

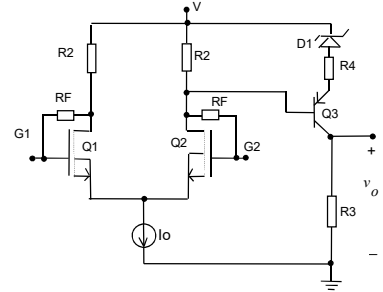
## Amplificación – Problema resuelto

En el circuito de la figura:

$$V=18V, R_2=3K9, R_3=7K2, R_4=1K5, V_Z=3V9, r_z=2\Omega$$

$$Q_1 \equiv Q_2 / V_T=1V, K=0,6mA/V^2$$

$$Q_3 / \beta_3=400$$



1) Si  $I_0=3mA$ , determinar los parámetros que caracterizan el punto de trabajo de los transistores  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  ( $V_{GSQ1,2}$ ,  $V_{DSQ1,2}$ ,  $I_{D1,2}$ ,  $I_{C3}$ ,  $V_{CE3}$ ) y la tensión en bornes de la fuente de corriente.

$$I_{D1,2} = \frac{I_0}{2} = \frac{3mA}{2} = 1,5mA$$

$$I_{D1,2} = K(V_{GS} - V_T)^2 \Rightarrow V_{GS} = \mp \sqrt{\frac{I_{D1,2}}{K}} + V_T = \mp \sqrt{\frac{1,5mA}{0,6mA/V^2}} + 1V$$

Esto nos da dos valores posibles de  $V_{GS}$ : 2,58V y -0,58V. Dado que  $V_{GS}$  debe ser positivo elegimos el primer valor.

En polarización no circula corriente por las  $R_F$ , por lo que la tensión en ambos extremos de dichas resistencias será la misma. Esto obliga a trabajar a los MOSFET con  $V_{GS} = V_{DS}$ , por lo que el punto de trabajo de los transistores del diferencial ( $V_{GSQ1,2}$ ,  $V_{DSQ1,2}$ ,  $I_{D1,2}$ ) resulta (2,58V, 2,58V, 1,5mA)

La caída de tensión en  $R_2$  es:

$$V_{R2} = I_D R_2 = 1,5mA \cdot 3K9 = 5,85V$$

Con estos valores podemos calcular la tensión en bornes de la fuente de corriente, que resulta:

$$V_{I0} = V_F - V_{R2} - V_{CEQ1} = 18V - 5,85V - 2,58V = 9,57V$$

La tensión en bornes de  $R_2$  también puede expresarse como

$$V_{R2} = V_{D1} - V_{R4} - V_{BE}$$

De donde podemos despejar la tensión sobre  $R_4$  y luego calcular la corriente de colector de  $Q_4$ :

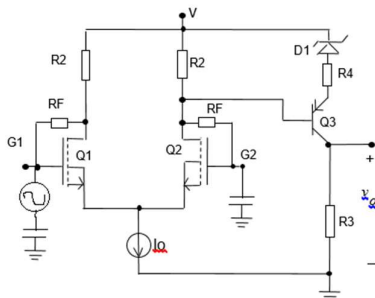
$$V_{R4} = V_{D1} - V_{R2} - V_{BE} = 5,85V - 3,9V - 0,6V = 1,35V$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{1,35V}{1,5K} = 0,9mA$$

Para completar el punto de trabajo de  $Q_3$  falta calcular su  $V_{CE}$ :

$$V_{CE3} = V_F - V_{D1} - V_{R4} - I_{CQ3} R_3 = 18V - 3,9V - 1,35V - 0,9mA \cdot 7,2K = 6,27V$$

2) Si se excita el circuito por la entrada disponible en Q<sub>1</sub> con una onda senoidal ( $v_i = V_M \sin \omega t$ ), redibujar el circuito indicando la conexión de sus entradas para que el circuito funcione correctamente.



3) Determinar la ganancia a frecuencias medias,  $v_o/v_i$  e indicar la relación de fase entre entrada y salida.

La ganancia total del circuito es igual al producto de las ganancias de las distintas etapas siempre que ninguna de ellas cargue a la anterior, condición que se cumple en este circuito, ya que  $z_{o1} = R_2 \ll \beta_{Q3} R_4 \approx z_{i2}$

$$A_{VT} = \frac{g_m R_2}{2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Donde  $g_m$  se define como  $\frac{\partial V_{GS}}{\partial I_D} = 2K(V_{GS} - V_T) = 2.0,6 \frac{mA}{V^2} (2,58V - 1V) = 1.896 \frac{mA}{V}$

$$A_{VT} = \frac{1.896 \frac{mA}{V} \cdot 3,9K}{2} \cdot \frac{7,2K}{1,5K} \approx 35.5$$

La salida estará invertida respecto de la entrada.

3) Determinar la máxima amplitud ( $V_{Mmáx}$ ) que puede tener la señal  $v_i$  para que el circuito completo funcione linealmente.

Sabiendo que las mayores variaciones de tensión se producirán en el colector de Q3, supondremos que este transistor es el que limita el funcionamiento lineal del circuito.

Como  $V_{R3} > V_{CE3}$  el transistor se encuentra más cerca de la saturación que del corte. Calcularemos qué valor de corriente de colector lo lleva a saturación.

$$I_{lim} = \frac{V_F - V_{D1} - V_{CElim}}{R_3 + R_4} = \frac{18V - 3,9V - 0,6V}{7,2K + 1,5K} \approx 1,55mA$$

Para esta corriente la tensión de salida vale  $1,55mA \cdot 7,2K = 11,16V$ , mientras que en el punto de trabajo valía  $0,9mA \cdot 7,2K = 6,48V$ . Esto significa que la tensión de salida varió  $11,16V - 6,48V = 4,98V$ . La máxima amplitud de la señal de entrada se obtiene dividiendo esta tensión por la ganancia total del circuito

$$v_{imáx} = \frac{4,98V}{35,5} \approx 140mV$$

Se deja como ejercicio verificar el estado de los transistores del diferencial al aplicar esta tensión a la entrada

Analizar cómo se modifican los puntos de trabajo de los transistores y la ganancia total del circuito cuando:

- Aumenta  $I_o$
- Aumenta  $R_F$
- Disminuye  $R_4$

	$V_{GS}$	$V_{DS}$	$I_D$	$V_{CE}$	$I_C$	$A_v$
$I_o \uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
$R_F \uparrow$	-	-	-	-	-	-
$R_4 \downarrow$	-	-	-	$\downarrow$	$\uparrow$	-

Dibujar el diagrama de Bode aproximado correspondiente a la ganancia de tensión ( $v_o/v_i$ ) del circuito de la figura.

