

Controlli Automatici T

Progetto gruppo AO — Traccia 3A

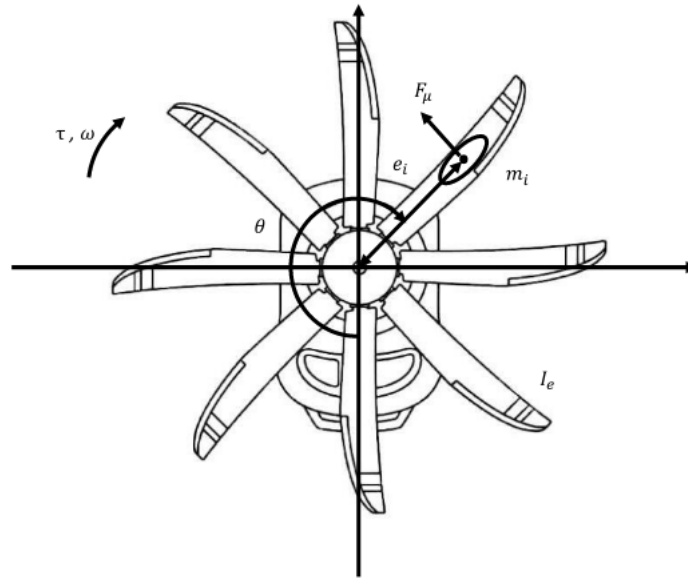
Giacomo Romanini

Guglielmo Palaferri

Luca Tacinelli

Pietro Girotti

30 giugno 2021



1 Linearizzazione nell'intorno di (x_e, u_e)

Il sistema del motore ad elica assegnato è descritto dalle seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= \omega \\ (m_i e_i^2 + I_e) \dot{\omega} &= -\beta \omega - \mu_d m_i \omega^2 e_i^2 + \tau\end{aligned}$$

Si considerano

$$\begin{aligned}x(t) &= \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \\ u(t) &= \tau(t) \\ y(t) &= \omega(t)\end{aligned}$$

Sostituendo i parametri è possibile ottenere le equazioni di stato:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= -\frac{\beta}{(m_i e_i^2 + I_e)} x_2(t) - \frac{\mu_d m_i e_i^2}{(m_i e_i^2 + I_e)} x_2^2(t) + \frac{1}{(m_i e_i^2 + I_e)} u(t)\end{aligned}$$

Inoltre, poiché la dinamica di θ è ininfluente per l'evoluzione del sistema, si conosce $x_e = \begin{pmatrix} 0 \\ 10000/2\pi \end{pmatrix}$ e $y_e = \omega_e = 10000/2\pi$. u_e può essere calcolato ponendo $f_2(x_e, u_e) = 0$:

$$-\beta x_{2e} - \mu_d m_i e_i^2 x_{2e}^2 + u_e = 0 \implies u_e \approx 1110.7222$$

Si procede a questo punto calcolando le matrici del sistema linearizzato:

$$\delta \dot{x}(t) = A \delta x(t) + B \delta u(t)$$

$$A = \left. \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} \right|_{\substack{x=x_e \\ u=u_e}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{\beta}{m_i e_i^2 + I_e} - \frac{\mu_d m_i e_i^2}{m_i e_i^2 + I_e} 2\omega_e \end{bmatrix} \quad B = \left. \frac{\partial f(x,u)}{\partial u} \right|_{\substack{x=x_e \\ u=u_e}} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_i e_i^2 + I_e} \end{bmatrix}$$

$$C = \left. \frac{\partial h(x,u)}{\partial x} \right|_{\substack{x=x_e \\ u=u_e}} = [0 \quad 1] \quad D = \left. \frac{\partial h(x,u)}{\partial u} \right|_{\substack{x=x_e \\ u=u_e}} = [0]$$

2 Funzione di trasferimento

Per calcolare la funzione di trasferimento, si utilizza l'espressione

$$G(s) = C(sI + A)^{-1}B + D$$

dove

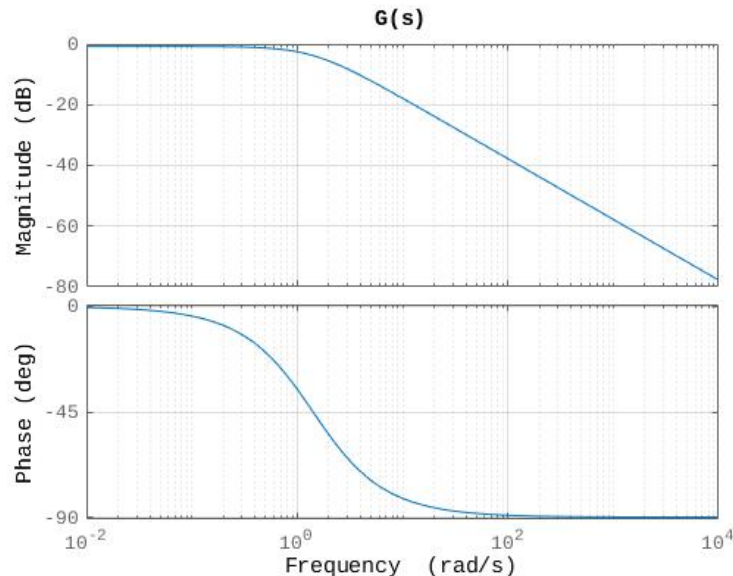
$$(sI - A)^{-1} = \frac{\text{adj}(sI - A)}{\det(sI - A)} = \begin{bmatrix} 1/s & \frac{1}{s(s+1.4139)} \\ 0 & \frac{1}{s+1.4139} \end{bmatrix}$$

Ottenendo quindi la funzione di trasferimento:

$$G(s) = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} 1/s & \frac{1}{s(s+1.4139)} \\ 0 & \frac{1}{s+1.4139} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1.2903 \end{bmatrix} + 0 = \frac{1.2903}{s + 1.4139}$$

Avendo un polo in $s = -1.4139$, è possibile constatare con certezza che il sistema sia BIBO stabile.

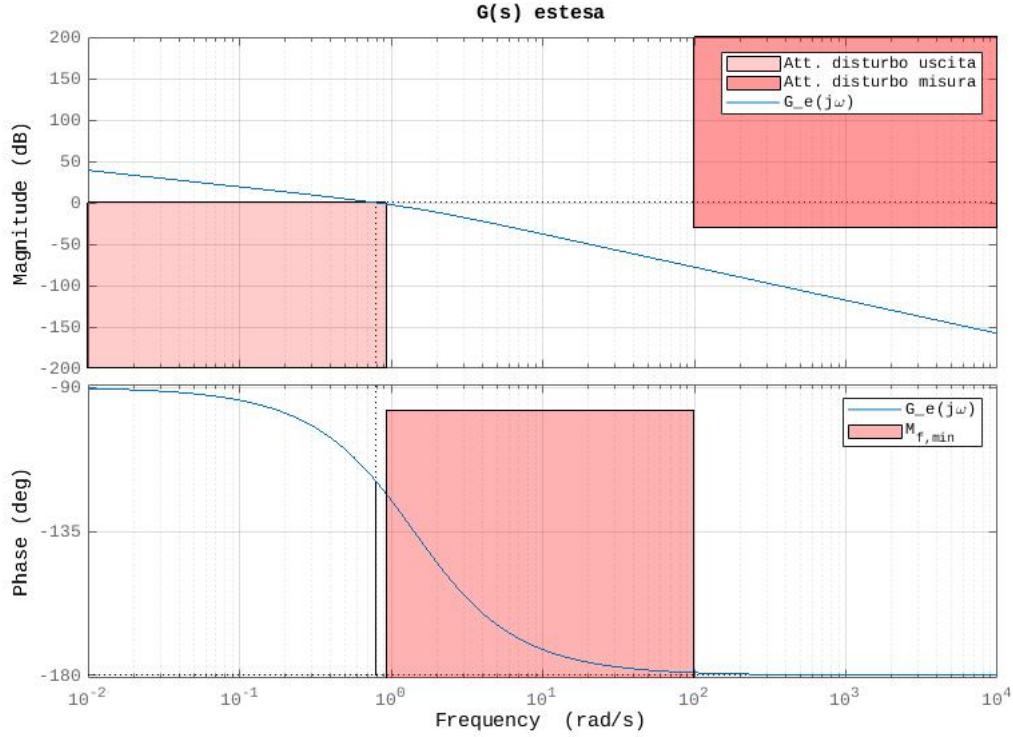
Di seguito il diagramma di Bode della funzione di trasferimento, ricavato tramite MATLAB.



3 Sintesi del regolatore

(3.1) Per ottenere un errore a regime nullo con riferimento a gradino $w(t) = W1(t)$, $L(s)$ deve presentare un polo nell'origine. Avendo un unico polo reale negativo, introduciamo un regolatore statico con un polo nell'origine: $R_s(s) = \frac{1}{s}$ ricavandone quindi $G_e(s)$:

$$G_e(s) = R_s(s)G(s) = \frac{1}{s} \left(\frac{1.2903}{s + 1.4139} \right)$$



(3.2) Come si può notare, il sistema esteso rispetta le specifiche iniziali sul margine di fase ($M_f \geq 45^\circ$)

(3.3) La sovralongazione percentuale massima accettabile è pari all'1%. Da questo ricaviamo un nuovo vincolo sul margine di fase, sapendo che $M_f = \xi \cdot 100$

$$\xi^* = \sqrt{\frac{(\ln(0.01))^2}{\pi^2 + (\ln(0.01))^2}} = 0.8261$$

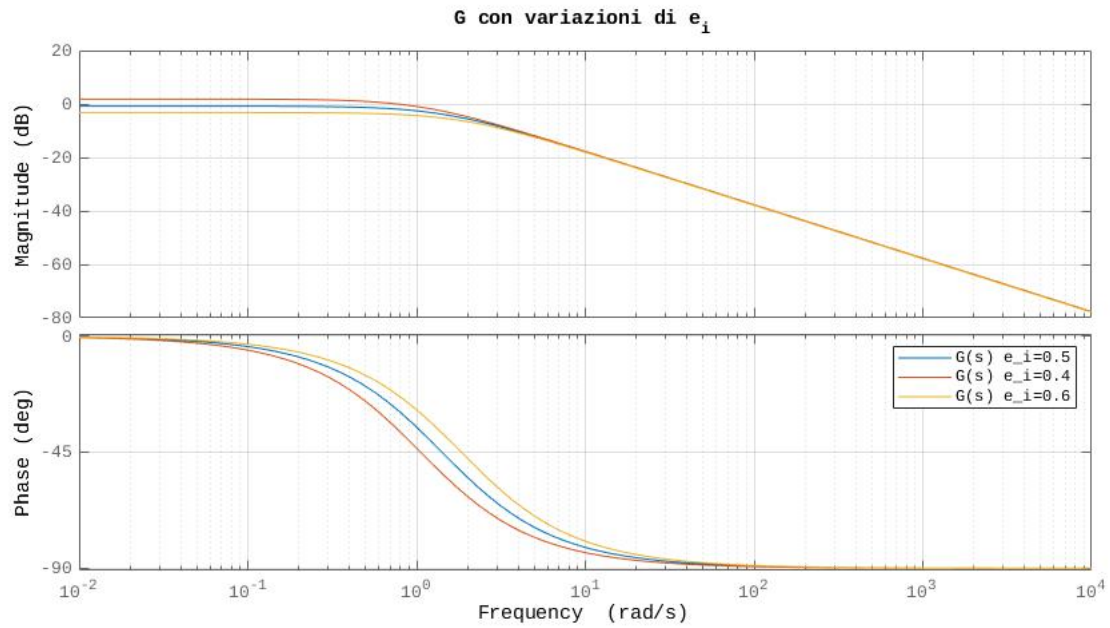
$$M_f = \xi \cdot 100 \implies M_{f,min}^* = 0.8261 \cdot 100 = 82.61 \implies \arg(L(j\omega_c)) \geq -97.39^\circ$$

Il nuovo vincolo sul margine di fase introduce quindi un minimo non rispettato dal sistema esteso.

(3.4) Il tempo di assestamento all'1% deve essere mantenuto al di sotto dei 6 secondi. Posso quindi ottenere $\omega_{c,min}$

$$T_{a,1} = 6 \implies \omega_c \geq \frac{460}{6 \cdot 82.61} \implies \omega_c \geq 0.9281$$

(3.5) Considerando variazioni del parametro e_i di ± 0.1 , si ottiene il seguente grafico:



4 Disturbo di misura

Il disturbo di misura presenta componenti frequenziali $\geq 100 \text{ rad/s}$ e deve essere abbattuto di almeno 30 volte. Di conseguenza a frequenze $\omega \geq 100 \text{ rad/s}$, il grafico di $L(j\omega)$ non potrà avere ampiezze maggiori di -30 dB