



Tema 3: Análisis en Frecuencia de Circuitos Electrónicos Realimentados

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Estudio de la estabilidad de amplificadores realimentados

- 1.1 Efectos de la realimentación negativa
- 1.2 Concepto inestabilidad
- 1.3 Inestabilidad en el diagrama de Bode
- 1.4 Inestabilidad en el diagrama polar. Criterio estabilidad Nyquist
- 1.5 La realimentación negativa se vuelve positiva
- 1.6 Margen de Fase y Margen de Ganancia
- 1.7 Estudio de la estabilidad en un amplificador real
- 1.8 Estudio de $A\beta(j\omega)$ a partir de $A(j\omega)$
- 1.9 La red β y la estabilidad

Técnicas de compensación

- 2.1 Compensación por polo dominante – Imposición MF
- 2.2 Compensación por polo dominante – Imposición MG
- 2.3 Compensación polo - cero

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange shape that resembles a stylized map of the city of Cartagena or a similar geographical feature.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

efectos de la realimentación negativa en amplificadores

bio de una **reducción de ganancia** se obtienen antes contraprestaciones:

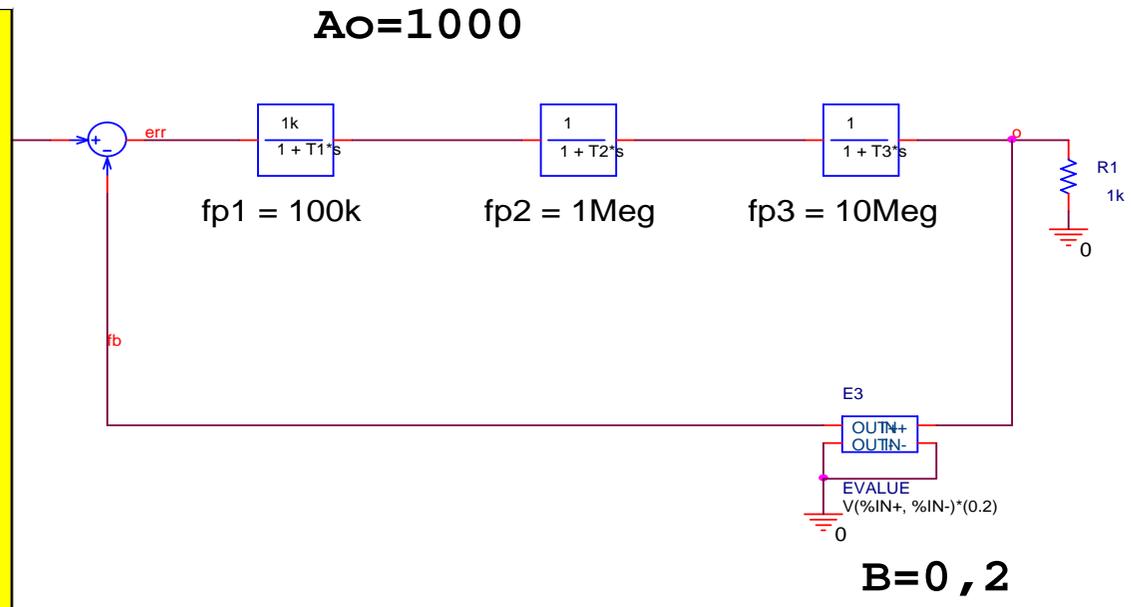
plificador tiende hacia sus características ideales:
reducción de la sensibilidad de la ganancia en bucle abierto:

- 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 $A \cdot \beta$ aumenta

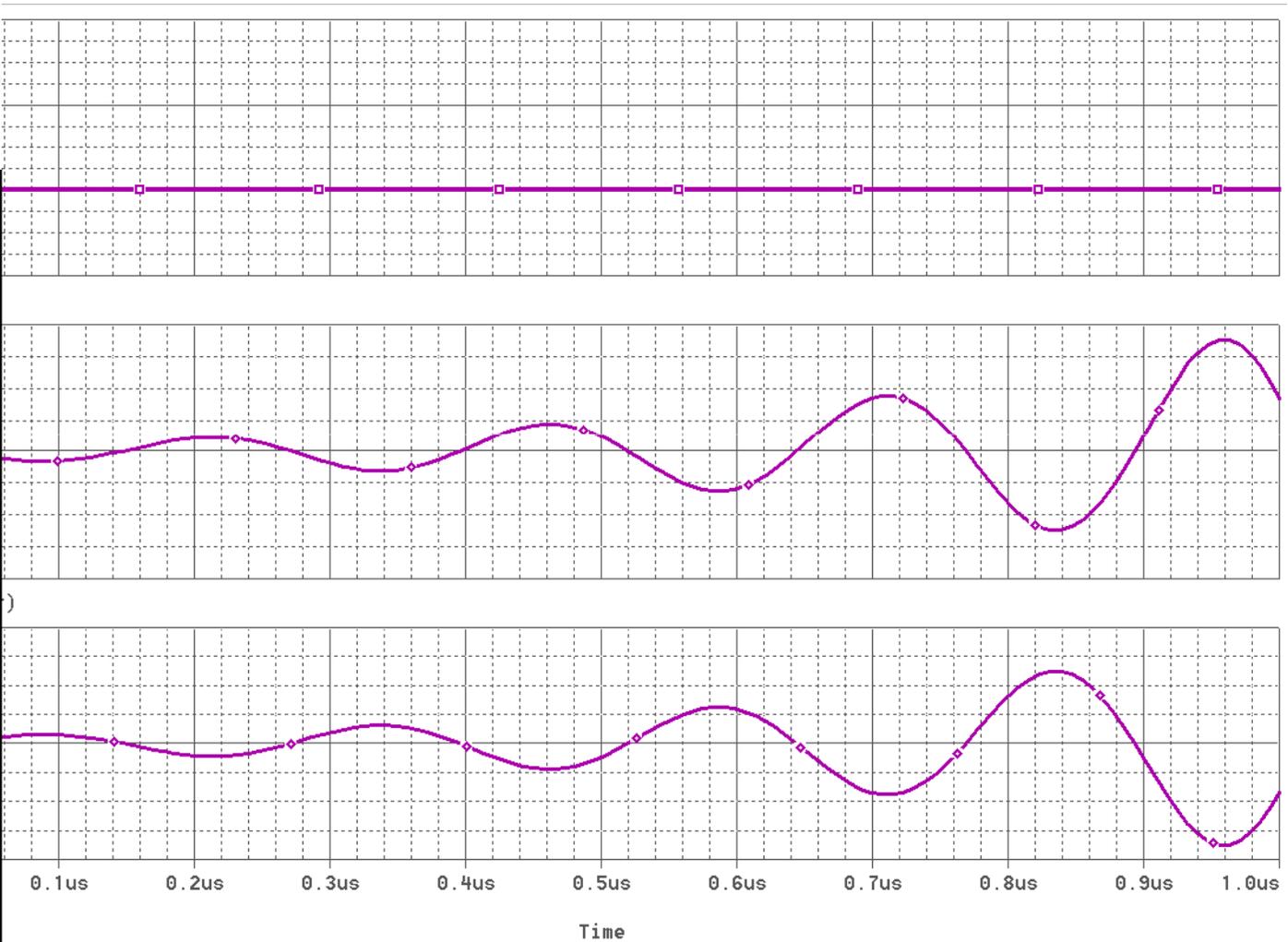
¿puede crecer indefinidamente la ganancia del lazo?...

Concepto inestabilidad



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Concepto inestabilidad



ónicos 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Concepto inestabilidad

¿Qué ha pasado?

$$Aa := 100$$

$$\beta a := 0.005$$

$$Vg = 1$$

$$q := 1..6$$

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

1
1
1
1
1
1

1
0.5
0.75
0.625
0.688
0.656

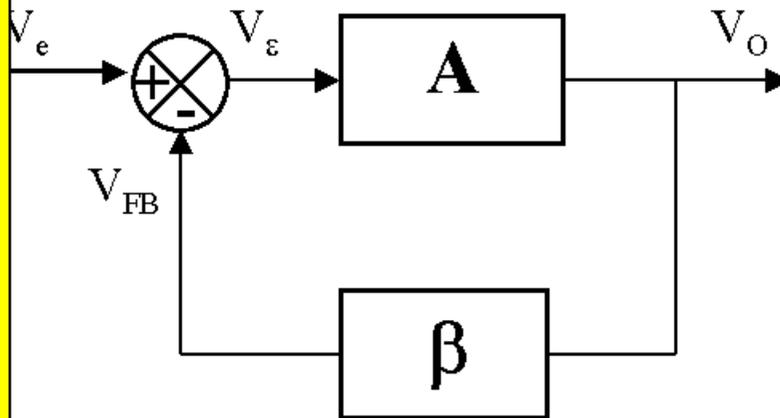
$$Vo(Npa, Aa, \beta a)_q =$$

100
50
75
62.5
68.75
65.625

$$Aa = 100$$

$$Aa \cdot \beta a = 0.5$$

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



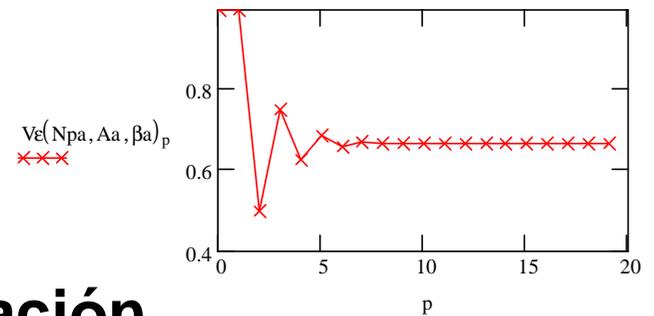
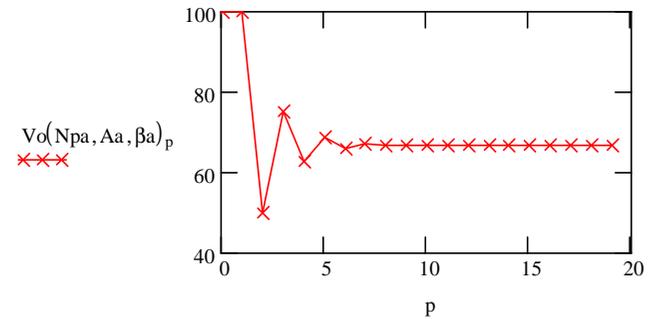
$$Vfb(Npa, Aa, \beta a)_q =$$

0.5
0.25
0.375
0.313
0.344
0.328

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

$$A \cdot \beta > 0$$

**Realimentación
Negativa**



ónicos 2013-2014



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

Concepto inestabilidad

¿Qué ha pasado?

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

$p := 1..6$

$(Npa, Aa, \beta a)_q = V\epsilon(Npa, Aa, \beta a)_q =$

1
1.5
1.75
1.875
1.938
1.969

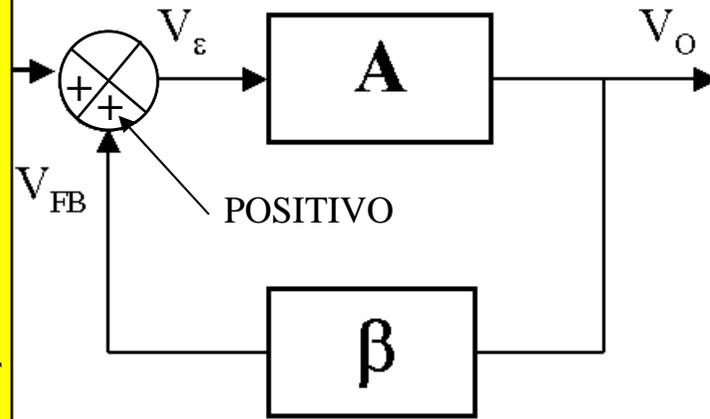
$Vo(Npa, Aa, \beta a)_q =$

-100
-150
-175
-187.5
-193.75
-196.875

$Aa = -100$

$Aa \cdot \beta a = -0.5$

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

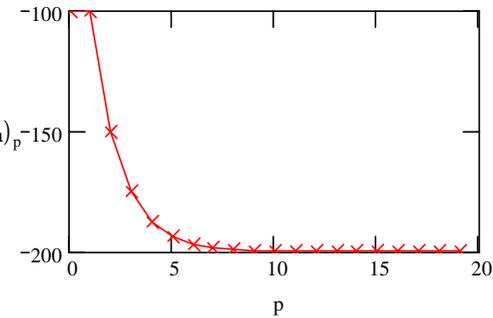


$(Npa, Aa, \beta a)_q =$

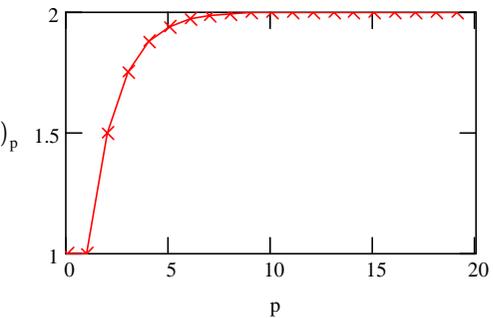
0.5
.75
875
938
969
984

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

Realimentación positiva estable



$Vo(Npa, Aa, \beta a)_p$



$V\epsilon(Npa, Aa, \beta a)_p$



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

onicos 2013-2014

Concepto inestabilidad

¿Qué ha pasado?

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

$:= 1..6$

$(Vpa, Aa, \beta a)_q = V\epsilon(Npa, Aa, \beta a)_q =$

1
6
31
156
781
$3.906 \cdot 10^3$

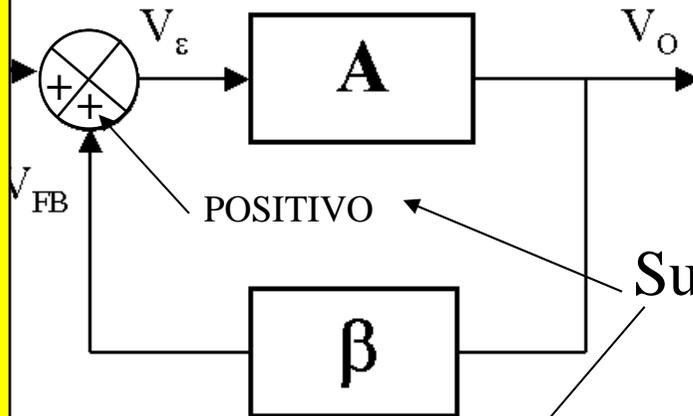
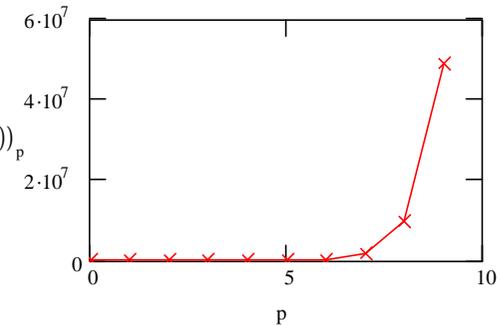
$Vo(Npa, Aa, \beta a)_q =$

-100
-600
$-3.1 \cdot 10^3$
$-1.56 \cdot 10^4$
$-7.81 \cdot 10^4$
$-3.906 \cdot 10^5$

$Aa = -100$

$Aa \cdot \beta a = -5$

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



Suponer una frecuencia en la que

Realimentación positiva INESTABLE

Cualquier señal se amplifica indefinidamente en pasadas sucesivas por el lazo

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

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

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

ónicos 2013-2014



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Concepto inestabilidad

¿Pasado? Alguna de las frecuencias contenidas en la entrada cumple la condición:

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

$$\angle A\beta(j\omega) < -180^\circ$$

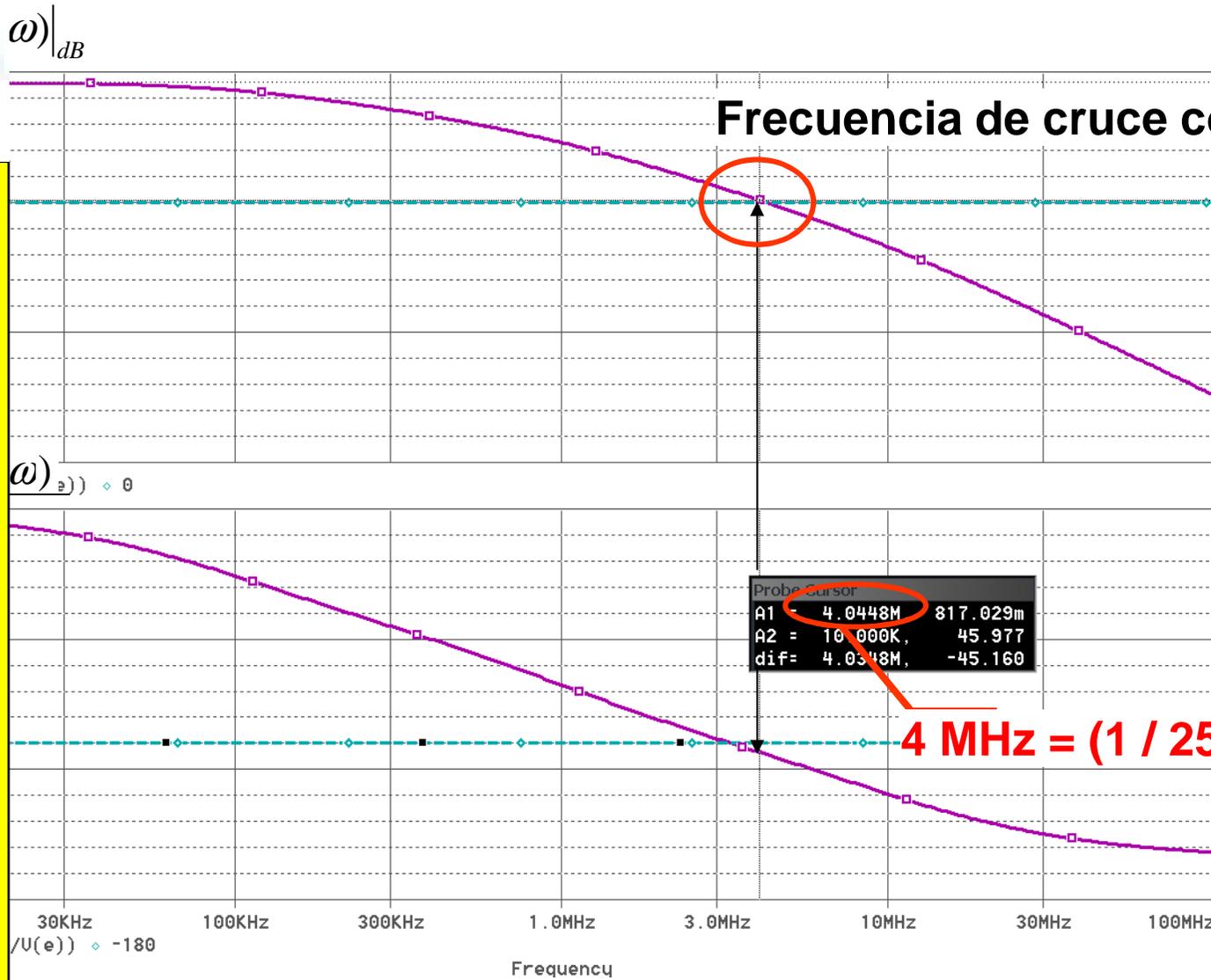
INESTABLE

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Inestabilidad en el diagrama de Bode



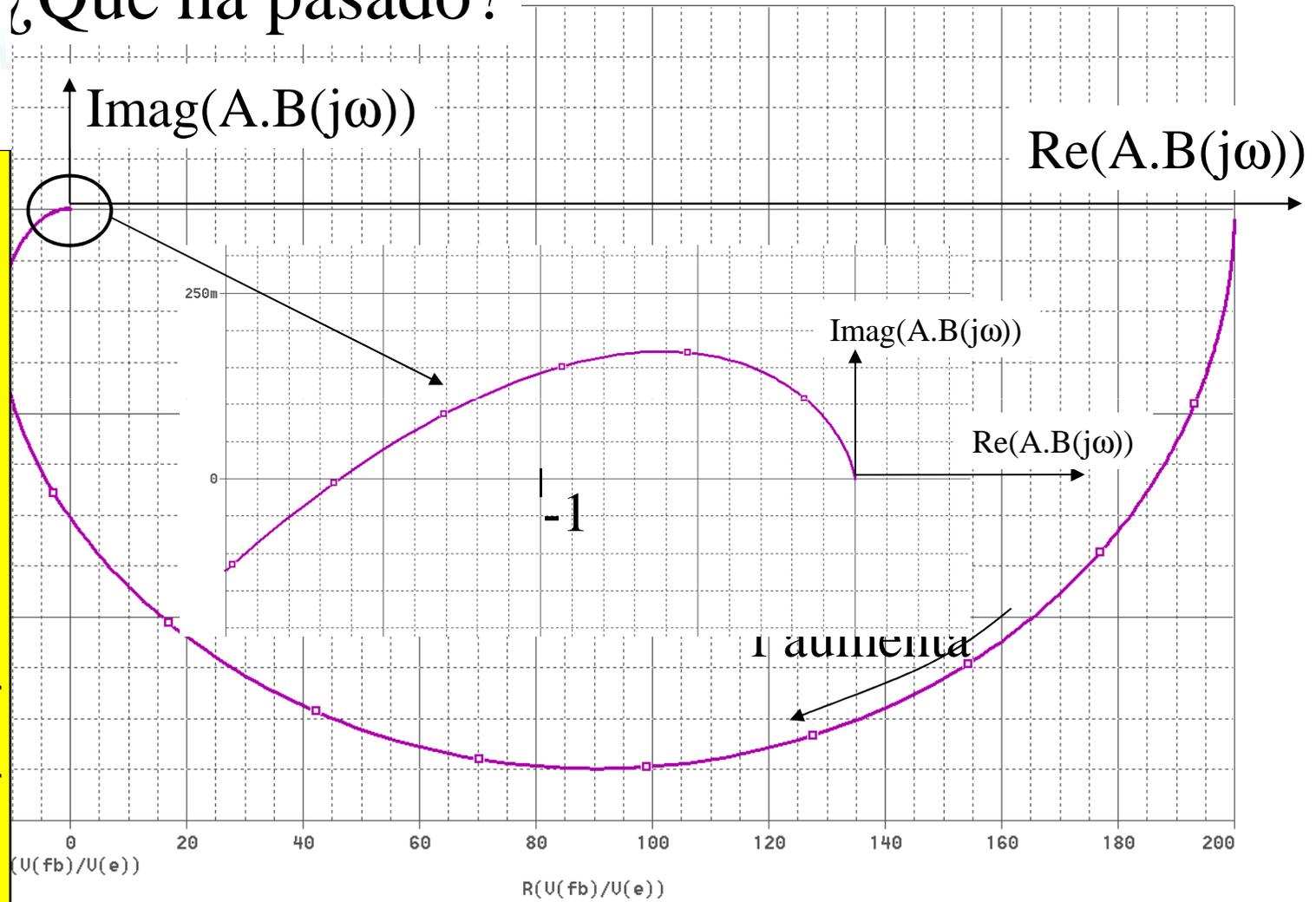
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Inestabilidad en el diagrama polar. Criterio estabilidad Nyquist

¿Qué ha pasado?



ónicos 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

La realimentación negativa se vuelve positiva

¿en el pasado?

¿has pensado un circuito para que tenga realimentación negativa, pero...

... a determinada frecuencia se vuelve positiva.

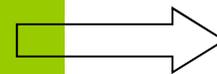
Esto se debe a la inversión de fase que se produce a frecuencias suficientemente altas.

¿qué tratar de evitar:

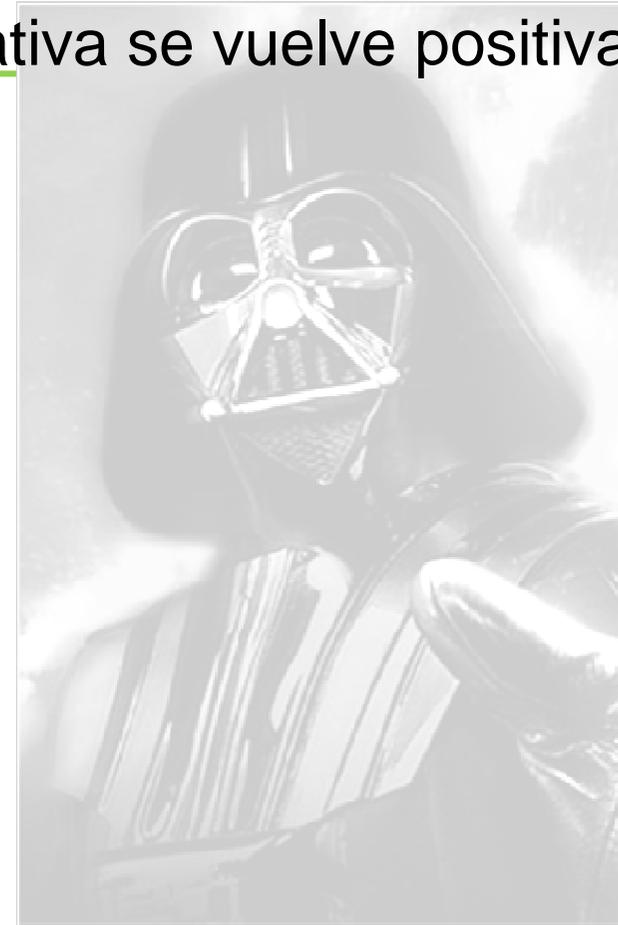
que a la frecuencia para la que la ganancia de lazo se hace igual a la unidad ($A\beta = 0\text{dB}$) su fase sea menor o igual a -180° ...”

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

$$\angle A\beta(j\omega) < -180^\circ$$



INESTABLE

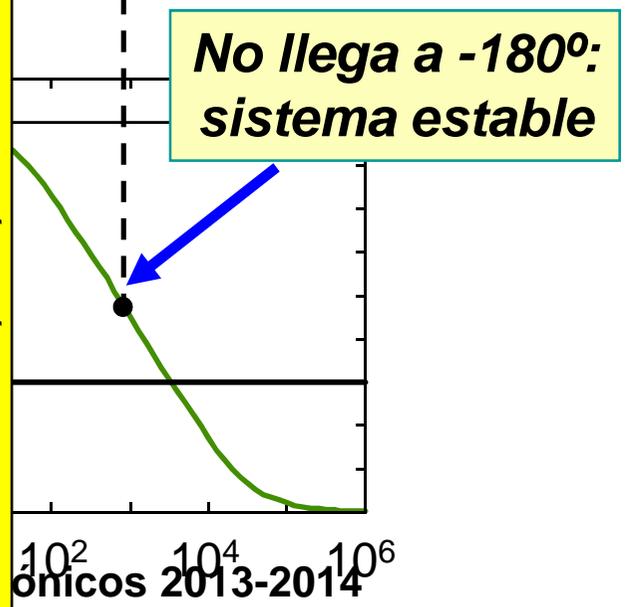
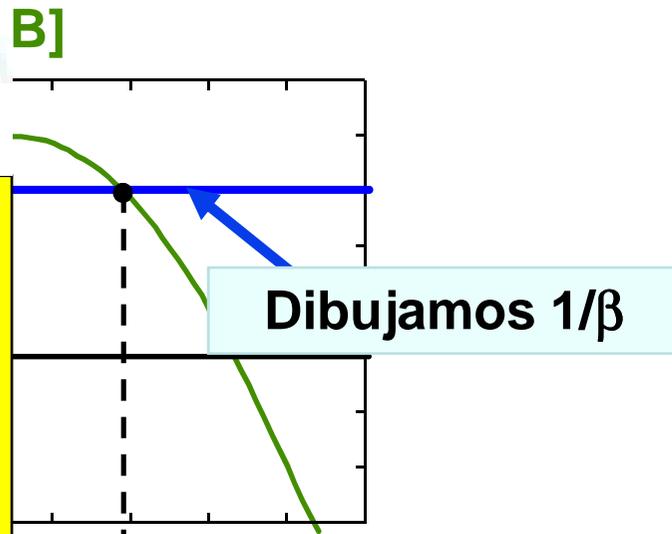
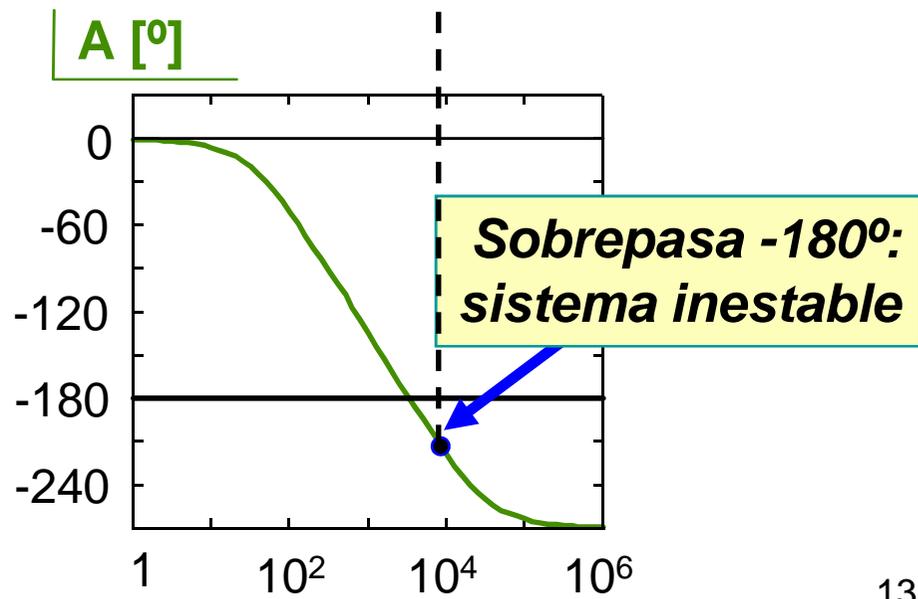
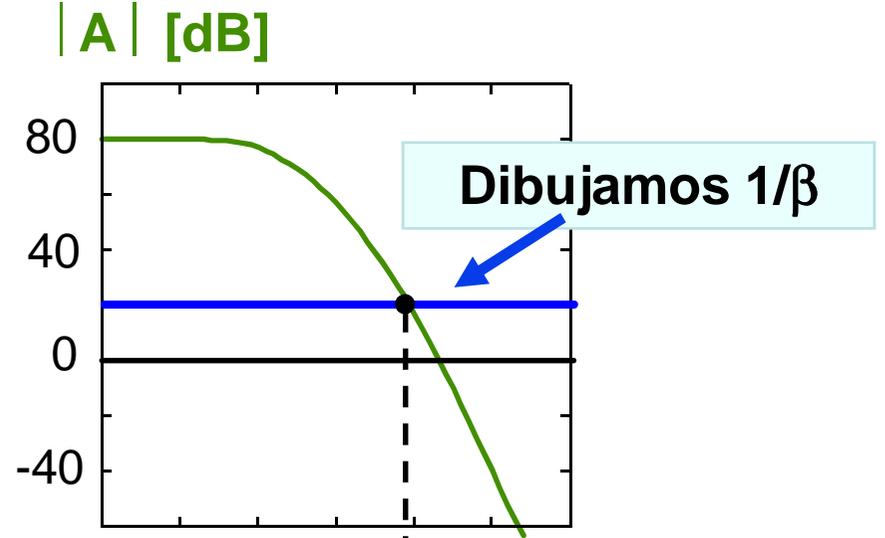


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Margen de fase y Margen de ganancia

Método sistemático de analizar la estabilidad



10² 10⁴ 10⁶
 años 2013-2014



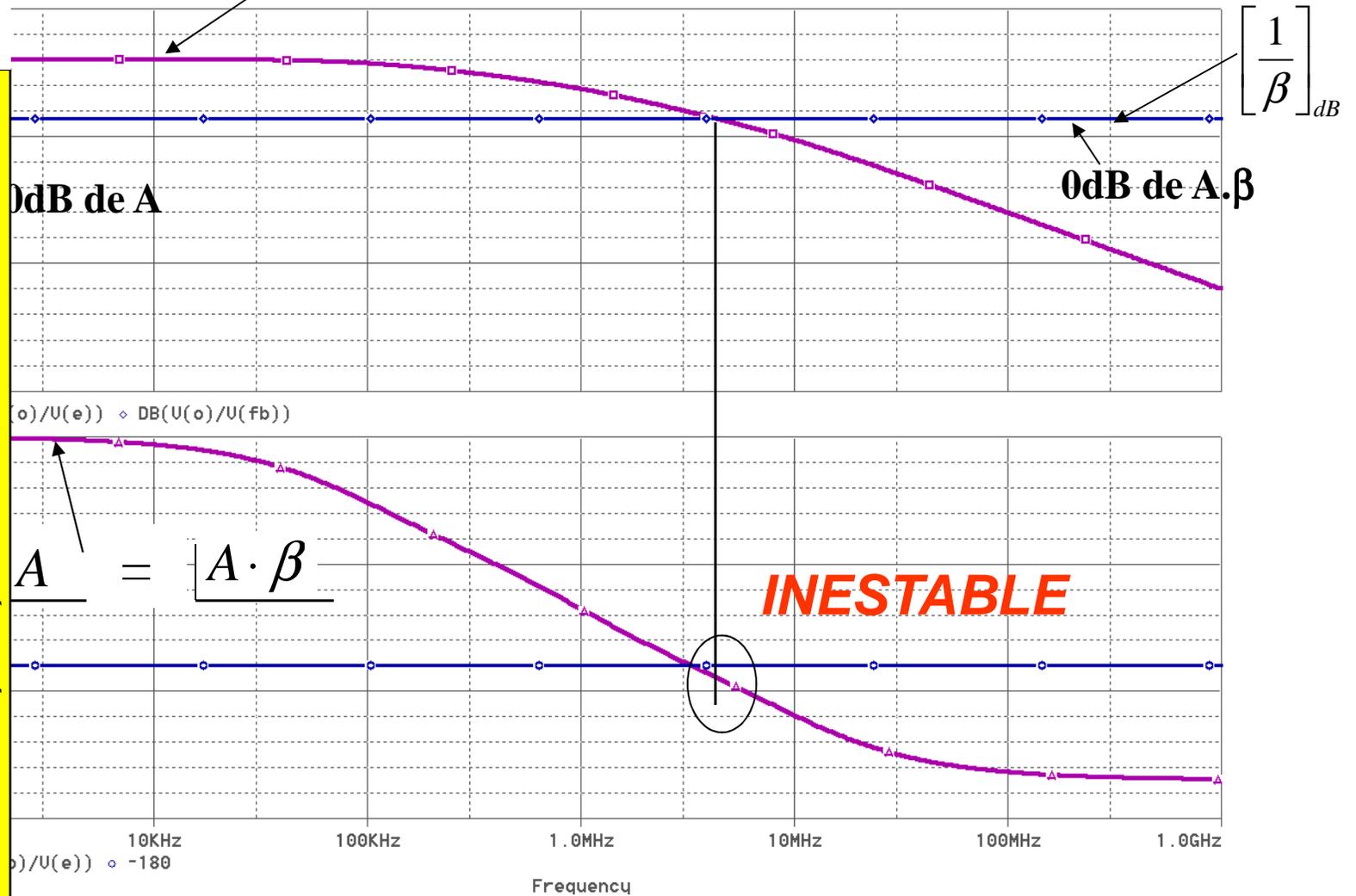
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Margen de fase y Margen de ganancia

el ejemplo de amplificador con tres polos

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

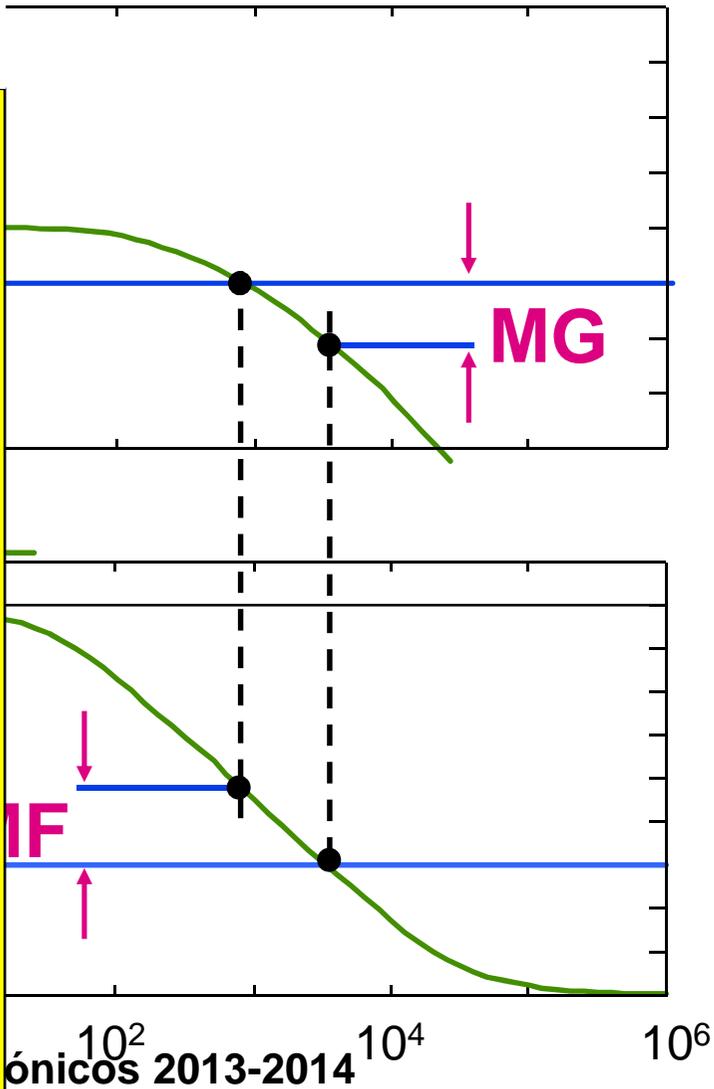


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Margen de fase y Margen de ganancia

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.

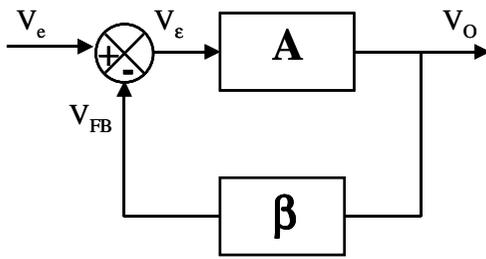
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

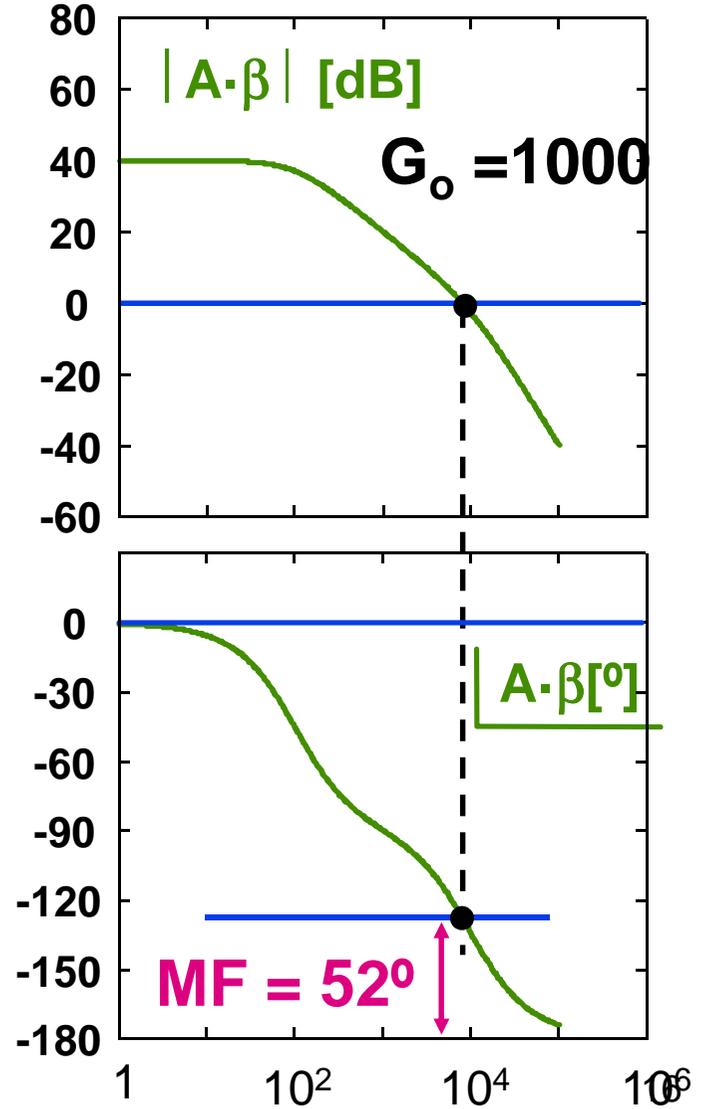
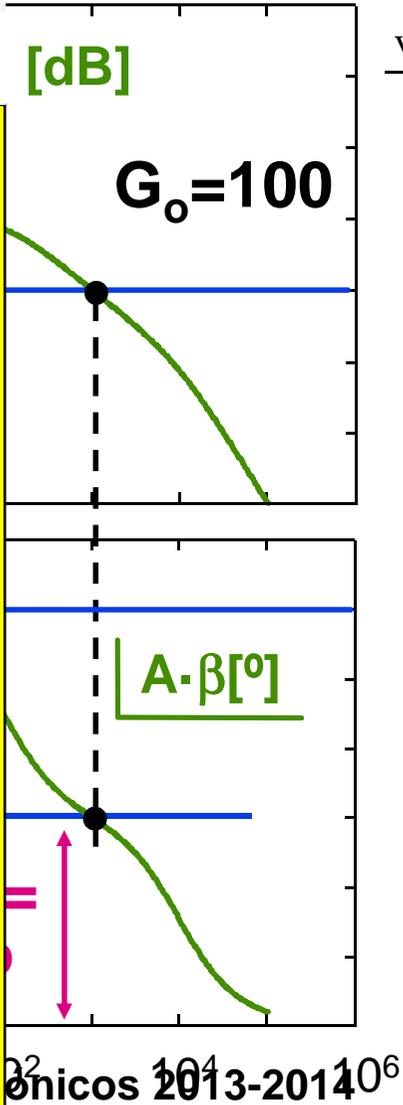
Margen de fase y Margen de ganancia

Dos ejemplos con distinto MF y MG



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

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



Cartagena99

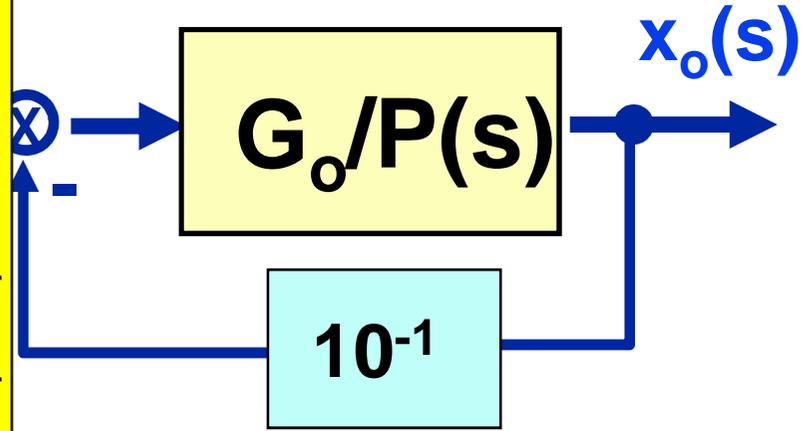
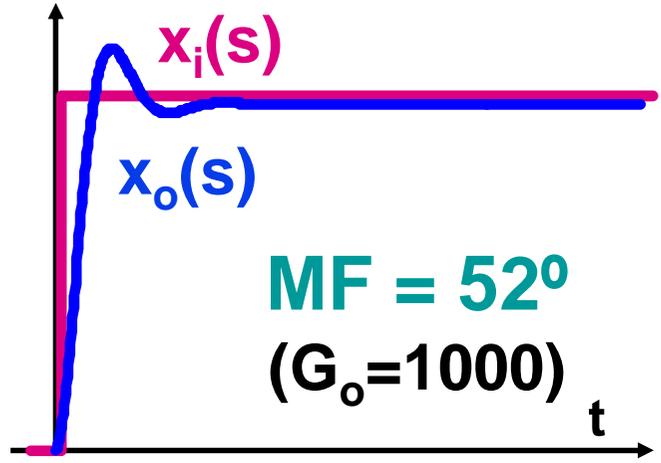
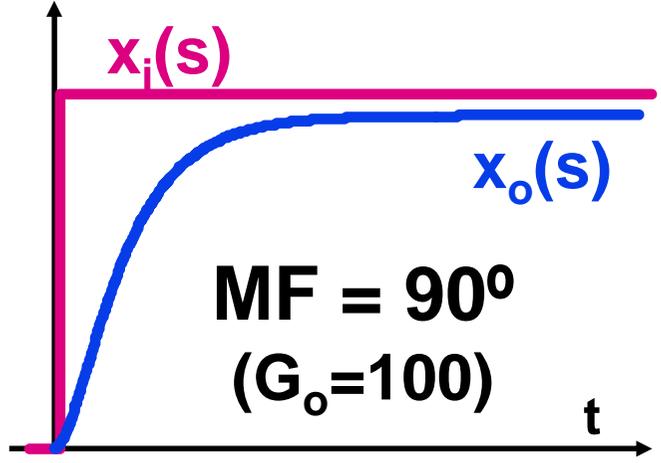
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Margen de fase y Margen de ganancia

Dos ejemplos con distinto MF y MG

Resposta temporal
a un escalón



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real

e definiciones:

ancia de un amplificador sin realimentar

ancia del amplificador conteniendo todos los efectos de carga: los suyos propios, erador, los de la carga y los de la red β expresada como cuadripolo. Se obtiene el método práctico y en su expresión aparece la ganancia del amplificador sin , A.

ancia en bucle cerrado. Se ha obtenido aplicando las expresiones de ción ideal tras haber empleado el método práctico.

ancia ideal de la red β expresada como cuadripolo (relación entre la magnitud ro en la entrada de A' y la que realimento de la salida de A').

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

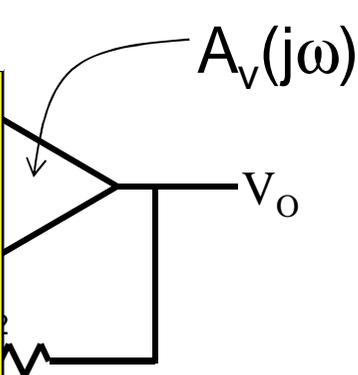
Muy importante:

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real



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

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

Muy importante:

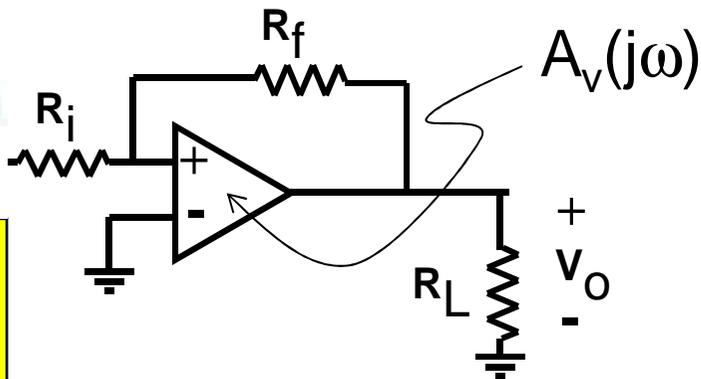
El estudio de la estabilidad siempre hay que hacerlo sobre $A'\beta(j\omega)$, nunca sobre $A_v\beta$.

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

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real



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

Amplificador operacional es un amplificador de tensión.

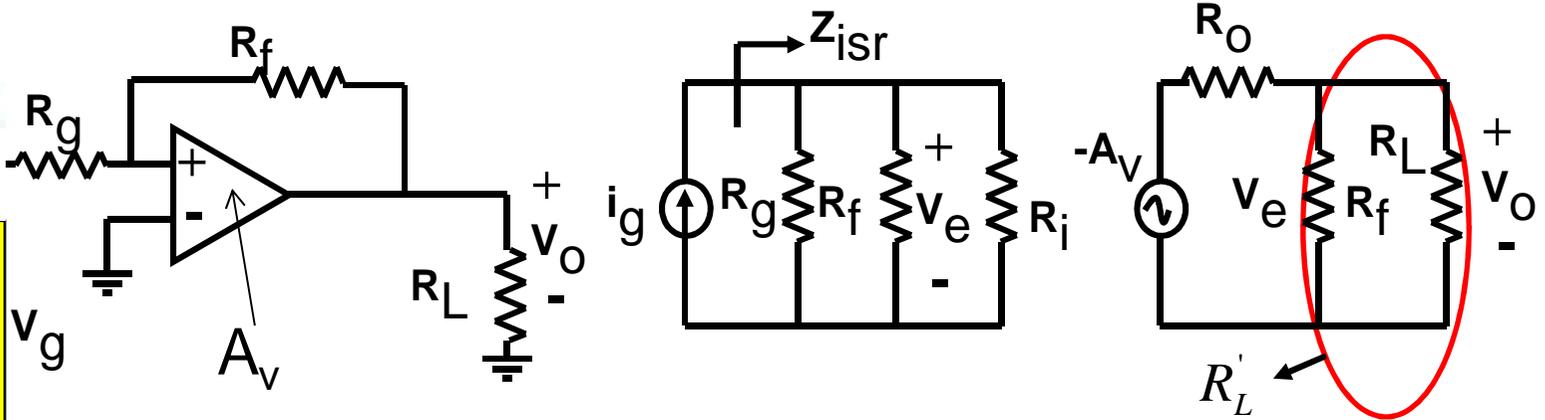
Sin embargo en este caso presenta una realimentación **paralelo – serie**, que estabiliza una ganancia de **transimpedancia**

El estudio de la estabilidad siempre habrá que hacerlo sobre $A_Z' \beta_Y(j\omega)$, y no sobre $A_v \beta(j\omega)$.

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

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

Estudio de la estabilidad en un amplificador real



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

$$\frac{V_o}{V_1} \cdot \frac{V_1}{V_e} \cdot \frac{V_e}{R_g}$$

Donde : $\frac{V_e}{i_g} = Z_{isr}, \frac{V_1}{V_e} = -A_v, \frac{V_o}{V_1} = \frac{R'_L}{R'_L + R_o}$

ando $A'_Z = Z_{isr} \cdot (-A_v) \cdot D_o$

Siendo $D_o = \frac{R'_L}{R'_L + R_o}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real

Aplicando las expresiones de la realimentación ideal:

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

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

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

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

Electrónicos 2013-2014

Estudio de la estabilidad en un amplificador real

o de la estabilidad como transimpedancia

$$\frac{A'_z}{1 + A'_z \cdot \beta_y} \begin{cases} \nearrow A'_z \cdot \beta_y \gg 1 \longrightarrow G_z = \frac{1}{\beta_y} = R_f \\ \searrow A'_z \cdot \beta_y \ll 1 \longrightarrow G_z = A'_z \end{cases}$$

¿o es A'_z ?

etapa inversora

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

sumiendo que $D_o \approx 1$ nos quedaría :

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

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

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

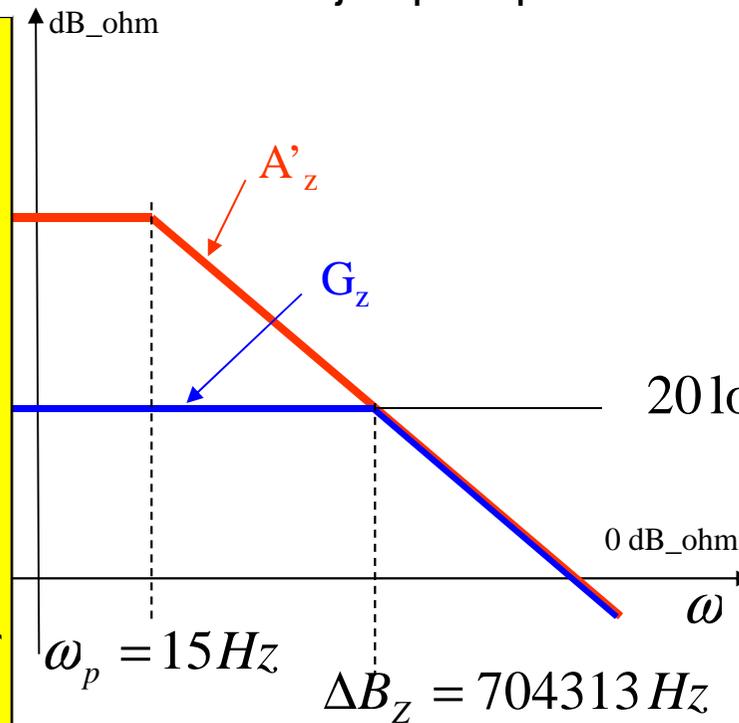


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real

o de la estabilidad como transimpedancia

Ejemplo aplicado: $R_g = 10k$ $R_f = 50k$ $Z_{isr} = 8.33k$
 $A_o = 109dB \equiv 281838$
 $A_{zo} = A_o \cdot Z_{isr} = 187.41dB$
 $\omega_p = 15Hz$



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

Aplicando $G \times \Delta B = cte.$

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

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

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real

o de la estabilidad como transtensión

$$\frac{A'_z}{1 + A'_z \cdot \beta_y} \Rightarrow \beta_y = -\frac{1}{R_f} \begin{cases} \nearrow A'_z \cdot \beta_y \gg 1 \longrightarrow G_v = \frac{1}{\beta_y \cdot R_g} = -\frac{R_f}{R_g} \\ \searrow A'_z \cdot \beta_y \ll 1 \longrightarrow G_v = A'_z \cdot \frac{1}{R_g} = A'_v \end{cases}$$

¿s A'_v ?

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

do que $D_o \approx 1$ nos quedaría :

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

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

ónicos 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real

camos al mismo ejemplo anterior teniendo en cuenta:

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

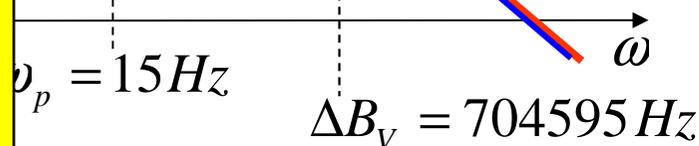
$$\frac{R_f}{R_g + R_f} \cdot A_o = \frac{50k}{10k + 50k} \cdot 281838 = 234865 = 107.41dB$$

$$= 107.41dB = 234865$$

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

Aplicando $G \times \Delta B = cte.$

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



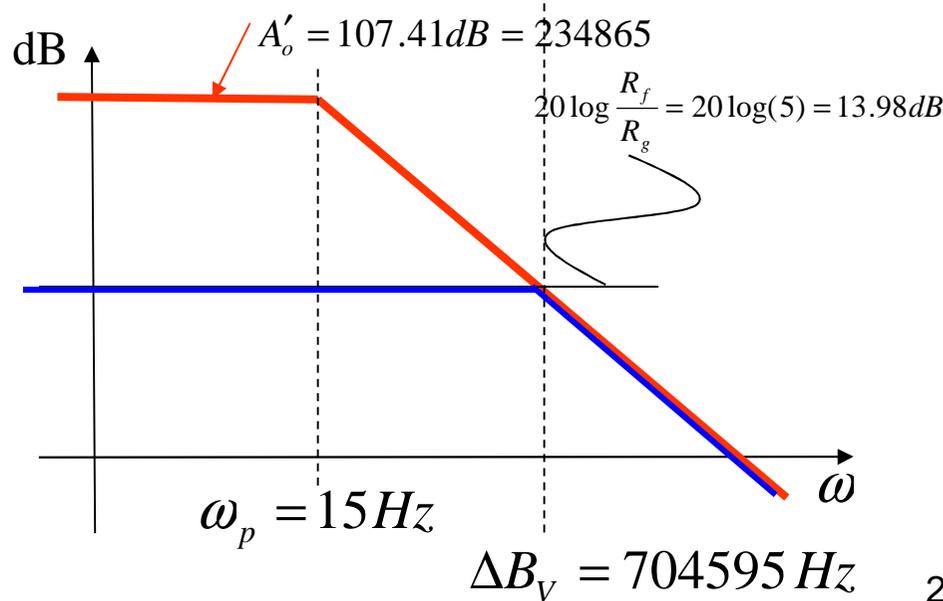
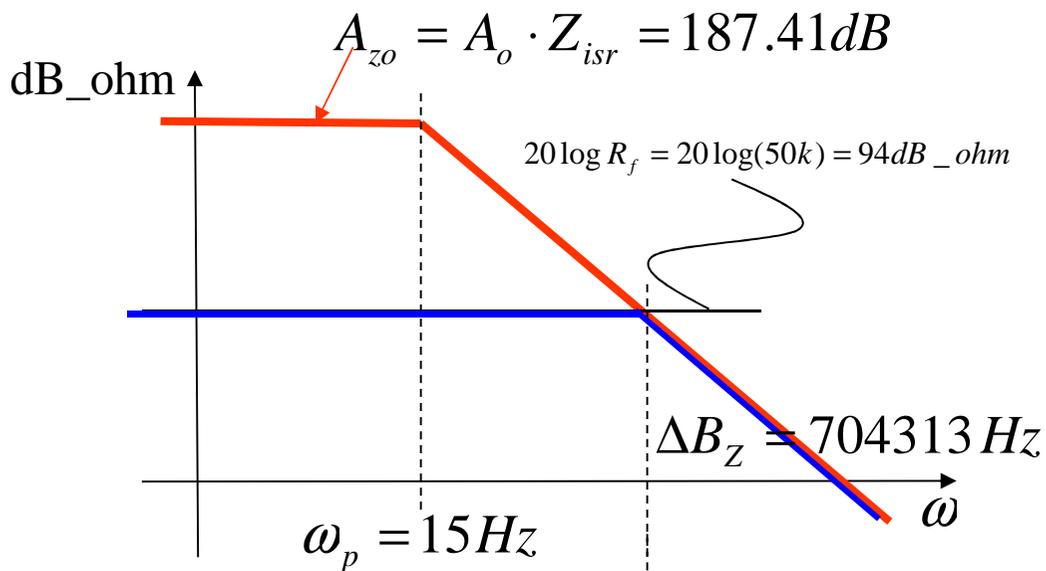
ónicos 2013-2014

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad en un amplificador real



Pración G_z y G_v
 calas se han
 ado, pero el polo
 nte y el ancho
 da se conservan

ónicos 2013-2014

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de $A'\beta(j\omega)$ a partir de $A(j\omega)$

Estudio de $A'\beta(j\omega)$

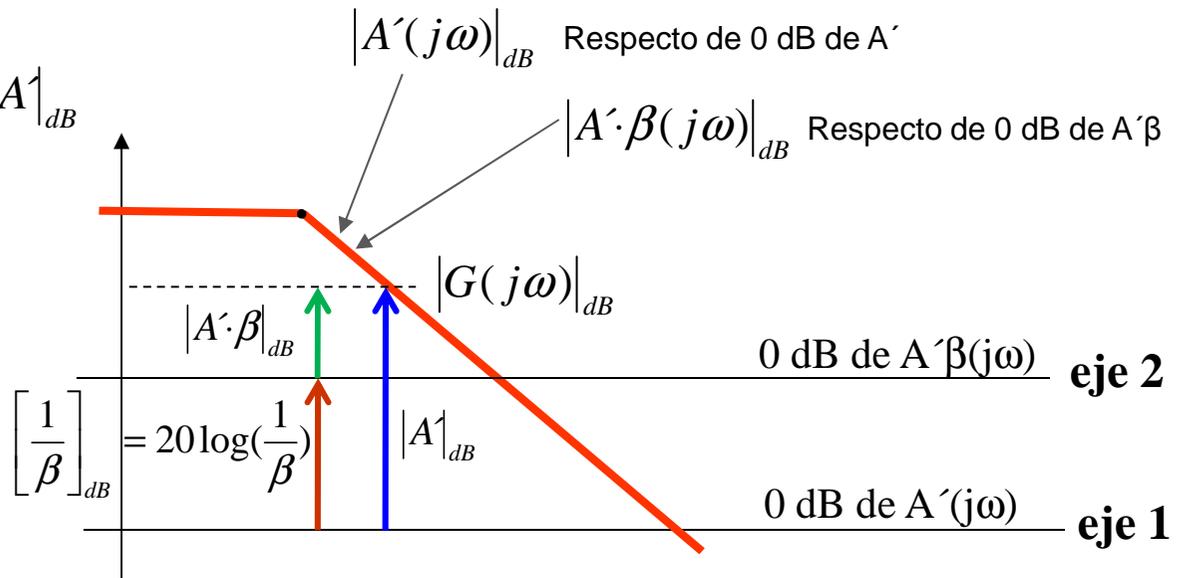
Se estudia a partir de $A'\beta(j\omega)$, sin embargo el dato que se conoce a priori es $A(j\omega)$, $A'(j\omega)$. Por tanto se trata de representar gráficamente $A'\beta(j\omega)$ a partir de $A(j\omega)$. **¿Qué supone β ?**

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

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

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

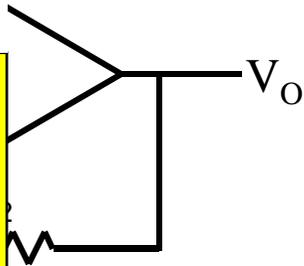
Esta constante supone un cambio de eje



Después de la red de β , siempre se implementa A' . Por tanto β no depende de la frecuencia, es un

La red β y la estabilidad

¿La red β más desfavorable de cara a la estabilidad?

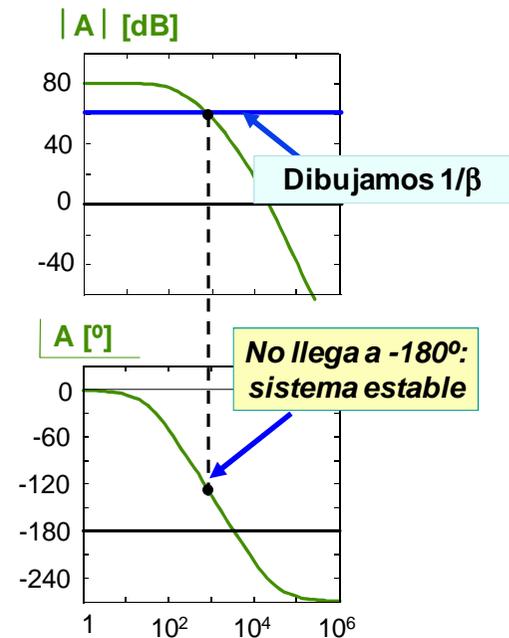


Si para este amplificador queremos una ganancia de 3 en bucle cerrado, G , elegiremos por ejemplo $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ y $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ dado que:

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

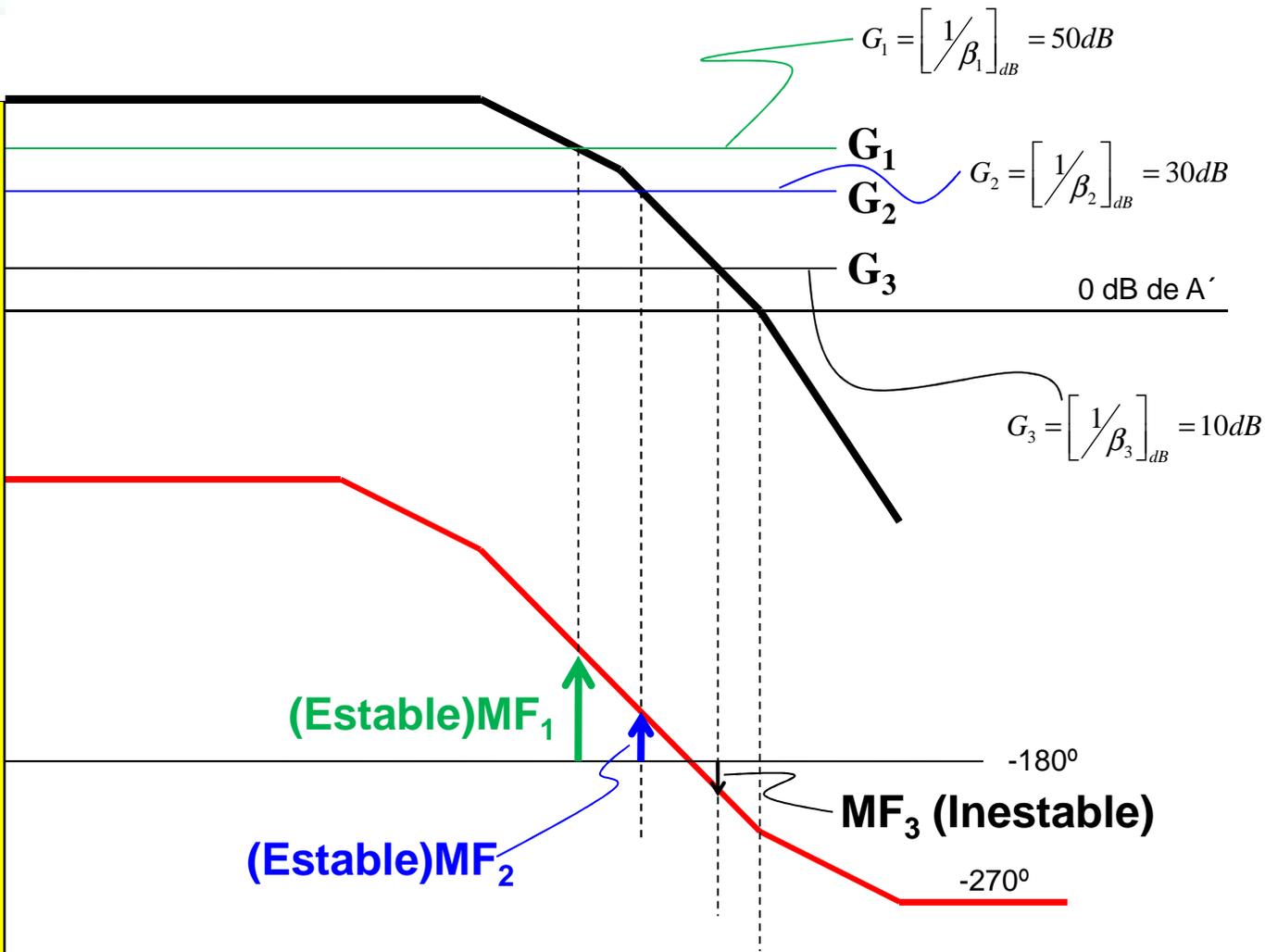
Al imponer G se impone el valor de $1/\beta$. ¿Qué valor de G o de $1/\beta$ acerca más al amplificador a la inestabilidad?

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



La red β y la estabilidad

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



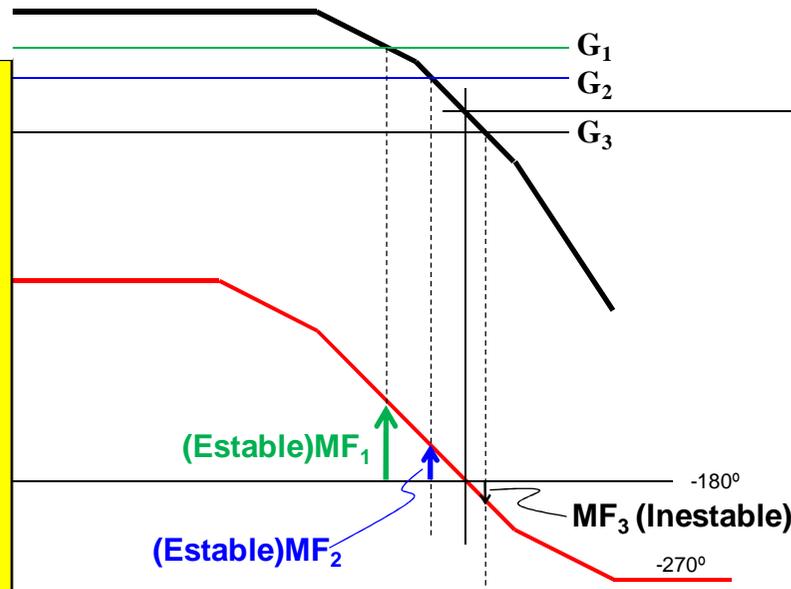
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
 Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
 Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

La red β y la estabilidad

¿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.

Importante:

cuando G se reduce, se reduce también el margen de fase

debe ocurrir que por debajo de una determinada ganancia (G_{LIM}) el amplificador no es estable

la ganancia que más acerca al amplificador a la inestabilidad es $G=1$ o $\beta=1$

Electrónicos 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

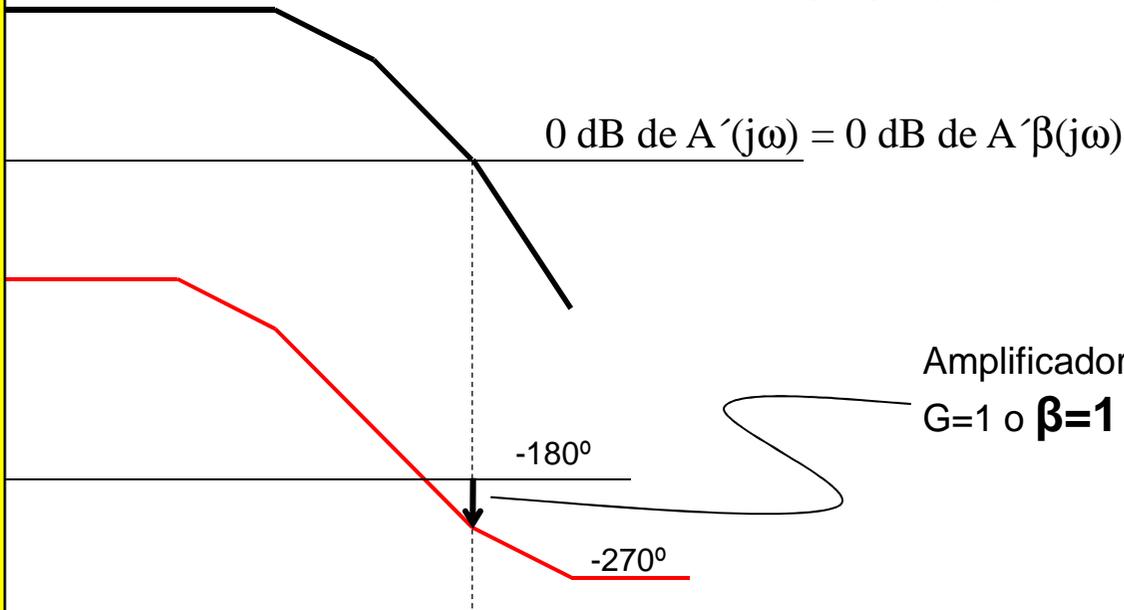
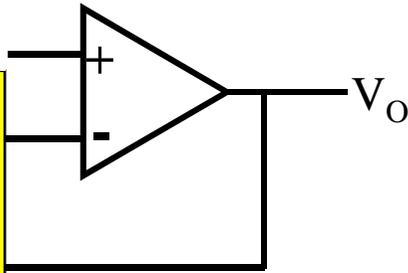
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

La red β y la estabilidad

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

$$G=1 \rightarrow \beta=1$$

- *El seguidor de tensión* es el peor 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 $0 \text{ dB de } A'$
- Ahora estudiar la estabilidad sobre $A'\beta(j\omega)$ es lo mismo que estudiarla sobre $A'(j\omega)$ ya que $\beta = 1$



Electrónica 2013-2014

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Estudio de la estabilidad de amplificadores realimentados

- 1.1 Efectos de la realimentación negativa
- 1.2 Concepto inestabilidad
- 1.3 Inestabilidad en el diagrama de Bode
- 1.4 Inestabilidad en el diagrama polar. Criterio estabilidad Nyquist
- 1.5 La realimentación negativa se vuelve positiva
- 1.6 Margen de Fase y Margen de Ganancia
- 1.7 Estudio de la estabilidad en un amplificador real
- 1.8 Estudio de $A\beta(j\omega)$ a partir de $A(j\omega)$
- 1.9 La red β y la estabilidad

Técnicas de compensación

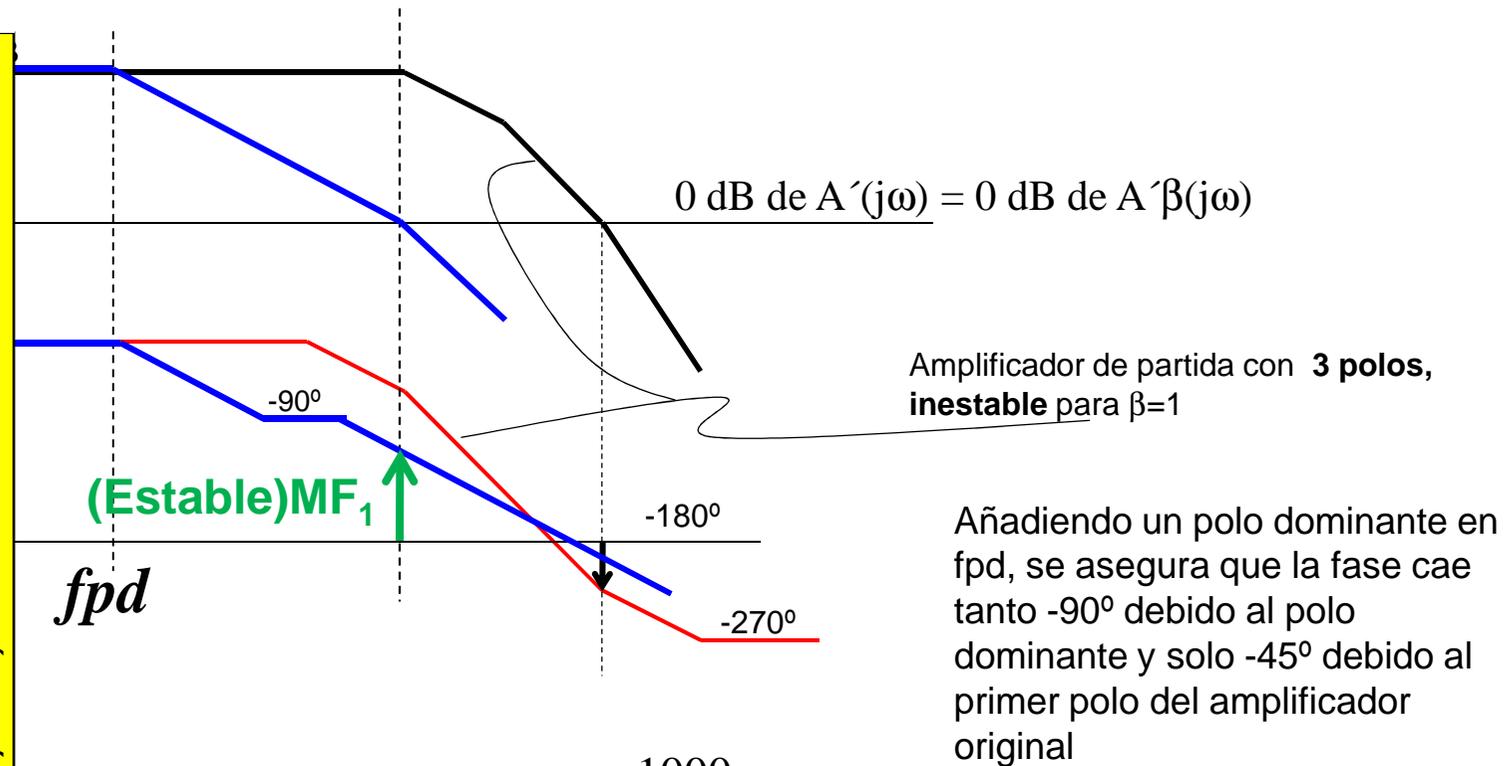
- 2.1 Compensación por polo dominante – Imposición MF
- 2.2 Compensación por polo dominante – Imposición MG
- 2.3 Compensación polo - cero



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Compensación por polo dominante

¿Podemos asegurar que este amplificador con tres polos sea estable para $\beta=1$?



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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Compensación por polo dominante

Pasos para n margen de fase

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

$$\angle A'\beta \cdot P_D = \angle P_D + \angle A' + \angle \beta = -180^\circ + MF$$

$\begin{matrix} \nearrow -90^\circ & \nearrow 0^\circ \end{matrix}$

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

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

Polo dominante,
fase solo ha
-135° si MF=45°.
n -90° por tanto
e añadir -45°. ¿A
de el polo 1 -45°?

Si

MF ≥ 45

No

$f_{cruce} = f_{p1}$ para MF = 45°
 $f_{cruce} < f_{p1}$ para MF > 45°

$f_{cruce} > f_{p1}$ para MF < 45°

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

0dB de $A'\beta \cdot P_D$
cha. a izq.) con 20
cortar a la ganancia a
ión está la frecuencia
ante **f_{pd}**

Trazar desde los 0dB de $A'\beta \cdot P_D$
subiendo (de dcha. a izq.) con 40
dB/dec hasta f_{p1} . Después subir con
20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a
baja frecuencia.
En la intersección está la frecuencia del
polo dominante **f_{pd}**

ónicos 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

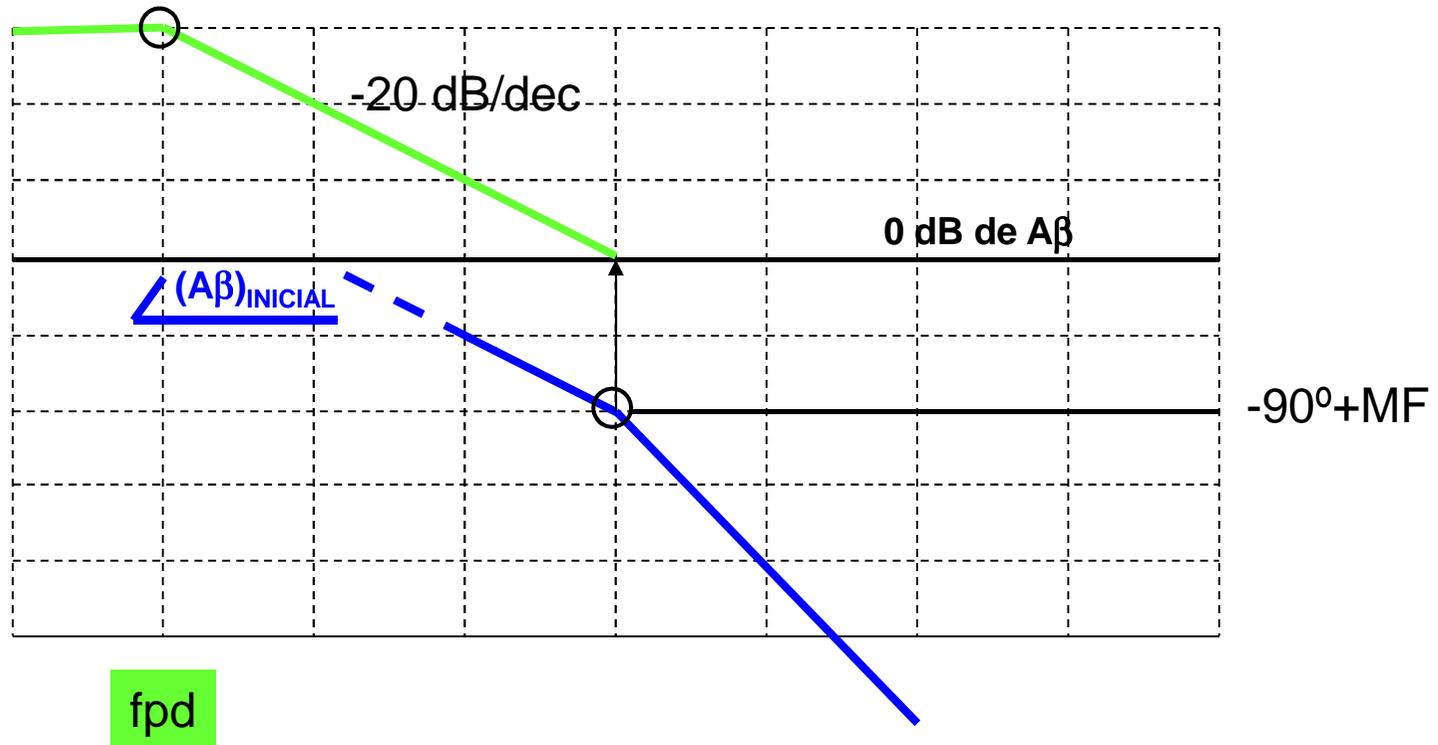
Compensación por polo dominante. Requisito cumplir MF

Condición para obtener un determinado MF

$$\begin{aligned} &= \angle P_D + \angle(A\beta)_{INICIAL} = -180^\circ + MF \\ &\angle(A\beta)_{INICIAL} = -90^\circ + MF \end{aligned}$$

A la frec. A la que se cumple esta condición se ha de cumplir:

$$|A\beta \cdot P_D| = 0dB$$



Prácticas 2013-2014

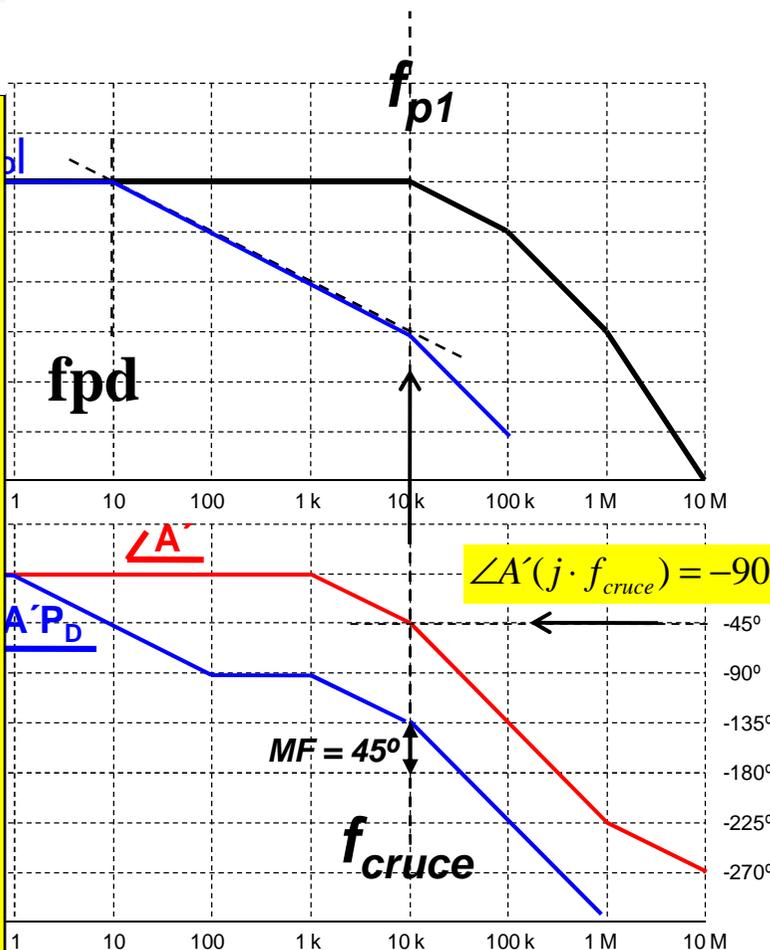


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

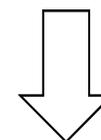
Compensación por polo dominante

1: Imponer un margen de fase de 45° , para $\beta=1$



¿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 -135° si $MF=45^\circ$. El P_D contribuye con -90° por tanto el polo 1 solo puede añadir -45° . ¿A que frecuencia añade el polo 1 -45° ? Justo a f_{p1} .



Trazar desde los 0dB de $A'\beta.P_d$ 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 **f_{pd}**

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Compensación por polo dominante

o 2: Imponer un margen de fase $> 45^\circ$, para $\beta=1$

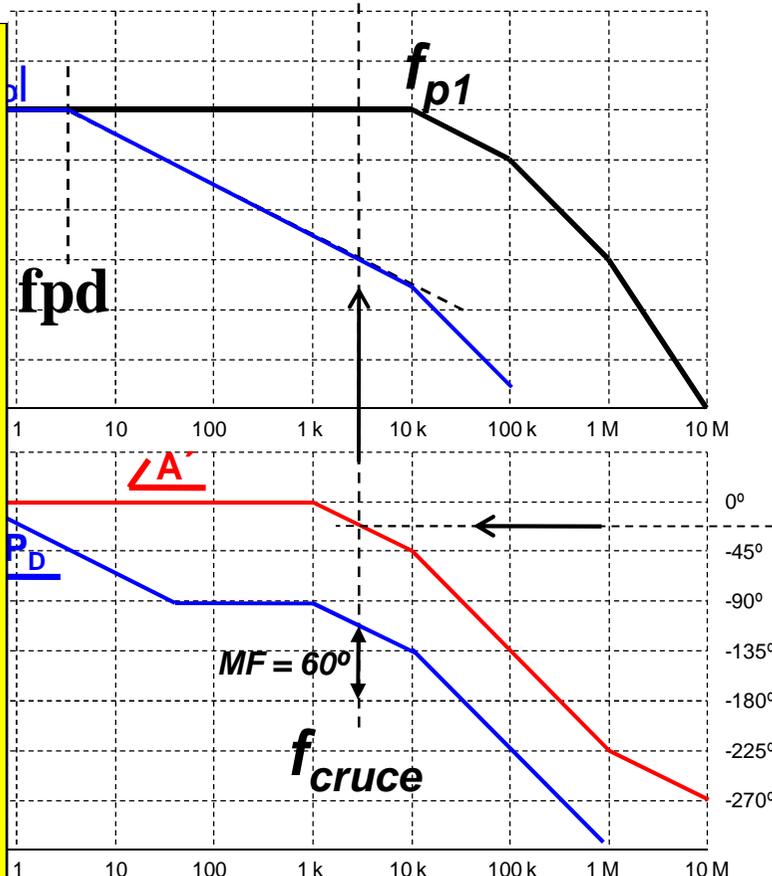
¿Cuántos polos hay a la izquierda de f_{cruce} ?

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

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

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

Trazar desde los 0dB de $A'\beta.P_d$ 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**



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Compensación por polo dominante

o 3: Imponer un margen de fase $< 45^\circ$, para $\beta=1$

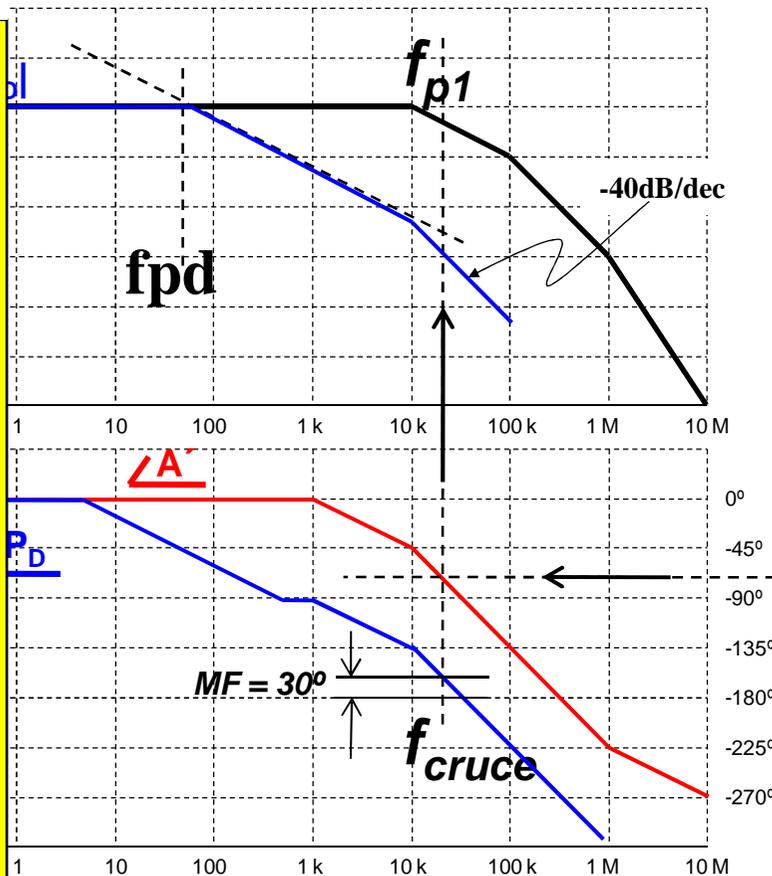
¿Cuántos polos hay a la izquierda de f_{cruce} ?

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

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

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

Trazar desde los 0dB de $A'\beta.P_d$ subiendo (de dcha. a izq.) con 40 dB/dec hasta f_{p1} . Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia. En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**



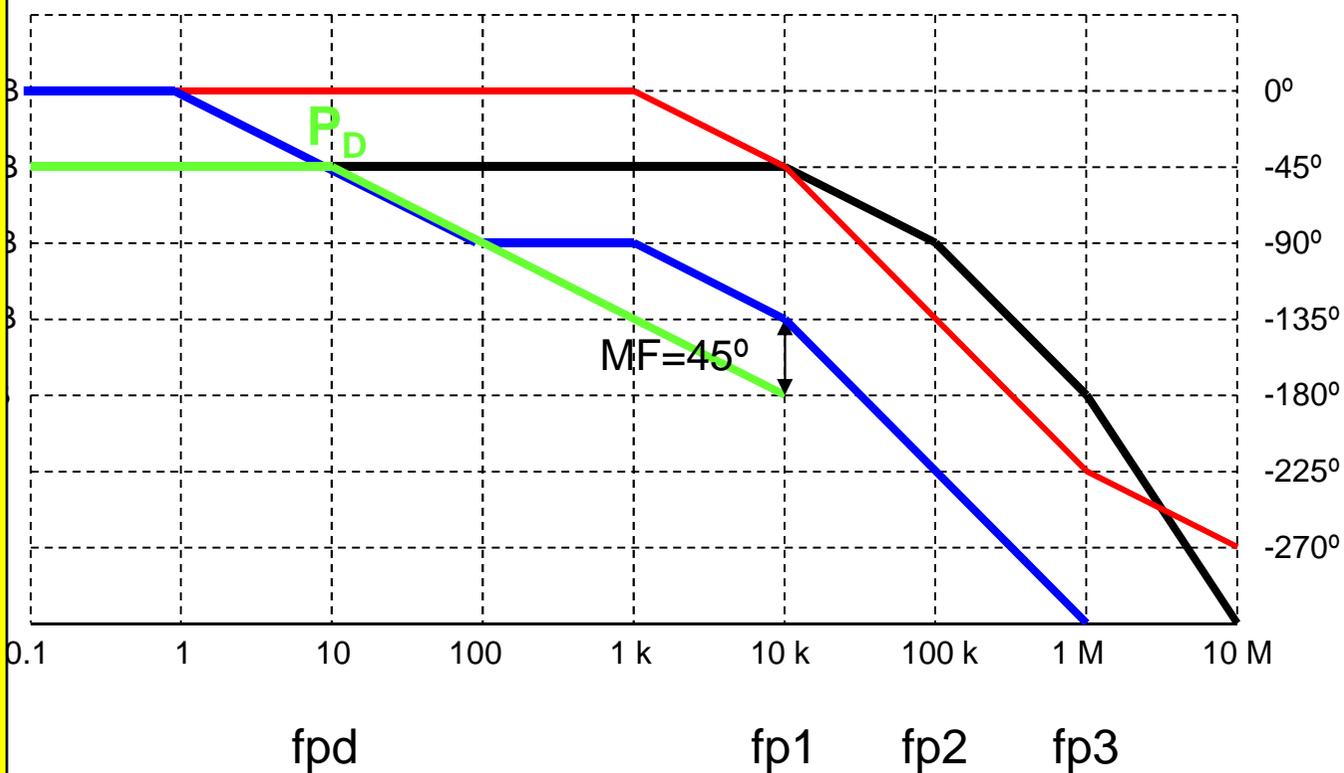
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Compensación por polo dominante

$$j \frac{f}{fp1} \cdot (1 + j \frac{f}{fp2}) \cdot (1 + j \frac{f}{fp3})$$

	fp1	fp2	fp3
Polo 1	-1	-1	
Polo 2		-1	
Polo 3			-1
Total	-1	-2	-1



$$A_O \times fpd = 1 \times fp1$$

1 solo polo $\Rightarrow G \times \Delta B = cte$



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

Compensación por polo dominante

casos para
n margen
ganancia

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

$$\angle A' \beta \cdot P_D = \angle P_D + \angle A' + \angle \beta = -180^\circ$$

$\begin{matrix} \nearrow -90^\circ & & \nearrow 0^\circ \end{matrix}$

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

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

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

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

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 alcanzado los -90° , esto solo ocurre para frecuencias iguales o superiores a $10f_{p1}$.

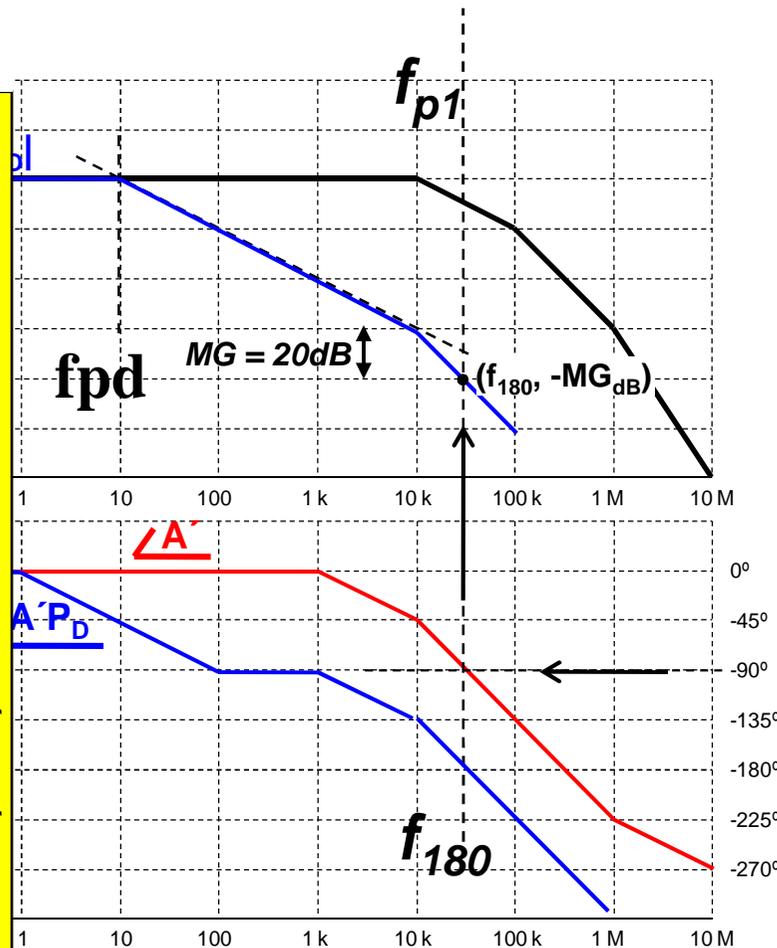
Dibujar el punto $(f_{180}, -MG_{dB})$. Desde este punto, trazar de dcha. a izq. con 40 dB/dec hasta f_{p1} . Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia. En la intersección está la frecuencia del polo dominante **fpd**



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Compensación por polo dominante

Ejemplo 4: Imponer un margen de ganancia, MG, para $\beta=1$



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

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 alcanzado los -90° , 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 f_{p1} . Después subir con 20 dB/dec hasta cortar a la ganancia a baja frecuencia. En la intersección está la frecuencia del polo dominante f_{pd}

Compensación por polo dominante. Requisito cumplir MG

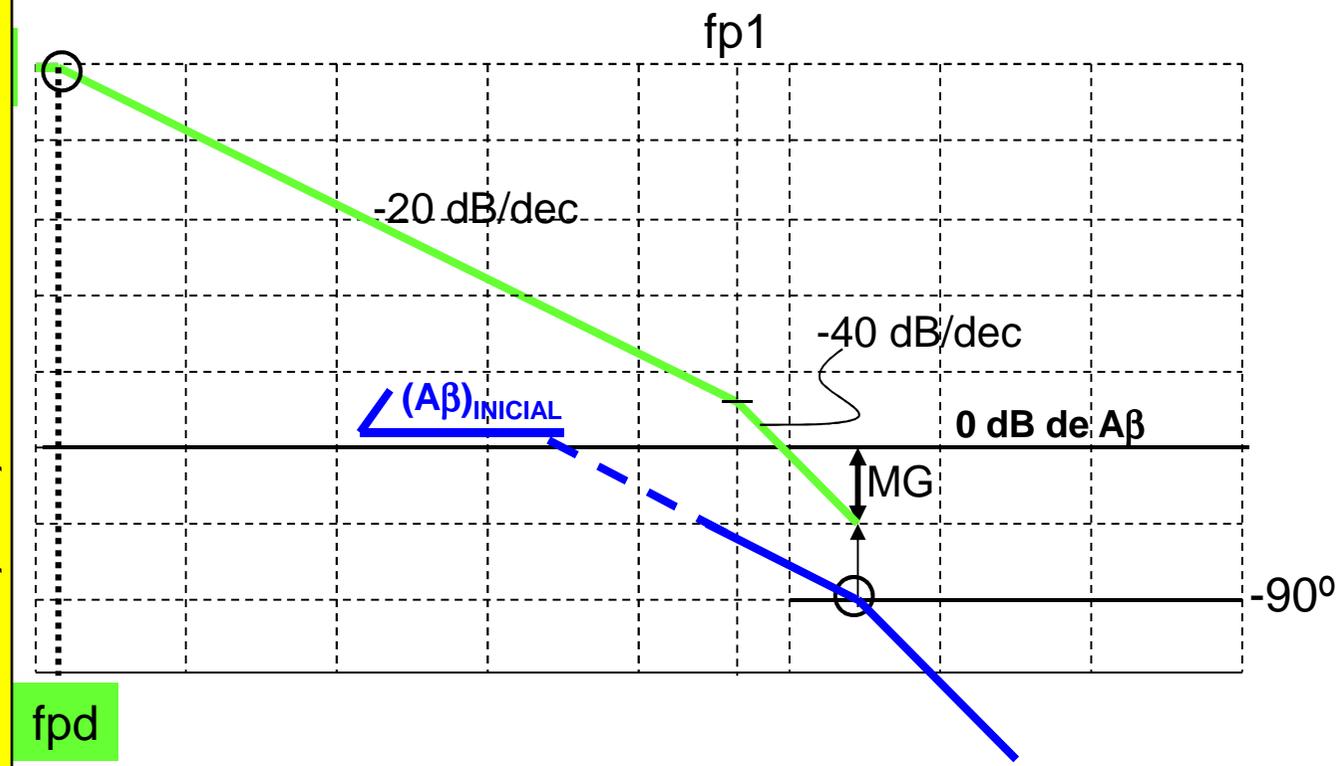
¿Cómo se obtiene un determinado MG?

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

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

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

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



Electrónica 2013-2014

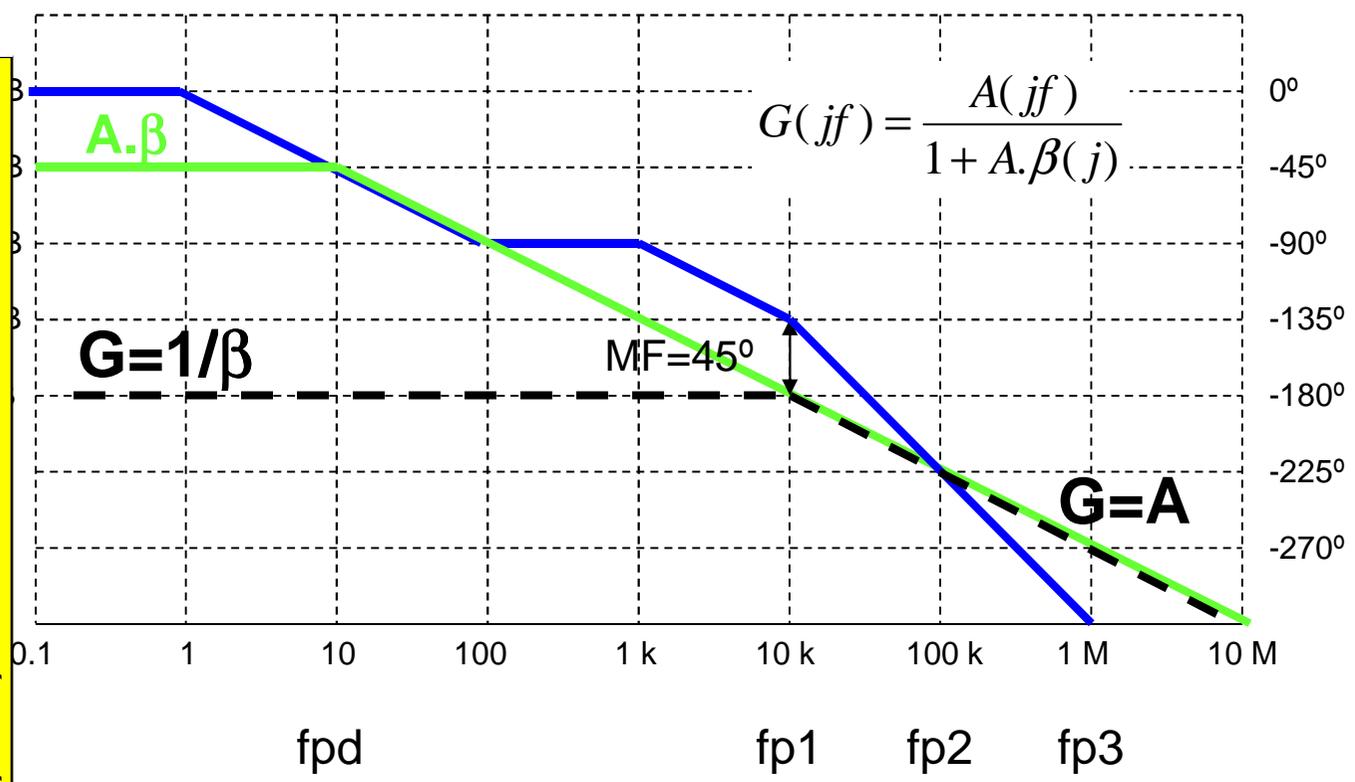


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Compensación por polo dominante. ΔB en bucle cerrado

ΔB del amplificador en bucle cerrado



ha **reducido** el ΔB de 1 MHz a 10 KHz

ónicos 2013-2014



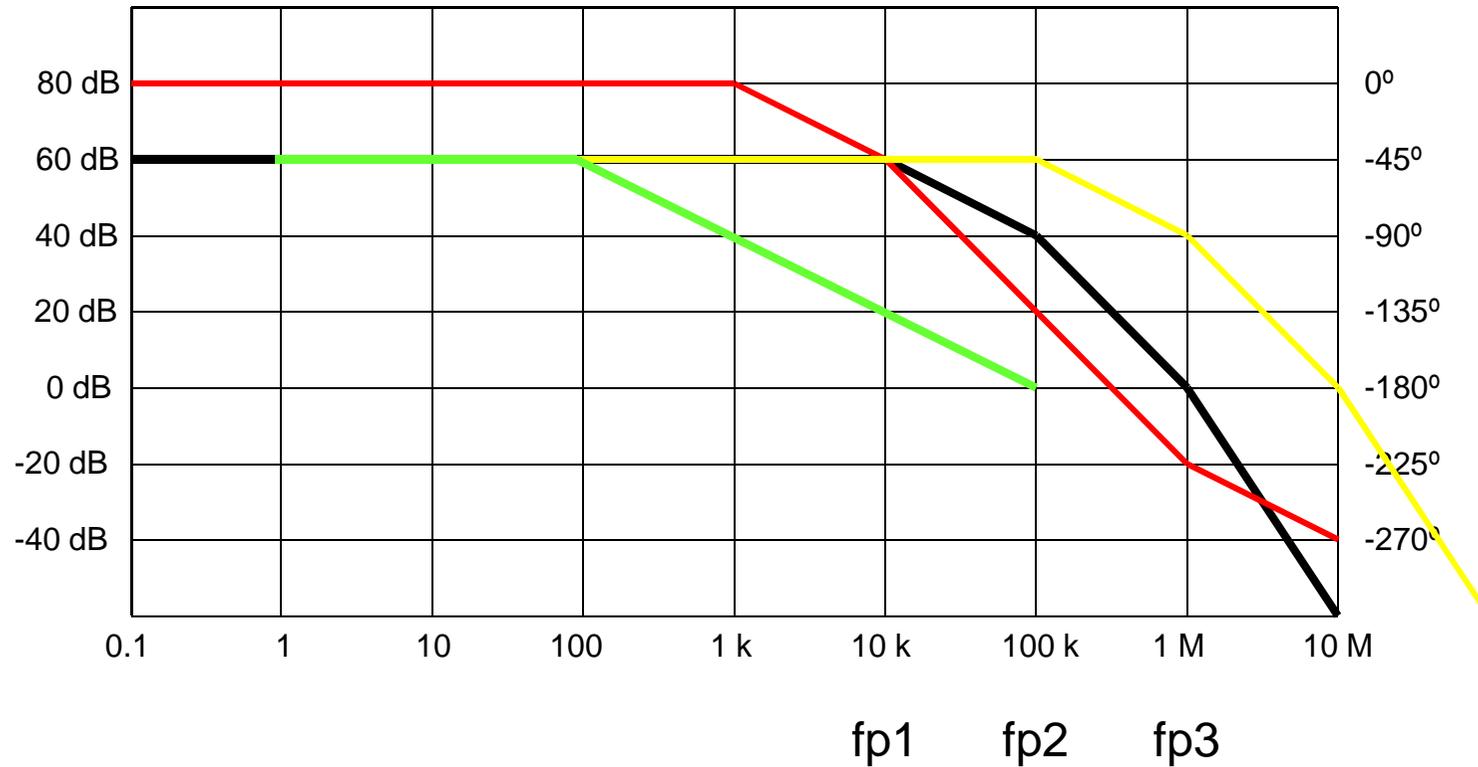
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Compensación polo-cero

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

$$A_O \times fpd = 1 \times fp2$$



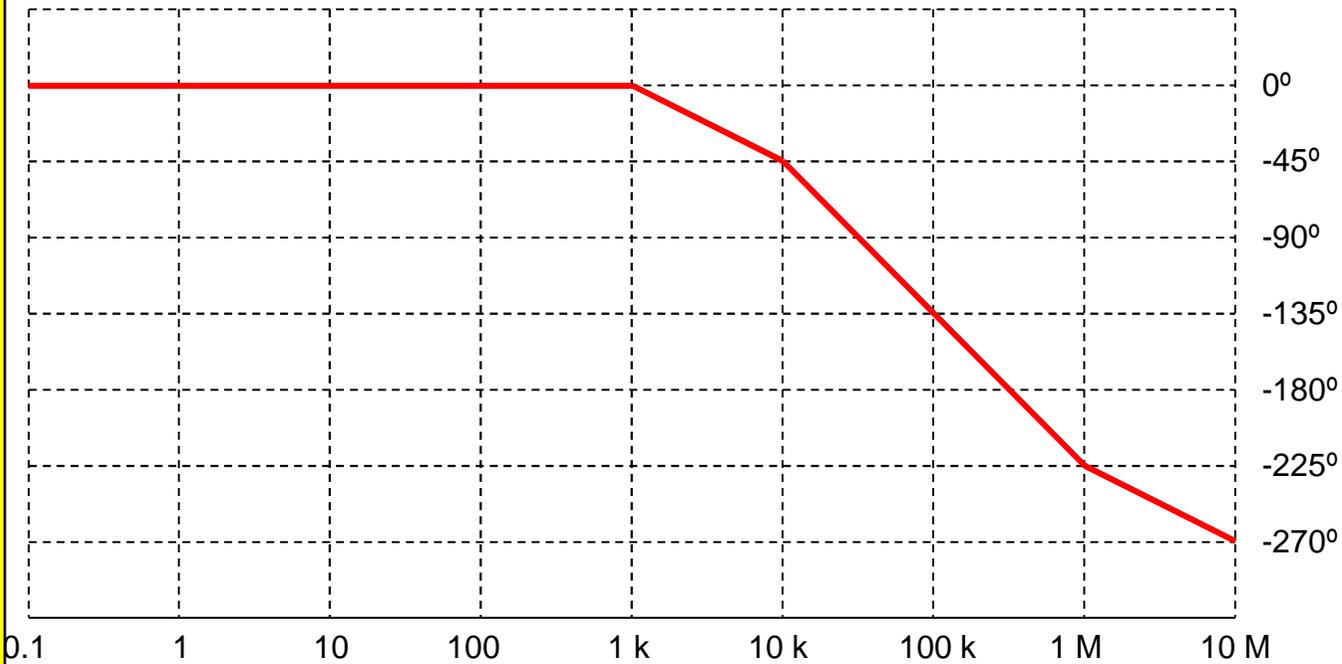
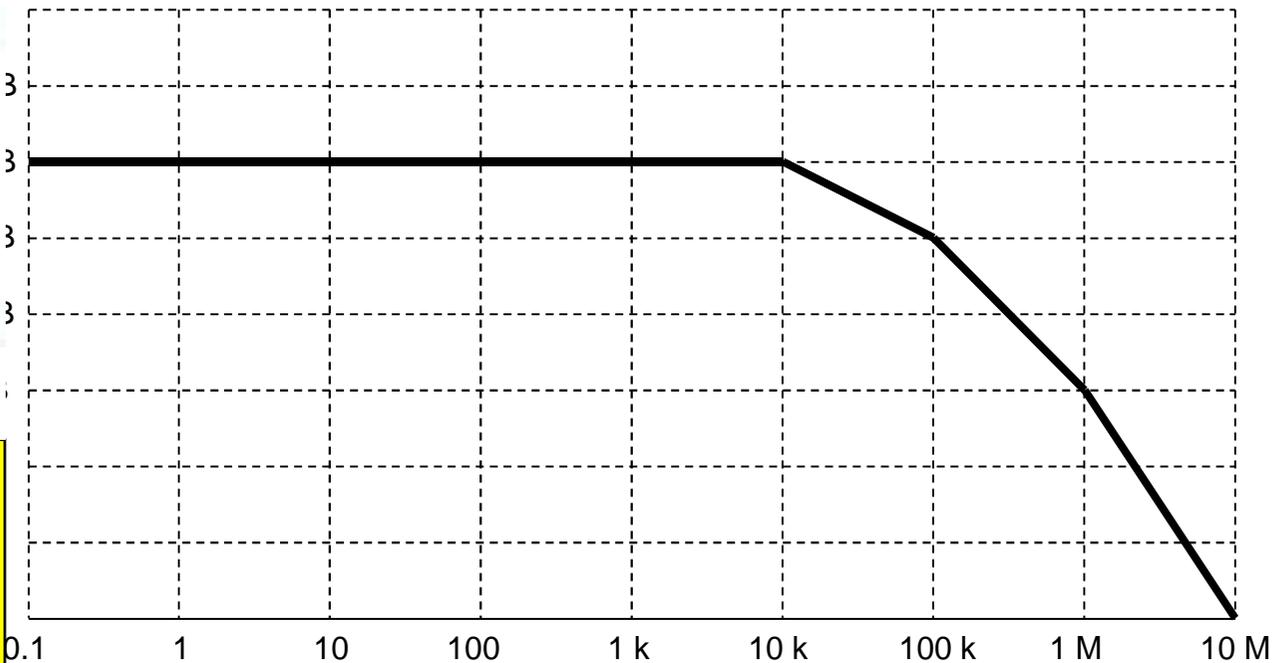
Se ha ganado un $\Delta B = fp2 - fp1$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Imprimir para
ensayar



ónicos 2013-2014



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70