Tema 3:

Análisis en Frecuencia de Circuitos Electrónicos Realimentados

1. Estudio de la estabilidad de amplificadores realimentados

2. Técnicas de compensación

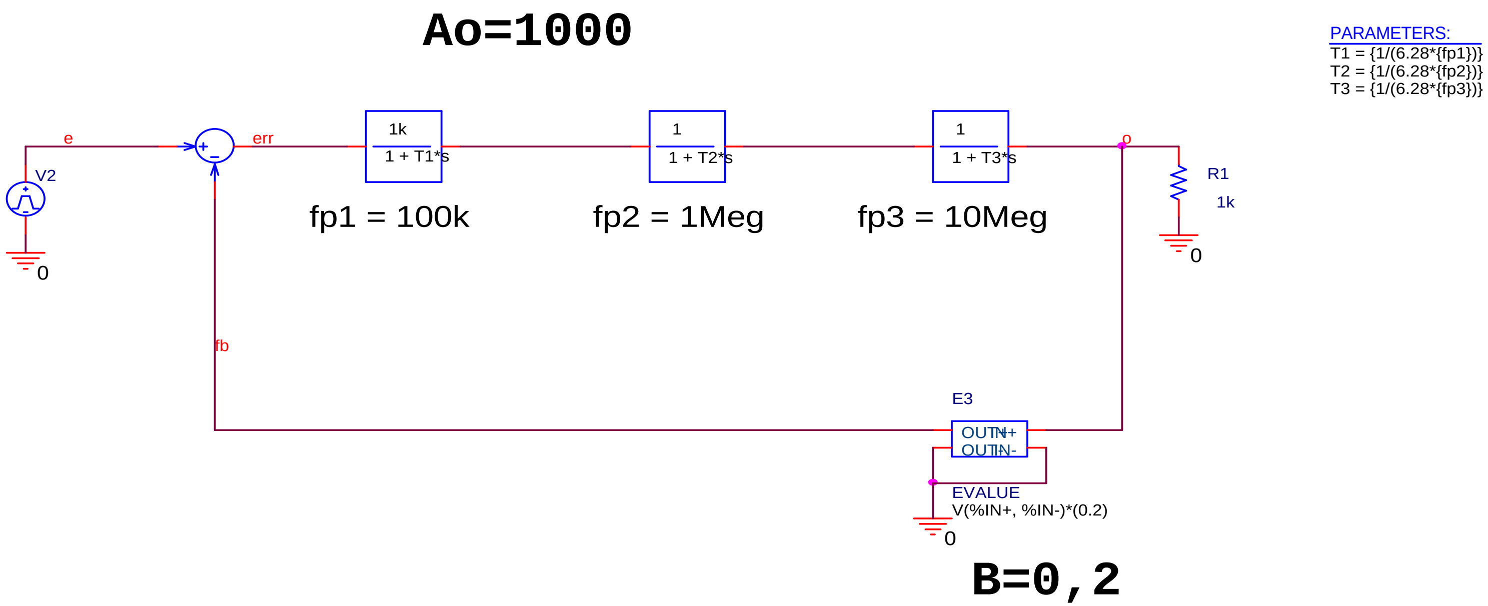
A cambio de una **reducción de ganancia** se obtienen importantes contraprestaciones:

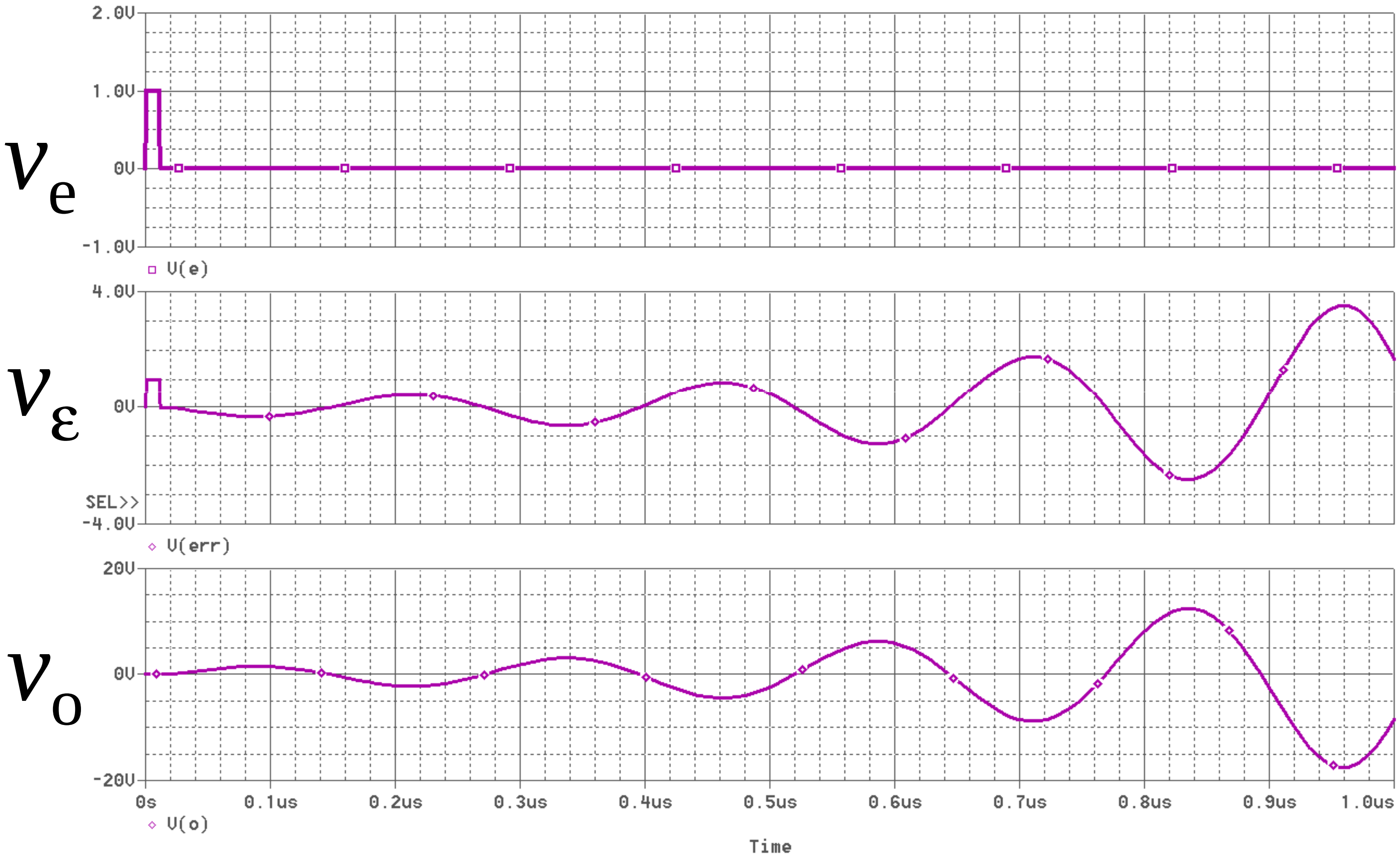
El amplificador tiende hacia sus características ideales: Reducción de la sensibilidad de la ganancia en bucle abierto:

- 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.

Se potencian si **A.β aumenta**

... pero ¿puede crecer indefinidamente la ganancia del lazo?...


Ao=1000
PARAMETERS:
T1 = {1/(6.28*{fp1})}
T2 = {1/(6.28*{fp2})}
T3 = {1/(6.28*{fp3})}
e
err
1k
1 + T1*s
1
1 + T2*s
1
1 + T3*s
o
R1
1k
V2
0
fp1 = 100k
fp2 = 1Meg
fp3 = 10Meg
0
fb
E3
OUT+ IN+
OUT- IN-
EVALUE
V(%IN+, %IN-)*(0.2)
0
B=0,2



v_e
2.0V
1.0V
0V
-1.0V
V(e)
v_ε
4.0V
0V
SEL>>
-4.0V
V(err)
v_o
20V
0V
-20V
0s
0.1us
0.2us
0.3us
0.4us
0.5us
0.6us
0.7us
0.8us
0.9us
1.0us
V(o)
Time

¿Qué ha pasado?

$Npa := 20$ $\quad Aa := 100$ $\quad \beta a := 0.005$ $\quad Vg = 1$

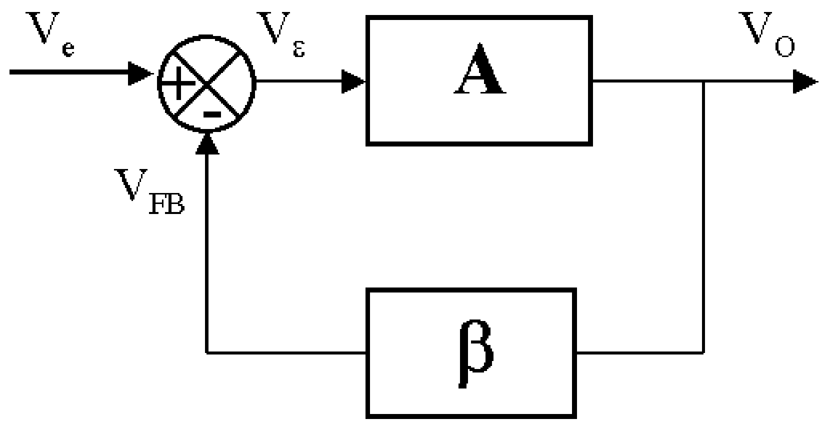
$p := 0..Npa-1$ $\quad q := 1..6$

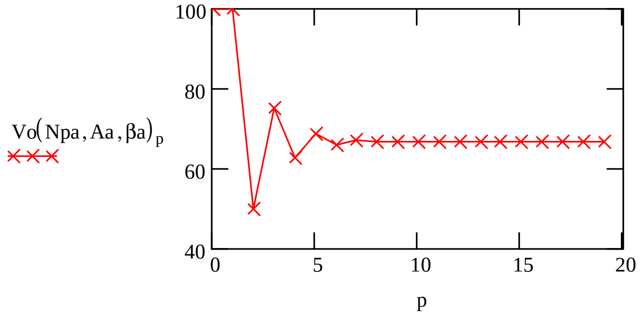
$q =$	$Ve(Npa,Aa,\beta a)_q =$	$V\varepsilon(Npa,Aa,\beta a)_q =$	$Vo(Npa,Aa,\beta a)_q =$
1	1	1	100
2	1	0.5	50
3	1	0.75	75
4	1	0.625	62.5
5	1	0.688	68.75
6	1	0.656	65.625

$Aa = 100$

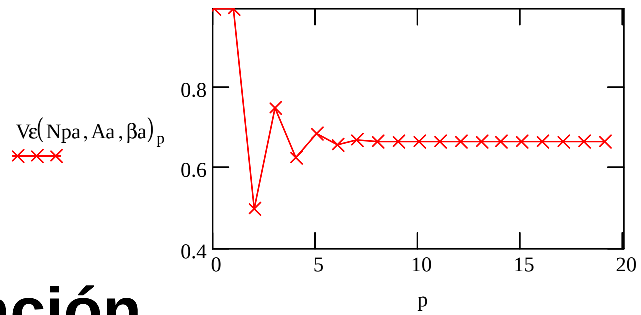
$Aa \cdot \beta a = 0.5$

$$\frac{Aa}{(1+Aa\cdot\beta a)} = 66.667$$





$\beta a = 5 \times 10^{-3}$



$Vfb(Npa,Aa,\beta a)_q =$

0.5
0.25
0.375
0.313
0.344
0.328

$$A \cdot \beta > 0$$

Realimentación Negativa

¿Qué ha pasado?

$Npa := 20$ $\quad Aa := -100$ $\quad \beta a := 0.005$ $\quad Vg = 1$

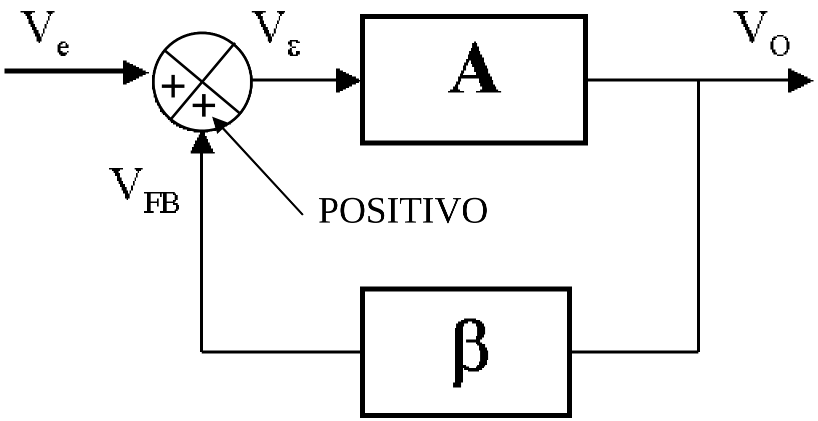
$p := 0..Npa-1$ $\quad q := 1..6$

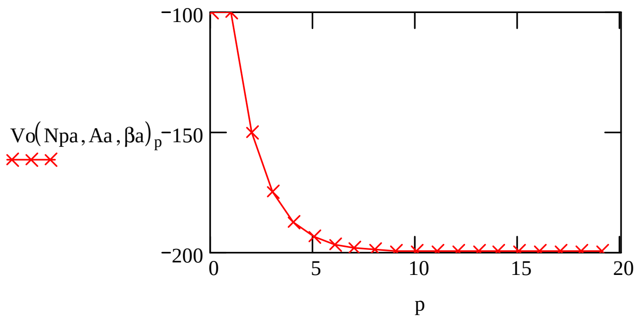
$q =$	$Ve(Npa, Aa, \beta a)_q =$	$V\varepsilon(Npa, Aa, \beta a)_q =$	$Vo(Npa, Aa, \beta a)_q =$
1	1	1	-100
2	1	1.5	-150
3	1	1.75	-175
4	1	1.875	-187.5
5	1	1.938	-193.75
6	1	1.969	-196.875

$Aa = -100$

$Aa \cdot \beta a = -0.5$

$$\frac{Aa}{(1 + Aa \cdot \beta a)} = -200$$

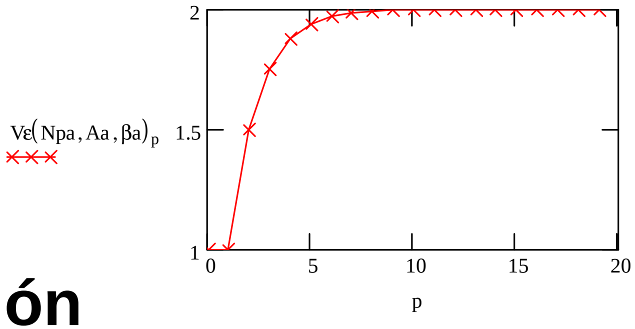




$\beta a = 5 \times 10^{-3}$

$Vfb(Npa, Aa, \beta a)_q =$

-0.5
-0.75
-0.875
-0.938
-0.969
-0.984



$$|A \cdot \beta| < 1$$
$$A \cdot \beta < 0$$

Realimentación positiva estable

¿Qué ha pasado?

$Npa := 10$ $Aa := -100$ $\beta a := 0.05$ $Vg = 1$

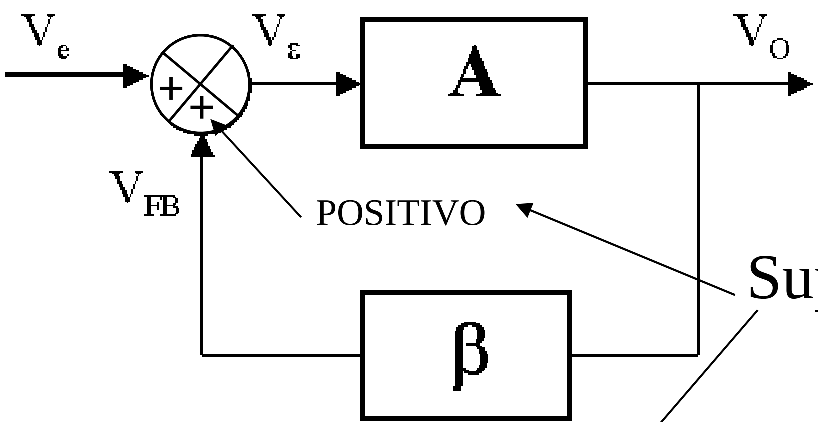
$p := 0..Npa-1$ $q := 1..6$

$q =$	$Ve(Npa, Aa, \beta a)_q =$	$V\varepsilon(Npa, Aa, \beta a)_q =$	$Vo(Npa, Aa, \beta a)_q =$
1	1	1	-100
2	1	6	-600
3	1	31	$-3.1 \cdot 10^3$
4	1	156	$-1.56 \cdot 10^4$
5	1	781	$-7.81 \cdot 10^4$
6	1	$3.906 \cdot 10^3$	$-3.906 \cdot 10^5$

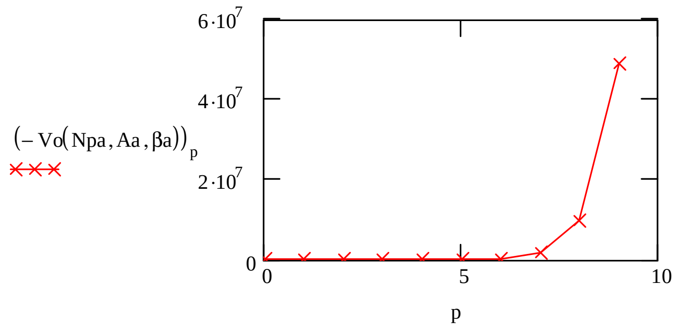
$Aa = -100$

$Aa \cdot \beta a = -5$

$$\frac{Aa}{(1 + Aa \cdot \beta a)} = 25$$



$\beta a = 0.05$



Suponer una frecuencia en la que

$Vfb(Npa, Aa, \beta a)_q =$

-5
-30
-155
-780
$-3.905 \cdot 10^3$
$-1.953 \cdot 10^4$

$$|A \cdot \beta| > 1$$
$$A \cdot \beta < 0$$

Realimentación positiva
INESTABLE

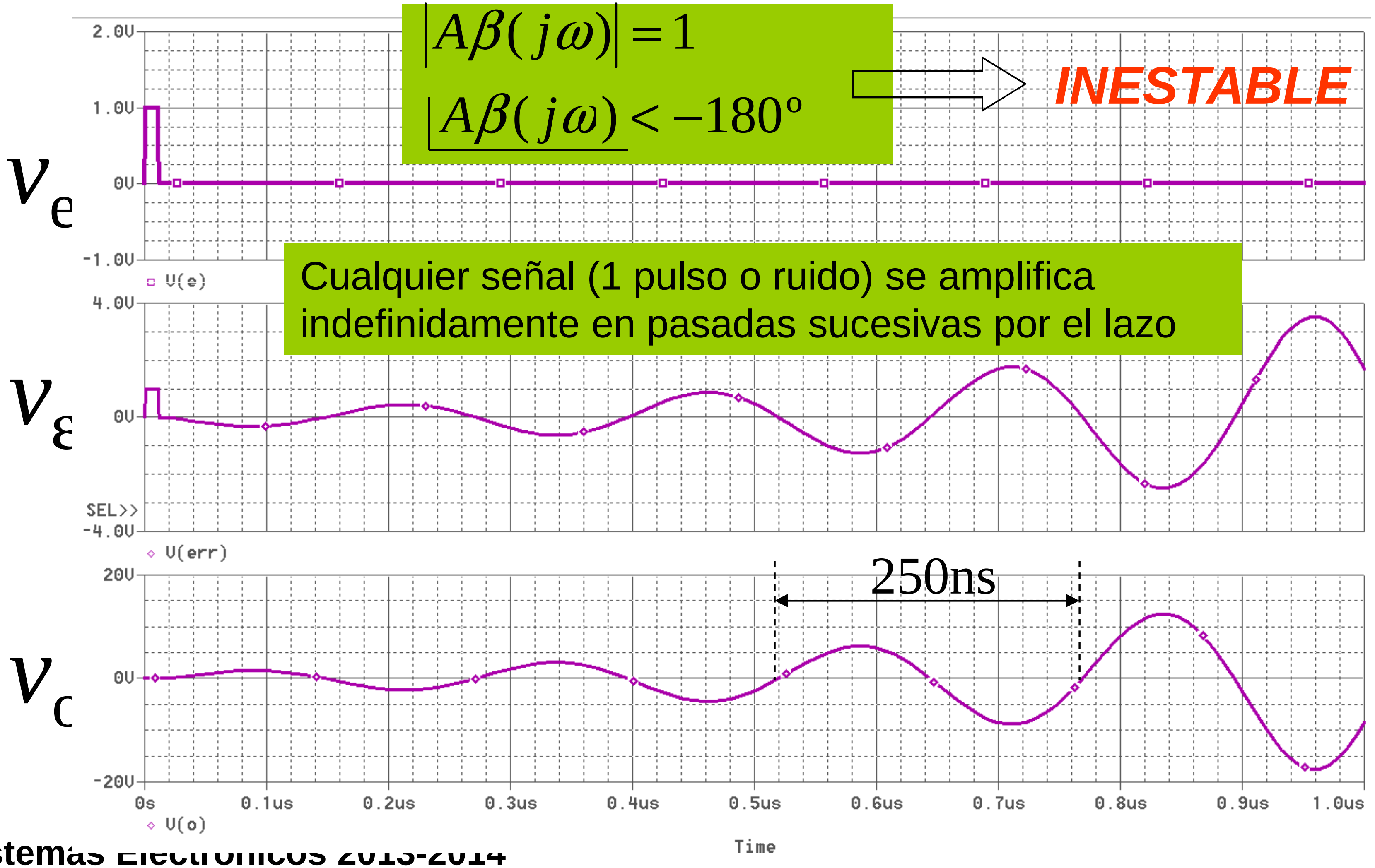
Cualquier señal se amplifica indefinidamente en pasadas sucesivas por el lazo

¿Qué ha pasado? Alguna de las frecuencias contenidas en la entrada cumple la condición:

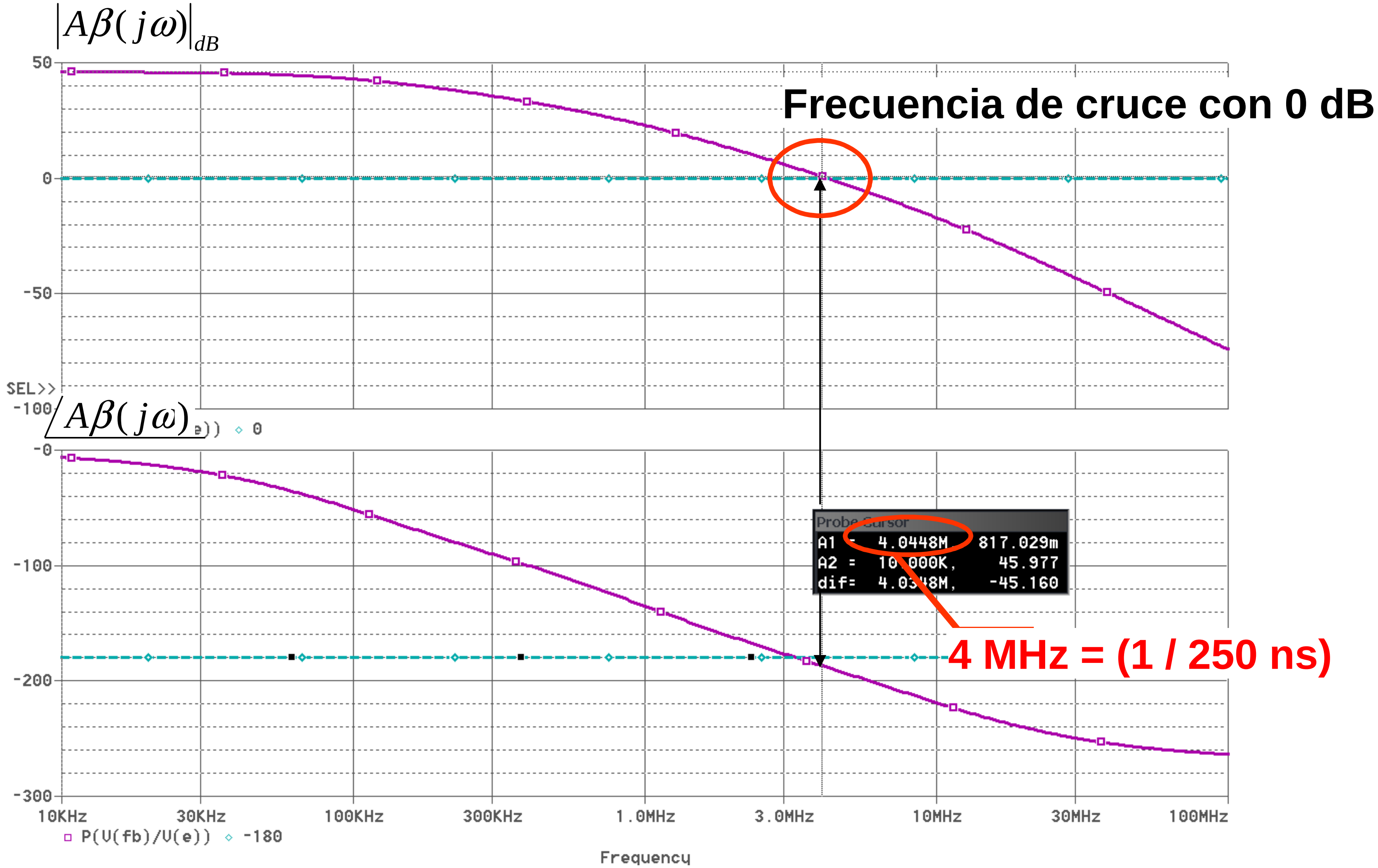
$$|A\beta(j\omega)| = 1$$

$$\underline{|A\beta(j\omega)} < -180^{o}$$

INESTABLE

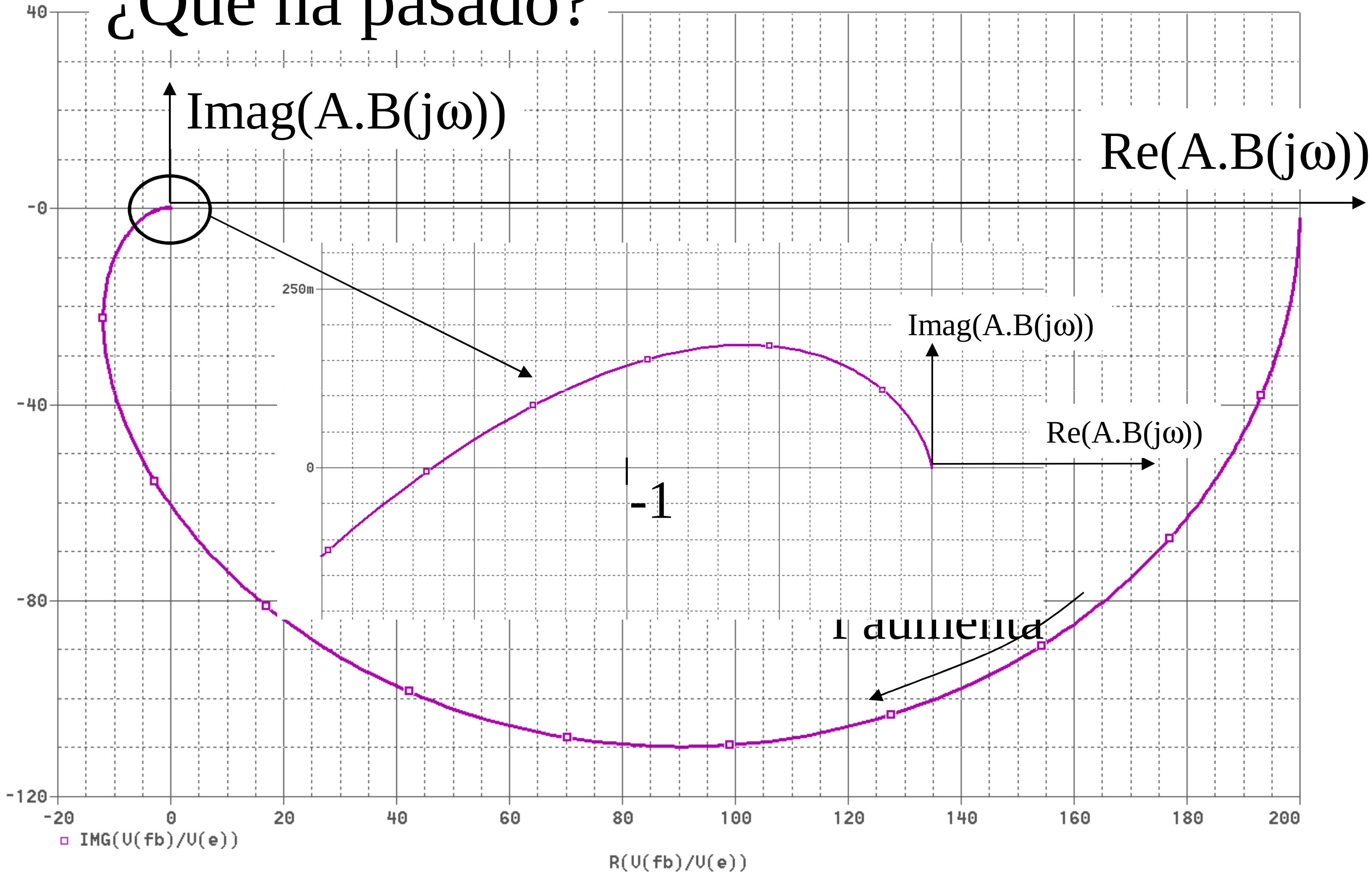


Cualquier señal (1 pulso o ruido) se amplifica indefinidamente en pasadas sucesivas por el lazo



$|A\beta(j\omega)|_{dB}$
Frecuencia de cruce con 0 dB
$\angle A\beta(j\omega)$
Probe Cursor
A1 = 4.0448M, 817.029m
A2 = 10.000K, 45.977
dif= 4.0348M, -45.160
4 MHz = (1 / 250 ns)
10KHz
30KHz
100KHz
300KHz
1.0MHz
3.0MHz
10MHz
30MHz
100MHz
Frequency
P(V(fb)/V(e))
-180
SEL>>

¿Qué ha pasado?



¿Qué ha pasado?

- ***Hemos pensado un circuito para que tenga realimentación negativa, pero…***

… a una determinada frecuencia se vuelve positiva.

- ***Esto se debe a la inversión de fase que se produce a frecuencias suficientemente grandes.***

Hay que tratar de evitar:

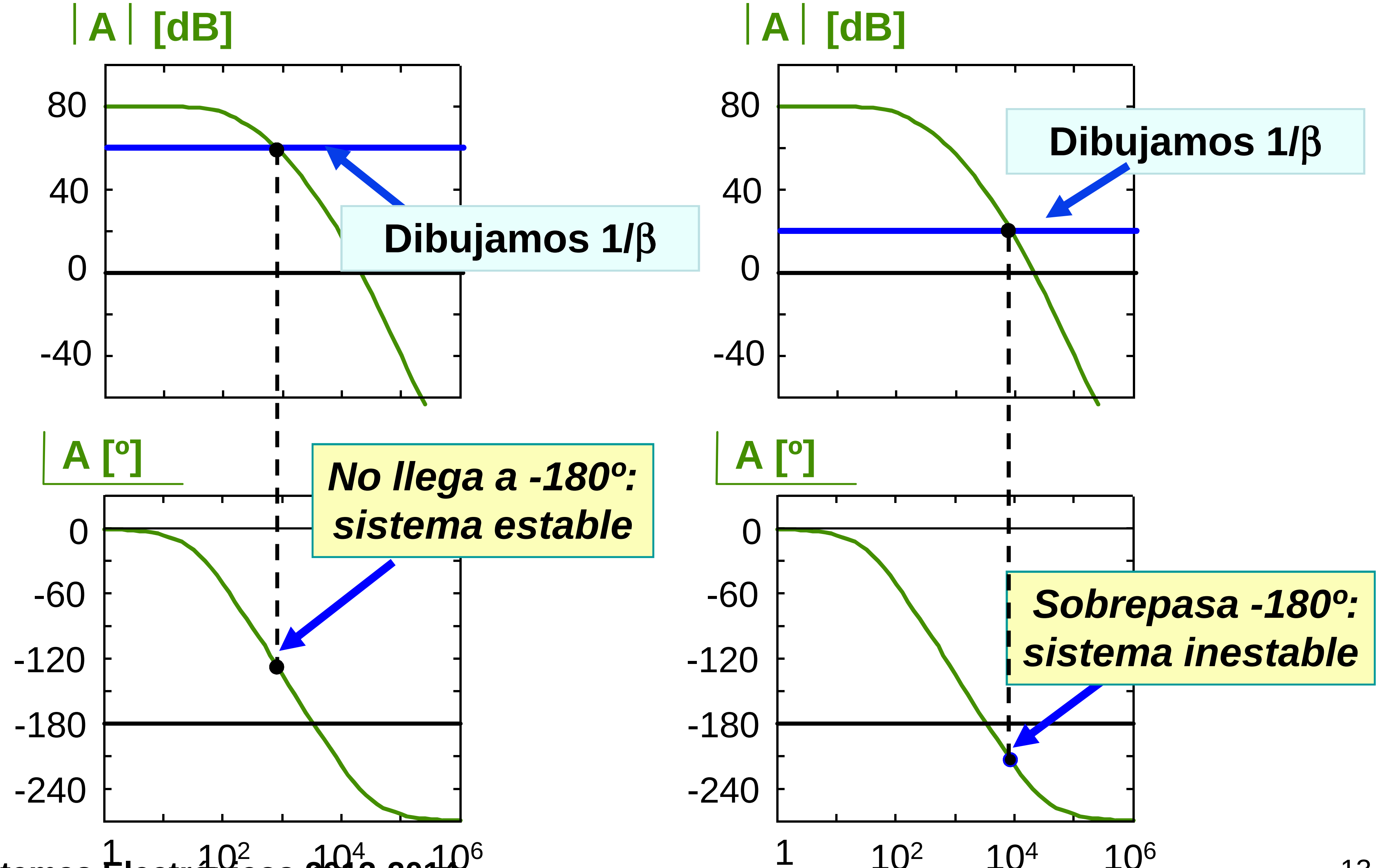
“ ... que a la frecuencia para la que la ganancia de lazo se hace igual a la unidad (Aβ = 0dB) su fase sea menor o igual a –180º... ”

$$\left|A\beta(j\omega)\right| = 1$$

$$\angle A\beta(j\omega) < -180^{o}$$

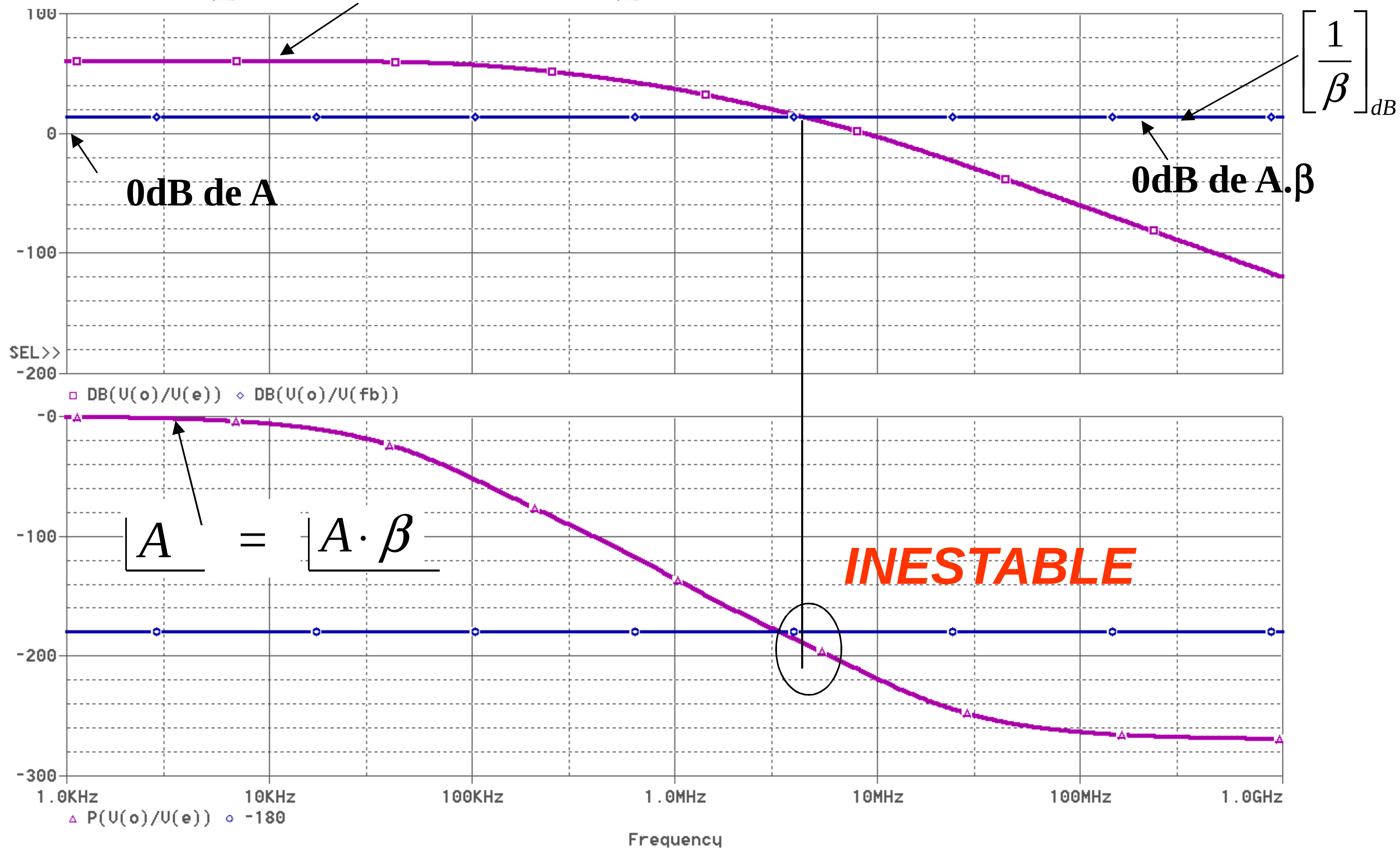
⇒ ***INESTABLE***

Método sistemático de analizar la estabilidad

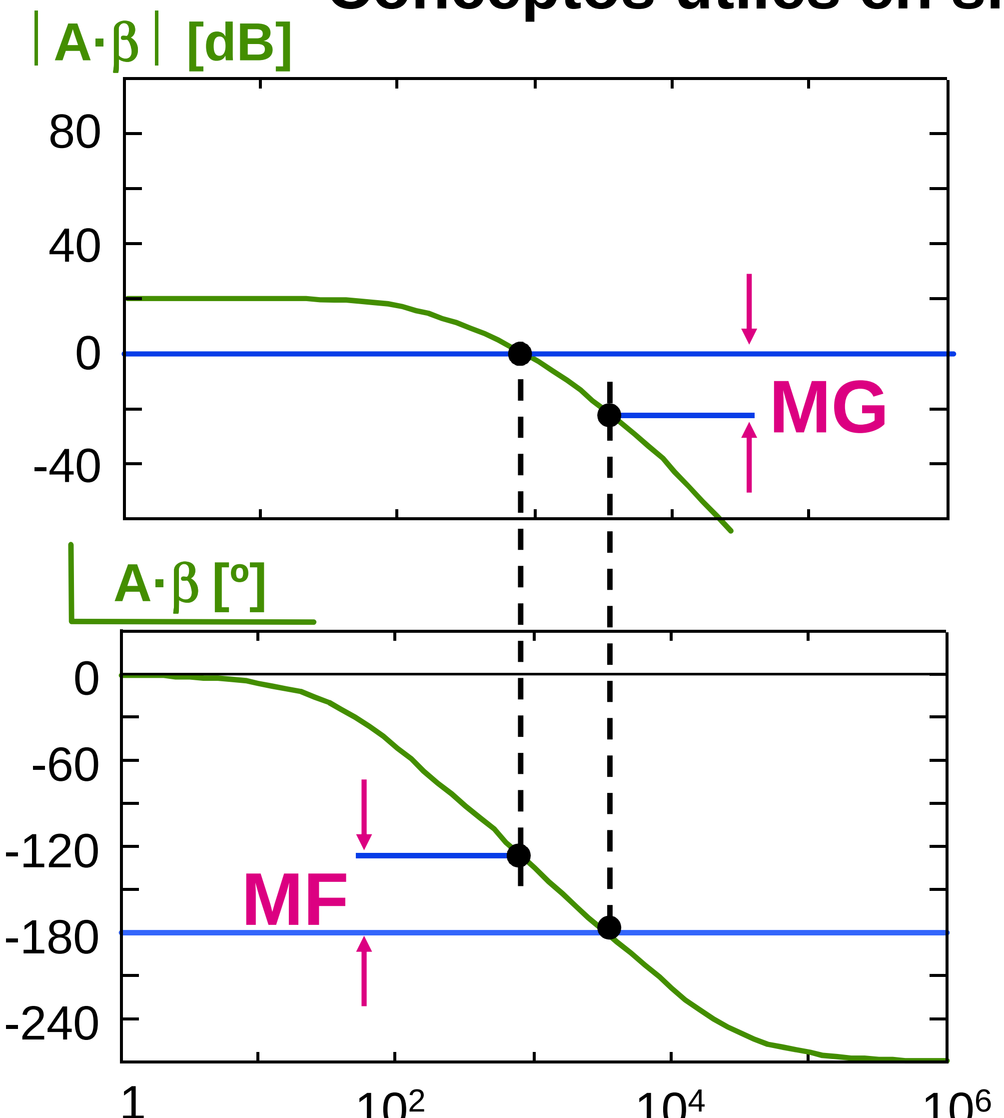


Para el ejemplo de amplificador con tres polos

$\left|A\right|_{dB}$ pasa a ser $\left|A\cdot\beta\right|_{dB}$



Conceptos útiles en sistemas estables

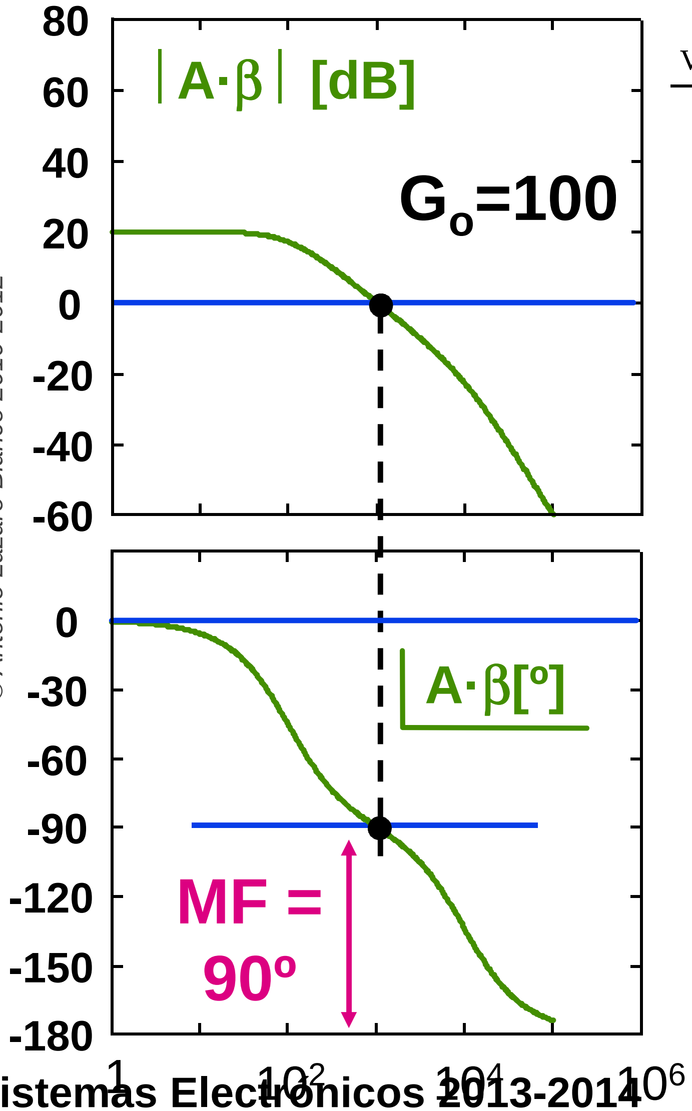


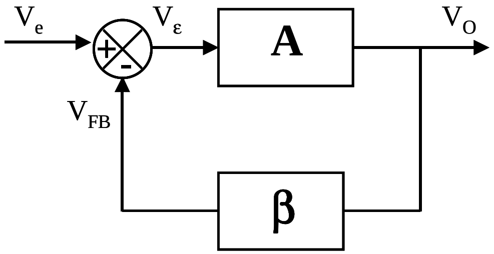
MG: ***margen de ganancia***

MF: ***margen de fase***

Ambos parámetros miden la distancia a las condiciones de inestabilidad, valorada como aumento posible de ganancia y fase.

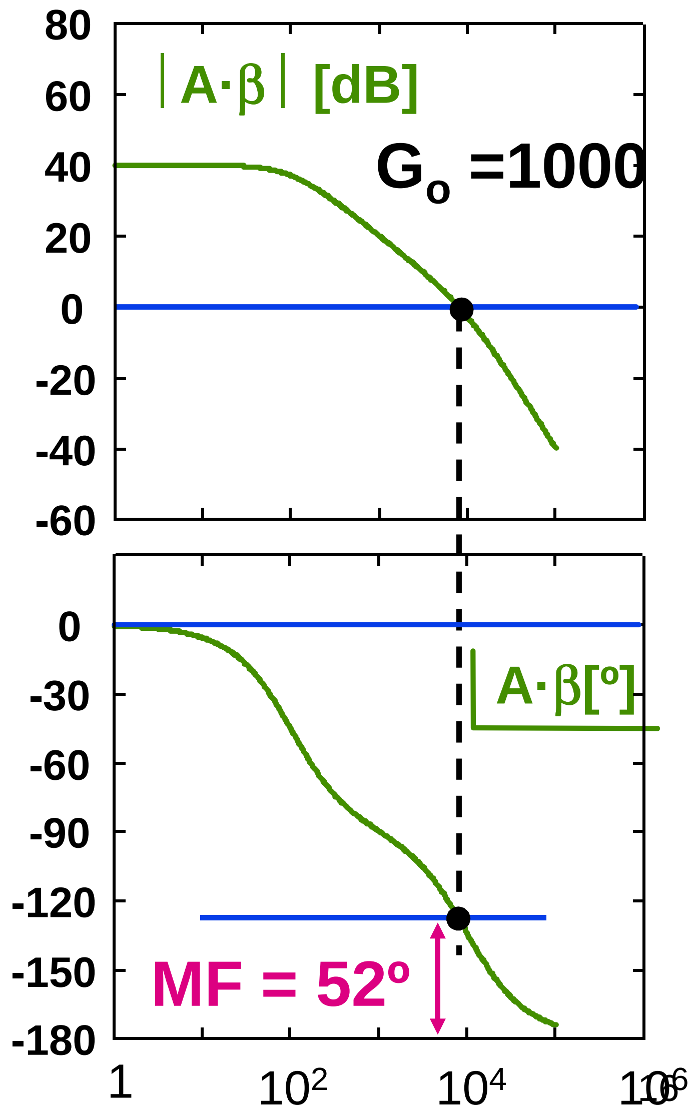
Dos ejemplos con distinto MF y MG





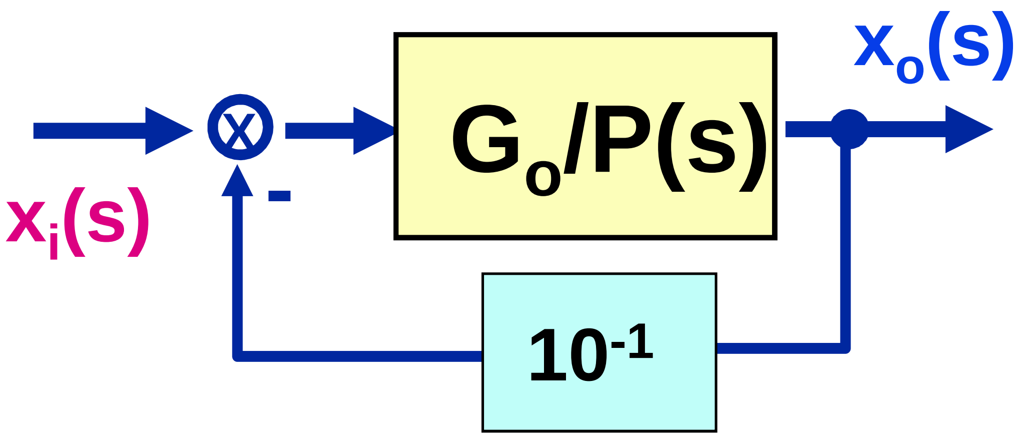
$$G(s) = G_o/P(s)$$

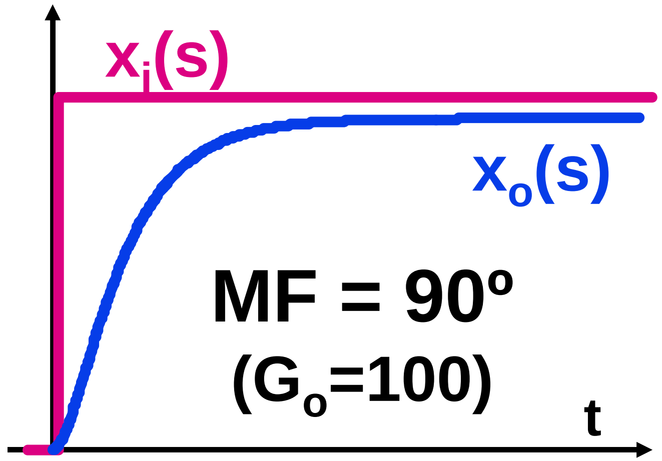
$$\beta = \text{fija} = 10^{-1}$$

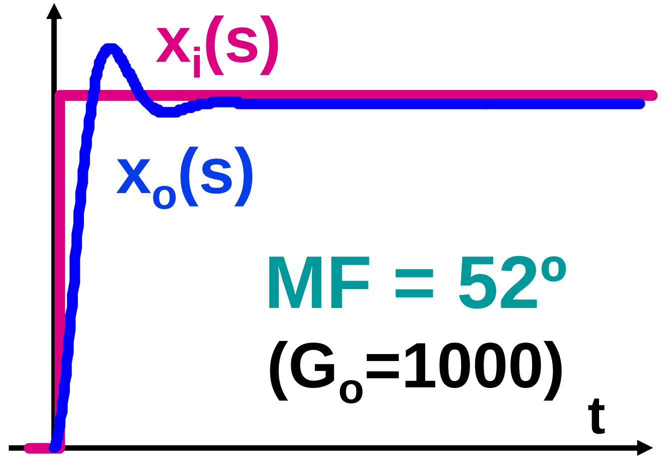


Dos ejemplos con distinto MF y MG

Respuesta temporal ante un escalón





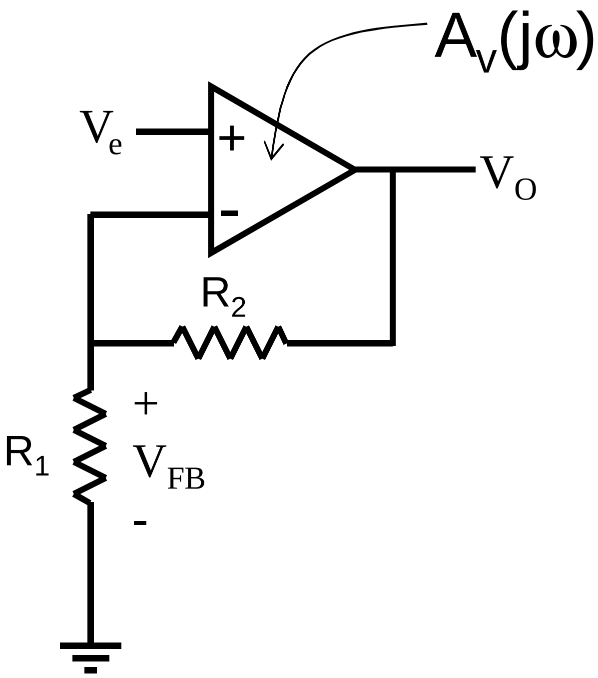


Repaso de definiciones:

- **A**: Ganancia de un amplificador sin realimentar
- **A´**: Ganancia del amplificador conteniendo todos los efectos de carga: los suyos propios, los del generador, los de la carga y los de la red β expresada como cuadripolo. Se obtiene tras aplicar el método práctico y en su expresión aparece la ganancia del amplificador sin realimentar, A.
- **G**: Ganancia en bucle cerrado. Se ha obtenido aplicando las expresiones de realimentación ideal tras haber empleado el método práctico.
- **β_{12}**: Ganancia ideal de la red β expresada como cuadripolo (relación entre la magnitud que comparo en la entrada de A´ y la que realimento de la salida de A´.

$$G = \frac{A'}{1 + A' \cdot \beta_{12}}$$

Muy importante:
El estudio de la estabilidad siempre hay que hacerlo sobre A´β(jω), nunca sobre A(jω).



El amplificador operacional tiene una respuesta en frecuencia $A_v(j\omega)$

¿Se estudia la estabilidad con $A_v.\beta$?

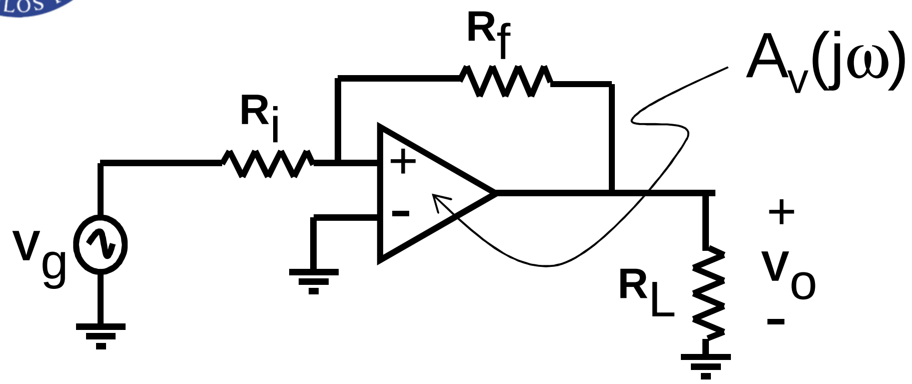
Muy importante:

El estudio de la estabilidad siempre hay que hacerlo sobre $A´\beta(j\omega)$, nunca sobre $A_v(j\omega)$.

Esto se debe a que la expresión del lazo cerrado G habla de $A´\beta$ no de $A_v\beta$

$$G = \frac{A´}{1 + A´\cdot\beta_{12}}$$

Estudio de la estabilidad en un amplificador real



El amplificador operacional tiene una respuesta en frecuencia $A_v(j\omega)$

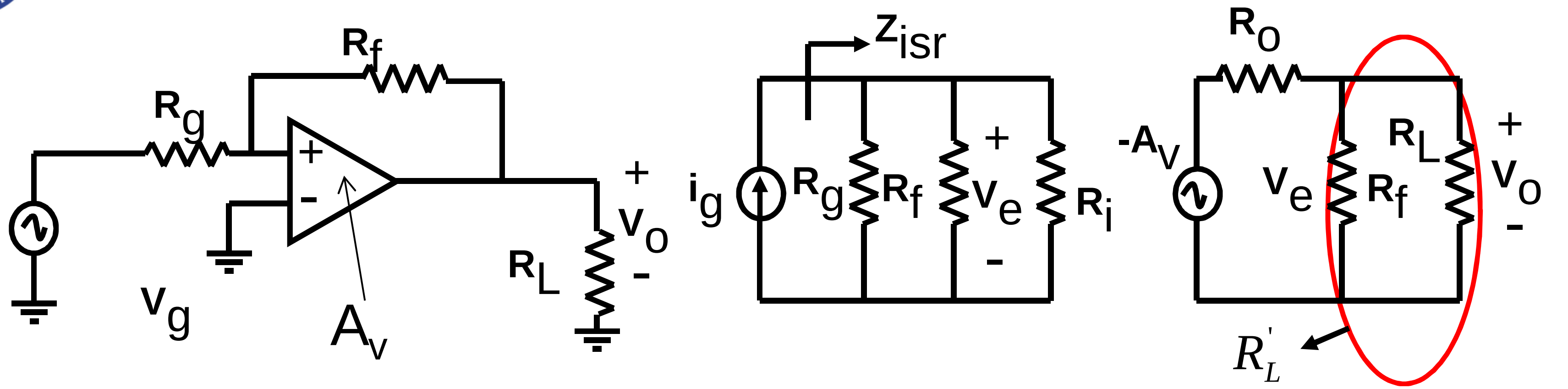
El amplificador operacional es un amplificador de tensión.

Sin embargo en esta caso presenta una realimentación **paralelo – paralelo**, que estabiliza una ganancia de **transimpedancia**

El estudio de la estabilidad siempre habrá que hacerlo sobre $A_Z{}'\beta_Y(j\omega)$, nunca sobre $A_v\beta(j\omega)$.

Esto se debe a que la expresión del lazo cerrado G habla de $A_Z{}'\beta_Y$ no de $A_v\beta$

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



$$\beta_{11} = \frac{1}{R_f} \quad \beta_{12} = \beta_Y = -\frac{1}{R_f} \quad \beta_{22} = \frac{1}{R_f}$$

$$A_Z' = \frac{V_o}{V_1} \cdot \frac{V_1}{V_e} \cdot \frac{V_e}{R_g}$$

Donde : $\frac{V_e}{i_g} = Zisr, \frac{V_1}{V_e} = -A_v, \frac{V_o}{V_1} = \frac{R_L'}{R_L' + R_o}$

Quedando : $\boxed{A_Z' = Z_{isr} \cdot (-A_v) \cdot D_o}$

Siendo $D_o = \frac{R_L'}{R_L' + R_o}$

Aplicando las expresiones de la realimentación ideal:

$$G_z = \frac{V_o}{i_g} = \frac{A'_z}{1 + A'_z \cdot \beta_{12}} = \frac{-Z_{isr} \cdot A_v \cdot D_o}{1 + Z_{isr} \cdot A_v \cdot D_o \cdot \dfrac{1}{R_f}}$$

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{V_o}{i_g} \cdot \frac{i_g}{V_g} = G_z \cdot \frac{1}{R_g}$$

$$G_v = G_z \cdot \frac{1}{R_g} = \frac{-Z_{isr} \cdot A_v \cdot D_o \cdot \dfrac{1}{R_g}}{1 + Z_{isr} \cdot A_v \cdot D_o \cdot \dfrac{1}{R_f}}$$

Se conoce $$A_v(j\omega) = \frac{A_o}{(1 + j\dfrac{\omega}{\omega_{pd}})}$$

Estudio de la estabilidad como transimpedancia

$$G_z = \frac{A_z'}{1 + A_z' \cdot \beta_y}$$

$$A_z' \cdot \beta_y >> 1 \Rightarrow G_z = \frac{1}{\beta_y} = R_f$$

$$A_z' \cdot \beta_y << 1 \Rightarrow G_z = A_z'$$

¿Cómo es A_z' ?

etapa inversora

$$A_Z' = Z_{isr} \cdot [\ominus A_v(j\omega)] \cdot D_o$$

Asumiendo que $D_o \approx 1$ nos quedaría :

$$A_Z' = Z_{isr} \cdot (-1) \cdot A_v(j\omega) = -Z_{isr} \cdot \frac{A_o}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_p}}$$

$$A_Z' = -\frac{A_o \cdot Z_{isr}}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_p}} = -\frac{A_{zo}}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_p}}$$

Donde : $A_{zo} = A_o \cdot Z_{isr}$

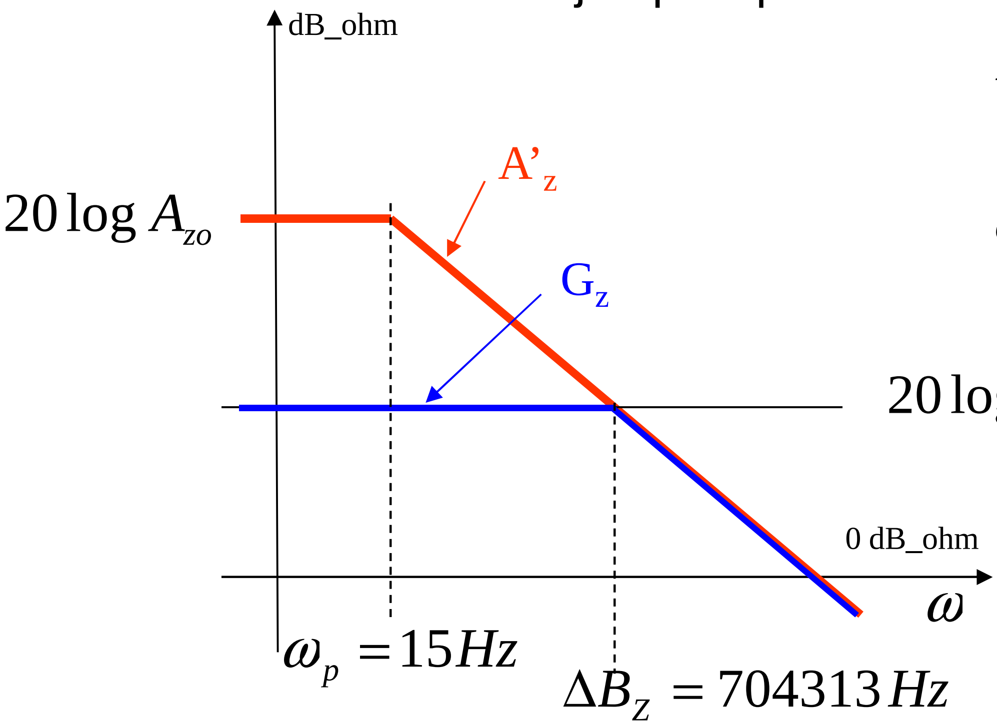
Estudio de la estabilidad como transimpedancia

Ejemplo aplicado: $R_g = 10k \quad R_f = 50k \quad Z_{isr} = 8.33k$

$$A_o = 109dB \equiv 281838$$

$$A_{zo} = A_o \cdot Z_{isr} = 187.41dB$$

$$\omega_p = 15Hz$$



$$20\log R_f = 20\log(50k) = 94dB\_ohm$$

Aplicando G x ΔB = cte.

$$\Delta B_Z = \frac{281838 \cdot 8.33 \cdot 10^3 \cdot 15}{50 \cdot 10^3} = 704313\,Hz$$

Expresión del valor de una impedancia en dB_ohm. Es el valor en dB normalizado respecto a 1 Ω.

$$Z\big|_{dB\_ohm} = 20\log\left(\frac{Z}{1\Omega}\right)$$

Estudio de la estabilidad como transtensión

$$G_v = G_z \cdot \frac{1}{R_g} = \frac{\frac{A_z'}{R_g}}{1 + A_z' \cdot \beta_y} \Rightarrow \beta_y = -\frac{1}{R_f}$$

$$A_z' \cdot \beta_y >> 1 \Rightarrow G_v = \frac{1}{\beta_y \cdot R_g} = -\frac{R_f}{R_g}$$

$$A_z' \cdot \beta_y << 1 \Rightarrow G_v = A_z' \cdot \frac{1}{R_g} = A_v'$$

¿Cómo es A_v' ?

$$A_v' = A_z' \cdot \frac{1}{R_g} = Z_{isr} \cdot [-A_v(j\omega)] \cdot D_o \cdot \frac{1}{R_g}$$

Asumiendo que $D_o \approx 1$ nos quedaría :

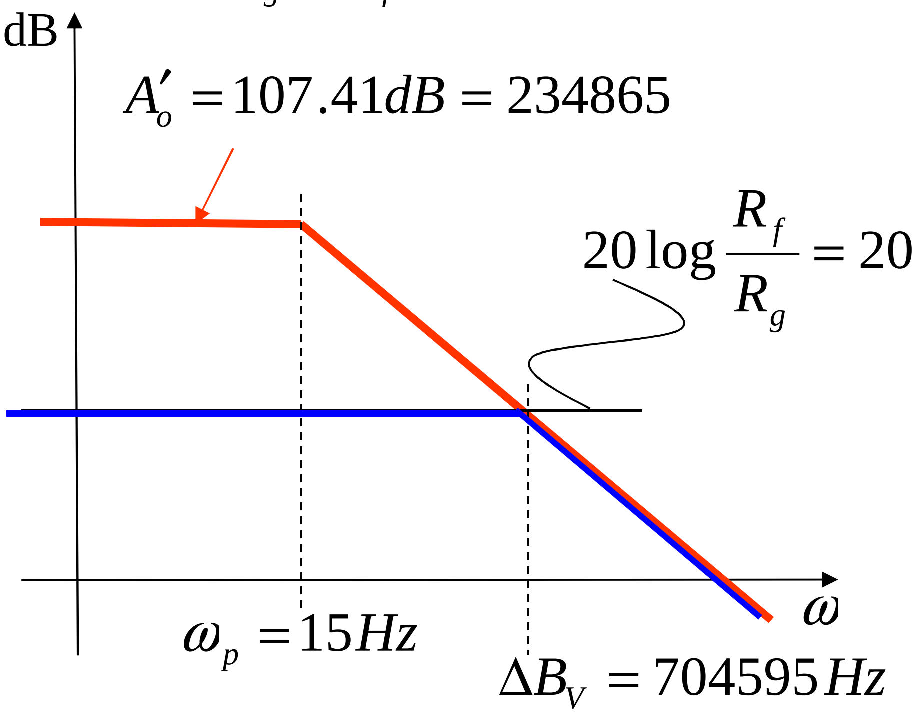
$$A_v' = \frac{Z_{isr}}{R_g} \cdot [-A_v(j\omega)] = -\frac{Z_{isr}}{R_g} \cdot \frac{A_o}{1 + j\frac{\omega}{\omega_p}} \qquad A_o' = -\frac{A_o'}{1 + j\frac{\omega}{\omega_p}}$$

Donde : $A_v' = -\frac{Z_{isr}}{R_g} \cdot A_o$

Lo aplicamos al mismo ejemplo anterior teniendo en cuenta:

$$Z_{isr} \approx \frac{R_g \cdot R_f}{R_g + R_f} \qquad A'_o = \frac{R_g \cdot R_f}{R_g + R_f} \cdot \frac{1}{R_g} \cdot A_o$$

$$A'_o = \frac{R_f}{R_g + R_f} \cdot A_o = \frac{50k}{10k + 50k} \cdot 281838 = 234865 = 107.41dB$$



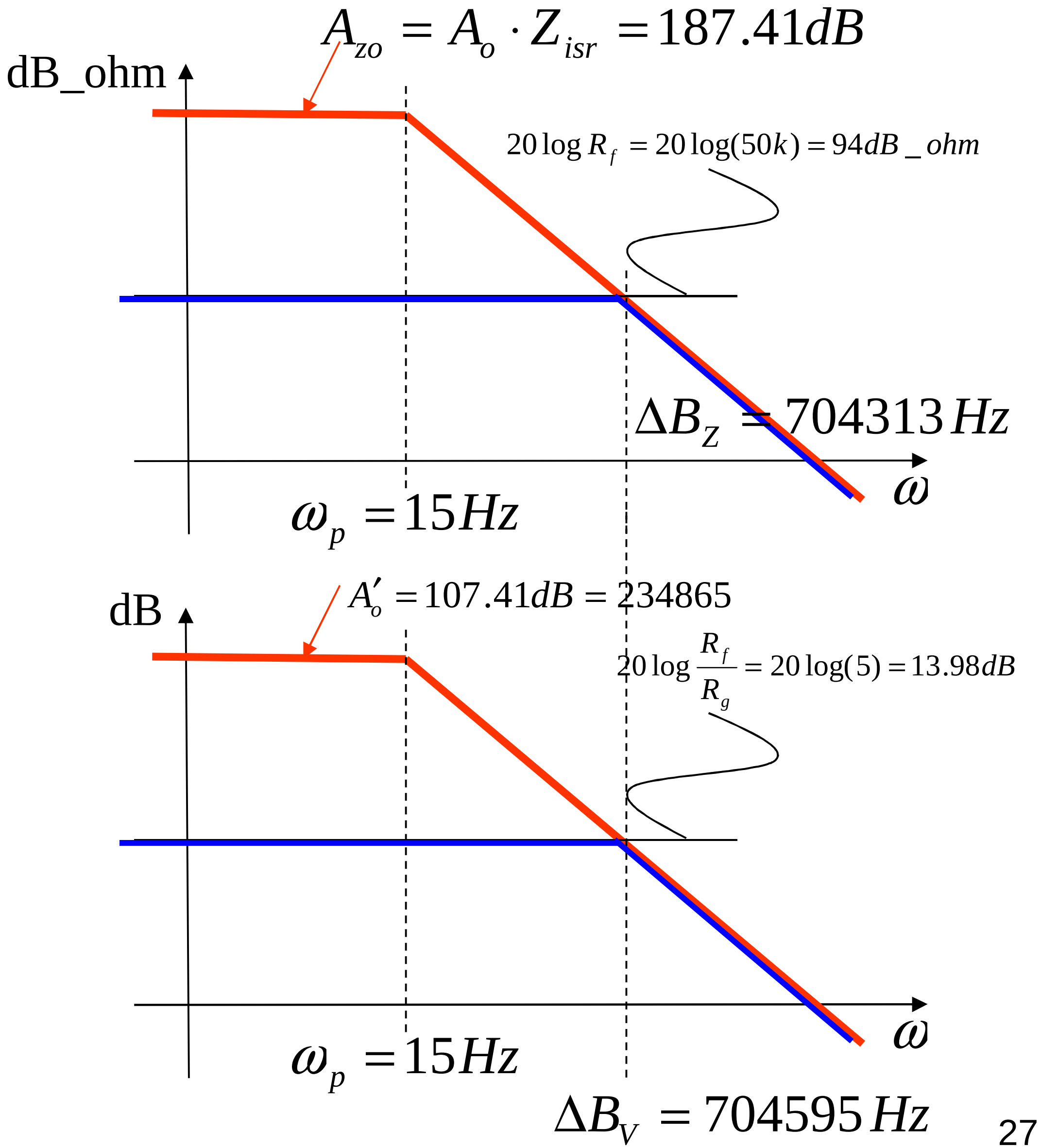
$$20\log\frac{R_f}{R_g} = 20\log(5) = 13.98dB$$

Aplicando G x ΔB = cte.

$$\Delta B_V = \frac{234865 \cdot 15}{5} = 704595\,Hz$$

Comparación G_Z y G_V

Las escalas se han modificado, pero el polo dominante y el ancho de banda se conservan



Los cero dB de A´β(jω)

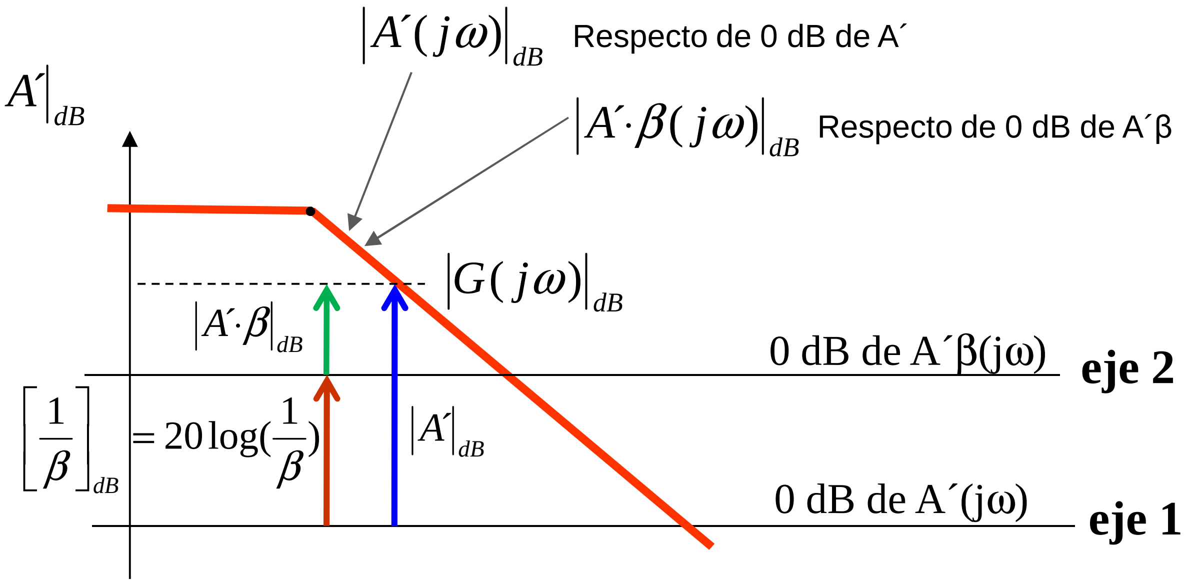
La estabilidad se estudia a partir de A´β(jω), sin embargo el dato que se conoce a priori es A(jω), ni siquiera A´(jω). Por tanto se trata de representar gráficamente A´β(jω) a partir de A(jω). ***¿Qué modificación supone β?***

$$\left|A'\cdot\beta\right|_{dB} = \left|A'\right|_{dB} + 20\cdot\log(\beta) = \left|A'\right|_{dB} + constante$$

Esta constante supone un cambio de eje

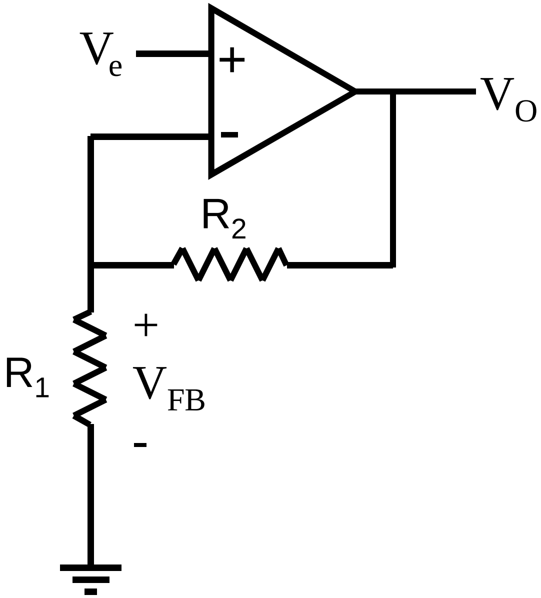
$$\left|A'\cdot\beta\right|_{dB} - 20\cdot\log(\beta) = \left|A'\right|_{dB}$$

$$\left|A'\cdot\beta\right|_{dB} + 20\cdot\log(\frac{1}{\beta}) = \left|A'\right|_{dB}$$



En los amplificadores la red de realimentación siempre se implementa con resistencias. Por tanto β no depende de la frecuencia, es un número real.

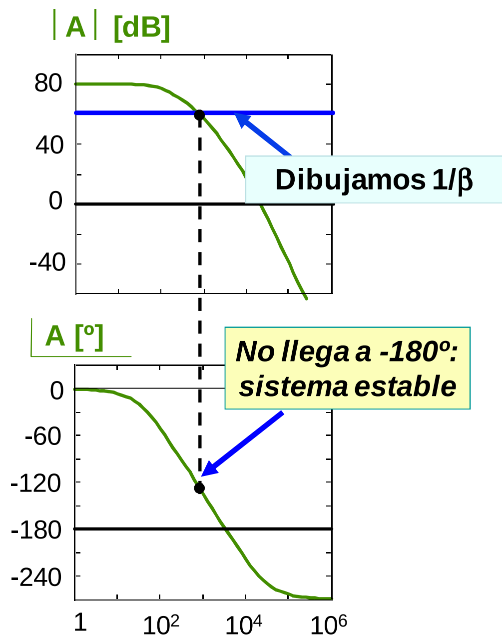
¿Cual es la red β más desfavorable de cara a la estabilidad?



Si para este amplificador queremos una ganancia de 3 en bucle cerrado, G, elegiremos por ejemplo R_2 = 20 kΩ y R_1 = 10 kΩ dado que:

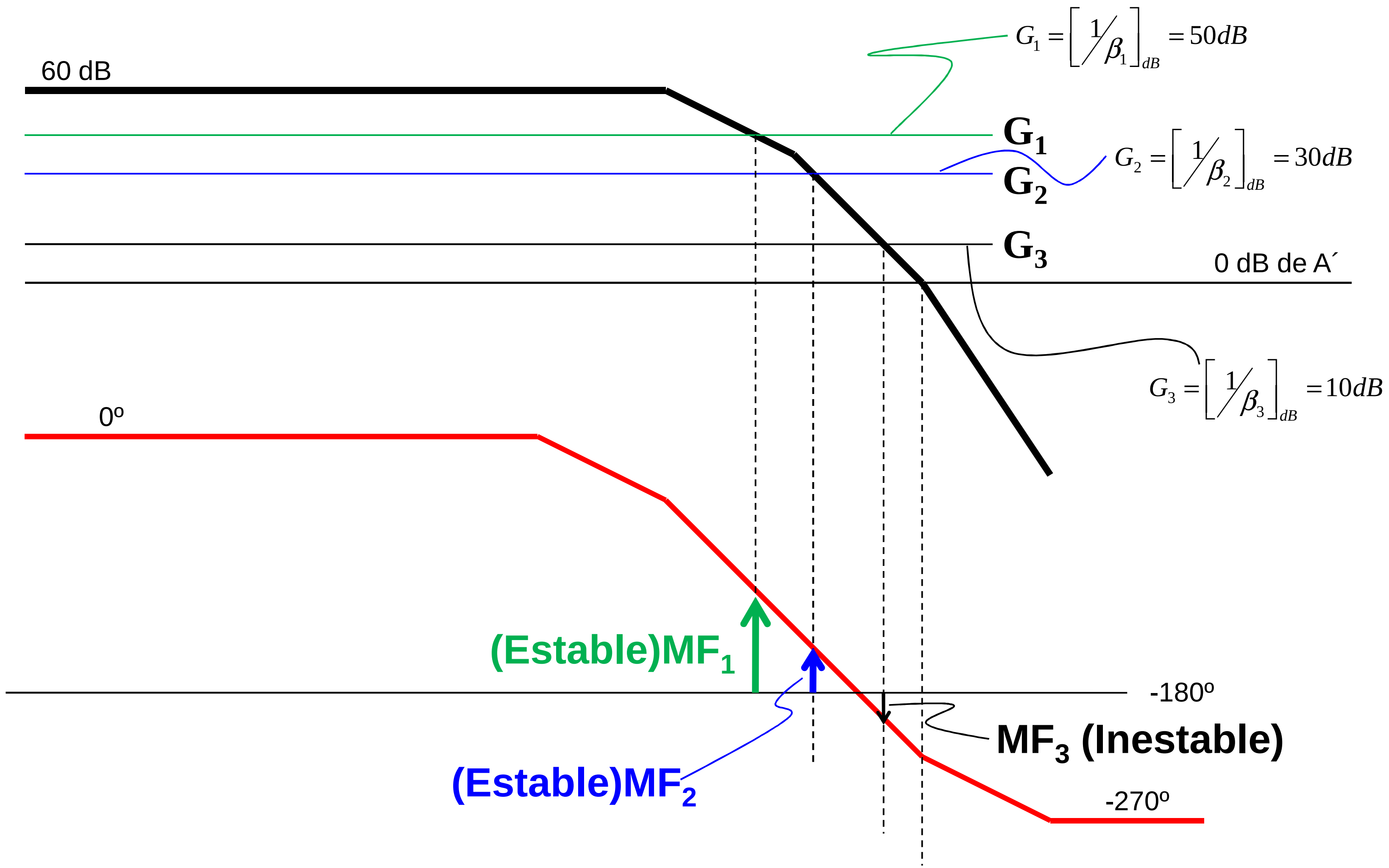
$$G = \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \qquad \beta = \frac{V_{FB}}{V_O} = \frac{R_1}{+R_1} = \frac{1}{1 + R_2/R_1}$$

Al imponer G se impone el valor de 1/β. ¿Qué valor de G o de 1/β acerca más al amplificador a la inestabilidad?

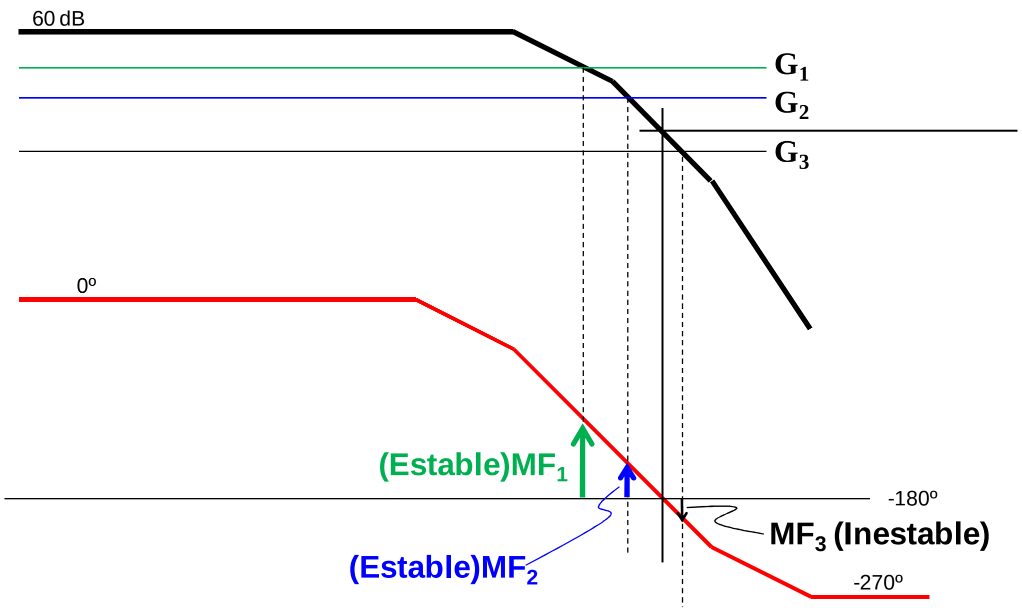


$$\left[\frac{1}{\beta}\right]_{dB} = 20 \cdot \log(1 + \frac{R_2}{R_1})$$

¿Cual es la red β más desfavorable de cara a la estabilidad?



¿Cual es la red β más desfavorable de cara a la estabilidad?

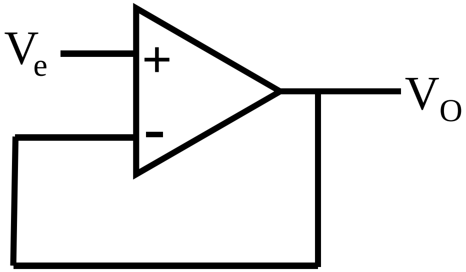


G_{LIM} Este es el valor de la ganancia límite. Para valores de G inferiores, el amplificador ya no es estable.

Muy importante:

- Conforme G se reduce, se reduce también el margen de fase
- Puede ocurrir que por debajo de una determinada ganancia (G_{LIM}) el amplificador no sea estable
- La ganancia que más acerca al amplificador a la inestabilidad es G=1 o β=1

¿Cual es la red β más desfavorable de cara a la estabilidad?

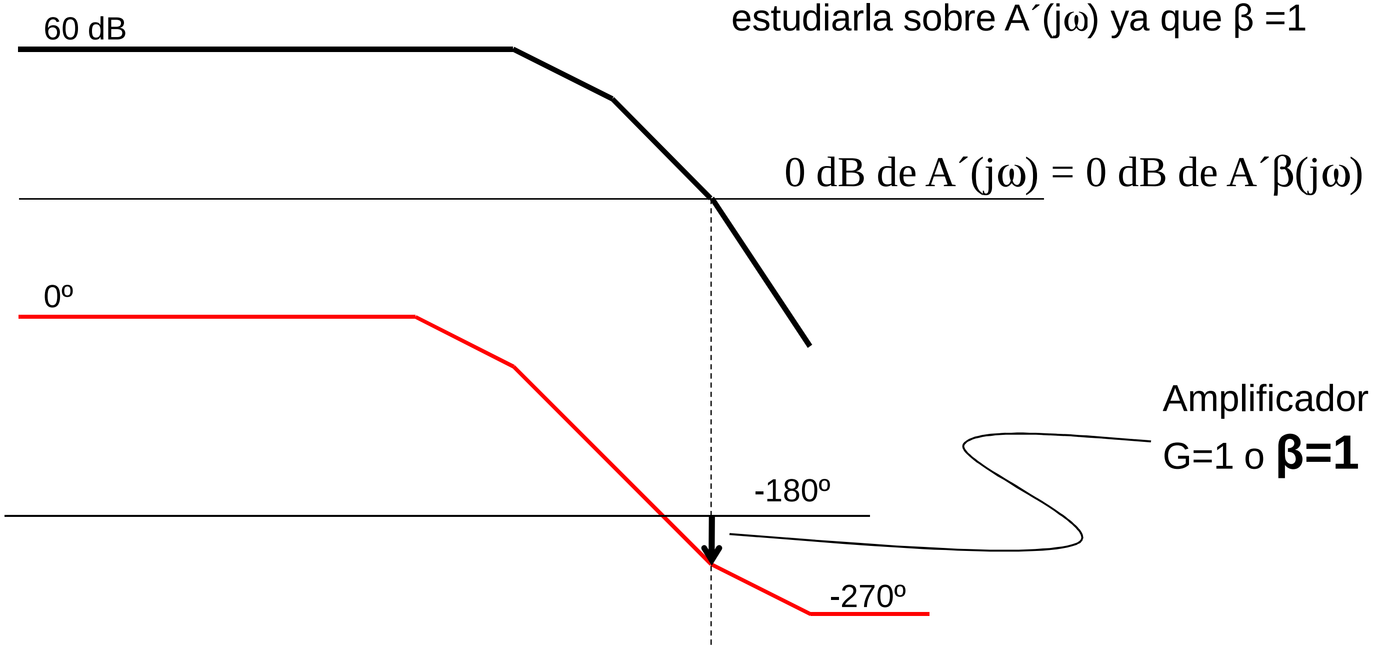


G=1 →β=1

- ***El seguidor de tensión*** es el pero caso desde el punto de vista de la estabilidad.
- Si se asegura la estabilidad para este caso, se asegurará para cualquier otro valor de β

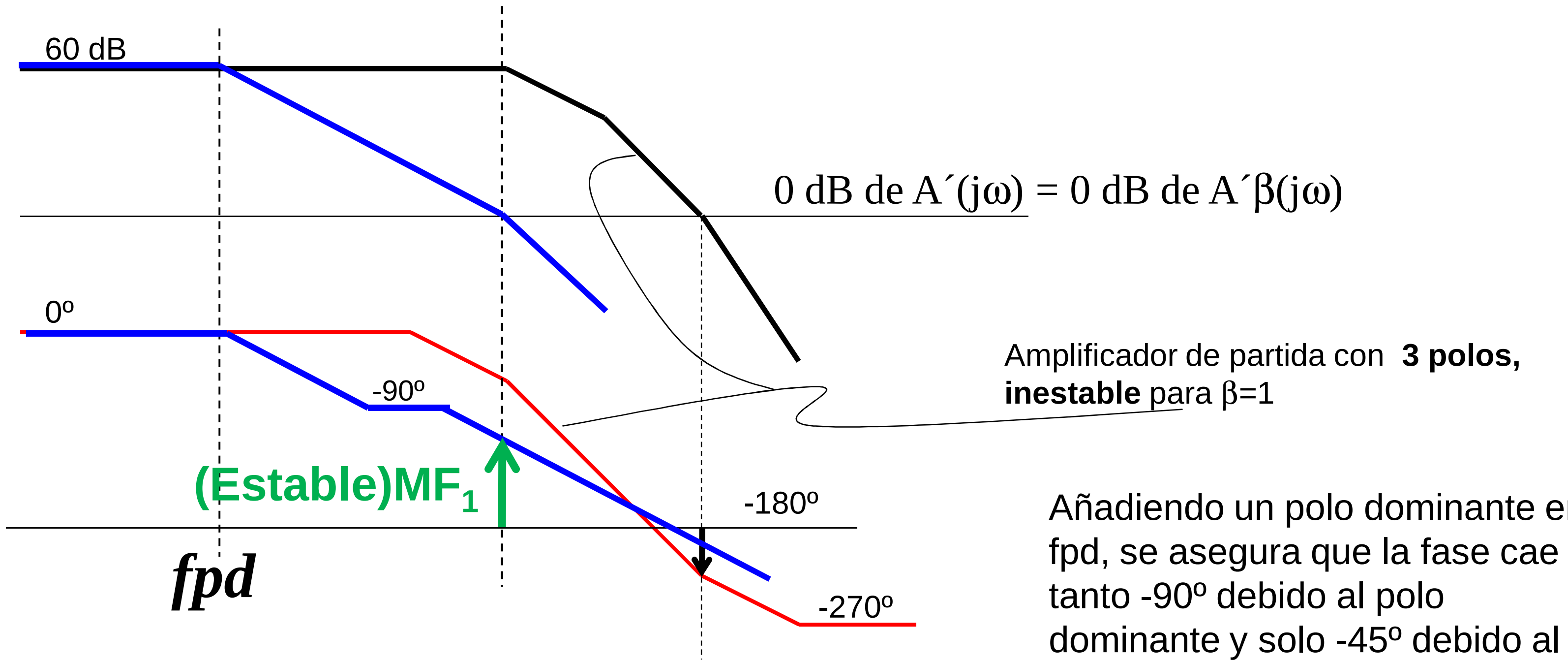
0 dB de A´

- Ahora estudiar la estabilidad sobre A´β(jω) es lo mismo que estudiarla sobre A´(jω) ya que β =1



Amplificador ***inestable*** para G=1 o **β=1**

¿Cómo podemos asegurar que este amplificador con tres polos sea estable incluso para β=1?



Añadiendo un polo dominante en fpd, se asegura que la fase cae tanto -90º debido al polo dominante y solo -45º debido al primer polo del amplificador original

$$A'\beta(jf)\big|_{\beta=1} = A'(jf) = \frac{1000}{(1+j\frac{f}{fpd})\cdot(1+j\frac{f}{fp1})\cdot(1+j\frac{f}{fp2})\cdot(1+j\frac{f}{fp3})}$$

Pasos para imponer un margen de fase

Calcular la frecuencia de cruce con los 0 dB del nuevo Bode que incluye el polo dominante, **f_{cruce}**

$$\angle A'\beta\cdot P_D = \underbrace{\angle P_D}_{-90^\circ} + \angle A' + \underbrace{\angle\beta}_{0^\circ} = -180^\circ + MF$$

$$\angle A'(j\cdot f_{cruce}) = -90^\circ + MF \Rightarrow \mathbf{f_{cruce}}$$

Identificar el nº de polos a la izquierda de **f_{cruce}**

MF ≥ 45

SI

1 solo polo, el polo dominante, *ya que a la f_{cruce} la fase solo ha podido bajar hasta -135º si MF=45º. El P_D contribuye con -90º por tanto el polo 1 solo puede añadir -45º. ¿A que frecuencia añade el polo 1 -45º? Justo a f_{p1}.*

$f_{cruce} = f_{p1}$ para MF = 45º

$f_{cruce} < f_{p1}$ para MF > 45º

Trazar desde los 0dB de A´β.Pd subiendo (de dcha. a izq.) con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia.
En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

No

2 polos: el polo dominante y el polo 1, *ya que si MF < 45º, a la f_{cruce} la fase habrá debido caer por debajo de -135º. El P_D contribuye con -90º por tanto el polo 1 ha de añadir más de -45º lo cual sólo ocurre más allá de f_{p1}.*

$f_{cruce} > f_{p1}$ para MF < 45º

Trazar desde los 0dB de A´β.Pd subiendo (de dcha. a izq.) con 40 dB/dec hasta fp1. Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia.
En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

Compensación por polo dominante. Requisito cumplir MF

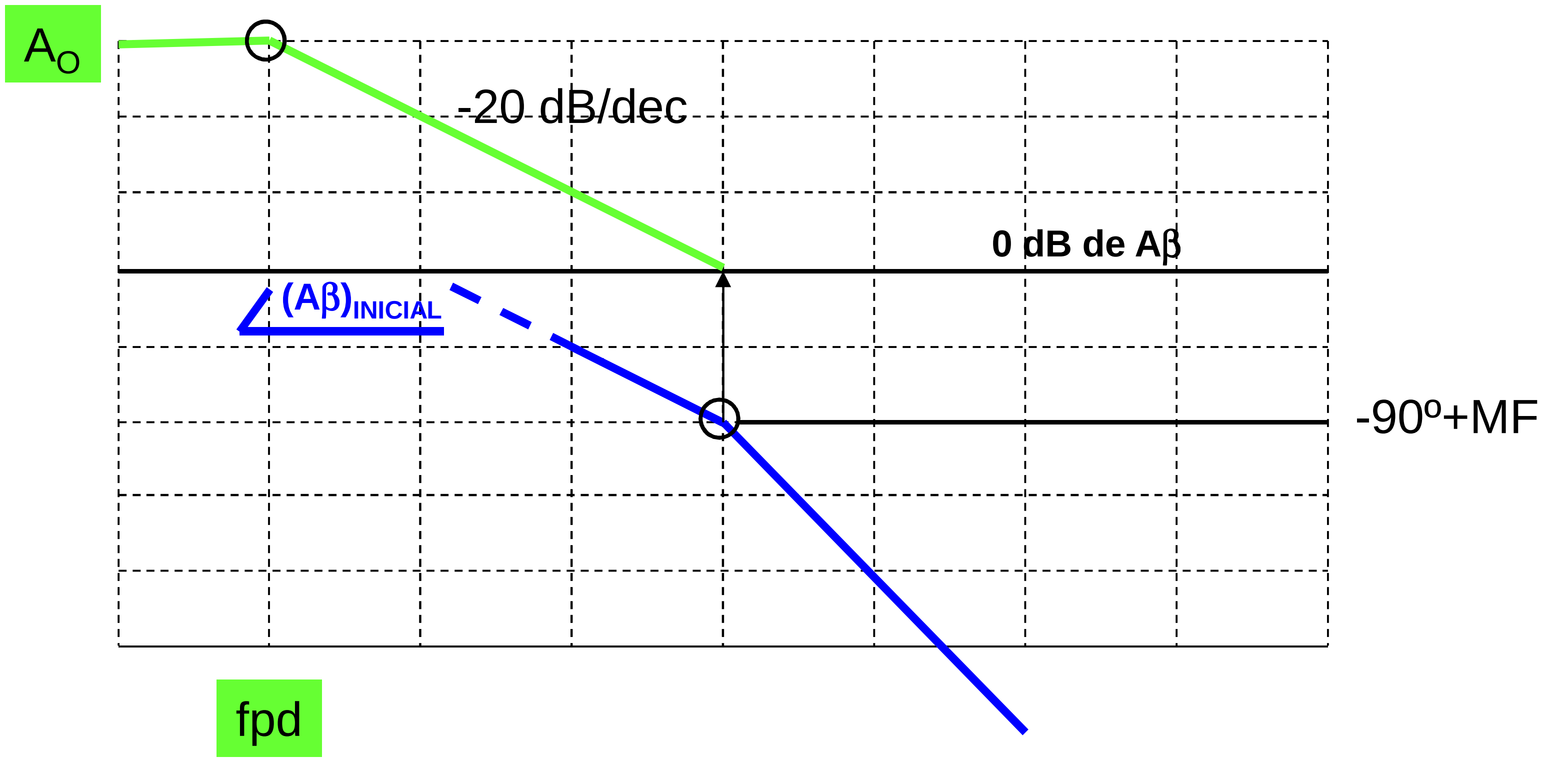
Compensación para obtener un determinado MF

$$\angle A\beta \cdot P_D = \angle P_D + \angle(A\beta)_{INICIAL} = -180^o + MF$$

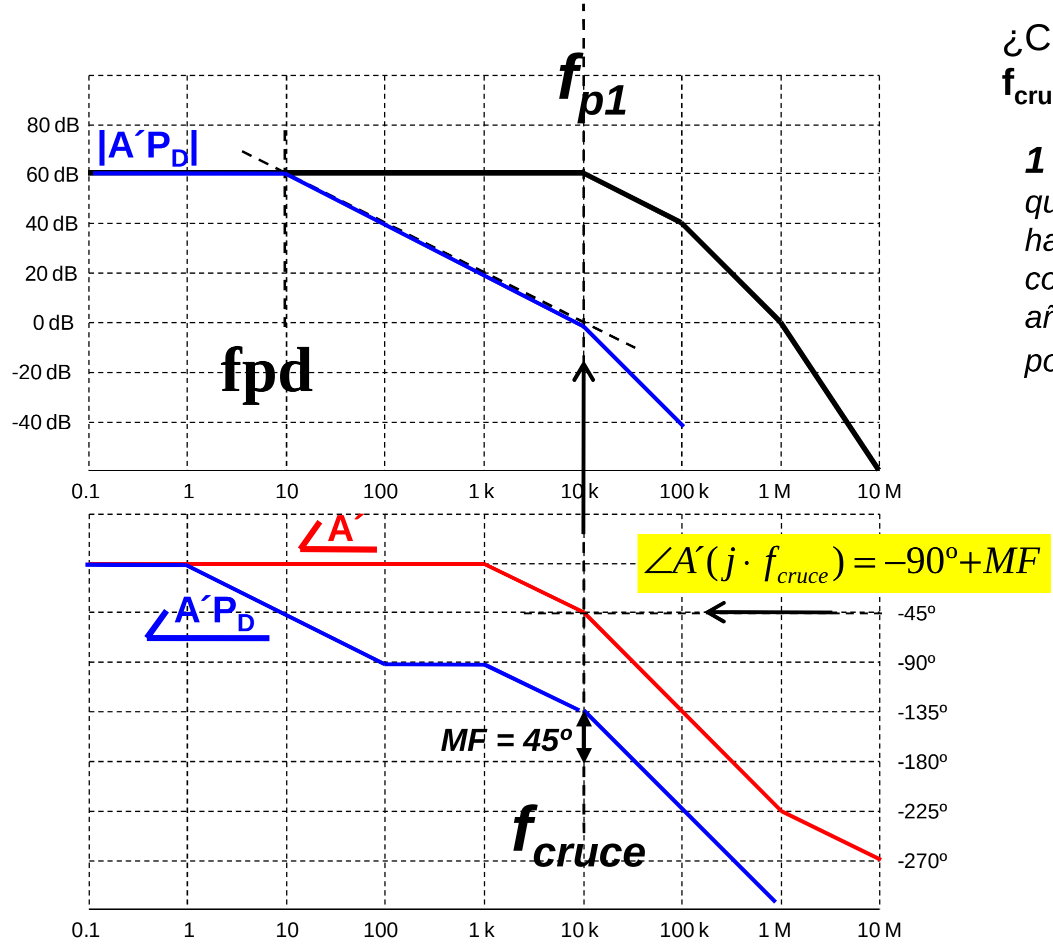
-90º

$$\angle(A\beta)_{INICIAL} = -90^o + MF$$

A la frec. A la que se cumple esta condición se ha de cumplir: $|A\beta \cdot P_D| = 0dB$



Ejemplo 1: Imponer un margen de fase de 45º, para β=1



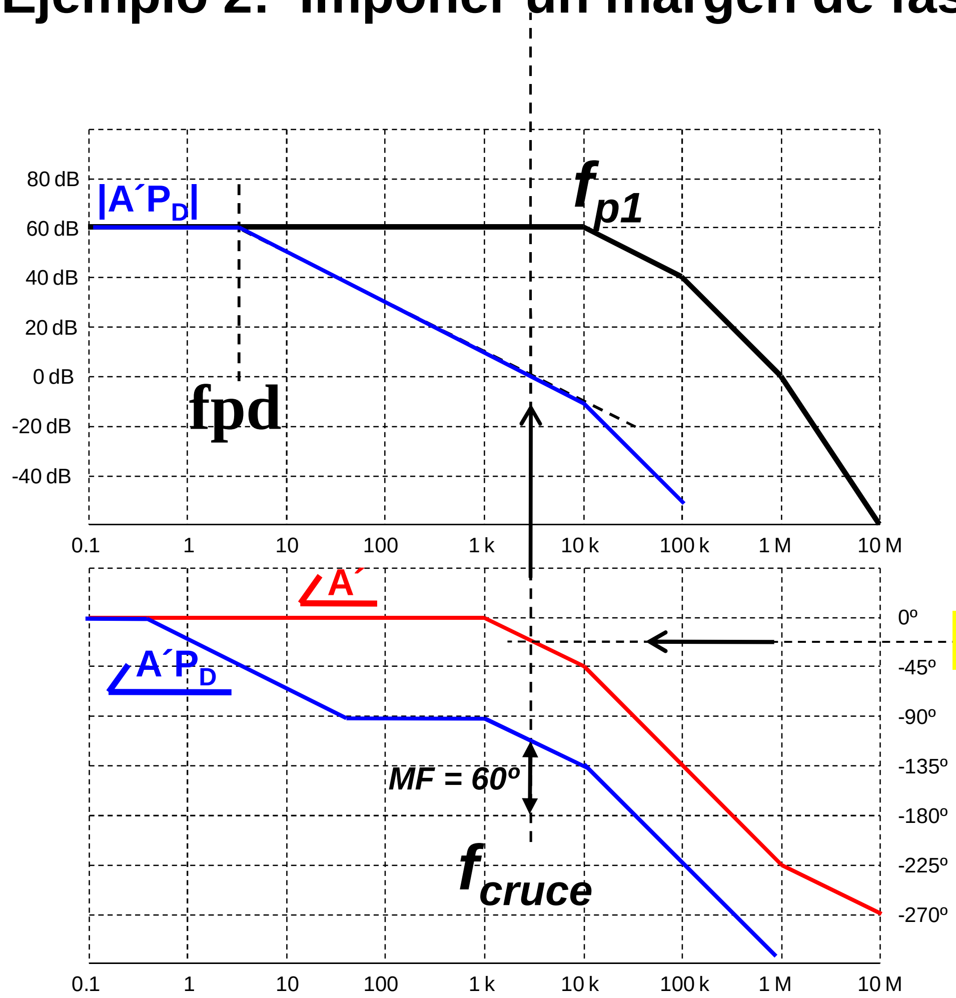
¿Cuántos polos hay a la izquierda de f_{cruce} ?

1 solo polo, el polo dominante, *ya que a la f_{cruce} la fase solo ha podido bajar hasta -135º si MF=45º. El P_D contribuye con -90º por tanto el polo 1 solo puede añadir -45º. ¿A que frecuencia añade el polo 1 -45º? Justo a* $\boldsymbol{f_{p1}}$.

Trazar desde los 0dB de A´β.Pd subiendo (de dcha. a izq.) con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia.
En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

$$f_{cruce} = f_{p1} \text{ para } MF = 45º$$

Ejemplo 2: Imponer un margen de fase > 45º, para β=1



$$\angle A'(j \cdot f_{cruce}) = -90^{o} + MF$$

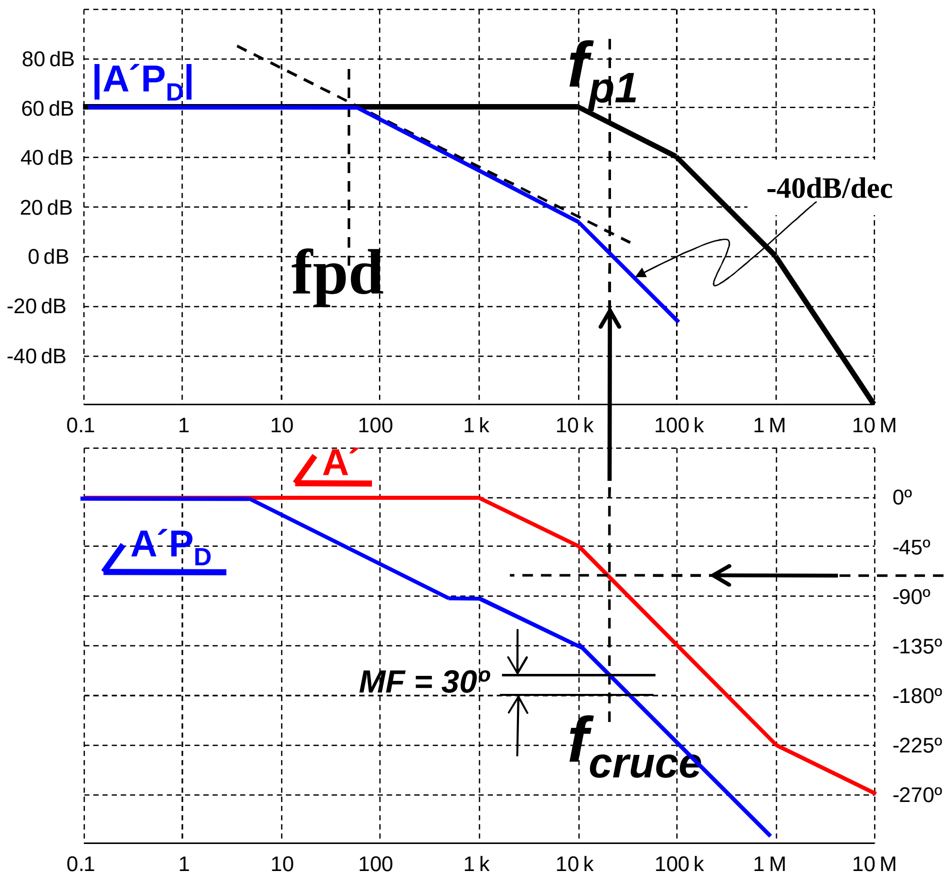
¿Cuántos polos hay a la izquierda de **f_{cruce} ?**

1 solo polo, el polo dominante, *ya que a la f_{cruce} la fase solo ha podido bajar hasta -120º si MF=60º. El P_D contribuye con -90º por tanto el polo 1 solo puede añadir -30º. Esto ocurre sólo ocurre antes de* ***f_{p1}****.*

$$f_{cruce} < f_{p1} \text{ para } MF > 45^{o}$$

Trazar desde los 0dB de A´β.Pd subiendo (de dcha. a izq.) con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia.
En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

Ejemplo 3: Imponer un margen de fase < 45º, para β=1



¿Cuántos polos hay a la izquierda de f_{cruce} ?

2 polos: el polo dominante y el polo 1, *ya que si MF = 30º, a la f_{cruce} la fase habrá debido caer hasta -150º. El P_D contribuye con -90º por tanto el polo 1 ha de -60º lo cual sólo ocurre más allá de* f_{p1}.

$$\angle A'(j\cdot f_{cruce}) = -90^{\circ} + MF$$

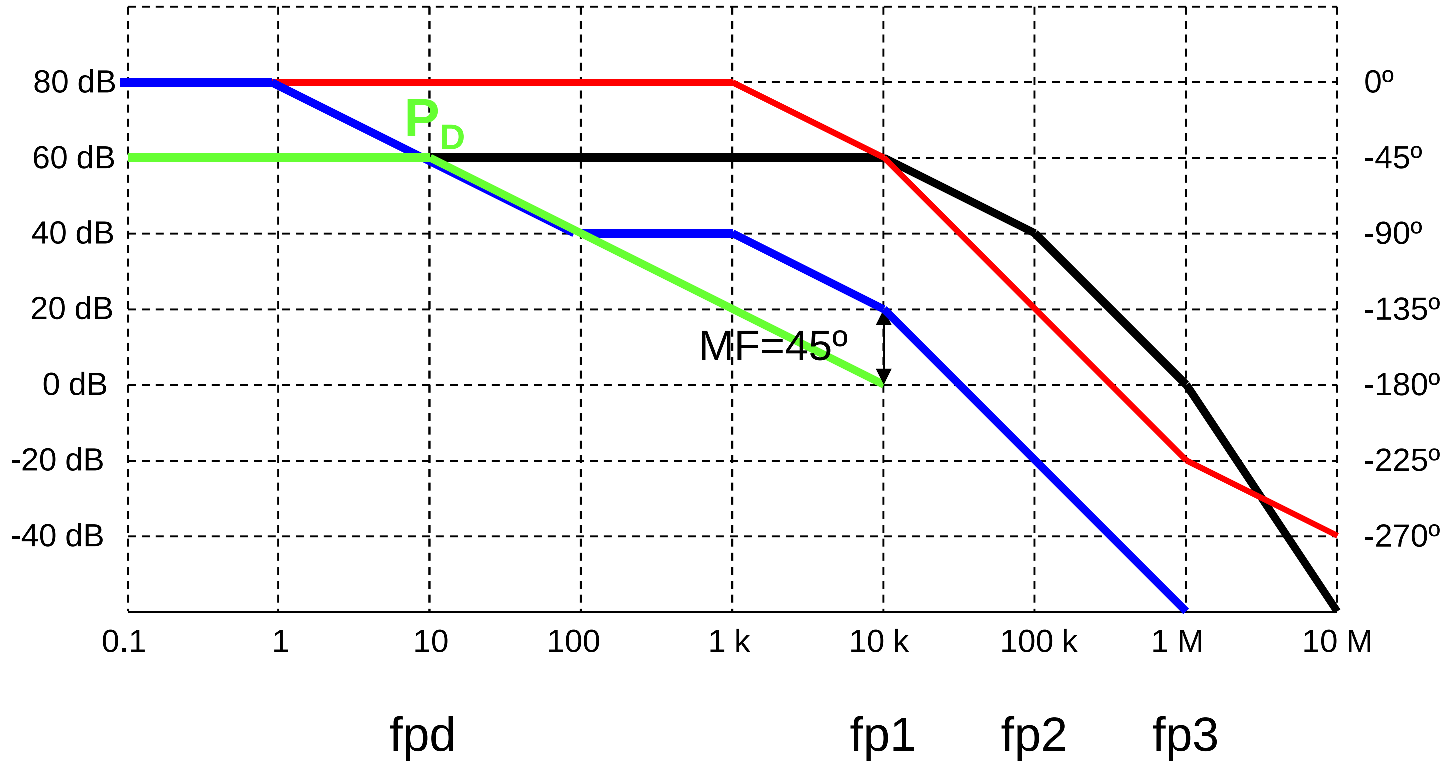
$$f_{cruce} > f_{p1} \text{ para } MF < 45^{\circ}$$

Trazar desde los 0dB de A´β.Pd subiendo (de dcha. a izq.) con 40 dB/dec hasta fp1. Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia. En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

$$A\beta(jf) = \frac{1000}{(1+j\frac{f}{fp1})\cdot(1+j\frac{f}{fp2})\cdot(1+j\frac{f}{fp3})}$$

fp1 fp2 fp3

-1	-1			Polo 1
	-1	-1		Polo 2
		-1	-1	Polo 3
-1	**-2**	**-2**	**-1**	Total



A_O x fpd = 1 x fp1

1 solo polo ⇒ G x ΔB = cte

Pasos para imponer un margen de ganancia

Calcular la frecuencia de cruce con los -180º del nuevo Bode que incluye el polo dominante, **f_{180}**

$$\angle A'\beta \cdot P_D = \angle P_D + \angle A' + \angle\beta = -180^{o}$$

-90º 0º

$$\angle A'(j \cdot f_{180}) = -90^{o} \Rightarrow \mathbf{f_{180}}$$

A la frecuencia **f_{180}** el nuevo Bode debe cumplir: $\left|A'\beta \cdot P_D\right| = -MG$

A la frecuencia **f_{180}** se el módulo del nuevo Bode vale $-MG_{dB}$

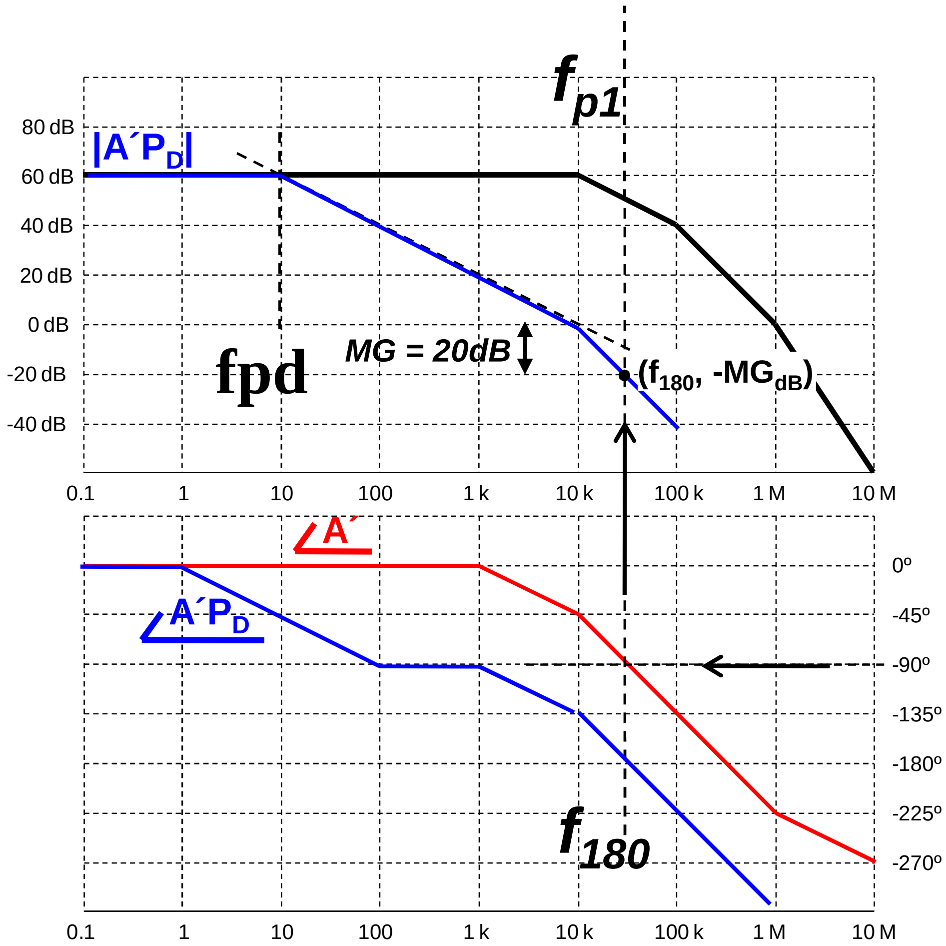
$f_{180} \geq 10 f_{p1}$ para imponer MG

Identificar el nº de polos a la izquierda de **f_{180}**

Al menos 2 polos: el polo dominante y el polo 1, *ya que si la fase de A´ ha alcanzar los -90º, esto solo ocurre para frecuencias iguales o superiores a* ***$10f_{p1}$***.

Dibujar el punto **(f_{180}, $-MG_{dB}$)**.
Desde este punto, trazar de dcha. a izq. con 40 dB/dec hasta fp1. Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia.
En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

Ejemplo 4: Imponer un margen de ganancia, MG, para β=1



$\angle A'(j \cdot f_{180}) = -90^{o}$ $\Rightarrow$ f_{180}

Dibujar el punto $(f_{180}, -MG_{dB})$.

¿Cuántos polos hay a la izquierda de f_{cruce} ?

Al menos 2 polos: el polo dominante y el polo 1, *ya que si la fase de A´ ha alcanzar los -90º, esto solo ocurre para frecuencias iguales o superiores a* ***$10f_{p1}$***.

Desde el punto $(f_{180}, -MG_{dB})$, trazar de dcha. a izq. con 40 dB/dec hasta fp1. Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia. En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**

Compensación para obtener un determinado MG

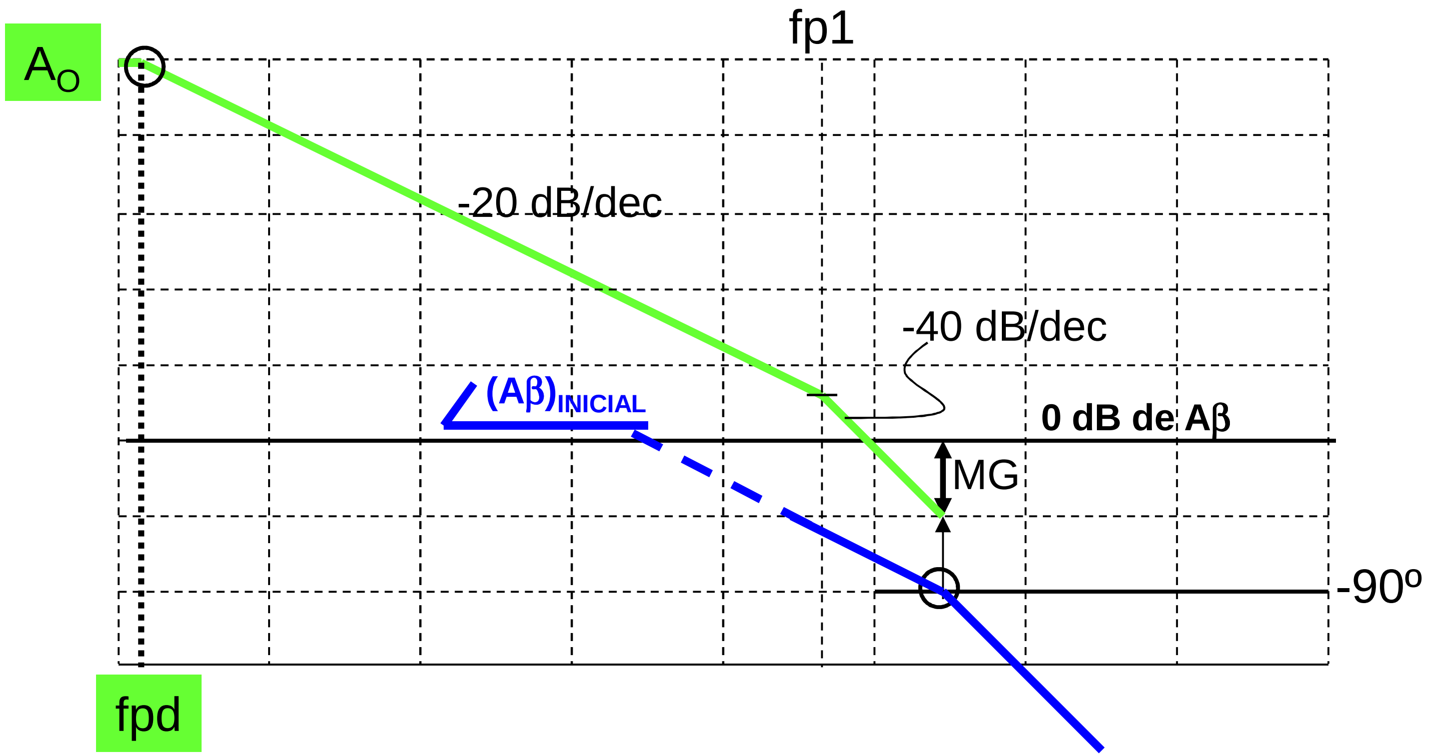
$$\angle A\beta \cdot P_D = \angle P_D + \angle(A\beta)_{INICIAL} = -180^o$$

-90º

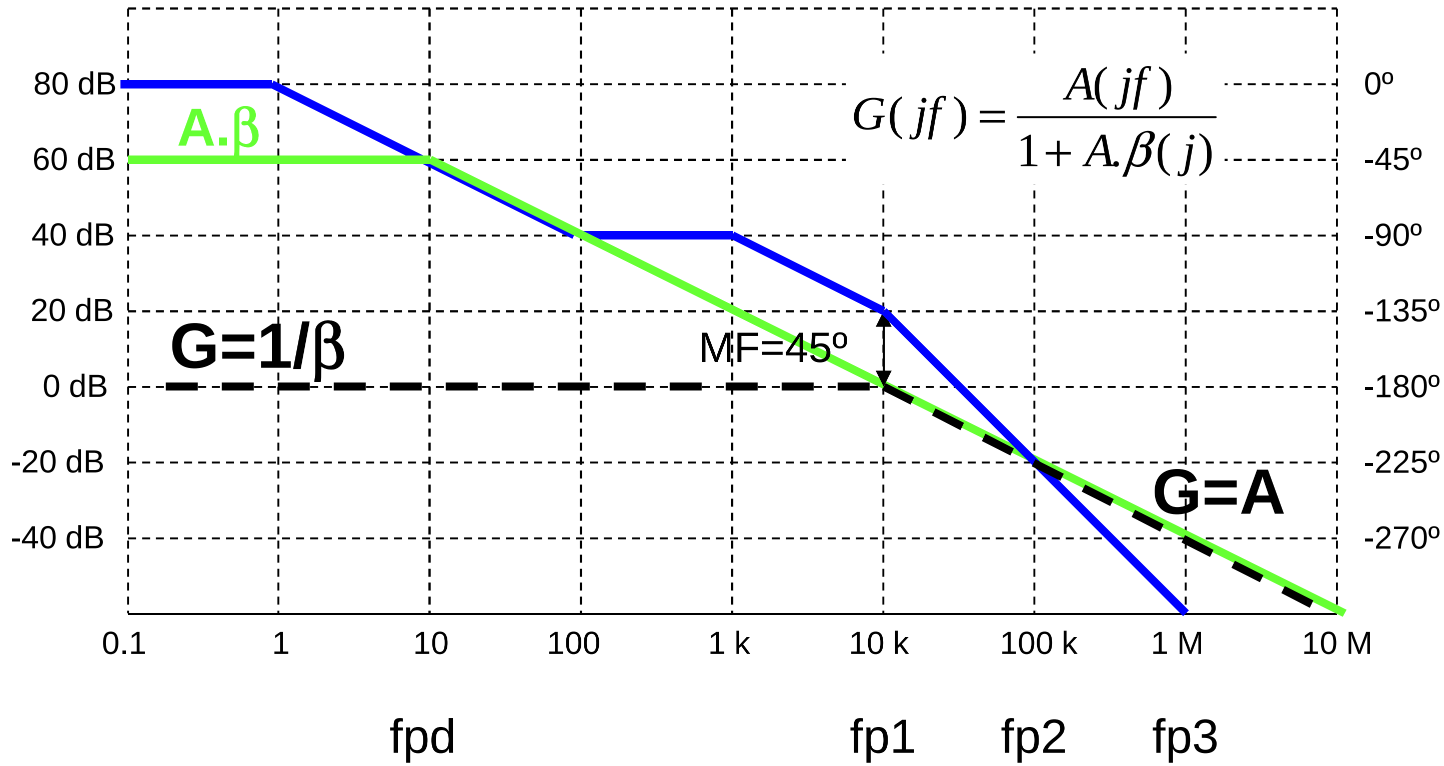
$$\angle(A\beta)_{INICIAL} = -90^o$$

A la frecuencia a la que se cumple esta condición se ha de cumplir:

$$|A\beta \cdot P_D| = -MG$$



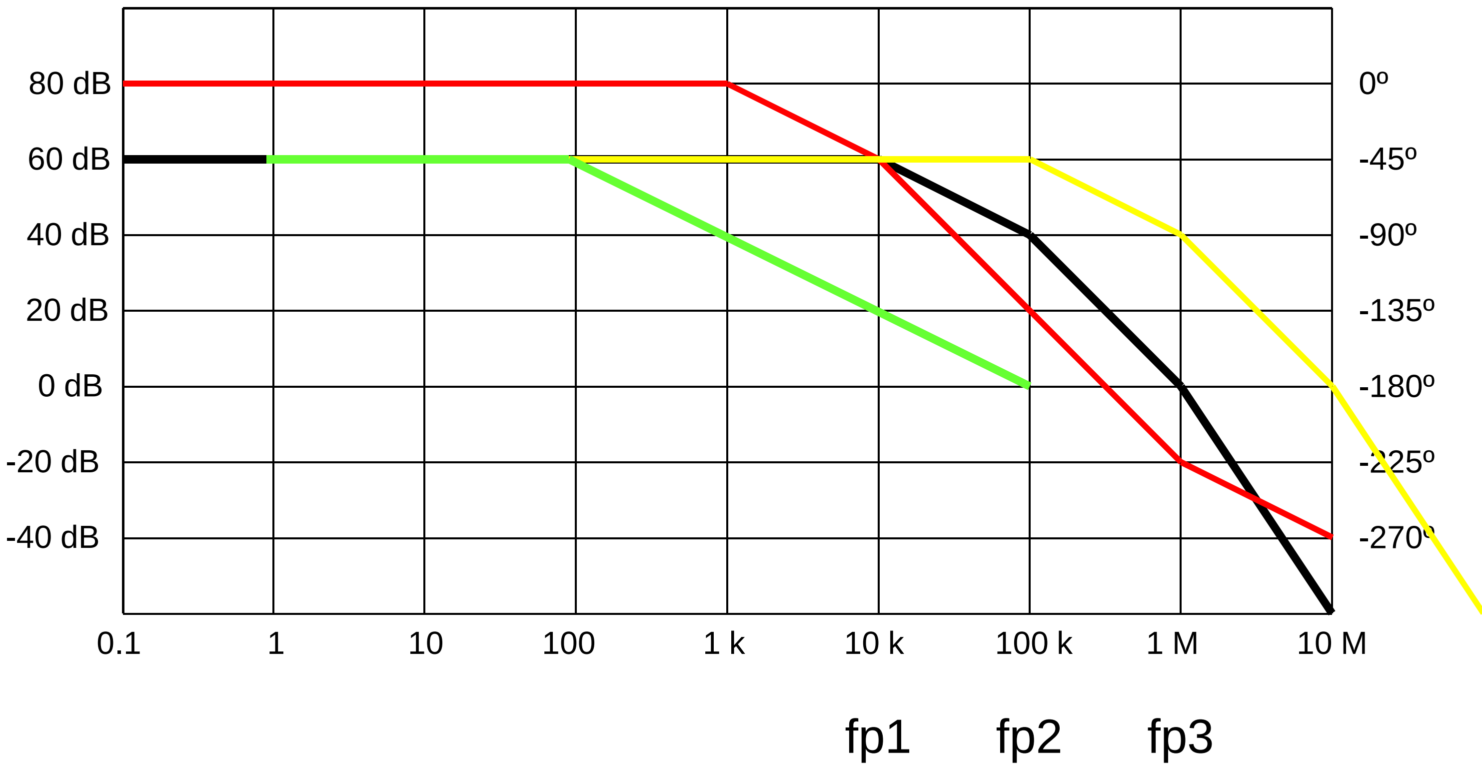
ΔB del amplificador en bucle cerrado



Se ha reducido el ΔB de 1 MHz a 10 KHz

$$A(jf) = \frac{1000 \cdot (1 + j\frac{f}{fp1})}{(1 + j\frac{f}{fpd}) \cdot (1 + j\frac{f}{fp1}) \cdot (1 + j\frac{f}{fp2}) \cdot (1 + j\frac{f}{fp3})}$$

A_O x fpd = 1 x fp2



Se ha ganado un ΔB = fp2-fp1

Imprimir para
ensayar