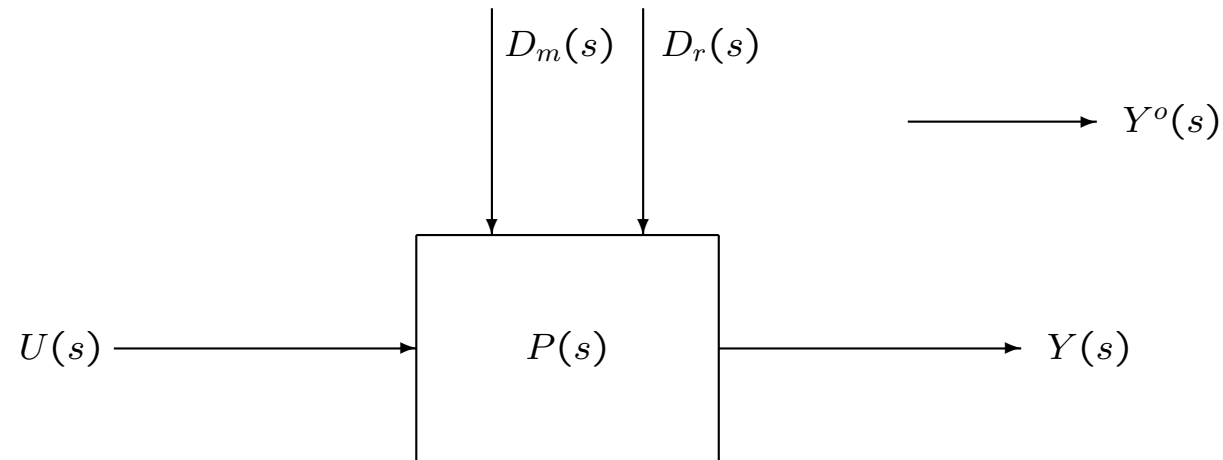


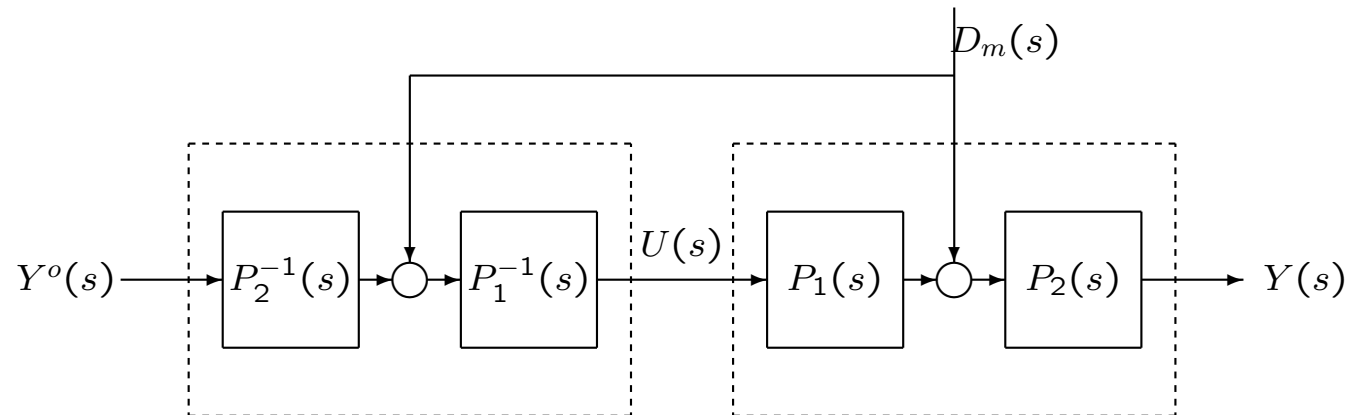
MODELLO COMPLETO PER IL CONTROLLO



- $d_m(t)$: disturbi misurabili
- $d_r(t)$: disturbi non misurabili
- $y^o(t)$: andamento desiderato della variabile controllata
- $u(t)$: variabile di controllo
- $P(s)$: funzione di trasferimento del processo
- Problema del controllo:
 - determinare l'ingresso u in modo che risulti $y \approx y^0$.

CONTROLLO IN CATENA DIRETTA

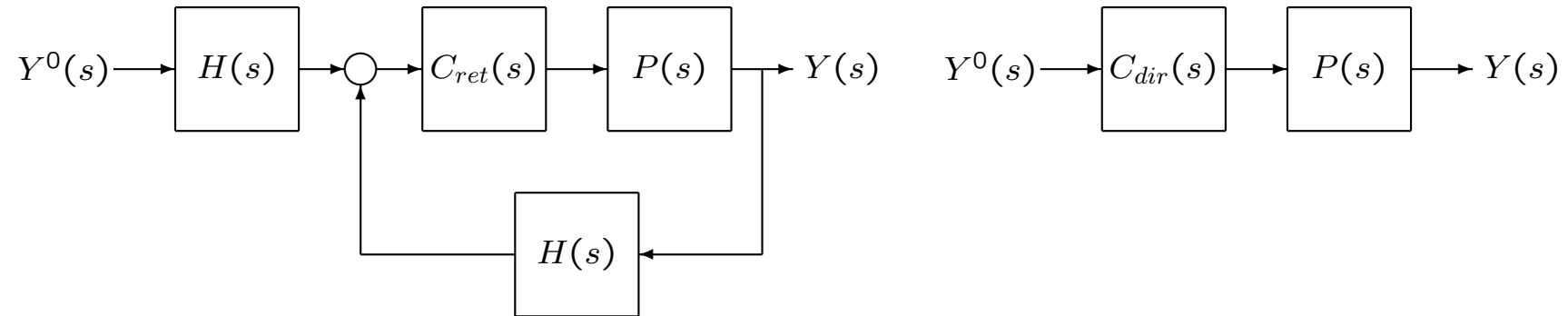
- Soluzione in catena diretta.
 - Ipotesi: poli e zeri con parte reale minore di zero.



- Legge di controllo in assenza di disturbi non misurabili

$$U(s) = \frac{1}{P(s)} Y^o(s) - \frac{1}{P_1(s)} D_m(s)$$

CONTROLLO IN CATENA APERTA VS. CONTROLLO IN RETROAZIONE



- Ipotesi:
 - i due schemi di controllo sono stabili internamente;
 - le funzioni di trasferimento ingresso-uscita soddisfano:

$$\frac{C_{ret}PH}{1 + C_{ret}PH} \approx 1$$

$$C_{dir}P \approx 1$$

CONTROLLO IN CATENA APERTA VS. CONTROLLO IN RETROAZIONE

- Effetto di un disturbo d (non misurabile) sull'uscita
(y_d e y_n sono rispettivamente la risposta al disturbo d e all'uscita desiderata y^0):

controllo in catena diretta:
$$\frac{Y_d}{Y_n} = \frac{1}{C_{dir}P} \frac{D}{Y^0} \approx \frac{D}{Y^0}$$

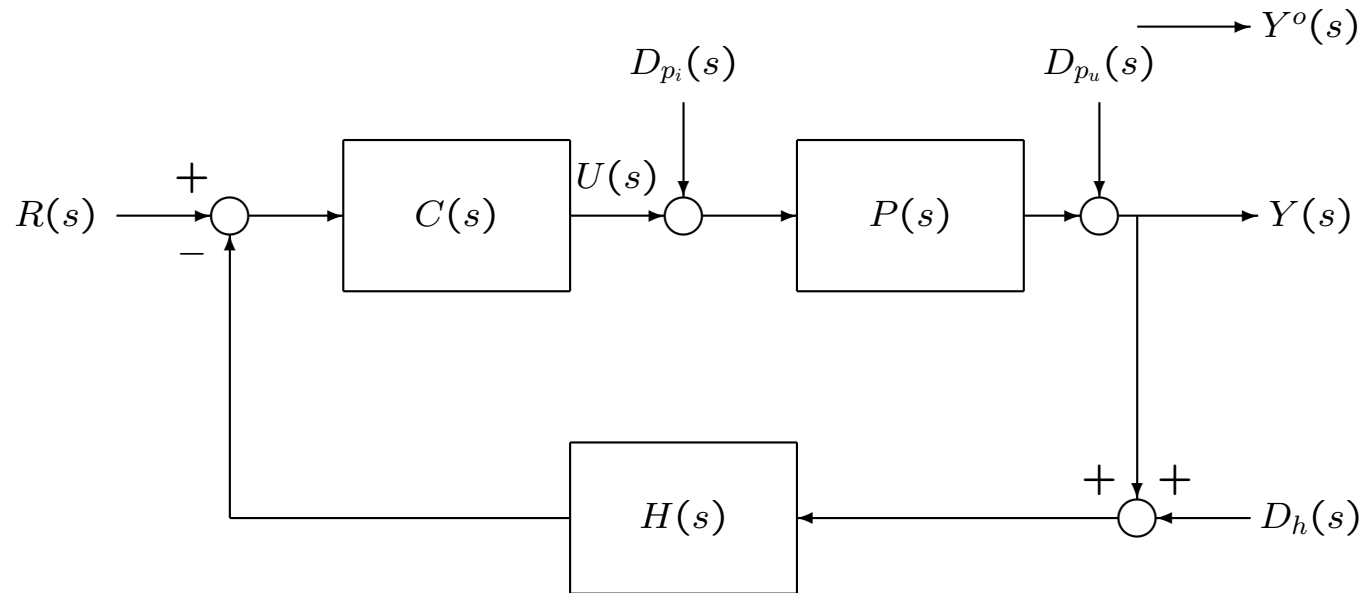
controllo in retroazione:
$$\frac{Y_d}{Y_n} = \frac{1}{C_{ret}PH} \frac{D}{Y^0} \ll \frac{D}{Y^0}$$

- Effetto di una variazione parametrica ΔP dell'impianto P
(Δy è la variazione dell'uscita dovuta a ΔP):

controllo in catena diretta:
$$\frac{\Delta Y}{Y_n} = \frac{\Delta P}{P}$$

controllo in retroazione:
$$\frac{\Delta Y}{Y_n} = \frac{1}{1 + C_{ret}PH} \frac{\Delta P}{P} \ll \frac{\Delta P}{P}$$

SCHEMA DI CONTROLLO IN RETROAZIONE COMPLETO



- Problema del controllo:
determinare la funzione di trasferimento $C(s)$ del controllore in modo che l'andamento di $y(t)$ sia ragionevolmente vicino a $y^o(t)$ per ogni configurazione ammissibile dei disturbi.
- Problema della regolazione:
Caso precedente con l'ipotesi aggiuntiva che $y^o(t) \equiv \text{costante}$.

SPECIFICHE DI CONTROLLO

- Condizione fondamentale: sistema stabile internamente
- Classi di specifiche:
 - Specifiche di precisione:
 - * rapporto desiderato a regime fra il segnale di riferimento e l'uscita;
 - * errori a regime dovuti alla presenza di disturbi.
 - Specifiche di stabilità:
 - * limite alla massima sovraelongazione della risposta al gradino
(picco di risonanza, margine di fase, coefficiente di smorzamento dei poli dominanti)
 - Specifiche di velocità di risposta:
 - * limite al tempo di salita della risposta al gradino
(tempo di assestamento, banda passante)

SINTESI PER TENTATIVI: SPECIFICHE

- Generazione riferimento: $R(s) = H(s)Y^0(s) \implies$ Riduzione schema a retroazione unitaria con

$$L(s) = C(s)P(s)H(s)$$

- Le altre specifiche sono soddisfatte dal compensatore $C(s)$
 - Specifiche tipiche:
 1. Tipo del sistema di controllo: definisce l'ingresso canonico per il quale si ha errore a regime limitato e non nullo.
 2. Entità di tale errore di regime permanente.
 3. Sovroelongazione massima y_p^0 .
 4. Tempo di salita desiderato t_s^0
 - Struttura del compensatore:

$$C(s) = \frac{K_c}{s^h} C'(s) \qquad C'(0) = 1$$

SINTESI PER TENTATIVI: DETERMINAZIONE DI K_c e h

- Determinazione del tipo:
 - Ordine massimo k^r dell'ingresso canonico per il quale si vuole un errore di inseguimento a regime limitato
 - Ordine massimo k_i^d del disturbo canonico in ingresso all'impianto per il quale si vuole un errore a regime limitato
 - Ordine massimo k_u^d del disturbo canonico in uscita dall'impianto per il quale si vuole un errore a regime limitato
 - N_p : numero dei poli in zero dell'impianto
- Determinazione del guadagno di Bode:
 - k_r , k_i^d , k_u^d e N_p
 - Guadagno di Bode K_p dell'impianto e K_h del trasduttore

SPECIFICHE EQUIVALENTI SUL GUADAGNO D'ANELLO

- Specifiche nel dominio del tempo ad anello chiuso:

1. $y_p \leq y_p^0$

2. $t_s = t_s^o$

- Specifiche “equivalenti” nel dominio della frequenza ad anello chiuso ($W(s)$):

1. $M_r \leq M_r^0 \approx y_p^0 / [0.85, 1]$

2. $B_3 = B_3^o \approx 3/t_s^o$

- Specifiche “equivalenti” nel dominio della frequenza ad anello aperto ($C(s)P(s)H(s)$):

1. $m_\phi \geq m_\phi^0$ (diagramma di Bode)

2. $\omega_a = \omega_a^o \approx [0.5, 0.8] B_3^o$

SINTESI PER TENTATIVI: DETERMINAZIONE DI $C'(s)$

- Forma guadagno d'anello:

$$L(s) = C'(s)L'(s)$$

dove

$$L'(s) = \frac{K_c}{s^h} P(s) H(s)$$

- Problema:

- dati il margine di fase desiderato m_ϕ^o e la pulsazione di attraversamento desiderata ω_a^o determinare $C'(s)$ in modo che:

$$|L(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} = 0 \qquad \arg[L(j\omega_a^o)] + \pi = m_\phi^o$$

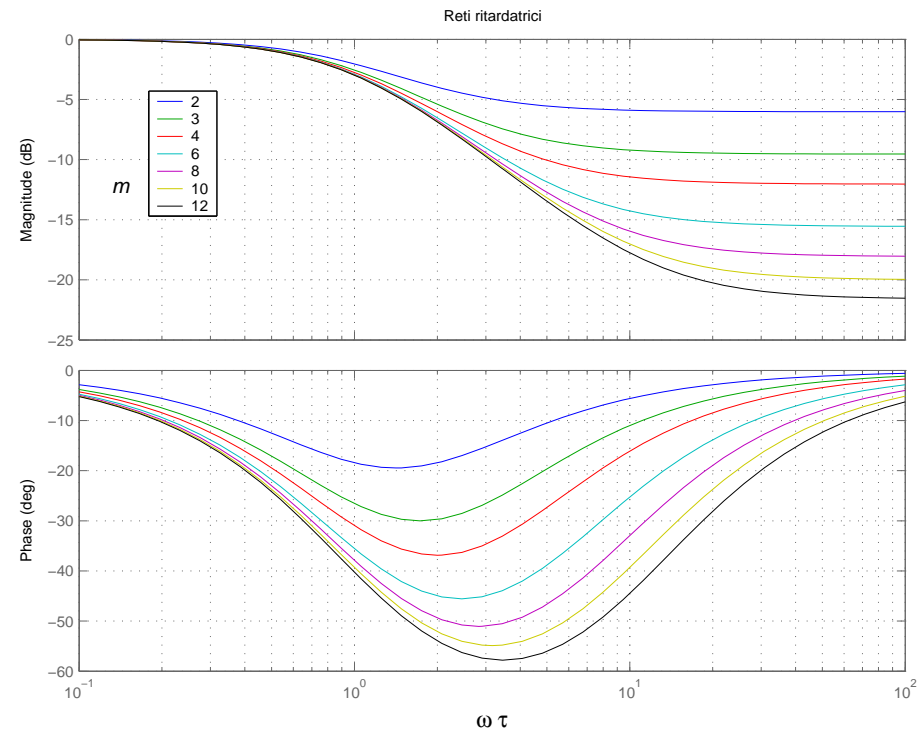
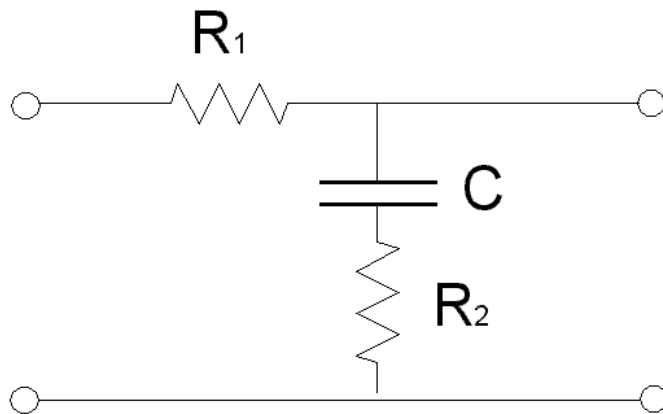
ovvero

$$\begin{aligned} |C'(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} &= -|L'(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} \\ \arg[C'(j\omega_a^o)] &= m_\phi^o - \arg[L'(j\omega_a^o)] - \pi \end{aligned}$$

PRINCIPALI RETI CORRETTRICI: RITARDATRICE

$$C'(s) = \frac{1 + s\tau/m}{1 + s\tau}, \quad m > 1$$

- Realizzazione circuitale:



- Valore dei parametri:

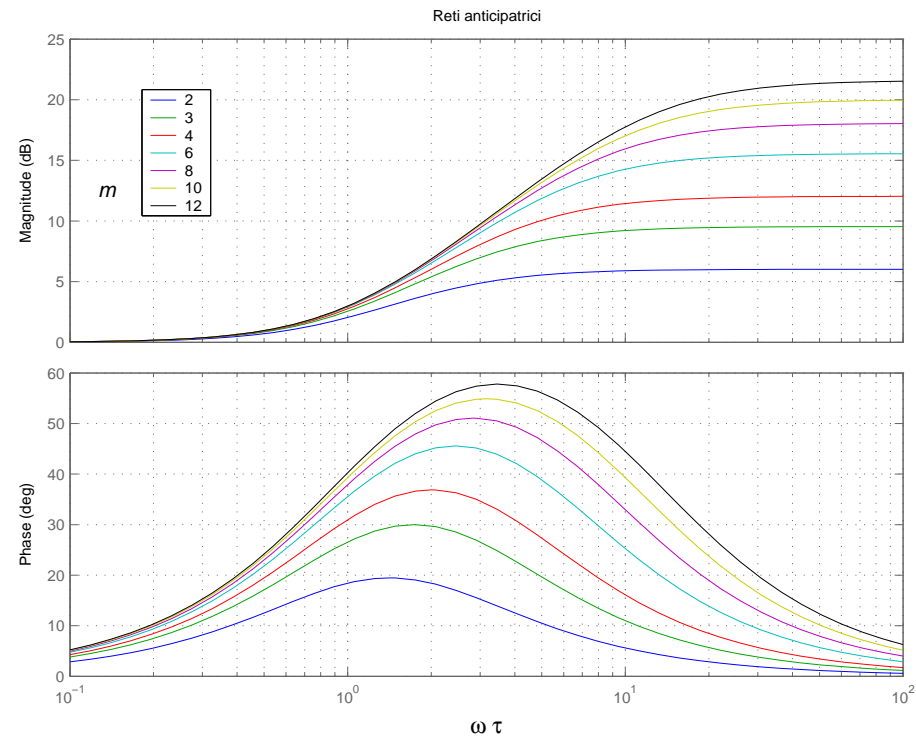
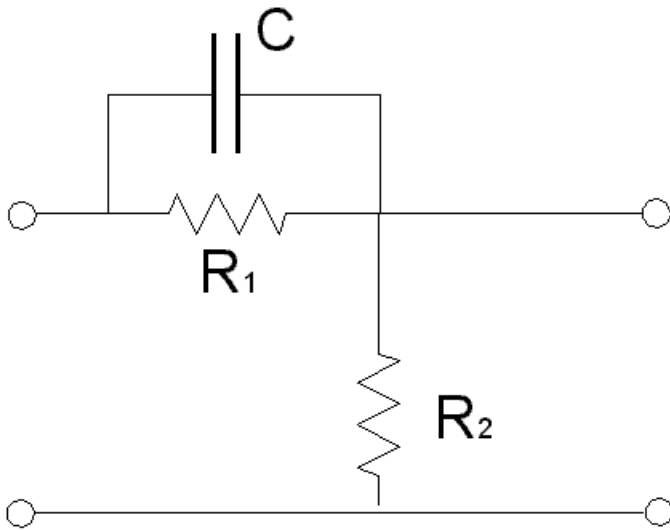
$$\tau = (R_1 + R_2)C,$$

$$m = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

PRINCIPALI RETI CORRETTRICI: ANTICIPATRICI

$$C'(s) = \frac{1 + s\tau}{1 + s\tau/m}, \quad m > 1$$

- Realizzazione circuitale:



- Valore dei parametri:

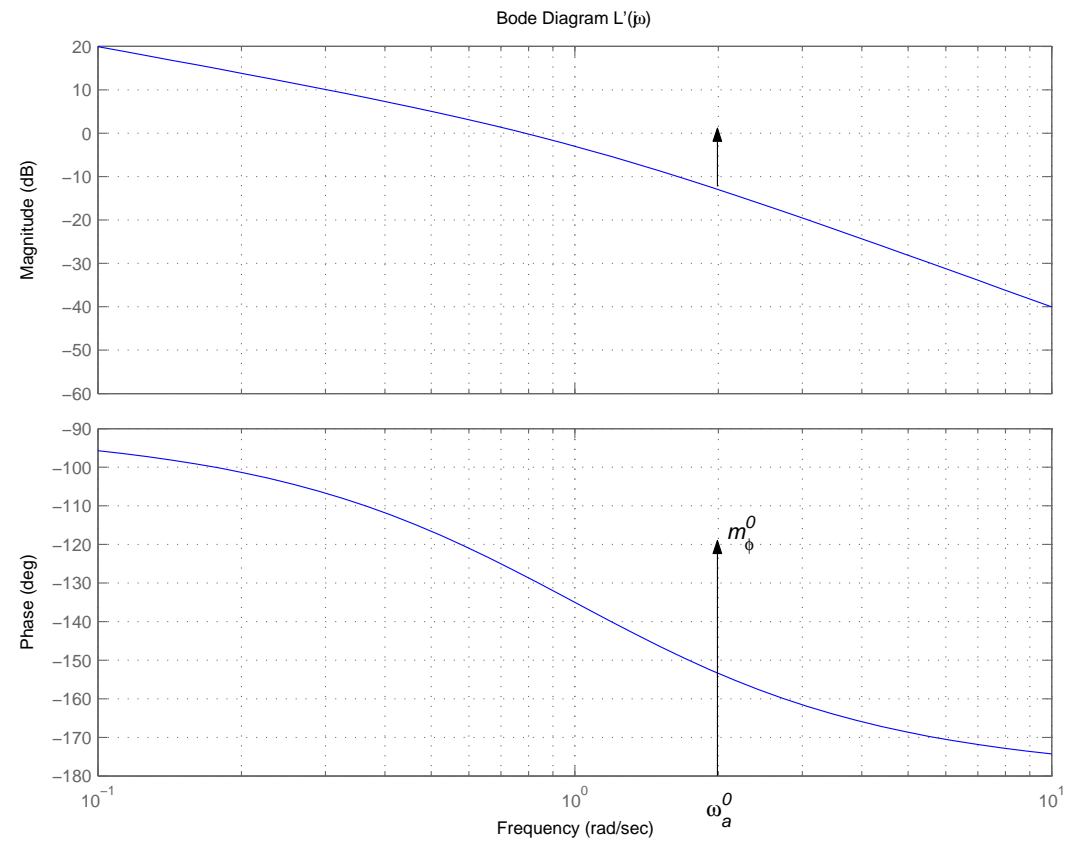
$$\tau = R_1 C, \quad m = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

IMPOSTAZIONE DI ω_a^o E m_ϕ^o

- Caso I

$$|L'(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} \leq 0$$

$$\arg[L'(j\omega_a^o)] + \pi \leq m_\phi^o$$

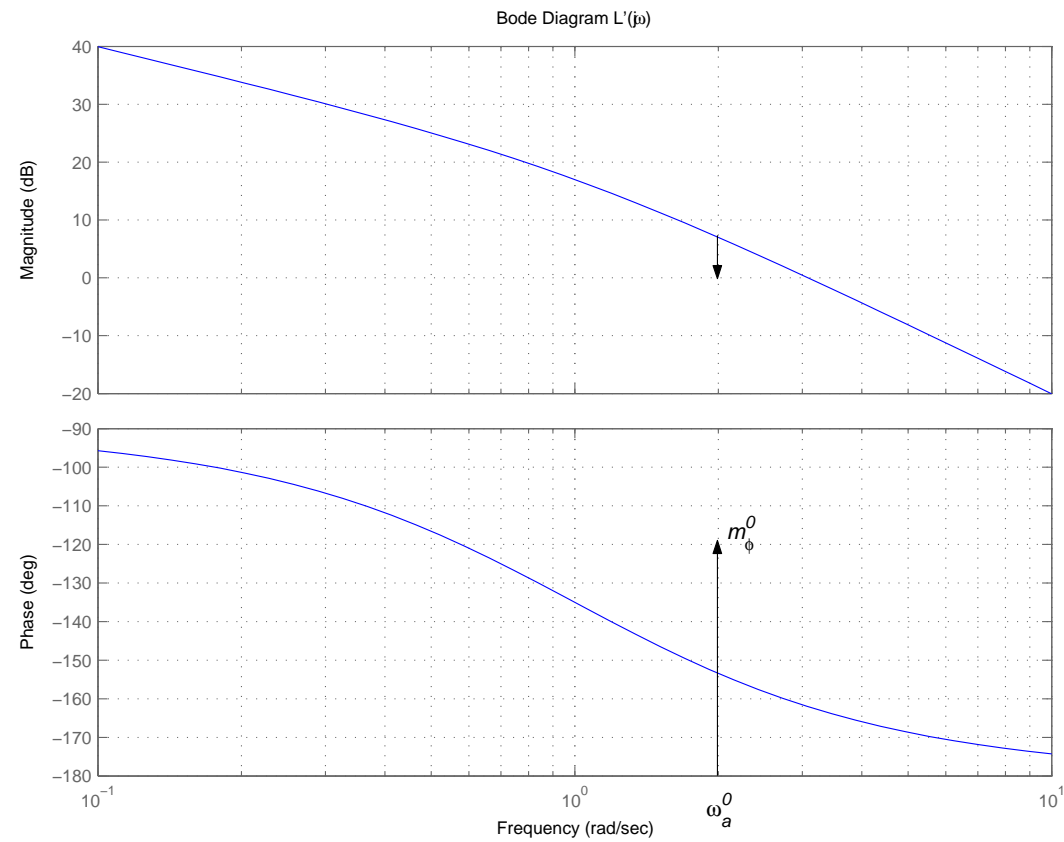


IMPOSTAZIONE DI ω_a^o E m_ϕ^o

- Caso II

$$|L'(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} \geq 0$$

$$\arg[L'(j\omega_a^o)] + \pi \leq m_\phi^o$$

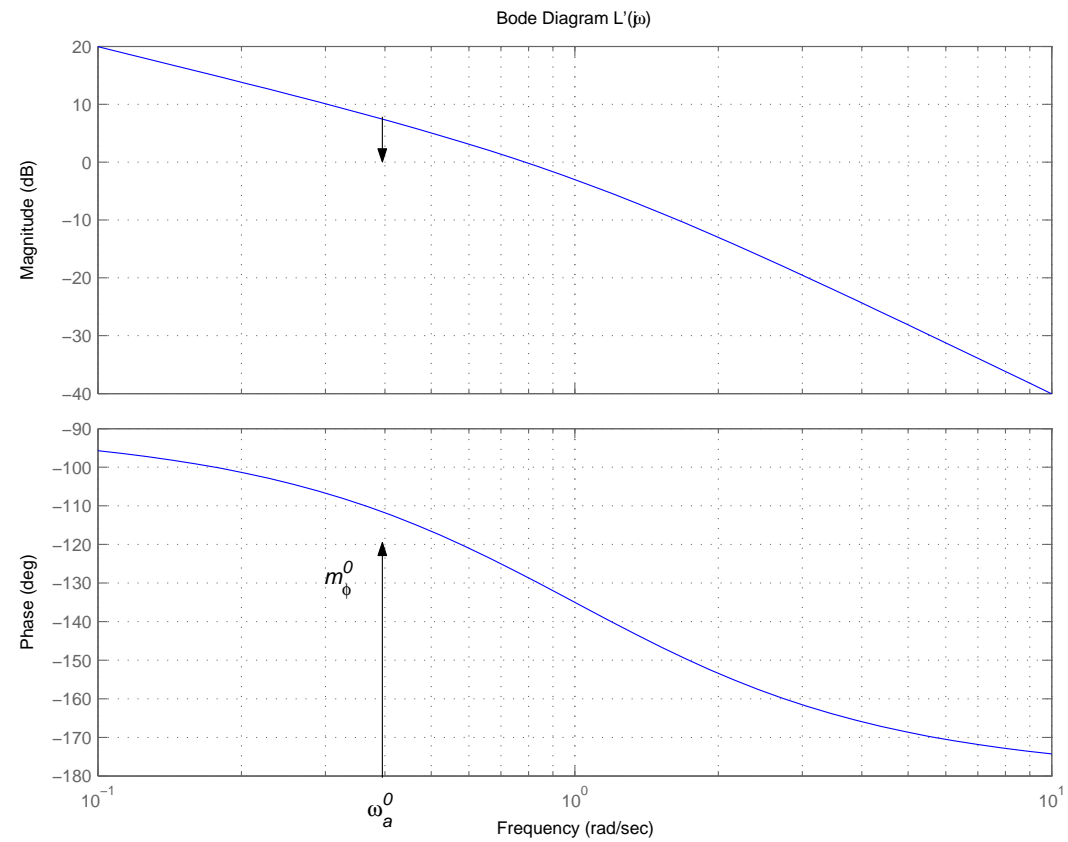


IMPOSTAZIONE DI ω_a^o E m_ϕ^o

- Caso III

$$|L'(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} \geq 0$$

$$\arg[L'(j\omega_a^o)] + \pi \geq m_\phi^o$$

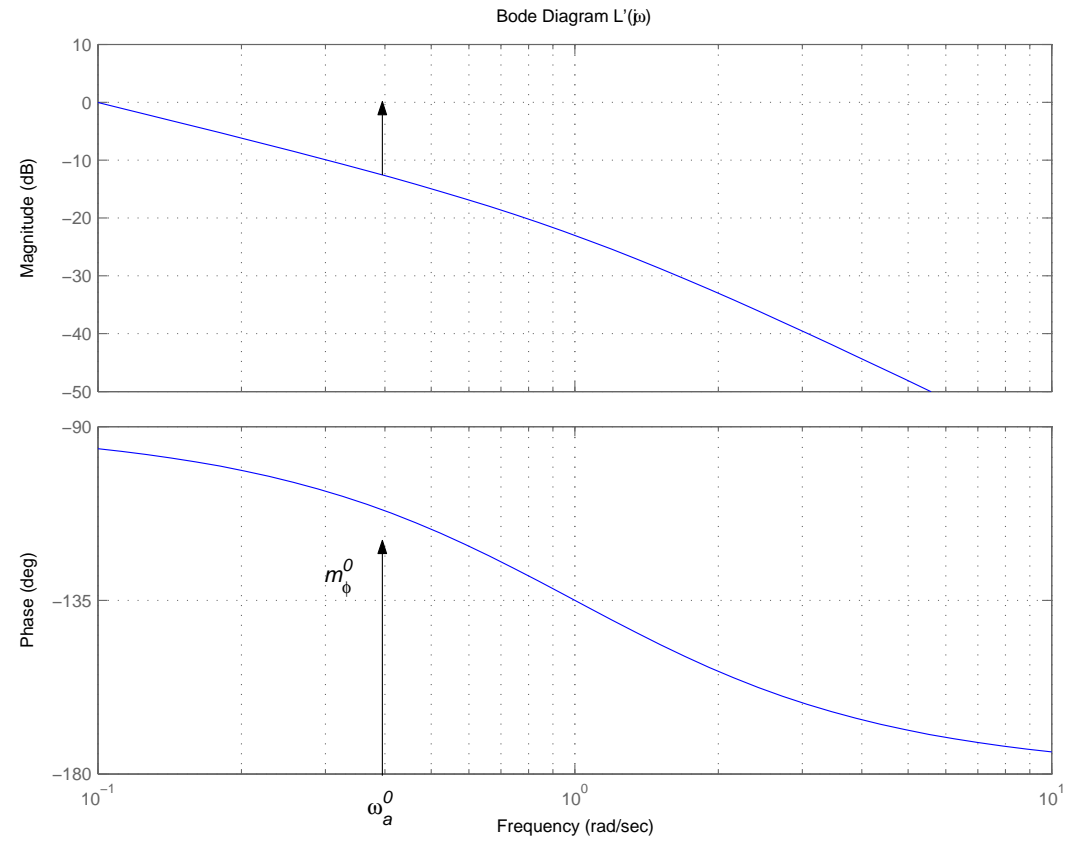


IMPOSTAZIONE DI ω_a^o E m_ϕ^o

- Caso IV

$$|L'(j\omega_a^o)|_{\text{dB}} \leq 0$$

$$\arg[L'(j\omega_a^o)] + \pi \geq m_\phi^o$$



VERIFICA ULTERIORI SPECIFICHE

- Specifica sul massimo valore ammissibile per la funzione di trasferimento fra il riferimento e l'ingresso dell'impianto (saturazione attuatori)

$$|F(j\omega)|_{\text{dB}} = \frac{|C(j\omega)|_{\text{dB}}}{|1 + C(j\omega)P(j\omega)H(j\omega)|_{\text{dB}}} \leq M_u$$

Comportamento alle alte frequenze (disturbi)

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} |C(j\omega)|_{\text{dB}} \leq M_u$$

- Specifica sull'errore in uscita prodotto da disturbi sinusoidali.

Disturbo sull'uscita:

$$d(t) = \sin \omega_d t$$

Specifica:

$$\frac{1}{|1 + C(j\omega_d)P(j\omega_d)H(j\omega_d)|} \leq e_d$$