

Tema 9. Redes. Diseño con Técnicas Frecuenciales

- Cumplimiento de especificaciones frecuenciales en cadena cerrada.
- Diseño indirecto. (No se determina como tienen que estar los polos en lazo cerrado)
- Especificaciones típicas dadas:

$$M_f \quad M_g \quad M_r \quad w_r \quad B$$

$$K_p \quad K_v \quad K_a$$

M_f } Utilización de diagramas de Bode. Análisis en cadena abierta
 M_g }

M_r } Utilización de Nyquist y ábacos de Black. Análisis en cadena cerrada
 w_r }

- Estudio del comportamiento según la frecuencia analizada

$G(jw)R(jw)$ {

- 1) Zona Bajas frecuencias $w < w_g$
Comportamiento régimen permanente. Precisión del sistema
- 2) Zona de frecuencias medias $(-1 + j0)$
Estabilidad relativa del sistema
- 5) Frecuencias altas $w \gg w_g$
Capacidad del sistema para eliminar ruido

9.2 Red de adelanto de fase (I)

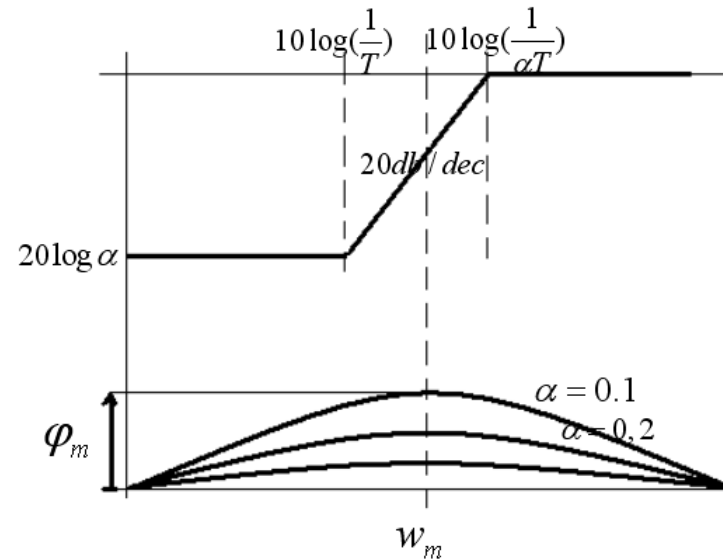
- Equivalente a los PD

$$R(s) = \frac{s + 1/T}{s + 1/T\alpha}; 0 < \alpha < 1$$

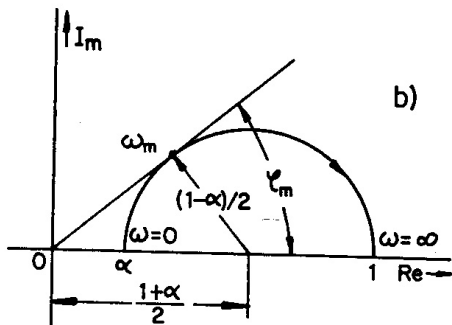
$$R(j\omega) = \alpha \frac{1 + j\omega T}{1 + j\omega\alpha T}; 0 < \alpha < 1$$

$$|R(j\omega)| = \frac{\alpha \sqrt{1 + (\omega T)^2}}{\sqrt{1 + (\omega\alpha T)^2}}$$

$$\varphi[R(j\omega)] = \arctg(\omega T) - \arctg(\omega\alpha T)$$



- Atenúa las bajas frecuencias y deja pasar las altas
- Adelanta el margen de fase, posibilita modificar el régimen transitorio



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

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}$$

9.2 Red de adelanto de fase (II)

- Atenúa bajas frecuencias por lo que reduce la ganancia. Esto provoca que el error en régimen permanente aumente. Habrá que añadir una K mayor para solucionar ese problema.
- No afecta a las altas frecuencias, por lo que deja pasar los ruidos. Si el ruido es alto, esta red no es la adecuada.
- Aumenta la fase. Mejora el régimen transitorio.
- Pasos en el diseño:
 - 1) Determinar el valor de K en lazo abierto del sistema sin compensar para cumplir el régimen permanente.
 - 2) Trazar Bode del sistema sin compensar y calcular M_f y w_g
 - 3) Determinar $\varphi[R(s)] = \varphi_m$ para obtener el M_f deseado con un cierto margen de seguridad

$$\text{sen}(\varphi_m) = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}$$
 - 4) Determinar α
 - 5) Determinar la frecuencia para la que el sistema sin compensar tenga ganancia $\sqrt{\alpha}$ y tomarla como el nuevo valor de pulsación de margen de fase. $w_g' = w_m$
 - 6) Determinar las frecuencias de ruptura

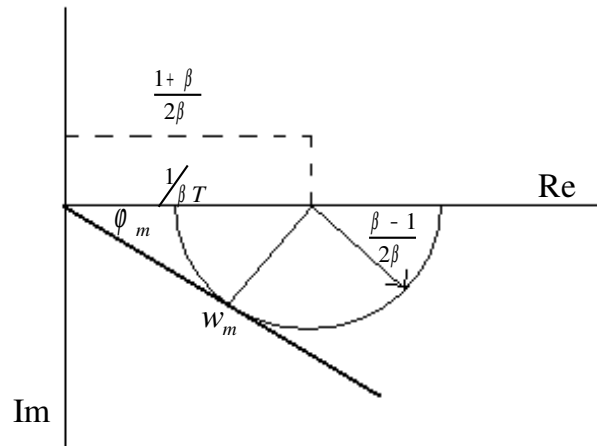
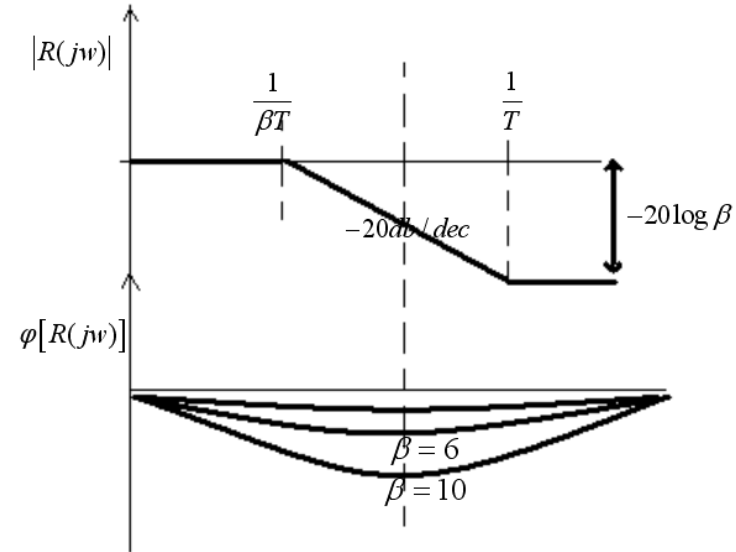
$$w_1 = \frac{1}{T} \quad w_2 = \frac{1}{\alpha T}$$
 - 9) Representar la respuesta en frecuencia del sistema compensado. Comprobar el margen de fase, si no es el deseado, repetir modificando ligeramente los parámetros

9.3 Red de atraso de fase (I)

- Mejora el comportamiento del sistema en régimen permanente
- Es el equivalente a los P.I.

$$R(s) = \frac{1}{\beta} \frac{s + 1/T}{s + 1/T\beta}; \beta > 1$$

$$R(j\omega) = \frac{1}{\beta} \frac{j\omega + 1/T}{j\omega + 1/T\beta} = \frac{1 + j\omega T}{1 + j\omega\beta T}$$



$$\text{sen}(\varphi_m) = \frac{1 - \beta}{1 + \beta}$$

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{\beta}}$$

9.3 Red de atraso de fase (II)

- No afecta a la ganancia, pero atenúa las señales a alta frecuencia. Atenúa el módulo haciendo menor w_g lo que produce que el M_f sea mayor.
- Un efecto perjudicial es que puede disminuir la fase, reduciendo el efecto de aumentar el margen de fase
- Habrá que seleccionar un T para minimizar ese efecto.
- Pasos:
 - 1) Determinar el valor de K en lazo abierto del sistema sin compensar para cumplir el régimen permanente.
 - 2) Trazar Bode del sistema sin compensar y calcular M_f y w_g
 - 3) Si el M_f no es el deseado, se determina w_{gK} para que el sistema sin compensar tenga el margen de fase deseado mas un margen de seguridad entre el 5-10%
 - 4) Situar la frecuencia de ruptura $w_2 = 1/T$ una década por debajo de la frecuencia w_{gk}
 - 5) Calcular la atenuación necesaria para que la ganancia sea 0db
 - 6) Calcular β teniendo en cuenta que la atenuación calculada en el punto anterior debe ser $-20 \log \beta$
 - 8) Con T y β calcular $w_1 = 1/\beta T$

- Equivalente al regulado PID

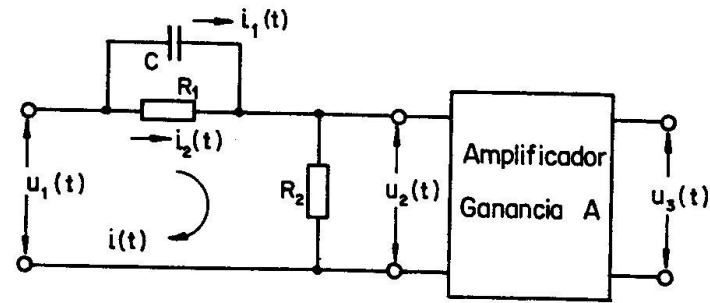
$$R(s) = \frac{(1+T_1s)(1+T_2s)}{(1+\frac{T_1}{\beta}s)(1+\beta T_2s)} \quad \beta > 1$$

Por lo general $T_2 > T_1 \quad \frac{1}{T_1} > \frac{1}{T_2}$

- Utiliza una red de adelanto de fase + una red de atraso de fase
- Se utiliza cuando no se cumplen las condiciones con otras redes
- No tienen un procedimiento riguroso, para el dimensionado se hace por aproximaciones por medio de tanteo y ajuste
- Acción:
 - Acción de la red de atraso: Atenúa el módulo entorno a la frecuencia de corte. Mejoramos el régimen permanente.
 - Acción de la red de adelanto: Eleva la ganancia, luego el régimen transitorio mejora.

9.5 Realización de Redes(I)

➤ Red de adelanto de fase



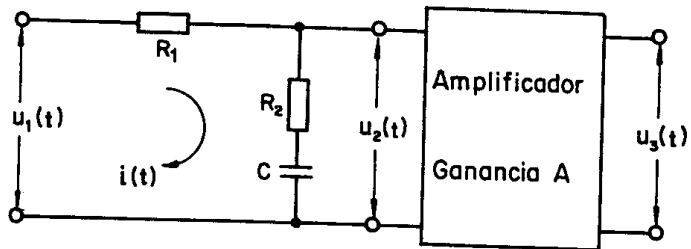
$$U_2(s) = U_1(s) \frac{R_2}{R_2 + R_1 / (R_1 C s + 1)}$$

$$R(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{R_2(1 + R_1 C s)}{R_1 R_2 C s + R_2 + R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_1 C s + 1}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} R_1 C s + 1}$$

$$T = R_1 C$$

$$\alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \Rightarrow \quad R(s) = \alpha \frac{1 + T s}{1 + \alpha T s}$$

➤ Red de atraso de fase

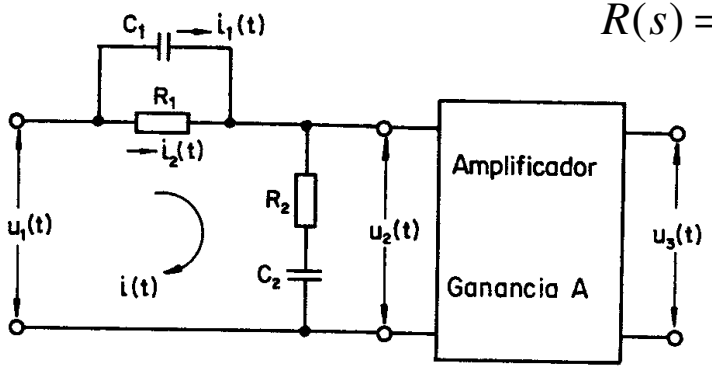


$$R(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{R_2 + 1/Cs}{R_1 + R_2 + 1/Cs} = \frac{1 + R_2 C s}{1 + (R_1 + R_2) C s}$$

$$T = R_2 C$$

$$\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad \Rightarrow \quad R(s) = \frac{1 + T_2 s}{1 + \beta T_2 s} = \frac{1}{\beta} \frac{s + \frac{1}{T_2}}{s + \frac{1}{\beta T_2}}$$

➤ Red de adelanto-atraso de fase



$$R(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{R_2 + 1/C_2s}{\frac{R_1/C_1s}{R_1 + C_1s} + R_2 + 1/C_2s} = \frac{(1 + R_1C_1s)(1 + R_2C_2s)}{(1 + R_1C_1s)(1 + R_2C_2s) + R_1C_2s}$$

$$T_1 = R_1C_1$$

$$T_2 = R_2C_2$$

$$R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2 = \frac{T_1}{\beta} + \beta T_2$$

$$R(s) = \frac{(1 + T_1s)(1 + T_2s)}{(1 + \frac{T_1}{\beta}s)(1 + \beta T_2s)} \quad \beta > 1$$