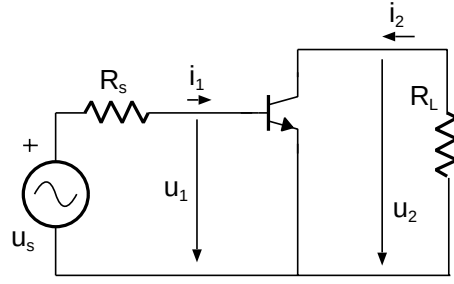


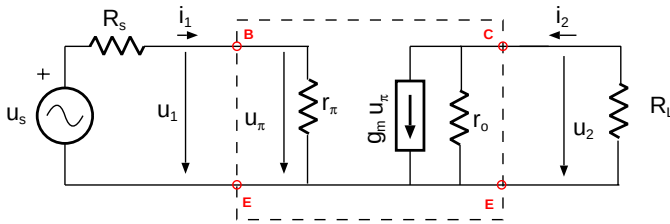
E4.1

Para la topología **Emisor Común** (*Common Emitter*).

(Datos) $I_c = 1mA$, $R_s = 1K\Omega$, $R_L = 2K\Omega$,
 $h_{fe} = 80$, $V_{AF} = 120v$, $I_s = 2nA$, $V_{cc} = 12v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de entrada: $R_i = u_1/i_1$
3. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
4. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$, suponiendo cortocircuito a la salida ($R_L = 0$)
5. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
6. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$
7. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$

Solución

1.

$$g_m = \frac{I_c}{V_t} = \frac{1m}{26m} = 0,038\Omega^{-1}$$

$$r_o = \frac{V_{AF}}{I_c} = \frac{120}{1m} = 120k\Omega$$

$$r_\pi = h_{fe} \frac{V_t}{I_c} = 80 \frac{26m}{1m} = 2080\Omega$$

2. Según el modelo de pequeña señal tenemos:

$$u_1 = u_\pi = r_\pi i_1$$

Por lo que:

$$R_i = \frac{u_1}{i_1} = r_\pi = 2080\Omega$$

3. Pasivando el circuito obtenemos que $u_1 = 0$ y por tanto:

$$u_2 = r_o i_2$$

Por lo que:

$$R_o = \frac{u_2}{i_2} = r_o = 120k\Omega$$

4. Al cortocircuitar la salida la intensidad por r_o es nula y por tanto:

$$i_2 = g_m u_\pi = g_m r_\pi i_1 = h_{fe} i_1$$

Por lo que:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = h_{fe} = 80$$

5. Planteando las ecuaciones para el circuito sin carga ($i_2 = 0$).

$$u_2 = -g_m u_\pi r_o$$

$$u_\pi = u_s \frac{r_\pi}{R_s + r_\pi}$$

Por lo que:

$$A_v = \frac{u_2}{u_s} = \frac{g_m r_\pi r_o}{R_s + r_\pi} = \frac{h_{fe} r_o}{R_s + r_\pi}$$

$$= \frac{80 \cdot 120k}{1k + 2080} = 3116$$

6. Planteando las ecuaciones, esta vez con R_L a la salida:

$$i_2 = g_m u_\pi \frac{r_o}{r_o + R_L}$$

$$u_\pi = r_\pi i_1$$

Por lo que:

$$\frac{i_2}{i_1} = g_m r_\pi \frac{r_o}{r_o + R_L} \simeq h_{fe} = 80$$

Una forma alternativa de resolverlo hubiera sido con la fuente de intensidad del *equivalente Norton*: $A_i i_1(t)$, y la *impedancia Thevenin* a la salida: R_o , ambas obtenidas anteriormente, y a continuación aplicar el divisor de tensiones.

Por tanto es fácil demostrar que la ganancia de corriente en cortocircuito es la cota superior (caso más favorable) para cualquier R_L .

7. Si aplicamos el equivalente Thevenin tenemos:

$$\begin{aligned} u_2 &= (A_v u_s) \frac{R_L}{R_L + r_o} \\ &= (A_v u_s) \frac{2k}{2k + 120k} \simeq (A_v u_s) \frac{2k}{120k} \\ &= u_s \frac{h_{fe} R_L}{R_s + r_\pi} \end{aligned}$$

Por tanto:

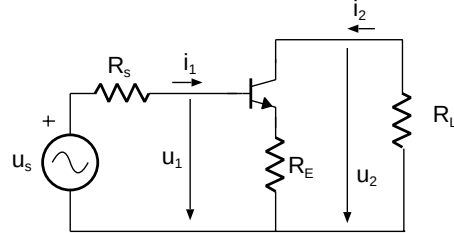
$$\frac{u_2}{u_s} \simeq \frac{h_{fe} R_L}{R_s + r_\pi} = 52$$

Obsérvese que de nuevo la ganancia en tensión a circuito abierto es cota superior para cualquier R_L , aunque a diferencia del apartado anterior, el divisor de tensiones la modifica sensiblemente (debido al elevado valor de la resistencia de salida R_o)

E4.2

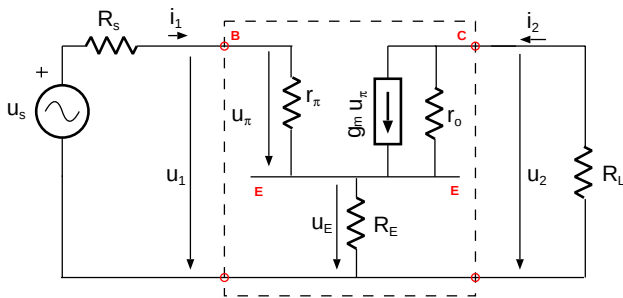
Para la topología **Emisor Común con resistencia de Emisor** (*Degenerated Common Emitter*)

(Datos) $I_c = 2mA$, $R_s = 50\Omega$, $R_L = 4k\Omega$, $R_E = 1k\Omega$, $h_{fe} = 120$, $V_{AF} = 80v$, $I_s = 1nA$, $V_{cc} = 10v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de entrada: $R_i = u_1/i_1$
3. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
4. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$, suponiendo cortocircuito a la salida ($R_L = 0$)
5. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
6. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$
7. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$

Solución



1.

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{I_c}{V_t} = \frac{2m}{26m} = 0,077\Omega^{-1} \\ r_o &= \frac{V_{AF}}{I_c} = 40k\Omega \\ r_\pi &= h_{fe} \frac{V_t}{I_c} = 120 \frac{26m}{2m} = 1560\Omega \end{aligned}$$

2. Planteando las ecuaciones por inspección:

$$\begin{aligned} u_1 &= r_\pi i_1 + u_E \\ u_E &= R_E (i_1 + i_2) \\ u_2 - u_E &= (i_2 - g_m u_\pi) r_o \\ u_2 &= -R_L i_2 \end{aligned}$$

Operando:

$$\begin{aligned} i_2 &= i_1 \frac{h_{fe} r_o - R_E}{R_L + R_E + r_o} \simeq h_{fe} i_1 \\ u_1 &\simeq i_1 (r_\pi + h_{fe} R_E) \end{aligned}$$

Por lo que:

$$R_i = \frac{u_1}{i_1} \simeq r_\pi + h_{fe} R_E = 1560 + 120 \cdot 1k \simeq 120k\Omega$$

La primera ecuación simplificada ($i_2 \simeq h_{fe} i_1$) era fácilmente predecible, si analizamos las impedancias Thevenin desde la fuente $g_m u_\pi$, vemos que tiene un camino de alta impedancia a través de r_o y otro de baja impedancia a través de $R_L + R_E || (R_s + r_\pi)$. Esto nos permite despreciar, en primera aproximación, la intensidad que circula por r_o y suponer que: $i_2 \simeq g_m u_\pi$

3. Si pasivamos el circuito (anulando la fuente independiente $u_s(t) = 0$)

$$\begin{aligned} u_o &= r_o (i_2 - g_m u_\pi) + u_E \\ u_E &= i_2 (R_E || (R_s + r_\pi)) \\ u_\pi &= -u_E \frac{r_\pi}{R_s + r_\pi} \end{aligned}$$

Y por tanto:

$$\begin{aligned} R_o &= \frac{u_2}{i_2} \simeq r_o + \left(1 + r_o \frac{g_m r_\pi}{R_s + r_\pi}\right) (R_E || (R_s + r_\pi)) \\ &= r_o h_{fe} \frac{R_E}{R_E + R_s + r_\pi} \\ &= 40k \cdot 120 \frac{1k}{1k + 50 + 1,56k} = 1,87M\Omega \end{aligned}$$

Nótese que podríamos haber simplificado $u_\pi \simeq u_E$ (al ser $r_\pi = 1,56k \gg R_s = 50$), y que la primera ecuación habría quedado: $u_o \simeq r_o(i_2 + g_m u_E)$.

4. Al cortocircuitar la salida tenemos:

$$\begin{aligned} 0 &= r_o(i_2 - g_m u_\pi) + u_E \\ u_\pi &= r_\pi i_1 \\ u_E &= R_E(i_1 + i_2) \end{aligned}$$

Despejando:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{fe} r_o - R_E}{r_o + R_E} \simeq h_{fe} = 120$$

5. Planteando las ecuaciones por inspección:

$$\begin{aligned} u_2 &= -g_m u_\pi r_o + u_E \\ u_\pi &= r_\pi i_1 \\ u_E &= R_E i_1 \\ i_1 &= \frac{u_s}{R_s + R_E + r_\pi} \end{aligned}$$

Obtenemos que:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{u_2}{u_s} = \frac{R_E - h_{fe} r_o}{R_s + r_\pi + R_E} \\ &= \frac{1k - 120 \cdot 40k}{50 + 1,56k + 1k} = 1875 \end{aligned}$$

6. Como anteriormente hemos obtenido la fuente del Norton ($A_i i_1$) y la impedancia del Thevenin vista desde la salida:

$$i_2 = A_i i_1 \frac{R_o}{R_o + R_L} \simeq A_i i_1$$

Por lo que:

$$\frac{i_2}{i_1} \simeq h_{fe} = 120$$

7. Planteemos las ecuaciones:

$$\begin{aligned} u_1 \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_\pi} \right) - u_s \frac{1}{R_s} - u_E \frac{1}{r_\pi} &= 0 \\ u_E \left(\frac{1}{r_\pi} + \frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_o} \right) - u_1 \frac{1}{r_\pi} - u_2 \frac{1}{r_o} &= g_m u_\pi \\ -u_E \frac{1}{r_o} + u_2 \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_o} \right) &= -g_m u_\pi \end{aligned}$$

Operando:

$$\begin{aligned} u_\pi \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_\pi} \right) - u_E \frac{1}{R_s} - u_s \frac{1}{R_s} &= 0 \\ u_E \left(\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_o} \right) - u_\pi \left(\frac{1}{r_\pi} + g_m \right) - u_2 \frac{1}{r_o} &= 0 \\ -u_E \frac{1}{r_o} + g_m u_\pi - u_2 \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_L} \right) &= 0 \end{aligned}$$

Simplificando suponiendo que $g_m r_\pi \gg 1$ y que $r_o \gg R_E, R_L$ llegamos a:

$$\begin{aligned} u_E &\simeq -u_2 \frac{R_E}{R_L} \\ u_\pi &\simeq -u_2 \frac{1}{g_m R_L} \\ u_2 \left(-\frac{1}{g_m R_L} \left(\frac{R_s + r_\pi}{R_s r_\pi} \right) \right) - \frac{R_E}{R_L R_s} &= u_s \frac{1}{R_s} \end{aligned}$$

Obsérvese que la primera ecuación indica, como ya comentamos anteriormente, que la intensidad por R_E es aproximadamente igual a la que recorre R_L .

La segunda ecuación es también consecuencia de lo anterior: $u_2 \simeq g_m u_\pi R_L$.

Resolviendo llegamos a:

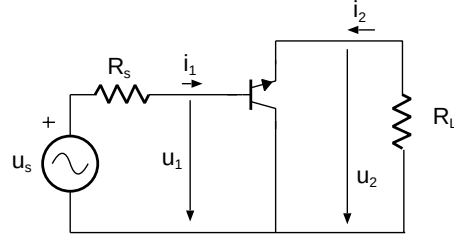
$$\frac{u_2}{u_s} = \frac{-g_m r_\pi R_L}{R_s + r_\pi + g_m r_\pi R_E} \simeq \frac{R_L}{R_E} = 4$$

El resultado final muestra que en este montaje la ganancia sólo depende, en primera aproximación, de los valores de las resistencias de emisor R_E y carga R_L .

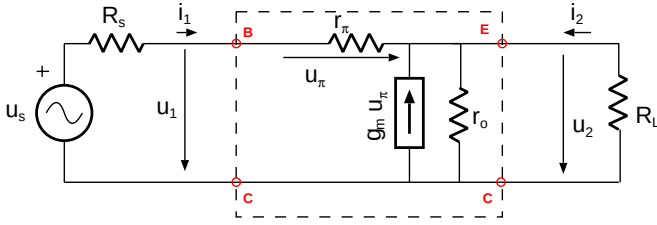
E4.3

Para la topología **Colector Común** (*Common Collector* o *Emitter Follower*)

(Datos) $I_c = 5mA$, $R_s = 2K\Omega$, $R_L = 200\Omega$
 $h_{fe} = 70$, $V_{AF} = 110v$, $I_s = 3nA$, $V_{cc} = 14v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de entrada: $R_i = u_1/i_1$
3. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
4. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$, suponiendo cortocircuito a la salida ($R_L = 0$)
5. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
6. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$
7. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$



$$\begin{aligned} -i_2 &= g_m u_\pi + i_1 \\ u_\pi &= r_\pi i_1 \end{aligned}$$

Obteniendo que:

$$\frac{i_2}{i_1} \simeq -h_{fe} = 70$$

1.

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{I_c}{V_t} = \frac{5m}{26m} = 0,192\Omega^{-1} \\ r_o &= \frac{V_{AF}}{I_c} = \frac{110}{5m} = 22k\Omega \\ r_\pi &= h_{fe} \frac{V_t}{I_c} = 70 \frac{26m}{5m} = 364\Omega \end{aligned}$$

2. Planteando las ecuaciones:

$$\begin{aligned} u_1 &= i_1 r_\pi + (R_L || r_o)(i_1 + g_m u_\pi) \\ u_\pi &= i_1 r_\pi \end{aligned}$$

Por lo que:

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{u_1}{i_1} = r_\pi + (R_L || r_o)(1 + g_m r_\pi) \simeq h_{fe} (R_L || r_o) \\ &= 70 (200 || 22k) \simeq 14k\Omega \end{aligned}$$

3. Pasivando el circuito y planteando las ecuaciones:

$$\begin{aligned} u_2 &= (i_2 + g_m u_\pi) (r_o || (R_s + r_\pi)) \\ u_\pi &= -u_2 \frac{r_\pi}{R_s + r_\pi} \end{aligned}$$

Simplificando $r_o \gg R_s, r_\pi$

$$\frac{u_2}{i_2} \simeq \frac{R_s + r_\pi}{1 + g_m r_\pi} = \frac{2k + 364}{70} = 34\Omega$$

4. Planteando las ecuaciones con el cortocircuito a la salida ($u_2 = 0$)

5. Planteando las ecuaciones:

$$\begin{aligned} u_2 &= (g_m u_\pi + i_1) r_o \\ u_\pi &= r_\pi i_1 \\ u_s &= (R_s + r_\pi) i_1 + u_2 \end{aligned}$$

Operando y simplificando:

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{u_2}{r_o (1 + g_m r_\pi)} \\ u_s &= u_2 \left(1 + \frac{R_s + r_\pi}{(1 + h_{fe}) r_o} \right) \simeq u_2 \end{aligned}$$

Por lo que la ganancia obtenida es:

$$A_v = \frac{u_2}{u_1} \simeq 1$$

Es por este resultado que a este montaje se le conoce como el **seguidor de tensión**. Una de las explicaciones de este comportamiento se debe a las pequeñas variaciones que experimenta la V_{BE} mientras que el transistor se encuentra en la zona de activa (recuérdese la dependencia exponencial entre la I_C y la V_{BE}), pudiendo considerarse constante. Este comportamiento hace que en pequeña señal se pueda aproximar como un cortocircuito entre base y emisor, lo cual iguala ambas tensiones.

6. Planteamos las ecuaciones:

$$\begin{aligned} -i_2 &= (i_1 + g_m u_\pi) \frac{r_o}{r_o + R_L} \\ u_\pi &= r_\pi i_1 \end{aligned}$$

Despejando:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = (1 + h_{fe}) \frac{r_o}{r_o + R_L} \simeq h_{fe} = 70$$

7. Planteamos las ecuaciones

$$\begin{aligned} u_2 &= (g_m u_\pi + i_1)(r_o || R_L) \\ u_\pi &= r_\pi i_1 \\ u_s &= (R_s + r_\pi) i_1 + u_2 \end{aligned}$$

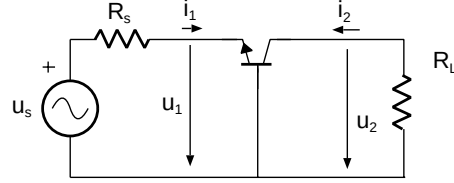
Operando y simplificando $r_o \gg R_L$:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq \frac{1}{1 + \frac{R_s + r_\pi}{(1 + h_{fe}) R_L}} = \frac{1}{1 + \frac{2k + 364}{1 + 70 \cdot 200}} = 0,855$$

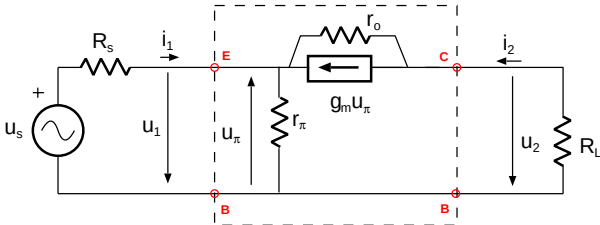
E4.4

Para la topología **Base Común** (*Common Base*)

(Datos) $I_c = 13mA$, $R_s = 1,5k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$
 $h_{fe} = 130$, $V_{AF} = 130v$, $I_s = 2,5nA$, $V_{cc} = 5v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de entrada: $R_i = u_1/i_1$
3. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
4. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$, suponiendo cortocircuito a la salida ($R_L = 0$)
5. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
6. Calcular la ganancia de corriente: $i_2(t)/i_1(t)$
7. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$



1.

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{I_c}{V_t} = \frac{13m}{26m} = 0,5\Omega^{-1} \\ r_o &= \frac{V_{AF}}{I_c} = \frac{130}{13m} = 10k\Omega \\ r_\pi &= h_{fe} \frac{V_t}{I_c} = 130 \frac{26m}{13m} = 260\Omega \end{aligned}$$

2. Planteamos las ecuaciones por inspección:

$$\begin{aligned} u_1 &= r_\pi(i_1 + i_2) = -u_\pi \\ r_o(i_2 - g_m u_\pi) &= u_2 - u_1 \\ u_2 &= -R_L i_2 \end{aligned}$$

Suponiendo $R_L \ll r_o$ y operando:

$$R_i = \frac{u_1}{i_1} = \frac{r_\pi}{1 + r_\pi \frac{1 + g_m r_o}{r_o + R_L}} \simeq \frac{r_\pi}{h_{fe}} = \frac{1}{g_m} = 2\Omega$$

3. Pasivamos el circuito y planteamos ecuaciones:

$$\begin{aligned} u_2 &= (i_2 - g_m u_\pi) r_o + i_2(R_s || r_\pi) \\ u_\pi &= -i_2(R_s || r_\pi) \end{aligned}$$

Sustituyendo y operando:

$$\begin{aligned} R_o &= \frac{u_2}{i_2} = (1 + g_m (R_s || r_\pi)) r_o + (R_s || r_\pi) \\ &\simeq h_{fe} r_o = 130 \cdot 10k = 1,3M\Omega \end{aligned}$$

4. Cuando tenemos cortocircuitada la salida, las ecuaciones quedan:

$$\begin{aligned} u_2 &= (i_2 - g_m u_\pi) r_o - u_\pi \\ -u_\pi &= (i_1 + i_2) r_\pi \end{aligned}$$

Sustituyendo y operando:

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{-r_\pi(1 + g_m r_o)}{1 + r_\pi(1 + g_m r_o)} \simeq 1$$

5. Planteamos las ecuaciones en ausencia de carga ($i_2 = 0$)

$$\begin{aligned} u_2 &= -g_m u_\pi r_o - u_\pi \\ u_\pi &= u_s \frac{-r_\pi}{R_s + r_\pi} \end{aligned}$$

Sustituyendo:

$$A_v = \frac{u_2}{u_s} \simeq -r_o \frac{h_{fe}}{R_s + r_\pi} = 10k \frac{130}{1,5k + 260} = 738$$

6. Planteando el equivalente Norton:

$$i_2 = A_i \frac{R_o}{R_o + R_L} \simeq A_i \simeq 1$$

Hemos simplificado al ser $R_o \gg R_L$

7. Planteando las ecuaciones nodales:

$$u_1 \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_\pi} + \frac{1}{r_o} \right) - u_s \frac{1}{R_s} - u_2 \frac{1}{r_o} = g_m u_\pi$$

$$u_2 \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_L} \right) - u_1 \frac{1}{r_o} = -g_m u_\pi$$

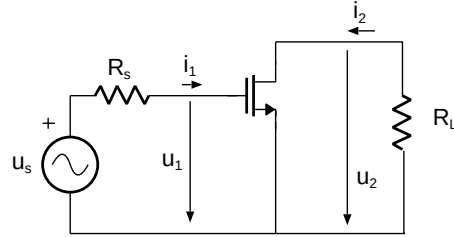
Operando y simplificando:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq \frac{R_L}{R_s} = \frac{10k}{1,5k} = 6,6$$

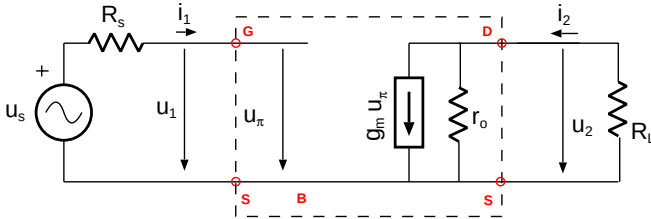
E4.5

Para la topología **Fuente Común (Common Source)**

(Datos) $I_d = 50\mu A$, $R_s = 1k\Omega$, $R_L = 50k\Omega$
 $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$,
 $\Phi_f = 0,6v$, $\eta = 0$, $\frac{W}{L} = 10$, $V_{dd} = 5v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
3. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
4. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$



1.

$$g_m = \sqrt{2K \frac{W}{L} I_d} = \sqrt{2 \cdot 40\mu \cdot 10 \cdot 50\mu} = 200\mu\Omega^{-1}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_d} = \frac{1}{0,01 \cdot 50\mu} = 2M\Omega$$

2. Pasivando el circuito tenemos que:

$$u_2 = r_o i_2$$

Por lo que la impedancia de salida queda:

$$R_o = \frac{u_2}{i_2} = r_o = 2M\Omega$$

3. Planteando la ecuación del circuito con $i_2 = 0$

$$u_2 = -g_m u_\pi r_o$$

$$u_\pi = u_s$$

Resolviendo:

$$A_v = \frac{u_2}{u_s} = -g_m r_o = 200\mu \cdot 2M = 400$$

4. Si planteamos las ecuaciones:

$$u_2 = -g_m u_\pi (r_o || R_L)$$

$$u_\pi = u_s$$

De donde:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq -g_m R_L = 200\mu \cdot 50k = 10$$

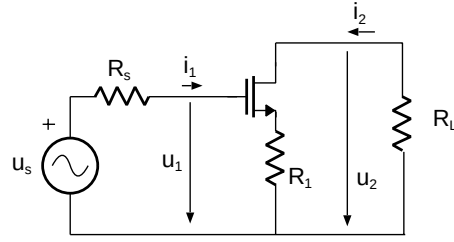
También podemos plantearlo a partir del Thevenin a la salida, que ha sido obtenido con anterioridad:

$$u_2 = A_v u_s \frac{R_L}{R_L + R_o} = u_s \cdot 400 \cdot \frac{50k}{2M + 50k}$$

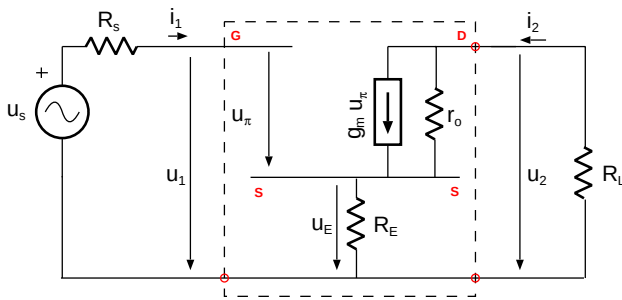
E4.6

Para la topología **Fuente Común Degenerada** (*Degenerated Common Source*)

(Datos) $I_d = 4\mu A$, $R_S = 1k\Omega$, $R_L = 500k\Omega$
 $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$ $\gamma = 0,8v^{0,5}$,
 $\Phi_f = 0,6v$, $\eta = 0 \frac{W}{L} = 20$, $R_E = 100k\Omega$, $V_{dd} = 3v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
3. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
4. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$
5. Determinar cómo afecta al apartado anterior considerar el efecto sustrato con $\eta = 0,4$



1.

$$g_m = \sqrt{2 K \frac{W}{L} I_d} = \sqrt{2 \cdot 40\mu \cdot 20 \cdot 4\mu} = 80\mu\Omega^{-1}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_d} = \frac{1}{0,01 \cdot 4\mu} = 25M\Omega$$

2. Pasivamos el circuito y obtenemos:

$$u_2 = r_o(i_2 - g_m u_\pi) + R_E i_2$$

$$u_\pi = -R_E i_2$$

De donde:

$$R_o = \frac{u_2}{i_2} = r_o(1 + g_m R_E) + R_E$$

$$\simeq r_o(1 + g_m R_E) = 25M(1 + 80\mu \cdot 100k) = 225M\Omega \text{ elevada impedancia que ofrece } r_o$$

3. Cuando $R_L = \infty$, tenemos:

$$\frac{u_2}{u_s} = -g_m r_o$$

4. Planteando las ecuaciones nodales:

$$u_E = u_s - u_\pi$$

$$u_E \left(\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_o} \right) - u_2 \frac{1}{r_o} = g_m u_\pi$$

$$u_2 \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{r_o} \right) - u_E \frac{1}{r_o} = -g_m u_\pi$$

Operando y simplificando obtenemos que:

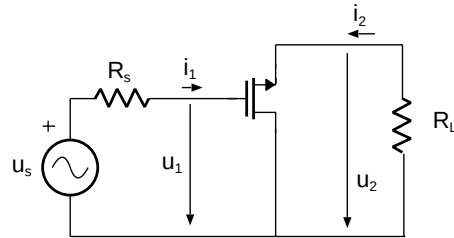
$$\frac{u_2}{u_s} \simeq -\frac{R_L}{R_E} = 5$$

El resultado obtenido es análogo al del caso del bipolar, siendo uno de los resultados intermedios que la corriente que circula por R_E aproximadamente igual a la corriente por R_L , debido a la

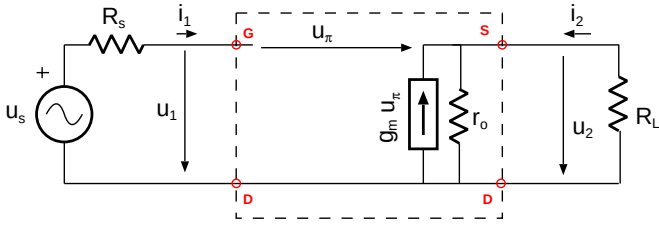
E4.7

Para la topología **Drenador Común** (*Common Drain*)

(Datos) $I_d = 200\mu A$, $R_S = 200\Omega$, $R_L = 20k\Omega$
 $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$ $\gamma = 0,8v^{0,5}$,
 $\Phi_f = 0,6v$, $\eta = 0 \frac{W}{L} = 30$, $V_{dd} = 5v$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
3. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
4. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$
5. Determinar cómo afecta al apartado anterior considerar el efecto sustrato con $\eta = 0,4$



1.

$$g_m = \sqrt{2 K \frac{W}{L} I_d} = \sqrt{2 \cdot 40 \mu \text{A/V}^2 \cdot 30 \cdot 200 \mu \text{A}} = 693 \mu \text{S}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_d} = \frac{1}{0,01 \cdot 200 \mu \text{A}} = 500 \text{k}\Omega$$

2. Al pasivar el circuito, la fuente $g_m u_\pi$ se transforma en resistencia, por lo que:

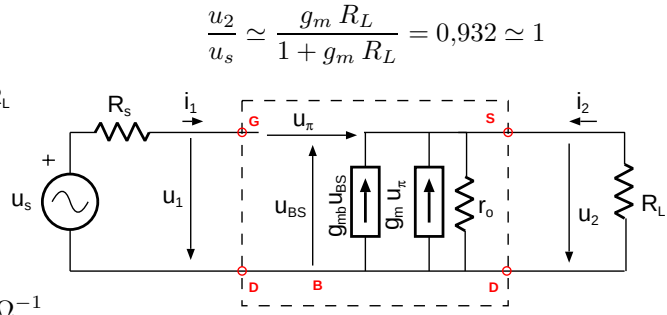
$$R_o = r_o \parallel \frac{1}{g_m} \simeq \frac{1}{g_m} = 1,4 \text{k}\Omega$$

3. Planteando las ecuaciones tenemos:

$$u_s = u_\pi + u_2$$

$$u_2 = g_m u_\pi (r_o \parallel R_L)$$

Despejando y simplificando:



4.

$$g_{mb} = \eta g_m = 0,4 \cdot 693 \mu \text{S} = 277 \mu \text{S}$$

Como se puede observar, la fuente del efecto sustrato es en realidad una impedancia de valor $1/g_{mb}$.

La segunda ecuación del apartado anterior sería en este caso:

$$u_s = g_m u_\pi R'_L$$

$$\text{donde: } R'_L = (r_o \parallel R_L \parallel \frac{1}{g_{mb}}) = 2 \text{k}\Omega$$

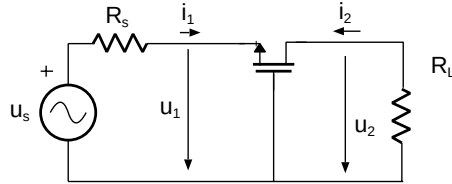
Y por tanto:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L} = 0,675 \simeq 1$$

E4.8

Para la topología **Puerta Común (Common Gate)**

(Datos) $I_d = 15 \mu \text{A}$, $R_S = 4 \text{k}\Omega$, $R_L = 100 \text{k}\Omega$
 $K = 40 \mu \text{A/V}^2$, $V_{tho} = 0,7 \text{V}$, $\lambda = 0,01 \text{V}^{-1}$, $\gamma = 0,8 \text{V}^{0,5}$,
 $\Phi_f = 0,6 \text{V}$, $\eta = 0$, $\frac{W}{L} = 25$, $V_{dd} = 5 \text{V}$



1. Dibujar el modelo de pequeña señal y computar los parámetros de pequeña señal del mismo
2. Calcular la impedancia de salida: $u_2(t)/i_2(t)$
3. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$, suponiendo circuito abierto a la salida ($R_L = \infty$)
4. Calcular la ganancia de tensión: $u_2(t)/u_s(t)$
5. Determinar cómo afecta al apartado anterior considerar el efecto sustrato con $\eta = 0,4$

2. Pasivamos el circuito y resolvemos:

$$u_2 = r_o(i_2 - g_m u_\pi) + R_s i_2$$

$$u_\pi = -R_s i_2$$

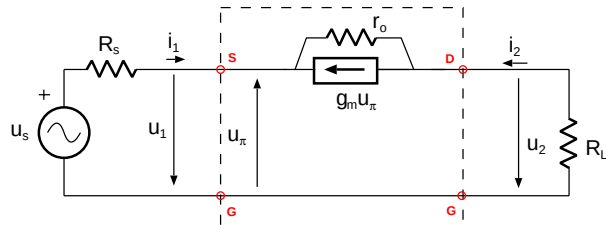
Por lo que:

$$R_o = \frac{u_2}{i_2} \simeq r_o(1 + g_m R_s) = 6,6 \text{M}\Omega(1 + 173 \mu \text{A/V} \cdot 4 \text{k}\Omega) = 11,16 \text{M}\Omega$$

3. Planteando las ecuaciones nodales tenemos:

$$-u_\pi \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_o} \right) - u_2 \frac{1}{r_o} - u_s \frac{1}{R_s} = g_m u_\pi$$

$$u_2 \left(\frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_L} \right) + u_\pi \frac{1}{r_o} = -g_m u_\pi$$



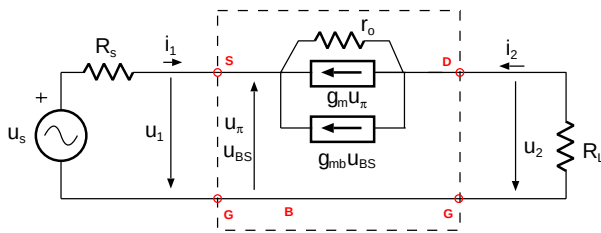
1.

$$g_m = \sqrt{2 K \frac{W}{L} I_d} = \sqrt{2 \cdot 40 \mu \text{A/V}^2 \cdot 25 \cdot 15 \mu \text{A}} = 173 \mu \text{S}$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_d} = \frac{1}{0,01 \cdot 15 \mu \text{A}} = 6,6 \text{M}\Omega$$

Operando y simplificando:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_s} = 10,22$$



4.

$$g_{mb} = \eta g_m = 0,4173\mu = 69\mu\Omega^{-1}$$

Se puede observar que como ambas fuentes dependen de la misma tensión, podemos agruparlas en una de valor $g'_m = g_m + g_{mb} = 242\mu\Omega^{-1}$. Si suponemos que todas las aproximaciones realizadas se mantienen:

$$\frac{u_2}{u_s} \simeq \frac{g'_m R_L}{1 + g'_m R_s} = 12,29$$