

CONTROLLI AUTOMATICI (18AKSOA)

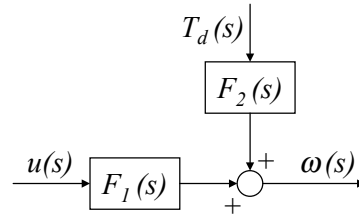
IV esercitazione presso il LAIB

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 ω , può essere rappresentato mediante il seguente schema a blocchi:



in cui compaiono le funzioni di trasferimento:

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

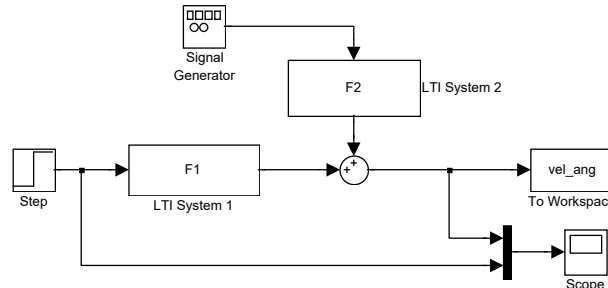
Si assumano i seguenti valori numerici dei parametri: $R_a = 1\Omega$, $L_a = 6 \cdot 10^{-3}H$, $K_m = 0.5V \text{ s/rad} = 0.5Nm/A$, $J = 0.1kg \text{ m}^2$, $\beta = 0.02N \text{ s/m}$, $K_a = 10$.

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 $u(t)$:

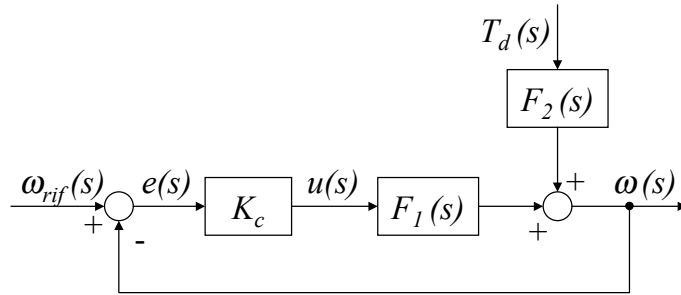
1. $u(t) = \left[\frac{K_a K_m}{\beta R_a + K_m^2} \right]^{-1} \varepsilon(t)$, $T_d(t) = 0$;
2. $u(t) = \left[\frac{K_a K_m}{\beta R_a + K_m^2} \right]^{-1} \varepsilon(t)$, $T_d(t)$ = onda quadra di ampiezza 0.05 e periodo 10s.

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



2. Simulazione del sistema in catena chiusa

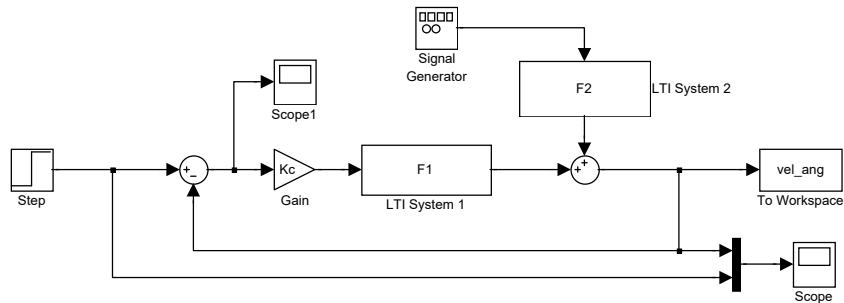
Al fine di controllare la velocità angolare ω del motore, si progetta un sistema di controllo in catena chiusa costituito da un controllore proporzionale K_c e da una retroazione unitaria negativa, ottenendo così il seguente sistema controllato avente come ingresso la velocità angolare di riferimento ω_{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.

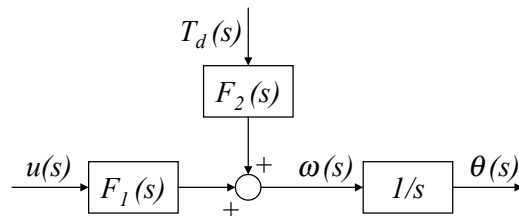
Nella figura sottostante è riportato un possibile modello di simulazione di SIMULINK:



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:

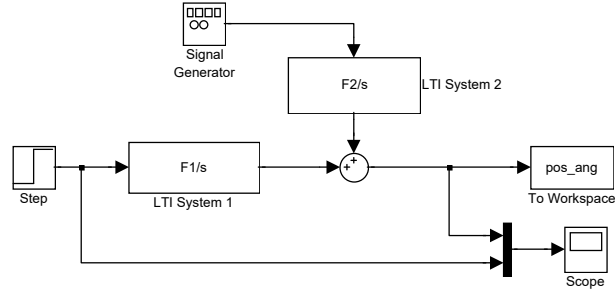


1. Simulazione del sistema in catena aperta

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

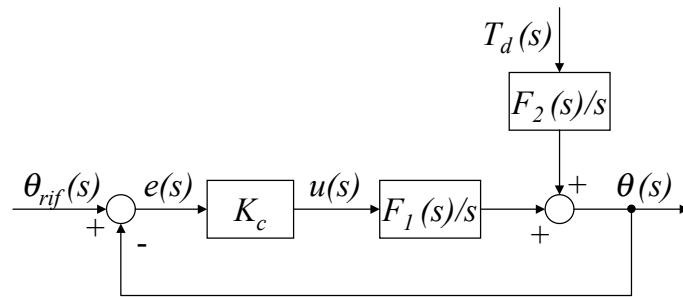
1. $u(t) = \varepsilon(t)$, $T_d(t) = 0$;
2. $u(t) = \varepsilon(t)$, $T_d(t)$ = onda quadra di ampiezza 0.05 e periodo 10s.

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



2. Simulazione del sistema in catena chiusa

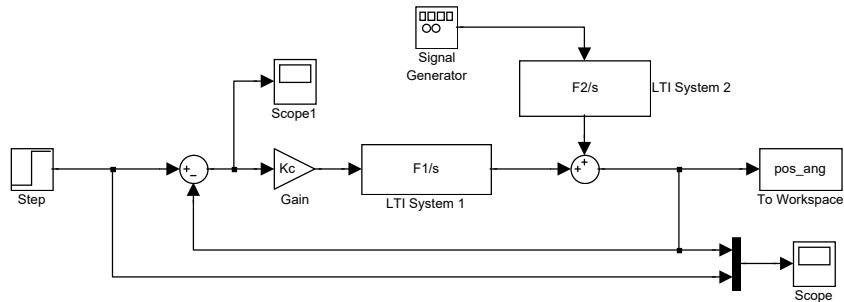
Al fine di controllare la posizione angolare θ del motore, si progetta un sistema di controllo in catena chiusa costituito da un controllore proporzionale K_c e da una retroazione unitaria negativa, ottenendo così il seguente sistema controllato avente come ingresso la posizione angolare di riferimento θ_{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)