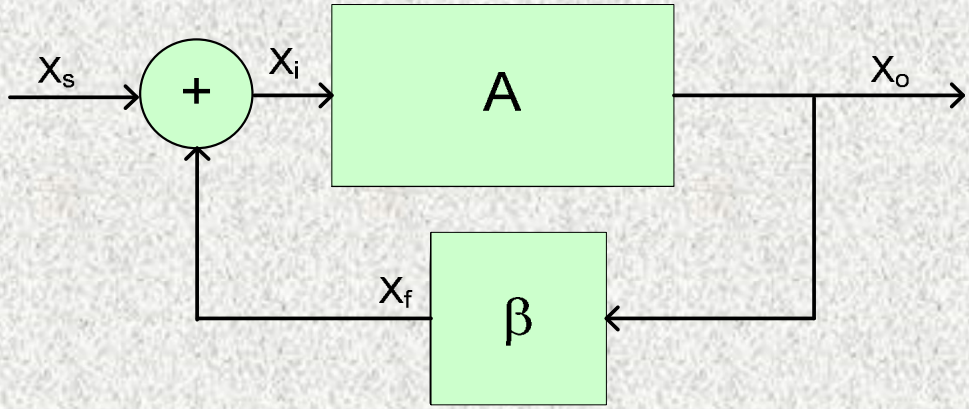
Tema 3

- Realimentación: Realimentación. Su influencia en circuitos amplificadores.
- Estabilidad. Criterio de Nyquist. Margen de ganancia, margen de fase.
- Osciladores. Configuraciones

Concepto de Realimentación

La realimentación consiste en llevar 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

$$x_f = \beta x_o$$

$$x_i = x_s - x_f$$

Concepto de Realimentación

La **realimentación negativa** busca el control y regulación de los procesos de un sistema.

Se encarga de mantener el equilibrio dentro del sistema, contrarrestando o modificando las consecuencias de ciertas acciones

Ejemplo:
Voy manejando un auto por una avenida cuyo límite de velocidad máxima es de 80 Km/h.
Conduzco, apretando el acelerador y mirando el velocímetro cada tanto. Cuando veo que la velocidad pasó los 80 Km/h; límite máximo permitido; levanto el pie del acelerador logrando disminuir la velocidad.
Minutos después, la avenida tiene pendiente ascendente, el auto comienza a disminuir su velocidad y para seguir en 80 Km/h, aprieto de nuevo el acelerador.

Concepto de Realimentación

La realimentación positiva, se encarga de amplificar o potenciar ciertos cambios o desviaciones introducidos en un sistema, para que este pueda evolucionar o crecer hacia un nuevo estado de equilibrio, diferente del anterior.

Ejemplo:

Una empresa de producción de calzado, diseña un programa de trabajo, para producir 5000 pares de sandalias para dama por semana. Al término de la primera semana se retroinforma a la *gerencia de operaciones* que la producción real fue de 5500 pares.

La gerencia decide entonces modificar su objetivo y lo lleva ahora a 5500 pares por semana. Las cosas se mantienen así por dos meses. Pero en el tercer mes la producción semanal vuelve a subir, esta vez a 5700 pares. Nuevamente, la gerencia modifica sus objetivos y fija esta nueva cifra como meta semanal.

La conducta que sigue esa gerencia de operaciones es de apoyar las acciones o las corrientes de entrada del sistema, de modo de aumentar siempre la producción.

Propiedades de la Real. Negativa

Usando realimentación negativa en un amplificador, se obtiene:

BENEFICIOS

- Estabilidad en el valor de la ganancia
- Respuesta en frecuencia mejorada
- Control en el valor de la impedancia de entrada del circuito
- Control en el valor de la impedancia de salida del circuito
- Operación más lineal y con menos distorsión

DESVENTAJAS

- Reduce la ganancia del circuito: resulta necesario añadir etapas de amplificación adicionales;
- Aumento en el costo del circuito;
- Se vuelve inestable para ciertas frecuencias. O sea, se producen oscilaciones si no se realiza un diseño correcto.

Diagrama Amplificador realimentado

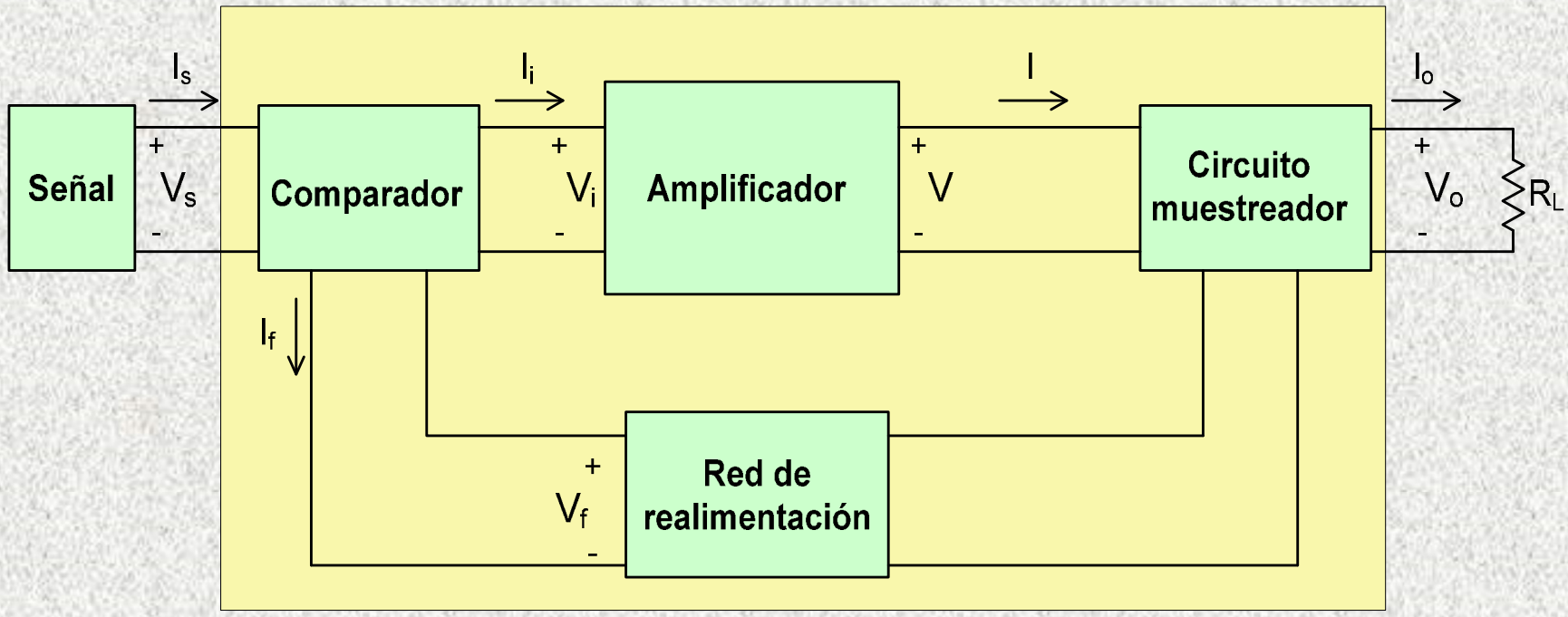
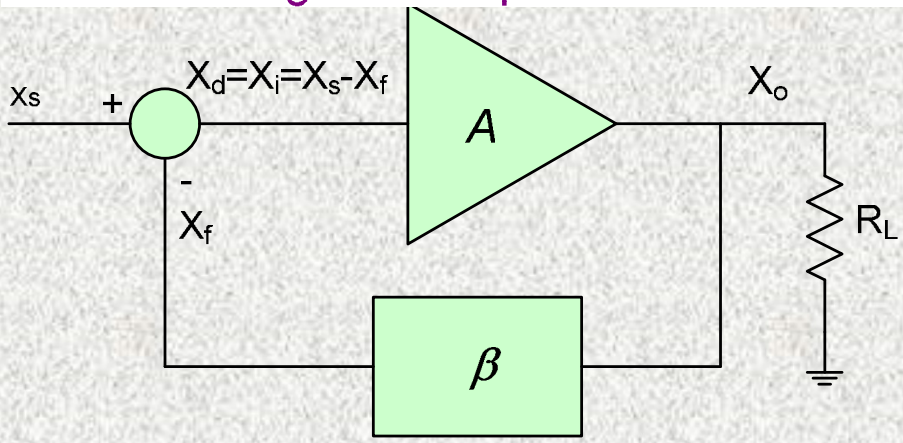


Diagrama Esquemático

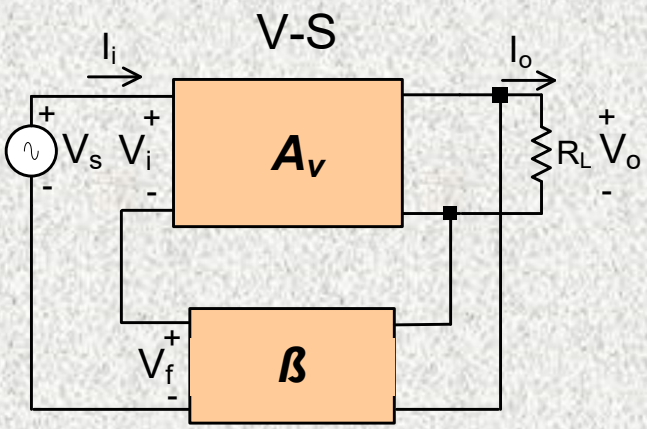


$$x_f = \beta x_o$$

$$x_i = x_s - x_f$$

TOPOLOGIAS-Modos y Tipos de Realimentación

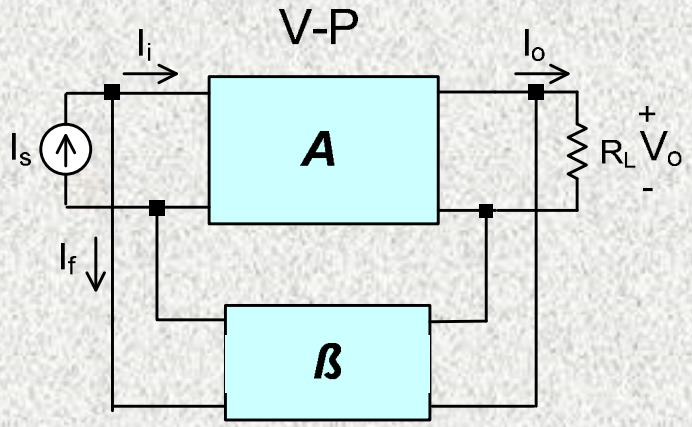
V-S



$A_v = V_o / V_i$

$\beta = V_f / V_o$

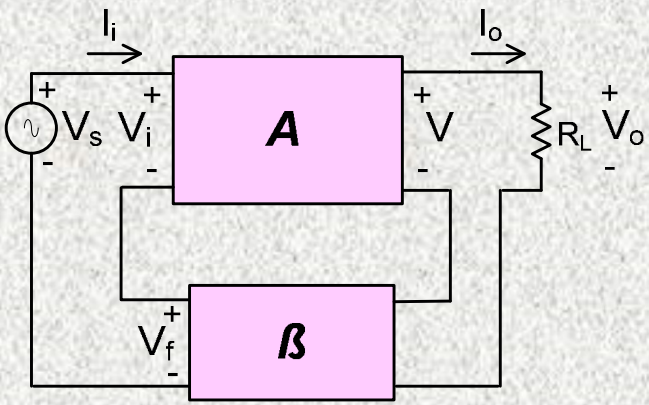
V-P



$A = R_m = V_o / I_i$

$\beta = I_f / V_o$

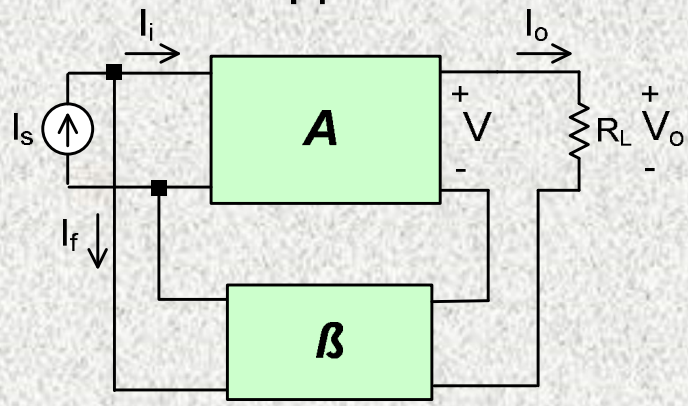
I-S



$A = G_m = I_o / V_i$

$\beta = V_f / I_o$

I-P



$A = A_i = I_o / I_i$

$\beta = I_f / I_o$

Condiciones fundamentales

Para que resulte <u>válidas</u> 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 ß. 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 ß. Esto significa que el amplificador es unilateral.

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

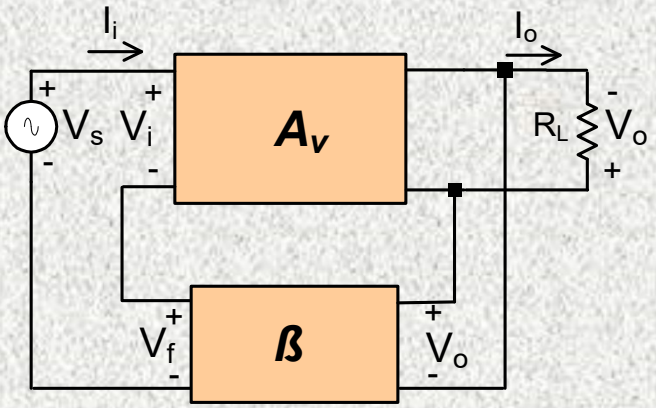
En la práctica este no será el caso y deberemos llevar el circuito real a la estructura ideal.

Parámetros

Nombre del parámetro	Símbolo	V-S	V-P	I-S	I-P
Ganancia del amplificador	A	V_0/V_i	V_0/I_i	I_0/V_i	I_0/I_i
Realimentación	β	V_f/V_0	I_f/V_0	V_f/I_0	I_f/I_0
Ganancia del amplificador realimentado	A_f	V_0/V_s	V_0/I_s	I_0/V_s	I_0/I_s
Ganancia de lazo	$-A\beta$	V_f/V_i	I_f/I_i	V_f/V_i	I_f/I_i

Calculo de la ganancia Realimentada

Realimentación de tensión en serie



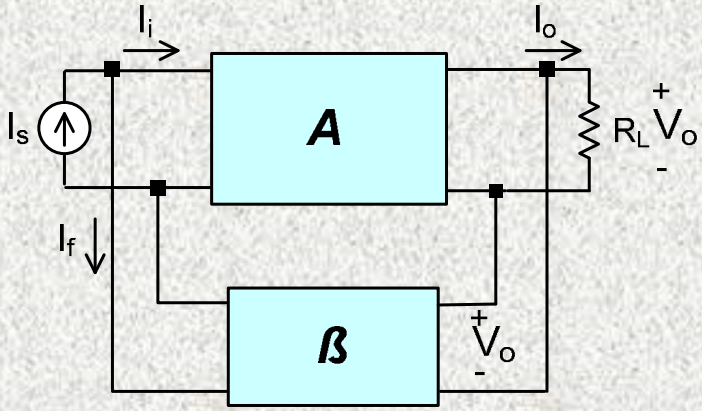
$$A_f = \frac{V_o}{V_s} \qquad V_o = A V_i \qquad V_o = A\,(V_s - V_f)$$

$$V_f = \beta\, V_o \qquad V_o = A\,(V_s - \beta\, V_o)$$

$$V_o\,(1+\beta\, A) = A\, V_s \qquad V_o = \frac{A\, V_s}{(1+\beta\ A)}$$

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

Realimentación de tensión en paralelo



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

$$\boxed{I_f = \beta\ V_o}$$

Observar:

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

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

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

Entonces, si : $|(1+\beta A)| > 1$ la Realimentación es negativa

Si $|(1+\beta A)| < 1$ la realimentación es positiva

A y β pueden ser funciones complejas de la frecuencia, pero por ahora se supondrá que son constantes reales; esto quiere decir que A y β tienen valores constantes e independientes de la frecuencia.

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

Desensibilidad

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

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

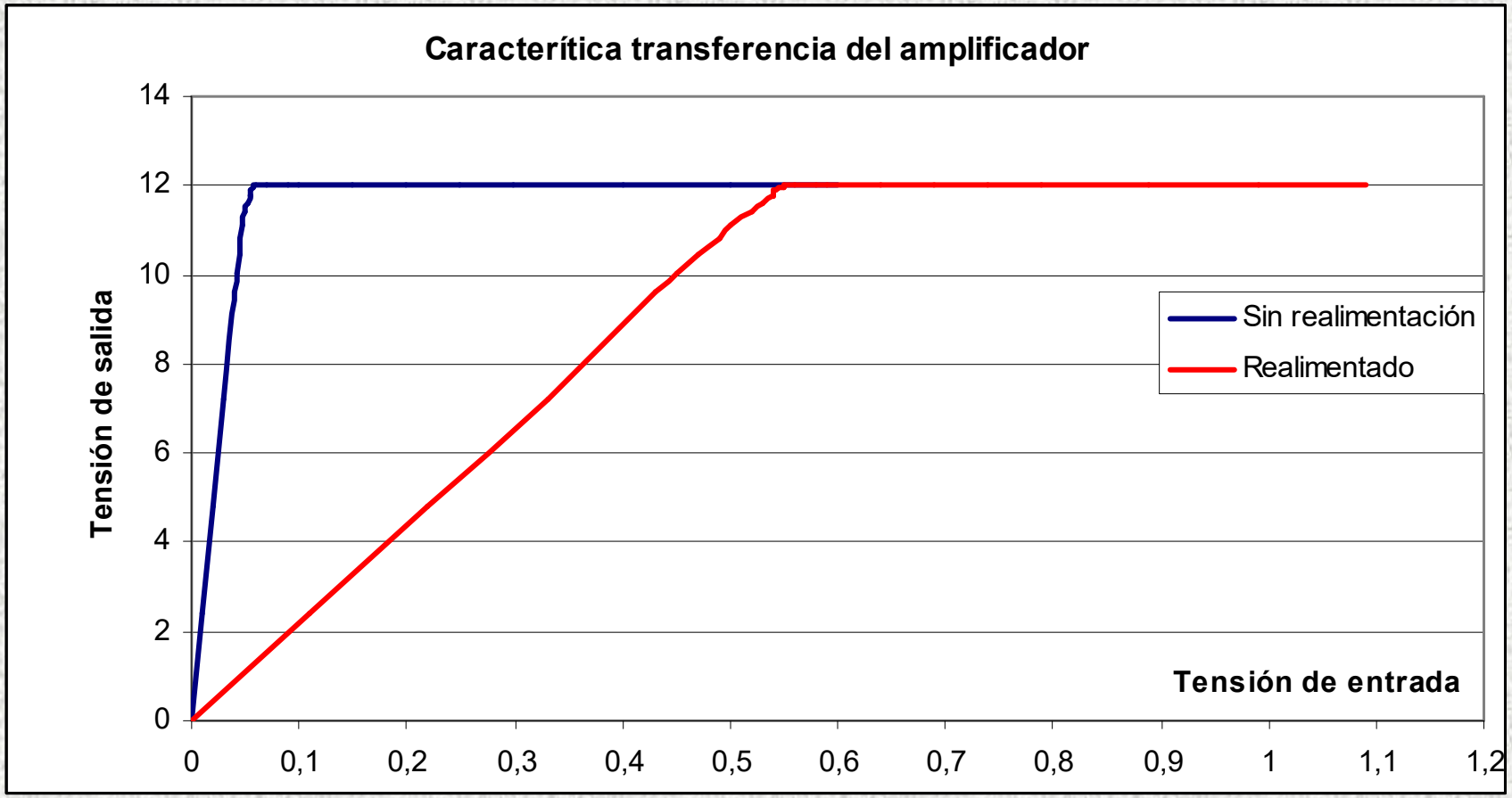
$$D = 1+\beta A$$ ⇨ Desensibilidad

Quiere decir que la ganancia realimentada se "desensibiliza" en una cantidad (1+β.A) de las variaciones producidas por de temperatura, tensión de alimentación, etc

Reducción de la Distorsión no Lineal

La realimentación negativa reduce las características no lineales del amplificador básico, y por lo tanto disminuye la distorsión.

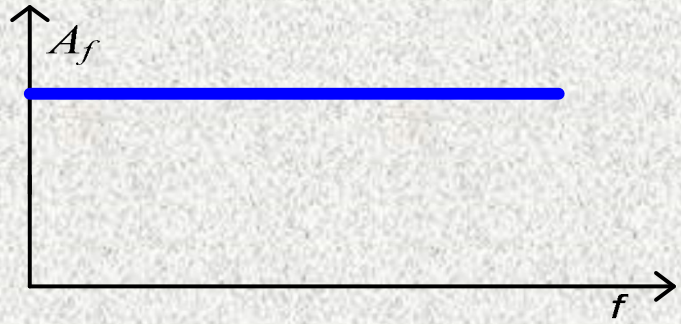
Observar la mejora en la curva de transferencia en tensión no-lineal de un amplificador. Este efecto es más notorio cuando se cumple ßA>>1



Efectos de la Realimentación Neg. en el AB

Intuitivamente:

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



Entonces el $AB=\infty$!!!!!

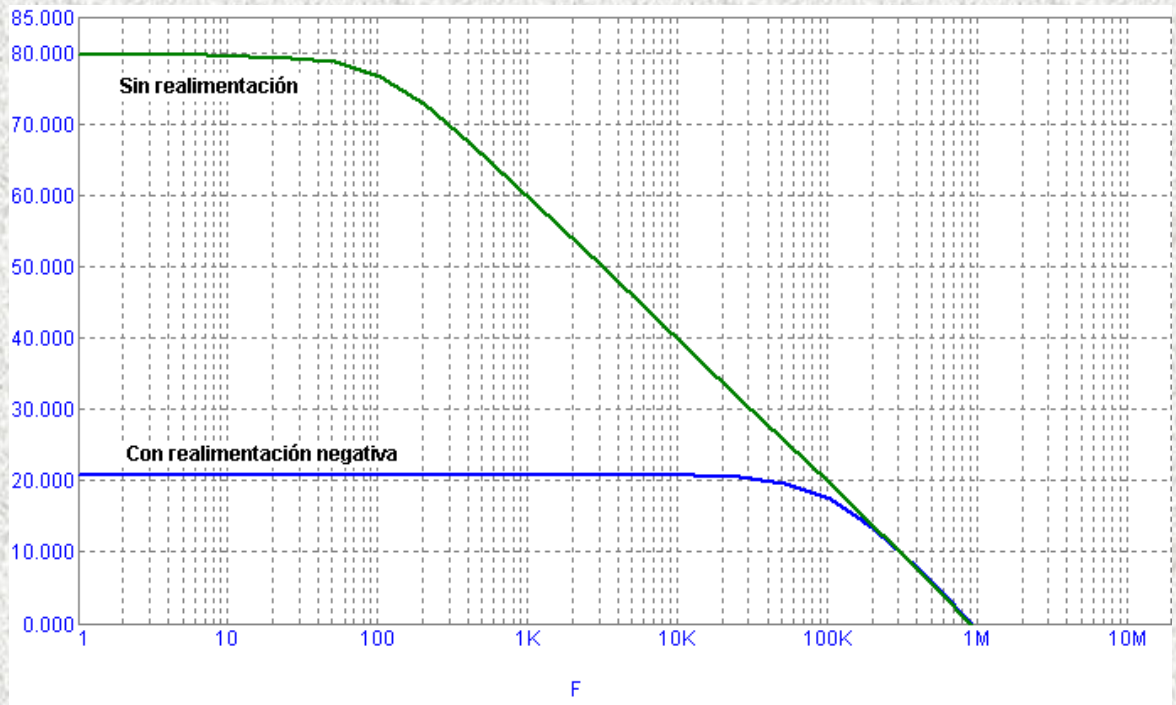
Estrictamente, se puede demostrar que cuando para un amplificador de un solo polo se cumple

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

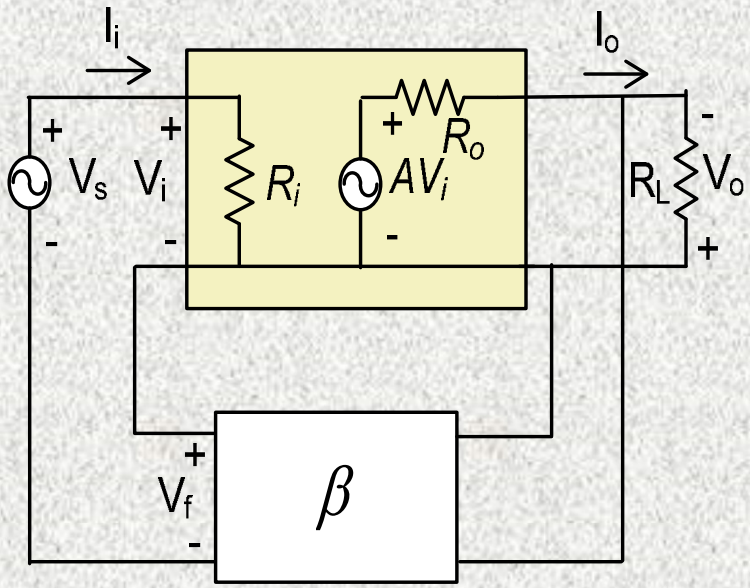
$$f_{Lf} = \frac{f_L}{(1+\beta A_o)}$$

Si $f_H \gg f_L$ se cumplirá:

$$f_{Hf}\ A_{of} = f_H\ A_o$$



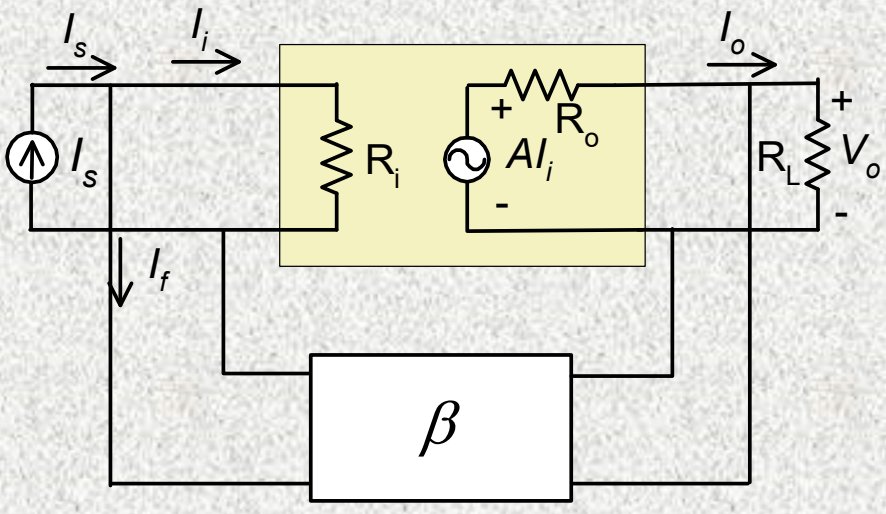
Efecto de la realimentación en la impedancia de **entrada** de los circuitos realimentados



Modo Serie

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

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

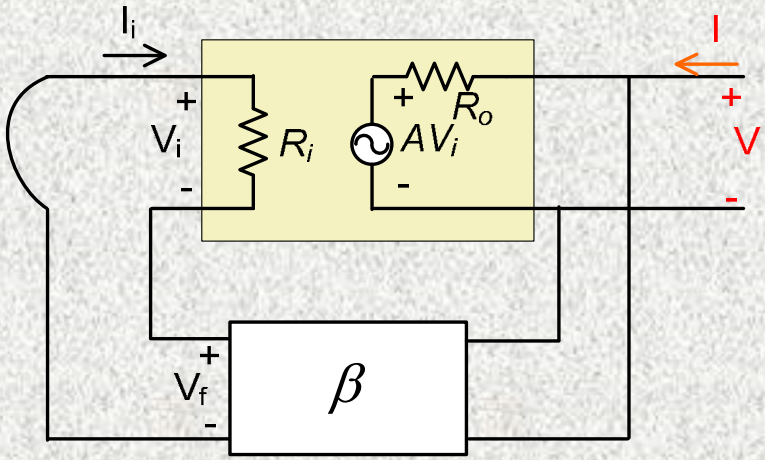


Modo Paralelo

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

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

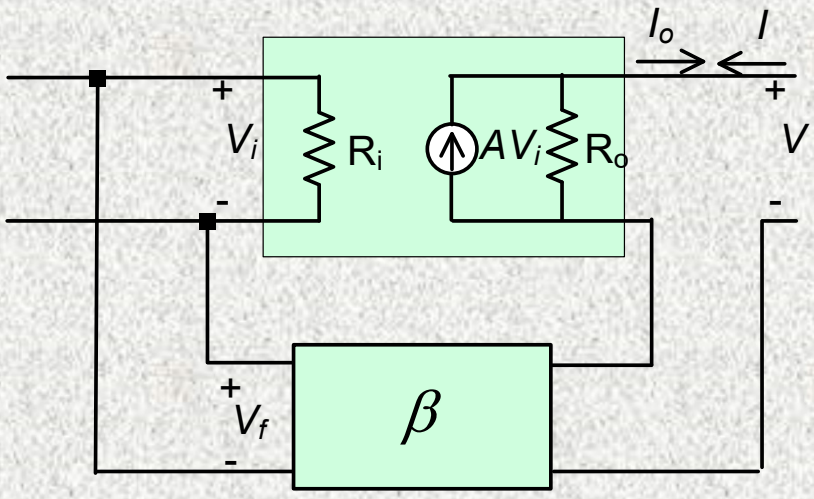
Efecto de la realimentación en la impedancia de **salida** de los circuitos realimentados



Muestra de Tensión

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

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



Muestra de Corriente

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

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

Estabilidad de un amplificador realimentado

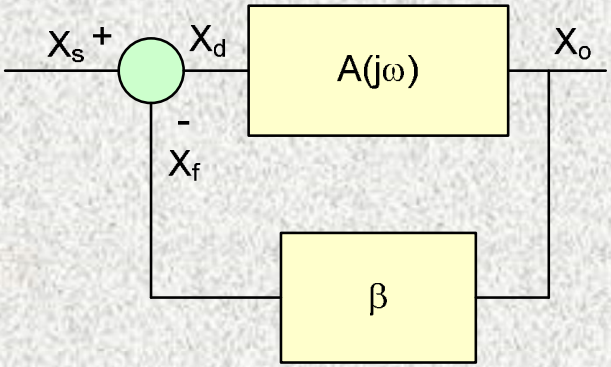
- Hasta ahora solo se ha considerado la operación de un amplificador realimentado en la cual la señal realimentada se opone a la señal de entrada (realimentación negativa).
- En la práctica esta condición ocurre sólo en una parte del intervalo de frecuencia, ya que la ganancia de un amplificador cambia con la frecuencia.
- Como el desfasaje cambia con la frecuencia, entonces para alguna frecuencia ocurrirá que una parte de la señal de realimentación se sumará a la señal de entrada.
- **De este modo es posible que el amplificador comience a oscilar debido a la realimentación positiva.**
- Si el amplificador oscila a alguna frecuencia, ya no es útil como amplificador. Un amplificador requiere que el circuito sea estable a *todas* las frecuencias, no solamente a las del intervalo de interés.
- De lo contrario, una perturbación transitoria podría hacer que un amplificador aparentemente estable empezara de repente a oscilar.

- Los sistemas realimentados son propensos a la inestabilidad, especialmente cuando la cantidad de realimentación necesaria para obtener la mejora deseada es grande.
- Esto ocurre por que la real. negativa puede convertirse en positiva, para ciertas frecuencias, causando inestabilidad y oscilaciones.

Un sistema es *estable* cuando para cualquier perturbación transitoria, la respuesta desaparece espontáneamente.

O bien si se lo separa de su estado de reposo por una acción de corta duración, después de un tiempo retorna a dicho estado de reposo y permanece en él.

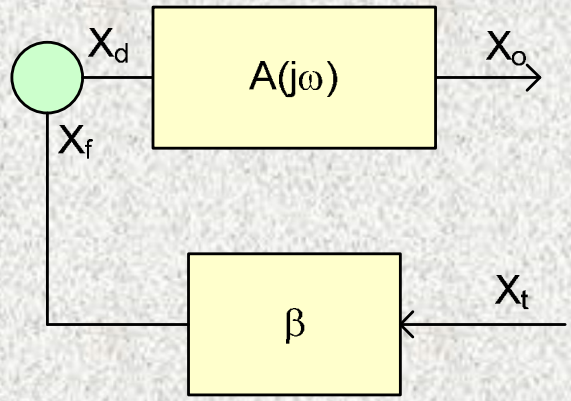
Considerando que tanto la ganancia del amplificador como la red β tiene componentes que varían con la frecuencia, entonces la ganancia del sistema, también dependerá de la frecuencia y será:



$$A_f(j\omega) = \frac{x_o}{x_s} = \frac{A(j\omega)}{1+\beta(j\omega)\,A(j\omega)}$$

Se llama ganancia de lazo abierto, $T_L(j\omega)$, a:

$$T_L(j\omega) = A(j\omega).\beta(j\omega)$$



Para encontrar la ganancia de lazo se anula la fuente externa x_s y se abre la conexión en x_o aplicando una señal de test x_t:

$$A\beta = -x_o / x_t$$

La ganancia de lazo abierto, $T_L(j\omega)$, es un número complejo:

$$T_L(j\omega) = A(j\omega).\beta(j\omega) = \left|A(j\omega).\beta(j\omega)\right| e^{j\phi(\omega)} = \left|T_L(j\omega)\right| \angle\phi$$

Si:

$$T_L(j\omega) = A(j\omega).\beta(j\omega) = -1 \Rightarrow$$

$$A_f(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1+\beta(j\omega)\,A(j\omega)} = \frac{A(j\omega)}{1+T_L(j\omega)} = \frac{A(j\omega)}{1-1} = \infty$$

En este caso, la ganancia realimentada A_f tiende a infinito y el sistema será inestable

Para que esto ocurra se debe cumplir:

$$\left|T_L(j\omega)\right| = 1 \quad \wedge \quad \angle T_L(j\omega) = \phi = \pm 180°$$

La forma en la que la ganancia de lazo abierto varía con la frecuencia es lo que determina la estabilidad o inestabilidad del amplificador realimentado.

Para estudiar la estabilidad de un amplificador se estudia la ganancia de lazo abierto.

Algunas metodologías aplicables a estos sistemas para el estudio de la estabilidad:

a) **El criterio de Nyquist**

Estudio a partir del lugar geométrico (diagrama polar) de la ganancia de lazo abierto

b) **Margen de ganancia y de fase**

estudia los diagramas de Bode de Amplitud y fase de la ganancia de lazo abierto, para determinar el grado de estabilidad de un sistema realimentado. Aplicable a sistemas de fase mínima (polos y ceros con parte real negativa y un solo polo en el origen)

Es un diagrama polar de la ganancia de lazo que usa la frecuencia como parámetro.

El diagrama de Nyquist corta al eje real negativo a la frecuencia para cual la fase es 180° *frecuencia de cruce de fase* (ω=180).

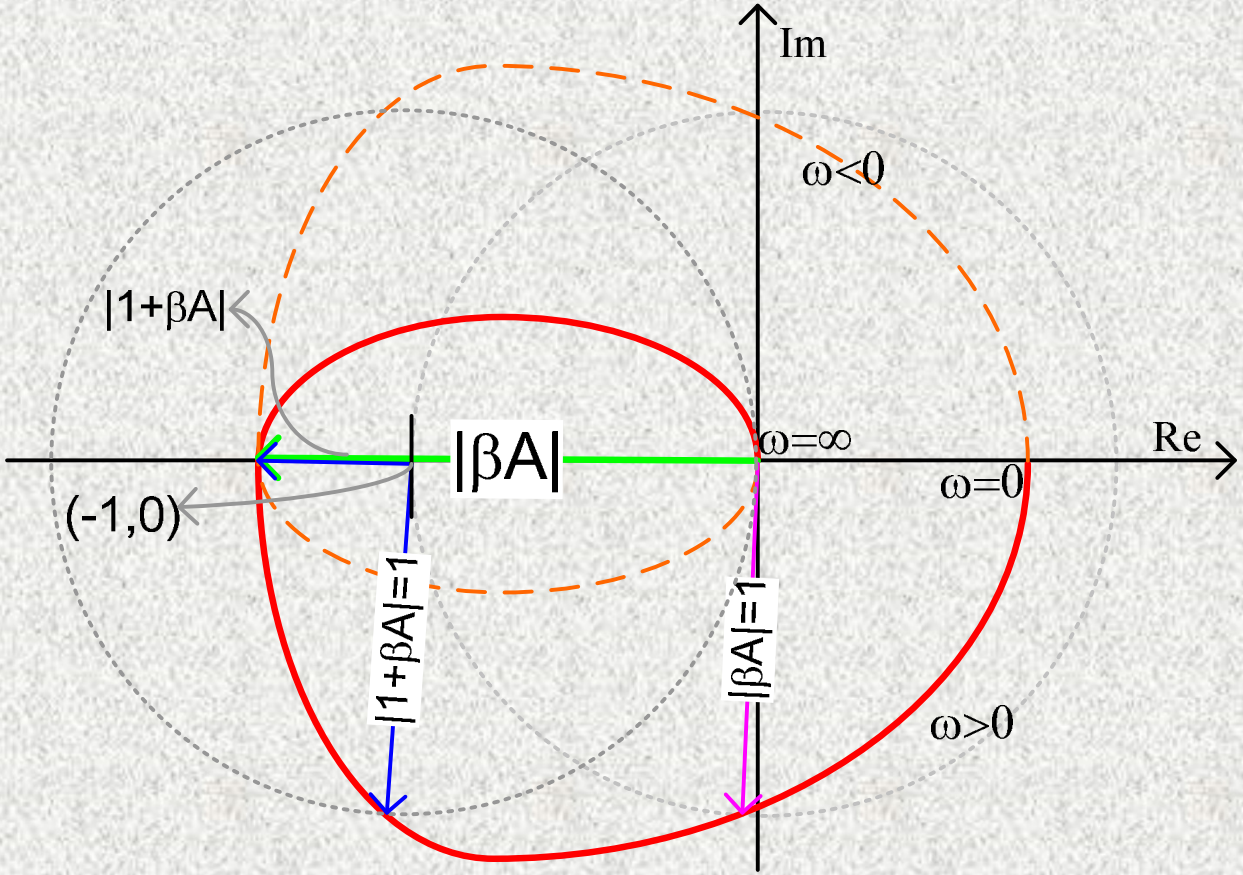
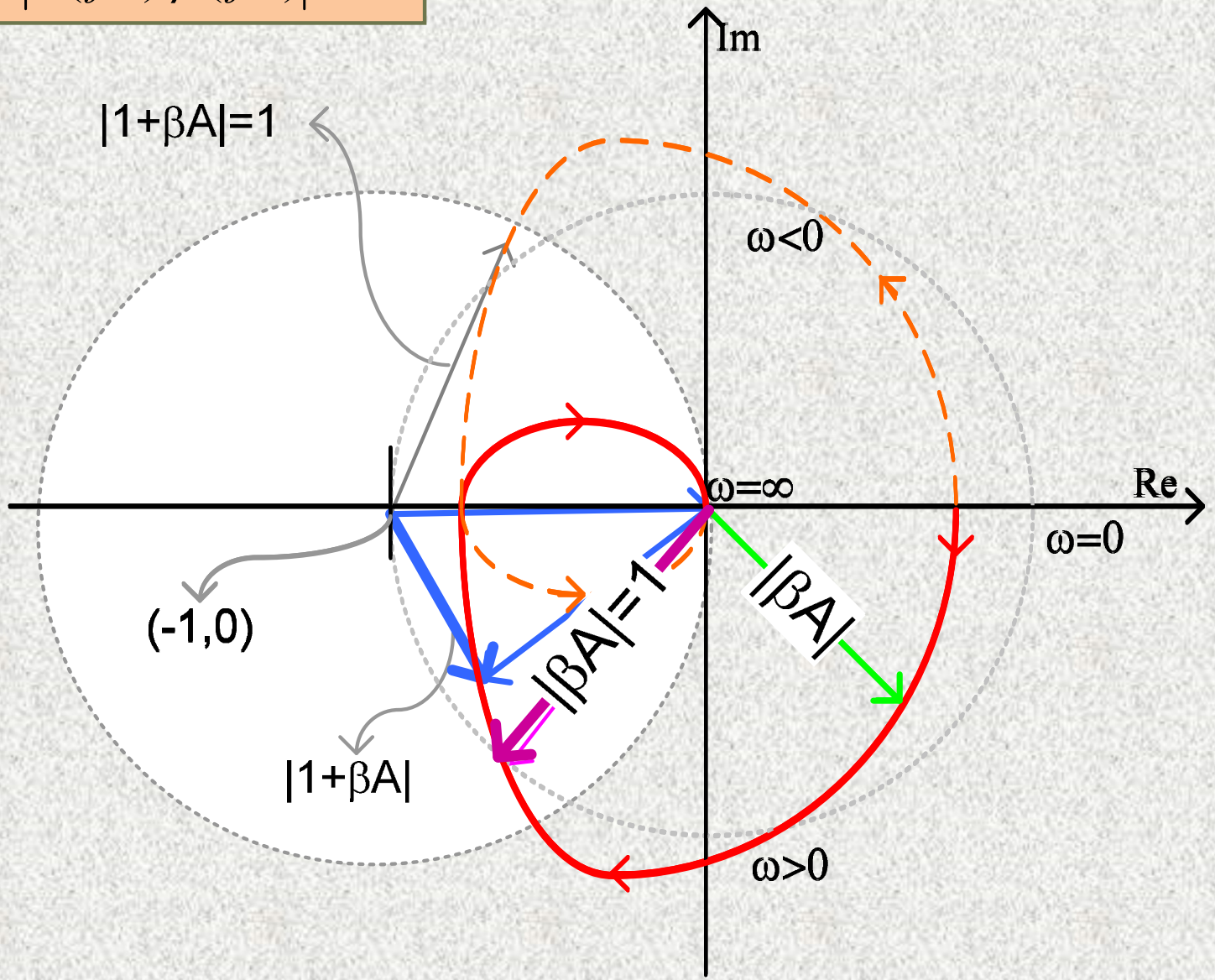
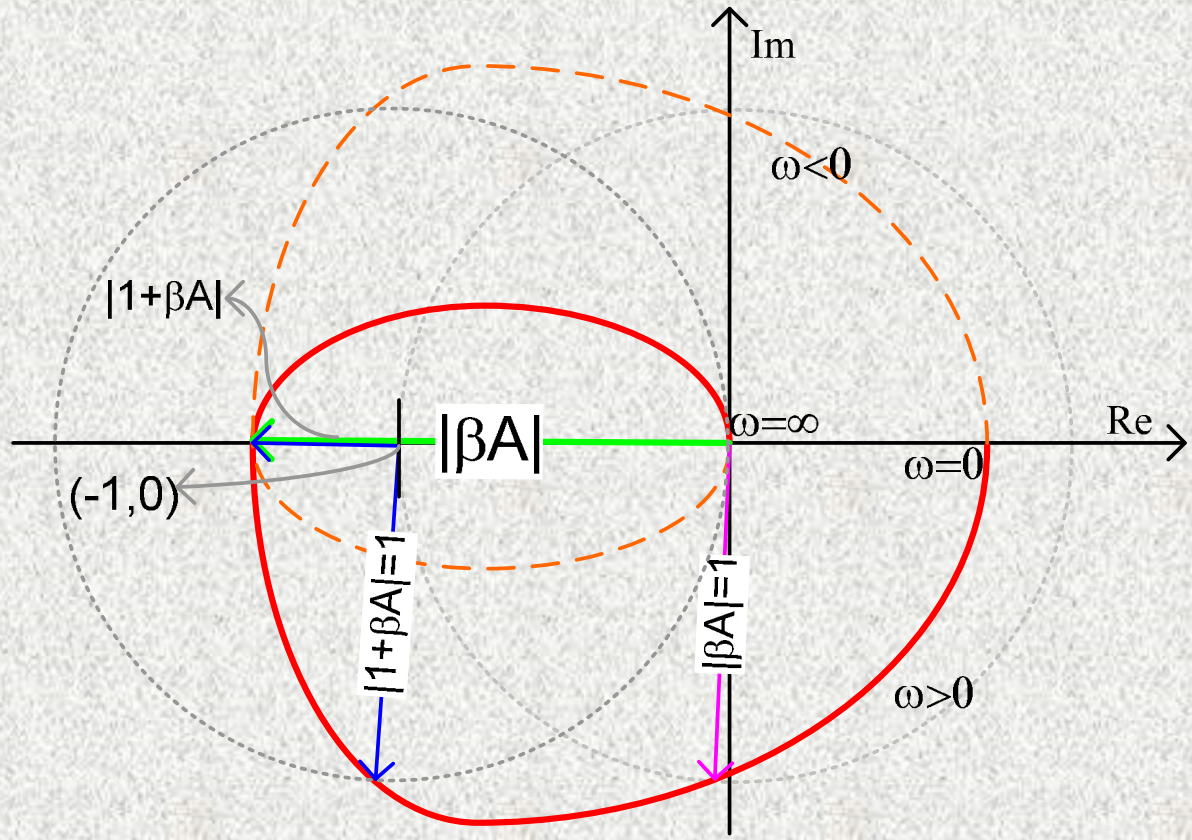


Diagrama Polar

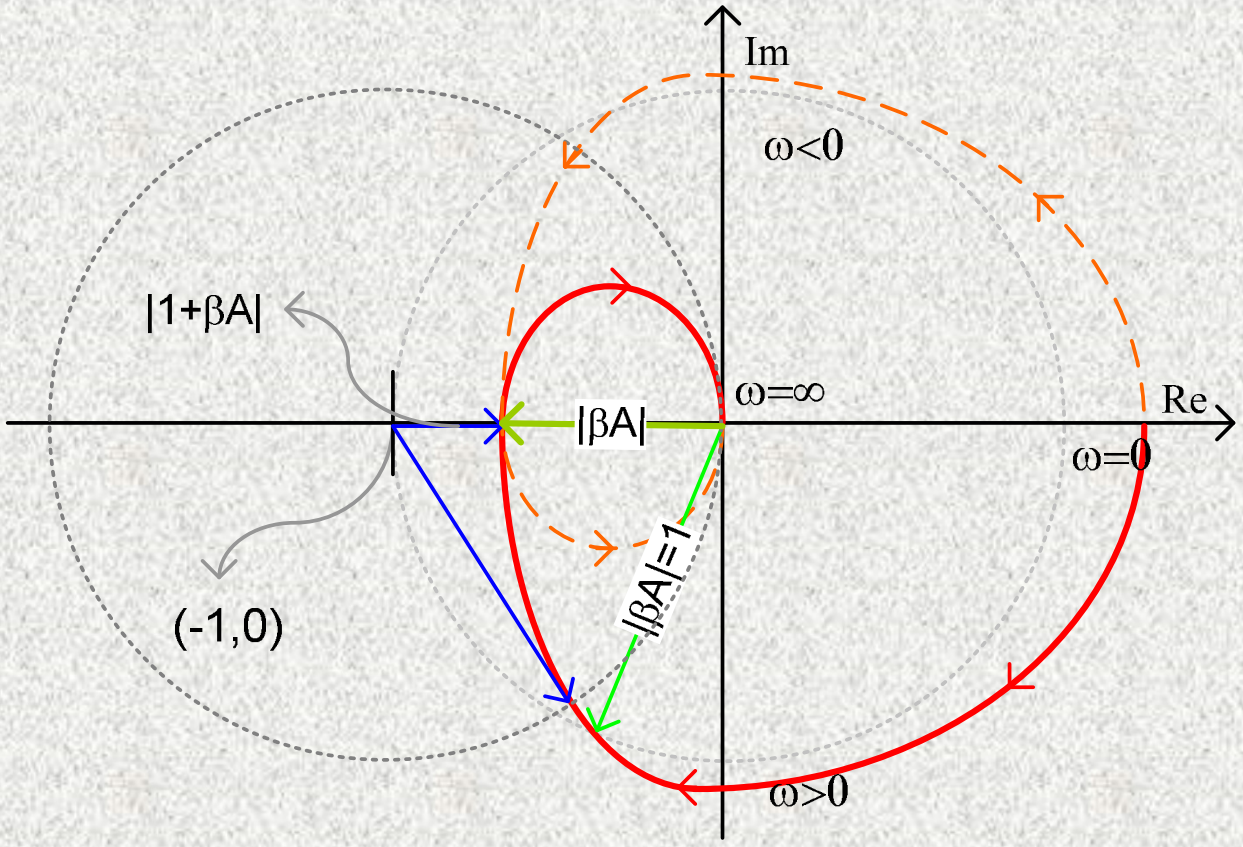
$$T_L(j\omega) = \left|A(j\omega).\beta(j\omega)\right| e^{j\phi(\omega)}$$



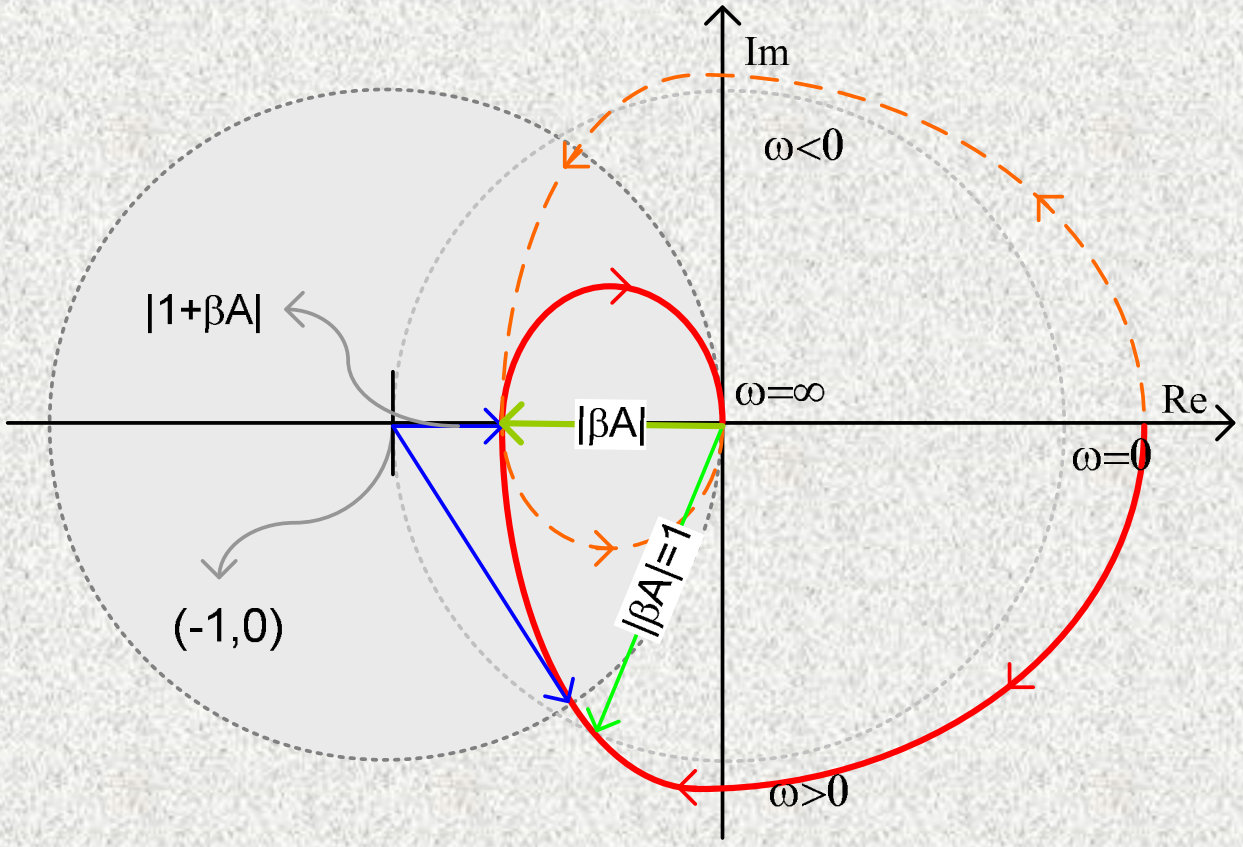


Si el diagrama polar corta el eje real negativo a la izquierda del punto (-1,0), entonces la magnitud de la ganancia de lazo, a esta frecuencia, es mayor que la unidad y el amplificador será **inestable.**

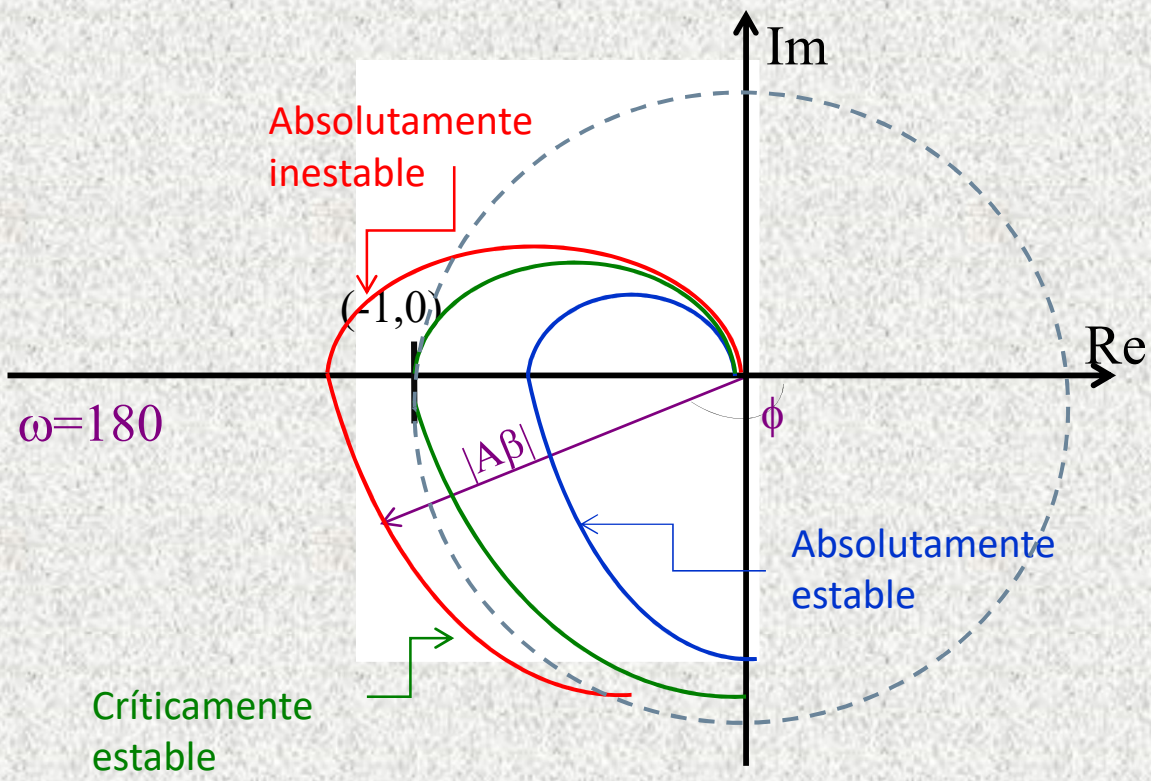
Diagrama polar de Nyquist



Si el diagrama polar corta al eje real negativo a la derecha del punto (-1,0), entonces la magnitud de la ganancia de lazo, a esta frecuencia, es menor que la unidad y el amplificador será **estable.**



Todos los puntos del lugar geométrico que caen dentro del círculo de radio unidad y centro en (-1,0) *tienen realimentación positiva.*



- Si la gráfica envuelve el punto (-1,0) el amplificador es absolutamente inestable y oscilará a alguna frecuencia.
- Si la gráfica no envuelve el punto (-1,0), el amplificador es absolutamente estable y no oscilará a ninguna frecuencia.
- Si la gráfica pasa por el punto (-1,0) el amplificador es críticamente estable (será un oscilador senoidal a esa frecuencia para la cual corta el eje).

Estabilidad relativa

- “Absolutamente estable” o “Absolutamente inestable” indica lo que finalmente ocurrirá en el sistema.
- Pero no indica cual estable o inestable es.
- La *estabilidad relativa* es una medida del grado de estabilidad, e indica lo alejado de la intersección del lugar de las frecuencias con el eje real aparece respecto al punto (-1,0)
- **Para una buena estabilidad relativa, la magnitud en la frecuencia de cruce de fase debe tener un valor menor que la unidad, y el ángulo de fase en la frecuencia de cruce de ganancia no debe tener un valor cercano a ±180°**

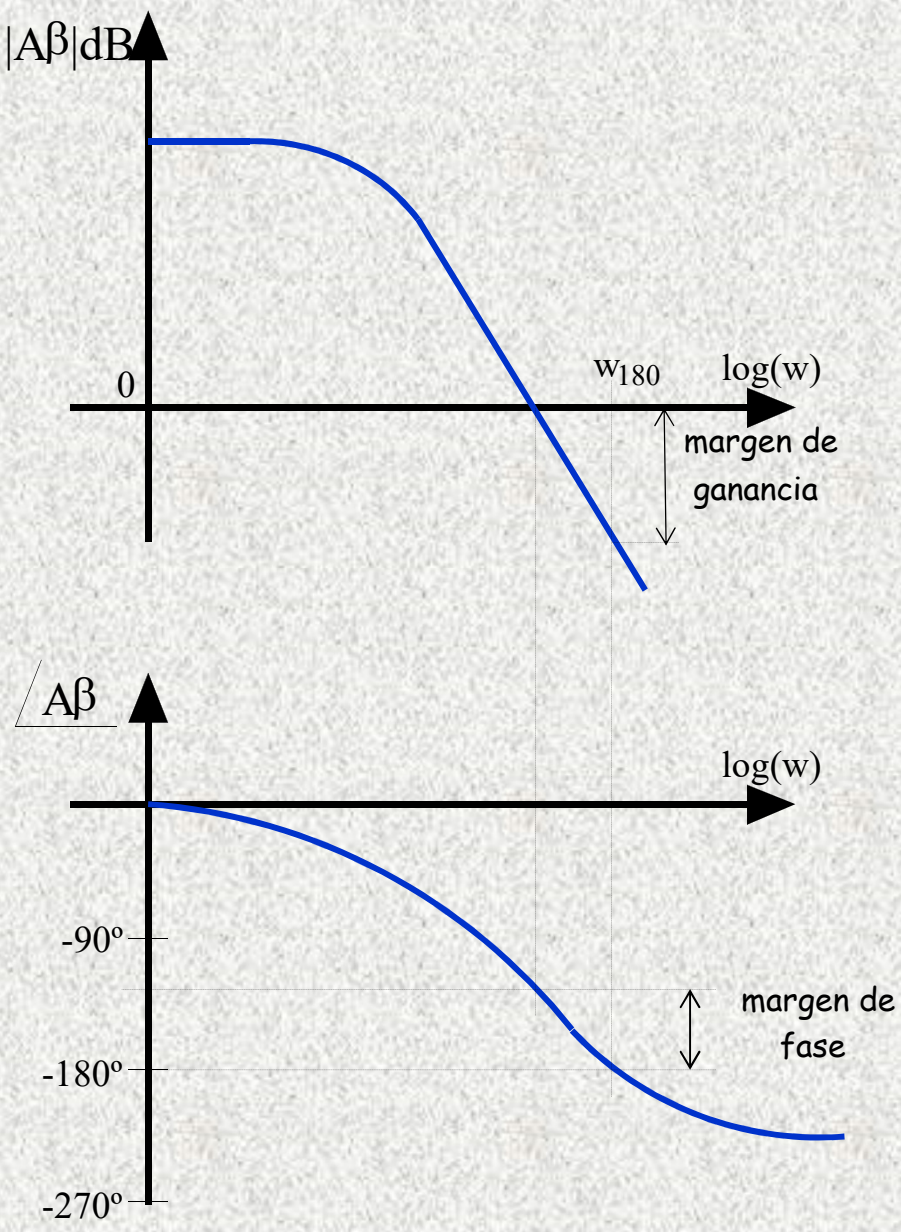
La representación del diagrama de Nyquist para estudiar la estabilidad de un sistema puede implicar cierta complejidad. Por ello, se utiliza como alternativa un diagrama de Bode de la ganancia de lazo

$$T_L(j\omega) = A(j\omega)\beta(j\omega).$$

Este diagrama de Bode contiene toda la información del diagrama de Nyquist y es mucho más simple de dibujar

Según Nyquist, un amplificador realimentado es estable si a una frecuencia, ω_{180}, a la cual la fase es de 180º se cumple que $|A(j\omega_{180})\ \beta(j\omega_{180})| < 1$.

Margen de ganancia y fase

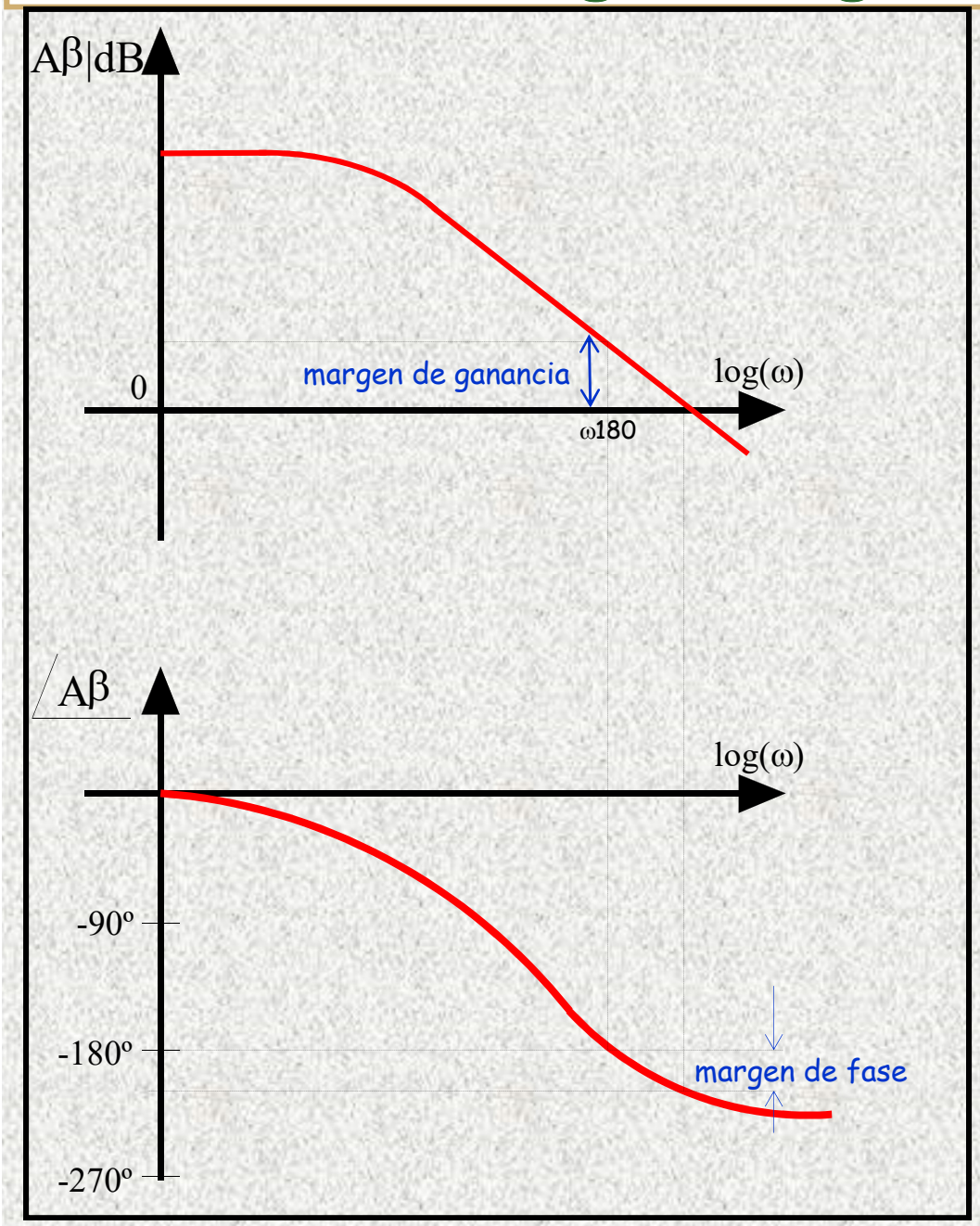


El ***margen de ganancia*** representa la cantidad en dB a la cual la ganancia de lazo Aβ puede ser aumentada mientras se mantenga la estabilidad.

La diferencia entre la fase para la frecuencia a la cual $|A\beta| = 1$ y la fase a ω_{180} se denomina ***margen de fase.***

Si para la frecuencia a la cual |Aβ| = 1, que es la frecuencia a la cual el diagrama en magnitud corta al eje de 0dB; la fase es menor en magnitud de 180º, el amplificador será estable.

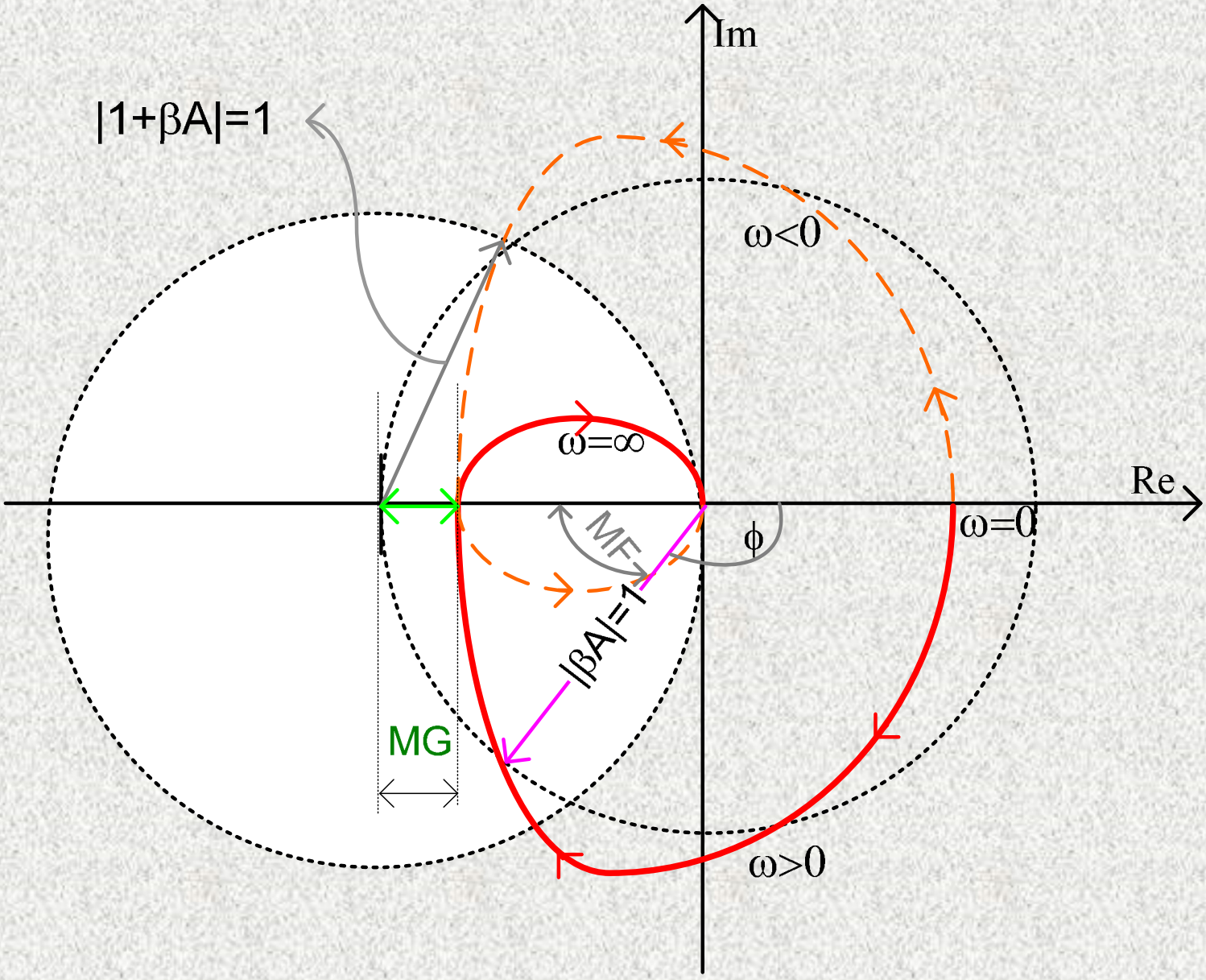
Margen de ganancia y fase



MARGEN DE GANANCIA

Valor de $|A\beta|$ en dB a la frecuencia que la fase es 180°

MARGEN DE FASE

Es el ángulo diferencia entre 180° y la fase para la cual se cumple $|A\beta| = 1$ o sea igual a 0dB

Margen de Ganancia y Fase en Nyquist