

Александр Пескин | apeskin@mail.ru

Защита светодиодов от перегрева,

или Терморезисторы с положительным ТКС как ограничители тока через светодиоды

В последние годы светодиоды получили очень широкое развитие: от простых индикаторов до высокопроизводительных источников света со световым потоком свыше 100 лм. Уже в недалеком будущем освещение с помощью светодиодов станет сравнимо по стоимости с освещением классическими флуоресцентными лампами с холодным катодом. Светодиоды также представляют интерес в качестве источников задней подсветки ЖК-дисплеев, телевизоров, ноутбуков и освещения внутри и на поверхности зданий.

С развитием технологий высокопроизводительных светодиодов на передний план на этапе проектирования выходят температурные аспекты. Как и все полупроводники, светодиоды не должны перегреваться. Существует максимально допустимая температура активного слоя p - n -перехода, превышение которой может повлечь за собой ускоренное старение приборов и выход их из строя.

Максимально допустимый прямой ток должен обязательно ограничиваться при повышении температуры окружающей среды, чтобы температура активного слоя оставалась ниже критического значения. Предельное значение прямого тока при заданной температуре окружающей среды можно, впрочем, повысить, если дополнительно использовать радиатор охлаждения.

С возрастанием температуры активного слоя светодиода его световая эмиссия (светоотдача) понижается. Этот эффект проявляется прежде всего у красных и желтых светодиодов, в то время как белые имеют меньшую температурную зависимость. Одновременно с уменьшением

светоотдачи преобладающая длина волны испускаемого света увеличивается в общем случае примерно на 0,05 нм/К, а прямое напряжение светодиодов уменьшается.

Несмотря на то, что КПД высокопроизводительных светодиодов намного превышает КПД ламп накаливания, у них также достаточно большая часть входной энергии преобразуется в тепло. Поэтому для надежной работы светодиодов очень важно уже при проектировании создать условия для хорошего отвода тепла.

При расчете драйверов управления следует иметь в виду, что, в числе прочего, прямой ток светодиодов должен быть выбран таким образом, чтобы они не перегревались, т. е. максимально допустимый ток должен быть уменьшен при возрастании температуры окружающей среды. Такое понижение номинального значения тока является компенсацией режима при повышенной температуре. Производители светодиодов приводят в спецификациях на свои изделия соответствующие графики (рис. 1).

Черной линией на рис. 1 показаны предельные граничные значения тока и температуры. Работа светодиодов с классическим температуронезависимым источником тока имеет тот недостаток, что при повышенных температурах они могут оказаться за пороговыми значениями. На рис. 1 это показано красной линией (граничная точка соответствует току 370 мА и температуре окружающей среды +80 °С). Зеленая линия на этом рисунке соответствует оптимальному режиму работы светодиодов, когда в схемах драйверов используются терморезисторы с положительным ТКС.

В большинстве схем включения светодиодов прямой ток через них I_{LED} устанавливается постоянным регулирующим резистором R_{PER} (рис. 2) и не зависит от температуры. Поэтому необходимого «загиба» характеристики при высокой температуре, как это показано зеленой линией на рис. 1, не происходит.

Тепловое управление током светодиода достигается тем, что постоянный резистор заменяется схемой, сопротивление которой зависит от температуры. На рис. 3 показана схема включения, в которой создается температурозависимое значение тока через светодиод благодаря использованию терморезистора. Подгонка этой схемы к используемой микросхеме драйвера осуществляется грамотным выбором сопротивления терморезистора R_T и номиналов последовательно и параллельно включенных резисторов $R_{ПОСЛ}$ и $R_{ПАР}$ соответственно.

Ток, протекающий через светодиод, рассчитывается по формуле:

$$I_{LED}(T) = \frac{U_{OC}}{R_{ПАР}} \times \left[1 + \frac{R_{ПАР} + R_{ПОСЛ}}{R_T} \right],$$

где U_{OC} — напряжение обратной связи на соответствующем выводе микросхемы драйвера (точка соединения терморезистора R_T и резистора $R_{ПОСЛ}$).

Использование такой схемы позволяет увеличить ток через светодиоды в диапазоне температур до +40 °С на 40% по сравнению с классическими схемами (рис. 2) и, тем самым, не опасаясь перегрева, настолько же увеличить яркость их свечения.

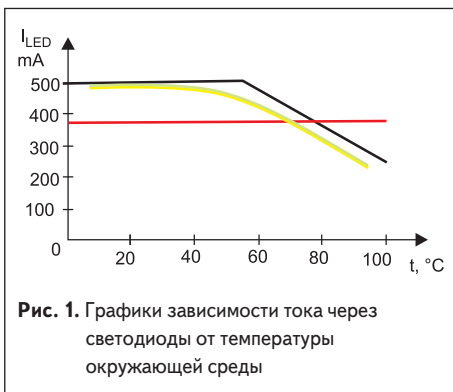


Рис. 1. Графики зависимости тока через светодиоды от температуры окружающей среды

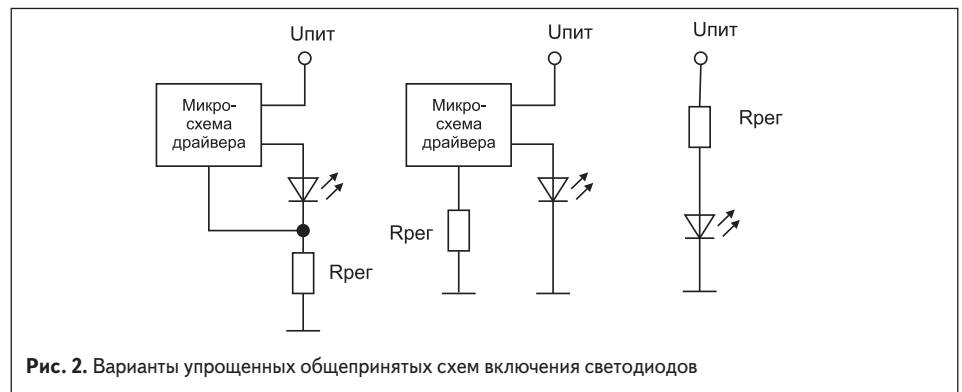


Рис. 2. Варианты упрощенных общепринятых схем включения светодиодов

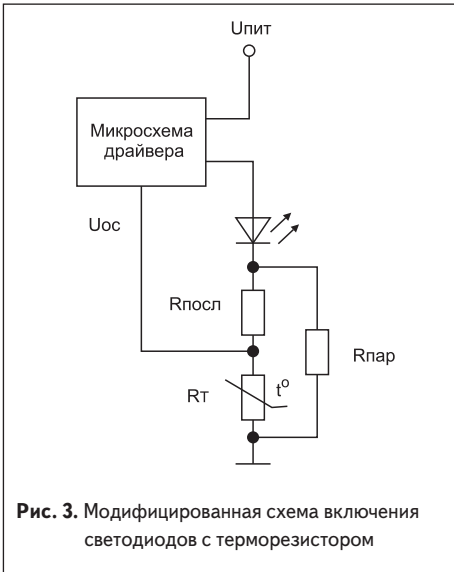


Рис. 3. Модифицированная схема включения светодиодов с терморезистором

На средней схеме (рис. 2) показан способ подключения регулирующего резистора $R_{PEГ}$ не последовательно со светодиодами, а к специальному выводу микросхемы драйвера.

Из спецификации на микросхему можно определить соотношение между сопротивлениями резистора $R_{PEГ}$ и светодиода R_{LED} . К примеру, при подключении последовательного резистора $R_{ПОСЛ}$ с сопротивлением, равным 19,5 кОм (рис. 4), к соответствующему выводу микросхемы TLE4241GM фирмы Infineon, ток через светодиоды имеет величину 30 мА. Сопротивление использованного здесь терморезистора R_T типа B59601A при комнатной температуре приблизительно +25 °С составляет 470 Ом, а при повышенной температуре окружающей среды может достигать 4,7 кОм.

График, приведенный на рис. 5, показывает зависимость от температуры окружающей среды результирующего тока через светодиоды для схемы, показанной на рис. 4. Сопротивление постоянного резистора $R_{ПОСЛ}$ значительно преобладает над сопротивлением терморезистора

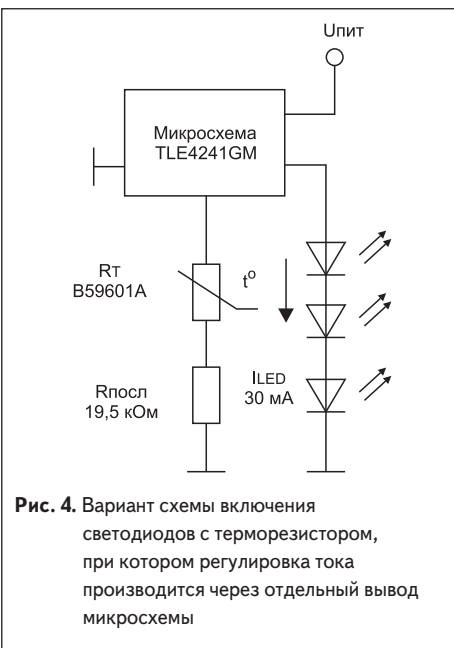


Рис. 4. Вариант схемы включения светодиодов с терморезистором, при котором регулировка тока производится через отдельный вывод микросхемы

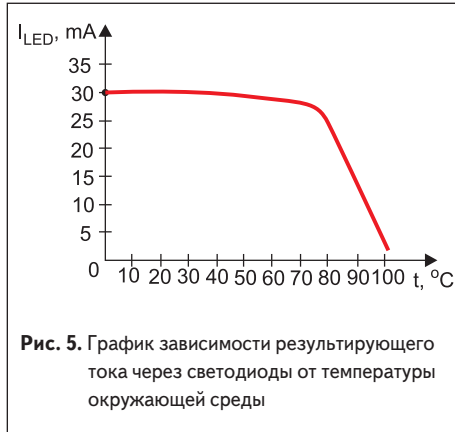


Рис. 5. График зависимости результирующего тока через светодиоды от температуры окружающей среды

R_T при комнатной температуре. Только примерно при +40 °С сопротивление терморезистора начинает расти: сначала медленно, а начиная с +75...+80 °С — резко. Соответственно, по такому же закону падает ток через светодиоды (см. кривую на рис. 5). При сопротивлении терморезистора $R_T=4,7$ кОм суммарное сопротивление $R_{ПОСЛ}+R_T = 19,5+4,7 = 24,2$ кОм, и достигается ток через светодиоды, равный 23 мА. Дальнейшее увеличение температуры приводит сначала к уменьшению силы тока, а затем к его выключению микросхемой, т. е. к срабатыванию защиты от перегрева.

Как показано на рис. 2 справа, светодиоды способны работать и без управления микросхемой. Например, такая схема применима в бортовой сети автомобиля. При этом ток через один светодиод может достигать 200 мА. Для того чтобы не зависеть от колебаний напряжения бортовой сети, используется регулятор напряжения, который формирует стабилизированное напряжение $U_{СТАБ} = 5$ В. Величина тока через светодиод определяется номиналом последовательно включенного резистора $R_{PEГ}$. В такой схеме подключения температурнезависимый прямой ток рассчитывается по формуле:

$$I_{LED}(T) = \frac{U_{СТАБ} - U_{LED}}{R_{PEГ}}$$

где U_{LED} — прямое напряжение на одном-единственном светодиоде.

В качестве альтернативы вместо одного резистора $R_{PEГ}$ может быть использована комбинация из одного проволочного терморезистора R_T типа B59940C0080A070 (его сопротивление при комнатной температуре +25 °С равно 2,3 Ом) и двух постоянных резисторов $R_{ПОСЛ}$ и $R_{ПАР}$ (рис. 6).

Большая часть тока светодиода протекает здесь через терморезистор R_T . Полученный в результате этого прямой ток рассчитывается по формуле:

$$I_{LED}(T) = \frac{U_{СТАБ} - U_{LED}}{\frac{R_T \times R_{ПАР}}{R_T + R_{ПАР}} + R_{ПОСЛ}}$$

Для использования в схеме (рис. 6) был выбран большой проволочный терморезистор, так как терморезистор малых размеров по-

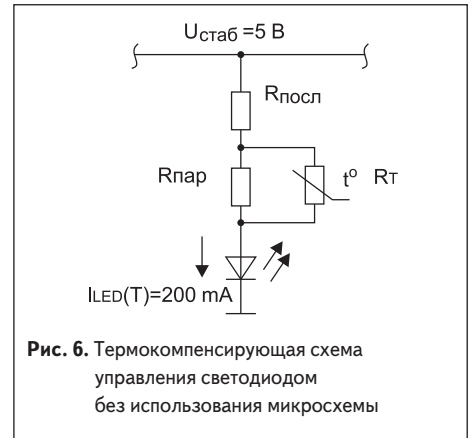


Рис. 6. Термокомпенсирующая схема управления светодиодом без использования микросхемы

стоянно нагревался бы протекающим через него током и в меньшей степени реагировал бы на изменение температуры окружающего воздуха.

Соединив параллельно резисторы R_T и $R_{ПАР}$ и грамотно подобрав номиналы обоих постоянных резисторов ($R_{ПОСЛ}$ и $R_{ПАР}$), задают желаемый уровень тока через светодиод.

Кроме того, в этой схеме параллельно подключенный к терморезистору резистор $R_{ПАР}$ обеспечивает то, что даже при экстремально высоких температурах терморезистор не полностью отключает светодиод, как это было описано выше, а только уменьшает ток через него. Таким образом, ток через светодиод никогда не опускается ниже определенного значения, которое можно рассчитать по формуле:

$$I_{LED \min}(T) = \frac{U_{СТАБ} - U_{LED}}{R_{ПАР} + R_{ПОСЛ}}$$

Эта особенность схемы исключительно важна, например, при использовании светодиода в автомобильной электронике, поскольку требования безопасности здесь не допускают полного отключения световых приборов.

В заключение следует отметить целый ряд преимуществ, получаемых от использования терморезисторов в схемах управления:

- большая светоотдача, так как при температуре до +50...+60 °С прямой ток может быть гораздо выше номинального 370 мА;
- повышение надежности в связи с полной защитой светодиодов от перегрева;
- экономия средств, так как для обеспечения эквивалентной яркости свечения устройства можно обойтись меньшим количеством светодиодов;
- возможность реализации более простых схем драйверов, зачастую даже не использующих интегральные микросхемы;
- отсутствие или более простая конструкция радиаторов охлаждения.

Литература

1. Шашков А.Г. Терморезисторы и их применение. М.: Энергия, 1967.
2. Stefan Benkhof. Hitzetod ausgeschlossen. Elektronik Components. 2008.
3. www.infineon.com