

## CONTROLLI AUTOMATICI (18AKSOA)

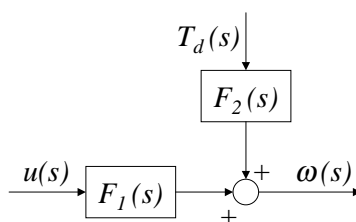
### IV esercitazione presso il LAIB

#### Esercizio #1: simulazione di un motore elettrico controllato in velocità

Si consideri un motore elettrico comandato in armatura, descritto dalle equazioni:

$$\begin{aligned} L_a \frac{di_a(t)}{dt} &= -R_a i_a(t) - K_m \omega(t) + v_a(t) \\ J \frac{d\omega(t)}{dt} &= K_m i_a(t) - \beta \omega(t) - T_d(t) \end{aligned}$$

La tensione di armatura  $v_a(t)$  è fornita da un amplificatore avente guadagno  $K_a$  ed ingresso  $u(t)$ . Il sistema complessivo, avente come ingressi il comando  $u$  e la coppia di disturbo  $T_d$  e come uscita la velocità angolare  $\omega$ , può essere rappresentato mediante il seguente schema a blocchi:



in cui compaiono le funzioni di trasferimento:

$$\begin{aligned} F_1(s) &= \left. \frac{\omega(s)}{u(s)} \right|_{T_d(s)=0} = \frac{K_a K_m}{s^2 J L_a + s(\beta L_a + J R_a) + \beta R_a + K_m^2} \\ F_2(s) &= \left. \frac{\omega(s)}{T_d(s)} \right|_{u(s)=0} = -\frac{s L_a + R_a}{s^2 J L_a + s(\beta L_a + J R_a) + \beta R_a + K_m^2} \end{aligned}$$

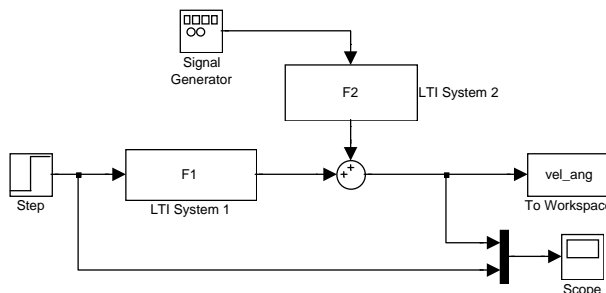
Si assumano i seguenti valori numerici dei parametri:  $R_a = 1\Omega$ ,  $L_a = 6 \cdot 10^{-3}H$ ,  $K_m = 0.5V s/rad = 0.5Nm/A$ ,  $J = 0.1kg m^2$ ,  $\beta = 0.02N s/m$ ,  $K_a = 10$ .

#### 1. Simulazione del sistema in catena aperta

Mediante SIMULINK, si simuli il comportamento del sistema nelle seguenti condizioni di funzionamento, confrontando fra loro gli andamenti dell'uscita  $\omega(t)$  e del comando  $u(t)$ :

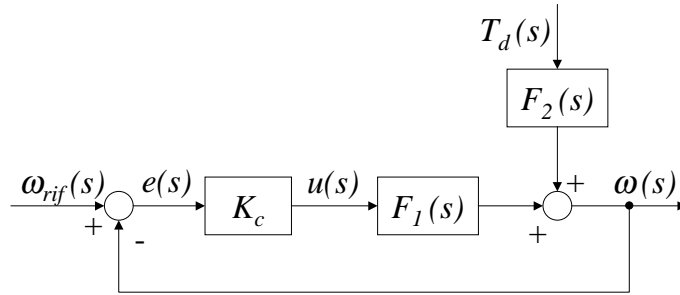
1.  $u(t) = \left[ \frac{K_a K_m}{\beta R_a + K_m^2} \right]^{-1} \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) = 0$ ;
2.  $u(t) = \left[ \frac{K_a K_m}{\beta R_a + K_m^2} \right]^{-1} \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) =$  onda quadra di ampiezza 0.05 e periodo 10s.

Nella figura sottostante è riportato un possibile modello di simulazione di SIMULINK:



## 2. Simulazione del sistema in catena chiusa

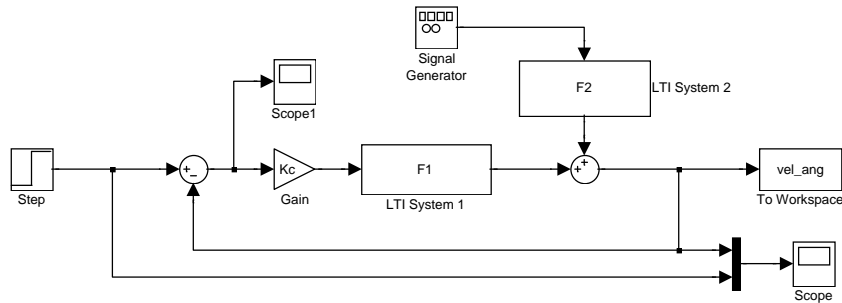
Al fine di controllare la velocità angolare  $\omega$  del motore, si progetta un sistema di controllo in catena chiusa costituito da un controllore proporzionale  $K_c$  e da una retroazione unitaria negativa, ottenendo così il seguente sistema controllato avente come ingresso la velocità angolare di riferimento  $\omega_{rif}$ :



Mediante SIMULINK, si simuli il comportamento del sistema controllato nelle seguenti condizioni di funzionamento, confrontando fra loro gli andamenti dell'uscita  $\omega(t)$  e del riferimento  $\omega_{rif}(t)$ , e visualizzando anche l'andamento dell'errore  $e(t) = \omega_{rif}(t) - \omega(t)$ :

1.  $\omega_{rif}(t) = \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) = 0$ , analizzando i casi:  $K_c = 0.1$ ;  $K_c = 1$ ;  $K_c = 5$ ;
2.  $\omega_{rif}(t) = \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) =$  onda quadra di ampiezza 0.05 e periodo 10s, analizzando gli stessi 3 casi di cui al punto precedente.

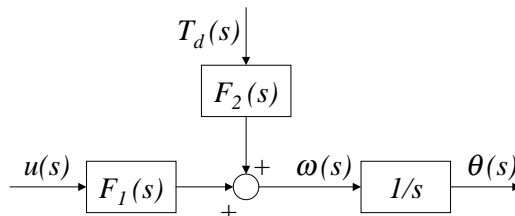
Nella figura sottostante è riportato un possibile modello di simulazione di SIMULINK:



Calcolare infine la funzione di trasferimento del sistema controllato  $\omega(s) / \omega_{rif}(s) |_{T_d(s)=0}$  e tracciarne i diagrammi di Bode.

### Esercizio #2: simulazione di un motore elettrico controllato in posizione

Si consideri lo stesso motore elettrico di cui all'esercizio precedente, assumendo questa volta come uscita la posizione angolare  $\theta(t)$  in luogo della velocità angolare  $\omega(t)$ . Poiché  $\theta(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau$ , il sistema complessivo può essere rappresentato mediante il seguente schema a blocchi:

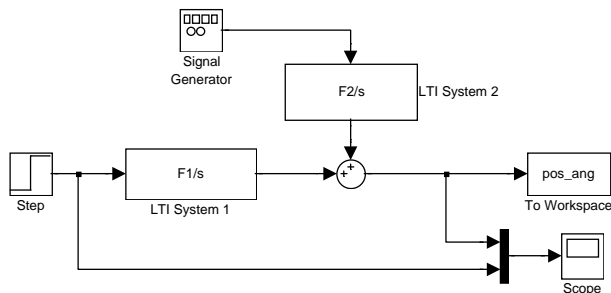


#### 1. Simulazione del sistema in catena aperta

Mediante SIMULINK, si simuli il comportamento del sistema nelle seguenti condizioni di funzionamento, confrontando gli andamenti dell'uscita  $\theta(t)$  e del comando  $u(t)$ :

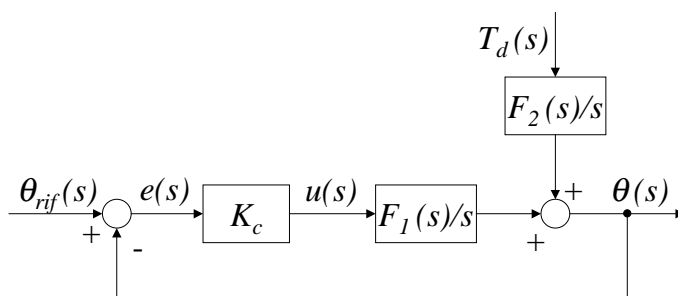
1.  $u(t) = \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) = 0$ ;
2.  $u(t) = \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) =$  onda quadra di ampiezza 0.05 e periodo 10s.

Nella figura sottostante è riportato un possibile modello di simulazione di SIMULINK:



## 2. Simulazione del sistema in catena chiusa

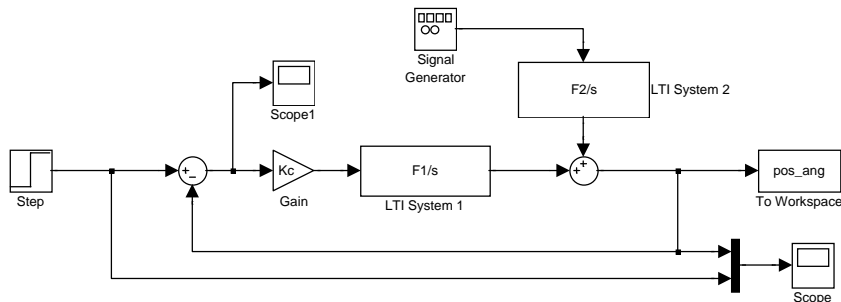
Al fine di controllare la posizione angolare  $\theta$  del motore, si progetta un sistema di controllo in catena chiusa costituito da un controllore proporzionale  $K_c$  e da una retroazione unitaria negativa, ottenendo così il seguente sistema controllato avente come ingresso la posizione angolare di riferimento  $\theta_{rif}$ :



Mediante SIMULINK, si simuli il comportamento del sistema controllato nelle seguenti condizioni di funzionamento, confrontando gli andamenti dell'uscita  $\theta(t)$  e del riferimento  $\theta_{rif}(t)$ , e visualizzando anche l'andamento dell'errore  $e(t) = \theta_{rif}(t) - \theta(t)$ :

1.  $\theta_{rif}(t) = \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) = 0$ , analizzando i casi:  $K_c = 0.1$ ;  $K_c = 1$ ;  $K_c = 5$ ;
2.  $\theta_{rif}(t) = \varepsilon(t)$ ,  $T_d(t) =$  onda quadra di ampiezza 0.05 e periodo 10s, analizzando gli stessi 3 casi di cui al punto precedente.

Nella figura sottostante è riportato un possibile modello di simulazione di SIMULINK:



Calcolare infine la funzione di trasferimento del sistema controllato  $\theta(s)/\theta_{rif}(s)|_{T_d(s)=0}$  e tracciarne i diagrammi di Bode.

Comandi MATLAB da prendere in considerazione: `tf`, `feedback`, `dcgain`, `bode`

Blocchi SIMULINK di possibile interesse:

- **LTI System** (in Control System Toolbox): blocco corrispondente ad un sistema LTI (sia a tempo continuo sia a tempo discreto), definito dal modello in variabili di stato o dalla funzione di trasferimento.
- **Gain** (in Simulink/Math Operations): blocco di guadagno costante

- **Sum** (in Simulink/Math Operations): nodo di somma (con definizione dei segni algebrici dei rami entranti)
- **Step** (in Simulink/Sources): genera un segnale a gradino
- **Ramp** (in Simulink/Sources): genera un segnale a rampa
- **Sine Wave** (in Simulink/Sources): genera un segnale sinusoidale
- **Signal Generator** (in Simulink/Sources): generatore di segnali sinusoidali, a onda quadra, a dente di sega o casuali
- **Mux** (in Simulink/Signal Routing): combina più segnali (scalari o vettoriali) in un unico vettore di segnali
- **Scope** (in Simulink/Sinks): oscilloscopio
- **To Workspace** (in Simulink/Sinks): permette di esportare una variabile nella memoria di lavoro di MATLAB (selezionare il formato “array” per esportare sia il vettore `tout` degli istanti temporali di simulazione sia il vettore dei corrispondenti valori della grandezza simulata)