

Ejemplo de diseño de una etapa de potencia.

Daniel Crepaldo

Se desea entregar 20W de potencia a una carga de 4Ω a una temperatura ambiente de 40°C

1) Determinación del valor de la tensión de fuente

El valor de la potencia media en la carga puede calcularse como $P_L = \frac{V_{Lef}^2}{R_L}$, por lo tanto, cuando se entrega la máxima potencia resulta

$$V_{Lef} = \sqrt{PR} = \sqrt{20W \cdot 4\Omega} = 8,94V.$$

Para obtener el valor de la tensión de pico a partir de la tensión eficaz debemos multiplicar por $\sqrt{2}$:

$$\widehat{V}_{Lm\acute{a}x} = \sqrt{2}V_{Lef} = \sqrt{2} \cdot 8,94V = 12,65V$$

Con esta tensión aplicada a la resistencia de carga podemos obtener la corriente de pico de la carga cuando se entrega a la carga la potencia máxima:

$$\widehat{I}_{Lm\acute{a}x} = \frac{\widehat{V}_{Lm\acute{a}x}}{R_L} = \frac{12,65V}{4\Omega} = 3,16A$$

Para adoptar el valor de la tensión de fuente planteamos:

$$V_F = \widehat{I}_L R_E + \widehat{V}_L + v_{CE}$$

Asumiremos el peor caso, donde $\widehat{V}_L = \widehat{V}_{Lm\acute{a}x}$ e $\widehat{I}_L = \widehat{I}_{Lm\acute{a}x}$ y adoptamos un valor mínimo para v_{CE} de forma tal que aún en estas circunstancias el transistor de potencia no se encuentre demasiado cerca de la saturación.

Para este caso particular entonces:

$$V_F \geq 3,16A \cdot 0,56\Omega + 12,65V + 2V = 16,42V$$

Adoptaremos un valor de $V_F = 18V$

2) Selección de los transistores.

Los transistores seleccionados deben permanecer dentro de su curva SOAR a lo largo de todo el ciclo de funcionamiento del circuito. Para asegurar el cumplimiento de esta condición debemos conocer los valores máximos de corriente, tensión y potencia a los que se verán sometidos, y luego aplicar ciertos criterios que garantizan un funcionamiento correcto de los transistores

Corriente máxima

La corriente máxima que circula por los transistores corresponde al valor máximo de la corriente de pico de la carga \widehat{I}_L . Esta corriente no debe superar la mitad de la corriente máxima del dispositivo. Esto se debe a que cuando nos acercamos a este valor el valor del beta del transistor comienza a disminuir. En nuestro caso particular esto significa que el dispositivo a utilizar debe tener una corriente máxima no menor de $2 \cdot 3,16A = 6,32A$

Tensión máxima de ruptura

En cuanto a la tensión colector-emisor, el máximo valor se produce cuando el transistor está cortado y el complementario está conduciendo el pico opuesto de la señal. En esta situación la tensión colector-emisor del transistor se aproxima a $2V_F$. Esta tensión no debe superar la tensión de ruptura más baja de todas las que tiene el transistor, que puede aparecer en las hojas de datos como $V_{(BR)CEO}$ o bien como BV_{CEO} .

Habitualmente se toma un margen de seguridad del 20%, por lo que la tensión de ruptura deberá ser:

$$BV_{CEO} \geq 2,4 \cdot V_F = 43,2V$$

Potencia máxima del dispositivo.

Por último necesitamos conocer la potencia disipada en los transistores. Esta potencia se obtiene de la resta entre la entregada por la fuente y la disipada en la carga (despreciando la que se disipa en las resistencias de emisor). La expresión resulta:

$$P_D = P_F - P_L = \frac{2 V_F \widehat{V}_L}{\pi R_L} - \frac{1 \widehat{V}_L^2}{2 R_L}$$

La potencia disipada resulta entonces función del valor de la tensión aplicada a la carga. Para demostrarse que el valor máximo de esta expresión se produce para $\widehat{V}_L = \frac{2}{\pi} V_F$.

De esta manera:

$$P_{Dmáx} = (P_F - P_L) |_{\widehat{V}_L = \frac{2}{\pi} V_F} = \frac{2 V_F^2}{\pi^2 R_L} = 16,4W$$

Esta potencia máxima no puede obtenerse como la resta de las potencias máximas de la fuente y la carga ya que éstas se producen para un valor distinto de \widehat{V}_L .

Debe tenerse en cuenta que la potencia máxima así calculada corresponde a los dos transistores de la salida, es decir que cada transistor disipará 8,2W.

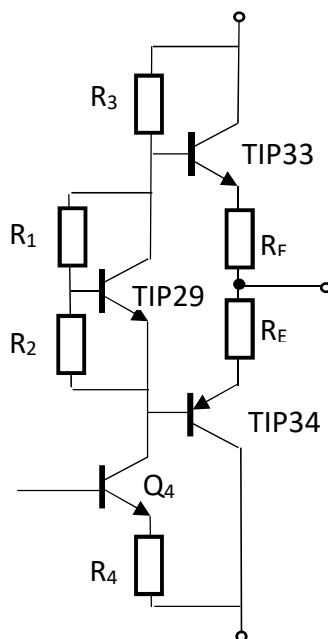
Con los datos anteriores elegimos el par complementario TIP33 (NPN) / TIP34 (PNP) cuyas características son:

Transistores	I _{max} (A)	P(W)	β _{min}	BV _{CEO} (V)	T _{j máx} (°C)	R _{TjC} (°C/W)
TIP 33/34	10	80	20	60	150	1,56

2) Corrección de la distorsión por cruce

Debemos agregar ahora un circuito que disminuya la distorsión de cruce por cero. Utilizaremos el circuito multiplicador de V_{BE}. La función de este circuito es la de establecer una diferencia de potencial entre las bases de los transistores de la etapa de salida. Este circuito requiere que una corriente fluya continuamente a través de sus terminales, para lo que necesitaremos una fuente de corriente.

El diagrama del circuito queda:



Esta fuente es también la encargada de proveer la corriente de base de los drivers, por lo que su valor debe ser mayor que el máximo valor de corriente que deba aportar o recibir.

Teniendo en cuenta el beta de estos transistores, la corriente de base máxima de los mismos será:

$$\widehat{I_{Bmáx}} = \frac{\widehat{I_{Lmáx}}}{20} = 158mA$$

Para la fuente de corriente seleccionamos el siguiente transistor:

Transistores	I _{max} (A)	P(W)	β _{mín}	BV _{CEO} (V)	T _{j máx} (°C)	R _{Tjc} (°C/W)
TIP 29/30	1	30	40	80	150	4,17

El valor de R₃ debe ser tal que aún con el mayor aporte de corriente a los transistores NPN el circuito multiplicador no se quede sin corriente. Este aporte se produce cuando la tensión de salida es de

$$\widehat{V_{Lmáx}} = 12,65V$$

La tensión en bornes de R₃ se obtiene como:

$$V_{R_3} = V_F - V_{BE} - \widehat{I_{Lmáx}}R_E - \widehat{V_{Lmáx}} = 18V - 1,3V - 3,16A \cdot 0,56\Omega - 12,65V = 2,28V$$

Por lo tanto el máximo valor de resistencia que podemos adoptar para R₃ será

$$R_{3máx} = \frac{2,28V}{158mA} \approx 14,43\Omega$$

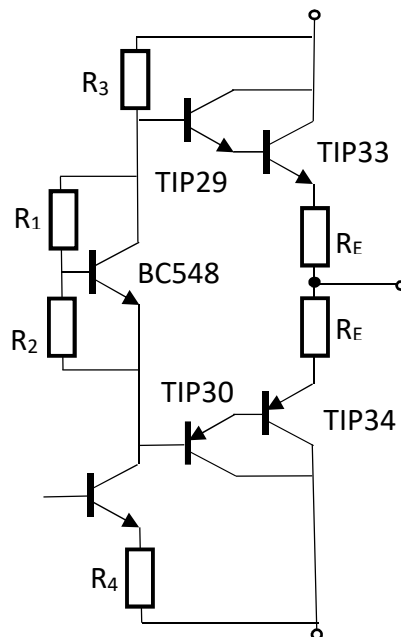
Adoptamos una resistencia de 12Ω. De esta manera la corriente por el circuito multiplicador nunca será menor de 32 mA

Adoptamos una corriente por el divisor resistivo R₁,R₂ de 10mA, por lo que $R_2 = \frac{0,6V}{10mA} = 60\Omega$

Proponemos entonces R₁ = R₂ = 56Ω. El valor de R₄ dependerá de la tensión en la base de Q4

Si la corriente de la fuente es excesiva, conviene excitar a los transistores de salida mediante otro par complementario de transistores, conocidos como *drivers*. Adoptando para estos transistores el par complementario TIP 29/30 obtenemos una corriente de base de $\widehat{I_{Bmáx}} = \frac{\widehat{I_{Lmáx}}}{40} = 3,95mA$

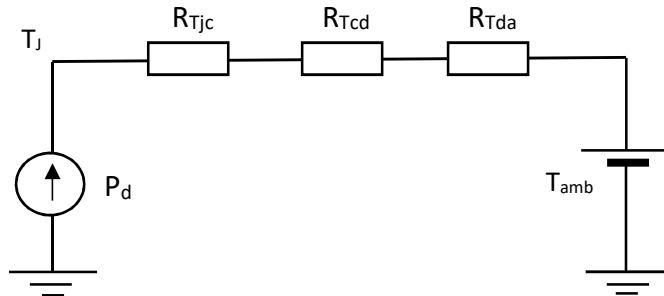
Con este agregado el diagrama del circuito queda:



En este caso convendrá revisar si la tensión de fuente sigue siendo suficiente.

2) Cálculo de los disipadores

Para finalizar, vamos a realizar el cálculo de los disipadores necesarios para estos dispositivos. Haciendo uso del modelo planteado para resolver este problema:



La resistencia térmica entre el disipador y el ambiente puede obtenerse mediante la expresión:

$$R_{Tda} = \frac{T_J - T_{amb}}{P} - R_{Tjc} - R_{Tcd}$$

Teniendo en cuenta los siguientes criterios:

La potencia a considerar es la de un solo transistor.

La temperatura de la junta a considerar no debe ser la máxima sino un valor menor, para contar con un margen de seguridad.

La R_{Tjc} la obtenemos de la hoja de datos del dispositivo

La R_{Tcd} depende del contacto físico entre el dispositivo y el disipador, la presencia de mejoradores de contacto (p. ej. grasa siliconada), aislantes (láminas de mica), etc. Una estimación aproximada para una correcta sujeción con todos estos elementos es $R_{Tcd} = 0,5^\circ\text{C}/\text{W}$

Para la temperatura ambiente deberá considerarse las condiciones de instalación y ventilación del dispositivo (al aire, dentro de un gabinete, etc.).

A partir de estas consideraciones obtenemos:

$$R_{Tda} = \frac{85^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{8,2\text{W}} - 1,56^\circ\text{C}/\text{W} - 0,5^\circ\text{C}/\text{W} = 3,43^\circ\text{C}/\text{W}$$

Con este valor accedemos a una tabla de disipadores y elegimos el que posea un valor menor. Como ejemplo, se puede utilizar un disipador de perfil ZD-1 con un largo de 10 cm.