

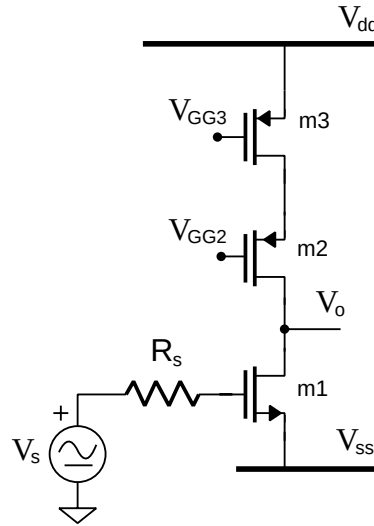
E5.1a: Dibujar y simplificar el modelo de pequeña señal a frecuencias medias

E5.1b: Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$ a frecuencias medias

E5.1c: Determinar el efecto sobre la ganancia de duplicar la intensidad de M2 ($2 I_{D2}$)

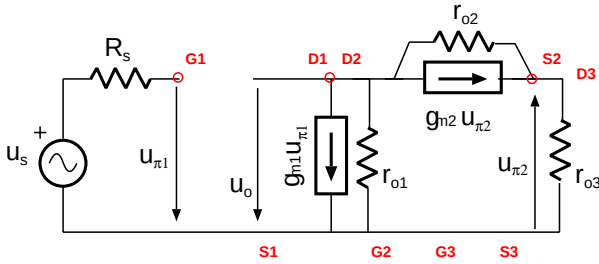
E5.1d: Determinar el efecto sobre la ganancia de considerar la existencia de efecto sustrato ($\eta = 0,4$)

(Datos) $R_s = 100\Omega$, $V_{dd} = 5v$, $V_{ss} = -5$,
 $g_m = 500\mu A/v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $|V_{tho}| = 0,7v$,
 $C_{gs} = 10pF$, $C_{gd} = 1pF$, $\eta = 0$,
 $V_{GG2} = 0v$, $V_{GG3} = 3v$, $I_d = 200\mu A$



Solución

■ 5.1a



Siendo:

$$g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = 500\mu A/v$$

$$r_{o1} = r_{o2} = r_{o3} = \frac{1}{\lambda I_d} = 500k\Omega$$

■ E5.1b

Planteamos el sistema de ecuaciones nodales:

$$u_s = u_{\pi 1}$$

$$u_o \left(\frac{1}{r_{o1}} + \frac{1}{r_{o2}} \right) + u_{\pi 2} \frac{1}{r_{o2}} = -g_{m1} u_{\pi 1} - g_{m2} u_{\pi 2}$$

$$-u_{\pi 2} \left(\frac{1}{r_{o2}} + \frac{1}{r_{o3}} \right) - u_o \frac{1}{r_{o2}} = g_{m2} u_{\pi 2}$$

Simplificando y operando obtenemos que: y finalmente:

$$u_{\pi 2} = -u_o \frac{1}{g_{m2} r_{o2}}$$

$$\frac{u_o}{u_s} = g_{m1} r_{o1} = 250$$

■ E5.1c

Como todos los transistores están recorridos

por la misma intensidad, la modificación de los parámetros de pequeña señal (g_m y r_o) es común a todos ellos.

$$r_o = \frac{1}{\lambda 2 I_d} = 250k\Omega$$

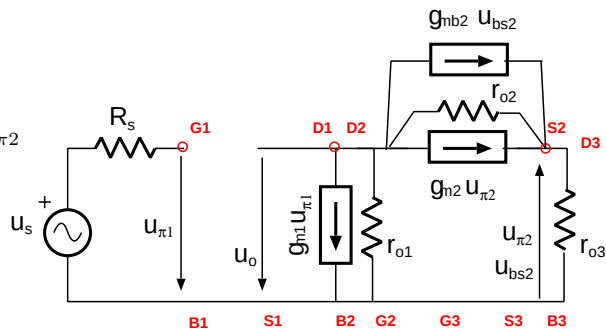
$$g_m = \sqrt{2 K (W/L) 2 I_d} = 707\mu A/v$$

Analizando el sistema de ecuaciones anterior, se puede ver que las simplificaciones anteriormente realizadas siguen siendo válidas y por tanto la ganancia disminuye un 30 % aproximadamente:

$$\frac{u_o}{u_s} = g_{m1} r_{o1} = 177$$

■ E5.1d

Debido a que sólo **m2** tiene su fuente a potencial no constante, es el único que debe de ser considerado.



Si agrupamos las dos fuentes del transistor **m2** en: $g'_{m2} = (1 + \eta) g_m$, podemos aplicar la anterior expresión simplificada de la ganancia, donde se observa que no dependen de la transconductancia g_{m2} , y por tanto la ganancia no varía.

$$\frac{u_o}{u_s} = g_{m1} r_{o1} = 250$$

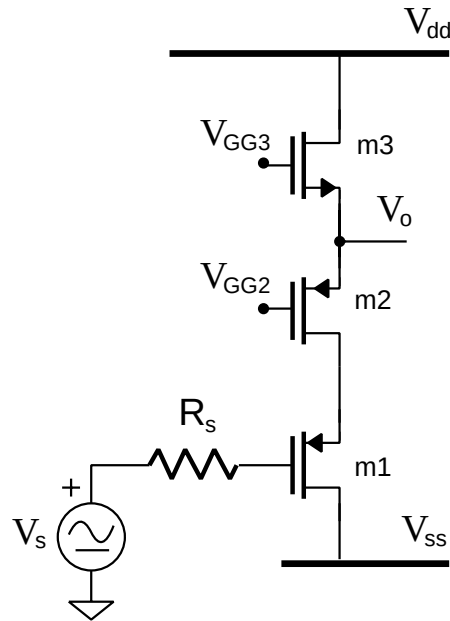
E5.2a: Dibujar y simplificar el modelo de pequeña señal a frecuencias medias

E5.2b: Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$ a frecuencias medias

E5.2c: Determinar el efecto sobre la ganancia de duplicar la intensidad de M2 ($2 I_{D2}$)

E5.2d: Determinar el efecto sobre la ganancia de considerar la existencia de efecto sustrato ($\eta = 0,4$)

(Datos) $R_s = 100\Omega$, $V_{dd} = 5v$, $V_{ss} = -5$,
 $g_m = 500\mu A/v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $|V_{tho}| = 0,7v$,
 $C_{gs} = 10pF$, $C_{gd} = 1pF$, $\eta = 0$,
 $V_{GG2} = 0v$, $V_{GG3} = 3v$, $I_d^Q = 200\mu A$



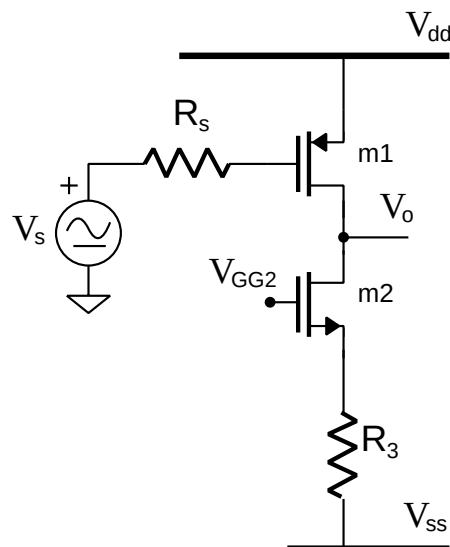
E5.3a: Dibujar y simplificar el modelo de pequeña señal a frecuencias medias

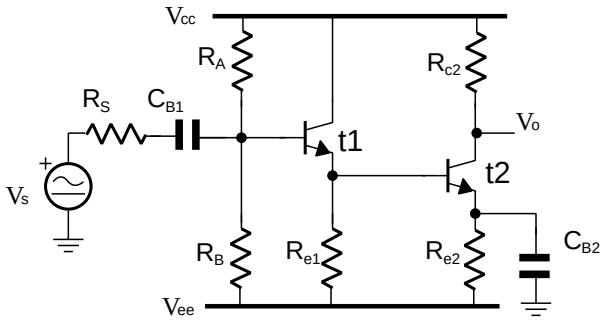
E5.3b: Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$ a frecuencias medias

E5.3c: Determinar el efecto sobre la ganancia de duplicar la intensidad de M1 ($2 I_{D1}$)

E5.3d: Determinar el efecto sobre la ganancia de considerar la existencia de efecto sustrato ($\eta = 0,4$)

(Datos) $R_s = 100\Omega$, $V_{dd} = 5v$, $V_{ss} = -5$,
 $g_m = 100\mu A/v$, $r_o = 1M\Omega$, $|V_{tho}| = 0,7v$,
 $C_{gs} = 10pF$, $C_{gd} = 1pF$, $\eta = 0$,
 $V_{GG2} = 0v$, $R_3 = 1K\Omega$, $I_d^Q = 10\mu A$





(Datos) $R_s = 50\Omega$, $R_A = 54k\Omega$, $R_B = 30k\Omega$,
 $I_C = 1mA$, $V_{AF} = 120V$, $h_{FE} = 80$,
 $C_{B1} = C_{B2} = 1mF$, $C_\pi = 10pF$, $C_\mu = 1pF$,
 $R_{E1} = R_{E2} = 3k\Omega$, $R_{C2} = 5k\Omega$,

$$V_{cc} = 5V, V_{ee} = -5V, V_s^{DC} = 1V$$

E5.4a: Dibujar y simplificar el modelo de pequeña señal a frecuencias medias

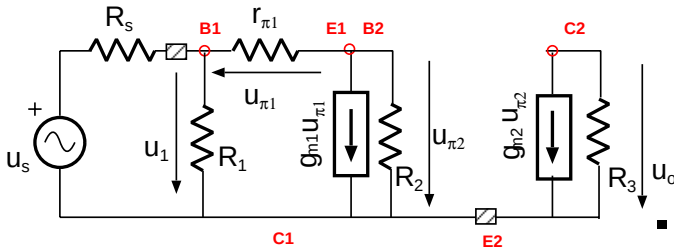
E5.4b: Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$ a frecuencias medias

E5.4c: Determinar el efecto sobre la ganancia de duplicar la intensidad de t1 (I_{c1}), manteniendo constante la intensidad de t2 (I_{c2})

E5.4d: Determinar el efecto sobre la ganancia de colocar una $R_L = 1K$ a la salida V_o

Solución

■ **E5.4a**



Consideremos que las capacidades de bloqueo (C_{B1}) y bypass (C_{B2}) se comportan como cortocircuitos (ya que estamos a frecuencias medias).

$$\begin{aligned} r_{o1} = r_{o2} &= \frac{V_{AF}}{I_c} = 120k\Omega \\ \frac{1}{g_{m1}} = \frac{1}{g_{m2}} &= \frac{V_t}{I_c} = 26\Omega \\ r_{\pi1} = r_{\pi2} &= h_{fe} \frac{V_t}{I_c} = 2k\Omega \\ R_1 &= R_A || R_B = 19k\Omega \\ R_2 &= R_{E1} || r_{o1} || r_{\pi2} \simeq 1,2k\Omega \\ R_3 &= R_{C2} || r_{o2} \simeq 5k\Omega \end{aligned}$$

■ **E5.4b**

Planteando las ecuaciones nodales tenemos:

$$\begin{aligned} u_1 \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{r_{\pi1}} \right) - u_s \frac{1}{R_s} - u_{\pi2} \frac{1}{r_{\pi1}} &= 0 \\ u_{\pi2} \left(\frac{1}{r_{\pi1}} + \frac{1}{R_2} \right) - u_1 \frac{1}{r_{\pi1}} &= g_{m1} u_{\pi1} \\ u_o \left(\frac{1}{R_3} \right) &= -g_{m2} u_{\pi2} \end{aligned}$$

Junto a la dependencia circuital:

$$u_1 = u_{\pi1} + u_{\pi2}$$

Operando y simplificando:

$$\begin{aligned} u_{\pi1} - u_s + u_{\pi2} &= 0 \\ u_{\pi1} &= u_{\pi2} \frac{1}{g_{m1} R_2} \\ u_{\pi2} &= -u_o \frac{1}{g_{m2} R_3} \\ \frac{u_2}{u_s} &\simeq g_{m2} R_3 = 192 \end{aligned}$$

■ **E5.4c**

Si analizamos las ecuaciones de polarización:

$$R_{E1} I_{E1} = V_{BE2} + R_{E2} I_{E2}$$

Obtenemos que para duplicar la I_{c1} , manteniendo constante la I_{c2} , es necesario reducir la R_{e1} a la mitad.

Este cambio modifica:

$$\begin{aligned} r_{o1} &= 60k\Omega \\ g_{m1} &= 13\Omega \\ r_{\pi1} &= 1k\Omega \\ R_2 &= 857\Omega \end{aligned}$$

Analizando las simplificaciones realizadas en el apartado anterior obtenemos el mismo valor de ganancia estática:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq g_{m2} R_3 = 192$$

■ **E5.4d**

Supongamos que la colocamos empleando una capacidad de bloqueo C_{B3} , análoga a la empleada anteriormente. De esta forma la polarización del montaje no se vería afectada.

Sin embargo desde el punto de vista de pequeña señal tendríamos que $R_3 = R_{C2} || r_{o2} || R_L \simeq 833\Omega$:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq g_{m2} R_3 = 32$$