



## Sommario

- Reti anticipatrici.
- Reti attenuatrici.
- Esempio di correzione con cancellazione di un polo.



## Rete anticipatrice

Come visto, una rete anticipatrice è un controllore con funzione di trasferimento:

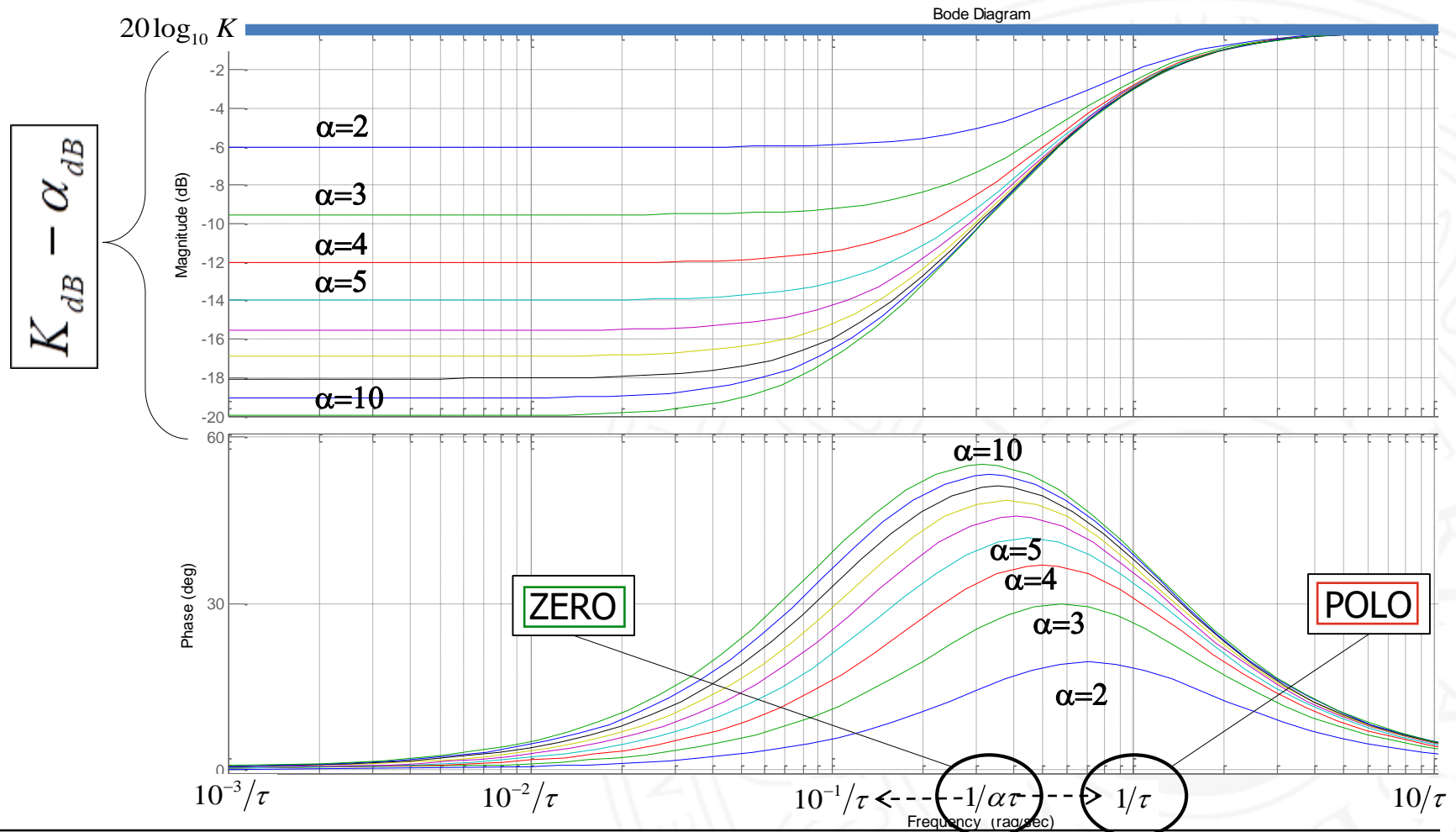
$$G_c(s) = \frac{K}{\alpha} \frac{1 + \alpha\tau s}{1 + \tau s} \quad \begin{matrix} \tau > 0 \\ \alpha > 1 \end{matrix}$$

Una rete anticipatrice ha il vantaggio di aumentare il margine di fase del sistema in controreazione, pertanto è di estrema utilità per migliorare la stabilità del sistema e le prestazioni dinamiche.

Ovviamente c'è un prezzo da pagare: una rete anticipatrice attenua tutte le frequenze a sinistra della frequenza di spezzamento dello zero. Tanto più si cerca di ottenere un margine di fase maggiore (e quindi si aumenta  $\alpha$ ), tanto più il guadagno alle basse frequenze è attenuato.



## Diagrammi di Bode di una rete anticipatrice





## Rete attenuatrice (o ritardatrice) (1/2)

Come visto nella prima parte del corso, una rete attenuatrice è un controllore con funzione di trasferimento:

$$G_c(s) = K \frac{1 + \tau s}{1 + \alpha \tau s} \quad \begin{matrix} \tau > 0 \\ \alpha > 1 \end{matrix}$$

Una rete ritardatrice ha il vantaggio di abbattere il guadagno della funzione ad anello aperto solo alle alte frequenze e pertanto lasciando inalterate le specifiche a regime permanente sull'attenuazione dei disturbi canonici (costante, a rampa, etc.). Una attenuazione del guadagno alle alte frequenze comporta una minore pulsazione di attraversamento. A pulsazioni di attraversamento basse corrispondono in generale alti margini di fase.



## Rete attenuatrice (o ritardatrice) (2/2)

$$G_c(s) = K \frac{1 + \tau s}{1 + \alpha \tau s} \quad \begin{matrix} \tau > 0 \\ \alpha > 1 \end{matrix}$$

Ovviamente c'è un prezzo da pagare: una rete ritardatrice aggiunge un ritardo di fase proprio nell'intervallo delle frequenze dal polo allo zero. Tanto più si cerca di ottenere una bassa pulsazione di attraversamento, tanto più si aumenta  $\alpha$ , tanto più la fase alle frequenze comprese tra il polo e lo zero è ritardata, impattando potenzialmente sul margine di fase e quindi sulla stabilità.

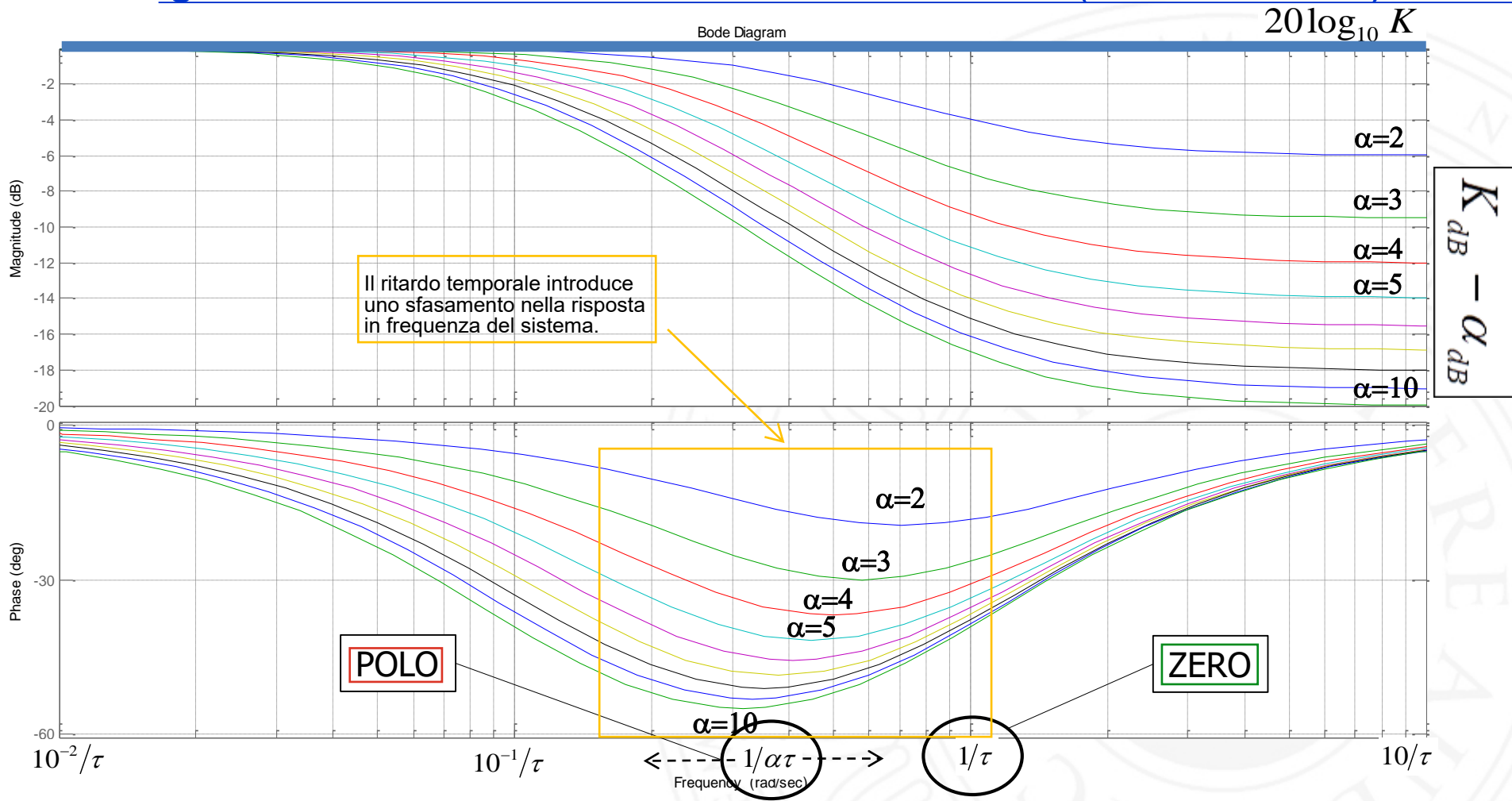
La scelta quindi di utilizzare una rete ritardatrice deve essere ponderata in funzione del duplice effetto che essa produce.

- Il primo effetto è quello di abbassare la pulsazione di attraversamento e quindi di migliorare il margine di fase.
- Il secondo effetto è che il margine di fase è attenuato dalla rete compensatrice soprattutto nelle frequenze comprese tra il polo e lo zero. Pertanto quando si applica una rete ritardatrice si devono verificare i risultati ottenuti considerando entrambi gli effetti.





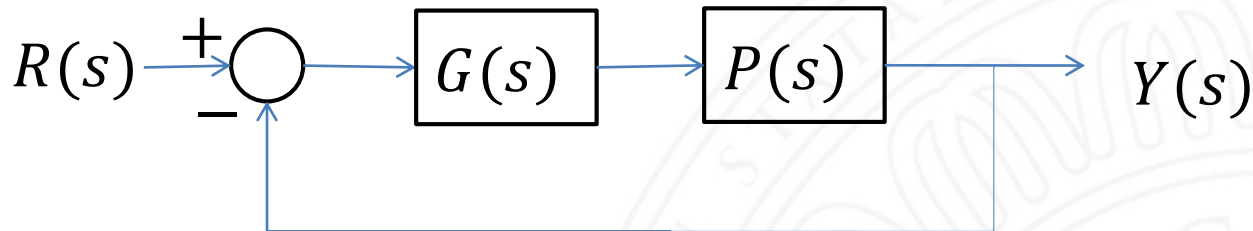
## Diagrammi di Bode di una rete attenuatrice (o ritardatrice)





## Esempio (1/5)

Dato il sistema a controreazione unitaria seguente:



con funzione di trasferimento del processo  $P(s)$  pari a:

$$P(s) = \frac{99}{(1 + 0.001s)(1 + s)(1 + 0.1s)}$$

determinare una rete correttiva affinché la pulsazione di attraversamento  $\omega_t \geq 70 \text{ rad/s}$  e il margine di fase  $m_\phi > 40^\circ$ .



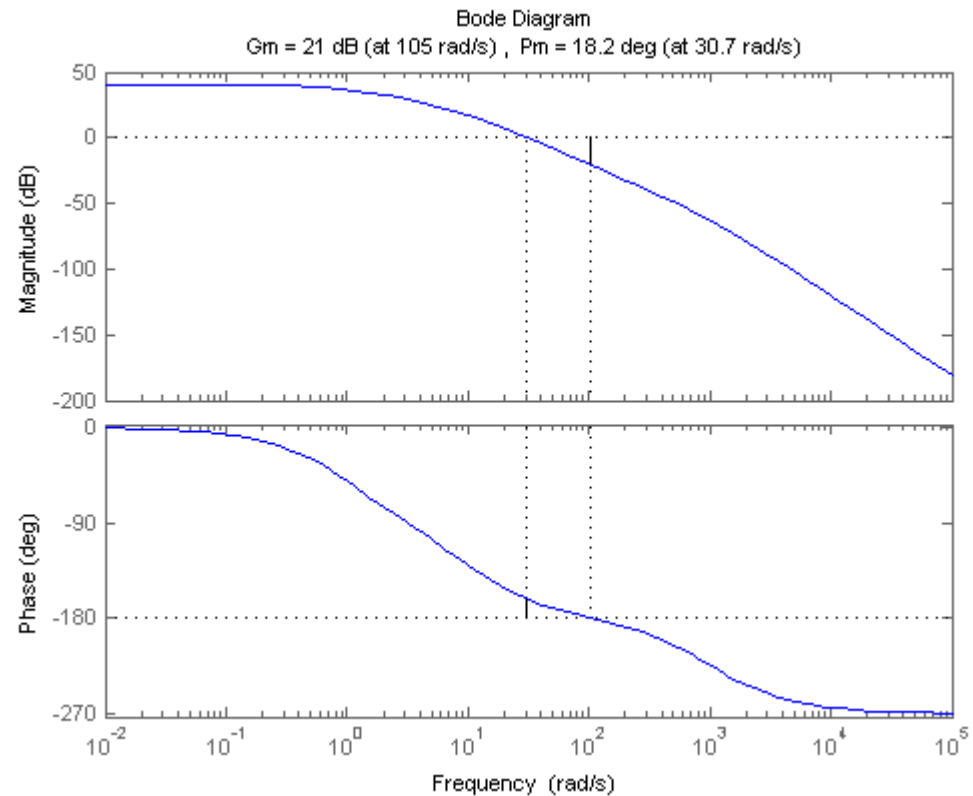
## Esempio (2/5)

Valutiamo innanzitutto a quanto ammontano margine di fase e pulsazione di attraversamento attraverso l'invocazione della funzione MATLAB `margin`.

Il diagramma di Bode è visualizzato a lato.

Notiamo che:

- Il margine di fase è di  $18.2^\circ$ .
- La pulsazione di attraversamento è  $30.7 \text{ rad/s}$ .







## Esempio (3/5)

Entrambi i valori sono più bassi di quelli richiesti quindi è necessario introdurre un controllore a monte del processo  $P(s)$ , in catena diretta.

Analizzando il diagramma di Bode del processo notiamo che per aumentare sia il margine di fase che la pulsazione di attraversamento un metodo possibile è introdurre una **rete anticipatrice**.

- In particolare, poiché la funzione  $P(s)$  ha poli tutti negativi, scegliamo di cancellare l'effetto di diminuzione di fase (e di modulo) di un polo e lo sostituiamo con un polo che abbia effetto a frequenze più elevate (una decade dopo).
- Sostituiamo, quindi, il termine  $1 + 0.1s$  (polo in  $s = -10$ ) con il termine  $1 + 0.01s$  (polo in  $s = -100$ ). Scegliamo quindi,  $\alpha = 10$ ,  $\tau = 0.01$ ,  $K = 10$ .
- Utilizziamo quindi la funzione anticipatrice del tipo:  $G(s) = \frac{1+0.1s}{1+0.01s}$ .



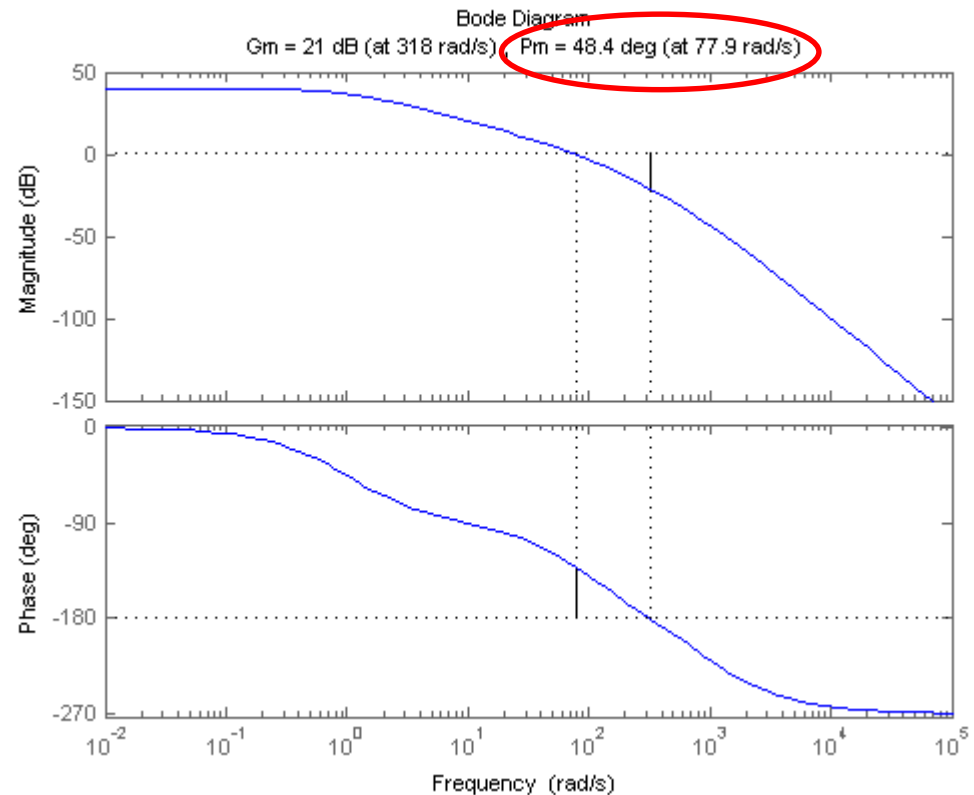
## Esempio (4/5)

La funzione ad anello aperto complessiva risulta essere, dopo la compensazione, la seguente:

$$F(s) = G(s)P(s) = \frac{1+0.1s}{1+0.01s} \cdot \frac{99}{(1+0.001s)(1+s)(1+0.1s)} = \frac{99}{(1+0.001s)(1+s)(1+0.01s)}$$

Valutiamo margine di fase e pulsazione di attraversamento con la funzione `margin` di MATLAB.

Entrambi i valori soddisfano ora le specifiche richieste.

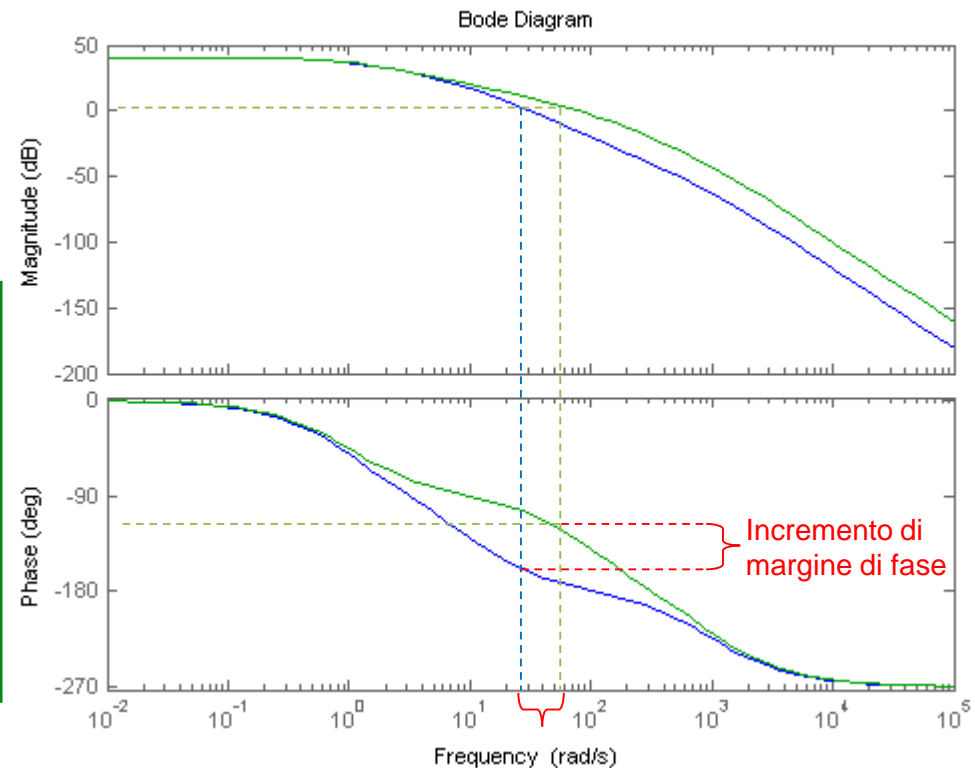




## Esempio (5/5)

In questa slide mostriamo i due diagrammi di Bode, quello non compensato (in blu) e quello compensato (in verde).

Notiamo che la fase ha un incremento sensibile nella fascia centrale della banda di frequenze e, in particolare, risulta aumentato in corrispondenza della pulsazione di attraversamento, anch'essa aumentata.





## Conclusioni

Concludiamo questa lezione affermando che MATLAB (o gli strumenti analoghi di simulazione free) sono uno strumento potente per determinare i controllori che ci permettano di soddisfare determinate specifiche in frequenza.

Infatti si può procedere per tentativi, fermandosi nella ricerca del controllore non appena le specifiche risultino soddisfatte.



# Sessione di studio



# Ripasso

---

Ripassare le lezioni della prima parte del corso riguardanti le reti correttrici.





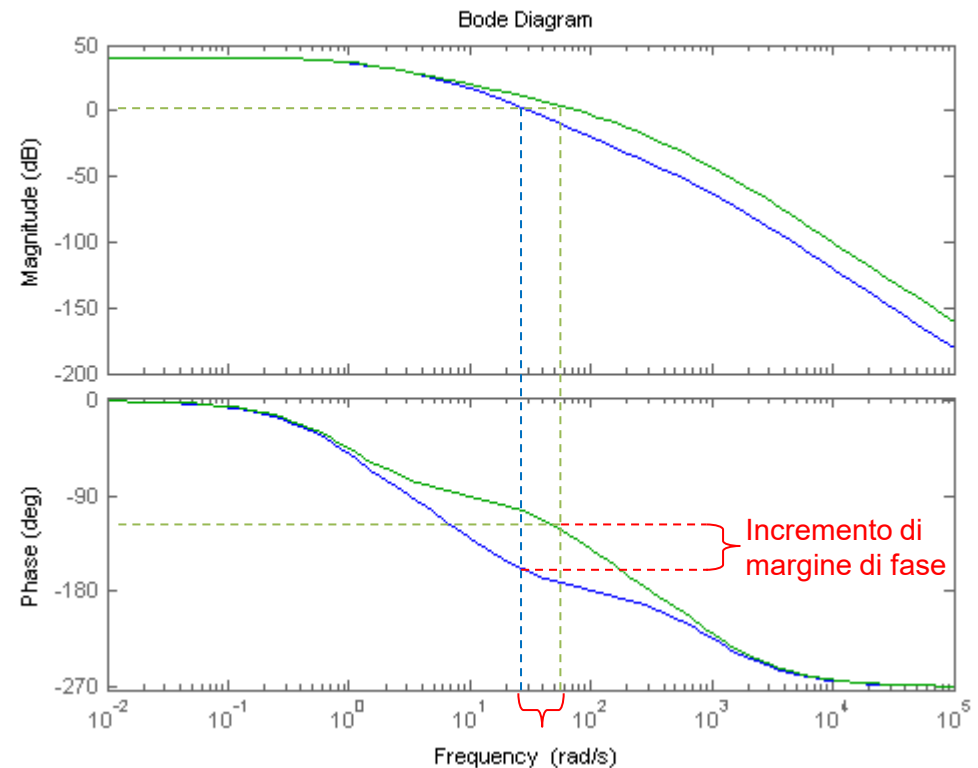
# Sessione di studio



## Esercizio

A partire dall'esempio mostrato a lezione, nel caso in cui non volessimo aumentare la pulsazione di attraversamento ma tenerla costante, su quale parametro del compensatore potreste agire?

A lato sono mostrati i due diagrammi di Bode della funzione non compensata e compensata.



Incremento di pulsazione di attraversamento.



# Sessione di studio



## Esercizio

---

Verificare la stabilità asintotica del sistema complessivo dell'esempio mostrato a lezione, utilizzando il criterio di Nyquist (utilizzare la funzione MATLAB `nyquist`)