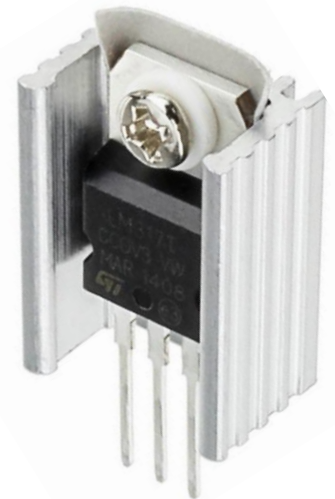




**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

Tema 3 (Parte B): Protección térmica de semiconductores

José M. Cámara y Miguel Cantera
V 1.1

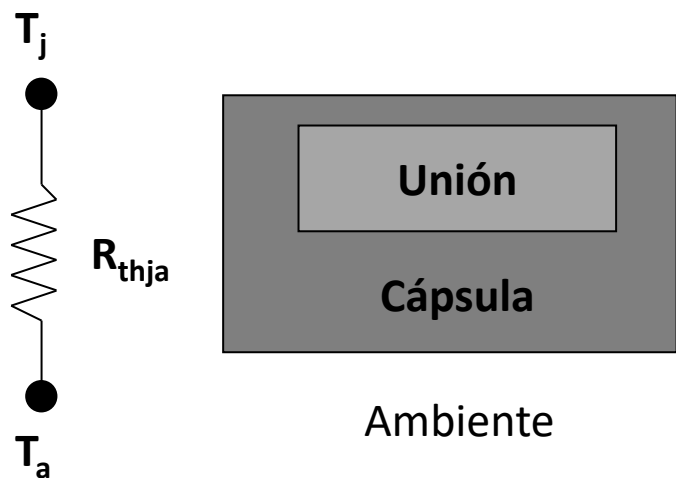


Introducción

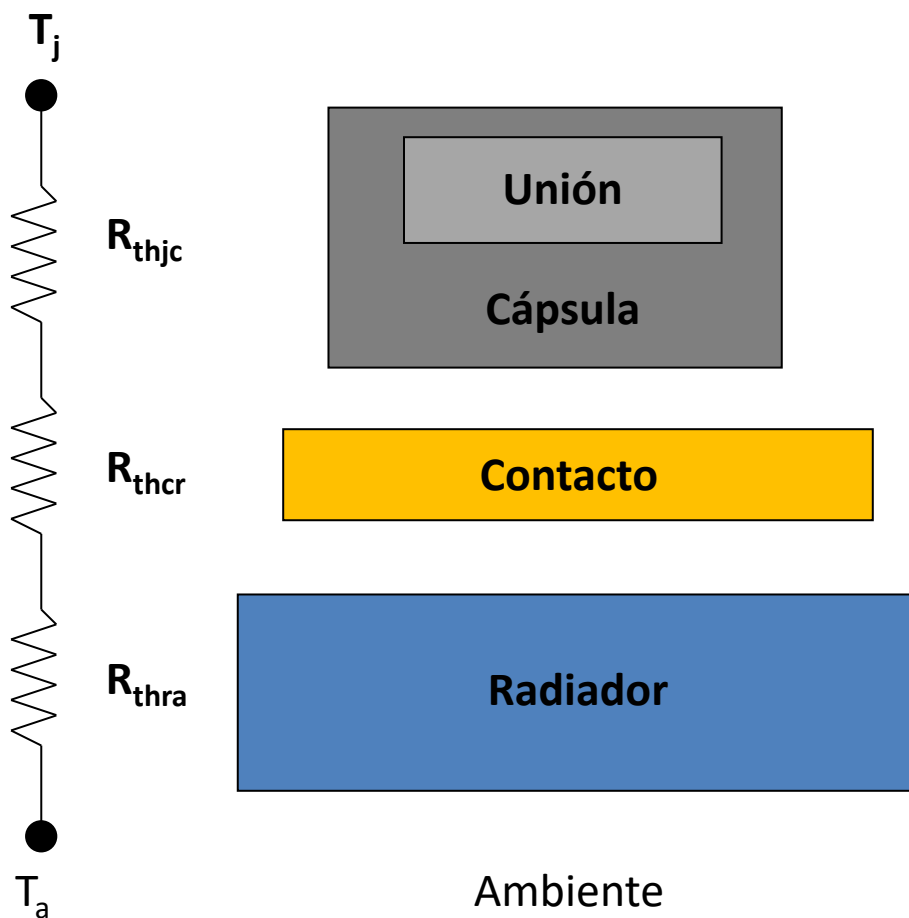
- Las técnicas que veremos tienen como objetivo **evacuar** la potencia disipada por el semiconductor en su funcionamiento.
- Se basa en la utilización de elementos disipativos facilitados por los fabricantes.
- Se han de diseñar de forma que el circuito térmico formado garantice que la temperatura en el semiconductor se mantiene dentro de los límites de seguridad.

Protección térmica - circuito térmico básico

Sin radiador



Con radiador

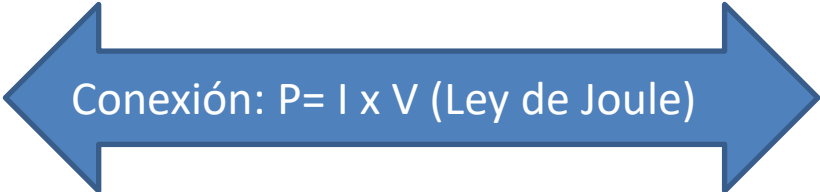


Protección térmica - conceptos

- **T_j : temperatura máxima de la unión.** Por encima de ella el semiconductor se funde. La proporciona el fabricante en el datasheet.
- **R_{thjc} : resistencia térmica unión-cápsula.** La proporciona el fabricante en el datasheet. Se puede encontrar también R_{thja} : resistencia térmica unión-ambiente para trabajar sin disipador.
- **R_{thcd} : resistencia térmica capsula-disipador.** Resistencia térmica introducida por la conexión entre la cápsula y el disipador (tabulada o proporcionada por el fabricante de la pasta de unión).
- **R_{thda} resistencia térmica disipador-ambiente.** Resistencia térmica del disipador. Proporcionada por el fabricante del disipador.
- **T_a : temperatura ambiente.** La que exista en el entorno de la aplicación

Protección térmica - ley de Ohm térmica

Magnitudes <u>eléctricas</u>	Magnitudes <u>térmicas</u>
I: corriente eléctrica (A)	P: potencia (vatios)
R: resistencia eléctrica (Ω)	R: resistencia térmica ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
V: tensión (V)	T: temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ó K)
Ley de Ohm: $V=I \times R$	Ley de Ohm térmica : $T=P \times R$



Conexión: $P=I \times V$ (Ley de Joule)

Cálculo de la disipación

- Pérdidas en conducción:

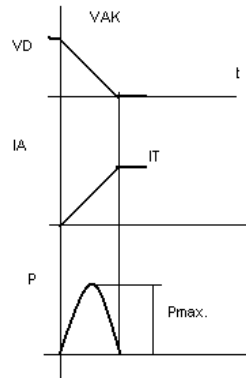
$$P = V_{\gamma} \cdot I_m + r_d \cdot I_{ef}^2 \quad \text{Para diodos, SCR, GTO y MCT}$$

$$P = R_{sat} \cdot I_{ef}^2 \quad \text{Para BJT, MOS, IGBT}$$

- Pérdidas en conmutación:

$$P = f \cdot \frac{V_D \cdot I_T}{3} \cdot t_{on}$$

A menudo las pérdidas totales se sobredimensionan como el doble de las pérdidas en el encendido.



Encendido

$$V_{AK} = V_D - \frac{V_D}{t_{on}} \cdot t; I_A = \frac{I_T}{t_{on}} \cdot t$$

$$\Rightarrow P(t) = \frac{V_D \cdot I_T}{2} \left(t_{on} \cdot t - t^2 \right)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} \frac{V_D \cdot I_T}{2} (t_{on} \cdot t - t^2) dt = \frac{t_{on}}{T} \cdot \frac{V_D \cdot I_T}{6}$$

A frecuencias de red (50Hz), las pérdidas en conmutación se desprecian. A frecuencias superiores, se hacen más relevantes.

Protección térmica – cálculo de radiadores (I)

- Partiendo de la potencia disipada por el semiconductor, la resistencia térmica del radiador se calcula:

$$T_j - T_a = P(R_{thjc} + R_{thcr} + R_{thra}) \Rightarrow R_{thra} = \frac{T_j - T_a}{P} - R_{thjc} - R_{thcr}$$

- Con el resultado obtenido se acude al catálogo para buscar un radiador cuya resistencia térmica se encuentre por debajo de la calculada. Existen también piezas para diseñar y fabricar radiadores a medida.
- Es posible que no sea necesaria la instalación de un radiador:

$$T_j - T_a = P \cdot R_{thja} \Rightarrow R_{thja} = \frac{T_j - T_a}{P} \geq R_{thja}(\text{fabricante})$$

Protección térmica – cálculo de radiadores (II)

Diseñar un radiador para un transistor BD137 que disipa 5 vatios a una temperatura ambiente de 20 °C, para que su temperatura no supere los 120 °C, usando la herramienta on-line proporcionada en:

<https://www.giangrandi.ch/electronics/thcalc/thcalc.shtml>

Para ello, se ha de obtener los parámetros térmicos y el modelo de encapsulado en la hoja de características del transistor.

Ejercicio protección térmica

- Tiristor SCR conduciendo 90°
 - Corriente en conducción: 30 Sen(wt) (amperios).
 - Tensión en bloqueo: 200 Sen(wt) (voltios).
 - Corriente en bloqueo: 0
 - Tensión en conducción: 1,3 V.
 - Resistencia dinámica: $r_d = 0,1 \Omega$
 - Tiempo de encendido: $t_{on} = 1 \mu s$
 - Frecuencia = 50 Hz.
 - $R_{thjc} = 1^{\circ}\text{C/W}$
 - $R_{thcr} = 0,1^{\circ}\text{C/W}$
 - $T_a = 22^{\circ}\text{C}$
 - $T_{j_{max}} = 85^{\circ}\text{C}$
- Calcular el valor del radiador necesario.

Cálculos eléctricos

$$I_m = \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} i(t) dt = \frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/2} 30 \operatorname{Sen} \left(\frac{2\pi}{T} t \right) dt = \frac{30}{T} \left(\frac{-\cos \frac{2\pi}{T} t}{2\pi/T} \right) = \frac{30}{2\pi} (-\cos \pi + \cos \pi/2) = \frac{30}{2\pi} = 4,774A$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/2} 900 \operatorname{Sen}^2 \left(\frac{2\pi}{T} t \right) dt} = \sqrt{\frac{900}{T} \int_{T/4}^{T/2} \frac{1 - \cos(\frac{4\pi}{T} t)}{2} dt} =$$

$$\sqrt{\frac{900}{2T} \left[\frac{T}{2} - \frac{T}{4} \right] - \frac{900}{2T} \left[\left(\frac{\operatorname{Sen}(2\pi)}{4\pi/T} \right) - \left(\frac{\operatorname{Sen}(\pi)}{4\pi/T} \right) \right]} = \sqrt{\frac{900}{8} - \frac{900}{8\pi} (0 - 0)} = \frac{30}{2\sqrt{2}} = 10,606A$$

Pérdidas en conducción: $P = V\gamma * I_m + r_d * I_{ef}^2 = 1,3 * 4,774 + 0,1 * 10,606^2 = 17,456W$

Pérdidas en conmutación: $P = f \frac{V_D * I_T}{3} t_{on} = 50 \frac{200 * 30}{3} 10^{-6} = 0,1W$

Pérdidas totales = 17,556W

Cálculos térmicos

Potencia a disipar: 17,556W

Resistencia térmica del radiador: $R_{thra} = \frac{T_j - T_a}{P} - R_{thjc} - R_{thcr} = \frac{85 - 22}{17,556} - 1 - 0,1 \leq 2,488^\circ C/W$

Ejemplo aplicación a tiristor real

Tiristor SKT 40/06D.

$R_{th(j-c)}$	cont.	continua	0,6	K/W
$R_{th(j-c)}$	sin. 180	senoidal	0,66	K/W
$R_{th(j-c)}$	rec. 120	rectangular	0,7	K/W
$R_{th(c-s)}$	Capsule – heat sink		0,2	K/W
T_{vj}			- 40 ... + 130	°C
T_{stg}			- 55 ... + 150	°C

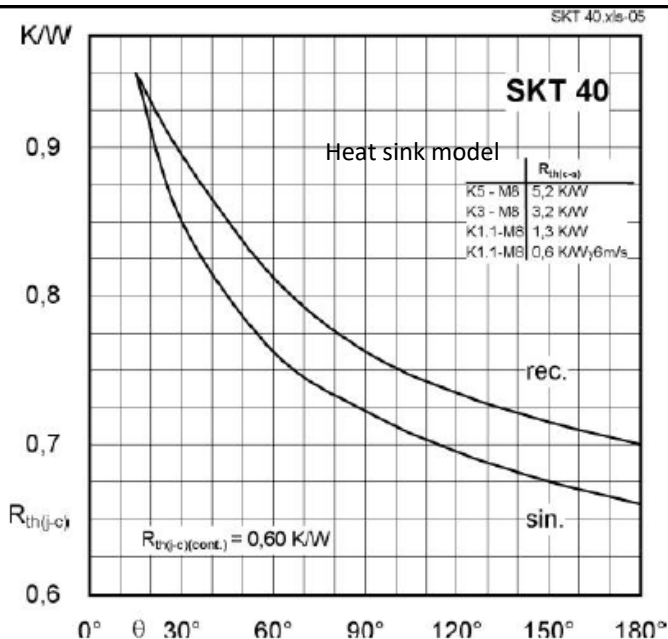


Fig. 5 Thermal resistance vs. conduction angle

On-state voltage

$V_{T(TO)}$	$T_{vj} = 130\text{ °C}$	max. 1	V
r_T	$T_{vj} = 130\text{ °C}$	max. 9	mΩ

On-state slope resistance

t_{gd}	$T_{vj} = 25\text{ °C}; I_G = 1\text{ A}; di_G/dt = 1\text{ A/μs}$	1	μs
t_{gr}	$V_D = 0,67 * V_{DRM}$	1,5	μs

$$t_{on} = t_{gd} + t_{gr}$$

Pérdidas en conducción: $P = V_T * I_m + r_d * I_{ef}^2 = 1 * 4,774 + 0,009 * 10,606^2 = 5,786W$

Pérdidas en conmutación: $P = f \frac{V_D * I_T}{3} t_{on} = 50 \frac{200 * 30}{3} 2,5 * 10^{-6} = 0,249W$

Pérdidas totales = 6,035W



Case B 3 (IEC 60191-2: A38MA, A14U; JEDEC: TO-208AC (TO-65))

Ejemplo aplicación a tiristor real

Potencia total: 6,035W.

Resistencia térmica del radiador: $R_{thra} = \frac{T_j - T_a}{P} - R_{thjc} - R_{thcr} = \frac{85 - 22}{6,035} - 0,75 - 0,2 \leq 9,489^{\circ}\text{C}/\text{W}$

Cálculo gráfico

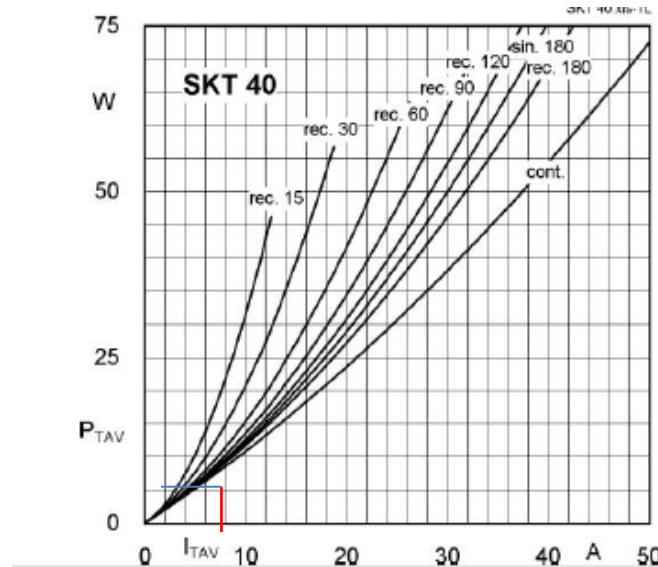


Fig. 1L Power dissipation vs. on-state current

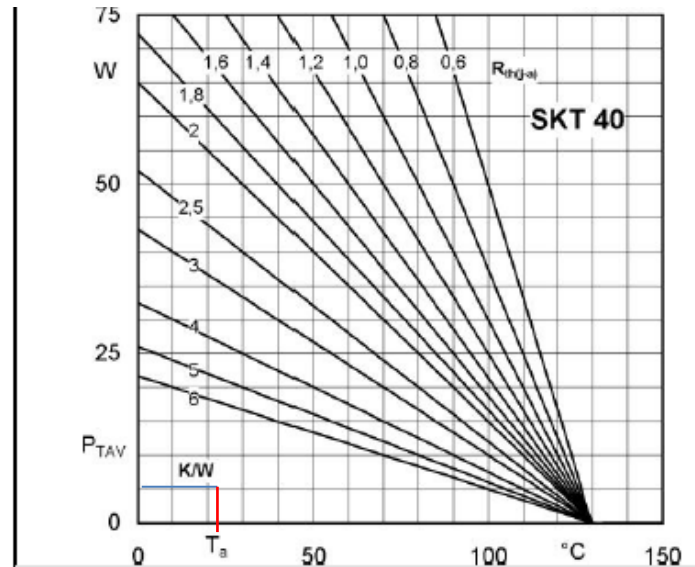


Fig. 1R Power dissipation vs. ambient temperature



K5 $R_{th(ca)} = 5,2 \text{ K/W}$, $R_{th(ra)} = 5 \text{ K/W}$

Referencias

- **Electrónica de Potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones.** Muhammad H. Rashid. Pearson Educación, 2004.
- **Electrónica de Potencia.** Salvador M. García, Juan A. Gualda Gil. Thomson Editores Spain, Paraninfo S.A., 2006
- **Semikron Power Semiconductors Application Manual.** Arendt Wintrich, Ulrich Nicolai, Werner Tursky, Tobias Reimann. Semikron International GmbH, 2011