

INDICE

Prefacio	VXII
Capítulo 1	
Introducción a la electrónica	4
1.1. Breve historia de la electrónica: de los tubos de vacío a la integración a gran escala	
1.2. Clasificación de señales electrónicas	8
1.2.1. Señales digitales	
1.2.2. Señales analógicas	9
1.2.3. Convertidores A/D y D/A: puente entre los dominios analógico y digital	10
1.3. Convenciones de notación	12
1.4. Método para resolver problemas	13
¿Qué números son razonables?	14
1.5. Conceptos importantes de la teoría de circuitos	
1.5.1. División de voltaje y corriente	15
1.5.2. Representaciones de circuito de Thévenin y Norton	17
1.6. Espectro de frecuencia de señales	21
1.7. Amplificadores	22
1.7.1. Amplificadores operaciones ideales	24
1.7.2. Respuesta en frecuencia del amplificador	26
1.8. Variaciones de elementos en el diseño de circuitos	
1.8.1. Modelación matemática de tolerancias	27
1.8.2. Análisis de peor caso	28
1.8.3. Análisis de Montecarlo	30
1.8.4. Coeficientes de temperatura	33
1.9. Precisión numérica	34
Resumen	35
Temimos clave	36
Referencia	
Lecturas adicionales	37
Problemas	
Capítulo 2	
Electrónica de estado sólido	44
2.1. Materiales electrolitos de estado sólido	
2.2. Modelo de enlace covalente	46
2.3. Corrientes de arrastre y movilidad en semiconductores	
2.3.1. Corrientes de arrastre	49
2.3.2. Movilidad	
2.3.3. Saturación de la velocidad (*tema avanzado)	
2.4. Resistividad del silicio intrínseco	50
2.5. Impurezas en semiconductores	
2.5.1. Impurezas del donador en silicio	52
2.5.2. Impurezas aceptadoras en el silicio	
2.6. Concentraciones de electrones y huecos en semiconductores adulterados (dopados)	53
2.6.1. Material Tipo-n ($N_D > N_A$)	
2.6.2. Material Tipo-p ($N_A > N_D$)	54

2.7. Movilidad y resistividad en semiconductores adulterados (dopados)	56
2.8. Corrientes de difusión	59
2.9. Corriente total	60
2.10. Modelo de bandas de energía	
2.10.1. Generación de pares electrón-hueco en un semiconductor intrínseco	61
2.10.2. Modelo de bandas de energía para un semiconductor adulterado	62
2.10.3. Semiconductores compensados	63
2.11. Panorama de la fabricación de circuitos integrados	64
Resumen	67
Temamos clave	
Referencia	69
Lecturas adicionales	
Problemas	70
Capítulo 3	
Diodos y circuitos de diodos de estado sólido	75
3.1. El diodo de unión pn	
3.1.1. Electrostatica de la unión pn	76
3.1.2. Corrientes internas del diodo	79
3.2. Características i-v del diodo	
3.3. Educación del diodo: modelo matemático para el diodo	81
3.4. Características del diodo bajo polarización inversa, cero y directa	85
3.4.1. Polarización inversa	
3.4.2. Polarización cero	86
3.4.3. Polarización directa	
3.5. Coeficiente de temperatura del diodo	89
3.6. Diodos bajo polarización inversa	90
3.6.1. Corriente de saturación en diodos reales	91
3.6.2. Ruptura inversa	92
3.6.3. Modelo del diodo para la región de ruptura	
3.7. Capacitancia de unión pn	93
3.7.1. Polarización inversa	
3.7.2. Polarización directa	
3.8. Diodo de barrera Schottky	94
3.9. Modelo del diodo y presentación en spice	95
3.10. Análisis de circuitos de diodos	
3.10.1. Análisis de la línea de carga	97
3.10.2. Análisis con el modelo matemático para el diodo	99
3.10.3. El modelo del diodo ideal	104
3.10.4. Modelo de caída de voltaje (o de tensión) constante	
3.10.5. Comparación y discusión de los modelos	106
3.11. Circuitos de diodos múltiples	
3.11.1. Circuito de dos diodos	107
3.11.2. Un circuito de tres diodos	110
3.12. Análisis de diodos que operan en la región de ruptura	
3.12.1. Análisis de la línea de carga	113
3.12.2. Análisis con el mundo lineal por secciones	
3.12.3. Regulación de voltaje	114
3.12.4. Análisis incluyendo la resistencia Zener	115

3.12.5. Regulación de línea y de carga	116
3.13. Circuitos rectificadores de medida onda	117
3.1.3.1. Rectificador de media onda con carga resistiva	118
3.13.2. Capacitor de filtrado del rectificador	119
3.1.3.3. Rectificador de media onda con carga RC	120
3.13.4. Voltaje de rizo e intervalo de conducción	122
3.13.5. Corriente del diodo	124
3.13.6. Sobrecorriente	125
3.13.7. Valor nominal del voltaje inverso pico (VP)	126
3.1.3.8. Disipación de corriente del diodo	127
3.13.9. Rectificador de media onda con voltaje de salida negativo	128
3.14. Circuitos rectificadores de onda completa de salida negativo	130
3.14.1. Rectificador de onda completa con voltaje	127
3.15. Puente rectificador de onda completa	128
3.16. Comparación de rectificadores y compromisos de diseño	130
3.17. Reguladores de voltaje de ci de tres terminales	134
3.18. Convertidores de incremento de cc a cc (tema avanzado)	137
3.18.1. El convertidor de incremento	139
3.18.2. El convertidor de decremento	140
3.19. Circuitos acondicionadores de onda	141
3.19.1. El circuito de sujeción de restauración de cc	142
3.19.2. Circuitos limitadores o reportadores	144
3.19.3. Niveles de limitación dual	145
3.19.4. Características de transferencia de voltaje lineales por secciones	147
3.20. Comportamiento en comunicación dinámica del diodo	148
3.21. Fotodiodos, celdas solares y diodos emisores de luz	149
3.21.1. Fotodiodos y fotodetectores	145
3.21.2. Generación de energía solar a partir de celdas solares	147
3.21.3. Diodos emisores de luz (LED)	148
Resumen	147
Temimos clave	148
Referencia	149
Lecturas adicionales	149
Problemas	149
Capítulo 4	
Transistores de efectivo de campo	161
4.1. Características del Capacitor MOS	162
4.1.1. Región de acumulación	163
4.1.2. Región de agotamiento	163
4.1.3. Región de inversión	163
4.2. El transistor NMOS	165
4.2.1. Comportamiento i-v cualitativo del transistor NMOS	166
4.2.2. Características de la región del triodo del transistor NMOS	168
4.2.3. Resistencia de encendido	169
4.2.4. Uso del MOSFET como resistor controlado por voltaje	171
4.2.5. Características de saturación i-v	173
4.2.6. Modelo matemático en la región de estrangulamiento (estrechamiento)	174
4.2.7. Transconductancia	174

4.2.8. Modulación de la longitud del canal	
4.2.9. Características de transferencia y modo de agotamiento de los MOSFET	176
4.2.10. Efecto cuerpo o sensibilidad del sustrato	177
4.3. Transistores PMOS	179
4.4. Símbolos de circuitos MOSFET	180
4.5. Fabricación del transistor MOS y reglas del diseño de la distribución	
4.5.1.- Tamaño característico mínimo y tolerancia de alineamiento	183
4.5.2. Distribuidor del transistor MOS	184
4.6. Capacitancias en los transistores MOS	
4.6.1. Capacitancias del transistor NMOS en la región de triodo	186
4.6.2. Capacitancias en la región de saturación	
4.6.3. Capacitancias en corte	187
4.7. Modelado del MOSFET en SPICE	188
4.8. Polarización del transistor de efecto de campo NMOS	190
4.9. Polarización del transistor de efecto de campo PMOS	207
4.10. Fuentes de corriente y el espejo de corriente MOS	211
4.10.1. Análisis en cc del espejo de corriente NMOS	212
4.10.2. Cambio de la razón del espejo MOS	214
4.10.3. Resistencia de salida del espejo de corriente	215
4.10.4. Plantilla del espejo de corriente	
4.10.5. Espejos de corriente múltiples	216
4.11. Escalamiento del transistor MOS (temas avanzados)	
4.11.1. Corriente de drenado	220
4.11.2. Capacitancia de la compuerta	
4.11.3. Circuito y densidades de potencia	
4.11.4. Producto potencia-retraso	221
4.11.5. Frecuencia de corte	
4.11.6. Limitaciones del campo elevado	222
4.11.7. Conducción en la región submicrométrica	223
4.12. El transistor de efecto de campo de unión (JFET) (tema avanzado)	
4.12.1. El JFET con polarización aplicada	224
4.12.2. Canal JFET con polarización drenado fuente	225
4.12.3. Características i-v del JFET de canal n	227
4.12.4. El JFET de canal p	
4.12.5. Símbolos de circuito y resumen del modelo JFET	228
4.12.6. Capacitancias JFET	
4.13. JFET modelado en SPICE	230
4.14. Polarización del JFET y el MOSFET en modo de agotamiento	231
Resumen	233
Temas clave	235
Referencia	
Problemas	236
Capítulo 5	
Transistores de unión bipolar	247
5.1. Estructura física del transistor bipolar	
5.2. El modelo de transporte para los transistores npn	248
5.2.1. Características directas	249

5.2.2. Características inversas	251
5.2.3. Las ecuaciones del modelo de transporte completo para condiciones de polarización arbitrarias	252
5.3. El transistor pnp	254
5.4. Representaciones del circuito equivalente para los modelos de transporte	256
5.5. El modelo de Ebers-Moll (tema avanzado)	257
5.5.1. Características directas del transistor npn	
5.5.2. Características inversas del transistor npn	258
5.5.3. El modelo de Ebers-Moll para el transistor npn	
5.5.4. El modelo de Ebers-Moll para el transistor pnp	
5.5.5. Representaciones de circuitos equivalentes para los modelos de Ebers-Moll	
5.6. Las regiones de operación del transistor bipolar	259
5.7. Características i-v del transistor bipolar	260
5.7.1. Características de salida	
5.7.2. Características transferencia	262
5.7.3. Voltaje de ruptura de unión	263
5.8. Transporte de portadores minoritarios en la región de la base	264
5.8.1. Tiempo de tránsito de la base	265
5.8.2. Capacitancia de la difusión	267
5.9. Simplificaciones del modelo de transporte	268
5.9.1. Modelo simplificado para la región de corte	
5.9.2. Simplificaciones del modelo para la región activa directa	270
5.9.3. Dependencia de la frecuencia de la ganancia de corriente de emisor común	274
5.9.4. Transconductancia	275
5.9.5. Modelo simplificado para la región activa inversa	279
5.9.6. Modelado de operación en la región de saturación	281
5.10. El efecto Early y el voltaje Early	283
5.10.1. Modelado del efecto Early	284
5.10.2. Origen del efecto Early	
5.11. Tecnología bipolar y modelo SPICE	285
5.11.1. Descripción cualitativa	
5.11.2. Estaciones del modelo SPICE	
5.11.3. Alto desempeño de los transistores bipolares	288
5.12. Circuitos de polarización prácticos para el BJT	
5.12.1. Red de polarización de cuatro resistores	289
5.12.2. Objetivo de diseño para la red de polarización de cuatro resistores	290
5.13. Fuentes de corriente y el espejo de corriente bipolar	296
5.13.1. Espejo de corriente de transistor bipolar	296
5.13.2. Análisis del espejo de corriente	
5.13.3. Alteración de la razón del espejo de corriente del BJT	298
5.13.4. Resistencia de salida del espejo de corriente	300
5.14. Tolerancia en circuitos de polarización	301
5.14.1. Análisis de peor caso	
5.14.2. Análisis Montecarlo	303
Resumen	307

Temimos clave	308
Referencia	
Problemas	309
Capítulo 6	
Sistemas analógicos	319
6.1. Ejemplo de un sistema electrónico analógico	
6.2. Amplificación	320
6.2.1. Ganancia de voltaje	321
6.2.2. Ganancia de corriente	
6.2.3. Ganancia de potencia	322
6.2.4. La escala de decibeles	323
6.3. Polarización del amplificador para operación lineal	324
6.4. Distorsión en amplificadores	326
6.5. Modelo de dos puertos para amplificadores	328
6.5.1. Los parámetros g	329
6.5.2. Los parámetros híbridos o h	332
6.5.3. La admitancia o parámetros y	337
6.5.4. La impedancia o parámetros z	340
6.6. Resistencias de carga y fuentes diferentes	343
6.6.1. Amplificadores de voltaje	
6.6.2. Amplificadores de corriente	344
6.7. Funciones de transferencia y respuesta en frecuencia del amplificador	345
6.7.1. Diagramas de Bode	346
6.7.2. El amplificador pasabajas	347
6.7.3. El amplificador pasaaltas	352
6.7.4. Amplificadores pasabanda	355
6.7.5. Amplificadores de pasabanda de banda angosta o lata Q	357
6.7.6. Amplificadores rechazabanda	358
6.7.7. La función pasatodo	359
6.7.8. Funciones de transferencia mas complejas	360
Resumen	362
Temimos clave	
Referencia	363
Problemas	
Capítulo 7	
Amplificadores operacionales	369
7.1. El amplificador diferencial	
7.1.1. Modelo del amplificador diferencial	370
7.1.2. El amplificador diferencial ideal	
7.2. El amplificador operacional ideal	372
7.2.1. Suposiciones para el análisis del amplificador operacional ideal	
7.3. Análisis de circuitos que contienen amplificadores operacionales ideales	373
7.3.1. El amplificador inversor	374
7.3.2. El amplificador no inversor	377
7.3.3. El buffer de ganancia unitaria i seguidor de voltaje	380
7.3.4. El amplificador sumador	382
7.3.5. El amplificador de diferencias	383

7.3.6. El amplificador de instrumentación	385
7.3.7. Un filtro pasabajas activo	387
7.3.8. El integrador	390
7.3.9. El diferenciador	
7.3.10. Amplificador en cascada	391
7.3.11. Repaso de la terminología del amplificador	393
7.4. Amplificadores operacionales no ideales	394
7.4.1. Ganancia a lazo abierto finita	
7.4.2. Error de ganancia	395
7.4.3. Resistencia de salida distinta de cero	397
7.4.4. Resistencia de entrada finita	
7.4.5. Resumen de los amplificadores no ideales inversor y no inversor	405
7.4.6. Razón de rechazo de modo común finito	
7.4.7. Resistencia de entrada de modo común	410
7.4.8. Fuentes de error de cc	411
7.4.9. Límites del voltaje y corriente de salida	416
7.5. Respuesta en frecuencia y ancho de banda de amplificadores operacionales	421
7.5.1. Respuesta en frecuencia del amplificador no inversor	423
7.5.2. Respuesta en frecuencia del amplificador inversor	425
7.5.3. Respuesta en frecuencia de los amplificadores en cascada	428
7.5.4. Limitaciones de la señal grande (velocidad de respuesta y ancho de banda de potencia completa)	435
7.5.5. Macromodelo para la respuesta en frecuencia del amplificador operacional	436
7.5.6. Macromodelo del amp op completo en SPICE	437
7.5.7. Ejemplo de amplificadores operacionales comerciales de propósito general	
Resumen	362
Temas clave	363
Referencia	
Problemas	
Capítulo 7	369
Amplificadores operacionales	
7.1. El amplificador diferencial	370
7.1.1 Modelo del amplificador diferencial	
7.1.2. El amplificador diferencial ideal	372
7.2. El amplificador operacional ideal	
7.2.1. Suposiciones para el análisis del amplificador operacional ideal	373
7.3. Análisis de circuitos que contienen amplificadores operacionales ideales	
7.3.1. El amplificador inversor	374
7.3.2. El amplificador no inversor	377
7.3.3. El buffer de ganancia unitaria o seguidor de voltaje	380
7.3.4. El amplificador sumador	382
7.3.5. El amplificador de diferencias	383
7.3.6. El amplificador de instrumentación	385
7.3.7. Un filtro pasabajas activo	387
7.3.8. El integrado	390

7.3.9. El diferenciador	
7.3.10. Amplificadores en cascada	391
7.3.11. Repaso de la terminología del amplificador	393
7.4. Amplificadores operaciones no ideales	
7.4.1. Ganancia a lazo abierto finita	394
7.4.2. Error de ganancia	395
7.4.3. Resistencia de salida distinta de cero	397
7.4.4. Resistencia de entrada finita	401
7.4.5. Resumen de los amplificadores no ideales inversor y no inversor	
7.4.6. Razón de rechazo de modo común finito	405
7.4.7. Resistencia de entrada de modo común	410
7.4.8. Fuentes de error de cc	411
7.4.9. Límites del voltaje y corriente de salida	416
7.5. Respuesta en frecuencia y ancho de banda de amplificadores operacionales	421
7.5.1. Respuesta en frecuencia del amplificador no inversor	423
7.5.2. Respuesta en frecuencia del amplificador inversor	425
7.5.3. Respuesta en frecuencia del amplificadores en cascada	428
7.5.4. Limitaciones de la señal grande (velocidad de respuesta y ancho de banda de potencia competa)	435
7.5.5. Macromodelo para la respuesta en creencia del amplificador operacional	436
7.5.6. Macromodelo del amp op completo en SPICE	
7.5.7. Ejemplo de amplificadores operacionales comerciales de propósito general	437
Resumen	440
Temimos clave	441
Referencia	
Problemas	442
Capítulo 8	
Aplicaciones del amplificador operacional	455
8.1. Filtros activos	
8.1.2. Sensibilidad	459
8.1.3. Filtro pasaaltas con ganancia	460
8.1.4. Filtro pasabanda	462
8.1.5. El biquad Tow-Thomas	463
8.1.6. Cambios en magnitud y frecuencia	467
8.2. Circuitos de capacitores conmutados	
8.2.1. Integrador de capacitores conmutados	470
8.2.2. Integrador SC no inversor	472
8.2.3. Filtros de capacitores conmutados	473
8.3. Conversión digital-analógica	
8.3.1. Fundamentos del convertidor D/A	474
8.3.2. Errores del convertidor D/A	476
8.3.3. Circuitos de convertidor digital-analógico	478
8.4. Conversión analógica-digital	
8.4.1. Fundamentos del convertido A/D	485
8.4.2. Errores de convertidores analógico-digital	486
8.4.3. Técnicas de conversión A/D básicas	488

8.5. Aplicaciones de circuitos no lineales	
8.5.1. Rectificador de media onda de precisión	499
8.5.2. Circuito rectificador de precisión no saturado	500
8.5.3. Voltímetro de ca	501
8.6. Circuitos que usan retroalimentación positiva	
8.6.1. El comprador y el disipador Schmitt	502
8.6.2. El multivibrador estable	504
8.6.3. El multivibrador monoestable o de un solo tiro (one schot)	506
Resumen	508
Temimos clave	509
Lecturas adicionales	
Referencia	510
Problemas	511
Capítulo 9	
Modelado en señal pequeña y amplificación lineal	519
9.1. El transistor como un amplificador	
9.1.1. El amplificador BJT	520
9.1.2. El amplificador MOSFET	521
9.2. Capacitores de acoplamiento y desacoplamiento	522
9.3. Análisis de circuitos utilizando circuitos equivalentes de cc y de ca	524
9.3.1. Menú para los análisis de cc y ca	525
9.4. Introducción al modelado de señal pequeña	
9.4.1. interpretación grafica del comportamiento de señal pequeña del diodo	528
9.4.2. Modelado de señal pequeña del diodo	529
9.4.3. Atenuador controlador por corriente	531
9.5. Modelos de señal pequeña para transistores de unión bipolar	532
9.5.1. El modelo hibrido pi.	534
9.5.2. Ganancia de corriente de señal pequeña	535
9.5.3. El factor de amplificador del BJT	536
9.5.4. Formas equivalentes del modelo de señal pequeña	
9.5.5. Definición de una señal pequeña para el transistor bipolar	537
9.5.6. Modelo de señal pequeña para el transistor pmp	539
9.5.7. Análisis de ca contra análisis transitorio en SPICE	
9.6. El amplificador de emisor común (E-C) BIT	540
9.6.1. Ganancia de voltaje del amplificador de emisor común	
9.6.2. Simplificadores del modelo	
9.6.3. Guía de diseño para el amplificador de emisor común con carga resistiva	545
9.6.4. Limite superior de la ganancia de voltaje de emisor común	547
9.7. Modelos de señal pequeña para los transistores de efecto de campo	
9.7.1. Modelo de señal pequeña del MOSFET	550
9.7.1. Factor de amplificación del MOSFET	552
9.7.3. Definición de la operación de señal pequeña para del MOSFET	553
9.7.4. Efecto del cuerpo en del MOSFET DE CUATRO TERMINALES	554
9.7.5. Modelo de señal pequeña para el transistor PMOS	555
9.7.6. Modelo de señal para el transistor de efecto de campo de unión	556
9.8. Resumen y comparación de los modelos de señal pequeña del BIT y el FET	557

9.9. El amplificador de fuente común	
9.9.1. Ganancia del voltaje del amplificador de fuente común	558
9.9.2. Guía de diseño para el amplificador de fuente común con carga resistiva	563
9.10. Resistencias de entrada y salida de los amplificadores de emisor común y de fuente común	566
9.10.1. Resistencia de entrada de emisor común	567
9.10.2. Resistencia de entrada de fuente común	568
9.10.3. Resistencia de salida de emisor común	569
9.10.4. Resistencia de salida de fuente común	
9.11. Ejemplos de amplificadores de emisor común y de fuente común	570
9.11.1. Amplificador de emisor común	
9.11.2. Análisis de ca contra análisis transitorio en SPICE (repass)	
9.11.3. Amplificador MOSFET de fuente común	575
9.11.4. Amplificador de fuente común JFET	580
9.11.5. Comparación de los tres ejemplos de amplificadores	584
9.11.6. Resumen del amplificador de emisor común y de fuente común	585
9.11.7. Guías para ignorar la resistencia de salida del transistor	
9.12. Potencia e intervalo de la señal del amplificador	586
9.12.1. Disipación de potencia	587
9.12.2. Intervalo de la señal	588
Resumen	591
Temimos clave	
Problemas	592
Capitulo 10	
Amplificadores de un solo transistor	603
10.1. Clasificación de amplificadores	
10.1.1. Inyección y extracción de la señal del BJT	
10.1.2. Inserción y extracción de la señal (el FET)	604
10.1.3. amplificadores generalizados de emisor común (E-C) y fuente común (S-C)	605
10.1.4. Topologías de colector común (C-C) y de drenaje común (D-C)	606
10.1.5. Amplificadores de base común (B-C) y de compuerta común (G-C)	607
10.2. Amplificadores inversores (circuitos de emisor común y de fuente común)	608
10.2.1. Ganancia de voltaje de terminal	609
10.2.2. Resistencia de entrada	
10.2.3. Ganancia de voltaje de la fuente de la señal	610
10.2.4. Limites importantes	611
10.2.5. Resistencia de salida	615
10.2.6. Incremento en el rango de la señal	618
10.2.7. Cumplimiento de la condición $gmRE \gg 1$ o $gmRs \gg 1$	
10.2.8. Ganancia de corriente	619
10.2.9. Resumen del amplificador de E-C/SC	620
10.2.10. Representación de transistor equivalente del transistor de e-c/s-c generalizado	621
10.3. Circuitos seguidores (amplificadores de colector común y de drenaje común)	

10.3.1. Ganancia de voltaje de terminal	622
10.3.2. Resistencia de entrada	
10.3.3. Ganancia de voltaje de la fuente de señales	623
10.3.4. Intervalo de la señal del seguidor	625
10.3.5. Resistencia de salida	626
10.3.6. Ganancia de corriente	
10.3.7. Resumen del amplificador de C-C/D-C	628
10.4. Amplificadores no inversores (circuitos de base común y de competencia común)	629
10.4.1. Ganancia de voltaje terminal y resistencia de entrada	
10.4.2. Ganancia de voltaje de la fuente de la señal	630
10.4.3. Intervalo de la señal de entrada	
10.4.4. Resistencia de salida	634
10.4.5. Ganancia de corriente	
10.4.6. Resumen del amplificador de B-C/G-C	635
10.5. Revisión y comparación del prototipo de amplificador	
10.5.1. Los amplificadores de BIT	636
10.5.2. Los amplificadores de FET	639
10.6. Diseño del capacitor de acoplamiento y de desacoplamiento	
10.6.1. Amplificadores de emisor y de fuente común	645
10.6.2. Amplificadores de colector común y de drenaje común	649
10.6.3. Amplificadores de base común y de compuerta común	651
10.6.4. ajuste de la frecuencia de corte mínima f_L	654
10.7. Ejemplos de diseño de amplificadores	656
10.7.1. evaluaron Monte Carlo para el diseño del amplificador de base común	664
10.8. Influencia del efecto de cuerpo en el desempeño del amplificador	
10.8.1. Amplificador de fuente común	670
10.8.2. Amplificador de drenaje común	671
10.8.3. Amplificador de compuerta común	672
Resumen	675
Temimos clave	
Lectura adicionales	676
Problemas	677
Capítulo 11	
Amplificadores multietapa	689
11.1. Amplificadores multietapa con acoplamiento de ca	
11.1.1. Ganancia de voltaje	
11.2. Resistencia de entrada	
11.3. Ganancia de voltaje de la fuente de señales	693
11.1.4. Resistencia de salida	
11.1.5. Ganancia de corriente y potencia	694
11.1.6. Intervalo de la señal de entrada	695
11.1.7. Mejoramiento de la ganancia de voltaje del amplificador	
11.1.8. Amplificador emisor en cascada	699
11.2. Amplificadores con acoplamiento directo	
11.2.1. Análisis del amplificador con acoplamiento de cc	701
11.2.2. Análisis de cc	702
11.2.3. Análisis de ca	704

11.2.4. configuraciones compuestas de transistores (circuitos Darlington y cascado)	705
11.3. Amplificadores diferenciales	
11.3.1. Amplificadores diferenciales bipolar y MOS	708
11.3.2. Análisis de cc del amplificador diferencial bipolar	709
11.3.3. Características de transferencia de señal pequeña para el amplificador diferencial bipolar	711
11.3.4. Análisis de ca del amplificador diferencial bipolar	
11.3.5. Ganancia de modo diferencial y resistencia de entrada	713
11.3.6. Ganancia de modo común y resistencia entrada	715
11.3.7. Razón de rechazo de modo común (RRMC)	716
11.3.8. Análisis utilizando medios circuitos de modo diferencial y de modo común	718
11.3.9. Polarización con fuentes de corriente electrónicas	720
11.3.10. Modelado de la fuente de corriente electrónica en SPICE	721
11.3.11. Análisis de cc del amplificador diferencial MOSFET	722
11.3.12. Señales de entrada de modo diferencial	724
11.3.13. Características de transferencia de señal pequeña para el amplificador diferencial MOS	725
11.3.14. Señales de entrada de modo común	
11.3.15. Modelo de dos puertos para pares diferenciales	726
11.4. Evolución hasta los amplificadores operacionales básicos	728
11.4.1. Prototipo de dos etapas para un amplificador operacional	731
11.4.2. Mejoramiento de la ganancia de voltaje del amp op	736
11.4.3. Reducción de las resistencia de salida	737
11.4.4. Prototipo del amplificador operacional CMOS	742
11.4.5. Amplificadores BiCMOS	743
11.5. Etapas de salida	
11.5.1. El seguidor de fuente (etapa de salida clase A)	744
11.5.2. Seguidor de fuente con resistor de carga externa	745
11.5.3. Etapa de salida push-pull clase B	747
11.5.4. Amplificadores clase AB	748
11.5.5. Etapas de salidas clase AB para amplificadores operacionales	
11.5.6. Protección contra cortocircuito	750
11.5.7. Acoplamiento a transformador	751
11.6. Fuentes de corrientes electrónicas	755
11.6.1. Fuentes de corrientes de un solo transistor	
11.6.2. Cifra de merito para fuentes de corrientes	756
11.6.3. Fuentes de resistencia de salida mas alta	757
11.6.4. Fuentes de salida múltiples	758
11.6.5. Ejemplos de diseño de la fuente de corriente	760
Resumen	769
Temimos clave	
Lectura adicionales	770
Problemas	771
Capitulo 12	
Circuitos integrados analógicos	790
12.1. Similaridad en los elementos de un circuito	
12.2. Espejos de corrientes	

12.2.1. Análisis de cc del espejo de corriente del transistor MOS	791
12.2.2. Cambio de la relación de espejo del MOS	793
12.2.3. Análisis de cc del espejo de corriente con transistor bipolar	794
12.2.5. Modificación de la relación de espejo de corriente del BIT	795
12.2.5. Fuentes de corriente múltiples	797
12.2.6. Espejo de corriente amortiguado	798
12.2.7. Resistencia de salida de los espejos de corriente	799
12.2.8. Modelo de dos puertos para el espejo de corriente	800
12.2.9. La fuente de corriente de Wildar básica	802
12.2.10. El voltaje PATA	804
12.2.11. La versión MOS	
12.3. Espejos de corriente con alta resistencia de salida	
12.3.1. Las fuentes de corriente de Wilson	806
12.3.2. Resistencia de salida de la fuente de Wilson	808
12.3.3. Fuentes de corriente cascode	809
12.3.4. Resistencia de salida de las fuentes cascode	810
12.3.5. Resumen del espejo de corriente	811
12.4. Generación de la corriente de referencia	813
12.4.1. Dolarización independiente de la fuente de poder	814
12.4.2. Celda de referencia MOS independiente de la fuente de poder	
12.4.3. Variaciones de la corriente de la celda de referencia con las variaciones de la fuente de poder (tema avanzado)	817
12.5. La referencia de banda de exclusión	821
12.6. El espejo de corriente como una carga activa	
12.6.1.. Amplificador diferencial CMOS con carga activa	826
12.6.2. Amplificador diferencial bipolar con carga activa	832
12.7. Cargas activas en amplificadores operacionales	836
12.7.1. Ganancia de voltaje del amp pp CMOS	
12.7.2. Consideraciones del diseño de cc	837
12.7.3. Amplificadores operacionales bipolares	840
12.7.4. Amplificador BJT con ganancia de voltaje mejorada	841
12.7.5. Ruptura de la etapa de entrada	
12.8. El amplificador operacional uA741	843
12.8.1. Circuitería de polarización	844
12.8.2. Análisis de cc de la etapa de entrada del 741	845
12.8.3. Análisis de ca de la etapa de entrada del 741	850
12.8.4. Ganancia de voltaje del amplificador completo	851
12.8.5. La etapa de salida del 741	854
12.8.6. Resistencia de salida	856
12.8.7. Protección contra cortocircuito	
12.8.8. Resumen de las características del amplificador operacional uA741	857
12.9. El multiplicador analógico de Gilbert	
Resumen	861
Temas clave	
Lecturas adicionales	862
Referencias	
Problemas	863
Capítulo 13	875

Respuesta en frecuencia	
13.1. Respuesta en frecuencia del amplificador	
13.1.1. Respuesta en baja frecuencia	
13.1.2. Estimación de WL en la ausencia de un polo dominante	876
13.1.3. Respuesta en alta frecuencia	879
13.1.4. Estimación de WH en ausencia de un polo dominante	880
13.2. Determinación directa de los polos y ceros a baja frecuencia (el amplificador de fuente común)	881
13.3. Estimación de WL utilizando el método de la constante tiempo en cortocircuito	
13.3.1. Estimación de WL para el amplificador de emisor común	887
13.3.2. Estimación de WL para el amplificador de fuente común	892
13.3.3. Estimación de WL para el amplificador de base común	893
13.3.4. Estimación de WL para el amplificador de compuesta común	
13.3.5. Estimación de WL para el amplificador de colector común	894
13.3.6. Estimación de WL para el amplificador del drenado común	895
13.4. Modelos de transistor a altas frecuencias	
13.4.1. Modelo híbrido pi dependiente de la frecuencia para el transistor bipolar	896
13.4.2. Modelación de Cn y Cu en SPICE	
13.4.3. Frecuencia de ganancia unitaria ft	897
13.4.4. Modelo de alta frecuencia para el FET	900
13.4.5. Modelación de CGS y CGD en SPICE	
13.4.6. Dependencia de la longitud del canal de ft	901
13.4.7. Limitaciones de los modelos de alta frecuencia	
13.5. Resistencia de base en el modelo híbrido PI	903
13.5.21. Efecto de la resistencia de la base en los amplificadores de banda media	904
13.6. limitaciones de alta frecuencia de los amplificadores de colector común y de fuente común	
13.6.1. Ejemplo del análisis directo de alta frecuencia del amplificador de colector común)	905
13.6.2. Factorizaron aproximada de polinomios	908
13.6.3. Polos del amplificador de emisor común (la aproximación de CT)	909
13.6.4. Limitaciones del producto ganancia-ancho de banda del amplificador de emisor común	913
13.6.5. Polo dominante para el amplificador de fuente común	
13.7. Multiplicador de Miller	914
13.7.1. Integrador de Miller	915
13.8. Estimación de WH para amplificadores inversores, amplificadores no inversores y seguidores utilizando el método de la constante de tiempo en circuito abierto	918
13.8.1. Intercambio ganancia-ancho de banda utilizando un resistor de emisor	919
13.8.2. Polo dominante para el amplificador de base común	923
13.8.2. Polo dominante para el amplificador de compuerta común	925
13.8.4. Polo dominante para el amplificador de colector común	926
13.8.5. Polo dominante para el amplificador de drenado común	928
13.8.6. Resumen de las respuestas a alta frecuencia del amplificador de	929

una etapa	
13.9. Respuestas en frecuencia de amplificadores multietapa	
13.9.1. Amplificador diferencial	930
13.9.2. La cascada colector común/base común	932
13.9.3. Respuestas a alta frecuencia del amplificador cascodo	933
13.9.4. Frecuencia de corte para el espejo de corriente	935
13.9.5. Ejemplo del amplificador de tres etapas	936
13.10. Compensación del amplificador operacional de un solo polo	942
13.10.1. Análisis del amp op de tres etapas	943
13.10.2. Ceros de transmisión en los amp op FET	945
13.10.3. Compensación del amplificador bipolar	946
13.10.4. Velocidad de respuesta del amplificador operacional	946
13.10.5. Relaciones entre la velocidad de respuesta y el producto ganancia-ancho de banda	948
13.11. Amplificadores sintonizados	
13.11.1. Amplificador de una sintonización sencilla	949
13.11.2. Uso de un inductor con derivación (el autotransformador)	952
13.11.3. Circuitos sintonizados múltiples (sintonización sintonizados múltiples)	953
13.12. Moduladores y mezcladores balanceados	
13.12.1. Mezcladores de balance sencillo	955
13.12.2. El multiplicador de Gilbert como mezclador/modulador de balanceo doble	957
13.12.3. Ganancia de conversión	959
Resumen	960
Temimos clave	
Referencias	961
Problemas	962
Apéndice A	972
Apéndice B	976
Índice	983