



Tema 1: Realimentación

1. Introducción

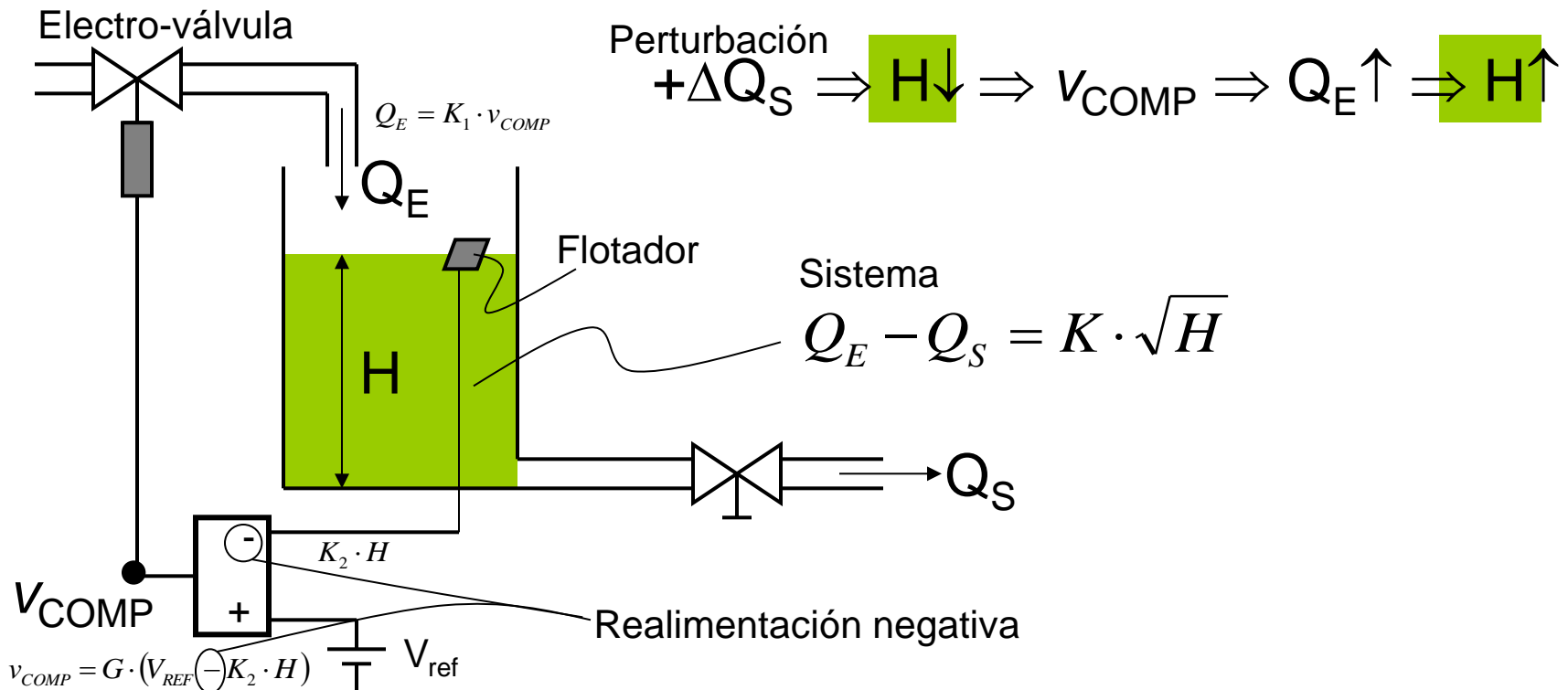
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación



Sistemas de control

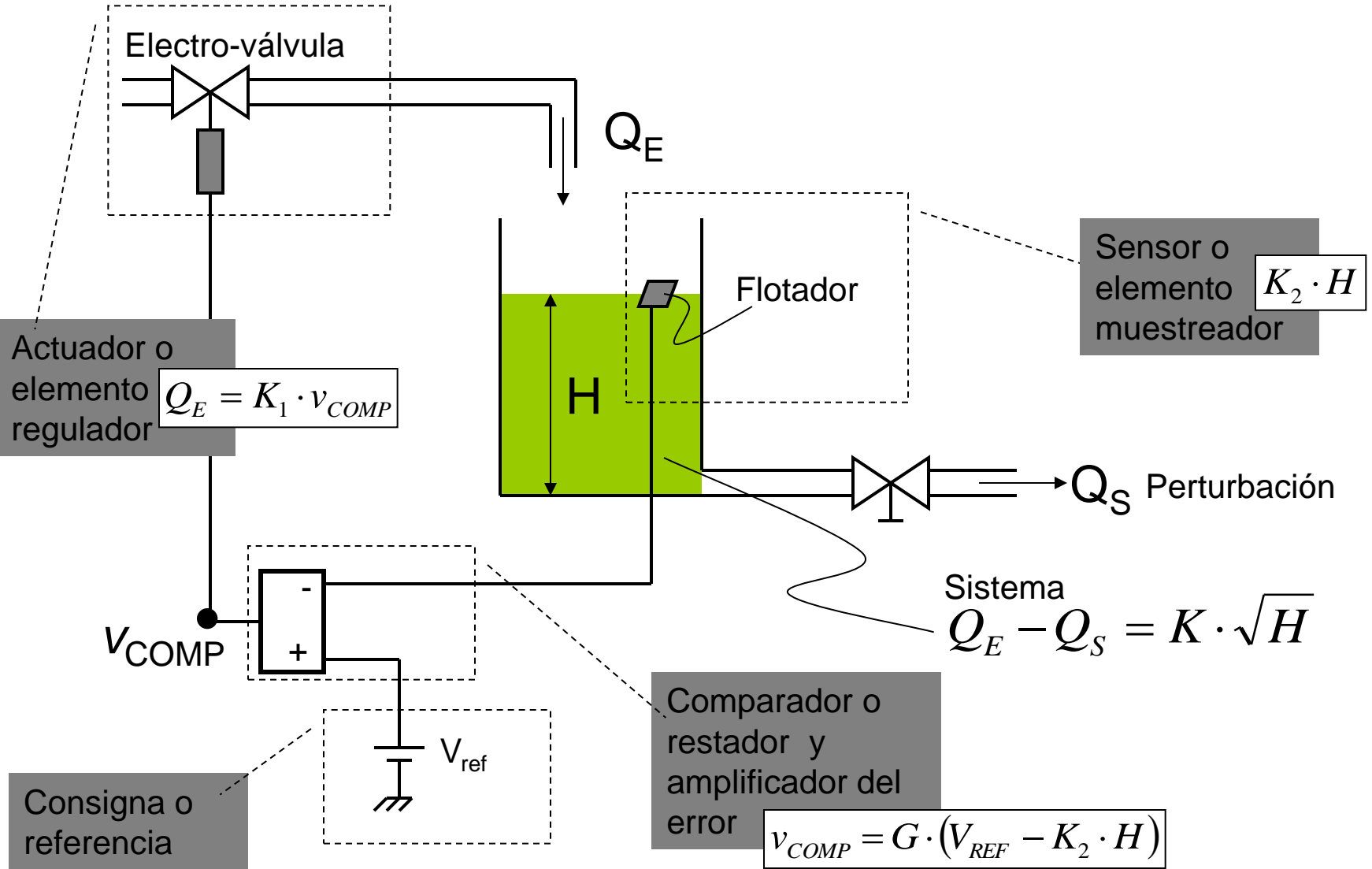
- Magnitudes físicas : temperatura, presión, altura de líquido en un depósito
- Robots
- Industria manufacturera
- Automóviles
- Transporte aéreo
- Sistemas biomédicos y control de sistemas biológicos “biofeedback”
- Sistemas socioeconómicos y políticos
- ...
- Circuitos electrónicos:
 - ✓ Amplificadores
 - ✓ Osciladores
 - ✓ Reguladores de tensión
 - ✓ Fuentes de alimentación y otros equipos de electrónica de potencia

“Se compara la salida del sistema con la salida deseada para el sistema y se actúa en consecuencia.... De esta forma se consigue que una perturbación en la variable a controlar se acaba debilitando hasta desaparecer”



Componentes de un sistema controlado en bucle cerrado

© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

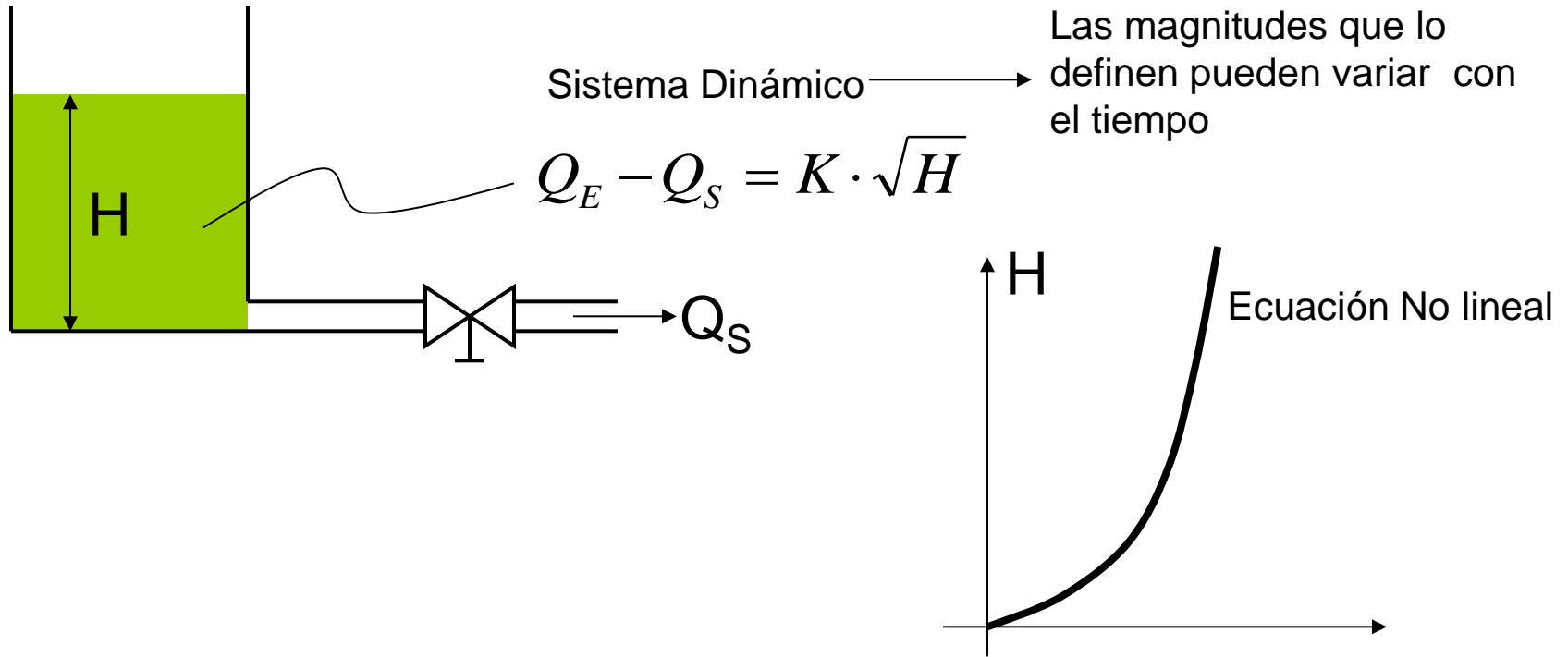


Objetivos de la realimentación negativa

- Seguir una consigna
 - Reducir el error
- } ...pero ¡DE FORMA ESTABLE!

Necesario Formalizar el estudio de la estabilidad . Se requiere por tanto:

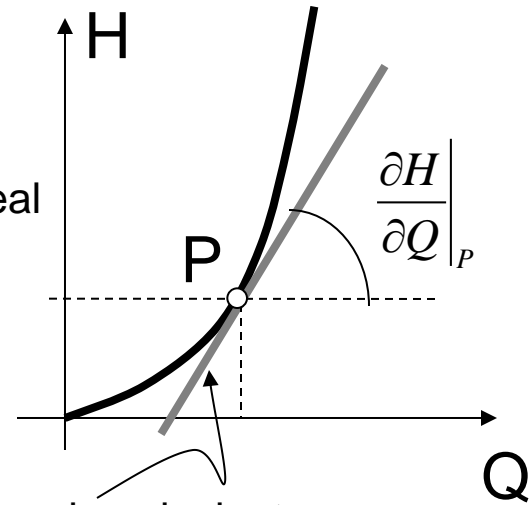
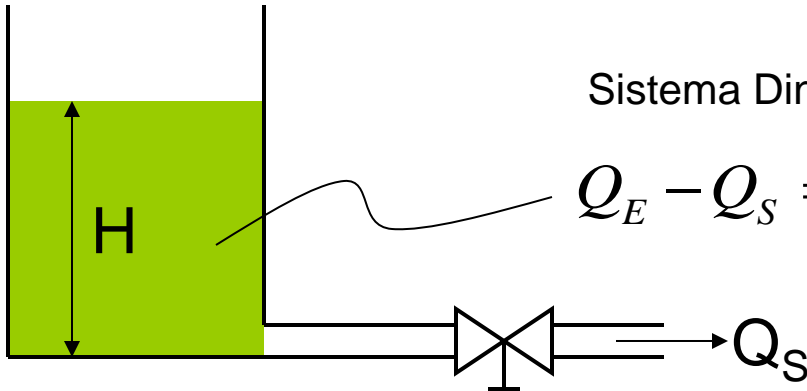
Modelado Matemático de Sistemas Dinámicos



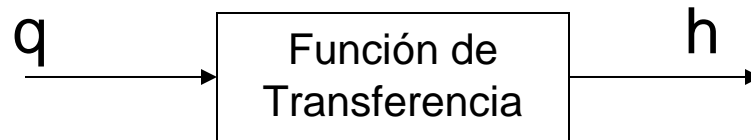
En la operación normal de muchos sistemas dinámicos ocurre alrededor de un punto de equilibrio (o punto de trabajo) y con unas señales (o desequilibrios con respecto a ese punto) pequeñas.

Es posible considerar por tanto:

Sistemas Lineales Equivalentes



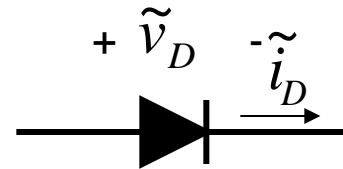
Sistema lineal equivalente



$$\frac{h}{q} = \frac{\partial H}{\partial Q} \Big|_P = \frac{2 \cdot H_P}{Q_P}$$

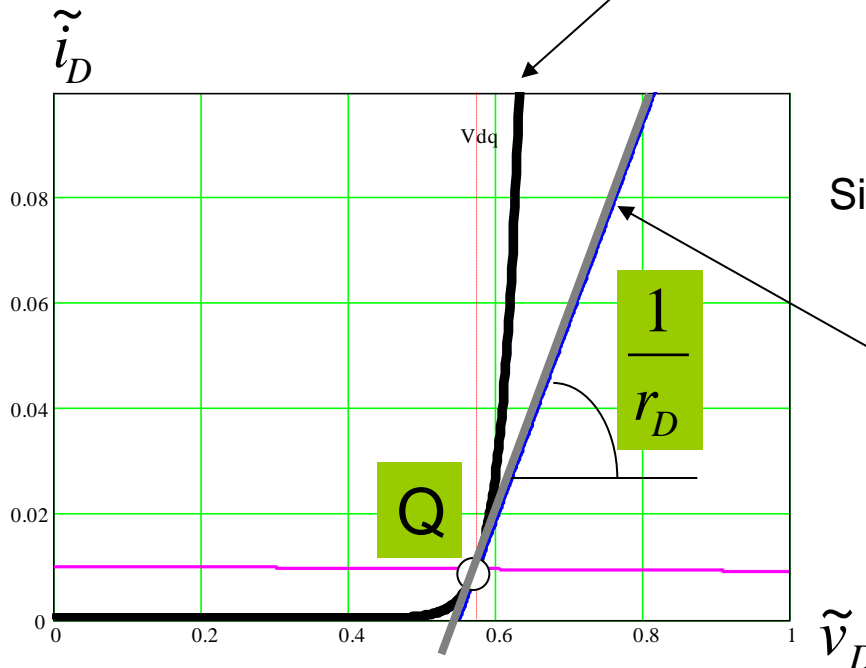
Un ejemplo electrónico:

Curva característica de un diodo



Sistema Dinámico, No lineal

$$\tilde{i}_D = I_S \cdot e^{\frac{\tilde{v}_D}{V_T}}$$

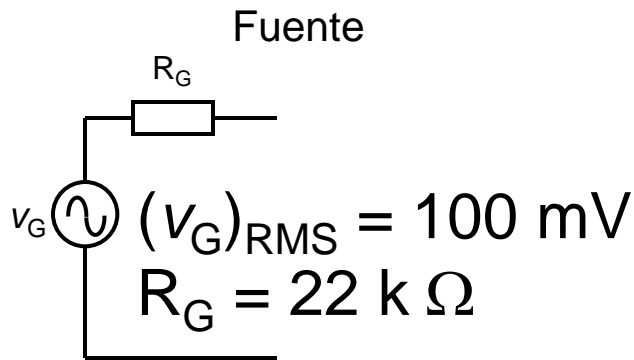


Sistema lineal equivalente

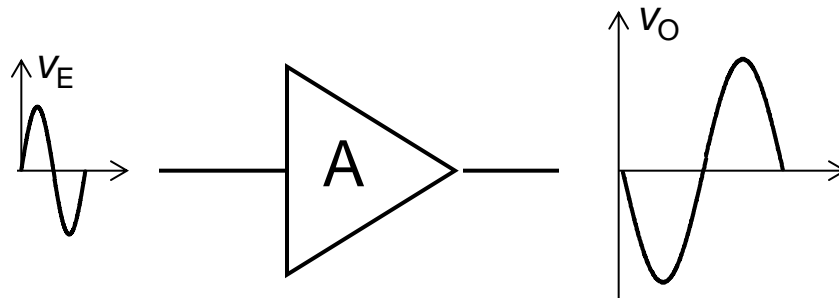
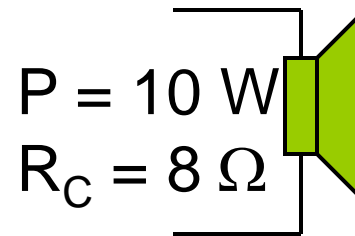
$$\frac{1}{r_D} = \left. \frac{\partial \tilde{i}_D}{\partial \tilde{v}_D} \right|_Q = \frac{I_{DQ}}{V_T}$$

1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación

Ejemplo: Lector de cassettes y altavoz

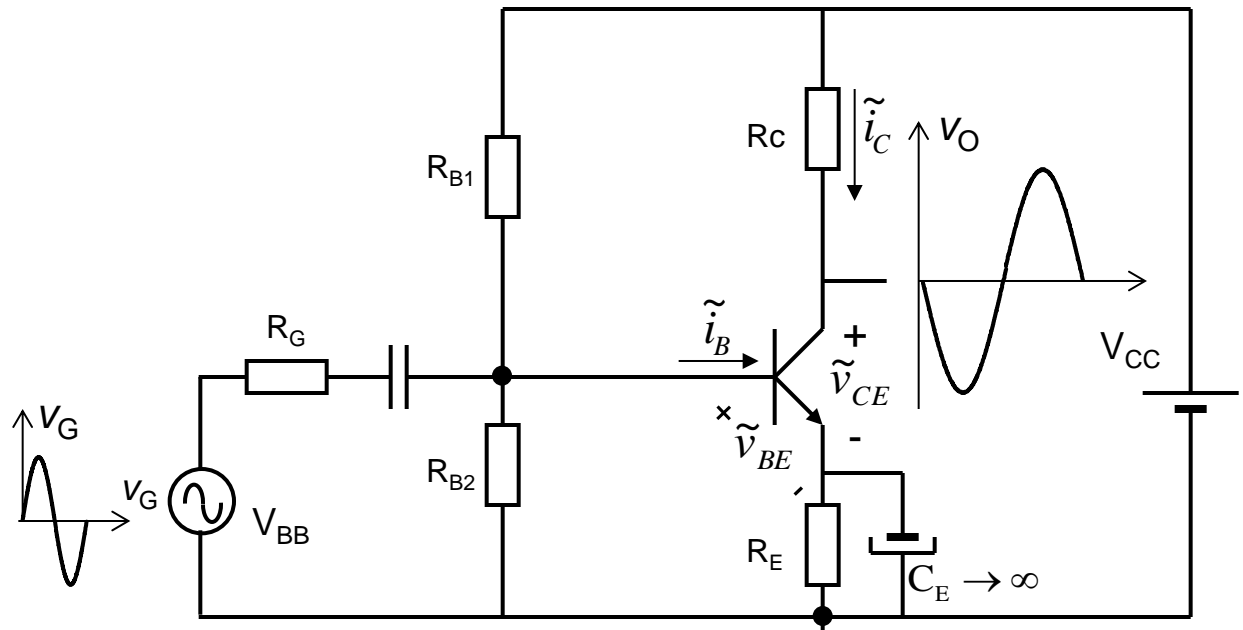
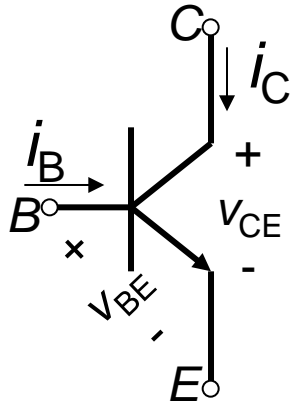
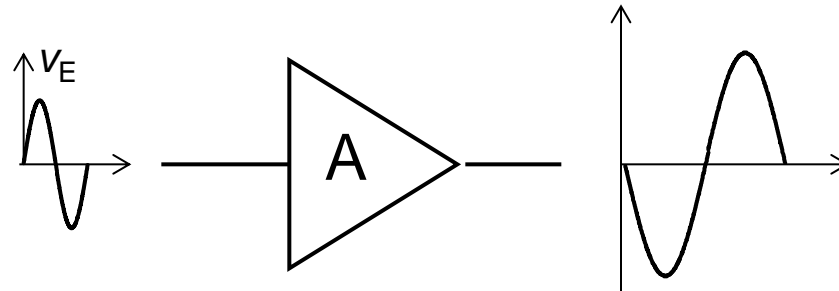


Carga Necesarios $8,9 \text{ V}_{RMS}$

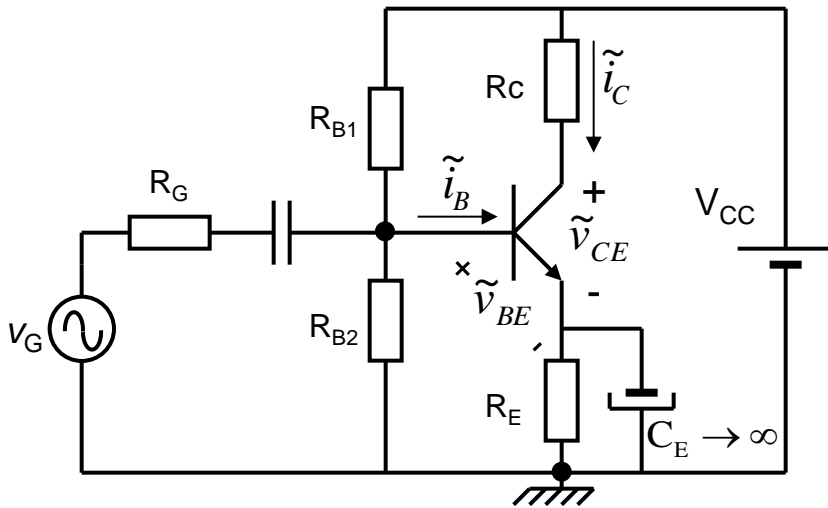


- La señal de salida debe seguir a la de entrada y amplificarla
- La señal de salida debe ser lo más inmune al ruido
- La señal de salida debe ser lo más inmune a las variaciones de los parámetros del amplificador

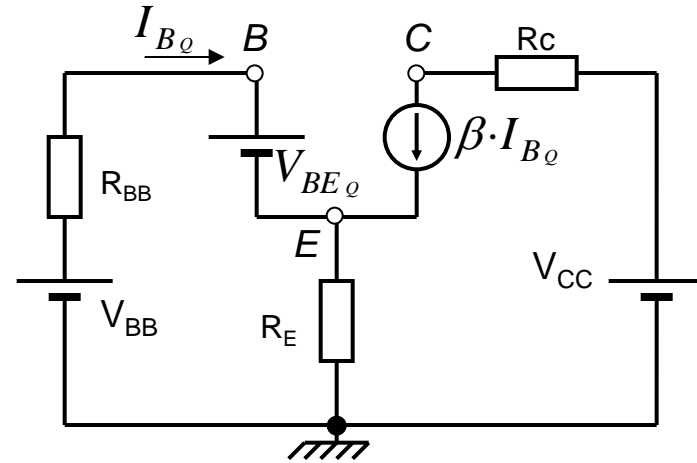
El Transistor Bipolar como amplificador (Config. emisor común)



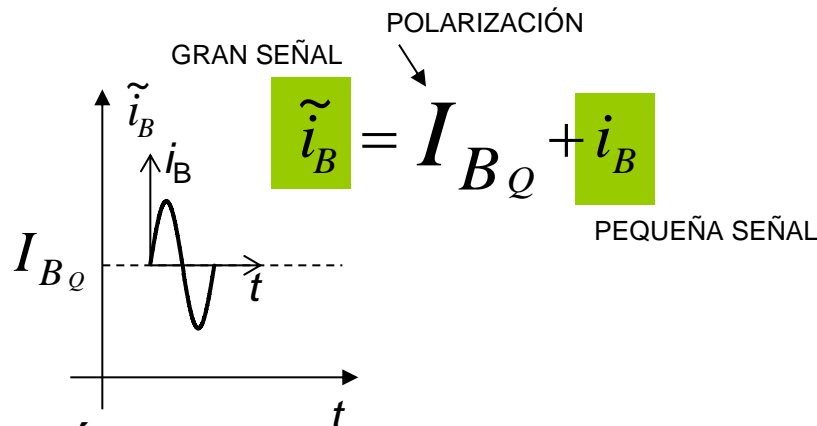
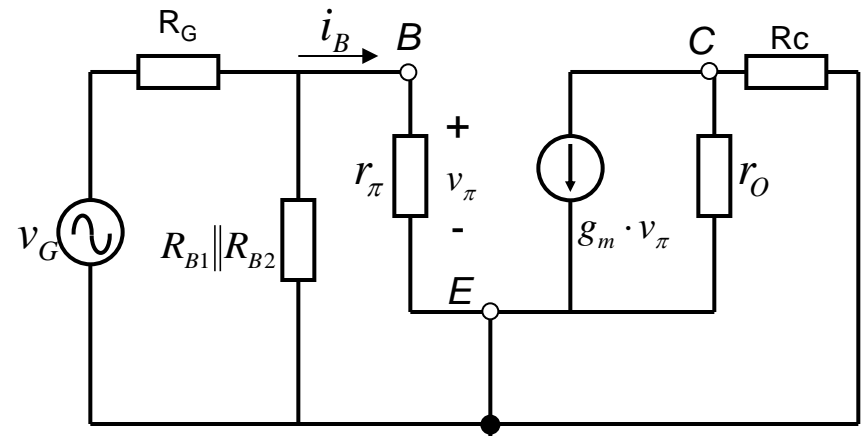
MODELO en GRAN SEÑAL



POLARIZACIÓN

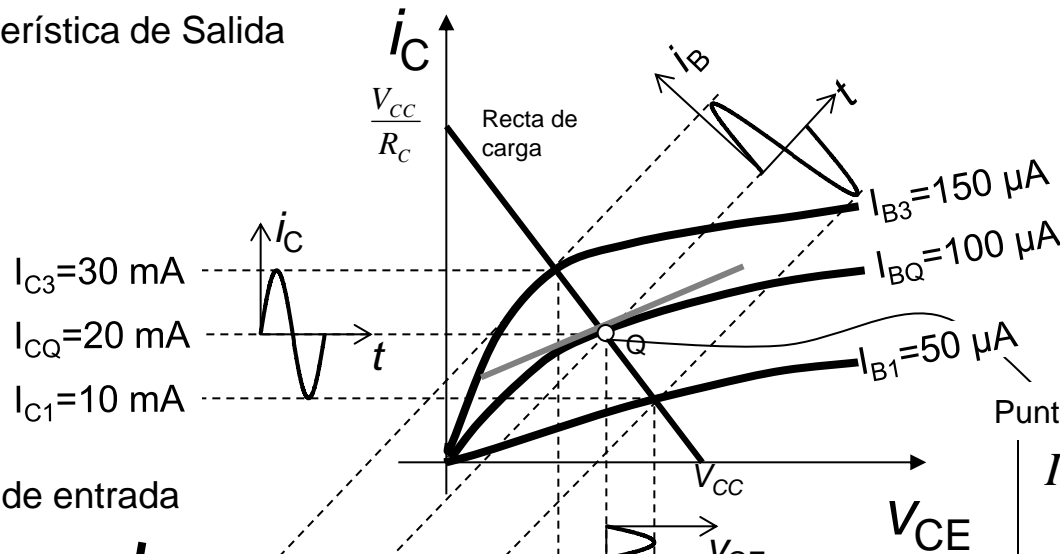


MODELO en PEQUEÑA SEÑAL

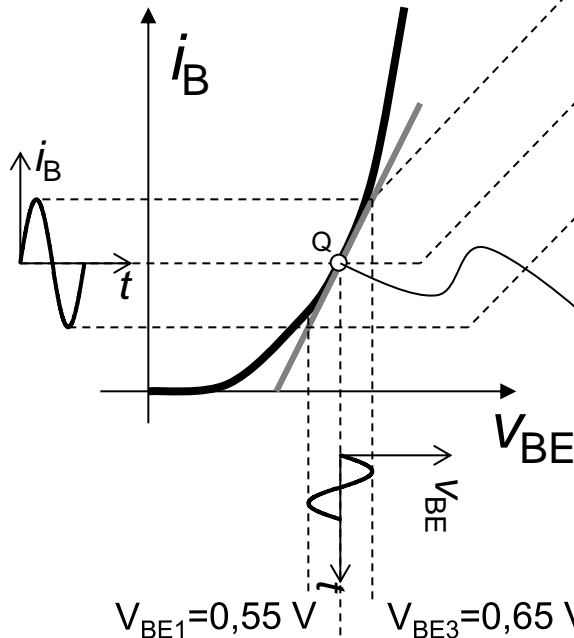


BJT: Características de entrada y de salida

Característica de Salida



Característica de entrada



Punto de trabajo, Q

$$\frac{1}{r_o} = \left. \frac{\partial \tilde{i}_c}{\partial \tilde{v}_{CE}} \right|_Q = \frac{I_{CQ}}{V_A}$$

$$g_m = \left. \frac{\partial \tilde{i}_c}{\partial \tilde{v}_{BE}} \right|_Q = \frac{I_{CQ}}{V_T}$$

Punto de trabajo Q

$$\frac{1}{r_\pi} = \left. \frac{\partial \tilde{i}_B}{\partial \tilde{v}_{BE}} \right|_Q = \frac{I_{BQ}}{V_T}$$

$$\tilde{i}_B = F_1(\tilde{v}_{BE})$$

$$\tilde{i}_C = F_2(\tilde{v}_{BE}, \tilde{v}_{CE})$$

© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

Limitaciones del amplificador en emisor común cuando trabaja en bucle abierto

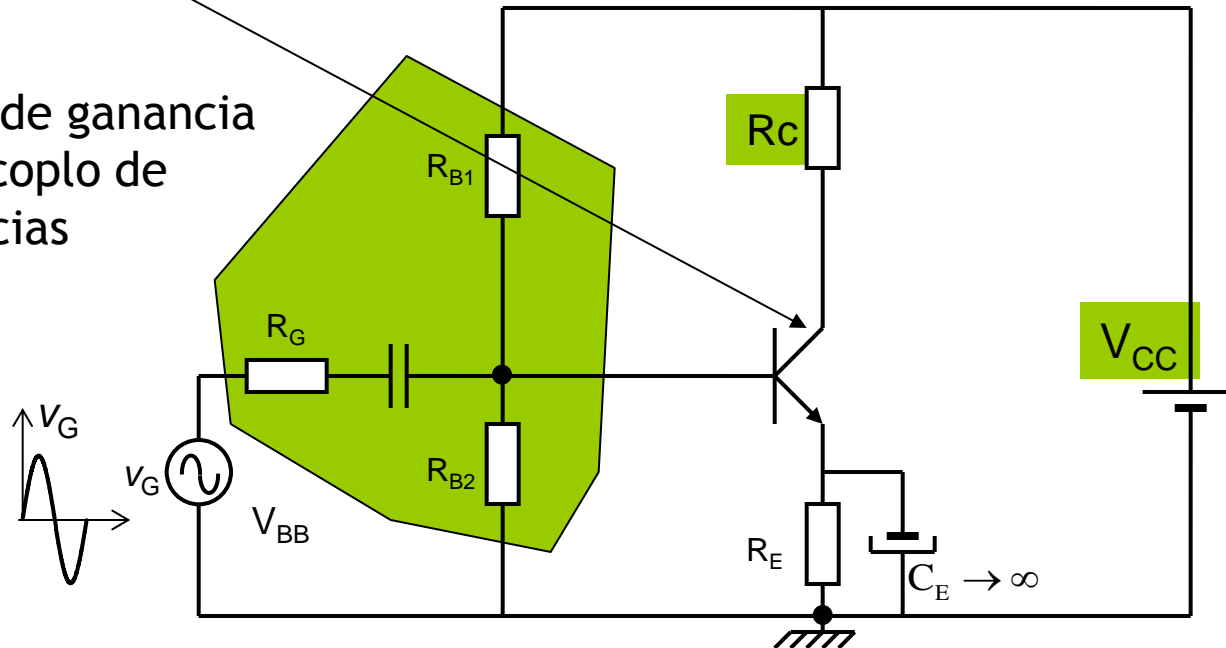
1 Ganancia no fija. Depende de g_m ,
y g_m depende de:

$$Q \begin{cases} V_{CC} \\ R_C \end{cases}$$

3 Ancho de Banda limitado

4 No linealidad del BJT

2 Pérdidas de ganancia por desacoplo de impedancias



Limitaciones del amplificador en emisor común cuando trabaja en bucle abierto

OBJETIVOS AMPLIFICACIÓN

- La señal de salida debe seguir a la de entrada y amplificarla
- La señal de salida debe ser lo más inmune al ruido
- La señal de salida debe ser lo más inmune a las variaciones de los parámetros del amplificador

LIMITACIONES Emisor común

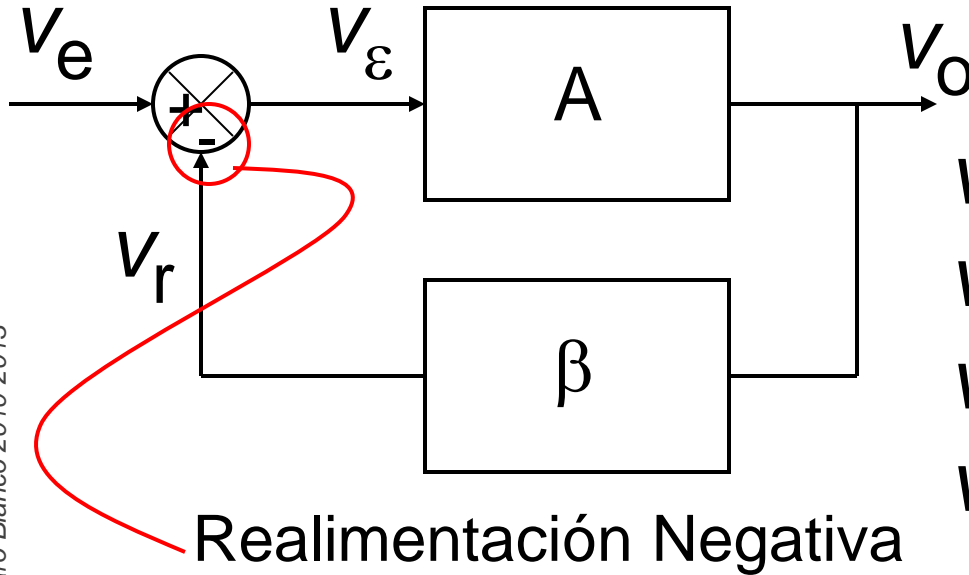
- 1 Ganancia no fija. Depende de g_m ,
y g_m depende de:

$$Q \left\{ \begin{array}{l} V_{CC} \\ R_C \end{array} \right.$$

- 2 Pérdidas de ganancia por desacoplo de impedancias
- 3 Ancho de Banda limitado
- 4 No linealidad del BJT

¿ Puede ayudar la realimentación ?

Amplificador ideal de tensión Realimentado negativamente



V_e = Tensión de entrada
 V_ε = Tensión de error
 V_r = Tensión de realimentación
 V_o = Tensión de salida

- Ganancia en bucle cerrado \rightarrow
- Requisito $A \cdot \beta > 1$
- En muchos casos, se cumple:

$$G = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

$$A \cdot \beta \gg 1 \Rightarrow G \approx \frac{1}{\beta}$$



Efectos de la realimentación negativa en amplificadores

A cambio de una reducción de ganancia se obtienen importantes contraprestaciones:

El amplificador tiende hacia sus características ideales:
Reducción de la sensibilidad de la ganancia en bucle abierto:

- Mejora (reducción) de la sensibilidad de la ganancia.
- Mejora (reducción) de la distorsión y otras perturbaciones
- Mejora de las impedancias de entrada y salida
- Mejora (aumento) del ancho de banda.

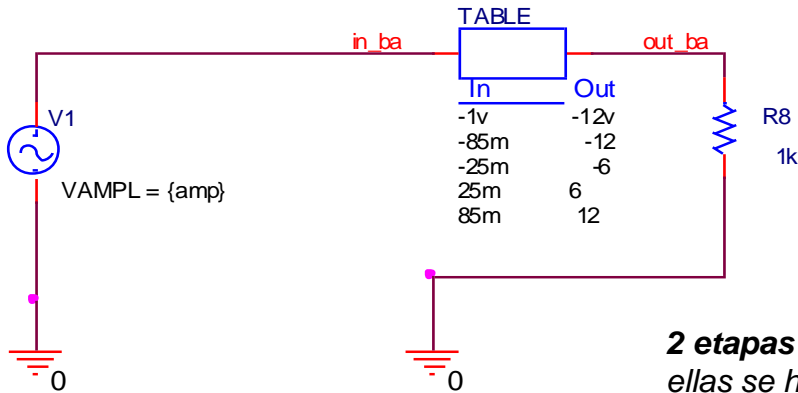
El circuito puede llegar a **oscilar**

Efecto de la realimentación negativa sobre la no linealidad del amplificador

PARAMETERS:

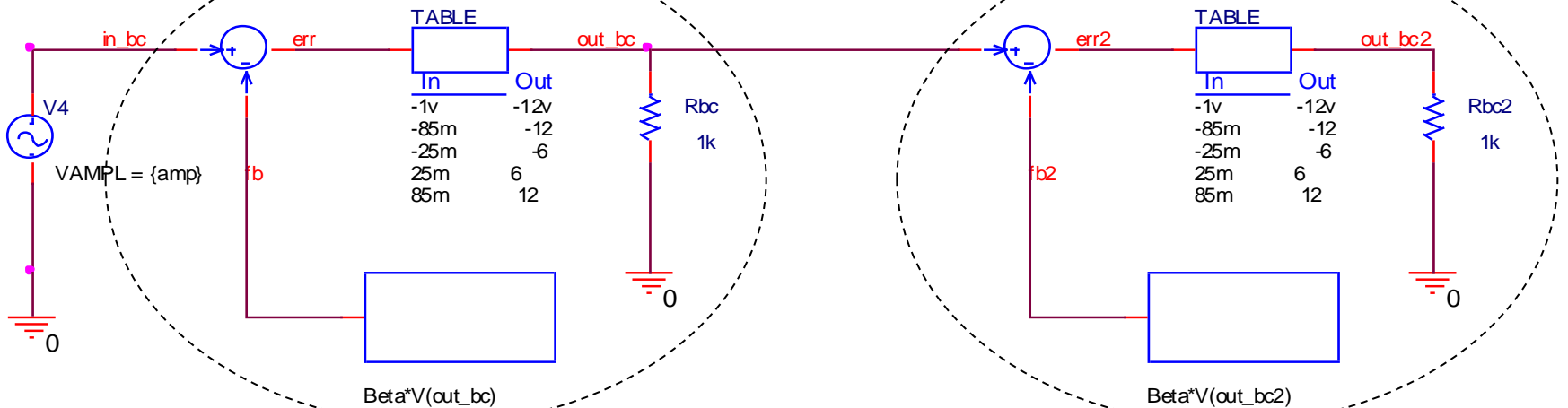
V = 10
Beta = 60.35m
amp = 100m

Simulación con PSpice



Etapa única no lineal (La ganancia depende del nivel de la señal. Implementación mediante Look-up table)

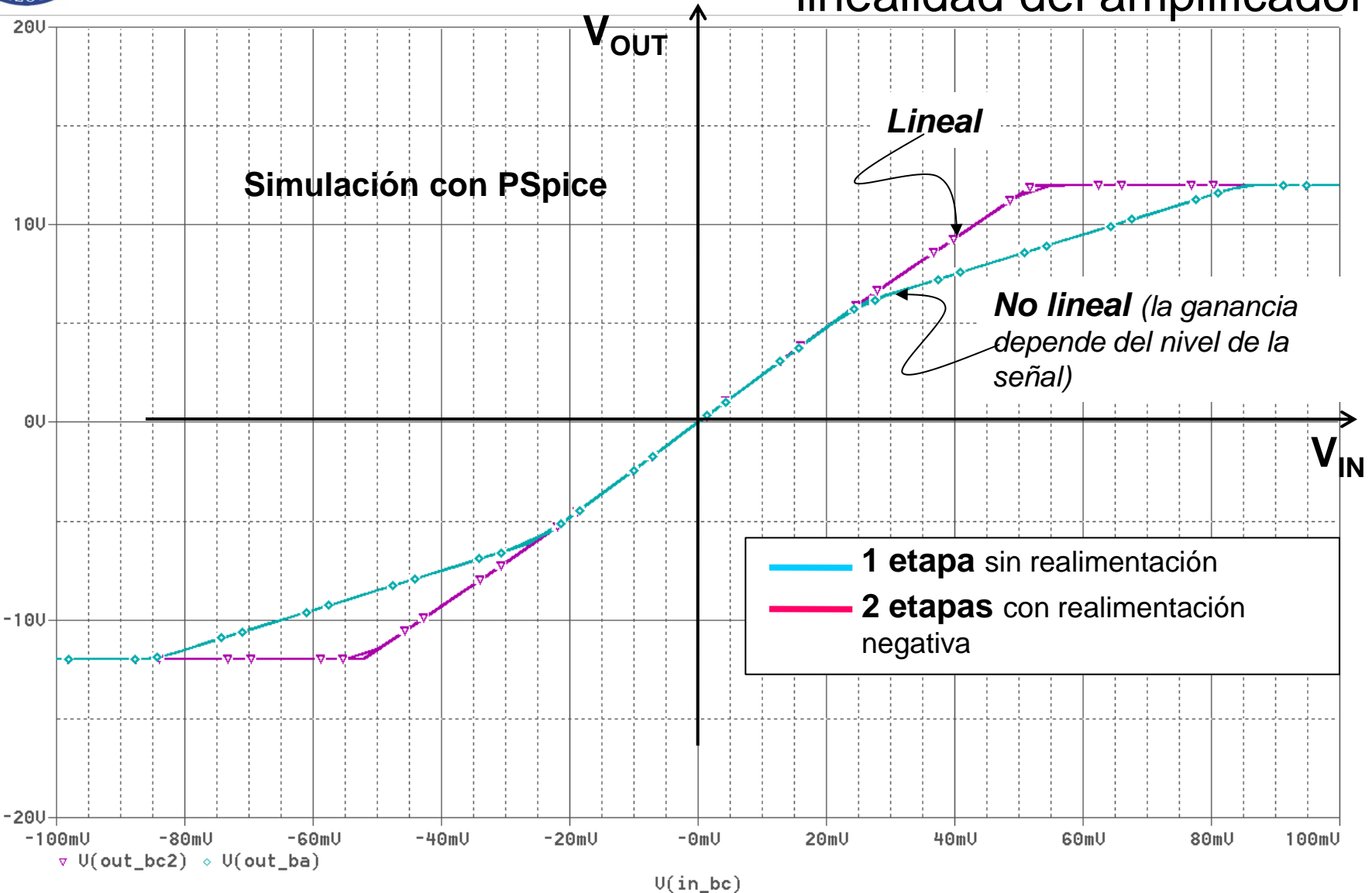
2 etapas idénticas conectadas en cascada. En cada una de ellas se ha aplicado realimentación negativa sobre el amplificador no lineal de partida



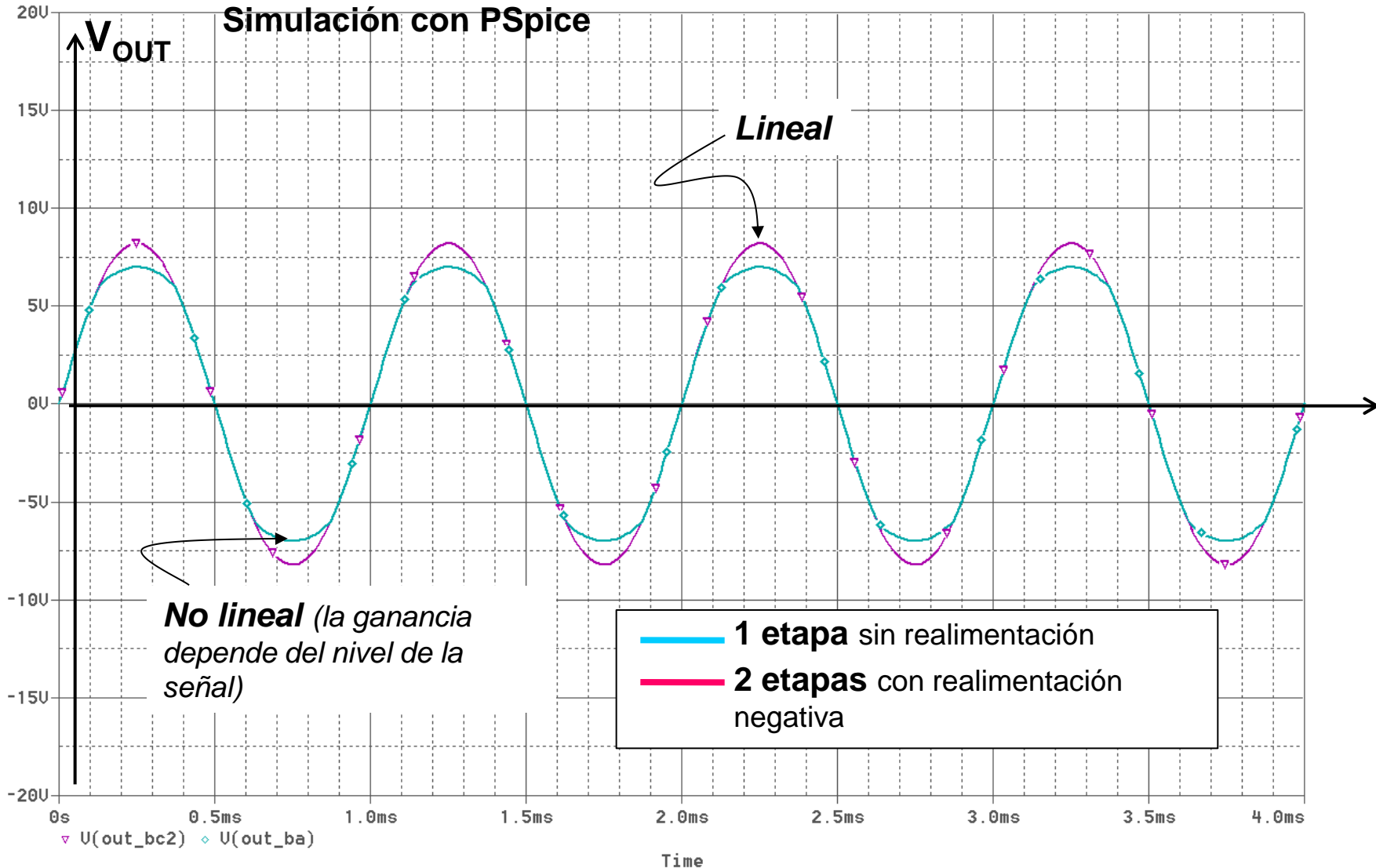
Beta*V(out_bc)

Beta*V(out_bc2)

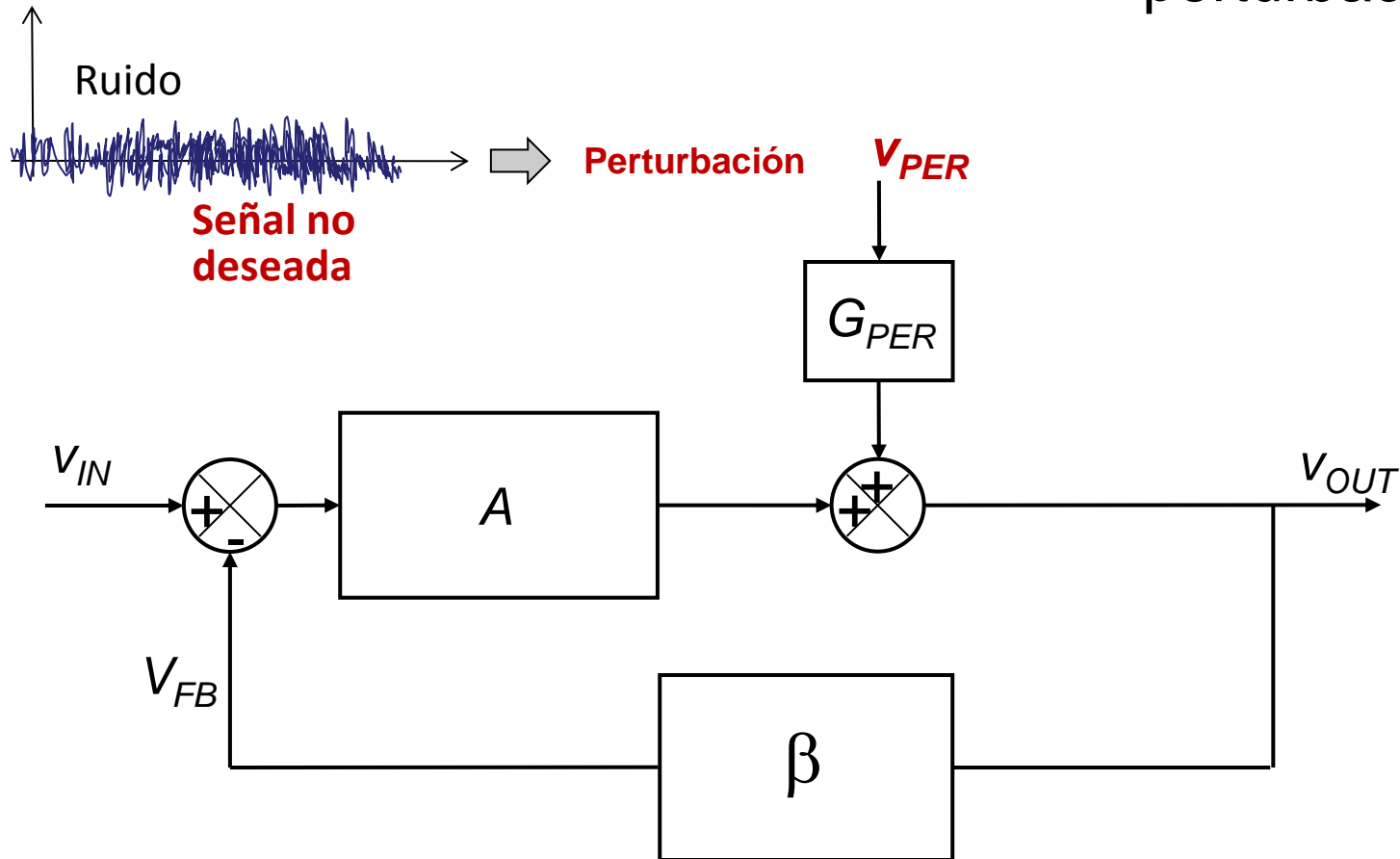
Efecto de la realimentación negativa sobre la no linealidad del amplificador



Efecto de la realimentación negativa sobre la no linealidad del amplificador



Efecto de la realimentación negativa sobre las perturbaciones

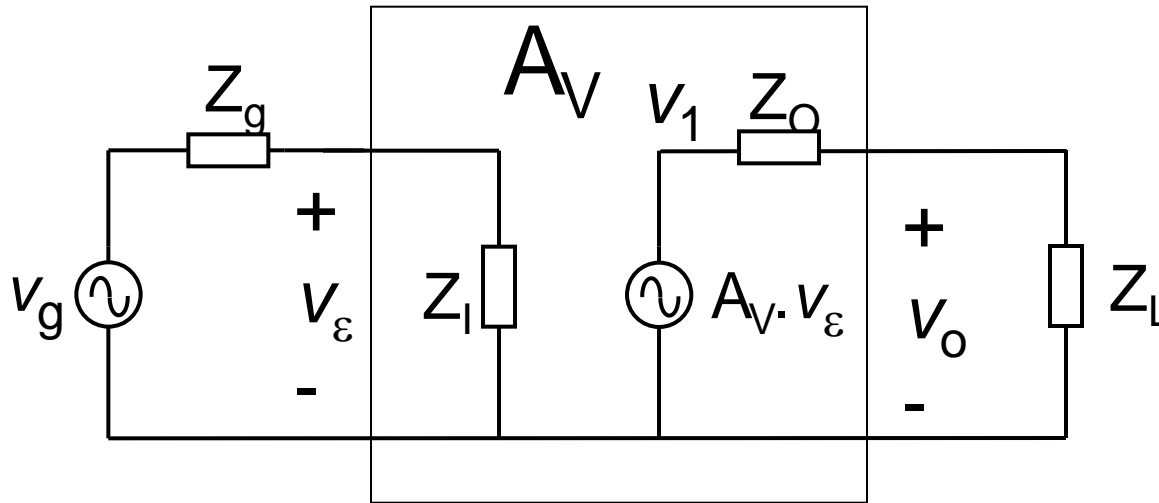


$$v_O = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} \cdot v_{IN} + \frac{G_{PER}}{1 + A \cdot \beta} \cdot v_{PER}$$

El efecto sobre la tensión de salida de la perturbación (e.j. ruido), se reduce por un factor $(1+A \cdot B)$

1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación

Efecto de las impedancias de entrada y salida. Amplificador de tensión



$$G = \frac{v_o}{v_g} = \frac{v_o}{v_1} \cdot \frac{v_1}{v_\varepsilon} \cdot \frac{v_\varepsilon}{v_g} = \frac{Z_L}{Z_O + Z_L} \cdot A_V \cdot \frac{Z_I}{Z_I + Z_g} \approx A_V$$

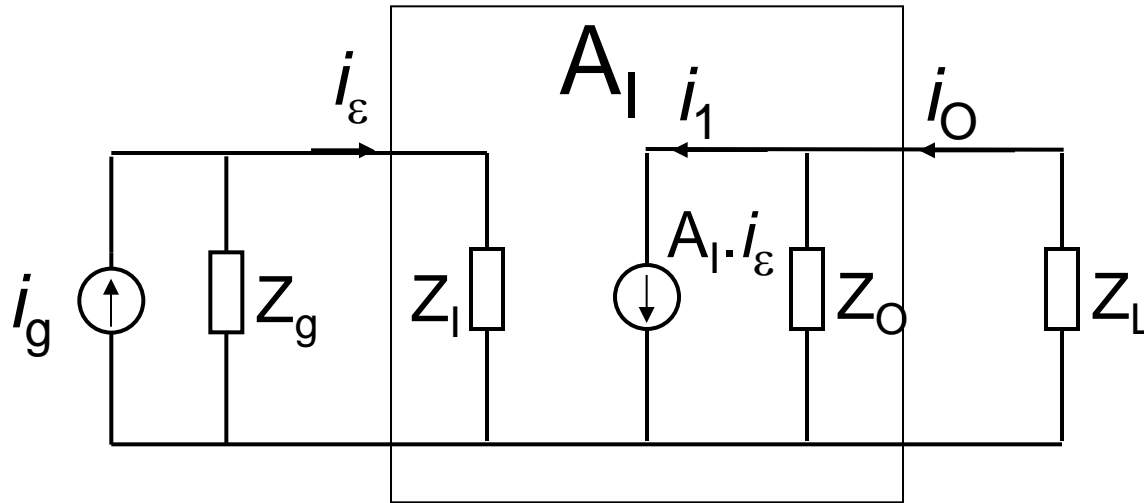
Si $Z_I \rightarrow \infty$ y $Z_O \rightarrow 0$

↓
1

↓
1



Efecto de las impedancias de entrada y salida. Amplificador de corriente



$$G_I = \frac{i_o}{i_g} = \frac{i_o}{i_1} \cdot \frac{i_1}{i_\epsilon} \cdot \frac{i_\epsilon}{i_g} = \frac{Z_O}{Z_O + Z_L} \cdot A_I \cdot \frac{Z_g}{Z_I + Z_g} \approx A_I$$

Si $Z_I \rightarrow 0$ y $Z_O \rightarrow \infty$

1

1



1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación

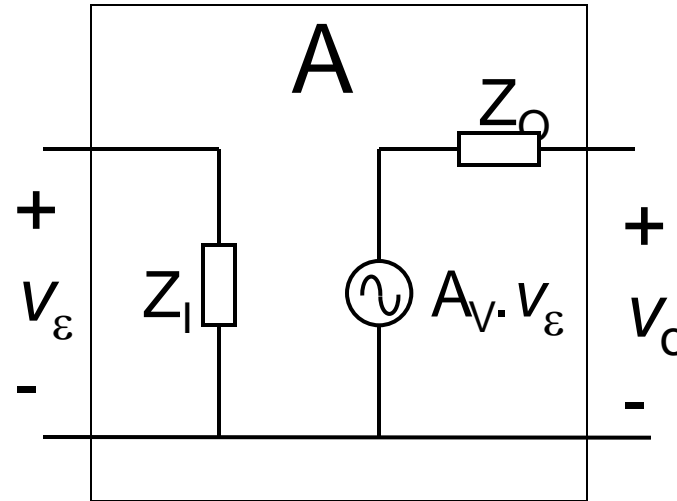
Topologías de amplificadores ideales.

Amplificador de Ideal de Tensión

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$A_V = \frac{v_O}{v_\varepsilon}$$

[Adimensional]



CONDICIONES IDEALES

- $Z_i \rightarrow \infty$
- $Z_o \rightarrow 0$
- A_V constante
para todo el rango de frecuencias

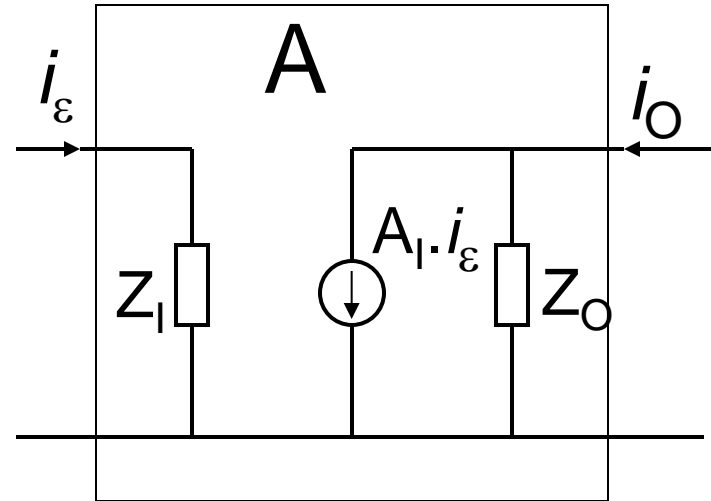
Topologías de amplificadores ideales.

Amplificador de Ideal de Corriente

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$A_I = \frac{i_O}{i_\varepsilon}$$

[Adimensional]



CONDICIONES IDEALES

- $Z_I \rightarrow 0$
- $Z_O \rightarrow \infty$
- A_I constante
para todo el rango de
frecuencias

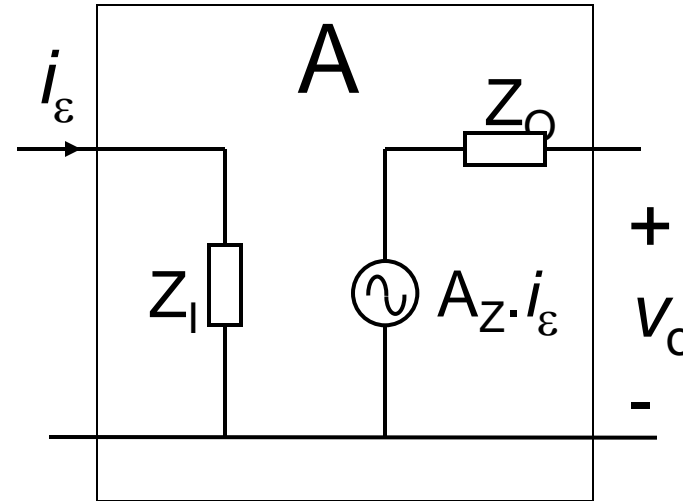
Topologías de amplificadores ideales.

Amplificador de Ideal de Transimpedancia

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$A_Z = \frac{v_o}{i_\varepsilon}$$

[Ω o V/mA]



CONDICIONES IDEALES

- $Z_i \rightarrow 0$
- $Z_o \rightarrow 0$
- A_Z constante
para todo el rango de
frecuencias

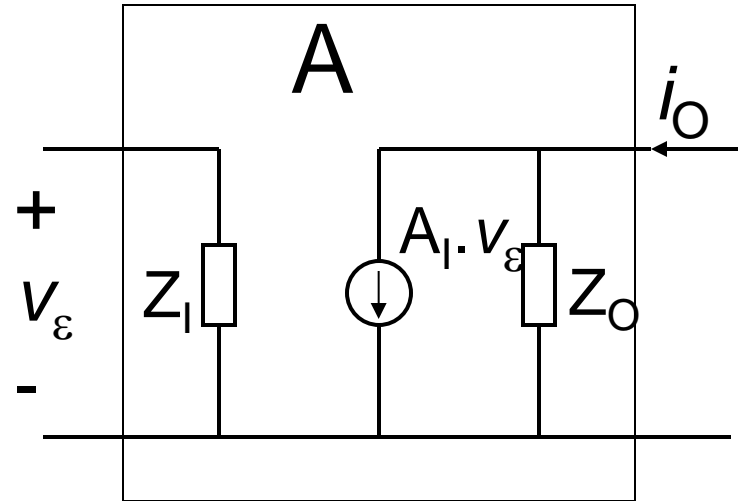
Topologías de amplificadores ideales.

Amplificador de Ideal de Transadmitancia

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$A_Y = \frac{i_O}{v_\varepsilon}$$

[Ω^{-1} o mA/V]

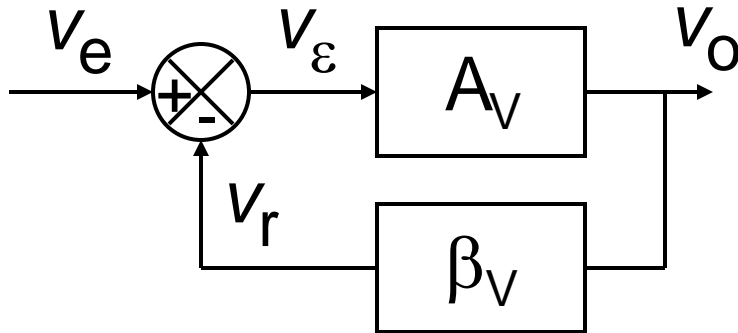


CONDICIONES IDEALES

- $Z_I \rightarrow \infty$
- $Z_O \rightarrow \infty$
- A_Y constante
para todo el rango de frecuencias

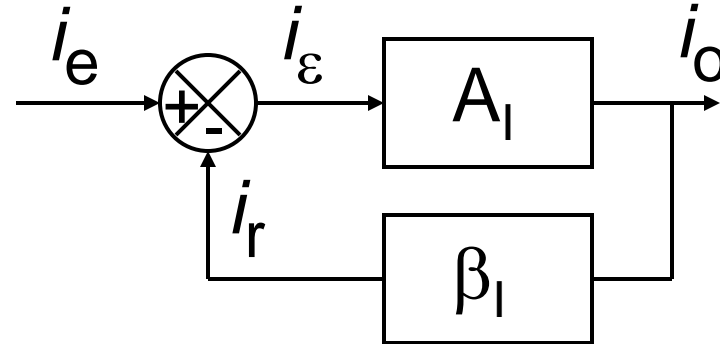
1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
- 5. Topologías de amplificadores realimentados ideales**
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación

TRANSTENSIÓN



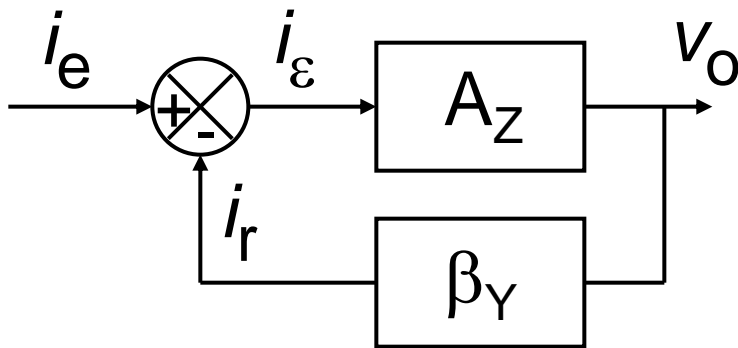
$$G_V = \frac{v_o}{v_e} = \frac{A_V}{1 + A_V \cdot \beta_V} \quad [\text{V/V}]$$

TRANSCORRIENTE



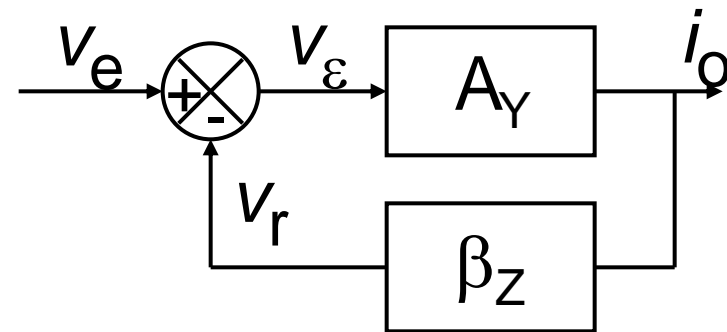
$$G_I = \frac{i_o}{i_e} = \frac{A_I}{1 + A_I \cdot \beta_I} \quad [\text{A/A}]$$

TRANSIMPEDANCIA



$$G_Z = \frac{v_o}{i_e} = \frac{A_Z}{1 + A_Z \cdot \beta_Y} \quad [\Omega]$$

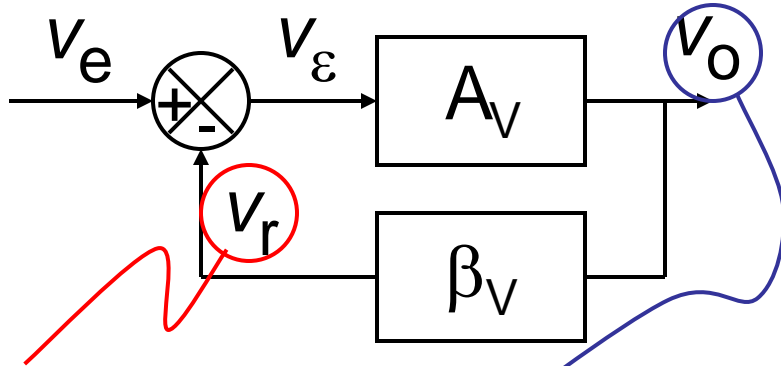
TRANSADMITANCIA



$$G_Y = \frac{i_o}{v_e} = \frac{A_Y}{1 + A_Y \cdot \beta_Z} \quad [\Omega^{-1}]$$

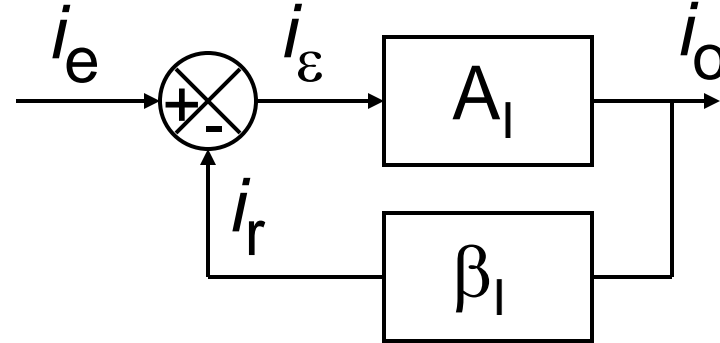
Topologías de circuitos realimentados

TRANSTENSIÓN



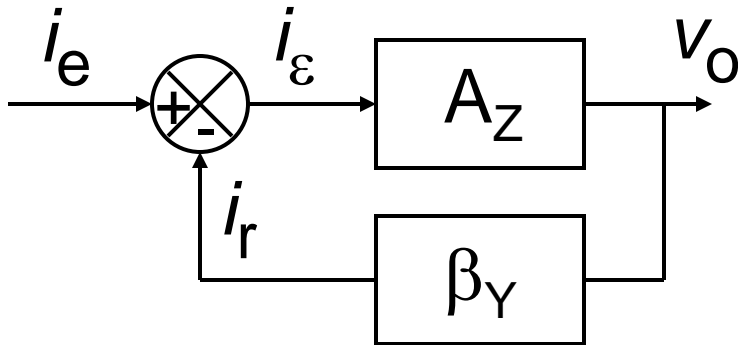
*Comparo Tensión en la entrada
Realimento tensión de la salida*

TRANSCORRIENTE



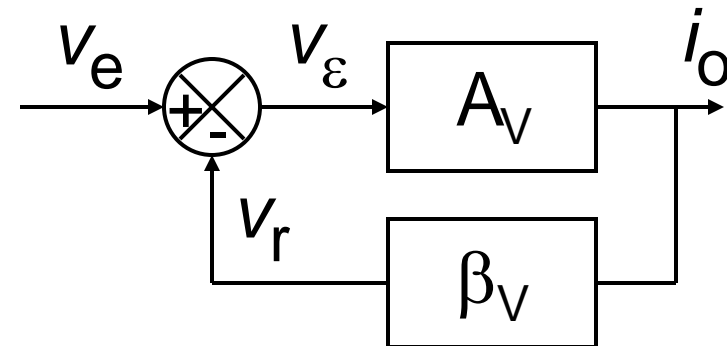
*Comparo Corriente en la entrada
Realimento Corriente de la salida*

TRANSIMPEDANCIA

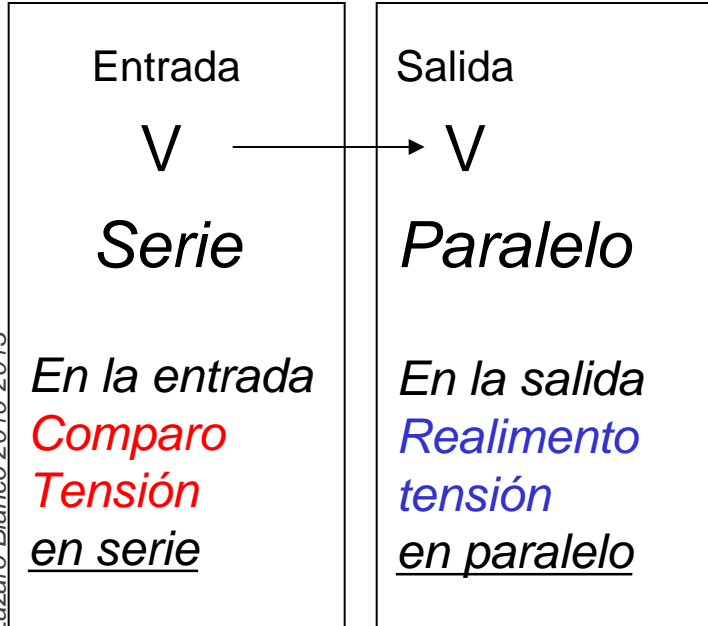


*Comparo Corriente en la entrada
Realimento Tensión de la salida*

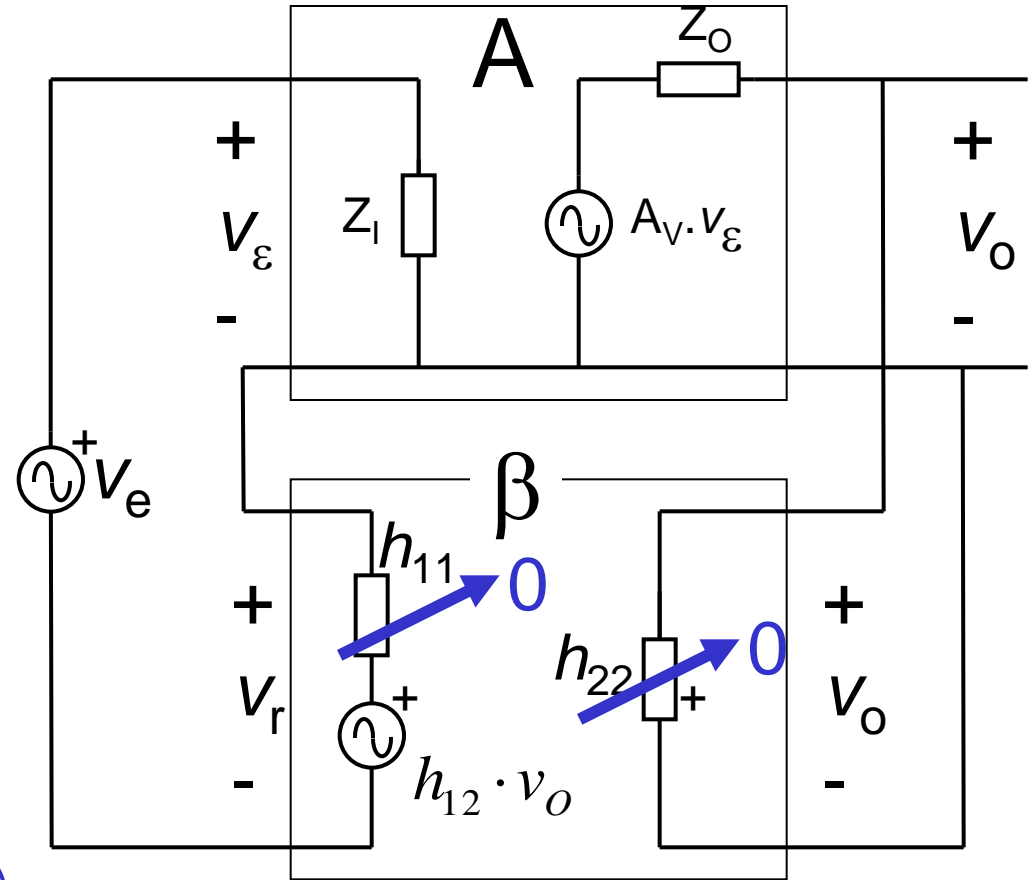
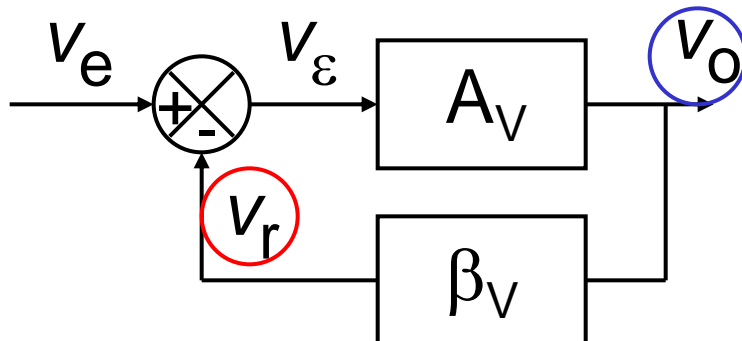
TRANSADMITANCIA



*Comparo Tensión en la entrada
Realimento Corriente de la salida*



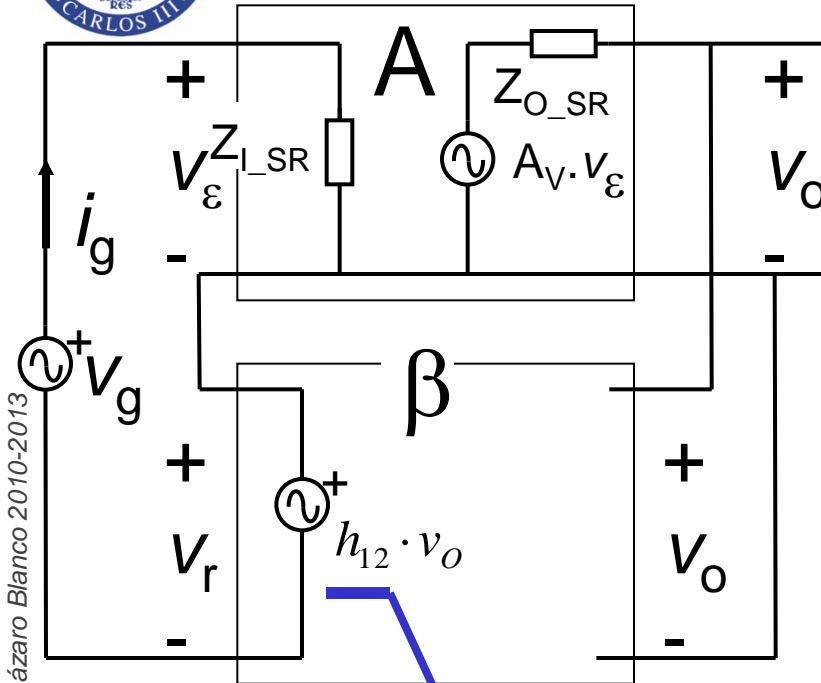
TRANSTENSIÓN



β IDEAL

$$\beta = \begin{bmatrix} 0 & \beta_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013



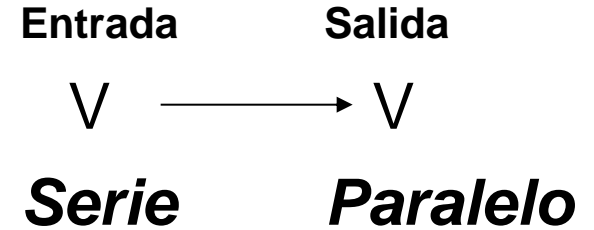
© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

“Parámetros h ”

$$\beta_V = h_{12}$$

β IDEAL

$$\beta = \begin{bmatrix} 0 & \beta_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$



GANANCIA EN BUCLE CERRADO

$$G_V = \frac{v_o}{V_E} = \frac{A_V}{1 + A_V \cdot \beta_V}$$

IMPEDANCIA DE ENTRADA CON REALIMENTACIÓN

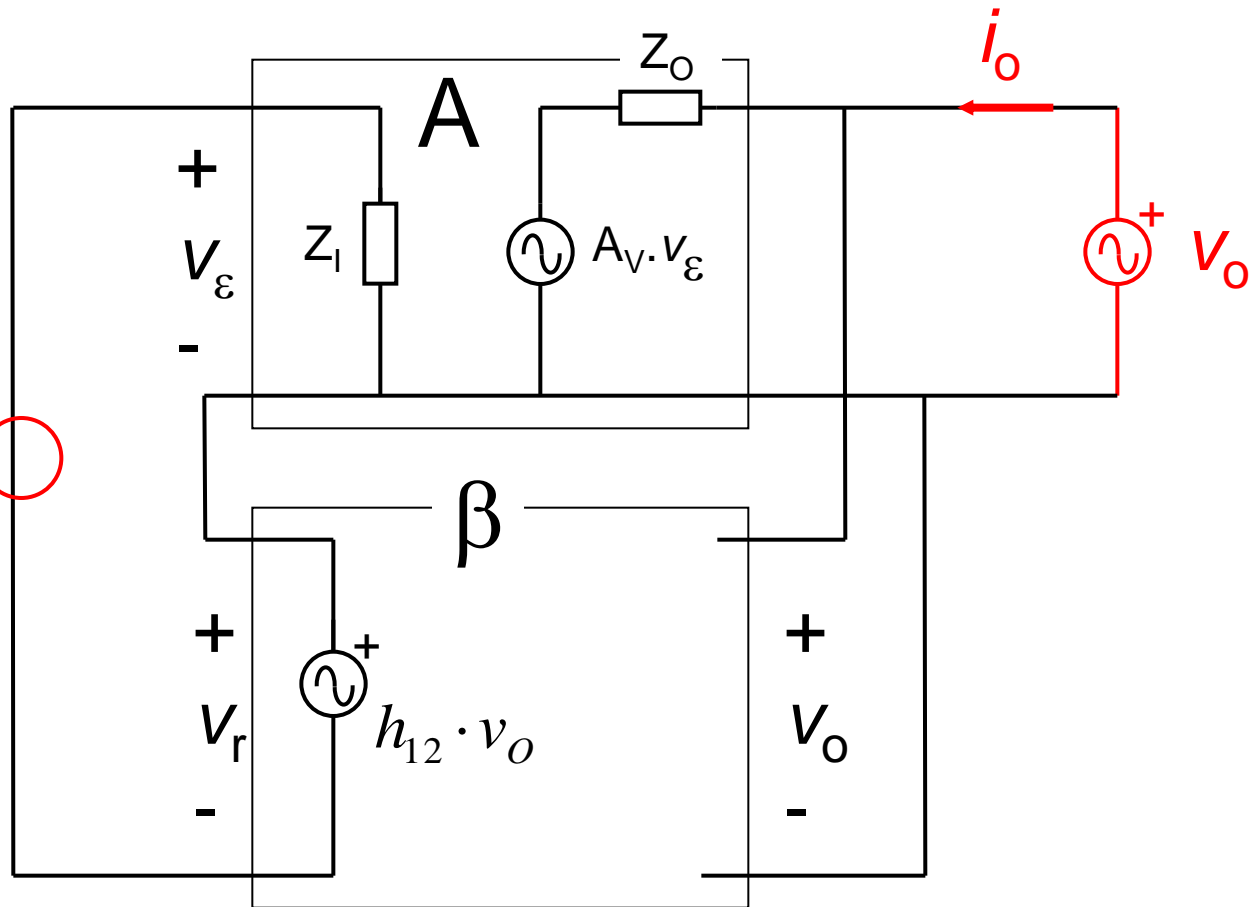
$$Z_{iCR} = \frac{v_g}{i_g} = Z_I \cdot (1 + A_V \cdot \beta_V)$$

IMPEDANCIA DE SALIDA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{oCR} = \frac{v_o}{i_o} = \frac{Z_o}{(1 + A_V \cdot \beta_V)}$$

Cálculo Impedancia de salida con realimentación

Se anulan las fuentes **INDEPENDIENTES**





Realimentación I – V Ideal

Entrada I → Salida V

Paralelo Paralelo

GANANCIA EN BUCLE CERRADO

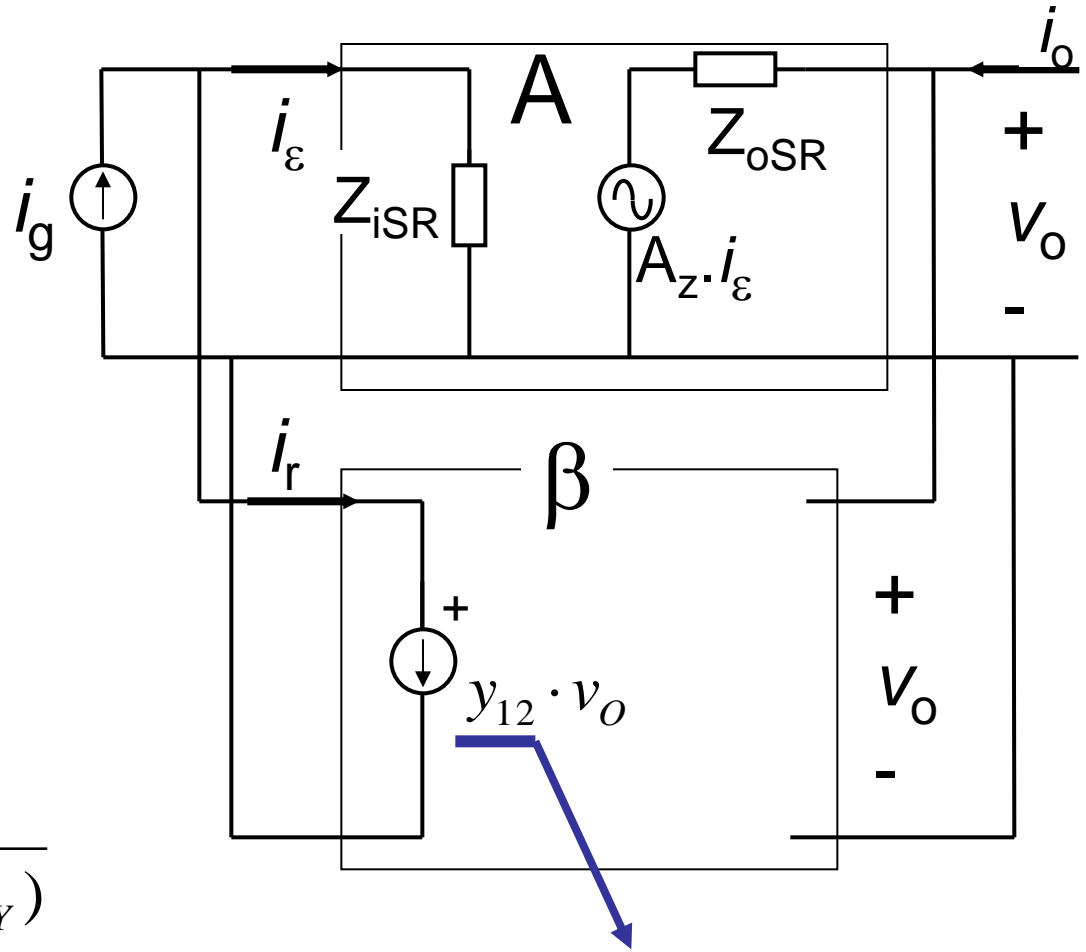
$$G_Z = \frac{v_o}{i_g} = \frac{A_Z}{1 + A_Z \cdot \beta_Y}$$

IMPEDANCIA DE ENTRADA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{iCR} = \frac{v_g}{i_g} = Z_{iSR} \cdot \frac{1}{(1 + A_Z \cdot \beta_Y)}$$

IMPEDANCIA DE SALIDA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{oCR} = \frac{v_o}{i_o} = \frac{Z_{oSR}}{(1 + A_Z \cdot \beta_Y)}$$

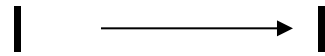


“Parámetros y ”

$$\beta_Y = y_{12}$$

© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

Entrada Salida



Paralelo Serie

GANANCIA EN BUCLE CERRADO

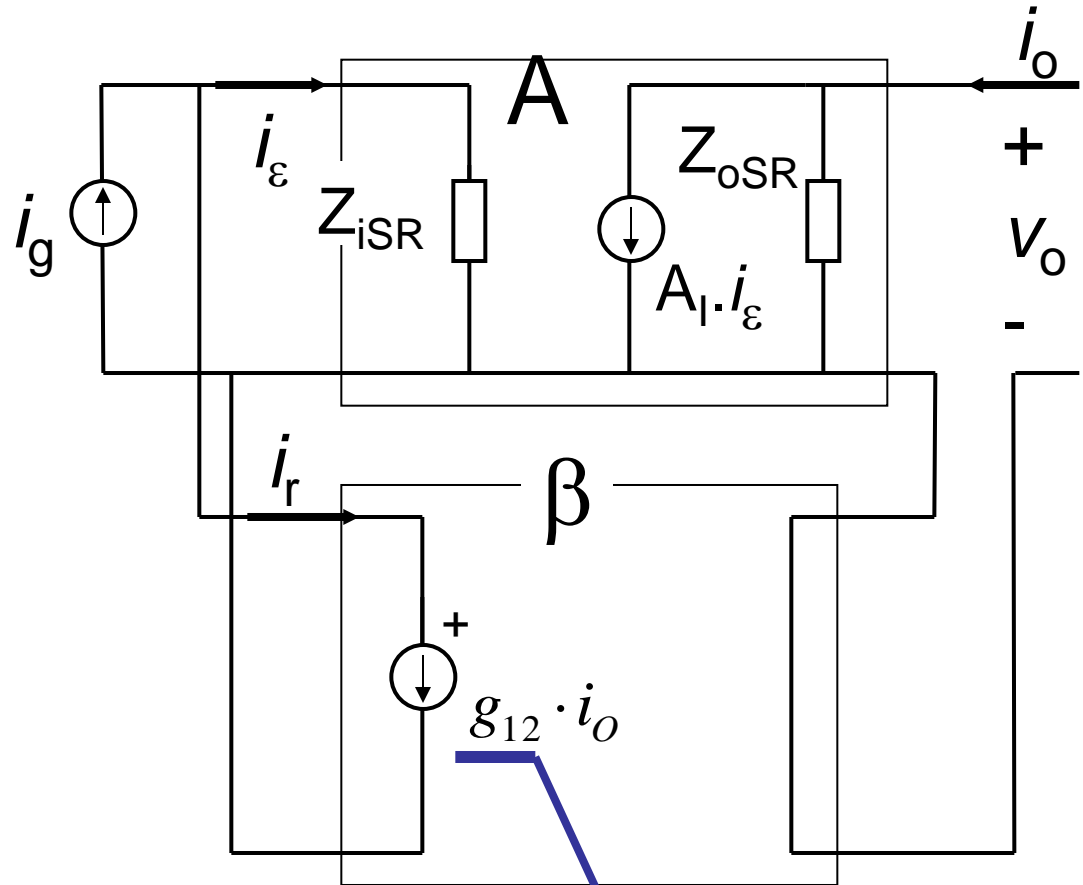
$$G_I = \frac{i_o}{i_g} = \frac{A_I}{1 + A_I \cdot \beta_I}$$

IMPEDANCIA DE ENTRADA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{iCR} = \frac{v_g}{i_g} = \frac{Z_{iSR}}{(1 + A_I \cdot \beta_I)}$$

IMPEDANCIA DE SALIDA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{oCR} = \frac{v_o}{i_o} = Z_{oSR} \cdot (1 + A_I \cdot \beta_I)$$



“Parámetros g”

$$\beta_I = g_{12}$$

Entrada Salida
 $V \longrightarrow I$
 Serie Serie

GANANCIA EN BUCLE CERRADO

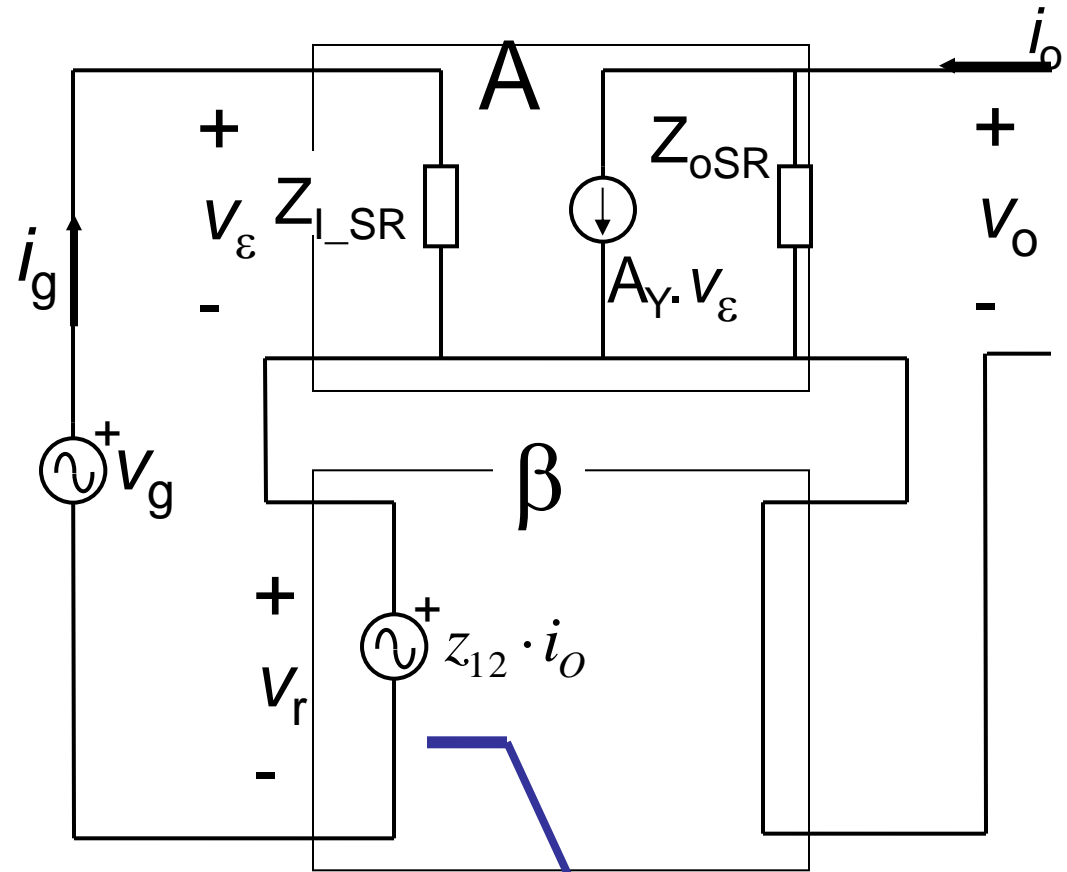
$$G_Y = \frac{i_o}{v_E} = \frac{A_Y}{1 + A_Y \cdot \beta_Z}$$

IMPEDANCIA DE ENTRADA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{iCR} = \frac{v_g}{i_g} = Z_I \cdot (1 + A_Y \cdot \beta_Z)$$

IMPEDANCIA DE SALIDA CON REALIMENTACIÓN

$$Z_{oCR} = \frac{v_o}{i_o} = Z_{oSR} \cdot (1 + A_Y \cdot \beta_Z)$$



“Parámetros Z”

$$\beta_Z = Z_{12}$$

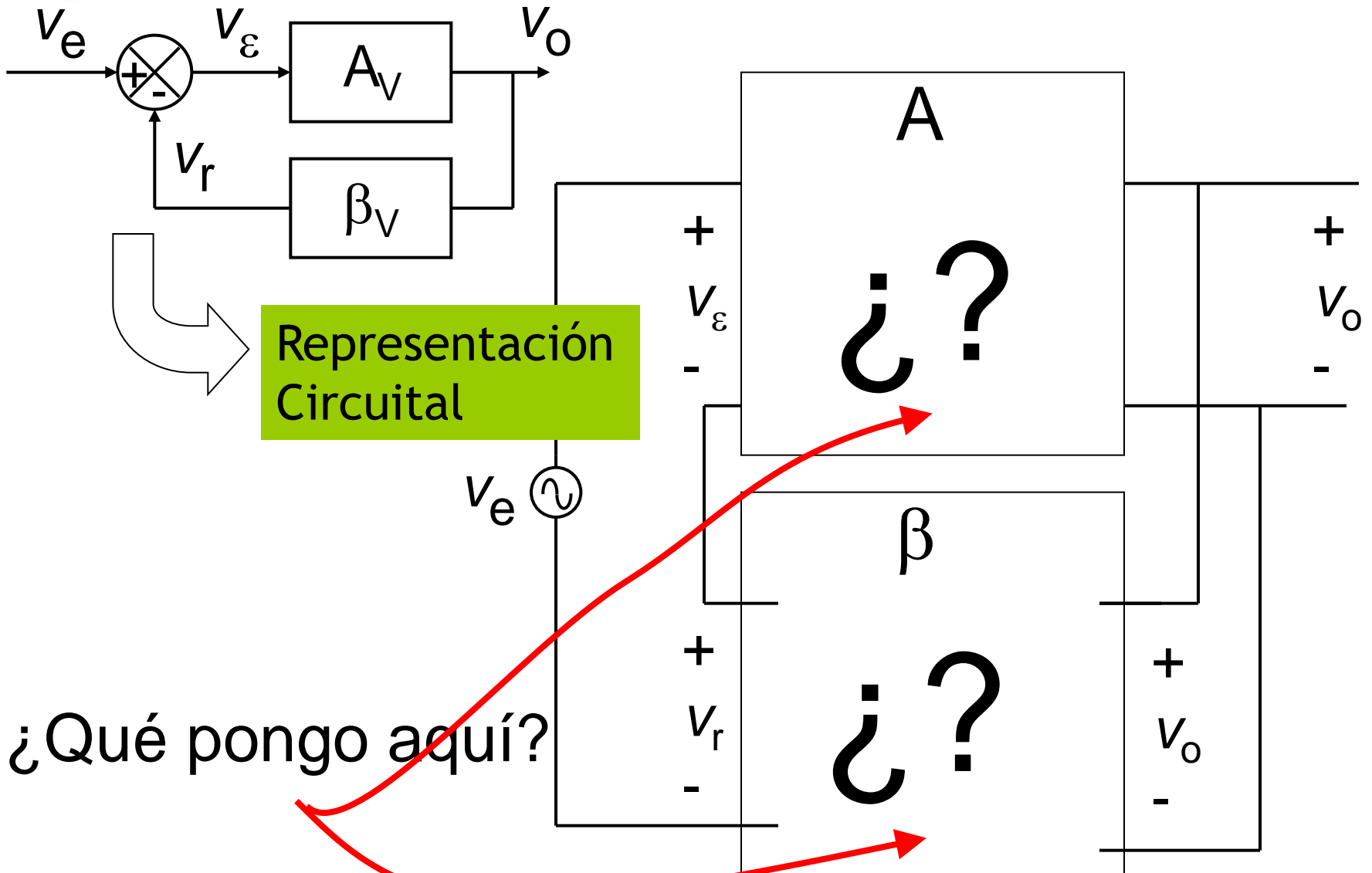
1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación



Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales

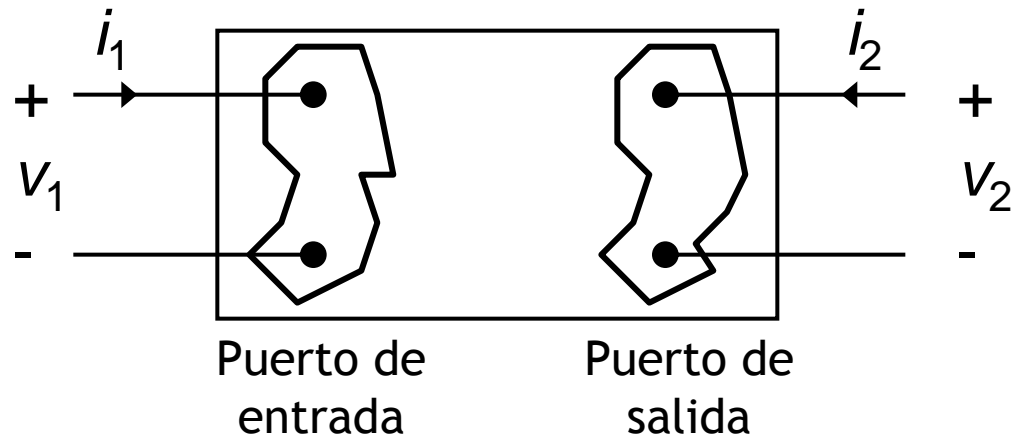
- Amplificador representado como cuadripolo en función de sus 4 parámetros privilegiados.
- Red β representado como cuadripolo en función de sus 4 parámetros privilegiados.
- Generador representado como dipolo de Thevenin o Norton para que coincida con la representación como parámetros privilegiados.
- Nueva red A' que incluye todos los efectos de carga del generador, el amplificador de partida y la red β . (Se enuncia más claramente en el siguiente apartado)

Cuadripolos: Del Diagrama de bloques al circuito



© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

Circuitos que se comunican con el exterior a través de 2 puertos:



OBJETIVO

Descripción unificada y de fácil manejo de circuitos, con independencia de la complejidad interna.

UTILIDAD

Caracterizar el comportamiento en pequeña señal de las redes A y β .

ECUACIONES

- 4 variables \Rightarrow 2 ecuaciones \Rightarrow Se pueden representar matricialmente
- 4 posibilidades para relacionar las variables \Rightarrow 4 tipos de parámetros
- En ningún caso el resultado final depende del tipo de parámetro seleccionado

X_1 Entrada

X_2 Salida

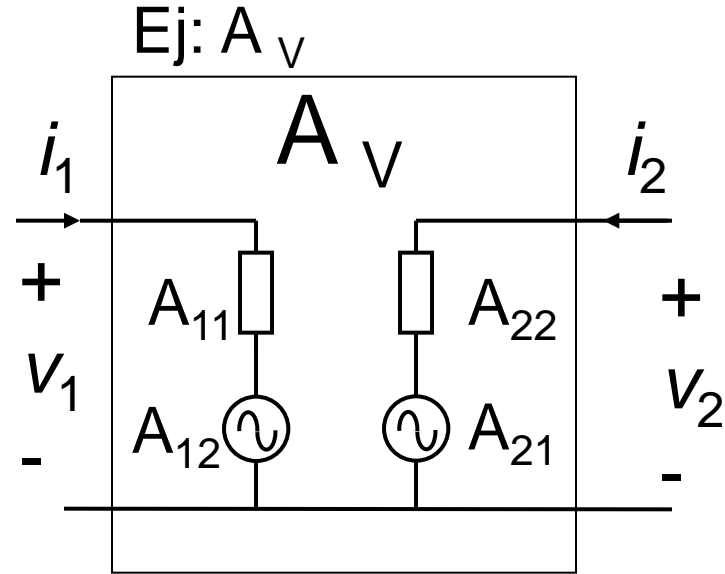
Elemento NO IDEAL de entrada

Ganancia de la salida hacia la entrada

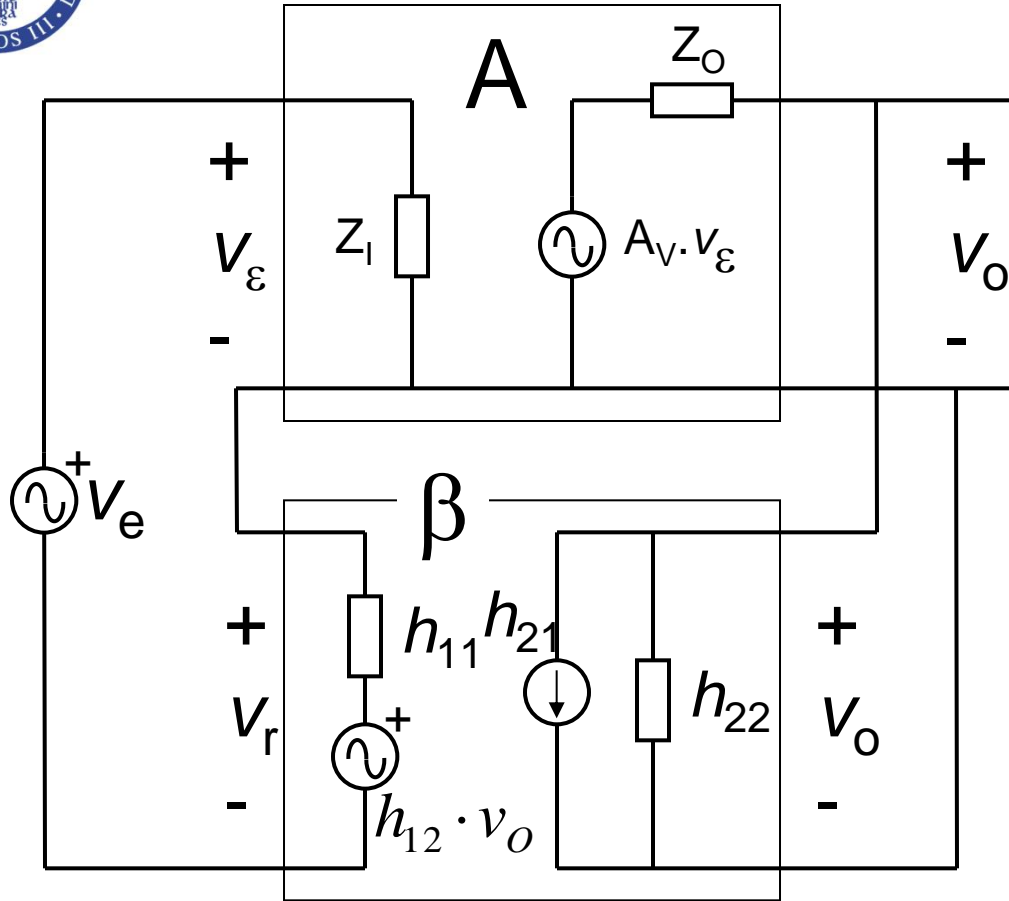
$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$

Ganancia de la entrada hacia la salida

Elemento NO IDEAL de Salida



Cuadripolos: RED β Parámetros privilegiados



“Parámetros privilegiados”

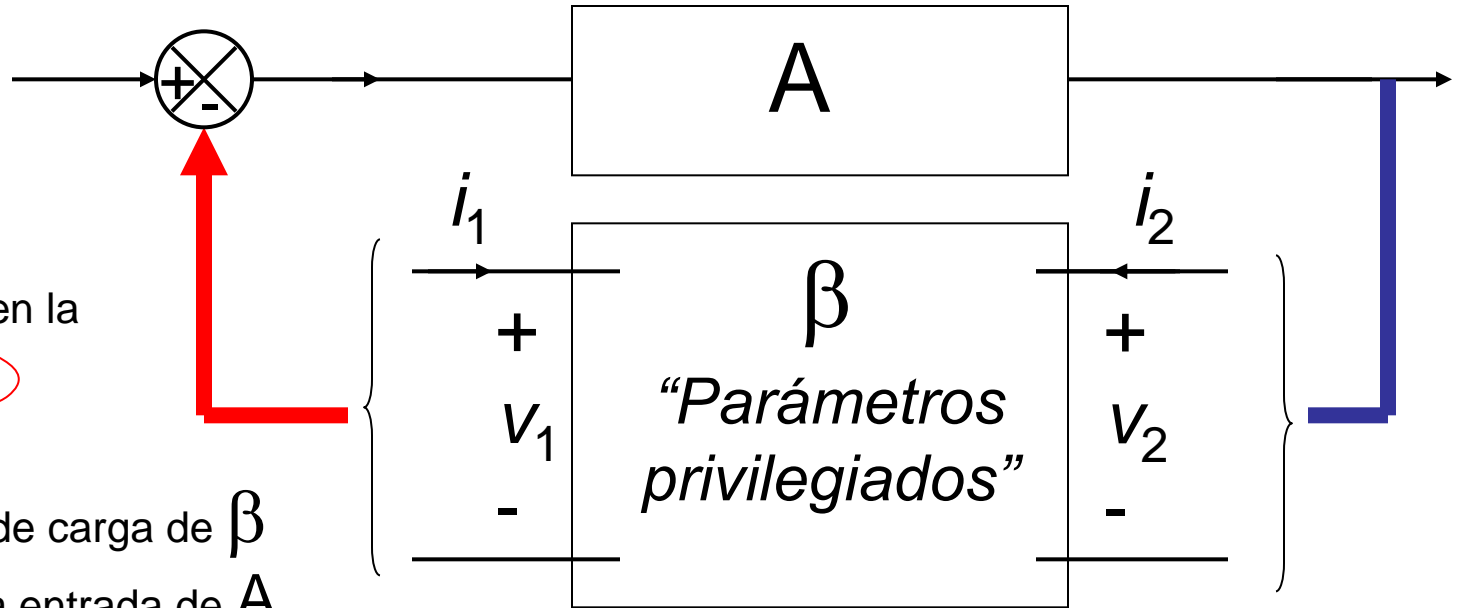
Sitúan en los puertos de entrada y de salida elementos que se suman directamente.

- Circuito en serie: generador de tensión e impedancia serie
- Circuito en paralelo: generador de corriente y admitancia paralelo

Cuadripolos: RED β - Parámetros privilegiados

Magnitud a **COMPARAR** en la entrada

Efecto de carga de β sobre la entrada de A



Ganancia de la salida (2) hacia la entrada (1)

La otra magnitud de entrada

Magnitud a **MUESTREAR** en la salida

$$\begin{bmatrix} \underline{x_1} \\ \underline{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{x_1} \\ \underline{y_2} \end{bmatrix}$$

β_{21}

La otra magnitud de salida

Efecto de carga de β sobre la salida de A

Cuadripolos: RED β - Parámetros privilegiados

Magnitud a **COMPARAR** en la entrada

Efecto de carga de β sobre la entrada de A

Ganancia de la salida (2) hacia la entrada (1)

magnitud común en la entrada

Magnitud común en la salida

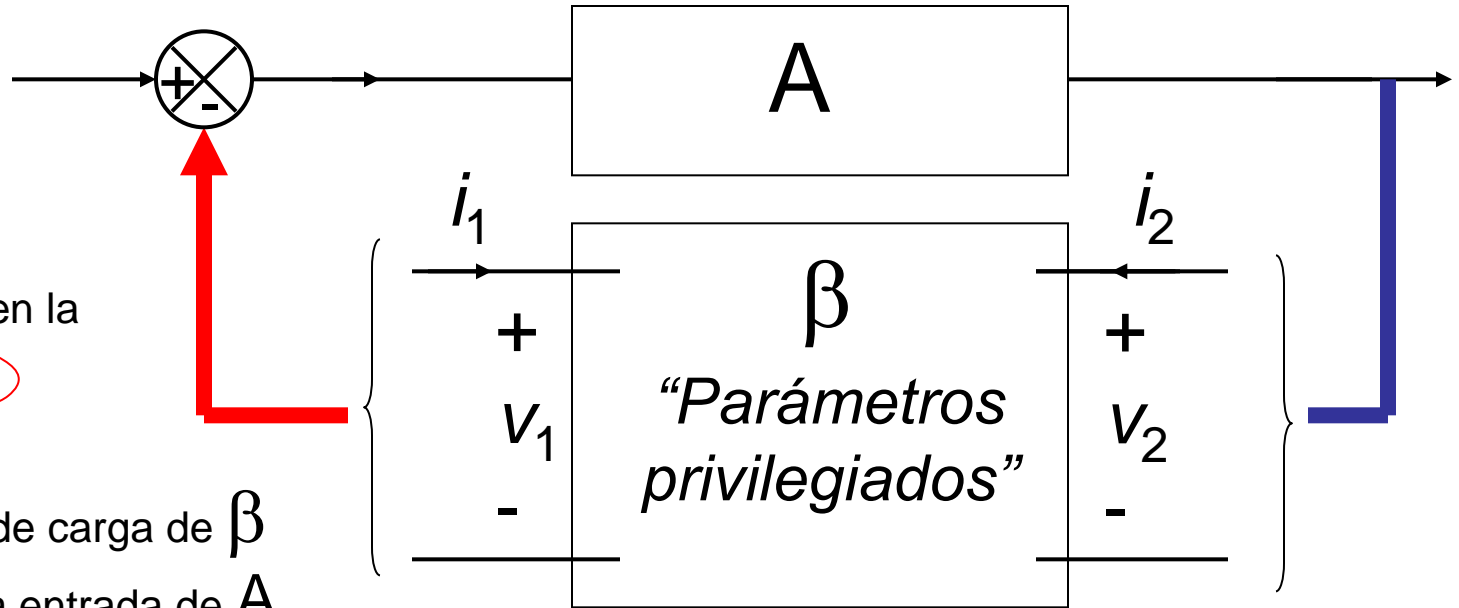
$$\begin{bmatrix} X_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

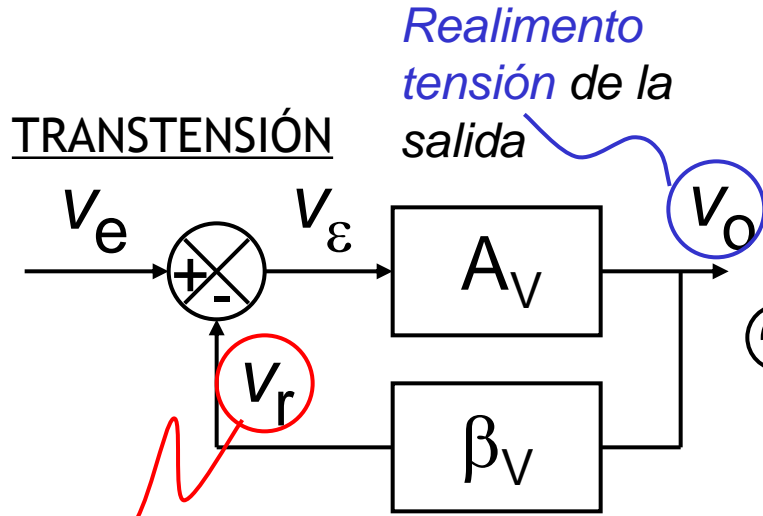
$$\begin{bmatrix} X_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

β_{21}

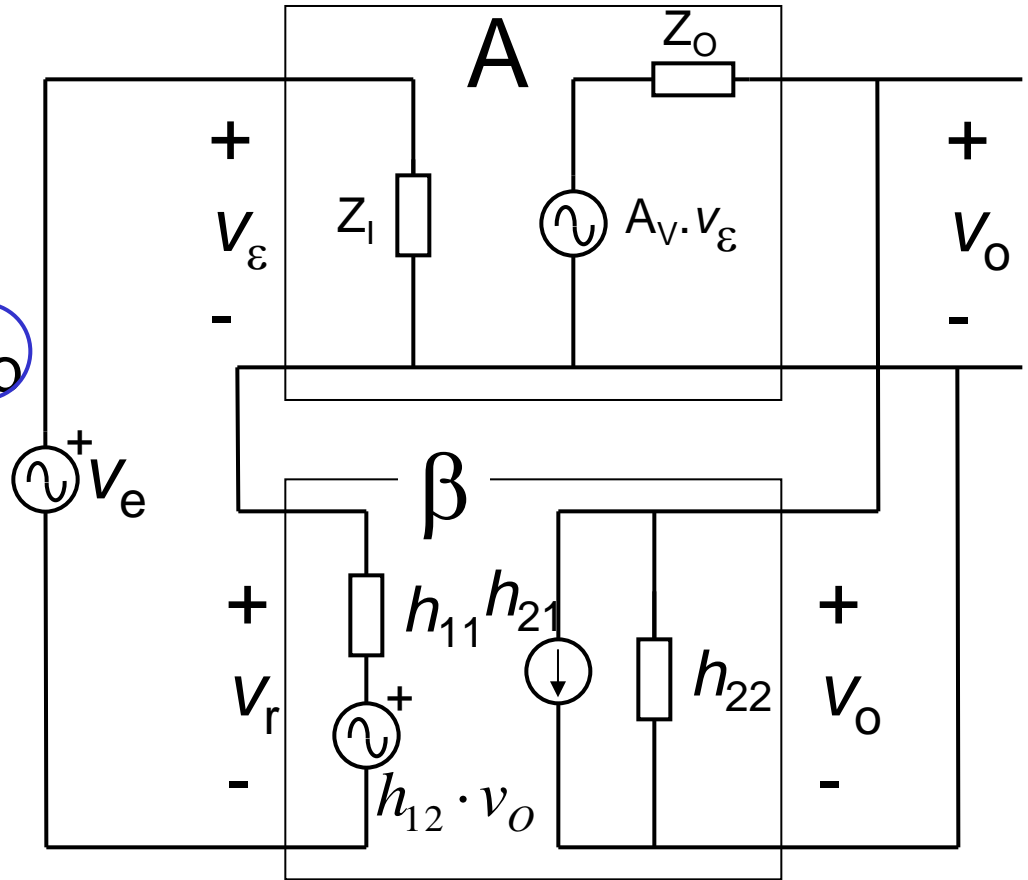
Efecto de carga de β sobre la salida de A

La otra magnitud de salida





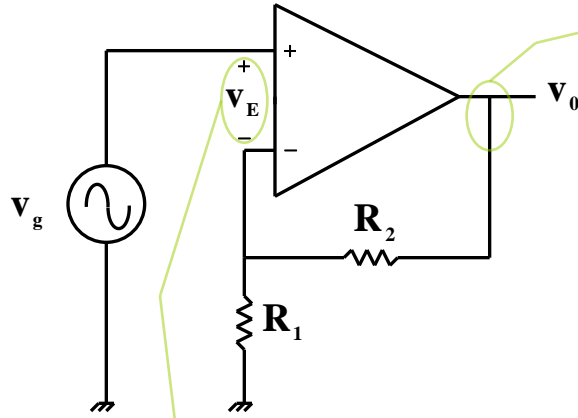
Comparo Tensión en la entrada



$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 / i_1 \Big|_{v_2=0} & v_1 / v_2 \Big|_{i_1=0} \\ i_2 / i_1 \Big|_{v_2=0} & i_2 / v_2 \Big|_{i_1=0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

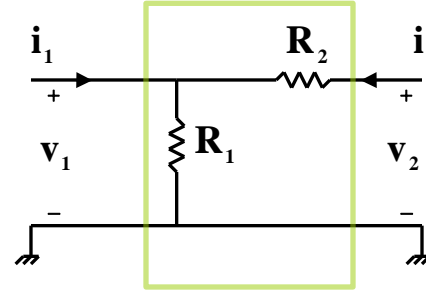
“Parámetros privilegiados h”

Método exacto: Ejemplo de cálculo de cuadripolos

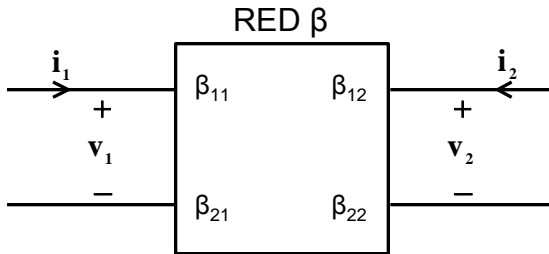


Se mide o muestra tensión en paralelo

■ = V_2



Se restan tensiones → ○ = V_1

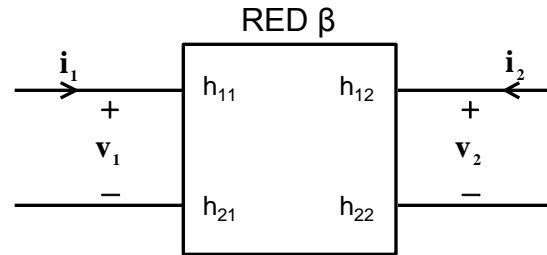
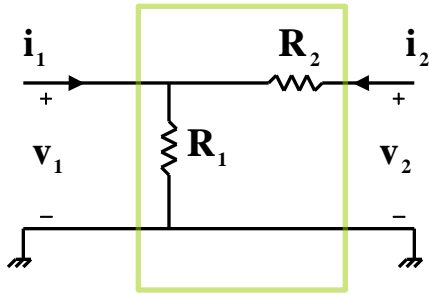


$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1/i_1|_{v_2=0} & v_1/v_2|_{i_1=0} \\ i_2/i_1|_{v_2=0} & i_2/v_2|_{i_1=0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

“Parámetros privilegiados h ”

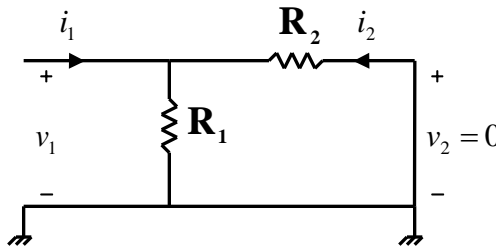


Método exacto: Ejemplo de cálculo de cuadripolos



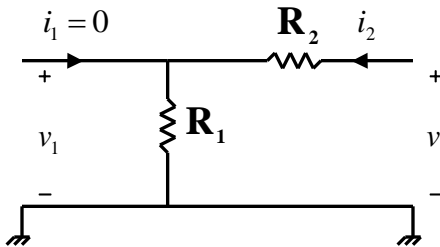
$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 / i_1 \big|_{v_2=0} & v_1 / v_2 \big|_{i_1=0} \\ i_2 / i_1 \big|_{v_2=0} & i_2 / v_2 \big|_{i_1=0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$h_{11} = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0}$$



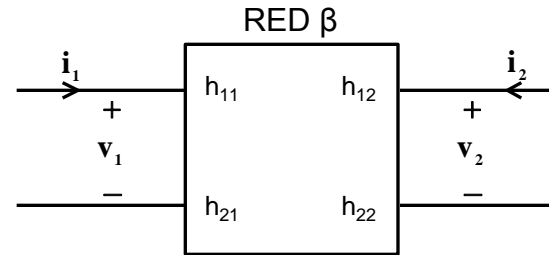
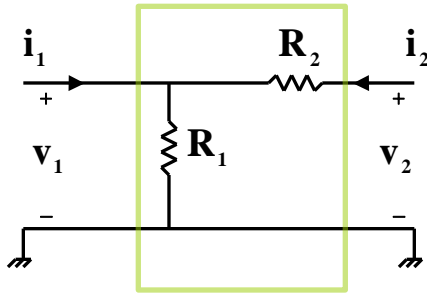
$$h_{11} = R_1 \parallel R_2$$

$$h_{12} = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_1=0}$$



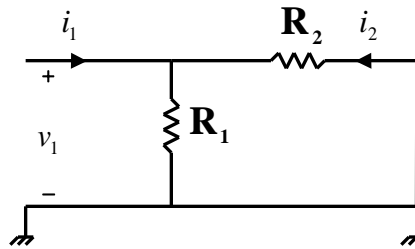
$$h_{12} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Método exacto: Ejemplo de cálculo de cuadripolos



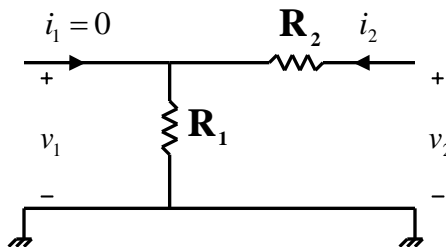
$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 / i_1 \Big|_{v_2=0} & v_1 / v_2 \Big|_{i_1=0} \\ i_2 / i_1 \Big|_{v_2=0} & i_2 / v_2 \Big|_{i_1=0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \Big|_{v_2=0}$$



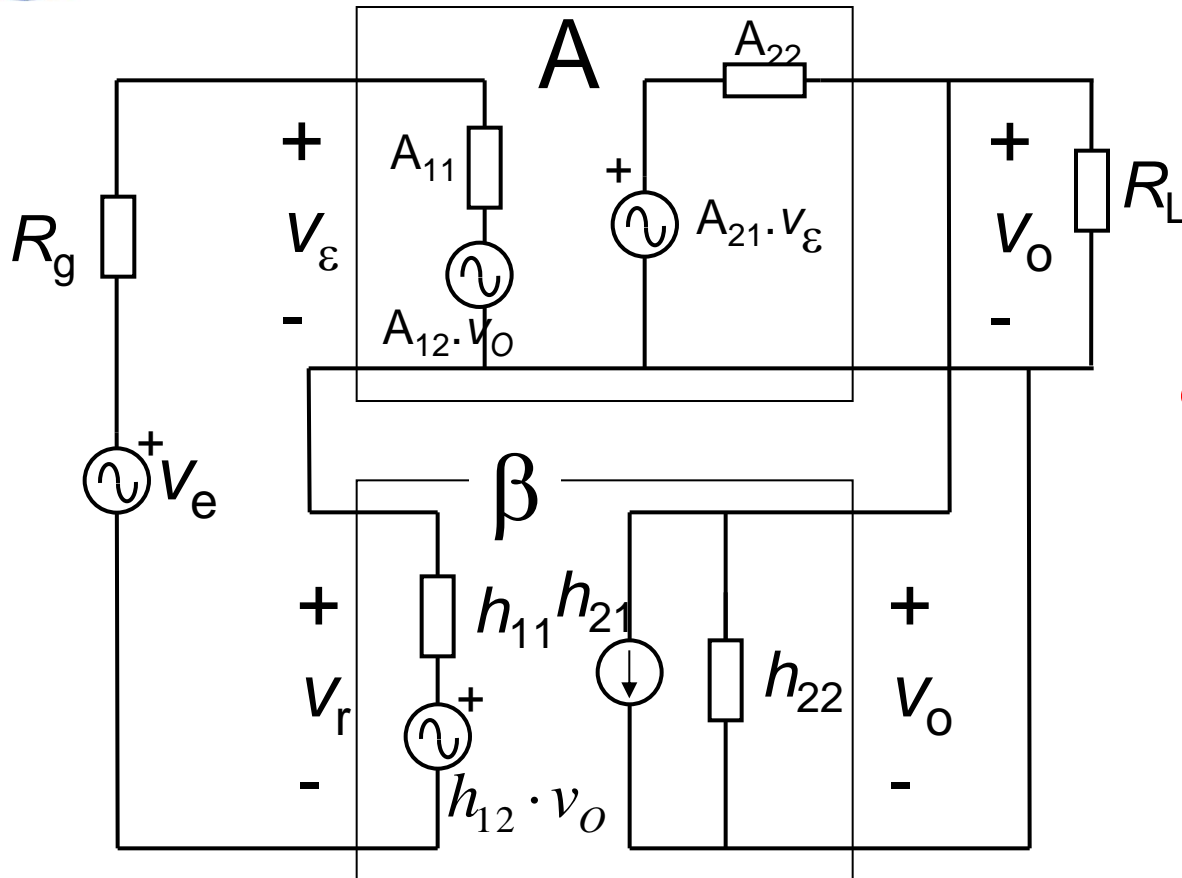
$$h_{21} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$h_{22} = \frac{i_2}{v_2} \Big|_{i_1=0}$$




$$h_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales



Exacto pero...

... No siempre necesario como método rápido de diseño

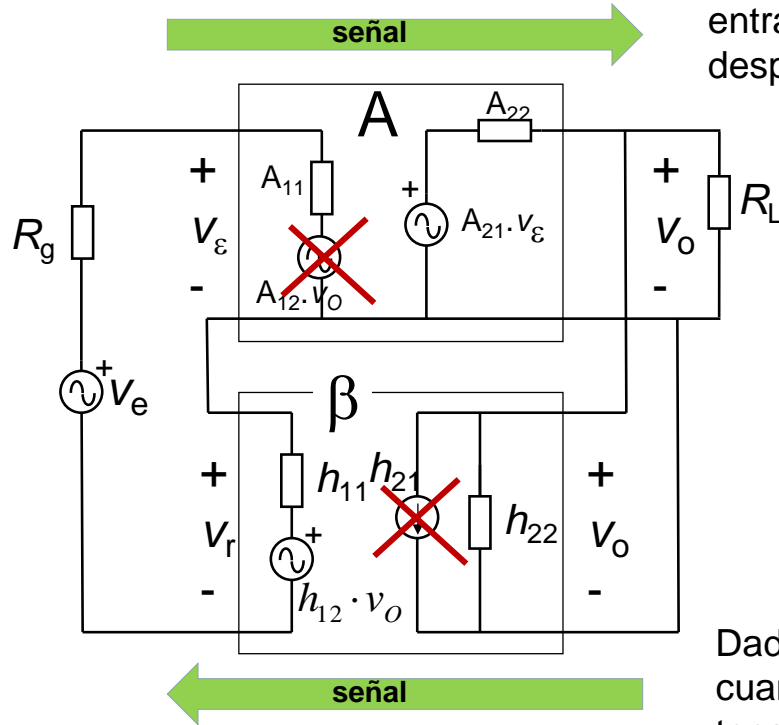
1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
-  7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
8. Identificación del tipo de realimentación



- Alternativa a Kirchoff y al método exacto.
- Objetivo: método menos laborioso y por tanto más eficaz para:
 - Obtener reglas rápidas de diseño
 - Estudiar la influencia de capa parámetro (resistencias y ganancias de los amplificadores de partida y sobre todo de la red de realimentación)
 - Posee un mayor sentido “físico”
- Diferencias con respecto al método exacto
 - Unilateralidad: No se consideran las fuentes dependientes A_{12} y β_{21}
 - El estudio de los parámetros privilegiados de la red β puede restringirse al cálculo de la ganancia ideal de dicha red: β_{12}
 - El cálculo de los efectos de carga de la red β puede resultar más cómodo en términos de las resistencias de Thevenin que se observan desde los puertos de entrada y salida

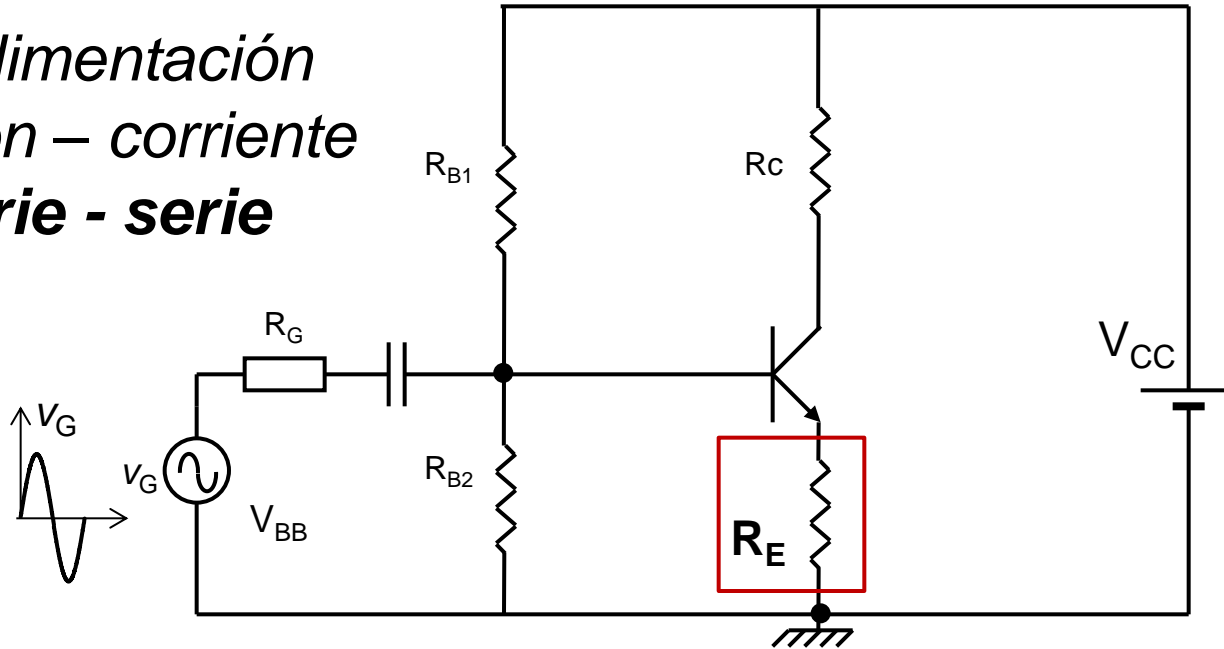
Método aproximado: Unilateralidad

En el amplificador la ganancia mayoritaria es desde la entrada hacia la salida, desde V_ε hacia V_o . A_{12} es despreciable frente a A_{21}

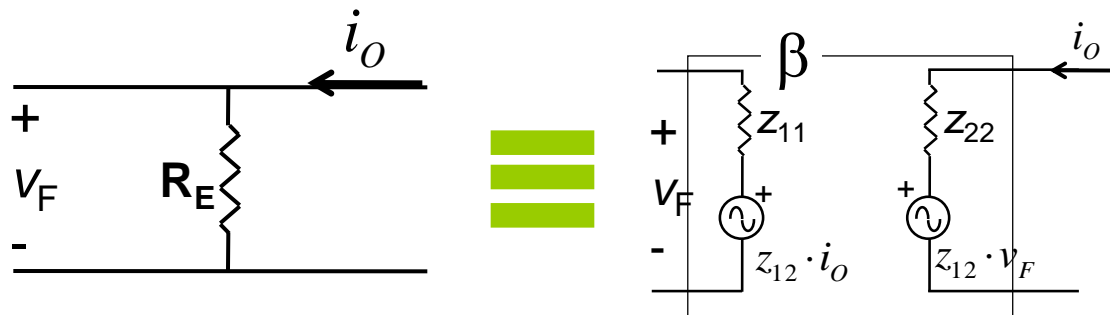


Dado el valor de las resistencias que componen β , cuando se conectan a la salida del amplificador, la tensión V_r no modifica el valor de la tensión V_o . Por tanto, en este caso, h_{21} es despreciable frente a h_{12} . En general β_{21} es despreciable frente a β_{12} .

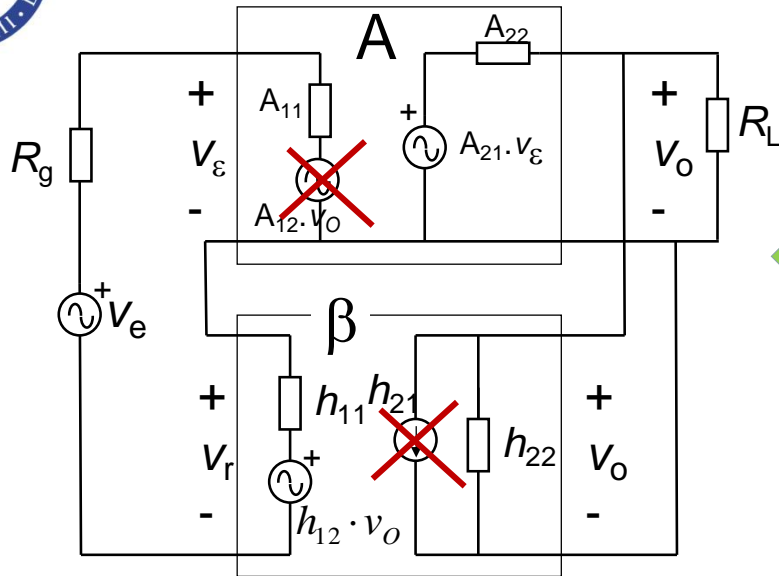
Realimentación tensión – corriente **serie - serie**



OJO, en este caso **NO** puede despreciarse h_{21} al calcular el cuadripolo que representa la red β .

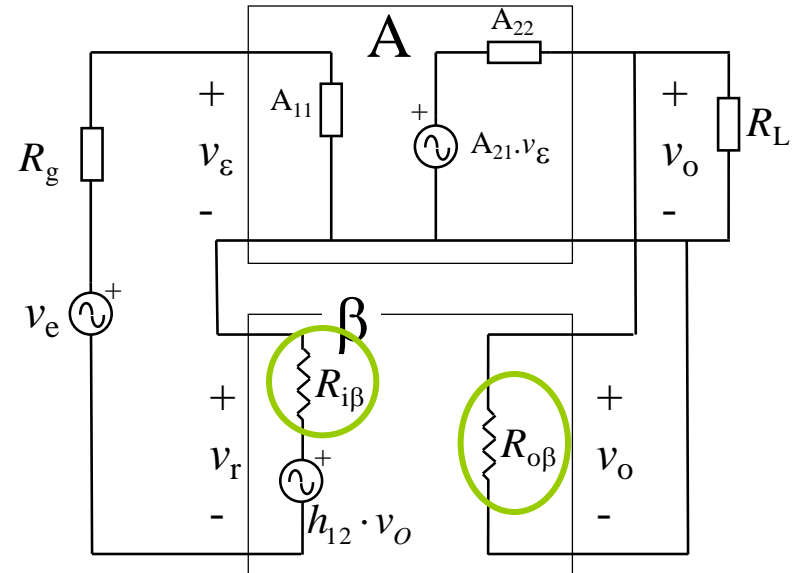


Simplificaciones del método aproximado



← Método exacto

Método aproximado



- Unilateralidad: No se consideran las fuentes dependientes A_{12} y β_{21} (en este caso h_{12})
- El estudio de los parámetros privilegiados de la red β puede restringirse al cálculo de la ganancia ideal de dicha red: β_{12} (en este caso h_{12})
- El cálculo de los efectos de carga de la red β puede resultar más cómodo en términos de las resistencias de Thevenin que se observan desde los puertos de entrada y salida, $R_{i\beta}$ y $R_{o\beta}$

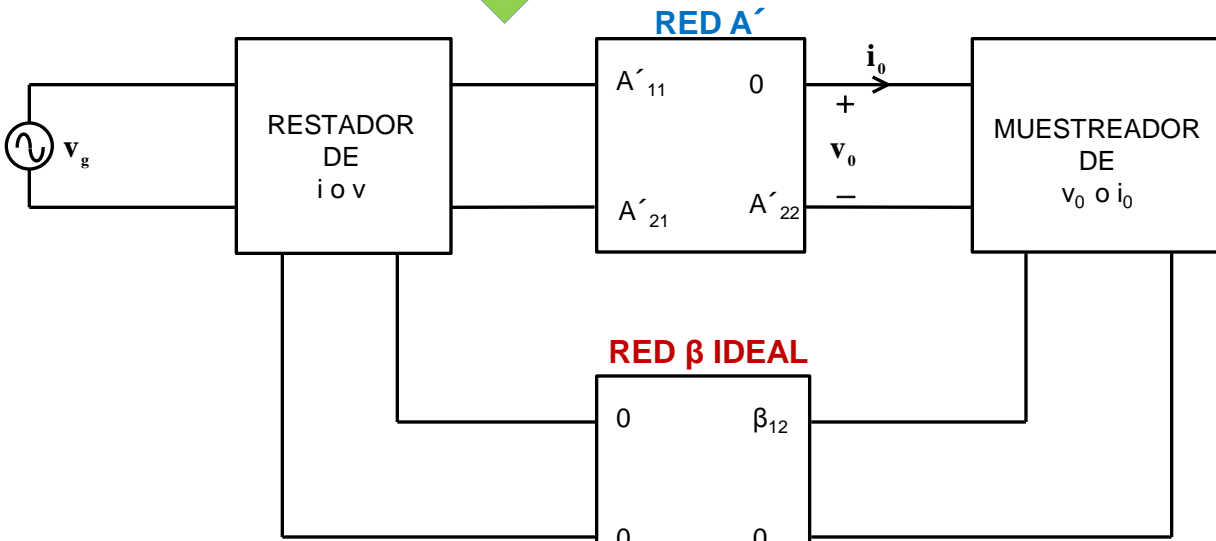
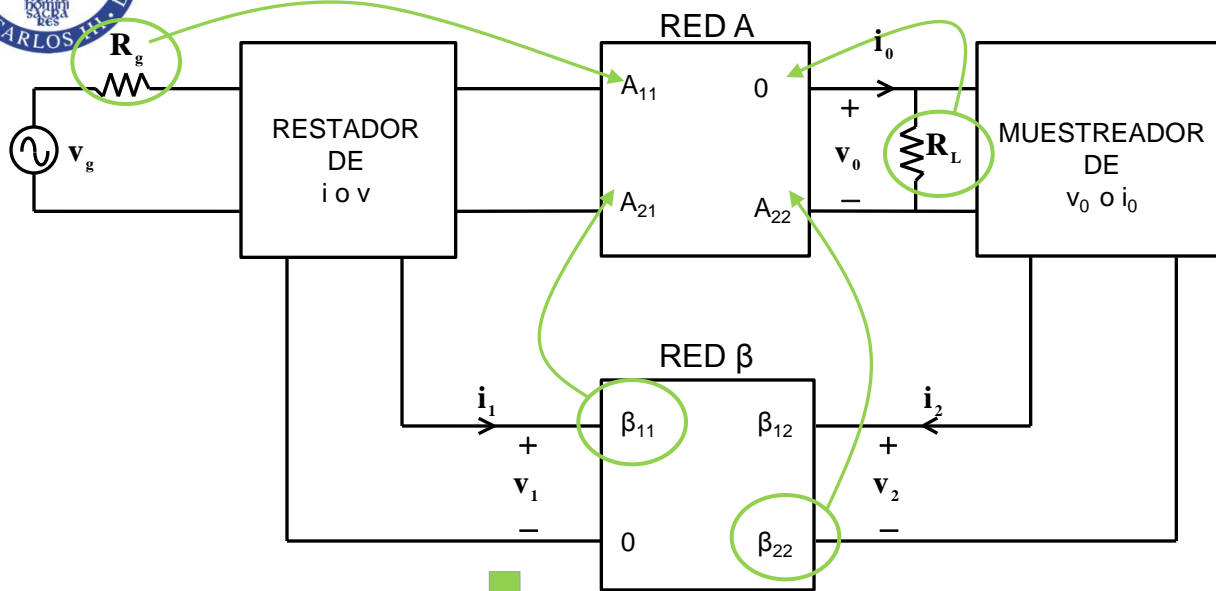


Pasos a seguir para aplicar el método aproximado

- ❶ Identificar la topología de realimentación:
 - Puede ser útil comprobar que existe la realimentación negativa.
- ❷ Identificar cuadripolo de realimentación o red β
- ❸ Selección y cálculo de los parámetros privilegiados que representa la red β
- ❹ Aproximación: Redes “unilaterales”, $\beta_{21}=0$ y $A_{12}=0$
- ❺ Dibujar el nuevo circuito completo considerando los efectos de carga de la red β : β_{11} y β_{22}
- ❻ Cálculo de la nuevas redes A' y β' así como las nuevas impedancias Z_{I_SR} y Z_{O_SR}
 - A' salida entre generador ideal. Ejemplo: v_o / i_g
 - Considerando los efectos de carga de la red β : β_{11} y β_{22}
 - β' ideal, sólo β_{12}
- ❼ Cálculo de las magnitudes en bucle cerrado. Se consideran los efectos de la realimentación ideal
 - $G=A'/(1+A'\beta)$;
 - $Z_{I_CR}= Z_{I_SR} (\div \text{ ó } \times) (1+A'\beta)$; $Z_{O_CR}= Z_{O_CR} (\div \text{ ó } \times) (1+A'\beta)$
- ❽ Obtención de impedancias reales



Método práctico: Cálculo de la nuevas redes A' y β'



MÉTODO PRÁCTICO

Nuevo A'

Todos los efectos de carga:

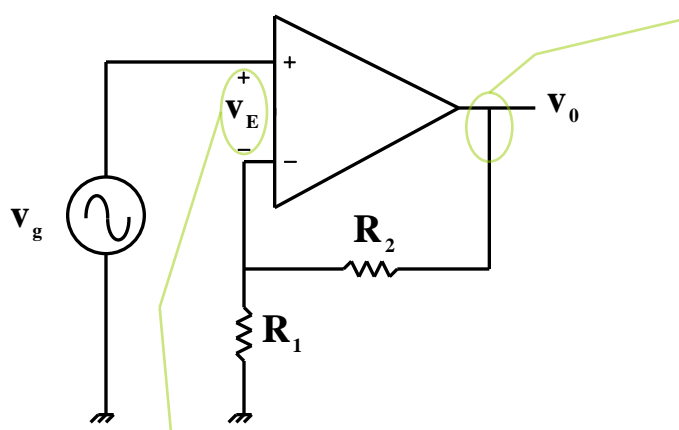
- generador (R_g),
- red β (β_{11} y β_{22}),
- resistencia de carga (R_L)

se incluyen dentro del nuevo amplificador A' .

Nuevo β

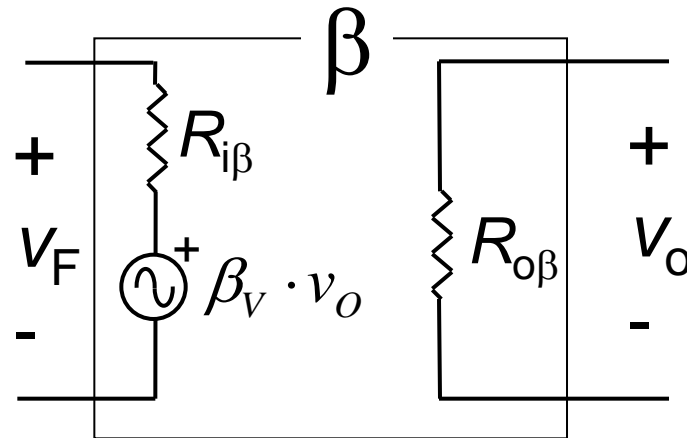
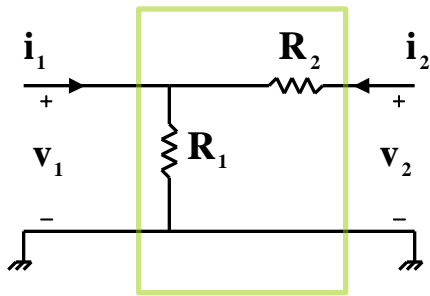
La red de realimentación pasa a ser ideal. Solo se considerará el parámetro β_{12}

Ejemplo cálculo de los parámetros prácticos

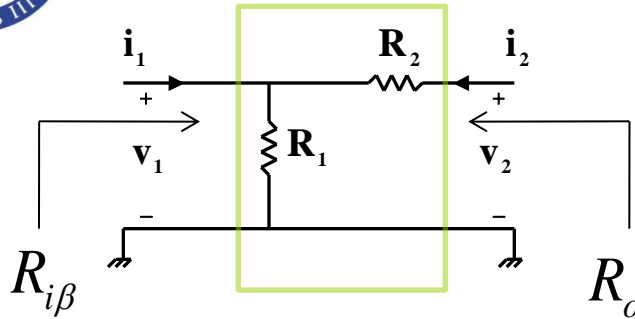


Se mide o muestrea tensión en paralelo V_2

Se restan tensiones $V_1 = V_\epsilon$



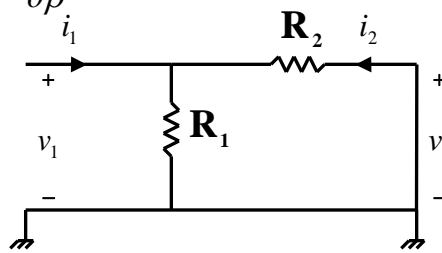
Ejemplo cálculo de los parámetros prácticos



$R_{i\beta}$

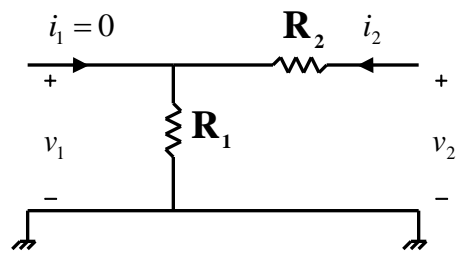
$R_{o\beta}$

$$R_{i\beta} = \frac{v_1}{i_1} \Big|_{v_2=0} \qquad R_{i\beta} = R_1 \parallel R_2$$



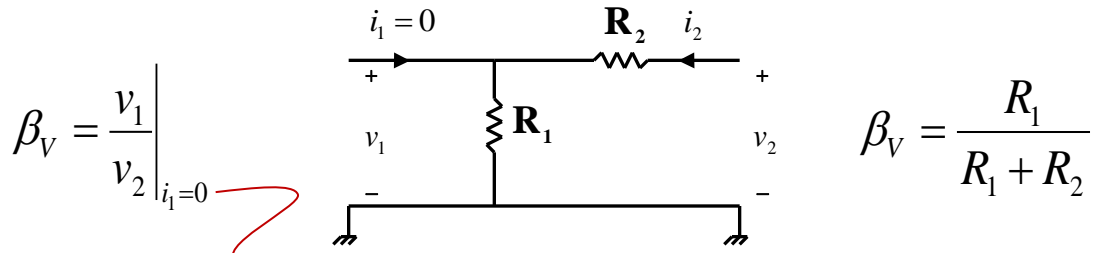
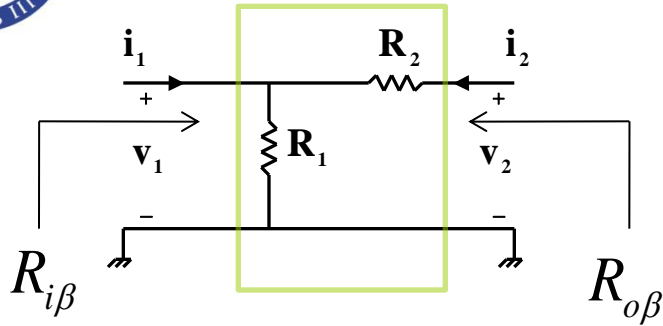
¡Anulo la magnitud común a la salida, v_2 !

$$R_{o\beta} = \frac{v_2}{i_2} \Big|_{i_1=0} \qquad R_{o\beta} = R_1 + R_2$$



¡Anulo la magnitud común a la entrada, i_1 !

Ejemplo cálculo de los parámetros prácticos



¡Anulo la magnitud común a la entrada, i1!

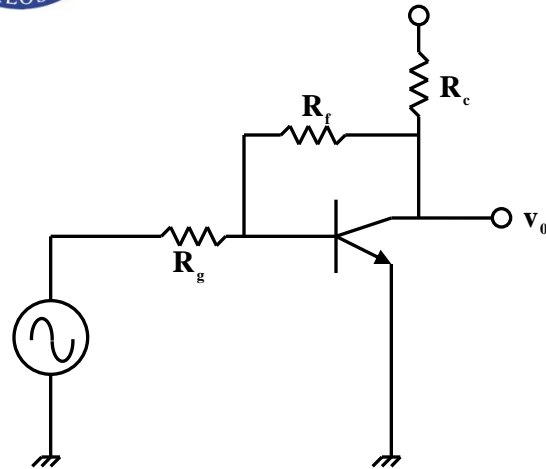
Comparando con el cálculo de los parámetros privilegiados

$$\beta_V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = h_{12}$$

$$R_{i\beta} = R_1 \parallel R_2 = h_{11}$$

$$R_{o\beta} = R_1 + R_2 = \frac{1}{h_{22}}$$

Ejemplo topología paralelo - paralelo



$$R_c = 4k \quad h_{ie} = 1.1k$$

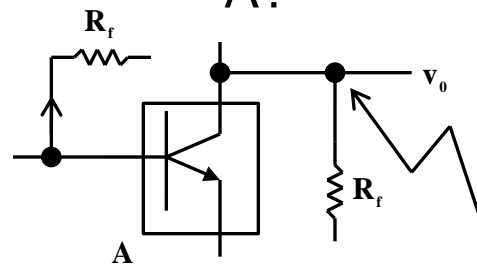
$$R_g = 10k \quad h_{fe} = 50 \text{ A/A}$$

$$R_f = 40k$$

¿Qué tipo de realimentación hay?

- ¿Cuál es el amplificador y cual es su entrada y su salida?
- ¿Qué elemento lleva la información de la salida de A hacia la entrada de A?
- Este elemento, la red β , ¿como se conecta a la entrada de A y la salida de A?

Robo corriente en paralelo en la entrada de A



Me conecto en paralelo ya que "pincho" directamente



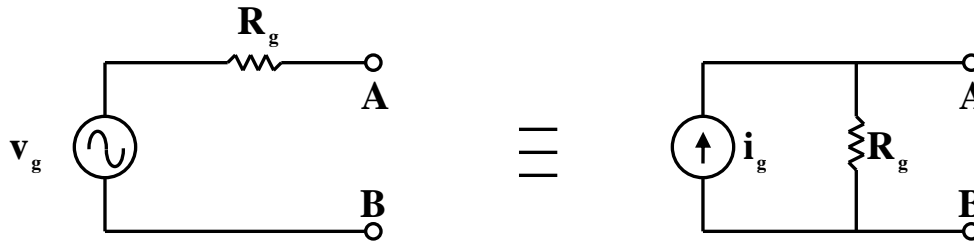
Ejemplo topología paralelo - paralelo

I \longrightarrow **V**
paralelo \longrightarrow *paralelo*

La función de transferencia que se estabiliza será: $\frac{V_0}{i_g} \longrightarrow$ unidades de Z

Tendremos un amplificador de transimpedancia A_z

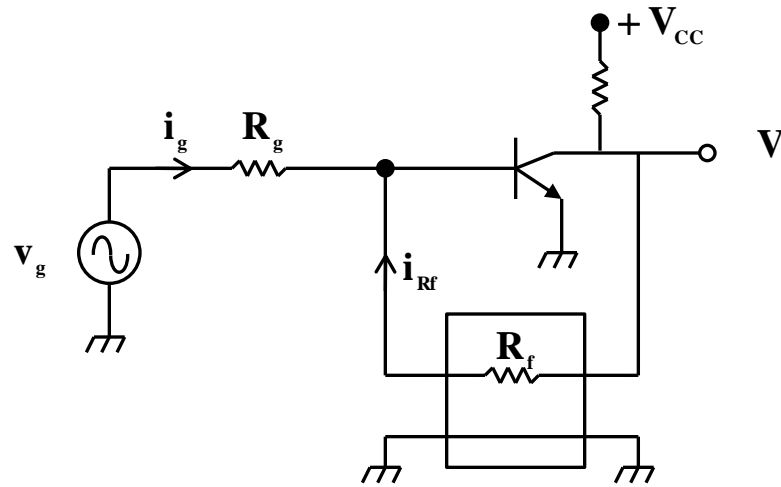
Necesitamos por tanto una mejor representación para el generador



Han de ser equivalentes en c.c.

$$i_g = \frac{v_{g0}}{R_g}$$

¿Es negativa la realimentación?

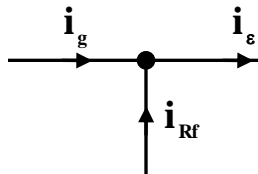


$$i_g = \frac{v_g - v_B}{R_g} \approx \text{Cte ya que } v_B \approx \text{cte (} V_{BE} \text{ BJT)}$$

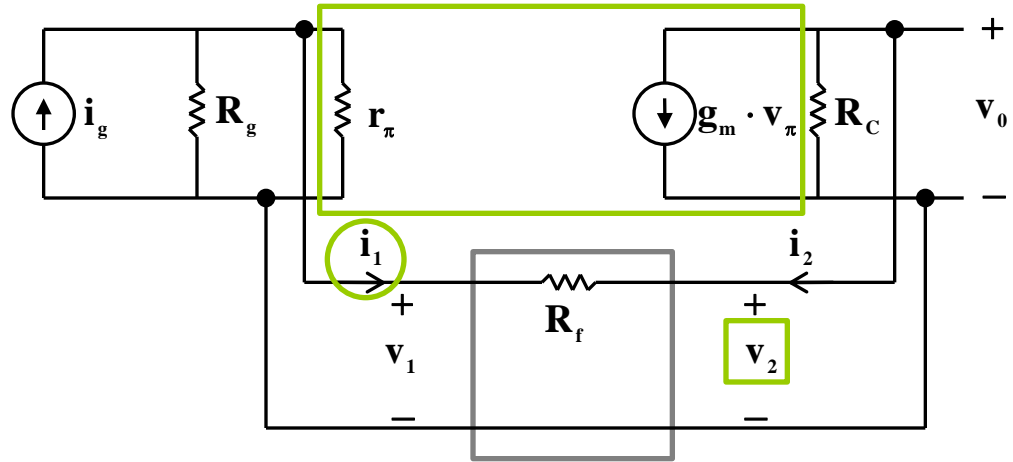
Suponemos una perturbación $V_o \uparrow \Rightarrow i_{Rf} \uparrow$ ($v_B = \text{cte}$)

$\Rightarrow i_\epsilon \uparrow \Rightarrow i_B = i_\epsilon \Rightarrow i_C \uparrow \Rightarrow V_o \downarrow$

Realimentación negativa



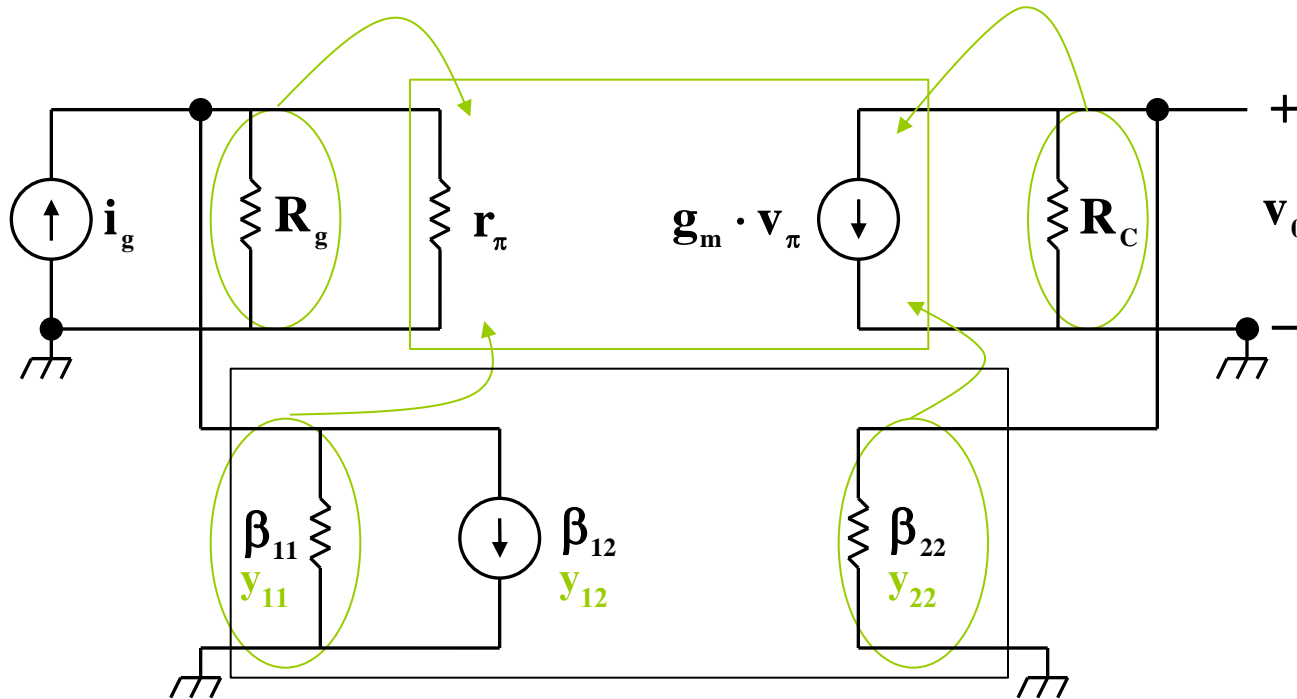
Ejemplo topología paralelo - paralelo



Representamos R_f como cuadripolo

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

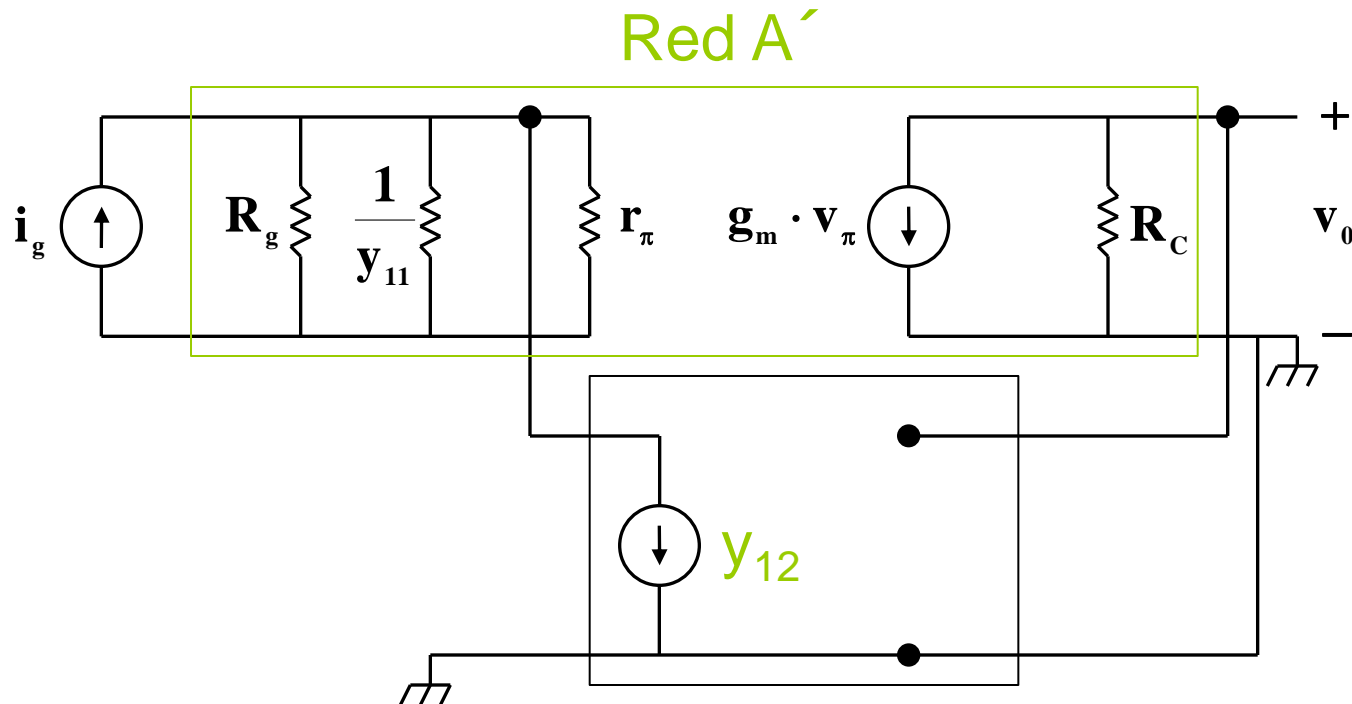
$y_{11} = \left. \frac{i_1}{v_1} \right _{v_2=0}$		$y_{11} = \frac{1}{R_f}$
$y_{12} = \left. \frac{i_1}{v_2} \right _{v_1=0}$		$y_{12} = \frac{1}{R_f}$
$y_{22} = \left. \frac{i_2}{v_2} \right _{v_1=0}$		$y_{22} = \frac{1}{R_f}$



MÉTODO PRÁCTICO



MÉTODO PRÁCTICO



1. Introducción
2. Generalidades de la realimentación negativa
3. Generalidades de la amplificación de señales eléctricas
4. Topologías de amplificadores ideales
5. Topologías de amplificadores realimentados ideales
6. Método exacto: Análisis de amplificadores realimentados reales
7. Método aproximado: Análisis y diseño de amplificadores realimentados reales
- 8. Identificación del tipo de realimentación**



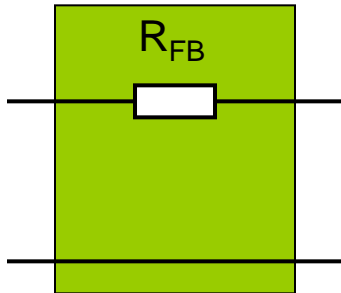
Identificación de la topología de realimentación (I)

- ❶ Identificar cual es la salida:
 - Tensión de salida, V_O
 - Corriente de salida, I_O
 - Carga, R_L
- ❷ Identificar los terminales de β (Considerando el terminal de masa)
- ❸ La β pincha directamente en $V_O \Rightarrow$ paralelo a la salida, realimento tensión
- ❹ La β pincha directamente en $V_\varepsilon \Rightarrow$ paralelo a la entrada, comparo corriente

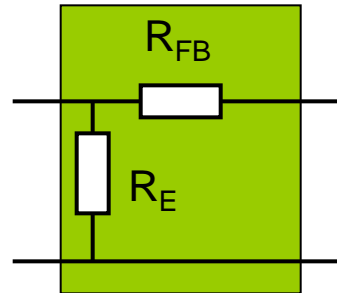
También puede ayudar:

- ❺ Identificar la magnitud de comparación en el amplificador: V_ε , i_ε
- ❻ Relacionar el caso con alguna de las configuraciones básicas de β
- ❼ OJO a las etapas en cascada
- ❽ OJO a las fuentes de corriente y a las cargas activas

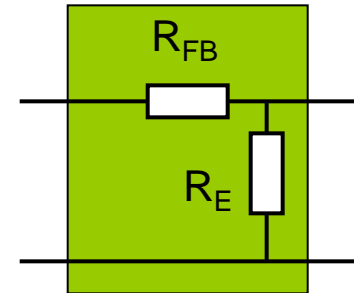
PARALELO - PARALELO



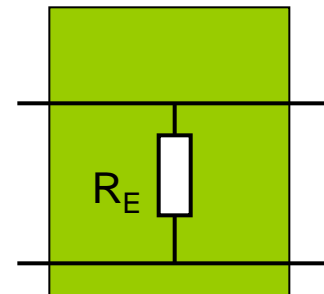
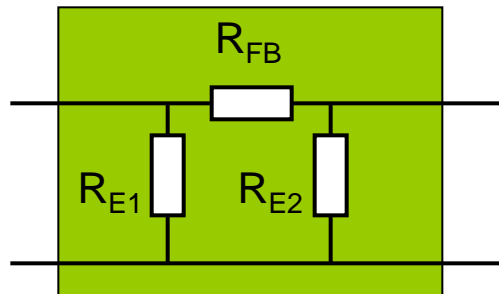
SERIE - PARALELO



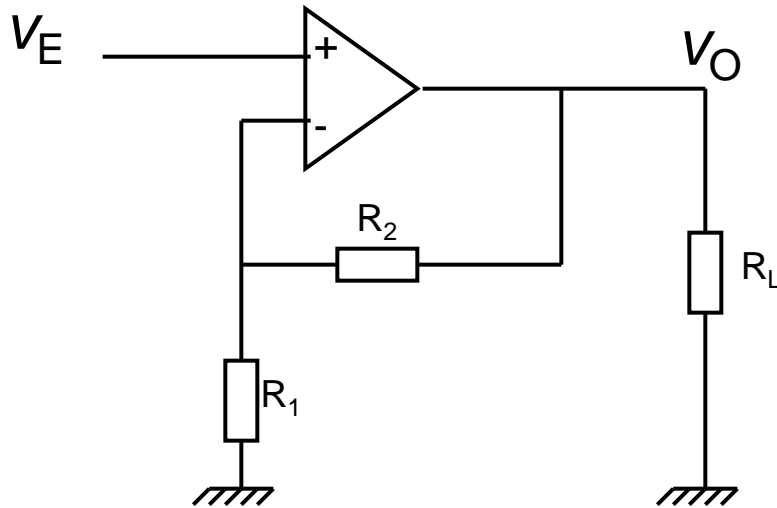
PARALELO - SERIE



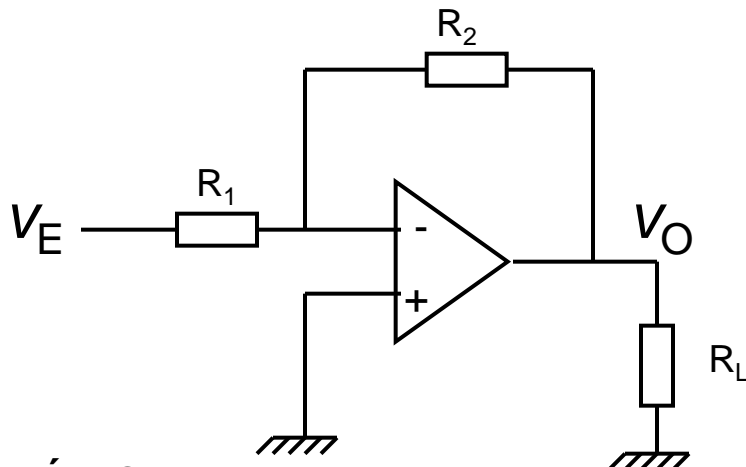
SERIE - SERIE



Ejemplos de identificación de la topología de realimentación

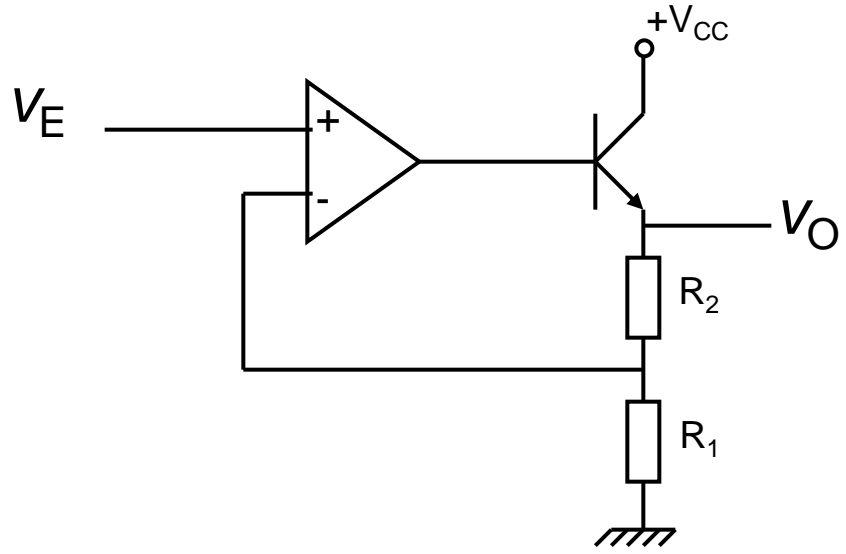


*tensión – tensión
serie - paralelo*

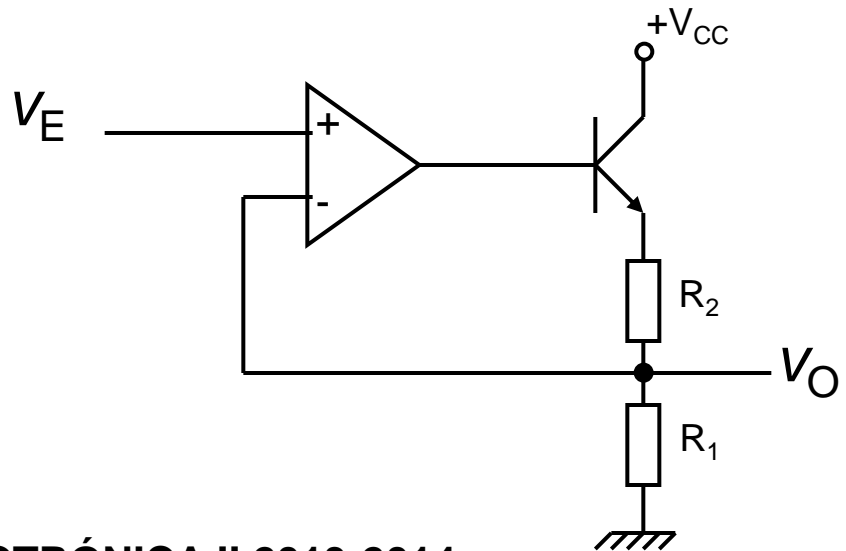


*corriente – tensión
paralelo- paralelo*

Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



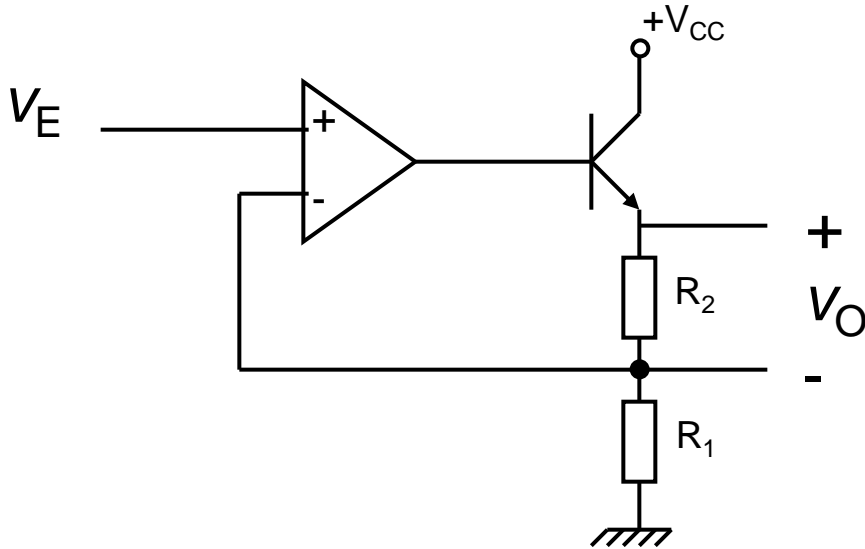
*tensión – tensión
serie - paralelo*



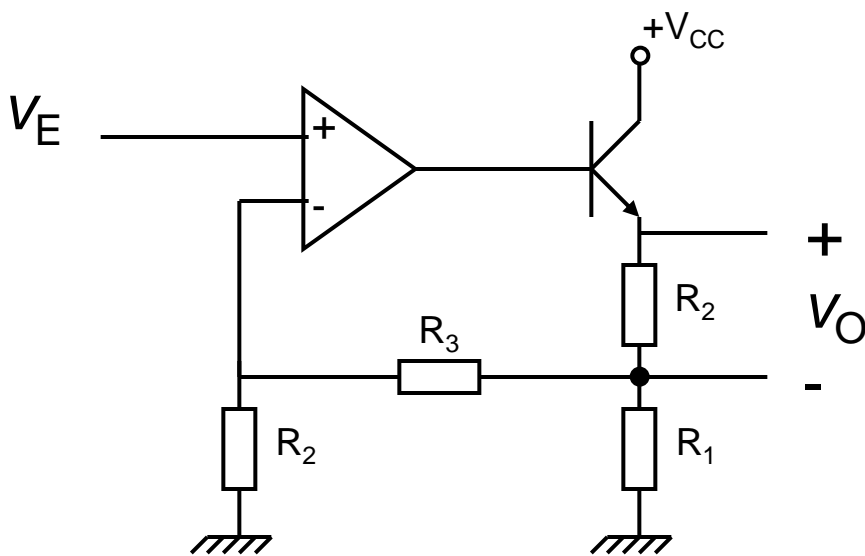
*tensión – tensión
serie - paralelo*

$$\beta_{12}=1$$

Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



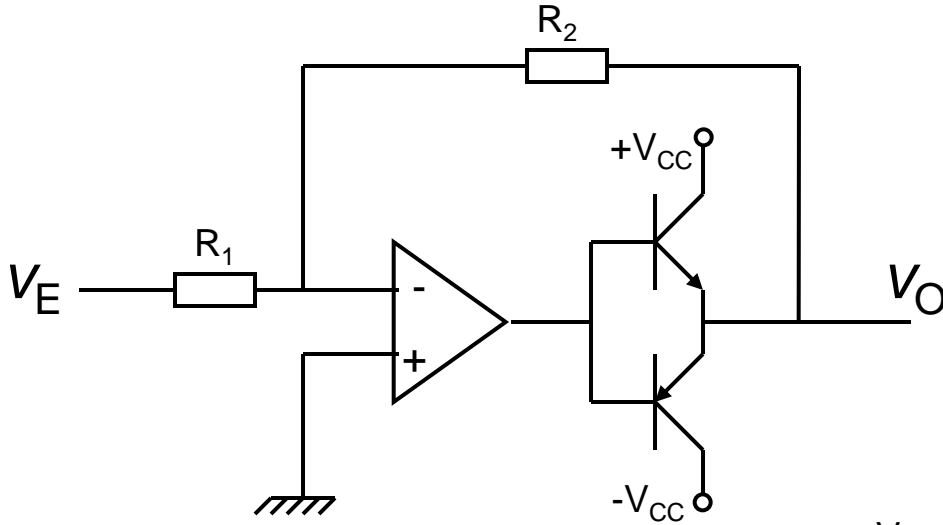
*tensión – corriente
serie - serie*



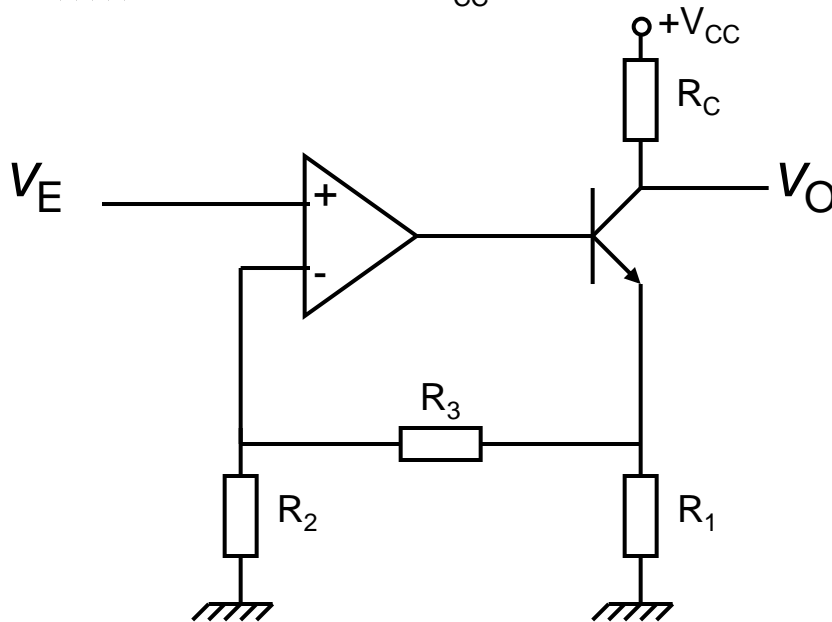
*tensión – corriente
serie - serie*

© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



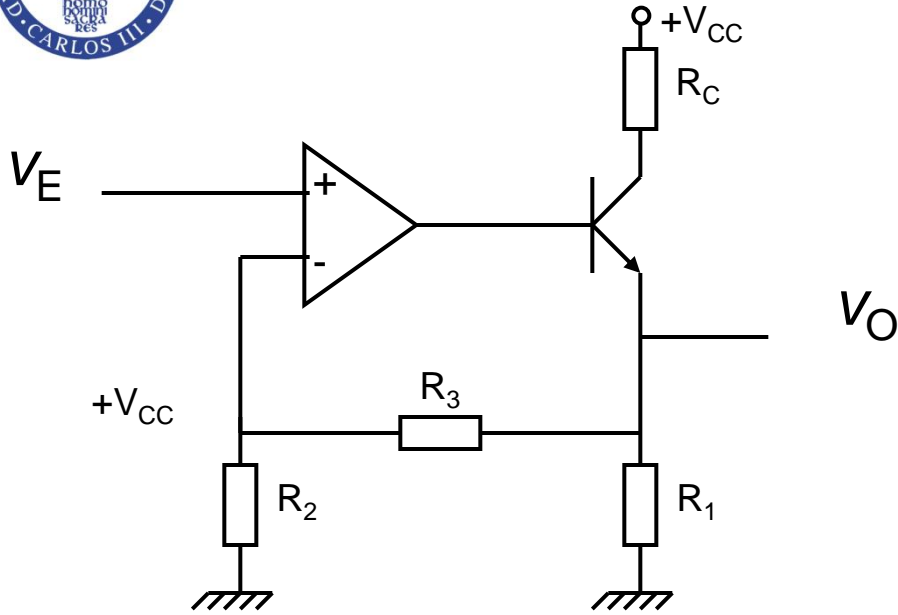
*corriente – tensión
paralelo - paralelo*



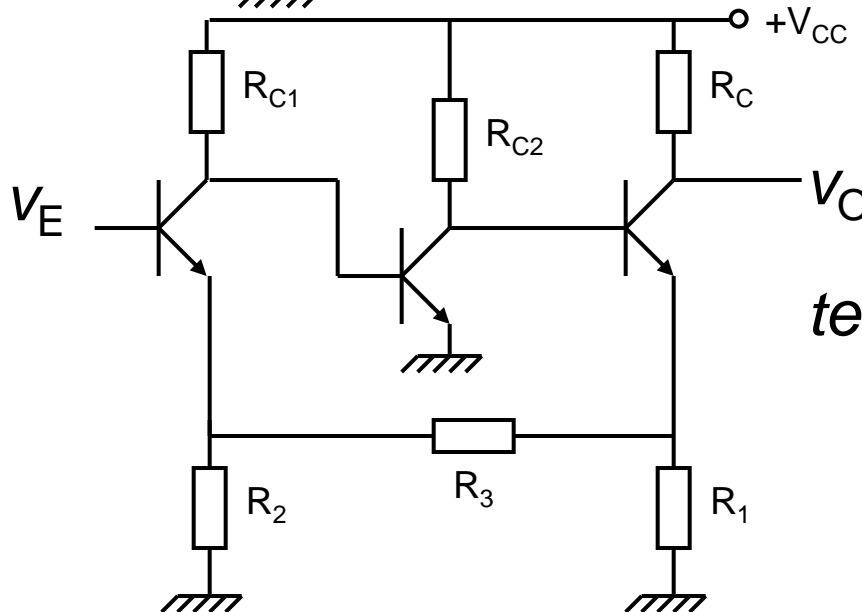
*tensión – corriente
serie - serie*



Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



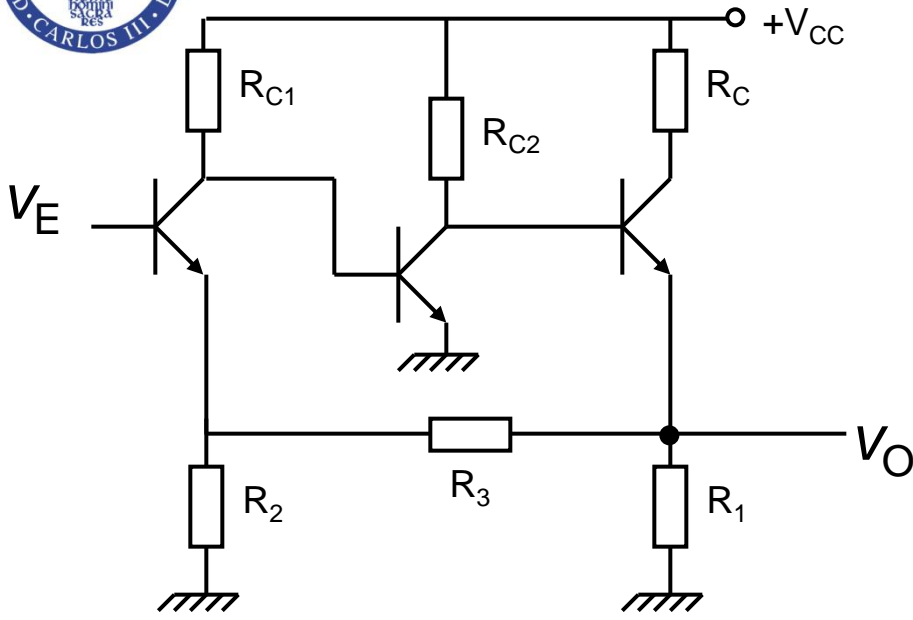
*tensión – tensión
serie - paralelo*



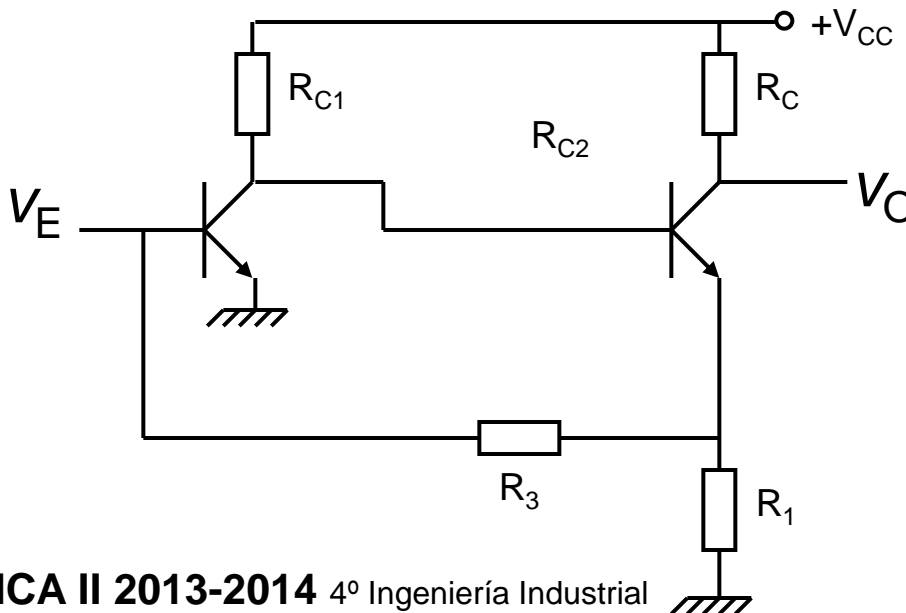
*tensión – corriente
serie - serie*



Ejemplos de identificación de la topología de realimentación

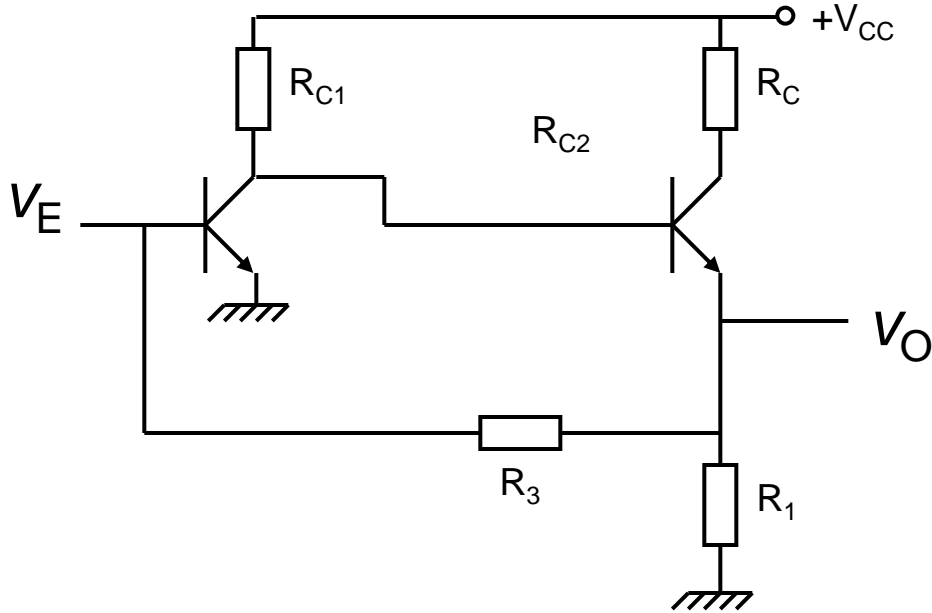


*tensión – tensión
serie - paralelo*

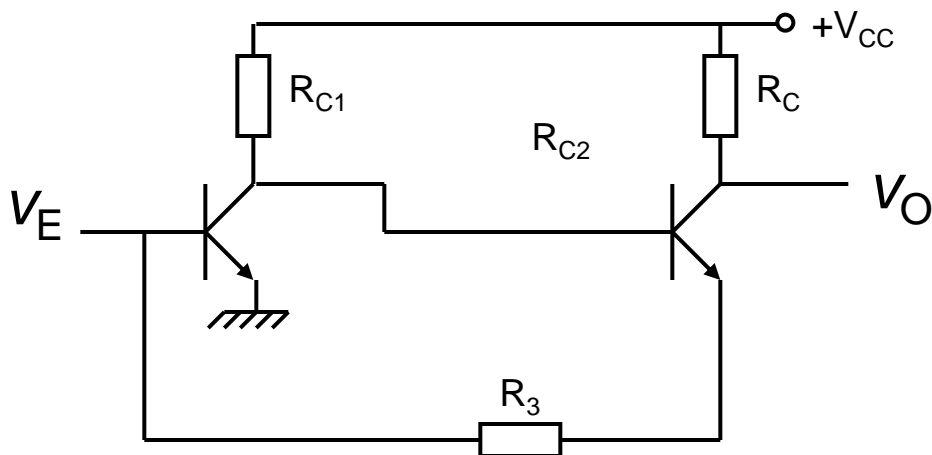


*corriente – corriente
paralelo - serie*

Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



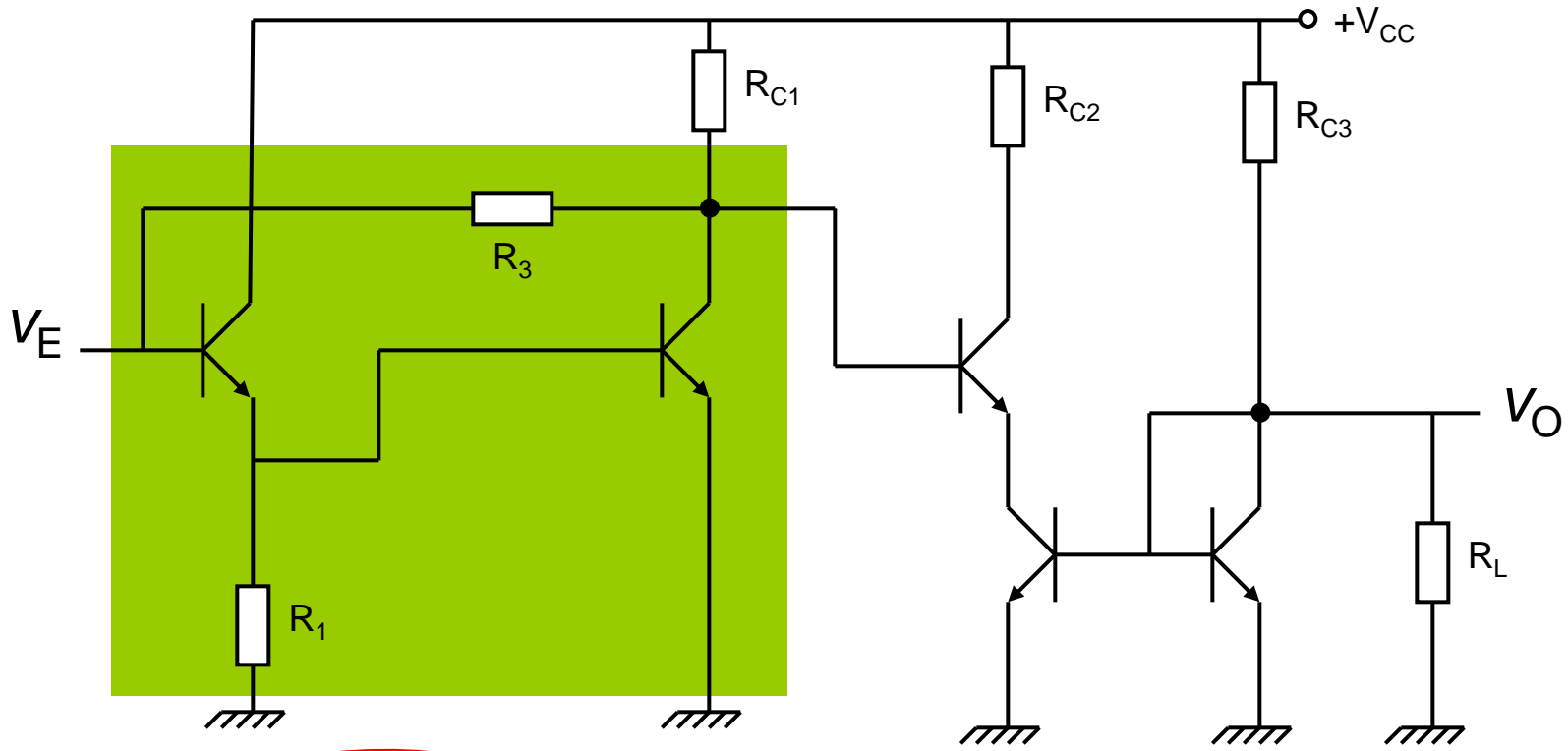
*corriente – tensión
paralelo - paralelo*



*corriente – corriente
paralelo - serie*

$$\beta_{12}=1$$

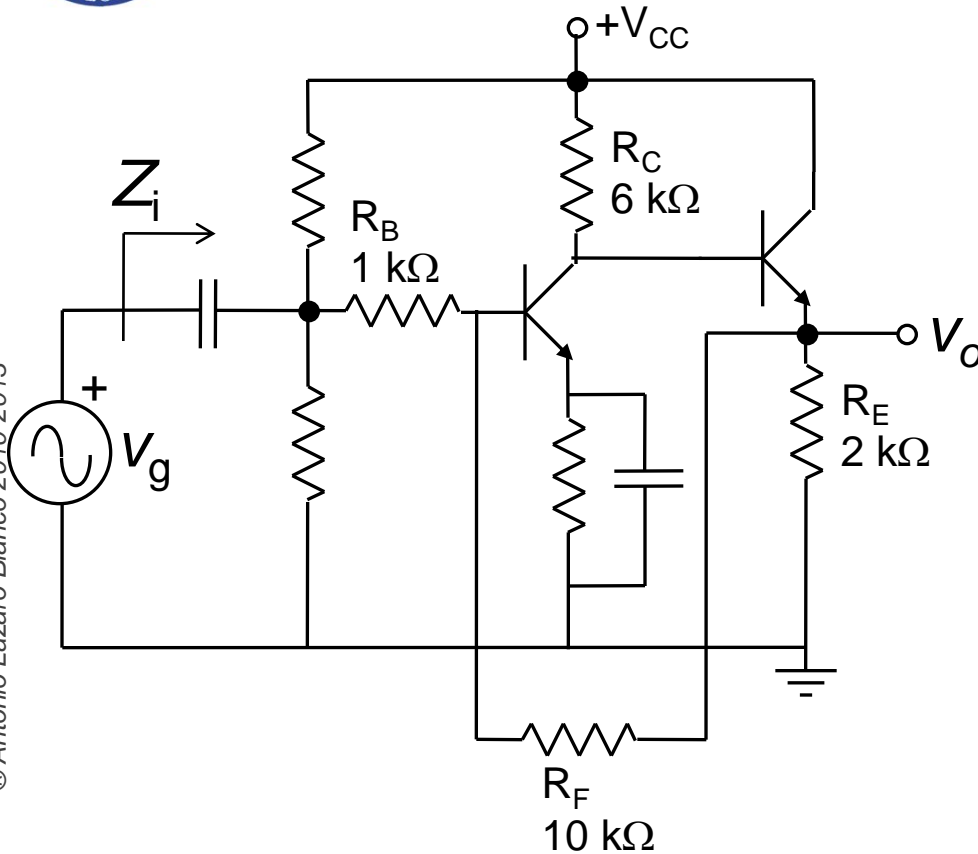
Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



OJO
Etapas en cascada

*corriente – tensión
paralelo - paralelo*

Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



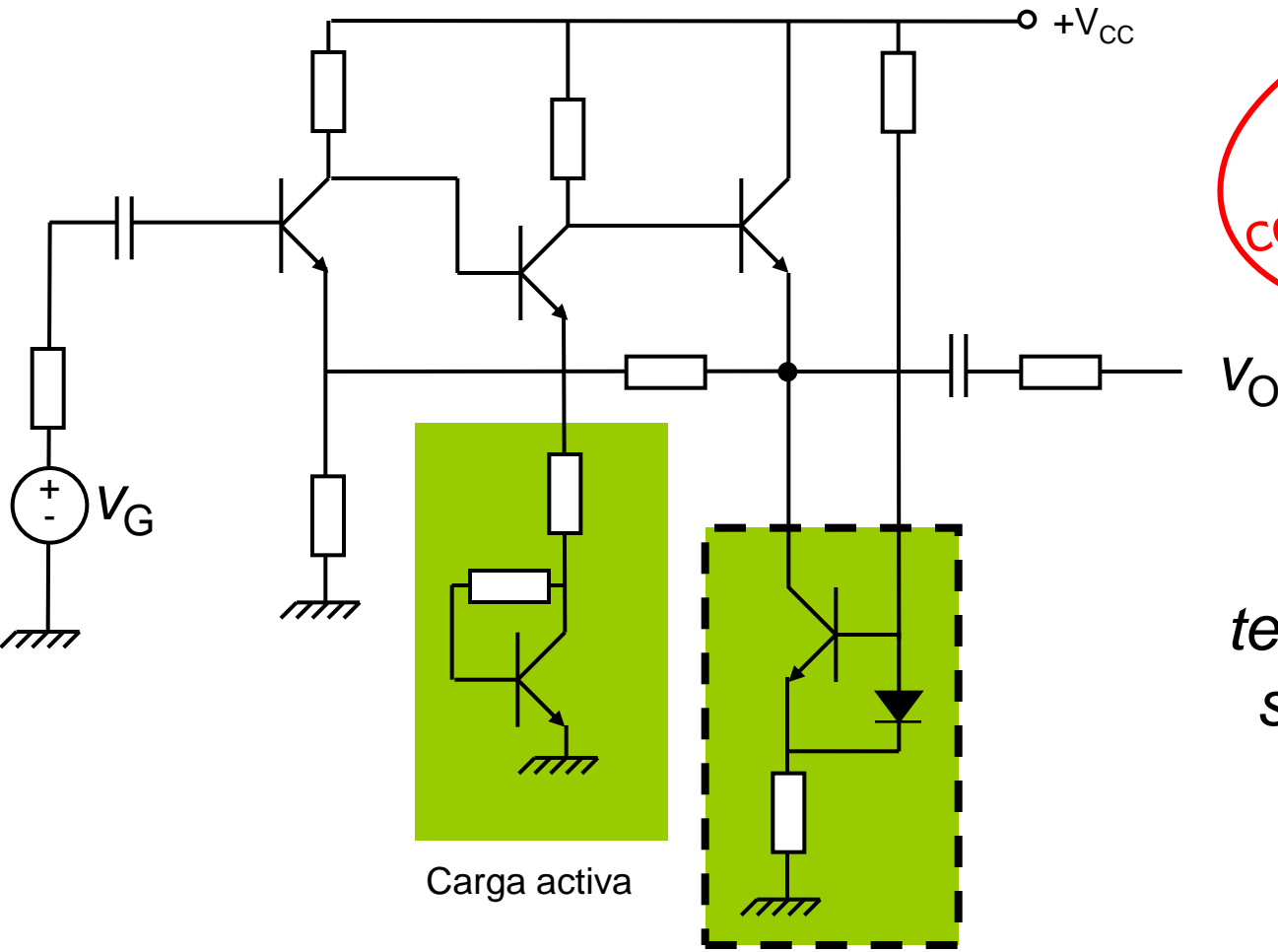
OJO

- Resistencia del generador
- El tipo de realimentación no coincide con v_o/v_g

*corriente – tensión
paralelo - paralelo*

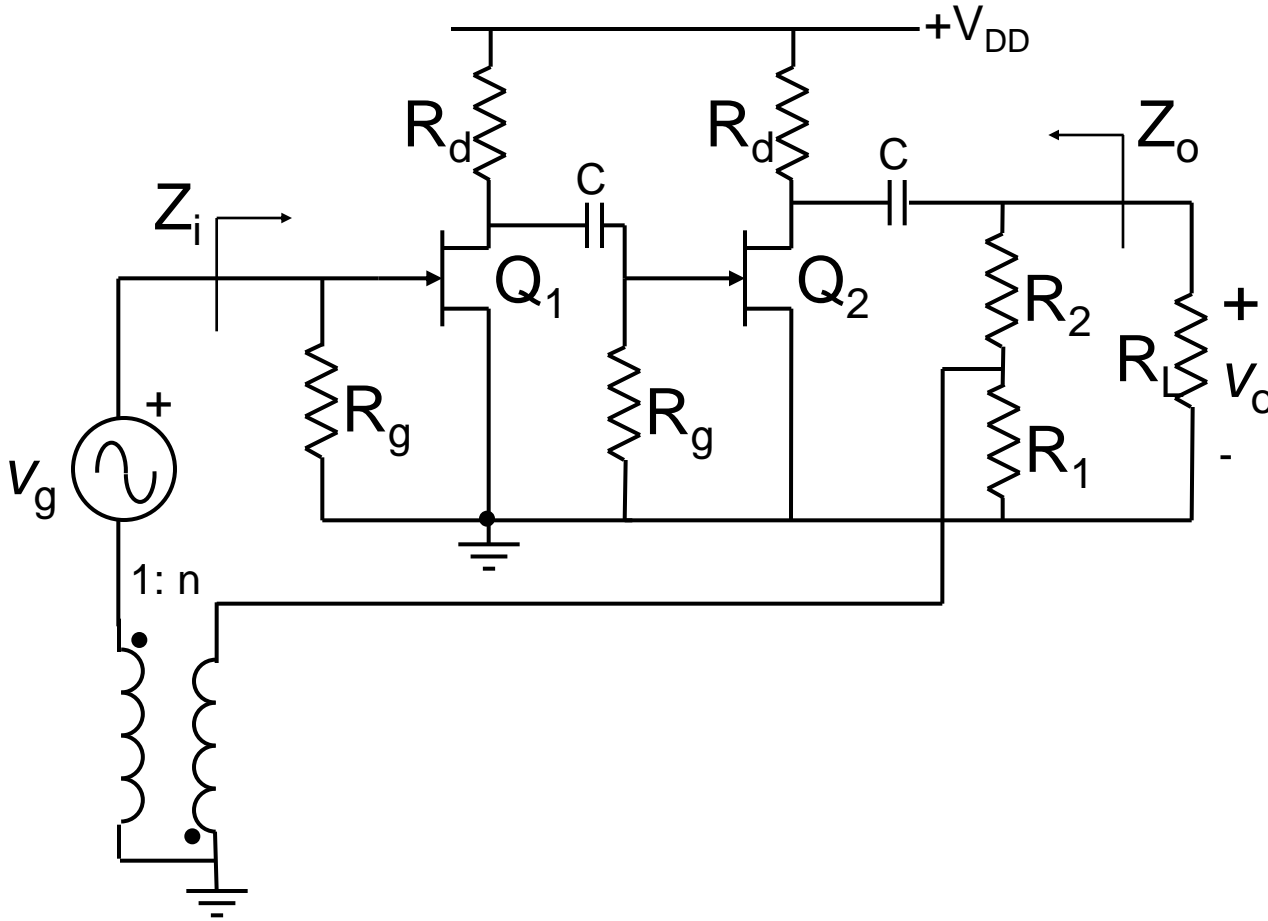
Ejemplos de identificación de la topología de realimentación

© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013



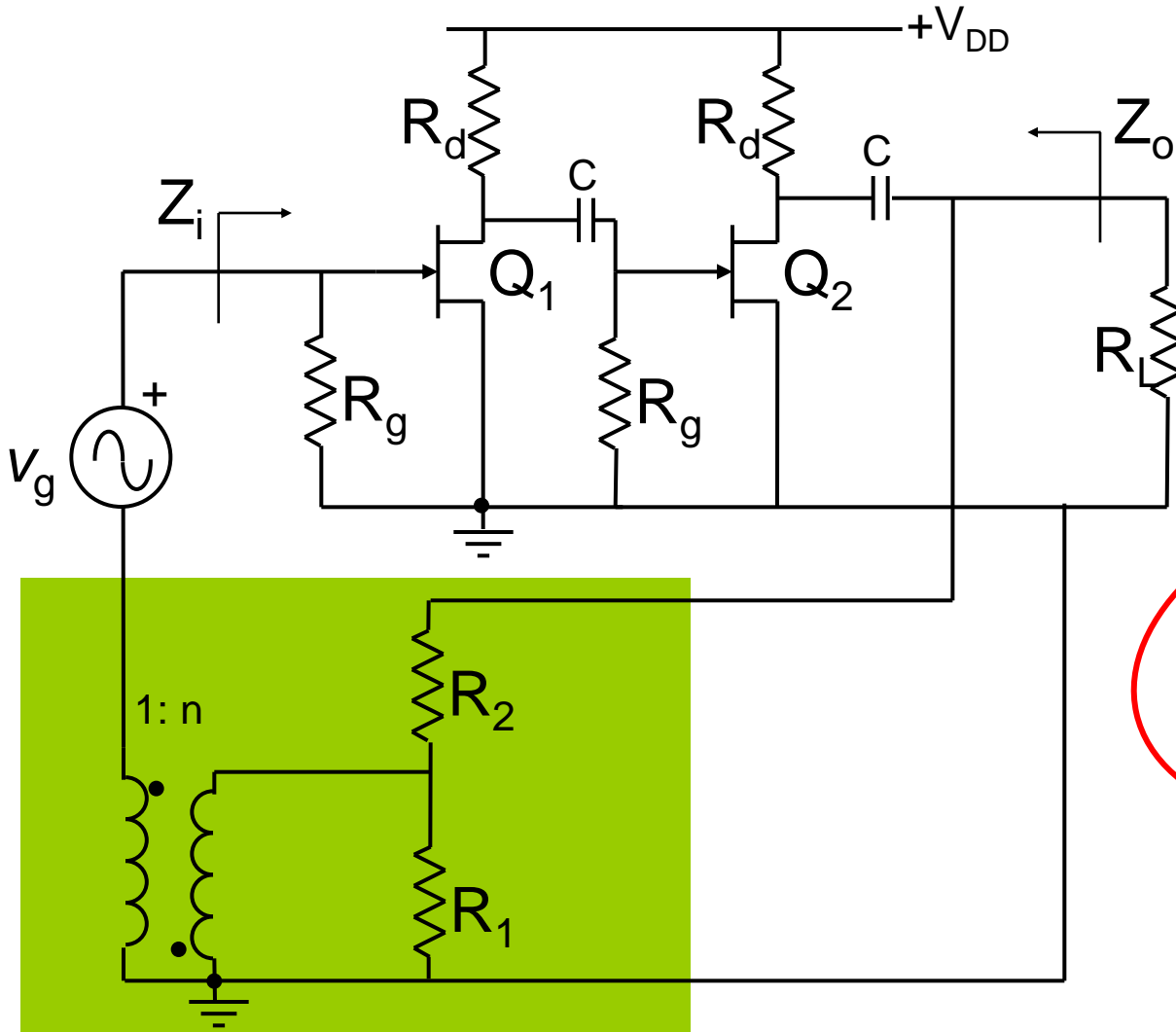
OJO Fuentes de corriente y cargas activas

*tensión – tensión
serie - paralelo*



© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013

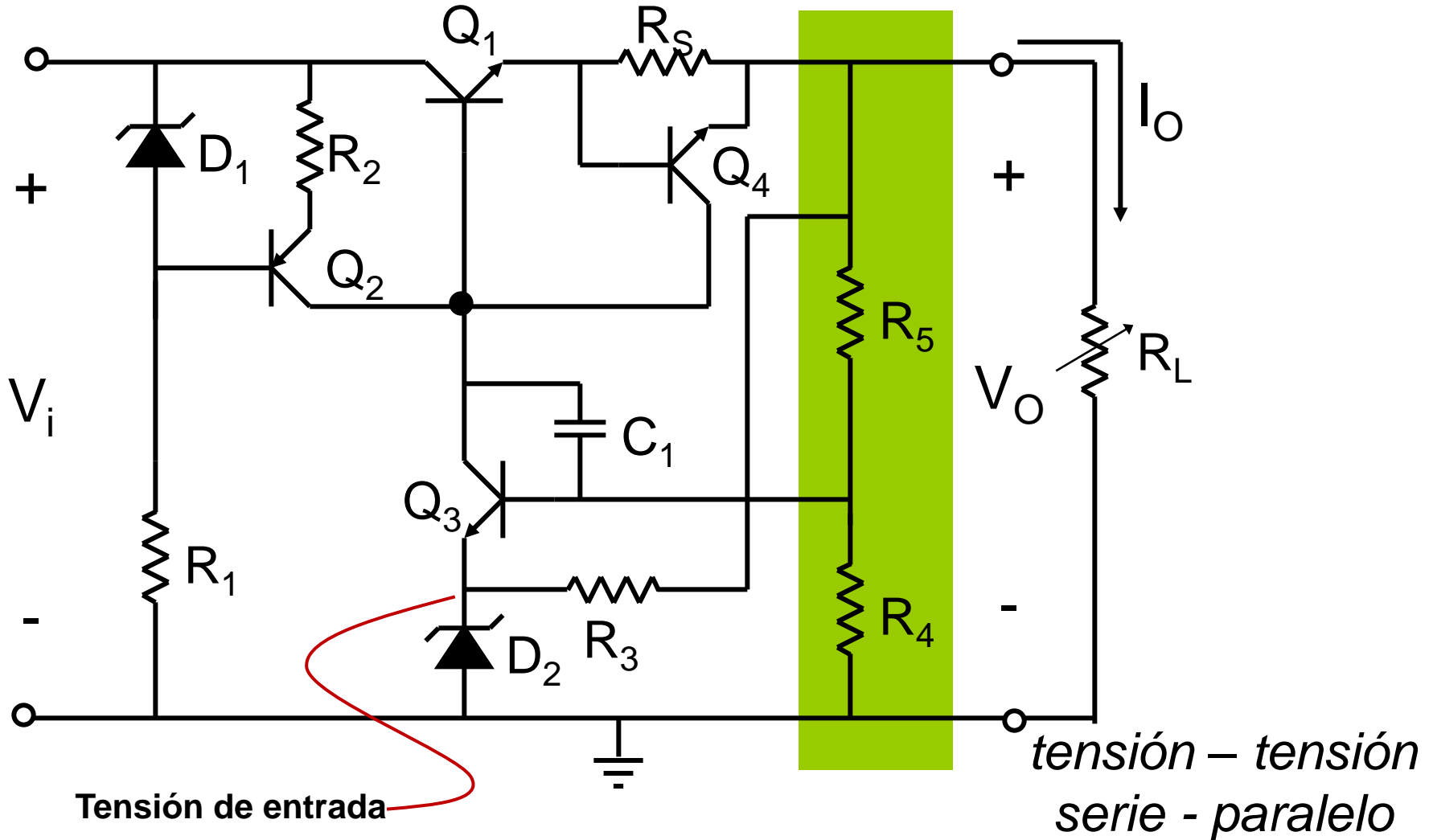
Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



OJO
 La red β no tiene
 que estar formada
 solo por
 resistencias

*tensión – tensión
 serie - paralelo*

Ejemplos de identificación de la topología de realimentación



© Antonio Lázaro Blanco 2010-2013