

Diseño en el Dominio de la Frecuencia

Redes de Compensación

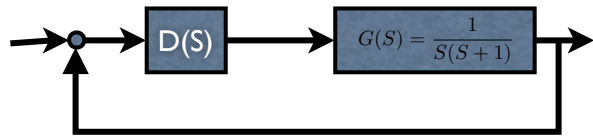
Antonio López.
Ingeniería de Sistemas y Automática.
Universidad de Oviedo.

Mayo de 2009.

Ejemplo

- Planta $G(S) = \frac{1}{S(S + 1)}$
- Diseñar sistema de control realimentado.
Especificaciones:
 - Sobreoscilación por debajo del 25%.
 - Error de velocidad menor de 0.1 s.

Sistema de Control Realimentado



$$D(S) = K$$



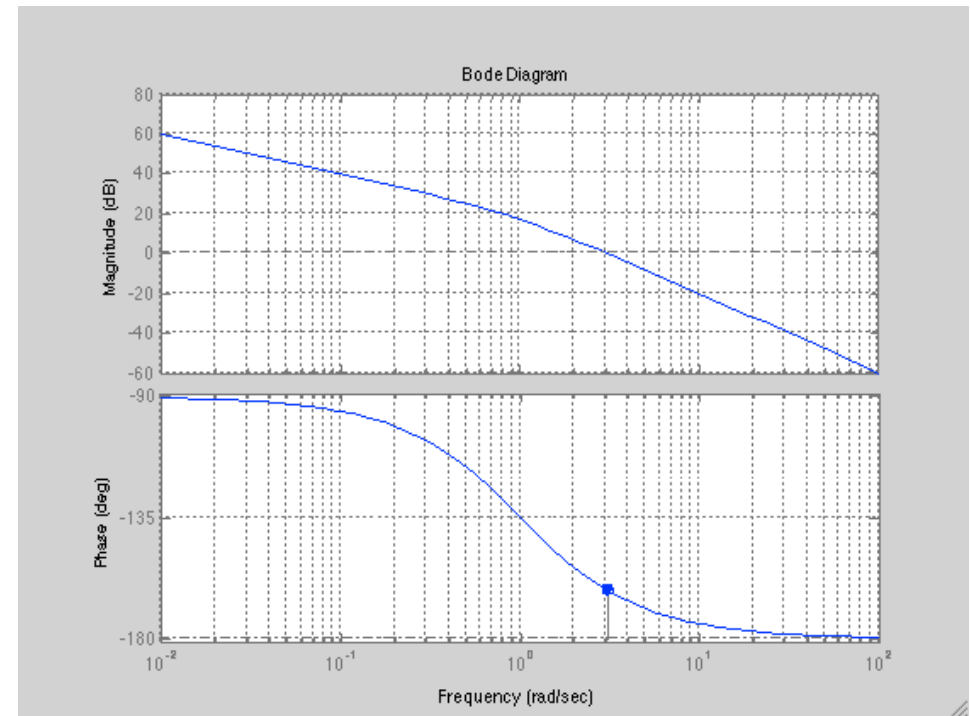
$$e_v \leq 0.1 \rightarrow K \geq 10$$

$$\xrightarrow{K = 10}$$

$$PM = 20$$

$$\xi \approx 0.2$$

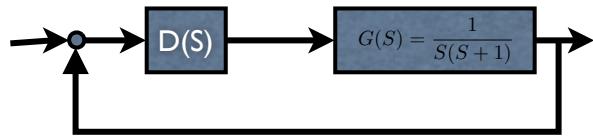
$$\mu_p = e^{\frac{-\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \approx 0.53$$



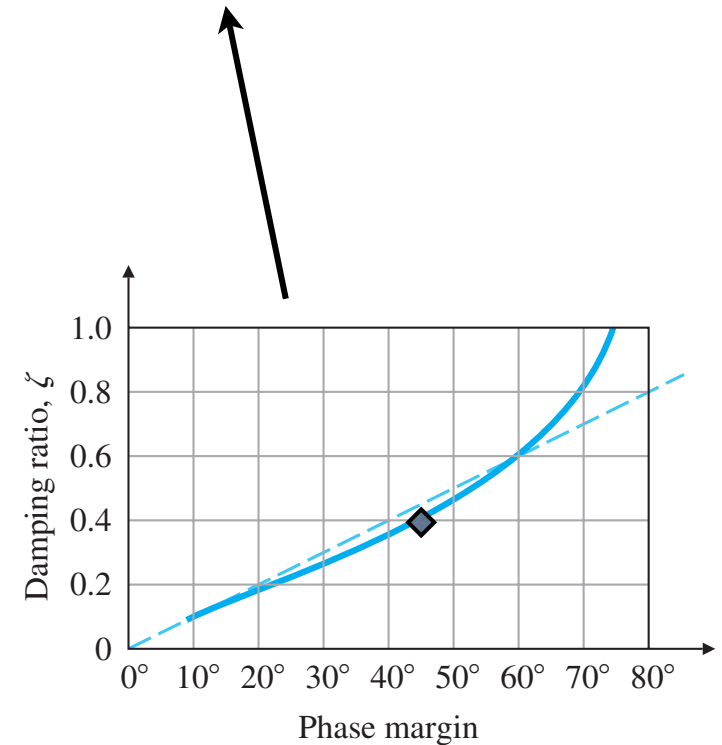
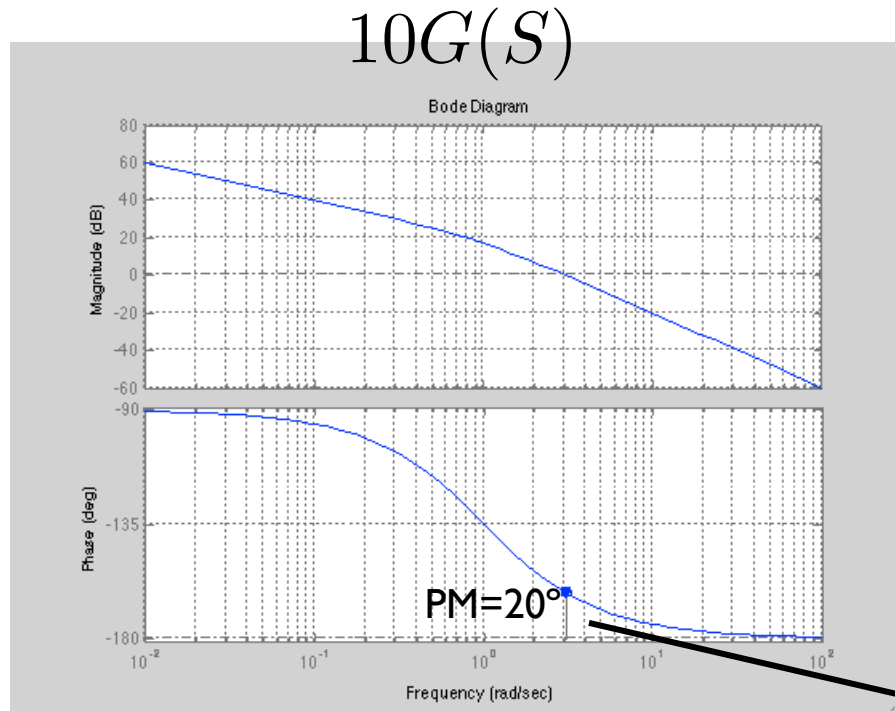
No me vale el regulador.

Voy a intentar subir la curva de fase en la frecuencia de cruce de ganancia.

Sistema de Control Realimentado



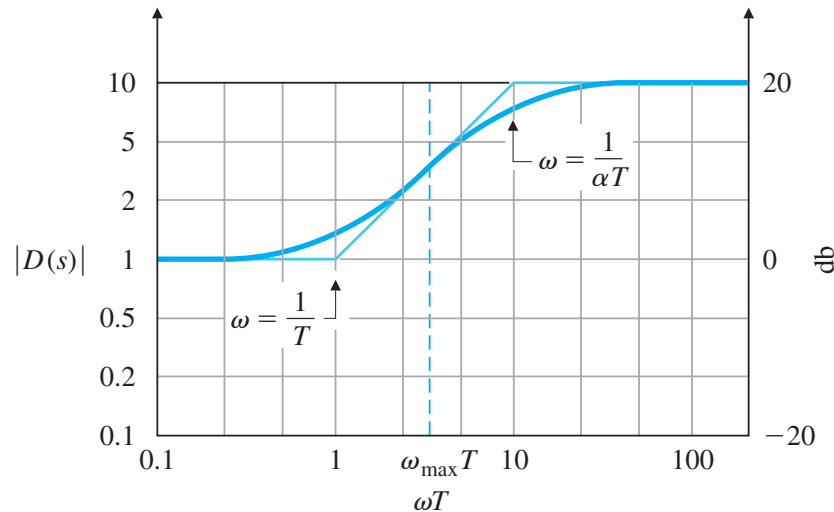
$$\mu_p = 0.25 \rightarrow \xi = 0.4$$
$$PM \approx \xi \times 100 = 40^\circ PM = 45^\circ$$



Necesito incrementar el PM en 25°

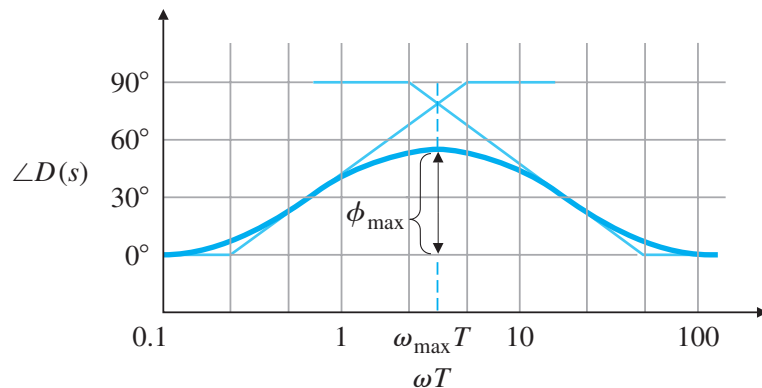
Red de adelanto de fase

$$D(S) = \frac{TS + 1}{\alpha TS + 1}, 0 < \alpha < 1$$



$$\omega_{max} = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}$$

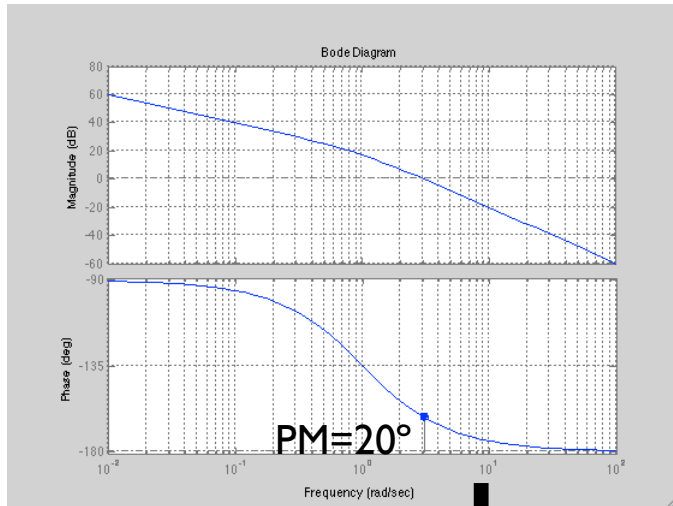
$$\alpha = \frac{1 - \sin\Phi_{max}}{1 + \sin\Phi_{max}}$$



La red incrementa la fase en una cantidad Φ_{max} para $\omega = \omega_{max}$.

Ajustando ω_{max} a la frecuencia de cruce de ganancia se incrementa el margen de fase.

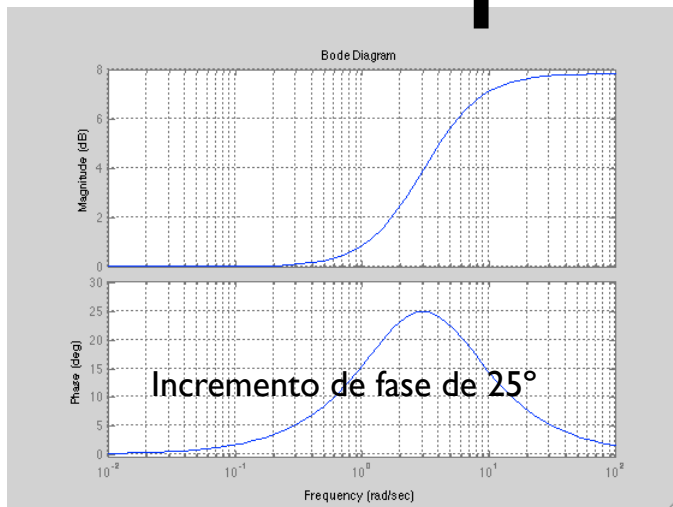
Red de adelanto de fase



$10G(S)$

+

=

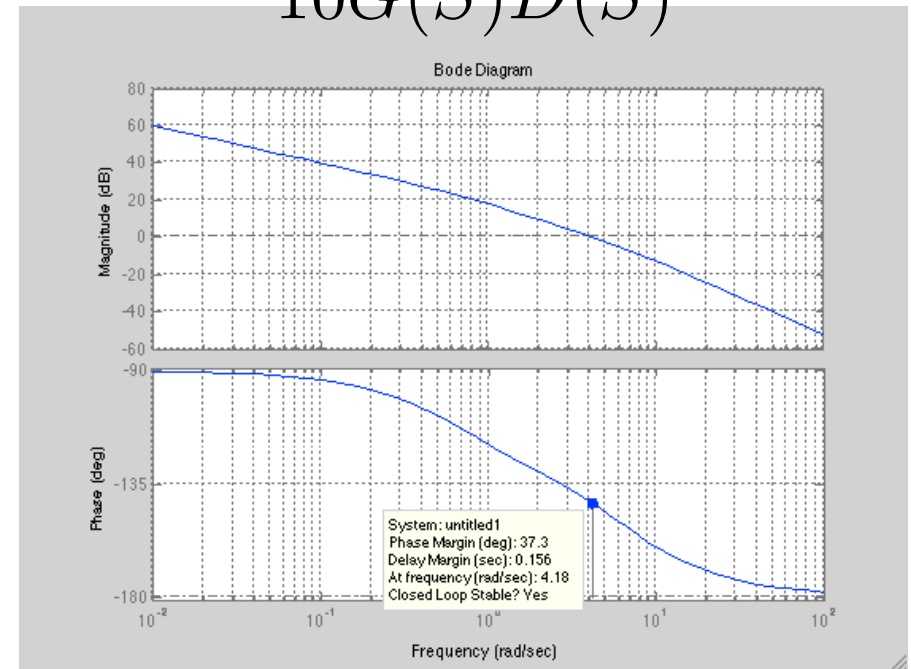


$$D(S) = \frac{TS + 1}{\alpha TS + 1}$$

$$\alpha = \frac{1 - \text{sen}(25)}{1 + \text{sen}(25)} = 0.4$$

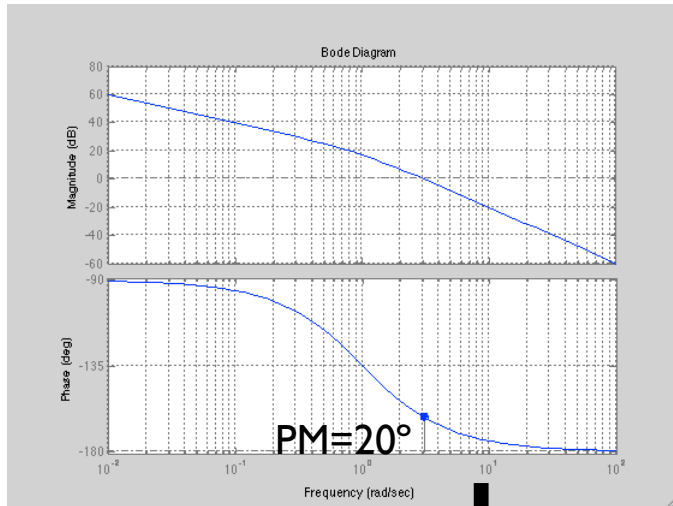
$$T = \frac{1}{\omega_{max}\sqrt{\alpha}} = 0.52$$

$10G(S)D(S)$



El incremento de margen de fase es de 37.3°.
¿A qué se debe?

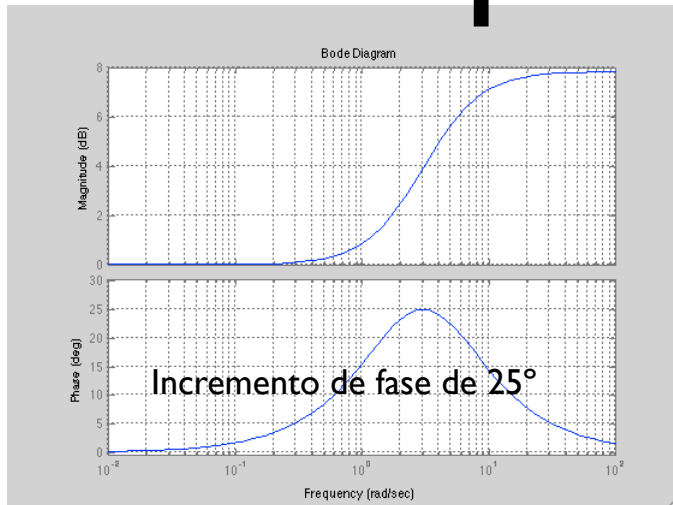
Red de adelanto de fase



$10G(S)$

+

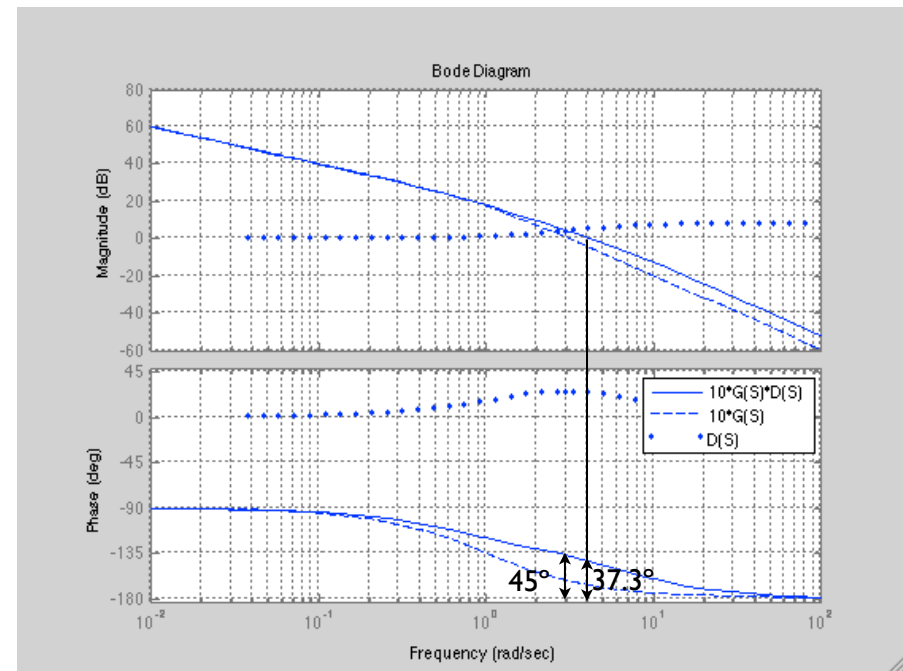
=



$$D(S) = \frac{TS + 1}{\alpha TS + 1}$$

$$\alpha = \frac{1 - \sin(25)}{1 + \sin(25)} = 0.4$$

$$T = \frac{1}{\omega_{max} \sqrt{\alpha}} = 0.52$$

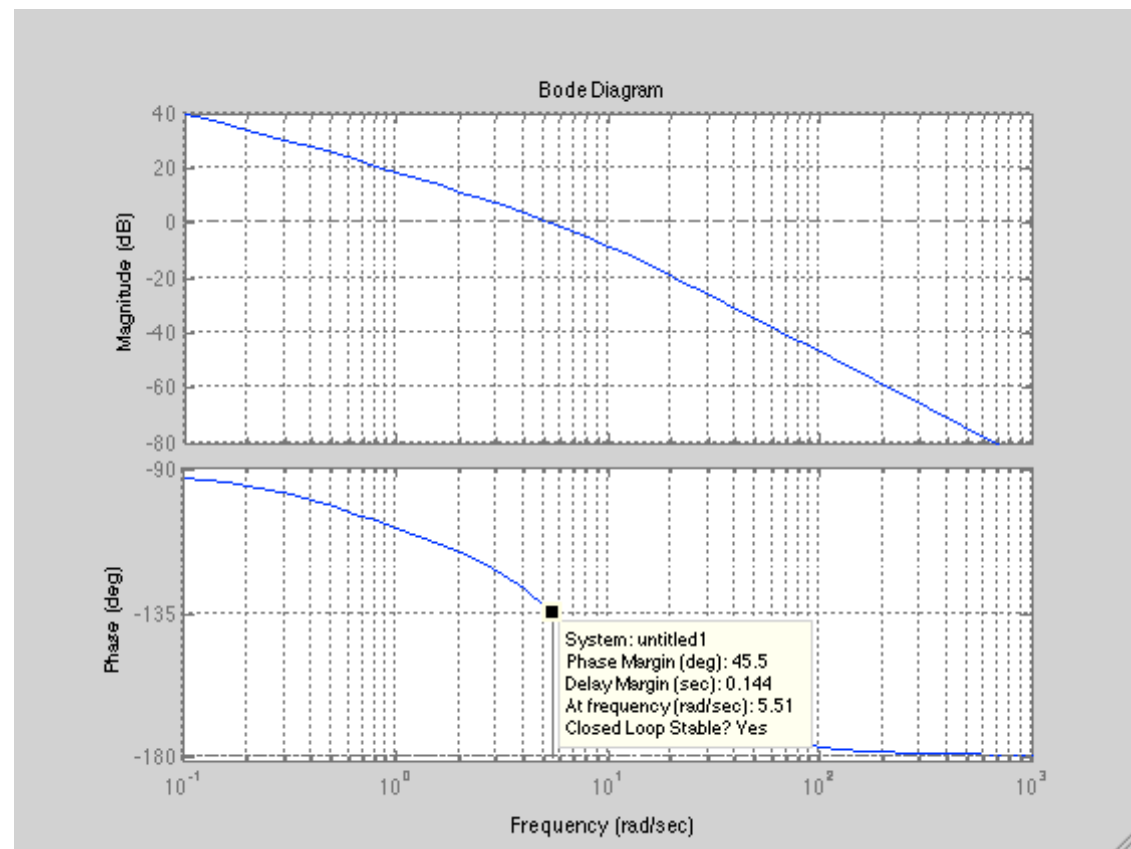


El incremento de margen de fase es de 37.3°.
¿A qué se debe?

Red de adelanto de fase

- Diseñamos para incrementar el margen de fase en 40°.

$$D(S) = \frac{TS + 1}{\alpha TS + 1}$$
$$\alpha = \frac{1 - \text{sen}(40)}{1 + \text{sen}(40)} = 0.22$$
$$T = \frac{1}{w_{max}\sqrt{\alpha}} = 0.71$$



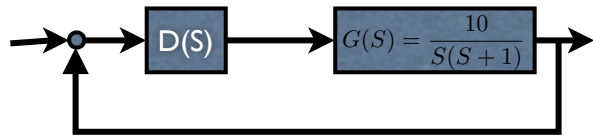
Red de adelanto de fase

- Dimensionar la constante proporcional para garantizar el error.
- Determinar el incremento de fase necesario, añadiendo un margen de seguridad (esto es generalmente ajustado por iteración al final del proceso).
- Dimensionar la red de adelanto, colocándola en la frecuencia de cruce de ganancia.
- Iterar si es necesario.

Ejemplo

- Planta $G(S) = \frac{10}{S(S+1)}$
- Diseñar sistema de control realimentado.
Especificaciones:
 - Sobreoscilación por debajo del 25%.
 - Error de velocidad menor de 0.1s.

Sistema de Control Realimentado

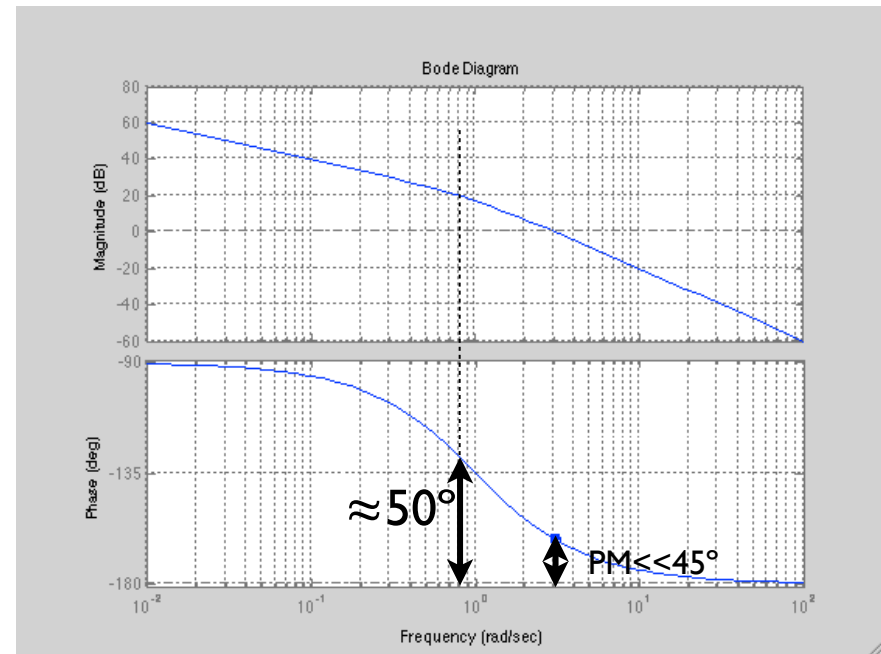


$$D(S) = K = 1 \quad \longrightarrow$$

$$\mu_p = 0.25 \rightarrow \xi = 0.4$$

$$PM \approx \xi \times 100 = 40^\circ \quad PM = 45^\circ$$

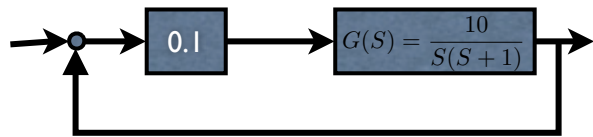
Al margen de fase se le añade un pequeño margen de seguridad. Vamos a diseñar para un MF de 50° aprox.



Para conseguir el margen de fase (PM) necesito bajar la curva de ganancia unos 20dB (dividir por 10)

$$K = 0.1$$

Sistema de Control Realimentado



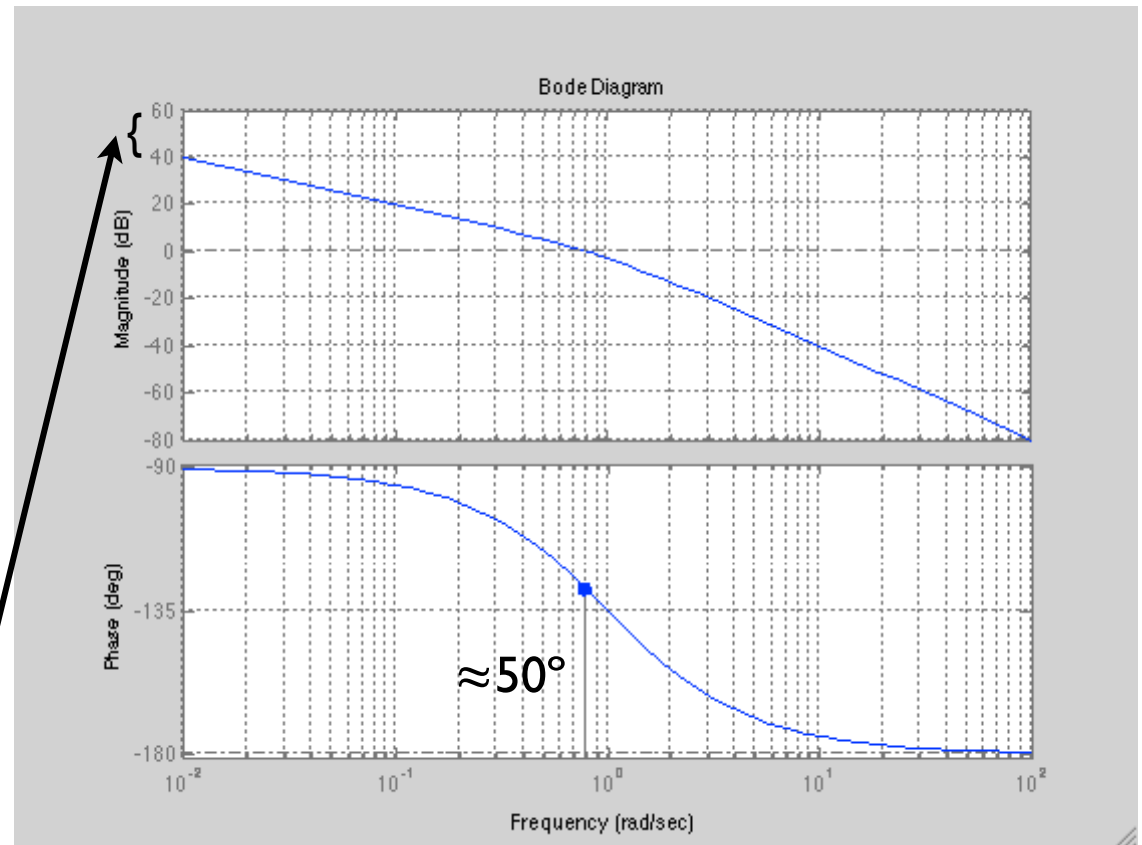
$$e_v = \frac{1}{K_v}$$
$$K_v = \lim_{S \rightarrow 0} S D(S) G(S)$$

$$K_v = 1 \rightarrow e_v = 1s \gg 0.1s$$

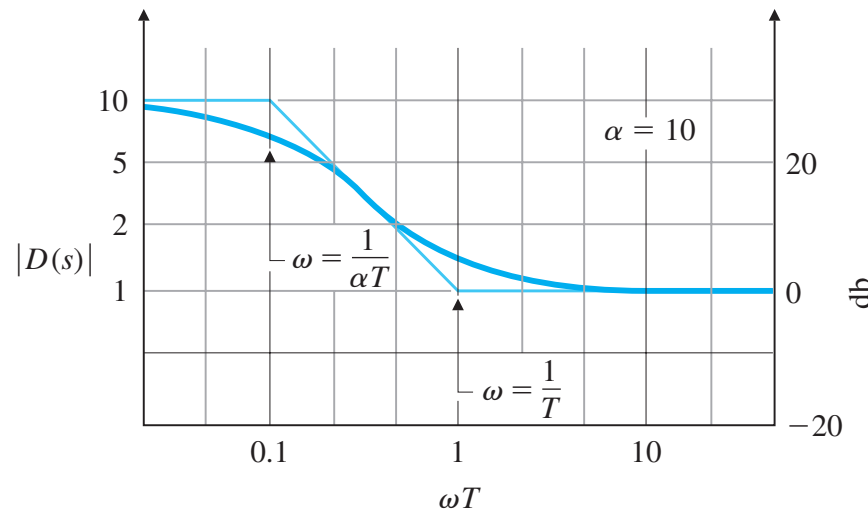
Necesito!!!

$$K_v = 10 \rightarrow D(0) = 10$$

Necesito incrementar la ganancia a bajas frecuencias en un factor de 10 (20 dB)



Red de Atraso de Fase



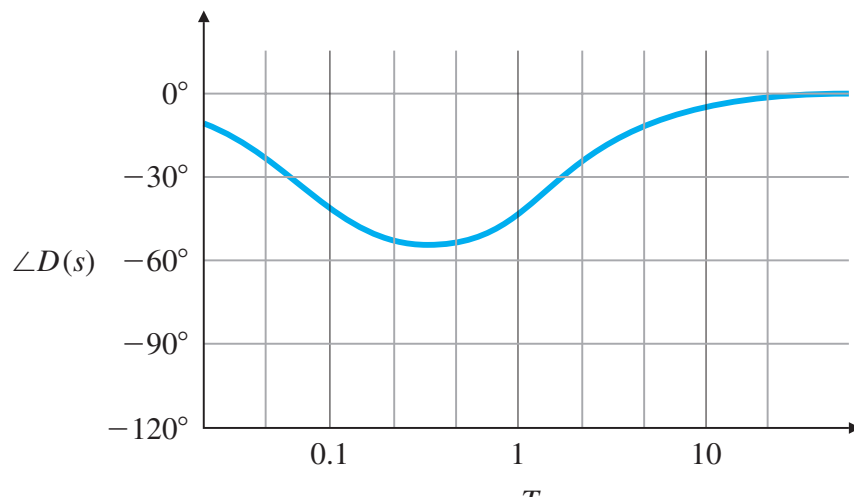
$$D(S) = \alpha \frac{TS + 1}{\alpha TS + 1}, \alpha > 1$$

Ganancia: α

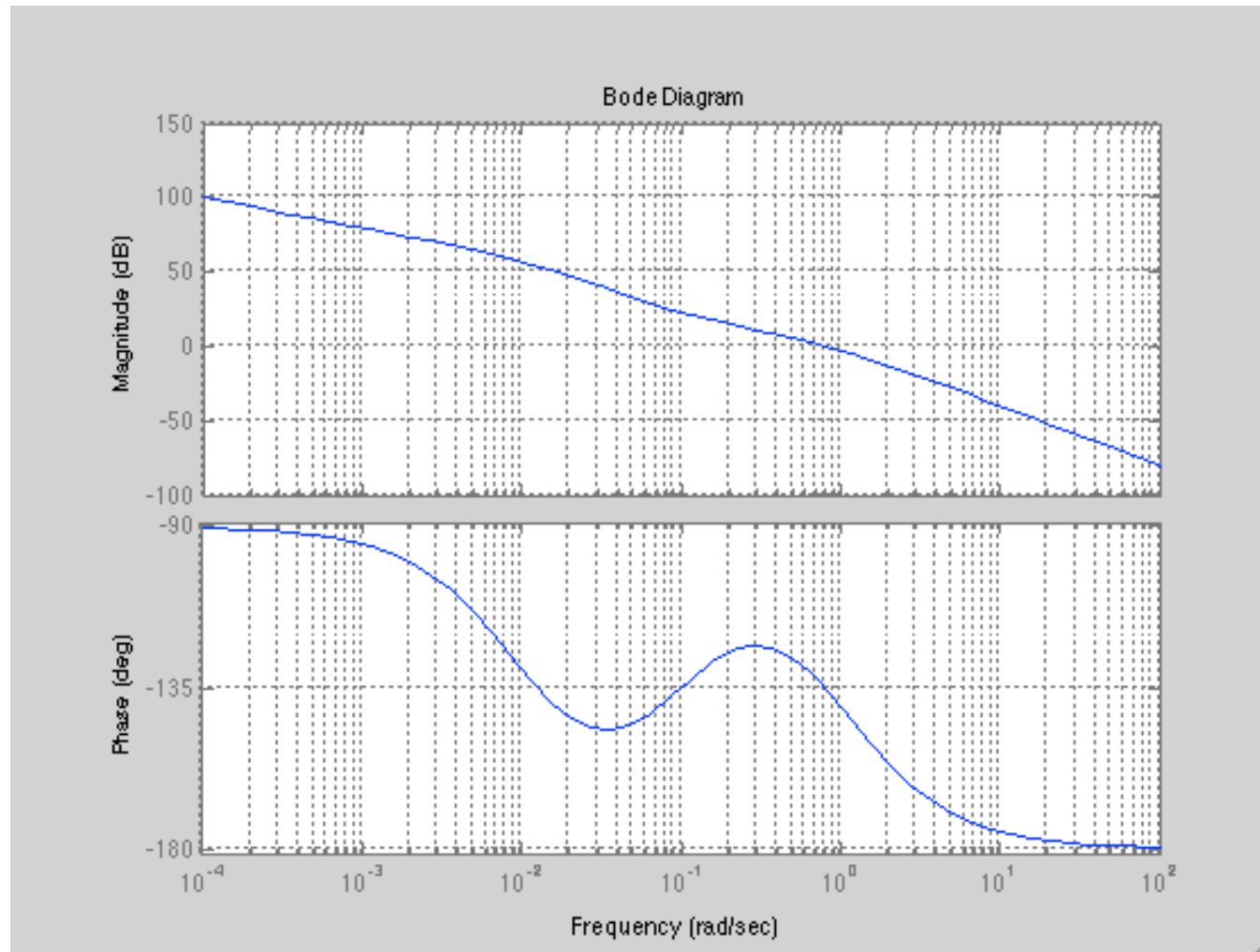
Para nuestro problema, $\alpha = 10$
¿Dónde colocamos la red?

(Cuidado con la fase)

Criterio: colocar el cero una década por debajo de la nueva frecuencia de cruce de ganancia (para nuestro problema suponemos 1 rad/s, $T=10$).



Red de Atraso de Fase



Red de Atraso de Fase

- Dimensionar la constante proporcional para garantizar el margen de fase, con un pequeño margen de seguridad (esto es generalmente ajustado por iteración al final del proceso).
- Dimensionar la ganancia de la red de atraso para garantizar el error deseado en régimen permanente.
- Dimensionar el polo y cero de la red de atraso, colocando el cero una década por delante de la nueva frecuencia de corte.