

Automatica I (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>



Struttura delle lezioni

Automatica I (Laboratorio)

1. Informazioni generali sul corso

2. Introduzione a Matlab

3. Simulazione di Sistemi Dinamici

4. Introduzione a Simulink

5. Osservatori e retroazione uscita-stato-ingresso

6. Progetto di Reti Correttive



7. Sintonizzazione di Controllori PID

8. Analisi di Sistemi a Dati Campionati



Bibliografia

⇒ G. Marro, *TFI: Insegnare ed Apprendere i Controlli Automatici di Base con Matlab*. Bologna: Zanichelli, I ed., Ottobre 1998.





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





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 *Matlab Command Window* tfi



⇒ prompt > invece di >>

⇒ la sintassi della *Command Window* è cambiata



Simulazione di sistemi non lineari e a tempo discreto



Progetto di reti correttrici e regolatori



Luoghi delle radici



Connessione di sistemi in retroazione



Funzioni grafiche per la verifica della stabilità



Analisi nel dominio dei tempi e delle frequenze



Progetto interattivo ed automatico di sistemi di controllo SISO



Analisi di sistemi di controllo SISO





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

- ⇒ 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]

TFI e Matlab



Definizione di una f.d.t.

- ⇒ `new` e `figure` creano una nuova finestra grafica
- ⇒ si possono valutare espressioni $(3*6/(2+7))$, $[pi/6]$
- ⇒ `cd`, `clc`, `what`, `help file`, `print file [opzione]`, `grid`, `degrid`, `delete file`, `delete(n)`, `dir`, `shg`, `zoom on`, `zoom off`, `figure`
- ⇒ operatori e simboli (s o z)
- ⇒ Esempio



Sono disponibili da TFI i comandi Matlab:

Transfer Function Interpreter e Matlab

Funzioni TFI maggiormente utilizzate (1)

default: defactf_{gi} visualizza e salva nella directory corrente di lavoro con il nome gj la forma polinomiale di una data f.d.t. gi relativa ad un sistema a tempo continuo o tempo discreto

⇒ se gi ha termini in forma fattorizzata, gj sarà espressa nella forma non fattorizzata

factf: $\text{factf}_{gi,gj}$ visualizza e salva nella directory corrente di lavoro con il nome gj la forma fattorizzata di una f.d.t. gi relativa ad un sistema, a tempo continuo o a tempo discreto, data in forma polinomiale non completamente fattorizzata



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, g_i, g_j realizza il progetto per tentativi di una rete ritardatrice g_j per il sistema controllato g_i utilizzando i diagrammi di Bode

$> \text{lagc}, g_i, g_j$



leadc: leadc, g_i, g_j realizza il progetto per tentativi di una rete anticipatrice g_j per il sistema controllato g_i utilizzando i diagrammi di Bode



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



Funzioni *TFI* maggiormente utilizzate (4)

tresp: tresp, 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

\Rightarrow 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

$$G_p(s) = \frac{s(s+10)}{1000}$$

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 sovrallungazione, 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 sovrallungazione 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 sovrallungazione 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.



Comandi *TFI* generali (1)

Da *TFI* si possono usare i seguenti comandi (molti dei quali sono comandi Matlab):

- > `cd` visualizza il nome della directory corrente
- > `cd path` passa alla directory di lavoro specificata in `path`
- > `clc` cancella Command Window
- > `clear` rimuove tutte le funzioni compilate dallo spazio di lavoro di TFI
- > `degrid` rimuove il reticolo dalla figura corrente
- > `delete file.ext` cancella `file.ext` dalla directory corrente
- > `delete (n)` cancella la figura n
- > `delf` cancella tutte le figure
- > `dir` visualizza i nomi dei file della directory corrente in formato Matlab
- > `enl[arge]` ingrandisce del 20% la figura corrente
- > `fign` seleziona la figura n , con $n = 1, 2, \dots$
- > `grid` inserisce un reticolo nella figura corrente
- > `help file` visualizza l'*help* di `file.m`
- > `lar[ge]` ingrandisce la figura corrente a dimensione piena
- > `last` selezione la figura con il numero maggiore



Comandi *TFI* generali (2)

- > `med[ium]` pone la figura corrente a dimensione media
- > `new` crea una nuova figura
- > `ordf` riordina tutte le figure riducendole a dimensione piccola
- > `path` visualizza il path corrente
- > `print file [options]` salva la figura corrente in `.file`
- > `red[uce]` riduce del 20% la figura corrente
- > `res[iglo]` riporta ai valori di default le posizioni delle figure
- > `shg` mostra la figura corrente a dimensione piena
- > `sma[ll]` riduce la figura corrente a dimensione piccola
- > `tfi` fornisce l'*help* di TFI
- > `what` elenca i file `*.m` e `*.mat` presenti nella directory corrente
- > `whitebg` cambia lo sfondo delle figure (nero o bianco)
- > `zoom` commuta la funzione `zoom`
- > `zoom [on], [off]` inserisce o disinserisce la funzione `zoom`.

Si ricorda inoltre che si passa da una qualunque figura a Command Window semplicemente premendo il tasto *Esc*.



Funzioni TFI (1)

Nell' ambiente TFI sono disponibili le seguenti funzioni CAD. Per rendere più spedita la scrittura, si può omettere la parte racchiusa entro parentesi quadra.

- > con[vert] , gi , gj converte gi da s a z e salva il risultato in gj
- > defa[ctf] ,gi,gj pone gi in forma polinomiale e salva il risultato in gj
- > deft[f] ,gi definisce gi o con il mouse o secondo Bessel, Butterworth, Pad/e
- > des[crf] , gi analizza un sistema non lineare con la funzione descrittiva
- > fac[tf] , gi , gj fattorizza gi e salva il risultato in gj
- > fre[sp] , gi traccia i diagrammi di risposta in frequenza di gi
- > gpm[arg] ,gi visualizza i margini di ampiezza e fase (generalizzati) di gi
- > inv[tr] , gi visualizza l' antitrasformata di Laplace (o Z) di gi
- > lag[c] ,gi,gj progetto di rete ritardatrice (diagrammi di Bode)



Funzioni TFI (2)

- > lea[dc] , gi , gj progetto direte anticipatrice (diagrammi di Bode)
- > mak[eleg] inserisce o pulisce la legenda nell'ultima figura
- > nls[im] , gi , gj , gk, gw risposta nel tempo di sistema in retroazione non lineare
- > per[ftra] , gi , gj , gk, gw progetto di controllo digitale con preazione
- > pidc, gi , gj progetto di regolatore PID (diagrammi di Bode)
- > pidd, gi , gj progetto di regolatore PID digitale (diagrammi di Bode)
- > pidn[ich] ,gi,gj progetto di regolatore PD, PI o PID (diagramma di Nichols)
- > regd[ph] , gi , gj , gk, gw progetto di regolatore per allocazione dei poli
- > regn[ich] ,gi,gj progetto di rete correttrice (diagramma di Nichols)
- > regr[ootl] ,gi,gj progetto di regolatore con il luogo delle radici
- > rob[par] , gi , gj , gk, gw analisi di robustezza parametrica
- > roo[tl] ,gi traccia il luogo delle radici di gi



Funzioni TFI (3)

- > rou[th], gi visualizza gli intervalli di stabilit ad anello chiuso di gi
- > sam[ptime], T definisce il tempo di campionamento corrente in TFI
- > sel[ect], gi , gj sceglie in interattivo fattori di gi e salva in gj
- > sta[rtint] definisce alcune configurazioni dell'ambiente TFI
- > tfe[val], gi visualizza il valore di gi per un valore assegnato di s o z
- > tre[sp] , gi traccia la risposta all'impulso o al gradino di gi
- > wpl[ane], gi, gj converte dal piano z al piano w o viceversa
- > zpp[lots], gi , gj , gk, gw traccia le mappe zeri-poli di funzioni di trasferimento

Per ottenere informazioni concise su impiego e sintassi si può usare il comando "help name" da *Command Window*.
NOTA: L'invio di "0" da ogni menu consente l'uscita rapida da molte applicazioni.



Comandi TFI generali

Da TFI si possono usare i seguenti comandi (molti dei quali sono comandi Matlab):

> cd	visualizza il nome della directory corrente
> cd path	passa alla directory di lavoro specificata in path
> clc	cancella Command Window
> clear	rimuove tutte le funzioni compilate in TFI
> degrid	rimuove il reticolo dalla figura corrente
> delete file.ext	cancella file.ext dalla directory corrente
> delete (n)	cancella la figura n
> delf	cancella tutte le figure
> dir	visualizza i nomi dei file nella directory corrente
> enl[arge]	ingrandisce del 20% la figura corrente
> fign	seleziona la figura n, con $n = 1, 2, \dots$
> grid	inserisce un reticolo nella figura corrente
> help file	visualizza l'help di file.m
> lar[ge]	ingrandisce la figura corrente a dimensione piena
> last	selezione la figura con il numero maggiore
> med[ium]	pone la figura corrente a dimensione media
> new	crea una nuova figura
> ordf	riordina tutte le figure riducendole a dimensione piccola
> path	visualizza il path corrente
> print file [options]	salva la figura corrente in file
> red[uce]	riduce del 20% la figura corrente
> res[iglo]	riporta ai valori di default le posizioni delle figure
> shg	mostra la figura corrente a dimensione piena
> sma[ll]	riduce la figura corrente a dimensione piccola
> tfi	fornisce l' help di TFI
> what	elenca i file *.m e *.mat presenti nella directory corrente
> whitebg	cambia lo sfondo delle figure (nero o bianco)
> zoom	commuta la funzione zoom
> zoom [on], [off]	inserisce o disinserisce la funzione zoom.

Si ricorda inoltre che si passa da una qualunque figura a Command Window semplicemente premendo il tasto Esc.

