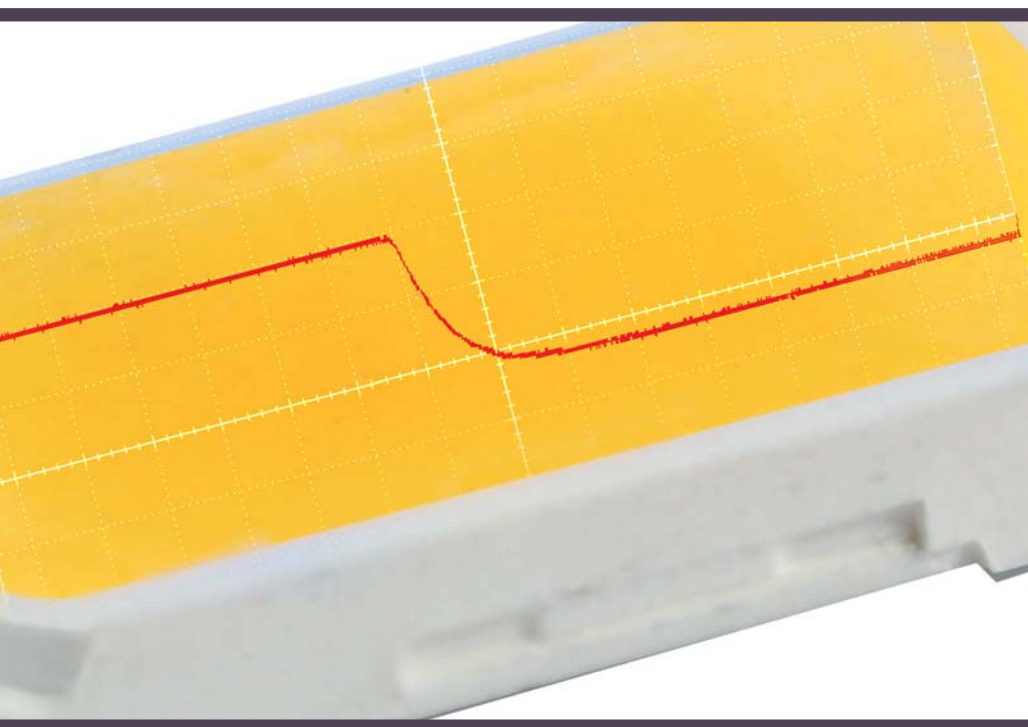


Способ быстрого измерения температурного коэффициента напряжения светодиодов



Тепловое сопротивление «переход–корпус» во многом определяет надежность работы мощных светодиодов. Этот параметр можно рассматривать как интегральный показатель надежности и качества полупроводниковых приборов и светодиодов, поскольку величина теплового сопротивления напрямую зависит от их конструкции, а также от технологии изготовления [1]. В настоящее время определение температуры $p-n$ -перехода и теплового сопротивления светодиодов обычно проводят оптическим либо электрическим методами. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки [1]. В настоящей статье рассматривается только электрический метод измерения теплового сопротивления светодиодов. Этот метод основан на корреляционной зависимости какого-либо параметра светодиода от температуры. Для светодиодов обычно таким параметром выбирают изменение прямого напряжения на $p-n$ -переходе при изменении температуры. Поэтому первым этапом электрического метода измерения теплового сопротивления является определение температурного коэффициента напряжения (ТКН) $p-n$ -перехода светодиода.

Как показывает практика, существует значительный разброс ТКН даже у светодиодов одной марки и одной партии. Например, в документации на светодиоды LEMWS59R80 Series (фирма LG Innotek) указан разброс ТКН в диапазоне от -1 до -3 мВ/°С [2]. Но если в технической документации указано одно значение, как правило, это означает, что фирма-изготовитель просто указала среднее или типовое значение ТКН для компонентов данного типа. В документации на светодиоды MX6 (фирма Cree) указана величина ТКН, равная $-3,3$ мВ/°С [3]. Экспериментальные измерения ТКН светодиодов MX6 показывают разброс 13–14%. Таким образом, если брать среднее значение ТКН из документации и использовать при расчете теплового сопротивления светодиода, разработчик уже закладывает ошибку, равную разбросу ТКН, которая может достигать десятков процентов. Для более точного измерения перегрева $p-n$ -перехода и расчета теплового сопротивления необходимо измерение ТКН каждого светодиода из партии.

Определение ТКН заключается в измерении двух значений прямого напряжения перехода при протекании не разогревающего $p-n$ -переход прямого тока для двух

значений температуры [4]. Светодиод помещают в термостат, выдерживают при температуре T_1 и измеряют прямое напряжение на переходе $U_{пр1}$. Затем устанавливают температуру $T_2 > T_1$ и после выдержки измеряют прямое напряжение $U_{пр2}$.

ТКН светодиода вычисляется по формуле:

$$\text{ТКН} = (U_{пр1} - U_{пр2}) / (T_2 - T_1).$$

Инженеры, реально проводившие измерение и расчет теплового сопротивления светодиодов, знают, что процесс измерения ТКН, описание которого в статьях или ГОСТах занимает несколько строк, на деле выливается в длительную и весьма трудоемкую процедуру. При выполнении простой, на первый взгляд, операции возникает ряд проблем.

Первое условие — наличие качественного термостата. Создание воздушного термостата с минимальным пространственным градиентом температуры и высокой точностью поддержания температуры само по себе является сложной инженерной задачей. При проведении измерений одного светодиода можно использовать датчик температуры, расположенный непосредственно около исследуемого объекта. При измерении в термостате группы светодиодов необходимо создание равномерного температурного поля. Для этого требуется несколько датчиков температуры, несколько нагревателей, а также перемешивание воздуха вентилятором. Серьезной проблемой термостатов является так называемый температурный гистерезис. Нагреватели и датчики пространственно разнесены, а тепловые процессы в термостате обладают большой инерционностью, поэтому температура совершает периодические колебания около некоторого среднего значения. Устранение этого эффекта требует специальных электронных схем, работающих с алгоритмом на опережение выключения нагревателей термостата, либо управления работой нагревателей с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Одним из вариантов решения проблемы быстрого и точного определения ТКН светодиода может быть переход с воздушных термостатов на жидкостные. Жидкости, обладая большой теплоемкостью, являются сами по себе хорошими термостатами, поскольку их трудно нагреть и трудно охладить. Жидкостные термостаты обладают высокой стабильностью поддержания температуры и малым температурным градиентом и имеют характеристики, которые не достижимы на воздушных термостатах [5]. Авторами были проведены сравнительные испытания двух термостатов (воздушного и жидкостного) объемом 1,5 л каждый. Для определения температурного градиента по объему использовались четыре датчика типа К1019ЕМ1. Воздух внутри воздушного термостата перемешивался вентилятором-кулером. Жидкость внутри жидкостного термостата перемешивалась вентилятором на основе двигателя ДПМ. В обоих термостатах в качестве нагревателя использовались два проволочных резистора. Устройство управления было выполнено на микроконтроллере АТМЕГА 128. Результаты испытаний показали, что без применения специального алгоритма опережения выключения нагревателей и ШИМ-управления воздушный термостат обладал тепловым гистерезисом ± 5 °С. При этом температурный градиент по объему по показаниям датчиков достигал ± 2 °С. Жидкостный термостат показал тепловой

гистерезис ± 1 °С. Разность показаний датчиков температуры была не более $\pm 0,2$ °С.

Вторым важным достоинством жидкостных термостатов является быстрый выход на режим и быстрый нагрев исследуемого светодиода. Коэффициент конвективного теплообмена жидкостей в сотни раз превышает коэффициент конвективного теплообмена воздуха. Отсюда очевидно, что скорость выхода на режим и нагрев исследуемого объекта в жидкости будет во много раз быстрее, чем в воздухе. Следовательно, при измерении ТКН установление стабильного теплового режима будет происходить значительно быстрее по сравнению с воздушным термостатом. Одним из вариантов для существенного уменьшения времени измерения ТКН может быть использование двух жидкостных термостатов с разными температурами жидкостей. Исследуемый светодиод помещают в термостат с низкой температурой, а затем переносят в другой термостат, с высокой температурой. В таком варианте система на основе двух жидкостных термостатов позволяет уменьшить время измерения ТКН светодиода до нескольких секунд.

Особо стоит остановиться на выборе жидкости для термостата. Наиболее подходящим хладагентом является вода, обладающая высокой теплоемкостью. Но контакт с водой вызывает коррозию элементов светодиодов. Кроме того, при малейшей примеси вода становится проводящей, что может нарушить процесс измерения, поскольку жидкость при измерении ТКН контактирует с контактами светодиодов. Наиболее оптимальным вариантом является использование высокотемпературных теплоносителей на основе кремнийорганических жидкостей марки ПЭС или ПМС. Эти диэлектрические жидкости хотя и уступают воде по теплоемкости, но обладают химической инертностью даже при высоких температурах.

Для проведения измерения ТКН светодиодов авторами была разработана экспериментальная установка, которая представляет собой два сосуда из нержавеющей стали, заполненных кремнийорганической жидкостью ПМС. Один из сосудов помещен в теплоизолирующий кожух из вспененного полистирола. В сосудах размещены вентиляторы для перемешивания жидкости и датчики температуры типа К1019ЕМ1. В сосуде с теплоизолирующим кожухом расположен нагревательный элемент на основе проволочных резисторов типа ПЭВ. Исследуемый светодиод крепится в специальной колодке с проводами, которая может свободно перемещаться из одного сосуда в другой. В одном из сосудов температура жидкости равна температуре окружающей среды. В другом сосуде поддерживается повышенная температура жидкости. Согласно ГОСТ [4], разница температур при измерении ТКН должна быть не менее 20 °С. Чем выше разница температур, тем точнее измерение ТКН. Чтобы не подвергать светодиод термическому удару, была выбрана разница температур жидкостей 50 °С. Схема управления нагревателем и измерения ТКН выполнена на микроконтроллере АТМЕГА 128. Выходной сигнал со светодиода усиливался прецизионным усилителем AD620 с коэффициентом усиления $K = 100 \pm 0,1\%$. На рис. 1–3 приведены осциллограммы напряжений на выходе усилителя AD620, сделанные цифровым осциллографом ADS 2111. Приведены осциллограммы при измерении ТКН для светодиодов Samsung 5630 CRI80 WHITE LED W0 RANK (производитель Samsung Led),

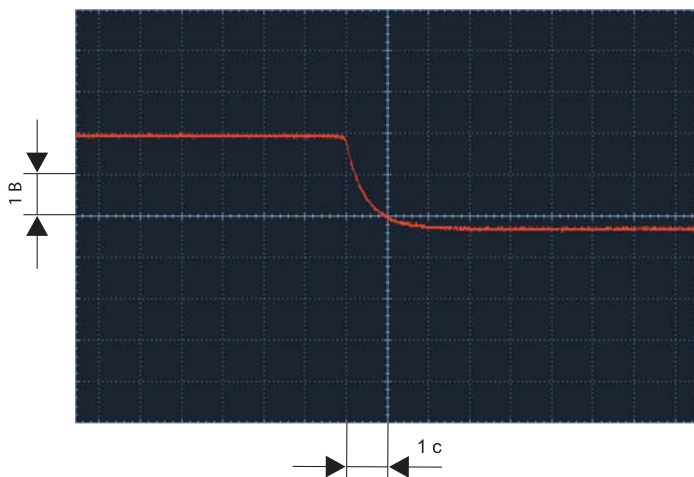


Рис. 1. Осциллограмма прямого напряжения светодиода Samsung 5630 CRI80 WHITE LED W0 RANK при измерении ТКН

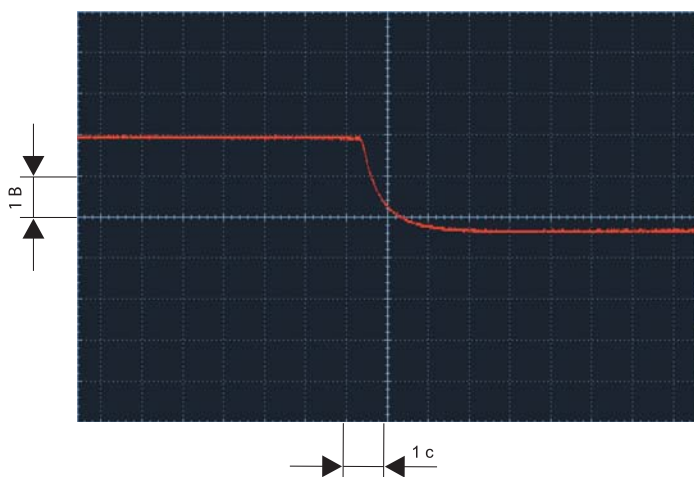


Рис. 2. Осциллограмма прямого напряжения светодиода CLA1A при измерении ТКН

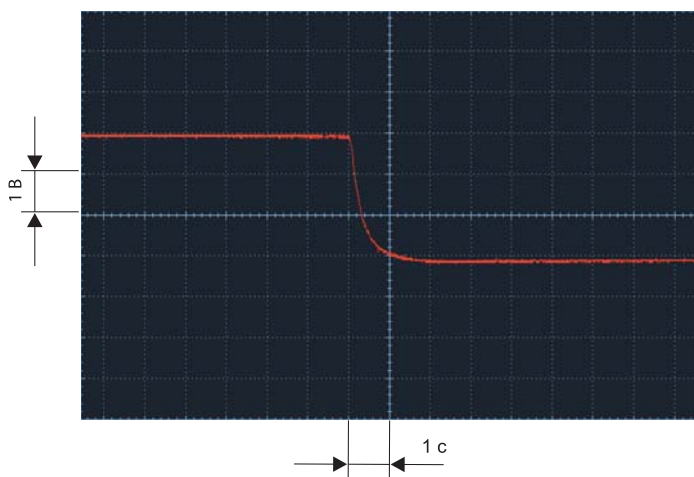


Рис. 3. Осциллограмма прямого напряжения светодиода CLN6A при измерении ТКН

Таблица. Результаты измерений максимального разброса ТКН светодиодов различных производителей

Тип светодиода	Фирма-производитель	Максимальный разброс ТКН в партии, %
MX6	Cree	14
CLN6A		8
CLA1A		8
ARL2-5053 URC-2cd	Arlight	15
ARL2-5053 UWC-2cd		80
ARL2-5053 UBC-1,8cd		60
Samsung 5630 CRI80 WHITE LED W0 RANK	Samsung Led	12
LEMWS59R80 Series	LG Innotek	14

светодиодов CLA1A, CLN6A (производитель Cree). Как показывают рисунки, процесс изменения прямого напряжения светодиодов занимает 2–3 с. Прямое напряжение *p-n*-перехода имеет обратную зависимость от температуры, поэтому температура *p-n*-перехода светодиода, соответственно, изменяется от низкой до высокой за тот же временной интервал в 2–3 с.

На основе разработанной установки были проведены измерения ТКН светодиодов различных производителей. Исследуемые светодиоды выбирались из одной упаковки и упаковочной ленты подряд. Количество исследуемых светодиодов — 50 шт. каждого типа. В таблице приведены результаты измерения максимального разброса ТКН светодиодов различных фирм.

Результаты исследований

Как видно из результатов исследований, светодиоды даже у одного производителя могут иметь значительный разброс ТКН в партии. Особенно это видно на примере ARL2-5053 UWC-2cd и ARL2-5053 UBC-1,8cd. Можно отметить, что вышеуказанные светодиоды имеют также и высокий разброс теплового сопротивления «переход–корпус» в партии [6], что указывает на неустойчивый технологический процесс изготовления светодиодов.

Определение ТКН светодиодов с использованием жидкостных термостатов позволяет увеличить точность измерения. Использование в установке двух жидкостных термостатов значительно сокращает время измерения ТКН. Предложенные технические решения позволяют быстро измерять ТКН каждого светодиода в партии, что повышает точность расчета теплового сопротивления «переход–корпус».

Литература

1. Зигель Л. Измерение теплового сопротивления — ключ к обеспечению нормального охлаждения полупроводниковых компонентов // Электроника. 1978. № 14.
2. Datasheet 5630 Series <http://led.lginnotek.com>
3. Datasheet MX6 www.cree.com/xlamp
4. ГОСТ 19656.15-84. Диоды полупроводниковые СВЧ. Методы измерения теплового сопротивления переход–корпус и импульсного теплового сопротивления.
5. Никоненко В., Малышев Ю. Расширение диапазона жидкостного термостата для проверки контактных термометров // НМ-Оборудование. 2005. № 3.
6. Мальцев И., Мальцев А. Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению *p-n*-переход–корпус // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 2.