



## Trabajo Práctico N°:2

# Estudio del Comportamiento Térmico de Semiconductores de Potencia y Técnicas de Disipación de Energía

## 1. Objetivos

Estudiar el comportamiento térmico de semiconductores de potencia, realizando mediciones de sus características de disipación de energía y de las técnicas para mejorar dicho comportamiento. Realizar estudios comparados, de las técnicas más usuales e investigar sobre otras más complejas.

## 2. Introducción teórica

### 2.1. Resistencia térmica

A fin de definir el concepto de resistencia térmica, podría decirse que, es la capacidad de transportar un flujo de calor a través de un material dado. Haciendo una analogía, con la resistencia eléctrica, la térmica es a esta, como potencia disipada es a corriente y temperatura lo es a voltaje.

Son tres, los mecanismos transporte de energía entre dos fuentes de distinta temperatura CONVECCIÓN, RADIACIÓN y CONDUCCIÓN. Si bien, en el proceso de transferencia de calor en semiconductores, intervienen los tres mecanismos, el que mayor cantidad de calor transfiere, en la mayoría de los casos, es el de CONDUCCIÓN (no-utilización de aire forzado o CONVECCIÓN). Siendo el de RADIACIÓN el que menos aporta, debido fundamentalmente a la poca diferencia de temperaturas entre los medios.

### 2.2. Mecanismos de transferencia de calor

#### 2.2.1. Conducción

El mecanismo de conducción viene expresado por la siguiente formula:

$$q = -kA\Delta t/\Delta x$$

En donde:

$k$  = conductividad térmica del medio [ $W/m^{\circ}C$ ]

$A$  = área efectiva de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$\Delta t$  =diferencia de temperatura entre dos puntos del medio[ $^{\circ}C$ ]

$\Delta x$  =distancia del camino térmico [ $m$ ]



### 2.2.2. Convección

El mecanismo de convección viene expresado por la siguiente formula:

$$q = hA(t_s - t_m)$$

En donde:

$h$  = coeficiente de transferencia térmica del medio [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ]

$A$  = área efectiva de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$t_s$  =temperatura del medio solido[ $^\circ C$ ]

$t_m$  =temperatura del medio fluido [ $^\circ C$ ]

### 2.2.3. Radiación

El mecanismo de radiación viene expresado por la siguiente formula:

$$q = \epsilon \sigma AT^4$$

En donde:

$\epsilon$  =coeficiente de emisividad del cuerpo (=1 para cuerpo negro)

$\sigma = 5,667 \times 10^{-8} [W/m^2 K^4]$

$A$  = área efectiva de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$T$  =temperatura del medio solido[ $^\circ K$ ]

### 2.2.4. Ejercicio 1

Dadas las ecuaciones de la sección (2.2) y teniendo en cuenta, el concepto de resistencia térmica antes mencionado, determinar la formula que representa la resistencia térmica, en cada mecanismo de conducción de calor.

## 3. Características térmicas los semiconductores de potencia

Por lo general, se recurre a diagramas simplificados de modelos térmicos a los fines de diseñar o calcular el comportamiento de estos semiconductores. Cuando manejan potencia, se puede incrementar la temperatura de funcionamiento de las obleas semiconductoras hasta el limite de provocar el daño irreversible de la misma.

$t_j$  Temperatura de juntura [ $^\circ C$ ]

$t_c$  Temperatura de caja [ $^\circ C$ ]

$t_a$  Temperatura de ambiente [ $^\circ C$ ]

$P_d$  Potencia a disipar [ $W$ ]

$\theta_{jc}$  Resistencia térmica juntura-caja [ $^\circ C/W$ ]

$\theta_{ca}$  Resistencia térmica caja-ambiente [ $^\circ C/W$ ]

La formula la que vincula estos parámetros es la siguiente:

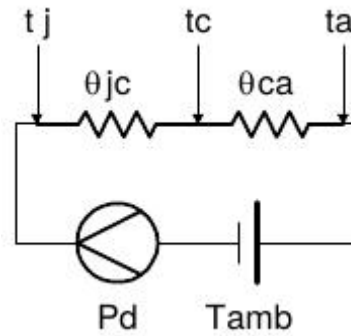


Figura 1: Modelo térmico equivalente simplificado, de un semiconductor en general

Tipo de Encapsulado	$\theta_{jc}$	$\theta_{ca}$
SOT-9	4,5	120
SOT-3, TO-3	1a5	45
SOT-78, TO-220	1,5 a 4,2	60 a 80
SOT-82	2,1	100
P-TO252-3-1(D-Pack)	1,8	-
SOT223-4-2	16,5	-

Cuadro 1: Resistencias térmicas aproximadas para distintos encapsulados

$$t_j = P_d(\theta_{jc} + \theta_{ca}) + t_a$$

Como guía se muestra en el cuadro (1) algunos valores de  $\theta_{jc}$  y  $\theta_{ca}$  para los encapsulados más comunes.

### 3.0.1. Ejercicio 2

Utilizando la ecuación del circuito térmico de la sección (3) y como referencia aproximada los valores dados en la tabla (1), conseguir información técnica de dos semiconductores, con encapsulado TO-3 y TO-220, de la cual se extraerán los parámetros: TEMPERATURA DE JUNTURA MÁXIMA y POTENCIA MÁXIMA DE DISIPACIÓN. Con el primer dato, se calculará la máxima potencia que el transistor puede disipar por sí mismo y luego, se comparará esta, con la especificada en la información obtenida. Explicar por qué, la potencia calculada es mucho menor que la especificada en la información obtenida.

## 4. Mecanismos para mejorar la disipación de energía

Como puede verse en los datos suministrados en la tabla anterior, existe una marcada diferencia entre los valores de resistencia térmica juntura caja y la correspondiente a la caja ambiente; casi un orden de magnitud. Esto implica, que si bien gran parte de la energía es transferida de la juntura a la caja, esta no puede ser transportada al medio ambiente, provocando un aumento significativo de temperatura, en la caja y por consiguiente, en la propia oblea semiconductora. El principal mecanismo, para poder transferir mayor energía al medio ambiente, consiste en disminuir la resistencia térmica caja ambiente, ya que, con la correspondiente a la juntura caja, nada puede ser hecho, debido a que es una característica intrínseca del semiconductor. La mejor forma de disminuir una resistencia, es colocando otra de menor valor en paralelo con esta, lo que se

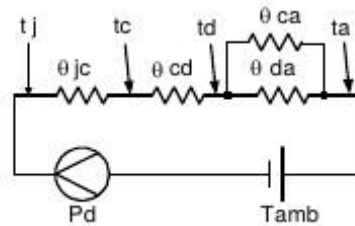


Figura 2: Modelo térmico equivalente simplificado, de un semiconductor en general

consigue, en el caso de semiconductores, montándolos en disipadores de calor. El siguiente circuito y ecuación muestran el mejoramiento introducido por el montaje de un semiconductor sobre un disipador de calor.

- $t_j$  Temperatura de juntura [ $^{\circ}C$ ]
- $t_c$  Temperatura de caja [ $^{\circ}C$ ]
- $t_a$  Temperatura de ambiente [ $^{\circ}C$ ]
- $P_d$  Potencia a disipar [ $W$ ]
- $\theta_{jc}$  Resistencia térmica juntura-caja [ $^{\circ}C/W$ ]
- $\theta_{ca}$  Resistencia térmica caja-ambiente [ $^{\circ}C/W$ ]
- $\theta_{cd}$  Resistencia térmica caja-disipador [ $^{\circ}C/W$ ]
- $\theta_{da}$  Resistencia térmica disipador [ $^{\circ}C/W$ ]

La formula la que vincula estos parámetros es la siguiente:

$$t_j = P_d(\theta_{jc} + \theta_{cd} + (\theta_{ca}/\theta_{da})) + t_a$$

Como puede inferirse de la ecuación anterior, la resistencia térmica de la caja al ambiente, se ha visto disminuida por colocar en paralelo con ella  $\theta_{da}$ . Como datos generales, se puede decir que la  $\theta_{cd}$ , tiene valores que varían entre 0.5 y 2  $^{\circ}C/W$ , dependiendo del método de montaje. En cuanto a la  $\theta_{da}$ , depende del tamaño del disipador utilizado, como así también, la geometría del mismo.

#### 4.0.1. Ejercicio 3

Recalcular la máxima potencia que podrán manejar, los semiconductores analizados en el problema 2, teniendo en cuenta, que ahora se dispone de un disipador, que presenta una resistencia térmica al ambiente de 3 $^{\circ}C/W$  y que la resistencia térmica caja disipador es de 1 $^{\circ}C/W$ .

## 5. Actividad práctica

El trabajo practico a realizar consistirá en la comprobación experimental de los conceptos analizados utilizando diferentes dispositivos semiconductores. Incluir fotografías de los dispositivos, disipadores y montajes utilizados.

### 5.1. Medición de la resistencia térmica juntura-caja

Seleccionar un transistor de potencia y polarizarlo, de tal manera que disipe una potencia conocida y segura. Luego, medir las temperatura correspondientes para determinar la resistencia



$\theta_{jc}$ . Un método aproximado de medir la resistencia térmica de la junta a la caja es por medio de la medición del voltaje Base-Emissor, el cual se sabe, varía a razón de  $-2,2mV/^{\circ}C$ , de esta forma se puede establecer la elevación de la temperatura de la junta para una potencia dada, lo que permite un cálculo aproximado de  $\theta_{jc}$ .

Seleccionar un regulador lineal con protección por sobre temperatura y armar un circuito para ponerlo en funcionamiento. Mediante la técnica explicada en [1], y con las mediciones de temperatura correspondientes, determinar la  $\theta_{jc}$ .

## 5.2. Medición de la resistencia térmica caja-ambiente

Se deberán elegir tres dispositivos (transistores o reguladores lineales) con encapsulados como los enunciados en los problemas anteriores donde uno de ellos debe ser de montaje superficial. Se calculará cual debe ser la potencia a disipar, para que la temperatura de la caja no supere los  $80^{\circ}C$ , con el dispositivo sin ser montado en disipador alguno. Polarizando el dispositivo, con los parámetros que permitan desarrollar la potencia calculada, se medirá la temperatura de caja y ambiente, para luego, calcular la resistencia térmica caja ambiente. Se cotejara el valor medido de resistencia térmica con el que se especifica en la hoja de datos correspondiente, explicando cualquier diferencia significativa.

## 5.3. Medición de las resistencias térmicas de un montaje con disipador

Para esta parte de las mediciones, se deberá disponer de dos disipadores de dimensiones diferentes, en los cuales se deberá montar ambos dispositivos utilizados según la siguiente tabla:

Dispositivo 1												
Disipador:	Disipador 1						Disipador 2					
Montaje:	Horizontal			Vertical			Horizontal			Vertical		
	$T_a$	$T_c$	$T_d$	$T_a$	$T_c$	$T_d$	$T_a$	$T_c$	$T_d$	$T_a$	$T_c$	$T_d$
Sin interfaz												
Con separador de mica												
Con grasa siliconada												
Con mica + grasa												
Potencia disipada												

Cuadro 2: Temperaturas involucradas de acuerdo al montaje



Para el caso del dispositivo de montaje superficial se deberá ensayar diferentes áreas de cobre y donde la interfaz sea la soldadura con estaño.

Dispositivo SMD												
Área:	Área del tamaño del disp.						Área mayor al del disp.					
Montaje:	Horizontal			Vertical			Horizontal			Vertical		
	$T_a$	$T_c$	$T_d$	$T_a$	$T_c$	$T_d$	$T_a$	$T_c$	$T_d$	$T_a$	$T_c$	$T_d$
Sin interfaz												
Con estaño												
Potencia disipada												

Cuadro 3: Temperaturas involucradas de acuerdo al área de cobre de un dispositivo SMD

Con las mediciones de temperatura efectuadas, se procederá a calcular las siguientes resistencias térmicas.

Para el dispositivo de montaje superficial:

Dispositivo 1	$\theta_{jc} =$				$\theta_{cd} =$			
Disipador	Disipador 1				Disipador 2			
Montaje	Horizontal		Vertical		Horizontal		Vertical	
	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$
Sin interfaz								
Con separador de mica								
Con grasa siliconada								
Con mica + grasa								

Cuadro 4: Resistencias térmicas de acuerdo al montaje

Una vez se hayan calculado todas las resistencias térmicas, analizar las diferencias, que se pre-

Dispositivo SMD	$\theta_{jc} =$				$\theta_{cd} =$			
Áreas	Área 1				Área 2			
Montaje	Horizontal		Vertical		Horizontal		Vertical	
	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$	$\theta_{cd}$	$\theta_{da}$
Sin interfaz								
Con estaño								

Cuadro 5: Resistencias térmicas de acuerdo al área de cobre para un dispositivo SMD.

sentaron en los valores particulares para cada disipador, explicando los motivos por los cuales se produjeron esas variaciones. Conseguir información sobre encapsulados de semiconductores de potencia y realizar una tabla, donde conste, el tipo de encapsulado y sus correspondientes resistencias térmicas, junta caja y caja disipador. Recabar información de por lo menos 10 disipadores comerciales, realizando un informe, donde constaran sus dimensiones, su resistencia térmica disipador ambiente y las curvas de mejoramiento de esta con al utilización de aire forzado.

### 5.3.1. Ejercicio 4

Un transistor con encapsulado TO-3, deberá ser instalado en un equipo que será operado en el rango comercial de temperatura. Este dispositivo, deberá disipar una potencia de 20 W .



Diseñar el sistema de disipación de energía, especificando el sistema de montaje, como así también, determinar un disipador comercialmente disponible, donde deberá ser montado. Como limitación de diseño el espacio, ocupado por el conjunto, deberá ser el mínimo posible.

### 5.3.2. Ejercicio 5

El mismo transistor del ejemplo anterior, deberá operar en el rango militar de temperatura, analizar la posibilidad de utilizar el mismo método de disipación de calor, empleado en el problema anterior, de no ser posible, diseñar un sistema que permita la operación del transistor en las condiciones actuales.

## 6. Evaluación del trabajo práctico

La evaluación de este trabajo practico será realizada a través de un examen parcial e individual el cual tendrá la modalidad de “VARIAS OPCIONES Y EJERCICIOS” con un total de 10 preguntas, de las cuales deberán ser respondidas 7, en forma correcta, para aprobar. La evaluación se basará en los siguientes puntos:

1. Base teórica sobre mecanismos de disipación.
2. Mediciones realizadas y experiencias correspondientes durante el desarrollo.
3. Especificaciones de los fabricantes.
4. Problemas planteados.
5. Comparación entre los valores obtenidos para cada caso.

**Fecha de entrega: 21/5/2017**

## Referencias

- [1] Maxwell Robertson. Measuring the thermal impedance of lds in situ. Technical Report slva422, Texas Instruments, July 2010. <http://www.ti.com/cn/lit/pdf/slva422>.