
Indice del libro

Alessandro Giua, Carla Seatzu
Analisi dei sistemi dinamici,
Springer-Verlag Italia, II edizione, 2009
Pagina web: <http://www.diee.unica.it/giua/ASD/>

Prefazione	V
1 Introduzione	1
1.1 Automatica e sistemi	1
1.2 Problemi affrontati dall'Automatica	2
1.2.1 Modellazione	2
1.2.2 Identificazione	3
1.2.3 Analisi	3
1.2.4 Controllo	4
1.2.5 Ottimizzazione	4
1.2.6 Verifica	5
1.2.7 Diagnosi di guasto	5
1.3 Classificazione dei sistemi	5
1.3.1 Sistemi ad avanzamento temporale	6
1.3.2 Sistemi ad eventi discreti	8
1.3.3 Sistemi ibridi	9
2 Sistemi, modelli e loro classificazione	11
2.1 Descrizione di sistema	11
2.1.1 Descrizione ingresso-uscita	12
2.1.2 Descrizione in variabili di stato	14
2.2 Modello matematico di un sistema	16
2.2.1 Modello ingresso-uscita	16
2.2.2 Modello in variabili di stato	18
2.3 Formulazione del modello matematico	19
2.3.1 Sistemi idraulici	19
2.3.2 Sistemi elettrici	21
2.3.3 Sistemi meccanici	23

2.3.4	Sistemi termici	26
2.4	Proprietà dei sistemi	28
2.4.1	Sistemi dinamici o istantanei	28
2.4.2	Sistemi lineari o non lineari	30
2.4.3	Sistemi stazionari o non stazionari	33
2.4.4	Sistemi propri o impropri	35
2.4.5	Sistemi a parametri concentrati o distribuiti	37
2.4.6	Sistemi senza elementi di ritardo o con elementi di ritardo	39
	Esercizi	40
3	Analisi nel dominio del tempo dei modelli ingresso-uscita . .	45
3.1	Modello ingresso-uscita e problema di analisi	46
3.1.1	Problema fondamentale dell'analisi dei sistemi	46
3.1.2	Soluzione in termini di evoluzione libera e evoluzione forzata	47
3.2	Equazione omogenea e modi	48
3.2.1	Radici complesse e coniugate	51
3.3	L'evoluzione libera	54
3.3.1	Radici complesse e coniugate	56
3.3.2	Istante iniziale diverso da 0	58
3.4	Classificazione dei modi	60
3.4.1	Modi aperiodici	60
3.4.2	Modi pseudoperiodici	64
3.5	La risposta impulsiva	68
3.5.1	Struttura della risposta impulsiva	69
3.5.2	Calcolo della risposta impulsiva [*]	71
3.6	L'evoluzione forzata e l'integrale di Duhamel	75
3.6.1	Integrale di Duhamel	76
3.6.2	Scomposizione in evoluzione libera ed evoluzione forzata	78
3.6.3	Calcolo della risposta forzata mediante convoluzione ...	79
3.7	Altri regimi canonici [*]	81
	Esercizi	83
4	Analisi nel dominio del tempo delle rappresentazioni in variabili di stato	87
4.1	Rappresentazione in variabili di stato e problema di analisi ...	87
4.2	La matrice di transizione dello stato	88
4.2.1	Proprietà della matrice di transizione dello stato [*]	89
4.2.2	Lo sviluppo di Sylvester	90
4.3	Formula di Lagrange	95
4.3.1	Evoluzione libera e evoluzione forzata	96
4.3.2	Risposta impulsiva di una rappresentazione in VS	98
4.4	Trasformazione di similitudine	99
4.5	Diagonalizzazione	103

4.5.1	Calcolo della matrice di transizione dello stato tramite diagonalizzazione	106
4.5.2	Matrici con autovalori complessi [*]	107
4.6	Forma di Jordan	110
4.6.1	Determinazione di una base di autovettori generalizzati [*]	114
4.6.2	Matrice modale generalizzata [*]	120
4.6.3	Calcolo della matrice di transizione dello stato tramite forma di Jordan	123
4.7	Matrice di transizione dello stato e modi	126
4.7.1	Polinomio minimo e modi	126
4.7.2	Interpretazione fisica degli autovettori	127
	Esercizi	130
5	La trasformata di Laplace	135
5.1	Definizione di trasformata e antitrasformata di Laplace	135
5.1.1	Trasformata di Laplace	136
5.1.2	Antitrasformata di Laplace	137
5.1.3	Trasformata di segnali impulsivi	138
5.1.4	Calcolo della trasformata della funzione esponenziale	139
5.2	Proprietà fondamentali delle trasformate di Laplace	140
5.2.1	Proprietà di linearità	140
5.2.2	Teorema della derivata in s	141
5.2.3	Teorema della derivata nel tempo	143
5.2.4	Teorema dell'integrale nel tempo	146
5.2.5	Teorema della traslazione nel tempo	147
5.2.6	Teorema della traslazione in s	149
5.2.7	Teorema della convoluzione	150
5.2.8	Teorema del valore finale	151
5.2.9	Teorema del valore iniziale	153
5.3	Antitrasformazione delle funzioni razionali	154
5.3.1	Funzioni strettamente proprie con poli di molteplicità unitaria	155
5.3.2	Funzioni strettamente proprie con poli di molteplicità maggiore di uno	160
5.3.3	Funzioni non strettamente proprie	164
5.3.4	Antitrasformazione di funzioni con elementi di ritardo	165
5.3.5	Esistenza del valore finale di una antitrasformata	166
5.4	Risoluzione di equazioni differenziali mediante le trasformate di Laplace	167
	Esercizi	169

6	Analisi nel dominio della variabile di Laplace	175
6.1	Analisi dei modelli ingresso-uscita mediante trasformate di Laplace	175
6.1.1	Risposta libera	178
6.1.2	Risposta forzata	179
6.2	Analisi dei modelli in variabili di stato mediante trasformate di Laplace	179
6.2.1	La matrice risolvete	181
6.2.2	Esempio di calcolo dell'evoluzione libera e forzata	183
6.3	Funzione di trasferimento	185
6.3.1	Definizione di funzione e matrice di trasferimento	185
6.3.2	Funzione di trasferimento e risposta impulsiva	186
6.3.3	Risposta impulsiva e modello ingresso-uscita	187
6.3.4	Identificazione della funzione di trasferimento	188
6.3.5	Funzione di trasferimento per modelli in variabile di stato	188
6.3.6	Matrice di trasferimento	189
6.3.7	Matrice di trasferimento e similitudine	191
6.3.8	Passaggio da un modello in VS a un modello IU	191
6.3.9	Sistemi con elementi di ritardo	193
6.4	Forme fattorizzate della funzione di trasferimento	193
6.4.1	Rappresentazione residui-poli	193
6.4.2	Rappresentazione zeri-poli	194
6.4.3	Rappresentazione di Bode	196
6.5	Studio della risposta forzata mediante le trasformate di Laplace	199
6.5.1	Risposta forzata ad ingressi canonici	200
6.5.2	La risposta a regime permanente e la risposta transitoria	203
6.5.3	Risposta indiciale	205
	Esercizi	213
7	Realizzazione di modelli in variabili di stato e analisi dei sistemi interconnessi	219
7.1	Realizzazione di sistemi SISO	219
7.1.1	Introduzione	219
7.1.2	Caso $n = m = 0$	221
7.1.3	Caso $n > 0$ e $m = 0$	221
7.1.4	Caso $n \geq m > 0$	225
7.1.5	Passaggio da un insieme di condizioni iniziali sull'uscita ad uno stato iniziale	231
7.2	Studio dei sistemi interconnessi	233
7.2.1	Collegamenti elementari	235
7.2.2	Determinazione della matrice di trasferimento per sistemi MIMO	238
7.2.3	Algebra degli schemi a blocchi [*]	241
	Esercizi	244

8	Analisi nel dominio della frequenza	249
8.1	Risposta armonica	250
8.1.1	Risposta a regime ad un ingresso sinusoidale	250
8.1.2	Definizione di risposta armonica	252
8.1.3	Determinazione sperimentale della risposta armonica	252
8.2	Risposta a segnali dotati di serie o trasformata di Fourier	253
8.3	Diagramma di Bode	254
8.3.1	Regole per il tracciamento del diagramma di Bode	256
8.3.2	Esempi numerici	271
8.4	Parametri caratteristici della risposta armonica e azioni filtranti	275
8.4.1	Parametri caratteristici	275
8.4.2	Azioni filtranti	279
	Esercizi	283
9	Stabilità	287
9.1	Stabilità BIBO	287
9.2	Stabilità secondo Lyapunov delle rappresentazioni in termini di variabili di stato	293
9.2.1	Stati di equilibrio	295
9.2.2	Definizioni di stabilità secondo Lyapunov	295
9.2.3	Movimento e traiettoria [*]	303
9.3	Stabilità secondo Lyapunov dei sistemi lineari e stazionari	308
9.3.1	Stati di equilibrio	308
9.3.2	Stabilità dei punti di equilibrio	310
9.3.3	Esempi di analisi della stabilità	313
9.3.4	Movimento e traiettoria [*]	316
9.3.5	Confronto tra stabilità BIBO e stabilità alla Lyapunov	317
9.4	Criterio di Routh	318
9.4.1	Criteri elementari per valutare il segno delle radici di un polinomio	319
9.4.2	Tabella e criterio di Routh	321
9.4.3	Casi singolari	323
9.4.4	Criterio di Routh in forma parametrica	329
	Esercizi	331
10	Analisi dei sistemi in retroazione	335
10.1	Controllo in retroazione	335
10.2	Luogo delle radici	339
10.2.1	Regole per il tracciamento del luogo	342
10.3	Criterio di Nyquist	354
10.3.1	Diagramma di Nyquist	355
10.3.2	Criterio di Nyquist	364
10.4	Luoghi per calcolare $W(j\omega)$ quando $G(j\omega)$ è assegnata graficamente	376
10.4.1	Carta di Nichols	377

10.4.2	Luoghi sul piano di Nyquist	383
	Esercizi	387
11	Controllabilità e osservabilità	391
11.1	Controllabilità	392
11.1.1	Verifica della controllabilità per rappresentazioni arbitrarie	393
11.1.2	Verifica della controllabilità per rappresentazioni diagonali	397
11.1.3	Controllabilità e similitudine	399
11.1.4	Forma canonica controllabile di Kalman [*]	401
11.2	Retroazione dello stato [*]	404
11.2.1	Ingresso scalare	405
11.2.2	Ingresso non scalare	407
11.3	Osservabilità	413
11.3.1	Verifica della osservabilità per rappresentazioni arbitrarie	414
11.3.2	Verifica della osservabilità per rappresentazioni diagonali	417
11.3.3	Osservabilità e similitudine	419
11.3.4	Forma canonica osservabile di Kalman [*]	420
11.4	Dualità tra controllabilità e osservabilità	423
11.5	Osservatore asintotico dello stato [*]	425
11.5.1	Osservatore di Luenberger	426
11.5.2	Osservatore di ordine ridotto	429
11.6	Retroazione dello stato in presenza di un osservatore [*]	436
11.7	Controllabilità, osservabilità e relazione ingresso-uscita	438
11.7.1	Forma canonica di Kalman	439
11.7.2	Relazione ingresso-uscita	439
11.8	Raggiungibilità e ricostruibilità [*]	442
11.8.1	Controllabilità e raggiungibilità	442
11.8.2	Osservabilità e ricostruibilità	443
	Esercizi	443
12	Analisi dei sistemi non lineari	447
12.1	Cause ed effetti tipici di non linearità	447
12.1.1	Cause tipiche di non linearità	447
12.1.2	Effetti tipici delle non linearità	449
12.2	Studio della stabilità mediante i criteri di Lyapunov	455
12.2.1	Studio della stabilità mediante funzione di Lyapunov ...	455
12.2.2	Linearizzazione intorno ad uno stato di equilibrio e stabilità	461
12.3	Analisi mediante funzione descrittiva [*]	467
12.3.1	Funzione descrittiva	468
12.3.2	Analisi mediante funzione descrittiva	479
	Esercizi	484

Appendici	489
A Richiami ai numeri complessi	491
A.1 Definizioni elementari	491
A.2 I numeri complessi	491
A.2.1 Rappresentazione cartesiana	491
A.2.2 Esponenziale immaginario	492
A.2.3 Rappresentazione polare	493
A.3 Formule di Eulero	495
B Segnali e distribuzioni	497
B.1 Segnali canonici	497
B.1.1 Il gradino unitario	497
B.1.2 Le funzioni a rampa e la rampa esponenziale	498
B.1.3 L'impulso	499
B.1.4 Le derivate dell'impulso	501
B.1.5 Famiglia dei segnali canonici	502
B.2 Calcolo delle derivate di una funzione discontinua	502
B.3 Integrale di convoluzione	504
B.4 Convoluzione con segnali canonici	507
C Elementi di algebra lineare	509
C.1 Matrici e vettori	509
C.2 Operatori matriciali	512
C.2.1 Trasposizione	512
C.2.2 Somma e differenza	513
C.2.3 Prodotto di una matrice per uno scalare	513
C.2.4 Prodotto matriciale	514
C.2.5 Potenza di una matrice	516
C.2.6 L'esponenziale di una matrice	517
C.3 Determinante	518
C.4 Rango e nullità di una matrice	521
C.5 Sistemi di equazioni lineari	523
C.6 Inversa	525
C.7 Autovalori e autovettori	528
D Matrici in forma compagna e forme canoniche	535
D.1 Matrici in forma compagna	535
D.1.1 Polinomio caratteristico	536
D.2 Forme canoniche delle rappresentazioni in variabili di stato ...	537
D.2.1 Forma canonica di controllo	538
D.2.2 Forma canonica di osservazione	543
D.3 Autovettori di una matrice in forma compagna	546
D.3.1 Autovettori	546
D.3.2 Autovettori generalizzati [*]	547

D.3.3	Matrici in forma compagna trasposta	549
E	Lineare indipendenza di funzioni del tempo	551
F	Serie e integrale di Fourier	555
F.1	Serie di Fourier	555
F.1.1	Forma esponenziale	555
F.1.2	Forma trigonometrica	557
F.2	Integrale e trasformata di Fourier	559
F.2.1	Forma esponenziale	559
F.2.2	Forma trigonometrica	561
F.3	Relazione tra trasformata di Fourier e di Laplace	562
G	Teorema di Cayley-Hamilton e calcolo di funzioni matriciali	565
G.1	Teorema di Cayley-Hamilton	565
G.2	Teorema di Cayley-Hamilton e polinomio minimo	566
G.3	Funzioni analitiche di una matrice	568
	Bibliografia	573
	Indice analitico	575