

СУРАЙКИН А. И., СОРОКИН А. Е., КУРНАЕВ В. В., СУРАЙКИН А. А.
МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВЕТОДИОДНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования в области разработки малогабаритных импульсных источников питания для применения в светодиодных светильниках. Рассматриваются варианты построения принципиальных схем малогабаритного светодиодного светильника.

Ключевые слова: импульсный источник питания, светодиодный светильник, интегральная схема.

SURAYKIN A. I., SOROKIN A. E., KURNAEV V. V., SURAYKIN A. A.
SMALL SWITCHING POWER SUPPLIES FOR LED LAMPS

Abstract. The article discusses the research results of design capability of small switching power supply for LED lamps. Options for constructing schematic diagrams of a small-sized led lamp are considered.

Key words: switching power supply, LED lamp, integrated circuits.

Одной из основных задач разработки устройств управления светодиодными светильниками, является задача разработки и внедрения малогабаритных импульсных источников питания (ИИП). Если мы имеем дело с малогабаритными светодиодными светильниками, то 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 [1].

При разработке малогабаритных светодиодных светильников возникает проблема отвода тепла, выделяющегося в малом объёме, так как перегрев светодиодов нежелателен. Источником тепла в светодиодном светильнике, кроме самих светодиодов является и сам источник питания. В этом смысле, к ИИП предъявляются жёсткие требования:

- изоляция светодиодов от корпуса светильника,
- при необходимости гальваническая изоляция светодиодов от схемы управления,
- высокий КПД,
- малые габариты, обеспечивающие возможность встраивания в корпус светильника,
- низкая себестоимость в массовом производстве.

На сегодняшний день, в качестве ИИП светодиодных светильников в основном используются импульсные источники питания (ИИП) [2].

В связи с тем, что реализация современного высокоэффективного, конкурентоспособного

ИИП невозможна без применения ИС, то важен выбор наиболее перспективных микросхем.

Практически все ведущие фирмы-производители электронной компонентной базы (ЭКБ) выпускают управляющие ИС для импульсных источников питания. Номенклатура таких ИС огромна и выбор, как правило, связан с определением отношения – цена/требуемые характеристики. В этой связи интерес представляет, например такая ИС, как LM3445 [3, 4]. Эту ИС выпускают две известные фирмы – National Semiconductor и Texas Instruments (США). Кроме этой ИС, при реализации высокоэффективного ИИП может быть применена такая ИС как TPS92010 (Texas Instruments). Данные ИС мало известны в России и информацию по их характеристикам, и применению сложно найти в отечественной литературе. Как было выяснено, ИС LM3445 [5] обладает весьма широким набором функций, позволяющим гибко реализовывать различные ИИП для большинства светодиодных светильников бытового и промышленного назначения, также для сферы ЖКХ.

Основным отличием микросхемы LM3445 от предыдущих версий является наличие функции плавного управления интенсивностью светового потока с помощью стандартного внешнего диммера с ШИМ. В отличие от LM3445, ИС TPS92010 работает с внешним детектором диммирования.

ИС LM3445 имеет следующие основные характеристики:

- работа с диммированным переменным сигналом 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 (паузы 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 ИИП на основе ИС LM3445, выполненного согласно схеме понижающего преобразователя без гальванической изоляции нагрузки представлена на рис. 1.

С учётом специфики работы импульсных источников питания с ШИМ, можно произвести расчёт режимов работы ИС LM3445, а также ряда её внешних навесных компонентов [6].

В качестве исходных данных для расчёта параметров малогабаритного светодиодного

светильника, 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.

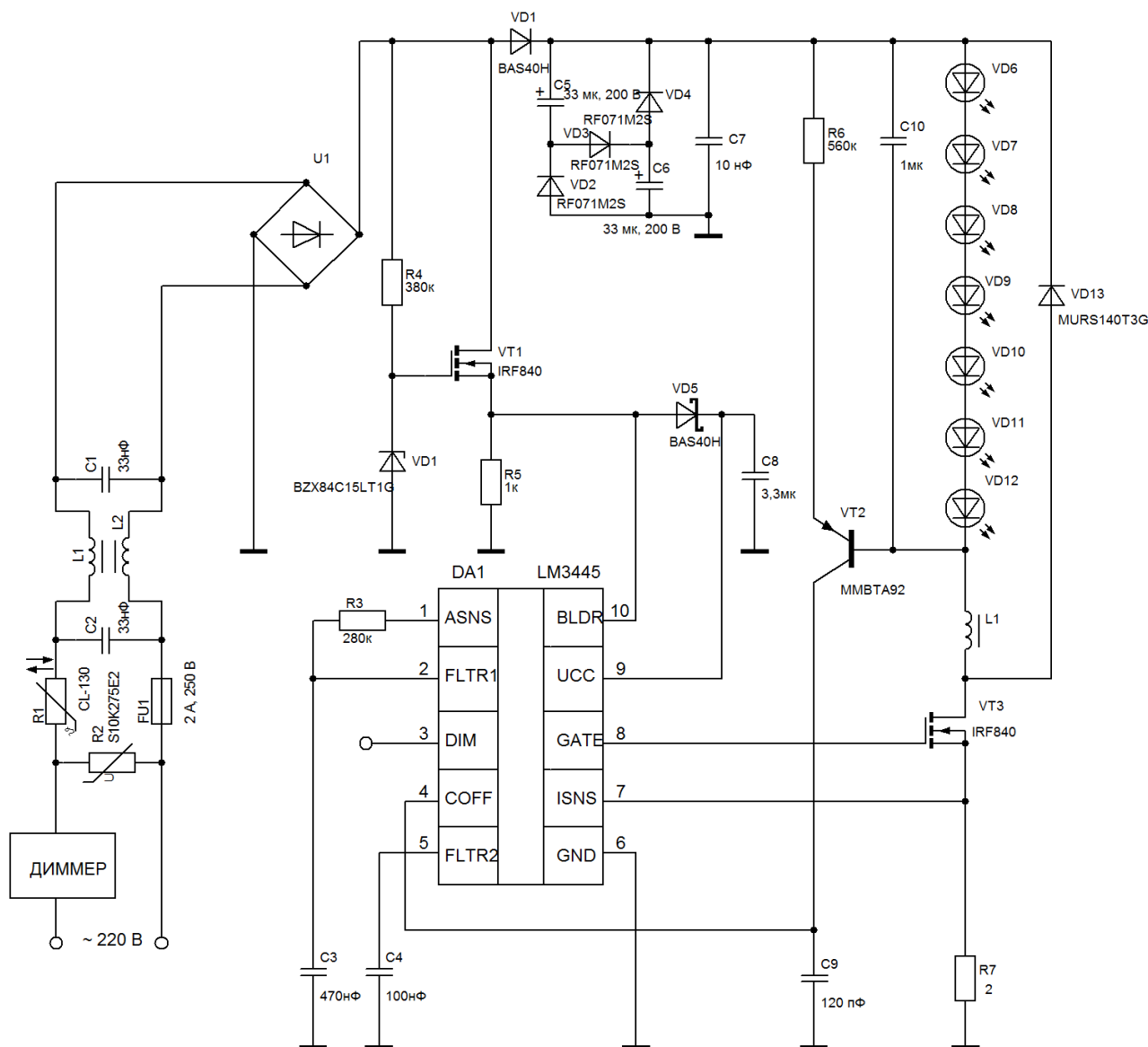


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная ИИП малогабаритного светодиодного светильника без гальванической изоляции нагрузки

Начальный режим работы ИС 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 выберем $N_{PFC} = 2$,

5 Минимальное значение КПД: 80 %.

Согласно ранее полученным данным [7], время выключенного состояния транзистора VT3 при номинальном значении напряжения U_{IN} :

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

Подставляя известные значения [4, 5] в (1), получим:

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

Формула для расчёта времени включенного состояния транзистора VT3 (минимальная длительность импульса ШИМ):

$$t_{ON} = \frac{\frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}}{f_{SW}}. \quad (3)$$

Подставляя в (3) численные данные, получим:

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

Минимальная длительность импульса $t_{ON(MIN)}$ вычисляется подстановкой в (4) максимального значения выпрямленного напряжения питания $U_{IN(MAX)}$. Проводя вычисления, аналогичные (4), получим $t_{ON(MIN)} = 0,25$ мкс, что не выходит за пределы линейной работы ШИМ ИС LM3445 ($t_{ON(MIN)} > 0,2$ мкс).

Для расчёта параметров дросселя $L1$, воспользуемся известными соотношениями, связывающими ток и напряжение на индуктивности [8]. В приближении линейного изменения тока дросселя $L1$ (рис. 2), напряжение на светодиодах при закрытом транзисторе VT3 выразим в виде (5).

$$U_{LED} = L1 \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}, \quad (5)$$

где Δi – изменение тока дросселя.

Производя перегруппировку в (5) и выражая оттуда $L1$, подставляя в (5) соотношение

(2) для t_{OFF} , получим соотношение для индуктивности дросселя $L1$:

$$L1 = \frac{U_{LED} \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{U_{LED}}{U_{IN}}\right)}{f_{SW} \cdot \Delta i} \quad (6)$$

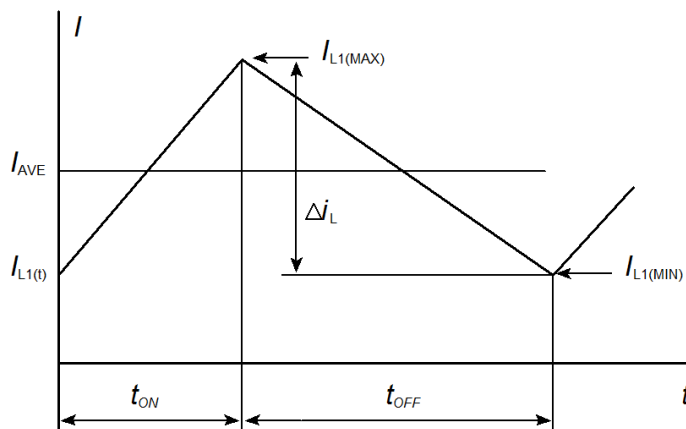


Рис. 2. Форма тока, протекающего через дроссель $L1$

Подставляя в (6) 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 $R6$:

$$R6 = U_{LED} / I_C = 25,2 / 0,05 = 504 \text{ к. Выберем } R6 = 560 \text{ к.}$$

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

$$C9 = \frac{t_{OFF} \cdot U_{LED}}{U_{REF} \cdot R6} \quad (7)$$

где U_{REF} это внутреннее опорное напряжение ИС LM3445, равное $U_{REF} = 1,276$ В.

Подставляя в (7) значения всех переменных, получим $C9 = 127$ пФ, или округляя, выберем $C9 = 120$ пФ.

Для обеспечения требуемого значения коэффициента мощности, в ИИП присутствует пассивный корректор фазы (элементы $C5$, $C6$, $VD2$, $VD3$, $VD4$). Заметим, что высокое

значение коэффициента мощности в ИИП данного светодиодного светильника не требуется, так как его потребляемая мощность 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 ИИП корректор фазы присутствует и обеспечивает коэффициент мощности 0,87. Расчёт элементов схемы пассивного корректора фазы произведён согласно данным, приведённым в [6, 7].

Принципиальная электрическая схема ИИП на основе ИС TPS92010, выполненного согласно схеме понижающего преобразователя с гальванической изоляцией нагрузки представлена на рисунке 3 [9]. В схеме применён внешний детектор диммирования и блок установки опорного напряжения. Этот ИИП построен по стандартной обратноходовой (flyback) схеме, наиболее эффективной в низком диапазоне мощностей [10]. Использование одного трансформатора, высоковольтного (500...600 В) MOSFET-транзистора и одного диода на выходе является в данном применении относительно недорогой конфигурацией [11].

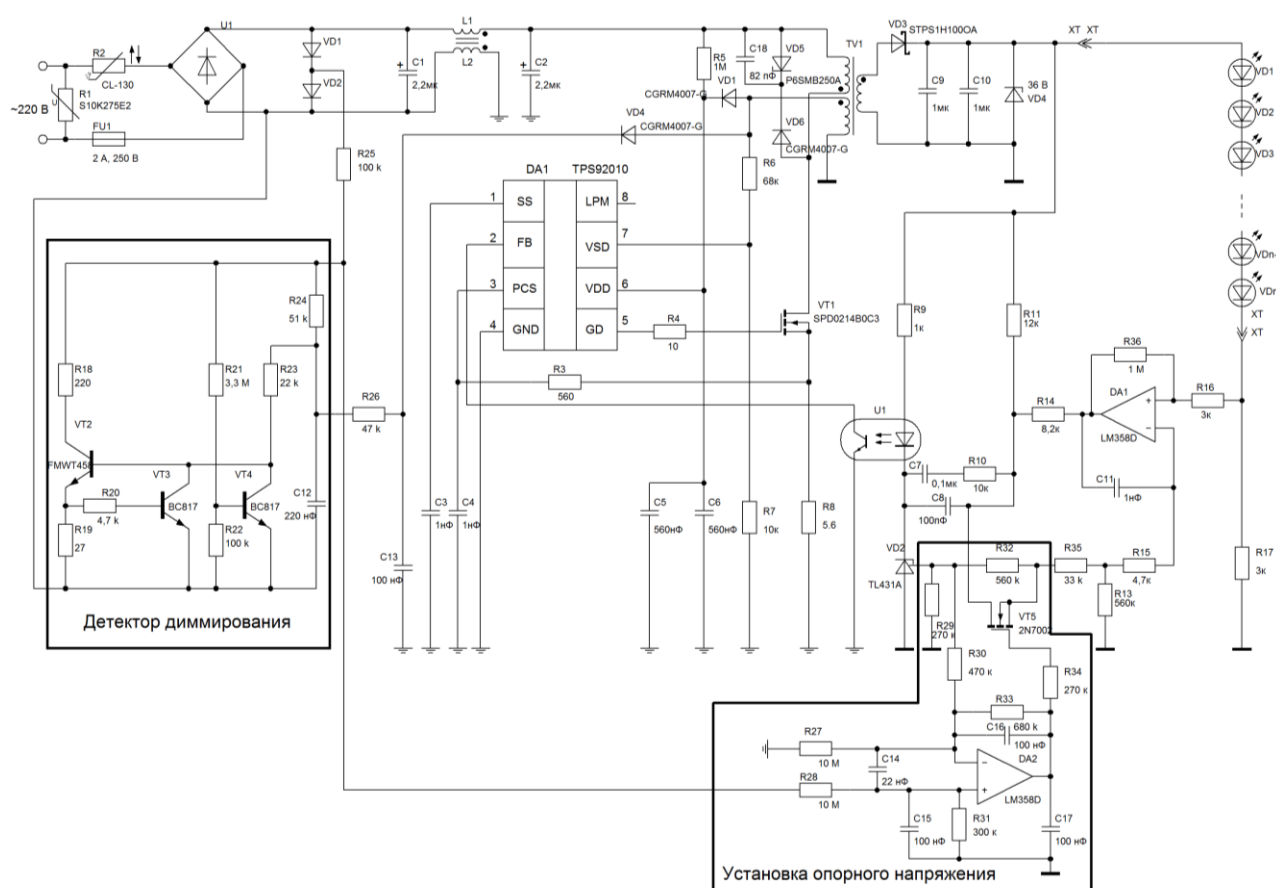


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная ИИП малогабаритного светодиодного светильника с гальванической изоляцией нагрузки

Входной фильтр базируется на стандартном дросселе и двух конденсаторах,

обеспечивая разработке соответствие классу «В» по электромагнитной совместимости в соответствии со стандартом FCC. Ток нагрузки измеряется на резисторе R17. Его уровень усиливается усилителем на микросхеме DA1 и подается на вывод 3 микросхемы TPS92010 через оптопару. В соответствии с этим сигналом ИС TPS92010 осуществляет управление работой транзистора VT1. Цепь контроля димминга состоит из двух частей: триггер (транзисторы VT2, VT3), детектирующий диммирование во входной цепи, и усилитель (VT4), корректирующий отпирающее напряжение для уменьшения тока через светодиоды при работе диммера [12]. Здесь следует отметить, что диммирование как функция и, соответственно, диммер как устройство могут быть использованы при необходимости, обусловленной требованиями уменьшения тока питания светодиодов [13]. Это, в свою очередь, может быть вызвано требованием постоянной работы светодиодного светильника, который в ночное время может быть переведён в экономичный режим с меньшей светоотдачей (уменьшенным током нагрузки). В этой связи диммеры, как устройства можно рассматривать как дополнительные опции, применяемые при необходимости их применения.

Таким образом, в данной статье представлены результаты исследования ИИП, выполненные на двух ИС: LM3445 и TPS92010. Выбор данных ИС для разработки ИИП обусловлен тем, что они позволяют разрабатывать относительно простые, но высокоэффективные импульсные источники питания. Алгоритмы работы управляющих ИС LM3445 и TPS92010 позволяют в широких пределах выбирать схемотехническое построение ИИП, выходящее далеко за пределы схемотехнических решений, приведённых в справочной информации на вышеуказанные ИС. Экономичные и, вместе с тем, высокоэффективные ИИП могут быть применены в малогабаритных светодиодных светильниках как бытового, так и промышленного назначения, включая сферу ЖКХ.

Особенностью ИИП на базе ИС LM3445 и TPS92010 является и то, что некоторые функции, например диммирование, могут быть реализованы как дополнительные опции ИИП. Это позволяет разрабатывать и изготавливать ряд ИИП с разными ценовыми показателями, а устройства, реализующие дополнительные опции могут изготавливаться отдельно и поставляться потребителям в соответствии с их требованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронов С. Особенности построения источников питания для светодиодного оборудования. // Современная светотехника. – 2011. – № 2 (09). – С. 5–8.
2. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер. с англ. – К. : «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2008. – 256 с.
3. Техническая инф. по ИС LM3445. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- www.national.com/LM3445 Triac Dimmable Offline LED Driver.
4. Техническая инф. по ИС LM3445. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ti.com/LM3445 Triac Dimmable Offline LED Driver.
 5. Криночкин Р., Барабан С. Расширение линейки драйверов светодиодов от Texas Instruments: теперь и LM3444/LM3445/LM3448. // Новости электроники. Информационно-технический журнал. – 2012. – № 1 (103). – С. 18–22.
 6. Сурайкин А. И., Сеськин М. В. Разработка малогабаритного устройства питания светодиодов. // XLVII Огарёвские чтения. Материалы научной конференции. В 3-х частях. Составитель А. В. Столяров. Ответственный за выпуск П. В. Сенин. 2019. – С. 84–91.
 7. Сурайкин А. И. Устройство питания для светодиодных ламп. // Электроника и информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 11.
 8. Корис Р. Ю Шмидт-Вальтер Х. Справочник инженера-схемотехника. М. : Техносфера, 2006. – 608 с.
 9. Тарасов Д., Титков С. Применение индуктивно-емкостной гальванической развязки. // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 25–31.
 10. Техническая инф. по ИС TPS92010. [Электронный ресурс]. – URL: www.ti.com/lit/ug/sluiu430c/sluiu430c.pdf/ Using the TPS92010EVM-631 (дата обращения: 03.09.2020).
 11. Сурайкин А. И., Курынов Б. В. Разработка устройства питания светодиодных светильников с функцией регулирования тока нагрузки. // XLVII Огарёвские чтения. Материалы научной конференции. В 3-х частях. – Саранск, 2019. – С. 76–84.
 12. Терехов Г. Димминг – способ эффективного энергосбережения или источник реальных проблем? // Современная светотехника. – 2011. – № 2 (09). – С. 11–13.
 13. Курынов Б. В., Сеськин М. В., Сорокин А. Е., Сурайкин А. И. Устройство питания светодиодных светильников с функцией диммирования. // Материалы XXII научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва. Материалы конференции. В 3-х частях. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2019. – С. 73–79.