

# Laboratorio di Controlli 2

Esercitazione n. 2:

Progettazione di un controllo LQ per un giunto flessibile

Luca Schenato  
Email: schenato@dei.unipd.it  
30 marzo 2010

---

## 1 Scopo

L'obiettivo di questo laboratorio è di procedere alla progettazione di un regolatore tramite controllo ottimo LQ per un giunto flessibile attuato da un motore elettrico a corrente continua controllato in tensione. In particolare si vogliono analizzare le differenze di progettazione utilizzando differenti tecniche di progettazione per i pesi  $Q$  and  $r$  del funzionale di costo  $\int_0^\infty x^T(t)Qx(t) + ru^2(t) dt$ .

## 2 Documentazione utile

Per la progettazione del controllore LQ si vedano gli appunti delle lezioni ed eventualmente i Capitoli 8 e 9 del libro "Optimal Control" di B. Anderson.

## 3 Modello

Si proceda alla costruzione del modello in spazio di stato per il giunto flessibile attuato dal motore elettrico, utilizzando come ingresso la tensione del motore  $u$  [Volt] e come uscite la tensione dei due potenziometri  $y_1, y_2$  [Volt]. Si usino i valori di targa forniti ed i valori di flessibilità del giunto ottenuti in laboratorio.

## 4 Specifiche di prestazione

Si vogliono progettare due distinti regolatori, uno per  $\theta_g$  (angolo giunto) ed uno per  $\theta_\ell$  (angolo motore) per l'iseguimento di un segnale di riferimento  $r$  che soddisfino le seguenti specifiche:

- tempo di salita:  $t_s \leq 0.25$  [sec]
- tempo di assestamento:  $t_a \leq 0.50$  [sec] al 5%, oppure  $\leq 3^\circ$  [deg] se il 5% non è soddisfatto.
- sovraelongazione:  $S \leq 30\%$  rispetto a valore a regime oppure se  $S > 30\%$  allora  $S \leq 5^\circ$  [deg] in termini assoluti
- errore a regime:  $|e| = |r - \theta| \leq 3^\circ$  [deg]
- segnale di riferimento:  $10^\circ \leq r \leq 100^\circ$  [deg] (il controllore deve essere unico per tutti i riferimenti)

## 5 Progettazione

### 5.1 Inseguimento di $\theta_\ell$

Si proceda alla progettazione di un controllori LQ per l'inseguimento di un segnale di riferimento per  $\theta_\ell$  (angolo del motore). A tale scopo si utilizzi il controllo integrale, cioè si aggiunga un blocco integrale  $x_I(t) = \int (r - \theta_\ell) dt$  ( $\equiv \dot{x}_I = r - \theta_\ell(t)$ ) alla dinamica del sistema. A questo punto la dinamica complessiva corrisponde ad un sistema dinamico del 5° ordine. Indichiamo con  $z = [x_I \ x^T]^T \in \mathbb{R}^5$  lo stato del sistema. Si segua uno dei seguenti approcci

- Si minimizzi il funzionale  $\int_0^\infty x_I^2(t) + r u^2(t) dt$  e si scelga opportunamente  $r$  in modo tale da soddisfare le specifiche
- Si minimizzi il funzionale  $\int_0^\infty z(t)^T Q_z z(t) + r u^2(t) dt$  e si scelgano opportunamente  $Q_z = \text{diag}(q_1, \dots, q_5)$  and  $r$  in modo tale da soddisfare le specifiche. (**facoltativo**)
- Si minimizzi il funzionale  $\int_0^\infty z(t)^T Q_z z(t) + r u^2(t) dt$  e si scelgano opportunamente  $Q_z = d^T d$ ,  $d^T \in \mathbb{R}^5$  and  $r$  in modo tale da soddisfare le specifiche. (**facoltativo**)
- Si minimizzi il funzionale  $\int_0^\infty y_f^T(t) Q_f y_f(t) + r u^2(t) dt$ , dove  $y_f(t) = W(s)y(t)$  e si scelgano opportunamente il filtro  $W(s)$ ,  $Q_f$  and  $r$  in modo tale da soddisfare le specifiche. (**facoltativo**)

### 5.2 Inseguimento di $\theta_g$

Si proceda alla progettazione di un controllori LQ per l'inseguimento di un segnale di riferimento per  $\theta_g$  (angolo del giunto) seguendo gli stessi passi della sezione precedente.

## 6 Simulazioni MATLAB/Simulink

### 6.1 Stimatore dello stato

Il controllo LQ presuppone di avere a disposizione lo stato del sistema. A tale scopo si usi come stato l'uscita ottenuta scalando e combinando opportunamente le uscite  $y_1$  e  $y_2$  per ottenere  $\theta_\ell$  e  $\theta_g$ , e dei filtri passa alto  $D(s) = \frac{s}{1+\tau_L s}$  per ottenere delle approssimazioni delle loro derivate  $\dot{\theta}_\ell$  e  $\dot{\theta}_g$ . Si scelga  $\tau_L$  in modo che questo filtro abbia una banda superiore a quella del sistema in catena chiusa, cosicchè la stima dello stato così ottenuto sia sufficientemente adeguata e non amplifichi troppo il rumore di misura. La Figura 1 mostra lo schema relativo all'angolo  $\theta_\ell$ . Per rendere realistica la simulazione si aggiungano dei blocchi che simulano disturbi costanti, rumori di misura. possibili variazioni dei parametri del modello.

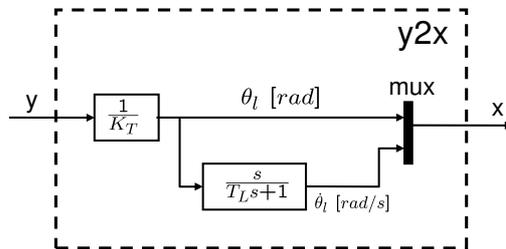


Figure 1: Blocco per ottenere lo stato  $x$  del motore dall'uscita del trasduttore  $y$ .

In MATLAB/SIMULINK si considerino **almeno** i seguenti punti:

- si includano dei blocchi che simulano disturbi costanti e rumori di misura

- si provi a variare i valori nominali del modello, ed in particolare la costante elastica del giunto e la costante di attrito viscoso
- si confrontino le prestazioni ottenuti utilizzando il vero stato del sistema con quello ottenuto dallo schema suggerito qui sopra
- si consideri la dinamica di  $\theta_\ell$  quanto la regolazione è fatta su  $\theta_g$  e viceversa.

## 7 In laboratorio

In laboratorio si proceda alla verifica della prestazione del sistema con i regolatori ottenuti in simulazione. Si utilizzi lo schema descritto in precedenza per avere una stima dello stato da utilizzare per il controllo LQ.

In base ai risultati osservati, si provi a migliorare la prestazione del sistema variando “sul campo” i pesi del funzionale LQ e quindi del controllore.