

Prefazione	3
Ringraziamenti	5
1 Introduzione all'uso del software di calcolo MATLAB	7
1.1 Caratteristiche del software MATLAB	7
1.2 Nozioni di base del MATLAB	8
1.3 Assegnazione di variabili scalari e funzioni elementari	10
1.4 Matrici e polinomi	13
1.5 Rappresentazione grafica di funzioni in una variabile	19
1.6 Programmi MATLAB	23
1.6.1. Script o programmi MATLAB	23
1.6.2. Funzioni MATLAB	24
1.7 Esercizi	26
2 Analisi dei sistemi lineari tempoinvarianti con il MATLAB CST	27
2.1 Modelli matematici dei sistemi dinamici LTI	27
2.2 Istruzioni MATLAB per modelli di sistemi SISO LTI con funzione di trasferimento	28
2.2.1 L'istruzione <code>tf</code>	28
2.2.2 L'istruzione <code>tf2zp</code>	29
2.2.3 L'istruzione <code>residue</code>	30
2.2.4 Le istruzioni <code>zpk</code> , <code>zp2tf</code> , <code>pzmap</code>	31
2.2.5 Le istruzioni <code>series</code> , <code>parallel</code> , <code>feedback</code>	32
2.3 Istruzioni MATLAB per modelli di sistemi SISO LTI in variabili di stato	34

2.4	Risposta all'impulso e al gradino di sistemi SISO LTI del primo ordine	37
2.5	Risposta al gradino di sistemi SISO LTI del secondo ordine	47
2.6	Risposta al gradino di sistemi SISO LTI di ordine superiore al secondo	52
2.7	Analisi delle risposte nel tempo di sistemi SISO LTI	56
2.8	Risposta nel tempo di sistemi SISO LTI con ritardo puro	61
2.9	Interfacce grafiche per analisi e sintesi di sistemi SISO LTI	62
2.10	Esercizi	65
3	Simulazione dei sistemi dinamici con MATLAB	67
3.1	Modelli matematici dei sistemi dinamici e soluzione con MATLAB	67
3.1.1	Integrazione di equazioni differenziali con MATLAB	69
3.2	Esempio di sistema lineare: sistema meccanico massa-molla-smorzatore	70
3.3	Esempio di sistema lineare: circuito elettrico RLC serie	74
3.4	Esempio di sistema non lineare: pendolo semplice	78
3.5	Esercizi	83
4	Simulazione dei sistemi dinamici con Simulink	85
4.1	Descrizione dell'ambiente grafico Simulink	85
4.1.1	Principali librerie di Simulink	87
4.1.2	Principali operazioni eseguibili in ambiente Simulink	92
4.2	Integrazione di equazioni differenziali e soluzione di sistemi dinamici con Simulink	94
4.2.1	Soluzione dei sistemi LTI modellati con funzione di trasferimento	95
4.2.2	Integrazione di equazioni differenziali con Simulink	101
4.3	Analisi di sistemi LTI con Simulink	105
4.3.1	Sistema meccanico massa-molla-smorzatore	105
4.3.2	Circuito elettrico RLC serie	109
4.3.3	Sistema lineare con ritardo puro	113
4.4	Analisi di sistemi non lineari con Simulink	115
4.4.1	Pendolo semplice	115
4.4.2	Circuito elettrico con resistore non lineare	118
4.4.3	Sistema idraulico	126
4.5	Analisi di sistemi tempovarianti con Simulink	132
4.6	Analisi di sistemi LTI in retroazione con Simulink	134
4.6.1	Sistema del secondo ordine chiuso in retroazione	134
4.6.2	Sistema del terzo ordine con ritardo chiuso in retroazione	137
4.7	Esercizi	139

5	Studio di un sistema idraulico del terzo ordine con il CST e Simulink	141
5.1	Modello di sistema idraulico	141
5.2	Analisi del modello linearizzato nell'intorno di una soluzione di equilibrio	143
5.3	Analisi del modello non lineare	148
5.4	Analisi del modello non lineare con il <i>differential equation editor</i>	155
5.5	Determinazione di una soluzione di equilibrio e linearizzazione del modello non lineare con il <i>differential equation editor</i>	157
5.6	Esercizi	160
6	Analisi e controllo con Simulink di un motore in corrente continua pilotato in armatura	163
6.1	Motore in corrente continua pilotato in armatura in anello aperto	163
6.2	Motore in corrente continua pilotato in armatura in anello chiuso	172
6.3	Esercizi	178
7	Analisi della sospensione di un veicolo con il CST	179
7.1	Modello del quarto di veicolo	179
7.2	Analisi del sistema con il CST	181
7.3	Esercizi	189
8	Uso di MATLAB per il tracciamento del luogo delle radici	191
8.1	Tracciamento del luogo delle radici	191
8.2	Luogo delle radici di sistemi con ritardo puro	199
8.3	Interfaccia grafica per lo studio del luogo delle radici	202
8.4	Esercizi	202
9	Uso di MATLAB per il tracciamento dei diagrammi di Bode	205
9.1	Diagrammi di Bode di funzioni di trasferimento elementari	205
9.2	Esempi di diagrammi di Bode	215
9.2.1	Funzione di trasferimento con un polo nell'origine e uno reale negativo	216
9.2.2	Funzione di trasferimento di una rete ritardatrice	216
9.2.3	Funzione di trasferimento di una rete anticipatrice	218
9.2.4	Funzione di trasferimento di una rete ritardo-anticipo	218
9.2.5	Funzione di trasferimento a fase minima del terzo ordine con uno zero	219
9.3	Diagrammi di Bode di sistemi con ritardo puro	222
9.4	Esercizi	223
10	Uso di MATLAB per il tracciamento dei diagrammi di Nyquist	225
10.1	Diagrammi e criterio di Nyquist	225
10.1.1	Sistema a fase minima di tipo 1	226

10.1.2 Sistema del secondo ordine a fase minima	227
10.1.3 Sistema del secondo ordine con uno zero a fase minima	228
10.1.4 Sistema del secondo ordine con uno zero a fase non minima	231
10.1.5 Sistema del secondo ordine a fase non minima	234
10.2 Diagrammi di Nyquist di sistemi con ritardo puro	237
10.3 Indici di stabilità relativa e criterio di Nyquist	239
10.3.1 Esempi di valutazione dei margini di ampiezza e fase	240
10.3.2 Margini di ampiezza e fase di sistemi con ritardo puro nella funzione di trasferimento di anello	243
10.4 Esercizi	244
11 Uso di MATLAB per il tracciamento dei diagrammi di Nichols	247
11.1 Diagrammi di Nichols	247
11.1.1 Diagramma di Nichols di un integratore puro	247
11.1.2 Diagramma di Nichols di un sistema del quarto ordine a fase minima di tipo 1	248
11.1.3 Diagramma di Nichols di un sistema del terzo ordine a fase minima di tipo 1	250
11.2 Diagrammi di Nichols e carte di Nichols	251
11.3 Esercizi	254
12 Uso di MATLAB per l'analisi e la sintesi di reti correttrici	255
12.1 Requisiti e specifiche di un sistema di controllo	255
12.2 Compensazione serie con attenuatore o con rete ritardatrice	260
12.3 Progetto di rete ritardatrice con i diagrammi di Bode	264
12.4 Compensazione serie con rete anticipatrice	272
12.5 Progetto di rete anticipatrice con i diagrammi di Bode	275
12.6 Progetto di rete ritardo-anticipo con i diagrammi di Bode	283
12.7 Confronto della compensazione con rete ritardatrice, anticipatrice e ritardo-anticipo	292
12.8 Esercizi	296
13 Uso di MATLAB per l'analisi e la sintesi di regolatori standard	299
13.1 Compensazione con regolatore P	300
13.2 Compensazione con regolatore PI	303
13.3 Compensazione con regolatore PD	306
13.4 Compensazione con regolatore PID	310
13.5 Taratura dei regolatori standard: metodo di Ziegler-Nichols in anello aperto	314
13.6 Taratura dei regolatori standard: metodo di Ziegler-Nichols in anello chiuso	323
13.7 Esercizi	330

14 Progetto della retroazione di stato con il MATLAB CST	333
14.1 Determinazione della matrice di retroazione di stato	333
14.2 Modello in variabili di stato del motore in corrente continua pilotato in armatura	337
14.3 Progetto con il CST della retroazione di stato per il motore in corrente continua pilotato in armatura	341
14.4 Esercizi	347
15 Retroazione di stato con il CST e Simulink	349
15.1 Modello del sistema idraulico	350
15.2 Determinazione della matrice di retroazione di stato con il CST	352
15.3 Analisi in Simulink del sistema idraulico in anello aperto e in anello chiuso con retroazione di stato	358
15.3.1 Analisi in Simulink del modello lineare in anello aperto	359
15.3.2 Analisi in Simulink del modello lineare in anello chiuso	363
15.3.3 Analisi in Simulink del modello non lineare in anello chiuso	366
15.4 Esercizi	368
16 Retroazione di stato con regolatore ottimo con il CST e Simulink	369
16.1 Sintesi del regolatore ottimo in retroazione di stato con il CST	370
16.2 Modello del pendolo inverso	372
16.3 Sintesi per linearizzazione del regolatore ottimo del pendolo inverso	376
16.4 Analisi in Simulink del modello non lineare in anello chiuso	384
16.5 Esercizi	391
17 Stima asintotica dello stato con il CST e Simulink	393
17.1 Sintesi dello stimatore asintotico dello stato con il CST	393
17.2 Retroazione di stato con osservatore per un sistema idraulico	397
17.2.1 Sintesi della retroazione di stato e dell'osservatore con il CST	398
17.2.2 Analisi in Simulink del sistema retroazionato con osservatore	406
17.3 Esercizi	410
A. Principali istruzioni di MATLAB e del CST per il laboratorio di automatica	411
A.1 Alcune istruzioni di ausilio	411
A.2 Istruzioni per le principali operazioni elementari	412
A.3 Istruzioni per il trattamento di polinomi	413
A.4 Istruzioni per il tracciamento di grafici in due dimensioni	413
A.5 Istruzioni per l'analisi di sistemi LTI	414
A.6 Istruzioni per l'analisi di risposte al gradino e la simulazione di sistemi LTI	415
A.7 Istruzioni per l'analisi e la simulazione di sistemi dinamici	416

A.8 Istruzioni per il tracciamento del luogo delle radici di sistemi LTI	416
A.9 Istruzioni per l'analisi in frequenza di sistemi LTI	416
A.10 Istruzioni per il controllo in retroazione di stato di sistemi LTI multivariabili	417
B. Principali blocchi Simulink per il laboratorio di automatica	419
B.1 Blocchi Simulink	419
Bibliografia	421
Indice analitico	425