

INDICE

Capitolo 1 *Introduzione* **1**

- 1.1 Inquadramento storico 1
- 1.2 Applicazioni 4
- 1.3 Risorse principali e requisiti operativi 13
- 1.4 Teorie alla base dei sistemi di comunicazione 14
- 1.5 Osservazioni conclusive 16

Capitolo 2 *Rappresentazione di Fourier di segnali e sistemi* **19**

- 2.1 La trasformata di Fourier 20
- 2.2 Proprietà della trasformata di Fourier 26
- 2.3 La relazione inversa fra tempo e frequenza 39
- 2.4 La funzione delta di Dirac 42
- 2.5 Trasformate di Fourier di segnali periodici 49
- 2.6 La trasmissione di segnali attraverso sistemi lineari.
Rivisitazione della convoluzione 52
- 2.7 Filtri ideali passa basso 59
- 2.8 Correlazione e densità spettrale: segnali a energia finita 69
- 2.9 Densità spettrale di potenza 77
- 2.10 Calcolo numerico della trasformata di Fourier 79
- 2.11 Esempio a tema: doppino intrecciato per telefonia 87
- 2.12 Sommario e discussione 89

Problemi aggiuntivi 90

Problemi avanzati 95

Capitolo 3 *Modulazione d'ampiezza* **99**

- 3.1 Modulazione d'ampiezza 100
- 3.2 Pregi, limiti e varianti della modulazione d'ampiezza 111
- 3.3 Modulazione in doppia banda laterale e portante soppressa 112
- 3.4 Ricevitore di Costas 118
- 3.5 Multiplazione con portanti in quadratura 120
- 3.6 Modulazione in banda laterale unica 121
- 3.7 Modulazione in banda vestigiale 128

- 3.8 Rappresentazione passa basso di onde modulate e di filtri
passa banda 134
- 3.9 Esempi a tema 139
- 3.10 Sommario e discussione 144

Problemi aggiuntivi 145

Problemi avanzati 147

Capitolo 4 Modulazione angolare

149

- 4.1 Definizioni base 150
- 4.2 Proprietà delle onde modulate angolarmente 151
- 4.3 Relazioni tra onde PM e FM 156
- 4.4 Modulazione di frequenza a banda stretta 157
- 4.5 Modulazione di frequenza a banda larga 161
- 4.6 Banda occupata da portanti modulate FM 167
- 4.7 Generazione di onde FM 169
- 4.8 Demodulazione di segnali FM 171
- 4.9 Esempio a tema: multiplazione stereo nel broadcast FM 179
- 4.10 Sommario e discussione 181

Problemi aggiuntivi 182

Problemi avanzati 184

Capitolo 5 Modulazione impulsiva: passaggio dalle comunicazioni analogiche a quelle digitali

187

- 5.1 Campionamento 188
- 5.2 Modulazione impulsiva d'ampiezza 195
- 5.3 Modulazione impulsiva di posizione 199
- 5.4 Completamento della transizione da analogico a digitale 200
- 5.5 Processo di quantizzazione 202
- 5.6 Modulazione impulsiva codificata 203
- 5.7 Modulazione delta 208
- 5.8 Modulazione impulsiva a codifica differenziale 213
- 5.9 Codici di linea 216
- 5.10 Esempi a tema 217
- 5.11 Sommario e discussione 221

Problemi aggiuntivi 223

Problemi avanzati 225

Capitolo 6 *Trasmissione dati in banda base*

229

- 6.1 Trasmissione numerica in banda base 230
- 6.2 Il problema dell'interferenza intersimbolica 231
- 6.3 Il canale di Nyquist 233
- 6.4 Lo spettro dell'impulso a coseno rialzato 235
- 6.5 Trasmissione multilivello in banda base 242
- 6.6 Il diagramma a occhio 243
- 6.7 Esperimento al computer: i diagrammi a occhio per i sistemi binari e quaternari 247
- 6.8 Esempio a tema: l'equalizzazione 249
- 6.9 Sommario e discussione 253

Problemi aggiuntivi 254

Problemi avanzati 256

Capitolo 7 *Tecniche di modulazione numerica in canali passa banda*

259

- 7.1 Alcuni preliminari 259
- 7.2 Modulazione numerica binaria d'ampiezza (Binary Amplitude-Shift Keying) 262
- 7.3 Modulazione numerica di fase (Phase-Shift Keying) 266
- 7.4 Modulazione numerica di frequenza (Frequency-Shift Keying) 278
- 7.5 Sommario dei tre schemi binari di segnalazione 286
- 7.6 Schemi di modulazione numerica non coerente 288
- 7.7 Schemi di modulazione numerica M -aria 292
- 7.8 Corrispondenza tra le forme d'onda modulate e le costellazioni di punti nello spazio dei segnali 296
- 7.9 Esempi a tema 299
- 7.10 Sommario e discussione 305

Problemi aggiuntivi 306

Problemi avanzati 308

Esperimenti al computer 309

Capitolo 8 Segnali casuali e rumore**311**

- 8.1 Probabilità e variabili casuali 312
- 8.2 Valori attesi 323
- 8.3 Trasformazione di variabili casuali 326
- 8.4 Variabili casuali gaussiane 328
- 8.5 Il teorema del limite centrale 331
- 8.6 Processi casuali 332
- 8.7 Correlazione di processi casuali 335
- 8.8 Spettro dei segnali casuali 340
- 8.9 Processi gaussiani 343
- 8.10 Rumore bianco 345
- 8.11 Rumore a banda stretta 348
- 8.12 Sommario e discussione 353

Problemi aggiuntivi 354

Problemi avanzati 357

Esperimenti al calcolatore 359

Capitolo 9 Il rumore nella comunicazione analogica**361**

- 9.1 Il rumore nei sistemi di comunicazione 362
- 9.2 Rapporto segnale-rumore (Signal-To-Noise Ratio) 363
- 9.3 Schemi dei ricevitori passa banda 366
- 9.4 Il rumore nei ricevitori lineari con demodulazione coerente 367
- 9.5 Il rumore nei ricevitori AM con demodulazione a involuppo 370
- 9.6 Il rumore nei ricevitori SSB 374
- 9.7 Demodulazione di frequenza (FM) 377
- 9.8 Enfasi e deenfasi nella modulazione FM 384
- 9.9 Sommario e discussione 387

Problemi aggiuntivi 388

Problemi avanzati 389

Esperimenti al calcolatore 390

Capitolo 10 *Il rumore nella comunicazione numerica* 391

- 10.1 Probabilità d'errore 392
- 10.2 Rivelazione di un singolo impulso in presenza di rumore 394
- 10.3 Rivelazione ottimale di una PAM binaria in presenza di rumore 396
- 10.4 Demodulazione ottimale della BPSK 402
- 10.5 Demodulazione della QPSK e della QAM in presenza di rumore 405
- 10.6 Demodulazione ottimale della FSK binaria 411
- 10.7 Demodulazione differenziale in presenza di rumore 413
- 10.8 Sommario delle prestazioni dei metodi di codifica numerica 415
- 10.9 Rivelazione e correzione degli errori 419
- 10.10 Sommario e discussione 430

Problemi aggiuntivi 431

Problemi avanzati 432

Esperimenti al calcolatore 433

Capitolo 11 *Calcoli di sistema e di rumore* 435

- 11.1 Rumore elettrico 436
- 11.2 Fattore di rumore 440
- 11.3 Temperatura equivalente di rumore 441
- 11.4 Connessione in cascata di circuiti a due porte 443
- 11.5 Dimensionamento di un collegamento in spazio libero 444
- 11.6 Radio mobile terrestre 449
- 11.7 Sommario e discussione 454

Problemi aggiuntivi 455

Problemi avanzati 456

APPENDICE 1 RAPPORTO DI POTENZE E DECIBEL 457**APPENDICE 2 SERIE DI FOURIER 458**

- A2.1 La trasformata di Fourier 462

APPENDICE 3 FUNZIONI DI BESSEL 465

A3.1 Soluzione delle serie dell'equazione di Bessel 465

A3.2 Proprietà della funzione di Bessel 466

**APPENDICE 4 LA FUNZIONE Q E IL SUO LEGAME
CON LA FUNZIONE ERRORE 468**A4.1 La funzione Q 468A4.2 Legame tra la funzione Q e la funzione errore complementare 469**APPENDICE 5 DISUGUAGLIANZA DI SCHWARZ 471****APPENDICE 6 TABELLE MATEMATICHE 473****APPENDICE 7 CODICE MATLAB PER GLI ESPERIMENTI AL CALCOLATORE
DEI PROBLEMI DEI CAPITOLI 7-10 478****APPENDICE 8 SOLUZIONI DEGLI ESERCIZI 486****GLOSSARIO 493****BIBLIOGRAFIA 495****INDICE ANALITICO 499**