

Крис Ричардсон (Chris Richardson) | Chris.Richardson@nsc.com

# Драйверы светодиодных ламп

уличного освещения производства National Semiconductor

**В статье рассмотрены потребности уличного светодиодного освещения и предложено жизнеспособное решение драйвера для питания сотни светодиодов высокой мощности. Благодаря модульности достигается гибкость применения. Еще одно преимущество — широкий диапазон входного напряжения. Все эти особенности позволяют удовлетворить требования разнообразных проектов.**

## Введение

Светодиодные технологии уже проникли в такие применения, как лампы-вспышки, замена ламп MR-16, проблесковые огни и прочие маломощные светотехнические устройства. Не останавливаясь на достигнутом, разработчики светотехнических устройств продолжают работать над дальнейшим повышением уровня мощности твердотельных источников света. Наиболее привлекательной площадкой для масштабного внедрения таких источников света является уличное освещение. С одной стороны, светодиодная технология имеет такие преимущества, как большой срок службы, высокое качество свечения, а также отсутствие в составе ламп свинца и ртути. С другой стороны, только лучшие светодиоды способны конкурировать по светоотдаче с натриевыми и металлогалогенными лампами. Если же еще учесть потери в преобразователе напряжения и оптической системе, то, к сожалению, может оказаться, что твердотельный источник света не так уж ярко светит. Тем не менее у светодиодов есть очень важное преимущество: их можно быстро и достаточно легко включать или отключать без каких-либо ограничений. Это дает возможность сделать уличное освещение более интеллектуальным. Уличные светильники, способные уменьшать интенсивность свечения или вообще отключаться, когда в них нет необходимости, позволят экономить электроэнергию и деньги, а также использовать экологически безопасные технологии.

## Технические требования

Перевод уличного освещения на светодиодные источники света произошел не одновременно, поскольку необходимо было решить ряд серьезных технических проблем. В большинстве случаев в качестве питания уличного освещения выступает сеть переменного тока

на напряжение 120 или 230 В (исключение — солнечные батареи). Для подключения к такой сети люминесцентных ламп и разрядных ламп высокой интенсивности (HID-ламп) имеется широкий выбор балластов. Их схема включения чрезвычайно проста, поскольку количество светоизлучающих элементов мало. Лишь некоторые люминесцентные лампы имеют более четырех элементов, а HID-лампы вообще очень редко имеют более одного элемента. Со светодиодами совсем другая ситуация: большинство из них, даже если они относятся к «мощным» светодиодам, рассеивают мощность 0,5–5 Вт, при этом, чтобы добиться светоотдачи в несколько тысяч люмен, необходимой в уличном освещении, потребуется около ста и более одноваттных светодиодов.

Светодиоды — это приборы, управляемые током. При питании одноваттного светодиода белого свечения током 350 мА прямое падение напряжения ( $V_F$ ) на нем составляет 3–4 В. Кроме того, светодиод — это диод с *p-n*-переходом и очень малым динамическим сопротивлением. Подача напряжения на него, которое в 30 раз больше  $V_F$ , вызовет неуправляемое течение тока. При прямом подключении светодиода к сети переменного тока он моментально выйдет из строя. Термин «драйвер» используется для описания схемы, которая преобразовывает сетевое напряжение в управляемый постоянный ток. В отличие

от ламп-вспышек, которые, скорее всего, перегорят задолго до проявления износа, для уличного освещения ключевыми факторами являются долговременная надежность и срок службы. Среди всех применяющихся источников света светодиоды дольше всех способны работать без перегорания. Однако если лампа способна работать десятки тысяч часов, то и драйвер должен быть способен работать такое же длительное время. Из этого следует, что необходимо уделять внимание всем аспектам электрического управления: от архитектуры системы до выбора каждого компонента схемы.

## Шина постоянного тока

Один из способов управления сотней светодиодов — это соединение их в одну последовательную цепочку, как показано на рис. 1. Этим гарантируется равенство токов через каждый светодиод и, как следствие, равенство световых потоков от каждого прибора, так как световой поток пропорционален току. Однако с таким способом включения связана проблема: напряжение шины постоянного тока должно быть порядка 400 В. Такое напряжение опасно для полупроводниковых приборов и требует использования громоздких, дорогостоящих компонентов.

100 светодиодов можно включить таким образом, чтобы для их питания было достаточно более низкого напряжения. Для создания такого напряжения подойдет апроксимированная и оптимизированная по затратам топология обратногоходового преобразователя (ее часто называют сетевым преобразователем), поскольку она может сочетать функции понижающего преобразования

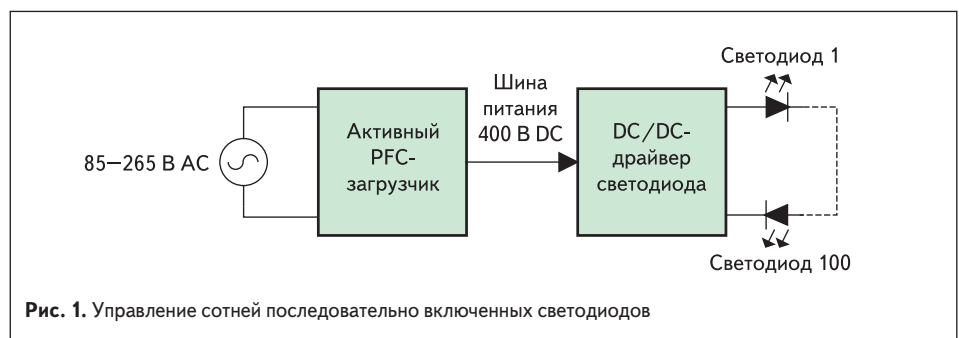


Рис. 1. Управление сотней последовательно включенных светодиодов

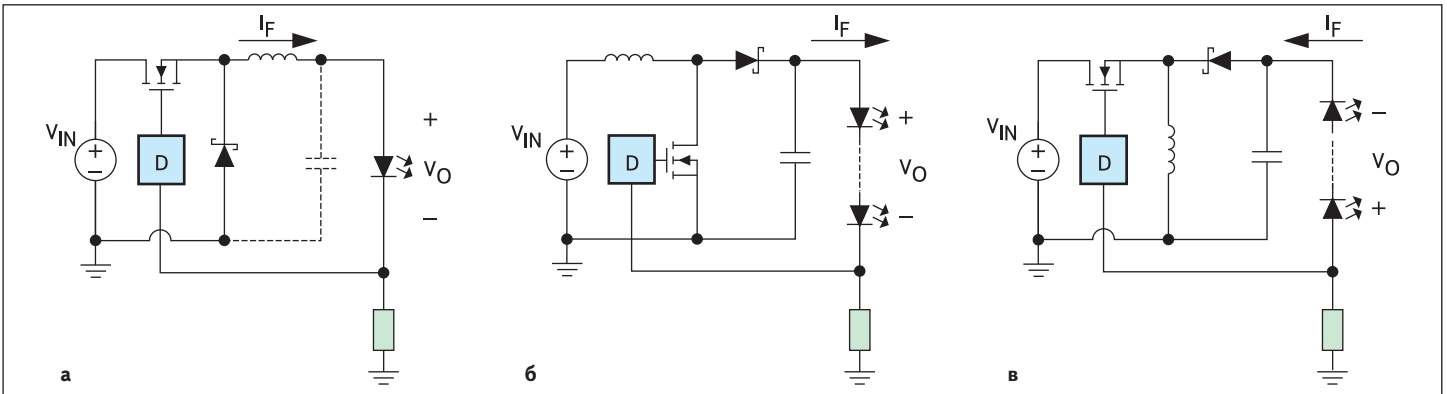


Рис. 2. а) Понижающий преобразователь ( $V_{IN} > V_O$ , выходной конденсатор опциональный); б) повышающий преобразователь ( $V_{IN} < V_O$ , выходной конденсатор обязательный); в) понижающе-повышающий преобразователь (диапазоны  $V_{IN}$  и  $V_O$  перекрываются; возможны другие топологии)

с гальванической развязкой и коррекции коэффициента мощности (ККМ). Напряжение шины постоянного тока обычно составляет 60 В и менее. Причины — использование в телекоммуникационном оборудовании напряжения 48 В и существование требований к безопасности: например, МЭК использует понятие малого по условиям безопасности напряжения. Поскольку напряжение 48 В слишком велико, чтобы питать логические схемы, но существенно ниже выпрямленного сетевого напряжения, его часто называют промежуточным.

### Топологии DC/DC-преобразования драйверов светодиодов

DC/DC-преобразователь — обязательный элемент оконечного каскада источника питания светодиодов. Светодиод питается постоянным током, поэтому выходное напряжение тоже должно быть постоянным. Концепция промежуточного звена постоянного тока дает возможность использовать оптимальные по затратам, неизолированные DC/DC-преобразователи, поскольку выпрямление, ККМ и развязка обеспечены предшествующим каскадом.

Среди неизолированных преобразователей можно выделить три типа: понижающие, повышающие и сочетающие возможности понижения и повышения напряжения. Все три типа преобразователей показаны на рис. 2. Среди представленных топологий для управления светодиодами наиболее идеально подходит понижающий стабилизатор. Для этого существует ряд причин. Во-первых, дроссель здесь находится на выходе. Это значит, что ток через светодиоды и ток через дроссель имеют одинаковое среднее значение. Более того, выходной ток здесь, благодаря дросселю, всегда явно управляемый. Во-вторых, понижающее преобразование напряжения — самый эффективный вид преобразования напряжения, что делает понижающие преобразователи наиболее эффективными среди всех импульсных преобразователей. В-третьих, понижающие преобразователи — наиболее экономичные

импульсные преобразователи, так как наибольший ток здесь протекает на выходе, а наибольшее напряжение присутствует на входе. В результате силовые MOSFET-транзисторы и диоды, являющиеся основой импульсных преобразователей, работают с наименьшими нагрузками по току и напряжению. Кроме того, разработчик получает доступ к обширному ассортименту силовых коммутаторов, пассивных компонентов и интегральных схем, что дает возможность создать оптимальное по себестоимости решение.

### Схема включения светодиодов и выбор интегральной схемы драйвера

В рассматриваемом примере используется 100 светодиодов мощностью 1 Вт каждый. Напряжение промежуточной шины постоянного тока — 48 В. Это хороший выбор, поскольку имеющиеся в продаже сетевые адаптеры доступны с широким диапазоном выходных напряжений. Светодиодный драйвер с выходом 48 В  $\pm 5\%$  может питать 10 последовательно включенных светодиодов. Десять таких драйверов позволят создать надежную лампу, состоящую из всех 100 необходимых светодиодов, при этом в ней будут отсутствовать опасные напряжения.

Производители оптоэлектронных компонентов сортируют выпускаемые ими белые светодиоды по световому потоку, коррелированной цветовой температуре (CCT) и прямому падению напряжения. Сортировка по цветовой температуре и световому потоку играет важную роль для достижения равномерности цвета излучения и светового выхода. Однако более качественные светодиоды и стоят дороже. Если же полагаться на использование светодиодных ламп из разных групп сортировки, потребуются закладывать возможность работы с широким диапазоном прямых падений напряжения. Таким образом, каждый драйвер светодиода должен быть источником тока 350 мА, рассчитанным на питание напряжением 45–51 В, имеющим возможность изменять выходное напряжение в пределах 30–40 В и подавляющим возможные разбросы  $V_F$  каждого светодиода в пределах 3–4 В.

LM3402HV — понижающий стабилизатор со встроенным силовым  $n$ -канальным MOSFET-транзистором на максимальное напряжение 75 В. Максимально допустимый ток для него, даже при работе с большими пульсациями выходного тока, составляет 530 мА, поэтому он подходит для стабилизации тока на уровне 350 мА. На рис. 3 показана функциональная схема системы,

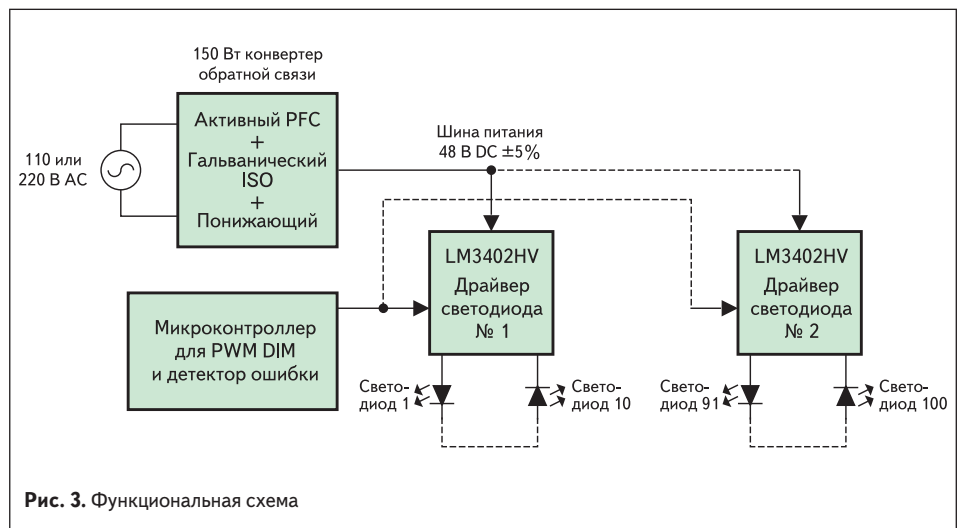


Рис. 3. Функциональная схема

а на рис. 4 — принципиальная схема включения интегральной схемы LM3402HV.

### Проблемы проектирования понижающих стабилизаторов

Если для управления светодиодами выбран понижающий стабилизатор, очень важно рассмотреть его работу, когда входное напряжение на минимуме, а выходное — на максимуме. Так же как и многие импульсные стабилизаторы, LM3402HV не может постоянно удерживать во включенном состоянии внутренний силовой *n*-канальный MOSFET-транзистор. В каждом периоде коммутации стабилизатор должен отключить коммутатор минимум на 300 нс. Это необходимо для подзаряда конденсатора схемы питания затвора внутреннего MOSFET-транзистора. Поскольку минимальное время отключения фиксированное, максимально достижимое заполнение импульсов будет снижаться с ростом частоты коммутации (300 нс составляют большую часть от периода коммутации). В данном примере для расчета максимально возможной частоты коммутации,  $f_{SW-max}$  используются значения  $V_{O-max} = 40$  В и  $V_{IN-min} = 45$  В. Для вычисления  $f_{SW-max}$  можно воспользоваться следующими выражениями:

$$f_{SW-max} = \frac{V_{IN-min} - V_{O-max}}{V_{IN-min} \times 300 \times 10^{-9}}$$

$$f_{SW-max} = \frac{45 - 40}{45 \times 300 \times 10^{-9}} = 370 \text{ кГц.}$$

Значения номинальной частоты коммутации LM3402HV лежат в пределе 50 кГц...1 МГц, поэтому частота 500 кГц оказывается оптимальной по физическим размерам силовых компонентов, в том числе индуктивности (тем меньше, чем выше частота коммутации) и КПД преобразования (тем выше, чем ниже частота коммутации). В данном случае 500 кГц использовать нельзя, поэтому применяется частота 370 кГц. Это гарантирует, что, с одной стороны, драйвер будет построен на миниатюрных компонентах, а с другой — он сохранит способность надлежащего питания всех 10 светодиодов даже при наихудших значениях входного и выходного напряжений.

### «Подводные камни» последовательно-параллельного включения

Многие инженеры склоняются к последовательно-параллельному включению светодиодов, которые может питать только один источник тока (рис. 5). Для рассматриваемого примера необходим один источник тока 3,5 А с изменением выходного напряжения в том же диапазоне — 30–40 В.

На первый взгляд эта схема имеет множество преимуществ. Главным образом, это стоимость решения: один высокоточный преобразователь стоит обычно дешевле десяти слаботочных источников питания. Однако с последовательно-параллельным включением также связан ряд недостатков, которые делают его непрактичным.

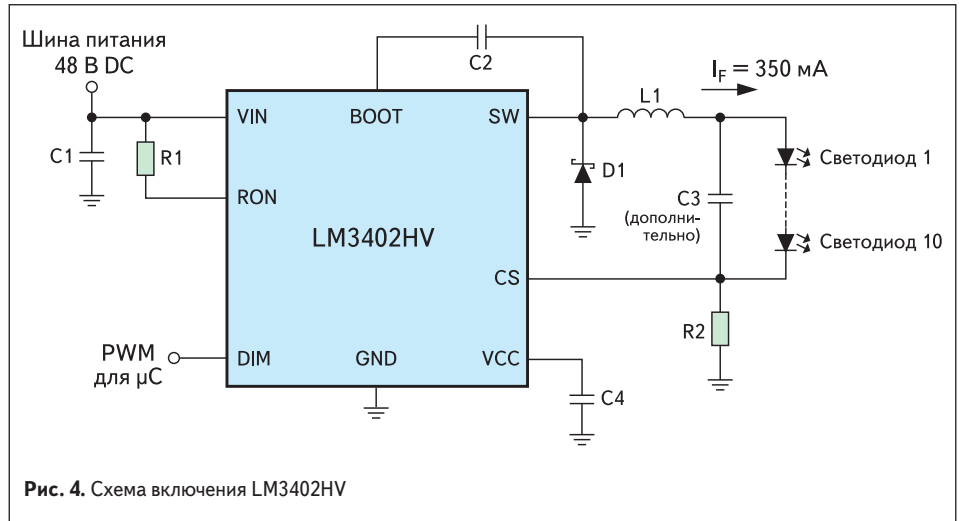


Рис. 4. Схема включения LM3402HV

Во-первых, даже если использовать перекрестное соединение в последовательно-параллельной схеме, как показано на рис. 5, разброс значений  $V_F$  между светодиодами означает, что ток 3,5 А, создаваемый драйвером, не будет равномерно распределяться между светодиодами. От этой проблемы не избавят

даже светодиоды, тщательно отсортированные по параметру  $V_F$ , поскольку сортировку производитель выполняет при температуре кристалла 25 °С, а как только температура кристалла начнет возрастать, величина  $V_F$  снизится и разброс по параметру  $V_F$  снова будет иметь место. Таким образом, светодиоды, которые

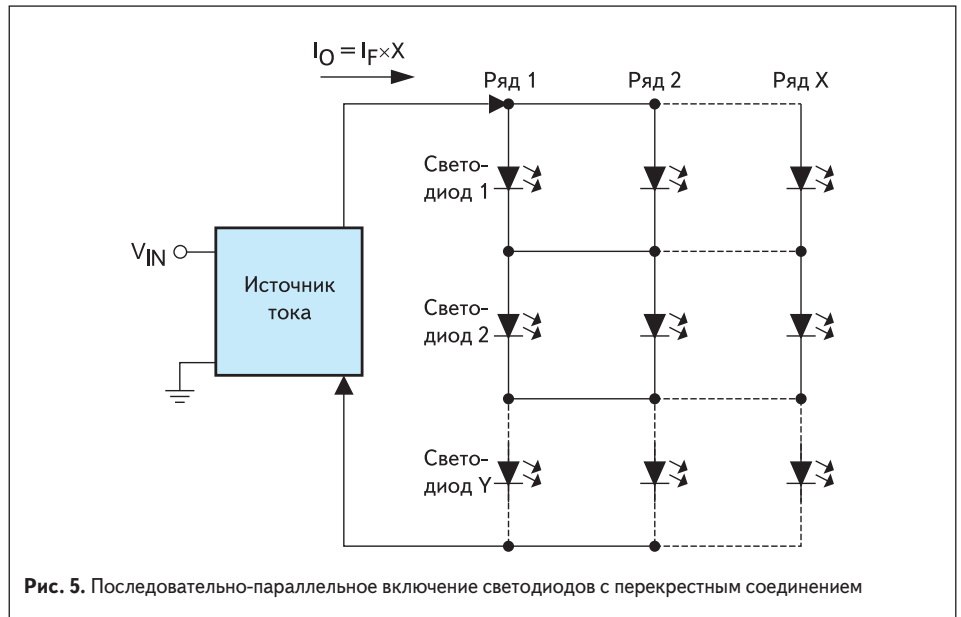


Рис. 5. Последовательно-параллельное включение светодиодов с перекрестным соединением

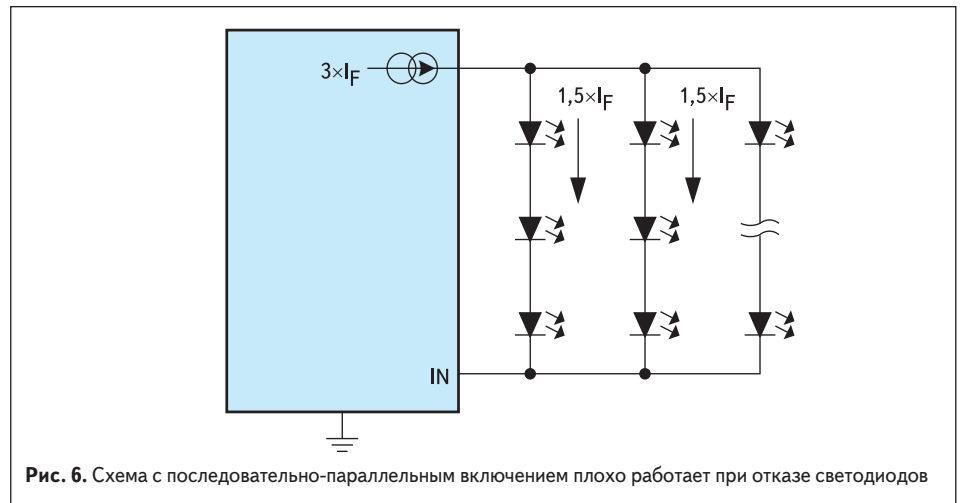


Рис. 6. Схема с последовательно-параллельным включением плохо работает при отказе светодиода

были идеально согласованы при температуре 25 °С, окажутся разбалансированными после перехода в установившийся тепловой режим. Данная ситуация усугубляется существованием положительной обратной связи между током через светодиод, снижением прямого падения напряжения и нарастанием температуры кристалла. Светодиоды с пониженным значением  $V_F$  потребляют повышенный ток, что инициирует разогрев кристалла, а это, в свою очередь, приводит к дальнейшему снижению  $V_F$ .

Еще одно соображение относительно последовательно-параллельного включения касается ухудшения надежности системы при отказе светодиодов. Показанный на рис. 6 источник тока продолжит генерировать полный ток даже при обрыве в светодиодной цепочке, и, таким образом, через оставшиеся цепочки течет повышенный ток. Отказ светодиодов может также сопровождаться коротким замыканием, которое приводит к росту падения напряжения на светодиодах и, как следствие, к дисбалансу.

Любой дисбаланс токов связан с повышением интенсивности нагрева части светодиодов, что в свою очередь приводит к уменьшению светового потока в краткосрочной перспективе, а в долгосрочной — к снижению его стабильности. Как результат, лампа становится тусклой и преждевременно выходит из строя. Таким образом, для создания надежного светодиодного источника света каждая светодиодная цепочка должна питаться своим собственным источником втекающего или вытекающего тока.

## Заключение

Многие существующие осветительные приборы потребительского назначения, в том числе лампы накаливания и люминесцентные лампы, стоят так дешево, что светодиодная технология, с ее массой преимуществ, не может составить им достойную конкуренцию за счет сравнительно более высокой начальной стоимости. С уличным освещением ситуация иная. Здесь в преимуществах

твердотельного освещения — длительном сроке службы и высокой степени управляемости — заинтересованы конечные пользователи, которые сопоставляют начальные затраты с затратами на эксплуатацию. Реальный эффект можно получить только в том случае, если высококачественные светодиоды будут дополнены добротными средствами управления тепловыми режимами и робастной управляющей электроникой.

В статье предложено решение драйвера, высокая начальная стоимость которого компенсируется длительным сроком службы, сравнимым по крайней мере со сроком службы светодиодов. Более того, предложенное решение соответствует требованиям к интеллектуальному освещению нового поколения, при котором каждый уличный светильник управляет своей светоотдачей, реагирует на любые неисправности и оповещает о них, а также осуществляет связь с соседними средствами уличного освещения, что позволяет обеспечить высокий уровень надежности и эффективности. ●