

Automatica (Laboratorio)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria

Università di Ferrara

Tel. 0532 293844

Fax. 0532 768602

E-mail: ssimani@ing.unife.it

URL: <http://www.ing.unife.it/simani>

URL: <http://www.ing.unife.it/simani/lessons.html>



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Integrazione in Matlab



File Ode

⇒ Un *Ode file* è un file di tipo `.m` per definire un sistema di equazioni differenziali

⇒ Un *Ode file* è risolto dagli *Ode Suite Solvers*



`y = odefile(t,x,flag,params).` **(Esempio: $y = \dot{x} = F(t, x, \theta)$)**

⇒ `t` e `x` sono variabili di integrazione

⇒ `flag` è una stringa che indica il tipo di informazione restituita dall' *Ode file*. `params` sono parametri addizionali eventualmente richiesti.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Integrazione in Matlab



Ode Suite Solvers



Ode Suite Solvers: risolutori di equazioni differenziali (sono funzioni di funzione)



`[t,x] = odesolver('odefile',tspan,ci,options,params)`

⇒ (Esempio: $\int_{ci,tspan} F(t, x, \theta) dt$)

⇒ ode23, ode113, ode15s, ode23s, ode23t, ode23tb

⇒ `options = odeset('RelTol',1e-4,'AbsTol',1e-4,'Maxstep',1e-5);`



`[tspan,ci,options] = odefile([],[],'init')`



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Elementi di grafica in Matlab



Funzioni di grafica plot (X, Y, S)

⇒ Grafica il vettore Y in funzione di X

⇒ X e Y sono vettori con lo stesso numero di elementi

⇒ S è una stringa formata dai caratteri:

y	yellow	.	point	-	solid
m	magenta	o	circle	:	dotted
c	cyan	x	x-mark	-.	dashdot
r	red	+	plus	--	dashed
g	green	*	star		
b	blue	s	square		
w	white	d	diamond		
k	black	v	triangle (down)		



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Elementi di Grafica in Matlab

```
figure, plot(t,x,'-',t,y,'--')
```



Apertura nuova finestra grafica e visualizzazione grafici sovrapposti

```
figure, plot(t,x,'-'), hold on, plot(t,y,'--')
```



Apertura nuova finestra grafica e visualizzazione grafici sovrapposti

⇒ Sono equivalenti: `hold on` mantiene il grafico corrente



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Esercizi Proposti (1)



Modello matematico di Lotka-Volterra

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = a_1(1 - x_1(t)/k)x_1(t) - a_2x_1(t)x_2(t) + u(t) & \text{Prede} \\ \dot{x}_2(t) = -a_3x_2(t) + a_4x_1(t)x_2(t) & \text{Predatori} \end{cases}$$

⇒ $x_1(t)$ e $x_2(t)$ numero di prede di predatori

⇒ $u(t)$ cibo per le prede

⇒ k , numero massimo di prede in assenza di predatori e di cibo
($u(t) = 0$)



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Esercizi Proposti (1)



Modello matematico di Lotka-Volterra

⇒ Se $a_1 = 20$, $a_2 = 1$, $a_3 = 7$, $a_4 = 0.5$ e $k = 30$, si determinino:

- 1) l'andamento nel tempo del numero di prede e predatori, supponendo nullo l'ingresso $u(t)$ e nelle ipotesi di partire da un ecosistema contenente 10 prede e 10 predatori. Si calcoli anche la traiettoria percorsa dal sistema nello spazio degli stati.
- 2) gli stati di equilibrio del sistema in assenza di ingresso.
- 3) i valori di regime raggiunti dal numero di prede e predatori nelle ipotesi che $u(t)$ sia un **gradino** di ampiezza $u(t) = 20$ e a partire dalle stesse condizioni proposte al punto 1). Si determini per tentativi l'ampiezza del gradino che consente di mantenere a regime un numero di predatori pari a 15.



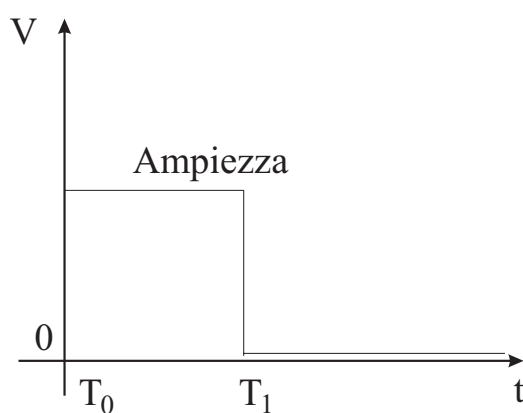
Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

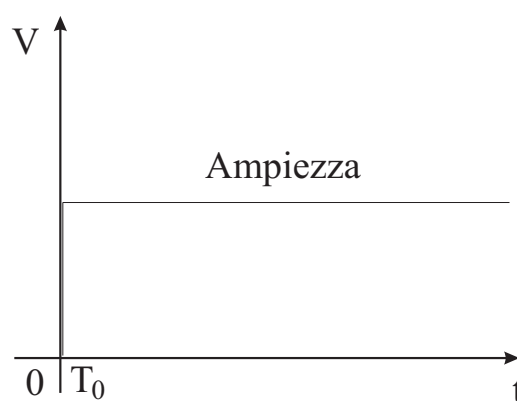
Esercizi Proposti



Modello matematico di Lotka-Volterra



(a) Circuito diodo tunnel



(b) Modello Lotka-Volterra



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Introduzione a Simulink

- ⇒ **Simulink, prodotto dalla Mathworks Inc.**
- ⇒ **È un programma per la simulazione di sistemi dinamici**
- ⇒ **Progetto di un sistema dinamico**
 - ⇒ Definizione del modello da simulare
 - ⇒ Analisi del sistema
- ⇒ **Ambiente a finestre ed interfaccia grafica: Block diagram windows e mouse**
- ⇒ **Simulink riutilizza l'ambiente e i comandi di Matlab**
 - ⇒ I risultati sono disponibili nel *Workspace* di *Matlab*

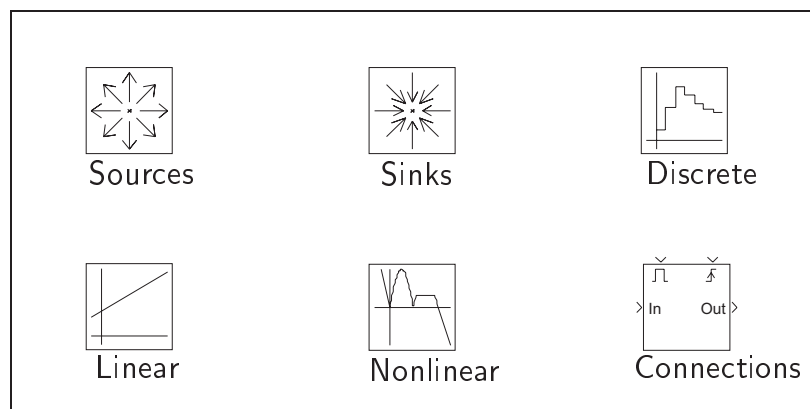


Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Istruzioni di base di Simulink

- ⇒ `>> simulink`
- ⇒ Visualizzazione della finestra *Simulink block library*



Simulink block library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

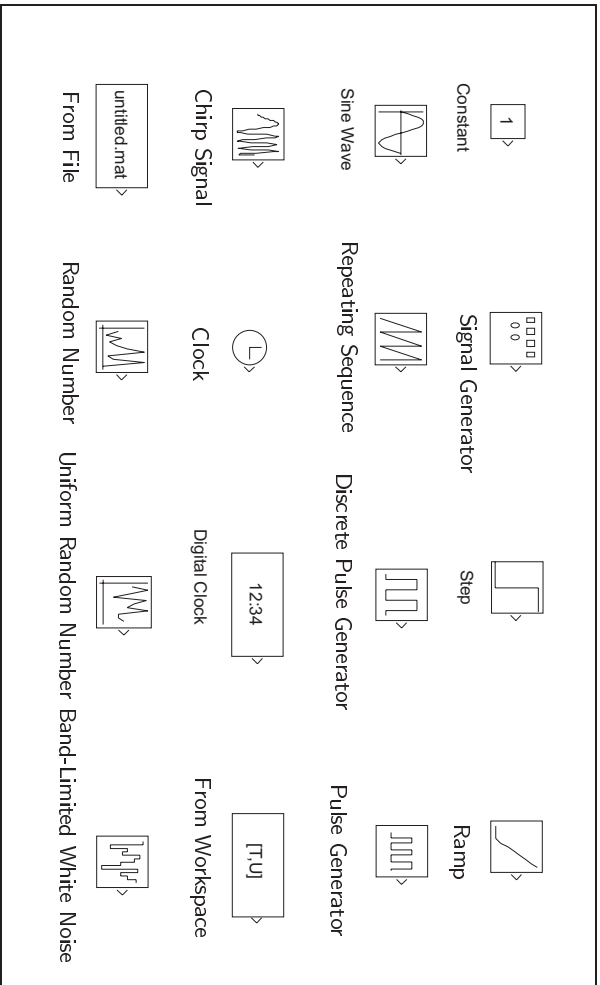
Silvio Simani

Istruzioni di base di Simulink



Sources Library

⇒ **Sources:** (Library: *simulink/Sources*),
generatori di segnale



Simulink Signal Source library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

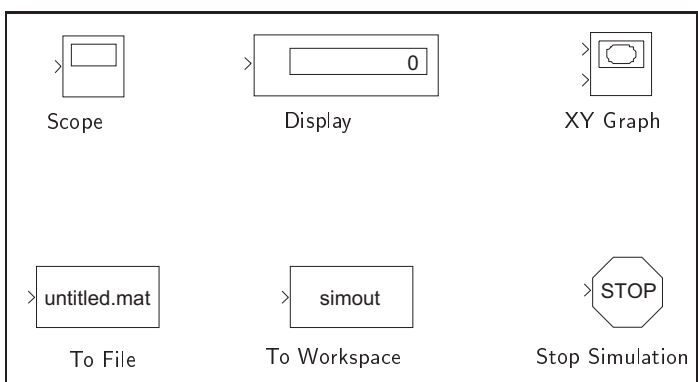
Silvio Simani

Istruzioni di base di Simulink



Sink Library

⇒ *Library: simulink/Sinks* contiene alcuni rivelatori di segnale



Simulink Signal Sinks library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

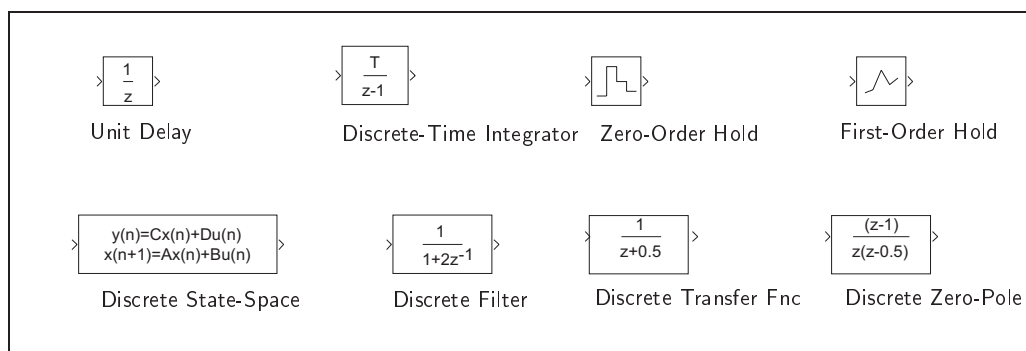
Silvio Simani

Istruzioni di Simulink



Discrete Library

⇒ *Library: simulink/Discrete* analisi dei sistemi lineari tempo-discreti



Simulink Discrete-Time library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

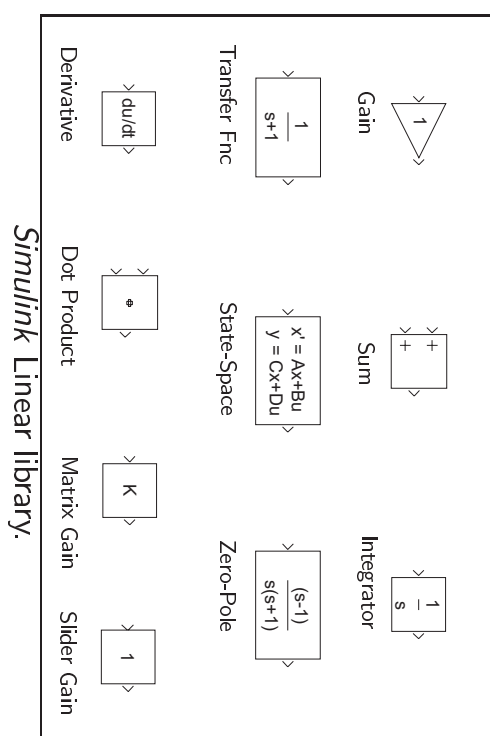
Silvio Simani

Istruzioni di Simulink



Linear Library

⇒ *Library: simulink/Linear* analisi dei sistemi lineari tempo-continui



Simulink Linear library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

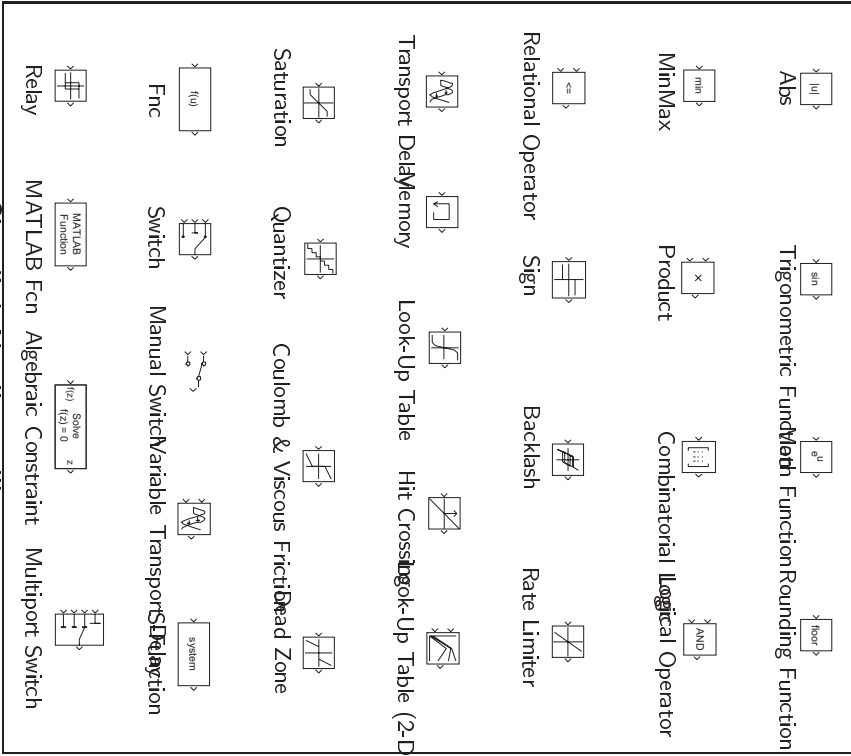
Silvio Simani

Istruzioni di Simulink



Nonlinear Library

⇒ Library: *simulink/Nonlinear* funzioni non lineari



Simulink Nonlinear library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

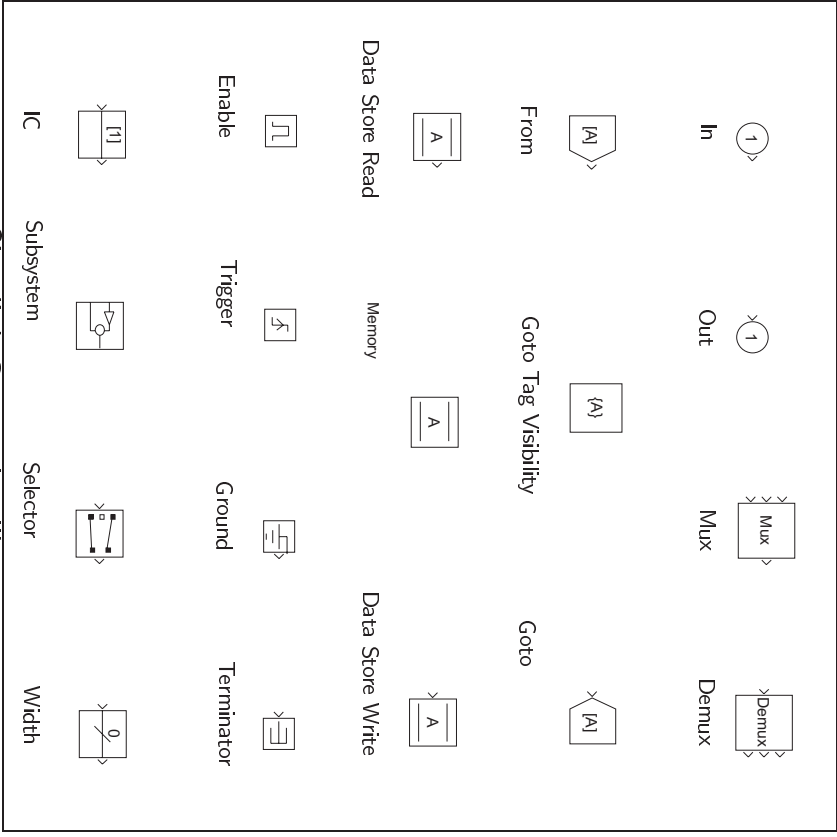
Silvio Simani

Istruzioni di Simulink



Connections Library

⇒ Library: *simulink/Connections* blocchi per effettuare connessioni



Simulink Connection library.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Simulazione di sistemi dinamici con SIMULINK

⇒ Simulazione \hookrightarrow integrazione delle equazioni differenziali

⇒ Simulatore di Simulink

⇒ Simulink Control Panel \hookrightarrow Simulation \hookrightarrow Parameters

⇒ Opzione Solver nella finestra Simulation Parameters (cfr. *odesolver Matlab*)

⇒ **Simulation time: Start time:** istante iniziale della simulazione

⇒ **Simulation time: Stop time:** istante finale della simulazione

⇒ **Solver Options: Type:** passo di integrazione fisso (Fixed-step) o variabile (Variable-step)

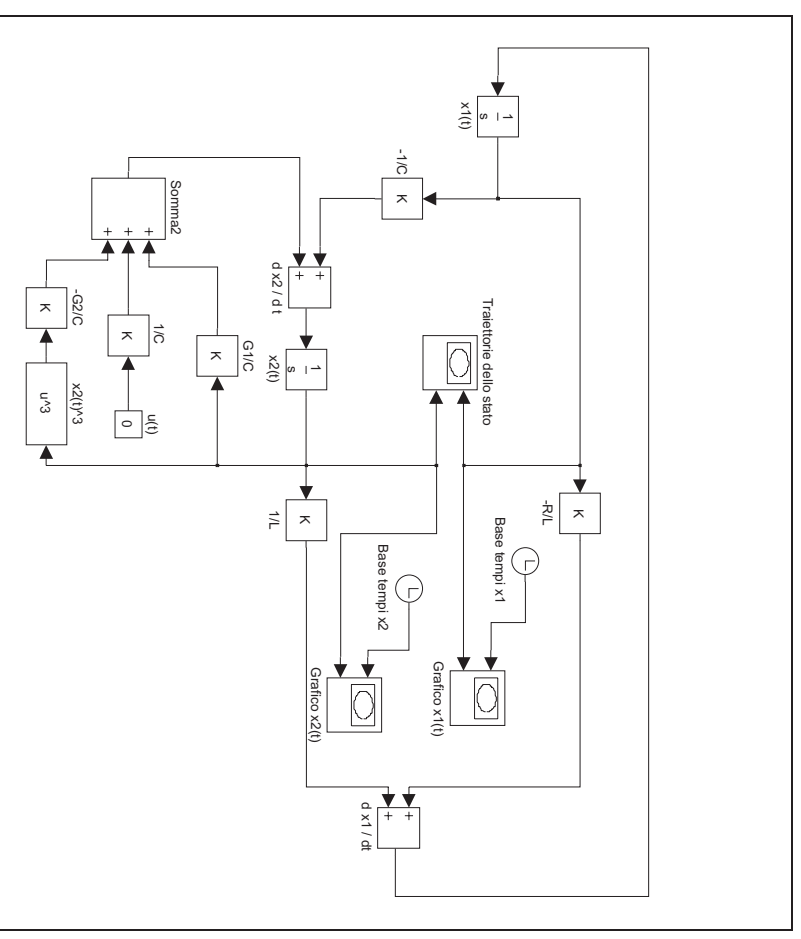
⇒ **Solver Options:** scelta della funzione di integrazione ottimale: *ode45*, *ode23*, *ode113*, *ode15s*, *ode23s*, e discrete

⇒ **Solver Options:** Max step size e Initial step size, Relative e Absolute tolerance



Analisi di un circuito non lineare

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= -\frac{R}{L}x_1(t) + \frac{1}{L}x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= -\frac{1}{C}x_1(t) + \frac{1}{C}(G_1x_2(t) - G_2x_2^3(t)) + \frac{1}{C}u(t)\end{aligned}$$



Circuito non lineare in Simulink.



Modello di un motore in corrente continua

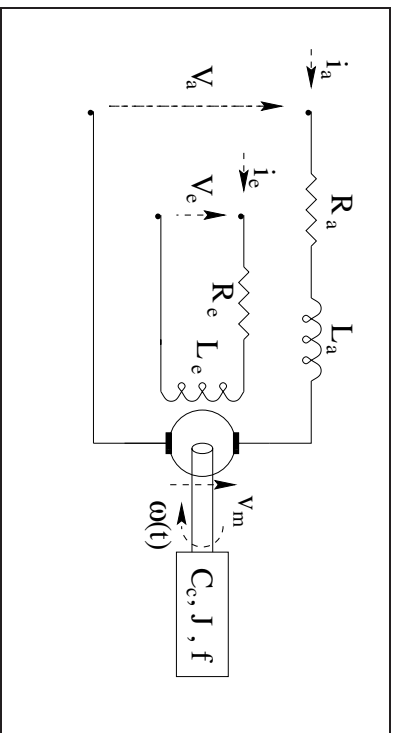
⇒ **Controllo d'armatura e avvolgimento d'eccitazione ad alimentazione costante**

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_a(t) \\ \dot{\omega}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k_m}{J} \\ \frac{k_m}{J} & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a(t) \\ C_c(t) \end{bmatrix}$$

$$\omega(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}$$



Motore in corrente continua



Schema di un motore in corrente continua



Modello di un motore in corrente continua



Matrici di sistema

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k_m}{J} \\ \frac{k_m}{J} & -\frac{1}{J} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}.$$



Ingressi ed uscite: $y(t) = \omega(t)$

$$x(t) = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad u(t) = \begin{bmatrix} V_a(t) \\ C_c(t) \end{bmatrix}.$$

Modello di un motore in corrente continua



Condizioni di funzionamento

1. Alimentazione del motore con un gradino di tensione di armatura costante a 0V da 0s a 50s e al valore di 5V per altri 50s.
2. Impulso di tensione di ampiezza $V_a(t) = 10V$ e durata $\tau = 40s$.
3. Posizione del rotore $\alpha(t)$

$$\dot{\alpha}(t) = \omega(t), x(t) = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega(t) \\ \alpha(t) \end{bmatrix} \text{ e } y(t) = \begin{bmatrix} \omega(t) \\ \alpha(t) \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k_m}{L_a} & 0 \\ \frac{k_m}{J} & -\frac{f}{J} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ e } C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Esercizi proposti

1. Si realizzi in ambiente *Simulink* il sistema di equazioni differenziali relative al modello del motore in corrente continua. Se ne verifichi successivamente la correttezza confrontandolo con le realizzazioni equivalenti nello spazio degli stati.
2. Utilizzando gli stessi i valori dei parametri del motore in corrente continua, determinare l'ampiezza del gradino $V_a(t)$ necessaria a raggiungere una velocità angolare *di regime* pari a $\omega(t) = 10\text{rad/s}$, nelle ipotesi di assenza del carico $C_c = 0$ e con il modello del motore del secondo ordine. Si verifichi analiticamente il risultato ottenuto.
3. Fissata l'ampiezza della tensione di armatura a $V_a = 10V$., progettare la durata dell'impulso τ in modo da raggiungere una posizione assegnata $\alpha = 20\text{rad}$., sempre nelle ipotesi di assenza di carico.
4. Fissato τ , graficare l'andamento temporale della posizione del rotore per una tensione pari alla metà e al doppio della tensione fissata al punto precedente.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani