

INDICE

Sobre los autores	19
Prefacio	21
Prólogo. Breve historia de la electrónica	25
Antecedentes	25
La era del tubo de vacío	26
Descubrimiento de los tubos de vacío	26
Aplicaciones iniciales	27
Industrias electrónicas	27
Componentes	27
Comunicaciones	28
Computadores (cálculo)	28
Controles	29
Análisis y teoría	30
La era de transistor	30
Descubrimiento del transistor de unión bipolar	31
Invencción del circuito integrado	31
Microelectrónica	32
Transistor de efecto campo	33
Circuitos integrados digitales	33
Circuitos analógicos	34
Técnicas de fabricación	34
Industrias de la comunicación y control	35
La industria del cálculo	35
El futuro	36
Primera Parte	
Dispositivos Semiconductores	
1. Semiconductores	41
1.1. Fuerzas, campos y energía	41
Partículas cargadas	41
Intensidad de campo	42
Potencial	42
Concepto de barrera de energía potencial	44
1.2. La conducción en los metales	44
Densidad de corriente	46
Conductividad	47
1.3. El semiconductor intrínseco	48
El hueco	48
Conducción en semiconductores intrínsecos	50
1.4. Semiconductores extrínsecos	51
Semiconductores tipo n	52
Semiconductores de tipo p	52
Ley de acción de masas	53
Concentración de portadores	53
Generación y recombinación de cargas	55
1.5. Variaciones en las propiedades del silicio	55
Concentración intrínseca	55
Movilidad	56

Conductividad	56
1.6. Difusión	56
Relación de Einstein	57
Corriente total	57
1.7. Semiconductores graduados	58
Ley de acción de masas	59
Unión abrupta en circuito abierto	59
Referencias	60
Temas de repaso	60
2. El Diodo de Unión	61
2.1. La unión en un circuito abierto	61
Región de la carga espacial	62
2.2. La unión pn polarizada	63
Unión pn con polarización directa	64
Unión pn con polarización inversa	64
Contactos óhmicos	64
La unión pn en cortocircuito y en circuito abierto	65
Grandes tensiones directas	65
2.3. Características tensión – intensidad	65
2.4. Dependencia de la características V/I con la temperatura	68
2.5. Diodos de germanio	69
2.6. El diodo como elemento de un circuito	69
El diodo ideal	69
Concepto de recta de carga	70
2.7. Modelos de gran señal	71
Análisis de circuitos de diodos utilizando el modelo de gran señal	72
2.8. Aplicaciones elementales de los diodos	75
Rectificadores	75
Circuitos cortadores y fijadores	76
2.9. Modelos de diodos de pequeña señal	80
Capacidad de difusión	83
Capacidad de transición	84
2.10. Tiempos de conmutación del diodo de unión	84
Multiplicación de avalancha	86
Ruptura Zener	86
Modelos de diodo Zener	87
Un regulador Zener	87
Características de temperatura	88
2.12. Diodos de barrera Schottky	88
2.13. Diodo de unión es escalón	89
Capacidad de deplexión	89
Expresión analítica de la concentración de portadores minoritarios	91
Descripción de control de carga de un diodo	93
Capacidad de difusión	94
Referencias	94
Tema de repaso	95
3. Transistores de Unión Bipolares (BJT)	97
3.1. La fuente ideal de corriente controlada	97

3.2. El transistor de unión	100
Comportamiento físico de un transistor bipolar	102
3.3. Representación Ebers – Moll de BJT	104
Ganancia de corriente con gran señal	105
Modos de trabajo del transistor	106
Concentración de portadores minoritarios	108
3.4. Características en base común	109
Características de salida	109
Características de entrada	111
Efecto Early o modulación del ancho de la base	111
3.5. Configuración en emisor común (CE)	112
Las características de salida	112
Las características de entrada	115
El modo activo inverso	115
3.6. Corte y saturación	116
Corte	116
Corte en el transistor invertido	117
La región de saturación en emisor común	117
Resumen de tensiones en un BJT	119
3.7. Modelos de continua	119
3.8. El transistor de unión bipolar como interruptor	126
Velocidad de conmutación del BJT	128
3.9. El transistor de unión bipolar como amplificador	129
3.10. Modelo BJT para pequeña señal	132
Modelo de baja frecuencia	133
3.11. El BJT como diodo	138
3.12. El par de emisor acoplado	140
3.13. Limitaciones en los transistores	142
Corriente de colector máxima	142
Máxima disipación de potencia	142
Máxima tensión de salida	143
Perforación	143
Máxima tensión nominal de entrada	144
Referencia	145
Temas de repaso	145
4. Transistores de Efecto Campo	147
4.1. La fuente ideal de corriente con tensión regulada	147
4.2. Transistores de unión de efecto campo	149
Funcionamiento de JFET	150
4.3. Característica tensión – corriente de un JFET	151
La región óhmica	152
La región de saturación o de estricción	153
Ruptura	154
Corte	154
4.4. Características de transferencia del JFET	154
4.5. El MESFET	155
4.6. El MOSFET de acumulación	155
Estructura de MOS de acumulación	156

Comportamiento físico del MOSFET de acumulación	157
4.7. Características tensión corriente de un MOSFET de acumulación	157
Expresiones analíticas de las características tensión – corriente	157
Región óhmica	157
Región de saturación	158
Características del MOSFET de acumulación de canal p	160
Comparación entre transistores PMOS y NMOS	161
4.8. El MOSFET de deplexión	161
4.9. Símbolos de los circuitos MOSFET	162
4.10. Análisis en continua de los FET	163
Recta de polarización	163
4.11. El MOSFET como resistencia	166
4.12. El FET como interruptor	168
4.13. El FET como amplificador	172
4.14. Modelos FET de pequeña señal	173
El modelo de baja frecuencia	174
Modelo de alta frecuencia	178
4.15. Dispositivos CMOS	178
Referencias	180
Temas de repaso	181
5. Fabricación de Circuitos Integrados	183
5.1. Tecnología de los circuitos integrados monolíticos (microelectrónica)	184
5.2. El proceso planar	186
Crecimiento del cristal de sustrato	186
Crecimiento epitaxial	187
Oxidación	187
Fotolitografía	188
Difusión	189
Implantación de iones	190
Metalización	191
5.3. Fabricación de transistores bipolares	191
Fabricación de transistores	191
Capa enterrada	193
Fabricación del pnp	193
Transistores de emisor múltiple	195
El transistor Schottky	195
Transistores super - B	196
5.4. Fabricación del FET	197
Fabricación del NMOS de acumulación	197
Autoaislamiento	197
Transistores NMOS de deplexión	198
Largo y ancho de puerto	198
Fabricación de JFET	199
5.5. Tecnología CMOS	200
5.6. Diodos monolíticos	200
Características del diodo	202
5.7. Contacto metal – semiconductor	202
5.8. Resistencia integradas	202

Resistencia pelicular	203
Resistencias difundidas	203
Resistencias de iones implantados	204
Resistencia epitaxiales	205
Resistencias de estricción	205
Resistencias MOS	206
Resistencias de película delgada	206
5.9. Condensadores integrados	207
Condensadores de unión	207
Condensadores MOS y de película delgada	207
5.10. Empacado de circuitos integrados	208
5.11. Características de los componentes integrados	209
5.12. Dispositivos de los circuitos microeléctricos	209
Circuitos bipolares	210
Circuitos MOS	210
Cruces	210
Trazado con computador	211
Referencias	211
Temas de repaso	211
Segundas Parte Circuitos y Sistemas Digitales	
6. Circuitos Lógicos Básicos (Digitales)	215
6.1. El sistema binario	215
6.2. Algebra de Boole	217
Sistemas lógicos	218
La puerta OR	218
La puerta AND	220
Puerta NOT (inversora)	221
Función de inhibición (y habilitación)	222
6.3. Puertas OR – exclusiva, NAND y NOR	222
Puerta OR – exclusiva	222
Leyes de Morgan	224
La puerta NAND	226
La puerta NOR	226
6.4. Características de las puertas lógicas	227
El inversor ideal	228
Características de transferencia del inversor ideal	228
Características de de transferencia del inversor real	228
Margen de ruido	230
Fan – out (salida en abanico)	231
Disipación de potencia	231
Velocidad de actuación	232
6.5. El inversor NMOS	233
La carga saturada	234
Carga lineal (no saturada)	236
La carga de deplexión	237
Resumen	239
6.6. Retardo de propagación de un inversor NMOS	239

6.7. Puertas lógicas NMOS	241
6.8. El inversor CMOS	242
6.9. Puertas lógicas CMOS	244
La puerta NOR	244
La puerta NEND	245
La puerta transmisión	245
Familias lógicas CMOS	246
6.10. El inversor BJT	247
Inversor de transistor Schottky	248
6.11. La puerta TTL NAND	248
Actuación del transistor de entrada	250
Tiempo de almacenamiento bajo	251
Diodos de enganche de entrada	251
6.12. Etapas de salida TTL	252
La etapa en totem	252
Salida de tres estados	254
La característica de transferencia	254
6.13. Familias lógicas TTL	254
6.14. Circuitos lógicos de emisor acoplado	256
Puerta básica OR/NOR de emisor acoplado (ECL)	257
La tensión de referencia V_R	258
La característica de transferencia	259
Márgenes de ruido	262
La característica NOR	262
La etapa de salida	262
Topología ECL OR/NOR	263
Disipación de potencia	263
Número de salidas (fan – out)	264
Familias ECL	264
6.15. Comparación entre familias lógicas	264
Referencias	265
Temas de repaso	266
7. Combinación de Sistemas Digitales	269
7.1. Montajes de puertas normalizadas	269
Criterios de diseño	272
7.2. Sumadores binarios	272
Semisumador	272
Funcionamiento en paralelo	273
Sumador completo	274
Sumadores MSI	275
Funcionamiento en serie	277
7.3. Funciones aritméticas	278
Sustracción binaria	278
Unidad aritmética lógica (ALU)/ Función generador	279
Multiplicadores binarios	279
7.4. Comparador digital	280
7.5. Comprador generador de paridad	282
7.6. Decodificador demúltiplex	283

Sistema de codificación de BCD a decimal	283
Decodificador de BCD a decimal	283
Demúltiplex	285
Decodificador – Demúltiplex de 4 a 16 líneas	285
Decodificador – excitador de lámpara	286
Demúltiplex de orden superior	286
7.7. Múltiplex – selector de datos	286
Conversión paralelo a serie	288
Selección secuencial de datos	288
Múltiplex de orden superior	289
Lógica combinacional	289
7.8. Codificador	290
Etapas de salida	292
Codificador con prioridad	293
7.9. Memoria de sólo lectura (ROM)	294
Convertidores de código	295
Programación del ROM	296
ROMS NMOS	296
7.10. Direccionado bidimensional de un ROM	299
Ampliación de la información	300
Ampliación del direccionado	300
7.11. Aplicaciones de los ROM	300
Tablas de recurrencia	300
Generadores de secuencia	301
Generador de ondas	301
Imagen visible de siete segmentos	302
Lógica combinatoria	303
Generador de caracteres	303
Almacenamiento de programas	303
7.12. ROMS programables (PROMS)	304
7.13. PROM borrable	304
EPROMS	304
E ₂ PROMS	306
7.14. Lógica de disposición programable	306
7.15. Disposiciones lógicas programables (PLA)	307
Programación de un PLA	309
Referencias	311
Temas de repaso	311
8. Circuitos y Sistemas Secuenciales	313
8.1. Una memoria de 1 bit	313
Célula de almacenamiento de 1 bit	313
Un interruptor sin oscilaciones	314
Biestable de fijación	315
8.2. Propiedades del circuito de un biestable de fijación	315
8.3. EL FLIP – FLOP SR temporizado	317
Sistema secuencial	318
EL FLIP – FLOP SR	319
8.4. FLIP – FLOP J – K T y D	320

EI FLIP – FLOP J – K	320
Puesta a 1 y a 0 (Preset and clear)	321
Condición de auto – oscilación	321
FLIP – FLOP J – K ordenador – seguidor	322
EI FLIP – FLOP tipo D	323
EI FLIP – FLOP tipo T	323
Resumen	323
8.5. Registradores de desplazamiento	324
Registrador de entrada – serie, salida paralelo (SPO)	325
Registrador de entrada y salida en serie (SISO)	326
Registrador de entrada y salida en serie (PISO)	326
Registrador de entrada y salida en serie (PIPO)	326
Registradores de desplazamiento a derecha e izquierda (bidireccional)	327
Línea de retardo digital	327
Generador de secuencias	327
Contador de anillo registrador de desplazamiento	328
Contador de anillo Jahnson	329
8.6. Contadores asíncronos	329
Contador asíncrono	329
Contador divisor por N	332
8.7. Contadores síncronos	333
Transporte en serie	334
Transporte en paralelo	335
Contador síncrono reversible con transporte en paralelo	335
Contador de décadas síncrono	335
8.8. Aplicaciones de los contadores	336
Contador directo	337
Divisor por N	337
Medición de frecuencia	338
Medición de tiempo	338
Medición de distancias	338
Medición de velocidad	338
Calculadora digital (computadora)	339
Referencias	339
Temas de repaso	339
9. Sistemas Integrados a muy Gran Escala	341
9.1. Registradores de desplazamiento MOS dinámicos	341
Inversor MOS dinámico	342
Célula de memoria bifásica de relación	343
Aplicaciones	344
Registrador de desplazamiento MOS estático	344
9.2. Etapas de registrador de desplazamiento de no relación	345
Célula de registrador de desplazamiento dinámico CMOS	346
9.3. Lógica domino CMOS	347
9.4. Memorias de acceso aleatorio (RAM)	349
Selección lineal	349
Direccionado bi – dimensional	350
Organización básica RAM	350

Ampliación de la memoria	352
9.5. Células de memoria de lectura – escritura	352
RAM MOS estático	353
Célula RAM CMOS estática	354
Célula RAM dinámica de 7 MOS – FET	355
Organización del chip RAM dinámico	357
9.6. Células RAM bipolares	360
9.7. Dispositivos acoplados en carga (CCD)	362
Funcionamiento básico del CCD	362
Electrodos por bit	364
Frecuencias máxima y mínima de funcionamiento	364
9.8. Estructuras CCD	365
Estructuras de entrada y de salida	367
Organización de una memoria CCD	367
9.9. Lógica de inyección integrada	368
Fusionado de elementos	369
Inyección de corriente	370
Inversor	371
Puerta NAND	372
Puerta NOR	373
FLIP – FLOP	373
9.10. Microprocesadores y microcomputadores	373
Microcomputadores	375
Microcomputador de un chip	375
Aplicaciones	376
Referencias	377
Temas de repaso	377
Tercera Parte Circuitos y Sistemas Amplificadores	
10. Etapas Amplificadoras Básicas a baja Frecuencia	383
10.1. Ondas para una entrada senoidal	384
Notaciones	385
10.2. Punto de funcionamiento de BJT	387
Estabilidad de polarización	388
10.3. Polarización del BJT para circuitos integrados	389
Resistencia de salida	390
Repetidores de corriente	391
10.4. Fuente de corriente Wildlar	392
Variaciones de temperatura	394
10.5. Fuentes de corriente de tres transistores	395
10.6. Polarización del BJT con componentes discretos – Análisis	396
Acoplamiento capacitivo	396
Análisis en continua	398
Incremento de corriente por variar B_F	399
Incremento de corriente por variar I_{CQ}	400
Incremento de corriente por variar V_{BE}	400
10.7. Diseño de polarización con componentes discretos	401
Consideraciones de diseño	403

10.8. Polarización del FET	404
Fuentes de corriente	404
Circuito polarizado de cuatro resistencias	406
10.9. Análisis lineal de circuitos de transistores	408
10.10. Amplificador en emisor común	410
Ganancia o amplificación de corriente A_i	410
Resistencia de entrada R_i	411
Ganancia o amplificación de tensión A_v	411
Resistencia de salida	412
10.11. El seguidor	413
La ganancia de corriente	414
La resistencia de entrada	414
Ganancia de tensión	415
La resistencia de salida	415
10.12. El amplificador en base común	416
10.13. Comparación entre configuraciones del amplificador BJT	416
Configuración en emisor común (CE)	416
Configuración en emisor común (CC)	416
Configuración en emisor común (CB)	417
10.14. Amplificador en emisor común con una resistencia de emisor	417
10.15. Etapas amplificadoras FET	418
Circuitos equivalentes de pequeña señal	418
Análisis de la etapa amplificadora FET generalizada	420
La etapa en fuente común	422
La configuración en drenaje común	422
10.16. Amplificadores BJT en cascada	423
Etapas FET en cascada	426
10.17. Etapa de transistores mixtas (compound)	426
Configuración CC – CC (Darlington)	427
Conexión CE – CB (Cascode)	427
10.18. El amplificador diferencial	428
Modo diferencial	429
Modo común	429
10.19. Análisis de amplificadores diferenciales	430
Ganancia A_{DM} del modo diferencial	430
Ganancia A_{CM} del modo común	431
Relación de rechazo del modo común	431
Salida para señales de entrada arbitrarias	432
Efectos de la resistencia de entrada y de salida	434
10.10. Amplificadores diferenciales FET	434
10.21. El amplificador operacional (Amp - Op)	435
El Amp – ideal	436
Etapas Amp – Op inversoras prácticas	437
La etapa no inversora práctica	439
10.22. Aplicaciones elementales del Amp – Op	440
Amplificador sumador	440
Suma no inversora	441
Convertidor de tensión a corriente (amplificador de transconductancia)	441

Convertidor corriente – tensión (amplificador de transresistencia)	442
Integradores	443
Referencias	443
Tema de repaso	444
11. Respuesta en Frecuencia de los Amplificadores	447
11.1. Característica de respuesta en frecuencia	447
Consideraciones sobre fidelidad	448
Respuestas en alta frecuencia	449
Respuestas en baja frecuencia	451
Respuesta total	451
Ancho de banda	453
11.2. Respuesta de un amplificador a un escalón	453
Tiempo de subida	454
Pendiente	455
Pruebas con onda cuadrada	456
11.3. Ganancia de corriente de cortocircuito en emisor común	456
El parámetro f_r	458
11.4. La función ganancia generalizad	459
Determinación del número de polos y de ceros	460
La aproximación del polo dominante	460
11.5. Respuesta en alta frecuencia de una etapa en emisor común	462
La función de transferencia	463
Equivalente híbrido – n unilateral	463
Impedancia de entrada de Miller	464
11.6. Producto ganancia – ancho de banda	465
11.7. Etapa en fuente común a alta frecuencia	466
11.8. Seguidores de emisor y de fuente a alta frecuencia	467
Ganancia de tensión	467
La impedancia de salida Z_o	469
La impedancia de entrada A_i	470
El seguidor de fuente	472
11.9. Método de la constante del tiempo para hallar la respuesta	473
El coeficiente a_1	473
El coeficiente a_2	478
11.10. Respuesta en frecuencia de etapas en cascada	480
Cascada emisor Común – Emisor – Común ($C_e - C_e$) y fuente común – fuente común ($C_s - C_s$) en alta frecuencia	480
11.11. El amplificador cascado (CE – CB)	485
11.12. El amplificador operacional a alta frecuencia	488
La etapa no inversora	488
La etapa inversora	489
11.13. El efecto de los condensadores de acoplamiento y de paso	490
La respuesta completa en baja frecuencia	491
Etapas en cascada a baja frecuencia	493
Resumen	493
Referencias	494
Temas de repaso	494
12. Amplificadores Realimentados	497

12.1. Clasificación y representación de los amplificadores	498
El amplificador de tensión	498
El amplificador de corriente	499
El convertidor tensión – Corriente o Amplificador de Transconductancia	499
El convertidor tensión – Corriente o Amplificador de Transimpedancia	499
12.2. El concepto de realimentación	500
La fuente de señal (entrada)	501
La señal de salida	501
La red de muestreo	501
La red de comparación o sumadora	502
La red de realimentación	503
El amplificador básico	503
Topologías del amplificador realimentado	503
12.3. El amplificador realimentado ideal	504
Relación de retorno o ganancia del lazo	506
Supuestos fundamentales	506
12.4. Propiedades de amplificadores con realimentación negativa	507
Desensibilizad	507
Distorsión no lineal	508
Reducción del ruido	511
12.5. Impedancia en amplificadores realimentados	512
Resistencia de entrada	512
Impedancia de salida	513
Fórmula de la impedancia de Blackman	514
12.6. Propiedades de las topologías de amplificadores realimentados	516
El amplificador paralelo – paralelo	516
El amplificador serie – serie	517
El amplificador paralelo – serie	518
El amplificador serie – paralelo	518
12.7. Análisis aproximado de un amplificador retroalimentado	519
El amplificador sin retroalimentación	519
Plan general de análisis	520
12.8. Análisis general de amplificadores retroalimentados	523
Ganancia (relación de transferencia) con realimentación	524
Proceso de análisis	526
12.9. Más sobre la impedancia en amplificadores realimentados	530
12.10. Triple realimentación en paralelo	532
Las impedancias de entrada y de salida	534
Opciones de diseño	536
12.11. El par paralelo – serie	537
Resistencia de entrada y de salida	538
12.12. El par serie – paralelo	539
Impedancia de entrada y de salida	540
12.13. El triple en serie	541
Impedancia de entrada y de salida	542
12.14. Análisis general de amplificadores realimentados multi - etapa	543
12.15. Amplificadores realimentados de múltiple lazo	546
Amplificador con realimentación positiva - negativa	547

Estructura McMillan	548
Realimentación seguidora	550
Realimentación salto de rana	550
Referencias	550
Temas de repaso	551
13. Estabilidad y Respuesta de los Amplificadores Realimentados	553
13.1. Efectos de la realimentación sobre el ancho de banda	553
Función de dos polos	554
Función de tres polos	554
13.2. Estabilidad	555
Definición de la estabilidad	556
Estabilidad en amplificadores realimentados	557
13.3. Pruebas de estabilidad	557
Criterio de Nyquist	558
Margen de fase	558
Margen de ganancia	558
El diagrama de Bode	560
13.4. Compensación	563
Compensación por polo dominante	564
Cancelación polo – cero	565
Una nota para el lector	566
13.5. Respuesta en frecuencia de amplificadores realimentados. Función de transferencia de doble polo	567
Modelo de circuito	568
Respuesta en frecuencia	569
Respuesta a un escalón	569
13.6. Margen de fase del amplificador realimentados de dos polos	572
13.7. Respuesta del amplificador realimentado multi – polo	576
Margen de fase	578
El polo dominante	578
13.9. Determinación aproximada de los polos en lazo abierto	579
13.10. Más sobre la compensación	588
Separación de polos	589
Compensación por capacidades en paralelo	591
Análisis del lugar de las raíces (opcional)	591
Resumen	592
Referencias	592
Temas de repaso0	593
14. Características del Amplificador Operacional	595
14.1. Estructura del amplificador operacional	595
Estructura de dos etapas	596
14.2. La etapa de ganancia con carga activa	597
La recta de carga	597
Modelo de pequeña señal	598
Limitaciones de las fuentes de corriente pnp	601
14.3. La etapa diferencial	602
La relación de rechazo del modo común (CMRR)	602
Resistencia de entrada R_{id}	603

La ganancia en el modo diferencial A_{DM}	603
14.4. Desplazamiento de nivel	608
El multiplicador V_{BE}	609
14.5. Etapas de salida	610
14.6. Tensiones y corrientes Offset	613
Técnicas universales de equilibrado	616
14.7. Medición de los parámetros de un amplificador operacional	616
Tensión Offset de entrada V_{io}	617
Corriente de polarización de entrada	617
Ganancia de tensión diferencial en lazo $A_v = A_{DM}$	618
Relación de rechazo del modo común	618
14.8. Respuesta en frecuencia y compensación	620
Compensación interna	621
Compensación adaptada	621
Compensación por efecto Miller	621
Cancelación polo – cero	625
14.9. Ritmo de variación	626
Efecto del ritmo de variación sobre una señal de entrada	627
14.10. Circuitos BIFET y BIMOS	628
14.11. Amplificadores operacionales de tres etapas	629
14.12. Otros tipos de amplificadores operacionales	630
Estructura de etapa única	630
Amplificadores de instrumentación	631
El amplificador de transconductancia operacional (OTA)	634
14.13. Amplificadores operacionales MOS	635
Circuitos NMOS	635
Amp – Op CMOS	636
Referencias	638
Temas de repaso	638
Cuarta Parte	
Procesado de Señales	
y Adquisición de Datos	
15. Generación y Conformación de Ondas	643
15.1. Osciladores senoidales	643
Criterio de Barkhausen	644
Consideraciones prácticas	644
15.2. Oscilador de cambio de fase	645
Funcionamiento a frecuencia variable	647
15.3. Oscilador de puente de Wien	647
Estabilización de la amplitud	648
15.4. Forma general de un circuito oscilador	649
Relación de retorno	649
Osciladores sintonizables LC	649
15.5. Oscilador de cristal	550
15.6. Multivibradores	652
Multivibradores monoestables	654
Multivibradores estables	657
15.7. Comparadores	658
15.8. Formación de ondas cuadradas a partir de una senoide	660

Señalador de tiempo a partir de una senoide	661
15.9. Comparador regenerativo (disparador Schmitt)	661
Disparador Schmitt acoplado en emisor	664
15.10. Generadores de ondas cuadradas y triangulares	665
Generadores de onda triangular	666
Modulación del ciclo de servicio (duty)	668
Oscilador gobernado por tensión: VCO (Voltaje Copntrolled Oscillator)	668
15.11. Generadores de impulsos	670
Multivibrador monoestable de repetición	671
15.12. El temporizador integrado 555	672
El multivibrador astable	673
15.13. Generadores de base de tiempo	674
El barrido	674
Generadores de barrido	675
15.14. Generadores de ondas en escalera	677
Contador de almacenamiento	678
Aplicaciones	678
15.15. Modulación de una onda cuadrada	680
Modulación de amplitud	680
Modulador recortador	680
Demoduladores	682
Amplificador recortador estabilizado	683
Modulación de ancho de impulso	683
Referencias	684
Temas de repaso	684
16. Acondicionamiento y Conversión de Datos	687
16.1. Señales y procesado de señales	687
16.2. Toma y retención de información	691
16.3. Múltiplex y demúltiplex analógicos	693
Demúltiplex analógico	694
16.4. Convertidores de digital a analógico (D/A)	694
Convertidor D/A tipo escalera	696
Convertidor D/A multiplicador	697
16.5. Convertidores de analógico a digital (A/D)	698
Convertidor A/D con contador	698
Convertidor A/D por aproximaciones sucesivas	700
Convertidor A/D comparador en paralelo (Flash)	700
Convertidor A/D de relación o de doble pendiente	702
16.6. Circuitos de integración y diferenciación	703
Corriente de polarización y Offset en continua	703
Ganancia finita y ancho de banda	704
Circuito práctico	705
Integrador diferencial	706
Diferenciador	706
16.7. Cálculo analógico electrónico	706
16.8. Filtros activos RC	
Características ideales	708
Características reales de respuesta en frecuencia	710

Especificación de filtros	710
16.9. Funciones Butterworth y Cheyshev	711
La función bicuadrada	711
Polinomios de Butterworth	712
Filtros Chebyshev	714
Transformación de frecuencia	716
16.10. Secciones del amplificador simple	717
Secciones paso – bajo	717
Secciones paso – alto	720
Secciones paso – banda	720
Secciones de rechazo de banda	722
Redes pasa – todo	723
Sección general bicuadrada de Friend	726
16.11. Secciones bicuadrada del Amp – Op múltiple	726
La sección de filtro universal o de estado variable	727
16.12. Filtros gobernados por condensador	729
Resistencia simulada	729
Integradores	730
Etapa de ganancia	731
Secciones unipolares	731
16.13. Amplificadores logarítmicos y exponenciales	733
Amplificador logarítmico con transistores aparejados	734
Amplificador exponencial (anti - logarítmico)	736
Multiplicador logarítmica	737
16.14. Multiplicadores analógicos	738
Cuadrados y raíces cuadradas	739
Modulador equilibrado	740
15.16. Convertidores alterna – continua de precisión	740
Limitador de precisión	741
Rectificador rápido de media onda	741
Rectificador de onda completa	742
Detector activo de media	743
Detector activo de pico	743
Referencias	744
Temas de repaso	745
Quinta Parte Electrónica de Grandes Señales	
17. Circuitos y Sistemas de Potencia	749
17.1. Conversión de alterna a continua	749
17.2. Rectificadores	750
Rectificador de media onda	750
Tensión de diodo	751
Corriente (o tensión) alterna	752
Regulación	752
Rectificador de onda completa	754
Tensión inversa de pico	754
17.3. Otros circuitos de onda completa	755
Rectificador de puente	756

Medidor rectificador	756
Multiplicadores de tensión	756
17.4. Filtros capacitivos	756
Tensión de salida en carga	758
Análisis aproximado	759
Filtros de entrada capacitiva e inductiva	760
17.5. Suministro de potencia regulado	760
Estabilización	762
17.6. Reguladores monolíticos	762
17.7. Regulador de conmutación	764
Topología del regulador de conmutación básico	765
Tensión de salida regulada	766
Rendimiento	766
El interruptor de potencia	766
17.8. Topologías adicionales del regulador de conmutación	767
Tensiones de salida negativas	768
Convertidor continua – continua a contrafase acoplado por transformador	769
Generación de las ondas de conmutación	770
17.9. Amplificadores de gran señal	772
17.10. Distorsión armónica	773
Distorsión de segundo armónico	773
Generación de armónico de orden superior	775
Potencia de salida	775
17.11. Clasificación de los amplificadores	776
Clase A	776
Clase B	776
Clase AB	777
Clase C	777
17.12. Rendimiento de un amplificador clase A	777
Rendimiento de la conversión	777
17.13. Amplificadores en contrafase (push - pull) clase B	778
Rendimiento	779
Disipación	780
Distorsión	780
17.14. Funcionamiento clase AB	781
17.15. Amplificadores de potencia integrados	782
17.15. Amplificadores de potencia integrados	782
17.16. Consideraciones térmicas	783
Temperatura máxima de la unión	783
Resistencia térmica	783
Curva de reducción de la disipación	784
17.17. Transistores de potencia de efecto campo (VMOS)	786
Características del VMOS	788
Aplicaciones	788
Referencias	789
Temas de repaso	789
Apéndices	
A. Constantes y Factores de Conversión	791

A.1. Valor probable de constantes físicas	791
A.2. Factores de conversión y prefijos	792
B. Fabricantes y Especificaciones de Semiconductores	793
B.1. Fabricantes de dispositivos electrónicos	793
B.2. Especificaciones del diodo de silicio 1N 4153	794
B.3. Especificaciones del transistor bipolar de unión n – p – n de silicio 2N2222A	795
B.4. Especificaciones para el transistor de silicio de unión, de efecto campo, de deflexión y de canal N 2N 4869	797
B.5. Especificaciones del transistor de silicio MOS de efecto campo, de acumulación y canal – P 3N 163	798
B.6. Especificaciones de la puerta NA – ND positiva TTL Schottky de baja potencial (LS7410 o LS5410) con salida en tote,	799
B.7. Especificaciones del amplificador operacional LM 741	800
B.8. Especificaciones para el transistor en potencia N – P – N de silicio 2N 5671	801
B.9. Especificaciones de los dispositivos e transistores de uso general CA 3045 y CA 3046	
C. Resumen de Teoría de Circuitos	805
C.1. Redes resistivas	805
Fuentes de tensión y de corriente	805
Resistencia	806
Ley de Kirchghoff de las corrientes	806
Ley de Kirchhoff de las tensiones	807
Combinación de resistencias en serie y en paralelo	810
C.2. Teoremas sobre Circuitos	811
Teorema de superposición	811
Teorema de Thevenin	812
Teorema de Norton	813
Análisis por el método nodal	814
Análisis de mallas	815
C.3. Estado senoidal en régimen permanente	816
Favores	818
El operador j	819
C.4. Análisis simplificado de una red senoidal	820
Reactancia	820
Impedancia	821
Admitancia	822
Análisis de redes	822
Teorema de Miller	823
C.5. Excitación exponencial	823
C.6. Respuesta de un circuito RC a un escalón	825
Circuito RC paso – Alto	825
Descarga de un condensador a través de una resistencia	827
Circuito RC paso – bajo	827
C.7. El diagrama asintótico de Bode	828
C.8. Cuadripolos	832
Parámetros z	834
Parámetro h	834

C.9. Gráfico de recorrido de la señal	838
D. Problemas	843
E. Soluciones de una selección de problemas	951