

Лотар Ноэль (Lothar Noelle) |

Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов

Общеизвестно, что срок службы светодиода зависит от используемого полупроводникового материала, а также отношения тока светодиода к количеству выделяемого тепла. Световая отдача постепенно снижается, и после того как она достигнет 50% от начального значения, ожидаемый срок службы светодиода по определению истекает. Достижимый срок службы светодиодов может составлять от нескольких десятков тысяч до 100 000 часов, но только в отсутствие воздействия высоких температур, которые радикально его сокращают.

Мощность излучения, или световой поток светодиода, сильно зависит от температуры p - n -перехода кристалла. Это значит, что КПД существенно уменьшается с ростом температуры. Хотя светодиод и называют «холодным излучателем», в свет преобразуется не вся его электрическая энергия. Как и в других полупроводниковых устройствах, большая ее часть (70–80%) превращается в тепло. Именно поэтому, в отличие от тепловых излучателей (например, ламп накаливания), светодиоды нуждаются в обязательном регулировании температурных режимов (охлаждении). Эффективность светодиода определяется как отношение светового потока к общему количеству подаваемой на светодиод электрической мощности и выражается в люменах на ватт (лм/Вт).

При всех великолепных характеристиках высокоэффективных белых светодиодов их длительная и бесперебойная работа, а значит, воплощение в жизнь новых технологий

освещения возможны только при соблюдении граничных условий, накладываемых на температурные режимы.

На рынке представлено множество вариантов конструкций, ориентированных на различные способы применения. Это светодиоды с проволочными выводами, используемые в качестве индикаторов, SMT-светодиоды в корпусах PLCC, шести- и восьмигранные светодиоды с различными характеристиками, а также представляющие особый интерес светодиоды в исполнении COB (Chip on Board — «кристалл на плате»), которые припаиваются непосредственно на печатную плату.

От высокоэффективных светодиодов, применяемых для освещения, требуется максимально возможный световой поток; ввиду технических принципов работы полупроводниковых компонентов, новых конструктивных решений, размещения нескольких кристаллов в одном корпусе и других факторов возникает необходимость в оптимальном регулировании температурных режимов.

Тепловые соотношения

Характеристики излучения полупроводниковых светодиодов меняются со временем, и интенсивность излучаемого света постепенно уменьшается. Это явление известно под названием «старение» и связано с концентрацией и объемом примесей в полупроводниковом кристалле. Слишком интенсивный световой поток, обусловленный повышенной потребляемой электрической мощностью, также увеличивает температуру светодиода, а большие перепады температур существенно сокращают срок его службы. Подвержены старению и синтетические материалы, из которых изготавливаются корпуса и линзы светодиодов (эпоксидная смола, силикон и т. п.), что может приводить к их помутнению.

Неисправности, связанные с воздействием высоких температур

Температура кристалла, определяющая параметры светового потока, цвет излучения и напряжение прямого смещения светодиода, зависит от температуры окружающей среды и нагрева протекающим электрическим током.

Световой поток Φ как функция температуры рассчитывается по следующей формуле:

$$\Phi\nu(T_2) = \Phi\nu(T_1)e^{k\Delta T_j}, \quad (1)$$

$$\Phi\nu(T_1) = \Phi\nu(T_2)e^{-k\Delta T_j},$$

где T_1 — световой поток при T_j 1; T_2 — световой поток при T_j 2; k — температурный коэффициент; ΔT — разность температур T_j ($T_2 - T_1$).

Пример старения в результате повышения температуры приведен на рис. 1. Кривая показывает, что при росте температуры с 25 до 75 °C световой поток уменьшается почти вдвое.

Известные формулы теплотехники и экспериментальные наблюдения за регулированием температурных режимов позволили глубже понять механизм потерь мощности излучения, обусловленных разностью температур:

$$R_{thja} = (T_j - T_a)/P = ((\Delta T_j - T_a) - T_a)/P = \Delta T_{jd}/P, \quad (2)$$

где $T_j = \Delta T_j + T_a$; R_{thja} — потери, обусловленные разностью температур между переходом и окружающей средой; T_j — температура p - n -перехода; T_a — температура окружающей среды; P — полная мощность светодиода ($I_f \times V_f$).

На практике фактическое значение температуры p - n -перехода рассчитывается следующим образом:

$$T_j = R_{thja} \times P + T_a.$$

Регулирование температурных режимов

Теплоинженерные расчеты для оптимального охлаждения чрезвычайно сложны, поскольку необходимо учесть конструкцию светодиода и общее тепловое сопротивление как сумму тепловых сопротивлений отдельных материалов и переходов. Как уже было сказано, лишь около 20–35% номинальной мощности светодиода преобразуется в свет — остальная мощность теряется в виде выделяемого тепла, которое должно рассеиваться в окружающую среду с компонентов системы во время работы светодиода.

Есть три возможных способа охлаждения светодиода: через корпус, через печатную плату (токонесущие дорожки, плакированная печатная плата) и с помощью радиаторов, приклеиваемых или припаиваемых на плату или монтируемых отдельно. При охлаждении светодиода через корпус отводимое тепло

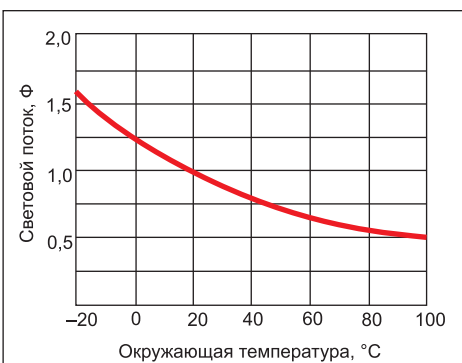


Рис. 1. Зависимость светового потока от окружающей температуры для красного светодиода при неизменном токе (по документам, представленным компанией Lumileds)

проходит два участка: между *p-n*-переходом и выводами светодиода, а далее между выводами и окружающей средой. В этом случае отвод тепла минимален, и поэтому данный метод ненадежен, в особенности при охлаждении высокоэффективных светодиодов.

Другой метод охлаждения предполагает монтаж радиатора на той же печатной плате, на которой установлены светодиоды (если это предусмотрено). Сложность конструкторской задачи, стоящей перед разработчиком в этом случае, может различаться. При малом тепловыделении в очень ограниченном числе случаев достаточно печатной платы из материала FR-4 с дополнительным слоем теплопроводящей пасты. При более интенсивном тепловыделении используются печатные платы особой конструкции, поскольку FR-4 является не очень хорошим проводником. Широко применяются для охлаждения светодиодов лакированные печатные платы. Алюминиевое основание позволяет отводить тепло от светодиодов в окружающую среду через тепловые каналы или вкладыши (с покрытием сплошным слоем меди) — напрямую или через смонтированный на плате дополнительный радиатор.

Помимо жестких печатных плат, данный метод равно применим и к гибким печатным платам, изготовленным из PET, PEN, PI, поскольку к ним также можно приклеить алюминиевую теплораспределительную пластину и радиатор.

В случае высокоэффективных светодиодов использование радиатора является обязательным (рис. 2). Существуют различные базовые подходы к конструированию радиаторов для свободной конвекции.



Рис. 2. Пример стандартных радиаторов из широкого ассортимента

Выбор подходящего радиатора

После того как установлены тепловые критерии (с обязательным учетом характеристик и рекомендаций производителей светодиодов), рассчитано тепловое сопротивление, рассмотрены возможные способы монтажа и оценен размер доступного пространства, можно выбирать радиатор. Особое внимание следует уделить его пространственной ориентации. Гребенчатые радиаторы следует монтировать так, чтобы они не создавали препятствий естественным конвективным потокам. При активном

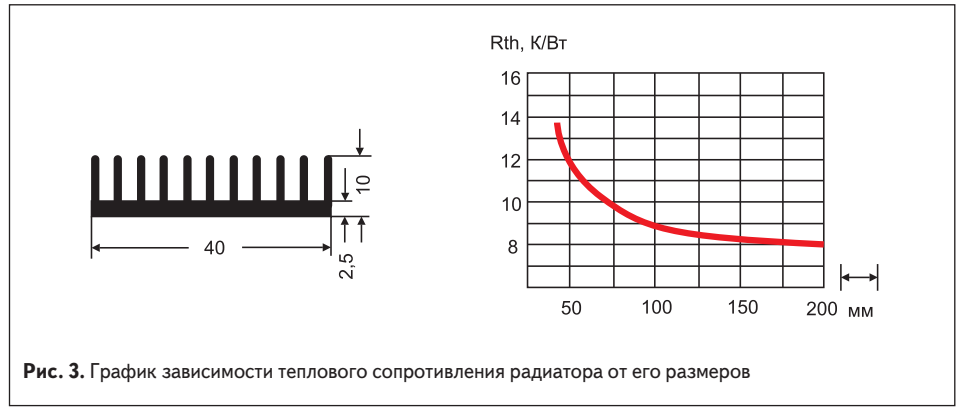


Рис. 3. График зависимости теплового сопротивления радиатора от его размеров

охлаждении необходимо обеспечить максимальное беспрепятственный впуск и выпуск воздуха. Поставщики радиаторов для светодиодов указывают тепловое сопротивление изделий на графиках в документации к ним.

Пользуясь предоставленными производителем графиками, по расчетному значению теплового сопротивления пользователь может определить параметры радиатора для конкретного применения (рис. 3). В связи со стабильно растущим спросом был разработан ряд специальных конфигураций: помимо множества стандартных радиаторов, которые можно использовать для охлаждения светодиодов, в настоящее время предлагаются специально модифицированные версии радиаторов для светодиодов и отдельных светодиодных систем (рис. 4). Иногда для увеличения площади теплорассеивающей поверхности на дно радиатора наносится слой меди — в этом случае светодиод можно будет непосредственно припаять к радиатору.



Рис. 4. Пример использования модифицированного стандартного радиатора в качестве специального

Эффективность охлаждения можно повысить, реализовав принудительную вентиляцию. Вентилятор на радиаторе, в зависимости от способа применения, может улучшить теплоотвод примерно на 40%. Для этой цели используются специально разработанные радиаторы. Для выбора подходящего охлаждающего элемента в схеме с принудительной вентиляцией приводятся графики зависимости теплового сопротивления от скорости воздушного потока (рис. 5).

Однако активное охлаждение сопряжено с шумом. Электродвигатели вентиляторов и сам воздушный поток создают звуковые волны, которые нежелательны во многих случаях — например, при освещении жилых помещений, концертных залов, учебных аудиторий и т. п. С другой стороны, сегодня существует ряд

методов вентиляции, предусматривающих использование низкооборотных электродвигателей и лопастей крыльчатки специальной формы, дающих очень малый уровень шума. Мягкая подвеска вентилятора на радиаторе при помощи специального кронштейна с использованием резиновых опор со встроенным крепежом вместо винтов ослабляет механическую связь, способствующую распространению звуковых волн, и уменьшает шум, возникающий вследствие разбалансировки подшипника вентилятора. Высококачественные вентиляторные электродвигатели, уже прошедшие апробацию, имеют существенно меньшую частоту отказов, а их среднее время наработки на отказ составляет около 200 000 ч, что превышает расчетный срок службы светодиода. Некоторые электродвигатели предусматрива-

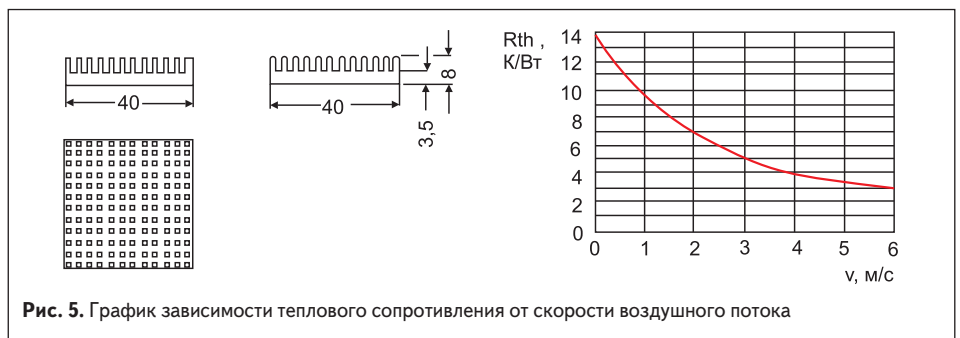


Рис. 5. График зависимости теплового сопротивления от скорости воздушного потока

ют возможность управления с помощью широтно-импульсной модуляции и поэтому особенно хорошо подходят для применения в вентиляторах.

К другим преимуществам принудительной вентиляции, помимо низких температур, относятся меньшее загрязнение воздуха пылью, а также более однородное распределение тепла при частом включении и выключении.

Среди других методов охлаждения светодиодов с большим тепловыделением можно упомянуть термоэлектрическое (на базе элементов Пельтье) и жидкостное охлаждение (через микроканалы и т. п.). Однако эти методы находят лишь ограниченное применение по причине их дороговизны.

Монтаж светодиодов

Особое внимание необходимо уделить сопряжению светодиода и радиатора. Если контакт между ними будет неудовлетворительным, то за счет ухудшения теплопередачи температура светодиода заметно повысится. При этом могут снизиться эффективность и световой поток, а при достаточно высоких температурах наступит необратимое повреждение светодиода.

Наилучший контакт между светодиодом и радиатором достигается только при максимальной ровности контактирующих поверхностей и отсутствии воздушных пузырей, препятствующих теплопередаче. Рекомендуется использовать теплопроводящую пасту, особенно при механическом креплении светодиодов винтами. Приклеивание светодиодов с помощью двусторонней клейкой ленты или двухкомпонентного теплопроводящего эпоксидного клея позволяет сгладить неоднородности поверхностей. Используемые в этом

случае клеящие вещества должны содержать как можно меньше летучих органических соединений, так как последние при испарении с последующей конденсацией на поверхности светодиода могут снизить прозрачность пластмассовой крышки/линзы. Очень хорошего теплового контакта светодиода с радиатором для ряда моделей светодиодов можно достичь, монтируя светодиод на радиаторе путем пайки оплавлением или инфракрасной пайки.

Но при любых способах крепления необходимо принять меры к тому, чтобы никакие соседние или дополнительные электронные компоненты, выделяющие тепло (резисторы, транзисторы и т. п.), не препятствовали отводу тепла от светодиода и не вызывали приток тепла в систему. Разные способы применения требуют разных методов регулирования температурных режимов (рис. 6).

Применение светодиодов для освещения

Во многих случаях светодиоды предпочтительны ввиду их малых размеров, высокой стабильности, эффективности и длительного срока службы. Отсутствие инфракрасных и ультрафиолетовых составляющих в излучении светодиодов благоприятствует их применению в медицине и других областях, где требуется освещать светочувствительные объекты (музеи, галереи).

Относительная устойчивость светодиодов к тряске, ударам и вибрации является существенным фактором, способствующим их применению на транспорте — от велосипедного и автомобильного до железнодорожного, водного и воздушного.

Длительный срок службы светодиодов является преимуществом при их применении



Рис. 6. Пример различных вариантов регулирования температурных режимов

в редко используемом оборудовании (индикаторах), труднодоступных областях (например, во взрывоопасных зонах) и оборудовании с большим объемом технического обслуживания (светофорах, другом светосигнальном оборудовании). К этому добавляются экологические и ценовые преимущества, так как светодиоды не содержат вредных для окружающей среды веществ и очень экономичны. Наконец, что не менее важно, светодиоды позволяют реализовать множество новых конструкторских решений в сфере освещения, которые были невозможны при использовании традиционных источников света.

Следует ожидать, что в будущем светодиод утвердится на рынке как универсальный источник света для всех типов освещения. Во многих случаях условия монтажа светодиодов требуют использования радиаторов. Надлежащие методы регулирования температурных режимов будут способствовать быстрой разработке и обеспечивать длительную безотказную работу светодиодов.

Примечание. Оригинал статьи опубликован на сайте www.led-professional.com