

Рабочие условия для светодиодов и светодиодных индикаторов.

При разработке управляющих схем, использования драйверов для светодиодов, светодиодных индикаторов, семи-сегментных индикаторов и т.п. необходимо достичь оптимального светового выхода, рассеяния мощности, надежности и возможно большего срока эксплуатации. Параметры каждого светодиодного прибора приведены в технической документации (максимально допустимые параметры, оптические и электрические параметры). Как использовать эту информацию для оптимальной разработки?

Расчетные формулы, используемые в данной статье, приведены в статье «Про светодиоды и драйвера» на сайте www.radiodetali.com, однако напомним некоторые из них. Исходными критериями для начала разработки, являются максимальный ток светодиода и максимальная температура полупроводникового перехода в светодиоде T_j – а фактически температура кристалла. Последняя представляет собой сумму температуры окружающей среды T_a и разности температур окружающей среды и кристалла ΔT_j . Эта разность температур определяется как произведение рассеиваемой мощности P_d и термического сопротивления перехода светодиод – окружающая среда $R\Theta_{j-a}$:

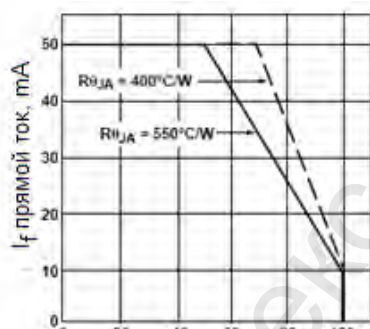
$$T_j = T_a + \Delta T_j$$
$$T_j = T_a + (R\Theta_{j-a} * P_d)$$

Данные по термическому сопротивлению светодиодов и индикаторов приводятся в технической документации, как пример см. рис.1. Важно не доводить светодиоды и индикаторы до предельной температуры перехода.

Обычно в технической документации приводится термическое сопротивление переход-вывод R_{j-pin} (или переход - «точки пайки» $R\Theta_{j-sp}$). К нему добавляется термическое сопротивление перехода на печатную плату (радиатор охлаждения) $R\Theta_{sp-h}$, и печатная плата – окружающая среда, в результате получается общее термическое сопротивление:

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

Замечание: Обычно в качестве теплоотвода обычных светодиодов используется вывод катода и при разработке печатной платы необходимо предусматривать как можно большую контактную площадку именно для катода, а лучше и весь проводник, подсоединенный к выводу катода. Можно так же предусматривать дополнительный теплоотводящий радиатор подсоединенный к катоду при работе светодиодов в предельных режимах, а так же любые другие меры отвода тепла от вывода катода светодиода. Исключение составляют только светодиоды выполненные по технологии TS AlGaAs, у них теплоотводящим выводом является анод.



Т_а температура окружающей среды, °С

Рис. 1

На рис.2 показана типичная вольтамперная зависимость светодиода (по горизонтали - прямое падение напряжения, по вертикали - прямой ток). Рассеиваемая мощность для каждой точки определяется произведением прямого тока и прямого напряжения.

На рис.1 показаны зависимости предельного тока через светодиод в зависимости от внешней температуры при различных термических сопротивлениях. Рабочий ток должен быть ниже предельной кривой.

Здесь и далее показываемые графики, являются графиками для «каких-то» типичных светодиодов, и применяются для иллюстрации и примерных расчетов для данной статьи, однако для конкретных светодиодов необходимо использовать конкретную документацию, конкретного светодиода, конкретного производителя.

Светодиод - токовый прибор и поэтому требует для работы средства ограничения тока. Обычно это резистор, включаемый последовательно со светодиодом либо драйвер светодиода с постоянным током, что предпочтительнее – см. статью «Про светодиоды и драйвера». Для расчета резистора нужно пользоваться данными рис.2:

$R = (V_{out} - V_{sat} - V_f) / I_f$ где:
 I_f – расчетный ток ограничительного резистора (обычно принимается равным току светодиода I_f)
 V_{out} - напряжение питания, подаваемое от источника питания
 V_{sat} – напряжение насыщения управляющего транзистора или транзистора драйвера
 V_f – прямое падение напряжения на светодиоде, «типичное»

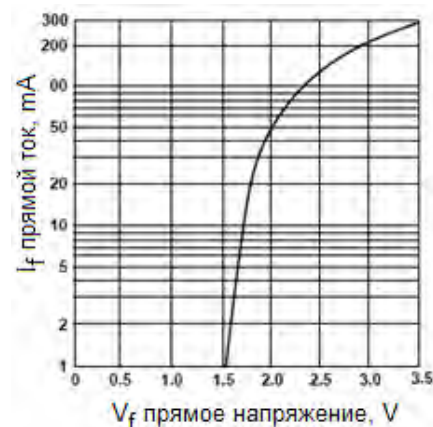


Рис. 2

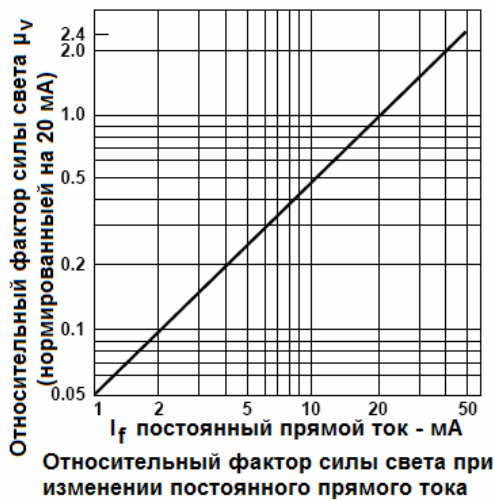


Рис. 3

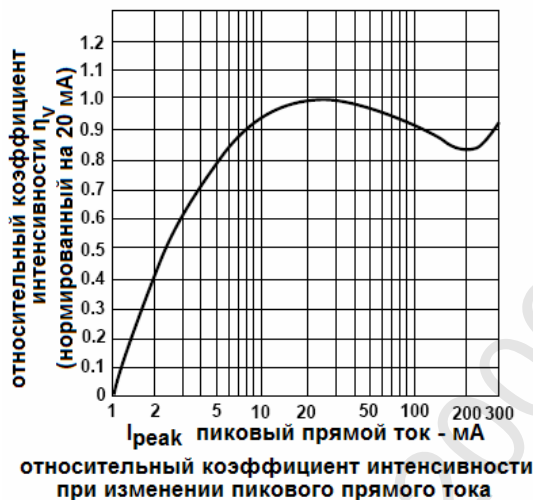


Рис. 4

указываемое в документации

R – сопротивления ограничивающего резистора.

Сила света светодиода при температуре $T=25^{\circ}\text{C}$ определяется использованием множителя относительного фактора силы света, который показан на рис.3 для различного прямого тока светодиода, и вычисляется по формуле:

$$I_{v.dc} = I_V(25^{\circ}\text{C}) * \mu_v,$$

где,

$I_V(25^{\circ}\text{C})$ – указанное в технической документации значение силы света при 25°C .

μ_v – относительный фактор силы света, указанный по вертикальной координате рис.3.

Если светодиод питается импульсным током (обычно при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ)), то средняя сила света, определяется относительным коэффициентом интенсивности η_v , см. рис.4, далеко не все

производители указывают в документации данный параметр. Выражение для средней силы света ШИМ выглядит так:

$$I_{v.avg} = I_V(25^{\circ}\text{C}) * \eta_v * (I_{avg}/I_f)$$

где,

I_{avg} – средний ток

I_f – прямой ток, указанный в документации для

определенной силы света

η_v – относительный коэффициент интенсивности, для

пикового тока I_{peak} . Эти коэффициенты определяют силу света на единицу тока.

Расчет же для конкретной температуры, выглядит так:

$$I_V(T_a) = I_V(25^{\circ}\text{C}) * e^{k(T_a - 25^{\circ}\text{C})}$$

где, коэффициент k для различных типов светодиодов определяется по Таблице 1.

Таблица 1

Светодиод	k
Стандартный красный	-0.0188/ $^{\circ}\text{C}$
Высокоэффективный красный	-0.0131/ $^{\circ}\text{C}$
Желтый	-0.0112/ $^{\circ}\text{C}$
Зеленый	-0.0104/ $^{\circ}\text{C}$
DH AS AlGaAs	-0.0095/ $^{\circ}\text{C}$
TS AlGaAs	-0.0130/ $^{\circ}\text{C}$
AlInGaP	-0.0100/ $^{\circ}\text{C}$
TS AlInGaP	-0.0100/ $^{\circ}\text{C}$

Это в основном все необходимые для расчета данные. Теперь приведем пример расчета:

Возьмем светодиод красного цвета свечения диаметром 5 мм GNL-5013UEC-TL, со следующими характеристиками:

$$I_{V-тип}(25^{\circ}\text{C}) = 4.5 \text{ cd}$$

$$I_{peak} = 180 \text{ mA}, \text{ при } \tau \leq 1 \text{ ms}, D = 1/20 (5\%), D = \tau/T$$

$$I_{f-max} = 50 \text{ mA}$$

$$T_j = 110^{\circ}\text{C}$$

$$R_{\Theta j-sp} = 260^{\circ}\text{C/W}$$

Шаг 1. Предположим, что температура окружающей среды 60°C .

Определив общее термическое сопротивление $R_{\Theta j-a}$ как 500°C/W , получим

$$R_{\Theta h-a} = 500^{\circ}\text{C/W} - 260^{\circ}\text{C/W} = 240^{\circ}\text{C/W}.$$

Таким образом, крепление светодиода на печатной плате должно обеспечить термическое сопротивление 240°C/W .

Шаг 2. Из рис.1 определяем следующее:

- принятое $R_{\Theta j-a}$ 500°C/W меньше, чем указанное на рис.1 жирной линией (находится выше, т.е. может подаваться больший ток);

- максимально допустимый постоянный ток при температуре окружающей среды 60°C составляет 45 mA, см. рис.1.

Шаг 3. По вольтамперной характеристике светодиод, определяем падение напряжения $V_f = 1.95 \text{ V}$ при токе 45 mA.

Отсюда рассеиваемая мощность составляет:

$$P_d = 1.95 * 0.045 = 0.088 \text{ W}.$$

Температура перехода:

$T_j=60^{\circ}\text{C}+0.088\text{ W} *500^{\circ}\text{C}/\text{W} =104^{\circ}\text{C}$, что ниже предельно допустимой (110°C), т.е. безопасно для светодиода. Необходимо отметить, что хотя это и безопасно, но такая температура кристалла будет вести к деградации светодиода и необходимо либо предусмотреть дополнительные меры по улучшению теплоотвода, либо использовать пониженный ток.

Шаг 4. Рассчитаем балластное сопротивление. Примем напряжение источника питания равным 5 V, напряжение насыщения транзистора равным 0.8 V и получим

$$R=(5.0-0.8-1.95)/0.045=50.0\text{ Ом.}$$

Ближайший сверху номинал равен 56 Ом. Мощность резистора при токе 45mA составляет $P_d=I^2*R=0.113\text{W}$.

Необходимо иметь хотя бы двукратный запас по мощности, поэтому мощность резистора выбираем 0.25W.

Шаг 5. Множитель относительного фактора определяем по техническим данным, где имеется характеристика типа рис.3. При токе 45mA, $\mu_v=2.20$, если $I_{V\text{-тип}}(25^{\circ}\text{C})=4.5\text{ cd}$ при токе 20 mA, то при токе 45 mA интенсивность составит 9.9 cd. При рабочей температуре 60°C используем данные таблицы ($k=-0.0131/^{\circ}\text{C}$) и рассчитаем

$$I_V(60^{\circ}\text{C})=9.9\text{cd} * e^{-0.0131*(60^{\circ}\text{C} -25^{\circ}\text{C})}=9.9\text{cd} * e^{-0.4585}=9.9\text{cd} *0.633=6.27\text{cd}$$

Итого для работы на постоянном токе получены следующие результаты:

$$T_a =60^{\circ}\text{C}$$

$$R_{\Theta_{h-a}} =240^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$I_f =45\text{mA}$$

$$T_j =104^{\circ}\text{C}$$

$$R=56\text{ Ом}$$

$$I_V(25^{\circ}\text{C}, I_f =20\text{mA})=4.5\text{cd}$$

$$I_V(60^{\circ}\text{C}, I_f =45\text{mA})=6.27\text{cd}$$

Теперь проведем расчет для импульсного режима, приняв температуру окружающей среды 60°C , частоту импульсов 1000 Гц и пиковый ток 180 mA.

Шаги 1 и 2 аналогичны предыдущему расчету.

Шаг 3. По рис.5 определяем максимально допустимый средний ток $I_f=40\text{ mA}$ при пиковом токе 180 mA и частоте 1000 Гц, отсюда допустимая скважность $D=40/180=0.22$, т.е. 22%.

Шаг 4. По вольтамперной характеристике падение напряжения $V_f=2.7\text{ V}$ при токе 180 mA. Средняя мощность равна $P=0.18*2.7*0.22=0.107\text{W}$.

Расчет температуры перехода дает

$$T_j=60^{\circ}\text{C} +0.107*500=113^{\circ}\text{C},$$

что недопустимо много. Т.е. необходимо уменьшить мощность,

для того, чтобы температура вернулась в допустимые рамки, к примеру, до 104°C , как в примере с питанием постоянным током.

Поэтому уменьшим скважность до 18% от периода. Тогда средняя мощность составит 0.087W, это даст температуру перехода 104°C

и это уже допустимо. Однако так же как и в примере работы по постоянному току возможна деградация и необходимо

предусматривать дополнительные меры по снижению среднего тока (например скважностью импульсов ШИМ) или снижения температуры по средством охлаждения кристалла (снижение внешней температуры, отвод тепла радиатором и т.п.).

Шаг 5. При токе 180 mA напряжение насыщения транзистора примем равным 1.0 V. Тогда балластное сопротивление равно

$$R=(5.0-1.0-2.7)/0.1=13\text{ Ом.}$$

Мощность, выделяющаяся на резисторе, равна

$$P=0.032*13*0.18=0.075\text{W}$$

Т.е. может использоваться резистор 0.25 W 13 Ом.

Шаг 6. Относительный коэффициент интенсивности η_v при токе 180 mA согласно рис.4 равен 0.85.

Интенсивность свечения равна

$$I_{V\text{.avg}} =4.5\text{cd} *0.85*(180*0.18/20) =6.2\text{cd.}$$

При температуре 60°C

$$I_V(60^{\circ}\text{C})=6.2\text{cd} * e^{-0.0131*(60^{\circ}\text{C} -25^{\circ}\text{C})}=6.2\text{cd} * e^{-0.4585}=6.2\text{cd} *0.633=3.9\text{cd}$$

Итого для работы на импульсном токе получены следующие результаты:

$$T_a =60^{\circ}\text{C}$$

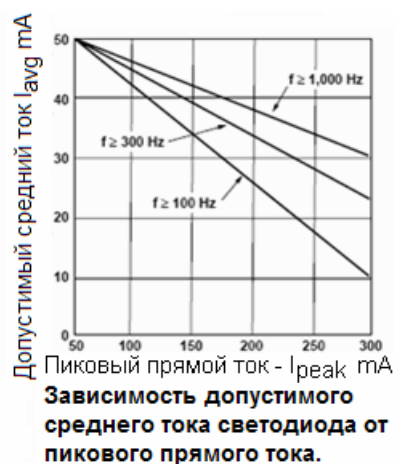


Рис. 5

$R\Theta_{h-a} = 240^{\circ}\text{C/W}$

$I_{\text{peak}} = 180\text{mA}$

$T_j = 104^{\circ}\text{C}$

$F = 1000\text{ Гц}$

$R = 13\text{ Ом}$

$D = 18\%$

$I_{f\text{-avg-max}} = 32.4\text{mA}$

$I_v(60^{\circ}\text{C}, I_{\text{peak}} = 180\text{mA}) = 3.9\text{cd}$

Отсюда следует важный вывод: для получения высокой интенсивности свечения работа на постоянном токе дает значительно большую яркость свечения светодиода, чем работа на импульсном токе. Однако надо понимать, что при работе на постоянном токе, может измениться цвет свечения светодиода, см. статью «Про светодиоды и драйвера», что во многих случаях не допустимо. В таком случае нужно использовать ШИМ для получения однообразных характеристик по яркости и неизменности цвета светодиода.

Для работы на импульсном токе могут быть дополнительно еще две причины:

- стробирование решетки светодиодов для получения изменяющейся во времени информации;
- для получения пиковых импульсов света, которые должны обнаруживаться фотодетекторами (это используется в инфракрасной области).

Т.е. все же в применениях требующих изменение яркости светодиода, необходимо использовать ШИМ.