

ELECTRÓNICA III

Tema 3

CRITERIOS DE ESTABILIDAD

- La realimentación negativa mejora parámetros de un amplificador realimentado y modifica otros (A_v , Z_{in} , Z_o).
- 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 los circuitos prácticos esta condición ocurre sólo en una parte del intervalo de operación a frecuencia media, ya que la ganancia de un amplificador cambia con la frecuencia.
- El desfase también cambiará con la frecuencia. Como, a medida que se incrementa la frecuencia, el desfase cambia, entonces 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 buen diseño de amplificador realimentado 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.

Definición: Estabilidad

- 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.

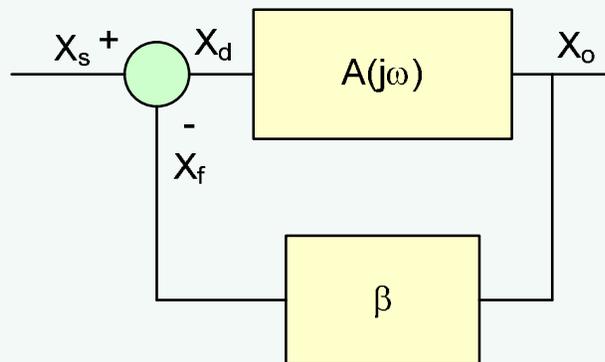
Un sistema es estable cuando para cualquier perturbación transitoria, la respuesta desaparece espontáneamente.

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.

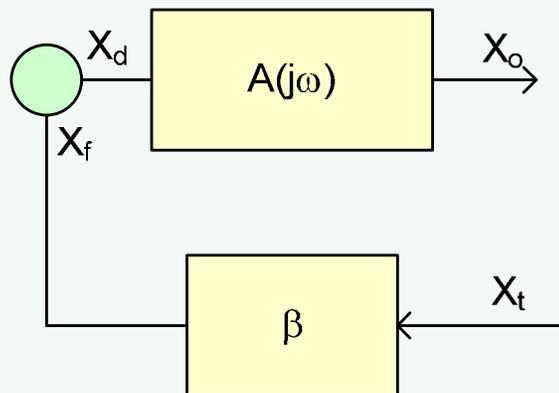
- **De este modo es posible que el amplificador comience a oscilar debido a la realimentación positiva.**
- Si el amplificador oscila a alguna frecuencia, ya no es útil como amplificador.
- Un diseño apropiado de amplificador realimentado requiere que el circuito sea estable a todas las frecuencias, 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.

Estabilidad de los amplif. realimentados

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:



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



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 :

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

Estabilidad de los amplif. realimentados

La ganancia de lazo, que es un número complejo, será:

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

Si:

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

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

Si la ganancia realimentada A_f tiende a infinito y el sistema será inestable

Para que esto ocurra se debe cumplir:

$$|T_L(j\omega)| = 1 \quad \wedge \quad \angle T_L(j\omega) = \phi = \pm 180^\circ$$

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

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, representada en ejes cartesianos
X: parte real ; Y: parte imaginaria

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)

Diagrama polar o Diagrama de Nyquist

8

El diagrama polar de Nyquist es un procedimiento que permite determinar la estabilidad.

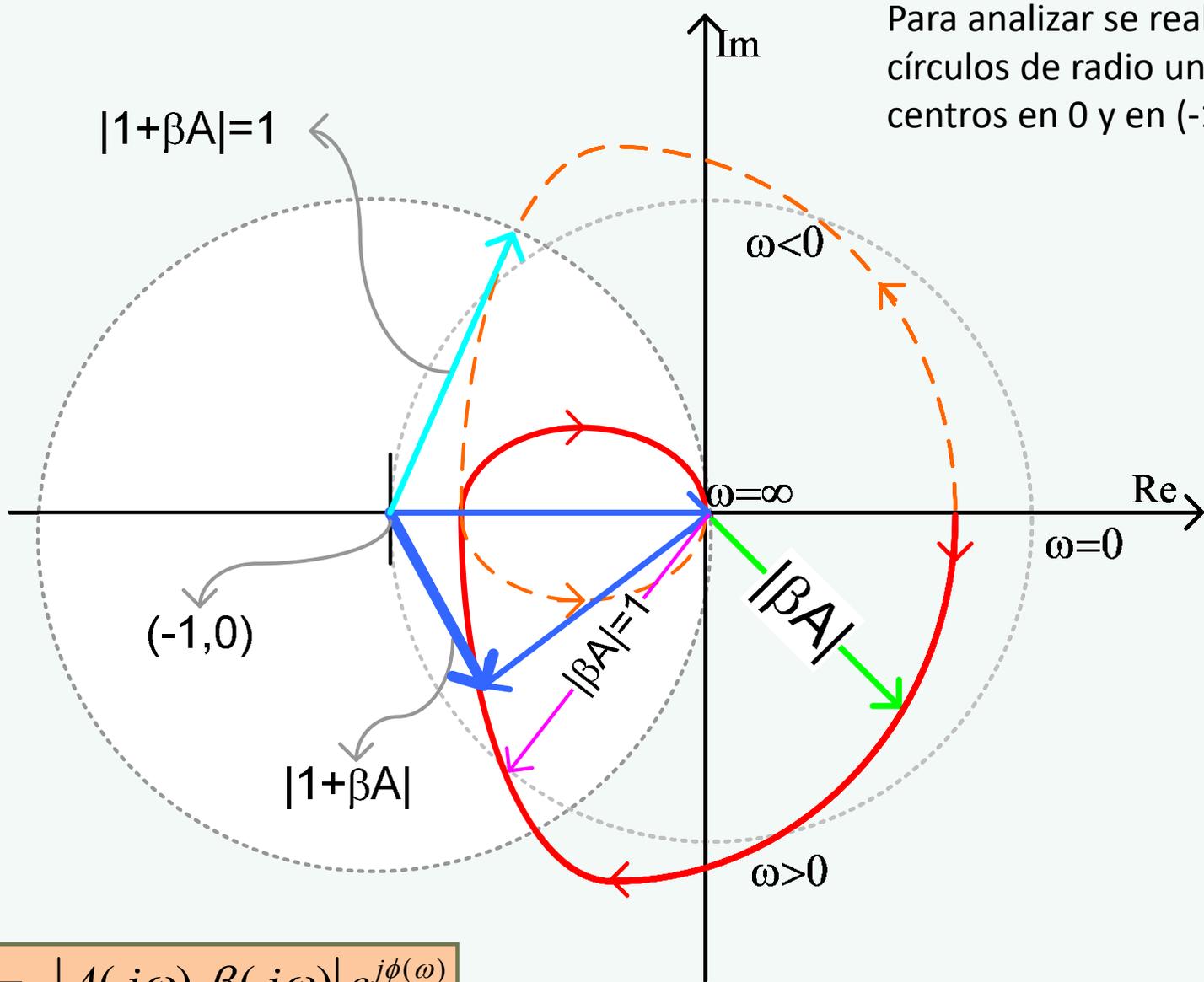
$$T_L(j\omega) = A(j\omega) \cdot \beta(j\omega) = \mathbb{R} + I = |A \cdot \beta| e^{j\phi(\omega)} = |T_L(j\omega)| \angle \phi$$

Consiste en graficar la ganancia de lazo en un diagrama polar, cuyos ejes son parte real en eje de las x y la parte imaginaria en el eje de las y; usando la frecuencia como parámetro. Para obtenerlo se hace variar “ ω ” de cero a infinito.

Por tanto, el diagrama polar es el lugar geométrico del vector $T_L(j\omega)$ cuando “ ω ” varía de cero a infinito. Cada punto en el diagrama polar de $T_L(j\omega)$ representa el punto terminal del vector para un valor determinado de ω . Las proyecciones de $T_L(j\omega)$ en los ejes real e imaginario son sus componentes real e imaginaria.

En las gráficas polares, los ángulos de fase son positivos (negativos) si se miden en el sentido contrario al de las agujas del reloj (en el sentido de las agujas) a partir del eje real positivo

Diagrama Polar



Para analizar se realizan dos círculos de radio unidad con centros en 0 y en (-1,0)

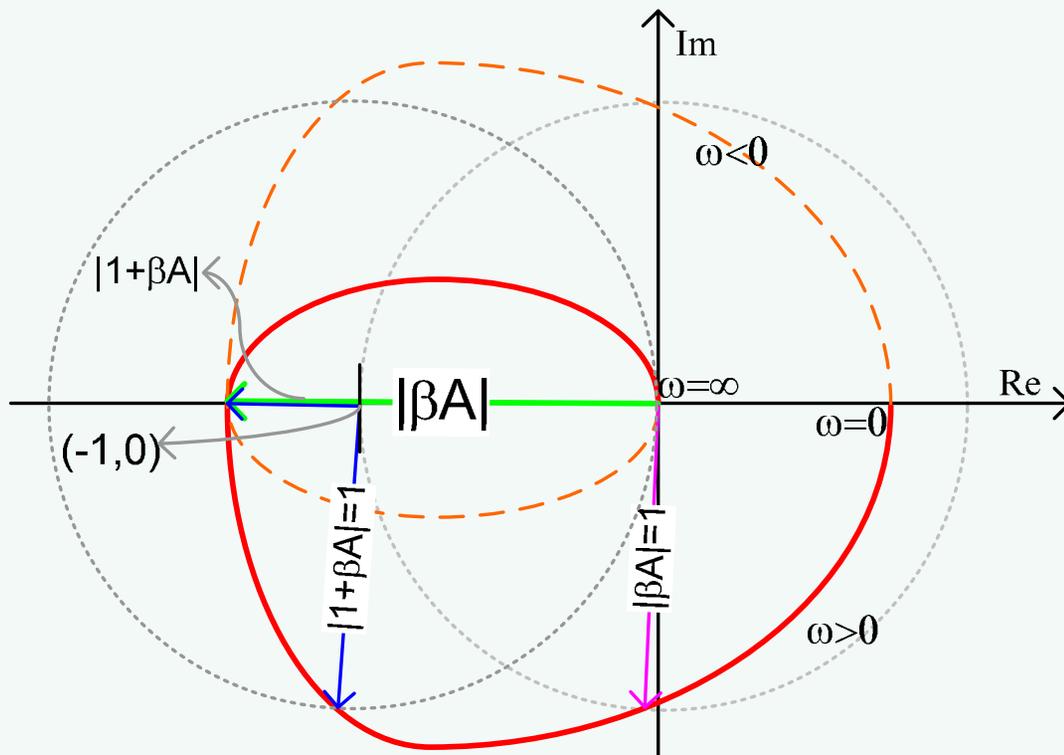
$$T_L(j\omega) = |A(j\omega) \cdot \beta(j\omega)| e^{j\phi(\omega)}$$

Diagrama polar de Nyquist

10

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

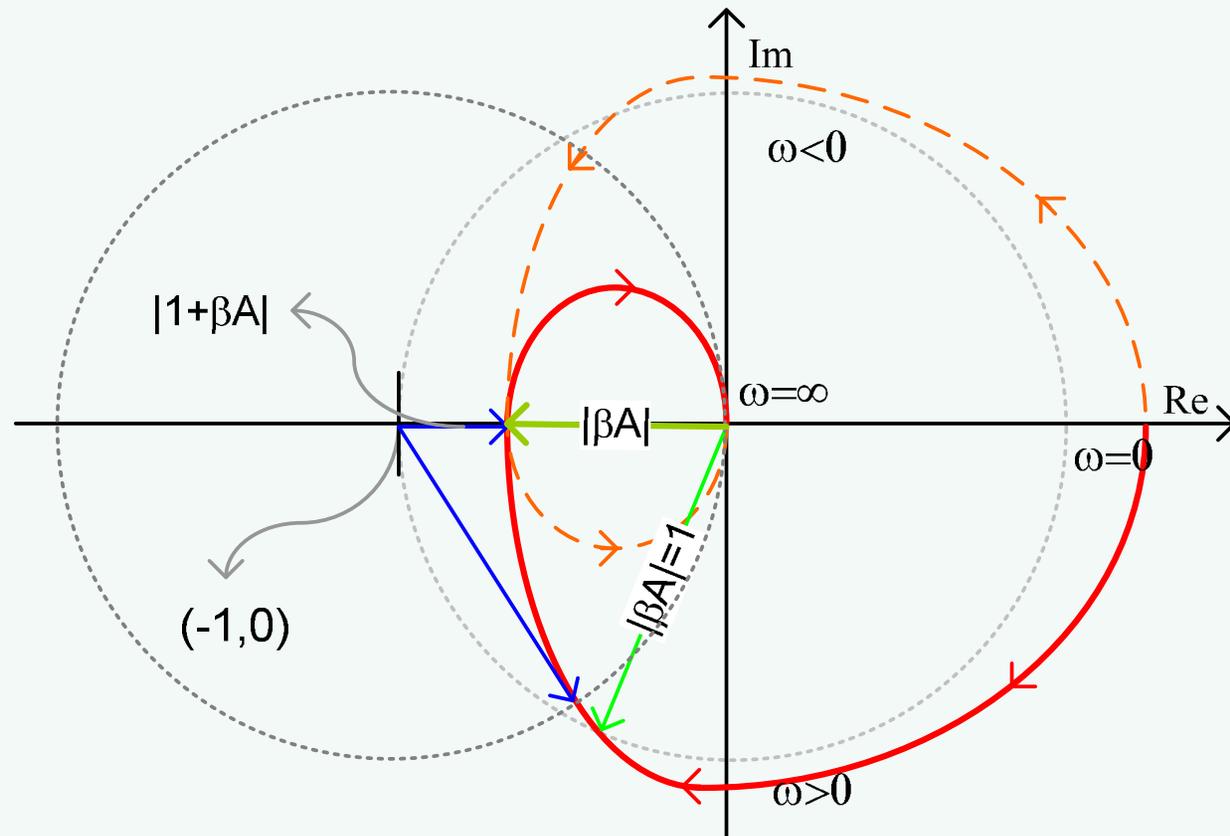
El diagrama de Nyquist corta al eje real negativo a la frecuencia para cual la fase es 180° *frecuencia de cruce de fase* ($\omega=180$).



Si este cruce ocurre 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

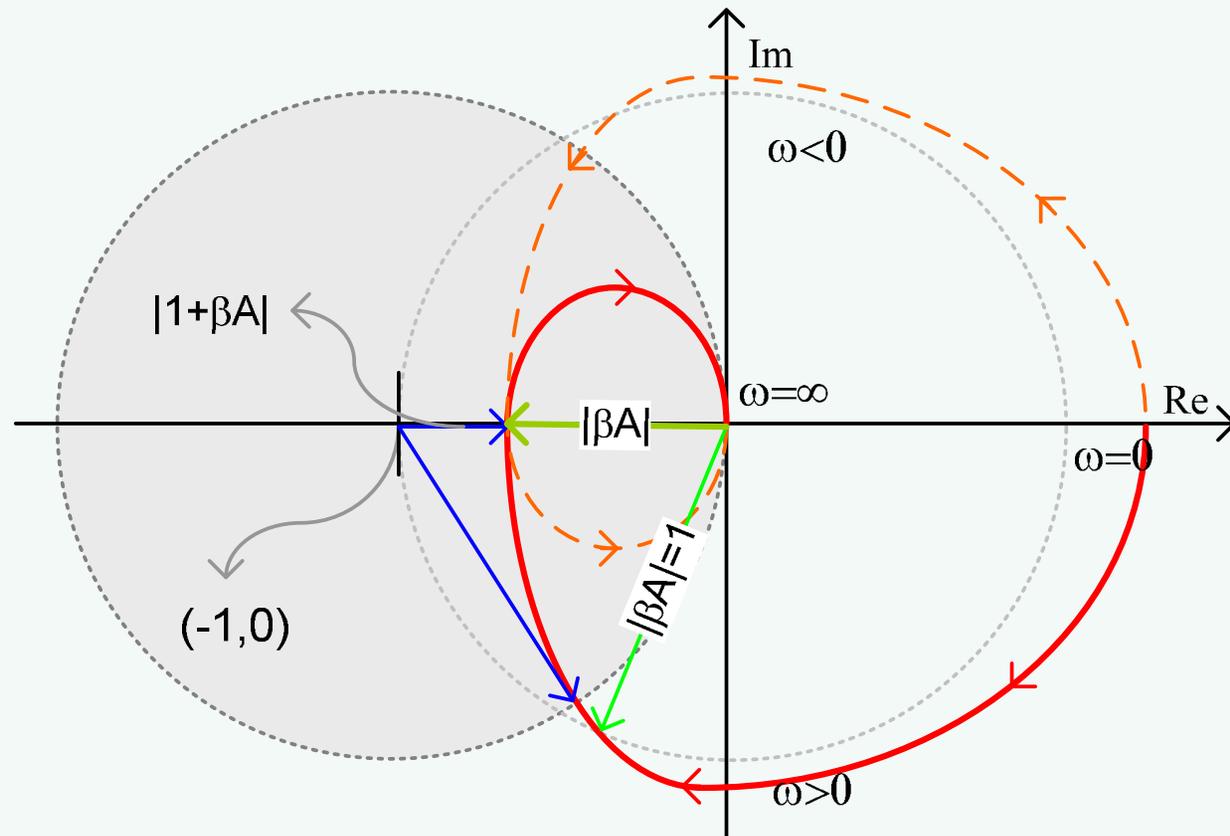
11



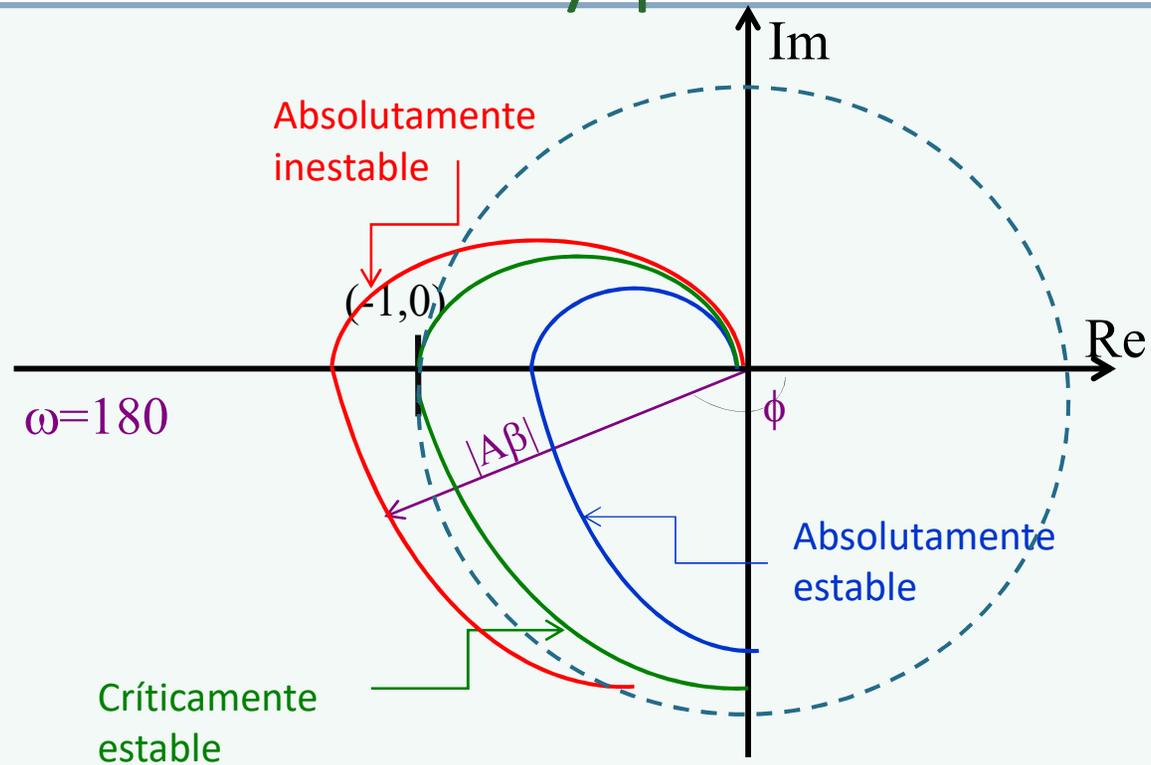
Si este cruce ocurre a la derecha del punto $(-1,0)$, entonces la magnitud de la ganancia de lazo a esta frecuencia es menor que la unidad y el amplificador será estable.

Diagrama polar de Nyquist

12



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 $\pm 180^\circ$

Margen de Ganancia y de Fase

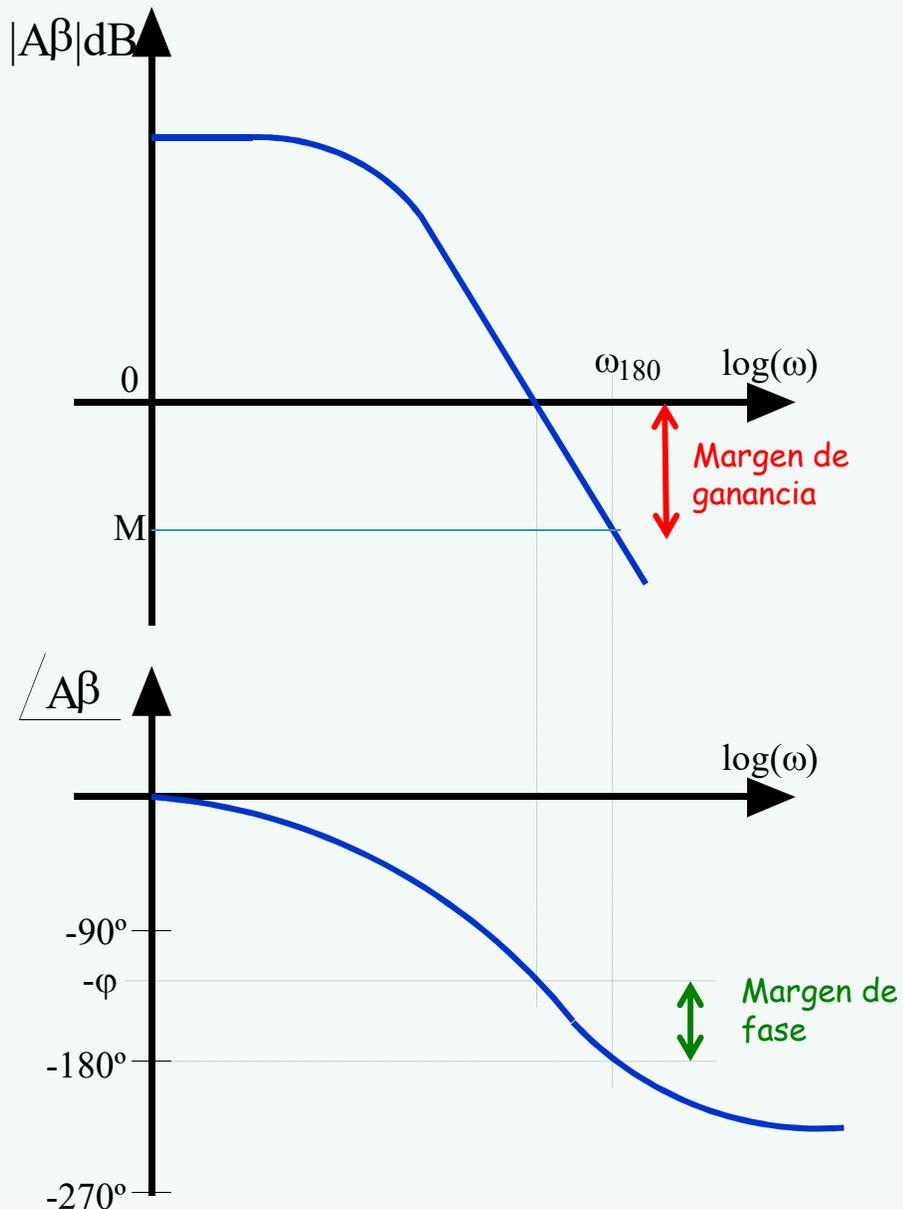
La representación del diagrama de Nyquist para estudiar la estabilidad de un sistema puede implicar cierta complejidad. Por ello, se utiliza como alternativa un diagrama de Bode de la ganancia de lazo

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

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 la frecuencia(ω_{180}) para la cual la fase es de 180° se cumple que $|A(j\omega_{180})\beta(j\omega_{180})| < 1$.

Margen de ganancia y fase

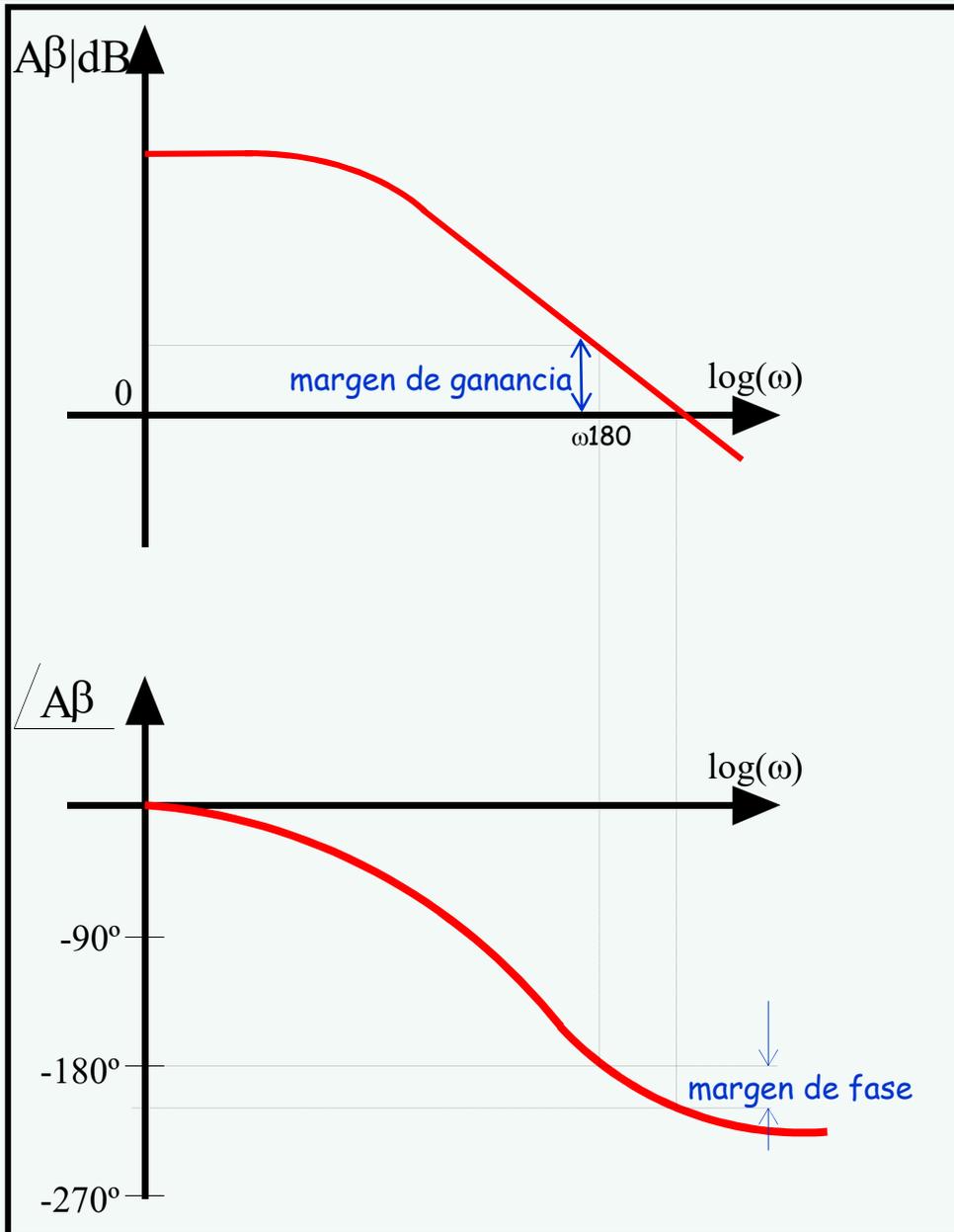


El *margen de ganancia* representa la cantidad en dB a la cual la ganancia de lazo $A\beta$ puede ser aumentada mientras se mantenga la estabilidad.

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 $|A\beta| = 1$, que es la frecuencia a la cual el diagrama en magnitud corta al eje de 0dB; la fase es menor en magnitud de 180°, 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

$$\text{Margen de ganancia} = \frac{1}{M}$$

M es la razón de amplitudes para la frecuencia de cruce. Según el criterio de Bode, M debe ser menor o igual a 1 para que el sistema sea estable.

El margen de ganancia es una medida importante del sistema ya que:

1. Constituye una medida de la proximidad del sistema de la zona de inestabilidad.
2. Cuanto mayor de la unidad sea el margen de ganancia, más estable será el sistema.
3. Los amplif. se diseñan para que el margen de ganancia sea mayor de 1,7. Es decir, la razón de amplitudes puede crecer 1,7 veces antes de que el sistema se vuelva inestable.

MARGEN DE FASE

$$\text{Margen de fase} = 180^\circ - |\varphi|$$

donde φ es el desfase para $A.\beta = 1$.

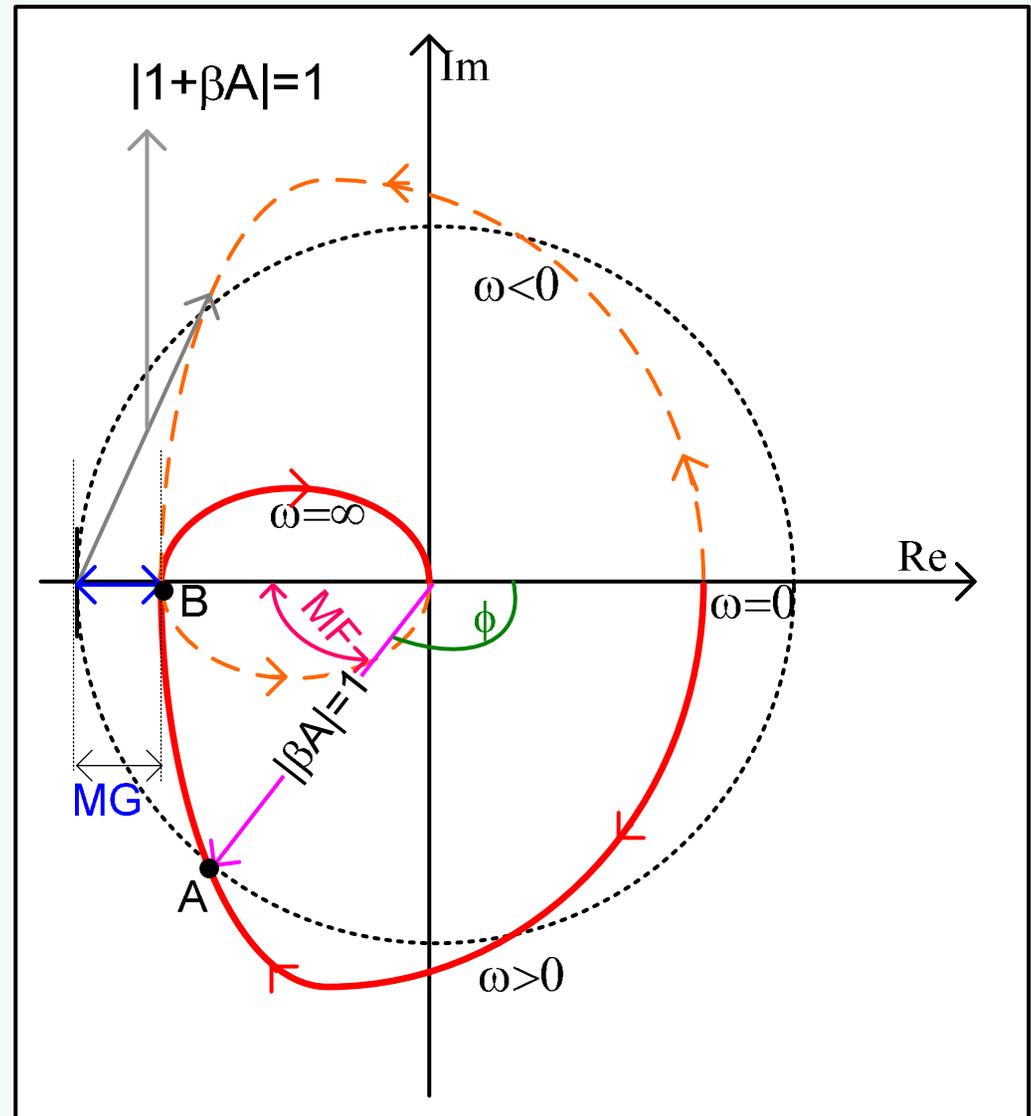
- El margen de fase representa en cuanto puede aumentar el desfase para inestabilizar el sistema.
- Para sistemas estables, se recomienda valores de margen de ganancia mayores de 30° .

El diagrama de Nyquist se puede construir a partir del diagrama de Bode.

Ambos diagramas contienen la misma información. El margen de fase y el margen de ganancia también se pueden evaluar en el diagrama de Nyquist.

El punto *A* de la figura es aquel cuya frecuencia hace que $|\beta.A| = 1$, de manera que MF representa el margen de fases.

El punto *B* tiene un desfase de -180° , de manera que su $|\beta.A|$ es M . Por tanto, el margen de ganancia es lo que falta para llegar a 1 .



Criterio de diseño para un amplificador estable

Para garantizar una buena respuesta transitoria, o sea que el amplificador sea estable, es conveniente:

- ***Margen de fase superior a 30° .***
- ***Margen de ganancia 10dB o superior.***