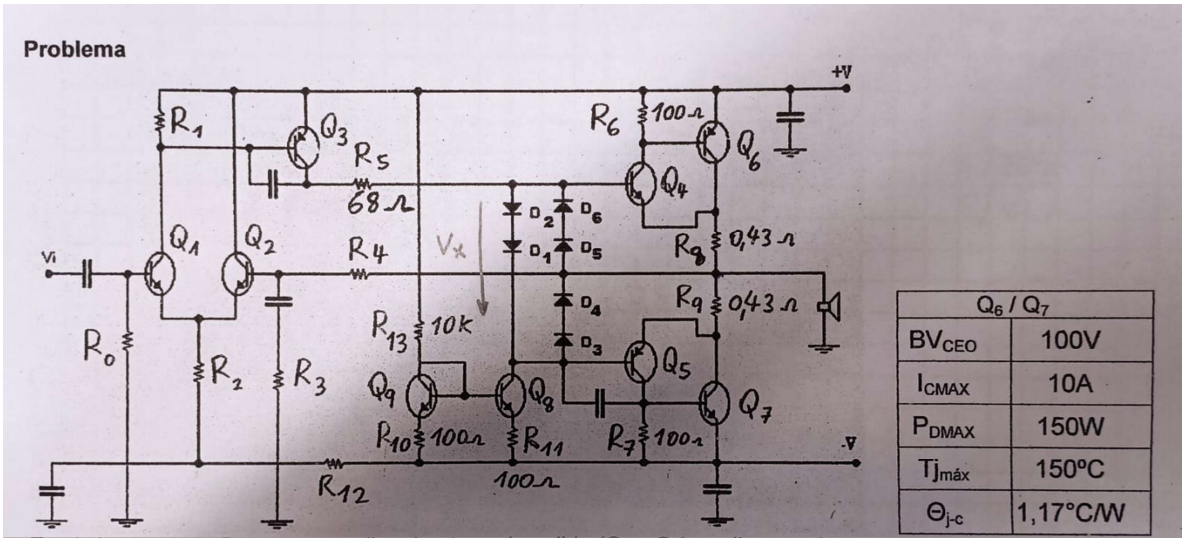
Problema resuelto - Amplificador de potencia clase AB



Q_6 / Q_7	
BV_{CEO}	100V
I_{CMAX}	10A
P_{DMAX}	150W
$Tj_{máx}$	150ºC
$\Theta_{j\text{-}c}$	1,17°C/W

En el circuito de la figura para realizar la etapa de salida (Q6 y Q7) se dispone de transistores cuyos datos se dan en la tabla adjunta.

a) Suponiendo que se adopta una $V_{CE6,7}$mínima de 2V, determine la máxima potencia que se puede entregar a una carga $R_L = 8\Omega$si se dispone de los transistores Q6 y Q7 cuyas características se muestran en la tabla. Determinar el valor de la tensión de fuente (V), la potencia máxima entregada por la fuente y la máxima potencia que deberán disipar los transistores.
b) Calcular la Θ_{d-a}de los disipadores necesarios para Q6 y Q7 si la temperatura ambiente $T_a = 40°C$.
c) Indicar cuáles elementos del circuito son los encargados de reducir la distorsión de cruce y cuáles conforman el circuito de protección. Explicar cómo funcionan ambos circuitos.
d) Diseñe un nuevo circuito alternativo que reduzca la distorsión por cruce implementado con al menos 1 transistor y explique su funcionamiento.

Determinar el valor de la ganancia del circuito si: $\boxed{R_3 = 2K7}$ $\boxed{R_4 = 68K}$

1. Descripción del circuito

El circuito corresponde a un amplificador de potencia clase AB con realimentación negativa, compuesto por las siguientes etapas

a. Etapa diferencial de entrada

Está formada por Q1 y Q2. La señal de entrada ingresa por la base de Q1, que actúa como entrada no inversora. La señal realimentada ingresa por la base de Q2, que actúa como entrada inversora.

La resistencia R1 convierte la variación de corriente del diferencial en una variación de tensión que excita a la etapa siguiente.

b. Etapa emisor común

Está formada por Q3 y el conjunto Q8/Q9 (fuente de corriente) que funciona como carga activa de Q3. La resistencia R13 fija la corriente de esta fuente, mientras que las resistencias R10 yR11 compensan posibles desapareamientos de Q8 y Q9. Debido a la carga activa, esta etapa será la que aporte la mayor ganancia al sistema.

Etapa de salida

La etapa de salida está formada por Q4, Q5, Q6 y Q7, donde los transistor es √ Q4 y Q5 funcionan como excitadores (drivers) de Q6 y Q7. Los dos pares de transistores mencionados son complementarios, por lo que la etapa de salida tiene simetría complementaria.

Esta etapa no aporta ganancia de tensión, es la encargada de suministrar corriente a la carga

Circuito de compensación de la distorsión de cruce por cero

D1 y D2 polarizan las bases de Q4 y Q5. Su función es llevar a los transistores de salida cerca de la conducción cuando la señal es pequeña para reducir la distorsión de cruce por cero.

Protección de sobrecorriente

Está formada por D3, D4, D5, D6 junto con R8 y R9. Estas redes limitan la corriente de salida ante sobrecarga o cortocircuito.

Red de realimentación

Está formada por R3 y R4. Fijan la ganancia a lazo cerrado. Si la ganancia a lazo abierto es lo suficientemente grande, el valor de esta ganancia en señal es Av = 1 + R4/R3. La presencia del capacitor en serie con R3 hace que la realimentación en continua sea mayor y por lo tanto Av = 1, lo que estabiliza el punto de trabajo.

En nuestro caso, con R3 = 2,7 kΩ y R4 = 68 kΩ

Av = 1 + 68 kΩ / 2,7 kΩ = 26,2

2. Funcionamiento cualitativo

Al aumentar la tensión de entrada, aumenta la conducción de Q1. Esto modifica la corriente del diferencial y produce una variación de tensión sobre R1. Esa tensión excita a Q3, que actúa como etapa amplificadora de tensión. Q3 inyecta corriente en la base de Q4, haciendo conducir al par superior Q4-Q6. Como consecuencia, aumenta la tensión de salida.

Luego, una muestra de la salida vuelve por R4 hacia la entrada inversora Q2. Esa realimentación contrarresta la acción inicial, reduciendo el error diferencial. Por eso la realimentación es negativa.

3. Cálculo de fuente y potencia máxima

Primer criterio:

La corriente de pico máxima en la carga debe ser menor o igual a la mitad de la corriente máxima admisible del transistor.

De acuerdo a la tabla , ILmax = 10 A, por lo que se adopta IL pico máximo = 5 A

Con esta corriente la tensión de alimentación mínima resulta

$Vf \geq (V_{CE}$ mínima) + IL pico (RL + RE)

$Vf \geq (2\ V) + 5A\ (8\ \Omega + 0{,}43\ \Omega) = 44{,}15V$

Ahora verificamos el criterio de tensión:

$BVCEO \leq 2 \cdot 1{,}2 \cdot Vf = 105{,}96V$

Como BVCEO = 100 V el criterio no se cumple. Tomamos este valor entonces para calcular la tensión de fuente, lo que nos da $Vf \leq 41{,}67V$

Adoptamos 40V y obtenemos un valor de corriente de pico en la carga de

I_L pico $= (Vf - V_{CE}$ mínima) / (RL + RE) = (40V - 2V) / (8Ω + 0,43Ω) ≈ 4,5A

La tensión pico sobre la carga será:

V_L pico = I_L pico · R_L = 4,5 A · 8 Ω = 36V

La tensión eficaz sobre la carga será:

V_L rms = V_L pico / $\sqrt{2}$ = 25,46V

La potencia máxima entregada a la carga será:

PL = $(V_L$ rms)² / R_L

PL = 25,46² / 8 ≈ 81 W

4. Potencia máxima entregada por la fuente

Para una etapa clase AB ideal:

Pf media máxima = 2 · Vf · IL pico máxima / π = 2 · 40 V · 4,5 A / π = 114,6 W

5. Potencia máxima a disipar por transistor

La máxima disipación en los transistores de salida no ocurre necesariamente a máxima potencia entregada a la carga.

Para una etapa clase B ideal, la potencia máxima total disipada por los dos transistores es:

PD total = 2 · Vf² / (π² · RL) = 2 · 40² / (π² · 8) = 40,53 W

Cada transistor disipa PD total / 2 = 20,26 W < 150W

6. b) Cálculo térmico

Para un disipador por transistor:

$Tj = Ta + PD \cdot (R\theta_{JC} + R\theta_{CD} + R\theta_{DA})$

Adoptando Tj = 85°C y despejando:

$R\theta_{DA} = (Tj - Ta) / PD - R\theta_{JC} - R\theta_{CS} = (85 - 40) / 20,26 - 1,17 - 0,5 = 0,55\ °C/W$

Este es un valor de disipador muy exigente. Por eso puede adoptarse una temperatura de juntura de diseño mayor, por ejemplo Tj = 100 °C que sigue siendo menor que la temperatura máxima de hoja de datos:

Entonces:

$R\theta_{DA} = (100 - 40) / 20,26 - 1,17 - 0,5 = 1,29\ °C/W$

Se adopta aproximadamente $R\theta_{DA} \approx 1\ °C/W$

7. c) Distorsión de cruce y protección

Los elementos que reducen la distorsión de cruce son:

D1 y D2.

Estos diodos generan la tensión de polarización necesaria entre las bases de Q4 y Q5 para que la etapa de salida trabaje en clase AB.

Los elementos de protección son D3, D4, D5, D6, R8 y R9. En el semiciclo positivo actúan D1, D2, D3 y D4 junto con R8, mientras que en el semiciclo negativo actúan D1, D2, D5 y D6 junto con R9.

Cuando la corriente de salida aumenta demasiado, la caída de tensión en R8 o R9 activa la red de diodos, desviando corriente de excitación de la etapa de salida y limitando la corriente máxima.

8. d) Circuito alternativo de compensación

Se puede reemplazar D1 y D2 por un multiplicador de VBE implementado con un transistor BJT. Este circuito debe cumplir $VCEQ = 2 \cdot VBE + 2 \cdot IQ \cdot RE$ donde IQ es la corriente de reposo adoptada

El multiplicador cumple $VCEQ = VBE \cdot (1 + R1/R2)$, por lo que

$VBE \cdot (1 + R1/R2) = 2 \cdot VBE + 2 \cdot IQ \cdot RE$

De esta expresión se despeja la relación R1/R2.

$R1/R2 = [(2 \cdot VBE + 2 \cdot IQ \cdot RE) / VBE] - 1$

En nuestro caso, si se adopta una corriente de reposo IQ=50mA, resulta

$R1/R2 = [(2 \cdot 0,6V + 2 \cdot 50mA \cdot 0,43\ \Omega) / 0,6V] – 1 = 1,072$

Los valores de las resistencias R1 y R2 deben elegirse de manera tal que circule aproximadamente la misma corriente por ellas y por el colector del transistor.