

Controlli Automatici
Prof. Paolo Rocco
Elaborato

Il problema

Nelle turbine eoliche sottoposte a condizioni di vento variabile, si può ottimizzare la produzione di energia agendo sull'inclinazione delle pale. Una turbina eolica a velocità variabile a tre pale con raggio di 15 m, con velocità del vento di 12 m/s, ammette il seguente modello matematico, linearizzato nell'intorno di un punto di equilibrio¹:



$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u$$

$$y = \mathbf{c}\mathbf{x}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ 0 & a_5 & a_6 & -a_4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{c} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

dove le variabili di stato \mathbf{x} sono:

$$\mathbf{x} = [\beta \quad \xi \quad \dot{\xi} \quad \omega_g]$$

β : angolo di inclinazione delle pale

ξ : angolo dell'albero motore secondario

ω_g : velocità del generatore

La variabile di ingresso u è il riferimento dell'angolo di inclinazione, l'uscita y è la potenza attiva generata, in un'unità di misura normalizzata.

Svolgimento dell'elaborato

1. Si verifichino le proprietà strutturali (stabilità, raggiungibilità, osservabilità) del sistema;
2. Per il sistema dato, si progetti uno schema ad assegnamento degli autovalori, secondo i seguenti passi:
 - a. si progetti una legge di controllo che, agendo su tutto lo stato del sistema, posizioni due autovalori in anello chiuso alla pulsazione degli autovalori complessi in anello aperto, ma a smorzamento 0.7. Gli altri due autovalori vanno posizionati alla pulsazione dell'autovalore reale in anello aperto a più alta frequenza, sempre a smorzamento 0.7. Si simuli una condizione iniziale con $\beta = 0.05$ e le altre variabili di stato nulle;
 - b. si progetti un ricostruttore dello stato che, misurando y , assegni gli autovalori della dinamica dell'errore di stima dello stato tutti a smorzamento 0.7, ma di un fattore 5 più in alta frequenza rispetto a quelli scelti al punto precedente.
 - c. si chiuda la legge di controllo progettata al punto a. sullo stato ricostruito come al punto b. e si confronti il transitorio con quello ottenuto al punto a.
3. Si determini la funzione di trasferimento da u a y e se ne valuti il guadagno;
4. Si supponga ora di controllare il sistema con un controllore PI di funzione di trasferimento $R_2(s) = K_p(1+sT_I)/(sT_I)$. Si progetti il regolatore posizionando opportunamente lo zero del PI e selezionando il guadagno del controllore in modo da ottenere una pulsazione critica che garantisca un margine di fase di 50°;
5. Si proponga una realizzazione digitale del controllore determinato al punto precedente. Si assuma una frequenza di campionamento opportuna e si confrontino la risposta in frequenza del regolatore a tempo continuo con quella del regolatore digitale;
6. Si simuli il sistema di controllo digitale con un opportuno schema Simulink (si trascurino gli effetti della quantizzazione nei convertitori A/D e D/A). Si simuli la risposta del sistema a uno scalino di riferimento unitario.

¹ Da: "Control Systems Engineering", Norman S. Nise, John Wiley, Sixth Edition

Modalità di svolgimento dell'elaborato

1. Gli studenti utilizzano il set di dati fisici su cui eseguire il progetto corrispondente al loro cognome secondo la tabella riportata nel file dati_fisici.pdf e svolgono singolarmente e in autonomia l'elaborato, cercando di coprire il maggior numero di punti possibile (non necessariamente tutti);
2. Al termine gli studenti inviano via e-mail al docente (paolo.rocco@polimi.it) i file .m contenenti tutti i dati per l'inizializzazione degli impianti di simulazione e i file Simulink (.mdl) contenenti gli impianti di simulazione stessa. I file devono essere accompagnati da una breve relazione illustrativa in formato pdf, in cui deve essere riportato il nome dell'autore;
3. Nella mail specificare la versione di Matlab con cui i file sono stati generati;
4. L'invio dei file deve avvenire almeno tre giorni lavorativi prima della data dell'appello d'esame a cui lo studente si iscrive.