

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

ВИКТОР ЕЖОВ, ИД «Электроника»

В связи с бурным развитием систем освещения на базе светодиодов возрастают требования к тепловым характеристикам мощных СИД. Разработчикам таких систем нужны точные данные о влиянии тепловых условий на световой выход. В статье обсуждаются вопросы стандартизации тепловых показателей СИД, недостатки существующей технической документации на эти приборы, проблемы построения комплексной электротепловой модели и прогнозирования надежности светодиодов. Рассматривается обобщенный алгоритм расчета светового выхода и срока службы светодиодов с учетом тепловых условий в системе.

Температура перехода светодиода играет важную роль в проектировании системы освещения, т.к. от нее зависят многие параметры световой отдачи СИД. Это означает, что управление тепловыми режимами должно стать интегральной частью проектирования системы освещения на базе СИД, что приводит к необходимости применения различных технических дисциплин в общем процессе проектирования.

Следовательно, в настоящее время стандартизация тепловых показателей имеет все большее значение как для производителей СИД, так и для разработчиков систем освещения. Кроме того, на первый план выходит необходимость построения комплексной модели СИД, т.к. световой выход этих приборов зависит от таких параметров как прямое напряжение и ток, рассеиваемая мощность и температура.

ТЕМПЕРАТУРА ПЕРЕХОДА И ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

При проектировании системы освещения разработчику необходимо проверить, находится ли температура перехода в установленных границах, либо ему нужна величина температуры перехода для прогнозирования долговечности устройства. Для расчета температуры перехода T_J наиболее часто используется следующее уравнение:

$$T_J = R_{thJ-ref} \cdot P + T_{ref} \quad (1)$$

где $R_{thJ-ref}$ — тепловое сопротивление переход–контрольная точка на корпусе прибора, величина которого предоставляется производителем СИД, P — мощность, рассеиваемая СИД, T_{ref} — неко-

торая исходная температура, которая зависит от конкретного приложения: это может быть температура окружающей среды (неспецифицированная) или температура в какой-либо контрольной точке корпуса или платы.

После расчета температуры перехода T_J с помощью уравнения (1) она обычно сравнивается с температурой, специфицированной для этого прибора. Если T_J выше специфицированной температуры, система, вероятно, потребует доработки, что приведет к дополнительным затратам времени и средств.

Очевидно, нужно быть уверенным в точности рассчитанного значения T_J до принятия такого решения.

Остановимся более подробно на тепловом сопротивлении. Стандарт [EIA/JEDEC JESD51.1](#)¹ определяет тепловое сопротивление из уравнения (1):

$$R_{thJ-X} = (T_J - T_X) / P_H \quad (2)$$

где T_X — температура в некоторой контрольной точке X , P_H — тепловая мощность, рассеиваемая на приборе.

Уравнение (2) предполагает построение пространственной разности температур в условиях теплового равновесия: нагрев перехода и измерение температуры перехода и температуры в контрольной точке X . Если контрольная температура равна температуре окружающей среды (которую можно проконтролировать при проведении измерений, например, на холодной пластине), то на ненагретом приборе, в начальном состоянии теплового равновесия $T_{J0} = T_X$, т.е. начальная температура перехода равна температуре в контрольной точке.

После нагрева прибора и установления окончательного теплового равновесия достигается конечная температура перехода. Этот процесс, известный как метод статического испытания, позволяет записать уравнение (1) в другой форме. Предположим, в начальном состоянии к прибору прикладывается известная тепловая мощность P_{H1} , а в конечном состоянии — P_{H2} . В этом случае температура перехода для каждого из этих двух состояний будет равна:

$$T_{J1} = R_{thJ-X} \cdot P_{H1} + T_X, \quad (3a)$$

$$T_{J2} = R_{thJ-X} \cdot P_{H2} + T_X. \quad (3b)$$

Вычитая (3a), из (3b) получим:

$$T_{J2} - T_{J1} = R_{thJ-X} \cdot (P_{H2} - P_{H1}). \quad (4)$$

Следует отметить, что в уравнении (4) температуры перехода T_{J1} и T_{J2} получены в разные моменты времени $T_{J1} = T_J(t_1)$ и $T_{J2} = T_J(t_2)$. Подставив эти выражения в (4), после преобразования получим:

$$R_{thJ-X} = [T_J(t_2) - T_J(t_1)] / (P_{H2} - P_{H1}) \quad (5)$$

или

$$R_{thJ-X} = \Delta T_J(t) / \Delta P_H \quad (6)$$

где $\Delta T_J(t) = T_J(t_2) - T_J(t_1) = T_{J2} - T_{J1}$, а $\Delta P_H = P_{H2} - P_{H1}$.

Иными словами, уравнение (6) показывает, что вместо использования пространственной разности температур вдоль оси переход–точка X , тепловое сопротивление можно рассчитать из разности между начальным и конечным

¹ Стандарт [EIA/JEDEC JESD51.1](#) см. на компакт-диске.

стационарным значением температуры перехода и соответствующим изменением тепловой мощности на переходе (см. рис. 1).

Таким образом, вместо разности температур в двух различных точках (пространственная разность) мы берем лишь временное различие в температуре перехода. Основное преимущество разностного подхода, представленного уравнением (6), заключается в том, что неточности в измерениях температуры перехода сводятся к нулю. В случае мощных СИД это позволяет существенно упростить расчет.

Температура перехода и тепловое сопротивление переход–точка X используются разработчиком системы и производителем прибора для разных целей. Разработчик прибора (производитель) стремится достигнуть лучших тепловых характеристик прибора и установить показатели, позволяющие сравнить его с устройствами других производителей. Обычно для этого используется тепловое сопротивление. Величина данного параметра обычно является единственным исходным показателем для разработчика системы освещения, намеревающегося спрогнозировать с достаточной точностью температуру перехода, с помощью которой могут быть рассчитаны и другие важные характеристики СИД. Так как функционирование СИД описывается довольно сложными процессами, необходима комплексная (тепловая, электрическая и оптическая) модель СИД для прогнозирования поведения этих приборов любого производителя. Пример построения комплексной электротепловой модели СИД приведен в [1].

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВЕТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ ИХ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ

Анализ тепловых свойств светодиодов необходим для получения информации о надежности (независимо от обязательного следования требованиям официальных документов, таких как разрабатываемый в настоящее время стандарт по безопасности систем освещения на базе СИД [UL8750](#)). При анализе надежности обычно делают разграничение между приборами как таковыми и корпусами системы:

- надежность прибора: снижение собственного светового выхода в условиях эксплуатации;
- надежность корпуса прибора: отказы, вызванные термическими напряжениями и износом.

Основной проблемой, связанной с тепловыми свойствами прибора, является уменьшение светового выхода со временем до неприемлемого уровня

до того, как произойдет необратимый отказ. Уровень, при котором нарушение стабильности светового потока считается отказом, должен быть стандартизован. Заметим, что за последние годы стабильность светового потока светодиодов значительно улучшилась.

Несмотря на этот прогресс или, возможно, даже из-за него, заказчики интересуются поведением светодиодов, когда режимы эксплуатации СИД выходят за пределы допустимых границ. Ключевую роль в различных механизмах отказов играет превышение абсолютной температурой перехода рекомендуемой величины. На практике остается, однако, вопрос, как измерить температуру с требуемой точностью.

Обратимся к вопросам надежности корпусирования СИД. На рисунке 2 схематически изображены два типа корпуса, содержащего кристаллы СИД.

Следует упомянуть о нескольких механизмах деградации и отказов, связанных с корпусами СИД:

- потемнение содержащего фосфор герметизирующего материала;
- деградация линзы;
- отслаивание клеевых слоев;
- отказы паяных соединений.

Следует отметить, что для высококачественного СИД эти отказы могут происходить только при работе вне допустимых режимов эксплуатации. Светодиоды подвержены также действиям механизмов, связанных с переносом тока, таких как электромиграция и нагрев джоулевым теплом, которое может вызывать чрезмерное локальное повышение температуры в токо-

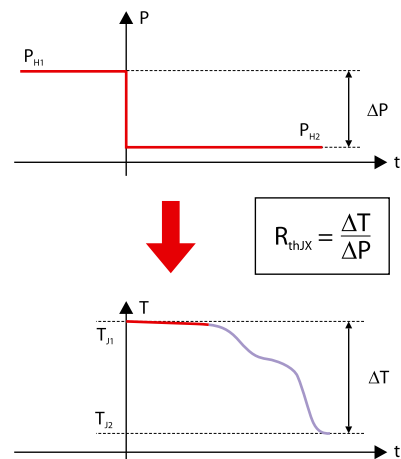


Рис. 1. Тепловое сопротивление переход – точка X, рассчитанное из временной разности температуры перехода и мощности, рассеиваемой на приборе

проводящих дорожках и проволочных выводах. Большинство механизмов деградации и отказов, от которых зависит долговечность устройств на базе СИД, связано с тепловыми процессами. Следовательно, для того чтобы оценить срок службы разрабатываемой системы, инженерам нужна достоверная информация об изменении температуры со временем.

НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Разработчику системы на базе СИД следует учитывать такие важные характеристики как световой поток и эффективность (излучаемый световой поток на единицу электрической мощности, в лм/Вт), причем не только начальные

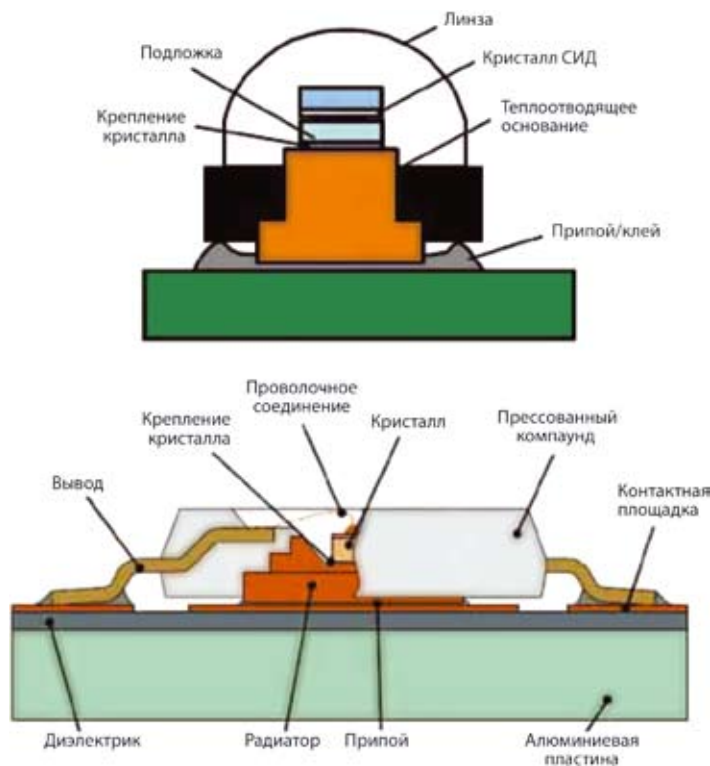


Рис. 2. Схемы двух распространенных типов корпусов СИД

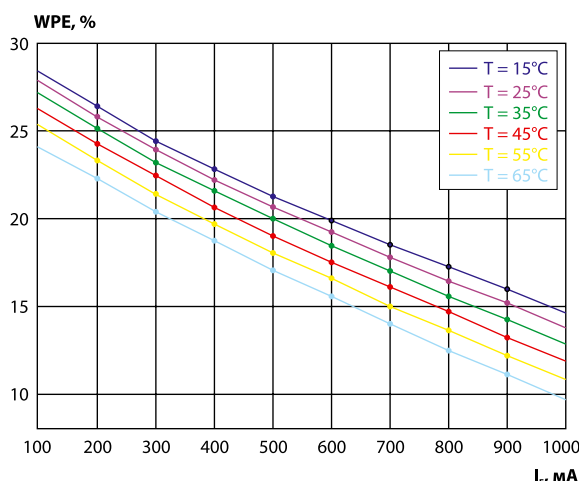


Рис. 3. Зависимость коэффициента WPE от прямого тока и температуры красного СИД семейства Dragon

значения этих параметров, но и их величины после ожидаемого срока эксплуатации системы. Проблема состоит в том, что оба ключевых параметра не связаны линейной зависимостью с питающим током и температурой. Следовательно, недостаточно указывать в технической документации данные об этих параметрах только при некоторой допустимой температуре. С точки зрения опытного разработчика, существующая техническая документация обладает следующими недостатками:

- техническая документация не отражает эксплуатацию прибора в реальных условиях, особенно это касается рабочей температуры. Часто температура перехода специфицирована при 25°C, что может вводить в заблуждение, т.к. эффективность при максимальной номинальной мощности может быть снижена на 50%;
- документация сильно различается по содержанию (T_{ref} , I_{ref});
- часто невозможно прямое сравнение параметров приборов;
- использование неспецифицированных единиц измерений параметров представляет трудность даже для опытного инженера;
- в ряде случаев на практике использование производителем СИД метода последовательного теплового сопротивления не позволяет получить достоверные данные о тепловых характеристиках прибора.

Следует заметить, однако, что среди лидирующих поставщиков СИД наметилась тенденция помещать в техническую документацию более реалистичные данные.

Примеры проблем в технической документации на приборы

Определение мощности

Хотя большинство вендоров СИД выполняет тестирование тепловых характеристик согласно стандарту EIA/JEDEC JESD51-1, не все из них правильно

определяют мощность P_H в уравнении (2). Стандарт ясно говорит о «мощности, рассеиваемой прибором», и не дает никаких пояснений о том, как ее рассчитать. Для кремниевых диодов ясно, что $P_H = I_F \cdot V_F$ (электрическая мощность, подводимая к диоду, рассчитывается как произведение общего прямого тока на прямое напряжение), в то время как в случае СИД необходимо учесть энергетический баланс при расчете рассеиваемой мощности.

Для СИД высокой мощности компонента тока, связанная с излучательной рекомбинацией (которая вызывает световой выход), составляет значительный процент от общего прямого тока I_F и, следовательно, произведение $I_F \cdot V_F$ не отражает тепло, рассеиваемое на приборе (на p-n-переходе). Часть I_F , связанная с излучательной рекомбинацией, не должна быть включена в расчет рассеиваемого тепла, т.к. связанная с ним энергия излучается в виде света.

Возможно, наибольшей проблемой сегодня, которая затрудняет честное сравнение характеристик СИД, является то, что вендоры не учитывают световой выход при расчете тепловой мощности своих СИД. Многие производители определяют рассеиваемую мощность только как произведение прямого напряжения на общий прямой ток, не учитывая эффективность преобразования тока в свет. Это ставит в неблагоприятное положение на рынке тех производителей, которые корректно применяют физические принципы при измерениях тепловых характеристик.

Для того чтобы проиллюстрировать эту ситуацию, рассмотрим два простых примера. Определим $R_{th,el}$ как тепловое сопротивление, связанное только с общей электрической мощностью $P_{el} = I_F \cdot V_F$, а $R_{th,real}$ — как реальное тепловое сопротивление корпуса СИД, связанное с реальной рассеиваемой мощностью, которая равна $P_H = P_{el} - P_{opt} = P_{el} \cdot (1 - WPE)$. WPE (wall-plug efficiency) — это коэффициент преобразования электри-

ческой энергии в оптическую, который рассчитывается как отношение питающей электрической мощности к излучаемой оптической мощности СИД: $WPE = P_{opt}/P_{el}$. Излучаемая оптическая мощность P_{opt} может быть измерена при известных значениях прямого тока I_F и контрольной температуры T_{ref} как общий радиометрический поток светодиода $\Phi_e(I_F, T_{ref})$. Для этого используют процедуру, рекомендованную стандартом по измерениям параметров СИД [CIE 127-2007](#).

Случай 1: $WPE = 25\%$, $P_{el} = 10$ Вт, $\Delta T_J = 50^\circ\text{C}$.

Тогда получим:

$$R_{th,el} = \Delta T_J / P_{el} = 50/10 = 5,0 \text{ К/Вт},$$

$$\begin{aligned} R_{th,real} &= \Delta T_J / P_{el} - P_{opt} = \\ &= \Delta T_J / [P_{el} \cdot (1 - WPE)] = \\ &= 50 / (10 \cdot 0,75) = 6,67 \text{ К/Вт}. \end{aligned}$$

Случай 2: $WPE = 50\%$, $P_{el} = 10$ Вт, $\Delta T_J = 50^\circ\text{C}$.

Тогда получим:

$$R_{th,el} = \Delta T_J / P_{el} = 50/10 = 5,0 \text{ К/Вт},$$

$$\begin{aligned} R_{th,real} &= \Delta T_J / P_{el} - P_{opt} = \\ &= \Delta T_J / [P_{el} \cdot (1 - WPE)] = \\ &= 50 / (10 \cdot 0,5) = 10 \text{ К/Вт}. \end{aligned}$$

Тепловая характеристика СИД, называемая тепловым сопротивлением, должна быть связана только с физическими свойствами и геометрическими размерами кристалла и корпуса. На практике проблема состоит в том, что пользователи должны также учитывать эффективность WPE.

Для того чтобы предотвратить неточность при сравнении параметров СИД разных производителей, возможно, имеет смысл ввести вместо показателя R_{th} , по аналогии с тепловыми стандартами на микросхемы, параметр ψ . Преимуществом такого показателя ψ является то, что пользователю не нужно знать эффективность преобразования, но он может получить более или менее правильное представление о тепловом сопротивлении из сравнения двух указанных в документации значений, с ударением на это «более или менее». С другой стороны, более высокая эффективность представляет собой весомый аргумент для того, чтобы заинтересовать заказчика и, следовательно, имеет смысл также указывать этот параметр в технической документации.

Как показано на рисунке 3, общая эффективность преобразования (обозначенная ранее как WPE) зависит от температуры и тока.

Метод последовательного теплового сопротивления

В качестве примера проблемы, связанной с методом последовательного сопротивления, взглянем на техническую документацию одного из основных производителей СИД. На рисунке 4 представлена схема расчета теплового сопротивления из типичного указания по применению светодиода. В основе метода последовательного сопротивления лежат следующие допущения:

- тепло, сгенерированное на переходе, передается через тепловую площадку, печатную плату, радиатор и излучается в окружающую среду.

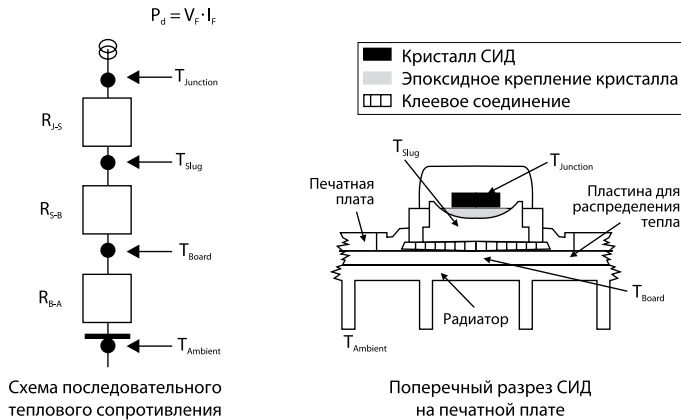
- сопротивление определяется локально, другими словами, тепловое сопротивление от кристалла до теплоотводящего основания зависит только от локальных параметров;

- следовательно, индивидуальные сопротивления независимы друг от друга. Например, тепловое сопротивление от кристалла к радиатору не зависит ни от теплопроводности платы, ни от коэффициента теплопроводности радиатора.

Чтобы проверить обоснованность данных допущений, было проведено моделирование с использованием CFD-кода светодиода Luxeon Rebel (Philips Lumileds), размещенного на плате.

Процедура проверки была следующей. Некоторые параметры, такие как теплопроводность платы и коэффициент теплопереноса, изменялись в широком диапазоне с целью иллюстрации, а значения теплового сопротивления рассчитывались согласно указанию по применению светодиода. Графики, показанные на рисунке 5, отражают наиболее важные результаты.

На верхнем графике тепловое сопротивление кристалл – теплоотводящая площадка должно зависеть только от размеров и теплопроводности площадки, а не от теплопроводности платы и коэффициента теплопереноса h . Во всем диапазоне изменения этих параметров мы видим отклонение в пределах 15%, что, по-видимому, вполне приемлемо для большинства практических приложений. Нижний график отражает тепловое сопротивление теплоотводящая площадка – плата, в зависимости от ее теплопроводности и h . В данном случае, R_{th} должно быть пропорционально k_{board} и не зависеть от h . Видно, что возникают проблемы, когда эффективная проводимость платы становится менее 5 K/Вт, потому что величина указанных сопротивлений начинает зависеть от особенностей приложения, что нельзя обеспечить достаточно надежно.



$$R_{J-a} = R_{J-s} + R_{s-b} + R_{b-a}$$

Где
 R_{J-s} – тепловое сопротивление кристалла, эпоксидного клея и теплоотводящего основания,
 R_{s-b} – тепловое сопротивление клея и алюминиевой пластины для распределения тепла,
 R_{b-a} – тепловое сопротивление клея между радиатором и алюминиевой пластиной для распределения тепла.

Рис. 4. Пример расчета последовательного теплового сопротивления из указаний по применению СИД

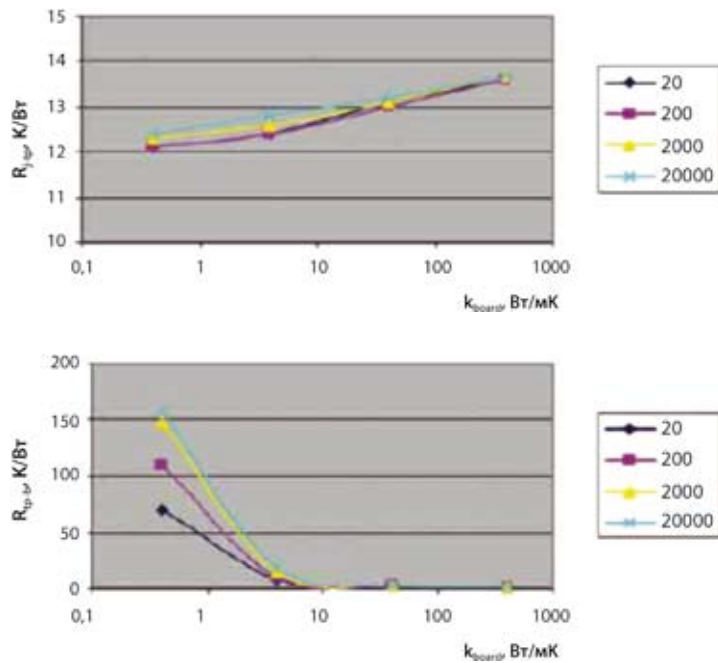


Рис. 5. Графики, демонстрирующие недостатки метода последовательного сопротивления при значениях коэффициента теплопереноса h 20...20000 Вт/м²К (вверху: тепловое сопротивление кристалл – теплоотводящая площадка; внизу: тепловое сопротивление теплоотводящая площадка – плата)

Эта ситуация является следствием рассеяния тепла, когда невозможно разделить проводящие и конвекционные пути. Другими словами, метод последовательного сопротивления никогда не обеспечит независимую тепловую модель с граничными условиями. Однако имеются исключения. Для многих СИД высокой мощности поперечными температурными градиентами можно пренебречь. В таких случаях можно показать, что метод последовательного сопротивления вполне допустим. Например, для современных мощных СИД нижний предел

0,3 K/Вт на графике (см. рис. 5) нереален. Следует также заметить, что не во всех случаях обязательно корректное значение некоторых тепловых сопротивлений, потому что эти сопротивления могут не быть преобладающими в реальных приложениях. Часто выясняется, что основным является тепловое сопротивление к окружающей среде, следовательно, неточности в опубликованных данных могут не быть критичными.

Другие вопросы, связанные со стандартизацией и измерениями тепловых характеристик СИД, рассмотрены в [1].

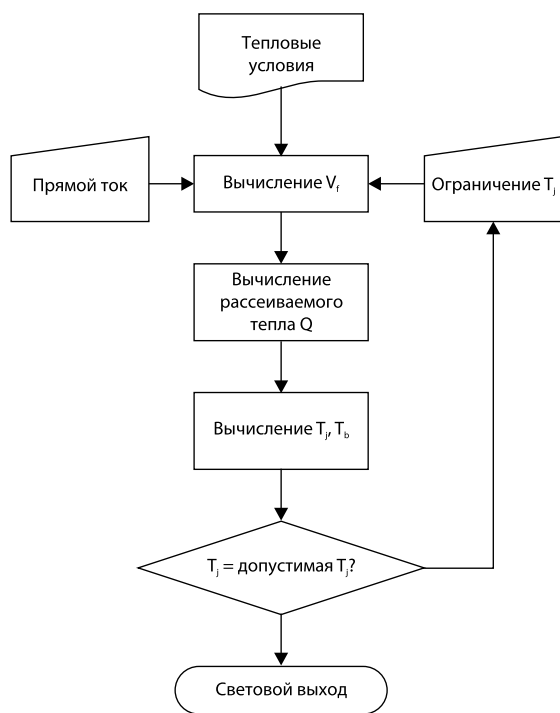


Рис. 6. Блок-схема алгоритма расчета светового выхода СИД

РАСЧЕТ СВЕТОВОГО ПОТОКА И СРОКА СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДА С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ

При проектировании системы освещения на базе СИД необходимо учитывать зависимость характеристик и долговечности светодиодов от температуры окружающей среды. Типовые задачи для разработчика такой системы включают расчет необходимого для условий эксплуатации теплоотводящего радиатора — максимальной площади, структуры и способа изготовления, типа покрытия и т.д. Необходимо также определить электрические условия работы системы: уровень рабочего тока, а также рабочую температуру, при которой прибор должен обеспечить требуемый световой выход и срок службы.

Значения рабочей температуры светодиодов отличаются от температурного диапазона обычных электронных компонентов тем, что максимальный световой выход достигается при температуре, меньшей, чем допустимая максимальная температура прибора. Например, максимальная допустимая температура перехода может быть определена равной 125°C; однако световой выход при этой температуре может быть таким же, что и при намного меньшей температуре, т.к. эффективность прибора уменьшается. В этом случае рассеяние тепла значительно больше. Преимущество светодиодного освещения перед другими типами систем освещения заключается в

сбережении энергии, но эта экономия может быть сведена к нулю, если прибор работает при максимальной температуре.

Исходным пунктом для анализа и расчета разрабатываемой системы является установление взаимосвязи между электрическими характеристиками и световым излучением светодиода. Т.к. эти соотношения предоставляются производителями СИД только в виде таблиц, необходимо построение соответствующих кривых. Кроме этих соотношений, для расчета необходимы такие данные как тепловое сопротивление переход–печатная плата, температурный коэффициент и диапазон рабочих температур, которые указаны в технической документации на прибор.

Для проведения теплового анализа также нужны данные по объему пространства, доступному в системе рассеивания тепла, общие параметры конструкции радиатора и тепловые характеристики материалов для соединения компонентов СИД. Эта информация зависит от условий конкретного приложения.

Наконец, для оценки срока службы системы должны быть получены данные о температуре и рабочем токе в виде коэффициентов Вейбулла или в виде графиков.

Целью теплового анализа является установление диапазона рабочего тока, обеспечивающего максимальный световой выход и достаточную долговечность с учетом тепловых условий и параметров радиатора.

Обобщенная процедура анализа

Наилучшим способом реализации теплового анализа является использование автоматизированного алгоритма, например с помощью электронных таблиц. Это обеспечивает удобство и быстроту сравнения полученных результатов. Блок-схема возможной процедуры расчета представлена на рисунке 6.

Процедура начинается с расчета значений прямого тока и тепловых условий, включая начальную оценку температуры перехода. Прямое напряжение, рассеиваемое тепло и температура рассчитываются итерационно, а затем полученные значения этих параметров используются для получения величины светового выхода.

Прямое напряжение

Используя математическое представление данных из технической документации, производится расчет прямого напряжения (см. далее). Обратная задача также выполнима: по заданной величине прямого напряжения можно рассчитать прямой ток.

Мощность и тепло

Светодиод потребляет некоторую энергию — произведение прямого тока на прямое напряжение. Не вся эта энергия рассеивается как тепло, т.к. некоторая ее часть превращается в свет; однако обычно техническая документация на СИД не содержит эту информацию, так же как не содержит и данные по эффективности преобразования энергии. Традиционный подход предполагает, что вся мощность рассеивается как тепло. Это приводит к завышению расчетной температуры и, как следствие, требует использования радиатора большего размера, чем нужно на самом деле. Преобразование из мощности светового пучка в световой выход возможно, если известно распределение длины волны.

Температура перехода

Далее рассчитывается температура перехода и сравнивается с допустимым значением. Напряжение и мощность пересчитываются до тех пор, пока не будет получено допустимое значение температуры перехода. Затем может быть рассчитан световой поток.

Математические соотношения для расчета

Для выполнения автоматизированного расчета полезно иметь математические соотношения, которые описывают параметры прибора. Хотя в технической документации, как правило, содержится вся необходимая информация, стоит потратить время, чтобы построить кривые зависимостей

параметров приборов. Было бы удобнее, если бы техническая документация уже содержала эти данные.

Тепловые условия

Тепловые условия включают температуру окружающей среды, канал переноса тепла между переходом и платой из технической документации, характеристики материалов, участвующих в тепловом взаимодействии, и тепловые параметры радиатора (естественное охлаждение для систем освещения, принудительное охлаждение для проекционных источников света). Эти параметры можно получить как путем построения кривых на основе данных из технической документации, так и путем теплового расчета радиатора.

Некоторые допущения могут упростить анализ. Первое допущение состоит в том, что канал переноса тепла находится в установившемся режиме, имеет постоянную мощность и является одномерным, так что

$$R_{ja} = R_{jb} + R_{bar} \quad (7)$$

где R_{ja} — общее тепловое сопротивление между переходом и окружающей средой, R_{jb} — тепловое сопротивление переход–плата, R_{bar} — тепловое сопротивление плата–окружающая среда.

Второе допущение заключается в том, что R_{ba} является постоянной величиной при изменении температуры и рассеянии тепла. Конечно, при необходимости можно воспользоваться и более сложными выражениями.

Прямой ток и напряжение

На рисунке 7 показан пример зависимости прямого напряжения от прямого тока СИД [3], которая может быть аппроксимирована в диапазоне 400...1000 мА линейной функцией с погрешностью менее 1% (данные из технической документации)

$$V_f(I_f) = a_0 + a_1 I_f \quad (8)$$

где $a_0 = 16,267$ В, $a_1 = 0,0064$ В/мА, при этом прямой ток I_f измеряется в мА, а прямое напряжение V_f — в В.

В технической документации в качестве независимой переменной определено прямое напряжение, но на практике возможна регулировка тока с помощью микросхемы драйвера. Таким образом, может быть более удобно для расчета проекта использовать ток как независимую переменную.

Прямое напряжение и температура

Прямое напряжение зависит от температуры перехода и температу-

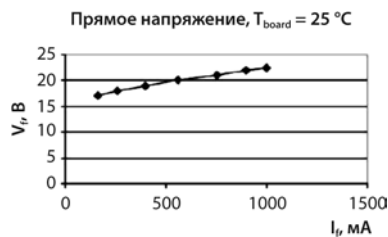


Рис. 7. Пример зависимости прямого напряжения от прямого тока СИД

ры радиатора. Часто это зависимость является линейной с коэффициентом, указанным в технической документации [4]. Например, этот коэффициент может быть равным $b_1 = -4,5$ мВ/К в диапазоне $-10...100^\circ\text{C}$ при начальной температуре платы $T_{b,ref} = 25^\circ\text{C}$. Зависимость напряжения от температуры определится следующим образом:

$$V_f(T) = V_f(I_f) + b_1(T_b - T_{b,ref}). \quad (9)$$

Заметим, что не все вендоры используют температуру платы T_b как контрольную в данном соотношении, некоторые из них используют температуру перехода T_j .

Поток тепла

Прямой ток I_f , умноженный на прямое напряжение V_f , дает рассеиваемую мощность, необходимую для расчета тепловых характеристик. Предполагается, что мощность, содержащаяся в световом пучке, незначительна [3, 5]. Как было сказано, для более точного расчета тепловых условий в системе производителям СИД следует предоставлять информацию о реальной мощности, рассеиваемой на радиаторе. Компания Mentor Graphics предлагает оборудование для точного определения световой мощности СИД TeraLED². В отсутствие таких данных для расчета можно использовать коэффициент преобразования энергии η , который уменьшает рассеиваемую мощность. Заметим, что этот коэффициент может также зависеть от контрольной температуры. Для случая одномерного установившегося теплового потока

$$T_b = T_j - R_{jb} V_f I_f (1 - \eta). \quad (10)$$

Имеется вероятность, что при определении величины теплового сопротивления в технической документации на прибор была использована общая мощность, а не рассеиваемое тепло — в указании по применению об этом может быть не сказано. Если это так, то величина R_{jb} , указанная в технической документации, может быть некорректна [1].

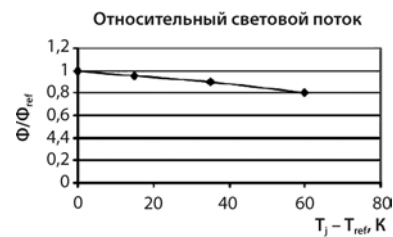


Рис. 8. Относительный световой поток как функция изменения температуры перехода от начального значения температуры

Относительный световой поток и температура перехода

Видимый световой выход Φ_v изменяется при изменении температуры прибора. Для примера на рисунке 8 изображен график изменения относительного светового выхода с температурой для светодиода LEW E3A компании OSRAM [4]. Эта зависимость может быть математически описана с помощью линейной функции

$$\Phi_v/\Phi_{v,ref}(T_j) = c_0 + c_1(T_j - T_{ref}), \quad (11)$$

где $\Phi_{v,ref}$ — световой выход при начальных условиях, например, когда прибор работает при токе $I_{f0} = 700$ мА и имеет температуру перехода $T_j = 25^\circ\text{C}$; $c_0 = 1$; $c_1 = 0,003236$ К⁻¹.

Это выражение представляет данные с точностью в пределах 1%.

Относительный световой поток и прямой ток

Световой выход возрастает с увеличением прямого тока, подаваемого на светодиод. Общепринятый способ представить эту зависимость — определить отношение видимого светового выхода Φ_v к световому потоку в начальных условиях $\Phi_{v,ref}$. Применив процедуру, описанную выше, можно получить выражение второго порядка:

$$\Phi_v/\Phi_{v,ref}(I_f) = d_0 + d_1 \frac{I_f}{I_{f0}} + d_2 \left(\frac{I_f}{I_{f0}} \right)^2, \quad (12)$$

где $d_0 = -0,0481$, $d_1 = 1,451$, $d_2 = -0,404$ при $I_{f0} = 700$ мА.

Конечно, можно использовать и другие подходящие функции.

Световой выход

Так как световой выход зависит от двух переменных величин и в технической документации нет полной информации об этой функции, для первого приближения можно допустить, что данная функция разделима, т.е. является произведением светового выхода в начальных условиях и двух выражений, полученных выше:

$$\Phi_v = \Phi_{v,ref} \Phi(T)/\Phi_{v,ref} \Phi(I_f)/\Phi_{v,ref} \quad (13).$$

² Техническое описание тестового оборудования TeraLED компании Mentor Graphics см. на компакт-диске.

Используя выражения, полученные выше, это уравнение можно преобразовать:

$$\Phi_v/\Phi_{v,ref}(I_f) = \left(c_0 + c_1(T_j - T_{ref}) \right) \left(d_0 + d_1 \frac{I_f}{I_{f0}} + d_2 \left(\frac{I_f}{I_{f0}} \right)^2 \right) \quad (14).$$

Используя эти функции, можно на основе расчета тепловых и оптических характеристик найти оптимальный баланс между тепловыми условиями и рабочими параметрами разрабатываемой системы на базе СИД.

Срок службы

Срок службы — также функция двух переменных. В [6] приведен график, показывающий срок службы как функцию температуры перехода для различных рабочих токов. Срок службы определяется как время, за которое световой выход СИД уменьшается до 70% от его первоначального значения. Интересной особенностью этого графика является то, что ниже критичной температуры, в данном случае 120°C, срок службы оказывается постоянным независимо от тока. Простейший подход для оценки долговечности заключается в том, чтобы рассматривать критичную температуру как верхний предел срока службы для разрабатываемой системы. Выше этой границы может быть использована экспоненциальная зависимость от температуры, т.к. обусловленная температурой надежность имеет распределение Вейбулла [6].

Эта зависимость для срока службы светодиода L70 будет иметь вид:

$$L70(I_f, T_j) = C_0(I_f) \exp^{-mT_j}, \quad (15)$$

где коэффициент C_0 является функцией прямого тока, а m — константа.

Пример расчета параметров системы на базе СИД приведен в [2]. В этом примере получены зависимости светового выхода от прямого тока при различных тепловых условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепловые условия в значительной степени влияют на световой выход, электрические режимы эксплуатации и долговечность светодиодов и, следовательно, их следует тщательно учитывать при проектировании системы освещения на базе СИД. В особенности, температура СИД влияет на оптические и электрические характеристики и, кроме того, на потребляемую мощность. Существующая техническая документация не отражает в полной мере особенности тепловых характеристик светодиодов и должна быть улучшена с целью обеспечения разработчика надежными данными, необходимыми для расчета тепловых характеристик системы. Предложенная обобщенная процедура расчета и примеры аналитических выражений позволяют получить световой выход СИД в зависимости от тепловых условий. Данная методика позволяет выбрать температуру перехода на основе светового выхода, близкого к максимальной величине.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Andras Poppe, Clemens J.M. Lasance. On the Standardization of Thermal Characterization of LEDs](#)
2. [Cathy Biber. Effect of Thermal Environment on LED Light Emission and Lifetime](#)
3. [OSTAR®-Lighting Application Note, Osram Opto Semiconductors GmbH](#)
4. [LEW E3A Datasheet, Osram Opto Semiconductors GmbH](#)
5. [Thermal Management of OSTAR® Projection Light Source Application Note, Osram Opto Semiconductors](#)
6. [Understanding Power LED Lifetime Analysis, Philips Lumileds White Paper](#)



KERAFOL®

Качество из Германии






- Керамические мягкие пленки для отвода тепла
- Теплопроводные пасты для заполнения зазоров
- Клеи, компаунды
- Графитовые, ферритовые пленки

KERATHERM®

Материалы для отвода тепла



Официальный дистрибьютор в России
ЗАО «РЕОМ СПб»

Тел./Факс: (812) 327-96-60, 387-55-06, 387-65-64, 387-86-94
E-mail: reom@reom.ru, Web: www.reomspb.ru
Россия, 196105, Санкт-Петербург, просп. Ю. Гагарина, д. 1

НОВОСТИ МУЛЬТИМЕДИА И ТЕЛЕКОМ

СТАНДАРТ ЦИФРОВОГО ТВ, НА КОТОРЫЙ СОБИРАЕТСЯ ПЕРЕЙТИ РОССИЯ В 2015 Г. УСТАРЕЛ? |

Специалисты утверждают, что стандарт цифрового ТВ, на который собирается перейти Россия в 2015 г., уже устарел. По словам генерального директора компании «Информационные транковые системы» В. Кригера, стандарт эфирного вещания DVBT был актуален 6—7 лет назад. Сейчас во всех развитых странах на смену ему пришел стандарт DVBT-2. Число несущих частот последнего в 4 раза больше, чем у DVBT, и составляет 32 тыс. По количеству передаваемой информации DVBT-2 превосходит своего предшественника на 40%, он более помехоустойчив, а его передатчики работают с гораздо меньшими энергозатратами, чем передатчики DVBT. По мнению В. Кригера, нынешний проект оцифровки российского телевидения и радио на основе стандарта DVBT на практике будет означать инвестирование миллиардов рублей в технологию вчерашнего дня.

ФЦП «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009—2015 гг.», спроектированная Минкомсвязи, находится сейчас на утверждении в Правительстве. Проект предусматривает поэтапный переход на цифровой формат телерадиовещания. Начать планируется с Дальнего Востока, где уже к началу 2011 г. должно стартовать эфирное цифровое вещание стандарта DVBT.

На строительство новых объектов и модернизацию существующей ретрансляционной системы в одном только этом регионе России планируется потратить 29 млрд руб. из государственного бюджета. Строительство должно начаться в нынешнем году.

www.russianelectronics.ru