

УДК 621.314

## АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ СВЕТОДИОДОВ

Н.Н. Петросян, Р.А. Казарян

Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

Показаны перспективы развития современных драйверных схем для питания и регулирования потока света мощных светодиодов. В частности, произведен расчет и дан анализ электронной схемы питания мощных светодиодов на основе микросхемы типа СРС9909. Получены в результате симуляции графические зависимости среднего значения тока через светодиоды от величины индуктивности дросселя и коэффициента заполнения, которые подтверждают правильность приведенных в работе результатов.

**Ключевые слова:** светодиод, эффективность, драйвер, электрическая схема, источники питания, стабилизация, средний ток.

**Введение.** В настоящее время намечается тенденция широкого применения светодиодов в качестве источника света в разных областях хозяйства и промышленности. Последние достижения базовой полупроводниковой технологии позволяют светодиодам в скором времени составить серьезную конкуренцию существующим источникам света, т.к., по сравнению с другими источниками света, они имеют более высокие энергетические показатели и высокую надежность [1 - 3].

На рис. 1 показаны графики для сравнения существующей и прогнозируемой эффективности различных видов освещения [4,5].

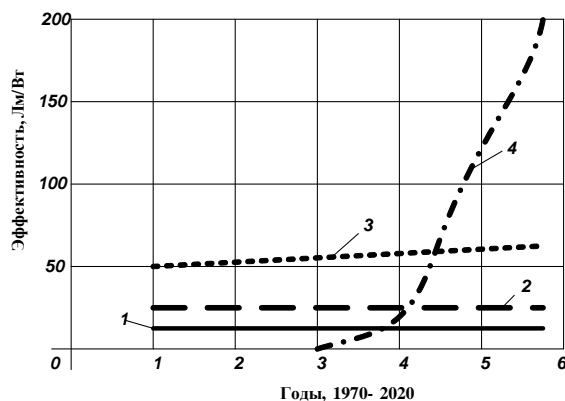


Рис. 1. Сравнение существующей и прогнозируемой эффективности различных видов освещения: 1 - лампы накаливания, 2 - галогенные лампы, 3 - люминесцентные лампы, 4 - светодиоды

Как видно из приведенных графиков, светодиоды в перспективе являются наиболее эффективными светоизлучающими приборами.

В работе [2] проведен сравнительный анализ различных типов освещения по базовым характеристикам (см. табл.).

Долговечность и высокая светоотдача лишь частично зависят от светодиодов. Многие определяются еще и качеством электропитания. По способу стабилизации выходных параметров источники питания делятся на блоки питания (где осуществляется стабилизация по напряжению, т.е. независимо от нагрузки на выходе блока питания напряжение остается постоянным) и драйверы (источники тока, дающие стабильный ток на нагрузку). Драйверы бывают с фиксированным и регулируемым током, где в зависимости от мощности нагрузки с помощью аналогового или цифрового управления регулируется ток нагрузки [4,5].

Таблица

Тип лампы	Начальная стоимость	Расходы за период эксплуатации	Жизн. цикл лампы, часы	Яркость	ИК - излучение	УФ - излучение
Лампа накаливания	Низкая	Очень высокие	1 000	Средняя	Очень высокое	Приемлемое
Люминесцентная	Высокая	Приемлемые	10 000	Низкая	Минимальное	Очень высокое
Светодиодная	Очень высокая	Низкие	Более 100 000	Высокая	Нет	Нет

Из вышесказанного следует, что эффективность применения светодиодов зависит от качества источников питания (драйверов), питающих эти диоды.

Целью данной работы является сравнительный анализ существующих источников питания для светодиодов и изучение перспектив их развития на основе современных драйверных схем.

**Принцип действия и основные требования, предъявляемые к источникам питания (драйверов) для светодиодов.** Драйвер служит преобразователем напряжения в нужную силу тока и обеспечивает непрерывную его подачу. Даже если в источниках питания происходят скачки напряжения, драйвер надежно защищает светодиодные источники света от повреждений. Это устройство является своеобразным стабилизатором напряжения, обеспечивает его постоянную величину. При этом стабилизаторы напряжения служат не только для обеспечения надежной работы источников света на основе светодиодов. Драйверы могут регулировать непосредственно силу подачи электрического тока, тем самым давая возможность выбрать уровень мощности светового потока светодиодов. Эта функция драйвера позволяет настраивать силу

освещения. К тому же, регулируя напряжение электрического тока, можно добиться кардинального изменения спектра получаемого светового потока [1]. Иначе говоря, драйвер в состоянии изменять цвет выдаваемого света. Кроме того, драйвер светодиодных источников может управлять подачей напряжения не только для одного, но также и для нескольких светодиодов. Именно это делает драйверы практически незаменимыми при изготовлении сложных световых конструкций [3].

Для источника питания полезной нагрузкой является массив светодиодов. Как известно, светодиоды обладают относительно низким дифференциальным сопротивлением, или, как иногда говорят, жесткой вольт-амперной характеристикой. Питаться их рекомендуется от источника постоянного тока. Ток должен быть стабильным, и источник должен иметь соответствующую максимальную мощность или максимальное выходное напряжение. Такой источник может питать светодиоды при непосредственном подключении без применения какого-либо пассивного, активного или реактивного балласта.

Как обычно, при построении источника питания первоочередной задачей является выбор архитектуры устройства. Один из наиболее распространенных подходов предполагает использование двух силовых контуров (рис. 2) [2].

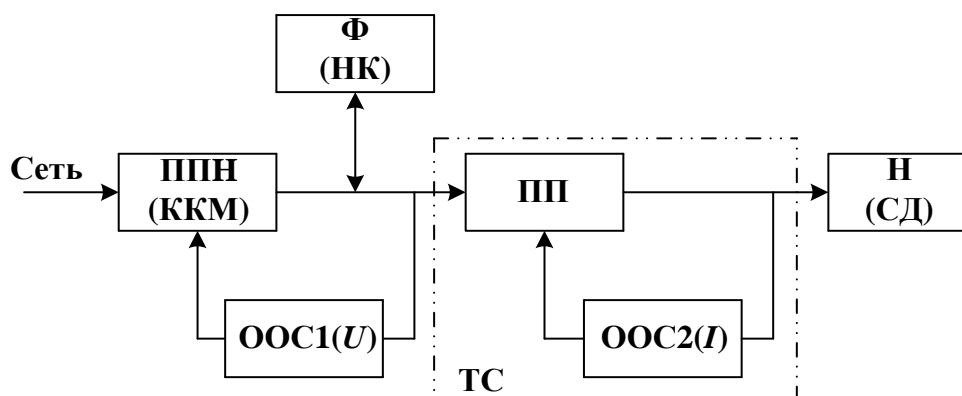


Рис. 2. Структура двухкаскадного преобразователя (драйвера)

Первый силовой контур, собранный на преобразователе переменного напряжения (ППН), обеспечивает повышение напряжения выше мгновенного входного сетевого напряжения, при этом на него возложена функция корректора коэффициента мощности (ККМ). ККМ охвачен отрицательной обратной связью (ООС1) по напряжению. Дополнительно реализована защита от перенапряжения, которая отключает повышающий преобразователь, если напряжение на его выходе достигло максимального разрешенного уровня. Напряжение после ККМ с помощью фильтра (Ф) фильтруется на главном и практически единственном накопительном конденсаторе (НК) большой емкости. Далее высокое постоянное

напряжение подается на понижающий преобразователь (ПП). Особенность этого преобразователя - его обратная связь ООС2. Благодаря ООС2 по току, а не по напряжению, как в большинстве преобразователей, он стабилизирует на своем выходе именно ток, которым питаются светодиоды. Можно сказать, что понижающий преобразователь и блок обратной связи ООС2 вместе составляют блок токовой стабилизации (ТС).

Такая архитектура двухкаскадного источника питания с ККМ и токовым выходом хорошо известна [1-3], часто и успешно применяется. При ряде положительных свойств она обладает относительной сложностью, так как содержит два силовых каскада. Другой ее недостаток - относительно низкий КПД. Так, при типичном КПД каждого каскада 90% результирующий КПД устройства составит только 81%, что не всегда приемлемо.

Драйверы бывают линейные и импульсные. Линейные отличаются низкой ценой, простотой схемы, но эффективность их работы сравнительно невелика. Кроме того, светодиодные светильники с линейными драйверами очень чувствительны к параметрам питающей сети.

Поэтому здесь в основном будем рассматривать импульсные драйверы, которые более эффективны (до 98%), не требуют дополнительных средств для охлаждения. Именно импульсные драйверы позволяют с высокой эффективностью осуществлять энергосбережение при применении светодиодной технологии [6].

***Анализ и расчет электрической схемы питания светодиодов на базе драйверов СРС9909.*** На рис. 3 показана наиболее распространенная микросхема драйвера типа СРС9909, приведены схема драйвера на базе этой микросхемы, а также диаграммы тока через светодиод [7].

При создании драйверов на базе микросхем необходимо учесть, что схема может питаться от промышленной сети, т.е. на выходе выпрямительного моста напряжение может достигнуть 500 В и более. Поэтому в микросхемах (в данном случае в микросхеме типа СРС9909) встроены стабилизаторы напряжения (Voltage Regulator), которые упрощают схему драйвера, а также делают его более компактным [2]. Микросхема СРС9909 сохраняет работоспособность в широком температурном диапазоне  $-55...+85^{\circ}\text{C}$ . Это особенно ценно, если учесть, что светодиоды могут работать в разных климатических условиях. Микросхема СРС9909 работает по схеме широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Драйвер СРС9909 стабилизирует ток через светодиоды (*LEDs*), сравнивая падение напряжения на токовом шунте  $R_{SENSE}$  пропорционально току светодиодов с опорным напряжением.

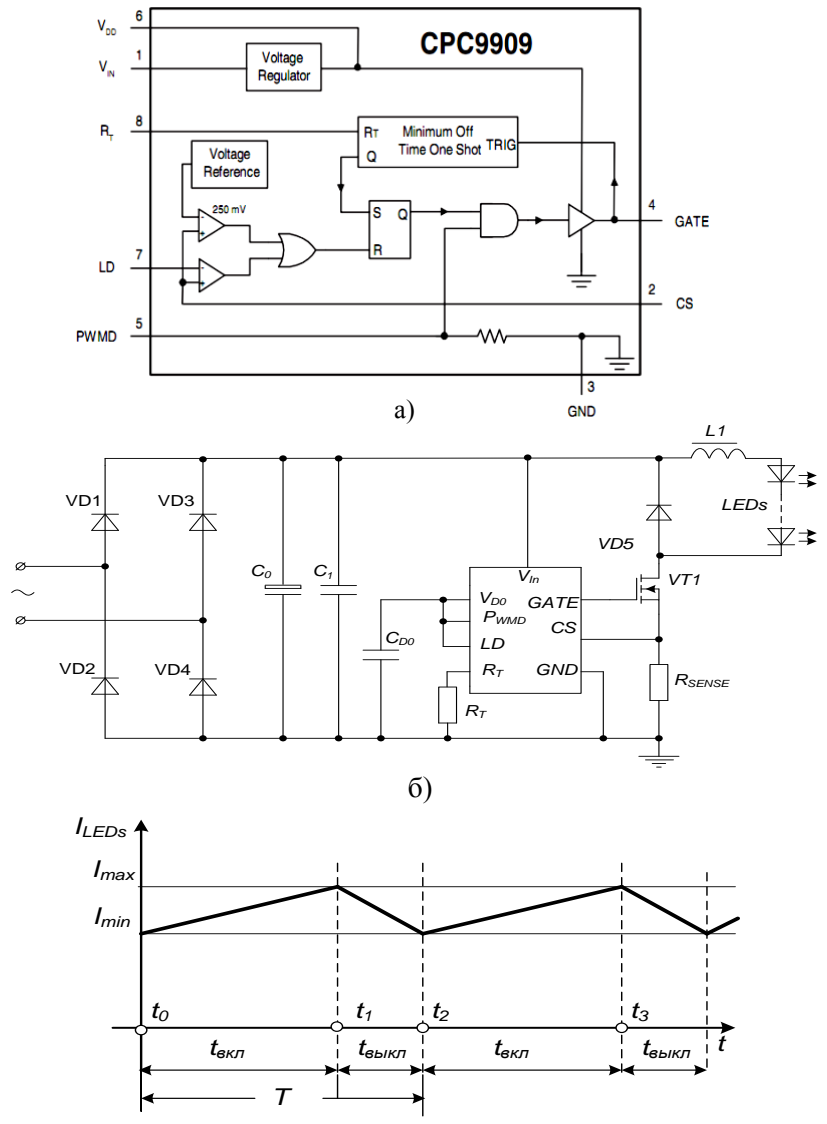


Рис. 3. Схема питания светодиодов на базе драйвера типа CPC9909:  
 а - микросхема драйвера типа CPC9909; б – схема источника питания, временные диаграммы тока через светодиоды; в – временная диаграмма тока через светодиоды при сравнительно больших сглаживающих дросселях

Допустим, в установившемся режиме (до момента  $t_0$ ) силовой транзистор закрыт, и ток находится в нулевом контуре через светодиоды, дроссель  $L_1$  и

возвратный диод  $VD5$ . В момент времени  $t_0$  силовой транзистор отпирается, и ток переходит в контур через силовой транзистор, светодиоды и открытую пару входного выпрямителя. За время  $t_{вкл}$  ток через светодиоды увеличивается с динамикой, ограниченной индуктивностью  $L_1$ . В момент достижения током заранее заданной пороговой величины  $I_{max}$  транзистор закрывается, ток переходит в нулевой контур, после чего через светодиоды в интервале времени  $t_{выкл}$  начинает спадать [8].

В интервале времени  $t_0 \leq t \leq t_1$  справедливо следующее уравнение:

$$L \frac{di_1(t)}{dt} + R_1 i_1(t) = U_d - U_{01}. \quad (1)$$

При начальных условиях  $i_1(t_0) = I_{min}$  ток через дроссель  $L_1$  определяется в виде

$$i_1(t) = \left( I_{min} - \frac{U_d - U_{01}}{R_1} \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + \frac{U_d - U_{01}}{R_1}, \quad (2)$$

где  $U_d$  - среднее значение выпрямленного напряжения на выходе выпрямительного моста;  $U_{01}$  - падение напряжения на светодиодах;  $\tau_1 = L/R_1$  - постоянная времени цепи;  $R_1$  - эквивалентное активное сопротивление в интервале времени  $t_{вкл}$ .

С учетом того, что  $i_1(t_1) = I_{max}$ , из (2) находим интервал времени  $t_{вкл}$ :

$$t_{вкл} = \tau_1 \ln \left( \frac{I_{max} - \frac{U_d - U_{01}}{R_1}}{I_{min} - \frac{U_d - U_{01}}{R_1}} \right). \quad (3)$$

В интервале времени  $t_1 \leq t \leq t_2$  ( $t_{выкл}$ ) транзистор закрыт, и ток через дроссель и светодиоды закрывается через открытый обратный диод  $VD5$ . Обозначая падение напряжения на открытом диоде  $VD5$  через  $U_{02}$ , ток через светодиоды можно найти решением следующего уравнения:

$$L \frac{di_1(t)}{dt} + U_{01} + U_{02} = 0. \quad (4)$$

При начальных условиях  $i_1(t_2) = I_{max}$  получим

$$i_1(t) = -(U_{01} + U_{02}) \frac{t}{L} + I_{max}. \quad (5)$$

Из (5) с учетом  $i_1(t_2) = I_{min}$  определим  $t_{выкл}$ :

$$t_{выкл} = \frac{I_{max} - I_{min}}{U_{01} + U_{02}} L. \quad (6)$$

С учетом того, что постоянная времени цепи для этого интервала равняется  $t_{выкл} \approx \tau_2 = \frac{L}{R_2}$ , где  $R_2$  - активное сопротивление нулевого контура, определим среднее значение тока через светодиоды:

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T i_1(t) dt, \quad (7)$$

$$I_{cp} = \frac{\tau_1 I_{min}}{T} \left( 1 - \exp\left(-\frac{t_{вкл}}{T}\right) \right) + \frac{t_{вкл}}{T} \cdot \frac{U_d - U_{01}}{R_1} + \frac{t_{выкл}}{T} I_{max} - \frac{(t_{выкл})^2}{2TL} (U_{01} + U_{02}). \quad (8)$$

В соответствии с (8) на рис. 4 приведены графические зависимости среднего тока через светодиоды от индуктивности дросселя и частоты работы драйвера.

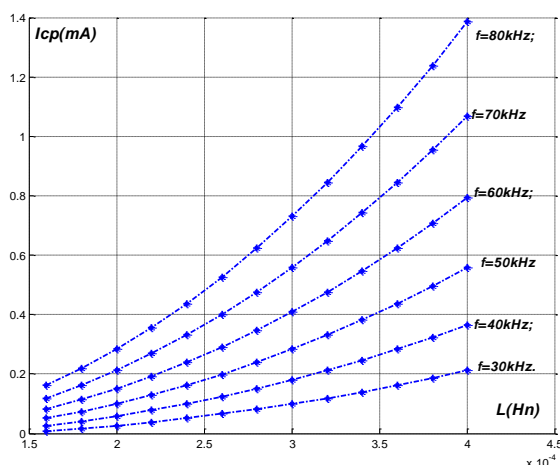


Рис. 4. Зависимости среднего тока через светодиоды от индуктивности дросселя и частоты работы драйвера

Как видно, для стабилизации тока через светодиоды в диапазоне  $0,55 \dots 0,60 \text{ A}$  необходимо выбрать частоту выше  $50 \text{ кГц}$ , например, при  $f = 70 \text{ кГц}$  величина индуктивности дросселя выбирается в диапазоне  $320 \dots 350 \text{ мкГн}$ .

На рис. 5 приведены зависимости среднего значения тока от коэффициента заполнения  $q$  ( $q = t_v/T$ ) в режиме ШИМ регулирования при тех же значениях тока стабилизации, что и выше, при индуктивности дросселя  $L = 300 \text{ мкГн}$ .

Как видно из рисунка, для стабилизации среднего значения тока в заданном диапазоне ( $0,55 \dots 0,60 \text{ A}$ ) при пяти светодиодах необходимо обеспечить изменение коэффициента заполнения  $q$  в диапазоне  $0,3 \leq q \leq 0,4$ . На рис. 6 приведены осциллограммы токов через светодиоды и силовой транзистор, полученные в результате "PSPICE" моделирования.

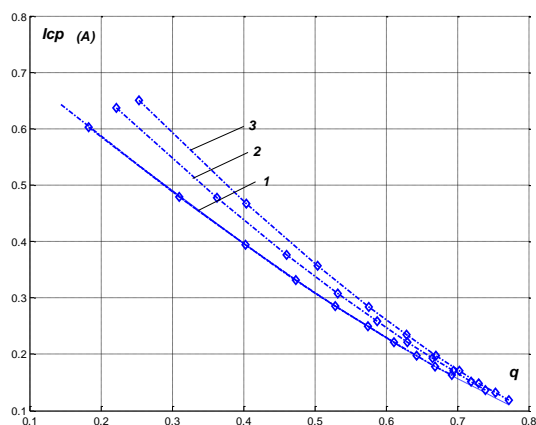


Рис. 5. Зависимости среднего значения тока в режиме ШИМ регулирования от коэффициента заполнения  $q$ : 1 - при одном диоде; 2 - при трех диодах; 3 - при пяти светодиодах, включенных последовательно

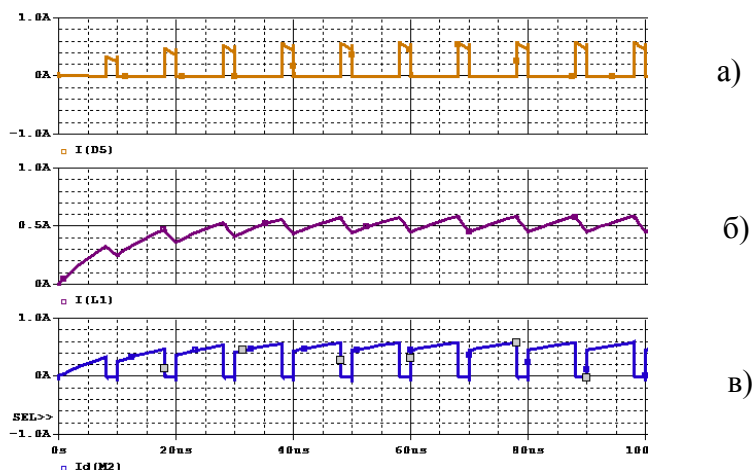


Рис. 6. Результаты “PSPICE” моделирования силовой части схемы рис. 3: а - ток через обратный диод VD5; б - ток через светодиоды и дроссель; в - ток через транзистор

Как видно из полученных осциллограмм, средний ток через светодиоды стабилизируется в течение двух-трех полупериодов.

**Заключение.** Источники питания светодиодов на основе импульсных драйверов обеспечивают линейную регулировку тока, характер которого зависит от коэффициента заполнения, а также низкую чувствительность к разбросу индуктивности и простоту схемного решения.

#### Литература

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. - М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
2. Калачев А. Управление питанием светодиодов от Texasinstruments // Светотехника. – 2013. - № 3. - С. 24-29.
3. CPC9909: High Efficiency, Off-Line, High Brightness LED Driver, <http://www.clare.com/products/LEDDrivers.htm>
4. Thomas Drennen, Roland Haitz, Jeffrey Tsao. A Market Diffusion and Energy Impact Model for Solid-State Lighting SAND 2001-2830J.
5. Energy Information Administration. Annual Energy Review 2011/U.S., Department of Energy. - September 2011.
6. Линейные и импульсные драйверы мощных светодиодов от Maxim,
7. [http://www.terraelectronica.ru/images/notes/NE2010\\_10\\_5.pdf](http://www.terraelectronica.ru/images/notes/NE2010_10_5.pdf)
8. CPC9909 Data sheet – Rev 4, [http://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/CPC9909.pdf/\\$file/CPC9909.pdf](http://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/CPC9909.pdf/$file/CPC9909.pdf)
9. Steve Winder. Power Supplies for LED driving. ISBN: 978-0-7506-8341-8. - 2008. - 234 p.

Поступила в редакцию 03.09.2014.  
Принята к опубликованию 21.11.2014.



**ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ԼՈՒՍԱԴԻՈԴՆԵՐԻ ՍԵՄԱՆ ԱՂՔՅՈՒՐՆԵՐԻ  
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԸ**

**Ն.Ն. Պետրոսյան, Ռ.Հ. Ղազարյան**

Դիտարկվում են լույսի տարբեր աղբյուրներ, և հիմնավորվում են լուսադիոդների առավելություններն ու հեռանկարները լուսարձակող այլ սարքերի համեմատ: Կատարվում է հզոր լուսադիոդների՝ արդեն իսկ գոյություն ունեցող սնման աղբյուրների համեմատական վերլուծություն, և բացատրվում է դրանց աշխատանքի սկզբունքը, ինչպես նաև գնահատվում են դրանց զարգացման հեռանկարները ժամանակակից դրայվերային սխեմաների հիման վրա: Մասնավորապես՝ իրականացված է հզոր լուսադիոդների սնման աղբյուրի էլեկտրական սխեմայի հաշվարկ և վերլուծություն CPC9909 մակնիշի միկրոսխեմայի հիման վրա, որի սիմուլյացիայի արդյունքում ստացված են լուսադիոդի հոսող հոսանքի միջին արժեքի գրաֆիկական կախվածությունները դրոսելի ինդուկտիվությունից և լցման գործակցից, որոնք հաստատում են ստացված արդյունքների ճշտությունը:

**Առանցքային բաներ.** լուսադիոդ, արդյունավետություն, դրայվեր, էլեկտրական սխեմա, սնման աղբյուր, միջին հոսանք:

**ANALYSIS AND CALCULATION OF POWER SUPPLY SOURCES  
FOR MODERN LIGHT-EMITTING DIODES**

**N.N. Petrosyan, R.H. Ghazaryan**

Various light sources are considered, and the advantages and prospects of LEDs over the other light-emitting devices are substantiated. A comparative analysis of the existing power supply sources for high-power LEDs is introduced, and their operation principles are explained. The prospects of their development based on modern driver circuits are shown. Particularly, calculation and analysis of the supply electronic circuit of high-power LEDs based on a microcircuit of the type CPC9909 are carried out. As a result of simulation, the obtained graphical dependencies of current average value through the LEDs from the throttle inductance, and the filling coefficient confirm the accuracy of the received results.

**Keywords:** light emitting diodes, efficiency, driver, electric circuit, power supply, average current.