

# Indice

0.1	Prefazione . . . . .	xi
<b>1</b>	<b>GRANDEZZE ELETTRICHE</b>	<b>1</b>
1.1	Tensione elettrica - Voltmetro . . . . .	1
1.1.1	Esempio n. 1 . . . . .	3
1.1.2	Esempio n. 2 . . . . .	3
1.2	Corrente elettrica - Amperometro . . . . .	4
1.2.1	Esempio n. 1 . . . . .	6
1.2.2	Esempio n. 2 . . . . .	7
1.3	Potenza elettrica - Wattmetro . . . . .	7
1.4	Strumenti di misura reali e ideali . . . . .	10
<b>2</b>	<b>COMPONENTI: CLASSIFICAZIONE ENERGETICA</b>	<b>11</b>
2.1	Primo principio della termodinamica . . . . .	11
2.2	Resistore . . . . .	15
2.2.1	Alcuni resistori particolari . . . . .	19
2.2.2	Valore efficace di una corrente o di una tensione . . . . .	20
2.2.3	Esempio n. 1 . . . . .	21
2.2.4	Esempio n. 2 . . . . .	22
2.3	Induttore . . . . .	22
2.3.1	Esercizio n. 1 . . . . .	29
2.3.2	Esercizio n. 2 . . . . .	33
2.4	Condensatore . . . . .	34
2.4.1	Esercizio n. 1 . . . . .	39

2.4.2	Esercizio n. 2 . . . . .	41
2.5	Convertitore . . . . .	42
2.5.1	Sorgente ideale di tensione . . . . .	43
2.5.2	Sorgente ideale di corrente . . . . .	44
<b>3</b>	<b>RETI DI BIPOLI E METODI SEMPLICI DI ANALISI</b>	<b>47</b>
3.1	Bipolo, nodo, maglia . . . . .	47
3.2	Legge di Kirchhoff delle correnti . . . . .	49
3.3	Legge di Kirchhoff delle tensioni . . . . .	50
3.4	Partitori resistivi . . . . .	51
3.4.1	Partitore di tensione . . . . .	51
3.4.2	Partitore di corrente . . . . .	53
3.4.3	Esercizi . . . . .	54
3.5	Partitori induttivi . . . . .	58
3.5.1	Partitore di tensione . . . . .	58
3.5.2	Partitore di corrente . . . . .	59
3.5.3	Esercizi . . . . .	61
3.6	Partitori capacitivi . . . . .	62
3.6.1	Partitore di corrente . . . . .	62
3.6.2	Partitore di tensione . . . . .	63
3.6.3	Esercizi . . . . .	65
3.7	Sorgenti di tensione in serie . . . . .	66
3.8	Sorgenti di corrente in parallelo . . . . .	67
3.9	Bipolo attivo tipo serie . . . . .	68
3.10	Bipolo attivo tipo parallelo . . . . .	72
3.11	Equivalenza fra bipoli serie e parallelo . . . . .	78
3.11.1	Esempio n. 1 . . . . .	79
3.12	Metodo della rete equivalente serie-parallelo (Thevenin-Norton)	80
3.12.1	Casi singolari nella trasformazione Thevenin-Norton	82
3.12.2	Applicazione del metodo delle semplificazioni successive	82
3.12.3	Esercizio n. 1 . . . . .	85
3.12.4	Esercizio n. 2 . . . . .	86
3.12.5	Esercizio n. 3 . . . . .	86
3.12.6	Esercizio n. 4 . . . . .	90
3.12.7	Esercizio n. 5 . . . . .	91
3.12.8	Rete lineare con un solo elemento non lineare . . . . .	92
3.13	Metodo della sovrapposizione degli effetti . . . . .	92
<b>4</b>	<b>TRIPOLI E DOPPI BIPOLI RESISTIVI</b>	<b>95</b>
4.1	Due-porta resistivo lineare a corrente impressa . . . . .	98
4.1.1	Circuito equivalente . . . . .	101
4.2	Due-porta resistivo lineare a tensione impressa . . . . .	102
4.2.1	Circuito equivalente . . . . .	104
4.3	Inversione della rappresentazione omogenea . . . . .	106
4.4	Trasformazione triangolo-stella . . . . .	106

4.5	Trasformazione stella-triangolo . . . . .	108
4.5.1	Casi singolari . . . . .	109
4.6	Due-porta resistivo lineare in formulazione ibrida . . . . .	111
4.6.1	Trasformatore ideale resistivo . . . . .	113
4.6.2	Applicazione del trasformatore ideale resistivo come adattatore alla massima potenza. . . . .	115
4.6.3	Circuito equivalente . . . . .	116
4.7	Due-porta resistivo in formulazione di trasmissione . . . . .	117
4.7.1	Esercizio sui doppi bipoli resistivi . . . . .	119
4.8	Sorgenti controllate . . . . .	122
4.9	Sorgente di tensione controllata in corrente . . . . .	123
4.10	Sorgente di corrente controllata in tensione . . . . .	124
4.11	Sorgente di corrente controllata in corrente . . . . .	125
4.12	Sorgente di tensione controllata in tensione . . . . .	125
4.13	Giratore . . . . .	126
<b>5</b>	<b>TRANSITORI</b>	<b>131</b>
5.1	Introduzione . . . . .	131
5.2	Transitorio GC in risposta libera . . . . .	132
5.3	Transitorio GC in risposta forzata . . . . .	138
5.4	Transitorio RL in risposta libera . . . . .	142
5.5	Transitorio RL in risposta forzata . . . . .	148
5.6	Transitorio GLC in risposta libera . . . . .	152
5.7	Transitorio GLC in risposta forzata . . . . .	163
5.8	Transitorio RLC serie . . . . .	164
5.9	Transitorio RL con forzante sinusoidale . . . . .	165
5.10	Esercizi su transitori di reti RL ed RC del primo ordine . . . . .	169
5.10.1	Esercizio n. 1 . . . . .	169
5.10.2	Esercizio n. 2 . . . . .	173
5.10.3	Esercizio n. 3 . . . . .	176
5.10.4	Problema n. 1 . . . . .	179
5.10.5	Problema n. 2 . . . . .	179
<b>6</b>	<b>REGIME SINUSOIDALE</b>	<b>181</b>
6.1	Introduzione . . . . .	181
6.2	Grandezze sinusoidali . . . . .	181
6.3	Fasori e vettori nel piano complesso . . . . .	183
6.3.1	Somma . . . . .	184
6.3.2	Differenza . . . . .	186
6.3.3	Prodotto . . . . .	186
6.3.4	Prodotto coniugato . . . . .	187
6.3.5	Rapporto . . . . .	187
6.3.6	Derivata . . . . .	188
6.3.7	Integrale . . . . .	189
6.4	Bipoli in regime sinusoidale . . . . .	190

6.4.1	Potenza apparente complessa . . . . .	192
6.4.2	Resistore in regime sinusoidale . . . . .	194
6.4.3	Induttore in regime sinusoidale . . . . .	197
6.4.4	Condensatore in regime sinusoidale . . . . .	201
6.4.5	RLC in regime sinusoidale . . . . .	204
6.4.6	Trasformazione serie-parallelo . . . . .	208
6.4.7	Trasformazione parallelo-serie . . . . .	209
6.5	Partitore di tensione . . . . .	210
6.6	Partitore di corrente . . . . .	210
6.7	Trasformazione triangolo-stella e stella-triangolo . . . . .	211
6.8	Sovrapposizione degli effetti . . . . .	213
6.9	Thevenin-Norton . . . . .	214
6.10	Criterio della massima potenza . . . . .	216
6.11	Metodo delle potenze (teorema di Boucherot) . . . . .	219
6.12	Risonanza . . . . .	221
6.13	Rifasamento dei carichi industriali . . . . .	225
<b>7</b>	<b>SISTEMI TRIFASE</b> . . . . .	<b>229</b>
7.1	Introduzione . . . . .	229
7.2	Componenti trifase . . . . .	229
7.2.1	Collegamento a stella . . . . .	231
7.2.2	Collegamento a triangolo . . . . .	232
7.3	Problema canonico . . . . .	235
7.4	Potenza . . . . .	237
7.5	Sistema trifase a quattro fili . . . . .	241
7.6	Esercizi sul regime sinusoidale monofase e trifase . . . . .	244
7.6.1	Esercizio n. 1 . . . . .	244
7.6.2	Esercizio n. 2 . . . . .	245
7.6.3	Esercizio n.3 . . . . .	247
7.6.4	Esercizio n.4 . . . . .	251
7.6.5	Esercizio n. 5 . . . . .	252
7.6.6	Esercizio n. 6 . . . . .	254
<b>8</b>	<b>DUE-PORTA INDUTTIVO</b> . . . . .	<b>257</b>
8.1	Energetica del mutuo induttore . . . . .	257
8.2	Equazioni costitutive a correnti impresse . . . . .	259
8.2.1	Identificazione della matrice delle induttanze . . . . .	260
8.2.2	Variazione di energia a correnti impresse . . . . .	262
8.2.3	Legame fra tensioni e correnti . . . . .	266
8.2.4	Circuito equivalente . . . . .	268
8.3	Equazioni costitutive a flussi impressi . . . . .	268
8.3.1	Identificazione della matrice delle inertanze . . . . .	269
8.3.2	Variazione di energia a flussi impressi . . . . .	271
8.3.3	Legame fra correnti e tensioni . . . . .	275
8.3.4	Circuito equivalente a flussi impressi . . . . .	276

8.4	Collegamento in serie del mutuo induttore . . . . .	277
8.4.1	Serie equiversa . . . . .	277
8.4.2	Serie controversa . . . . .	278
8.5	Collegamento in parallelo del mutuo induttore . . . . .	280
8.5.1	Parallelo equiverso . . . . .	280
8.5.2	Parallelo controverso . . . . .	281
8.6	Corrispondenza fra matrice di induttanza e di inertanza . . . . .	282
8.7	Equazioni costitutive con variabili ibride impresse . . . . .	283
8.7.1	Identificazione della matrice ibrida . . . . .	284
8.7.2	Variazione di energia . . . . .	286
8.7.3	Legame fra correnti e tensioni . . . . .	291
8.7.4	Circuito equivalente . . . . .	291
8.8	Formulazione di trasmissione . . . . .	293
8.9	Legami fra i parametri delle differenti formulazioni . . . . .	294
8.10	Esercizi sui mutui induttori . . . . .	296
8.10.1	Esercizio n. 1 . . . . .	297
8.10.2	Esercizio n. 2 . . . . .	298
8.10.3	Esercizio n. 3 . . . . .	303
8.10.4	Esercizio n. 4 . . . . .	305
8.10.5	Esercizio n. 5 . . . . .	309
8.10.6	Esercizio n. 6 . . . . .	310
8.10.7	Esercizio n. 7 . . . . .	314
8.10.8	Esercizio n. 8 . . . . .	318
8.10.9	Esercizio n. 9 . . . . .	321
8.10.10	Esercizio n. 10 . . . . .	322
<b>9</b>	<b>STRUTTURE E RETI MAGNETICHE</b>	<b>327</b>
9.1	Introduzione . . . . .	327
9.2	Flusso magnetico - Flussometro . . . . .	328
9.2.1	Legge ai nodi . . . . .	329
9.3	Tensione magnetica - Tensiometro magnetico . . . . .	330
9.3.1	Legge alle maglie . . . . .	333
9.4	Lavoro magnetico - sorgente di tensione e di flusso . . . . .	334
9.5	Riluttore . . . . .	335
9.5.1	Riluttori particolari . . . . .	341
9.6	Sorgenti: solenoidi e magneti permanenti . . . . .	344
9.6.1	Solenoidi . . . . .	344
9.6.2	Magneti permanenti . . . . .	344
9.7	Induttore mono-porta con nucleo in ferro . . . . .	348
9.8	Induttore bi-porta con nucleo in ferro . . . . .	353
9.8.1	Bi-porta induttivo a correnti impresse . . . . .	355
9.8.2	Bi-porta induttivo a flussi impressi . . . . .	361
9.8.3	Bi-porta induttivo con variabili ibride impresse . . . . .	368
9.9	Induttore multi-porta con nucleo in ferro . . . . .	378
9.10	Condizioni al contorno nel campo magnetico statico . . . . .	379

9.11	Isteresi magnetica e perdite relative . . . . .	381
9.12	Esercizi sulle strutture magnetiche . . . . .	386
9.12.1	Esercizio n. 1 - Calcolo dei parametri d'induttanza . . . . .	386
9.12.2	Esercizio n. 2 - Vuoto e corto-circuito . . . . .	389
9.12.3	Esercizio n. 3 - Parallelo . . . . .	391
9.12.4	Esercizio n. 4 - Tre induttori accoppiati . . . . .	395
9.12.5	Esercizio n. 5 - Formulazione ibrida . . . . .	396
9.13	Dualità fra reti magnetiche e reti elettriche . . . . .	401
<b>10</b>	<b>ELETTROMECCANICA - GENERALITA'</b>	<b>407</b>
10.1	Introduzione . . . . .	407
10.2	Azioni meccaniche nel campo dielettrico . . . . .	410
10.2.1	Condensatore elettricamente non alimentato . . . . .	411
10.2.2	Condensatore elettricamente alimentato . . . . .	415
10.3	Pressione dielettrica differenziale sulla superficie di separazione	419
10.4	Azioni meccaniche nel campo magnetico - Tronco di tubo di flusso . . . . .	420
10.5	Pressione magnetica differenziale sulla superficie di separazione	424
10.5.1	Esempio numerico - Pressione differenziale . . . . .	427
10.6	Azioni meccaniche - Elettromagnete a pistone mobile . . . . .	428
10.6.1	Elettromagnete a pistone mobile a flusso impresso . . . . .	429
10.6.2	Elettromagnete a pistone mobile a corrente impressa . . . . .	434
10.7	Azioni meccaniche su una bobina . . . . .	438
10.8	Azioni meccaniche su una coppia di bobine concentriche . . . . .	440
10.9	Conversione, cicli di lavoro e rendimento termodinamico . . . . .	442
10.10	Macchina elementare . . . . .	444
10.11	Conversione con sistema di accumulo magnetico o dielettrico . . . . .	450
10.12	Esercizi sul calcolo delle azioni meccaniche . . . . .	450
10.12.1	Esercizio n. 1 . . . . .	450
10.12.2	Esercizio n. 2 . . . . .	453
10.12.3	Esercizio n. 3 . . . . .	455
10.12.4	Esercizio n. 4 . . . . .	458
<b>11</b>	<b>Appendice A - Proprietà elettriche e magnetiche dei mate- riali</b>	<b>463</b>
11.1	Resistività, conducibilità, coefficiente di temperatura a 20°C . . . . .	463
11.2	Calore specifico, peso specifico . . . . .	464
11.3	Costante dielettrica relativa $\epsilon_R$ . . . . .	464
11.4	Permeabilità relativa $\mu_R$ . . . . .	465
11.5	Caratteristica di magnetizzazione di una tipica lamiera mag- netica . . . . .	465
<b>12</b>	<b>Appendice B - Costanti di uso ricorrente</b>	<b>467</b>
<b>13</b>	<b>Appendice C - Formule trigonometriche di uso comune</b>	<b>469</b>

<b>14 Appendice D - Matrici e determinanti</b>	<b>471</b>
14.1 Matrici . . . . .	471
14.1.1 Operazioni . . . . .	471
14.1.2 Altre definizioni . . . . .	472
14.2 Determinanti . . . . .	473
<b>15 Appendice E - Alfabeto greco</b>	<b>475</b>