

## Compensador de Adelanto de Fase

$$G_C(s) = K_c \alpha \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} = K_c \left( \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\alpha T}} \right) \quad 0 < \alpha < 1$$

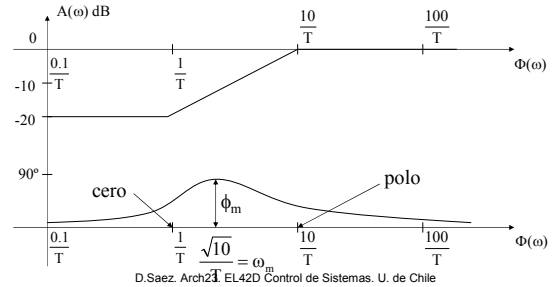
$$\text{polo} = -\frac{1}{\alpha T} \quad \text{cero} = -\frac{1}{T}$$

$$\text{Margen de fase máximo} = \phi_{\max} = \arcsin\left(\frac{1-\alpha}{1+\alpha}\right) \quad \omega_m = \frac{1}{\sqrt{\alpha}T}$$

D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas, U. de Chile

## Compensador de Adelanto de Fase

- Diagrama de Bode, si  $\alpha=0.1$



$$20 \log\left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}}\right) = \text{Ganancia del controlador en:} \quad \omega_m = \frac{1}{\sqrt{\alpha}T}$$

D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas, U. de Chile

## Compensador de Retraso de Fase

$$G_C(s) = K_c \beta \frac{Ts+1}{\beta Ts+1} = K_c \left( \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}} \right) \quad \beta > 1$$

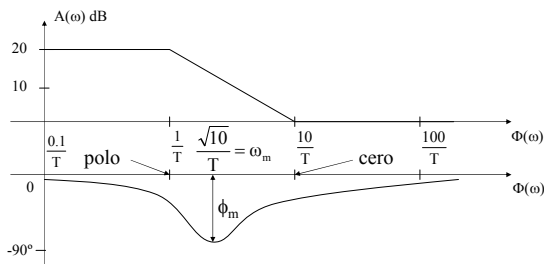
$$\text{polo} = -\frac{1}{\beta T} \quad \text{cero} = -\frac{1}{T}$$

$$\text{Margen de fase máximo} = \phi_{\max} = \arcsin\left(\frac{1-\alpha}{1+\alpha}\right) \quad \omega_m = \frac{1}{\sqrt{\beta}T}$$

D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas, U. de Chile

## Compensador de Retraso de Fase

- Diagrama de Bode, si  $\beta=10$ .



## Procedimiento de diseño de un controlador de adelanto de fase

- 1) Compensador

$$G_C(s) = \frac{K\alpha(Ts+1)}{(\alpha Ts+1)} \quad 0 < \alpha < 1$$

$$\text{con } K_C = K\alpha$$

La función de lazo abierto del sistema compensado queda:

$$G_C(s)G(s) = \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} KG(s) = \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} G_1(s)$$

D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas, U. de Chile

## Procedimiento de diseño de un controlador de adelanto de fase

- 1) Determinar la ganancia K con el requisito de error estático.
- 2) Utilizando K, trace el diagrama de Bode de  $G_1(j\omega)$  del sistema no compensado. Evalúe el margen de fase.
- 3) Determine el ángulo de adelanto de fase  $\phi$  necesario para agregarlo al sistema.

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Procedimiento de diseño de un controlador de adelanto de fase

- 4) Determine  $\alpha$  con  $\sin(\phi_m) = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$   $\phi_m = \phi + 5^\circ (12^\circ)$
- 5) Determine  $\omega$  tal que  $G_1(j\omega) = -20 \log\left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}}\right)$
- 6) Seleccione esta frecuencia como la nueva frecuencia de cruce de ganancia (se determina T).  $\omega_m = \frac{1}{\sqrt{\alpha}T}$

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Procedimiento de diseño de un controlador de adelanto de fase

- 7) Determine las frecuencias del compensador

$$\text{polo} = \frac{1}{\alpha T} \quad \text{cero} = \frac{1}{T}$$

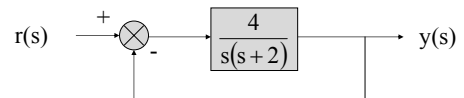
- 8) Usando K y  $\alpha$ , calcular  $K_c = \frac{K}{\alpha}$

- 9) Verificar que el Margen de Ganancia es satisfactorio.

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

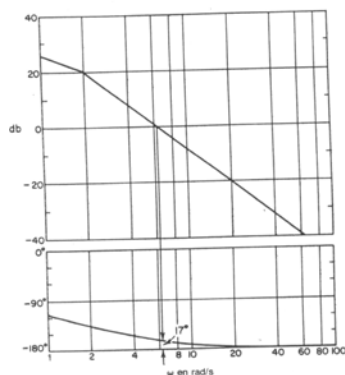
## Ejemplo

- Se desea diseñar un compensador para el sistema tal que  $K_v = 20 \text{ s}^{-1}$ , M.F.  $\geq 50^\circ$  y M.G.  $\geq 10 \text{ dB}$ .

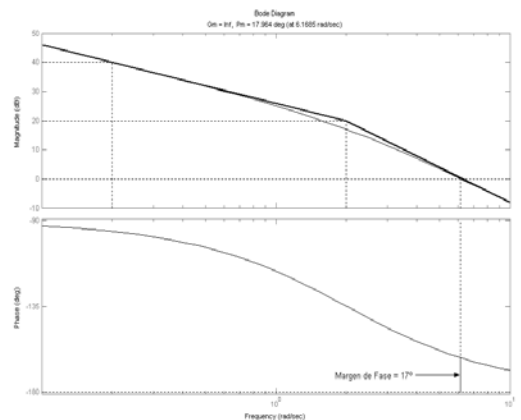


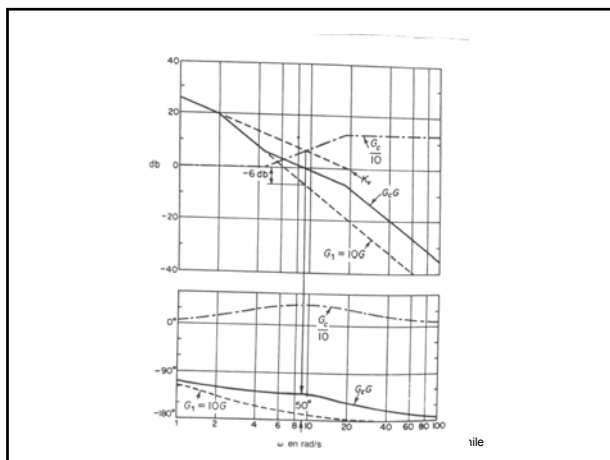
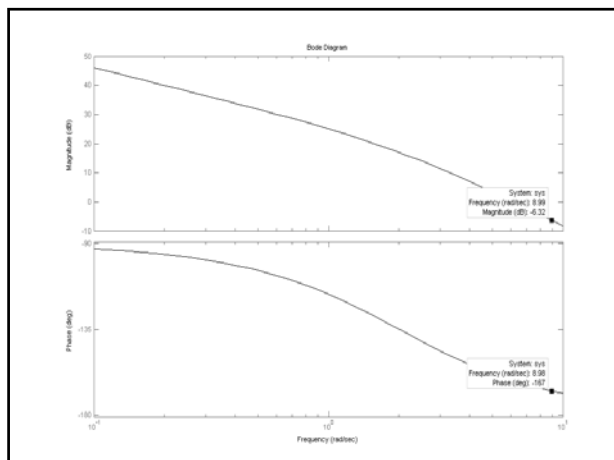
Compensador  $G_c(s) = K_c \alpha \frac{(Ts+1)}{(\alpha Ts+1)}$

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile



D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile





## Procedimiento de diseño de un controlador de atraso de fase

1) Compensador:

$$G_C(s) = K_c \beta \frac{Ts + 1}{\beta Ts + 1}$$

$$G_C(s)G(s) = K_c \beta \frac{Ts + 1}{\beta Ts + 1} G_1(s)$$

$$G_1(s) = KG(s) \\ K = K_c \beta$$

Determinar K para satisfacer los requerimientos de  $K_v$ .

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Procedimiento de diseño de un controlador de atraso de fase

2) Si el sistema  $G_1(j\omega)$  no satisface las especificaciones de M.F. y M.G., encuentre  $\omega$  donde el ángulo de la fase de la función de transferencia en el lazo abierto es igual a  $(-180^\circ + \text{M.F.})$  requerido.

Elija esta frecuencia como la nueva frecuencia de cruce de ganancia.

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Procedimiento de diseño de un controlador de atraso de fase

3) Elegir la frecuencia  $\omega = \frac{1}{T}$  (cero de  $G_C$ ) una

octava a una década por debajo de la nueva frecuencia de cruce de ganancia.

4) Determine la atenuación necesaria para bajar la curva de magnitud a 0 dB en la nueva frecuencia de cruce de ganancia.

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Procedimiento de diseño de un controlador de atraso de fase

Note que esta atenuación es de  $-20 \log(\beta)$ , determine el valor de  $\beta$ .

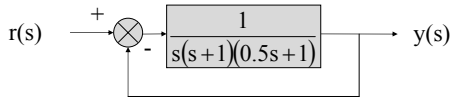
Luego, la otra frecuencia es  $\omega = \frac{1}{\beta T}$  (polo de  $G_C$ ).

5) Finalmente, usando  $\beta$  y  $K_c$  calcule la expresión del controlador.

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

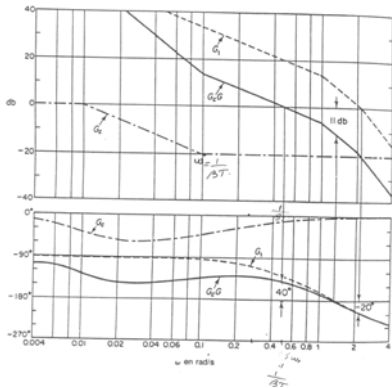
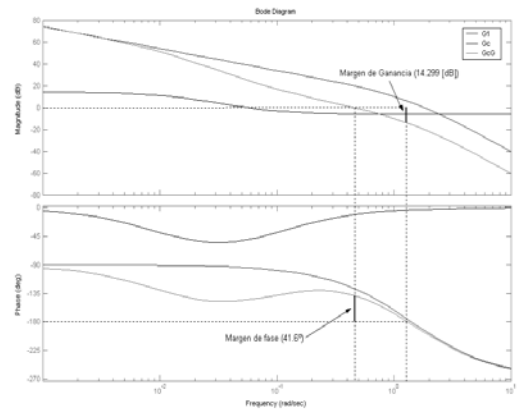
## Ejemplo

- Se desea compensar el sistema tal que  $K_v = 5 \text{ [s}^{-1}\text{]}$ , M.F.  $\geq 40^\circ$  y M.G.  $\geq 10 \text{ [dB]}$ .



$$G_c(s) = K_c \beta \frac{Ts+1}{\beta Ts+1}$$

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile



D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Método de diseño de controladores discretos en el dominio de la frecuencia.

- Obtener  $G(z)$ .

- Aplicar transformada bilineal.  $z = \frac{1 + \frac{T}{2}w}{1 - \frac{T}{2}w}$

$$G(w) \approx G(z) \Big|_{z = \frac{1 + \frac{T}{2}w}{1 - \frac{T}{2}w}}$$

- Generar  $G(j\omega) = G(w)|_{w=j\omega}$

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Método de diseño de controladores discreto en el dominio de la frecuencia.

- Graficar el Diagrama de Bode de  $G(j\omega)$  para calcular los márgenes de ganancia y de fase.
- Encontrar la ganancia  $K$  que satisface  $K_v$ .
- Determinar los polos y ceros del controlador  $G_D(w)$ , similar al procedimiento para sistemas continuos.

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

## Método de diseño de controladores discretos en el dominio de la frecuencia.

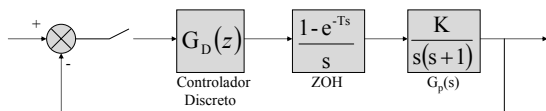
- Transformar  $G_D(w)$  a  $G_D(z)$ . Usando la misma definición anterior, pero ahora en forma inversa.

$$G_D(z) = G_D(w) \Big|_{w = \frac{2(z-1)}{T(z+1)}}$$

D.Saez. Arch23. EL42D Control de Sistemas. U. de Chile

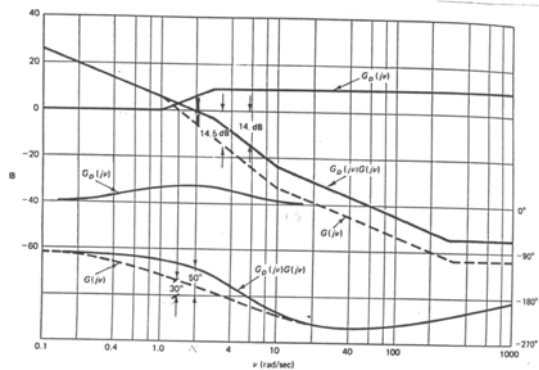
# Método de diseño de controladores discretos en el dominio de la frecuencia.

## Ejemplo:

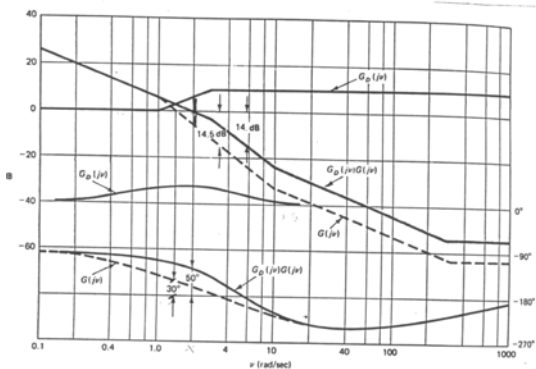


Diseñar un controlador digital en el plano  $\omega$  tal que el M.F.=50°, M.G.=10 [dB] y  $K_v=2s^{-1}$ , con  $T=0.2$ .

D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas. U. de Chile



D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas. U. de Chile



D.Saez, Arch23, EL42D Control de Sistemas. U. de Chile