

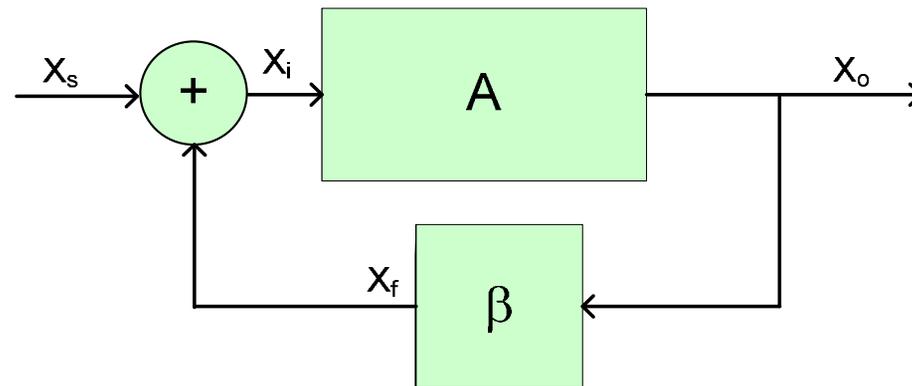
TEMA 3

Conceptos de Realimentación

Concepto de Realimentación

2

La realimentación consiste en introducir una porción de la señal de salida a la entrada del sistema.



Realimentar negativamente significa en que la porción de señal de salida se introduce a la entrada de forma tal, que se resta a la misma.

$$x_f = \beta x_o$$

$$x_i = x_s - x_f$$

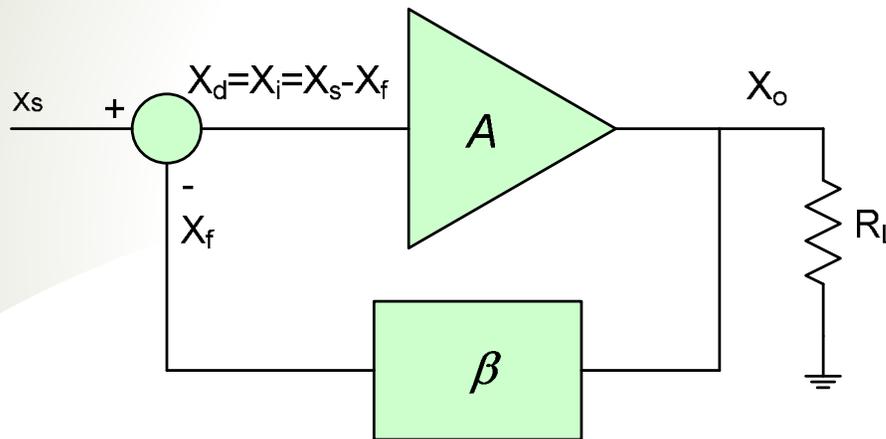
Ventajas de la Real. Negativa

Usando realimentación negativa en un amplificador, se obtiene:

- Estabilidad en el valor de la ganancia
- Ajustar el ancho de banda según necesidades
- Operación más lineal y con menos distorsión
- Control en el valor de la impedancia de entrada del circuito
- Control en el valor de la impedancia de salida del circuito

Esquema amplificador realimentado

4



$$x_f = \beta x_o$$

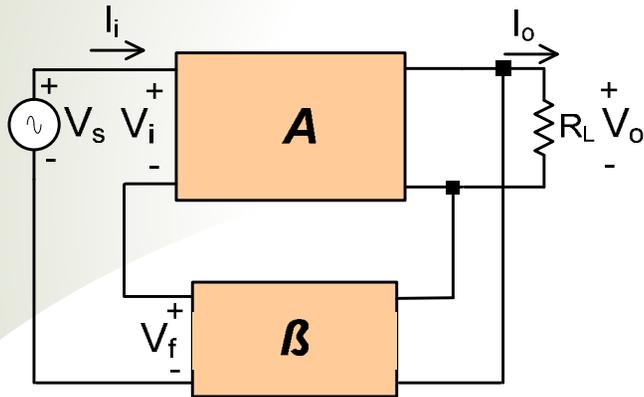
$$x_i = x_s - x_f$$

Beneficios: Estabiliza la ganancia del amplificador contra cambios en los parámetros de los dispositivos; permite modificar las impedancias de entrada y salida del circuito; reduce la distorsión de la forma de onda de la señal que produce; incremento en el ancho de banda de los circuitos.

Desventajas: Reduce la ganancia del circuito; resulta necesario añadir etapas de amplificación adicionales; aumento en el costo del circuito; se producen oscilaciones si no se realiza un diseño correcto.

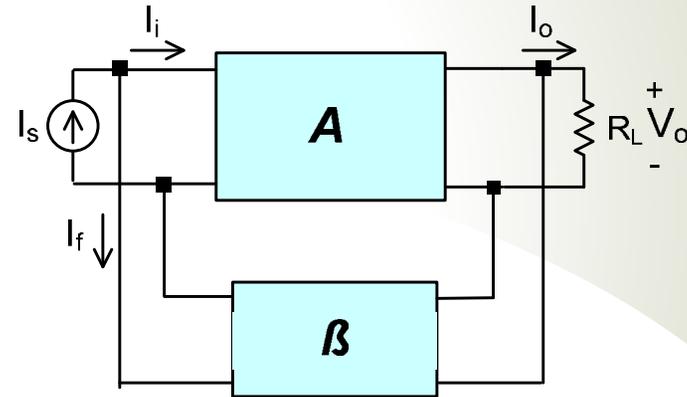
TOPOLOGIAS-Modos y Tipos

V-S



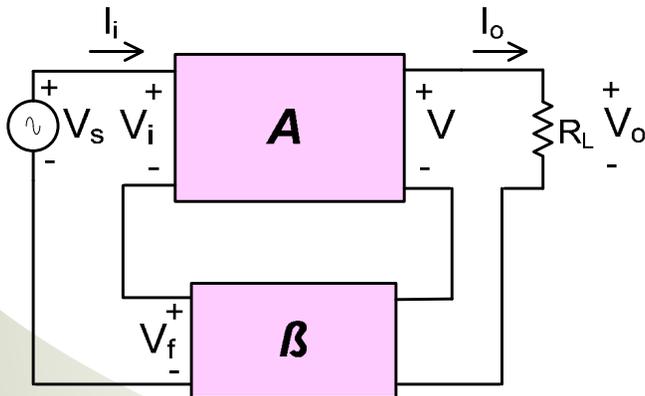
$$A = V_o / V_i$$

V-P



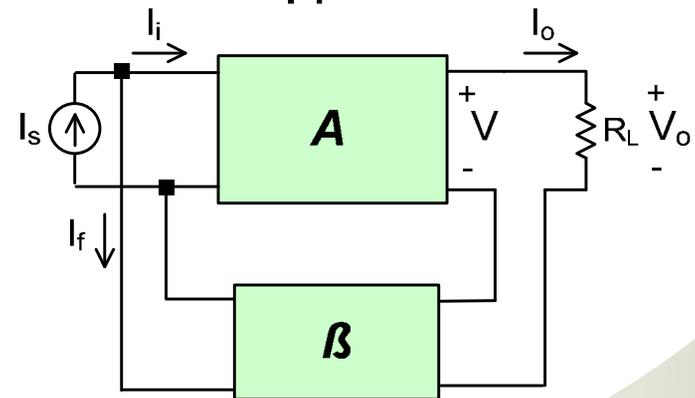
$$R_m = V_o / I_i$$

I-S



$$G_m = I_o / V_i$$

I-P



$$A_i = I_o / I_i$$

Parámetros

Nombre del parámetro	Símbolo	V-S	V-P	I-S	I-P
Ganancia del amplificador	A	V_o/V_i	V_o/I_i	I_o/V_i	I_o/I_i
Realimentación	β	V_f/V_o	I_f/V_o	V_f/I_o	I_f/I_o
Ganancia del amplificador realim.	A_f	V_o/V_s	V_o/I_s	I_o/V_s	I_o/I_s
Ganancia de lazo	$-A\beta$	V_f/V_i	I_f/I_i	V_f/V_i	I_f/I_i

Condiciones fundamentales

7

Para que resulte válidas las deducciones que siguen deben cumplirse las siguientes consideraciones:

1- La señal de entrada se transmite a la salida a través del amplificador y no de la red β . Esto significa que la **red de realimentación es unilateral**.

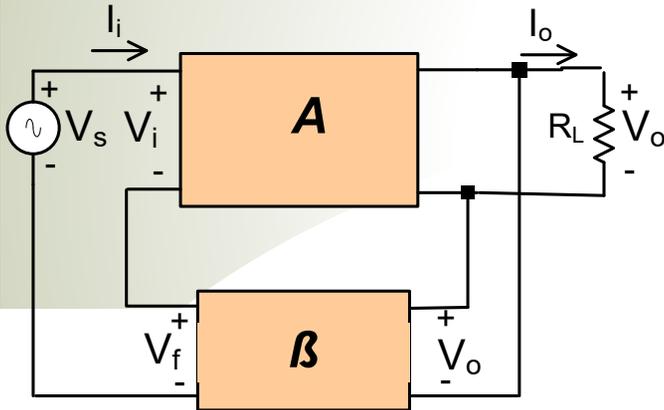
2- La señal de realimentación se transmite desde la salida hacia la entrada solo a través de la red β . Esto significa que el **amplificador es unilateral**.

3- La relación de transferencia de β es **independiente** de R_s (resistencia del generador de señales) y R_L (resistencia de carga).

En la práctica este no será el caso y deberemos llevar el circuito real a la estructura ideal.

Calculo de la ganancia Realimentada

Realimentación de tensión en serie



$$A_f = \frac{V_o}{V_s}$$

$$V_o = A V_i$$

$$V_o = A (V_s - V_f)$$

$$V_o = A (V_s - \beta V_o)$$

$$V_o (1 + \beta A) = A V_s$$

$$V_o = \frac{A V_s}{(1 + \beta A)} \rightarrow A_f = \frac{A}{(1 + \beta A)}$$

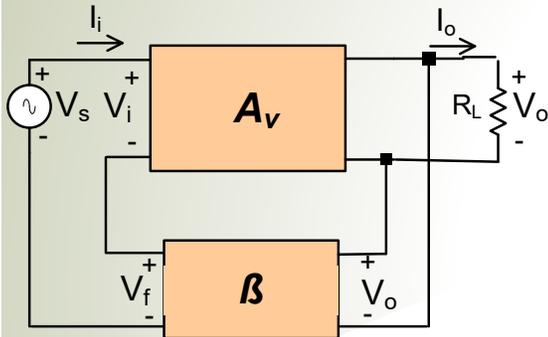
Se puede demostrar que esta expresión de la ganancia realimentada A_f se cumple para todas las configuraciones

**Desventaja de la Realimentación negativa:
LA GANANCIA DISMINUYE!!!!**

Consideraciones sobre la ganancia Realimentada

9

Realimentación de tensión en serie



$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

$$|1 + \beta A| > 1$$



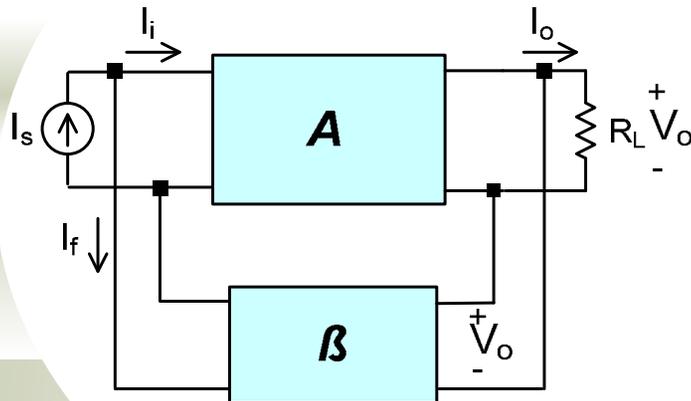
Realimentación negativa

$$|1 + \beta A| < 1$$



Realimentación positiva

Realimentación de tensión en paralelo



$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Observar:

- *Signo denominador*
- *Dimensiones de A y B*

Nombre del parámetro	Símbolo	V-S	V-P	I-S	I-P
Ganancia del amplificador	A	V_o/V_i	V_o/I_i	I_o/V_i	I_o/I_i
Realimentación	β	V_f/V_o	I_f/V_o	V_f/I_o	I_f/I_o
Ganancia del amplif. realim.	A_f	V_o/V_s	V_o/I_s	I_o/V_s	I_o/I_s
Ganancia de lazo	$-A\beta$	V_f/V_i	I_f/I_i	V_f/V_i	I_f/I_i

Realimentación negativa y positiva

10

Como:

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Entonces, si: $|1 + \beta A| > 1 \Rightarrow \beta A > 0 \Rightarrow$ Realimentación negativa

Si el producto de A por β es un valor positivo ($A \cdot \beta > 0$), entonces el denominador de A_f será mayor que la unidad y por lo tanto $A_f < A$, condición para que la realimentación sea negativa.

Si $0 < |1 + \beta A| < 1$ Realimentación positiva

A y β pueden ser funciones complejas dependientes de la frecuencia.

Si A y β son constantes reales; entonces A y β tienen valores constantes e independientes de la frecuencia.

Desensibilidad

11

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

Si se deriva respecto de A:

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{1 \times (1 + \beta A) - (A (\beta))}{(1 + \beta A)^2}$$

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{1}{(1 + \beta A)^2} = \frac{1}{(1 + \beta A)} \frac{A}{(1 + \beta A)} \frac{1}{A}$$

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA}{A} \frac{1}{(1 + \beta A)}$$

Si $|1 + \beta A| > 1$

el cambio relativo de la ganancia de un amplificador es menor cuando el mismo está realimentado negativamente.

$$S = \frac{1}{1 + \beta A}$$



Sensibilidad

$$D = 1 + \beta A$$



Desensibilidad

Ejemplo: Desensibilidad

Un amplificador sin realimentar tiene una tensión de salida de 9,3 V, cuando es excitado por una tensión de 30 mV. Si por efecto de cambios en la tensión de alimentación el amplificador varía su ganancia en un 12%.

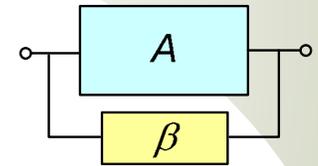
a) Calcule el valor de β de un circuito realimentado que permita que ese cambio sea de 0,2 %.

1) Ganancia sin realimentar: $A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{9,3}{0,30} = 310$

2) Variación de la ganancia sin realimentar:

$$\frac{\Delta A}{A} = 12\%$$

3) Despejando $\beta \Rightarrow \beta = 0,19$



b) ¿Cuál es la tensión de salida para el circuito realimentado?

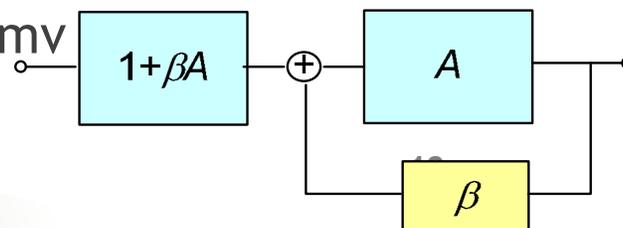
1) $\frac{dA_f}{A_f} = 0,2\% = \frac{dA}{A} \frac{1}{1 + \beta A}$

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = 5,167$$

2) La ganancia realimentada:

$$V_{of} = A_f \times V_i = 5,167 \times 30mV = 155,01mV$$

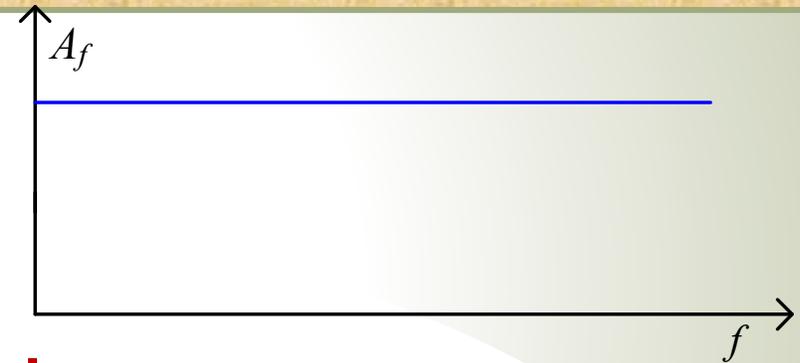
Al ser excitado por 30mV



Efectos de la Realimentación Neg. en el AB

13

$$A_f = \frac{A}{(1 + \beta A)} \cong \frac{1}{\beta} \quad \text{si } \beta A \gg 1$$



Para un amplificador de un solo polo

$$A(jf) = \frac{A_o}{1 + j \left(\frac{f}{f_H} \right)}$$

entonces

$$A_f = \frac{\frac{A_o}{1 + j \left(\frac{f}{f_H} \right)}}{1 + \beta \frac{A_o}{1 + j \left(\frac{f}{f_H} \right)}} = \frac{A_o}{1 + \beta A_o + j \left(\frac{f}{f_H} \right)}$$

$$A_f = \frac{A_o / (1 + \beta A_o)}{1 + j \frac{f}{f_H} \frac{1}{(1 + \beta A_o)}} = \frac{A_{of}}{1 + j \frac{f}{f_{Hf}}}$$

$$A_{of} = \frac{A_o}{1 + \beta A_o}$$

$$f_{Hf} = f_H (1 + \beta A_o)$$

Efectos de la Realimentación Neg. en el AB

14

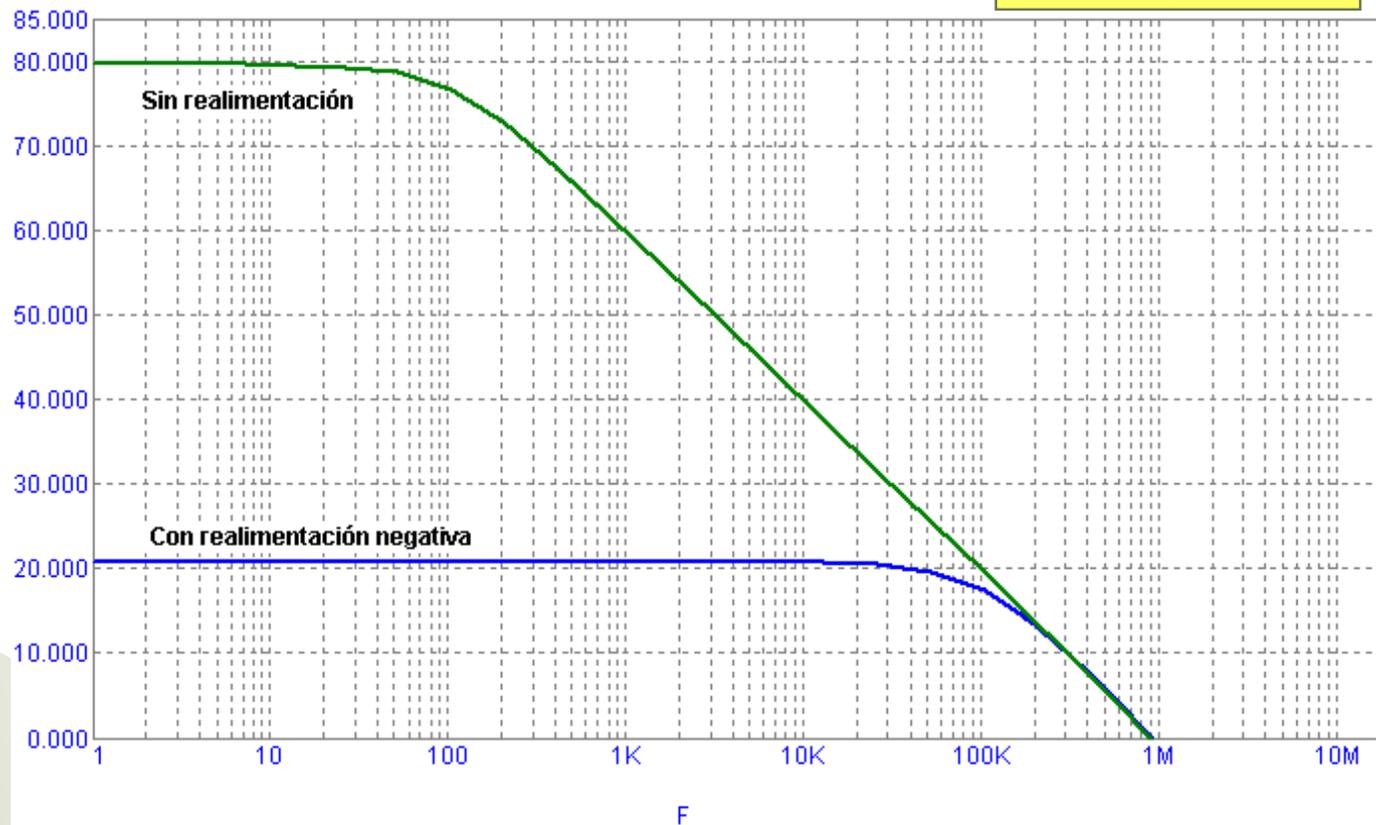
Si $f_H \gg f_L$ se cumplirá: \rightarrow $f_{Hf} A_{of} = f_H A_o$

Para el circuito realimentado se cumplirá:

$$A(jf) = \frac{A_o}{1 - j \left(\frac{f_L}{f} \right)}$$

Tb se puede demostrar que en el circ. realimentado:

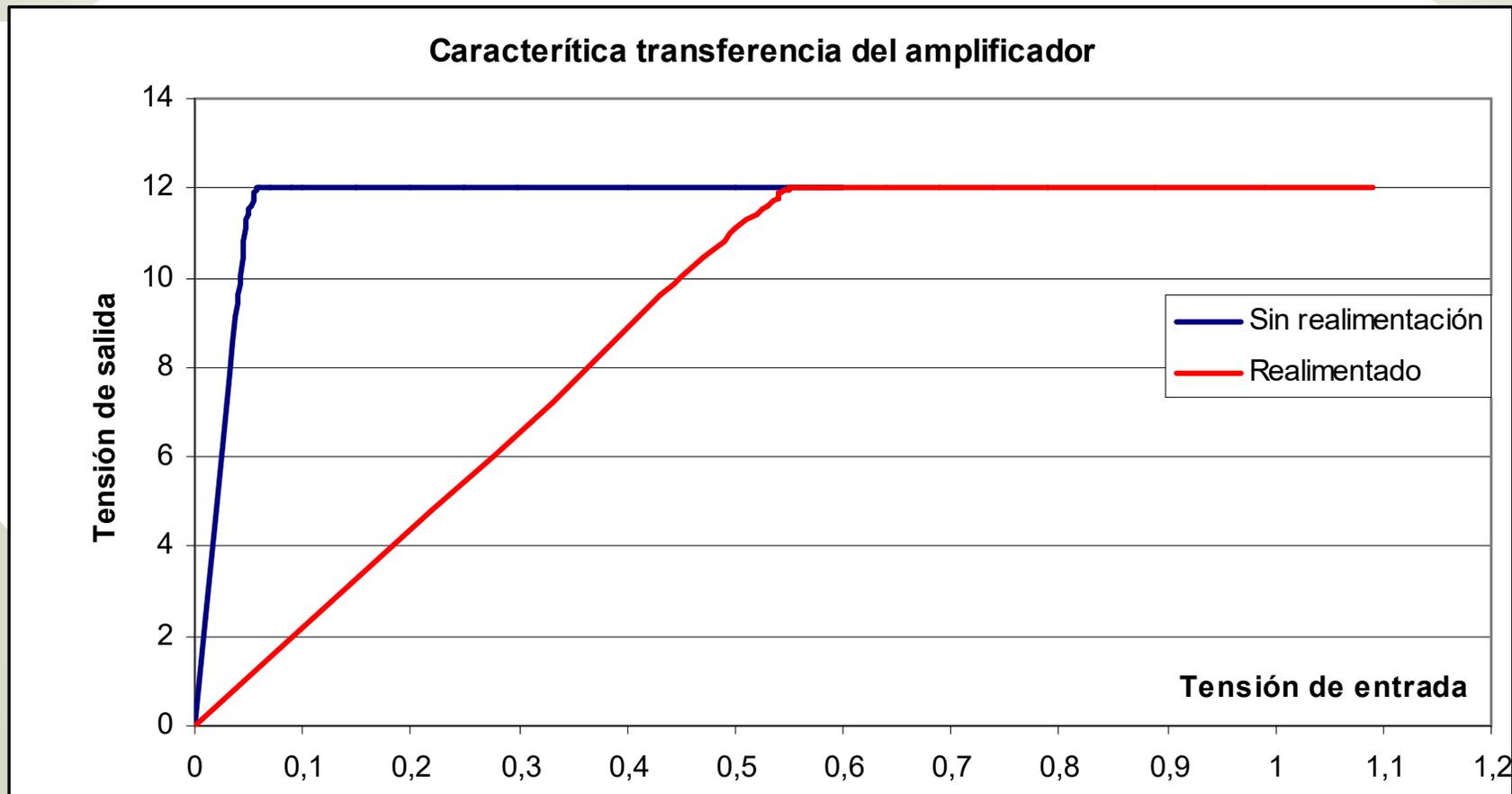
$$f_{Lf} = \frac{f_L}{(1 + \beta A_o)}$$



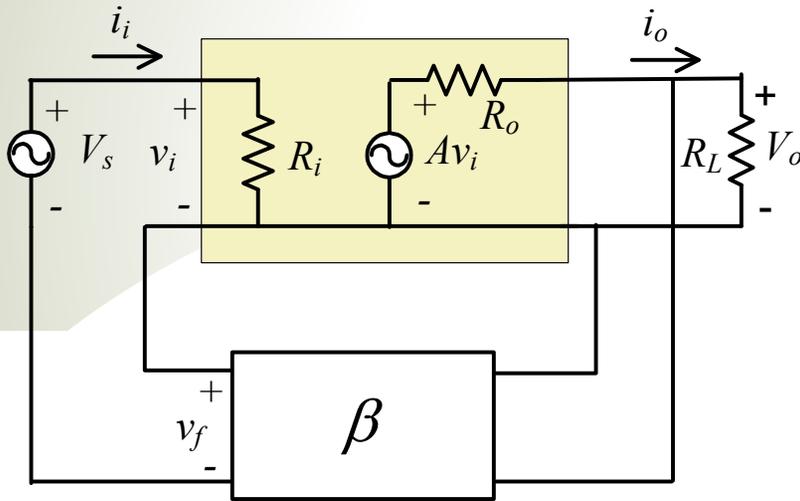
Reducción de la Distorsión no Lineal

15

La realimentación negativa reduce las características no lineales del amplificador básico, y por lo tanto disminuye la distorsión. Observar la mejora en la curva de transferencia en tensión no-lineal de un amplificador. Este efecto es más notorio cuando se cumple $\beta A \gg 1$



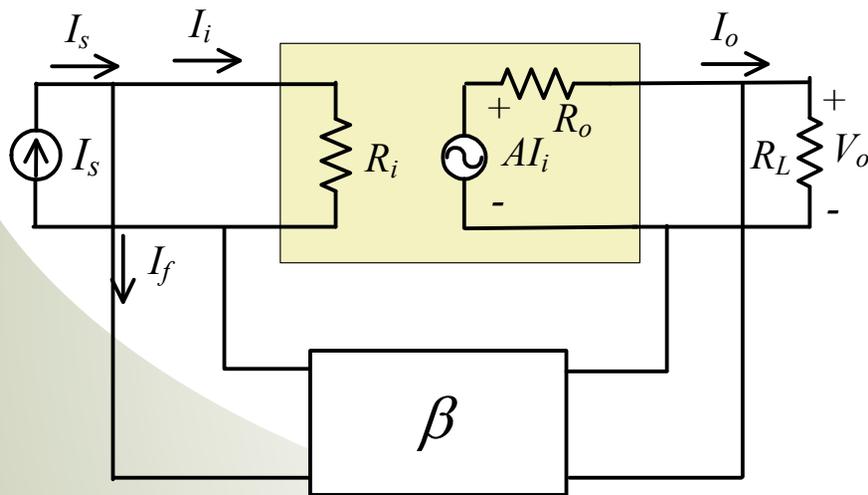
Efecto de la realimentación en la impedancia de entrada de los circuitos realimentados



Modo Serie

$$Z_{if} = \frac{V_s}{I_i} \quad Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

$$Z_{if} = (1 + \beta A) Z_i$$



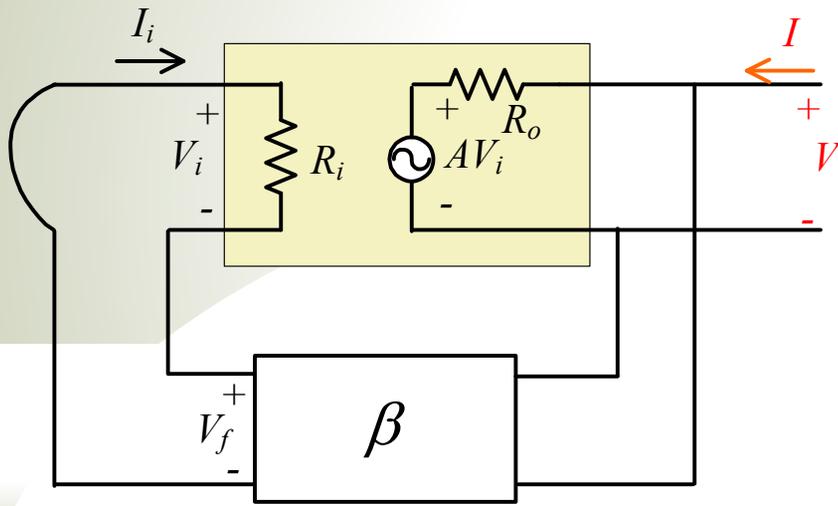
Modo Paralelo

$$Z_{if} = \frac{V_i}{I_s} \quad Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

$$Z_{if} = \frac{Z_i}{1 + \beta A_o}$$

Efecto de la realimentación en la impedancia de salida de los circuitos realimentados

17



Muestra de Tensión

$$Z_{of} = \frac{V}{I}$$

$$Z_o = R_o$$

$$V_i = -V_f$$

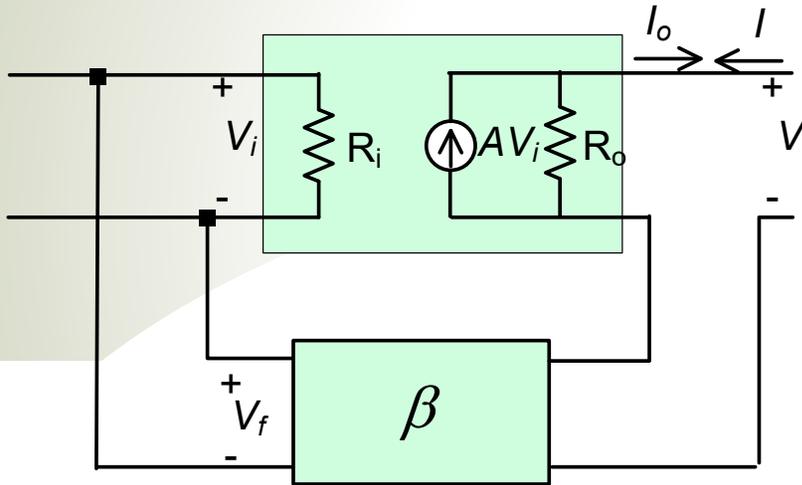
$$V = I.Z_o + A.V_i = I.Z_o - A.V_f$$

$$V = I.Z_o - A.\beta.V$$

$$V(1 + A.\beta) = I.Z_o$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{(1 + A\beta)}$$

Efecto de la realimentación en la impedancia de salida de los circuitos realimentados



Muestra de Corriente

$$Z_{of} = \frac{V}{I} \quad Z_o = R_o$$

$$V_i = -V_f \quad R_L \gg R_\beta$$

$$I = -I_o$$

$$I = \frac{V}{Z_o} - A \cdot V_i = \frac{V}{Z_o} + A \cdot V_f$$

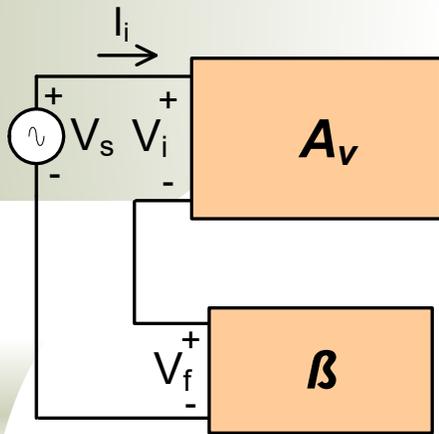
$$I = \frac{V}{Z_o} - A \cdot \beta \cdot I$$

$$Z_o (1 + A \cdot \beta) \cdot I = V$$

$$Z_{of} = Z_o \cdot (1 + A \beta)$$

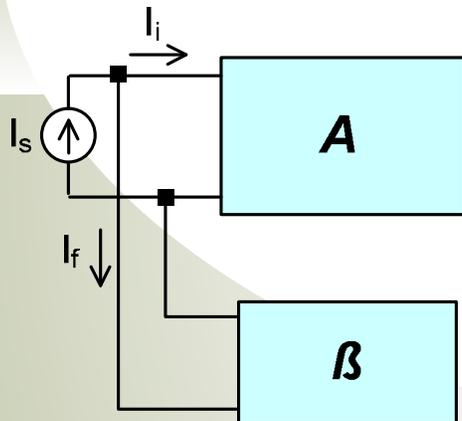
Como Identificar el modo de Realimentación

Para identificar si es realimentación serie o paralelo, se debe examinar el circuito de entrada.



Si la señal a realimentar se introduce en serie a la entrada (modo serie), se cumplirá estrictamente las siguientes ecuaciones, a la vez:

$$\left. \begin{aligned} v_s &= v_i + v_f \\ i_s &= i_i \end{aligned} \right\}$$

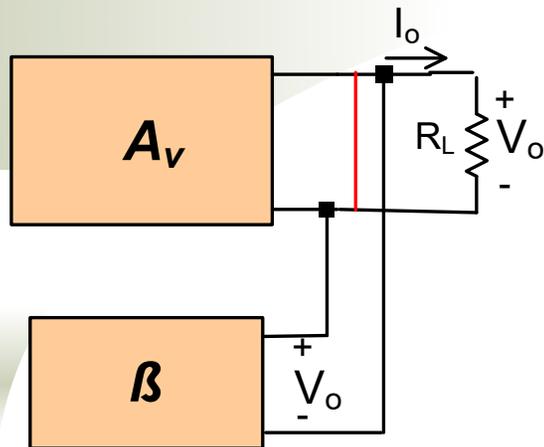


Si la señal que se realimenta se introduce en paralelo a la entrada (modo paralelo), se cumplirá estrictamente las siguientes ecuaciones, a la vez:

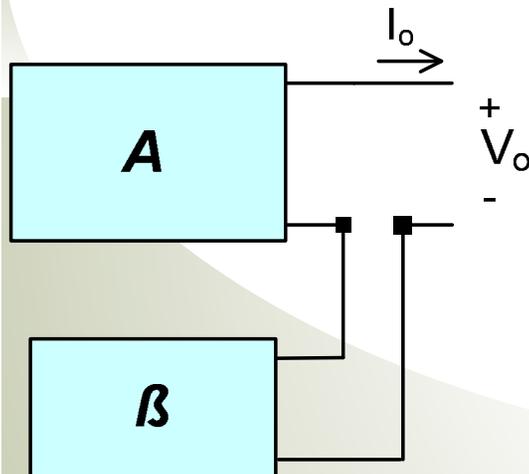
$$\left. \begin{aligned} i_s &= i_i + i_f \\ v_s &= v_i \end{aligned} \right\}$$

Como identificar el tipo de Realimentación

Para identificar si la muestra que se introducirá a la entrada es de tensión o de corriente, se debe examinar el circuito de salida.



Si al cortocircuitar la salida como muestra la figura; provocando que la tensión de salida se anule; la señal que se introduce a la entrada también es cero, entonces es una muestra de tensión



Pero si cuando se deja el circuito de salida abierto, como muestra la figura; provocando que la corriente de salida sea cero, la señal que se introduce a la entrada se anula, entonces la muestra que se está tomando es de corriente.

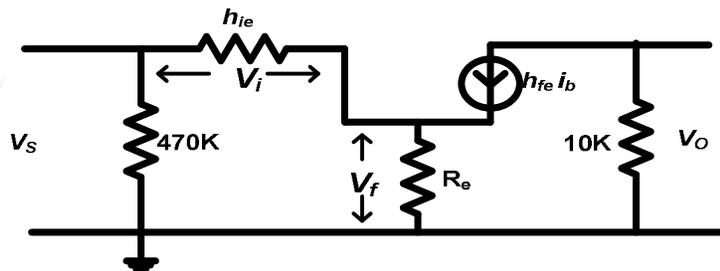
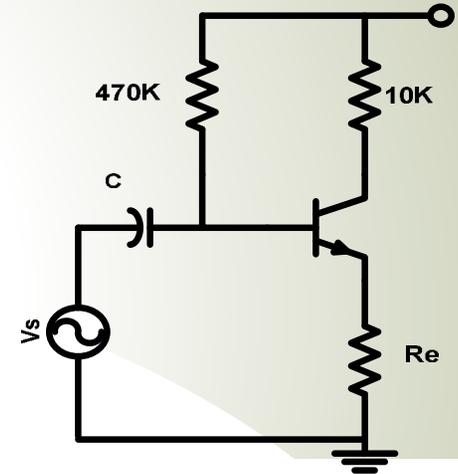
Ejemplo

21

Se necesita fabricar una partida de amplificadores, usando el circuito de la figura. Para la producción se dispone de transistores cuyos parámetros son:

$$h_{fe \text{ mín}} = 120, h_{fe \text{ máx}} = 350, h_{ie} = 2 \text{ K}\Omega, h_{re} = h_{oe} = 0.$$

a) Aplicando criterios de realimentación, calcule el valor de R_e para que los amplificadores no varíen su ganancia de tensión en más de un 4 %.



$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{v_o}{v_s}$$

$$\beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{i_e R_e}{i_c R_c} \approx \frac{R_e}{R_c}$$

$$A = \frac{V_o}{V_s} = -\frac{h_{fe} \cdot i_b \cdot R_c}{i_b \cdot h_{ie}} \quad (\text{sin realimentación})$$

$$\frac{\Delta A_f}{A_f} \% = 4\%$$

Entonces β se obtiene de la siguiente expresión :

$$\frac{\Delta A_f}{A_f} = \frac{\Delta A}{A} * \frac{1}{1 + \beta * A_{\text{máx}}} \Rightarrow \beta = 0.027$$

Problema: *la red de realimentación representa una carga para el amplificador . Por lo tanto cuando se diseña la red β se deben adoptar valores de forma tal que se cumpla:*

1- La señal de entrada se transmite a la salida a través del amplificador y no de la red β . Esto significa que la red de realimentación es unilateral.

2- La señal de realimentación se transmite desde la salida hacia la entrada solo a través de la red β . Esto significa que el amplificador es unilateral.

3- La relación de transferencia de β es independiente de R_s (resistencia del generador de señales) y R_L (resistencia de carga)