

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Герман Е.В., Гармилин Е.В

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Научные руководители: Ефименко С.А. – канд. техн. наук, Бондарик В.М. – канд. техн. наук

Аннотация. В работе рассмотрены особенности измерения тепловых сопротивлений силовых полупроводниковых приборов: представлены формулы, практические особенности, термограммы распределения температур на МОП транзисторах, включенных с радиатором и без, рассчитаны численные значения сопротивлений.

Ключевые слова: Полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы, теплоотвод, радиатор, тепловое сопротивление, термограмма

Тепловое сопротивление полупроводниковых приборов (ПП) в установившемся режиме является одним из важнейших их параметров, по величине которого можно оценивать их качество изготовления, температуру кристалла в различных режимах эксплуатации и проводить отбраковку потенциально ненадежных приборов.

На практике необходимо знать значения двух типов теплового сопротивления - $R_{T\text{кр-ср}}$ и $R_{T\text{кр-кор}}$, которые могут быть вычислены следующим образом:

$$R_{T\text{кр-ср}} = \frac{T_{\text{кр}} - T_{\text{ср}}}{P}; \quad R_{T\text{кр-кор}} = \frac{T_{\text{кр}} - T_{\text{кор}}}{P} \quad (1)$$

Для того, чтобы установить численное значение теплового сопротивления нам необходимо знать температуру корпуса ($T_{\text{кор}}$), температуру кристалла ($T_{\text{кр}}$), температуру окружающей среды ($T_{\text{ср}}$) и рассеиваемую полупроводниковым прибором или силовой микросхемой мощность (P). Рассеиваемая мощность определяется из выражения:

$$P = U \times I \quad (2)$$

где I – ток потребления, а U – напряжение питания.

На практике, как правило, термометром определяется температура среды $T_{\text{ср}}$. Определение температуры кристалла $T_{\text{кр}}$ или корпуса $T_{\text{кор}}$ является более сложной задачей.

Для определения температуры корпуса, в нем, под кристаллом, просверливается небольшое отверстие, куда вставляется на теплопроводящей пасте термопара.

Температуру кристалла можно определить с помощью внутренних датчиков таких, как, например, внутренние р-п переходы (диоды), являющиеся элементной базой любого прибора. Напряжение на таком датчике, который включен в прямом направлении, зависит от температуры (рис. 1). При повышении температуры напряжение падает на 1,5-2,2 мВ.

Однако температурная зависимость для каждого конкретного диода своя. Это означает, что необходимо произвести калибровку диода (снять зависимость напряжения от температуры при заданном токе) перед определением температуры на кристалле. Значение тока $I_{\text{д}}$ следует выбирать на порядок меньшим, чем ток потребления микросхемы (≤ 1 мА), чтобы сильно не разогревать кристалл.

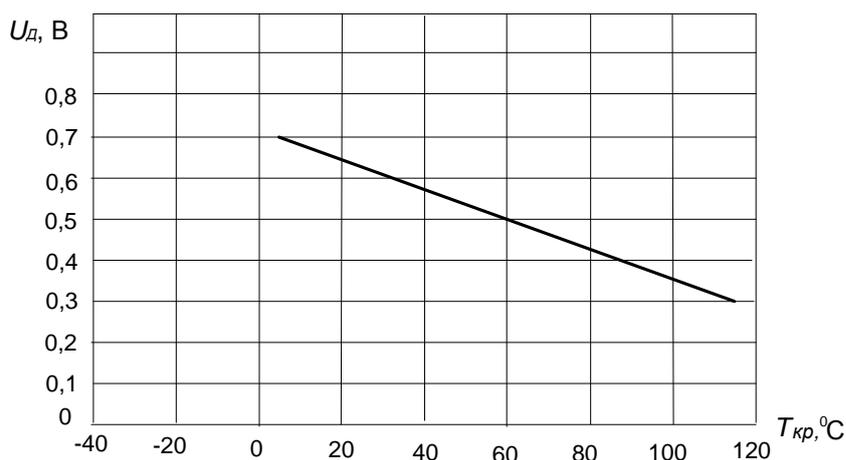


Рисунок 1 – Зависимость УД от температуры

В одной микросхеме для разных приборов данная зависимость может отличаться. Чтобы точно определить температуру кристалла следует калибровать каждый прибор.

Определение температуры кристалла, в соответствии с калибровкой датчиков, производят при выдерживании электрического режима на ИМС, достаточного для установления теплового равновесия (как правило, до 20 мин). Температура корпуса, как было описано выше, определяется терморпарой. Затем получают числовые значения сопротивлений $R_{T_{кр-кр}}$, $R_{T_{кр-кор}}$ по формулам, описанным выше.

При изменении значения температуры производить измерения параллельно, если не производить переключение ИМС в режим определения напряжения на датчике из рабочего, можно получить более точный результат. Однако здесь следует помнить, что температура варьируется по поверхности кристалла. Разброс температур может достигать нескольких десятков градусов.

Тепловизионный метод, фиксирующий инфракрасное излучение и градуирующий его по температуре, позволяет получать более точные результаты.

Далее представлены экспериментальные результаты исследований тепловых сопротивлений мощных МОП транзисторов, посаженных на радиатор. Используемый корпус – ТО-254 (металлостеклянный). Транзисторы были посажены на теплопроводящую бериллиевую пасту на радиаторы, которые, в свою очередь, были прикручены винтом. Это позволило производить исследования при мощности рассеивания превышающей несколько десятков Ватт. Для выравнивания излучательной способности различных элементов сборки (кристалл, корпус, выводы) проведено чернение приборов при помощи сажи. Контроль тепловых полей проводился после достижения квазиравновесного состояния (в течение 1-2 мин. существенного изменения распределения тепловых полей не происходит). Измерения проводились с использованием тепловизионной системы Agema 880. Камера системы позволяет видеть распределение температуры по всему прибору, поэтому предоставляется возможность определения температуры каждого отдельного элемента конструкции.

На рис. 2 показана термограмма температурного распределения. В таблице 1 представлены результаты обработки данной термограммы.



Рисунок 2 – Термограмма распределения температур на МОП транзисторе, включенном с радиатором

Существуют также решения с использованием корпусов, не предусматривающих посадку прибора на теплоотвод (радиатор). Такие решения, как правило, применяются для маломощных приборов, которые не требуют особенных мер охлаждения. Это могут быть и пластмассовые корпуса, такие, как SO, DIP, TO-92, и металлокерамические корпуса с планарным расположением выводов и др.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки термограммы

Параметр	Режим включения $V_g=10$ В; $V_d=3,82$ В; $I_d=19$ А; $P=72,58$ Вт	
	максимальная	средняя
Температуры, °С		
Температура кристалла, T1(AR1)	122	115
Температура кристаллодержателя, T2(AR3+AR4)	96,1	82
Температура основания корпуса, измеренная у винта крепления, T3	70,5	68
Максимальная температура проволоки истоковых петель разварки, T4 (SP1)	139	-
Максимальная температура вывода сток непосредственно у корпуса, T5	97,1	-
Максимальная температура вывода исток непосредственно у корпуса, T5	96,1	-
Температура радиатора вблизи корпуса, T7	59,1	57,5

Стоит обратить внимание на то, что проволоки истоковых петель разварки имеют максимально зарегистрированную температуру (примерно на 20°С выше максимальной температуры кристалла). Это говорит о том, что необходимо увеличить диаметр проволоки, используемой при разварке. В общем случае, для расчета тепловых сопротивлений используются несколько из приведенных параметров. С помощью следующих выражений произведем расчет тепловых сопротивлений на основе результатов, полученных выше.

$$R_{\text{Ткр-кор}} = \frac{T1_{\text{МАКС}} - T2_{\text{СРЕД}}}{P}, \quad (3)$$

$$R_{\text{Ткр-рад}} = \frac{T1_{\text{МАКС}} - T7_{\text{СРЕД}}}{P}, \quad (4)$$

$$R_{\text{Ткр-сп}} = \frac{T1_{\text{МАКС}} - T_{\text{СП}}}{P}, \quad (5)$$

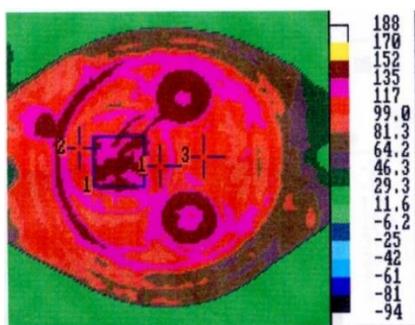


Рисунок 3. – Термограмма распределения температур на МОП транзисторе, включенном без радиатора

Расчет тепловых сопротивлений для МОП транзистора с использованием радиатора привел к следующим результатам: $R_{T \text{ кр-кор}} = 0,55 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{T \text{ кр-рад}} = 0,89 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{T \text{ кр-ср}} = 1,40 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Данные результаты могут быть применены конструкторами в практике. В силу того, что конструктор устройства не всегда может предусмотреть место для теплоотвода, аналогичные экспериментальные исследования были проведены для МОП транзистора без радиатора в металлическом корпусе ТО-3. Термограмма распределения температур для данной ситуации представлена на рис. 3. В таблице 2 представлены результаты обработки данной термограммы.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки термограммы

Параметр	Режим включения $V_d=3,0 \text{ В}; I_d=2,5 \text{ А}; P=7,5 \text{ Вт}$	
	максимальная	средняя
Температуры, $^\circ\text{C}$		
Температура кристалла, T1(AR1)	149	135
Температура кристаллодержателя, корпуса T2(SP1, SP2, SP3)	105	105

В результате расчетов были получены следующие значения тепловых сопротивлений: $R_{T \text{ кр-кор}} = 5,87 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{T \text{ кр-ср}} = 17,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Список литературы

1. Белоус А.И., Ефименко С.А., Турцевич А.С., Полупроводниковая силовая электроника, Москва: Техносфера, 2013. – 216 с
2. Белоус, А.И. «Основы силовой электроники» / Белоус А. И, Ефименко С. А., Солодуха В. А., Пилипенко В. А. – Москва: «Техносфера», 2019. – 424 с.

UDC 621.3.049.77

MEASURING THERMAL RESISTANCE OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

Herman Y.V, Harmilin Y.V

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

Efimenko S.A. - Cand. tech. Sciences, Bondarik V.M. - Cand. tech. Sciences

Annotation. The paper considers the features of measuring the thermal resistances of power semiconductor devices: formulas, practical features, thermograms of the temperature distribution on MOS transistors connected with and without a radiator are presented, the numerical values of the resistances are calculated.

Key words: Semiconductor devices, integrated microcircuits, heat sink, radiator, thermal resistance, thermogram.