

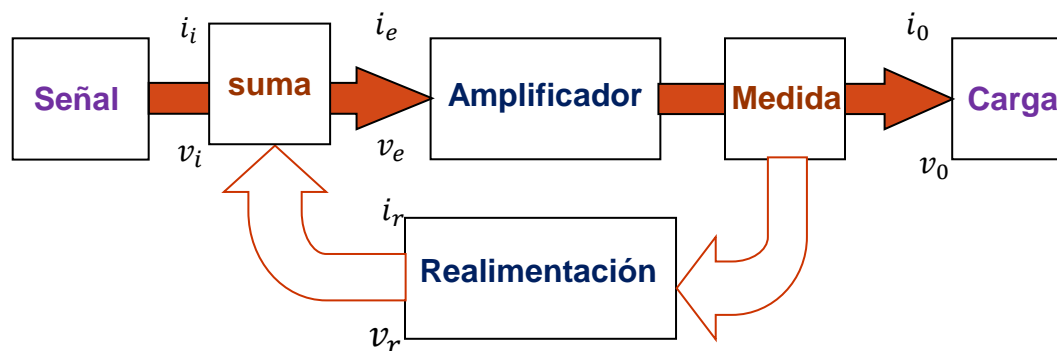
Circuitos Electrónicos I

Circuitos Electrónicos Realimentados

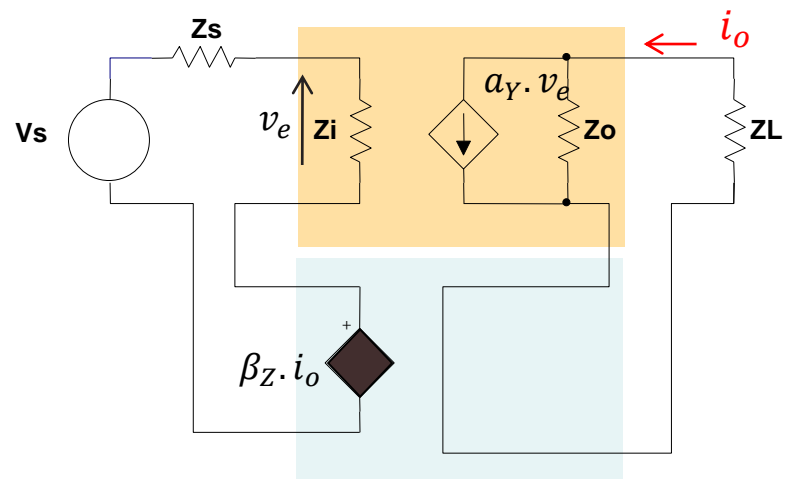
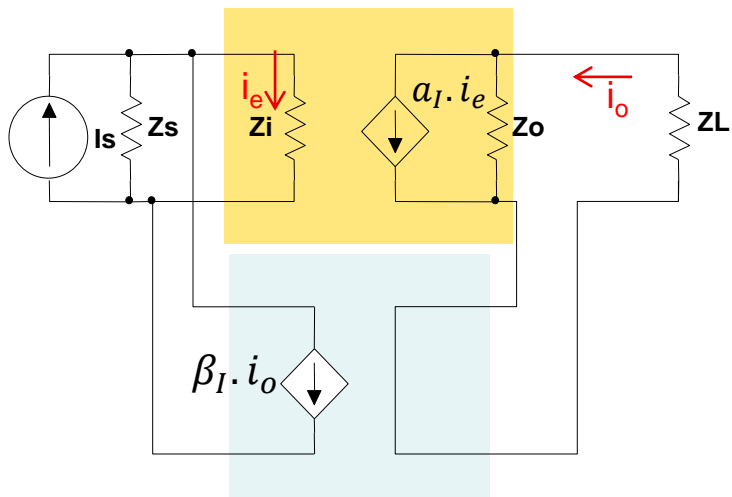
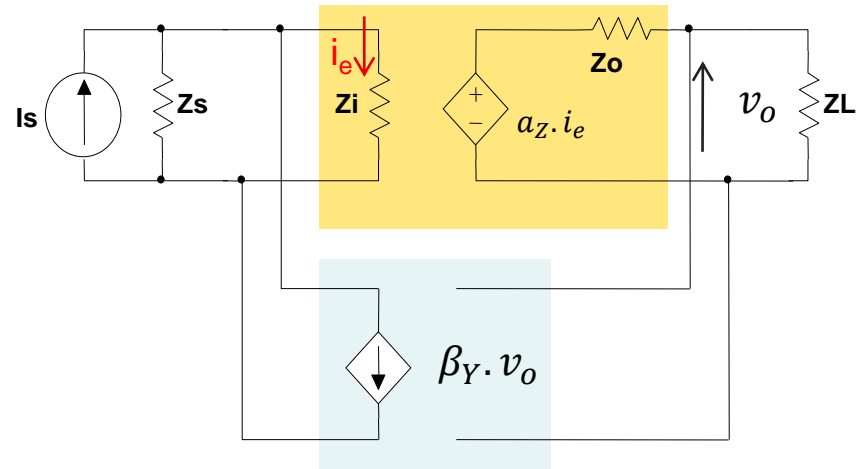
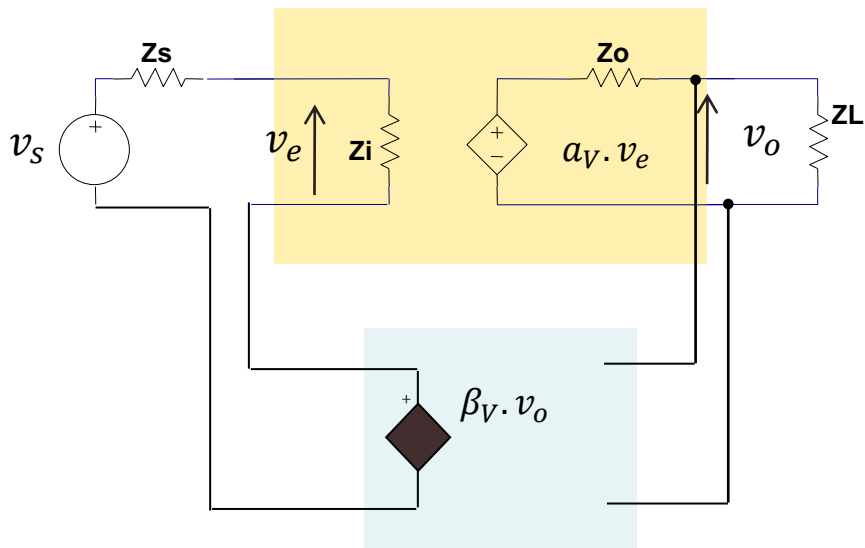


AMPLIFICADORES REALIMENTADOS

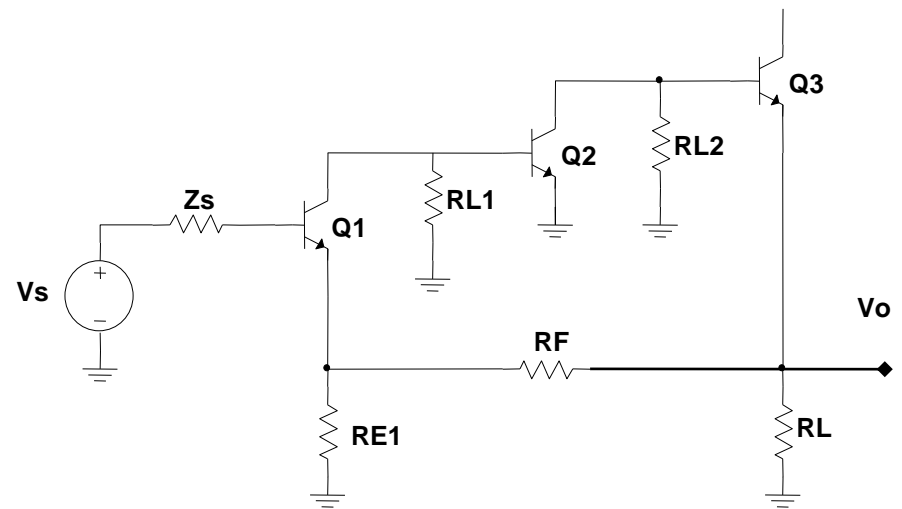
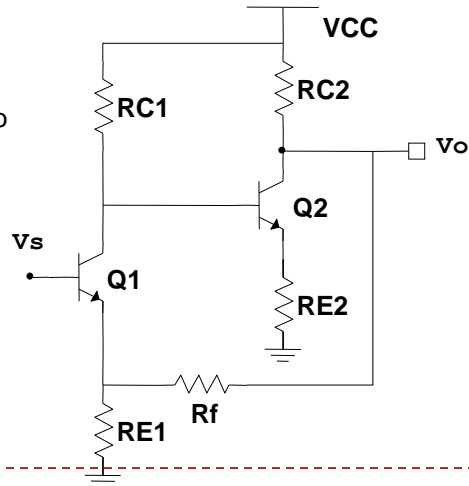
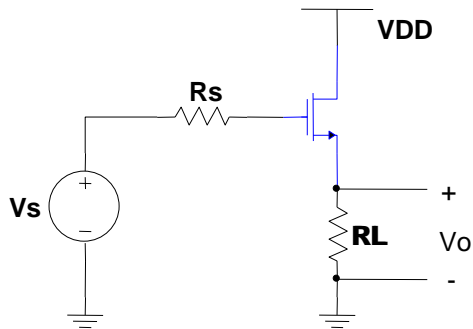
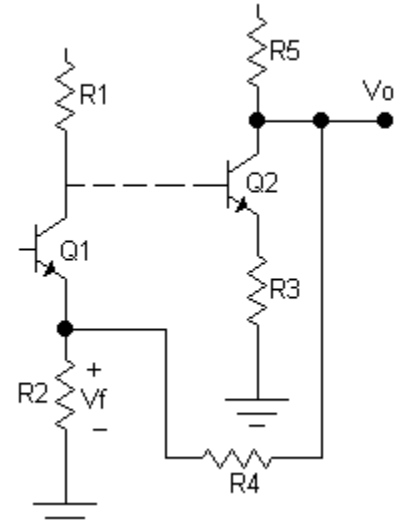
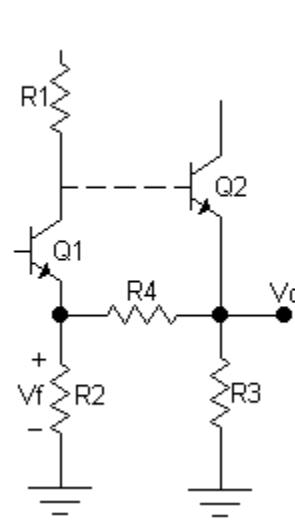
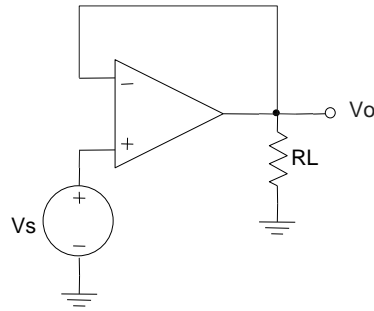
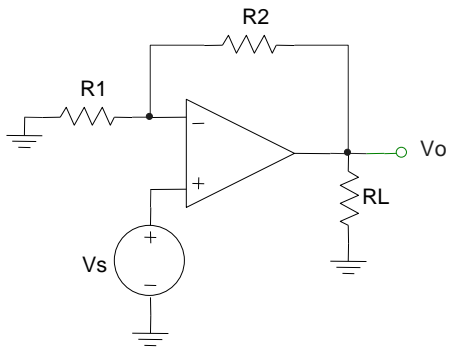
- ✓Ya hemos estudiado las propiedades generales de la realimentación.
- ✓Hemos analizado también las distintas topologías de amplificadores realimentados.
- ✓Hemos estudiado el efecto de la realimentación sobre la ganancia y sobre las impedancias de entrada y salida.
- ✓Hemos estudiado la realimentación de amplificadores de ganancia infinita.
- ✓Estudiaremos más en detalle cómo implementar amplificadores realimentados, y cómo calcular sus ganancias.



TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS

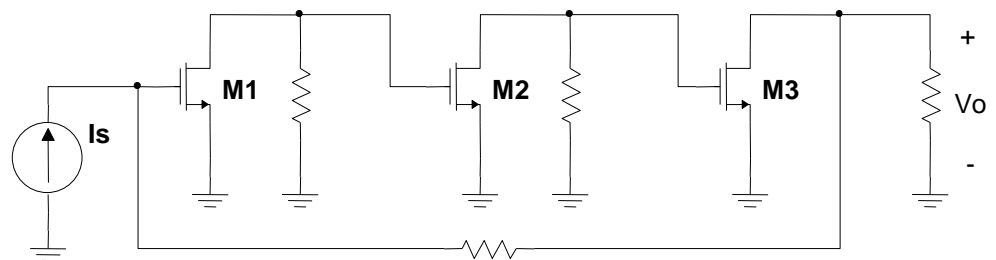
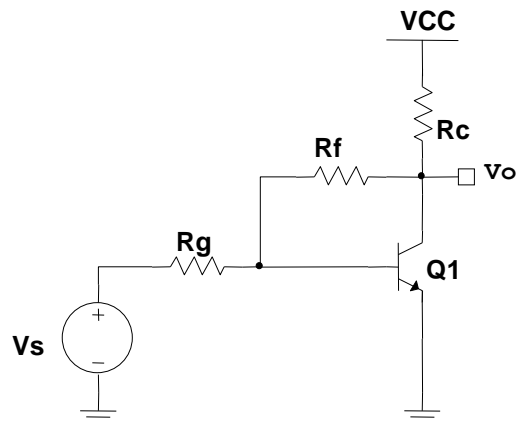
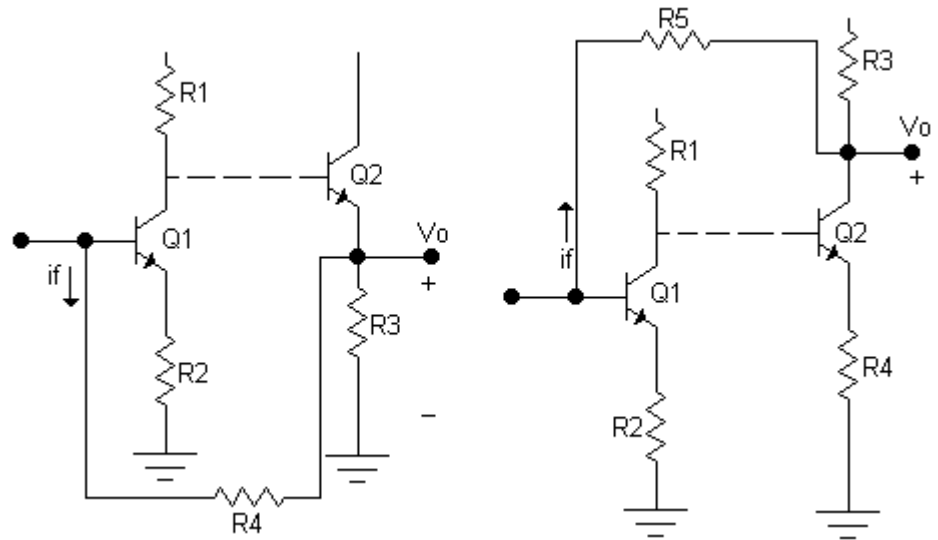
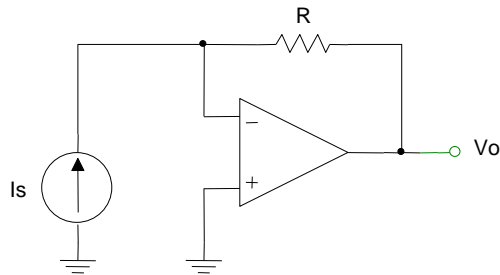


TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

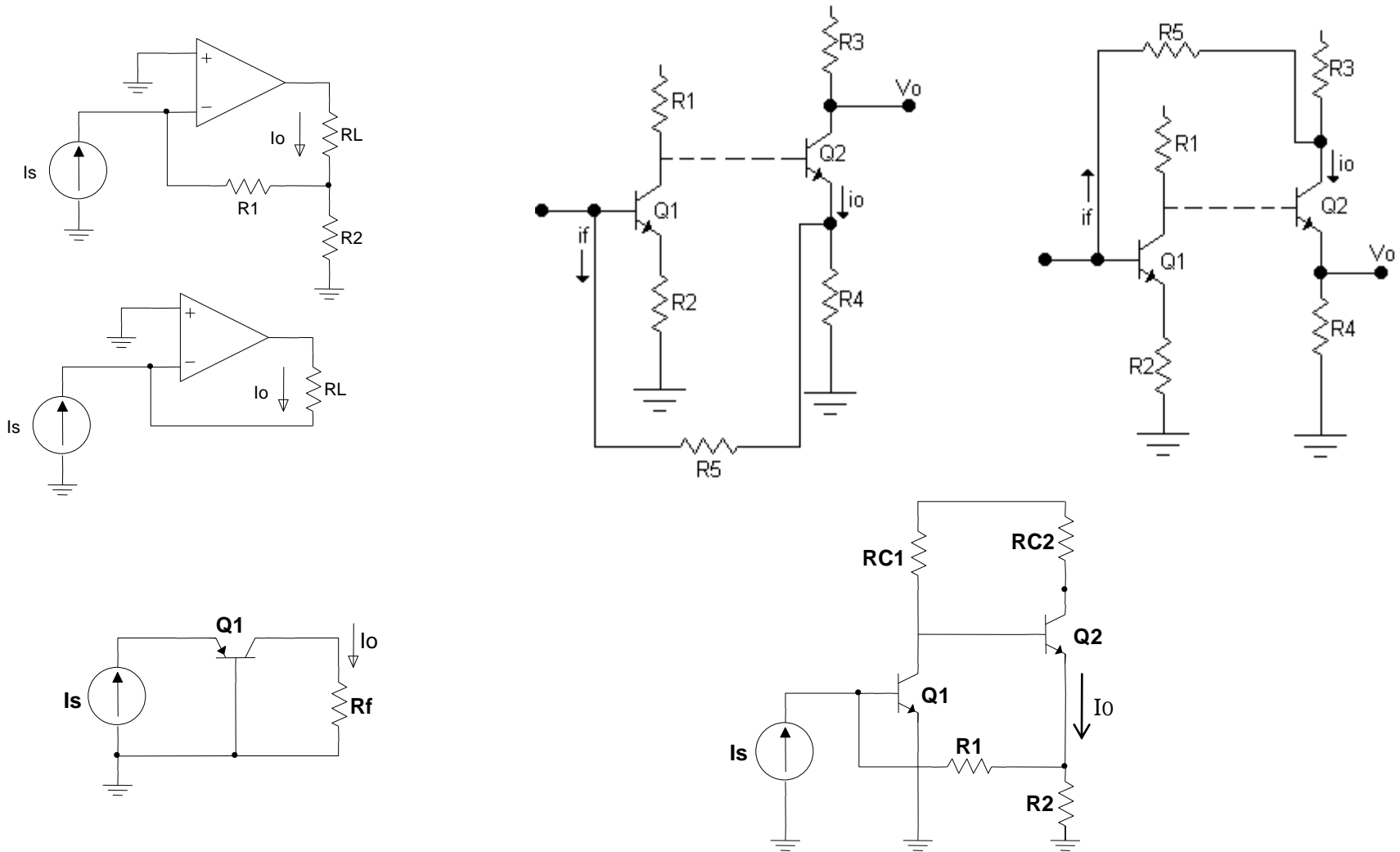


Red de realimentación

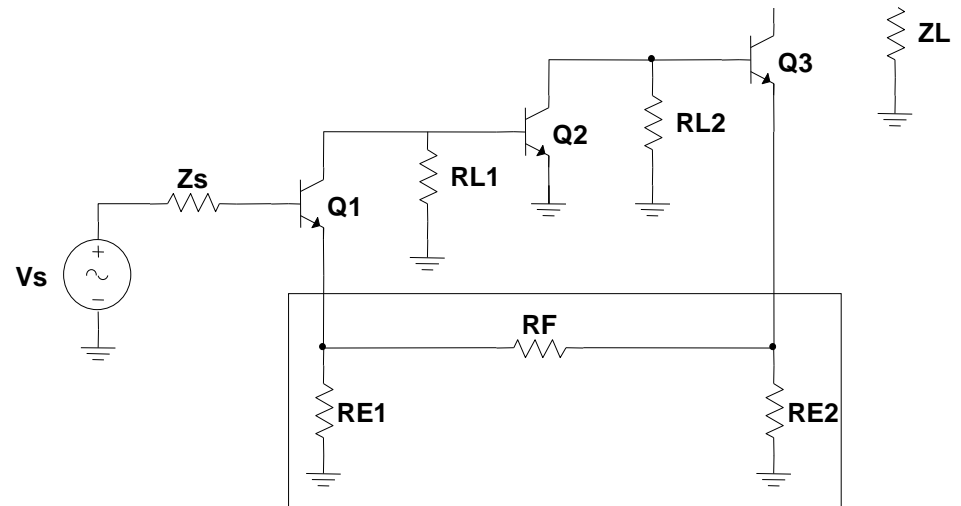
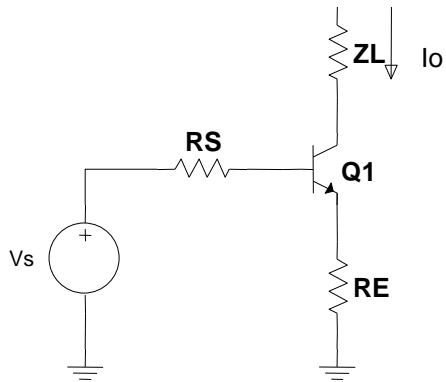
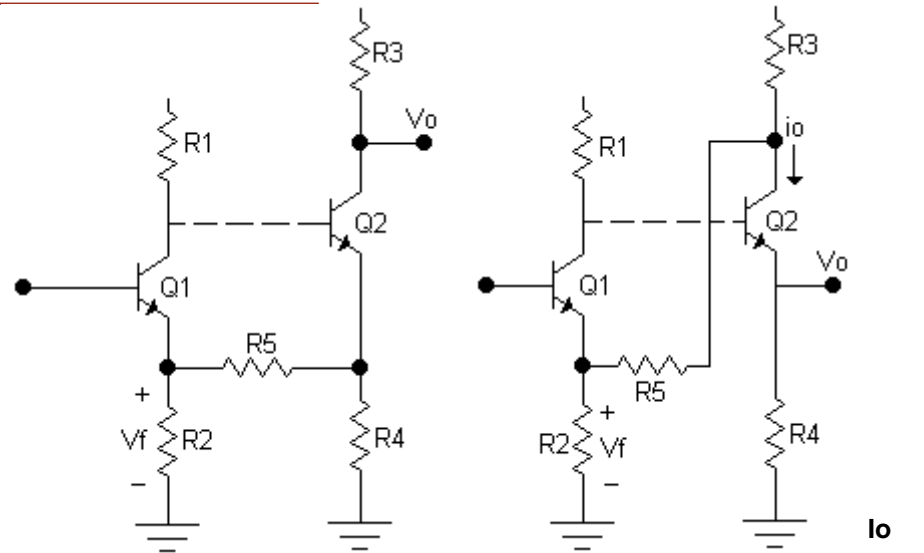
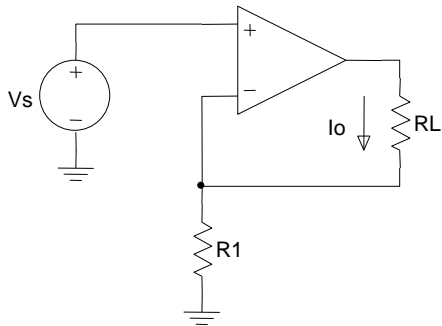
TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANSIMPEDANCIA



TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE

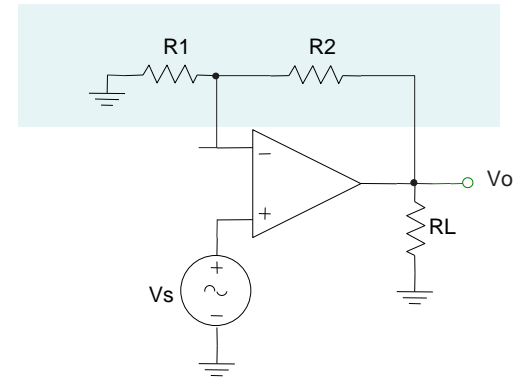
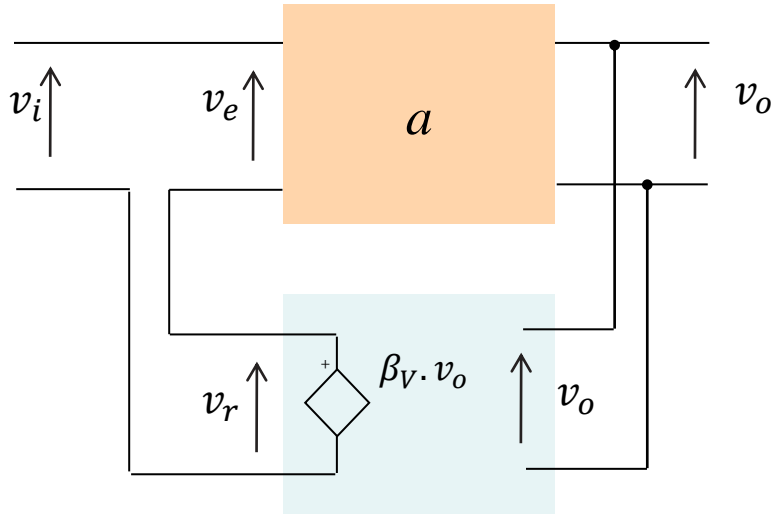


TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANSADMITANCIA



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE Tensión

Efecto de carga de la red β



Como se ve, la red de realimentación no es un generador controlado sino una red pasiva.

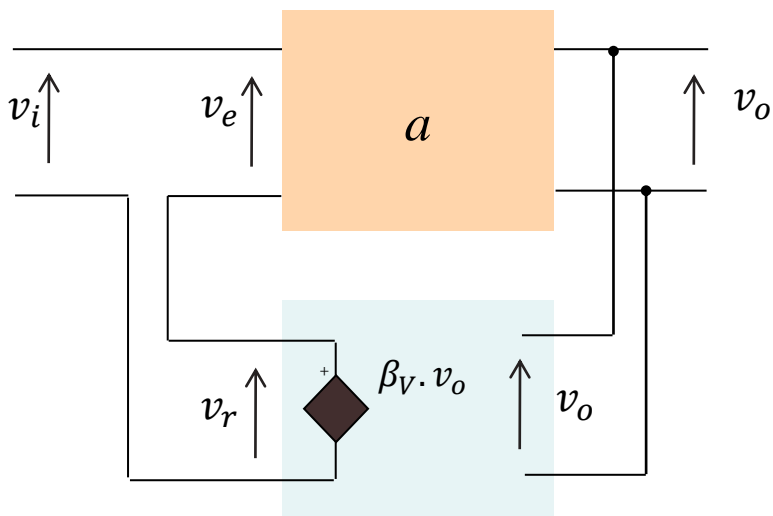
Esta red pasiva establece una realimentación pero además produce un efecto de carga sobre el amplificador que debe ser considerado en el cálculo de la ganancia.

Con ese fin, se suele modelizar a la red de realimentación como un cuadripolo.

El modelo de cuadripolo más adecuado depende de la topología del amplificador realimentado.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

Efecto de carga de la red β

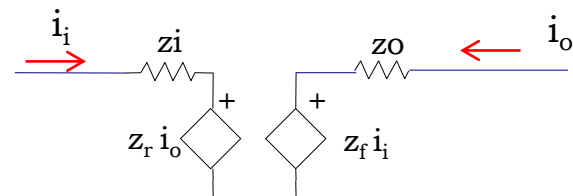
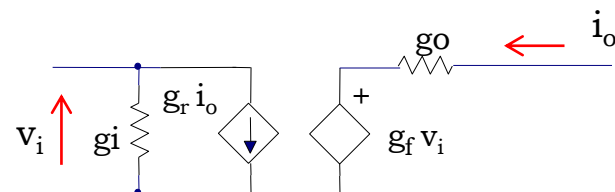
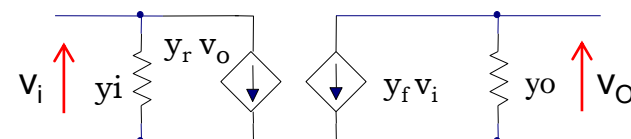
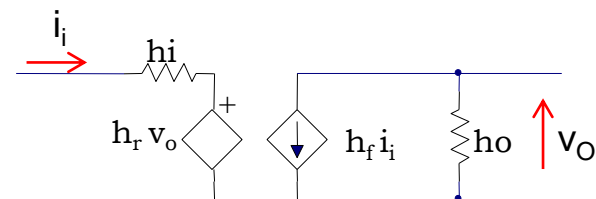


El modelo de cuadripolo más adecuado es el que tiene la misma topología que el amplificador realimentado.

El cuadripolo serie-paralelo es el **H**.

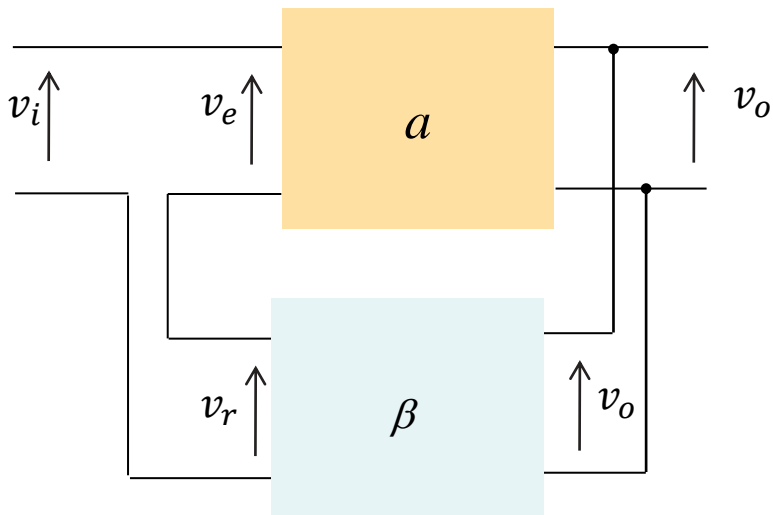
Este cuadripolo tiene en la realimentación un generador de tensión controlado por tensión al igual que el amplificador realimentado.

Cuadripolos:



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

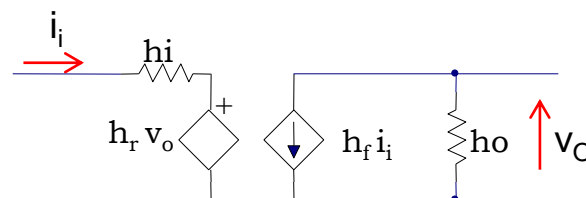
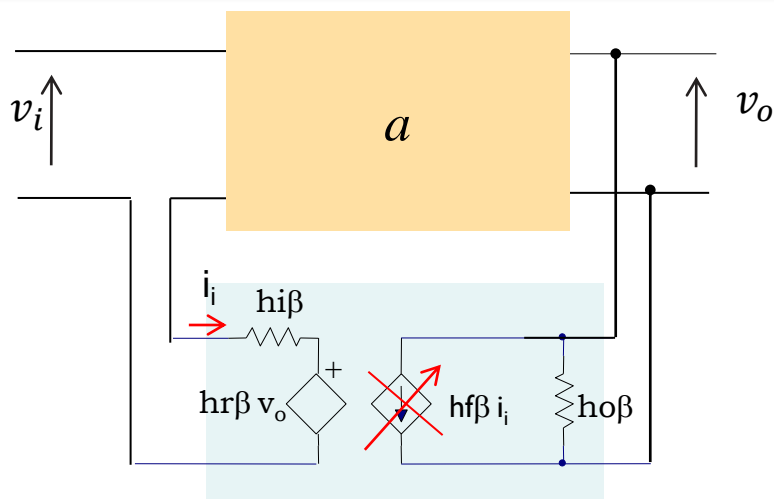
Efecto de carga de la red β



El modelo de cuadripolo para la realimentación serie-paralelo es el H.

Habitualmente se supone un camino unidireccional de la señal, por lo que la componente directa de la red β se desprecia.

Las demás componentes se determinan como de costumbre:



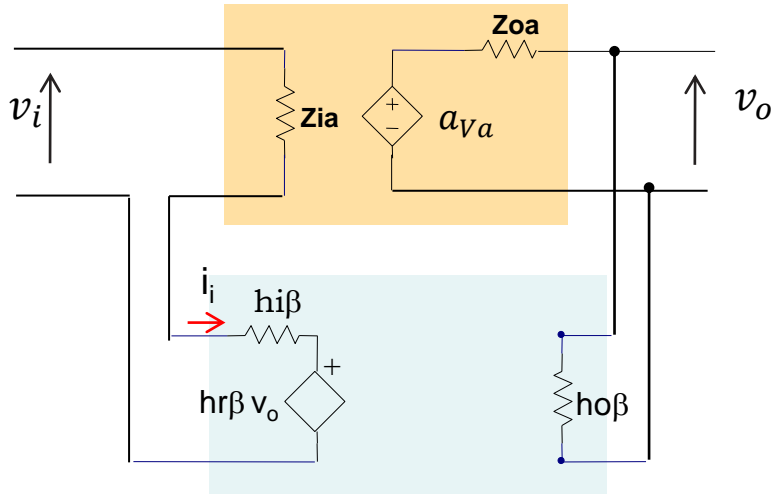
$$h_{i\beta} = \frac{v_r}{i_i} \bigg|_{v_o=0}$$

$$h_{r\beta} = \frac{v_r}{v_o} \bigg|_{i_i=0}$$

$$h_{o\beta} = \frac{i_o\beta}{v_o} \bigg|_{i_i=0}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

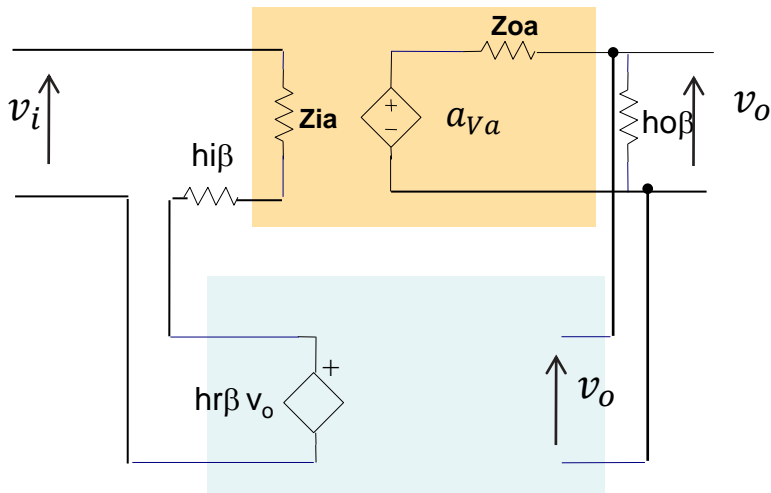
Efecto de carga de la red β



$$\beta_V = h_{r\beta} = \frac{v_r}{v_o} \big|_{i_i = 0}$$

$$h_{i\beta} = \frac{v_r}{i_i} \big|_{v_o = 0}$$

$$h_{o\beta} = \frac{i_{o\beta}}{v_o} \big|_{i_i = 0}$$



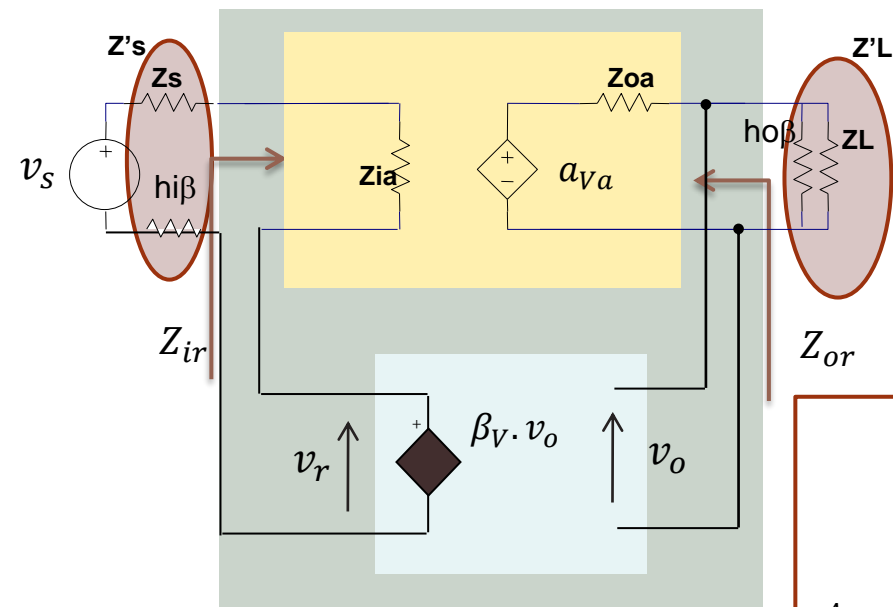
Ya hemos calculado la ganancia y las cargas de β . Transferimos las cargas a A de modo de tener una realimentación ideal.

Nos resta ahora tener en cuenta esas cargas en el cálculo de la ganancia de A.

Para resolver este problema hay distintas opciones.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

Efectos de cargas externas y de la red β ¿Cómo tenerlas en cuenta?.



Opción 1:

a) Combinamos las cargas de la red β con las cargas de entrada y salida.

$$z'_S = z_S + h_{i\beta}$$

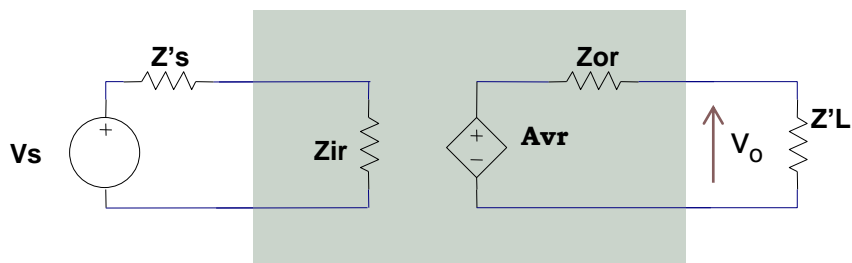
$$z'_L = z_L || h_{o\beta}^{-1}$$

b) Calculamos la ganancia e impedancias de entrada y salida realimentadas de la red A- β SIN tener en cuenta las cargas.

$$A_{Vr} = \frac{a_{Va}}{1 + a_{Va} \cdot \beta_V}$$

$$Z_{ir} \cong z_{ia}(1 + a_{Va} \cdot \beta_V)$$

$$Z_{or} \cong \frac{z_{oa}}{(1 + a_{Va} \cdot \beta_V)}$$



c) Aplicamos los divisores de tensión de entrada y salida:

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{1}{1 + \frac{z'_S}{Z_{ir}}} \cdot A_{Vr} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_{or}}{z'_L}}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

Efectos de cargas externas y de la red β ¿Cómo tenerlas en cuenta?.

Opción 2:

a) Calculamos las impedancias de entrada y salida y la ganancia del amp A cargado SÓLO CON la red β .

$$z_i = z_{ia} + h_{i\beta}$$

$$z_o = z_{oa} || h_{o\beta}^{-1}$$

$$a_v = \frac{z_{ia}}{z_i} \cdot a_{va} \cdot \frac{z_o}{z_{oa}}$$

b) Calculamos la ganancia e impedancias de entrada y salida realimentadas de la red A- β sin tener en cuenta las cargas externas.

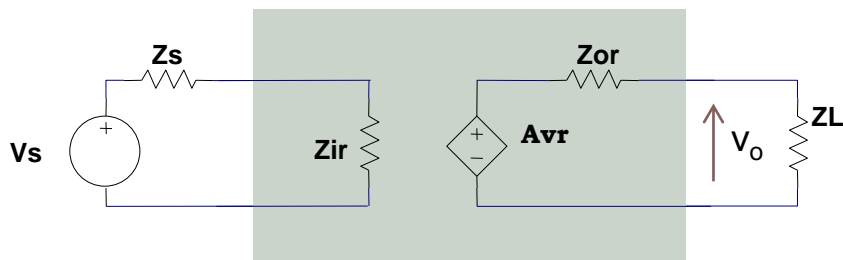
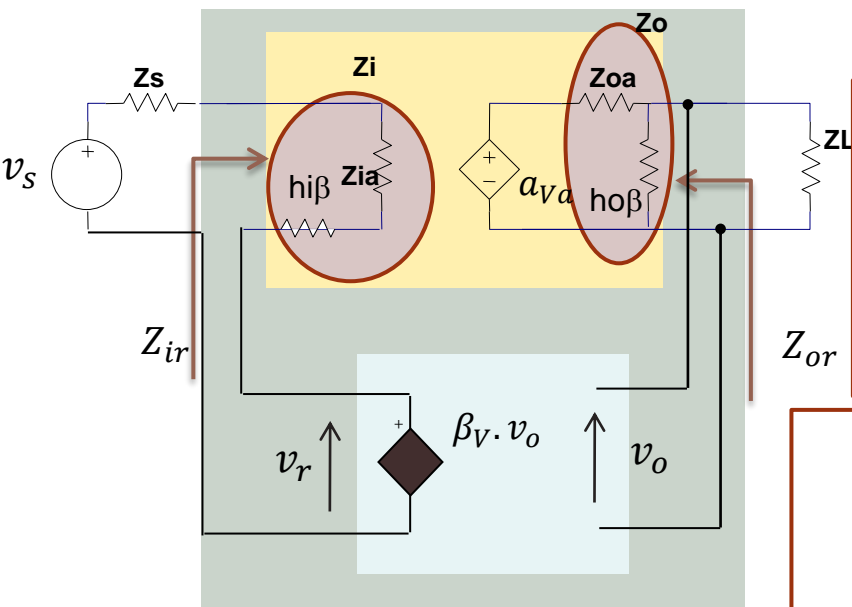
$$A_{vr} = \frac{a_v}{1 + a_v \cdot \beta_v}$$

$$Z_{ir} \cong z_i(1 + a_v \cdot \beta_v)$$

$$Z_{or} \cong \frac{z_o}{(1 + a_v \cdot \beta_v)}$$

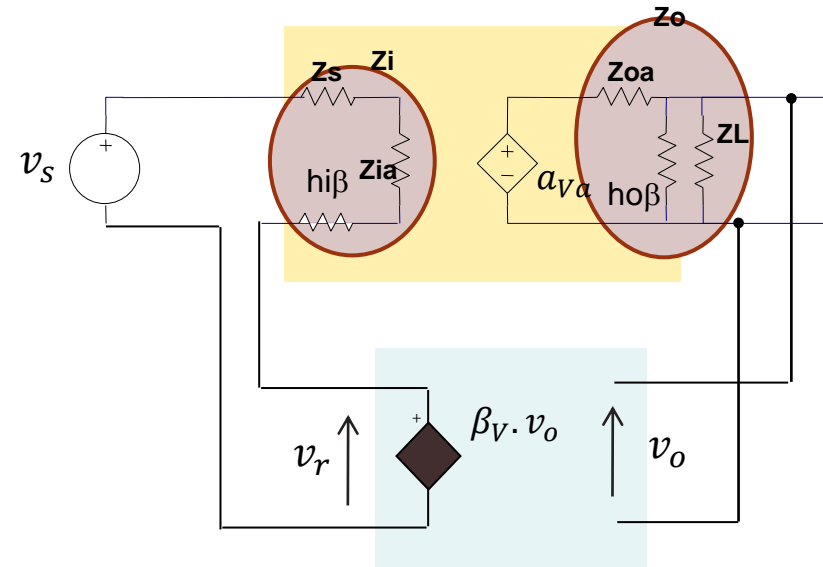
c) Aplicamos los divisores de tensión de entrada y salida:

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{1}{1 + \frac{z_s}{Z_{ir}}} \cdot A_{vr} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_{or}}{z_L}}$$



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE Tensión

Efectos de cargas externas y de la red β ¿Cómo tenerlas en cuenta?.



Opción 3:

a) Calculamos la ganancia del amplificador A cargado CON la red β y las cargas externas.

$$z_i = z_{ia} + h_{i\beta} + z_s \quad a_v = \frac{z_{ia}}{z_i} \cdot a_{va} \cdot \frac{z_o}{z_{oa}}$$

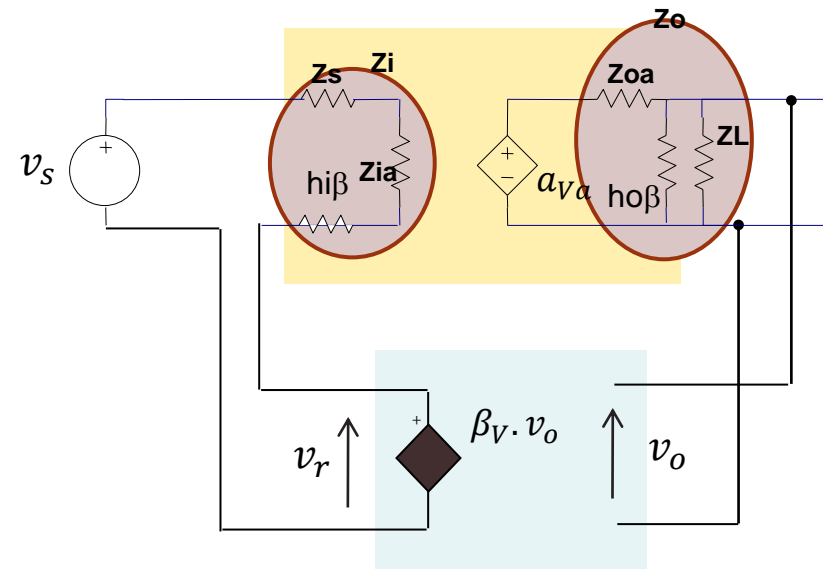
$$z_o = z_{oa} || h_{o\beta}^{-1} || z_L$$

b) Calculamos la ganancia realimentada de la red A- β cargada

$$A_{vr} = \frac{a_v}{1 + a_v \cdot \beta_v}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN

Efectos de cargas externas y de la red β ¿Cómo tenerlas en cuenta?



¿Qué opción elegir sobre cómo tener en cuenta los efectos de carga?

✓ La opción más exacta es la opción 3 en la que todos los efectos de carga son tenidos en cuenta para el cálculo de la ganancia del bloque A.

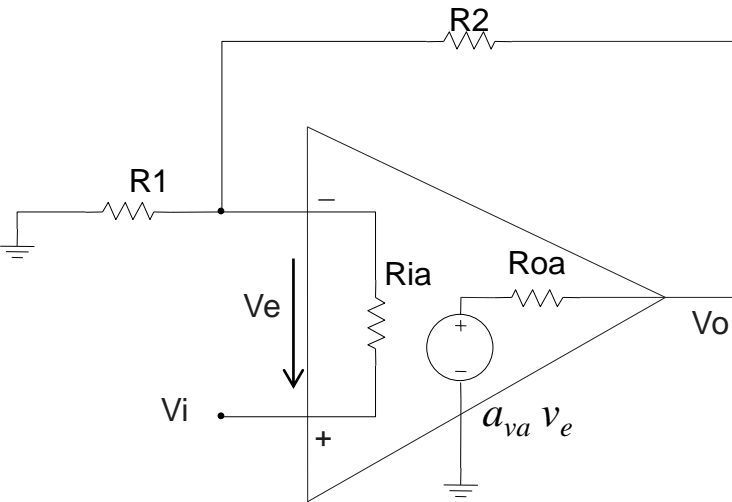
❖ Esta opción requiere conocer las cargas externas, y que sean constantes.

✓ La opción 1 puede dar lugar a problemas sin solución con modelos simples por lo que es la menos recomendada.

✓ La opción 2 permite especificar al amplificador, al menos de manera aproximada, independientemente de las cargas externas. Comete un error al ignorar el efecto de las cargas externas sobre las Z_r y Z_o (en realidad Z_r depende de Z_L y Z_o depende de Z_s)

✓ La opción 3 es la más exacta y permite determinar la ganancia del amplificador cargado en menos pasos.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN (Ejemplo 1: config no inversora)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

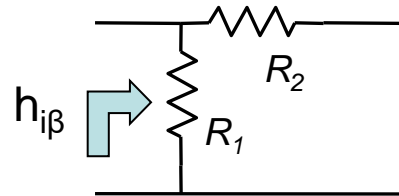
$$R_1=2k\Omega$$

$$R_{ia}=18,4k\Omega$$

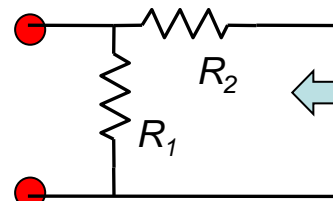
$$R_2=8k\Omega$$

$$R_{oa}=1k\Omega$$

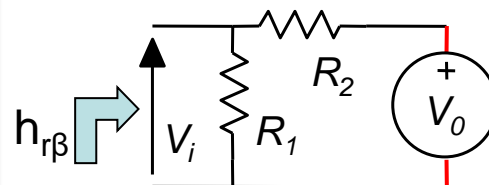
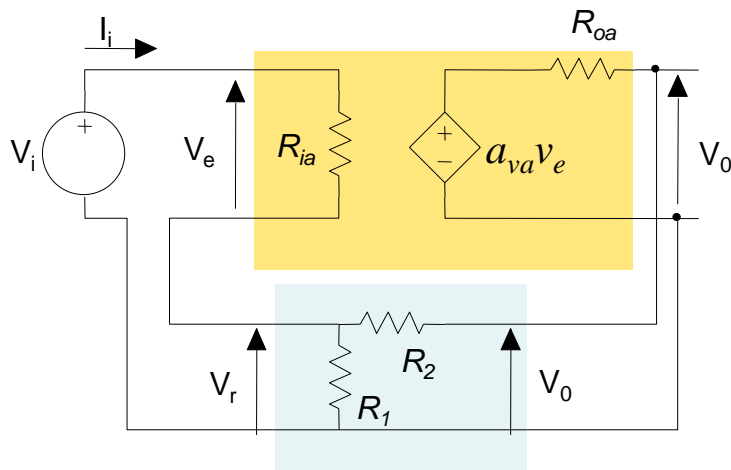
Opción 2 (no conocemos Z_L , Z_s)



$$h_{i\beta} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{v_o=0} = R_1 || R_2 = 1,6k\Omega$$

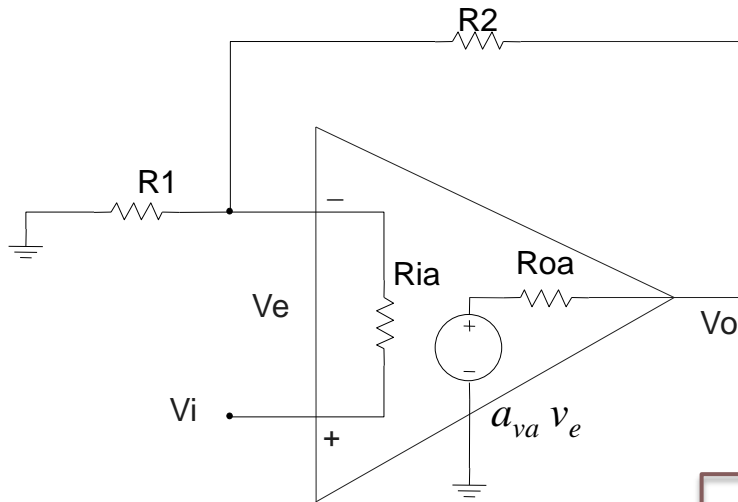


$$h_{o\beta} = \frac{i_o}{v_o} \Big|_{i_i=0} = \frac{1}{R_1 + R_2} = 0,1mS$$



$$h_{r\beta} = \frac{v_i}{v_o} \Big|_{i_i=0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{5}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN (Ejemplo 1: config no inversora)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

$$R_1=2k\Omega$$

$$R_{ia}=18,4k\Omega$$

$$R_2=8k\Omega$$

$$R_{oa}=1k\Omega$$

$$h_{i\beta} = 1,6k\Omega$$

$$h_{o\beta} = 0,1mS = \frac{1}{10k\Omega}$$

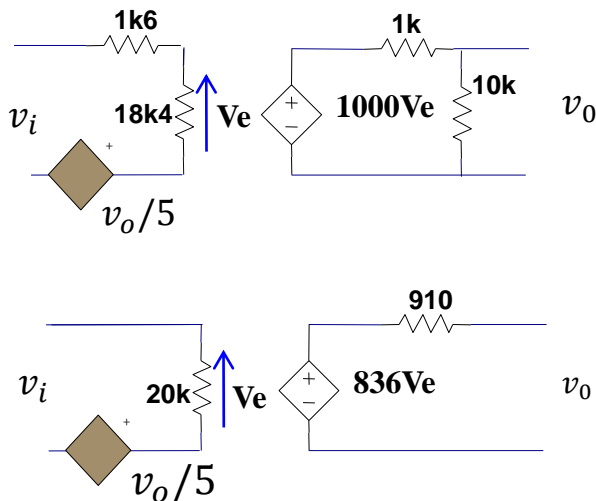
$$h_{r\beta} = \frac{1}{5} V/V$$

$$\beta_V = h_{r\beta} = \frac{1}{5} V/V$$

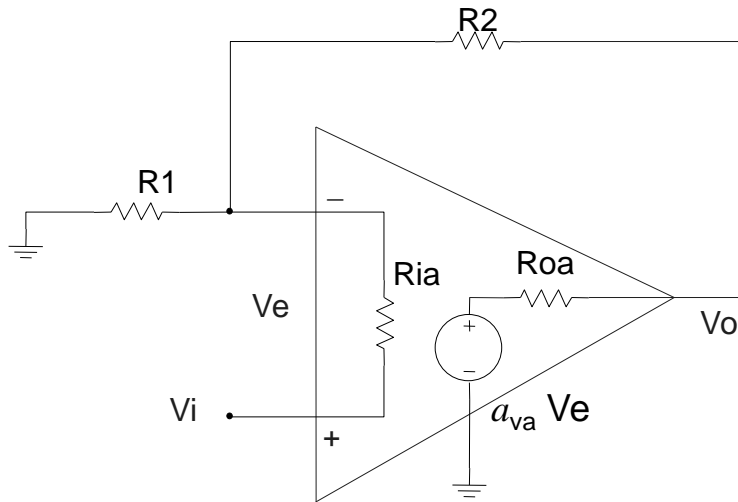
$$R_i = h_{i\beta} + R_{ia} = 20k\Omega$$

$$R_o = \frac{R_{oa}}{1 + h_{o\beta} \cdot R_{oa}} \cong 910\Omega$$

$$a_V = \frac{R_{ia}}{R_i} \cdot a_{va} \cdot \frac{R_o}{R_{oa}} \cong 836V/V$$



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN (Ejemplo 1: config no inversora)



Datos:

$$a_{va} = 1000$$

$$R_1 = 2k\Omega$$

$$R_{ia} = 18,4k\Omega$$

$$R_2 = 8k\Omega$$

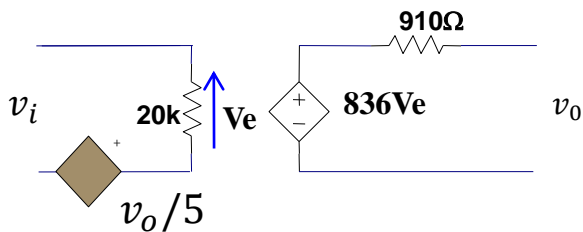
$$R_{oa} = 1k\Omega$$

$$a_V \cong 836V/V$$

$$R_i = 20k\Omega$$

$$\beta_V = h_{r\beta} = \frac{1}{5} V/V$$

$$R_o \cong 910\Omega$$

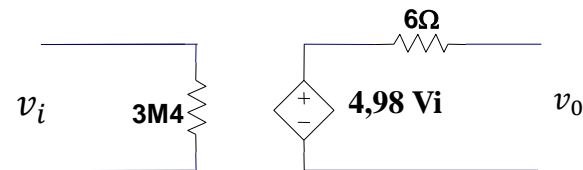


$$1 + a_V \cdot \beta_V \cong 1 + \frac{836}{5} \cong 168$$

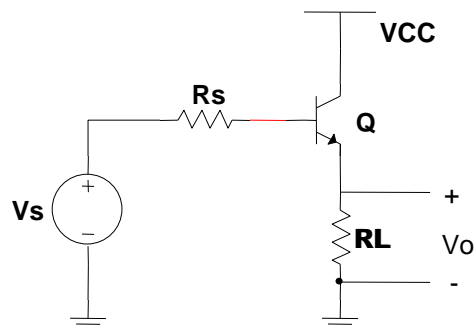
$$A_{Vr} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{a_V}{1 + a_V \cdot \beta_V} \cong 4,98$$

$$R_{ir} = R_i(1 + a_V \cdot \beta_V) \cong 3,4M\Omega$$

$$R_{or} = \frac{R_o}{1 + a_V \cdot \beta_V} \cong 6\Omega$$



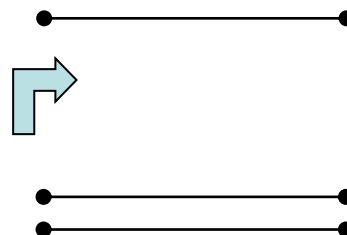
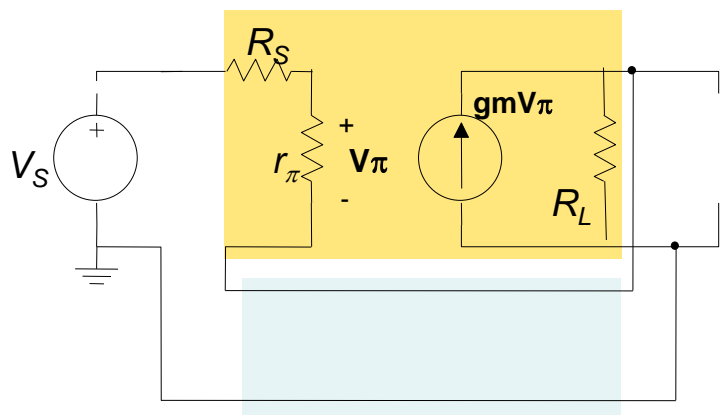
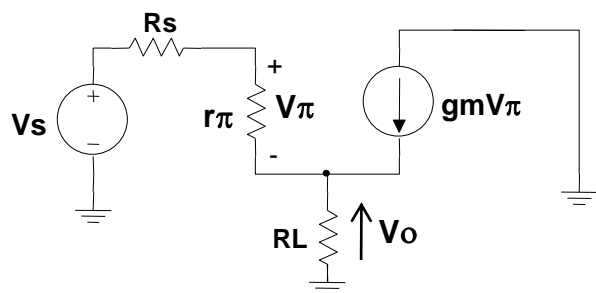
AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN (Ejemplo 2: el colector común)



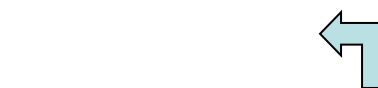
Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 10 \text{ k}\Omega$

Opción 3: Calcularemos la ganancia del amplificador cargado con R_L y R_s

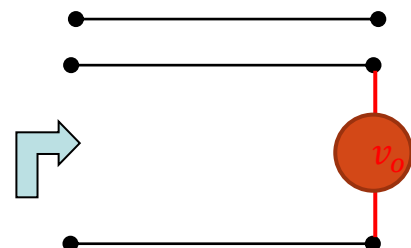
Ver que el amp. A transistor cargado con R_s y R_L no es más que la config **emisor común** con signo cambiado



$$h_{i\beta} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{v_o=0} = 0$$

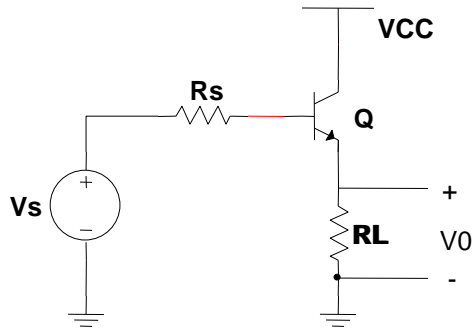


$$h_{o\beta} = \frac{i_o}{v_o} \Big|_{i_i=0} = 0$$

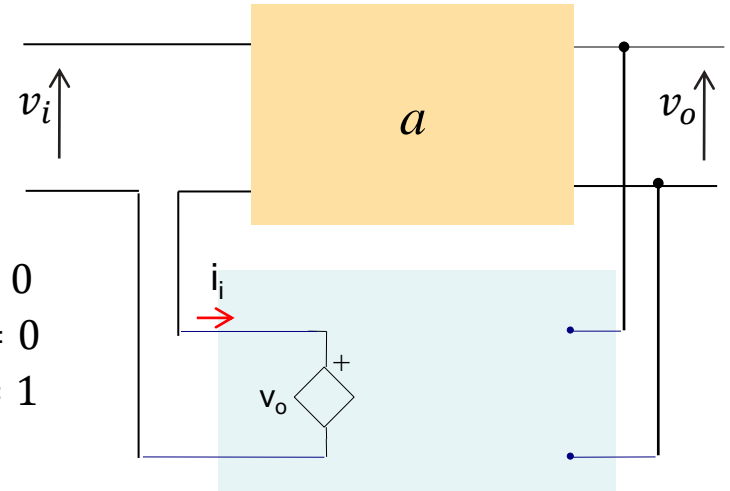
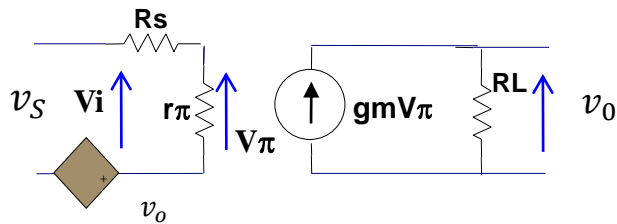
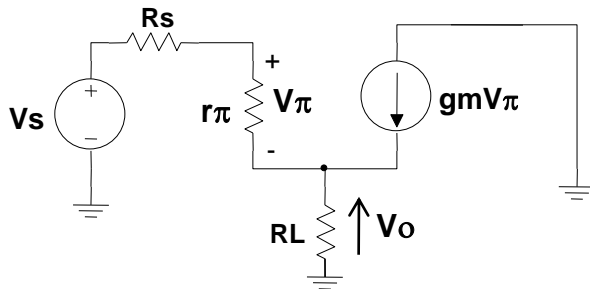


$$\beta = h_{r\beta} = \frac{v_i}{v_o} \Big|_{i_i=0} = 1$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TENSIÓN (Ejemplo 2: el colector común)



Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 10 \text{ k}\Omega$



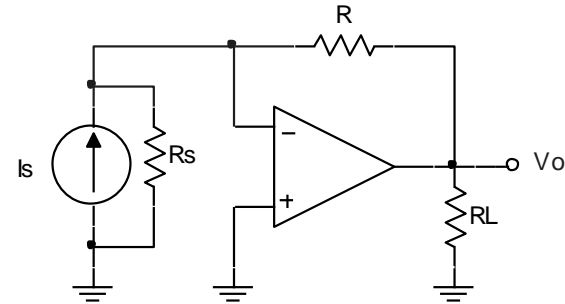
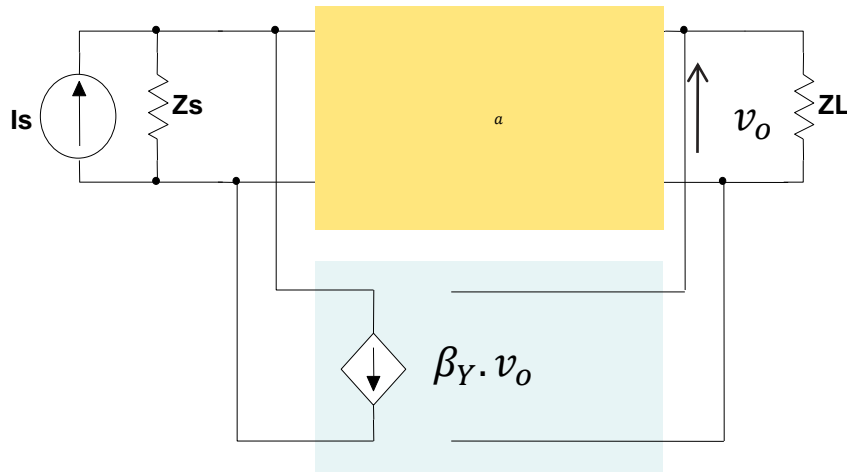
$$\begin{aligned} h_{i\beta} &= 0 \\ h_{o\beta} &= 0 \\ h_{r\beta} &= 1 \end{aligned}$$

$$a_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{r_\pi}{R_s + r_\pi} \cdot g_m \cdot R_L = 80$$

$$A_{Vr} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{a_V}{1 + a_V \cdot \beta_V} = \frac{a_V}{1 + a_V} = \frac{\beta \cdot R_L}{R_s + r_\pi + \beta \cdot R_L} = 0,988$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA

Efecto de carga de la red β



Como se ve, la red de realimentación no es un generador controlado sino una red pasiva.

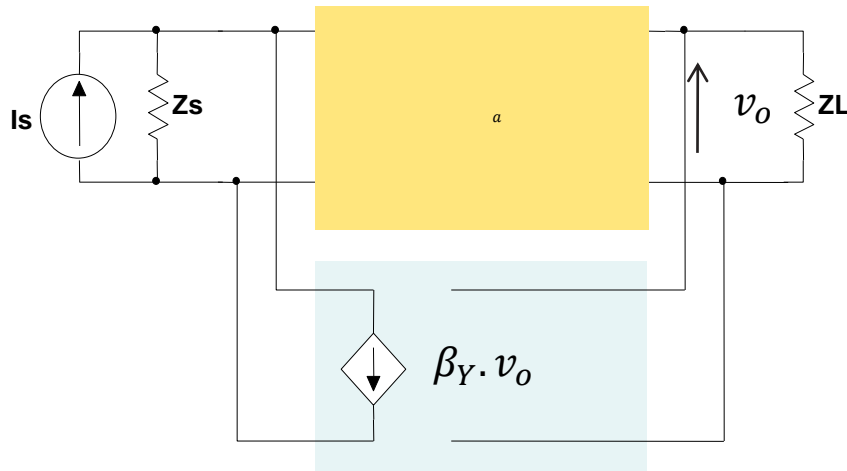
Esta red pasiva establece una realimentación pero además produce un efecto de carga sobre el amplificador que debe ser considerado en el cálculo de la ganancia.

Con ese fin, se suele modelizar a la red de realimentación como un cuadripolo.

El modelo de cuadripolo más adecuado depende de la topología del amplificador realimentado.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA

Efecto de carga de la red β

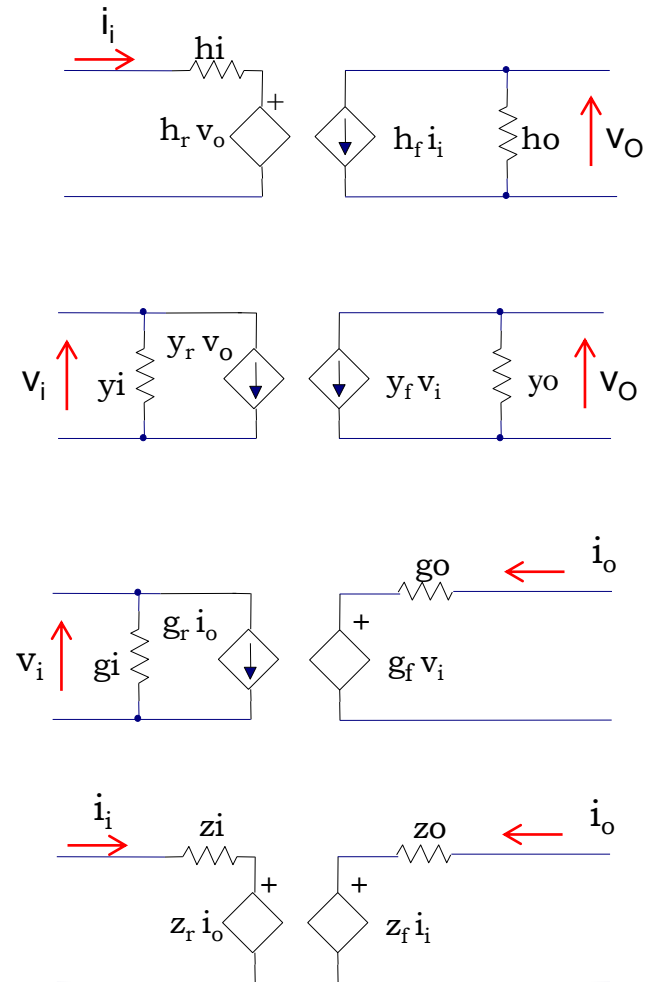


El modelo de cuadripolo más adecuado es el que tiene la misma topología que el amplificador realimentado.

El cuadripolo paralelo-paralelo es el Y .

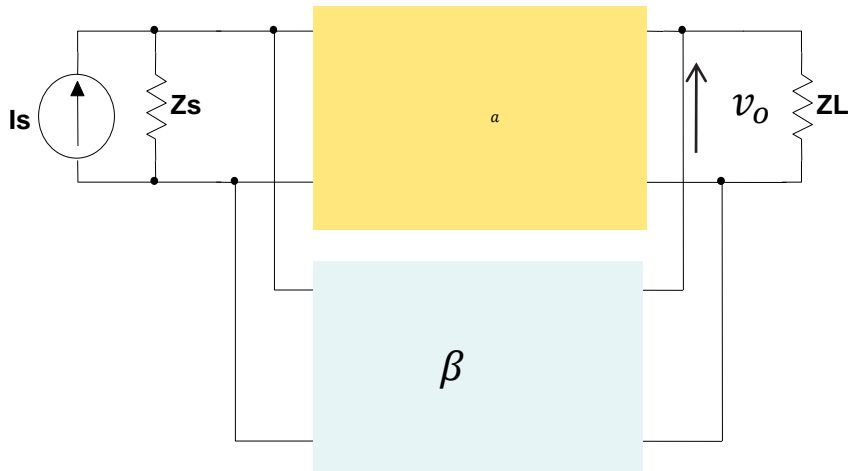
Este cuadripolo tiene en la realimentación un generador de corriente controlado por tensión al igual que el amplificador realimentado.

Cuadripolos:



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA

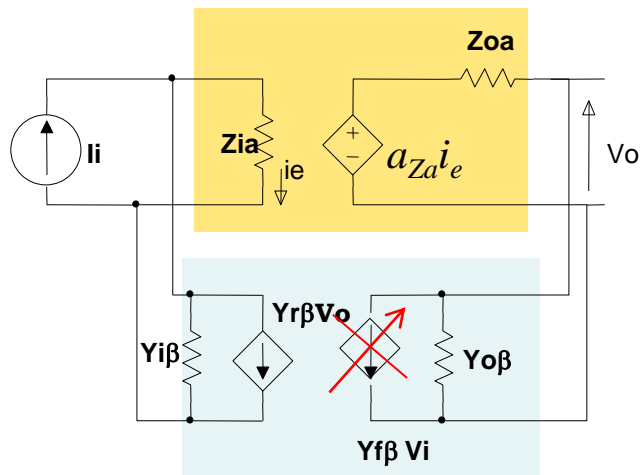
Efecto de carga de la red β



El modelo de cuadripolo para la realimentación paralelo-paralelo es el Y.

Habitualmente se supone un camino unidireccional de la señal, por lo que la componente directa de la red β se desprecia.

Las demás componentes se determinan como de costumbre:



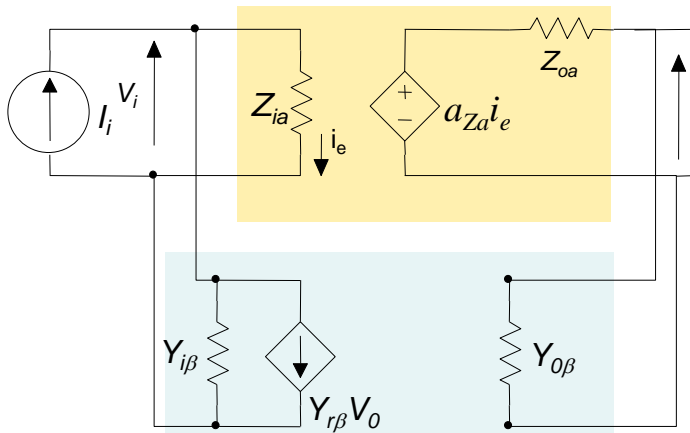
$$y_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \Big|_{v_o=0}$$

$$y_{o\beta} = \frac{i_{o\beta}}{v_o} \Big|_{v_i=0}$$

$$y_{r\beta} = \frac{i_r}{v_o} \Big|_{v_i=0}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA

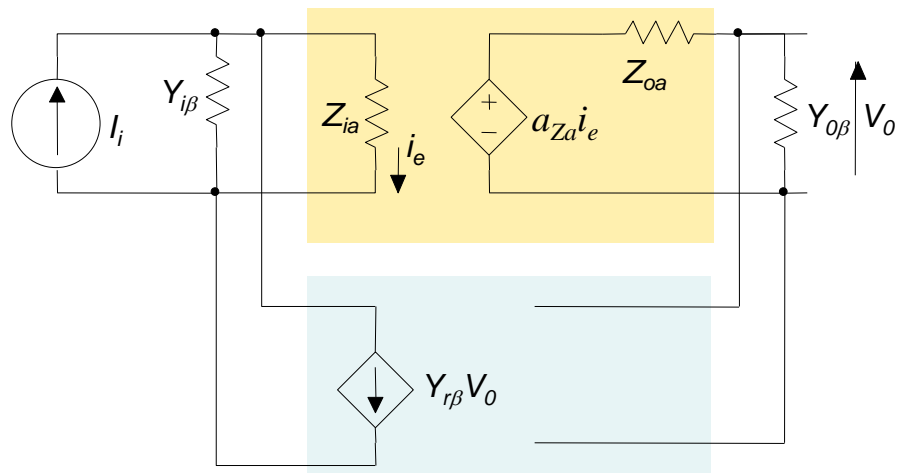
Efecto de carga de la red β



$$y_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \Big|_{v_o=0}$$

$$y_{o\beta} = \frac{i_o\beta}{v_o} \Big|_{v_i=0}$$

$$\beta_Y = y_{r\beta} = \frac{i_r}{v_o} \Big|_{v_i=0}$$



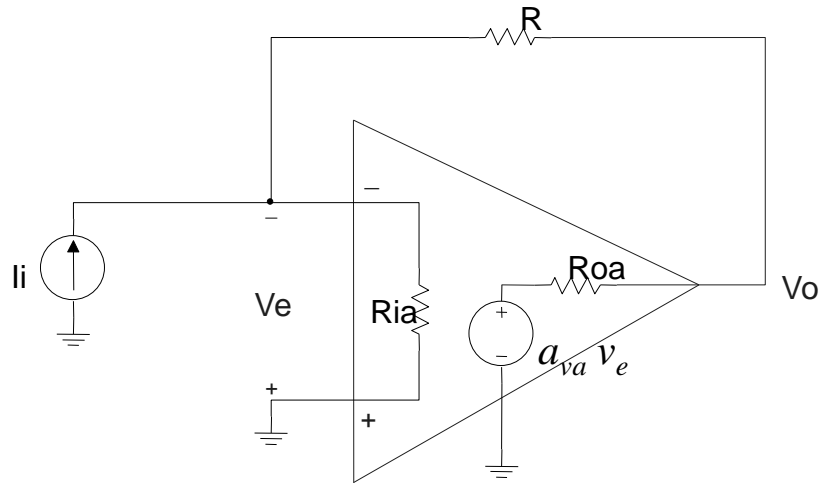
Ya hemos calculado la ganancia y las cargas de β . Transferimos las cargas a A de modo de tener una realimentación ideal.

Nos resta ahora tener en cuenta esas cargas en el cálculo de la ganancia.

Tenemos las mismas opciones que para el amplificador de tensión

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA

(Ejemplo 1: conversor I/V)



Datos:

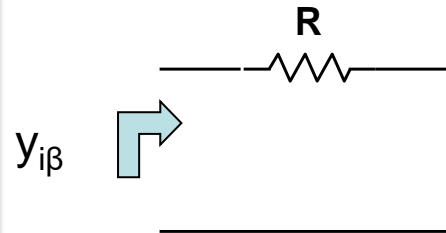
$$a_{va}=1000$$

$$R_{ia}=19\text{k}\Omega$$

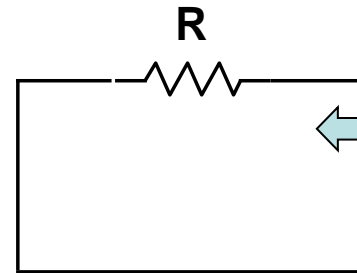
$$R_{oa}=1\text{k}\Omega$$

$$R_1=1\text{k}\Omega$$

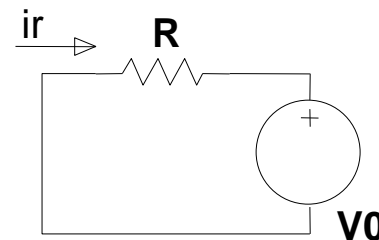
Opción 2 (no conocemos Z_L , Z_s)



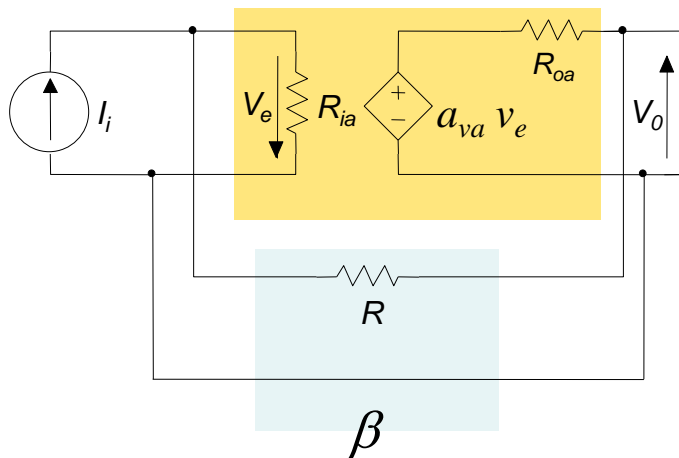
$$y_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \Big|_{v_o=0} = 1/R = 1\text{mS}$$



$$y_{o\beta} = \frac{i_o\beta}{v_o} \Big|_{v_i=0} = 1/R = 1\text{mS}$$

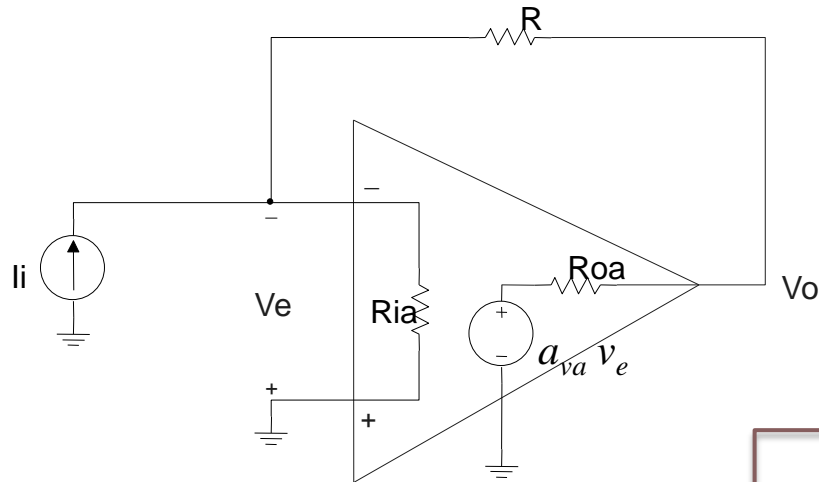


$$y_{r\beta} = \frac{i_r}{v_o} \Big|_{v_i=0} = -1/R = -1\text{mA/V}$$



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA

(Ejemplo 1: conversor I/V)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

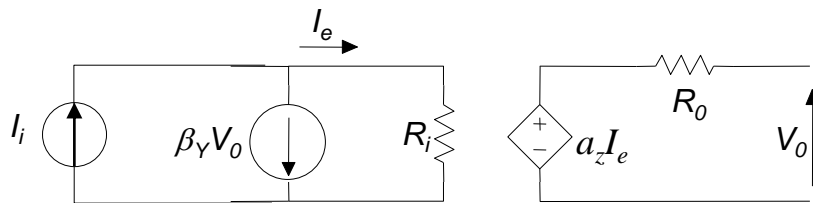
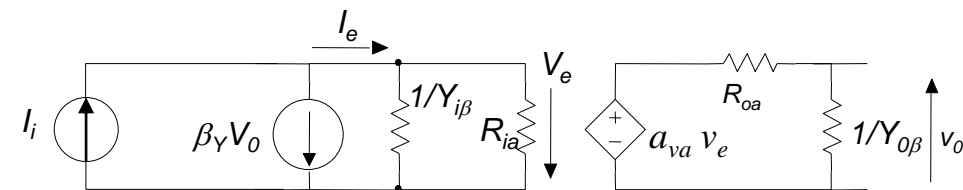
$$R_{ia}=19\text{k}\Omega$$

$$R_{oa}=1\text{k}\Omega$$

$$R_1=1\text{k}\Omega$$

$$y_{i\beta} = y_{o\beta} = 1\text{mS} = \frac{1}{10\text{k}\Omega}$$

$$\beta_Y = y_{r\beta} = -1\text{mA/V}$$



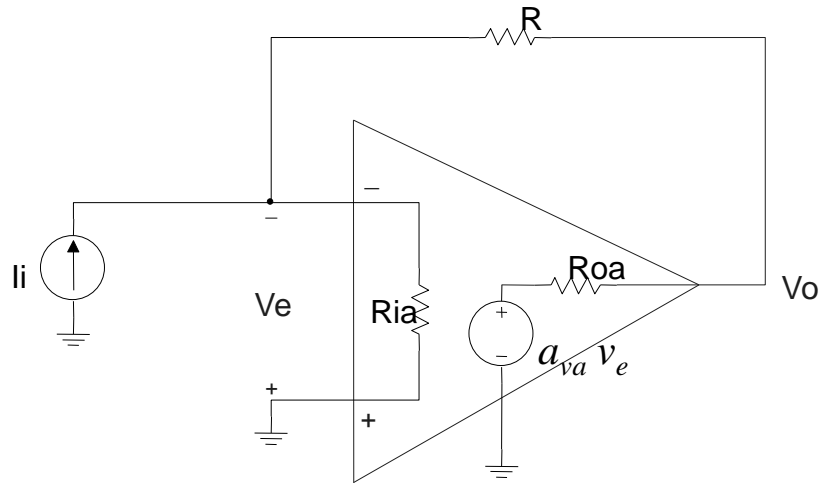
$$\beta_Y = y_{r\beta} = -1\text{mA/V}$$

$$R_i = R_{ia} \parallel \frac{1}{y_{i\beta}} = 950\Omega$$

$$R_o = R_{oa} \parallel \frac{1}{y_{o\beta}} = 500\Omega$$

$$a_z = \frac{V_o}{I_e} = -R_i \cdot a_{va} \cdot \frac{R_o}{R_{oa}} = -475\text{V/mA}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA (Ejemplo 1: conversor I/V)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

$$R_{ia}=19\text{k}\Omega$$

$$R_{oa}=1\text{k}\Omega$$

$$R_1=1\text{k}\Omega$$

$$a_z = -475\text{V/mA}$$

$$R_i = 950\Omega$$

$$\beta_Y = -1\text{mA/V}$$

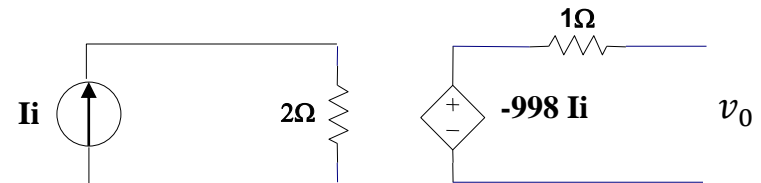
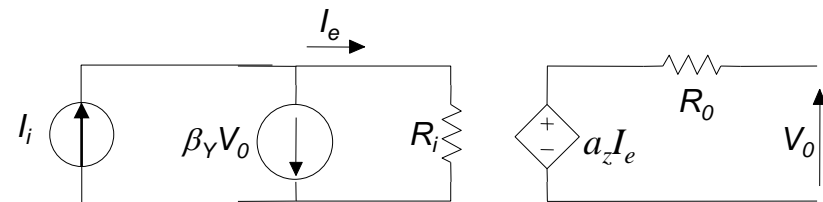
$$R_o = 500\Omega$$

$$1 + a_z \cdot \beta_Y \cong 1 + 475 = 476$$

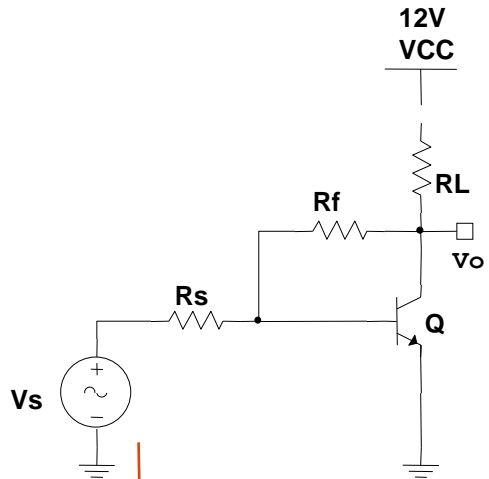
$$A_{Zr} = \frac{a_z}{1 + a_z \cdot \beta_Y} \cong -998 \text{ V/A}$$

$$R_{ir} = \frac{R_i}{1 + a_z \cdot \beta_Y} \cong 2\Omega$$

$$R_{or} = \frac{R_o}{1 + a_z \cdot \beta_Y} \cong 1\Omega$$



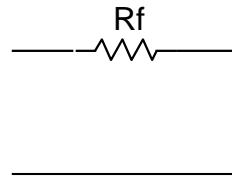
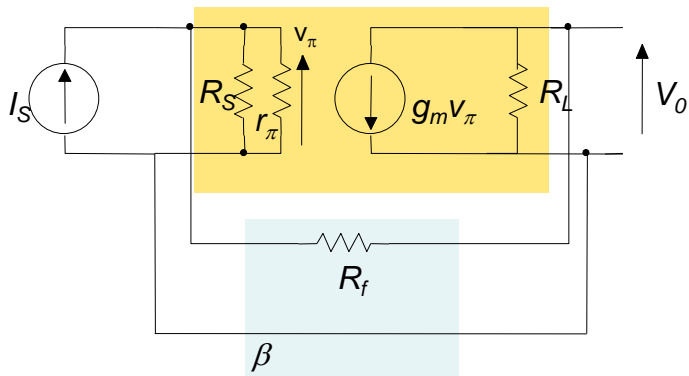
AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA (Ejemplo 2)



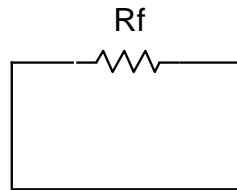
Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$
 $R_f = 20 \text{ k}\Omega$

Opción 3: Calcularemos la ganancia del amplificador cargado con R_L y R_s

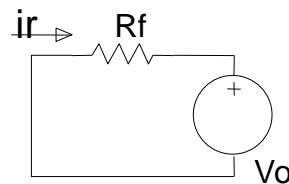
Modelo Norton de fuente



$$y_{i\beta} = \frac{i_{i\beta}}{v_i} \Big|_{v_o=0} = 1/R_f = 50 \mu\text{S}$$

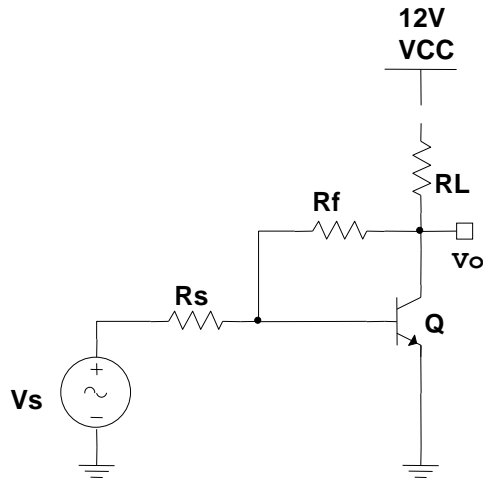


$$y_{o\beta} = \frac{i_{o\beta}}{v_o} \Big|_{v_i=0} = 1/R_f = 50 \mu\text{S}$$

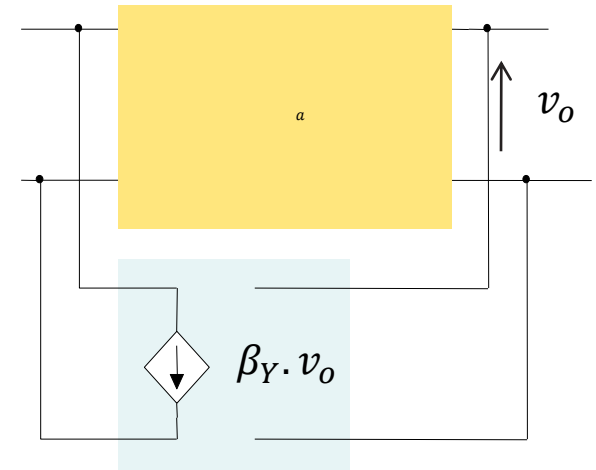


$$y_{r\beta} = \frac{i_{r\beta}}{v_o} \Big|_{v_i=0} = -1/R_f = -50 \mu\text{A/V}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA (Ejemplo 2)



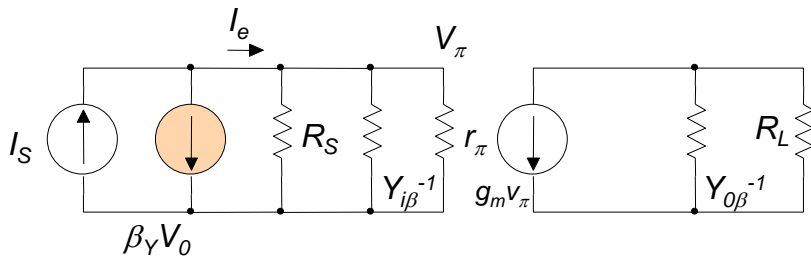
Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$
 $R_f = 20 \text{ k}\Omega$



$$y_{i\beta}^{-1} = y_{o\beta}^{-1} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\beta_Y = y_{r\beta} = -50 \mu\text{A/V}$$

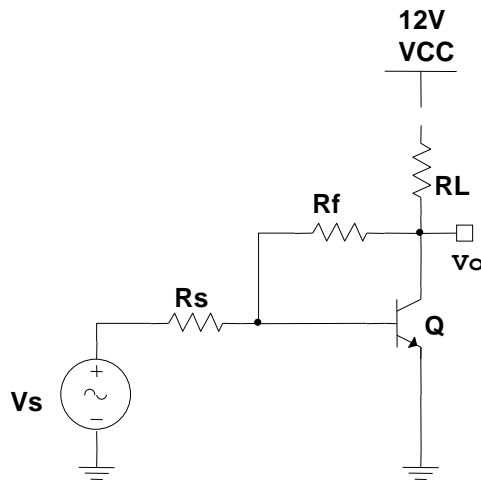
$$\begin{aligned} a_Z = \frac{v_o}{i_e} &= -R_s || y_{i\beta}^{-1} || r_\pi \cdot g_m \cdot R_L || y_{o\beta}^{-1} \\ &= -10 \text{ k} || 20 \text{ k} || 2 \text{ k} \cdot 40 \text{ mA/V} \cdot 10 \text{ k} || 20 \text{ k} \\ &= -1 \text{ k}82 \cdot 40 \text{ mA/V} \cdot 6 \text{ k}67 \cong -485 \text{ V/mA} \end{aligned}$$



$$1 + a_Z \cdot \beta_Y = 1 + 485 \text{ V/mA} \times 50 \mu\text{A/V} = 25,2$$

$$A_{Zr} = \frac{v_o}{i_s} = \frac{a_Z}{1 + a_Z \cdot \beta_Y} = \frac{-485 \text{ V/mA}}{25,2} \cong -19,2 \text{ V/mA} \cong \frac{1}{\beta_Y}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-IMPEDANCIA (Ejemplo 2)



Datos:

$$g_m = 40 \text{ mA/V}$$

$$r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_s = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_f = 20 \text{ k}\Omega$$

$$A_{Zr} = \frac{v_o}{i_s} = \frac{a_z}{1 + a_z \cdot \beta_Y} = \frac{-485 \text{ kV/A}}{25,2} \cong -19,2 \text{ kV/A} \cong \frac{1}{\beta_Y}$$

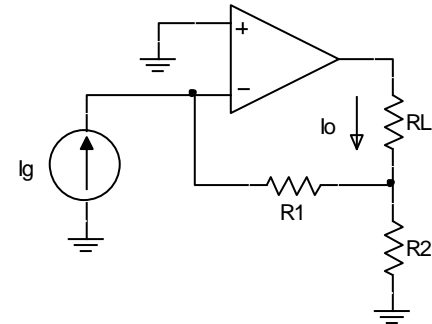
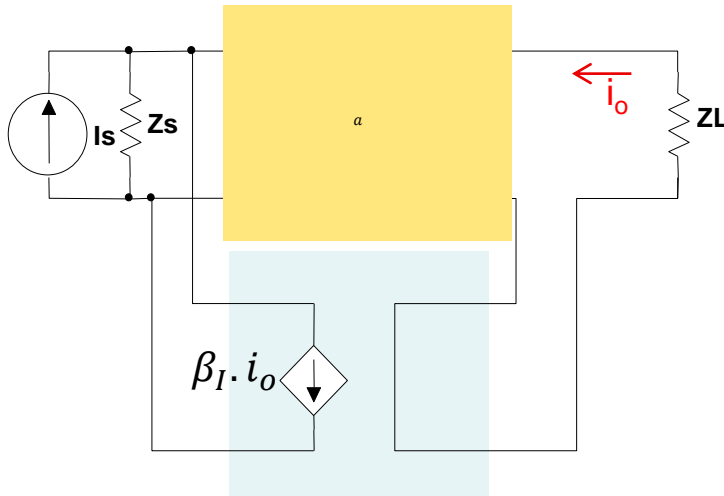
Si queremos calcular la ganancia de tensión en vez de la ganancia de trans-impedancia, debemos recuperar el model Thevenin del generador $V_s = I_s R_s$ para luego calcular la ganancia de tensión:

$$A_{Vr} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{i_s R_s} = \frac{A_{Zr}}{R_s} \cong -1,92 \text{ V/V} \cong -\frac{R_f}{R_s}$$

Es evidente que esta ganancia, que no es la propia de la topología, sí es muy sensible a las cargas, en este caso a la carga del generador.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE

Efecto de carga de la red β



Como se ve, la red de realimentación no es un generador controlado sino una red pasiva.

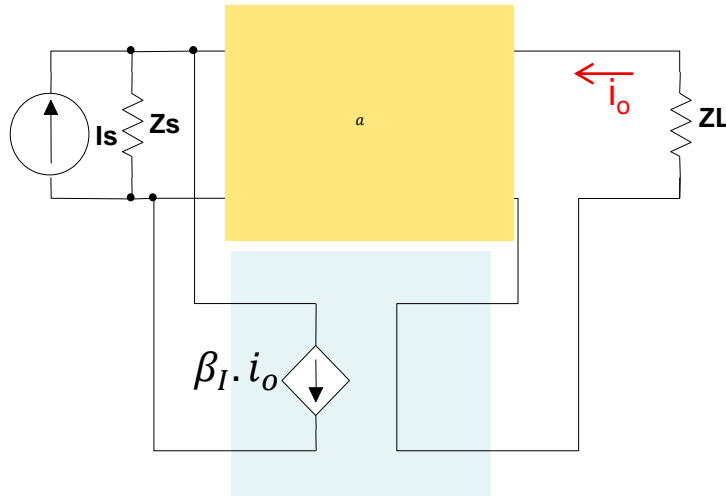
Esta red pasiva establece una realimentación pero además produce un efecto de carga sobre el amplificador que debe ser considerado en el cálculo de la ganancia.

Con ese fin, se suele modelizar a la red de realimentación como un cuadripolo.

El modelo de cuadripolo más adecuado depende de la topología del amplificador realimentado.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE

Efecto de carga de la red β

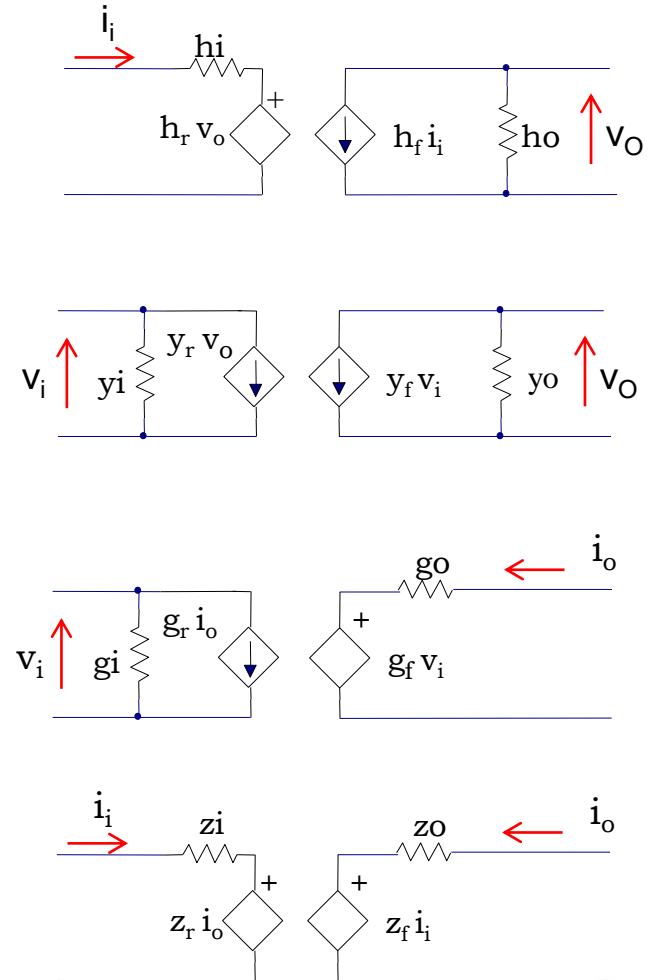


El modelo de cuadripolo más adecuado es el que tiene la misma topología que el amplificador realimentado.

El cuadripolo paralelo-serie es el **G**.

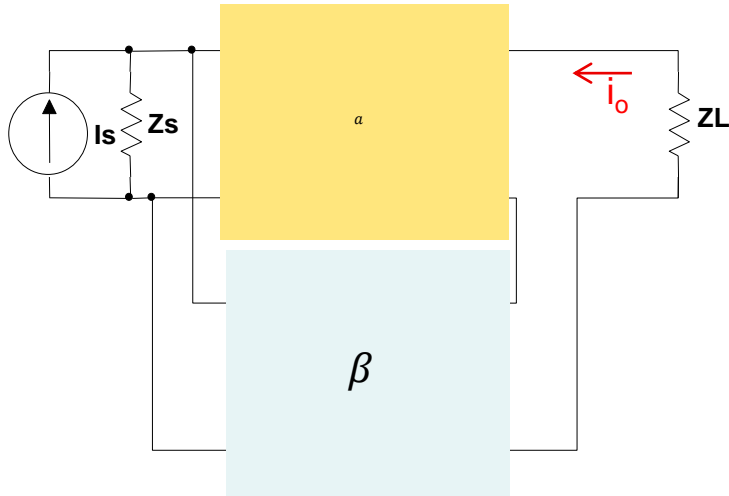
Este cuadripolo tiene en la realimentación un generador de corriente controlado por corriente al igual que el amplificador realimentado.

Cuadripolos:



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE

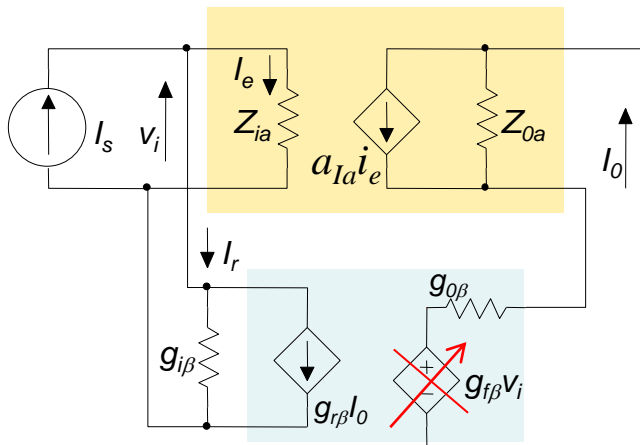
Efecto de carga de la red β



El modelo de cuadripolo para la realimentación paralelo-serie es el G.

Habitualmente se supone un camino unidireccional de la señal, por lo que la componente directa de la red β se desprecia.

Las demás componentes se determinan como de costumbre:



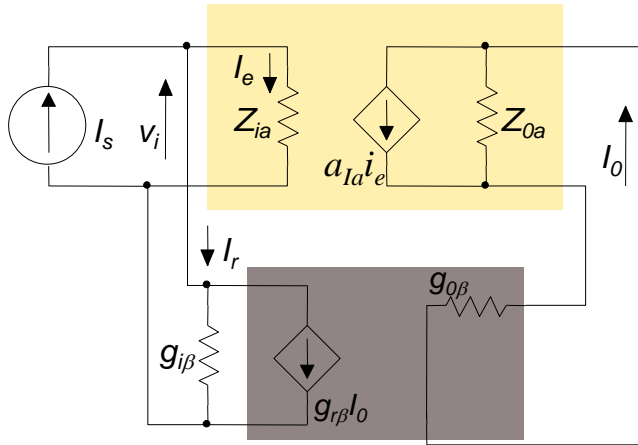
$$g_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \Big|_{i_o=0}$$

$$g_{o\beta} = \frac{v_{o\beta}}{i_o} \Big|_{v_i=0}$$

$$g_{r\beta} = \frac{i_r}{i_o} \Big|_{v_i=0}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE

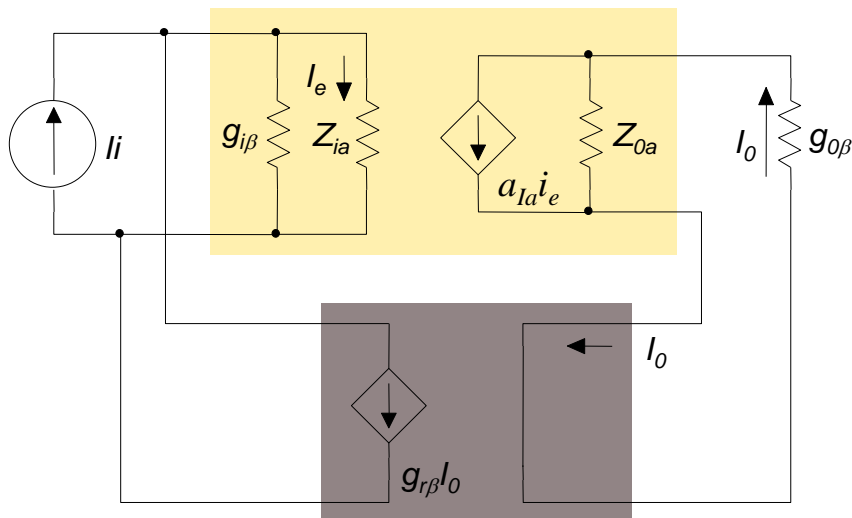
Efecto de carga de la red β



$$g_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \Big|_{i_o=0}$$

$$g_{o\beta} = \frac{v_{o\beta}}{i_o} \Big|_{v_i=0}$$

$$\beta_I = g_{r\beta} = \frac{i_r}{i_o} \Big|_{v_i=0}$$

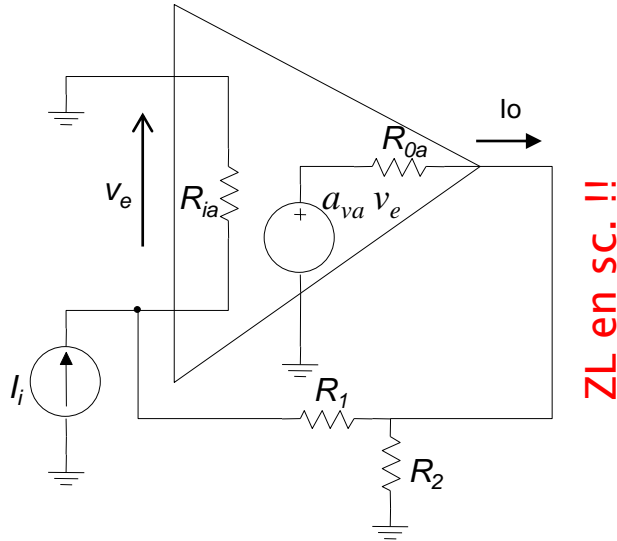


Ya hemos calculado la ganancia y las cargas de β . Transferimos las cargas a A de modo de tener una realimentación ideal.

Nos resta ahora tener en cuenta esas cargas en el cálculo de la ganancia.

Tenemos las mismas opciones que para el amplificador de tensión

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE (Ejemplo 1: AO de corriente)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

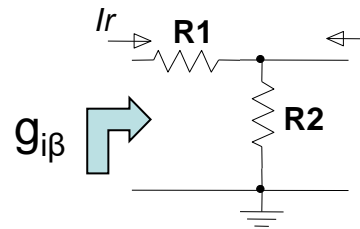
$$R_1=8k\Omega$$

$$R_{ia}=20k\Omega$$

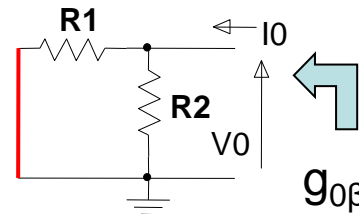
$$R_2=2k\Omega$$

$$R_{oa}=1,6k\Omega$$

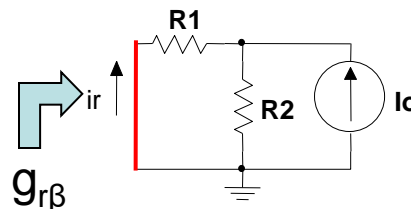
Opción 2 (no conocemos \$Z_L\$, \$Z_s\$)



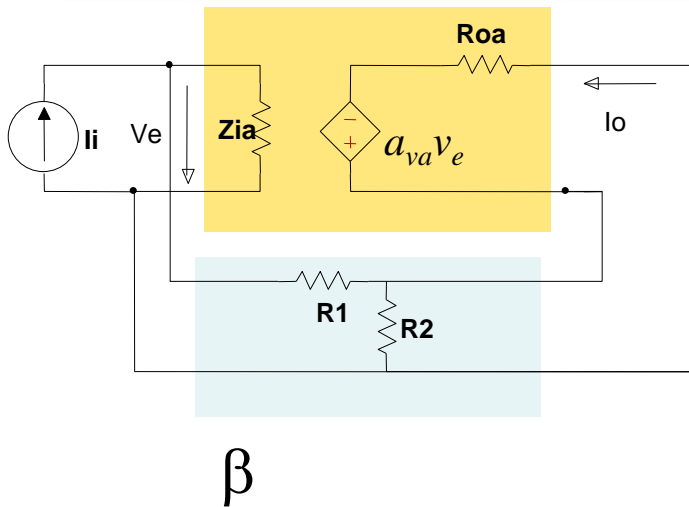
$$g_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \Big|_{i_o=0} = \frac{1}{R_1 + R_2} = 0,1mS$$



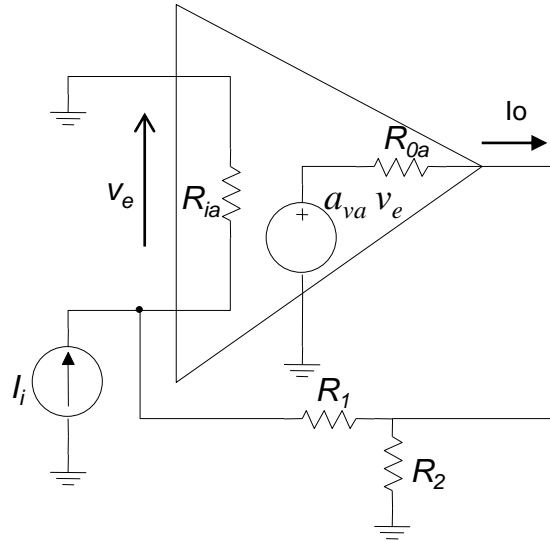
$$g_{o\beta} = \frac{v_{o\beta}}{i_o} \Big|_{v_i=0} = R_1 || R_2 = 1,6k\Omega$$



$$g_{r\beta} = \frac{i_r}{i_o} \Big|_{v_i=0} = \frac{-R_2}{R_1 + R_2} = -\frac{1}{5} A/A$$



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE (Ejemplo 1: AO de corriente)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

$$R_1=8k\Omega$$

$$R_{ia}=20k\Omega$$

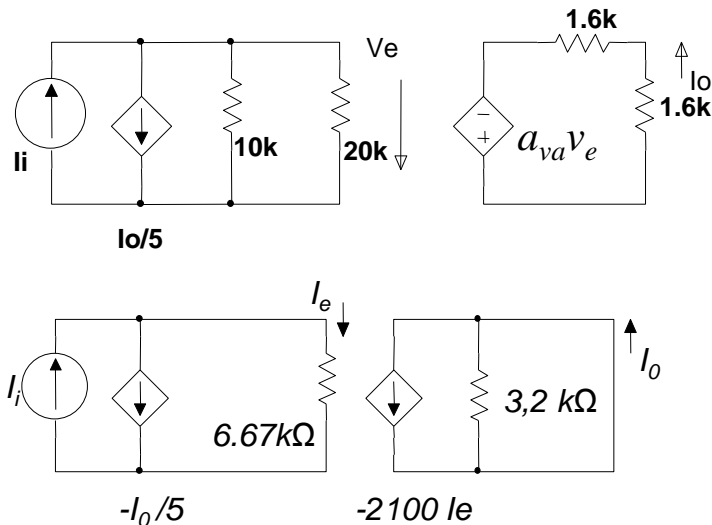
$$R_2=2k\Omega$$

$$R_{oa}=1,6k\Omega$$

$$g_{i\beta}^{-1} = 10k\Omega$$

$$g_{o\beta} = 1,6k\Omega$$

$$\beta_I = g_{r\beta} = -200mA/A$$



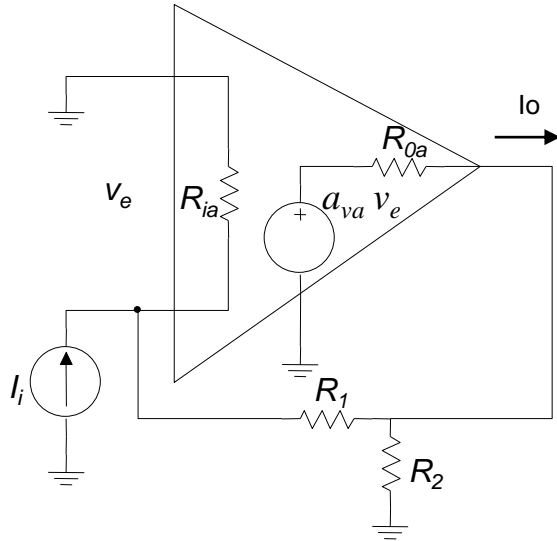
$$\beta_I = g_{r\beta} = -200mA/A$$

$$R_i = R_{ia} || \frac{1}{g_{i\beta}} = 6,67k\Omega$$

$$R_o = R_{oa} + g_{o\beta} = 3,2k\Omega$$

$$a_I = -a_{va} \cdot \frac{R_i}{R_o} \cong -2,1A/mA$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE (Ejemplo 1: AO de corriente)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

$$R_1=8k\Omega$$

$$R_{ia}=20k\Omega$$

$$R_2=2k\Omega$$

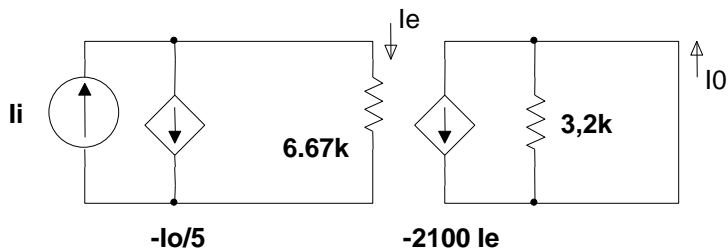
$$R_{oa}=1,6k\Omega$$

$$\beta_I = -200A/A$$

$$R_i = 6,67k\Omega$$

$$a_I \cong -2,1A/mA$$

$$R_o = 3,2k\Omega$$

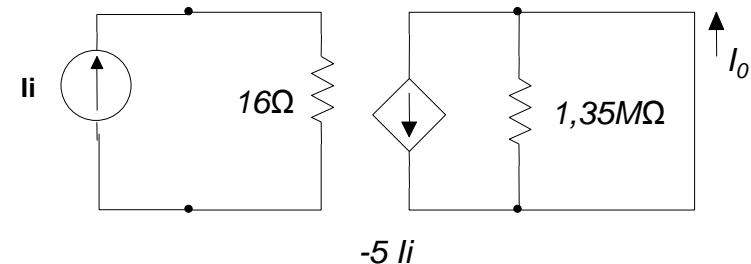


$$1 + a_I \cdot \beta_I \cong 421$$

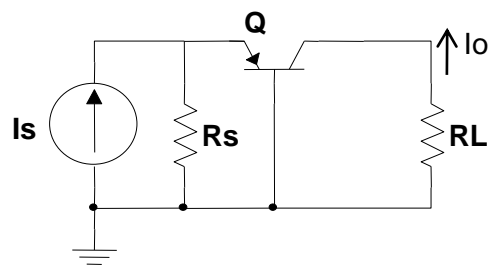
$$A_{Ir} = \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I} \cong -5A/A$$

$$R_{ir} = \frac{R_i}{1 + a_I \cdot \beta_I} \cong 16\Omega$$

$$R_{or} = R_o(1 + a_I \cdot \beta_I) \cong 1,35M\Omega$$

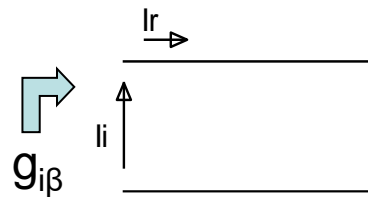
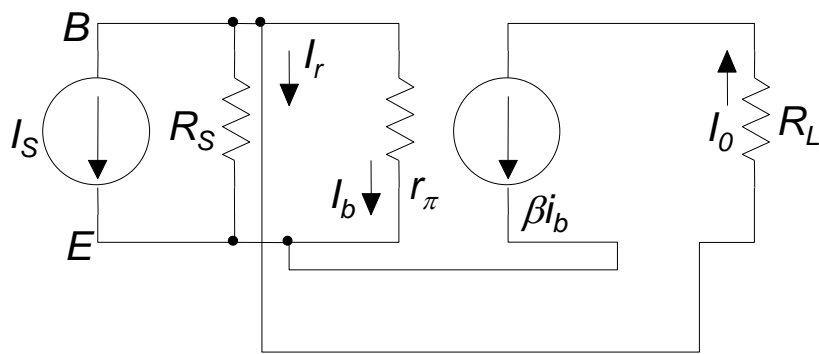


AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE (Ejemplo 2: el base común)

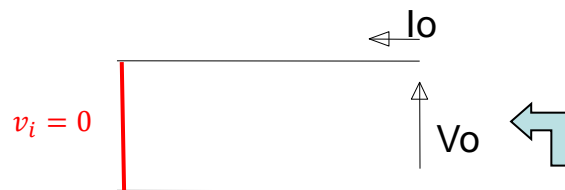


Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$

Opción 3: Calcularemos la ganancia del amplificador cargado con R_L y R_s

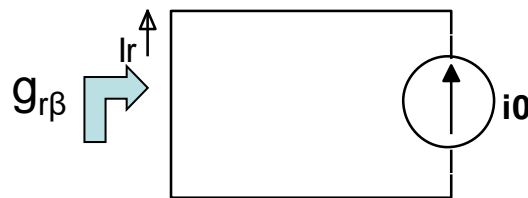


$$g_{i\beta} = \frac{i_r}{v_i} \big|_{i_o=0} = 0$$



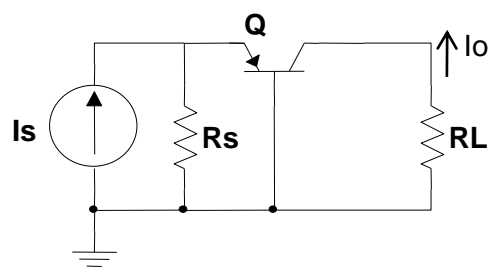
$$g_{o\beta} = \frac{v_o \beta}{i_o} \big|_{v_i=0} = 0$$

Ver que el amp. A transistor cargado con R_s y R_L no es más que la config emisor común



$$g_{r\beta} = \frac{i_r}{i_o} \big|_{v_i=0} = -1$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE CORRIENTE (Ejemplo 2: el base común)

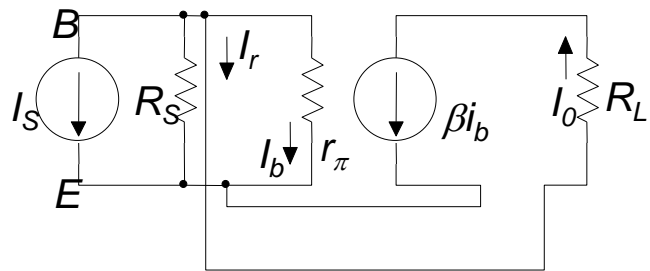
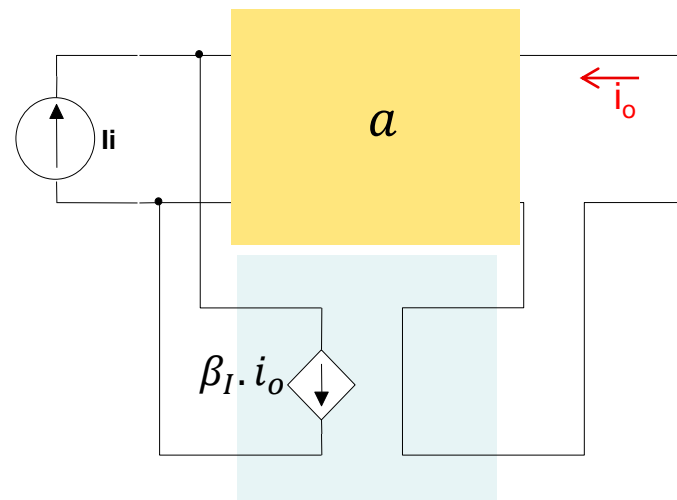


Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$

$$g_{i\beta}^{-1} = \infty$$

$$g_{o\beta} = 0 \Omega$$

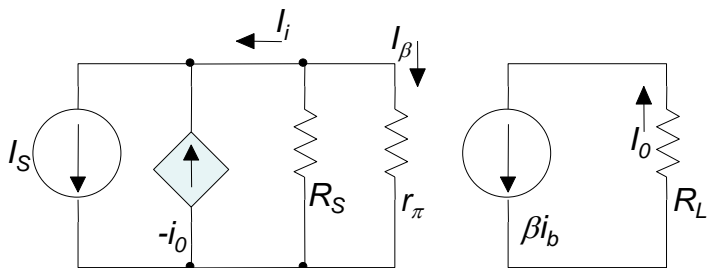
$$\beta_I = -1 \text{ A/A}$$



$$a_I = \frac{i_o}{i_i} = -\frac{R_s}{R_s + r_\pi} \cdot \beta = -0,8 \cdot 100 = -80 \text{ A/A}$$

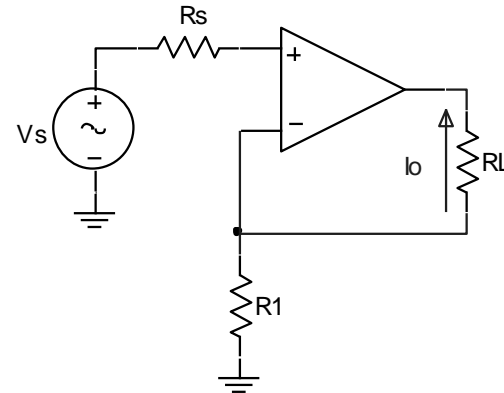
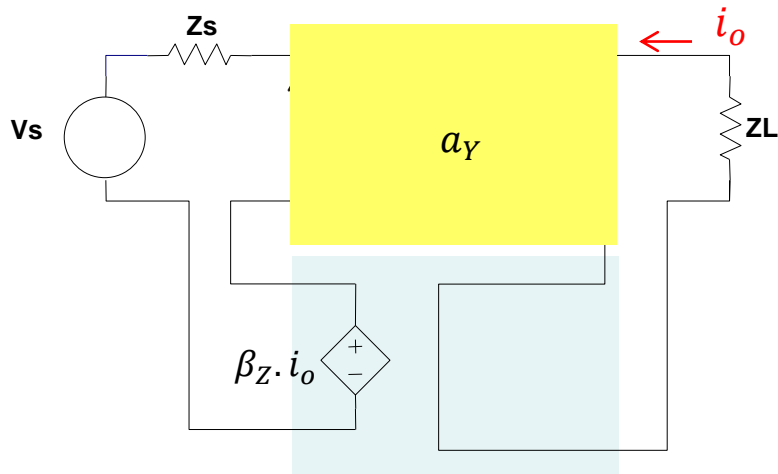
$$1 + a_I \cdot \beta_I = 81$$

$$A_{Ir} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I} = \frac{-80 \text{ A/A}}{81} \cong -0,988 \text{ A/A}$$



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

Efecto de carga de la red β



Como se ve, la red de realimentación no es un generador controlado sino una red pasiva.

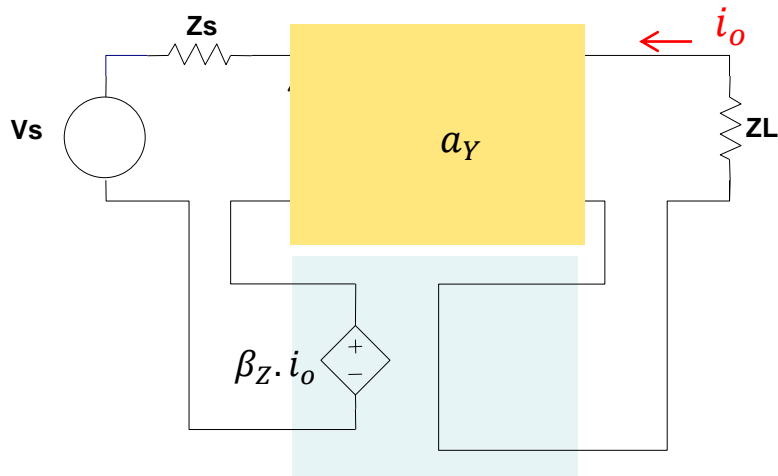
Esta red pasiva establece una realimentación pero además produce un efecto de carga sobre el amplificador que debe ser considerado en el cálculo de la ganancia.

Con ese fin, se suele modelizar a la red de realimentación como un cuadripolo.

El modelo de cuadripolo más adecuado depende de la topología del amplificador realimentado.

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

Efecto de carga de la red β

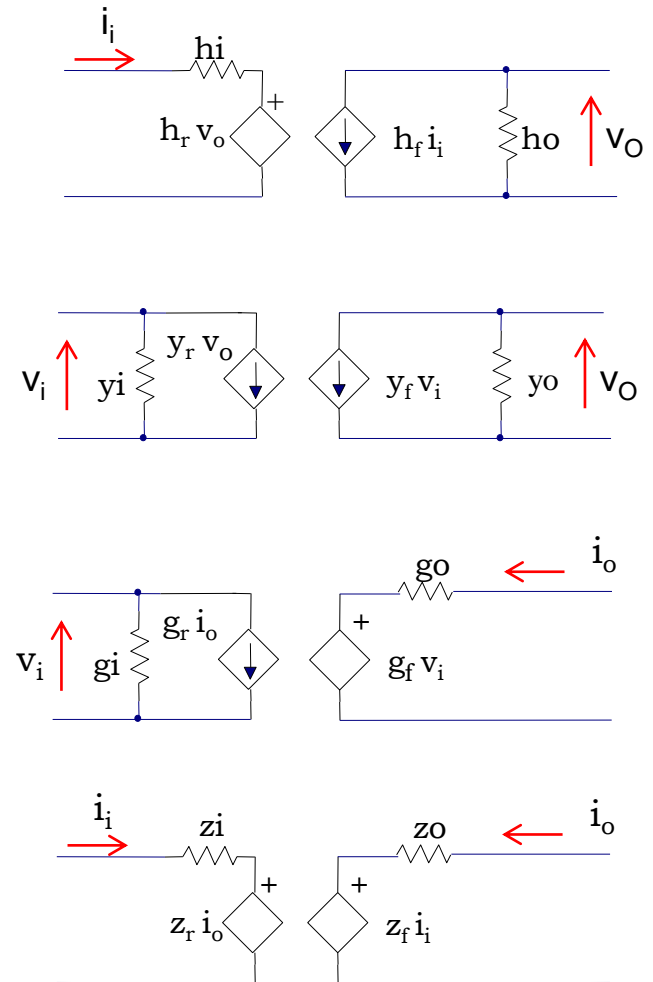


El modelo de cuadripolo más adecuado es el que tiene la misma topología que el amplificador realimentado.

El cuadripolo serie-serie es el **Z**.

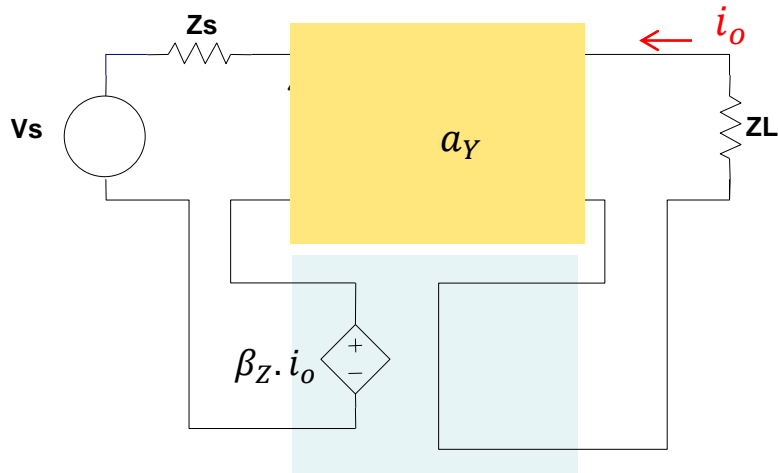
Este cuadripolo tiene en la realimentación un generador de tensión controlado por corriente al igual que el amplificador realimentado.

Cuadripolos:



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

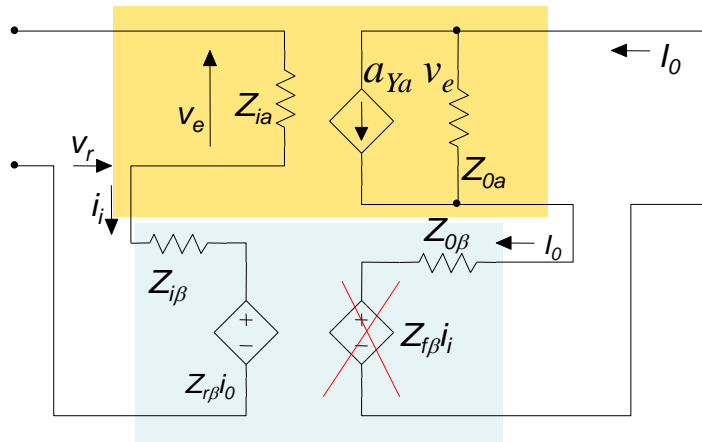
Efecto de carga de la red β



El modelo de cuadripolo para la realimentación serie-serie es el Z.

Habitualmente se supone un camino unidireccional de la señal, por lo que la componente directa de la red β se desprecia.

Las demás componentes se determinan como de costumbre:



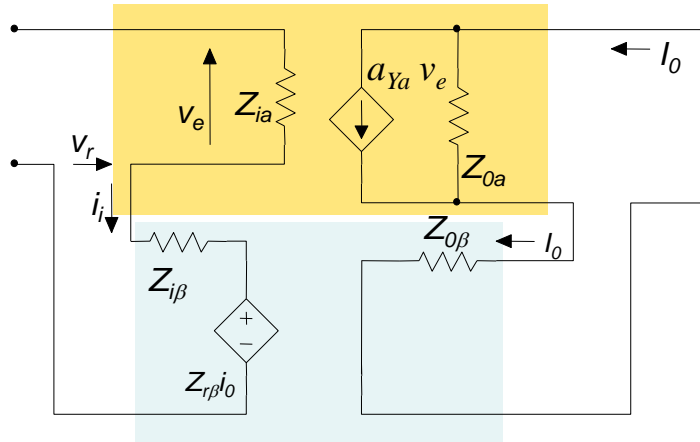
$$z_{i\beta} = \frac{v_r}{i_i} \Big|_{i_o=0}$$

$$z_{o\beta} = \frac{v_{o\beta}}{i_o} \Big|_{i_i=0}$$

$$z_{r\beta} = \frac{v_r}{i_o} \Big|_{i_i=0}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

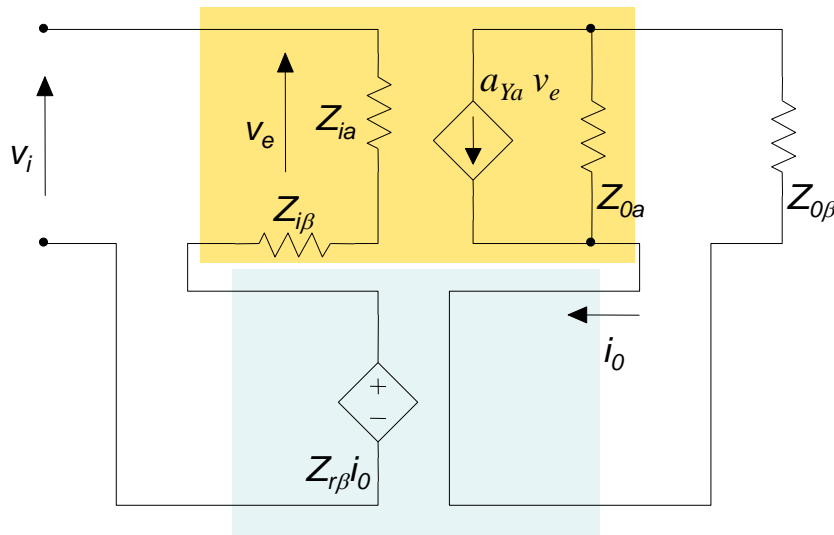
Efecto de carga de la red β



$$z_{i\beta} = \frac{v_r}{i_i} \Big|_{i_o=0}$$

$$z_{o\beta} = \frac{v_{o\beta}}{i_o} \Big|_{i_i=0}$$

$$z_{r\beta} = \frac{v_r}{i_o} \Big|_{i_i=0}$$

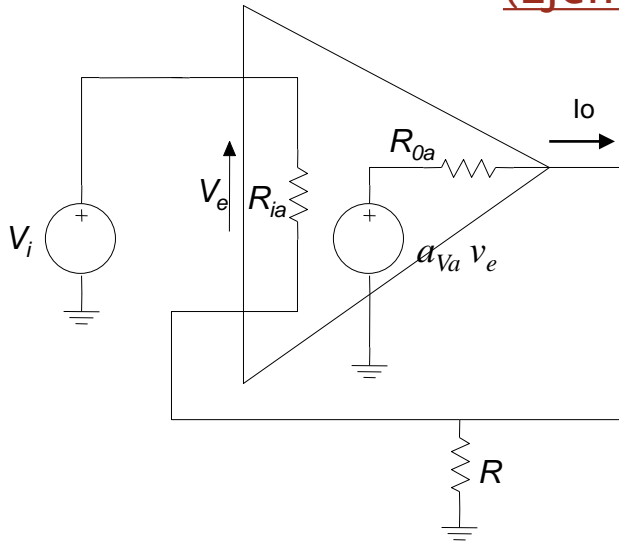


Ya hemos calculado la ganancia y las cargas de β . Transferimos las cargas a A de modo de tener una realimentación ideal.

Nos resta ahora tener en cuenta esas cargas en el cálculo de la ganancia.

Tenemos las mismas opciones que para el amplificador de tensión

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA (Ejemplo 1: Conversor V/I)



Datos:

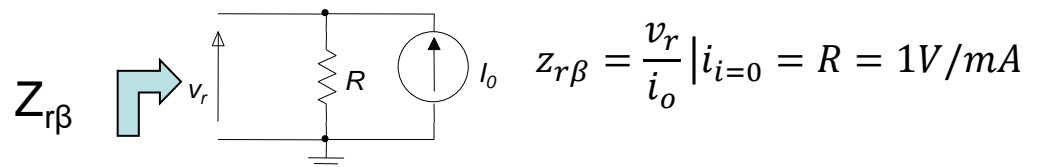
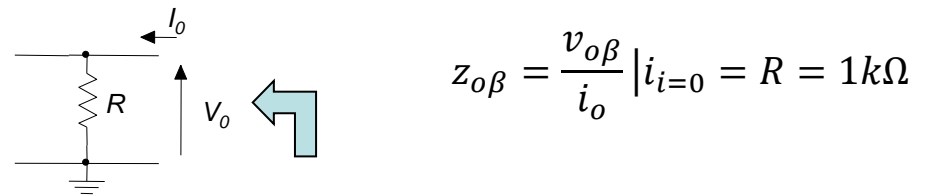
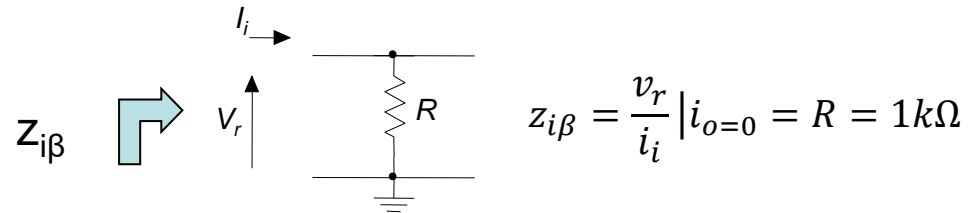
$$a_{va}=1000$$

$$R_{ia}=19k\Omega$$

$$R_{oa}=1k\Omega$$

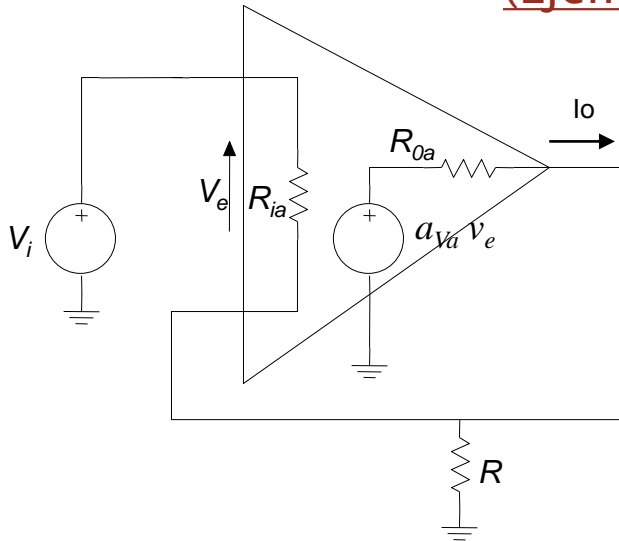
$$R=1k\Omega$$

Opción 2 (no conocemos Z_L , Z_s)



β

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA (Ejemplo 1: Conversor V/I)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

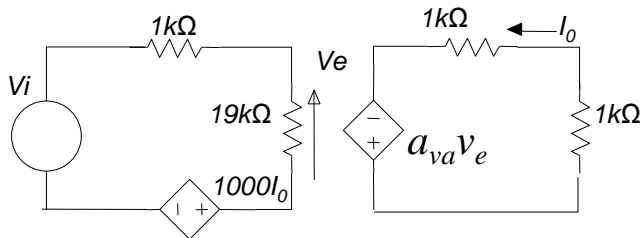
$$R_{ia}=19k\Omega$$

$$R_{oa}=1k\Omega$$

$$R=1k\Omega$$

$$\beta_Z = z_{r\beta} = 1V/mA$$

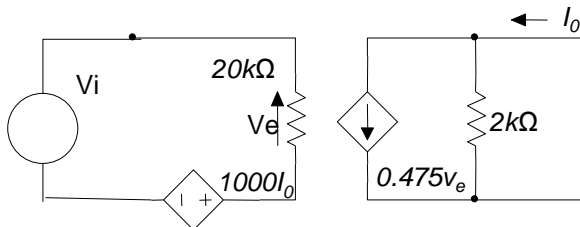
$$z_{i\beta} = z_{o\beta} = 1k\Omega$$



$$\beta_Z = z_{r\beta} = 1V/mA$$

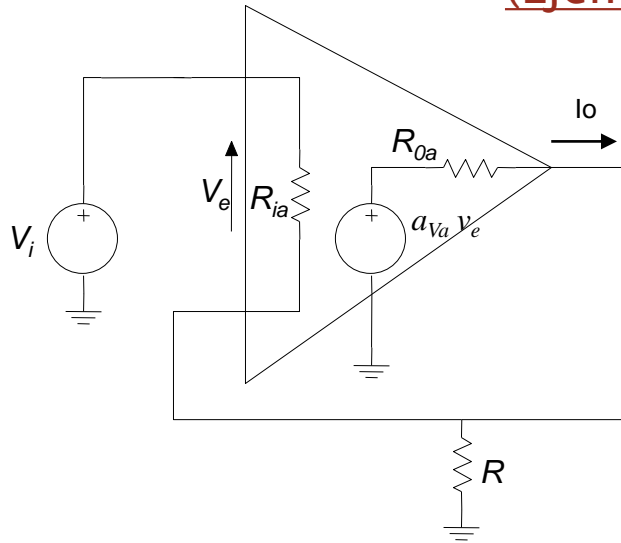
$$R_i = R_{ia} + z_{i\beta} = 20k\Omega$$

$$R_o = R_{oa} + z_{o\beta} = 2k\Omega$$



$$a_Y = \frac{R_{ia}}{R_i} \cdot a_{va} \cdot \frac{1}{R_o} = \frac{19}{20} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{2000} = 475mA/V$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA (Ejemplo 1: Conversor V/I)



Datos:

$$a_{va}=1000$$

$$R_{ia}=19k\Omega$$

$$R_{oa}=1k\Omega$$

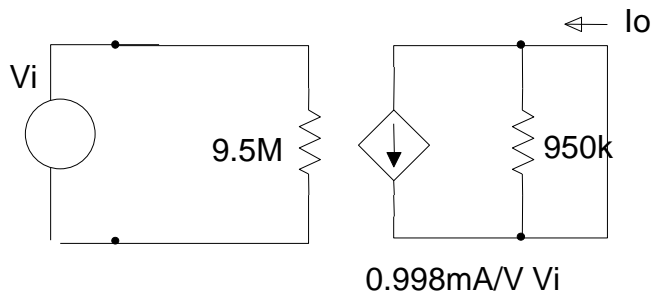
$$R=1k\Omega$$

$$a_Y = 475mA/V$$

$$R_i = 20k\Omega$$

$$\beta_Z = 1V/mA$$

$$R_o = 2k\Omega$$



$$1 + a_Y \cdot \beta_Z = 1 + 475 = 476$$

$$A_{Yr} = \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z} \cong 0,998 \frac{mA}{V}$$

$$R_{ir} = R_i(1 + a_Y \cdot \beta_Z) \cong 9,5M\Omega$$

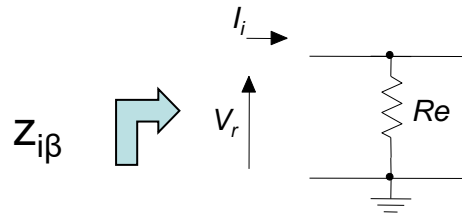
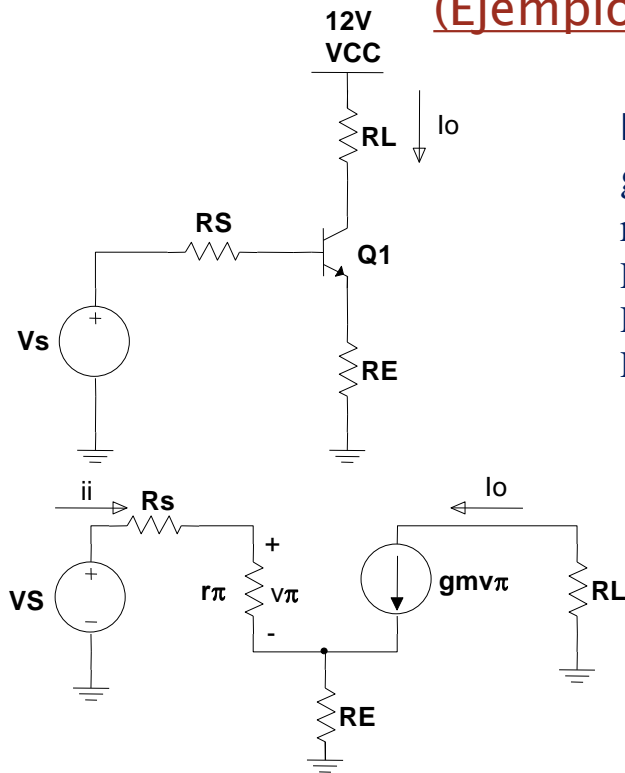
$$R_{or} = R_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z) \cong 950k\Omega$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

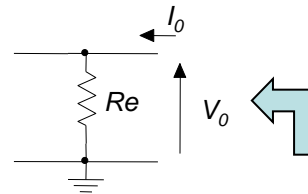
(Ejemplo 2: El EC con resistencia de emisor)

Opción 3: Calcularemos la ganancia del amplificador cargado con R_L y R_s

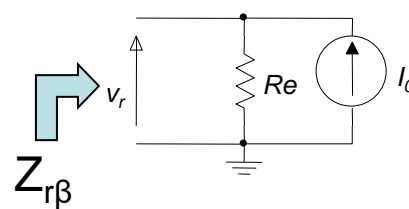
Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$
 $R_E = 500 \Omega$



$$Z_{i\beta} = \frac{v_r}{i_i} \Big|_{i_o=0} = R_E = 500 \Omega$$



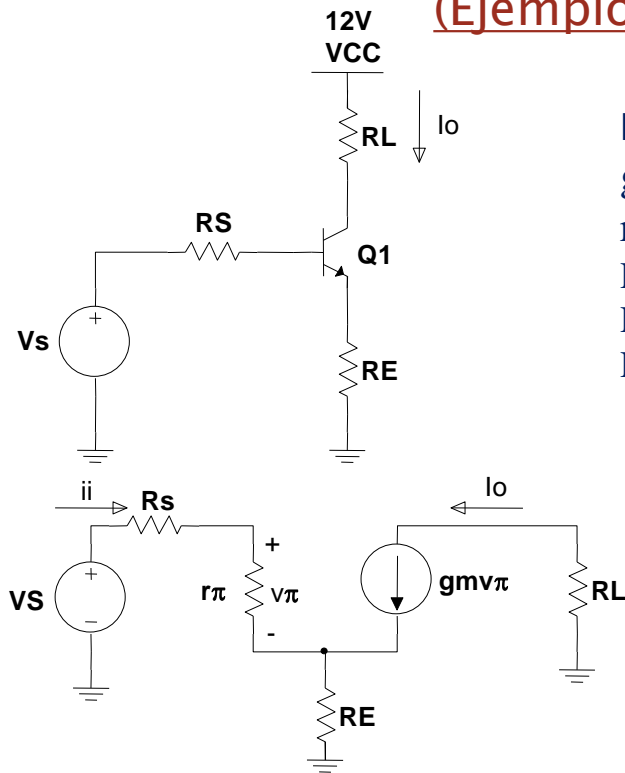
$$Z_{o\beta} = \frac{v_o\beta}{i_o} \Big|_{i_i=0} = R_E = 500 \Omega$$



$$Z_{r\beta} = \frac{v_r}{i_o} \Big|_{i_i=0} = R_E = 500 \text{ V/A}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

(Ejemplo 2: El EC con resistencia de emisor)



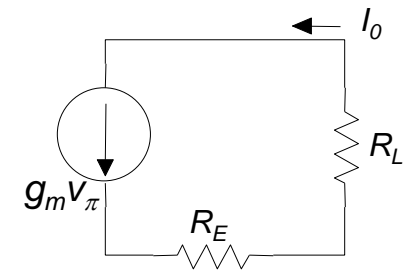
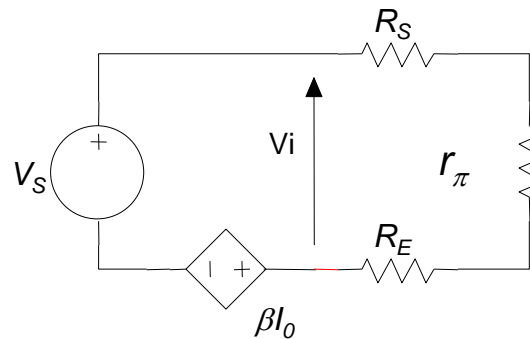
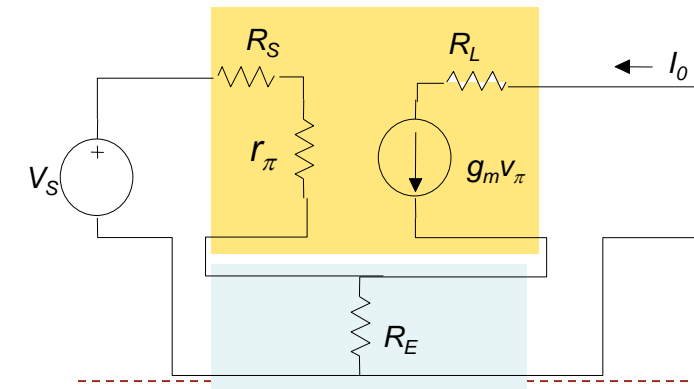
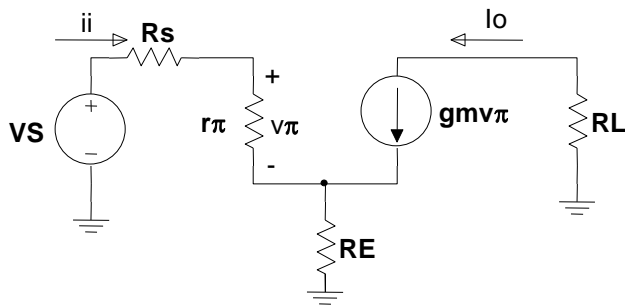
Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$
 $R_E = 500 \Omega$

Opción 3: Calcularemos la ganancia del amplificador cargado con R_L y R_s

$$z_{i\beta} = R_E = 500 \Omega$$

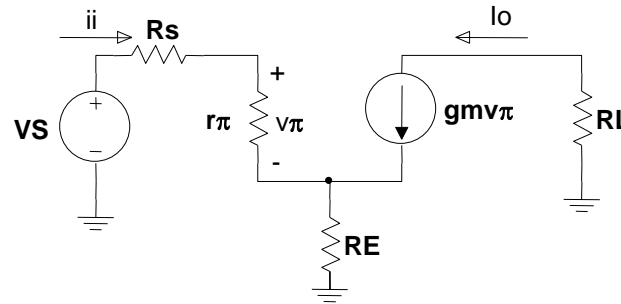
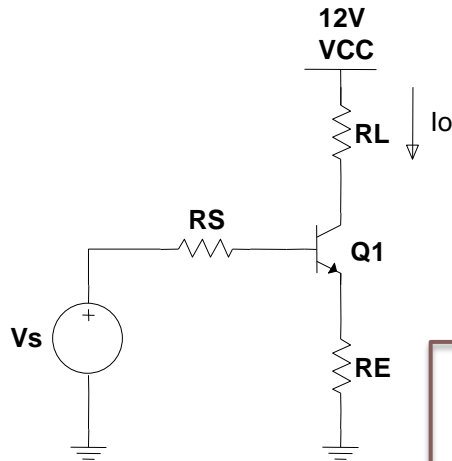
$$z_{o\beta} = R_E = 500 \Omega$$

$$z_{r\beta} = R_E = 500 \text{ V/A}$$



AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA

(Ejemplo 2: El EC con resistencia de emisor)



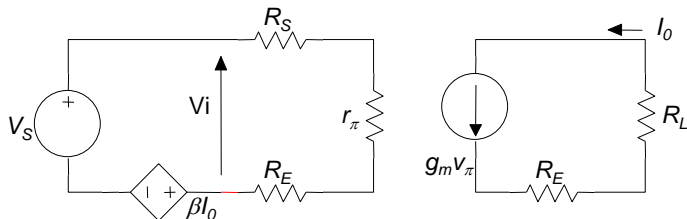
Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_S = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$
 $R_E = 500 \Omega$

$$z_{i\beta} = z_{o\beta} = 500 \Omega$$

$$\beta_Z = z_{r\beta} = 500 \text{ V/A}$$

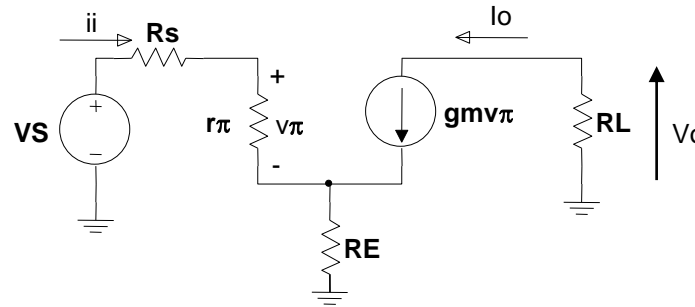
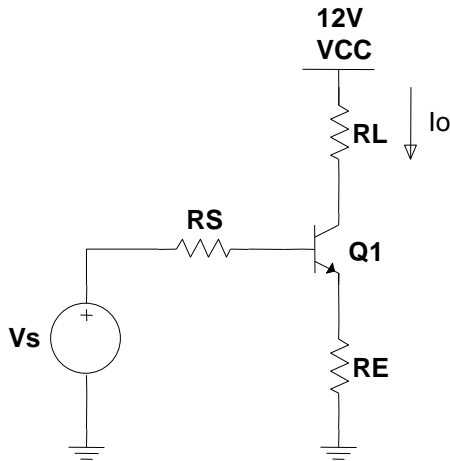
$$a_Y = \frac{i_o}{v_i} = \frac{r_\pi}{R_S + z_{i\beta} + r_\pi} \cdot g_m = \frac{2 \text{ k}\Omega}{13 \text{ k}\Omega} \cdot 40 \text{ mA/V} \cong 7,69 \text{ mA/V}$$

$$1 + a_Y \cdot \beta_Z = 1 + 7,69 \text{ mA/V} \times 500 \text{ V/A} = 3,847$$



$$A_{Yr} = \frac{i_o}{v_s} = \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z} = \frac{7,69 \text{ mA/V}}{3,847} \cong 1,998 \text{ mA/V} \cong \frac{1}{\beta_Z}$$

AMPLIFICADORES REALIMENTADOS DE TRANS-ADMITANCIA (Ejemplo 2: El EC con resistencia de emisor)



Datos:
 $g_m = 40 \text{ mA/V}$
 $r_\pi = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_L = 5 \text{ k}\Omega$
 $R_E = 500 \Omega$

$$A_{Yr} = \frac{i_o}{v_s} = \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z} = \frac{7,69 \text{ mA/V}}{3,847} \cong 1,998 \text{ mA/V} \cong \frac{1}{R_E}$$

Si queremos calcular la ganancia de tensión en vez de la ganancia de trans-admitancia, expresar la tensión de salida en función de la corriente de salida: $V_o = I_o R_L$

$$A_{Vr} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-i_o R_L}{i_s} = -A_{Yr} R_L \cong -9,99 \text{ V/V} \cong \frac{-R_L}{R_E}$$

Es evidente que esta ganancia, que no es la propia de la tecnología, sí es muy sensible a las cargas, en este caso a la carga de salida.