

CONTENIDO

PREFACIO	xix
LISTA DE SÍMBOLOS	xxiii
1- INTRODUCCIÓN	1
1-1 Una perspectiva histórica	2
1-2 Fuentes y sistemas digitales y analógicos	5
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 frecuencias 10
- 1-8 Propagación de ondas electromagnéticas 12
- 1-9 Medición de información 16
- 1-10 Capacidad de canal y sistemas de comunicación ideales 18
- 1-11 Codificación 19
 - Códigos de bloque, 20*
 - Códigos convolucionales, 22*
 - Entrelazado de código, 25*
 - Rendimiento de código, 25*
 - Modulación por codificación convolucional, 28*
- 1-12 Avance 29
- 1-13 Ejemplos de estudio 29
 - Problemas 30

2 PROPIEDADES DE SEÑALES Y RUIDO

33

- 2-1 Señales y espectros 33
 - Formas de onda físicamente realizables 34*
 - Operador de promedio de tiempo 35*
 - Valor de DC 36*
 - Potencia 37*
 - Valor RMS y potencia normalizada 39*
 - Formas de onda de energía y de potencia 40*
 - Decibel 40*
 - Fasores 42*
- 2-2 Transformada y espectros de Fourier 43
 - Definición 43*
 - Propiedades de las transformadas de Fourier 46*
 - Teorema de Parseval y densidad espectral de energía 48*
 - Función delta de Dirac y función escalón unitario 51*
 - Pulsos rectangulares y triangulares 54*
 - Convolución 58*
- 2-3 Densidad espectral de potencia y función de autocorrelación 61
 - Densidad espectral de potencia 61*
 - Función de autocorrelación 63*
- 2-4 Representación de señales y ruido por medio de series ortogonales 65
 - Funciones ortogonales 65*
 - Series ortogonales 67*
- 2-5 Series de Fourier 68
 - Series complejas de Fourier 68*

Series de Fourier en cuadratura 70
Series polares de Fourier 71
Espectros de línea para formas de onda periódicas 73
Densidad espectral de potencia para formas de onda periódicas 77

- 2-6 Repaso de sistemas lineales 79
 - Sistemas lineales invariables con el tiempo 79*
 - Respuesta de impulso 79*
 - Función de transferencia 80*
 - Transmisión sin distorsión 83*
 - Distorsión de señales de audio, de video y de datos 84*
- 2-7 Señales limitadas por banda y ruido 86
 - Formas de onda limitadas por banda 86*
 - Teorema de muestreo 87*
 - Muestreo de impulso y procesamiento digital de señales (DSP) 90*
 - Teorema de dimensionalidad 93*
- 2-8 Transformada discreta de Fourier 94
 - Utilizando la DFT para calcular la transformada continua de Fourier 95*
 - Utilizando la DFT para calcular las series de Fourier 100*
- 2-9 Ancho de banda de señales 101
- 2-10 Resumen 110
- 2-11 Ejemplos de estudio 110
 - Problemas 115

3 PULSO DE BANDA BASE Y SEÑALIZACIÓN DIGITAL

128

- 3-1 Introducción 128
- 3-2 Modulación de amplitud de pulsos 129
 - Muestreo natural (por compuerta) 129*
 - Muestreo instantáneo (PAM plana) 133*
- 3-3 Modulación por codificación de pulsos 137
 - Muestreo, cuantización y codificación 138*
 - Circuitos prácticos de PCM 138*
 - Ancho de banda de señales PCM 142*
 - Efectos del ruido 143*
 - Cuantificación no uniforme: compresión y modulación M-Law y A-Law 147*
 - Módem V.90 de PCM a 56 kb/s para computadora 151*
- 3-4 Señalización digital 152
 - Representación vectorial 153*
 - Estimación de ancho de banda 155*
 - Señalización binaria 156*
 - Señalización multinivel 158*

13/05/10

36026

Donación

3-5	Codificación y espectros de línea	160
	<i>Codificación binaria de línea</i>	160
	<i>Espectro de potencia para códigos de línea binarios</i>	163
	<i>Codificación diferencial</i>	169
	<i>Diagramas de ojo</i>	170
	<i>Repetidores regenerativos</i>	171
	<i>Sincronización de bit</i>	173
	<i>Espectros de potencia para señales multinivel polares NRZ</i>	176
	<i>Eficiencia espectral</i>	179
3-6	Interferencia intersimbólica	180
	<i>Primer método de Nyquist (cero ISI)</i>	182
	<i>Filtro de coseno elevado de Nyquist</i>	183
	<i>Segundo y tercer métodos para el control de ISI de Nyquist</i>	188
3-7	Modulación por codificación de pulsos diferencial	188
3-8	Modulación delta	192
	<i>Ruido granular y ruido de sobrecarga de pendiente</i>	194
	<i>Modulación delta adaptable y modulación delta de pendiente continuamente variable</i>	197
	<i>Codificación de voz</i>	199
3-9	Multiplexión por división de tiempo	199
	<i>Sincronización de trama</i>	200
	<i>Líneas sincronas y asíncronas</i>	202
	<i>Jerarquía de TDM</i>	206
	<i>El sistema T1 de PCM</i>	211
3-10	Sistema de transmisión de paquetes	213
3-11	Modulación por tiempo de pulsos: modulación por ancho de pulso y modulación por posición de pulso	213
3-12	Resumen	215
3-13	Ejemplos de estudio	218
	Problemas	221
4	PRINCIPIOS Y CIRCUITOS DE SEÑALIZACIÓN PASABANDA	230
4-1	Representación de envolventes complejas de formas de onda pasabanda	230
	<i>Definiciones: banda base, pasabanda y modulación</i>	231
	<i>Representación de la envolvente compleja</i>	231
4-2	Representación de señales moduladas	233
4-3	Espectro de señales pasabanda	234

- 4-4 Evaluación de potencia 237
- 4-5 Filtrado pasabanda y distorsión lineal 240
 - Filtro pasabajas equivalente* 240
 - Distorsión lineal* 242
- 4-6 Teorema de muestreo pasabanda 244
- 4-7 Señal recibida con ruido añadido 245
- 4-8 Clasificación de filtros y amplificadores 246
 - Filtros* 246
 - Amplificadores* 250
- 4-9 Distorsión no lineal 251
- 4-10 Limitadores 256
- 4-11 Mezcladores y convertidores elevadores y reductores 257
- 4-12 Multiplicadores de frecuencia 263
- 4-13 Circuitos detectores 265
 - Detector de envolvente* 265
 - Detector de producto* 266
 - Detector de modulación en frecuencia* 268
- 4-14 Lazos enganchados por fase y sintetizadores de frecuencia 273
- 4-15 Síntesis digital directa 281
- 4-16 Transmisores y receptores 281
 - Transmisores generalizados* 281
 - Receptor generalizado: el receptor superheterodino* 283
 - Receptores de IF en cero* 287
 - Interferencia* 288
- 4-17 Software radio 288
- 4-18 Resúmenes 289
- 4-19 Problemas de estudio 289
 - Problemas* 295

5 SISTEMAS MODULADOS DE AM, FM Y DIGITALES

302

- 5-1 Modulación en amplitud 303
- 5-2 Estándares técnicos de difusión por AM y difusión digital por AM 308
 - Difusión digital por AM* 309
- 5-3 Doble banda lateral con portadora suprimida 310
- 5-4 Lazo de costas y lazo cuadrático 310

5-5	Señales asimétricas de banda lateral	312
	<i>Banda lateral única</i>	312
	<i>Banda lateral vestigial</i>	316
5-6	Modulación en fase y modulación en frecuencia	318
	<i>Representación de señales PM y FM</i>	318
	<i>Espectros de señales moduladas por ángulo</i>	323
	<i>Modulación por ángulo de banda estrecha</i>	328
	<i>Modulación en frecuencia de banda ancha</i>	329
	<i>Preénfasis y deénfasis en sistemas modulados por ángulo</i>	333
5-7	Multiplexión por división de frecuencias y FM en estéreo	333
5-8	Estándares técnicos de difusión por FM y difusión digital por FM	337
	<i>Difusión digital por FM</i>	337
5-9	Señalización pasabanda modulada binaria	339
	<i>Modulación de encendido-apagado (OOK)</i>	339
	<i>Modulación por corrimiento de fase binaria (BPSK)</i>	343
	<i>Modulación por corrimiento de fase diferencial (DPSK)</i>	345
	<i>Modulación por corrimiento de frecuencia (FSK)</i>	345
5-10	Señalización pasabanda multinivel modulada	352
	<i>Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (QPSK)</i>	
	<i>y modulación por corrimiento de fase M-aria (MPSK)</i>	352
	<i>Modulación en amplitud en cuadratura (QAM)</i>	355
	<i>OQPSK y $\pi/4$ QPSK</i>	358
	<i>PSD para MPSK, QAM, QPSK, OQPSK y $\pi/4$ QPSK</i>	359
	<i>Eficiencia espectral para MPSK, QAM, QPSK, OQPSK</i>	
	<i>y $\pi/4$ QPSK con filtrado de coseno realzado</i>	361
5-11	Modulación por corrimiento mínimo (MSK) Y GMSK	362
5-12	Multiplexión por división de frecuencias ortogonales (OFDM)	367
5-13	Sistemas de espectro ensanchado	372
	<i>Secuencia directa</i>	373
	<i>Salto de frecuencias</i>	379
	<i>Bandas de frecuencia de SS</i>	379
5-14	Resumen	379
5-15	Ejemplos de estudio	381
	Problemas	384
6	PROCESOS ALEATORIOS Y ANÁLISIS ESPECTRAL	397
6-1	Algunas definiciones básicas	398
	<i>Procesos aleatorios</i>	398
	<i>Estacionalidad y ergodicidad</i>	399
	<i>Funciones de correlación y estacionalidad en sentido amplio</i>	403
	<i>Procesos aleatorios complejos</i>	405

6-2	Densidad espectral de potencia	407
	<i>Definición</i>	407
	<i>Teorema de Wiener-Khintchine</i>	408
	<i>Propiedades de la PSD</i>	411
	<i>Fórmula general para la PSD de señales digitales</i>	415
	<i>Procesos de ruido blanco</i>	418
	<i>Medición de la PSD</i>	419
6-3	Valores de DC y RMS para procesos ergódicos aleatorios	420
6-4	Sistemas lineales	422
	<i>Relaciones de entrada a salida</i>	422
6-5	Mediciones para el ancho de banda	427
	<i>Ancho de banda equivalente</i>	427
	<i>Ancho de banda de RMS</i>	427
6-6	El proceso aleatorio gaussiano	429
	<i>Propiedades de los procesos gaussianos</i>	430
6-7	Procesos pasabanda	434
	<i>Representaciones pasabanda</i>	434
	<i>Propiedades de procesos WSS pasabanda</i>	437
	<i>Demostraciones de algunas propiedades</i>	442
6-8	Filtros acoplados	447
	<i>Resultados generales</i>	447
	<i>Resultados para el ruido blanco</i>	449
	<i>Procesamiento de correlación</i>	454
	<i>Filtro transversal acoplado</i>	455
6-9	Resumen	458
6-10	Apéndice: demostración de la desigualdad de Schwarz	460
6-11	Ejemplos de estudio	462
	<i>Problemas</i>	465
7	RENDIMIENTO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES DISTORSIONADOS POR RUIDO	476
7-1	Probabilidades de error para señalización binaria	477
	<i>Resultados generales</i>	477
	<i>Resultados para el ruido gaussiano</i>	479
	<i>Resultados para el ruido blanco gaussiano y recepción por filtro acoplado</i>	481
	<i>Resultados para el ruido coloreado gaussiano y recepción por filtro acoplado</i>	482
7-2	Rendimiento de sistemas binarios en banda base	483
	<i>Señalización unipolar</i>	483
	<i>Señalización polar</i>	486
	<i>Señalización bipolar</i>	486

7-3	Detección coherente de señales binarias pasabanda 488 <i>Modulación de encendido-apagado 488</i> <i>Modulación por corrimiento de fase binaria 490</i> <i>Modulación por corrimiento de frecuencia 491</i>	
7-4	Detección no coherente de señales binarias pasabanda 494 <i>Modulación de encendido-apagado 494</i> <i>Modulación por corrimiento de frecuencia 498</i> <i>Modulación por corrimiento de fase diferencial 500</i>	
7-5	Modulación por corrimiento de fase en cuadratura y modulación por corrimiento mínimo	502
7-6	Comparación de sistemas de señalización digital 504 <i>Tasa de error en el bit y ancho de banda 504</i> <i>Error en el símbolo y error en el bit para señalización multinivel 506</i> <i>Sincronización 507</i>	
7-7	Razón señal a ruido de salida para sistemas PCM	508
7-8	Razones señal a ruido de salida para sistemas analógicos 514 <i>Comparación con los sistemas en banda base 514</i> <i>Sistemas de AM con detección de producto 515</i> <i>Sistemas de AM con detección de envolvente 517</i> <i>Sistemas de DSB-SC 518</i> <i>Sistemas de SSB 519</i> <i>Sistemas de PM 519</i> <i>Sistemas de FM 523</i> <i>Sistemas de FM con extensión de umbral 526</i> <i>Sistemas de FM con énfasis 528</i>	
7-9	Comparación de sistemas de señalización analógica 531 <i>Rendimiento de un sistema ideal 531</i>	
7-10	Resumen	534
7-11	Ejemplos de estudio 534 Problemas 543	
8	SISTEMAS DE COMUNICACIONES ALÁMBRICOS E INALÁMBRICOS	551
8-1	El desarrollo explosivo de las telecomunicaciones	551
8-2	Sistemas telefónicos 552 <i>Base histórica 552</i> <i>Sistemas telefónicos modernos y terminales remotas 553</i>	
8-3	Líneas de suscriptor digital (DSL) 559 <i>Líneas de suscriptor digital G.DMT y G.Lite 560</i> <i>Video sobre demanda (VOD) 562</i> <i>Red digital de servicios integrados (ISDN) 562</i>	

- 8-4 Capacidades de las redes públicas telefónicas conmutadas 565
- 8-5 Sistemas de comunicaciones vía satélite 565
 - Transmisión de televisión digital y analógica* 570
 - Acceso múltiple de datos y de señal telefónica* 572
 - Radiodifusión vía satélite* 577
- 8-6 Análisis de balance de enlace 579
 - Potencia de señal recibida* 580
 - Fuentes de ruido térmico* 582
 - Caracterización de fuentes de ruido* 583
 - Caracterización del ruido de dispositivos lineales* 584
 - Caracterización del ruido de dispositivos lineales en cascada* 590
 - Evaluación del balance de enlace* 592
 - Balance de enlace de E_b/N_0 para sistemas digitales* 594
 - Pérdida en trayectoria para ambientes urbanos inalámbricos* 595
- 8-7 Sistemas de fibra óptica 599
- 8-8 Sistemas de telefonía celular 603
 - Primera generación (1G), el sistema analógico amps* 604
 - Segunda generación (2G), los sistemas digitales* 607
 - Los sistemas PCS en la banda de 1,900 MHz* 610
 - Estado de las redes de 2G* 611
 - Sistemas de tercera generación (3G)* 611
- 8-9 Televisión 612
 - Televisión en blanco y negro* 612
 - Sonido MTS en estéreo* 619
 - Televisión a color* 619
 - Estándares para sistemas de TV y CATV* 624
 - TV digital (DTV)* 632
- 8-10 Módems para datos por cable 636
- 8-11 Redes inalámbricas de datos 637
 - Wi-Fi* 637
 - Wi-Max* 639
- 8-12 Resumen 640
- 8-13 Ejemplos de estudio 640
 - Problemas* 645

APÉNDICE A TÉCNICAS, IDENTIDADES Y TABLAS MATEMÁTICAS

653

- A-1 Trigonometría y números complejos 653
 - Definiciones* 653
 - Identidades trigonométricas y números complejos* 653
- A-2 Cálculo diferencial 654
 - Definición* 654
 - Reglas de diferenciación* 654
 - Tabla de derivadas* 654

- A-3 Formas indeterminadas 655
- A-4 Cálculo de integrales 655
 - Definición* 655
 - Técnicas de integración* 656
- A-5 Tablas de integrales 656
 - Integrales indefinidas* 656
 - Integrales definidas* 657
- A-6 Expansiones de series 658
 - Series finitas* 658
 - Series infinitas* 658
- A-7 Pares de transformada de Hilbert 659
- A-8 La función delta de Dirac 659
 - Propiedades de las funciones delta de Dirac* 660
- A-9 Tabulación de $Sa(x) = (\text{sen } x)/x$ 661
- A-10 Tabulación de $Q(z)$ 662

APÉNDICE B PROBABILIDAD Y VARIABLES ALEATORIAS

664

- B-1 Introducción 664
- B-2 Conjuntos 665
- B-3 Probabilidad y frecuencia relativa 666
 - Probabilidad simple* 666
 - Probabilidad conjunta* 667
 - Probabilidades condicionales* 668
- B-4 Variables aleatorias 669
- B-5 Funciones de distribución acumulativa y funciones de densidad de probabilidad 669
 - Propiedades de CDF y PDF* 672
 - Distribuciones discretas y continuas* 672
- B-6 Promedio conjunto y momentos 676
 - Promedio conjunto* 676
 - Momentos* 677
- B-7 Ejemplos de distribuciones importantes 679
 - Distribución binomial* 679
 - Distribución de Poisson* 682
 - Distribución uniforme* 682
 - Distribución gaussiana* 682
 - Distribución senoidal* 687
- B-8 Transformaciones de funciones de variables aleatorias 687

B-9	Estadísticas multivariantes	692	
	<i>CDF y PDFa multivariantes</i>	692	
	<i>Estadísticas bivariantes</i>	694	
	<i>Distribución gaussiana bivalente</i>	695	
	<i>Transformación de función multivariante</i>	696	
	<i>Teorema del límite central</i>	698	
	Problemas	700	
APÉNDICE C EMPLEO DE MATLAB			706
C-1	Guía rápida para ejecutar archivos M	707	
C-2	Programación en MATLAB	708	
REFERENCIAS			710
RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECTOS			723
ÍNDICE			729
