

## УСТРОЙСТВО ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Сурайкин Александр Иванович

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»,

Российская Федерация, г. Саранск,

E-mail: [suraykin@mail.ru](mailto:suraykin@mail.ru), тел. +7 (834-2) 290668, 254137  
430005, г.Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39

Прокофьев Сергей Михайлович

Общество с ограниченной ответственностью «Инвентор»

Российская Федерация, г. Саранск

E-mail: [smprokofiev@mail.ru](mailto:smprokofiev@mail.ru), тел. +7 (834-2) 254137,  
430904, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 12

Борисов Сергей Иванович

Общество с ограниченной ответственностью «Инвентор»

Российская Федерация, г. Саранск

E-mail: [s.i.borisov@yandex.ru](mailto:s.i.borisov@yandex.ru), тел. +7 (834-2) 254137,  
430904, г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 12

Грицков Сергей Анатольевич

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»,

Российская Федерация, г. Саранск,

E-mail: [remi-2009@mail.ru](mailto:remi-2009@mail.ru), тел. +7 9271936598

430005, г.Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39

**Аннотация.** В статье приводится описание устройств питания для светодиодных ламп. Приводятся общие технические требования к светодиодным лампам, а также основные электрические параметры устройств питания. Схемы электрические принципиальные и расчёт элементов схем устройства питания на основе ИМС LM3445.

**Ключевые слова:** устройство питания; светодиодная лампа; диммер; корректор фазы; гальваническая изоляция нагрузки.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Светодиодные светильники всё больше проникают в нашу жизнь. При этом концептуальные решения светильников самые разнообразные, начиная от решений, соответствующих традиционным светильникам на люминесцентных лампах и, заканчивая, совершенно новыми системами освещения. В этом ряду достаточно большой номенклатурный диапазон занимают светодиодные светильники, предназначенные для прямой замены ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп, то есть так называемые светодиодные лампы с цоколем E27. Такая светодиодная лампа вкручивается в стандартный патрон лампы накаливания [1].

Для решения задачи разработки светодиодной лампы на базе существующих корпусов, необходимо устройство питания (УП). Для получения светового потока в 1200 лм, аналогичного потоку лампы накаливания мощностью 100 Вт, необходимо управлять 12-14 светодиодами, мощностью не менее 1 Вт с номинальной светоотдачей не ниже 100 лм/Вт при рабочем токе 350 мА.

При разработке светодиодной лампы возникает проблема отвода тепла, выделяющегося в малом объёме, так как перегрев светодиодов нежелателен. Источником тепла в светодиодном светильнике, кроме самих светодиодов является устройство питания. К УП предъявляются жёсткие требования:

- гальваническая изоляция светодиодов от сети,
- высокий КПД,
- малые габариты, обеспечивающие возможность встраивания в корпус лампы,

- низкая себестоимость в массовом производстве.

Одним из возможных вариантов реализации светодиодной лампы, как говорилось ранее, может быть вариант корпуса с цоколем E27 (рис. 1).

Несколько подробнее нужно сказать о гальванической развязке светодиодов. Зпаретов на использование устройств питания без гальванической изоляции нагрузки нет. Согласно ГОСТ МЭК 598 «Светильники. Общие требования и методы испытаний» светильники подразделяются на три класса по защите от поражения электрическим током [2].

Если светодиоды размещать на печатной плате с алюминиевым основанием, то вполне возможна реализация УП без гальванической развязки. Производители печатных



Рис. 1. Корпус светодиодной лампы с цоколем E27

плат на алюминиевом основании гарантируют электрическую прочность на уровне 1,5-3,0 кВ. Однако на практике это не всегда так.

В этой связи, предпочтение следует отдавать УП с гальванической изоляцией, но и не следует забывать об УП без гальванической развязки, если обеспечивается необходимый уровень электрической прочности материала.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходя из общих требований к УП для светодиодных светильников, а также учитывая особенности их применения сферах жилищно-коммунального хозяйства, быта, промышленных предприятий технические требования к устройствам питания светодиодных ламп можно представить следующим образом:

- Рабочий диапазон напряжения питания: 90-230 В (переменное),
- Световой поток: 400 лм, 800 лм, 1200 лм,
- Ток питания светодиодов: 350 мА.

Дополнительным требованием, предъявляемым к УП светодиодных ламп, может выступать так называемая функция диммирования [3], которая по своей сути есть функция управления яркостью. Данная функция, может быть и не заслуживала бы внимания, но в современных условиях энергосбережения владельцы офисов, торговых и промышленных объектов идут на дополнительные финансовые расходы ради снижения расходов на электроэнергию. В наследство от ламп накаливания (ЛН) нам достались симисторные диммеры. На рисунке 2 представлена схема подключения симисторного диммера в качестве регулятора яркости ЛН.

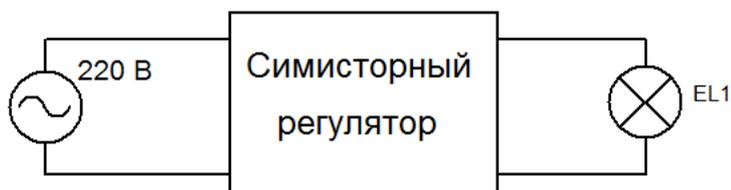


Рис. 2. Применение симисторного регулятора

С появлением светодиодных источников света, многие фирмы-производители электронной компонентной базы стали выпускать ИМС для построения УП, способных изменять значение выходного тока под воздействием симисторного диммера (рис. 3). Управление яркостью в более широком диапазоне (от 0 до 100 %) можно получить, если в УП, в управляющей ИМС предусмотрена функция управления внешним сигналом с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

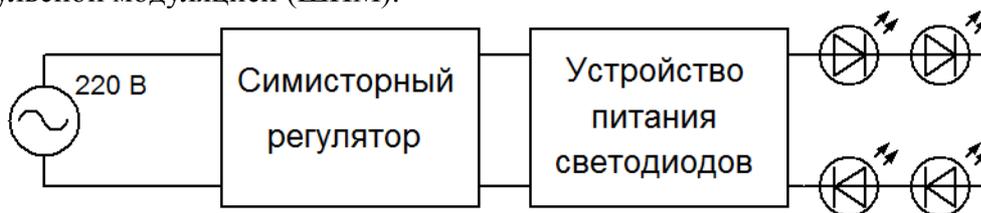


Рис. 3. Применение симисторного регулятора совместно с УП светодиодов

В постановлении правительства РФ № 602 от 20 июля 2011 г. для светодиодных источников света величина минимальной светоотдачи установлена на уровне 50 лм/Вт, а коэффициент мощности – не менее 0,8 при мощности, превышающей 25 Вт.

Поддерживать величину световой отдачи на допустимом уровне можно только при условии, что КПД источника относительно стабилен и существенно не ухудшается в процессе диммирования, иначе энергосбережение не будет обеспечено.

В соответствии со всем вышесказанным, нам необходимо выбрать управляющую ИМС, на основе которой можно будет разработать УП, отвечающее всем вышеназванным требованиям.

### III. ТЕОРИЯ

Как известно, в качестве УП светодиодных светильников вообще и светодиодных ламп в частности широко используются импульсные источники питания [4]. Схемотехника их построения достаточно известна. Но вместе с тем, существует много технических вопросов, связанных с реализацией конкретных технических характеристик, таких как:

- выбор принципиального схемотехнического решения (изолированное УП или нет),
- вид нагрузки (количество светодиодов, тип светодиодов, рабочий ток светодиодов),
- высокий КПД (не менее 80 %),
- высокий коэффициент мощности (если мощность нагрузки более 25 Вт, то не менее 95 %),
- наличие защиты (нескольких защит),
- возможность расширения функций,
- возможность внешнего управления (диммирования) уровнем освещённости.

Это перечен можно было бы продолжать, но в силу того, что всегда существует некоторый минимальный (базовый) перечень требований, реализация которых принципиально важна с точки зрения получения необходимого качества.

В соответствии с этим, вышперечисленный набор требований будем считать базовым для реализации УП для светодиодной лампы.

В связи с тем, что реализация современного высокоэффективного, конкурентоспособного УП невозможна без применения ИМС импульсных источников питания, то важен выбор наиболее подходящей ИМС. Практически все ведущие фирмы-производители электронной компонентной базы (ЭКБ) выпускают управляющие ИМС для импульсных источников питания. Номенклатура таких ИМС огромна и выбор, как правило, связан с определением отношения – цена/требуемые характеристики. В этой связи интерес представляет такая ИМС, как LM3445. Эту ИМС выпускают две известные фирмы – National Semiconductor и Texas Instruments (обе из США). Данная ИМС практически неизвестна в России и информацию по её характеристикам, и её применению невозможно найти в

отечественной литературе. Как мы выяснили, ИМС LM3445 [5, 6] обладает весьма широким набором функций, позволяющим гибко реализовывать различные УП для большинства светодиодных светильников бытового и промышленного назначения, также для сферы ЖКХ.

ИМС LM3445 имеет следующие основные характеристики:

- содержит декодер диммированного переменного сигнала источника питания,
- рабочий диапазон напряжения питания от 6,0 до 8,0 В,
- рабочий ток управления светодиодами более 1 А,
- настраиваемая частота ШИМ,
- адаптивная настройка времени выключенного состояния (пазы сигнала ШИМ), обеспечивающая постоянный уровень пульсаций,
- ток питания (в состоянии покоя) не более 3 мА,
- возможность построения УП с гальванической изоляцией нагрузки и без гальванической изоляции,
- стабильный КПД практически во всём диапазоне рабочего напряжения питания,
- наличие тепловой защиты.

Принципиальная электрическая схема УП на основе ИМС LM3445, выполненного согласно схемотехнике понижающего преобразователя без гальванической изоляции нагрузки представлена на рис. 4.

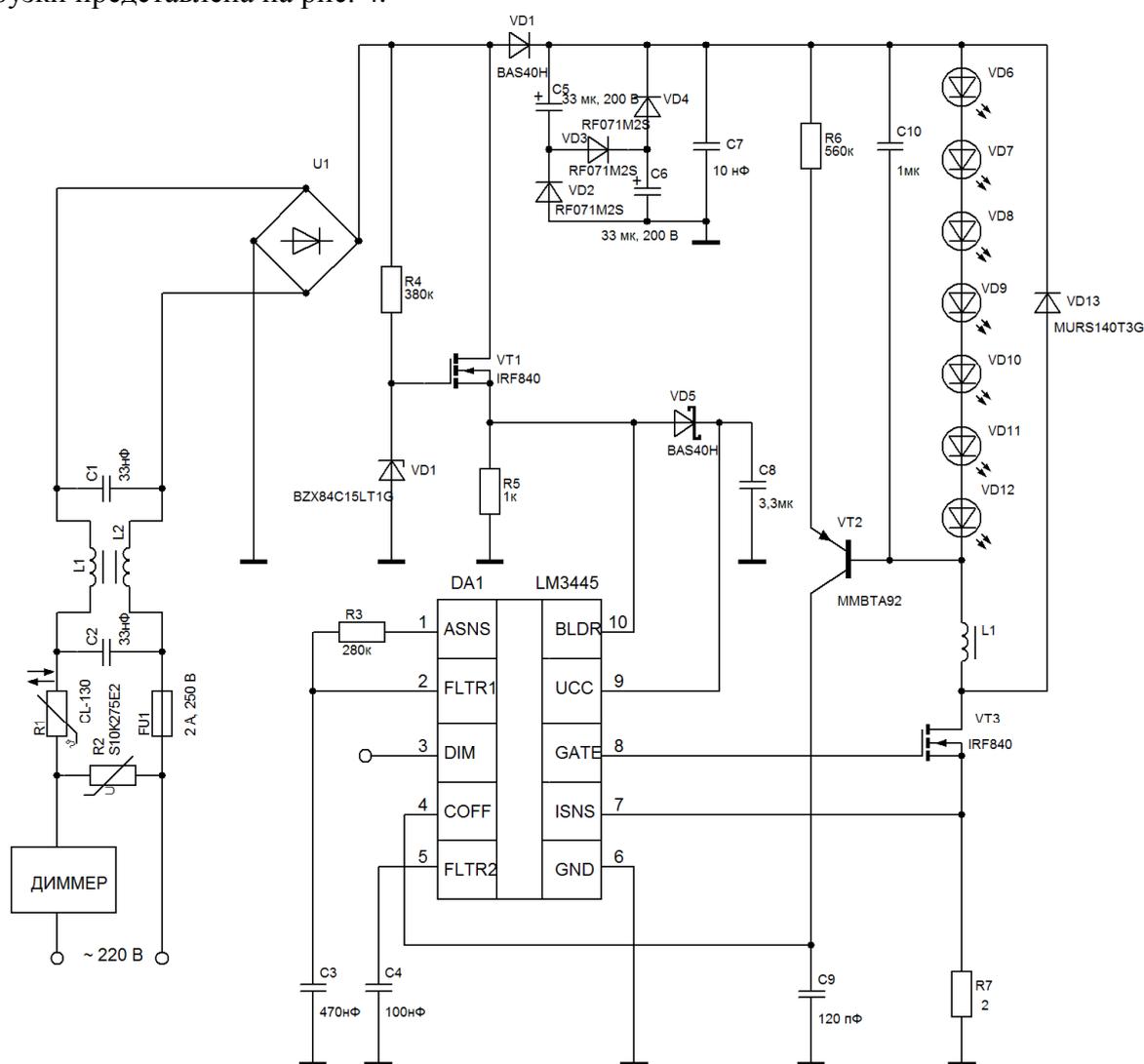


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная УП светодиодной лампы без гальванической развязки

С учётом специфики работы импульсных источников питания с ШИМ [4], произведём расчёт режима работы ИМС LM34545, а также ряда её внешних навесных компонентов.

В качестве исходных данных для расчёта светодиодной лампы, выберем следующие:

- 1 Диапазон напряжения питания: 90 – 250 В (переменное),
- 2 Число последовательно включенных светодиодов: 7,
- 3 Прямое падение напряжения на одном светодиоде: 3,6 В,
- 4 Полное падение напряжения на светодиодах:  $U_{LED}=7 \times 3,6=25,2$  В.

Начальный режим работы ИМС LM3445:

- 1 Номинальная частота работы ШИМ:  $f_{SW}=250$  кГц,
- 2 Номинальный рабочий ток светодиодов:  $I_{LED(AVE)}=350$  мА,
- 3 Изменение тока светодиодов при изменении напряжения питания (обычно от 15 % до 30 % относительно  $I_{LED(AVE)}$ ):  $\Delta i=0,3 \times 350=105$  мА,
- 4 Число каскадов корректора фазы  $N_{PFC}$  (1, 2 или 3): выберем  $N_{PFC}=2$ ,
- 5 Минимальное значение КПД: 80 %.

Коэффициент заполнения импульсного выходного сигнала ШИМ:

$$D = \frac{U_{LED}}{U_{IN}} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + T_{OFF}} = t_{ON} \cdot f_{SW}, \quad (1)$$

где -  $U_{LED}$  – полное падение напряжения на светодиодах (25,2 В),

-  $U_{IN}$  – напряжение питания светодиодов (сформированное AC-DC преобразователем),

-  $t_{ON}$  – время включенного состояния транзистора VT3 (рис. 3),

-  $t_{OFF}$  – время выключенного состояния транзистора VT3,

-  $f_{SW}$  – частота ШИМ.

С учётом КПД, коэффициент заполнения можно выразить следующим образом:

$$D = \frac{U_{LED}}{U_{IN}} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – КПД.

Минимальное напряжение  $U_{IN}$  с учётом рабочего диапазона и пассивного корректора фазы, можно вычислить с помощью следующей эмпирической формулы:

$$U_{IN(MIN)} = \frac{U_{AC-RMS(MIN)} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\varphi)}{N_{PFC}}, \quad (3)$$

где -  $U_{AC-RMS(MIN)}$  – минимальное значение напряжения питания сети (90 В),

-  $\varphi$  – фаза, соответствующая максимальному значению напряжения питающей сети,

$N_{PFC}$  – число каскадов пассивного корректора фазы (в нашем случае 2).

Подставляя известные значения в (3), получим:

$$U_{IN(MIN)} = \frac{90 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(250)}{2} = 59,643 \approx 60 \text{ В}. \quad (4)$$

Максимальное напряжение  $U_{IN}$ , соответствующее максимальному рабочему напряжению на стоке транзистора VT3, вычисляется следующим образом:

$$U_{IN(MAX)} = U_{DS(MAX)} = U_{AC-RMS(MAX)} \cdot \sqrt{2}, \quad (5)$$

где  $U_{AC-RMS(MAX)}$  - максимальное значение напряжения питания сети (250 В).

Подставляя известные значения в (5), получим:

$$U_{IN(MAX)} = U_{DS(MAX)} = 250 \cdot \sqrt{2} = 352,5 \approx 352 \text{ В.} \quad (6)$$

Частота ШИМ – величина обратная периоду импульсного сигнала:

$$f_{SW} = \frac{1}{t_{OFF} + t_{ON}}, \quad (7)$$

где -  $t_{OFF}$  – время выключенного состояния транзистора VT3,

-  $t_{ON}$  – время включенного состояния транзистора VT3.

С учётом соотношения (1) для скважности сигнала ШИМ, выразим частоту ШИМ:

$$f_{SW} = \frac{D}{t_{ON}} \quad \text{или} \quad f_{SW} = \frac{1-D}{t_{OFF}}. \quad (8)$$

Выражая из соотношения (2) отношение  $U_{LED}/U_{IN}$  и подставляя его в (8), получим:

$$f_{SW} = \frac{1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}}{t_{OFF}}. \quad (9)$$

Из соотношения (9) легко выразить время выключенного состояния транзистора VT3 при номинальном значении напряжения  $U_{IN}$ :

$$t_{OFF} = \frac{1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}}{f_{SW}}. \quad (10)$$

Подставляя известные значения в (10), получим:

$$t_{OFF} = \frac{1 - \frac{1}{0,8} \cdot \frac{25,2}{220 \cdot \sqrt{2}}}{250 \text{ кГц}} = 0,0036 \text{ мс} = 3,6 \text{ мкс}. \quad (11)$$

На основе соотношений (2) и (8) получим формулу для расчёта времени включенного состояния транзистора VT3 (минимальная длительность импульса ШИМ):

$$t_{ON} = \frac{\frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}}{f_{SW}}. \quad (12)$$

Подставляя в (12) численные данные, получим:

$$t_{ON} = \frac{\frac{1}{0,8} \cdot \frac{25,2}{220 \cdot \sqrt{2}}}{250 \text{ кГц}} = 0,0004 \text{ мс} = 0,4 \text{ мкс}. \quad (13)$$

Минимальная длительность импульса  $t_{ON(MIN)}$  вычисляется подстановкой в (12) максимального значения выпрямленного напряжения питания  $U_{IN(MAX)}$ . Проводя вычисления,

аналогичные (13), получим  $t_{ON(MIN)}=0,25$  мкс, что не выходит за пределы линейной работы ШИМ ИМС LM3445 ( $t_{ON(MIN)}>0,2$  мкс).

Для расчёта параметров дросселя  $L1$ , воспользуемся известными соотношениями, связывающими ток и напряжение на индуктивности [7]. В приближении линейного изменения тока дросселя  $L1$  (рис. 5), напряжение на светодиодах при закрытом транзисторе  $VT3$  выразим в виде (14).

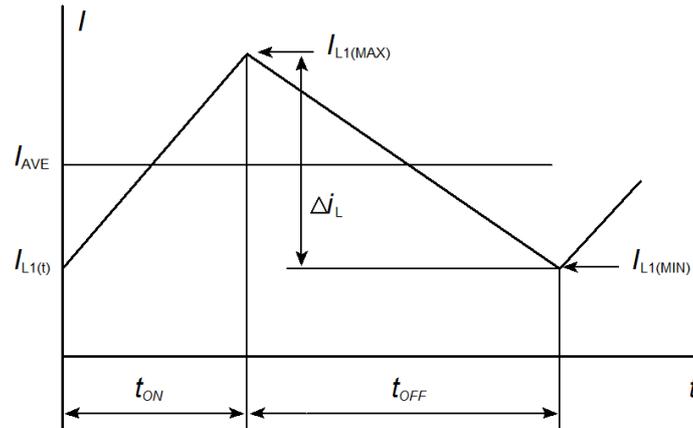


Рис. 5. Форма тока, протекающего через дроссель  $L1$

$$U_{LED} = L1 \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (14)$$

где  $\Delta i$  – изменение тока дросселя.

При закрытом транзисторе  $VT3$ , можно принять  $\Delta t \approx t_{OFF}$ . Тогда после перегруппировки соотношения (14), получим:

$$L1 \approx t_{OFF} \cdot \frac{U_{LED}}{\Delta i}. \quad (15)$$

Подставляя в (15) соотношение (10) для  $t_{OFF}$ , получим соотношение для индуктивности дросселя  $L1$ :

$$L1 = \frac{U_{LED} \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}\right)}{f_{SW} \cdot \Delta i}. \quad (16)$$

Подставляя в (16) значения известных и рассчитанных ранее данных, получим  $L1 \approx 860$  мкГ.

Если выбрать ток коллектора транзистора  $VT2$  не более  $I_C=50$  мкА, то может быть вычислена величина резистора  $R6$ :  $R6=U_{LED}/I_C=25,2/0,05=504$  к. Выберем  $R6=560$  к.

Каскад на транзисторе  $VT2$  выполняет функцию защиты ИМС и мощного МОП-транзистора в случае короткого замыкания цепи светодиодов. Для задания времени включения защиты ИМС (выключения ИМС), необходимо рассчитать величину конденсатора  $C9$ . следует отметить, что время выключения ИМС должно превышать время  $t_{OFF}$ . Величина конденсатора  $C9$  может быть рассчитана из соотношения:

$$C9 = \frac{t_{OFF} \cdot U_{LED}}{U_{REF} \cdot R6}, \quad (17)$$

где -  $U_{REF}$  – внутреннее опорное напряжение ИМС LM3445, равное  $U_{REF}=1,276$  В [5, 6].

Подставляя в (17) значения всех переменных, получим  $C9=127$  пФ, или округляя, выберем  $C9=120$  пФ.

Для обеспечения требуемого значения коэффициента мощности, в УП присутствует пассивный корректор фазы (элементы  $C5$ ,  $C6$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ ,  $VD4$ ). Заметим, что высокое значение коэффициента мощности в УП данной светодиодной лампы не требуется, так как потребляемая мощность лампы не превышает 9 Вт (коэффициент мощности более 0,8 требуется, как правило, в устройствах светодиодного освещения, мощностью более 25 Вт). Но, тем не менее, в данной схеме УП корректор фазы присутствует и обеспечивает коэффициент мощности 0,87. Расчёт элементов схемы пассивного корректора фазы произведён согласно данным, приведённым в [6, 7].

Аналогичный расчёт был нами произведён для схемы УП с гальванической развязкой. Ввиду громоздкости, мы его здесь не приводим. Принципиальная электрическая схема УП на основе ИМС LM3445, выполненного согласно схемотехнике понижающего преобразователя с гальванической изоляцией нагрузки [8] представлена на рис. 6.

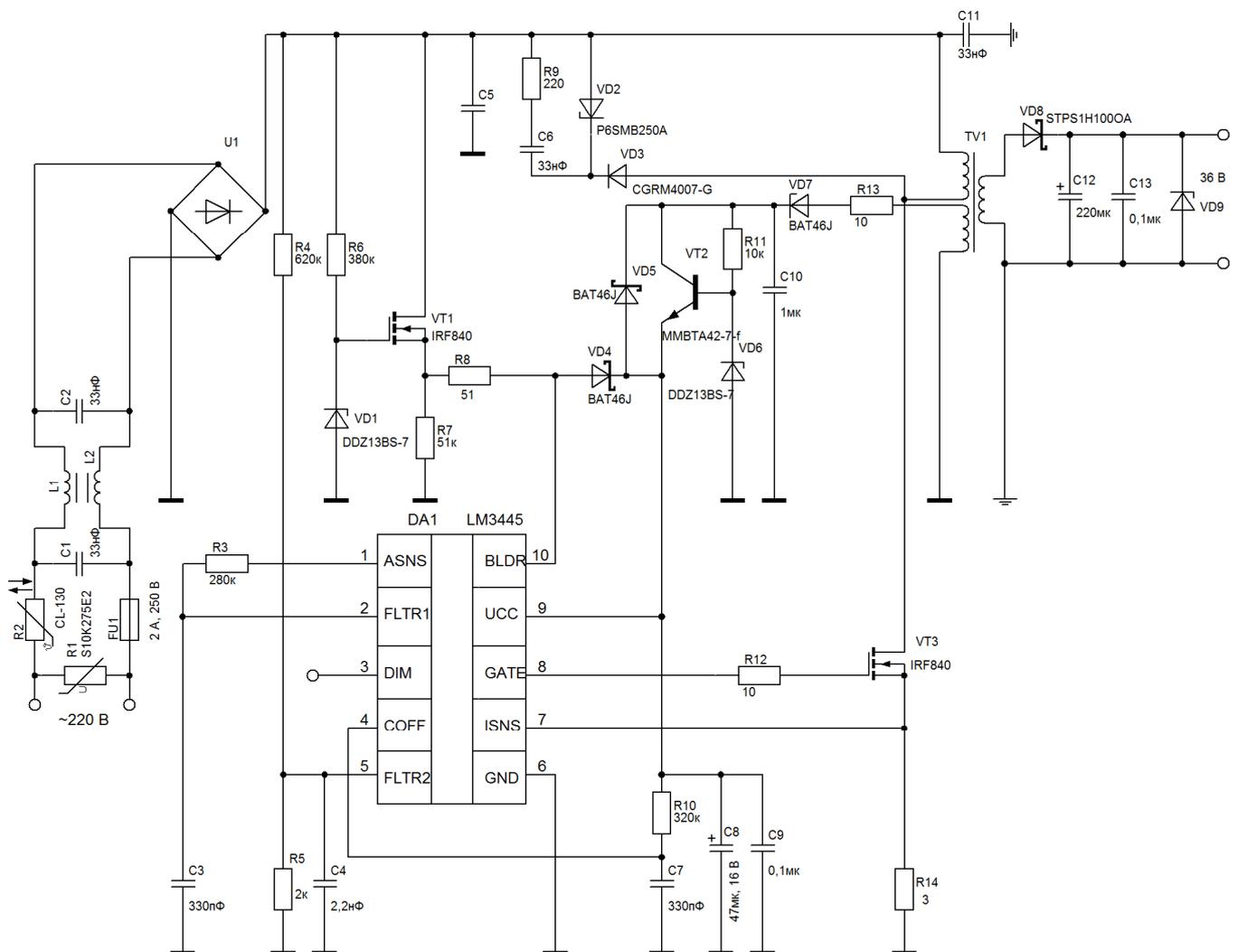


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная УП светодиодной лампы с гальванической развязкой

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На основании принципиальных электрических схем, приведённых на рис. 3 и 5 были разработаны и изготовлены экспериментальные печатные платы УП для светодиодной лампы. Форма и размеры печатных плат выбирались исходя из размеров корпуса светодиодной лампы (см. рис. 2). Для светодиодов была изготовлена печатная плата (светодиодный кластер) для размещения семи светодиодов. В дальнейшем был произведён эксперимент, в котором светодиодная лампа подключалась к питающей сети, напряжением 220 В.

Работа светодиодной лампы с управлением от экспериментального УП приведена на рис. 7.



Рис. 7. Светодиодная лампа с управлением от экспериментального УП

#### V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработка топологии печатной платы УП для светодиодной лампы проводилась в свободно распространяемой САПР Sprint-Layout 5.0.

Изготовление печатной платы проводилось на основе двустороннего фольгированного текстолита типа FR-35.

Топология печатной платы – двусторонняя.

Размер печатной платы – 50 x 20 мм (широкая часть для корпуса) плюс 20 x 15 мм для цоколя (таким образом, общая длина платы УП – 70 мм).

Использованы элементы для поверхностного монтажа (чип-элементы), а также элементы для навесного монтажа.

Высота навесных компонентов не превышает 10 мм. Такое конструктивное исполнение целесообразно, так как плата УП должна располагаться внутри корпуса лампы. Узкий «хвост» платы УП необходим для подключения питания от сети 220 В в цоколе.

## VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Разработаны общие технические требования к светодиодным лампам с характеристиками, соответствующими широко распространённым лампам накаливания (ЛОН), мощностью 40 и 60 Вт. Произведён выбор элементной базы для построения УП для светодиодных ламп. Проработаны варианты реализации УП.

2 На основании полученных данных синтезированы принципиальные электрические схемы УП без гальванической изоляцией нагрузки и с гальванической изоляцией. Разработанные принципиальные электрические схемы УП обеспечивают возможность управления (диммирования) световым потоком светодиодной лампы непосредственно изменением величины питающего напряжения сети 220 В при помощи таких устройств как диммеры. Ввиду того, что схемы симисторных диммеров достаточно хорошо известны, в данной статье они не приводятся.

3 Произведён расчёт элементов схем УП для светодиодной лампы, а также расчёт электрических режимов работы УП.

4 Разработаны экспериментальные образцы печатных плат УП для светодиодной лампы.

Таким образом, подготовлена предварительная информация для проведения опытных работ для серийного изготовления УП для светодиодных ламп, ориентированных на применение в сфере энергосберегающего освещения.

### Список литературы

- 1 Ромадина И. Драйверы светодиодов серии NCL30xxx от ON Semiconductor // Современная светотехника, апрель 2011, № 2 (09).
- 2 Миронов С. Особенности построения источников питания для светодиодного оборудования // Современная светотехника, апрель 2011, № 2 (09).
- 3 Терехов Г. Димминг – способ эффективного энергосбережения или источник реальных проблем? // Современная светотехника, октябрь 2011, № 2 (09).
- 4 Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2008. – 256 с., ил.
- 5 Техническая инф. по ИМС LM3445. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.national.com/LM3445](http://www.national.com/LM3445) Triac Dimmable Offline LED Driver.
- 6 Техническая инф. по ИМС LM3445. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.ti.com/LM3445](http://www.ti.com/LM3445) Triac Dimmable Offline LED Driver.
- 7 Корис Р.Ю Шмидт-Вальтер Х. Справочник инженера-схемотехника. М.: Техносфера, 2006. – 608 с.
- 8 Тарасов Д., Титков С. Применение индуктивно-емкостной гальванической развязки // Полупроводниковая светотехника, октябрь 2011, № 5.

## DRIVER FOR LED LAMPS

Suraykin A. Ivan

N. P. Ogarev's Mordovian State University  
Russian Federation, Saransk city,

E-mail: [suraykin@mail.ru](mailto:suraykin@mail.ru), tel. (834-2) 290668, 254137

39 (block 16), B. Chmelnitsky str., room 408, 430005, Saransk, Mordovia, Russia

Prokofiev S. Michael

Incorporation "Inventor" ltd,

Russian Federation, Saransk city,

E-mail: [smprokofiev@mail.ru](mailto:smprokofiev@mail.ru), tel. (834-2) 254137.

12, Pioneer str., 430904 Yalga, 430904, Saransk, Mordovia, Russia

Borisov S. Ivan

Incorporation "Inventor" ltd,

Russian Federation, Saransk city,

E-mail: [s.i.borisov@yandex.ru](mailto:s.i.borisov@yandex.ru), tel. (834-2) 254137.

12, Pioneer str., 430904 Yalga, 430904, Saransk, Mordovia, Russia

Grizkov S. Anatol

N. P. Ogarev's Mordovian State University

Russian Federation, Saransk city,

E-mail: [remi-2009@mail.ru](mailto:remi-2009@mail.ru), tel. +7 9271936598

39 (block 16), B. Chmelnitsky str., 430005, Saransk, Mordovia, Russia

**Annotation.** The article provides manual of driver for LED lamps. Provides total technical features for LED lamps and electrical characteristics LED drivers. Provides schematic diagram and calculation schematic's elements of LED drivers based for IC LM3445.

**Key words:** driver; LED lamp; dimmer; valley-fill circuit; loading isol.



Сурайкин Александр Иванович

Россия, РМ, г. Саранск

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва

E-mail: [suraykin@mail.ru](mailto:suraykin@mail.ru)

Тел. +7-8342-29-06-68, 25-41-37

Закончил Мордовский государственный университет в 1985 г. по специальности «Полупроводники и диэлектрики». С 1985 г. и по настоящее время работает в ОАО «Орбита». В 1998 г. защитил кандидатскую диссертацию в ФГУП НПП «Пульсар», г. Москва. В настоящее время является доцентом кафедры микроэлектроники Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

Прокофьев Сергей Михайлович

Россия, РМ, г. Саранск

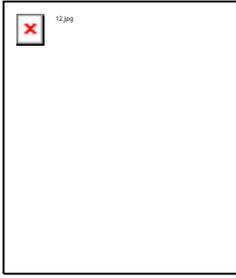
Общество с ограниченной ответственностью «Инвентор»

E-mail: [smprokofiev@mail.ru](mailto:smprokofiev@mail.ru)

Тел. +7-8342-25-41-37



Закончил Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва в 2005 г. по специальности «Микроэлектроника и твердотельная электроника». С 2011 г. по настоящее время работает инженером-конструктором в ООО «Инвентор».



Борисов Сергей Иванович  
Россия, РМ, г. Саранск  
Общество с ограниченной ответственностью «Инвентор»  
E-mail: s.i.borisov@yandex.ru  
Тел. +7-8342-25-41-37

Закончил Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва в 2009 г. по специальности «Светотехника». С 2011 г. по настоящее время работает инженером-конструктором в ООО «Инвентор».



Грицков Сергей Анатольевич  
Россия, РМ, г. Саранск  
Студент 5-го курса Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва. Факультет электронной техники, специальность «микроэлектроника и твердотельная электроника»  
E-mail: remi-2009@mail.ru  
Тел. +7-927-193-65-98