

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

В статье рассмотрены пути повышения надежности светодиодных светильников с использованием элементов защиты светодиодов, источников питания и драйверов светодиодов от перенапряжения, превышения допустимого тока и температуры.



В. Макаренко

WAYS OF INCREASE OF RELIABILITY OF LIGHT-EMITTING DIODE FIXTURES

Abstract - In article ways of increase reliability of LED fixtures by using protection elements of LEDs, LED drivers and LED power supplies from over voltage, current and temperature are considered.

V. Makarenko

При разработке светодиодных светильников перед разработчиками возникает ряд проблем. К ним относятся: защита светильников от перегрева, электрических цепей источников питания и светильников – от выхода из строя при отказе одного или нескольких светодиодов. Использование схем защиты цепей светодиодных светильников, построенных на базе нескольких типов устройств, позволяет создавать надежные системы при одновременном снижении затрат на гарантийное обслуживание и ремонт светодиодных источников света.

Технология производства светодиодов быстро прогрессирует. Усовершенствования конструкции кристаллов и улучшение характеристик используемых материалов способствуют разработке более ярких, экономичных и долговечных источников света с широким спектром применения. Но производителям светодиодных светильников по-прежнему приходится бороться с их высокой чувствительностью к изменению температуры.

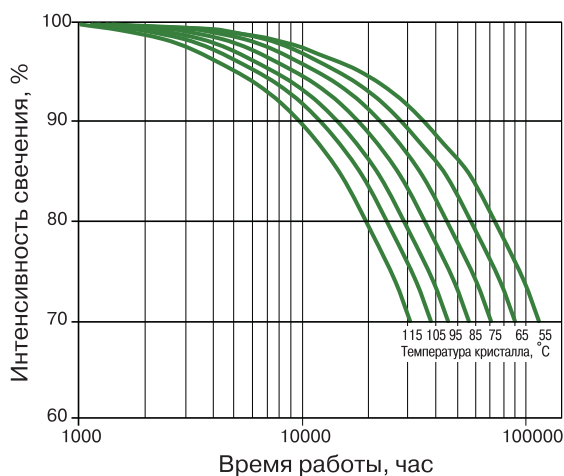
Отличаясь более высокой эффективностью по сравнению с другими источниками света, светодиодные системы имеют явный недостаток: надежность их компонентов напрямую зависит от того, как реализована защита от перегрева.

При несоблюдении температурных режимов воздействие высокой температуры сокращает срок службы светодиодов и влияет на цвет их свечения. Кроме того, ввиду вероятности перегрузки светодиодов по току, может по-

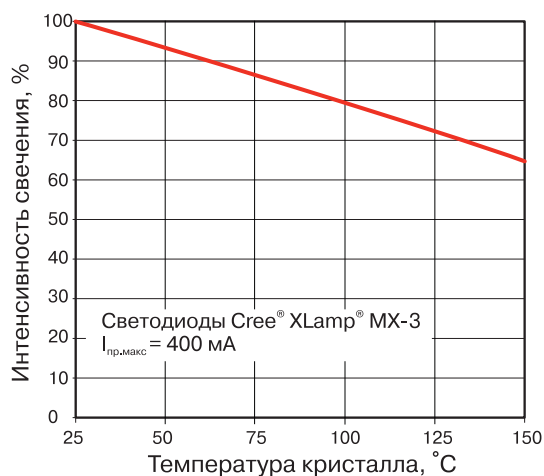
требоваться применение отказоустойчивой системы их защиты.

Для светодиодных светильников максимальная температура перехода не должна превышать 115 °С, а корпуса – 90 °С [1]. Важно не допускать перегрева светодиодов по нескольким причинам. Во-первых, их световая эффективность зависит от температуры окружающей среды и от конструкции теплоотвода (рис. 1) [2, 3]. Во-вторых, температура нагрева светодиода зависит от величины прямого падения напряжения на нем, изменяющегося в зависимости от температуры кристалла. Температурный коэффициент прямого напряжения на светодиоде – отрицательный (рис. 2), т.е. при повышении температуры происходит уменьшение прямого падения напряжения на нем [4].

Типовое значение этого коэффициента изменяется в пределах от -3 до -6 мВ/°К, вследствие чего прямое напряжение на открытом переходе мощного светодиода может отличаться больше чем на 0.5 В при изменении температуры от 25 до 115 °С. Если источник питания светодиодов выполнен как источник напряжения, а ток формируется с помощью резистора, включенного последовательно с ними, это может привести к перегреву светодиодов из-за саморазогрева при росте температуры и увеличении тока через них, что еще более снизит прямое падение напряжения и повлечет за собой неконтролируемый рост температуры. Такое явление особенно часто наблюдается в недорогих светодиодных светильниках, в которых ток регулируется обычным резистором.



а)



б)

Рис. 1. Графики зависимостей интенсивности свечения от времени работы светодиодов при разных значениях температуры

В источниках питания, формирующих ток управления светодиодами, возникает другая неприятная ситуация. При уменьшении прямого падения напряжения на светодиодах расчет падение напряжения на схеме управления, что приводит к увеличению нагрева схемы и уменьшению КПД системы освещения. Кроме того, т.к. зачастую схема управления и светодиоды находятся в одном корпусе, это приводит к дополнительному нагреву светодиодов и сокращению срока их службы (рис. 3) [5].

В [8] подробно освещены вопросы эффективного отвода тепла в светодиодных светильниках. Далее рассмотрим способы защиты электрических цепей светильников от воздействия различных факторов.

Повышение температуры светодиода может привести к его выходу из строя и к катастрофическим для светильника последствиям.

Рассмотрим случай использования источника тока для питания светодиодов, включенных по схеме с балансировкой токов в параллельных цепях, приведенной на рис. 4. В [6] рекомендуется для балансировки токов использовать токовое зеркало, собранное на двух транзисторах. Однако такая схема будет функционировать только в случае идентичности параметров транзисторов, используемых в ней, что возможно только в интегральных микросхемах или специализированных транзисторных сборках. Если использовать для балансировки токов не-

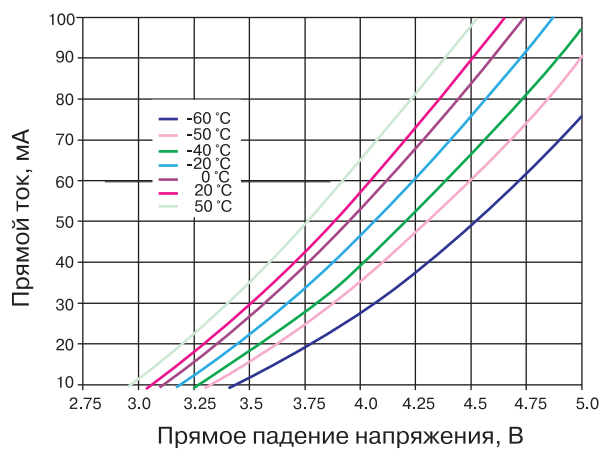


Рис. 2. Вольтамперные характеристики светодиодов на основе InGaN/AlGaIn/GaN при различных температурах кристалла

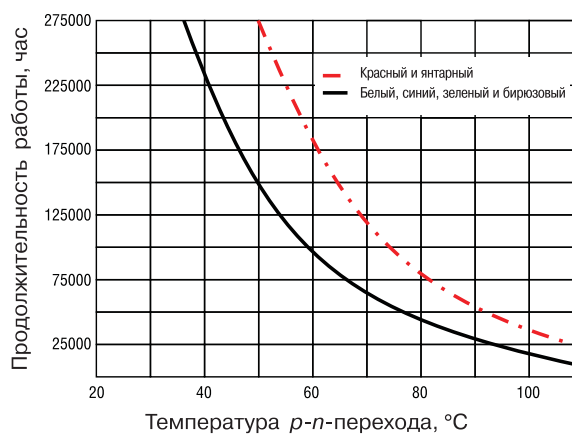


Рис. 3. Усредненные зависимости срока службы светодиодов от температуры кристалла

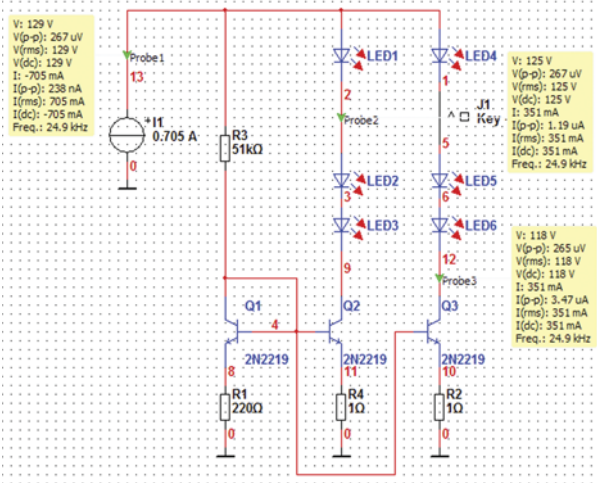


Рис. 4. Схема управления светодиодными цепями с использованием независимых источников тока в каждой

зависимые источники тока с внешним управлением (рис. 4), схема будет работать устойчиво при использовании дискретных транзисторов даже с неидентичными параметрами.

Моделирование этой схемы в программе NI Multisim показало высокую идентичность токов в каждой цепи светодиодов. В качестве источника питания используется генератор тока I1, в то время как транзистор Q1 и резисторы R1, R3 образуют источник напряжения смещения для двух источников тока, выполненных на транзисторах Q2 и Q3. Контроль тока в различных цепях осуществляется с помощью пробников Probe 1...3. В параметрах моделей светодиодов задан рабочий ток, равный 350 мА. С учетом

тока 5 мА, потребляемого схемой формирования напряжения смещения, ток, формируемый источником тока I1, задан равным 705 мА. Переключатель J1 введен для имитации обрыва цепи во второй цепи светодиодов при выходе в ней одного из светодиодов из строя.

Рассмотрим случай выхода одного из светодиодов из строя. Для этого разомкнем переключатель J1 и проконтролируем значения токов в каждой из цепей светодиодов. Так как в правой цепи произошел обрыв, а источник тока формирует стабильный по величине ток, то через светодиоды левой цепи будет протекать практически весь ток, формируемый источником I1. Такая ситуация недопустима по двум причинам: во-первых, светодиоды оставшейся цепи начнут перегреваться и, как следствие, один из них или несколько выйдут из строя; во-вторых, светодиоды правой цепи светиться не будут даже при обеспечении защиты левой цепочки светодиодов от чрезмерно большого тока.

Чтобы предотвратить такую ситуацию, параллельно каждому светодиоду необходимо подключить ключевую схему защиты, которая при нормально работающем светодиоде будет закрыта, а при выходе светодиода из строя (перегорании) будет открываться и шунтировать вышедший из строя элемент. На рис. 5 приведена схема, в которой параллельно светодиоду включена схема защиты, выполненная на тиристоре.

При выходе из строя светодиода LED4 (имитируется размыканием переключателя J1) весь ток источника тока (рис. 5, а) протекает

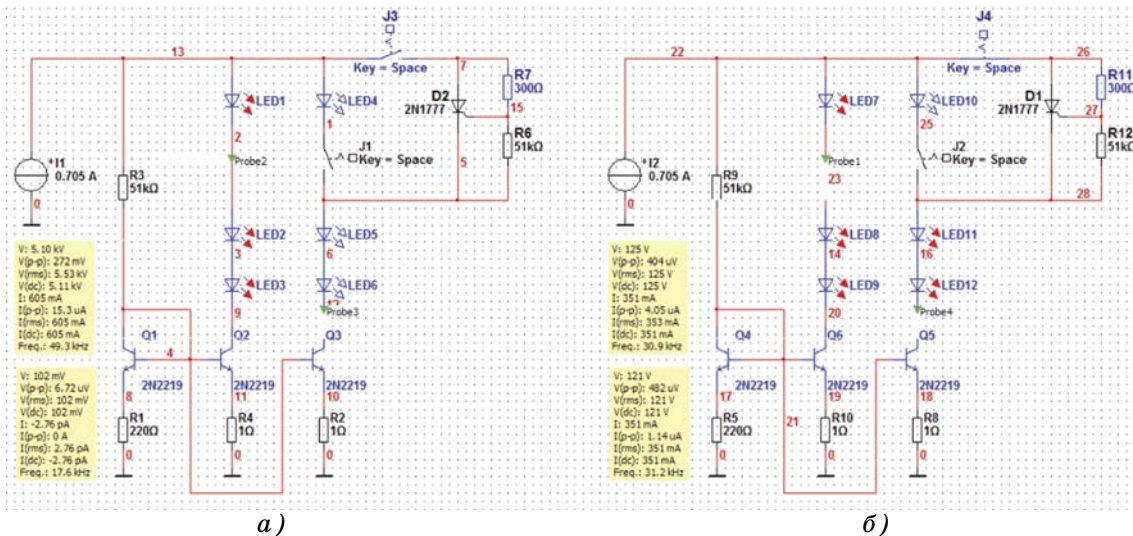


Рис. 5. Схема управления светодиодными цепями с отключенной (а) и включенной (б) схемой защиты

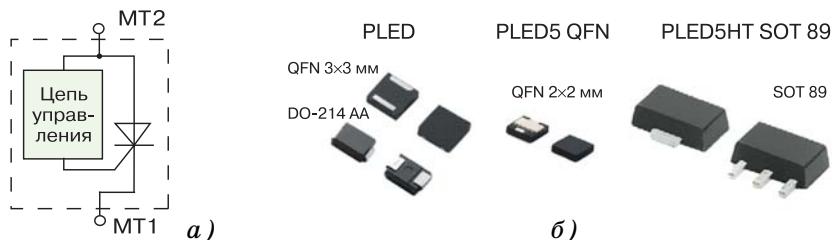


Рис. 6. Структурная схема ключевого электронного шунта (а) и типы корпусов различных серий шунтов (б)

через левую цепь светодиодов. Замыканием переключателя J2 подключается схема защиты, содержащая тиристор D1 и делитель напряжения R5, R6 (рис. 5, б). При обрыве в цепи подключения LED4 напряжение на участке между анодами LED4 и LED5 возрастает и ток, протекающий через управляющий электрод тиристора, становится достаточным для его отпирания. Сопротивление тиристора в открытом состоянии имеет малую величину и через правую цепочку светодиодов начинает протекать ток. Контроль тока с помощью пробников позволяет убедиться в том, что работоспособность схемы восстанавливается и ток в обеих цепочках светодиодов становится одинаковым.

При использовании такой или подобной схемы защиты выход из строя одного или нескольких светодиодов не приводит к выходу из строя всего светильника, а яркость свечения уменьшается незначительно. Без использования схемы защиты яркость свечения светильника, содержащего две параллельные цепочки светодиодов, снизилась бы в два раза.

Три серии таких схем защиты светодиодов, получивших название "ключевой электронный шунт", выпускает компания Littelfuse [6]: PLED (номинальный ток $I_{ном} = 100 \text{ mA}$), PLED5 QFN ($I_{ном} = 350 \text{ mA}$) и PLED5HT SOT 89 ($I_{ном} = 700 \text{ mA}$). Структурная схема такого шунта приведена на рис. 6, а, а типы корпусов – на рис. 6, б.

Такие шунты могут использоваться также в малогабаритной аппаратуре для защиты от подключения напряжения питания обратной полярности. Они характеризуются малым временем срабатывания и низким напряжением отпирания. При устранении причины срабатывания шунта он автоматически возвращается в исходное состояние.

Рассмотрим более подробно характеристики шунтов серии PLED5 QFN, максимальный ток которых равен 500 мА, а размеры корпуса не превышают 2×2 мм. Вольтамперная характеристика шунта и график зависимости напряжения срабатывания от температуры приведены на рис. 7.

Основные параметры шунта:

- максимальное напряжение анод-катод 40 В

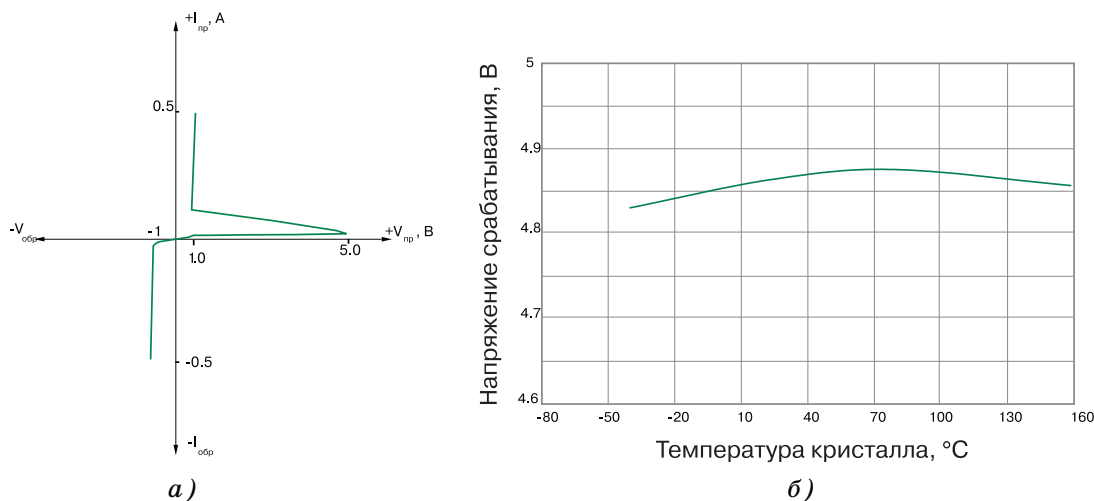


Рис. 7. Вольтамперная характеристика шунта PLED5 QFN (а) и зависимость напряжения срабатывания защиты от температуры (б)

- напряжение срабатывания (отпирания) 4.65...5.15 В
- ток отпирания шунта 20 мА
- прямое падение напряжения на открытом шунте при токе 350 мА не более 1.3 В
- максимальный прямой ток 500 мА
- ток утечки не более 150 мкА
- электростатический разряд при контактном воздействии – до ± 8 кВ (IEC 61000-4-2), в воздушной среде – до ± 15 кВ (согласно стандарту IEC 61000-4-2)
- диапазон рабочих температур $-40...85$ °С
- габаритные размеры $2 \times 2 \times 0.85$ мм.

Еще одна полезная функция такого шунта – защита элементов схемы, параллельно которым он подключен, от статического электричества. Подробнее с характеристиками ключевых шунтов можно ознакомиться в [6].

В большинстве светодиодных конструкций в качестве интерфейса между различными источниками питания (сетью переменного тока, солнечной панелью или обычной батареей) и схемами управления светодиодами в настоящее время используются устройства преобразования и регулирования мощности, которые управляют рассеянием мощности в схеме управления. Защита этих интерфейсов от повреждения вследствие перегрузок по току и перегрева часто осуществляется с помощью самовосстанавливающихся предохранителей PolySwitch [7], имеющих положительный температурный коэффициент сопротивления (ПТКС).

При нормальных значениях рабочего тока сопротивление устройства с ПТКС мало. В случае перегрузки по току сопротивление самовосстанавливающегося предохранителя типа PolySwitch скачкообразно увеличивается, что позволяет защитить элементы схемы путем ограничения тока, протекающего при неисправности, до уровня, соответствующего его

величине в нормальном режиме работы. После выключения и повторного включения питания цепи работа устройства с ПТКС восстанавливается.

Хотя полимерные элементы с ПТКС не могут предотвратить неисправность, они быстро реагируют на ее возникновение, ограничивая ток до безопасного уровня, чтобы исключить отказ расположенных далее по цепи компонентов. Малые размеры этих устройств позволяют использовать их в малогабаритных конструкциях.

Для защиты входных цепей источника питания от перегрузок по напряжению параллельно его входу подключают варистор.

В [7] предложена схема комбинированной защиты источника питания, драйвера светодиода и самого светильника от перенапряжения и превышения тока через светодиоды (рис. 8). Кроме предохранителя PolySwitch и металлооксидного варистора в схему включен резистор R1 с малым сопротивлением, предназначенный для ограничения первоначального броска тока при включении источника питания.

Компания Tyco Electronics (TE Connectivity) выпускает устройство 2Pro AC, которое объединяет предохранитель PolySwitch и металлооксидный варистор (MOV). Такое сочетание позволяет реализовать самовосстанавливающееся устройство защиты, реагирующее на перегрев (сохраняет поверхностную температуру варистора на уровне менее 150 °С), ограничивающее уровень тока через светодиоды до заданного значения и обеспечивающее входное напряжение допустимой величины. Применение такого устройства позволяет уменьшить число используемых элементов и повысить надежность оборудования, что облегчает выполнение условий безопасности согласно требованиям стандартов IEC 61000-4-5 и IEC 60950.

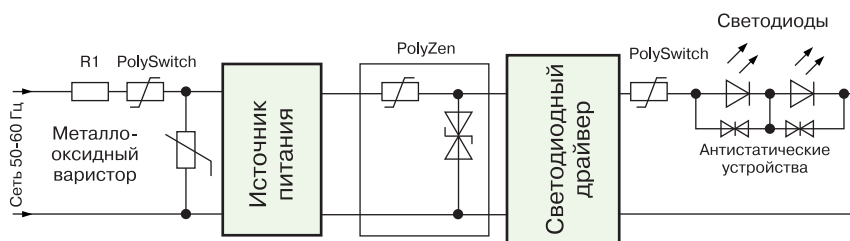


Рис. 8. Комбинированная схема защиты источника питания, драйвера светодиодов и светильника от перенапряжения и превышения допустимого тока

Устройство PolyZen, расположенное на входе схемы управления, сочетает простоту традиционной схемы диодного ограничителя и отсутствие необходимости в значительном отводе тепла. Это разработанное компанией TE Connectivity компактное устройство, содержащее полупроводниковый стабилитрон и самовосстанавливающийся предохранитель PolySwitch, используемый в качестве балластного резистора, обеспечивает подавление выбросов напряжения в переходных режимах и защиту драйвера светодиодов от обратного напряжения и перегрузки по току.

Предохранитель PolySwitch, установленный на выходе светодиодного драйвера, позволяет защитить светодиоды светильника от выхода из строя из-за превышения допустимого тока, а выходные каскады драйвера – от короткого замыкания в нагрузке. Чтобы увеличить эффективность использования предохранителя PolySwitch, его устанавливают на плакированную печатную плату или теплоотвод светодиодов. Во избежание повреждения светодиодов электростатическими разрядами параллельно каждому из них подключают устройство антистатической защиты, в качестве которого может быть использован конденсатор малой емкости (обычно 0.25 пФ), а в случае применения параллельно светодиодам электронных ключевых шунтов они выполняют и эту функцию.

Для защиты светодиодов от выхода из строя из-за перегрева в [1] предложено несколько вариантов решений. Как известно, самой частой причиной отказа светодиодов является механическое давление. Когда светодиод нагревается до рабочей температуры, происходит размягчение герметизирующего его эпоксидного клея. Это приводит к смещению электрических контактов или соединительных проводов. При охлаждении светодиода эпоксидный клей вновь затвердевает и механически давит на проволочные соединения, что постепенно приводит к нарушению контактов. Сейчас на рынке имеются светодиоды, выполненные без применения соединительных проводников, что устраняет подобные проблемы. Однако аналогичные процессы происходят и в местах паяных соединений светодиодов с печатной платой, когда повторяющиеся циклы нагрева и охлаждения вызывают появление трещин в пайках, распространение которых постепенно

приводит к нарушению контактов. Именно поэтому наиболее часто встречаются отказы, вызванные разрывом цепи. Лучший способ избежать этой проблемы – обеспечить минимальную разницу между рабочей температурой светодиода и температурой окружающей среды.

Даже грамотно разработанный светильник, выполненный с применением светодиодов, при эксплуатации может отказать, т.к. производители светодиодных светильников не контролируют условия их установки, а проблемы могут возникнуть при недостаточной конвекции воздуха (например, если лампа установлена в углублении подвесного потолка с изоляцией минеральной ватой) или повышенной температуре окружающей среды (например, если светодиодная арматура устанавливается вертикально на стену и верхний излучатель нагревается расположенными ниже). В этом случае возможен перегрев светодиодов и их отказ.

Решением проблемы является добавление в схему управления светодиодом схемы температурной защиты. Если по какой-то причине температура излучателя повышается, для уменьшения рассеиваемой мощности и поддержания ее ниже заданного максимума уменьшается ток, протекающий через него. Одним из простейших способов регулировки тока в зависимости от температуры является использование термистора с положительным температурным коэффициентом (ПТК).

Следует учитывать, что при повышении рабочей температуры надежность драйвера также уменьшается. В идеальном случае он должен устанавливаться отдельно от светодиодного излучателя и работать при температуре, не превышающей комнатную. Но многие конструкторы предпочитают решения "все-в-одном", устанавливая схемы управления прямо на теплоотвод или на плату вблизи нагревающихся светодиодов, что является наихудшим решением.

Если светодиод и драйвер должны располагаться в одной конструкции рядом друг с другом, схема температурной защиты, предложенная в [1], продлит срок службы не только светодиодов, но и драйвера. Уменьшение при высокой рабочей температуре тока светодиодов приведет к уменьшению рассеяния тепла в драйвере, что позволит поддерживать его температуру в допустимых пределах.

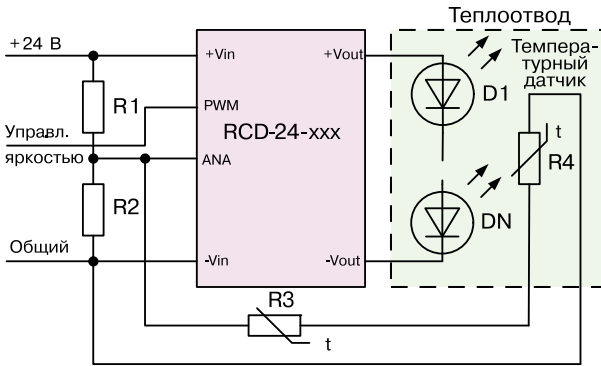


Рис. 9. Комбинированная схема температурной защиты драйвера и светодиодов с использованием двух термисторов

На рис. 9 показана комбинированная схема температурной защиты драйвера и светодиодов, включающая два термистора, при использовании драйвера светодиодов компании Resom серии RCD. Термисторы соединяются последовательно, один из них закрепляется на корпусе драйвера, а второй – вблизи светодиодов. Выбирая различные соотношения между сопротивлением термисторов и делителя напряжения, можно установить точку выхода из области допустимых значений температуры на любую выбранную величину. Кроме того, при приближении температуры светодиодов к максимальной рабочей температура плавно уменьшает яркость их свечения и снижение световой эффективности малозаметно. Это более комфортно, чем решение, при котором ток через светодиод отключается на время, пока он не охладится. Часто при перегреве излучателя лучше

иметь хоть какое-то освещение, чем согласиться на его полное отсутствие.

Другие решения для температурной защиты светодиодных светильников можно найти в [1].

Конечно, в рамках одной статьи невозможно рассмотреть все пути повышения надежности светодиодных светильников, но предложенные решения позволяют более внимательно относиться к проектированию и выбору как источников питания и драйверов, так и конструкции самого светильника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Робертс С. Температурная защита драйверов светодиодов // Полупроводниковая светотехника, 2010, № 6.
2. Елисеев И. Краткое руководство по выбору осветительных светодиодов // Новости электроники+Светотехника, 2010, № 0 (1).
3. <http://www.cree.com/products/pdf/XLampMX-3.pdf>.
4. Никифоров С. Температура в жизни и работе светодиодов // http://www.kit-e.ru/articles/led/2005_9_48.php.
5. Васильев А. Светодиоды-долгожители: правда или мистификация? // Новости электроники+Светотехника, 2010, № 0 (1).
6. <http://www.littelfuse.com/led-protectors.html>.
7. <http://www.circuitprotection.com/catalog/app/LEDlightingAN.pdf>.
8. Свитнев С. Теплоотвод в светодиодных осветительных системах: решения Fischer // Новости электроники+Светотехника, 2010, № 0 (1).

VD MAIS

Измерительные приборы

- Осциллографы
- Генераторы
- Логические анализаторы
- Анализаторы спектра
- Измерители параметров видеосигналов
- Источники питания
- Частотомеры
- Мультиметры

Дистрибьютор

TEKTRONIX, RONDE & SCHWARZ, HAMEG, PROTEK, MICRONIX

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, 220-2022
 факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdmairs.kiev.ua, www.vdmairs.kiev.ua

VD MAIS

Оборудование и материалы для SMT. Печатные платы. Контрактное производство

- Устройства трафаретной печати
- Установщики ручные, полуавтоматические, автоматические
- Печи оплавления припой
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Электромеханические отвертки
- Инструмент
- Технологические материалы для SMT
- Проектирование и изготовление печатных плат
- Контрактное производство

Дистрибьютор

AIM, CERACON, CHARLESWATER, DOOSAN, ELECTROLUBE, ESSEMTEC, KOLVER, LPKF, MIELE, PACE, SAMSUNG, TWS, VISION

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
 тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, 220-2022
 факс: (0-44) 220-0202
 e-mail: info@vdmairs.kiev.ua, www.vdmairs.kiev.ua