

## Automatica (Laboratorio)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria  
Università di Ferrara  
Tel. 0532 293844  
Fax. 0532 768602

E-mail: [ssimani@ing.unife.it](mailto:ssimani@ing.unife.it)

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

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

Silvio Simani

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



## Automatica (Laboratorio)

Struttura delle lezioni



- 1.a Informazioni generali sul corso
- 1.b Introduzione a Matlab
2. Simulazione di Sistemi Dinamici
3. Introduzione a Simulink
4. Osservatori e retroazione uscita-stato-ingresso
5. Modelli approssimati di sistemi dinamici
6. Identificazione di Sistemi Dinamici
- ⇒ 7. **Progetto di Reti Correttrici**
8. Sintonizzazione di Controllori PID
9. Analisi di Sistemi a Dati Campionati

Silvio Simani

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



## Bibliografia

- ⇒ Dispense del Corso di Laboratorio di Automatica. Sergio Beghelli, Cesare Fantuzzi, Silvio Simani. (Fotocopisteria, tutorato, www)
1. Matlab, The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. Version 5.1 (In formato pdf su CD Matlab)
  2. MATLAB Primer. Second Edition. Kermit Sigmon. Department of Mathematics. University of Florida.
  3. The MathWorks Inc., Matlab User's Guide, 1993.
  4. L. F. Shampine and M. W. Reichel, "The Matlab Ode Suite", Tech. Rep., The MathWorks, Inc, 1997. (Disponibile anche come file in formato pdf).
  5. The MathWorks Inc., Simulink User's Guide, 1995.
  6. B. C. Kuo, Automatic Control Systems. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 7th ed., 1995.
  7. P. Bolzern, R. Scattolini, and N. Schiavonì, Fondamenti di controlli automatici. Milano: McGraw- Hill, I ed., Marzo 1998.
  - ⇒ G. Marro, TFI: insegnare e apprendere i controlli automatici di base con matlab. Bologna: Zanichelli, I ed., Ottobre 1998.
  8. C. Fantuzzi, Controllori Standard PID. Versione 1.2, Appunti del Corso, 1a ed., Maggio 1997.



## Progetto di Reti Correttrici

### Progetto di un sistema di controllo in retroazione



⇒ scelta del regolatore

⇒ verifica delle prestazioni richieste



### Analisi e sintesi della f.d.t. d'anello

⇒ risposta in frequenza della f.d.t. d'anello

⇒ progetto della f.d.t. del regolatore



### Tecniche di progetto del regolatore

⇒ sintesi diretta

⇒ procedimento per tentativi



## Progetto di Reti Correttrici

### Tecniche di progetto di reti correttrici

- ⇒ utilizzo dei diagrammi di Bode e Nyquist
- ⇒ controllo di sistemi privi di poli nel semipiano destro
- ⇒ **Progetto di reti anticipatrici e ritardatrici**
- ⇒ progetto in ambiente *TFI*
- ⇒ **Transfer Function Interpreter**
- ⇒ pacchetto software in ambiente *Matlab*



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

Silvio Simani



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

Silvio Simani

## L'interprete TFI

### Il Transfer Function Interpreter in Matlab

### Ambiente specifico di progettazione assistita

### Analisi e sintesi interattiva di sistemi di controllo

- ⇒ uso diretto delle funzioni di trasferimento
- ⇒ memorizzate come .mat nella directory di lavoro dell'HD

### Si chiama della Matlab Command Window tti

- ⇒ prompt > invece di >>

- ⇒ la sintassi della *Command Window* è cambiata

## L'interprete TFI

- ➡ Analisi di sistemi di controllo SISO
- ➡ Progetto interattivo ed automatico di sistemi di controllo SISO
- ➡ Analisi nel dominio dei tempi e delle frequenze
- ➡ Funzioni grafiche per la verifica della stabilità
- ➡ Connessione di sistemi in retroazione
- ➡ Luoghi delle radici
- ➡ Progetto di reti correttrici e regolatori
- ➡ Simulazione di sistemi non lineari e a tempo discreto



## Transfer Function Interpreter e Matlab

Sono disponibili da TFI i comandi Matlab:

- ➡ `cd, clc, what, help file, print file [opzione], grid, degrid, delete file, delete(n), dir, shg, zoom on, zoom off, figure`
- ➡ si possono valutare espressioni ( $3*6/(2+7)$ ,  $[p1/6]$ )
- ➡ `new` e `figure` creano una nuova finestra grafica
- ➡ **Definizione di una f.d.t.**
- ➡ nome della f.d.t., "=" e caratteri corrispondenti a numeri, parentesi, operatori e simboli (s o z)
- ➡ Esempio





**factf**: factf, g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub> visualizza e salva nella directory corrente di lavoro con il nome g<sub>2</sub> la forma fattorizzata di una f.d.t. g<sub>1</sub> relativa ad un sistema, a tempo continuo o a tempo discreto, data in forma polinomiale non completamente fattorizzata



⇒ se g<sub>1</sub> ha termini in forma fattorizzata, g<sub>2</sub> sarà espressa nella forma non fattorizzata

**defactf**: defactf, g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub> visualizza e salva nella directory corrente di lavoro con il nome g<sub>2</sub> la forma polinomiale di una data f.d.t. g<sub>1</sub> relativa ad un sistema a tempo continuo o tempo discreto



## Funzioni *TFI* maggiormente utilizzate (1)



⇒ salva le f.d.t. in file di tipo .mat

⇒ possibile convertire la forma di *Matlab* a quella di *TFI* e viceversa

⇒ sys=exportf('g', [1]) per convertire la f.d.t. g al *TFI* sys

⇒ importf(sys, 'g', [1]) per caricare in *Matlab* una f.d.t. di *TFI* nella forma polinomiale se si utilizza l'opzione [1]

## Passaggio di f.d.t. tra *TFI* e *Matlab*



### *TFI* e *Matlab*



## Funzioni *TFI* maggiormente utilizzate (2)

**fresp:** fresp,gi traccia la funzione di risposta in frequenza del sistema a tempo continuo o a tempo discreto gi

⇒ grafici multipli con colori diversi

⇒ output del programma

- 1 - Diagramma di Bode dell'ampiezza
  - 2 - Diagramma di Bode della fase
  - 3 - Diagrammi di Bode di ampiezza e fase - una sola figura
  - 4 - Diagrammi di Bode di ampiezza e fase - due figure
  - 5 - Diagramma di Nichols
  - 6 - Diagramma di Nyquist
- operare una scelta (0 per uscire) :



## Funzioni *TFI* maggiormente utilizzate (3)

**lagc:** lagc,gi, gj realizza il progetto per tentativi di una rete ritardatrice gj per il sistema controllato gi utilizzando i diagrammi di Bode

> lagc, gi, gj

**leadc:** leadc,gi, gj realizza il progetto per tentativi di una rete anticipatrice gj per il sistema controllato gi utilizzando i diagrammi di Bode

**root:** rootl,gi traccia il luogo delle radici di  $1 + Kg_i = 0$  per sistemi a tempo continuo o discreto con  $K \in [0, \infty)$



## Funzioni TFI maggiormente utilizzate (4)



**tresp:**  $t_{resp}$ ,  $g_i$  traccia la risposta al gradino o all'impulso del sistema con f.d.t.  $g_i$ , a tempo continuo o a tempo discreto, con scelta fra la risposta ad anello aperto o in retroazione unitaria

⇒ output del programma

- 1 - risposta al gradino ad anello aperto
- 2 - risposta al gradino ad anello chiuso
- 3 - risposta all'impulso ad anello aperto
- 4 - risposta all'impulso ad anello chiuso

operare una scelta (default 1, 0 per uscire) :



## Progetto di una rete anticipatrice con i diagrammi di Bode

Si consideri il sistema chiuso in retroazione unitaria caratterizzato dalla funzione di trasferimento

$$G^p(s) = \frac{1000}{s(s+10)}$$

1. si progetti una rete anticipatrice  $G^c(s)$  da collegare in serie al sistema  $G^p(s)$ , con funzione di trasferimento  $G^c(s) = \frac{1+\alpha\tau s}{1+\tau s}$  con  $\alpha > 1$ , in modo che il sistema risultante sia caratterizzato da un margine di fase  $M_f > 75^\circ$  e da un picco di risonanza minore di 1.1.

2. Si illustri l'intervento della rete progettata con i diagrammi di Bode e di Nyquist.
3. Determinare le caratteristiche (massima sovraelevazione, tempo di assestamento, errore a regime) della risposta al gradino del sistema compensato chiuso in retroazione unitaria.



## Progetto di una rete correttiva con il luogo delle radici

Si consideri il sistema descritto dalla funzione di trasferimento

$$G_p(s) = \frac{K}{s(s+10)(s+50)}$$

chiuso in retroazione unitaria

Utilizzando il luogo delle radici, si progetti la rete anticipatrice, con uno zero localizzato ad  $s = -15$ , che consenta di soddisfare le seguenti specifiche

- massima sovraelongazione percentuale approssimativamente uguale a 7.5%
- tempo di assestamento pari a 0.4 secondi.



## Progetto di una rete ritardatrice

Data la funzione di trasferimento

$$G_p(s) = \frac{K}{s(s+5)^2}$$

progettare la rete ritardatrice e calcolare il valore di  $K$  tali che il sistema chiuso in retroazione unitaria soddisfi le seguenti specifiche

- massima sovraelongazione minore dell'1%
- tempo di salita minore di 2 secondi
- tempo di assestamento di 2.5 secondi

Confrontare le prestazioni delle diverse soluzioni ottenute in termini di larghezza di banda, margine di ampiezza e margine di fase.





## Progetto di una rete correttrice



### Esercizio per l'esame

Un motore in corrente continua è rappresentato dalla seguente funzione di trasferimento

$$G_m(s) = \frac{6.087 \times 10^{10}}{s(s^3 + 423.42s^2 + 2.6667 \times 10^6 s + 4.2342 \times 10^8)}$$

A causa dell'accoppiamento con l'albero motore, tale funzione contiene due poli poco smorzati che generano oscillazioni nella risposta. Devono essere soddisfatte le seguenti specifiche

- Massima elongazione  $< 1\%$ ,
- Tempo di salita  $< 0.15$  secondi,
- Tempo di assestamento  $< 0.15$  secondi,
- La risposta non deve presentare oscillazioni.

Progettare una rete anticipatrice con funzione di trasferimento  $G_c(s)$

$$G_c(s) = \frac{1 + \alpha\tau s}{1 + \tau s}$$

affinché risultino verificate le specifiche relative alla risposta al gradino.

