

INDICE

Prefacio	XIX
Lista de Símbolos	XXIII
1. Introducción	1
1.1. Perspectivas históricas	2
1.2. Fuentes y sistemas digitales y analógicos	2
1.3. Formas de onda determinísticas y aleatorias	6
1.4. Organización de este libro	6
1.5. Uso de una computadora personal y MATLAB	7
1.6. Diagrama de bloques de un sistema de comunicación	8
1.7. Asignaciones de frecuencia	9
1.8. Propagación de ondas electromagnéticas	10
1.9. Medida de la información	16
Ejemplo 1.1. Evaluación de la información de la entropía	17
1.10. Capacidad del canal y sistema de comunicación ideales	18
1.1.1. Codificación	19
Códigos de bloques	21
Códigos convulsionales	21
Intercalación de códigos	23
Rendimiento de la codificación	24
Modulación codificada Trellis	27
1.12. Repaso	30
1.13. Ejemplos	30
Problemas	31
2. Señales y Ruido	33
2.1. Propiedades de las Señales y el Ruido	33
Formas de onda físicamente realizables	34
Operador de promedio en tiempo	35
Valor de c_d ,	36
Potencia	37
Ejemplo 2.1. Evaluación de la potencia	38
Formas de onda de energía y potencia	40
Decibel	40
Favores	42
2.2. Transformada de Fourier y Espectros	43
Definición	43
Ejemplo 2.2. Espectro de un pulso exponencial	45
Propiedades de la transformadas de Fourier	46
Teorema de Parseval y densidad espectral de energía	47
Ejemplo 2.3. Espectro de una senoide amortiguada	49
Función delta Dirac y función escalón unitario	50
Ejemplo 2.4. Espectro de una senoidal	52
Pulsos rectangular y triangular	54
Ejemplo 2.5. Espectro de un pulso rectangular	54
Ejemplo 2.6. Espectro de un pulso triangular	57
Convolución	58
Ejemplo 2.7. Convolución de un rectangular con una exponencial	58
Ejemplo 2.8. Espectro de un pulso triangular por convolución	59

Ejemplo 2.9. Espectro de una senoide conmutada	60
2.3. Densidad Espectral de Potencia y Función de Correlación	62
Densidad espectral de potencia	62
Función de autocorrelación	63
Ejemplo 2.10. PSD de una senoide	63
2.4. Representación en Series Ortogonales de Señales y Ruido	65
Funciones ortogonales	65
Ejemplo 2.11. Funciones exponenciales complejas ortogonales	66
Serie ortogonal	66
2.5. Serie de Fourier	68
Serie de Fourier compleja	68
Serie de Fourier en cuadratura	70
Serie de Fourier polar	71
Espectro lineal de formas de onda periódica	73
Ejemplo 2.12. Coeficientes de Fourier de onda rectangular	75
Densidad espectral de potencia de formas de onda periódicas	76
Ejemplo 2.13. PSD para una forma de onda cuadrada	77
2.6. Repaso de Sistemas Lineales	78
Sistemas lineales invariables en el tiempo	78
Respuesta al impulso	79
Función de transferencia	79
Ejemplo 2.14. Filtro RC pasabajas	81
Transmisión de distorsión	83
Ejemplo 2.15. Distorsión provocada por un filtro	83
2.7. Señales y Ruido de Banda Limitada	84
Formas de onda de banda limitada	86
Teoremas de muestreo	86
Muestreo de impulsos	89
Teorema de dimensionalidad	92
2.8. Transformada de Fourier Discreta	93
Utilización de la DFT para calcular la transformada de Fourier continua	94
Ejemplo 2.16. DFT de un pulso rectangular	97
Utilización de la DFT para calcular la serie de Fourier	100
Ejemplo 2.17. Uso de la DFT para calcular el espectro de una senoide	100
2.9. Ancho de banda de Señales	101
Ejemplo 2.10. Anchos de banda de señales BPSK	105
2.10. Resumen	109
2.11. Ejemplos	110
Problemas	113
3. Pulso de Bandabase y Señalización Digital	127
3.1. Introducción	127
3.2. Modulación por amplitud de pulso	128
Muestreo natural (compuerta)	129
Muestreo instantáneo (PAM de cresta plana)	133
3.3. Modulación por Codificación de Pulso	136
Muestreo, cuantificación y codificación	137
Circuitos PCM prácticos	140
Ancho de banda de PCM	141

Efectos del ruido	143
Ejemplo 3.1. Diseño de un sistema PCM	145
Cuantificación no uniforme: Compresión – expansión de la ley y ley A	146
3.4. Señalización Digital	148
Representación vectorial	150
Ejemplo 3.2. Representación vectorial de una señal binaria	151
Estimación del ancho de banda	151
Señalización binaria	152
Ejemplo 3.3. Señalización binaria	153
Señalización de niveles múltiples	154
Ejemplo 3.4. Señal de $L = 4$ niveles múltiples	155
3.5. Códigos de Línea y Espectro	157
Codificación de la línea binaria	157
Espectros de potencia de códigos de líneas binarias	159
Codificación diferencial	166
Patrones de ojo	167
Repetidores regenerativos	168
Sincronización de potencia de señales de niveles múltiples	173
Eficiencia espectral	175
3.6. Interferencia Intersímbolos	176
Primer método de Nyquist (cero ISI)	179
Filtración de reducción en coseno elevado	180
Ejemplo 3.1. (Continúa)	182
Segundo y tercer métodos de Nyquist para el control de la interferencia intersímbolos	184
3.7. Modulación por Codificación de Pulso Diferencial	185
Modulación Delta	189
Ruido granular y ruido sobrecarga de pendiente	190
Ejemplo 3.5. Diseño de un sistema DM	191
Modulación delta adaptable y modulación delta con codificación de voz	1974
3.9. Multicanalización por División de Tiempo	196
Sincronización de cuadros (tramas)	196
Líneas síncronas y asíncronas	200
Ejemplo 3.6. Diseño de un multiplexor (Multicanalizador) de división de tiempo	201
Jerarquía de TDM	203
El sistema TI PCM	205
3.10. Modulación por tiempo de pulso: modulación por ancho del pulso y modulación por posición de pulso	209
3.11. Resumen	210
3.12. Ejemplos	214
Problemas	217
4. Principios y Circuitos de Señalización Pasabanda	226
4.1. Representación con la envolvente compleja de formas de onda pasabanda	226
Definiciones, bandabase, pasabanda y modulación	227
4.2. Representación de señales modulares	229
4.3. Espectro de señales modulares	229
4.4. Evaluación de potencia	233

Ejemplo 4.1. Señal modulada en amplitud	234
4.5. Filtración pasabanda y distorsión lineal	236
Filtro pasabandas equivalentes	236
Distorsión lineal	238
4.6. Teorema de muestreo pasabanda	240
4.7. Señal recibida con rudo	241
4.8. Clasificación de filtros y amplificadores	242
Filtros	242
Amplificadores	246
4.9. Distorsión ni lineal	247
4.10. Limitadores	252
4.11. Mezcladores, convertidores ascendentes y convertidores descendentes	253
4.12. Multiplicadores de frecuencia	259
4.13. Circuitos detectores	261
Detector de envolvente	261
Detector de producto	262
Detector de modulación en frecuencia	264
4.14. Circuitos de fase cerrada (PLL) y sintetizadores de frecuencia	269
4.15. Síntesis digital directa	276
4.16. Transmisores y receptores	277
Transmisores generalizados	277
Respetos generalizado: receptor superheterodino	279
Ejemplo 4.2. Receptor superheterodino de radiodifusión AM	281
4.17. Resumen	283
4.18. Ejemplo	283
Problemas	288
5. Sistema Modulados AM, FM y Digital	295
5.1. Modulación en amplitud	296
Ejemplo 5.1. Potencia de una señal de AM	299
5.2. Estándares técnicas de radiodifusión AM	301
5.3. Doble banda lateral con portadora suprimida	302
5.4. Circuito costas y circuitos en cuadratura	303
5.5. Señales de banda lateral asimétrica	304
Banda lateral sencilla	304
Banda lateral vestigial	308
5.6. Modulación en Fase y Modulación en Frecuencia	311
Representación de señales de PM y FM	311
Espectros de señales de modulación angular	315
Ejemplo 5.2. Espectro de una señal PM o FM con modulación senoidal	316
Modulación angular de anda angosta	321
Modulación en frecuencia de banda ancha	322
Ejemplo 5.3. Espectro de WBFM con modulación triangular	323
Prénfasis y deénfasis en sistemas de modulación	325
5.7. Multicanalización por División de Frecuencia y FM Estéreo	326
5.8. Estándares de FM y Reducción de Ruido	329
Estándares técnicos de radiodifusión de FM	329
Sistemas de reducción de ruido Dolby y DBX	329

5.9. Señalización Pasabanda de Modulación Binaria	332
Transmisión de apertura y cierre (OOK)	332
Transmisión por desplazamiento de la fase binaria (BPSK)	336
Transmisión por desplazamiento de fase diferencial (DPSK)	337
Transmisión por desplazamiento de frecuencias (FSK)	338
Ejemplo 5.4. Espectro del módem FSK Bell tipo 103	339
5.10. Señalización Pasabanda Modulada de Niveles Múltiples (Multiniveles)	345
Transmisión por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) y transmisión por desplazamiento de fase M – ario	345
Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)	346
Densidad espectral de potencia de MPSK y QAM	349
5.11. Transmisión por desplazamiento mínimo (MSK)	352
5.12. Sistema de Espectro Amplio (Difusión)	357
Secuencias directa	358
Saltos de frecuencia	364
5.13. Resumen	366
5.14. Ejemplos	366
Problemas	369
6. Análisis Espectral y Procesos Aleatorios	381
6.1. Algunas Definiciones Básicas	382
Procesos aleatorios	382
Estacionaridad y ergodicidad	383
Ejemplo 6.1. Estacionaridad de primer orden	383
Ejemplo 6.2. Proceso ergódico aleatorio	385
Funciones de correlación y estacionaridad en sentido amplio	386
Procesos aleatorios complejos	390
6.2. Densidad Espectral de Potencia	391
Definición	391
Teorema de Wiener – Khintchine	392
Propiedades de la densidad espectral de potencia	395
Ejemplo 6.3. Evaluación de la densidad espectral de potencia de una señal de bandabase polar	395
Fórmula general para la densidad espectral de potencia de señales digitales	399
Procesos de ruido blanco	402
Medición de la densidad espectral de potencia	403
6.3. Valores de cd y rms en Procesos Aleatorios Ergódicos	404
6.4. Sistemas Lineales	406
Relaciones de entrada – salida	406
Ejemplo 6.4. Autorrelación y densidad espectral de potencia de salida de un filtro RC pasabajas	409
6.5. Medidas de Ancho de Banda	411
Ancho de banda equivalente	411
Ancho de banda rms	411
Ejemplo 6.6. Ancho de banda equivalente y ancho de banda rms de un filtro RC pasabajas	413
6.6. Proceso Aleatorio Gaussiano	413
Propiedades de procesos gaussianos	415

Ejemplo 6.7. Proceso de ruido blanco gaussiano	417
6.7. Procesos de Pasabanda	418
Representación pasabanda	418
Propiedades de procesos pasabanda estacionarios en sentido amplio	421
Ejemplo 6.8. Espectros de los componentes de cuadratura de ruido blanco pasabanda	424
Ejemplo 6.9. Densidad espectral de potencia de una señal BPSK	424
Comprobaciones de algunas propiedades	425
Ejemplo 6.10. Función de densidad de probabilidad de la envolvente y funciones de fase de un proceso pasabanda gaussiano	428
6.8. Filtros Acoplados	430
Resultados generales	430
Resultados para ruido blanco	433
Ejemplo 6.11. Filtro de integración y descarga (acoplado)	434
Procedimiento de correlación	437
Ejemplo 6.12. Filtro acoplado para detección de una señal BPSK	437
Filtro acoplado transversal	438
6.9. Resumen	441
6.10. Apéndice: Comprobación de la desigualdad de Schwarz	443
6.11. Ejemplos	446
Problemas	448
7. Rendimiento de los Sistemas de comunicación Corrompidos por Ruido	458
7.1. Probabilidades de Error para una Señalización Binaria	459
Resultados generales	459
Resultados para ruido gaussiano	461
Resultados para el ruido blanco gaussiano y recepción de filtro acoplado	463
Resultados para ruido gaussiano coloreado y recepción de filtro acoplado	464
7.2. Rendimiento de los Sistemas Bandabase Binarios	465
Señalización unipolar	465
Señalización polar	467
Señalización bipolar	468
7.3. Detección Coherente de Señales Pasabanda Binarias	470
Trasmisión de encendido – apagado	470
Trasmisión de desplazamiento de fase binaria	472
Trasmisión de desplazamiento de frecuencia	473
7.4. Detección no Coherente de Señales Pasabanda Binarias	476
Trasmisión de encendido – apagado	477
Trasmisión por desplazamiento de frecuencia	780
Trasmisión por desplazamiento de fase diferencial	482
7.5. Transmisión por desplazamiento de fase cuadratura y transmisión por desplazamiento de cambio mínimo	484
7.6. Comparación de Sistemas de Señalización Digitales	487
Tasa de error de bit y ancho de banda	487
Sincronización	489
7.7. Relación de Señal a Ruido a la salida para sistemas PCM	490
7.8. Relación de Señal a Ruido a la Salida para Sistemas Analógicos	495

Comparación con los sistemas bandabase	496
Sistema AM con detección de producto	497
Sistemas AM con detección de envolvente	498
Sistemas DSB – SC	499
Sistemas SSB	500
Sistemas PM	501
Sistemas FM	505
Sistemas FM con extensión de umbral	508
Sistemas de FM con deénfasis	509
7.9. Comparación de Sistemas de Señalización Analógicos	511
Rendimiento del sistema ideal	514
7.10. Resumen	515
7.11. Ejemplos	515
Problemas	524
8. Casos de Estudio sobre Sistemas de Comunicación	553
8.1. Sistemas de telecomunicación	534
Multicanalización por división de tiempo	534
Multicanalización por división de frecuencia	534
8.2. Sistemas Telefónicos	536
Antecedentes históricos	536
Sistemas modernos telefónicos y terminales remotas	536
8.3. Red Digital de servicios Integrados	543
8.4. Capacidades de Redes Telefónicas Públicas Conmutadas	547
8.5. Sistema de Comunicación por Satélite	547
Transmisión de televisión digital y analógica	551
Acceso múltiple de señales de información y teléfono	5553
Ejemplo 8.1. Modo de acceso múltiple asignado fijo usando un formato FDMA	554
Ejemplo 8.2. Sistema SPADE	555
Comunicación personales vía satélite	559
8.6. Análisis de Presupuesto del Enlace	560
Potencia de señal recibida	561
Las fuentes de ruido término	563
Caracterización de las fuentes de ruido	564
Caracterización de ruido de dispositivos lineales	565
Ejemplo 8.3. T_e y F para una línea de transmisión	569
Caracterización del ruido de dispositivos lineales en cascada	570
Evaluación del presupuesto de enlace	572
Caracterización del presupuesto de cadena E_b / N_0 de sistemas digitales	574
Ejemplo 8.4. Evaluación de presupuesto de enlace para una terminal de televisión de recepción de señales de satélite	575
8.7. Sistemas de fibra Óptica	580
Ejemplo 8.5. Presupuesto de enlace para un sistema de fibra óptica	581
8.8. Sistemas de Telefonía Celular	582
8.9. Televisión	589
Televisión en blanco y negro	589
Sonido estéreo MTS	596
Televisión a color	596
Estándares para los sistemas de TV y CATV	601

8.10. Resumen	609
8.11. Ejemplo	609
Problemas	614
Apéndice A. Técnicas Matemáticas, Identidades y Tablas	620
A.1. Trigonometría	620
Definiciones	620
Identidades trigonométricas	620
A.2. Cálculo Diferencial	621
Definición	621
Reglas de diferenciación	621
Tabla de derivadas	622
A.3. Formas Indeterminadas	623
A.4. Cálculo Integral	623
Definición	623
Técnicas de integración	623
A.5. Tablas de Integrales	623
Integrales indefinidas	623
Integrales definidas	626
A.6. Expansiones de Series	627
Series finitas	627
Serie infinitas	628
A.7. Pares de transformadas de Hilbert	629
A.8. Función delta Dirac	629
Propiedades de la función delta Dirac	630
A.9. Tabulación de $Sa(x) = (\sin x) / x$	631
A.10. Tabulación de $Q(z)$	632
Apéndice B. Probabilidad y Variables Aleatorias	634
B.1. Introducción	634
B.2. Conjuntos	635
B.3. Probabilidad y frecuencia relativa	636
Probabilidad simple	636
Probabilidad conjunta	637
Ejemplo B.1. Evaluación de probabilidades	637
Ejemplo B.1. (Continúa)	635
Probabilidades condicionales	638
Ejemplo B.1. (Continúa)	638
B.4. Variables Aleatorias	639
Ejemplo B.2. Variables aleatorias	639
Propiedades de las funciones de CDF y PDF	642
Distribuciones discretas y continuas	642
Ejemplo B.3. Una distribución continua	642
Ejemplo B.3. (Continúa)	644
B.6. Promedio Conjunto y Momentos	646
Promedio conjunto	646
Ejemplo B.4. Evaluación de un promedio	647
Momentos	647
B.7. Ejemplos de Distribuciones Importantes	649
Distribución binomial	649

Distribución de Poisson	652
Distribución Uniforme	652
Distribución gaussiana	653
Distribución senoidal	657
B.8. Transformaciones Funcionales de Variables Aleatorias	658
Ejemplo B.5. Distribución senoidal	659
Ejemplo B.6. El PDF para la salida de una característica de diodo	660
B.9. Estadística Multivariada	663
CDF y PDF de multivariación	663
Estadísticas de dos variables (bivariable)	665
Distribución bivariable gaussiana	666
Transformación funcional multivariadas	666
Ejemplo B.7. PDF para la suma de dos variables aleatorias	667
Teorema del límite central	669
Ejemplo B.8. PDF para la suma de tres variables aleatorias distribuidas uniformes e independientes	669
Problemas	670
Apéndice C. Estándares y Terminología para Comunicaciones por Computadora	
C.1. Códigos	677
Bardot	677
ASCII	678
C.2. DTE/DCE y los estándares de interfase de Ethernet	678
Circuitos de corriente	680
Interfases RS – 232C, RS – 422A, RS 449 y RS 530, 680	
Interfases paralela centronics	681
Interfase IEEE - 488	681
Interfase Ethernet (IEEE 802.3)	684
C.3. Modelo de red OSI ISO	686
C.4. Protocolos de Control del Enlace de Datos	690
BISYNC	690
SDLC	690
HDLC	690
Protocolo CCITT X. 25	691
Modo de transferencia asíncrona (ATM)	692
C.5. Módems estándares	693
C.6. Breve glosario de las comunicaciones por computadora	698
Bibliografía	703
Respuestas a los Problemas Selectos	714
Índice	720