрузки по выходу и от перегрева. Рассматриваемая линейка светодиодных драйверов хорошо работает с тиристорными схемами диммирования даже при малых углах открытия. Однако, небольшой диапазон входных напряжений (90–132 В) ограничивает их использование только низковольтными сетями переменного тока, например, 110 В [8].

Все осветительное оборудование за рубежом в настоящее время должно соответствовать нормам IEC61000-3-2 Class C. Требования данного стандарта относятся к большинству типов осветительных систем с входной мощностью от 25 Вт и выше. В них определен допустимый уровень гармоник сетевого напряжения, вплоть до 39-й. Нормы по гармоническим составляющим потребляемого тока и коэффициенту мощности для систем электропитания мощностью более 50 Вт и всех типов осветительных приборов определяет стандарт МЭК IEC 1000-3-2 [5]. Не вызывает сомнения то, что российские стандарты в этой области будут ужесточаться и приближаться к мировым. В итоге именно те производи-

тели светодиодного осветительного оборудования, которые осваивают технику снижения сетевых помех, получают значительное преимущество на рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.1. – 199 с.
2. Калачев А.С. Низким стартовым током: корректоры коэффициента мощности от компании STM. // Новости электроники 2011. №9. С. 17 – 23.
3. Ромадина И. Встроенная коррекция мощности: линейка светодиодных драйверов NCL30XXX // Новости электроники 2011. №5. С. 18 – 22.
4. An Analysis About Valley Fill Filters Applied To Electronic Ballasts / Alysson R., Seidel Marco A., Dalla Costa, Alexandre Campos, Ricardo N. do Prado // Proceedings of the 29th annual conference of the IEEE industrial electronics society.
5. IEC 1000-3-2 (1995) (EN 61000-3-2) / Specifies the limits for harmonic currents created by equipment connected to public low-voltage supply systems.
6. LNK403-409/413-419 LinkSwitch-PH LED Driver IC Family. Single-Stage PFC, Primary-Side Constant Current Control and TRIAC Dimming/Non-Dimming Options. Datasheet Power Integrations. www.powerint.com. August 2011.
7. LNK454/456-458/460 LinkSwitch-PL Family LED Driver IC with TRIAC Dimming, Single-Stage PFC and Constant Current Control for Non-Isolated Applications. Datasheet Power Integrations. www.powerint.com. October 2011.
8. LYT4211-4217/4311-4317 LYTSwitch High Power LED Driver IC Family. Single-Stage Accurate Primary-Side Constant Current (CC) Controller with PFC for Low-Line Applications, TRIAC Dimming and Non-Dimming Options. Datasheet Power Integrations. www.powerint.com. February 2013.
9. Tenti P., Spiazzi G. Harmonic Limiting Standards and Power Factor Correction Techniques / P. Tenti, G. Spiazzi // Proceedings of the 6th European conference on power electronics and applications, 19 – 21 September 1995 Sevilla, Spain. – P. 2 – 144.
10. Why Drive White LEDs With Constant Current? // www.maxim-ic.com: analog, linear and mixed-signal devices from Maxim. Jun 03, 2004. URL: <http://www.maxim-ic.com/an3256> (дата обращения 15.06.2011).