

Макаренко Антон | Makarenko.A@mtgroup.ru

# Недорогой драйвер питания светодиодов на базе микросхемы CPC9909

Провозглашенный в России курс на энергосбережение закономерно повлек за собой бурное развитие рынка светодиодного освещения и вызвал появление огромного количества небольших и средней руки компаний, жаждущих получения госзаказов. По прошествии почти двух лет с момента принятия закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» российский рынок светотехники можно считать более или менее сформированным. Повылся профессионализм производителей светодиодных светильников. С рынка ушли откровенные шарлатаны, производившие кустарные изделия низкого качества.

Основными потребителями светодиодных светильников по-прежнему являются компании с государственным участием (такие как ОАО «РЖД» или «Газпром»). Тем не менее повышение интереса к энергосберегающим технологиям в последнее время характерно и для частного бизнеса. Экономия финансовых средств за счет меньшего потребления электроэнергии со временем делает установку светодиодных ламп выгодным вложением средств. Все это говорит о том, что рынок светодиодной продукции в последующие годы будет расти и развиваться стремительными темпами.

Любой светодиодный светильник помимо светоизлучающих диодов (дискретных либо кластеров) содержит драйвер. Драйвер — электронная схема, преобразующая энергию внешней питающей цепи (например 220 В, 50 Гц) к пригодному для питания светодиодов виду (например, стабилизированный ток 350 мА). Драйвер во многом определяет качество излучаемого светодиодами света (уровень пульсаций, яркость), длительность безотказной работы светильника, требования светильника к параметрам электропитания, потребляемую светильником мощность и, не в последнюю очередь, стоимость светильника.

Драйверы бывают линейные и импульсные. Линейные отличаются низкой ценой, но эффективность их работы невелика — при работе они выделяют много тепла, а это потери мощности. Кроме того, светодиодные светильники с линейными драйверами очень чувствительны к параметрам питающего напряжения. Простейший пример линейного драйвера — токоограничивающий резистор в китайских светодиодных фонариках.



Рис. 1. Внешний вид микросхемы CPC9909

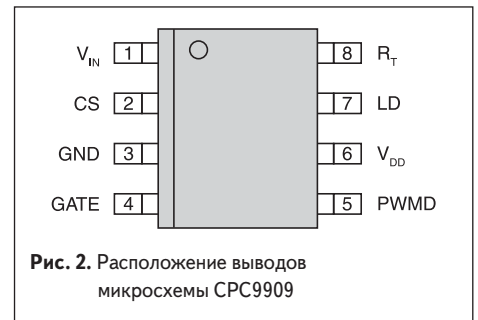


Рис. 2. Расположение выводов микросхемы CPC9909

Импульсные драйверы дороже линейных, однако они защищают светодиоды от электропомех и колебаний напряжения в питающей сети. Эффективность современных импульсных драйверов достигает 98%, они не требуют дополнительных мер охлаждения, а потребляемая светильником мощность равна мощности использованных светодиодов. Именно импульсные драйверы позволяют воспользоваться всеми благами энергосбережения, которые предоставляют светодиодные технологии.

## Конструкция импульсного светодиодного драйвера от Clare

При создании светодиодного светильника можно использовать готовый драйвер либо разработать устройство самостоятельно. Сложность конструкции драйвера напрямую зависит от мощности светодиодного светильника, дополнительных функций, требуемых от драйвера, а также от требований к габаритным размерам.

Компания Clare, входящая в состав корпорации IXYS, предлагает простое решение для построения недорогого эффективного импульсного светодиодного драйвера. Микросхема Clare CPC9909 (рис. 1, 2) представляет собой контроллер импульсного преобразователя, выполненного в компактном корпусе.

Задача создания драйвера на базе CPC9909 сводится к расчету номиналов компонентов, образующих драйвер.

Как видно из представленной схемы (рис. 3), допускается питание CPC9909 непосредственно от высокого напряжения (питание драйвера 8...550 В). Это возможно за счет встроенного стабилизатора напряжения, что упрощает и удешевляет схему драйвера, а также делает его более компактным.

Микросхема CPC9909 сохраняет работоспособность в широком диапазоне температур -55...+85 °С, что особенно ценно с учетом разнообразия климатических условий в России.

Рассмотрим компоненты простейшего светодиодного драйвера на базе CPC9909 и процесс его проектирования.

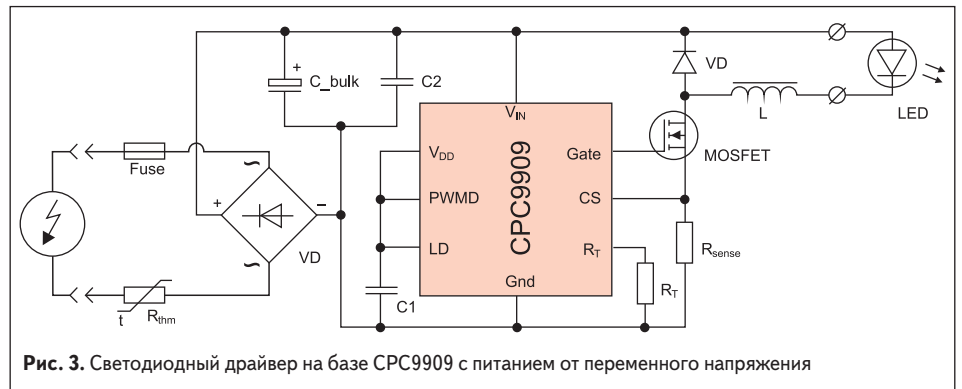


Рис. 3. Светодиодный драйвер на базе CPC9909 с питанием от переменного напряжения

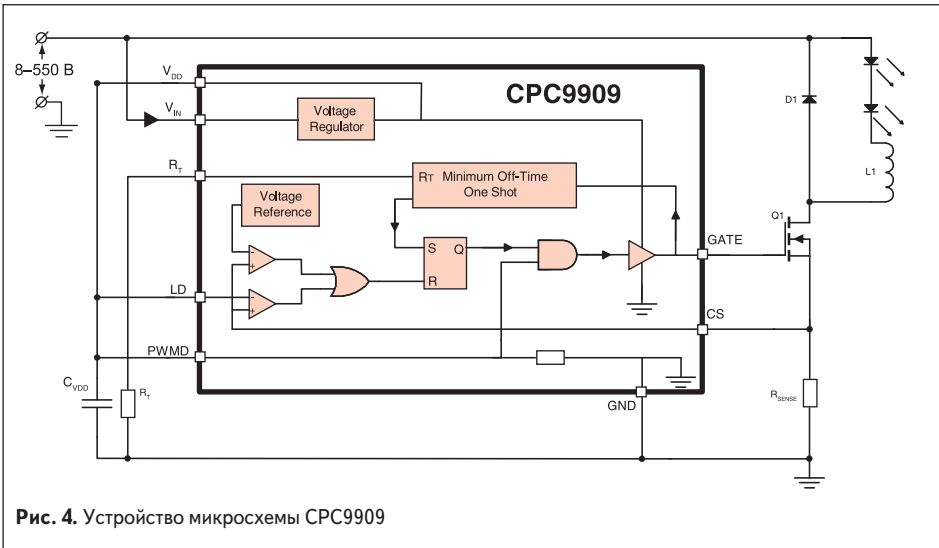


Рис. 4. Устройство микросхемы CPC9909

### Микросхема CPC9909

Микросхема CPC9909 (рис. 4) работает по схеме частотно-импульсной модуляции (PFM) с постоянным контролем пикового тока.

Схема регулирования является стабильной, позволяющей работать с коэффициентом заполнения импульса  $D$  (величина, обратная скважности) более 50% без характерных в таком случае нестабильности и высших гармоник.

Драйвер на CPC9909 стабилизирует ток в светодиодах, сравнивая с опорным напряжением падение на токовом шунте — резистивном датчике тока, подключенном ко входу CS микросхемы. Источником опорного напряжения служит встроенный в CPC9909 источник калиброванного напряжения 250 мВ.

При необходимости на вход LD микросхемы может быть подано другое (меньшее) опорное напряжение для организации аналогового диммирования либо для реализации функции мягкого включения (рис. 5). Мягкое включение (soft-start) — постепенное нарастание тока на светодиодах при включении светильника с целью дополнительного продления ресурса светодиодов.

Данная функция особо рекомендуется для мощных светильников, отличающихся высоким тепловыделением. В случае отсутствия необходимости в мягком включении вход LD микросхемы следует подключить к выходу  $V_{DD}$ . Для упрощения рассмотрения далее считаем, что мягкое включение не требуется (но при необходимости легко может быть добавлено).

В рассматриваемой схеме ток через светодиоды имеет пилообразный характер (рис. 6), изменяясь в диапазоне от  $I_{LED\_min}$  до  $I_{LED\_max}$  по периодическому закону. Данный характер тока — следствие работы микросхемы CPC9909 по стабилизации тока через светодиоды.

При первом включении ток в цепи измерительного резистора равен нулю, что приводит к открытию транзистора. Открытие транзистора означает начало периода on-time.

В течение периода on-time ток на выходе драйвера нарастает с динамикой, ограниченной индуктивностью  $L$ , при этом в  $L$  запасается энергия (рис. 7). В момент достижения током заранее заданной пороговой величины  $I_{LED\_max}$  транзистор

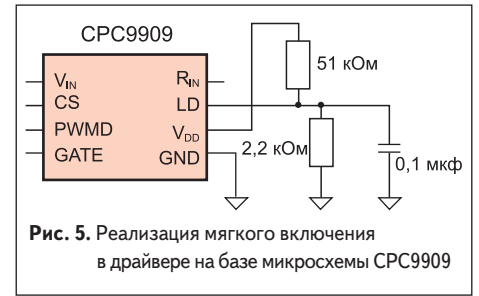


Рис. 5. Реализация мягкого включения в драйвере на базе микросхемы CPC9909

ток плавно падает. Интенсивность спада тока определяется величиной индуктивности.

В конце периода off-time (рис. 8), длительность которого задана заранее, микросхема открывает транзистор, начинается следующий период on-time. В этот период индуктивность  $L$  восстанавливает израсходованную энергию, а ток возрастает до пороговой величины  $I_{LED\_max}$ . Процесс носит периодический характер.

Основные параметры работы драйвера на CPC9909 (величина  $I_{LED\_max}$  и длительность периода off-time) задаются двумя резисторами — времязадающим и измерительным. Рекомендации по выбору их номиналов рассмотрены ниже.

закрывается, ток через светодиоды начинает падать — наступает период off-time.

В течение периода off-time светодиоды питаются энергией, ранее накопленной в индуктивности  $L$ . Энергия постепенно тратится,

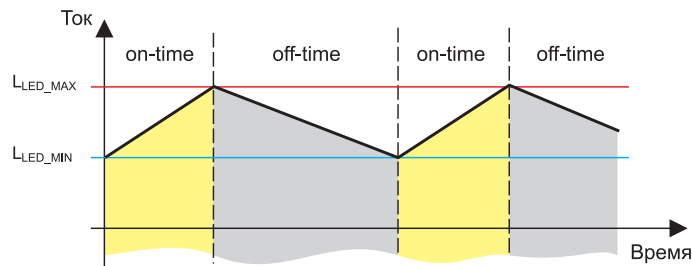


Рис. 6. Стадии работы драйвера на базе CPC9909

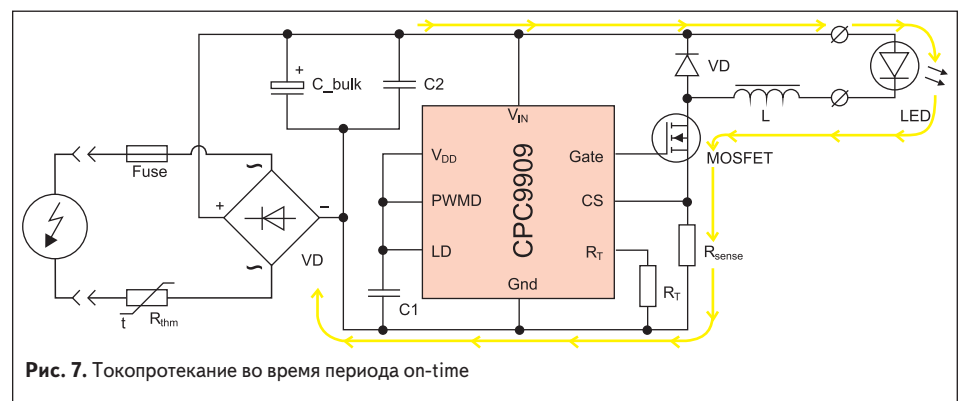


Рис. 7. Токотекание во время периода on-time

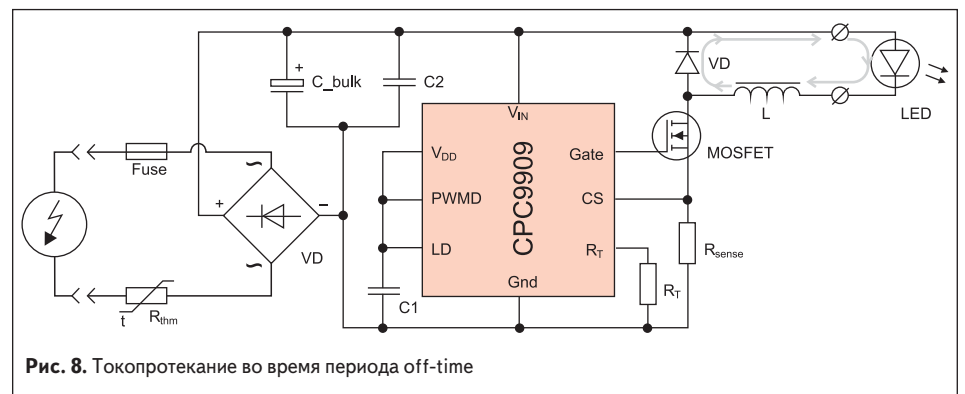


Рис. 8. Токотекание во время периода off-time

## Времязадающий резистор $R_t$

Длительность периода off-time задается резистором  $R_t$ :

$$t_{off} = (R_t / 66000) + 0,8.$$

Для примера, при  $R_t = 309$  кОм величина  $t_{off} = 5,482$  мкс.

Величина  $t_{off}$  при заданном коэффициенте заполнения  $D$  определяет номинальную рабочую частоту переключения  $F_{SW}$ :

$$F_{SW} = (1 - D) / t_{off}.$$

При этом коэффициент заполнения  $D$  зависит от соотношения напряжения на светодиодах и напряжения питания микросхемы СРС9909:

$$D = V_{LED} / V_{BULK},$$

где  $V_{LED}$  — номинальное напряжение на выходе драйвера, а  $V_{BULK}$  — напряжение на выходе выпрямительного моста

Таким образом, номинал  $R_t$  зависит от величины номинальной рабочей частоты переключения:

$$R_t = (t_{off} - 0,8) \times 66000,$$

где  $t_{off} = (1 - D) / F_{SW}$ .

Рекомендованная частота переключения  $F_{SW}$  составляет 30...120 кГц — это оптимальный диапазон, позволяющий создать драйвер с высокой электромагнитной совместимостью и при этом использовать компактную индуктивность.

## Индуктивность

Индуктивность ограничивает динамику изменения тока на выходе драйвера и таким образом определяет величину высокочастотных пульсаций тока в светодиодах.

Значительное превышение тока в светодиодах над средним значением приводит к быстрой деградации кристалла светодиода и снижает ресурс работы светильника. Особо сильные пульсации способны вывести светодиод из строя за счет импульсного пробоя. Поэтому на этапе проектирования необходимо ограничить уровень пульсаций на выходе драйвера на безопасном для светодиодов уровне.

Ограничим уровень пульсации величиной 30% от величины среднего тока  $I_{LED\_AV}$  (здесь  $I_{LED\_AV}$  — номинальный ток на выходе драйвера):

$$I_{LED\_MAX} - I_{LED\_MIN} = 30\% \times I_{LED\_AV}.$$

Для поддержания выбранного уровня пульсаций тока в светодиодах (30%) потребуется использовать индуктивность следующего номинала:

$$L = V_{LED} \times t_{off} / (30\% \times I_{LED\_AV}).$$

При этом пиковое значение тока в индуктивности, нормированное для каждого отдельно взятого индуктора, соответствует  $I_{LED\_AV}$  и может быть определено по формуле:

$$I_L = I_{LED\_AV} \times (1 + 0,5 \times 30\%).$$

На данном этапе важно определить доступность для заказа индуктора с полученными параметрами, а также его габаритные размеры и стоимость. Если требуемый индуктор недоступен, дорог либо слишком велик, необходимо провести коррекцию указанного выше расчета. Пытаться применять заказную индуктивность целесообразно только в случае безуспешности коррекции расчетов.

## Токоизмерительный резистор $R_{SENSE}$

При работе от встроенного источника 250 мВ (без использования входа LD) величина пикового значения тока в светодиодах, ограничиваемого драйвером, определяется номиналом резистора  $R_{SENSE}$ :

$$I_{LED\_max} = 250 \text{ мВ} / R_{SENSE}.$$

Выбрав уровень пульсаций на выходе драйвера (30%), можно определить величину пикового тока на выходе драйвера:

$$I_{LED\_max} = I_{LED\_AV} \times (1 + 0,5 \times 30\%).$$

Требуемый по заданию средний ток на выходе драйвера ( $I_{LED\_AV}$ ) позволяет определить номинал резистора  $R_{SENSE}$  в схеме драйвера:

$$R_{SENSE} = 250 \text{ мВ} / I_{LED\_max}.$$

Мощность, выделяемая на датчике тока, может быть оценена величиной:

$$P_{SENSE} = I_{LED\_AV} \times R_{SENSE} \times D.$$

На практике следует выбирать резистор с двукратным запасом мощности.

## Входной фильтрующий конденсатор (конденсатор фильтрации 50 Гц)

Входное переменное напряжение после выпрямления прикладывается ко входному конденсатору, номинал емкости которого  $C_{BULK}$  выбирается исходя из минимального значения выпрямленного напряжения и мощности, потребляемой драйвером из внешней питающей сети:

$$C_{BULK} = P_{AC} / (F_{AC} \times dV \times dV),$$

где  $dV = V_{BULK\_min} - (1,414 \times V_{AC\_min})$ .

При этом уровень потребляемой из питающей сети мощности  $P_{AC}$  определяется как сумма мощностей потерь в драйвере и мощности, отдаваемой в светодиоды. Мощность потерь складывается из потерь в транзисторе, дросселе, обратном диоде и резисторах, а также мощности, потребляемой микросхемой СРС9909.

Минимальное напряжение  $V_{AC\_min}$  определяется в техническом задании на драйвер (нижний порог напряжения питания драйвера), а  $F_{AC}$  — номинальная частота переменного тока в питающей сети.

Напряжение  $V_{BULK\_min}$  — сумма напряжений на выходе драйвера и падений напряжений на измерительном резисторе, открытом транзисторе и дросселе.

Вторым параметром, определяющим выбор конденсатора, является номинальное напряжение фильтрующего конденсатора.

В случае построения драйвера на 220 В оказывается достаточным использовать конденсатор на 400 В. При этом емкости 4,7...22 мФ достаточно для работы типового драйвера мощностью 5...15 Вт с выходным током 350 мА.

Необходимо помнить, что электролитические конденсаторы имеют паразитные параметры, наиболее важный из которых — ESR, или эквивалентное последовательное сопротивление, которое приводит к нагреванию конденсатора при протекании импульсных токов. При выборе конденсатора необходимо убедиться в том, что он будет выдерживать максимальный импульсный ток при максимальной температуре, а его параметр ESR стабилен в необходимом диапазоне частот (от 120 Гц до 100 кГц).

Эффективная последовательная индуктивность (ESL) — другой паразитный параметр, ограничивающий эффективность электролитического конденсатора на высоких частотах.

Комбинация значений ESR в нужном диапазоне температур и наличие большого ESL могут потребовать дополнительного параллельного включения танталового конденсатора, который будет устранять высокочастотные выбросы напряжения. При этом снижается влияние ESR во всем температурном диапазоне.

## Предохранитель Fuse и термистор $R_{thm}$

Предохранитель должен обеспечить защиту схемы от превышения потребляемого тока во включенном состоянии на протяжении периода коммутации (turn-on). Рекомендуется выбрать предохранитель, номинал которого будет в три-пять раз выше пикового входного тока:

$$I_{FUSE} = (3...5) \times I_{AC\_max};$$

$$I_{AC\_max} = 5 \times P_{AC} / V_{AC\_min}.$$

Термистор, включенный последовательно со входным выпрямительным мостом, защищает от превышения зарядного тока входного конденсатора в момент первого включения драйвера. Номинал термистора можно рассчитать по формуле:

$$R_{TH} = 1,414 \times V_{AC\_max} / (5 \times I_{AC\_max}).$$

## Входной выпрямитель

Выбор входного выпрямителя зависит от максимального входного напряжения  $V_{AC\_max}$  прямого номинального и пикового тока.

Значение тока через один диод  $I_{RECT}$  должно быть выбрано исходя из коэффициента 1,5 к среднему входному току  $I_{AC\_AVG}$ :

$$I_{RECT} = 1,5 \times I_{AC\_AVG},$$

где  $I_{AC\_AVG} = P_{AC} / V_{BULK\_min}$ .

При этом весь диодный мост должен обеспечить пятикратный запас прямого рабочего тока  $I_{AC\_AVG}$ :

$$I_{BRIDGE} = 5 \times I_{AC\_AVG}.$$

### Конденсатор цепи питания $C_{vdd}$

Вывод  $V_{DD}$  микросхемы CPC9909 должен быть соединен с землей с помощью конденсатора с низким ESR для эффективного подавления высокочастотных выбросов напряжения (типичное значение 0,1 мкФ).

### Выбор диода и MOSFET-транзистора

Максимальное напряжение на диоде VD и MOSFET-транзисторе равно выпрямленному напряжению на входе схемы. Для увеличения надежности необходимо обеспечить запас в 50%:

$$V_{MOSFET\_DSS} = 1,5 \times V_{BULK}$$

Максимальный среднеквадратичный ток через транзистор зависит от скважности импульса  $D$ . Выберем транзистор с трехкратным запасом по току:

$$I_{MOSFET} = 3 \times D \times I_{LED}$$

Для драйвера мощностью 5...10 Вт транзистор IXTA8N50P является наиболее подходящим выбором: выполненный в SMD-корпусе D2-Pack по технологии Polar, данный MOSFET обеспечивает 30%-ное снижение сопротивления канала при одновременном уменьшении заряда затвора  $Q_g$ , что обеспечивает более высокий КПД схемы преобразователя. При этом транзисторы семейства Polar имеют низкое значение теплового сопротивления  $R_{\theta}$ , что облегчает отвод тепла от кристалла транзистора и повышает надежность драйвера. В случае необходимости транзистор IXTA8N50P можно использовать с радиатором, аналогичным Aavid Thermalloy с номером 573100.

Рабочее напряжение на диоде соответствует максимальному напряжению на выходе драйвера с запасом 50%, а среднее значение тока через диод зависит от скважности  $D$  и от среднего тока в светодиодах. Рекомендуется выбирать диод с трехкратным запасом по току:

$$I_{VD} = 3 \times (1 - D) \times I_{LED}$$

Высокая частота коммутации  $F_{SW}$  преобразователя требует использования быстрого диода, например BYV26\_B.

### Топология печатной платы

Для всех импульсных преобразователей правильное заземление и оптимальная длина проводников являются определяющими при разработке топологии печатной платы. Драйвер светодиодов работает на высокой частоте, поэтому необходимо сделать проводник к затвору транзистора как можно короче, что снизит «дребезг» и помехи при коммутации. На высоких частотах ток «выталкивается» к поверхности проводников за счет скин-эффекта, поэтому необходимо сделать площадь «земли» как можно больше для снижения паразитных индуктивностей. По возможности одна из сторон печатной платы должны быть разведена на «землю».

Датчик тока  $R_{SENSE}$  должен стоять как можно ближе к выводу CS для снижения вероятности

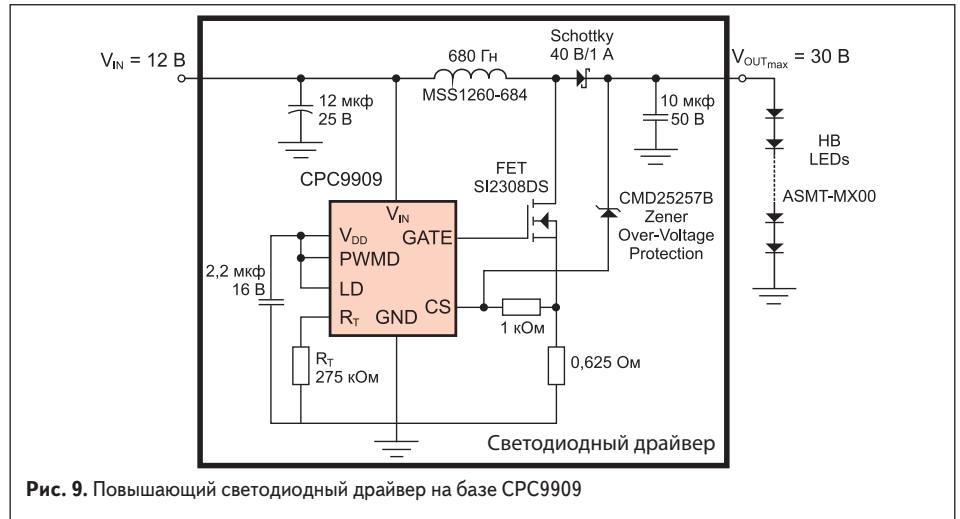


Рис. 9. Повышающий светодиодный драйвер на базе CPC9909

ложных срабатываний внутреннего компаратора. Кроме того, резистор  $R_i$  должен располагаться далеко от индуктивности и иных проводников, работающих на высоких частотах.

### Возможные схемы применения

Поскольку CPC9909 может работать с коэффициентом заполнения импульса более 50%, это делает ее пригодной для построения повышающих преобразователей, широко используемых, например, в системах резервного и аварийного освещения (рис. 9).

«МТ-Систем», российский дистрибьютор Clare, имеет богатый опыт работы с микросхемой CPC9909. Инженеры компании помогут подобрать необходимые компоненты для создания наиболее эффективного драйвера, способного решить поставленную задачу. Кроме того, специалистами «МТ-Систем» разработано специализированное программное средство (рис.10) для автоматизации расчетов, упрощенно приведенных выше. Детальный расчет, учитывающий влияние динамических потерь и допустимых отклонений номиналов компонентов, сложен и не может быть изложен в рамках одной статьи. При этом задача построения оптимального драйвера требует выполнения нескольких расчетных итераций для нахождения оптимального соотношения компонентов. Автоматизация расчета

позволяет быстро и безошибочно найти требуемое схемное решение, получить номиналы и режимы работы компонентов и оценить эффективность (КПД) драйвера.

Стоит обратить особое внимание, что микросхема CPC9909 на текущий момент является единственным высоковольтным решением, обеспечивающим «российский» диапазон рабочих температур от  $-55^{\circ}\text{C}$  и устойчивую работу в отечественных электросетях.

Наиболее привлекательным выглядит применение CPC9909 для создания недорогих компактных светодиодных AC/DC-драйверов мощностью до 25 Вт (драйверы без встроенного корректора коэффициента мощности) либо DC/DC-драйверов для светильников с батарейным питанием. Рыночную успешность разрабатываемого драйвера обеспечат его компактность, низкая стоимость и высокая эффективность.

### Литература

1. CPC9909: High Efficiency, Off-Line, High Brightness LED Driver. <http://www.clare.com/Products/LEDDrivers.htm>
2. CPC9909: Design considerations. Application note, AN-301. [http://www.clare.com/home/pdfs.nsf/www/AN-301-July-6-2011.pdf/\\$file/AN-301-July-6-2011.pdf](http://www.clare.com/home/pdfs.nsf/www/AN-301-July-6-2011.pdf/$file/AN-301-July-6-2011.pdf)



Рис. 10. Средство автоматизации проектирования драйвера