

INDICE

Prefacio	XIII
Capítulo 1.	
Introducción	1
1.1. Definición de señales y sistemas	1
1.2. Tipos de señales	1
1.3. Ejemplo de una señal y un sistema	8
1.4. Uso de MATLAB	13
Capítulo 2.	
Descripción matemática de señales	15
2.1. Introducción y objetivos	15
2.2. Comparación de funciones en tiempo continuo y en tiempo discreto	15
Funciones en tiempo continuo	15
Muestreo y tiempo discreto	16
2.3. Funciones de señales en tiempo continuo	18
Exponenciales complejas senoides	18
Funciones con discontinuidades	19
Funciones singulares y funciones relacionadas	20
Archivos MATLAB. m para algunas funciones singulares y funciones relacionadas	31
2.4. funciones y combinaciones de funciones	32
Combinaciones de funciones	33
2.5. Transformaciones de escalamiento y desplazamiento en tiempo continuo	35
Escalamiento de amplitud	35
Desplazamiento en el tiempo	36
Escalamiento en el tiempo	36
Transformaciones múltiples	39
2.6. Diferenciación e integración	44
2.7. Funciones para e impar de tiempo continuo	45
Sumas, productos, diferencias y cocientes	46
2.8. Funciones periódicas en tiempo continuo	52
2.9. Funciones de señales en tiempo discreto	54
Funciones singulares en tiempo discreto	57
2.10. Transformaciones de escalamiento y desplazamiento en tiempo discreto	61
Desplazamiento en el tiempo	61
Escalamiento en el tiempo	62
2.11. diferencia y acumulación	66
2.12. Funciones pares e impares en tiempo discreto	70
Sumas, productos, diferencias y cocientes	70
Acumulación	71
2.13. Funciones periódicas en tiempo discreto	72
2.14. Energía y potencia de señal	73
2.15. Resumen de puntos importantes	80
Ejercicios con repuestas	80
Ejercicios sin respuestas	92

Capítulo 3.	
Descripción y análisis de sistemas	103
3.1. Introducción y objetivos	103
Diagramas de bloques y terminología de sistemas	103
Sistemas de tiempo discreto contra los sistemas de tiempo continuo	106
3.2. Características de sistemas	106
Homogeneidad	108
Invariancia en el tiempo	109
Aditividad	110
Linealidad y superposición	112
Estabilidad	113
Linealidad incremental	114
Causalidad	116
Memoria	117
No linealidad estática	117
Invertibilidad	121
3.3. Funciones propias de sistemas LIT	122
Sistema de tiempo continuo	122
Sistema de tiempo discreto	124
3.4. Analogías	124
3.5. La suma de convolución	125
Respuestas al impulso unitario	125
Convolución	127
Propiedades de la convolución	130
Interconexiones de sistemas	135
Estabilidad al impulso	136
Respuestas de sistemas a señales estándar	137
3.6. La integral de convolución	141
Respuestas al impulso	141
Convolución	145
Propiedades de la convolución	148
Una exploración de las propiedades del impulsos mediante la convolución	153
Interconexiones de sistemas	155
Estabilidad y respuestas al impulso	155
Respuestas de sistemas a señales estándar	155
3.7. Simulaciones con diagramas de bloque de ecuaciones diferenciales o en diferencias	157
3.8. Resumen de puntos importantes	159
Ejercicios con repuestas	159
Ejercicios sin repuestas	166
Capítulo 4.	
La serie de Fourier	173
4.1. Introducción y metas	173
4.2. Las series de Fourier en tiempos continuo (SFTC)	174
Linealidad y excitación exponencial compleja	174
Definición de la serie de Fourier en tiempo continuo	177
4.3. Cálculo de la serie de Fourier en tiempo continuo	183
Señales senoidales	183

Señales no senoidales	191
La serie de Fourier en tiempo continuo de señales periódicas para un número no entero de periodos fundamentales	193
La serie de Fourier en tiempo continuo de señales periódicas para un número no entero de periodos fundamentales	194
La SFTC de señales periódicas par e impar	195
Forma de frecuencia cíclica y de frecuencia en radianes	196
La serie de Fourier en tiempo continuo de una señal aleatoria	196
4.4. Propiedades de las series de Fourier en tiempo continuo	198
Linealidad	199
Corrimiento en el tiempo	199
Corrimiento en frecuencia	201
Inversión del tiempo	201
Escalamiento en el tiempo	202
Cambio de periodo en el tiempo	205
Integración en el tiempo	206
Dualidad multiplicación – convolución	206
Conjugación	209
Teorema de parseval	209
Resumen de las propiedades de la SFTC	210
4.5. Usos de tablas y propiedades	211
4.6. Señales de banda limitada	213
4.7. Convergencia de las series de Fourier en tiempo continuo señales continuas	214
Señales con discontinuidad y el fenómeno de Gibbs	215
4.8. La serie de Fourier en tiempo discreto (SFTD)	216
4.9. Propiedades de la serie de Fourier en tiempo discreto	223
Linealidad	223
Corrimiento en el tiempo	223
Corrimiento de frecuencia	224
Conjugación	224
Inversión en el tiempo	224
Escalamiento en el tiempo	224
Cambio de periodo	225
Dualidad multiplicación – convolución	228
Primera diferencia hacia atrás	230
Acumulación	230
Señales paras e impares	231
Resumen de propiedades de la SFTD	231
4.10. Convergencia de la serie de Fourier en tiempo discreto	232
4.11. Respuesta en frecuencia de sistema LIT con excitación periódica	236
4.12. Resumen de puntos importantes	239
Ejercicios con repuestas	240
Ejercicios sin repuestas	245
Capítulo 5.	
La transformada de Fourier	249
5.1. Introducción y objetivos	249
5.2. La transformada de Fourier en tiempo continuo	249

La transición de una serie de Fourier en tiempo continuo a la transformada de Fourier en tiempo continuo	249
5.3. Definición de la transformada de Fourier en tiempo	257
5.4. Comparación entre la serie de Fourier en tiempo continuo	259
5.5. Propiedades de la transformada de Fourier de tiempo continuo	261
Linealidad	262
Desplazamiento en el tiempo y en la frecuencia	262
Escalamiento en el tiempo y en la frecuencia	263
Transformada de una conjugada	265
Dualidad multiplicación – convolución	266
Diferenciación en el tiempo	267
Modulación	268
Transformada de señales periódicas	269
Teorema de parseval	270
Definición integral de un impulso	271
Dualidad	272
Integral del área total utilizando transformadas de Fourier	273
Integración	274
Resumen de las propiedades de la TFTC	278
Uso de tablas y propiedades	279
5.6. La transformada de Fourier en tiempo discreto	282
Ilustración gráfica	282
Deducción analítica	284
Definición de la transformada de Fourier en tiempo discreto	285
5.7. Convergencia de la transformada de Fourier en tiempo discreto	286
5.8. Propiedades de la transformada de Fourier en tiempo discreto	286
Linealidad	286
Desplazamiento en el tiempo y en la frecuencia	286
Transformada de una conjugada	288
Diferencia y acumulación	288
Inversión del tiempo	289
Dualidad multiplicación – convolución	289
Definición de acumulación de una función comb	291
Teorema de parseval	293
Resumen de las propiedades de la TFTD	294
5.9. Relaciones entre métodos de Fourier	295
TFTC y SFTC	297
TFTC y TFTD	302
TFTD y SFTD	304
Ejemplos de comparación de métodos	306
5.10. Resumen de puntos importantes	309
Ejercicios con repuestas	310
Ejercicios sin respuestas	323
Capítulo 6.	
Análisis de transformada de Fourier de señales y sistemas	327
6.1. Introducción y objetivos	327
6.2. Respuestas en frecuencia	327
6.3. Filtros ideales	330

Distorsión	330
Clasificaciones de filtros	332
Respuestas en frecuencia del filtro ideal	332
Ancho de banda	333
Respuestas al impulso y causalidad	333
El espectro de potencia	342
Eliminación de ruido	343
6.4. Filtros pasivos prácticos	344
El filtro pasabajas RC	344
El filtro pasabanda RLC	346
6.5. Gráficas de magnitud logarítmica de la respuesta en frecuencia y diagramas de Bode	348
Diagramas de los componentes	353
Pares de polos y ceros complejos	357
6.6. Filtros prácticos activos	358
Amplificadores operacionales	359
Filtros	359
6.7. Filtros en tiempo discreto	365
6.8. Especificaciones de filtros y figuras de mérito	369
6.9. Sistemas de comunicación	373
Modulación	374
Retraso de grupo y de fase	381
6.10. Análisis espectral	389
6.11. Resumen de puntos importantes	391
Ejercicios con repuestas	391
Ejercicios sin repuestas	400
Capítulo 7.	
El muestreo y la transformada de Fourier discreta	407
7.1. Introducción y objetos	407
7.2. Métodos de muestreo	408
7.3. Representación de una señal en tiempo continuo mediante muestra	411
Conceptos cualitativos	411
Teorema de muestreo de Shannon	411
Alias de frecuencia	417
Señales de tiempos limitado y de banda limitada	419
Muestreo de señales pasabanda	420
Interpolación	421
Muestreo de una senoide	424
7.4. Muestreo de señales en tiempo discreto	426
7.5. Señales periódicas de banda limitada	431
7.6. La transformada de Fourier discreta y su relación con otros métodos de Fourier	434
7.7. Ejemplos del uso de la transformada de Fourier discreta	443
7.8. La transformada de Fourier rápida	454
7.9. Resumen de puntos importantes	457
Ejercicios con repuestas	458
Ejercicios sin repuestas	470
Capítulo 8.	

Correlación, densidad espectral de energía y densidad espectral de potencia	473
8.1. Introducción y objetivos	473
8.2. Correlación y correlograma	473
8.3. La función de correlación	478
Bases conceptuales	478
Señales de energía	479
Señales de potencia	481
8.4. Autocorrelación	488
Relación con la energía de señal y con la potencia de señal	488
Propiedades de la autocorrelación	488
Ejemplos de autocorrelación	490
8.5. Correlación cruzada	498
Propiedades de la correlación cruzada	498
Ejemplos de autocorrelación	490
8.6. Correlación y las series de Fourier	501
8.7. Densidad espectral de energía (DEE)	501
Definición y deducción de la densidad espectral de energía	502
Efectos de los sistemas sobre la DEE	502
El concepto de la DEE	503
Relación de la DEE con la autocorrelación	503
8.8 Densidad espectral de potencia (DEP)	504
Definición y deducción de la densidad espectral de potencia	504
Efectos de los sistemas sobre de la DEP	505
El concepto de la DEP	506
Relación de la DEP con la autocorrelación	506
8.9. Resumen de puntos importantes	509
Ejercicios con repuestas	510
Ejercicios sin respuestas	514
Capítulo 9.	
La transformada de Laplace	517
9.1. Introducción y objetivos	517
9.2. Formulación de la transformada de Laplace	527
Deducción y definición	517
Región de convergencia	520
9.3. Propiedades de la transformada de Laplace	527
Linealidad	527
Desplazamiento en el tiempo	527
Desplazamiento de frecuencia compleja	528
Escalamiento en el tiempo	527
Escalamiento de frecuencia	529
Primera diferenciación en el tiempo	529
Segunda diferenciación en el tiempo	530
Diferenciación en frecuencia compleja	531
Dualidad multiplicación – convolución	531
Integración	533
Teorema del valor inicial	533
Teorema del valor final	534

Resumen de las propiedades de la transformada de Laplace unilateral	535
9.4. La transformada de Laplace inversa que utiliza expansión en fracciones parciales	536
9.5. Equivalencia entre ecuaciones diferenciales con condiciones iniciales	545
9.6. Solución de ecuaciones diferenciales con condiciones iniciales	545
9.7. La transformada de Laplace Bilateral	547
Cálculo utilizando la transformada de Laplace unilateral	547
Propiedades	548
9.8. Resumen de puntos importantes	551
Ejercicios con repuestas	552
Ejercicios sin respuestas	556
Capítulo 10.	
Análisis de la transformada de Laplace de señales y sistemas	559
10.1. Introducción y objetivos	559
10.2. Funciones de transferencia a partir de diagramas de circuito y de sistemas	559
10.3. Estabilidad de sistema	562
10.4. Conexiones en paralelo, en cascada y de retroalimentación	563
10.5. Análisis de sistemas retroalimentados	567
Efectos benéficos de la retroalimentación	567
Inestabilidad causada por la retroalimentación	570
Oscilación estable utilizando retroalimentación	573
La prueba de estabilidad de Routh – Hurwitz	575
El método de lugar geométrico de las raíces	577
Análisis del margen de ganancia y del margen de fase de la estabilidad del sistema	580
Errores de seguimiento del estado estable en sistemas retroalimentados de ganancia unitaria	581
10.6. Reducción de diagramas de bloques y de teoremas de Mason	583
10.7. Respuestas del sistema a señales estándar	588
10.8. Diagramas de polos – ceros y cálculo gráfico de las respuestas en frecuencia	594
10.9. Filtros Butterworth	597
10.10. Transformaciones en frecuencia	594
10.11. Diseño de filtros analógicos con MATLAB	601
10.12. Realizaciones estándar de sistemas	602
10.13. Análisis de señales y sistemas en el espacio de estados	605
10.14. Resumen de puntos importantes	613
Ejercicios con repuestas	613
Ejercicios sin respuestas	624
Capítulo 11.	
La Transformada z	631
11.1. Introducción y objetivos	631
11.2. Formulación de la transformada z	631
Deducción y definición	631
Región de convergencia	634
La transformada unilateral	636
11.3. Propiedades de transformada z	636

Linealidad	637
Desplazamiento de tiempo	637
Cambio de escala	639
Teorema de valor inicial	641
Diferenciación en el dominio z	641
Convolución en tiempo discreto	642
Diferencia	642
Acumulación	643
Teorema de valor final	643
Resumen de propiedades de la transformada z	644
11.4. La transformada z inversa	645
11.5. Solución de ecuaciones en diferencias con condiciones iniciales	647
11.6. La relación entre las transformadas z y la Laplace	649
11.7. La transformada z bilateral	651
Propiedades	652
11.8. Resumen de puntos importantes	655
Ejercicios con repuestas	655
Ejercicios sin repuestas	659
Capítulo 12.	
Análisis de la transformada z de señales y sistemas	661
12.1. Introducción y objetivos	661
12.2. Funciones de transferencia	663
12.3. Estabilidad de sistema	663
12.4. Conexiones en paralelo, cascada y retroalimentación	664
12.5. Respuestas del sistema a señales estándar	664
Respuestas de secuencias unitaria	664
Respuestas a una senoide aplicada repentinamente	668
12.6. Diagramas de polos y ceros en el cálculo gráfico de la respuesta en frecuencia	674
La prueba de estabilidad de Jury	674
El método del lugar geométrico de las raíces	676
12.8. Simulación de sistema en tiempo continuo con sistemas en tiempo discreto	677
12.9. Sistemas de datos muestreados	678
12.10. Filtros digitales	683
Métodos de diseños de filtros digitales	683
Diseño invariante al impulso y al escalón	684
Aproximación a ecuaciones diferenciales mediante ecuaciones de diferencias	689
Sustitución directa y la transformada z apareada	692
La transformación bilineal	694
12.11. Diseño de filtros digitales e implementación en MATLAB	709
12.12. Realizaciones estándar de sistemas	710
12.13. Análisis de señales y sistemas en el espacio de estado	712
12.14. Resumen de puntos importantes	718
Ejercicios con respuestas	718
Ejercicios sin respuestas	725
Apéndice A	

Relaciones matemáticas útiles	729
Apéndice B	
Introducción a MATLAB	731
B.1 Números, variables y matrices	731
B.2. Operadores	732
B.3. Guiones y funciones	739
B.4. Funciones y comandos de MATLAB	740
Comandos y propósitos general	741
Control de flujo del lenguaje de programación	743
Matrices elementales y manipulación de matrices	745
Funciones matemáticas elementales	748
Funciones matemáticas especializadas	749
Funciones matriciales y álgebra lineal numérica	750
Análisis de datos y transformadas de Fourier	750
Interpolación y polinomios	753
Gráficas bidimensionales	754
Gráficas tridimensionales	759
Gráficas especializadas	760
Manejo de gráficas	761
Herramientas de la interfaz gráfica del usuario	766
Cadenas de caracteres	766
Entrada – salida de archivo	767
Tiempo y fecha	768
Tipos y estructuras de datos	768
Apéndice C	
Método para determinar el mínimo común múltiplo	769
Apéndice D	
Propiedades de la convolución de TD	771
Conmutativa	771
Asociativa	771
Distributiva	772
D.2. Propiedades de la convolución de TC	772
Conmutativa	772
Asociatividad	772
Distributividad	774
Apéndice E	
Tabla de pares de Fourier	775
E.1. Serie de Fourier	775
Serie de Fourier de tiempo continuo (SFTC)	775
Serie de Fourier de tiempo discreto (SFTD)	777
E.2. Transformada de Fourier	780
Transformada de Fourier de tiempo continuo (TFTC)	780
Transformada de Fourier de tiempo discreto (TFTD)	790
Apéndice F	
Tablas de pares de transformadas de Laplace	798
F.1. Funciones causales	798
F.2. Funciones anticausales	799
F.3. Funciones no causales	799

Apéndice G	
Tabla de pares de transformadas z	800
G.1. Funciones causales	800
G.2. Funciones anticausales	801
G.3. Funciones no causales	801
Apéndice H	
Números complejos y funciones complejas	802
H.1. Propiedades básicas de los números complejos	802
H.2. La forma polar	805
H.3. Funciones de variables compleja	807
H.4. Funciones complejas de variables real	809
Ejercicios con respuestas	815
Ejercicios sin respuestas	817
Apéndice I	
Ecuaciones diferenciales y de diferencias	819
I.1. Introducción	819
I.2. Ecuaciones diferenciales lineales homogéneas con coeficientes constantes	819
Ecuaciones diferenciales lineales y no homogéneas con coeficientes constantes	821
Sistemas de ecuaciones diferenciales lineales	825
I.3. Ecuaciones de diferencias ordinarias lineales	829
Aproximaciones por diferencias a una derivada	829
Ecuaciones de diferencias lineales y homogéneas con coeficientes constantes	833
Ecuaciones de diferencias lineales no homogéneas con coeficientes constantes	834
Sistemas de ecuaciones de diferencias lineales	835
Ejercicios con respuestas	837
Ejercicios sin respuestas	839
Vectores y matrices	843
J.1. Definiciones y operaciones	843
J.2. Determinantes, regla de Cramer y la inversa de una matriz	848
J.3. Derivadas y diferencias	852
J.4. Valores propios y vectores propios	852
Ejercicios con respuestas	859
Bibliografía	862
Índice	865