

Design semplificato del regolatore di corrente del PMSM

Elia Brescia

November 2025

Si vuole effettuare il design di un regolatore di corrente in anello chiuso del PMSM.

Le specifiche sono:

1. Stabilità del sistema in anello chiuso
2. Imporre una certa banda passante ω_{bp} al sistema.

Per soddisfare la prima specifica, occorre imporre che il margine di fase MF del sistema sia maggiore di zero. Per soddisfare la seconda specifica possiamo imporre un margine di fase vicino ai 90° ed una frequenza di crossover ω_c pari alla banda passante desiderata. Consideriamo infatti il guadagno del sistema in anello chiuso:

$$|T(j\omega)| = \frac{|L(j\omega)|}{|1 + L(j\omega)|} \quad (1)$$

dove $L(s)$ è la f.d.t. in anello aperto del sistema di regolazione della corrente. Notiamo che, esprimendo $L(j\omega_c) = 1e^{Arg(L(j\omega_c))} = 1e^{(MF-\pi)}$, possiamo calcolare il guadagno del sistema in anello chiuso alla pulsazione ω_c come segue:

$$|T(j\omega_c)| = \frac{|L(j\omega_c)|}{|1 + L(j\omega_c)|} = \frac{1}{|1 + 1e^{(MF-\pi)}|} = \frac{1}{\sqrt{(1 + 1\cos(MF - \pi))^2 + \sin^2(MF - \pi)}} = \frac{1}{2\sin(MF/2)} \quad (2)$$

Ci rendiamo che se fosse $MF = \pi/2$, si otterrebbe:

$$|T(j\omega_c)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \implies |T(j\omega_c)|_{dB} = -3 \text{ dB} \quad (3)$$

ossia ω_c corrisponderebbe alla banda passante del sistema in quanto il guadagno sarebbe pari a quello previsto alla banda passante (-3 dB) per definizione. Se scegliessimo pertanto un margine di fase prossimo a $\pi/2$, la banda passante del sistema sarebbe prossima a quella di crossover. Si osservi la Fig. 1 per notare come varia il guadagno della f.d.t. in anello chiuso alla pulsazione ω_c al variare del margine di fase. Come si può notare, per $MF > 60^\circ$ il guadagno diventa negativo e prossimo al guadagno critico ottenuto alla pulsazione ω_{bp} .

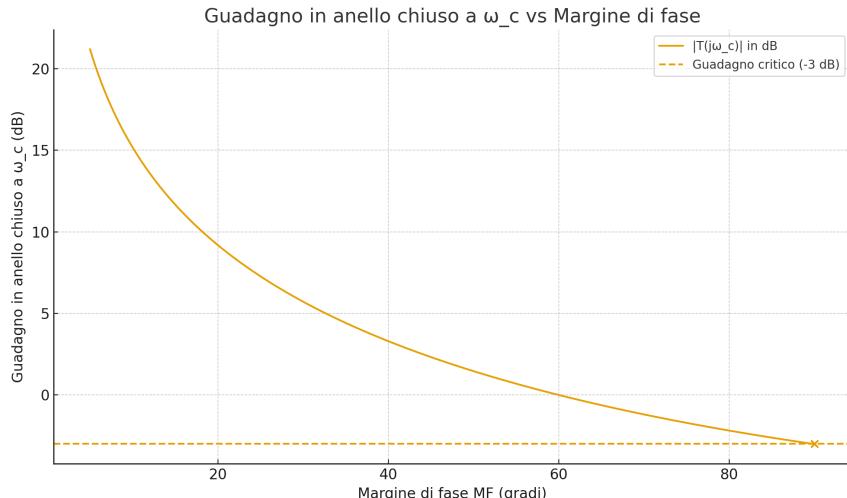


Figura 1: Guadagno del sistema in anello chiuso alla pulsazione di crossover al variare del margine di fase

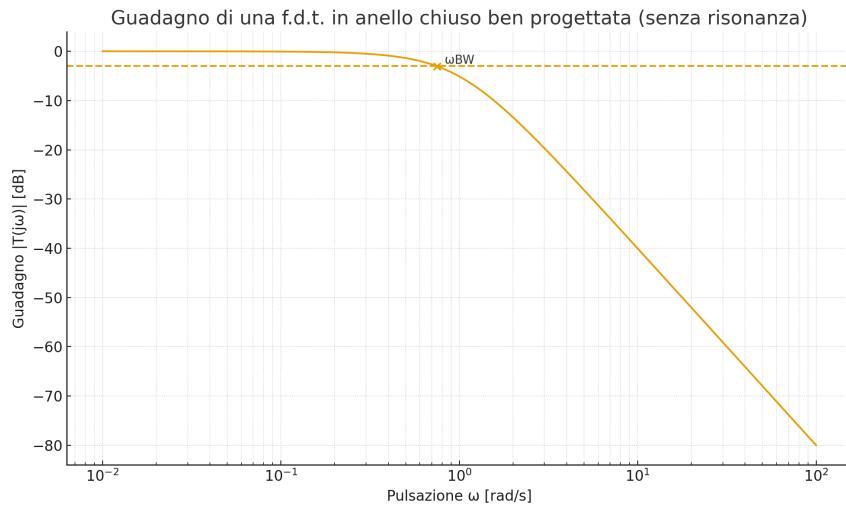


Figura 2: Andamento tipico di un sistema di controllo in anello chiuso

Potremmo chiederci se ω_c approssima ω_{bp} per difetto o per eccesso nel caso in cui sia $0 < MF < \pi/2$. Per rispondere a questo quesito dobbiamo considerare che generalmente il guadagno del sistema in anello chiuso è una funzione monotona decrescente della frequenza, con un andamento tipico riportato in Fig. 2. Poichè per $0 < MF < \pi/2$ risulta $|T(j\omega_c)| > |T(j\omega_{bp})|$ ne consegue allora che $\omega_c < \omega_{bp}$.