

# INDICE

## 1 Introduzione

1	Un mondo interconnesso	1
2	Telecomunicazioni	2
2.1	Comunicare...	2
	...cosa?	
	...con quali organi?	
	...mediante quali fenomeni fisici?	
2.2	Onde	2
2.3	Segnali	2
2.4	Condividere a lunga distanza	3
3	Una materia, più discipline	3

## 2 Strumenti matematici

1	Funzioni di variabile reale	5
1.1	Definizione di funzione	5
1.2	Parametri	5
1.3	Proporzionalità diretta e inversa	5
1.4	Legge di variazione lineare	6
1.5	Grafici lineari per punti	6
1.6	Valore medio	7
2	Funzione esponenziale	8
3	Funzione logaritmica	9
4	Funzioni trigonometriche	10
4.1	Misura degli angoli	10
4.2	Funzioni seno e coseno	10
5	Numeri complessi	12
5.1	Definizioni	12
5.2	Corrispondenza tra numeri complessi, punti di un piano cartesiano e vettori bidimensionali	12
5.3	Forma trigonometrica	13
5.4	Forma esponenziale	13
5.5	Moltiplicazioni tra numeri complessi	14
	Moltiplicazione per un numero reale $k > 0$	
	Moltiplicazione per $j$	
	Moltiplicazione per $-j$	
6	Aspetti computazionali	15
6.1	Cifre significative	15
6.2	Notazione esponenziale	15
6.3	Ordine di grandezza	16
6.4	Quantità trascurabili	16
6.5	Frazioni	16

## 3 Elettrotecnica di base e circuiti in corrente continua

1	Corrente elettrica	19
1.1	Carica elettrica	19
1.2	Modello atomico di Bohr	19
1.3	Agitazione termica	20
1.4	Intensità di corrente	21
1.5	Conduttori	22
2	Tensione elettrica	23
2.1	Campo elettrico e d.d.p.	23
2.2	Generatore di tensione	24
2.3	Bilancio energetico	25
2.4	Verso convenzionale della corrente	25
3	Energia e potenza elettrica	26
4	Resistenza elettrica	27
4.1	Legge di Ohm	27
4.2	Resistenza e conduttanza	28

4.3	Resistività e conduttività	28
5	Studio dei circuiti in corrente continua	29
5.1	Definizioni, simbolismi e convenzioni	29
5.2	Additività delle tensioni	32
5.3	Generatori reali	32
5.4	Prima legge di Kirchhoff	33
5.5	Seconda legge di Kirchhoff	33
5.6	Elementi in serie	34
5.7	Elementi in parallelo	35
5.8	Partitore di tensione	36
5.9	Partitore di corrente	37
5.10	Studio di una rete elettrica con le leggi di Kirchhoff	37
5.11	Principio di sovrapposizione degli effetti	39
5.12	Teoremi di Thévenin e Norton	40
6	Punto di riferimento di massa	42
	Esercizi	43

## 4 Circuiti in corrente alternata

1	Segnali periodici	45
1.1	Generalità	45
1.2	Segnali sinusoidali	46
	Segnali continui come segnali sinusoidali a frequenza $f = 0$	
1.3	Altri segnali periodici	52
2	Parametri mediati dei segnali	53
2.1	Componente continua	53
2.2	Valore efficace	54
3	Capacità elettrica	56
3.1	Condensatore e sua capacità	56
3.2	Carica e scarica del condensatore	56
3.3	Costante dielettrica	58
3.4	Capacità in serie	58
3.5	Capacità in parallelo	59
3.6	Comportamento in CC e in CA	59
4	Induzione elettromagnetica	60
4.1	Campo magnetico	60
4.2	Legge dell'induzione elettromagnetica	61
4.3	Forza di Lorentz	62
4.4	Induttanza	62
4.5	Induttanze in serie e in parallelo	63
4.6	Comportamento dell'induttanza in CC e in CA	63
4.7	Trasformatore	63
5	Studio dei circuiti in corrente alternata	64
5.1	Regime sinusoidale	64
5.2	Grandezze sinusoidali come vettori e numeri complessi	65
5.3	Legge di Ohm generalizzata	66
	Induttanza	
	Capacità	
	Resistenza	
	Impedenza e ammettenza	
5.4	Additività delle tensioni in campo complesso	67
5.5	Prima legge di Kirchhoff in campo complesso	68
5.6	Studio di una rete elettrica	68
	Reattanza e suscettanza	
	Applicazione della legge di Ohm	
5.7	Comportamento delle reattanze alle basse e alte frequenze	72
5.8	Potenza attiva, reattiva, apparente	73
	Esercizi	74

## 5 Elettronica digitale

1	Il mondo digitale	76
1.1	Segnali analogici e segnali digitali	76
1.2	Dati	77
1.3	Sistema di numerazione decimale	77
1.4	Sistema di numerazione binario	78
1.5	Conversione da decimale a binario	80
1.6	Multipli binari	81
1.7	Operazioni elementari e rappresentazione dei numeri in bit	81
	Contare in binario	
	Somma e prodotto di numeri binari	
	Numeri binari relativi	
	Numeri binari frazionari	
1.8	Sistema di numerazione esadecimale	83
1.9	Rappresentazione binaria dei dati	83
	Codice ASCII	
	Codici ASCII estesi	
	Sistema di codifica Unicode	
1.10	Segnali binari	85
1.11	Evoluzione dell'elettronica digitale	85
2	Porte logiche	87
2.1	Definizione di funzione logica	87
2.2	Funzione logica NOT	87
2.3	Funzione logica AND	87
2.4	Funzione logica OR	88
2.5	Funzione logica EX-OR	88
2.6	Porte logiche elementari	89
	porta AND come blocco di controllo	
	Porta EX-OR come invertitore controllato	
	Porta EX-NOR come comparatore	
2.7	Porte logiche a tre o più ingressi	90
2.8	Teorema di De Morgan	90
2.9	Sintesi a porte NAND	91
3	Circuiti combinatori	92
3.1	Generalità	92
3.2	Sommatori	92
	Sommatore a un bit	
	Full-adder	
	Sommatore a n bit	
3.3	Codificatori	93
3.4	Decodificatori	93
3.5	Sistemi di visualizzazione	93
	Diodo LED	
	Display a 7 segmenti	
	Codifica BCD	
	Decoder/driver BCD-7 segmenti	
3.6	Multiplexer	95
	Multiplexer come generatore di funzioni logiche	
3.7	Demultiplexer	95
4	Circuiti sequenziali	96
4.1	Generalità	96
4.2	Latch SR a porte NOR	97
	Inizializzazione	
	Latch con abilitazione	
4.3	Segnale di clock	98
	Circuiti level triggered	
	Circuiti edge triggered	
4.4	Ingressi diretti	99
4.5	Livelli attivi	99
4.6	Flip-flop Integrati	99
	Flip-flop SR	
	Flip-flop D	
	Flip-flop JK	
	Flip-flop T	

4.7	Registri	100
4.8	Contatori	101
	Contatori di modulo arbitrario	
	Divisore di frequenza	
	Cronometro digitale	
	Circuito antirimbazzo	
5	Memorie	103
5.1	Generalità	103
5.2	Buffer tri-state	105
5.3	Chip a stato solido	105
	Espansione della memoria	
6	Sistemi a microprocessore	107
6.1	Struttura generale	107
6.2	Canali di comunicazione	108
6.3	Esempi di funzionamento	109
	Frigorifero	
	Computer	
6.4	Microcontrollori	109
	Esercizi	110

## 6 Informazione, trasduzione e digitalizzazione

1	Informazione	112
1.1	Suono	112
1.2	Immagine in movimento	112
1.3	Immagine fissa	113
1.4	Informazione analogica e digitale	113
1.5	Multimedialità	114
2	Trasduttori	114
2.1	Trasduzione del suono	115
2.2	Trasduzione dell'immagine fissa	115
2.3	Trasduzione dell'immagine in movimento	116
2.4	Trasduzione dei dati	116
3	Codifiche digitali di suoni e immagini	117
3.1	Codifica del suono	118
3.2	Codifica dell'immagine fissa	119
3.3	Codifica dell'immagine in movimento	120
3.4	Vantaggi	121

## 7 Canali, servizi e reti

1	Telecomunicazioni e sistemi di trasporto	124
2	Canali trasmissivi	124
2.1	Linee di trasmissione	125
2.2	Trasmissioni radio	125
2.3	Fibre ottiche	126
3	Servizi e reti	127
3.1	Tecnologia trasmissiva	128
3.2	Grafo di rete	128
3.3	Servizi diffusivi: topologie di rete	128
3.4	Servizi interattivi: topologie di rete	129
3.5	Reti analogiche e digitali	129
4	Confronto tra mezzi trasmissivi	130
5	Organismi di normalizzazione	131

## 8 Analisi armonica e confronto tra segnale e canale

1	Quadripoli lineari	133
1.1	Principio di sovrapposizione degli effetti	133
1.2	Risposta in frequenza	134
1.3	Banda passante e larghezza di banda	135
2	Analisi armonica	136
2.1	I problemi fondamentali delle telecomunicazioni e l'idea dell'analisi armonica	136



2.2	Teorema di Fourier	138
2.3	Teorema di Parseval	139
2.4	Sviluppo dell'onda quadra	140
2.5	Rappresentazione nel dominio della frequenza	141
2.6	Banda occupata da un segnale	144
2.7	Confronto tra banda occupata dal segnale e banda passante del sistema trasmissivo	145
3	Estensione del teorema di Fourier a segnali non periodici	146
3.1	Sviluppo in serie di Fourier del segnale rettangolare	146
3.2	Rappresentazione nel dominio della frequenza dei segnali non periodici	147
4	Spettro dei segnali non deterministici	149
4.1	Segnali deterministici e non deterministici	149
4.2	Segnali analogici	149
4.3	Segnali digitali binari	150
4.4	Formatori a coseno rialzato	151
4.5	Impulso di Nyquist	151
4.6	Segnali digitali non binari	152
4.7	Banda digitale	152
	Esercizi	153

## 9 Aspetti funzionali generali

1	Modello di un sistema di comunicazione	155
2	Elaborazione del segnale	156
2.1	Amplificazione	156
2.2	Equalizzazione	157
2.3	Modulazione	157
	Traslazione pura	
2.4	Filtraggio	159
2.5	Elaborazione numerica	160
	Codifica binaria e compressione	
	Cifratura	
	Codifica di canale	
	Codifica di linea	
3	Funzioni di rete e trasporto	162
3.1	Multiplicazione	162
	Multiplicazione FDM	
	Multiplicazione TDM	
	Multiplicazione WDM	
3.2	Commutazione	165
3.3	Segnalazione	166
3.4	Gestione della mobilità	166

## 10 Evoluzione delle telecomunicazioni e panorama attuale

1	Breve storia delle telecomunicazioni	168
1.1	Scienze fisiche e matematiche	168
	Fisica ed Elettronica	
	Matematica	
	Informatica e Cibernetica	
1.2	Applicazioni	169
	Trasmissione dati	
	Telefonia	
	Sistemi radio	
2	Panorama attuale	171
2.1	Telefonia	171
	Telefonia fissa	
	ISDN	
	Telefonia mobile	
	Telefonia IP	
	Fax	

2.2	Broadcasting	173
	Radiodiffusione terrestre	
	TV terrestre	
	TV satellitare	
2.3	Reti informatiche	173
	LAN cablate	
	Wireless LAN	
	Internet	
2.4	Reti convergenti multiservizio	174
2.5	Sistemi di posizionamento	174

## 11 Unità logaritmiche e filtri passivi

1	Unità logaritmiche	176
1.1	Guadagno di potenza in decibel	176
1.2	Guadagni di tensione e di corrente in decibel	177
1.3	Livelli assoluti	179
2	Diagrammi di Bode	180
3	Filtri RC	182
3.1	Filtro RC passa-basso	182
3.2	Filtro RC passa-alto	184
4	Filtri RLC	185
4.1	Induttore reale	185
4.2	Filtro RLC seri	186
4.3	Filtro RLC parallelo	189
	Esercizi	191

## 12 Qualità del segnale

1	Attenuazione e ritardo	193
2	Distorsione	194
2.1	Distorsione lineare	194
2.2	Distorsione non lineare	196
3	Rumore	197
3.1	Rumore esterno	198
3.2	Rumore impulsivo	199
3.3	Rumore termico	199
3.4	Rumore di alimentazione	200
3.5	Rapporto segnale/rumore	200
3.6	Figura di rumore	201
4	Interferenza	202
4.1	Diafonia	202
5	Effetti della degradazione	203
5.1	Segnali analogici	203
5.2	Segnali digitali	203
6	Capacità informativa di un canale trasmissivo	203
6.1	Segnali analogici	203
6.2	Segnali digitali	204
	Esercizi	205

## 13 Onde e Acustica

1	Onde meccaniche	207
2	Caratteristiche delle onde	208
2.1	Onde trasversali e onde longitudinali	208
2.2	Onde unidimensionali	209
2.3	Onde bidimensionali	209
2.4	Onde tridimensionali	210
3	Onde periodiche	210
4	Propagazione delle onde	211
4.1	Riflessione e rifrazione	211
4.2	Diffrazione	212
4.3	Diffusione	213
5	Generazione e propagazione di onde sonore	213

6	Caratteristiche oggettive del suono	214
7	Caratteristiche soggettive del suono	214
7.1	Intensità soggettiva	214
7.2	Risposta in frequenza	215
8	Microfoni	216
8.1	Direzionalità	216
8.2	Grandezze caratteristiche	217
	Sensibilità e risposta in frequenza	
	Rumore di fondo	
	Impedenza elettrica	
8.3	Principi di funzionamento	217
	Microfono a condensatore	
	Microfono a bobina mobile	
9	Altoparlanti	218
9.1	Grandezze caratteristiche	218
	Rendimento / Sensibilità	
	Impedenza nominale	
	Risposta in frequenza	
	Potenza	
9.2	Principi di funzionamento	219
	Altoparlante a bobina mobile	
	Tweeter a cupola	
	Tromba	
9.3	Diffusori	220
	Baffle infinito	
	Bass-reflex / Labirinto	
	Sistemi a più vie	
10	Sistemi multicanale	221
10.1	Stereofonia	221
10.2	Sistemi 2.1	222
10.3	Sistemi 5.1	222
	Esercizi	223

## 14 Teoria dei quadripoli lineari e linee di trasmissione

1	Quadripoli lineari e loro modelli	225
1.1	Generalità	225
1.2	Modello a parametri z	225
1.3	Modello a parametri y	226
1.4	Modelli a parametri ibridi	228
1.5	Modelli a parametri di trasmissione	228
2	Adattamento di impedenza	229
2.1	Impedenze d'ingresso e di uscita di un quadripolo	229
2.2	Impedenze iterative	230
2.3	Impedenze immagini	231
2.4	Quadripoli passivi simmetrici	232
2.5	Massimo trasferimento di potenza	233
2.6	Adattamento perfetto	233
2.7	Adattamento di un quadripolo	234
2.8	Reti adattatrici di impedenza	234
3	Linee di trasmissione	236
3.1	Cavo coassiale	236
3.2	Coppia simmetrica intrecciata	236
3.3	Costanti primarie	237
3.4	Propagazione	237
	Neper	
	Costante di propagazione	
3.5	Condizioni di non distorsione	239
	Linea priva di perdite	
	Condizione di Heaviside	
3.6	Velocità di propagazione	240
3.7	Adattamento	240
3.8	Coefficiente di riflessione	242

3.9	Linea in cortocircuito	242
	Esercizi	244

## 15 Sistemi in fibra ottica

1	Generalità	246
1.1	Costituzione	247
1.2	Lunghezze d'onda di lavoro	248
2	Principi di ottica geometrica	248
2.1	Indice di rifrazione	248
2.2	Propagazione guidata	249
2.3	Apertura numerica	250
3	Fibre step index multimodali	250
3.1	Modi di propagazione	250
3.2	Dispersione modale	251
4	Fibre graded index	252
5	Fibre monomodali	253
5.1	Dispersione cromatica	253
6	Prodotto larghezza di banda-distanza	254
7	Attenuazione	255
7.1	Perdite localizzate	255
7.2	Standardizzazione	256
8	Tecnologie delle fibre ottiche	256
9	Dispositivi optoelettronici	257
9.1	Energia del fotone	257
9.2	Effetto LASER	257
9.3	Sorgenti ottiche	258
9.4	Fotorivelatori	259
10	Sistemi WDM	259
11	Amplificatori ottici a fibra attiva	260

## 16 Onde elettromagnetiche e antenne

1	Campo elettromagnetico	262
2	Classificazione e utilizzo delle onde radio	264
3	Propagazione delle onde radio	265
3.1	Atmosfera	265
	Troposfera	
	Ionosfera	
3.2	Propagazione troposferica	265
	Onda superficiale	
	Onda diretta	
	Riflessione	
	Diffrazione	
	Diffusione	
	Condotto	
3.3	Propagazione ionosferica	267
3.4	Fading	268
3.5	Attenuazione	268
3.6	Caratteristiche di propagazione in funzione della frequenza	269
4	Antenne	269
4.1	Direzionalità	270
	Diagrammi di radiazione	
	Angolo di apertura	
4.2	Parametri caratteristici	272
	Rendimento	
	Guadagno e ERP	
	Area efficace	
4.3	Tipi di antenna	274
	Antenna hertziana	
	Antenna marconiana	
	Antenna a riflettore parabolico	
	Esercizi	277