



Guía de Ejercicios N^o 10: Dispositivos de Potencia

Parte I: Modelo térmico

1. En la Fig. 1 se muestra el modelo térmico típico de un dispositivo. Resolver los siguientes problemas:
 - a) La temperatura ambiente (T_{amb}) es $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, la resistencia térmica junta-encapsulado (θ_{JC}) es $1\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, la resistencia térmica encapsulado-ambiente (θ_{CA}) es $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la temperatura máxima de junta ($T_{J\ max}$) que tolera el dispositivo es $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dadas esas condiciones, ¿cuál es la potencia media máxima que puede disipar el dispositivo? ¿Qué resistencia térmica es la principal culpable del aumento de la temperatura de junta?
 - b) Si se quisiera multiplicar por 5 la máxima potencia disipable, ¿cuál es la resistencia térmica del disipador que habría que agregar? Dibuje el nuevo circuito térmico habiendo agregado el disipador.
 - c) Se utiliza un nuevo dispositivo para el cual: $T_{J\ max} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\theta_{CA} = 60\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ y la potencia media máxima disipable es 2 W . Hallar la resistencia junta-encapsulado (θ_{JC}).
 - d) Si el dispositivo del ítem anterior se encuentra disipando $1,9\text{ W}$ y ahora la temperatura ambiente aumenta a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, ¿el dispositivo falla?

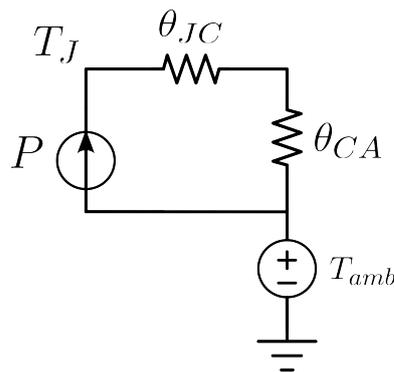


Figura 1

2. El integrado 7809 permite obtener una tensión regulada de 9 V a su salida. Para cierta aplicación, la tensión media de entrada es de 21 V y la corriente que circula es 1 A en un ambiente de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - a) ¿Cual es la tensión que cae en el 7809? Calcular la potencia disipada por el integrado.
 - b) Considerando que el dispositivo principal del integrado tiene un $T_{J\ max} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que $P_{max}(@T_A = 20\text{ }^{\circ}\text{C}) = 8,69\text{ W}$ y $P_{max}(@T_C = 20\text{ }^{\circ}\text{C}) = 8,69\text{ W}$, determinar si es necesario usar un disipador. En caso afirmativo, calcular su resistencia térmica.

Parte II: Rectificadores

3. Considerar el circuito de la Fig. 2 con $R = 100\ \Omega$, la tensión de encendido del diodo es $V_{D(ON)} = 0,7\text{ V}$ y la $V_X(t) = V_0 + v \cdot \sin(2\pi f t)$ con $v = 20\text{ V}$ y $f = 1\text{ kHz}$
 - a) Para $V_0 = 0$, graficar en función del tiempo V_{OUT} , I_X y la tensión sobre el diodo.
 - b) Calcular la potencia media disipada por la resistencia y por el diodo.
 - c) Graficar nuevamente, pero para $V_0 = \pm 5\text{ V}$.
 - d) ¿Por qué llamamos "rectificador de media onda" a este circuito?

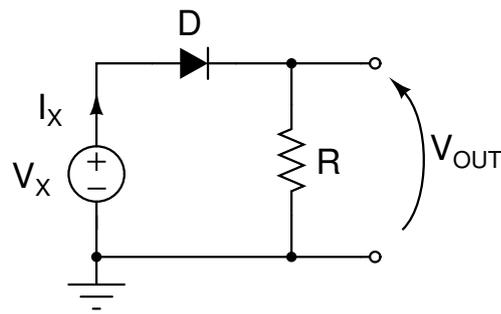


Figura 2

4. Los diodos del circuito de la Fig. 3 (1N3913A) forman un rectificador de onda completa y soportan una tensión máxima de inversa de 400 V. En directa, soportan una corriente máxima de 50 A con una caída de tensión en directa de 1,5 V. El dispositivo presenta una resistencia térmica juntura-encapsulado, Θ_{JC} , de $0,8^\circ\text{C}/\text{W}$, que va fuertemente atornillado al gabinete del equipo, el cual puede llegar a alcanzar una temperatura máxima de 70°C . Calcular la máxima temperatura a la que puede llegar a estar la juntura del diodo en el circuito de la figura si V_I es la tensión de línea y $R_L = 100\ \Omega$ (**Ayuda:** considerar constante la caída de potencial en directa, y calcular la potencia media que se disipa en el dispositivo). Considerar despreciable la resistencia térmica entre el encapsulado y el gabinete.

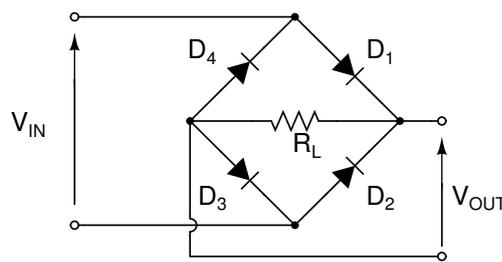


Figura 3

5. Un SCR se utiliza en el circuito de la Fig. 4,
- Analizar el funcionamiento del SCR en base al modelo de dos transistores bipolares interconectados.
 - Dibujar las formas de onda de tensión en el SCR y en la R_L para diferentes ángulos de disparo del dispositivo. Indicar cuándo la potencia disipada en la carga es máxima.
 - La caída de tensión en el SCR cuando conduce es aproximadamente 1 V. Las resistencias térmicas del SCR son $\Theta_{JC} = 1,5^\circ\text{C}/\text{W}$ y $\Theta_{CA} = 62^\circ\text{C}/\text{W}$. Las temperaturas máximas son $T_{A_{\text{máx}}} = 50^\circ\text{C}$ y $T_{J_{\text{máx}}} = 150^\circ\text{C}$. Para el caso de máxima potencia disipada en la carga, determinar si el SCR necesita montarse sobre un disipador.
6. Para el circuito de la Fig. 5, donde V_S es la tensión de línea y V_G es un tren de pulsos de período 10 ms:
- Identifique qué tipo de tiristor es y explique qué lo diferencia del tiristor de la Fig. 4.
 - Suponiendo que el desfase entre V_S y V_G es de 5 ms, dibuje en gráficos alineados la forma de onda de V_S , V_G , V_{R_L} , V_{TIRISTOR} y I_{TIRISTOR} .
 - Asumiendo que ahora V_S y V_G se encuentran en fase y $R_L = 10\ \Omega$, indique si es necesario agregar un disipador al tiristor para que el circuito funcione correctamente. Considere $V_{ON} = 2\ \text{V}$, $T_{A_{\text{máx}}} = 75^\circ\text{C}/\text{W}$, $T_{J_{\text{máx}}} = 150^\circ\text{C}$, $\Theta_{JC} = 2^\circ\text{C}/\text{W}$ y $P_{dJA}(@25^\circ\text{C}) = 25\ \text{W}$.

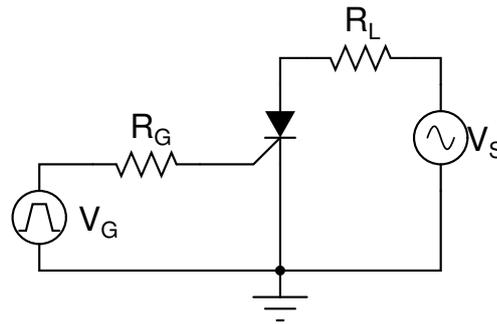


Figura 4

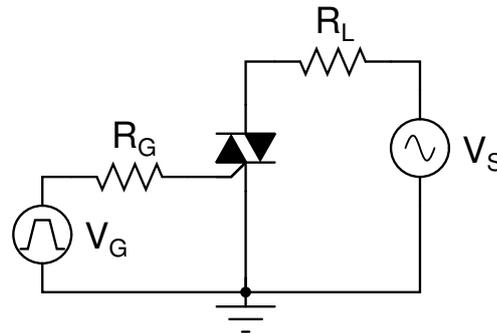


Figura 5

Parte III: Transistores de potencia

7. Dado un transistor n-MOSFET de potencia (AP03N70P), donde $V_{DS_{m\acute{a}x}} = 700\text{ V}$, $I_{D_{m\acute{a}x}} = 2,1\text{ A}$, $T_{J_{m\acute{a}x}} = 150\text{ }^\circ\text{C}$, $\Theta_{JC} = 2,8\text{ }^\circ\text{C/W}$ y $\Theta_{JA} = 62\text{ }^\circ\text{C/W}$:
- Calcule la máxima potencia que puede disiparse en el transistor sin que la juntura llegue a la temperatura máxima teniendo en cuenta que la temperatura ambiente puede llegar a $50\text{ }^\circ\text{C}$.
 - Si se usa al transistor para regular la corriente de carga en un pack de baterías en un circuito como el de la Fig. 6, calcule la máxima corriente que puede aplicarse sin superar la máxima temperatura de juntura en las condiciones anteriores.
 - Explique cómo cambia la corriente que puede hacerse circular por el transistor si se lo conecta a un disipador con una resistencia de $2\text{ }^\circ\text{C/W}$.

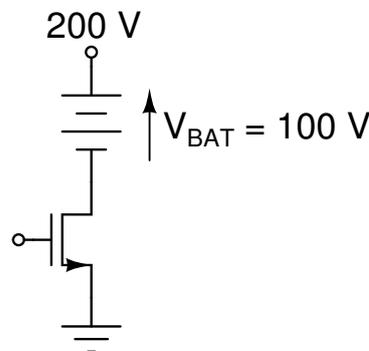


Figura 6

8. Un transistor 2N3055 se utiliza en una etapa de salida de potencia en un circuito de audio y disipa una

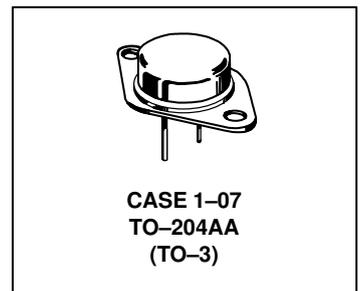


potencia de 30 W. El circuito se encuentra montado en el interior de un gabinete donde el aire puede alcanzar una temperatura máxima de 50 °C. El fabricante indica las especificaciones de la Fig. 7.

- ¿Qué son los *Maximum Ratings*? Explique las consecuencias de los excesos de tensión, corriente y potencia.
- Indicar si es necesario o no colocar un disipador en el transistor. En caso afirmativo, calcular su resistencia térmica.
- Si por fallas en la ventilación la temperatura dentro del gabinete aumenta a 75 °C, ¿qué le ocurre al transistor?

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector–Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	7	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ Derate above 25 $^\circ\text{C}$	P_D	115 0.657	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$



THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C/W}$

Figura 7

Parte IV: Integradores

9. Dado el circuito de la Fig. 8, graficar la forma de onda en cada uno de los dispositivos y en la carga R_L en las siguientes condiciones:

- Cada uno de los SCR conduce durante $\frac{1}{2}$ ciclo de la señal V_S .
- Cada uno de los SCR conduce durante $\frac{1}{4}$ ciclo de la señal V_S .
- Los SCR no conducen en ningún momento.

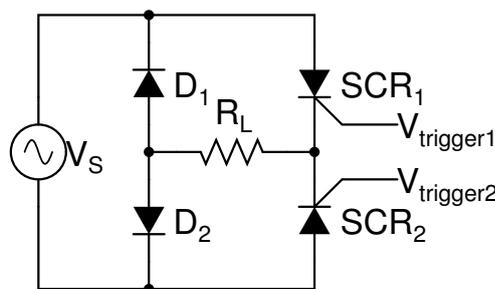


Figura 8



10. En el circuito de la Fig. 9 $R_1 = 5\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$ y $V_{AK} = 1\ \text{V}$ cuando los semiconductores conducen. v_P es la tensión de disparo de los semiconductores y v_E es la tensión de entrada del circuito. El tiempo transcurrido entre un cruce por cero de v_E y el disparo es α .
- Hallar el máximo valor de potencia media total que se puede entregar a ambas resistencias ($P_{\text{máx}}$).
 - Calcular el α necesario para que la potencia media total entregada a las resistencias sea $4\ \text{kW}$.
 - Dado el circuito de la Fig. 9 y $\alpha = 4\ \text{ms}$, calcular la resistencia térmica (Θ_{disp}) del disipador necesario para T_2 . Considerar una temperatura ambiente máxima de $40\ ^\circ\text{C}$ y $T_{J_{\text{máx}}} = 120\ ^\circ\text{C}$. Las resistencias térmicas del triac T_2 son $\Theta_{JC} = 2,5\ ^\circ\text{C/W}$ y $\Theta_{CA} = 8\ ^\circ\text{C/W}$.

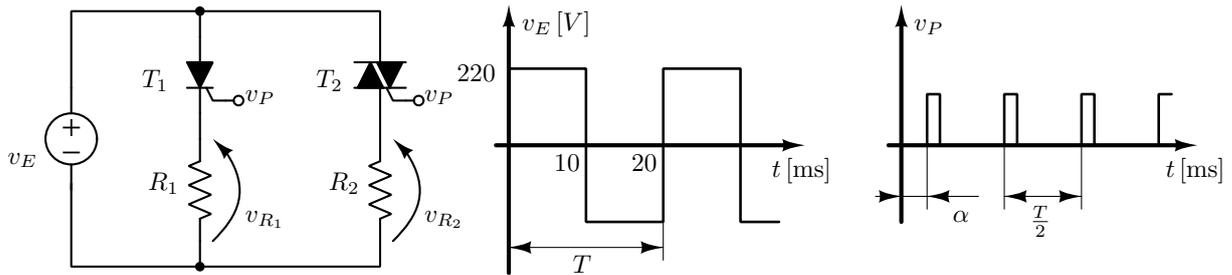


Figura 9

11. En el circuito de la Fig. 10 se observa un rectificador semicontrolado para regular la potencia entregada a la carga R_L mediante el tiempo α de los pulsos de disparo. La tensión de entrada es $v_S = 311\ \text{V} \sin(2\pi 50\ \text{Hz} \cdot t)$. El transformador es de $220\ \text{V}$ a $48\ \text{V} + 48\ \text{V}$, es decir que en el secundario la tensión eficaz es de $48\ \text{V}$ entre un extremo del bobinado y el punto medio. Considerar una caída de tensión de $1\ \text{V}$ en los tiristores mientras conducen y $R_L = 5\ \Omega$. Sea $v_{P1} = v_{P2}$ un tren de pulsos de amplitud y duración de pulso suficiente para disparar los tiristores.
- Siendo $\alpha = 5\ \text{ms}$ el desfase de los pulsos de disparo respecto del cruce con cero de la tensión de entrada, calcule el valor medio de la tensión sobre la carga R_L .
 - Considerando que α es tal que la tensión media sobre R_L es $40\ \text{V}$ y que las características térmicas de los semiconductores son $T_{J_{\text{máx}}} = 120\ ^\circ\text{C}$, $\Theta_{JC} = 10\ ^\circ\text{C/W}$ y $P_{\text{máx}} = 1\ \text{W}$ si $T_A = 25\ ^\circ\text{C}$. Se desea que la temperatura de la carcasa de los tiristores no supere los $60\ ^\circ\text{C}$ considerando $T_A = 30\ ^\circ\text{C}$. Calcular la resistencia térmica de cada uno de los disipadores necesarios, Θ_{disp} .
 - Se duplica la potencia a disipar por los tiristores y se desea mantener la temperatura de la carcasa de los dispositivos en $60\ ^\circ\text{C}$. ¿Qué ocurre con la resistencia térmica de los disipadores?

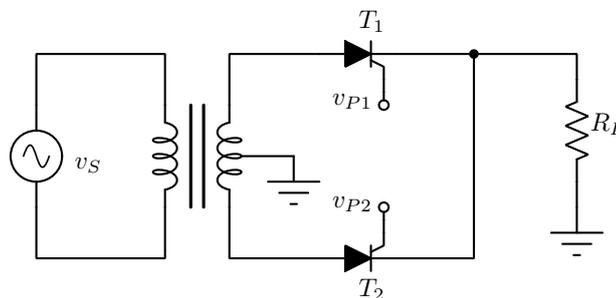


Figura 10

12. En el circuito de la Fig. 11 se observa un puente semicontrolado para regular la potencia entregada a dos resistencias calefactoras. Considerar $R_1 = R_2 = 2\ \Omega$ y $V_{AK} = 2\ \text{V}$ cuando los semiconductores conducen. Para el disparo de los tiristores se utiliza un tren de pulsos, v_P , de amplitud suficiente para realizar el disparo con período $T_P = \frac{T_s}{2}$ y desfase $\alpha = 2\ \text{ms}$ respecto a v_s .



- a) Hallar la potencia media total que se entrega a la resistencia R_1 y la que se disipa en T_2 considerando la llave L abierta.
- b) Calcular la resistencia térmica (Θ_{disp}) del disipador necesario para que compartan los cuatro semiconductores, es decir que sobre un mismo disipador se montará T_1 , sT_2 , D_1 y D_2 . Considerar la llave L cerrada, una temperatura ambiente máxima de 50°C y $T_{J_{\max}} = 140^\circ\text{C}$. Las resistencias térmicas de los tiristores son $\Theta_{JC} = 0,2^\circ\text{C/W}$ y $\Theta_{CA} = 0,8^\circ\text{C/W}$. Las resistencias térmicas de los diodos son $\Theta_{JC} = 0,25^\circ\text{C/W}$ y $\Theta_{CA} = 0,8^\circ\text{C/W}$.

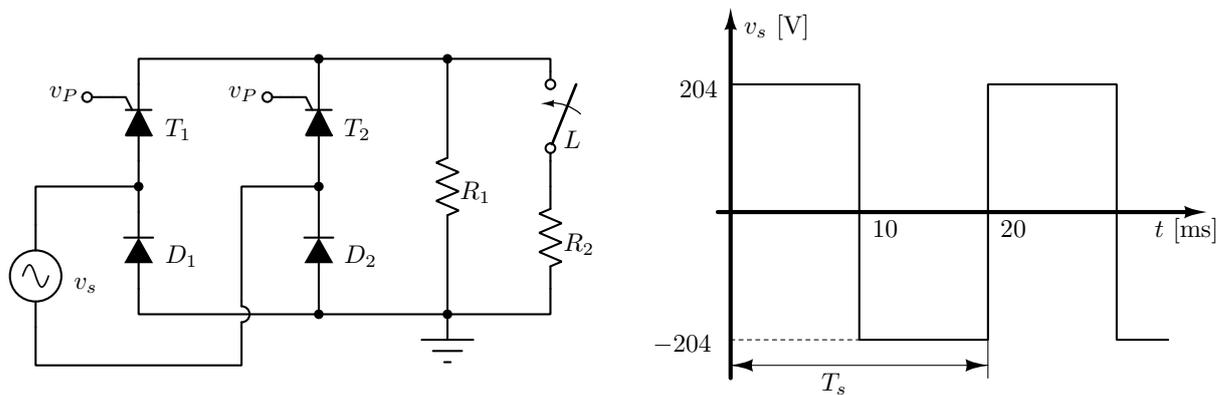


Figura 11

13. Se tiene el amplificador source común de la Fig. 12, donde el MOSFET tiene las siguientes características: $\frac{\mu_n C'_{ox}}{2} = 200 \mu\text{A/V}^2$, $W/L = 100$, $V_T = 0,5\text{V}$, $\lambda = 0,01\text{V}$, $\theta_{JC} = 0,7^\circ\text{C/W}$, $\theta_{CA} = 200^\circ\text{C/W}$ y $T_{J_{\max}} = 150^\circ\text{C}$. El amplificador se alimenta con $V_{DD} = 12\text{V}$ y funciona a temperatura ambiente $T_{amb} = 30^\circ\text{C}$. La carga es $R_L = 1\text{M}\Omega$ y la fuente de señal tiene una resistencia interna $R_S = 50\Omega$. Se desea que la tensión a la salida en reposo sea $V_{OUT} = V_{DD}/2$.
 - a) ¿Cuál es la ganancia en funcionamiento mínima que puede tener el amplificador sin que el MOSFET falle por disipación de potencia?
 - b) Buscar valores de R_D , R_{G1} y R_{G2} para que la potencia disipada sea 20% menor a la potencia máxima que el dispositivo puede tolerar.
 - c) Se desea que la ganancia en funcionamiento del amplificador sea $A_{v_s} = 4$. ¿Cuál es la mínima resistencia térmica del disipador que se le debe al MOSFET para que no falle por potencia disipada?

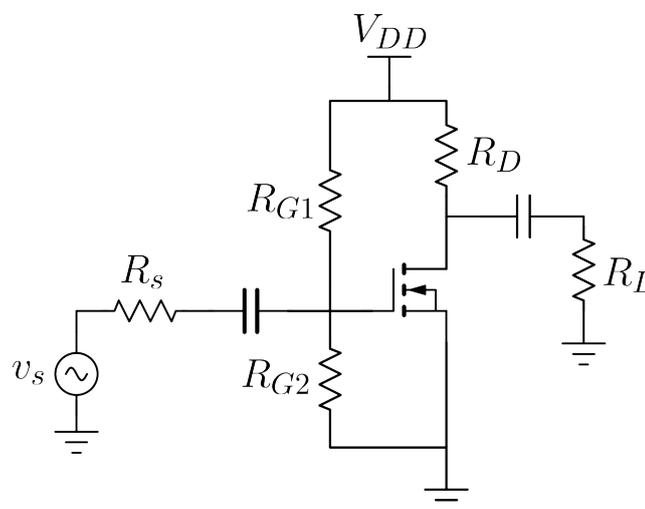


Figura 12