

Indice

Prefazione	xi
1 Generalità	1
1.1 Introduzione	1
1.2 Cos'è l'automatica?	2
1.3 Cenni storici	3
1.4 Problemi di controllo	13
1.5 Sistemi di controllo	16
1.6 Azione diretta e retroazione	20
1.7 Esempi di sistemi dinamici	25
1.8 Modelli di stato e ingresso-uscita	29
1.9 Classificazione dei sistemi dinamici	33
1.10 Organizzazione	35
1.11 Conclusioni	37
2 Modellistica	39
2.1 Introduzione	39
2.2 Sistemi elettrici	40
2.3 Sistemi meccanici	52
2.4 Motore in corrente continua	59
2.5 Sistemi termici	65
2.6 Sistemi idraulici	67
2.7 Conclusioni	74
3 Analisi nel tempo di sistemi LTI	75
3.1 Introduzione	75
3.2 Analisi della risposta di un sistema LTI	76
3.3 Risposta libera e risposta forzata	85
3.4 Risposta impulsiva	86
3.5 Analisi in continua	89

3.6	Analisi modale	91
3.7	Stabilità	98
3.8	Criterio di Routh	100
3.9	Poli/zeri e comportamento dinamico	104
3.9.1	Sistemi del primo ordine	109
3.9.2	Sistemi del secondo ordine	110
3.9.3	Sistemi di ordine superiore al secondo	120
3.10	Conclusioni	125
4	Sistemi non lineari e linearizzazione	127
4.1	Introduzione	127
4.2	Equilibrio	128
4.3	Stabilità dell'equilibrio	130
4.4	Linearizzazione	133
4.5	Analisi di stabilità mediante linearizzazione	134
4.6	Esempi	135
4.7	Conclusioni	151
5	Analisi in frequenza di sistemi LTI	153
5.1	Introduzione	153
5.2	Analisi armonica	154
5.3	Risposta in frequenza	158
5.4	Diagrammi di Bode	163
5.5	Diagramma di Nyquist	178
5.6	Tracciamento qualitativo dei diagrammi di Nyquist	183
5.7	Esempi	188
5.8	Conclusioni	198
6	Simulazione	201
6.1	Introduzione	201
6.2	Schemi a blocchi	202
6.3	Integrazione numerica di equazioni differenziali	205
6.4	Conclusioni	211
7	Analisi di sistemi a retroazione	213
7.1	Introduzione	213
7.2	Sistemi interconnessi	214
7.2.1	Connessione in serie	214
7.2.2	Connessione in parallelo	216
7.2.3	Connessione in retroazione	217
7.3	Stabilità interna	220

7.4	Criterio di Nyquist	224
7.5	Margini di stabilità	236
7.6	Conclusioni	247
8	Luogo delle radici	249
8.1	Introduzione	249
8.2	Definizione	250
8.3	Tracciamento: condizioni analitiche	252
8.4	Tracciamento qualitativo	256
8.5	Esempi di tracciamento	260
8.6	Conclusioni	269
9	Specifiche dei sistemi di controllo	273
9.1	Introduzione	273
9.2	Funzioni caratteristiche del sistema di controllo	274
9.3	Specifiche statiche	276
9.4	Specifiche dinamiche	281
9.4.1	Specifiche sulla risposta al gradino	282
9.4.2	Specifiche sulla risposta in frequenza ad anello chiuso	283
9.4.3	Specifiche sulla risposta in frequenza ad anello aperto	284
9.4.4	Conversione di specifiche	287
9.5	Moderazione della variabile di controllo	290
9.6	Conclusioni	293
10	Sintesi dei sistemi di controllo	295
10.1	Introduzione	295
10.2	Sintesi nel dominio della frequenza	295
10.2.1	Reti correttrici	301
10.2.2	Esempi di sintesi per sistemi “non comuni”	319
10.3	Sintesi con il luogo delle radici	332
10.4	Regolatori PID	346
10.4.1	Metodi di calibrazione	351
10.5	Sintesi diretta	357
10.6	Conclusioni	365
11	Cenni sui sistemi di controllo digitale	369
11.1	Introduzione	369
11.2	Schema di principio	369
11.3	Proprietà dei segnali campionati	373
11.4	Analisi di sistemi a tempo-discreto	374
11.4.1	Funzione di trasferimento	374

11.4.2	Risposta in frequenza	376
11.4.3	Stabilità dei sistemi a tempo discreto	378
11.5	Progetto di controllori digitali	382
11.5.1	Scelta del tempo di campionamento	382
11.5.2	Discretizzazione di un controllore analogico	383
11.5.3	Tecniche “dirette” a tempo discreto	388
11.6	Conclusioni	392
12	Casi di progetto pratici	395
12.1	Introduzione	395
12.2	Modello in scala di elicottero	395
12.3	Progetto di regolatori PID	397
12.4	Modello matematico	401
12.5	Progetto dei controllori: sintesi diretta	407
12.5.1	Controllo dell’angolo di elevazione	408
12.5.2	Controllo dell’angolo di azimuth	409
12.5.3	Verifica e calibrazione dei controllori	410
A	Trasformata di Laplace	417
B	Trasformata Zeta	427
	Bibliografia	433
	Indice analitico	435