

## Тепловой режим мощных светодиодов.

Основной причиной выхода из строя светодиодов, является их не правильный тепловой режим. Превышение температуры полупроводникового перехода ведет к уменьшению светового потока, ускоренной деградации кристалла и стрессу в золотых проводниках, соединяющих кристалл с корпусом (выводами) что ведет к выходу его из строя.

При расчете теплового режима работы светодиода, необходимо получить ответы на следующие вопросы:

1. Какая температура окружающей среды является максимально допустимой и не приводит к разрушению светодиода (его полупроводникового перехода).
2. Какой радиатор охлаждения надо выбрать для нормальной, безопасной работы светодиода. А фактически, рассчитать тепловое сопротивление необходимого радиатора, по которому можно выбрать соответствующий типоразмер у одного из множества производителей.

На температуру перехода в первую очередь влияют 3 параметра:

- путь распределения тепла, между переходом и окружающей средой (определяется тепловым сопротивлением);
  - мощность рассеяния светодиода;
  - температура ближайшей окружающей среды светодиода (косвенно определяет температуру перехода светодиода).
- Чем ниже любой из этих параметров – тем лучше для светодиода. Рассмотрим эти параметры и их взаимосвязи.

### Тепловое сопротивление

Тепловое сопротивление между двумя точками определяется отношением разности их температур к мощности рассеяния светодиода:

$$R_{\Theta}=(T_1-T_2)/P_d$$

Для расчетов будем измерять тепловое сопротивление в градусах Цельсия на ватт - °C/W.

Применительно к светодиоду имеем 2 основных пути распределения тепла:

1. От полупроводникового перехода (junction - j) до термического контакта светодиода (как правило металлический контакт на обратной стороне корпуса, т.е. между корпусом и светодиода и радиатором, печатной платой и т.п.) так называемая «точка пайки» – solder point - sp. Тепловое сопротивление этого пути определяется дизайном корпуса светодиода и его качеством изготовления. Этот путь рассматривается как тепловое сопротивление между переходом и точкой пайки ( $R_{\Theta_{j-sp}}$ ).
  - 2) От термического контакта к окружающей среде (ambient – a). Тепловое сопротивление этого пути определяется средой между термическим контактом светодиода и окружающей средой (печатная плата, радиатор, вентилятор и т.п.). Этот путь рассматривается как тепловое сопротивление между точкой пайки и окружающей средой ( $R_{\Theta_{sp-a}}$ ).
- Общее тепловое сопротивление между переходом светодиода и окружающее средой  $R_{\Theta_{j-a}}$  определяется как сумма последовательных сопротивлений:

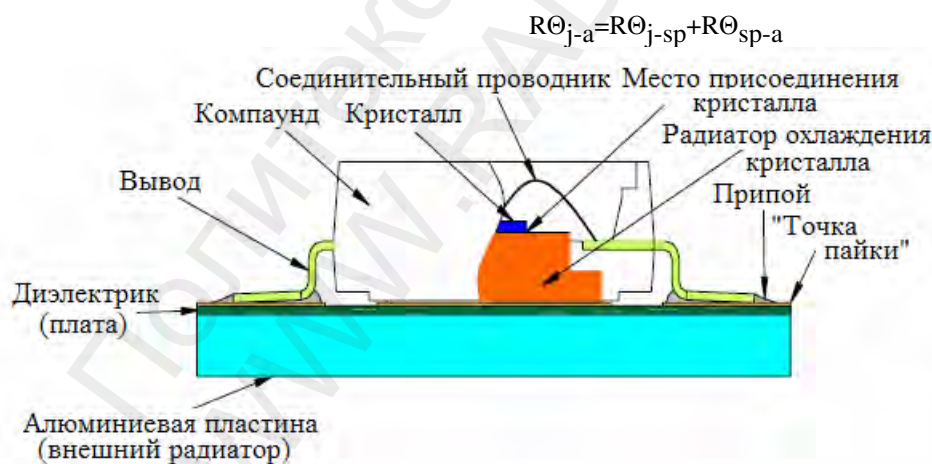


Рис. 1 Модель теплового сопротивления светодиода.

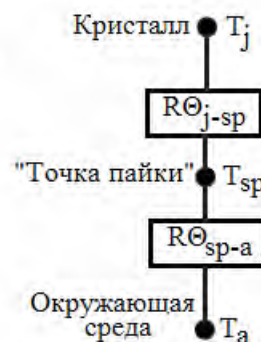


Рис. 2 Модель общего теплового сопротивления светодиода.

### Мощность рассеяния.

Общая мощность рассеиваемая светодиодом ( $P_d$ ) определяется прямым напряжением ( $V_f$ ) и реальным прямым током ( $I_f$ ) светодиода:

$$P_d = V_f * I_f$$

### Температура перехода светодиода.

Температура полупроводникового перехода светодиода ( $T_j$ ) определяется суммой температуры окружающей среды ( $T_a$ ) и произведения теплового сопротивления переход - окружающая среда на мощность рассеяния:

$$T_j = T_a + (R_{\Theta_{j-a}} * P_d)$$

### Расчеты.

В большинстве случаев мощные светодиоды монтируются на печатной плате с металлической подложкой из алюминия, которая подсоединяется к радиатору охлаждения. Поток тепла движется по пути от перехода светодиода через печатную плату к радиатору охлаждения, который отводит тепло в окружающую среду. В большинстве случаев контактное тепловое сопротивление между светодиодом и печатной платой и/или радиатором достаточно малое по отношению к тепловому сопротивлению между переходом светодиода и «точкой пайки», а так же «точкой пайки» и окружающей средой.

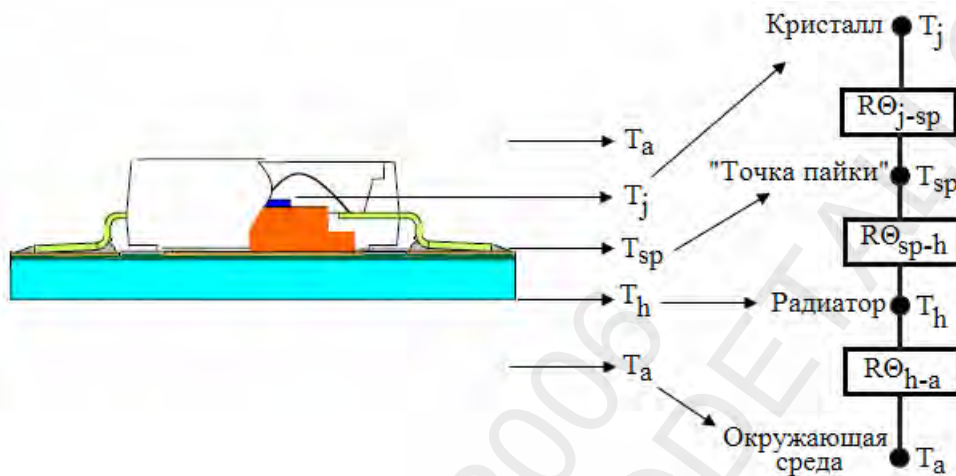


Рис. 3 Модель теплового сопротивления светодиода, включая охлаждающий радиатор.

Когда используется радиатор, общее тепловое сопротивление состоит из последовательно включенных тепловых сопротивлений от перехода к «точке пайки» ( $R_{\Theta_{j-sp}}$ ), от «точки пайки» к радиатору ( $R_{\Theta_{sp-h}}$ ), и от радиатора к окружающей среде ( $R_{\Theta_{h-a}}$ ), см. рис. 3.

$$R_{\Theta_{j-a}} = R_{\Theta_{j-sp}} + R_{\Theta_{sp-h}} + R_{\Theta_{h-a}}$$

Заметим, что прямые потери тепла из корпуса светодиода в окружающую среду достаточно малы, и они не учитывались в расчетах.

Для того чтобы удержать температуру перехода светодиода ниже максимально допустимого уровня, необходимо подобрать радиатор с максимальным температурным сопротивлением не выше расчетного  $R_{\Theta_{h-a}}$ .

### Пример 1. Расчет теплового сопротивления радиатора.

Для примера возьмем 6 одноваттных белых светодиодов, для использования их в приборе с температурой окружающей среды  $T_a = 55^\circ\text{C}$ . Предполагаем типичное прямое напряжение  $V_f = 3.25\text{ V}$  при  $I_f = 350\text{ mA}$ , источник питания находится вне платы со светодиодами. Реальные же параметры, реальных светодиодов необходимо замерять, однако данные примеры служат для теоретических расчетов, необходимых для предварительного выбора реальных радиаторов, что делается с небольшим запасом. После выбора радиатора и его установки, можно произвести на нем реальные измерения и скорректировать данные расчеты, если имеется такая необходимость. Такая необходимость может быть обусловлена, в частности, выбором более экономичного радиатора исходя из реальных данных.

Общая мощность рассеяния светодиода рассчитывается так:

$$P_d = 6 * 0.350\text{ A} * 3.25\text{ V} = 6.825\text{ W}.$$

Температурная модель будет выглядеть так:

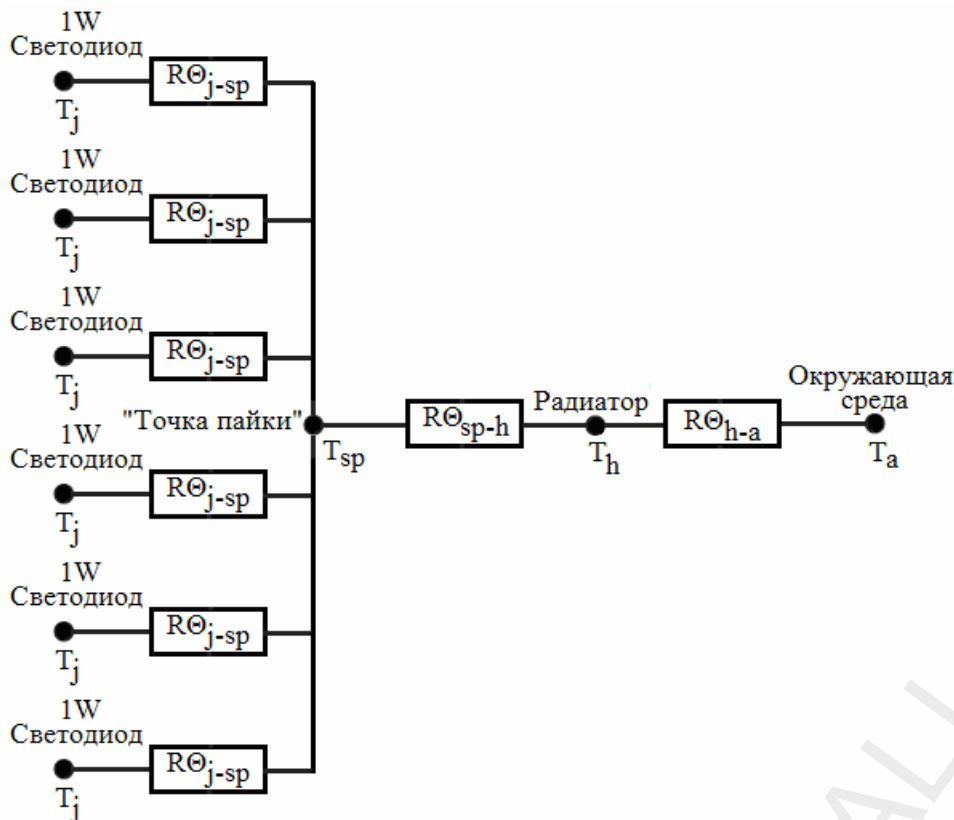


Рис. 4 Температурная модель 6 одноваттных белых светодиодов.

Термическое сопротивление от полупроводникового перехода к «точке пайки» указывается в технической документации и для светодиода PG1N-1LWE фирмы ProLight равно 10°C/W. Максимальная температура перехода указанная в документации составляет 135°C (это на 10°C лучше чем у других известных производителей). Отсюда:

$$T_j = T_a + P_d * (R_{\Theta j-sp} / 6 + R_{\Theta sp-h} + R_{\Theta h-a})$$

Термическое сопротивление между «точкой пайки» и радиатором,  $R_{\Theta sp-h}$ , зависит от чистоты обработки поверхности радиатора, приложенного давления при установке на радиатор светодиода, площадью контакта, от типа материала радиатора, его толщины и пр. При хорошем расчете и изготовлении оно может быть минимизировано до 1°C/W.

Максимальное термическое сопротивление от радиатора в окружающую среду, рассчитывается так:

$$R_{\Theta h-a} = (135^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C/W} * 6.825\text{W} / 6 - 1^\circ\text{C/W} * 6.825\text{W}) / 6.825\text{W} = 9.06^\circ\text{C/W}$$

Для сравнения 7090 белый светодиод XLamp фирмы Cree значительно хуже 6.42°C/W, у Seoul Semiconductor Z-Power 1W белый светодиод немного лучше 6.6°C/W.

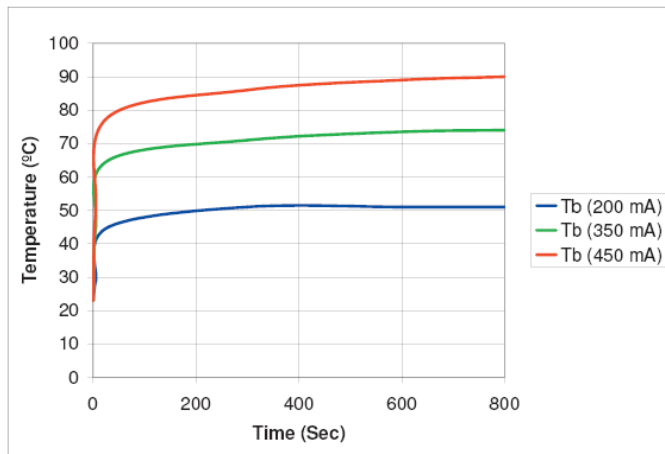
Т.е. для того, чтобы удержать температуру кристалла ниже 135°C, в худшем случае, термическое сопротивление внешнего радиатора для светодиода PG1N-1LWE фирмы ProLight к окружающей среде должно выбираться меньше чем 9.06°C/W. Ну а радиатор с таким термическим сопротивлением выбираются по документации производителей радиаторов или путем моделирования и тестирования.

### Пример 2. Расчет и тестирование теплового сопротивления.

Не рекомендуется использование мощных светодиодов без радиаторов охлаждения, иначе последствия могут стать печальными.

Рассчитаем термическое сопротивление и рабочую температуру одного светодиода PG1N-1LWE установленного на печатной плате с алюминиевой подложкой в качестве радиатора и площадью 6.5 см<sup>2</sup>. Т.е. с окружающей средой будет контактировать непосредственно алюминиевая подложка.

Для того, чтобы рассчитать термическое сопротивление от кристалла до окружающей среды, необходимо измерить температуру на обратной стороне платы или в «точке пайки», например посредством термопары. На графике показана температура платы для различных токов светодиода (температура в помещении поддерживалась около 23°C):



Вследствие низкой теплопроводности плата - окружающая среда, температура быстро достигает стабильного состояния. Температура измерялась для различных прямых токов светодиода. Так как  $R_{\Theta_{j-sp}}=10^{\circ}\text{C}/\text{W}$  и принимая термическое сопротивление  $R_{\Theta_{sp-h}}=1^{\circ}\text{C}/\text{W}$ , температура кристалла на различных токах рассчитывается так:

$$T_j = T_a + (R_{\Theta_{j-a}} * P_d)$$

где,

$$R_{\Theta_{j-a}} = R_{\Theta_{j-h}} + R_{\Theta_{h-a}}$$

$$R_{\Theta_{j-h}} = R_{\Theta_{j-sp}} + R_{\Theta_{sp-h}} = 10^{\circ}\text{C}/\text{W} + 1^{\circ}\text{C}/\text{W} = 11^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\Theta_{h-a}} = (T_h - T_a) / P_d$$

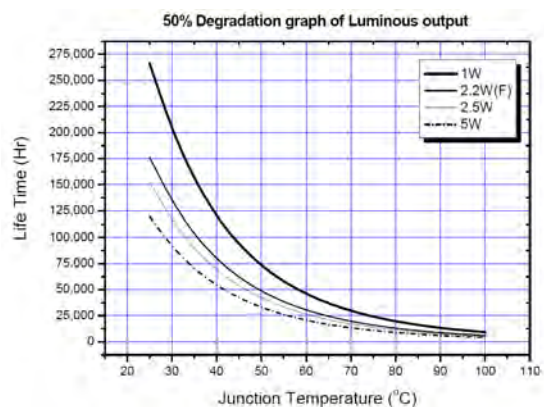
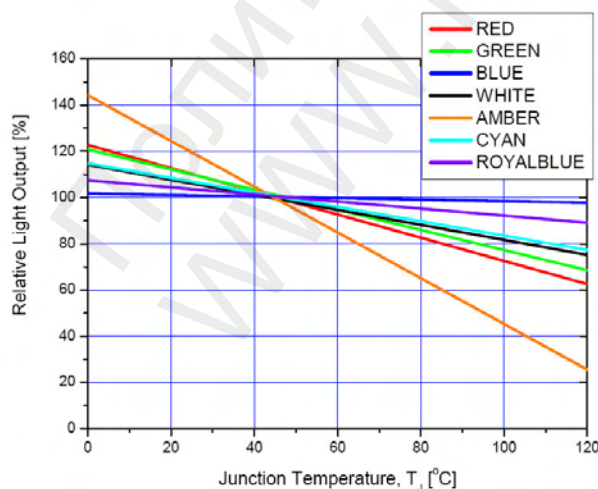
$$P_d = V_f * I_f$$

$$T_a = 23^{\circ}\text{C}$$

Результаты показаны в таблице:

$I_f$ (A)	$V_f$ (V)	$P_d$ (W)	$T_h$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_{\Theta_{h-a}}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	$R_{\Theta_{j-a}}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	$T_j$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
0.200	2.95	0.59	51	47.5	58.5	57.5
0.350	3.11	1.09	74	46.9	57.9	86.1
0.450	3.21	1.45	90	46.2	57.2	106.0

Из данных результатов, можно сделать вывод, что светодиод PG1N-1LWE на данной плате с алюминиевой подложкой может нормально (безопасно) работать при комнатной температуре при токе 350 mA. При этом максимально допустимая температура окружающей среды равна  $T_a = T_h - (P_d * R_{\Theta_{h-a}}) = 105 - 1.09 * 46.9 = 54^{\circ}\text{C}$ . Где  $T_h$  находим из документации - значение равно  $105^{\circ}\text{C}$ . Тем не менее, в условиях нормальной комнатной температуры, светодиодный кристалл быстро достигнет температуры 86.1, что является достаточно не плохим результатом. Однако в дальнейшем работа при такой температуре приведет к уменьшению яркости и времени жизни светодиода (см. ниже графики от Seoul Semiconductor). Т.е. для получения лучших результатов разработчик должен применить вторичный радиатор охлаждения.

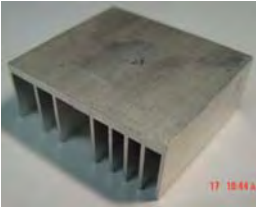


В качестве полезного справочного материала, на следующей странице даны справочные данные для различных типоразмеров радиаторов охлаждения для мощных светодиодов от фирмы Seoul Semiconductor.

1



2



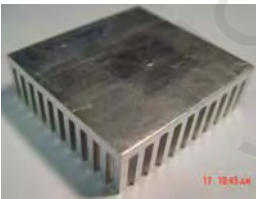
3



4



5



Specification & Size	$T_B(^{\circ}C)$	$R_{\theta_{BA}}(^{\circ}C/W)$
Size : 99.85 x 70.08 mm S : Irregular (Random) $T_B$ : 3.18mm, $D_H$ : 23.90mm $F_H$ : 20.5mm                      N : 8ea Footprint: 625mm <sup>2</sup> Power Dissipation:5W	37.9	2.58
Size : 59.60 x 53.08 mm S : Irregular (Random) $T_B$ : 3.70mm, $D_H$ : 25.95mm $F_H$ : 22.10mm                      N : 8ea Footprint: 625mm <sup>2</sup> Power Dissipation:5W	51.5	5.3
Size : 49.90 x 44.85 mm S : Irregular (Random) $T_B$ : 8.90mm, $D_H$ : 27.82mm $F_H$ : 19.00mm                      N : 11ea Foot print: 625mm <sup>2</sup> Power Dissipation :5W	56.1	6.22
Size : 50.14 x 49.80 mm S : Irregular (Random) $T_B$ : 2.42mm, $D_H$ : 29.84mm $F_H$ : 26.00mm                      N : 48ea Foot print: 625mm <sup>2</sup> Power Dissipation :5W	44.7	3.94
Size : 61.00 x 58.00 mm S : Irregular (Random) $T_B$ : 3.90mm, $D_H$ : 20.50mm $F_H$ : 17.00mm                      N : 121ea Foot print: 625mm <sup>2</sup> Power Dissipation :5W	51.9	5.38