

Интеллектуальные световые системы, или Мечты дизайнеров сбываются

Стремительное развитие электронных компонентов часто приводит к расширению областей их применения, что, в частности, и происходит со светодиодами: если поначалу они использовались исключительно в качестве цветных индикаторов, то сейчас уже применяются в различных устройствах освещения, например фонарях, светильниках, автомобильных приборах, светофорах и т. п., и продолжают завоевывать новые направления. Преимущества светодиодов по сравнению с традиционными источниками света известны и весьма убедительны:

- высокая световая эффективность;
- значительно меньший по сравнению с лампами накаливания нагрев;
- малые габариты;
- низкие питающие напряжения;
- гораздо более высокая продолжительность наработки;
- высокая механическая прочность и надежность.

Не надо забывать и про то, что светодиоды начинают излучать свет не более чем через 5–10 нс после подачи на них напряжения, тогда как время реакции ламп накаливания на приложенное напряжение питания достигает 200 мс. В ряде случаев это имеет существенное значение.

Еще одним весомым аргументом при выборе именно светодиодов в качестве источников света является то, что в очень широком цветовом диапазоне может быть выбран оттенок излучения. В производстве светодиодов используются полупроводники разных типов, например полупроводники InGaAlP перекрывают область длин волн от 570 (зеленый цвет) до 630 нм (красный цвет) при напряжении в открытом состоянии (прямом напряжении) 1,8–2,3 В в зависимости от цвета, а полупроводники InGaN — область длин волн от 460 (синий цвет) до 530 нм (зеленый цвет) при прямом напряжении 3,2–3,8 В. Это дает возможность с использованием нанесенных люминофоров создавать «белые» светодиоды различных оттенков, которые характеризуются следующей цветовой температурой: «холодный белый» (Cool White) — 5600 К; «нейтральный белый» (Natural White) — 4200 К; «теплый белый» (Warm White) — 3250 К. Цветовая температура, большая 5600 К, соответствует голубоватым оттенкам, а меньшая

3250 К — желтоватым, более присущим лампам накаливания.

Белый свет в светодиодах можно получить применением (рис. 1):

- синего кристалла с желтым люминофорным покрытием;
- ультрафиолетового кристалла с тремя люминофорными покрытиями (красным, зеленым и синим);
- синего и желтого кристаллов в одном корпусе;
- трех кристаллов (красного, зеленого и синего) в одном корпусе.

В случае применения трех кристаллов каждый из них управляется по отдельности, что позволяет выбирать определенный цвет для получения особых эффектов освещения в рекламе и архитектурном оформлении.

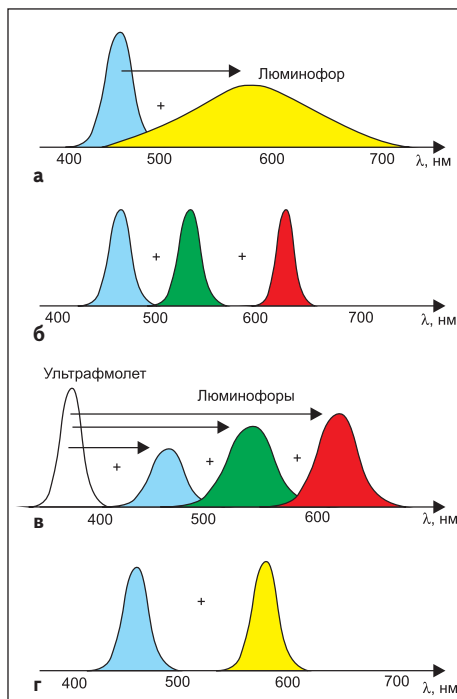


Рис. 1. Способы получения белого света:
а) синий кристалл и желтый люминофор;
б) строенные кристаллы (красный, зеленый, синий) в одном корпусе;
в) ультрафиолетовый кристалл с тремя люминофорами (красным, зеленым и синим); г) синий и желтый кристаллы

Необходимо помнить, что световой поток, создаваемый светодиодом, пропорционален протекающему через него прямому току. В противоположность другим источникам света ВАХ светодиода имеет очень крутую форму. Это приводит к тому, что незначительное изменение напряжения влечет за собой большие изменения тока, а следовательно, и яркости свечения. Поэтому так важна стабилизация, и прежде всего — питающего тока.

Большинство светодиодов обычно включаются последовательно (до 20 в одну цепь), а цепи, в свою очередь, включаются параллельно (получается своего рода массив). Разумеется, в этом случае при обрыве одного из светодиодов в цепи вся она оказывается обесточенной, но это происходит достаточно редко. Параллельное включение цепей, кроме того, позволяет не делать чрезмерно высоким общее напряжение. Эти обстоятельства не могли не отразиться на схемотехнике управления современными мощными светодиодами.

Дешевым и несложным является обычное аналоговое управление через гасящий резистор. Вполне достаточно на одну цепь одного резистора, который должен иметь такое сопротивление, чтобы предельные параметры светодиодов (такие, например, как ток и температура активной области полупроводника) не были бы превышены. При этом в любом случае какая-то часть энергии тратится и на нагрев резистора. Чем меньше сопротивление гасящего резистора, тем меньше тепловые потери будут в нем, но тем больше скачки (перепады) рабочего напряжения будут влиять на яркость свечения. Следовательно, здесь всегда имеет место некоторый компромисс.

Другой простой способ получения питающего напряжения — использование линейного стабилизатора (Linear Regulator). Его параметры задаются резисторами обратной связи, один из которых, будучи установлен в цепи питания светодиодов, выполняет функции датчика тока. Линейные стабилизаторы не требуют большого числа внешних компонентов, однако имеют невысокий КПД и довольно большую рассеиваемую мощность.

Важным моментом всех больших систем светодиодного освещения является отвод тепла. Современные мощные светодиоды потребляют ток до 1000 мА, при прямом напряжении более 3 В они существенно нагреваются. При

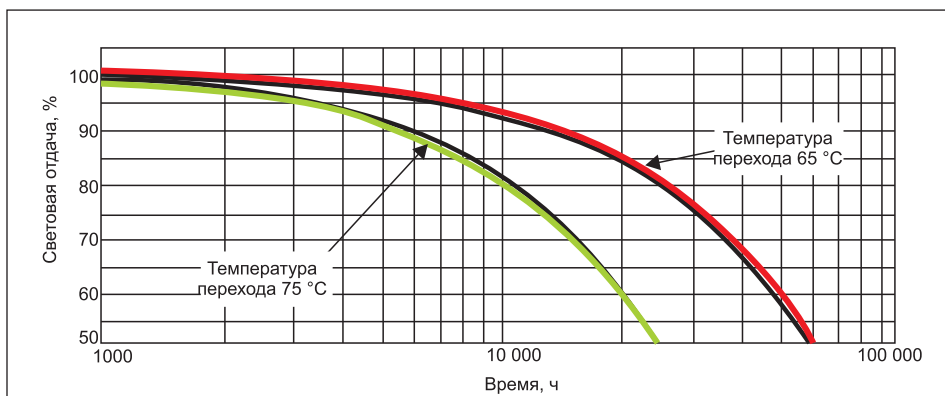


Рис. 2. Зависимость относительной световой отдачи светодиода от времени и температуры перехода

повышении температуры перехода прямое напряжение понижается, что приводит к необратимому возрастанию нерегулируемого тока и разрушению кристалла. Кроме того, при этом происходит постепенное уменьшение световой эффективности. На рис. 2 приведена примерная зависимость относительной световой отдачи светодиода от времени и температуры перехода. Если за срок службы светодиода принять время, за которое светоотдача снижается на 20%, то, например, при температуре +65 °C ресурс составляет примерно 25 000 ч, а при +75 °C — всего лишь 10 000 ч, то есть сокращается в 2,5 раза.

Чтобы не происходило превышений максимально допустимых температур переходов светодиодов, тепло должно отводиться как можно лучше. Обычного воздухообмена (конвекции) и излучения, как правило, не хватает. Поэтому были разработаны новые типы корпусов с радиаторами, отводящими тепло посредством низкого термического сопротивления. На рис. 3 показаны некоторые виды корпусов современных мощных светодиодов фирмы Osram.

Самым простым способом обеспечить необходимый стабилизированный ток питания светодиодов является использование вместо обычных аналоговых схем включения и линейных стабилизаторов высокочастотных

ШИМ-преобразователей, способных поддерживать необходимый средний ток в широком диапазоне мощностей подключенной нагрузки. Большинство таких преобразователей превращают в итоге ШИМ-сигнал (прямоугольные импульсы) в сглаженную кривую, среднее значение огибающей которой находится на уровне необходимого среднего тока. Все они строятся на разнообразных микросхемах драйверов по трем принятым принципам переключения: понижающие преобразователи (Buck Regulator или Step-Down), повышающие преобразователи (Boost Converter) и комбинированные, использующие оба этих принципа. Выбор типа преобразователя зависит от соотношения входного (питающего) и выходного (подаваемого непосредственно на светодиоды) напряжений.

Что очень важно, во всех этих случаях замкнутая цепь регулирования с обратными связями делает излучение света независимым от скачков питающих напряжений, и микросхемы обеспечивают стабилизированный рабочий ток, что напрямую связано с увеличением срока службы мощных светодиодов.

Частоты переключения преобразователей лежат обычно в диапазоне 40–1000 кГц и выше.



Рис. 3. Типовые корпуса современных мощных светодиодов фирмы Osram: а) Dragon; б) Power TOPLED; в) OSTAR

Поэтому всегда принимаются меры, чтобы высокочастотное излучение не влияло на другие цепи. Например, конструктивно переключатели должны находиться как можно ближе к самим светодиодам, чтобы соединительные проводники были как можно более короткими. Высокие частоты работы преобразователей позволяют применять для их построения миниатюрные компоненты.

Большинство микросхем-переключателей работают в паре с накопительным дросселем. В этом случае они называются индуктивными преобразователями напряжения. Некоторые микросхемы-переключатели (в схемах подкачки заряда) выполнены по принципу переключаемых конденсаторов (Switched Capacitor Boost), что экономичнее, и посему у них есть большие перспективы. Микросхемы-переключатели могут быть как со встроенным, так и с внешним ключевым транзистором.

Переключатели работают в широком диапазоне питающих напряжений: от 1,2 (напряжение одного аккумуляторного элемента) до 230 В (сетевое напряжение). В первом случае используется повышающий преобразователь, а во втором (при работе без сетевого трансформатора) — понижающий.

Микросхемы ШИМ-преобразователей управления яркостью свечения мощных светодиодов выпускаются многими фирмами, например, Fairchild Semiconductor, Infineon Technologies, National Semiconductor, Philips, Texas Instruments и др. Рассмотрим некоторые из них.

Если выходное напряжение меньше входного, то используются понижающие преобразователи. Типовая схема одного из них, выполненная на микросхеме TPS5430DDA фирмы Texas Instruments, приведена на рис. 4.

В этой схеме продолжительность времени включения встроенного силового ключевого транзистора зависит от времени установления среднего напряжения на дросселе L1 выходного фильтра. Когда внутренний полевой

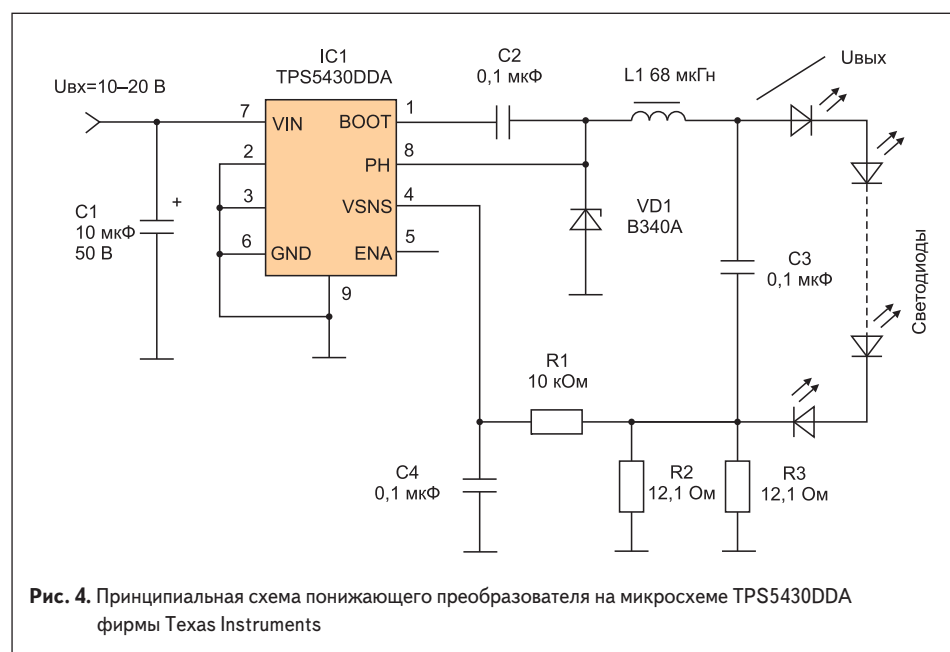


Рис. 4. Принципиальная схема понижающего преобразователя на микросхеме TPS5430DDA фирмы Texas Instruments

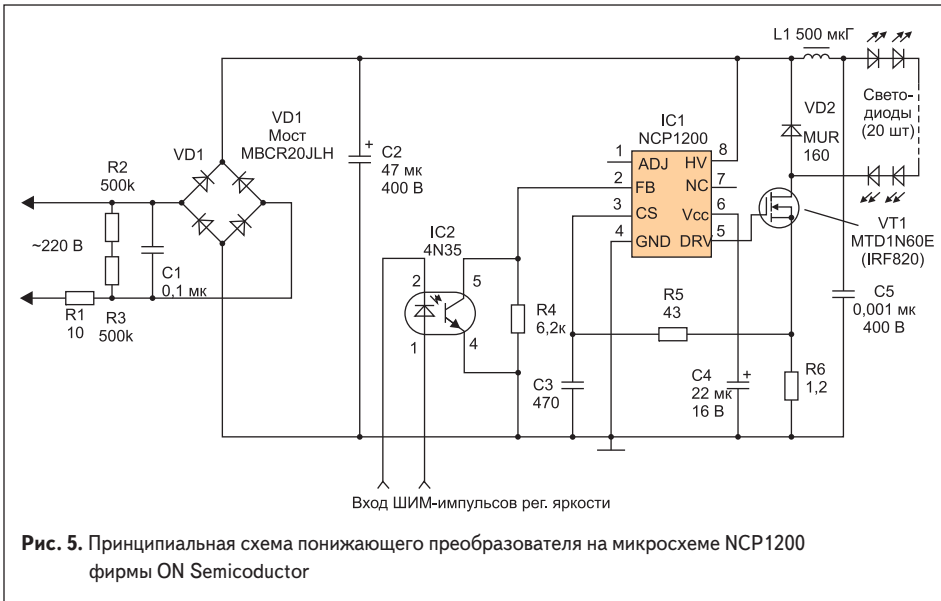


Рис. 5. Принципиальная схема понижающего преобразователя на микросхеме NCP1200 фирмы ON Semiconductor

транзистор открыт, через дроссель протекает ток, который сглаживается конденсатором С3. Тем самым получается постоянное напряжение питания светодиодов.

Регулирование осуществляется с помощью цепи обратной связи: падение напряжения на соединенных параллельно резисторах R2 и R3, пропорциональное току через светодиоды, подается через резистор R1 на вывод 4 (VSNS) микросхемы IC1, где сравнивается с генерируемым в ней эталонным напряжением. Если ток слишком мал, то продолжительность включенного состояния транзистора возрастает, и скважность ШИМ-сигнала изменяется так, что увеличивается среднее напряжение на конденсаторе С3, что приводит к увеличению тока через светодиоды.

Схема понижающего преобразователя с внешним ключевым транзистором (рис. 5), построенная на ШИМ-контроллере NCP1200 фирмы ON Semiconductor, работает на частоте 100 кГц.

Мостовой выпрямитель VD1 и конденсатор C2 преобразуют напряжение питающей сети в постоянное напряжение 280–300 В, которое подается на вывод 8 микросхемы IC1. Элементы R1–R3, C1 уменьшают опасность вредного влияния бросков сетевого напряжения.

Через резистор R4 на вывод обратной связи 2 (FB) микросхемы подается токовое смещение. Резистор обратной связи R6 является датчиком тока — его сопротивление определяет рабочий ток через светодиоды. Конденсатор C5 стабилизирует ток обратной связи, а цепь R5C3 обеспечивает фильтрацию напряжения на выводе 3 микросхемы (CS).

В качестве выходного ключевого каскада (усилителя тока) используется мощный полевой (MOSFET) транзистор VT1. Дроссель L1 рассчитан на ток до 350 мА на частоте 100 кГц.

Регулировка яркости свечения светодиодов зависит от скважности импульсов, подаваемых на светодиод оптрона IC2. Возьмем, к примеру, светодиоды, каждый из которых излучает световой поток в 45 лм. Тогда вся цепь из последовательно соединенных 20 светодиодов излучает световой поток в 900 лм. При этом падение напряжения на каждом светодиоде этой цепи будет 3,4 В. При максимальном токе в 350 мА потребляемая каждым светодиодом мощность равна примерно 1,2 Вт, а потребляемая всеми 20 светодиодами — 24 Вт. С учетом КПД источника питания, равного, допустим, 80%, общая потребляемая мощность составит 29 Вт. Тогда световая отдача всего источника света составит 900 лм/29 Вт = 31 лм/Вт.

Для сравнения: обычная лампа накаливания мощностью 60 Вт излучает 860 лм, т. е. эффективность составляет всего 14 лм/Вт. Таким образом, с учетом гораздо более высокого срока службы экономическая выгода использования светодиодов становится еще более очевидной.

Рассмотрим еще одну схему преобразователя (рис. 6), выполненную на микросхеме драйвера со встроенным ключевым транзистором MBI6652 фирмы Macroblock.

Высокая степень интеграции позволила создать однокристалльный контроллер IC1, сочетающий в себе стабилизатор тока и полный комплекс защиты светодиодных цепей. КПД устройства достигает 96%. В нем имеются встроенные схемы плавного включения, защиты при обрыве цепи или при коротком замыкании, термоконтроля и аварийного отключения при снижении входного напряжения ниже допустимого минимума. Преобразователь на микросхеме IC1 предоставляет возможность регулировки яркости при рабочем токе до 750 мА в диапазоне входного напряжения 6–30 В. Микросхема может быть выполнена в двух вариантах корпусов: шестивыводном SOT-23-6L и восьмивыводном MSOP-8L (именно такая микросхема показана на рис.6).

Если выходное напряжение питания превышает входное, то используются повышающие преобразователи. На рис. 7 приведена схема такого преобразователя со встроенным ключевым транзистором на микросхеме TPS61040DBV фирмы Texas Instruments.

Когда находящийся внутри микросхемы ключевой транзистор открыт, ток протекает от входного источника через дроссель L1 на общий провод. Когда же транзистор закрывается, напряжение на выводе 1 микросхемы повышается до тех пор, пока не откроется стабилитрон VD1. После этого дроссель отдает запасенную энергию в выходной сглаживающий конденсатор C2 и линейку последовательно соединенных светодиодов. Как и в схеме, показанной на рис. 4, ток светодиодов создает падение напряжения на резисторе R1, которое подается на вывод обратной связи 3 (FB) микросхемы, что определяет время открытого и закрытого состояний внутреннего ключевого транзистора.

Следует иметь в виду, что в большинстве схем повышающих преобразователей отсут-

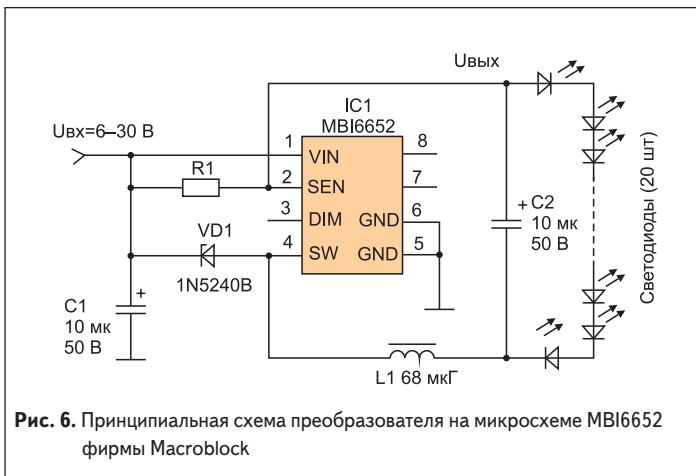


Рис. 6. Принципиальная схема преобразователя на микросхеме MBI6652 фирмы Macroblock

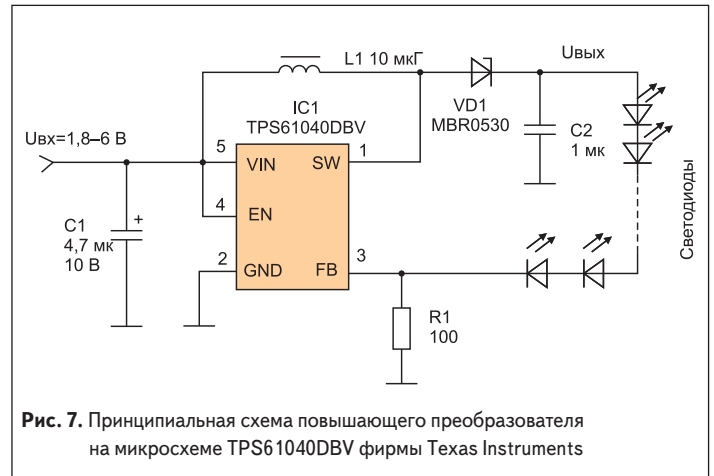


Рис. 7. Принципиальная схема повышающего преобразователя на микросхеме TPS61040DBV фирмы Texas Instruments

ствует защита от короткого замыкания. Это может привести в ряде случаев к повышенному току через дроссель и стабилитрон и к выходу схемы из строя.

Сегодня, благодаря разработкам и внедрению ШИМ-преобразователей, применение светодиодов представляет собой весьма интересную перспективу. Они оказались полезными прежде всего там, где необходимы высокие долговечность и КПД, например, в информационных указателях и табличках аварийных выходов, в освещении лестниц эскалаторов, уличном освещении, изменяемых знаках дорожного движения и т. п. В противоположность ламповым, светофоры на светодиодах требуют значительно меньших затрат на обслуживание, у них очень высокая надежность. В современных автомобилях многие световые приборы выполняются на основе светодиодов, а недавно стали появляться светодиодные фары. Некоторые автомобили имеют в своей «начинке» до 500 светодиодов.

Использование светодиодов экономически выгодно в труднодоступных местах, где техническое обслуживание и замена затруднены или очень дороги, например, в часах на различных башнях, в позиционирующих огнях зданий и т. п.

Особенно эффективны и экологически безопасны светодиоды в устройствах задней подсветки ЖК-дисплеев взамен широко используемых в них для этой цели люминесцентных ламп, содержащих ядовитую ртуть.

Применение светодиодов предлагает богатые цветовые возможности для светящейся рекламы, что открывает перед дизайнерами поистине новые миры. Например, это позволяет

придать индивидуальный цветовой оттенок каждому отдельному этажу жилых или общественных зданий и такой же цвет создать во внутреннем освещении кабин лифтов перед их остановкой на соответствующем этаже.

Чем больше внимания привлекают к себе светодиоды как осветительные приборы, тем разнообразнее становятся пожелания их потребителей и тем больше стремление дизайнеров удовлетворить эти желания.

Однако далеко не всегда дизайнеры обладают необходимыми хотя бы элементарными знаниями в области электроники, позволяющими грамотно применять приборы в своих разработках. Вместе с тем и производители полупроводников не сильно стремятся обучать дизайнеров. Поэтому с целью процветания «светодиодного бизнеса» между этими двумя разными профессиональными областями должно царить согласие, т. е. при всех дистрибьюторах обязательно должны быть инженеры, которые всегда помогут найти подходящие типы светодиодов или даже разработать новые для каждого конкретного приложения. А конечная цель взаимодействия партнеров — мир, светящийся яркими красками с возможно малыми потерями энергии. ●

Литература

1. <http://www.onsemi.com>.
2. <http://www.ti.com>.
3. <http://www.osram.ru>.
4. Lemme H. Intelligente Lichtsysteme mit LEDs // *Elektronik*. 2008. № 13.
5. Preliminary Datasheet Macroblock MBI6652.