

Progetti di Controlli Automatici - T

Anno Accademico 2020/2021

Tipologia III: Controllo di velocità di un rotore ad asse verticale con deformazione sull'elica

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 sulla pala. In questo caso, tale deformazione sviluppa, con la velocità di rotazione del rotore una forza centrifuga apparente che aumenta la pressione sui cuscinetti installati procurando così una forza d'attrito dipendente dal quadrato della velocità di rotazione.

Le equazioni della dinamica sono riportate in (1)

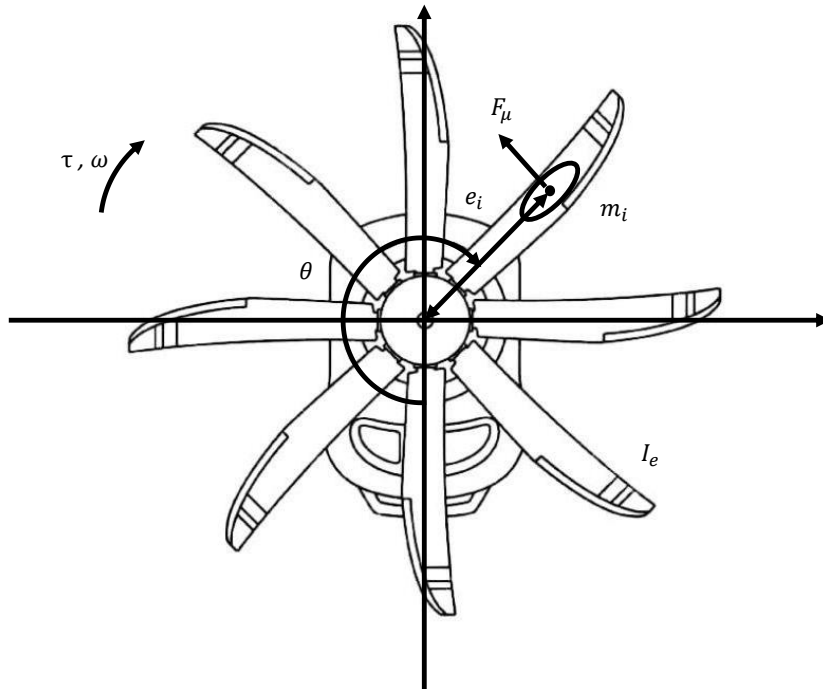


Figura 1: Rappresentazione dello schema dell'elica del rotore e l'effetto dell'imperfezione sul moto.

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

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 , μ_d sono rispettivamente il momento di inerzia delle eliche senza deformazione, la massa concentrata dell'imperfezione, la distanza della massa dall'asse di rotazione e il coefficiente di attrito dinamico. 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

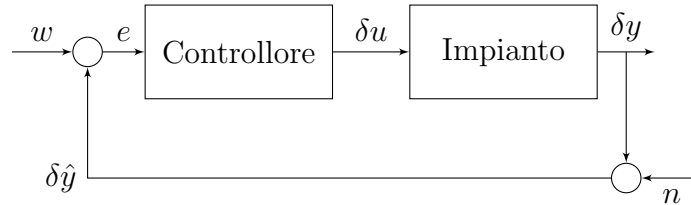


Figura 2: Struttura di controllo tipologia 3

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 e_i 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	NaN	NaN	0.15
e_i	NaN	NaN	0.47
β	NaN	NaN	0.3
I_e	NaN	NaN	0.75
μ_d	NaN	NaN	0.012
W	NaN	NaN	4
ω_n	NaN	NaN	120
M_n	NaN	NaN	0.025
A_n	NaN	NaN	30
$h\%$	NaN	NaN	1
$Ta_h\%$	NaN	NaN	4
S	NaN	NaN	1
$\theta(0)$	NaN	NaN	$-\frac{\pi}{2}$
ω_e	NaN	NaN	1590

Tabella 1: Parametri per la tipologia 3