

# Indice

<b>Prefazione</b>	<b>xi</b>
<b>1 Generalità</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Modellistica</b>	<b>39</b>
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
<b>3 Analisi nel tempo di sistemi LTI</b>	<b>75</b>
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
<b>4</b>	<b>Sistemi non lineari e linearizzazione</b>	<b>127</b>
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
<b>5</b>	<b>Analisi in frequenza di sistemi LTI</b>	<b>153</b>
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
<b>6</b>	<b>Simulazione</b>	<b>201</b>
6.1	Introduzione . . . . .	201
6.2	Schemi a blocchi . . . . .	202
6.3	Integrazione numerica di equazioni differenziali . . . . .	205
6.4	Conclusioni . . . . .	211
<b>7</b>	<b>Analisi di sistemi a retroazione</b>	<b>213</b>
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
<b>8</b>	<b>Luogo delle radici</b>	<b>249</b>
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
<b>9</b>	<b>Specifiche dei sistemi di controllo</b>	<b>273</b>
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
<b>10</b>	<b>Sintesi dei sistemi di controllo</b>	<b>295</b>
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
<b>11</b>	<b>Cenni sui sistemi di controllo digitale</b>	<b>369</b>
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
<b>12</b>	<b>Casi di progetto pratici</b>	<b>395</b>
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
<b>A</b>	<b>Trasformata di Laplace</b>	<b>417</b>
<b>B</b>	<b>Trasformata Zeta</b>	<b>427</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>433</b>
	<b>Indice analitico</b>	<b>435</b>