



Contenido

PRÓLOGO	XIII
1. REPRESENTACIÓN DE SEÑALES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Señales en tiempo continuo y señales en tiempo discreto.....	2
1.3. Señales periódicas y aperiódicas.....	3
1.4. Señales de energía finita y de potencia media finita.....	6
1.5. Transformaciones de la variable independiente.....	10
1.5.1. La operación de desplazamiento.....	10
1.5.2. La operación de reflexión.....	13
1.5.3. La operación de escalado temporal.....	16
1.6. Señales elementales.....	19
1.6.1. La función escalón unidad.....	20
1.6.2. La función rampa.....	21
1.6.3. La función de muestreo.....	22
1.6.4. La función impulso unidad.....	23
1.6.5. Derivadas de la función impulso.....	30
1.7. Otros tipos de señales.....	33
1.8. Resumen.....	34
1.9. Lista de términos importantes.....	35
1.10. Problemas.....	36
1.11. Problemas para computador.....	42
2. SISTEMAS EN TIEMPO CONTINUO	43
2.1. Introducción.....	43
2.2. Clasificación de sistemas en tiempo continuo.....	44
2.2.1. Sistemas lineales y no lineales.....	44
2.2.2. Sistemas variantes e invariantes con el tiempo.....	48
2.2.3. Sistemas con memoria y sin memoria.....	50
2.2.4. Sistemas causales.....	51
2.2.5. Sistemas invertibles y sistema inverso.....	53
2.2.6. Sistemas estables.....	54

VIII Contenido

2.3. Sistemas lineales e invariantes con el tiempo	55
2.3.1. La convolución	55
2.3.2. Interpretación gráfica de la convolución	61
2.4. Propiedades de los sistemas lineales e invariantes con el tiempo	66
2.4.1. Propiedad de memoria de los sistemas LTI	66
2.4.2. Sistemas LTI causales	66
2.4.3. Sistemas LTI invertibles	67
2.4.4. Sistemas LTI estables	68
2.5. Sistemas descritos por ecuaciones diferenciales	69
2.5.1. Ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes	69
2.5.2. Componentes básicos de los sistemas	71
2.5.3. Diagramas de simulación para sistemas en tiempo continuo	73
2.5.4. Obtención de la respuesta al impulso	75
2.6. Representación mediante variables de estado	78
2.6.1. Ecuaciones de estado	79
2.6.2. Solución en el dominio del tiempo de las ecuaciones de estado	81
2.6.3. Ecuaciones de estado en la primera forma canónica	89
2.6.4. Ecuaciones de estado en la segunda forma canónica	90
2.6.5. Consideraciones sobre estabilidad	94
2.7. Resumen	96
2.8. Lista de términos importantes	97
2.9. Problemas	98
3. SERIES DE FOURIER	109
3.1. Introducción	109
3.2. Representaciones ortogonales de señales	110
3.3. Desarrollo en serie de Fourier mediante exponenciales complejas	115
3.4. Condiciones de Dirichlet	125
3.5. Propiedades de desarrollo en serie de Fourier	127
3.5.1. Propiedad de aproximación de mínimos cuadrados	127
3.5.2. Efectos de la simetría	129
3.5.3. Linealidad	132
3.5.4. Producto de dos señales	132
3.5.5. Convolución de dos señales	133
3.5.6. Teorema de Parseval	135
3.5.7. Desplazamiento en el tiempo	135
3.5.8. Integración de señales periódicas	137
3.6. Sistemas con entradas periódicas	137
3.7. El fenómeno de Gibbs	145
3.8. Resumen	148
3.9. Lista de términos importantes	151
3.10. Problemas	151
3.11. Problemas para computador	164
4. LA TRANSFORMADA DE FOURIER	167
4.1. Introducción	168
4.2. La transformada de Fourier en tiempo continuo	168
4.2.1. Desarrollo de la transformada de Fourier	168
4.2.2. Existencia de la transformada de Fourier	170
4.2.3. Ejemplos de transformadas de Fourier en tiempo continuo	171
4.3. Propiedades de la transformada de Fourier	176

4.3.1. Linealidad.....	178
4.3.2. Simetría.....	179
4.3.3. Desplazamiento temporal.....	180
4.3.4. Escalado temporal.....	180
4.3.5. Diferenciación.....	182
4.3.6. Energía de señales no periódicas.....	184
4.3.7. Convolución.....	186
4.3.8. Dualidad.....	189
4.3.9. Modulación.....	191
4.4. Aplicaciones de la transformada de Fourier.....	195
4.4.1. Modulación de amplitud.....	195
4.4.2. Multiplexación.....	198
4.4.3. El teorema de muestreo.....	199
4.4.4. Filtrado de señales.....	205
4.5. Relaciones entre duración y ancho de banda.....	209
4.5.1. Definiciones de duración y ancho de banda.....	209
4.5.2. El principio de incertidumbre.....	213
4.6. Resumen.....	216
4.7. Lista de términos importantes.....	217
4.8. Problemas.....	218
5. LA TRANSFORMADA DE LAPLACE.....	231
5.1. Introducción.....	231
5.2. La transformada bilateral de Laplace.....	232
5.3. La transformada unilateral de Laplace.....	235
5.4. Cálculo de transformadas bilaterales mediante transformadas unilaterales.....	237
5.5. Propiedades de la transformada unilateral de Laplace.....	238
5.5.1. Linealidad.....	238
5.5.2. Desplazamiento temporal.....	239
5.5.3. Desplazamiento en el dominio s	240
5.5.4. Escalado temporal.....	240
5.5.5. Diferenciación en el dominio del tiempo.....	241
5.5.6. Integración en el dominio del tiempo.....	244
5.5.7. Diferenciación en el dominio s	245
5.5.8. Modulación.....	246
5.5.9. Convolución.....	246
5.5.10. Teorema del valor inicial.....	250
5.5.11. Teorema del valor final.....	251
5.6. La transformada inversa de Laplace.....	253
5.7. Diagramas de simulación para sistemas en tiempo continuo.....	259
5.8. Aplicaciones de la transformada de Laplace.....	263
5.8.1. Solución de ecuaciones diferenciales.....	263
5.8.2. Aplicación al análisis de circuitos RLC.....	264
5.8.3. Aplicación en control.....	266
5.9. Ecuaciones de estado y transformada de Laplace.....	269
5.10. Estabilidad en el dominio s	272
5.11. Resumen.....	274
5.12. Lista de términos importantes.....	276
5.13. Problemas.....	277
6. SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO.....	285
6.1. Introducción.....	285

6.1.1.	Clasificación de señales en tiempo discreto	286
6.1.2.	Transformaciones de la variable independiente	288
6.2.	Señales elementales en tiempo discreto	290
6.2.1.	Funciones discretas impulso y escalón	290
6.2.2.	Secuencias exponenciales	291
6.3.	Sistemas en tiempo discreto	294
6.4.	Convolución periódica	301
6.5.	Representación de sistemas en tiempo discreto mediante ecuaciones en diferencias	305
6.5.1.	Solución homogénea de la ecuación en diferencias	307
6.5.2.	La solución particular	309
6.5.3.	Determinación de la respuesta al impulso	312
6.6.	Diagramas de simulación para sistemas en tiempo discreto	314
6.7.	Representación de sistemas discretos mediante variables de estado	319
6.7.1.	Solución de las ecuaciones en el espacio de estados	321
6.7.2.	Respuesta al impulso de sistemas descritos por ecuaciones de estado	324
6.8.	Estabilidad de sistemas en tiempo discreto	324
6.9.	Resumen	326
6.10.	Lista de términos importantes	328
6.11.	Problemas	328
7.	ANÁLISIS DE FOURIER DE SISTEMAS EN TIEMPO DISCRETO	339
7.1.	Introducción	339
7.2.	Desarrollo en serie de Fourier de señales discretas periódicas	341
7.3.	La transformada discreta de Fourier	350
7.4.	Propiedades de la transformada de Fourier en tiempo discreto	355
7.4.1.	Periodicidad	356
7.4.2.	Linealidad	356
7.4.3.	Desplazamientos en el tiempo y en la frecuencia	356
7.4.4.	Diferenciación en frecuencia	356
7.4.5.	Convolución	359
7.4.6.	Modulación	360
7.4.7.	Transformada de Fourier de secuencias periódicas en tiempo discreto	361
7.5.	Transformada de Fourier de señales en tiempo continuo muestreadas	362
7.5.1.	Reconstrucción de señales muestreadas	369
7.5.2.	Modificación de la velocidad de muestreo	370
7.5.3.	Conversión A/D y D/A	375
7.6.	Resumen	379
7.7.	Lista de términos importantes	381
7.8.	Problemas	381
8.	LA TRANSFORMADA Z	387
8.1.	Introducción	387
8.2.	La transformada Z	388
8.3.	Convergencia de la transformada Z	390
8.4.	Propiedades de la transformada Z	395
8.4.1.	Linealidad	398
8.4.2.	Desplazamiento temporal	398
8.4.3.	Escalado en frecuencia	400
8.4.4.	Diferenciación con respecto a z	401
8.4.5.	Valor inicial	402

8.4.6. Valor final.....	402
8.4.7. Convolución.....	403
8.5. La transformada Z inversa.....	406
8.5.1. Inversión por desarrollo en serie de potencias.....	406
8.5.2. Inversión por descomposición en fracciones simples.....	408
8.6. Transformadas Z de sistemas causales en tiempo discreto.....	411
8.7. Análisis de sistemas descritos mediante ecuaciones de estado utilizando la transformada Z	415
8.8. Relación entre la transformada Z y la transformada de Laplace.....	424
8.9. Resumen.....	425
8.10. Lista de términos importantes.....	427
8.11. Problemas.....	427
9. LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER.....	433
9.1. Introducción.....	433
9.2. La transformada discreta de Fourier y su inversa.....	435
9.3. Propiedades de la DFT.....	436
9.3.1. Linealidad.....	436
9.3.2. Desplazamiento temporal.....	436
9.3.3. Fórmula de inversión alternativa.....	437
9.3.4. Convolución temporal.....	437
9.3.5. Relación con la transformada de Fourier en tiempo discreto y con la transformada Z	438
9.3.6. Representación matricial de la DFT.....	439
9.4. Convolución lineal mediante la DFT.....	440
9.5. Transformadas rápidas de Fourier.....	442
9.5.1. Algoritmo de diezmado en el tiempo.....	443
9.5.2. Algoritmo de diezmado en frecuencia.....	447
9.6. Estimación espectral de señales analógicas mediante la DFT.....	450
9.7. Resumen.....	458
9.8. Lista de términos importantes.....	461
9.9. Problemas.....	461
10. DISEÑO DE FILTROS ANALÓGICOS Y DIGITALES.....	465
10.1. Introducción.....	465
10.2. Transformaciones de frecuencia.....	467
10.3. Diseño de filtros analógicos.....	470
10.3.1. El filtro de Butterworth.....	470
10.3.2. El filtro de Chebyshev.....	476
10.4. Filtros digitales.....	480
10.4.1. Diseño de filtros digitales IIR por el método de invarianza al impulso.....	481
10.4.2. Diseño de filtros IIR mediante la transformación bilineal.....	485
10.4.3. Diseño de filtros FIR.....	488
10.4.4. Diseño asistido por computador de filtros digitales.....	494
10.5. Resumen.....	495
10.6. Lista de términos importantes.....	496
10.7. Problemas.....	496
APÉNDICE A. NÚMEROS COMPLEJOS.....	499
A.1. Definición.....	499
A.2. Operaciones aritméticas.....	501
A.2.1. Suma y diferencia.....	501

XII Contenido

A.2.2. Producto.....	501
A.2.3. División.....	502
A.3. Potencias y raíces de números complejos.....	502
A.4. Desigualdades.....	504
APÉNDICE B. RELACIONES MATEMÁTICAS.....	505
B.1. Identidades trigonométricas.....	505
B.2. Funciones exponencial y logarítmica.....	506
B.3. Funciones especiales.....	507
B.3.1. Funciones gamma.....	507
B.3.2. Funciones gamma incompleta.....	508
B.3.3. Funciones beta.....	508
B.4. Desarrollos en serie de potencias.....	508
B.5. Sumas de potencias de números naturales.....	509
B.5.1. Sumas de coeficientes binomiales.....	509
B.5.2. Series de exponenciales.....	510
B.6. Integrales definidas.....	510
B.7. Integrales indefinidas.....	512
APÉNDICE C. TEORÍA ELEMENTAL DE MATRICES.....	517
C.1. Definiciones básicas.....	517
C.2. Operaciones básicas.....	518
C.2.1. Suma de matrices.....	518
C.2.2. Diferenciación e integración.....	518
C.2.3. Producto de matrices.....	518
C.3. Matrices especiales.....	519
C.4. Inversa de una matriz.....	521
C.5. Autovalores y autovectores.....	522
C.6. Funciones de una matriz.....	523
APÉNDICE D. DESCOMPOSICIÓN EN FRACCIONES SIMPLES.....	527
D.1. Caso 1: Factores lineales no repetidos.....	528
D.2. Caso 2: Factores lineales repetidos.....	529
D.3. Caso 3: Factores de segundo grado no repetidos e irreducibles.....	531
D.4. Caso 4: Factores de segundo grado repetidos e irreducibles.....	532
BIBLIOGRAFÍA.....	535
ÍNDICE ALFABÉTICO.....	537