

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
Y DE TELECOMUNICACION**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



INSTRUMENTACION ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

(5º Curso Ingeniería de Telecomunicación)

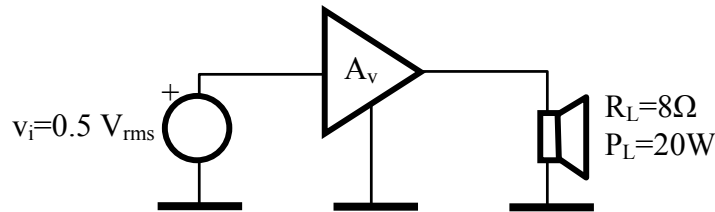
Tema V: Amplificadores de potencia.

(Ejercicios resueltos)

**José María Drake Moyano
Dpto. de Electrónica y Computadores
Santander, 2005**

Problema 5.1: Diseño de un amplificador de potencia.

Se dispone de una señal de audio de $500 \text{ mV}_{\text{rms}}$, y se desea diseñar un amplificador para que genere una potencia de 20W sobre un baffle de 8Ω . Para su diseño utilizar un amplificador LM 4700 cuyas características relativas a la potencia se adjuntan. El amplificador debe operar hasta temperaturas ambientes de 40°C .



LM4700 Overture™ Audio Power Amplifier Series 30W Audio Power Amplifier

Absolute Maximum Ratings (Notes 4, 5)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage $ V_{CC} + V_{EE} $ (No Signal)	66V
Supply Voltage $ V_{CC} + V_{EE} $ (with Input and Load)	64V
Common Mode Input Voltage	$(V_{CC} \text{ or } V_{EE})$ and $ V_{CC} + V_{EE} \leq 60\text{V}$
Differential Input Voltage	60V
Output Current	Internally Limited
Power Dissipation (Note 6)	62.5W
ESD Susceptibility (Note 7)	2000V

Junction Temperature (Note 8)	150°C
Thermal Resistance	
θ_{JC} (Note 14)	2°C/W
θ_{JA}	43°C/W
Soldering Information	
TF Package (10 sec.)	260°C
Storage Temperature	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +150^\circ\text{C}$

Operating Ratings (Notes 4, 5)

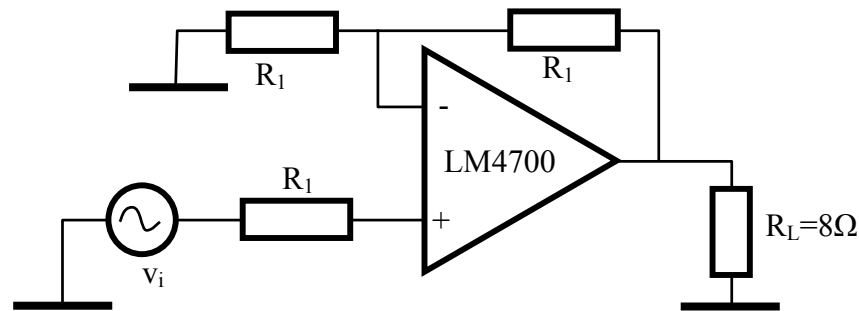
Temperature Range	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$-20^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
Supply Voltage $ V_{CC} + V_{EE} $ (Note 1)		20V to 64V

Electrical Characteristics

(Notes 4, 5) The following specifications are for $V_{CC} = +28\text{V}$, $V_{EE} = -28\text{V}$ with $R_L = 8\Omega$, unless otherwise specified. Limits apply for $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM4700		Units (Limits)
			Typical (Note 9)	Limit (Note 10)	
$ V_{CC} + V_{EE} $	Power Supply Voltage (Note 11)	GND - $V_{EE} \geq 9\text{V}$	18	20	V (min)
				64	V (max)
P_O (Note 3)	Output Power (Continuous Average)	THD + N = 0.1% (max), $f = 1 \text{ kHz}$ $R_L = 8\Omega$, $ V_{CC} = V_{EE} = 28\text{V}$	30	25	W/ch (min)
		$R_L = 4\Omega$, $ V_{CC} = V_{EE} = 20\text{V}$ (Note 13)	22	15	W/ch (min)
I_{TOTAL} (Note 2)	Total Quiescent Power Supply Current	$V_{CM} = 0\text{V}$, $V_O = 0\text{V}$, $I_O = 0 \text{ mA}$ Standby: Off	25	40	mA (max)
		Standby: On	2.1		mA
V_{OD} (Note 2)	Output Dropout Voltage (Note 12)	$ V_{CC} - V_O $, $V_{CC} = 20\text{V}$, $I_O = +100 \text{ mA}$	1.8	2.3	V (max)
		$ V_O - V_{EE} $, $V_{EE} = -20\text{V}$, $I_O = -100 \text{ mA}$	2.5	3.2	V (max)

Diseño



La potencia que se disipa en la carga en función de la amplitud de salida $v_{L,rms}$,

$$P_{RL} = \frac{v_{L,rms}^2}{R_L} = 20 \text{ W} \Rightarrow v_{L,rms} = \sqrt{P R_L} = \sqrt{20 \text{ W} \times 8 \Omega} = 12.65 \text{ Vrms}$$

La ganancia A_v mínima que requiere el amplificador es,

$$A_v \text{ min} = \frac{v_{L,rms}}{v_{i,rms}} = \frac{12.65}{0.5} = 25.30 \xrightarrow{\text{Elijo}} A_v = 27 \Rightarrow \begin{aligned} R_1 &= R_3 = 1 \text{ K}\Omega \\ R_2 &= 27 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Con esta ganancia, las máximas amplitudes de salida y la tensión de drop-out permiten definir las fuentes de alimentación necesarias.

$$v_{L,rms \text{ max}} = 0.5 \text{ V} \times 27 = 13.52 \text{ V}_{rms} \Rightarrow v_L \text{ max} = \sqrt{2} \times v_{L,rms \text{ max}} = 19.09 \text{ V}$$

$$V_{dropout+} = 1.8 \text{ V} \Rightarrow V_{CCMin} = 20.8 \text{ V} \Rightarrow V_{CC} = 22 \text{ V}$$

$$V_{dropout-} = 2.5 \text{ V} \Rightarrow V_{EEMin} = 21.59 \text{ V} \Rightarrow V_{EE} = -22 \text{ V}$$

La potencia que se disipa en el amplificador como consecuencia de la amplificación de la señal, se obtiene utilizando las formulas de las etapas B,

$$P_{AMP \text{ señal}} = 0.2 \frac{V_{CC}^2}{R_L} = 0.2 \frac{22^2}{8} = 12.1 \text{ W}$$

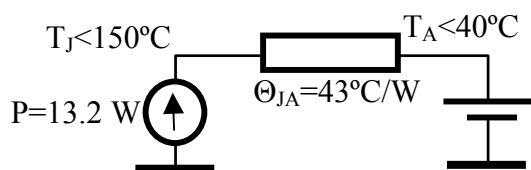
La potencia que se disipa en el amplificador como consecuencia de la corriente de reposo $I_Q=25 \text{ mA}$, es,

$$P_{AMP \text{ Polarización}} = (V_{CC} - V_{EE}) \times I_Q = 44 \times 0.025 = 1.1 \text{ W}$$

La potencia total que debe disipar el amplificador es

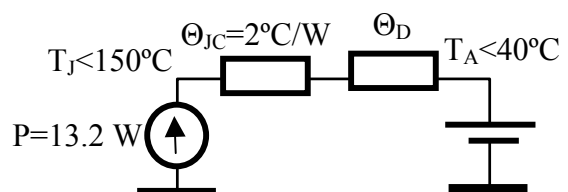
$$P_{AMP \text{ Total}} = P_{AMP \text{ Señal}} + P_{AMP \text{ Polarización}} = 12.1 + 1.1 = 13.2 \text{ W}$$

Modelo Térmico



Modelo sin disipador

$$\begin{aligned} T_J &= T_A + P \times \Theta_{JA} = 40 + 13.2 \times 43 = \\ &= 607.6^\circ \text{C} > T_{J \text{ max}} = 150^\circ \text{C} \end{aligned}$$



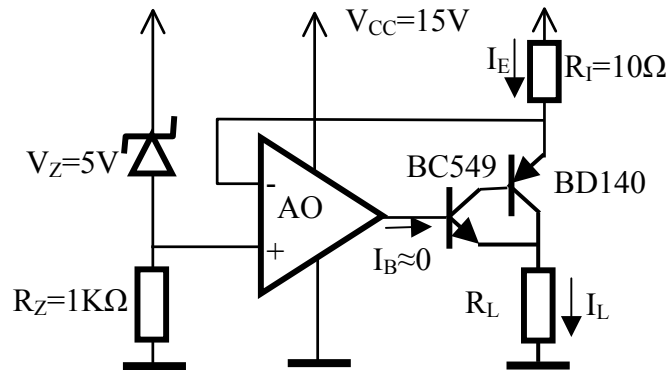
Modelo con disipador

$$T_J = T_A + P \times (\Theta_{JC} + \Theta_D) < T_{J \text{ max}} = 150^\circ \text{C}$$

$$\Theta_D = \frac{T_{J \text{ max}} - T_A}{P} - \Theta_{JC} = 6.33^\circ \text{C/W}$$

Problema 5.2: Diseño de una fuente de intensidad.

En la figura se muestra un circuito que constituye una fuente de intensidad que proporciona una intensidad de 500 mA continua.



- Determinar el rango de la resistencia de carga R_L para los que el transistor de salida BD140 no requiere radiador térmico.
- Determinar la resistencia térmica del radiador que hay que colocar para que el circuito pueda soportar el cortocircuito en la salida.

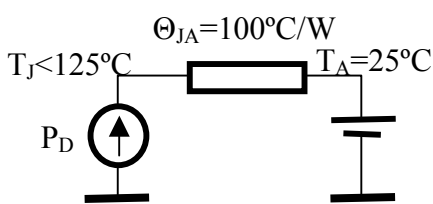
Comportamiento ideal

$$V_E = v_+ = V_{CC} - V_Z = 15 - 5 = 10V \Rightarrow I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_1} = \frac{V_Z}{R_1} = \frac{5}{10} = 0.5A$$

$$I_L = I_E + I_B = I_E + \frac{I_E}{(\beta_2 + 1)\beta_1} \approx I_E = 0.5A$$

Modelo térmico

- Resistencia de carga mínima si no se utiliza radiador:

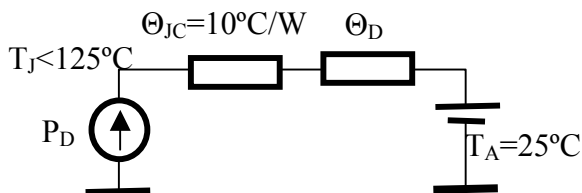


$$P_{Dmax} = \frac{T_{Jmax} - T_A}{\Theta_{JA}} = \frac{100^\circ C}{100^\circ C/W} = 1W$$

$$P_Q = V_{CE} I_L = (V_{CC} - V_Z - I_L R_L) I_L$$

$$R_L > \frac{V_{CC} - V_Z}{I_L} - \frac{P_{Dmax}}{I_L^2} = 16 \Omega$$

- Resistencia térmica mínima para que aguante un cortocircuito de salida ($R_L=0$):



$$P_{Dmax} = V_{CEmax} \times I_L = 10V \times 0.5A = 5W$$

$$T_{Jmax} > T_J = T_A + P(\Theta_{JC} + \Theta_D)$$

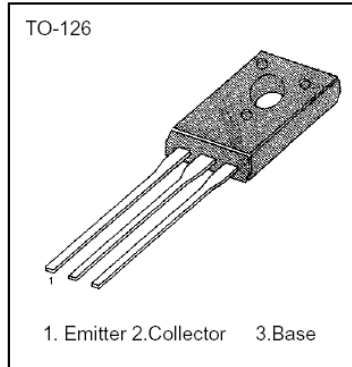
$$\Theta_D < \frac{T_{Jmax} - T_A}{P_{Dmax}} - \Theta_{JC} = 20 - 10 = 10^\circ C/W$$

BD136/138/140**PNP EPITAXIAL SILICON TRANSISTOR****MEDIUM POWER LINEAR AND SWITCHING APPLICATIONS**

• Complement to BD135, BD137 and BD139 respectively

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector Base Voltage : BD136	V_{CBO}	- 45	V
: BD138		- 60	V
: BD140		- 80	V
Collector Emitter Voltage : BD136	V_{CEO}	- 45	V
: BD138		- 60	V
: BD140		- 80	V
Emitter Base Voltage	V_{EBO}	- 5	V
Collector Current (DC)	I_C	- 1.5	A
Collector Current (Pulse)	I_C	- 3.0	A
Base Current	I_B	- 0.5	A
Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	P_C	12.5	W
Collector Dissipation ($T_A=25^\circ\text{C}$)	P_C	1.25	W
Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{STG}	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C=25^\circ\text{C}$)**

Characteristic	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
* Collector Emitter Sustaining Voltage : BD136	$V_{CEO(sus)}$	$I_C = - 30\text{mA}, I_B = 0$	- 45			V
: BD138			- 60			V
: BD140			- 80			V
Collector Cutoff Current	I_{CBO}	$V_{CB} = - 30\text{V}, I_E = 0$			- 0.1	μA
Emitter Cutoff Current	I_{EBO}	$V_{EB} = - 5\text{V}, I_C = 0$			- 10	μA
* DC Current Gain : ALL DEVICE	h_{FE1}	$V_{CE} = - 2\text{V}, I_C = - 5\text{mA}$	25			
: ALL DEVICE	h_{FE2}	$V_{CE} = - 2\text{V}, I_C = - 0.5\text{A}$	25			
: BD136	h_{FE3}	$V_{CE} = - 2\text{V}, I_C = - 150\text{mA}$	40		250	
: BD138, BD140			40		160	
* Collector Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = - 500\text{mA}, I_B = - 50\text{mA}$			- 0.5	V
* Base Emitter On Voltage	$V_{BE(on)}$	$V_{CE} = - 2\text{V}, I_C = - 0.5\text{A}$			- 1	V

* Pulse Test: PW=350 μs , duty Cycle = 2% Pulsed

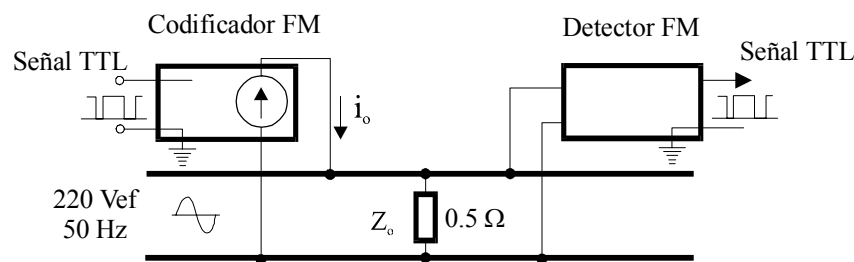
 $h_{FE(3)}$ CLASSIFICATION

Classification	6	10	16
$h_{FE 3}$	40 - 100	63 - 160	100 - 250

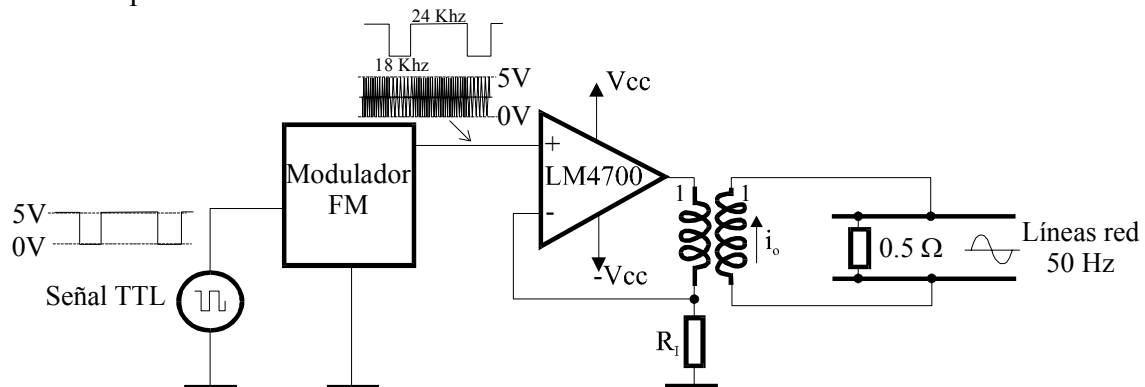
Problema 5.3: Codificador/decodificador FM para comunicación a través de la red eléctrica.

A fin de transferir punto a punto información telemática por la red eléctrica de potencia de un edificio, se construye un sistema de codificación /decodificación FM adecuado para este medio. La señal digital se transfiere como una señal periódica con frecuencia de 24Khz para nivel digital bajo y 18 KHz para nivel digital alto.

El codificador FM es un circuito que inyecta una señal periódica de intensidad entre las líneas de potencia de la frecuencia que corresponda la nivel lógico de entrada y con una amplitud constante de 100 mA. El detector FM, mide la tensión diferencial que aparece entre las líneas de potencia, que para la frecuencias del rango 18KHz a 24 KHz es de aproximadamente 0.5Ω , y en función de la frecuencia de la señal de alta frecuencia que detecta, establece en su salida el valor lógico que corresponda.



El objetivo del examen es el diseño del codificador FM, que se lleva a cabo de acuerdo con el siguiente circuito. En él existe un multivibrador realizado con un circuito LM555, cuya señal de salida será una señal cuadrada con frecuencia 18 KHz para un "1" lógico de entrada y 24 KHz para "0" lógico de entrada. El circuito realizado con el amplificador de potencia LM4700 y el transformador de relación de vueltas 1:1 convierte esta señal periódica en una señal cuadrada de intensidad que se inyecta en las líneas de potencia de la red.



Sobre el diseño del modulador FM, estudiar:

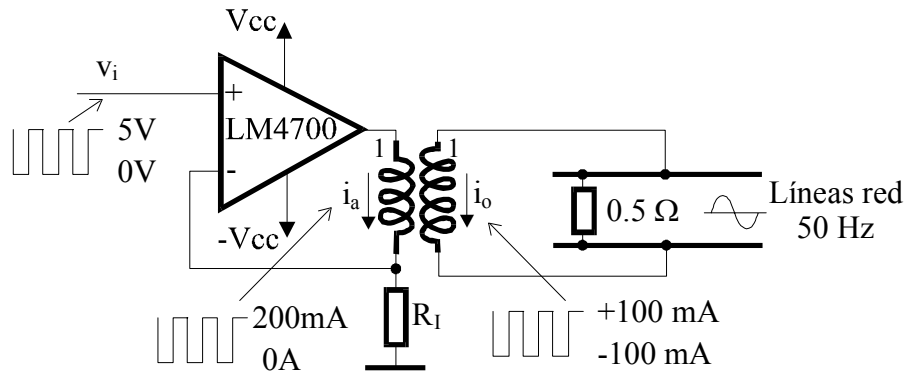
- 1º) Estudiar la etapa de salida proponiendo el valor adecuado a la resistencia R_1 para que el circuito tenga la funcionalidad buscada.
- 2º) Estudiar la disipación de potencia del amplificador LM4700, verificar si este amplificador puede soportar la citada potencia y en su caso determinar la resistencia termica del disipador que requiere.

Análisis Ideal

En un transformador ideal

$$\frac{v_o}{v_a} = \frac{i_a}{i_o} = \frac{1}{n} \Leftrightarrow R_a = \frac{R_L}{n^2} = \frac{0.5}{1} = 0.5 \Omega$$

por lo tanto, en la salida del amplificador debe haber una señal de de intensidad de 0 a 200 mA



En el amplificador,

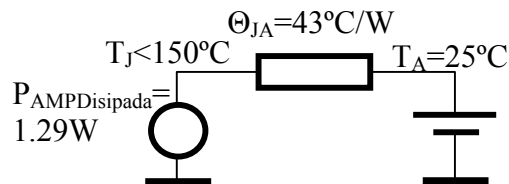
$$i_a = v_i / R_I \Rightarrow R_I = \frac{5V}{0.2A} = 25\Omega$$

$$v_a = i_a \left(\frac{R_L}{n^2} + R_I \right) \Rightarrow v_{a \max} = 0.2 * (0.5 + 25) = 5.1V$$

En este caso el amplificador está operando en modo de clase A. La potencia media que disipa el amplificador será la mitad de la que disipa cuando está suministrando corriente.

$$P_{AMP \text{ Disipada}} = I_Q * 2V_{CC} + 2 * (V_{CC} - i_a(R_L/n^2 + R_I)) * i_a = 0.025 * (24) + (1/2) * (12 - 0.2 * 25.5) * 0.2 = 1.29 \text{ W}$$

El modelo térmico del amplificador, sin utilizar ningún disipador es,



$$T_J = T_A + P_{AMP \text{ Disipada}} \times \Theta_{JA} = 25 + 1.29 * 43 = 80.47^\circ C < T_{J \max} = 150^\circ C$$

luego el amplificador puede operar sin necesidad de utilizar disipador.