

Progetti di Controlli Automatici - T

Anno Accademico 2020/2021

Tipologia IV: Controllo di velocità di un rotore ad asse orizzontale con deformazione

Nella costruzione di un motore ad elica, sul rotore in questione si è riscontrata la presenza di una deformazione su una delle pale che causa un'eccentricità. Quest'ultima provoca delle nonlinearità nel sistema da dover controllare.

In particolare, si deve costruire un controllore per ottenere una velocità angolare ω costante nel tempo nonostante le imperfezioni riscontrate. In Fig.1 è riportato lo schema della deformazione presente sull'elica. In questo caso, a causa dell'azione gravitazionale, tale deformazione sviluppa una coppia il cui modulo dipende dall'angolo di rotazione del rotore.

Le equazioni della dinamica semplificata sono riportate in (1)

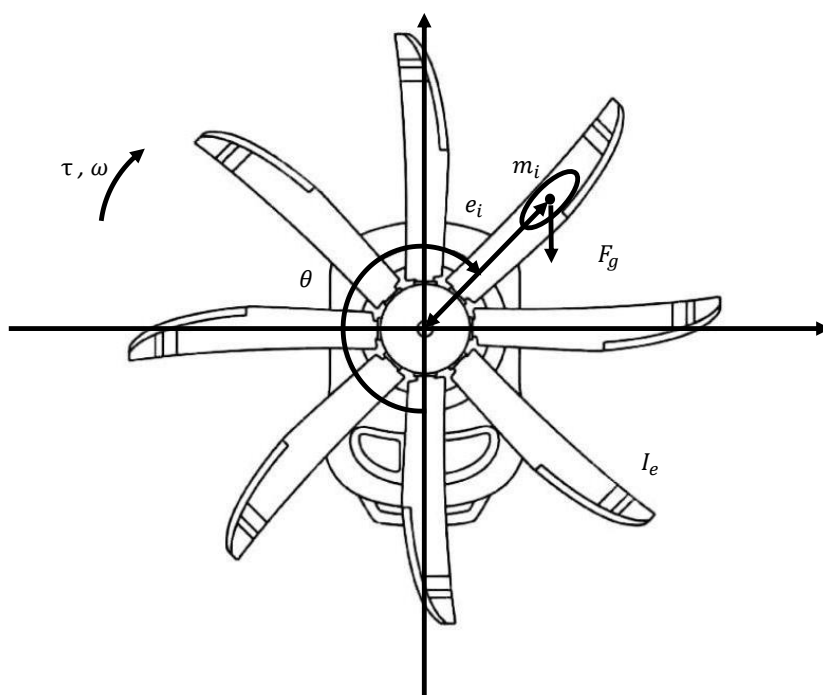


Figura 1: Rappresentazione dello schema dell'elica dell'aereo e l'effetto dell'imperfezione sul moto.

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= \omega \\ (m_i e_i^2 + I_e) \dot{\omega} &= -\beta \omega - g m_i e_i \sin(\theta) + \tau\end{aligned}\tag{1}$$

dove θ e ω sono rispettivamente l'angolo e la velocità di rotazione (le variabili di stato), τ è la coppia applicata al rotore e quindi sarà l'input al sistema, mentre i parametri fisici I_e , m_i , e_i , β , g sono rispettivamente il momento di inerzia delle eliche senza deformazione, la massa concentrata dell'imperfezione, la distanza della massa dall'asse di rotazione e l'accelerazione gravitazionale. Nel sistema è presente un sensore di velocità angolare da utilizzare per la sintesi del controllore: quindi $y = \omega$.

Ai fini dello sviluppo del controllo dell'impianto si vuole ottenere la struttura riportata in Fig. 2. *Punto 1:* Si linearizzi il sistema non lineare (2) nell'intorno della coppia di equilibrio (x_e, u_e) . Il modello (2),

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x, u) \\ y &= h(x, u)\end{aligned}\quad (2)$$

dovrà quindi essere linearizzato nell'intorno di (x_e, u_e) , così da ottenere il sistema linearizzato:

$$\begin{aligned}\delta\dot{x} &= A\delta x + B\delta u \\ \delta y &= C\delta x + D\delta u\end{aligned}\quad (3)$$

con opportuni valori delle matrici A, B, C, D .

Punto 2: Dalla rappresentazione nello spazio degli stati sarà poi necessario passare nello spazio

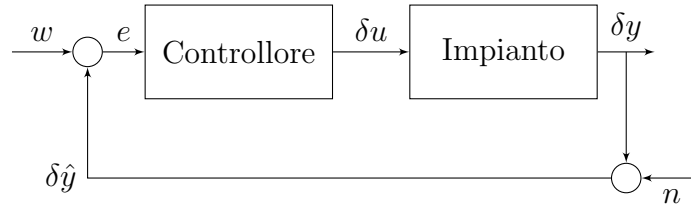


Figura 2: Struttura di controllo tipologia 4

delle frequenze utilizzando così una funzione di trasferimento (4) e tutti i tool relativi per la sintesi del controllore.

$$\begin{aligned}\delta y &= (C(sI - A)^{-1}B + D)\delta u \\ &= G(s)\delta u.\end{aligned}\quad (4)$$

Punto 3: Nella progettazione del regolatore per il sistema linearizzato si considerino le seguenti specifiche:

- 1 Errore a regime nullo con riferimento a gradino $w(t) = W1(t)$.
- 2 Per garantire una certa robustezza del sistema si deve avere un margine di fase $M_f \geq 45^\circ$.
- 3 Il sistema può accettare un sovralongazione percentuale al massimo dell' $S\%$: $S_{\%} \leq S\%$.
- 4 Il tempo di assestamento all' $h\%$ può essere tenuto relativamente basso: $Ta_{h\%} = T_a[s]$.
- 5 Garantire i criteri di robustezza al fine di mantenere le specifiche sopra elencate a variazioni del parametro I_e di ± 0.1

Punto 4: Il sensore in dotazione presenta un disturbo (di misura) con componenti frequenziali superiori o uguali a $\omega_n[rad/s]$, per il quale si deve garantire un abbattimento di almeno A_n volte. Per i test in simulazione si supponga di avere rumori sinusoidali di ampiezza M_n .

Punto 5: Una volta completata la sintesi del sistema di controllo questo deve essere provato, in presenza del rumore di misura, sul modello non lineare per valutarne l'efficienza nell'intorno del punto di equilibrio.

Punto opzionale:

- Sviluppare (in Matlab) un'interfaccia grafica di animazione in cui si mostri l'andamento del transitorio dell'elica durante il passaggio dal punto di equilibrio (\bar{y}) al nuovo punto di equilibrio ($\bar{y} + W1(t)$). Per ottenere qualcosa di fruibile basterà mostrare la variazione di velocità angolare ($y(t) - \bar{y}$) e quindi, far ruotare l'elica nell'animazione alla velocità ($y(t) - \bar{y}$) durante questo transitorio.
- Esplorare il range di condizioni iniziali (nell'intorno del punto di equilibrio) del sistema non lineare controllato tali per cui l'uscita converge comunque al punto di equilibrio prefissato.
- Esplorare il range di variazioni del riferimento ΔW nell'intorno del punto di equilibrio tali per cui il controllore rimane efficace sul sistema non lineare.

Caratteristiche impianto			
	a	b	c
m_i	0.1	NaN	NaN
e_i	0.5	NaN	NaN
β	2	NaN	NaN
I_e	0.75	NaN	NaN
W	5	NaN	NaN
ω_n	100	NaN	NaN
M_n	0.02	NaN	NaN
A_n	30	NaN	NaN
$h\%$	1	NaN	NaN
$Ta_h\%$	4	NaN	NaN
S	1	NaN	NaN
θ_e	0	NaN	NaN
ω_e	0	NaN	NaN

Tabella 1: Parametri per la tipologia 4