

разработанной модели. Модель может быть использована при проектировании реальных автономных систем электропитания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Simulink и SimPowerSystems. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008–288 с.: ил.
2. Алатов И.М. // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. 2003. Вып 9. С. 182.
3. Пост С.С. Модель контроллера солнечной батареи. Управление и информатика в технических системах: Материалы всероссийской научно-технической конференции, посвящённой 80-летию Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, профессора Б. П. Соустина (г. Красноярск, 15-18 мая 2013 г.)
4. Иванчура В.И.; Чубарь А.В.; Пост С.С. The energetic model of the lithium-ion storage battery. Научный журнал СФУ. Секция «Техника и технологии». Том 6, № 5, 2013.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Гинтинг Рутта^{}, А.В. Иванов^{**}, С.М. Семенов^{***}, С.А. Чертов^{***}*

^{} – Индонезия, Джакарта,*

*^{**} – НИИ светодиодных технологий Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Россия, Томск,*

*^{***} – Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск*

Проблема высокого энергопотребления становится все более актуальной. Только на освещение уходит порядка 30-35% всей вырабатываемой электроэнергии, а в масштабах крупных городов эта величина в полтора-два раза больше [1].

Светодиодное освещение – одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света.

При одинаковом уровне излучения линейка светодиодов потребляет мощность в два и более раза меньшую, чем лампа накаливания, что позволяет значительно снизить затраты денежных средств на электроэнергию. Все эти качества определяют предпочтительное использование светодиодных источников излучения в современных устройствах. Зависимость потребляемой мощности ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных от излучаемого ими светового потока представлена в табл. 1[2].

Таблица 1.

Сравнение источников освещения

Лампа накаливания, потребляемая мощность (Вт)	Компактная люминесцентная лампа, потребляемая мощность (Вт)	Светодиодная лампа, потребляемая мощность (Вт)	Световой поток, лм
40	10-13	4-5	400
60	15-16	8-10	700
75	18-20	10-12	900
100	25-30	12-15	1200
150	40-50	18-20	1800

Проанализировав данные табл.1, можно отметить, что переход на более экономичные светодиодные светильники позволяет снизить энергопотребление в 10 раз по сравнению с лампами накаливания и в 2 раза по сравнению с люминесцентными лампами.

Тем не менее, несмотря на то, что классическая лампа накаливания по энергетическим затратам является наиболее расточительным источником света, она еще продолжительное время будет удерживать прочные позиции в устройствах освещения, благодаря целому ряду неоспоримых преимуществ. [3]

Например, таких как:

- Дешевизна лампы.
- Небольшие габариты, что позволяет конструировать удобные и оригинальные светильники.
- Повсеместная распространенность. Цоколь любой электрической лампы подходит к соответствующему патрону в широком спектре технических установок.
- Постоянная готовность к работе и моментальность включения. Время прогрева, в отличие от люминесцентной лампы, минимально.
- Независимость от внешних климатических условий. В лампе отсутствуют электронные компоненты, чувствительные к изменениям окружающей среды.
- Хорошо налаженное массовое производство.

Объединить преимущества классических ламп накаливания и светодиодных излучателей позволяют источники света, выполненные по технологии FilamentLED. Модель такого источника света представлена на рис. 1.

Основными компонентами этой лампы являются: 1 – колба; 2 – излучающий элемент; 3 – опорная конструкция; 4 – устройство питания (драйвер); 5 – цоколь.

По внешнему виду и характеристикам излучения они настолько близки к классическим электролампам, что их с полным правом можно назвать светодиодными лампами накаливания [4].

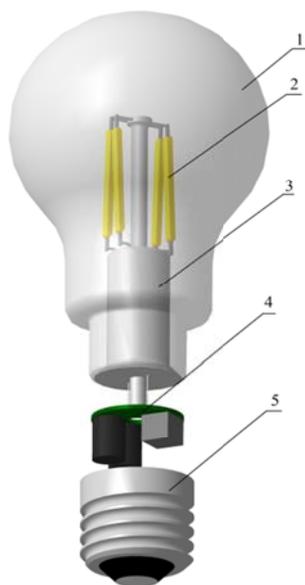


Рис. 1. Трехмерная модель источника света по технологии FilamentLED

Самое главное отличие осветительных устройств LED Filament от классических светодиодных ламп – это диаграмма светового потока, практически полностью аналогичная диаграмме лампы накаливания. Т.е. светодиодные излучатели светят практически равномерно во все стороны, так же как и обычные. При этом эффективность осветительных устройств LED Filament несколько выше, а рабочая температура корпуса – примерно на 10 градусов ниже. Коэффициент пульсаций у большинства ламп этого типа составляет менее 0,5% – т.е. приблизительно равен нулю. Использование различных вариантов люминофоров в нитевидных светодиодных излучателях позволяет выпускать устройства освещения с различной цветовой температурой (оттенок белого света по шкале "теплый-холодный") – от 2700 К (теплый, стандартная лампочка накаливания) до 6500 К (холодный, дневной свет).

Светодиоды, как и все диоды, имеют нелинейную вольт-амперную характеристику [5]. Это означает, что при изменении напряжения на светодиоде, ток изменяется непропорционально. По мере увеличения напряжения, сначала ток растёт очень медленно, источник освещения при этом не светится. Затем, при достижении порогового напряжения, светодиод начинает светиться, и ток возрастает очень быстро. При дальнейшем увеличении напряжения, ток резко возрастает, и лампа выходит из строя.

Поэтому для нормального функционирования светильника, его нужно обеспечить стабилизатором тока, который будет соответствовать необходимым параметрам и требованиям. Данный стабилизатор, являющийся важнейшей частью полупроводникового светильника, во многом определяет функциональные, светотехнические показатели и надежность осветительного устройства в целом.

Он устанавливает заданный ток через светодиод вне зависимости от

приложенного к схеме напряжения. При увеличении напряжения на схеме выше порогового уровня, ток достигает установленного значения и далее не изменяется. При дальнейшем увеличении общего напряжения, напряжение на излучателе перестаёт меняться, а напряжение на стабилизаторе растёт.

В качестве стабилизатора тока рассматриваются два варианта: линейный и импульсный.

Линейный стабилизатор (рис. 2) является делителем напряжения постоянного тока.

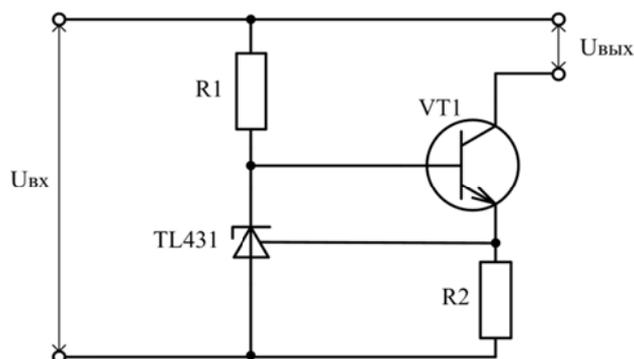


Рис. 2. Схема линейного стабилизатора тока

Суть его работы заключается в том, что на вход подается нестабильное напряжение ($U_{вх}$), а с нижнего контакта снимается фиксированное выходное напряжение ($U_{вых}$). Принципиально такого рода стабилизация осуществляется благодаря изменению сопротивления одного из плеч делителя напряжения, в роли которого выступает биполярный транзистор (VT1). Эта система регулирует сопротивление в динамическом заданном диапазоне для стабилизации выходного напряжения.

При достаточно большом отношении входного и выходного напряжений значительно сокращается КПД стабилизатора напряжения, так как энергия рассеивается в виде тепла на транзисторе стабилизатора. По этим причинам в рассматриваемом устройстве особое внимание необходимо уделить вопросам охлаждения, тем самым увеличивая срок службы и предотвращая регулирующей элемент стабилизатора от перегрева.

Для получения стабилизированного тока, с возможностью его регулирования, используется стабилизатор на основе микросхемы TL431 (аналоги: КР142ЕН19А, К1156ЕР5х).

Основное преимущество данной схемы состоит в возможности устанавливать любое значение стабилизируемого тока.

Наиболее сложной в реализации является схема импульсного стабилизатора, но при этом она может обеспечить стабильную работу в широком диапазоне напряжений на входе и в нагрузке. Так как требования по электробезопасности обеспечиваются конструкцией самой лампы, а напряжение в нагрузке ниже напряжения сети, то предпочтительна схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа [6]. Схема данного стабилизатора приведена на рис. 3.

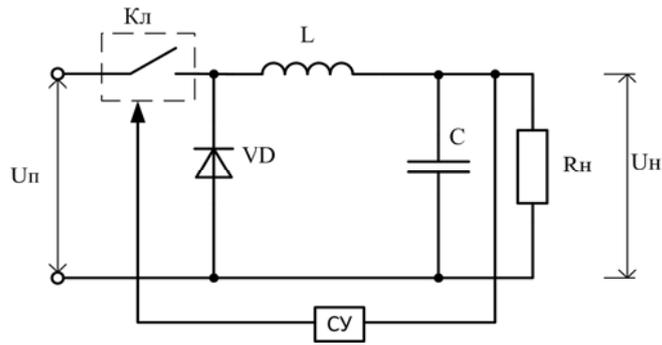


Рис. 3. Схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа

В качестве микросхемы управления используется микросхема BP2831 со встроенным силовым ключом Кл (рис. 3). Вариант применения такой схемы приведен на рис 4.

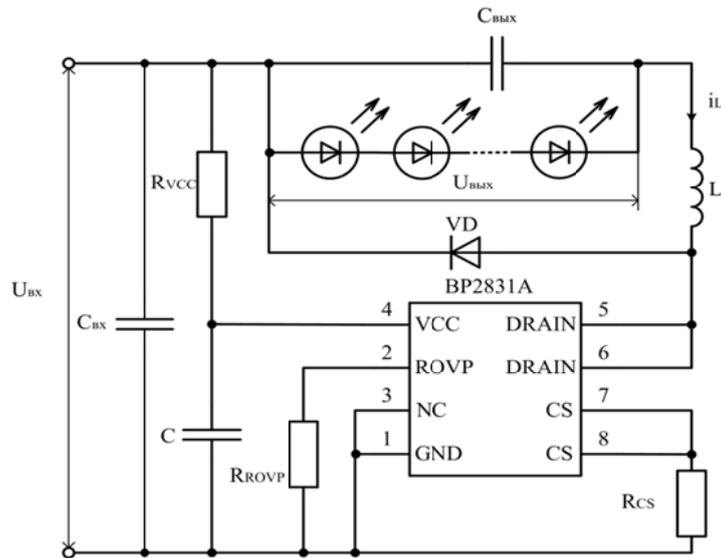


Рис. 4. Схема применения микросхемы BP2831

Импульсный стабилизатор тока работает следующим образом. Входное напряжение $U_{вх}$ подается на входной фильтрующий конденсатор $C_{вх}$. Ключевой элемент (транзистор), входящий в состав микросхемы BP2831, осуществляет высокочастотную коммутацию тока. Работа схемы складывается из двух фаз: наработки энергии и разряда.

Фаза наработки протекает, когда транзистор открыт. Ток i_L проходит через дроссель L к нагрузке, шунтированной конденсатором $C_{вых}$. Накопление энергии происходит как в дросселе, так и в конденсаторе.

После того, как транзистор переходит в состояние отсечки, наступает фаза разряда. Поскольку любой индуктивный элемент стремится воспрепятствовать изменению направления и величины тока, протекающего через его обмотку, в данном случае ток дросселя i_L мгновенно уменьшиться до нуля не может, и он замыкается через разрядный диод VD на нагрузку.

Для сравнения источников питания произведем расчет коэффициента полезного действия [6].

Для источника питания с линейным стабилизатором тока.

Примем минимальное напряжение на нагрузке $U_H = 75$ В. Номинальное напряжение сети $U_{НОМ} = 220$ В. Рабочая частота $f_{раб} = 50$ кГц. Ток нагрузки $I_H = 20$ мА. Сопротивление и индуктивность схемы соответственно $R_{сх} = 14$ Ом и $L = 15$ мГн.

КПД определяется по формуле:

$$\eta = \frac{U_H \cdot I_H}{U_H \cdot I_H + I_H \cdot (U_{вх} - U_H)} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.02 \cdot (310.2 - 75)} = 0.24,$$

где U_H, I_H – соответственно напряжение и ток на нагрузке;

$U_{вх}$ – входное напряжение, $U_{вх} = \sqrt{2} \cdot U_{НОМ} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.2$ В.

Для источника питания с импульсным стабилизатором тока.

КПД вычисляется по выражению:

$$\eta = \frac{U_H \cdot I_H}{U_H \cdot I_H + k_{зап} \cdot I_{max} \cdot R_{сх}} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.24 \cdot 0.058 \cdot 14} = 0.88,$$

где $k_{зап}$ – коэффициент заполнения, $k_{зап} = \frac{U_H}{U_{вх}} = \frac{75}{310.2} = 0.24$;

I_{max} – максимальный ток,

$$I_{max} = U_{вх} \cdot \left(\frac{k_{зап}}{R_H} + \frac{k_{зап}(1 - k_{зап})}{2 \cdot f_{раб} \cdot L} \right) = 310.2 \cdot \left(\frac{0.24}{3750} + \frac{0.24(1 - 0.24)}{2 \cdot 50000 \cdot 15 \cdot 10^{-3}} \right) = 0.058 \text{ А}$$

R_H – сопротивление нагрузки, $R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{75}{0.02} = 3750$ Ом.

Далее расчёт КПД производится при напряжениях на нагрузке равных 150, 225 и 300 В. Напряжение в сети может изменяться в пределах $220^{+10\%}_{-15\%}$.

Поэтому необходим расчёт КПД при минимальном напряжении питающей сети $U_{min пит} = U_{НОМ} - 0.15 \cdot U_{НОМ} = 220 - 0.15 \cdot 220 = 187$ В.

При этом минимальное напряжение на выходе стабилизатора будет равно

$$U_{min стаб} = U_{min пит} \cdot \sqrt{2} - U_{стаб} = 187 \cdot \sqrt{2} - 2 = 262 \text{ В.}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2.

Сравнение КПД источников питания

	Линейный		Импульсный	
	$U_H, \text{ В}$	$\eta, \%$	$U_H, \text{ В}$	$\eta, \%$
Ток нагрузки, $I_H = 20$ мА	75	24	75	89
	150	48	150	85
	225	73	225	86
	262	85	262	87
	300	97	300	94

Как видно из табл. 2, коэффициент полезного действия линейного стабилизатора тока, в отличие от импульсного, изменяется весьма значительно, а при определенных значениях напряжения на нагрузке больше, чем у импульсного. Из этого можно сделать вывод о том, что при правильном выборе напряжения, путем изменения числа линеек светодиодов и способа их подключения, КПД линейного и импульсного стабилизаторов тока приблизительно равны, что делает целесообразным применение линейного стабилизатора, так как его основными преимуществами являются: простота реализации, высокая надежность, низкая стоимость, отсутствие высокочастотных пульсаций выходного тока, электромагнитная совместимость.

По результатам исследования были изготовлены два устройства питания для светодиодной лампы. Испытания данных источников показали, что их КПД приблизительно равны, а у импульсного источника питания в выходном токе присутствуют высокочастотные пульсации, отсутствующие у линейного.

Устройства питания разработаны при финансовой поддержке министерства образования и науки в рамках выполнения НИИ Светодиодных технологий ТУСУР и ООО «Руслед» прикладных научных исследований: «Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания» (шифр проекта RFMEFI57714X0061). В настоящее время устройства питания, изготовленные совместно НИИ светодиодных технологий ТУСУР и Томским политехническим университетом проходят испытания на Томском заводе светотехники (бывший Томский электроламповый завод), входящим в состав ООО «Руслед».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
2. Технические характеристики и преимущества светодиодных ламп [Электронный ресурс] – режим доступа <http://indeolight.com/lampy-i-svetilniki/svetodiodnye/tehnicheskie-harakteristiki-svetodiodnyh-lamp.html>, свободный, дата обращения 01.08.2015.
3. Семёнов Б.Ю. Экономичное освещение для всех/ Б.Ю. Семёнов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2010. – 224 с.
4. Светодиодные лампы накаливания [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.rsci.ru/oled/news/236692.html>, свободный, дата обращения 01.08.2015.
5. Стабилизатор тока светодиода [Электронный ресурс] – режим доступа: http://led-displays.ru/stabilizator_toka.html, свободный, дата обращения 01.08.2015.
6. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б.Ю. Семенов. – М.: Солон-Р, 2001. – 327 с.