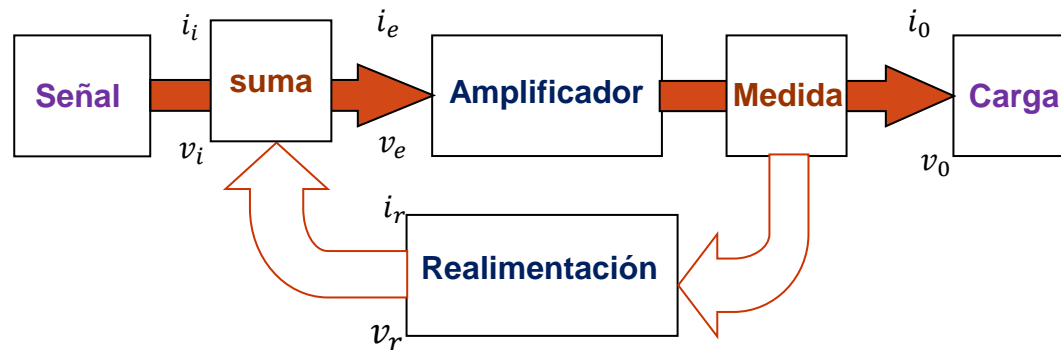


Circuitos Electrónicos I

Topologías de Amplificadores Realimentados

TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES ELECTRÓNICOS REALIMENTADOS

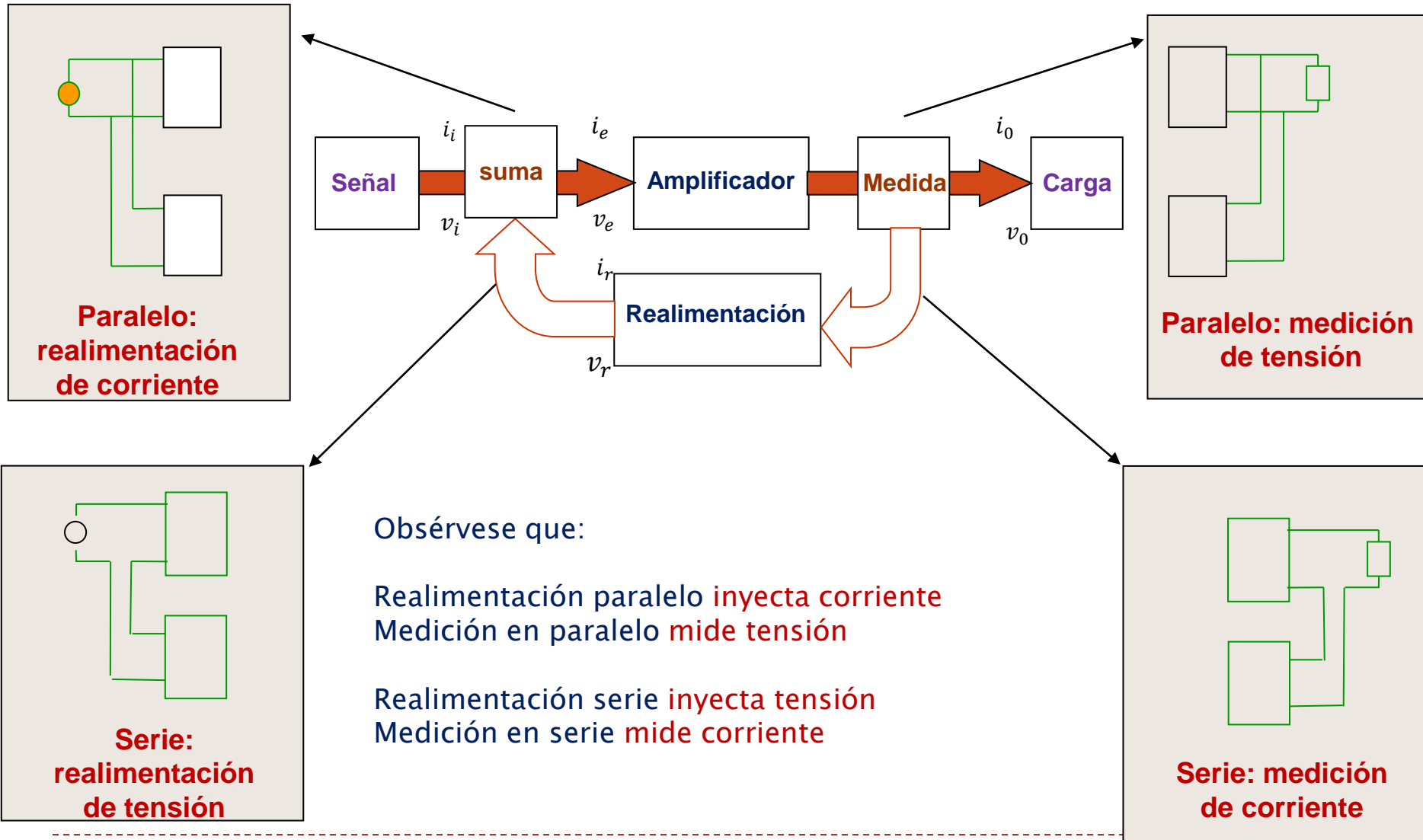
- ✓ Resumen de las distintas topologías de amplificadores realimentados.
- ✓ Efecto de la realimentación sobre las impedancias de entrada y salida.
- ✓ Método para determinar la ganancia y las impedancias de entrada y salida de un amplificador realimentado.



REALIMENTACIÓN DE SEÑALES ELECTRÓNICAS

Realimentación a la entrada:

Medida a la salida:



Obsérvese que:

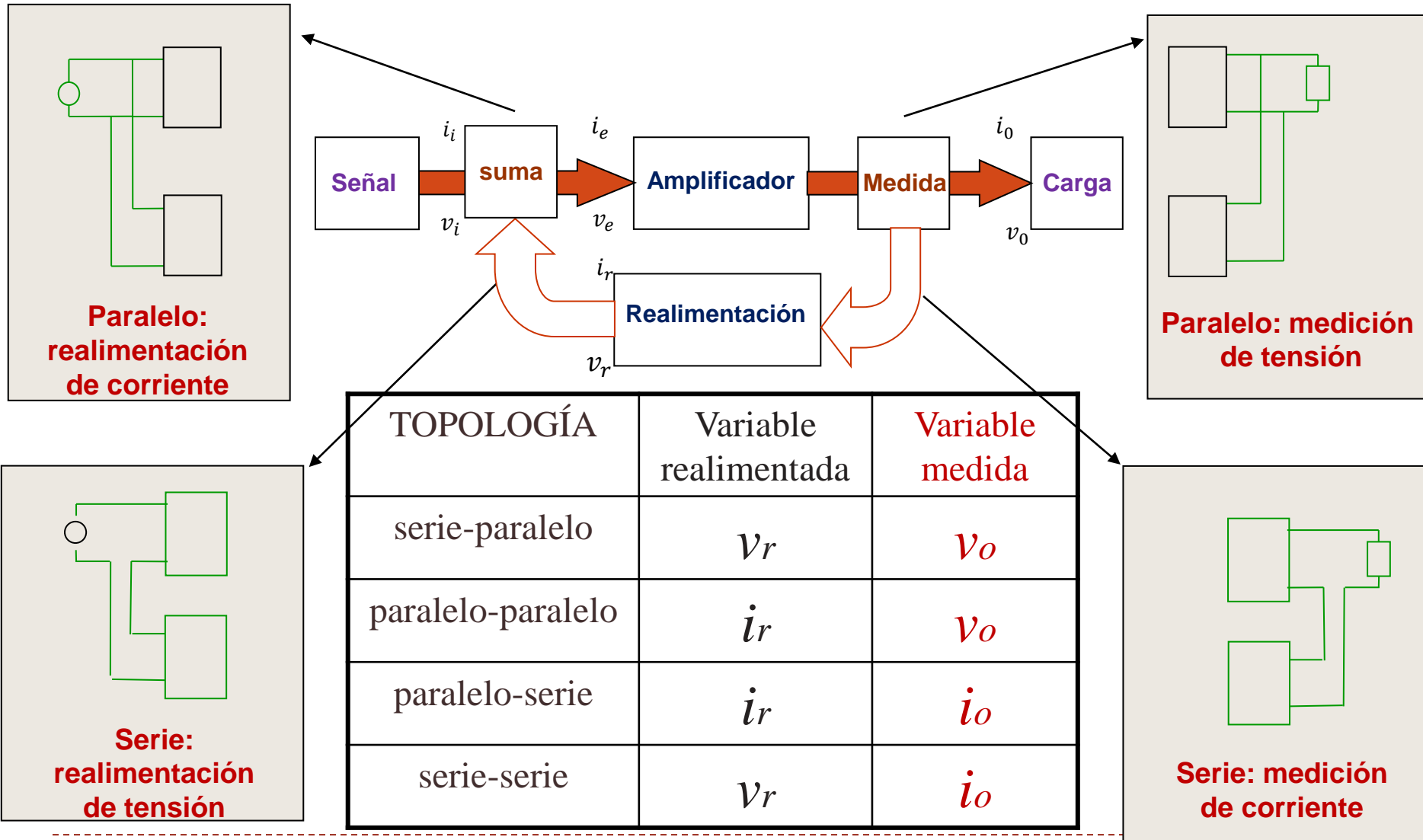
Realimentación paralelo **inyecta corriente**
Medición en paralelo **mide tensión**

Realimentación serie **inyecta tensión**
Medición en serie **mide corriente**

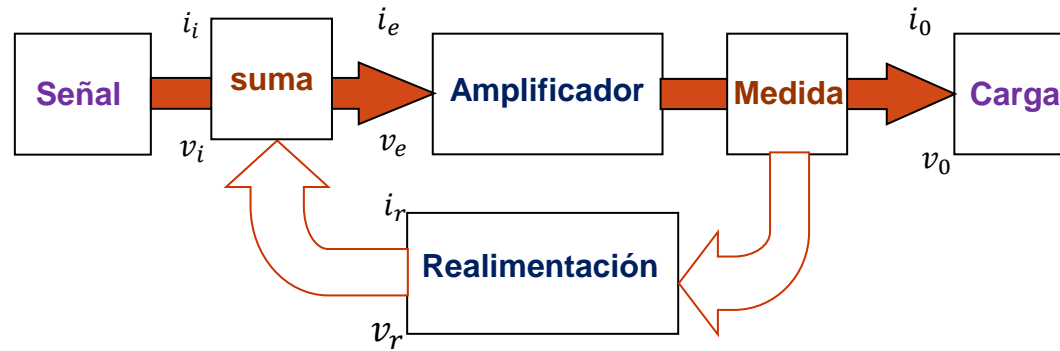
TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS

Realimentación a la entrada:

Medida a la salida:

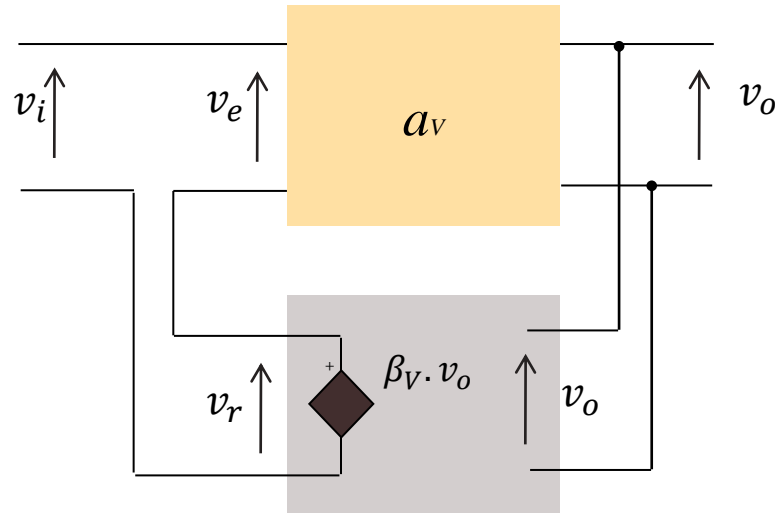


TOPOLOGÍAS DE AMPLIFICADORES REALIMENTADOS

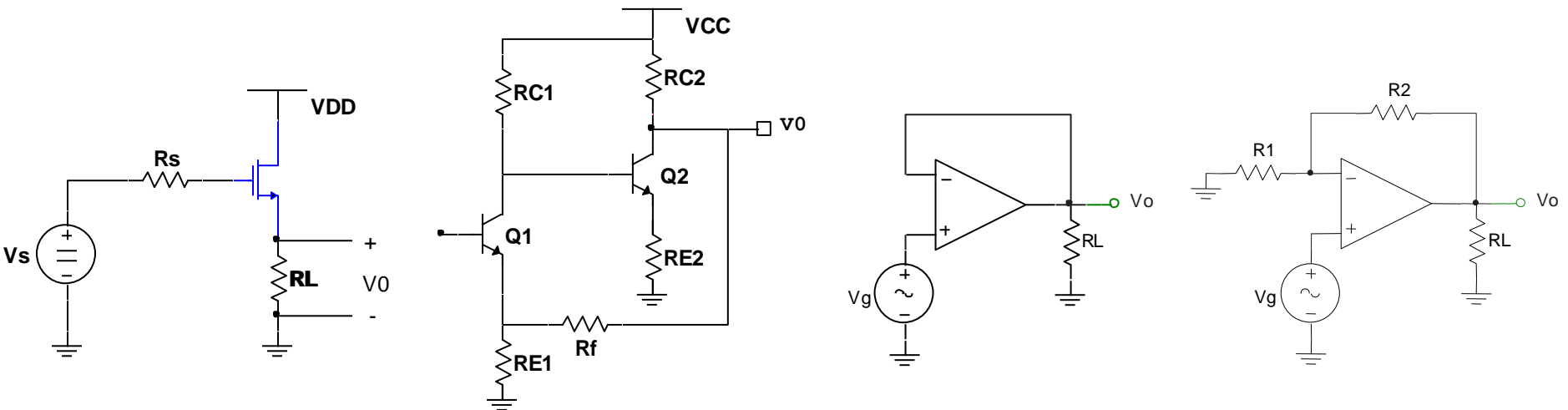


TOPOLOGÍA	Variable realimentada	Variable medida	Amplificación	Unidades
serie-paralelo	v_r	v_o	Tensión	(V/V)
paralelo-paralelo	i_r	v_o	Trans-impedancia	(V/A)
paralelo-serie	i_r	i_o	Corriente	(A/A)
serie-serie	v_r	i_o	Trans-admitancia	(A/V)

TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN



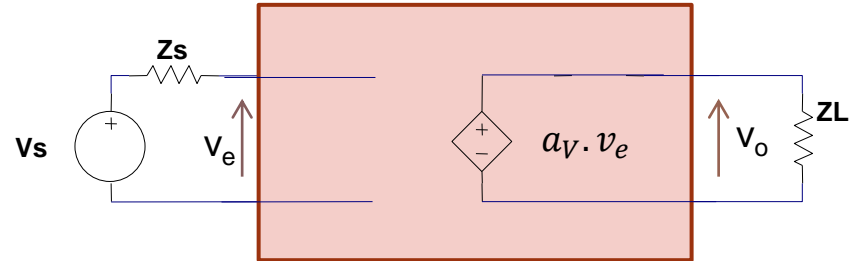
Ejemplos:



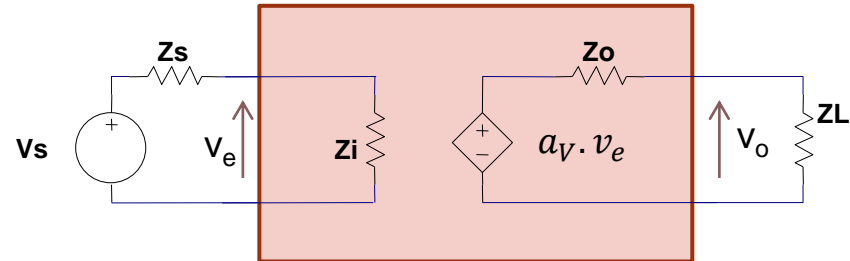
TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN

El **amplificador de tensión ideal** tiene una ganancia que es insensible a los efectos de carga, tanto a la entrada como a la salida.

$$\left. \begin{array}{l} z_i = \infty \\ z_o = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{v_o}{v_s} = a_v$$

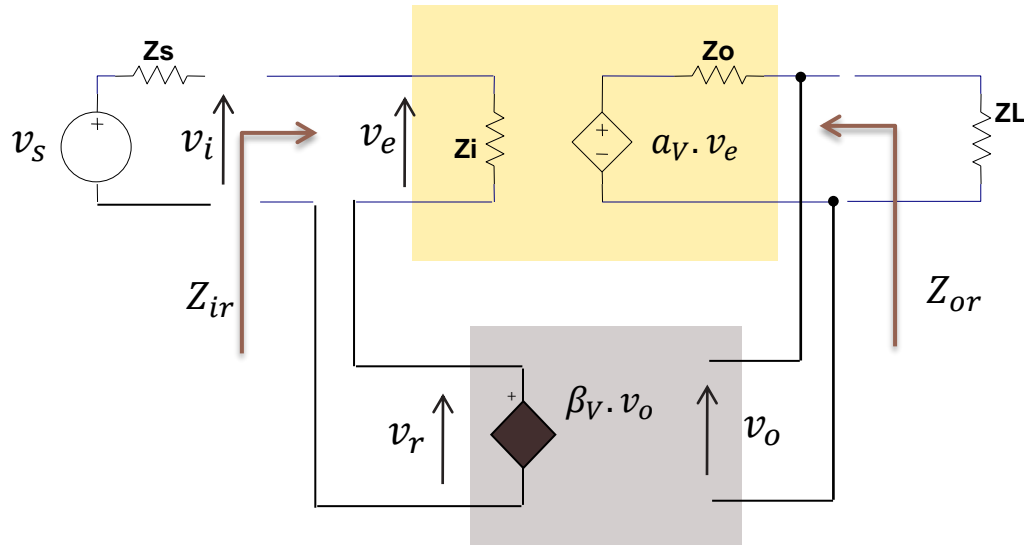


En un **amplificador de tensión real**, con z_i finita y z_o no nula, la ganancia es afectada por dos divisores de tensión:



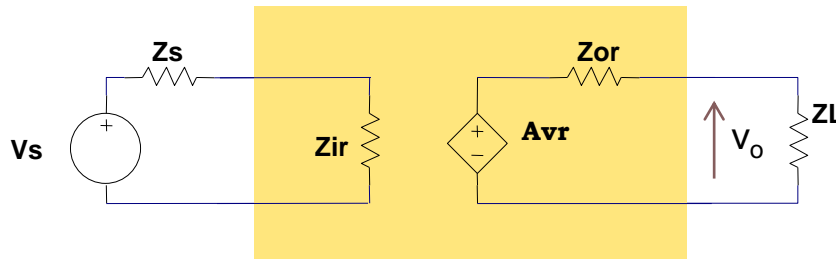
$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{z_i}{z_s + z_i} \cdot a_v \cdot \frac{z_L}{z_o + z_L} = \frac{1}{1 + \frac{z_s}{z_i}} \cdot a_v \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_o}{z_L}}$$

TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN



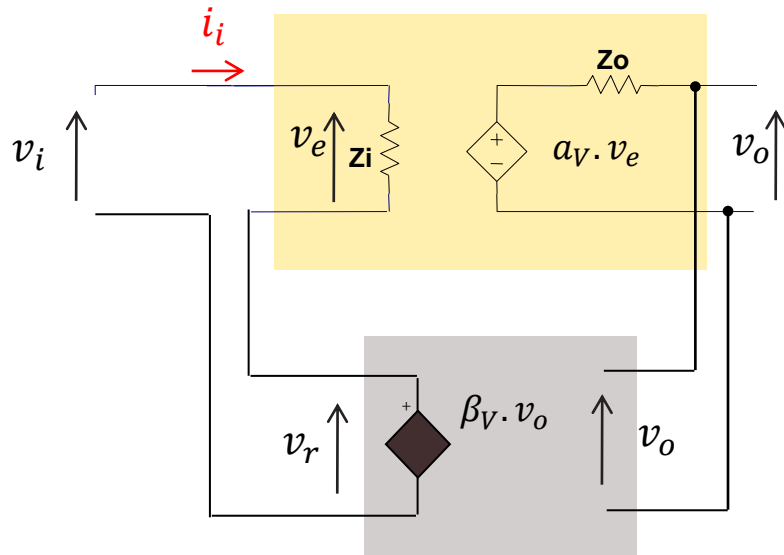
¿Cuál es la ganancia que se desensibiliza respecto a variación de parámetros y no-linealidades?

¿Cuál es el efecto de las cargas sobre la ganancia de un amplificador realimentado?



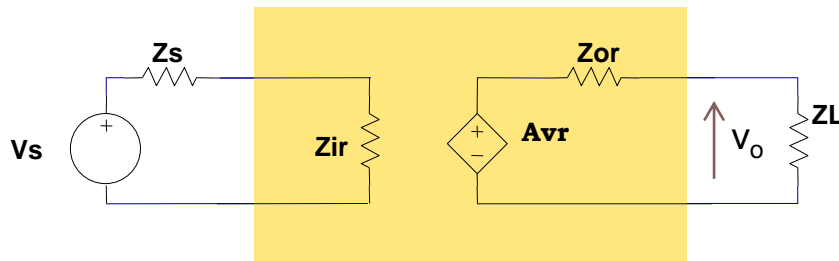
A_{vr} ?
 Z_{ir} ?
 Z_{or} ?

TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN

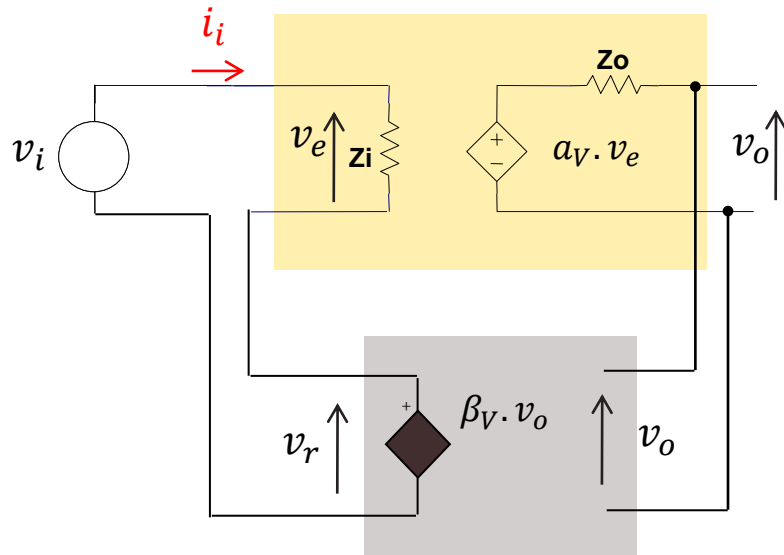


Ganancia realimentada
sin carga:

$$\left. \begin{aligned} v_o &= a_V \cdot v_e \\ v_r &= \beta_V \cdot v_o \\ v_e &= v_i - v_r \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_{Vr} \triangleq \frac{v_o}{v_i} = \frac{a_V}{1 + a_V \cdot \beta_V}$$



TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN



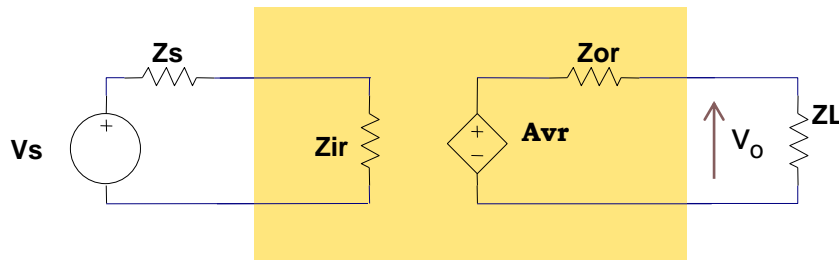
Impedancia de entrada:

$$Z_{ir} \triangleq \frac{v_i}{i_i}$$

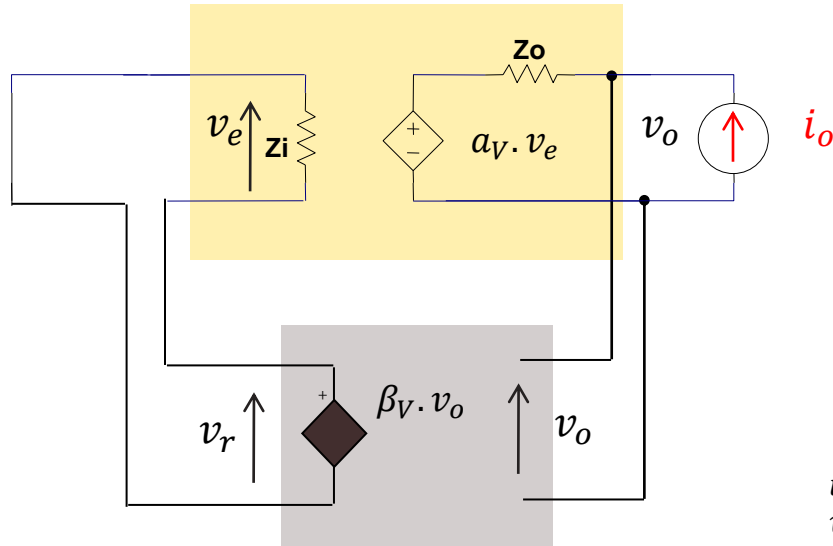
$$\left. \begin{array}{l} v_e = i_i z_i \\ v_i = v_e + v_r \\ v_r = \beta_V \cdot v_o \\ v_o = a_V \cdot v_e \end{array} \right\} \Rightarrow v_i = v_e (1 + a_V \cdot \beta_V)$$

$$Z_{ir} = z_i (1 + a_V \cdot \beta_V)$$

(Deberíamos haber tenido en cuenta a Z_L)



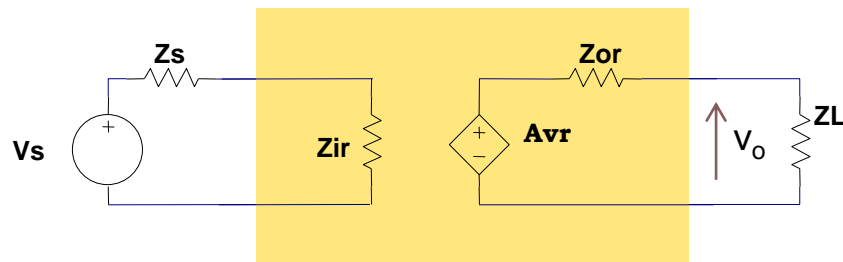
TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN



Impedancia de salida:

$$Z_{or} \triangleq \frac{v_o}{i_o}$$

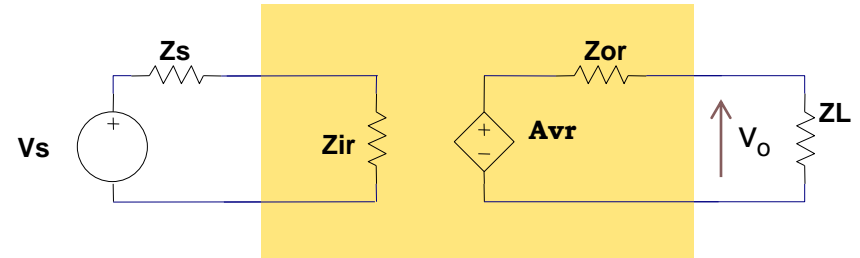
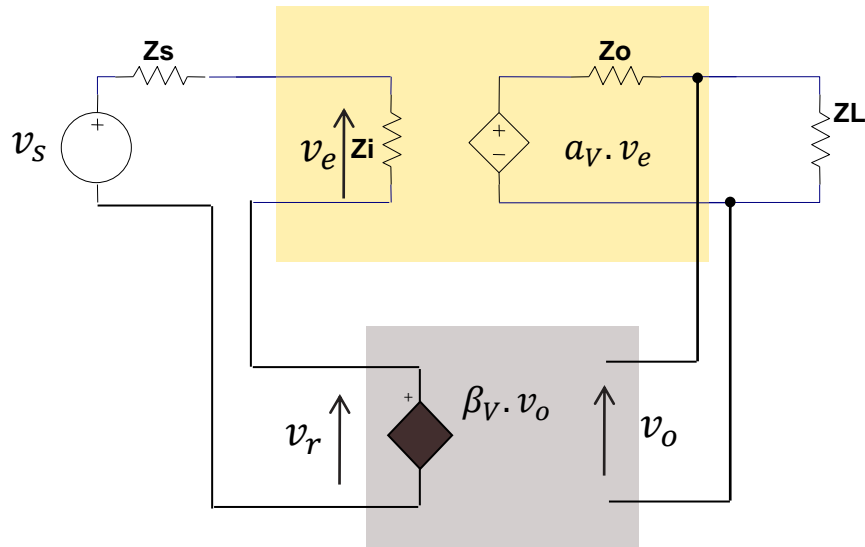
$$\left. \begin{array}{l} i_o Z_o = v_o - a_V \cdot v_e \\ v_e = -v_r \\ v_r = \beta_V \cdot v_o \end{array} \right\} \Rightarrow i_o Z_o = v_o (1 + a_V \cdot \beta_V)$$



$$Z_{or} \cong \frac{Z_o}{(1 + a_V \cdot \beta_V)}$$

(Deberíamos haber tenido en cuenta a Z_s)

TOPOLOGÍA SERIE-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TENSIÓN



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

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

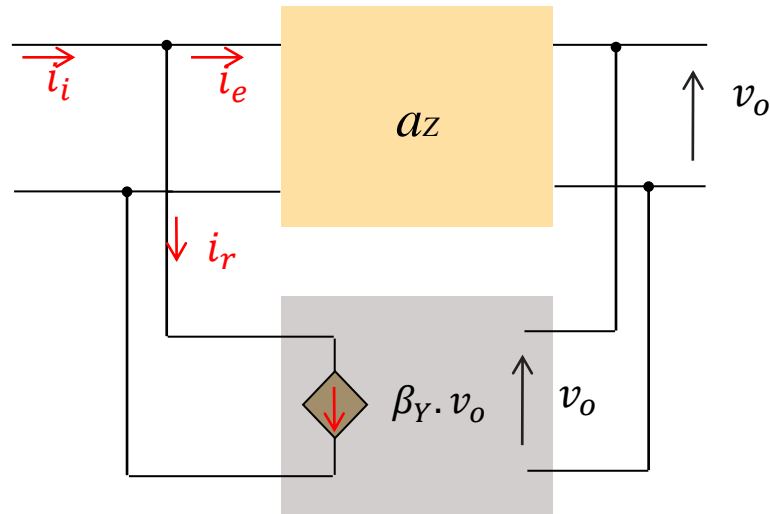
$$Z_{or} \cong \frac{z_o}{(1 + a_v \cdot \beta_v)}$$

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{1}{1 + \frac{Z_s}{Z_{ir}}} \cdot A_{Vr} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_{or}}{Z_L}}$$

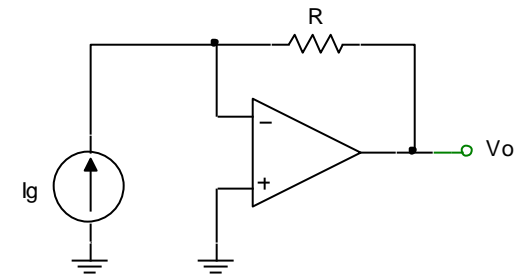
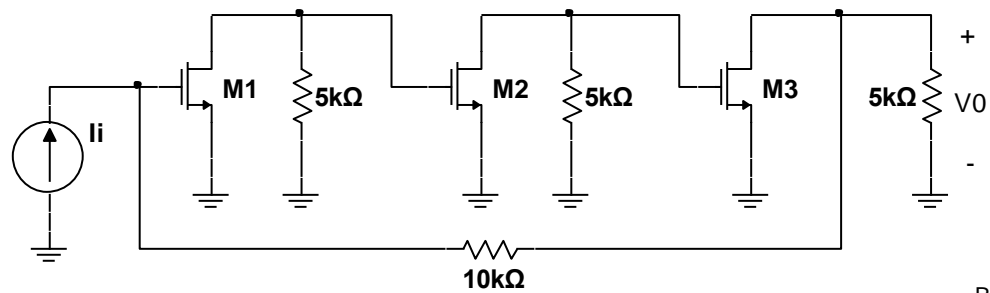
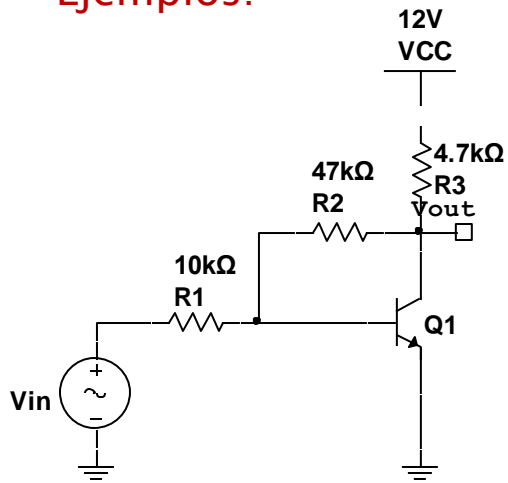
$$\frac{v_o}{v_s} \cong \frac{1}{1 + \frac{Z_s}{z_i(1 + a_v \cdot \beta_v)}} \cdot \frac{a_v}{1 + a_v \cdot \beta_v} \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_o}{Z_L(1 + a_v \cdot \beta_v)}}$$

La topología serie-paralelo estabiliza la **ganancia de tensión** frente a variaciones de parámetros y no-linealidades del amplificador, como así también frente a las cargas externas.

TOPOLOGÍA PARALELO-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-IMPEDANCIA



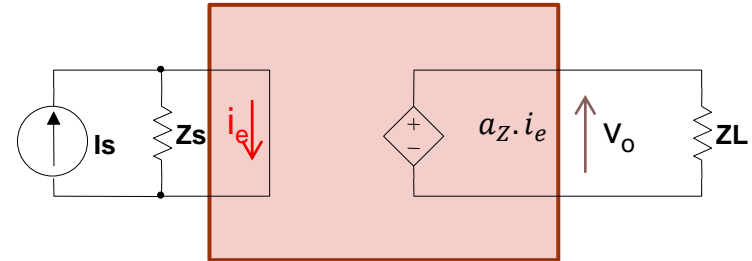
Ejemplos:



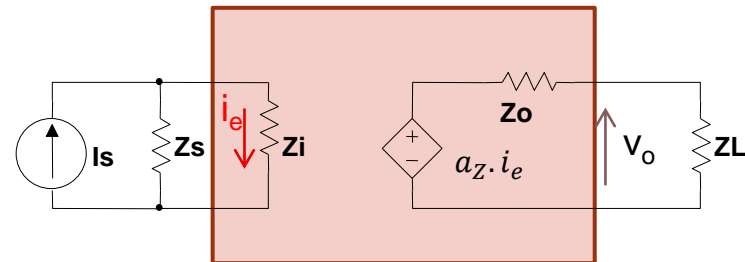
TOPOLOGÍA PARALELO-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-IMPEDANCIA

El amplificador de trans-impedancia ideal tiene una ganancia que es insensible a los efectos de carga, tanto a la entrada como a la salida.

$$\left. \begin{matrix} z_i = 0 \\ z_o = 0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{v_o}{i_s} = a_z$$



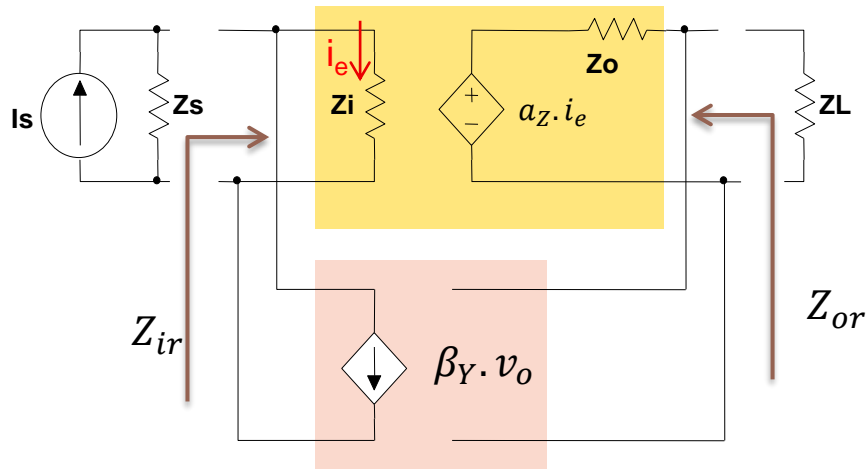
En un amplificador de trans-impedancia real, con z_i y z_o no nulas, la ganancia es afectada por dos divisores:



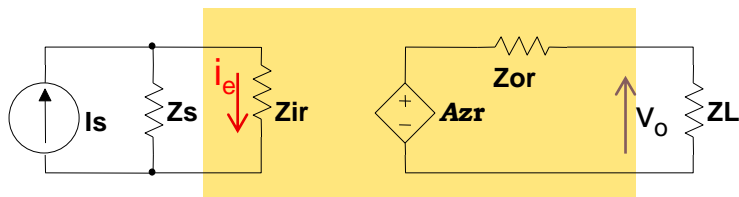
$$\frac{v_o}{i_s} = \frac{z_s}{z_s + z_i} \cdot a_z \cdot \frac{z_L}{z_o + z_L} = \frac{1}{1 + \frac{z_i}{z_s}} \cdot a_z \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_o}{z_L}}$$

TOPOLOGÍA PARALELO-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-IMPEDANCIA

Ganancia realimentada sin carga:

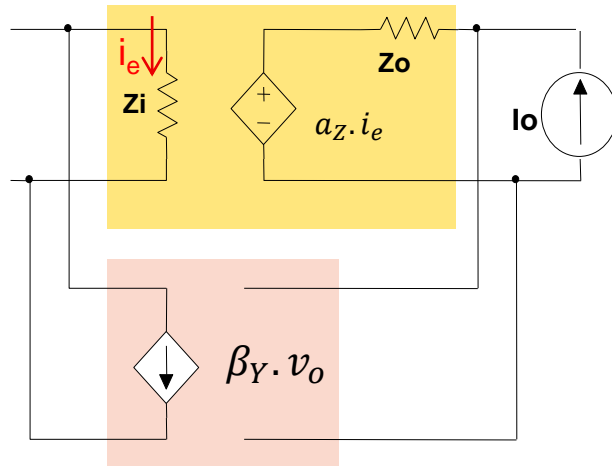
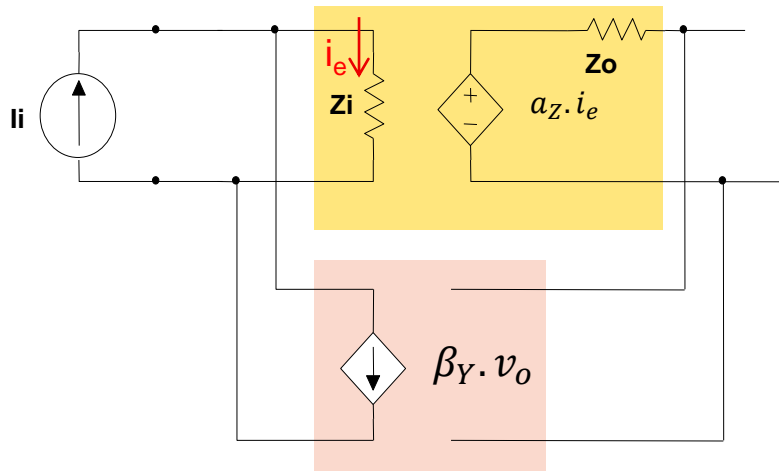


Impedancia de entrada:



Impedancia de salida:

TOPOLOGÍA PARALELO-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-IMPEDANCIA



Ganancia realimentada sin carga:

$$\left. \begin{aligned} v_o &= a_Z \cdot i_e \\ i_r &= \beta_Y \cdot v_o \\ i_e &= i_i - i_r \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$A_{Zr} \triangleq \frac{v_o}{i_i} = \frac{a_Z}{1 + a_Z \cdot \beta_Y}$$

Impedancia de entrada: $Z_{ir} \triangleq \frac{v_i}{i_i}$

$$\left. \begin{aligned} i_e &= v_i / Z_i \\ i_i &= i_e + i_r \\ i_r &= \beta_Y \cdot v_o \\ v_o &= a_Z \cdot i_e \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$i_i = i_e (1 + a_Z \cdot \beta_Y)$$

$$Z_{ir} \cong \frac{Z_i}{1 + a_Z \cdot \beta_Y}$$

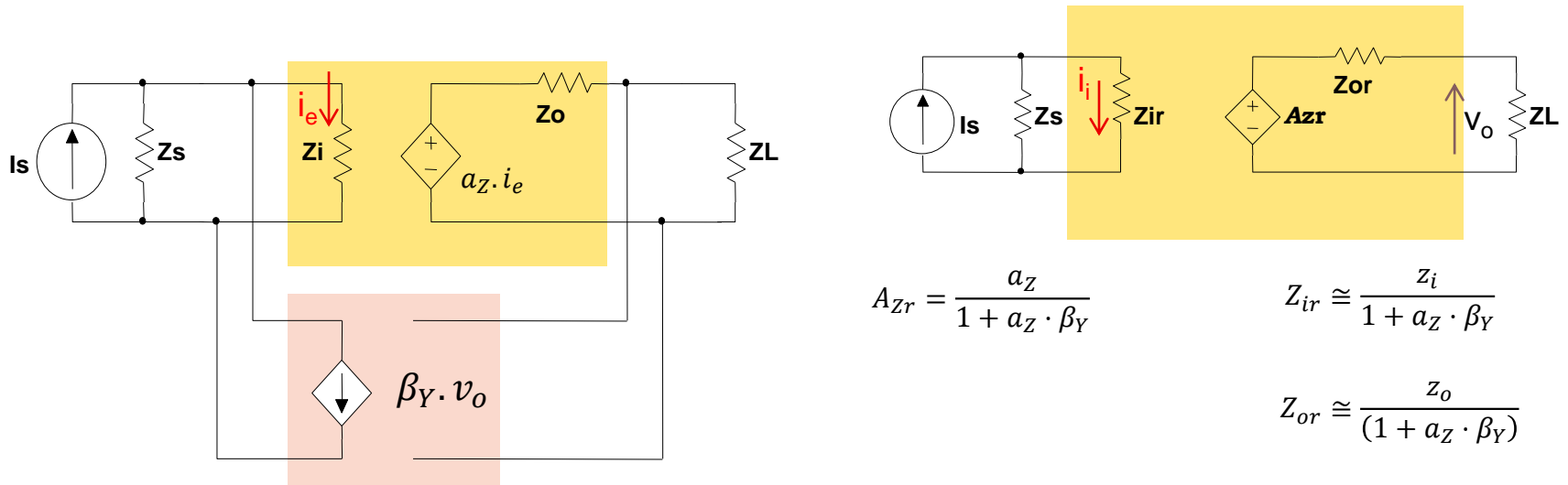
Impedancia de salida: $Z_{or} \triangleq \frac{v_o}{i_o}$

$$\left. \begin{aligned} i_o Z_o &= v_o - a_Z \cdot i_e \\ i_e &= -i_r \\ i_r &= \beta_Y \cdot v_o \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$i_o Z_o = v_o (1 + a_Z \cdot \beta_Y)$$

$$Z_{or} \cong \frac{Z_o}{(1 + a_Z \cdot \beta_Y)}$$

TOPOLOGÍA PARALELO-PARALELO O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-IMPEDANCIA



$$A_{Zr} = \frac{a_Z}{1 + a_Z \cdot \beta_Y}$$

$$Z_{ir} \cong \frac{Z_i}{1 + a_Z \cdot \beta_Y}$$

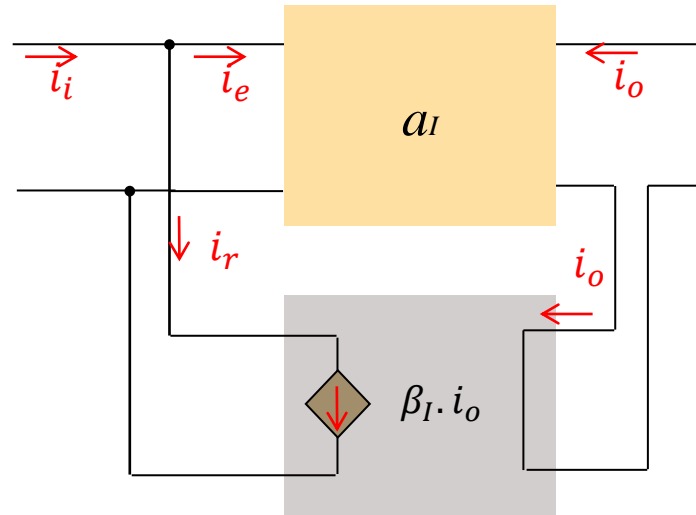
$$Z_{or} \cong \frac{Z_o}{(1 + a_Z \cdot \beta_Y)}$$

$$\frac{v_o}{i_s} = \frac{1}{1 + \frac{Z_{ir}}{Z_s}} \cdot A_{Zr} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_{or}}{Z_L}}$$

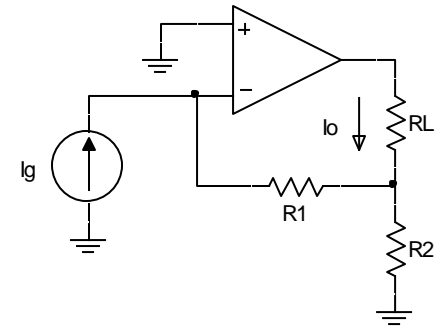
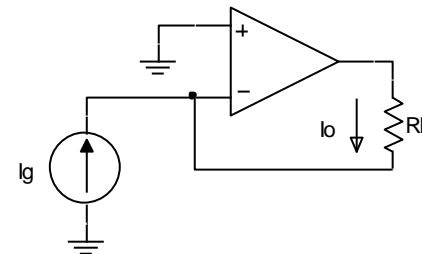
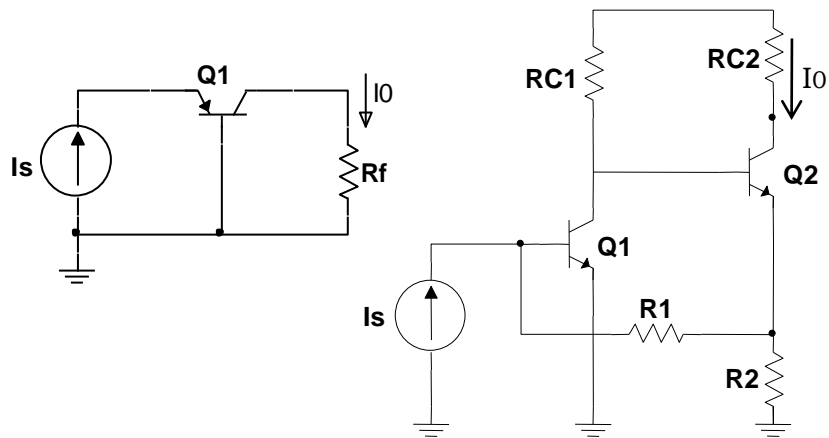
$$\frac{v_o}{i_s} \cong \frac{1}{1 + \frac{Z_i}{Z_s(1 + a_Z \cdot \beta_Y)}} \cdot \frac{a_Z}{1 + a_Z \cdot \beta_Y} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_o}{Z_L(1 + a_Z \cdot \beta_Y)}}$$

La topología paralelo-paralelo estabiliza la **ganancia de trans-impedancia** frente a variaciones de parámetros y no-linealidades del amplificador, como así también frente a las cargas externas.

TOPOLOGÍA PARALELO-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE CORRIENTE



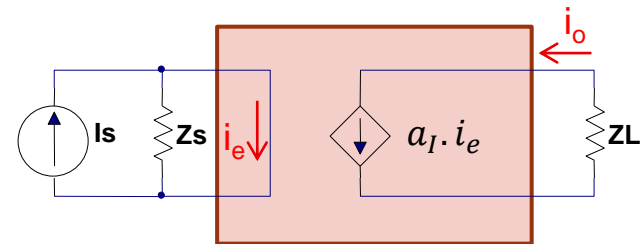
Ejemplos:



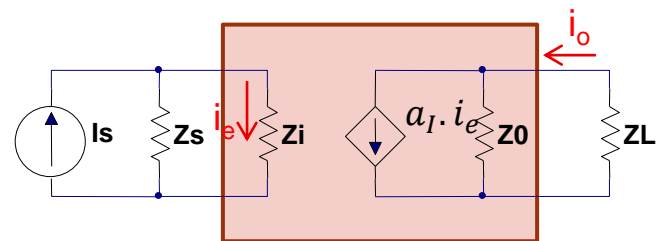
TOPOLOGÍA PARALELO-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE CORRIENTE

El **amplificador de corriente ideal** tiene una ganancia que es insensible a los efectos de carga, tanto a la entrada como a la salida.

$$\left. \begin{array}{l} z_i = 0 \\ z_o = \infty \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{i_o}{i_s} = a_I$$

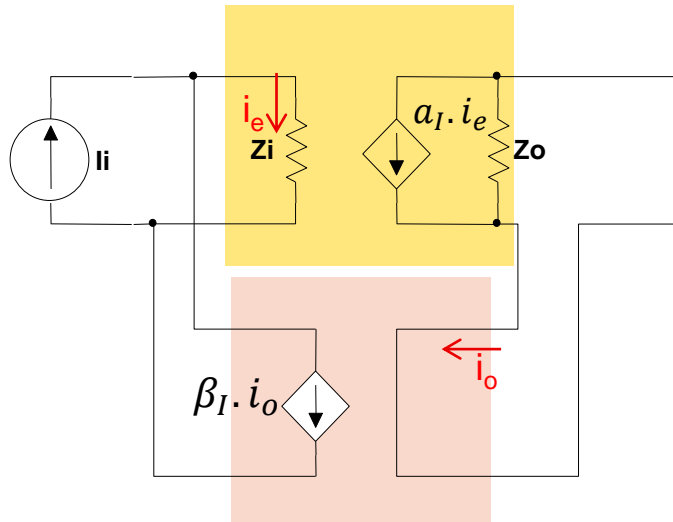


En un **amplificador de corriente**, con Z_i no nula y Z_o finita, la ganancia es afectada por dos divisores:



$$\frac{i_o}{i_s} = \frac{z_s}{z_s + z_i} \cdot a_I \cdot \frac{z_o}{z_o + z_L} = \frac{1}{1 + \frac{z_i}{z_s}} \cdot a_I \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_L}{z_o}}$$

TOPOLOGÍA PARALELO-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE CORRIENTE



Ganancia realimentada sin carga:

$$\left. \begin{aligned} i_o &= a_I \cdot i_e \\ i_r &= \beta_I \cdot i_o \\ i_e &= i_i - i_r \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

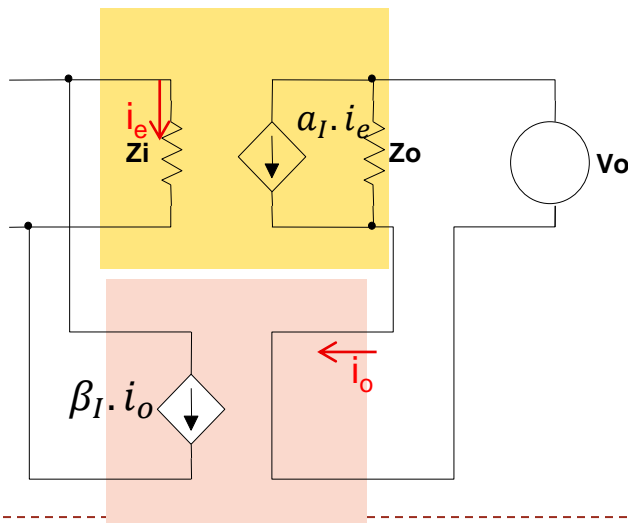
$$A_{Ir} \triangleq \frac{i_o}{i_i} = \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I}$$

Impedancia de entrada: $Z_{ir} \triangleq \frac{v_i}{i_i}$

$$\left. \begin{aligned} i_e &= v_i / Z_i \\ i_i &= i_e + i_r \\ i_r &= \beta_I \cdot i_o \\ i_o &= a_I \cdot i_e \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$i_i = i_e(1 + a_I \cdot \beta_I)$$

$$Z_{ir} \cong \frac{Z_i}{1 + a_I \cdot \beta_I}$$



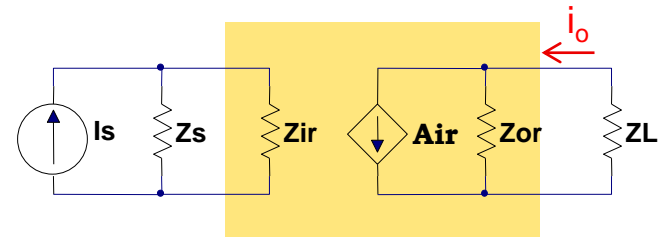
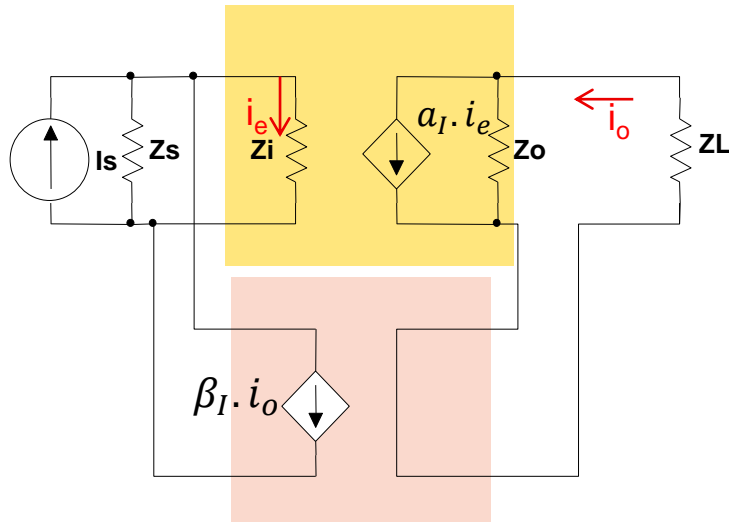
Impedancia de salida: $Z_{or} \triangleq \frac{v_o}{i_o}$

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_o}{Z_o} &= i_o - a_I \cdot i_e \\ i_e &= -i_r \\ i_r &= \beta_I \cdot i_o \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$v_o = i_o Z_o(1 + a_I \cdot \beta_I)$$

$$Z_{or} \cong Z_o(1 + a_I \cdot \beta_I)$$

TOPOLOGÍA PARALELO-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE CORRIENTE



$$A_{Ir} = \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I}$$

$$Z_{ir} \cong \frac{z_i}{1 + a_I \cdot \beta_I}$$

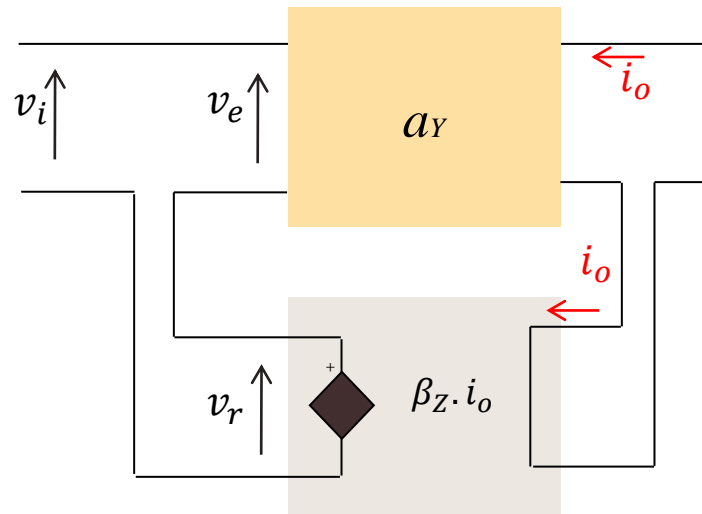
$$Z_{or} \cong z_o(1 + a_I \cdot \beta_I)$$

$$\frac{i_o}{i_s} = \frac{1}{1 + \frac{Z_{ir}}{Z_s}} \cdot A_{Ir} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_L}{Z_{or}}}$$

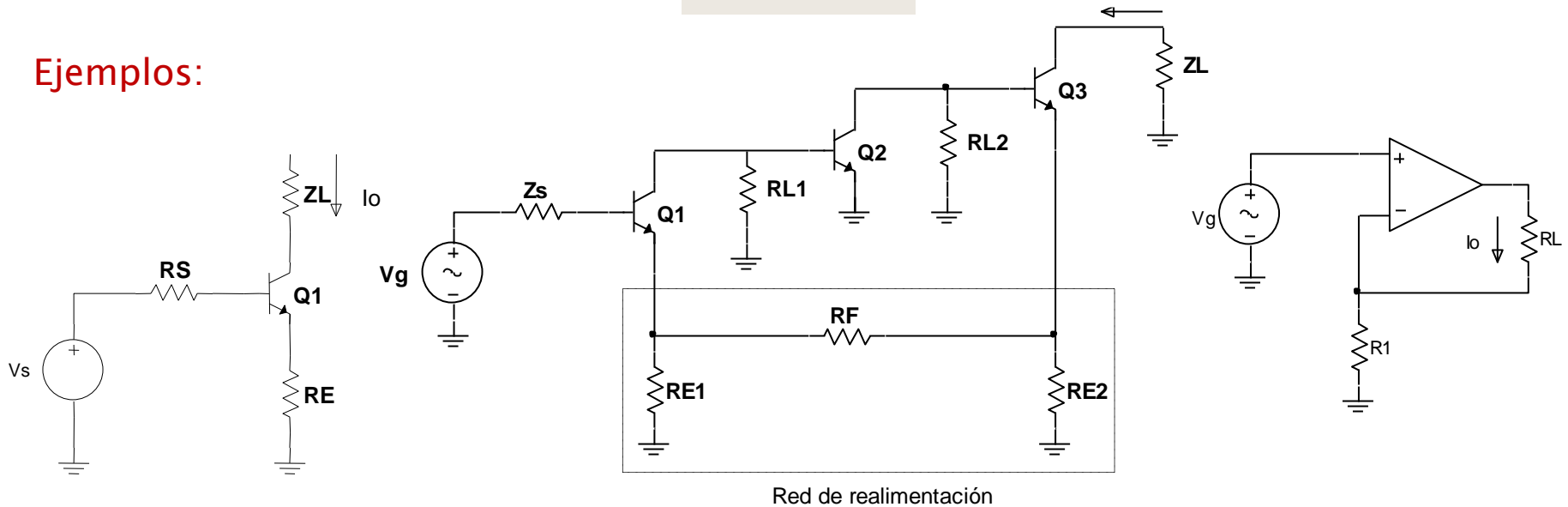
$$\frac{i_o}{i_s} \cong \frac{1}{1 + \frac{z_i}{z_s(1 + a_I \cdot \beta_I)}} \cdot \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I} \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_L}{z_o(1 + a_I \cdot \beta_I)}}$$

La topología paralelo-serie estabiliza la **ganancia de corriente** frente a variaciones de parámetros y no-linealidades del amplificador, como así también frente a las cargas externas.

TOPOLOGÍA SERIE-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-ADMITANCIA



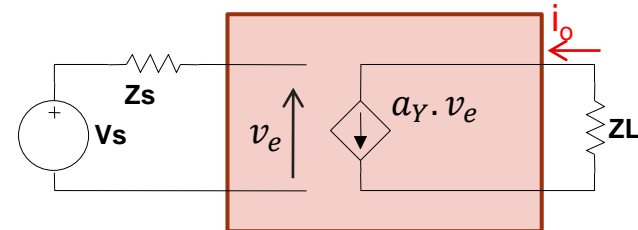
Ejemplos:



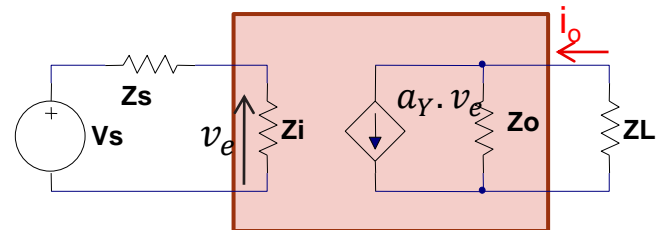
TOPOLOGÍA SERIE-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-ADMITANCIA

El **amplificador de trans-admitancia ideal** tiene una ganancia que es insensible a los efectos de carga, tanto a la entrada como a la salida.

$$\left. \begin{array}{l} z_i = \infty \\ z_o = \infty \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{i_o}{v_s} = a_Y$$

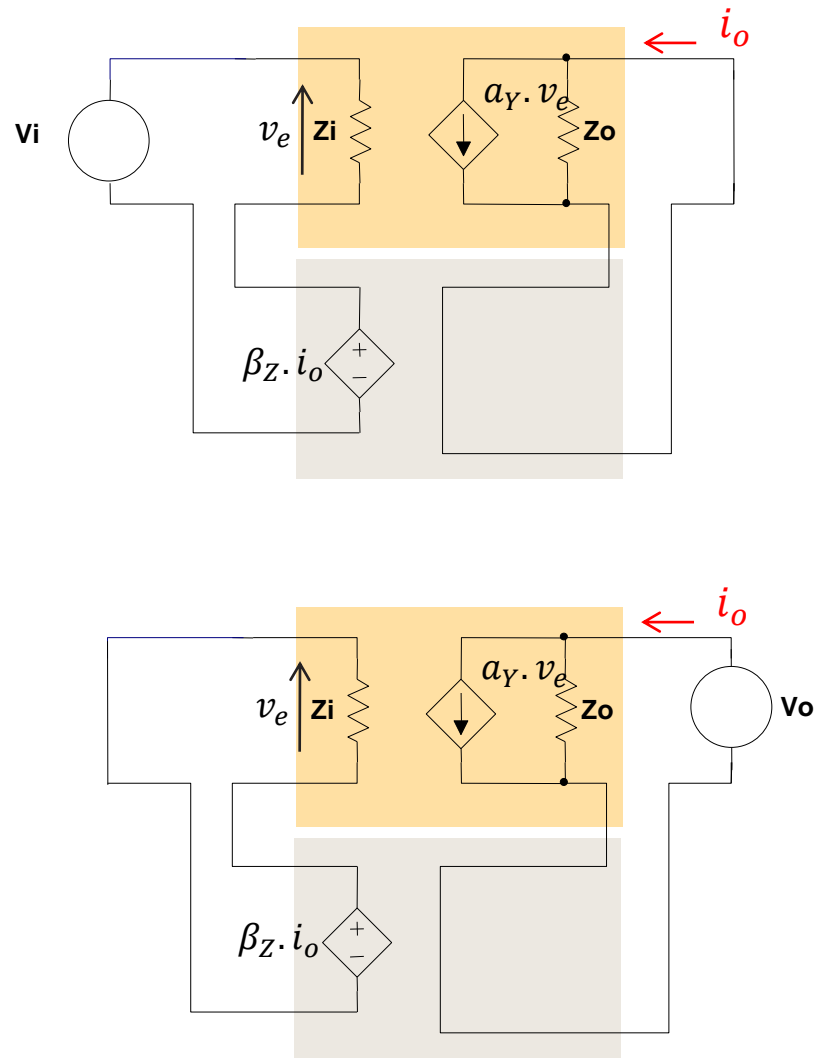


En un **amplificador de trans-admitancia**, con z_i y z_o finitas, la ganancia es afectada por dos divisores:



$$\frac{i_o}{v_s} = \frac{z_i}{z_s + z_i} \cdot a_Y \cdot \frac{z_o}{z_o + z_L} = \frac{1}{1 + \frac{z_s}{z_i}} \cdot a_Y \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_L}{z_o}}$$

TOPOLOGÍA SERIE-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-ADMITANCIA



Ganancia realimentada sin carga:

$$\left. \begin{aligned} i_o &= a_Y \cdot v_e \\ v_r &= \beta_Z \cdot i_o \\ v_e &= v_i - v_r \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$A_{Yr} \triangleq \frac{i_o}{v_i} = \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z}$$

Impedancia de entrada: $Z_{ir} \triangleq \frac{v_i}{i_i}$

$$\left. \begin{aligned} v_e &= i_i Z_i \\ v_i &= v_e + v_r \\ v_r &= \beta_Z \cdot i_o \\ i_o &= a_Y \cdot v_e \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$v_i = v_e(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$$

$$Z_{ir} \cong Z_i(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$$

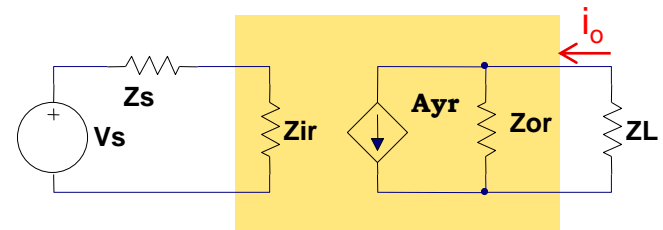
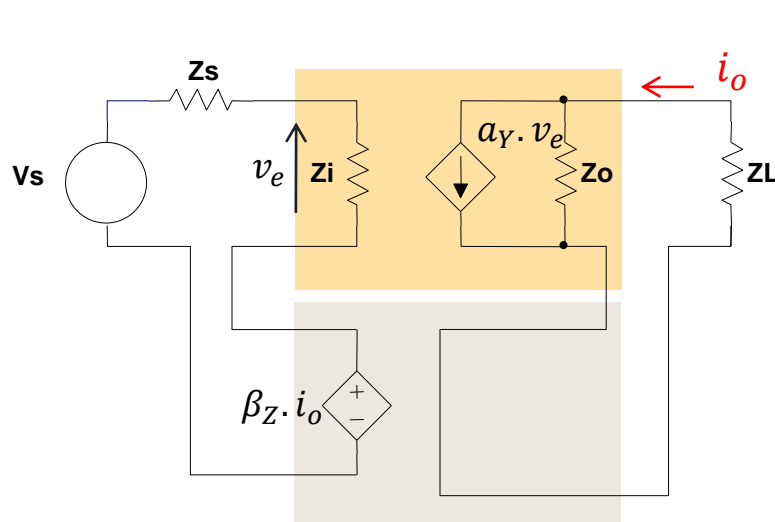
Impedancia de salida: $Z_{or} \triangleq \frac{v_o}{i_o}$

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_o}{Z_o} &= i_o - a_Y \cdot v_e \\ v_e &= -v_r \\ v_r &= \beta_Z \cdot i_o \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$v_o = i_o Z_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$$

$$Z_{or} \cong Z_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$$

TOPOLOGÍA SERIE-SERIE O AMPLIFICADOR REALIMENTADO DE TRANS-ADMITANCIA



$$A_{Yr} = \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z}$$

$$Z_{ir} \cong z_i(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$$

$$Z_{or} \cong z_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$$

$$\frac{i_o}{v_s} = \frac{1}{1 + \frac{Z_s}{Z_{ir}}} \cdot A_{Yr} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_L}{Z_{or}}}$$

$$\frac{i_o}{v_s} \cong \frac{1}{1 + \frac{Z_s}{z_i(1 + a_Y \cdot \beta_Z)}} \cdot \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z} \cdot \frac{1}{1 + \frac{Z_L}{z_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z)}}$$

La topología serie-serie estabiliza la **ganancia de trans-admitancia** frente a variaciones de parámetros y no-linealidades del amplificador, como así también frente a las cargas externas.

REDUCCIÓN DE LOS EFECTOS DE CARGA EN AMPLIFICADORES REALIMENTADOS

TOPOLOGÍA	Ganancia	Entrada	Salida
serie-paralelo (tensión)	$A_{Vr} = \frac{a_V}{1 + a_V \cdot \beta_V}$	$Z_{ir} = z_i(1 + a_V \cdot \beta_V)$	$Z_{or} = \frac{z_o}{(1 + a_V \cdot \beta_V)}$
paralelo-paralelo (transimpedancia)	$A_{Zr} = \frac{a_Z}{1 + a_Z \cdot \beta_Y}$	$Z_{ir} = \frac{z_i}{(1 + a_Z \cdot \beta_Y)}$	$Z_{or} = \frac{z_o}{(1 + a_Z \cdot \beta_Y)}$
paralelo-serie (corriente)	$A_{Ir} = \frac{a_I}{1 + a_I \cdot \beta_I}$	$Z_{ir} = \frac{z_i}{(1 + a_I \cdot \beta_I)}$	$Z_{or} = z_o(1 + a_I \cdot \beta_I)$
serie-serie (transadmitancia)	$A_{Yr} = \frac{a_Y}{1 + a_Y \cdot \beta_Z}$	$Z_{ir} = z_i(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$	$Z_{or} = z_o(1 + a_Y \cdot \beta_Z)$

✓ La realimentación estabiliza la ganancia correspondiente a la topología empleada frente a los efectos de carga sobre el amplificador.

Esta propiedad es utilizada en muchos casos para construir circuitos adaptadores de impedancia.