

INDICE

Prefacio	XXIII
Parte I Dispositivos y circuitos básicos	2
I. Introducción a la electrónica	
Introducción	5
1.1. señales	6
1.2. espectro infrecuencia de señales	7
1.3. señales analógicas y digitales	10
1.4. amplificadores	
1.4.1. amplificación de señal	13
1.4.2. símbolo de circuito del amplificador	
1.4.3. ganancia de voltaje	14
1.4.4. ganancia de potencia y ganancia de corriente	
1.4.5. expresión de la ganancia en decibeles	15
1.4.6. fuentes de alimentación del amplificador	16
1.4.7. saturación del amplificador	18
1.4.8. características de transferencia no lineal y punto de operación	19
1.4.9. convecciones en el uso de símbolos	22
1.5. Modelos de circuitos para amplificadores	
1.5.1. amplificadores de voltaje	23
1.5.2. amplificadores en cascada	25
1.5.3. otros tipos de amplificador	
1.5.4. relaciones entre los cuatro modelos de amplificador	27
1.6. respuesta de frecuencia de amplificadores	
1.6.1. medición de la respuesta de frecuencia del amplificador	31
1.6.2. ancho de banda del amplificador	32
1.6.3. evaluación de la respuesta de frecuencia del amplificador	
1.6.4. redes de una constante de tiempo	33
1.6.5. clasificación de los amplificadores con base en la respuesta de frecuencia	38
1.7. inversores lógicos digitales	
1.7.1. funciones del inversor	40
1.7.2. la característica de transferencia de voltaje	41
1.7.3. márgenes de ruido	42
1.7.4. la VTV ideal	
1.7.5. implantación del inversor	43
1.7.6. disipación de potencia	45
1.7.7. retardo de propagación	46
1.8. simulación de circuitos mediante SPICE	49
Resumen	50
Problemas	51
2. Amplificadores operacionales	
Introducción	63
2.1. El amp op ideal	
2.1.1. las terminales del amp op	64
2.1.2. Función y características del amp op ideal	65
2.1.3. señales diferencial y del modo común	67
2.2. la configuración inversora	68

2.2.1. la ganancia a lazo cerrado	69
2.2.2. efecto de ganancia finita a lazo abierto	71
2.2.3. resistencias de entrada y salida	72
2.2.4. una paliación importante: el sumador ponderado	75
2.3. la configuración no inversora	
2.3.1. la ganancia a lazo cerrado	77
2.3.2. características de la configuración no inversora	
2.3.3. efecto de ganancia finita a lazo abierto	78
2.3.4. el seguidor de voltaje	79
2.4. amplificadores y diferenciales	81
2.4.1. un amplificador de diferencia con un solo amp op	82
2.4.2. Un circuito superior: el amplificador de instrumentación	85
2.5. efecto de la ganancia finita abierto y del nacho de banda en el desempeño del circuito	89
2.5.1. dependencia de la frecuencia de la ganancia a lazo abierto	
2.5.2. respuesta de frecuencia de amplificadores de lazo abierto	91
2.6. operación de señal de amp ops	
2.6.1. saturación de voltaje de salida	94
2.6.2. límites de corriente de salida	
2.6.3. velocidad de respuesta	95
2.6.4. ancho de banda a plena potencia	97
2.7. Imperfecciones de DC	
2.7.1. voltaje de desnivel	98
2.7.2. Corrientes de polarización de entrada y desnivel	102
2.8. integradores y diferenciadores	
2.8.1. la configuración inversora con impedancias generales	105
2.8.2. el integrador inversor	107
2.8.3. El diferenciador con amp op	112
2.9. el modelo de am op SPICE y ejemplos de simulación	114
2.9.1. El macromodelo lineal	115
2.9.2. el macromodelo no lineal	119
Resumen	122
Problemas	123
3.1. El diodo ideal	
Introducción	139
3.1. el diodo ideal	
3.1.1. la característica corriente-voltaje	140
3.1.2. una aplicación simple: el rectificador	141
3.1.3. otra aplicación: compuertas lógicas con diodos	144
3.2. características de las terminales de los diodos de unión	147
3.2.1. la región de polarización directa	148
3.2.2. la región de polarización inversa	
3.2.3. la región de ruptura	152
3.3. modelado de las características directa del diodo	
3.3.1. el modelo exponencial	153
3.3.2. análisis grafico con el modelo exponencial	
3.3.3. análisis iterativo con el modelo exponencial	154
3.3.4. la necesidad de un análisis rápido	
3.3.5. el modelo lineal por piezas	155

3.3.6. el modelo de caída de voltaje constante	157
3.3.7. el modelo del diodo ideal	158
3.3.8. el modelo a pequeña señal	159
3.3.9. uso de la caída directa del diodo en la regulación del voltaje	163
3.3.10. Resumen	165
3.4. Operación en la región de ruptura inversa-diodos Zener	
3.4.1. especificación y modelado del diodo Zener	167
3.4.2. uso del diodo Zener como regulador en paralelo	168
3.4.3. efectos de la temperatura	170
3.4.4. comentario final	
3.5. Circuitos rectificadores	171
3.5.1. el rectificador de media luna	172
3.5.2. rectificador de onda completa	174
3.5.3. el rectificador en puente	176
3.5.4. el rectificador con un condensador de filtro: el rectificador de pico	177
3.5.5. rectificador de precisión de media onda: el superdiodo	183
3.6. circuitos limitadores y fijadores	
3.6.1. circuitos limitadores	184
3.6.2. El condensador fijador o restaurador de dc	187
3.6.3. el doblador de voltaje	189
3.7. Operación física de diodos	
3.7.1. conceptos básicos de semiconductores	190
3.7.2. la unión pn en condiciones de circuito abierto	196
3.7.3. la unión pn en condiciones de polarización inversa	199
3.7.4. la unión pn en la región de ruptura	203
3.7.5. la unión pn en condiciones de polarización directa	204
3.7.6. Resumen	208
3.8. tipos especiales de diodos	209
3.8.1. El diodo de barrera Schottky (SBD)	
3.8.2. Varactores	210
3.8.3. Fotodiodos	
3.8.4. Diodos emisores de luz (LED)	211
3.9. El modelo de diodo SPICE y ejemplos de simulación	
3.9.1. El modelo del diodo	212
3.9.2. El modelo del diodo Zener	213
Resumen	217
Problemas	218
4. Transistores de campo MOS (MOSFET)	
Introducción	235
4.1. estructura del dispositivo y operación física	
4.1.1. estructura del dispositivo	236
4.1.2. operación sin voltaje de compuerta	
4.1.3. creación de un canal para el flujo de corriente	238
4.1.4. aplicación de un uds pequeño	239
4.1.4.5 operación a medida de uds aumenta	241
4.1.6. obtención de la relación id-uds	243
4.1.7. El MOSFET de canal p	
4.1.8. CMOS o MOS complementarios	247
4.1.9. operación de un transistor MOS en la región del subumbral	248

4.2. características corriente-voltaje	
4.2.1. símbolo del circuito	
4.2.2. las características id-uds	249
4.2.3. resistencia de salida finita en saturación	253
4.2.4. características del MOSFET de canal p	256
4.2.5. el papel del sustrato: el efecto del cuerpo	258
4.2.6. efectos de la temperatura	
4.2.7. ruptura y protección de entrada	259
4.2.8. Resumen	260
4.3. circuitos MOSFET de CD	262
4.4. El MOSFET como amplificador y como interruptor	270
4.4.1. operación a gran señal: la característica de transferencia	271
4.4.2. determinación grafica de características de transferencia	273
4.4.3. operación como interruptor	
4.4.4. Operación como amplificador lineal	274
4.4.5. Expresiones analíticas para la características de transferencia	275
4.4.6. Comentario final sobre polarización	
4.5. polarización en circuitos amplificadores	280
4.5.1. polarización mediante la fijación de Vgs	
4.5.2. polarización mediante la fijación de Vg y conexión de una resistencia a la fuente	281
4.5.3. polarización mediante un resistor de retroalimentación de drenaje a compuerta	284
4.5.4. Polarización empleando una fuente de corriente constante	285
4.5.5. Comentario final	
4.6. Operación y modelos a pequeña señal	287
4.6.1. el punto de polarización de cd	
4.6.2. la corriente de señal en la terminal del drenaje	288
4.6.3. la ganancia de voltaje	289
4.6.4. separación de los análisis de cd y de la señal	
4.6.5. modelos de circuito equivalente a pequeña señal	290
4.6.6. la transconductancia gm	292
4.6.7. el modelo T del circuito equivalente	295
4.6.8. modelo del efecto del cuerpo	296
4.6.9. Resumen	297
4.7. amplificadores MOS de una etapa	
4.7.1. la estructura básica	299
4.7.2. caracterización de amplificadores	301
4.7.3. el amplificador de fuente común (CS)	306
4.7.4. el amplificador de fuente común con una resistencia en la fuente	309
4.7.5. el a mplificador de compuesta común (CG)	311
4.7.6. el amplificador de drenaje común o seguidor de fuente	315
4.7.7. Resumen y comparaciones	318
4.8. capacitaciones de MOSFET y modelo de alta frecuencia	320
4.8.1. el efecto capacitivo de compuerta	321
4.8.2. las capacitaciones de unión	
4.8.3. el modelo de alta frecuencia MOSFET	322
4.8.4. la frecuencia de agracia unitaria (fr) del MOSFET	324
4.8.5. Resumen	325

4.9. Respuesta de frecuencia del amplificador CS	
4.9.1. las tres bandas de frecuencias	326
4.9.2. la respuesta de alta frecuencia	328
4.9.3. la respuesta de baja frecuencia	332
4.9.4. Comentario final	
4.10. el inversor lógico digital CMOS	336
4.10.1. Operación del circuito	337
4.10.2. la características de transferencia de voltaje	339
4.10.3. operación dinámica	342
4.10.4. flujo de corriente y disipación de potencia	345
4.10.5. Resumen	
4.11. El MOSFET del tipo de agotamiento	346
4.12. el modelo de MOSFET de SPICE y ejemplo de simulación	
4.12.1. modelos de MOSFET	351
4.12.2. parámetros del modelo MOSFET	352
Resumen	359
Problemas	360
5 Transistores bipolares de unión (BJT)	
Introducción	377
5.1. estructura del dispositivo y operación física	
5.1.1. estructura simplificada y modos de operación	378
5.1.2. operación del transistor npn en el modo activo	380
5.1.3. Estructura de transistores reales	386
5.1.4. modelo de Ebers-Moll (EM)	387
5.1.5. operación en el modo de saturación	390
5.1.6. el transistor pnp	391
5.2. características corriente-voltaje	
5.2.1. símbolos y convenciones de circuito	392
5.2.2. representación grafica de las características del transistor	397
5.2.3. dependencia de i_c con respecto al voltaje del colector, efecto de Early	399
5.2.4. características del emisor común	401
5.2.5. efecto de ruptura del transistor	406
5.2.6. Resumen	
5.3. el BTJ como amplificador y como interruptor	407
5.3.1. operación a gran señal, la característica de transferencia	410
5.3.2. ganancia del amplificador	412
5.3.3. análisis grafico	415
5.3.4. operación como interruptor	419
5.4. Circuitos de BJT de DC	421
5.5. polarización en circuitos amplificadores con BJT	
5.5.1. Configuración de dolarización clásica de circuitos discretos	436
5.5.2. una versión con dos suministros de energía de la configuración de polarización clásica	440
5.5.3. polarización mediante un resistor de retroalimentación colector a base	441
5.5.4. polarización con una fuente de corriente constante	442
5.6. operación y modelos a pequeña señal	
5.6.1. corriente del colector y transconductancia	443

5.6.2. corriente de la base y resistencia de entrada en la base	445
5.6.3. corriente del emisor y resistencia de entrada en el emisor	446
5.6.4. ganancia de voltaje	447
5.6.5. separación de la señal y las cantidades de dc	
5.6.6. modelo r hibrido	448
5.6.7. El modelo T	449
5.6.8. aplicación de los circuitos equivalentes a pequeña señal	450
5.6.9. ejecución del análisis a pequeña señal directamente en el diagrama de circuito	457
5.6.10. ampliación de los modelos a pequeña señal para incluir el efecto de Early	
5.6.11. Resumen	458
5.7. Amplificadores BJT de una etapa	
5.7.1. estructura básica	460
5.7.2. Caracterización de amplificadores BJT	461
5.7.3. amplificador de emisor común (CE)	467
5.7.4. amplificador de emisor común con una resistencia de emisor	470
5.7.5. amplificador de base común (CB)	475
5.7.6 amplificador de colector común (CC) o seguidor de emisor	478
5.7.7. Resumen y comparaciones	483
5.8. capacitancias internas de BJT y modelo de lata frecuencia	485
5.8.1. carga de base o capacitación de difusión C de	
5.8.2. capacitancia de unión base-emisor C _{je}	486
5.8.3. capacitación de unión colector-base C _u	
5.8.4. Modelo r hibrido de alta frecuencia	487
5.8.5. frecuencia de corte	
5.8.6. Resumen	590
5.9. repuesta de frecuencia del amplificador de emisor común	
5.9.1. las tres bandas de frecuencia	491
5.9.2. respuesta de lata frecuencia	492
5.9.3. respuesta de baja frecuencia	497
5.9.4. una observación final	
5.10. inversor lógico digital BJT básico	503
5.10.1. característica de transferencia de voltaje	504
5.10.2. circuito digitales BJT Saturados en comparación con los no saturados	505
5.11. modelo BJT de SPICE y ejemplos de simulación	
5.11.1. Modelo Ebers-Moll de SPICE del BJT	507
5.11.2. Modelo Gummel-Poon de SPICE del BJT	509
5.11.3. parámetros del modelo SPICE del BJT	
5.11.4. Parámetros BF y BR del modelo BJT y SPICE	510
Resumen	516
Problemas	517
Parte II Circuitos Integrados analógicos y digitales	542
6. Amplificadores con circuitos de una etapa	
Introducción	545
6.1. Filosofía del diseño de CI	546
6.2. Comparación entre el MOSFET y el BJT	
6.2.1. valores típicos de los parámetros del MOSFET	547

6.2.2. valores típicos de los parámetros de CI de un BJT	548
6.2.3. comparación de características importantes	550
6.2.4. combinación de transistores MOS y bipolares: circuitos BiCMOS	561
6.2.5. Validez del modelo MOSFET de la ley de los cuadrados	562
6.3. polarización de CI: fuentes de alimentación de corriente, espejos de corriente y circuitos controladores de corriente	
6.3.1. la fuente de corriente del MOSFET básico	
6.3.2. Circuitos MOS controladores de corriente	565
6.3.3. circuitos BJT	567
6.4. Respuesta de alta frecuencia: consideraciones generales	571
6.4.1. la función de ganancia de lata frecuencia	572
6.4.2. determinación de la frecuencia fh de 3 dB	573
6.4.3. uso de constante de tiempo a circuito abierto para la determinación aproximada de fh	575
6.4.4. Teorema de Miller	578
6.5. los amplificadores de fuente común y de emisor común con cargas activas	582
6.5.2. implementación CMOS del amplificador de fuente común	583
6.5.3. el circuito de emisor común	
6.6. respuesta de alta frecuencia de los amplificadores CS y CE	588
6.6.1. análisis mediante el teorema de Miller	589
6.6.2. uso de constantes de tiempo a circuito abierto	590
6.6.3. análisis exacto	591
6.6.4. adaptación de las formulas para el caso del amplificador CE	595
6.6.5. la situación cuando R señal es baja	597
6.7. los amplificadores de compuerta común y de base común con cargas activas	600
6.7.1. el amplificador de compuerta común	
6.7.2. el amplificador de base común	610
6.7.3. comentario a manera de conclusión	
6.8. el amplificador cascode	613
6.8.1. el cascode MOS	614
6.8.2. respuesta de frecuencia del cascode MOS	618
6.8.3. el cascode BJT	623
6.8.4. una fuente de corriente cascode	625
6.8.5. Cascode doble	626
6.8.6. el cascode plegado	627
6.8.7. cascodos BiCMOS	628
6.9. Los amplificadores CS y CE con degradación de fuente (emisor)	
6.9.1. el amplificador CS con una resistencia de fuente	629
6.9.2. el amplificador CE con una resistencia en el emisor	633
6.10. los seguidores de fuente y emisor	
6.10.1. el seguidor de fuente	635
6.10.2. respuesta en frecuencia del seguidor de fuente	637
6.10.3. el seguidor de emisor	639
6.11. algunas interconexiones de transistores útiles	
6.11.1. las configuraciones CD-CS, CC-CE y CD-CE	641
6.11.2. las configuraciones Darlington	645
6.11.3. las configuraciones CC-CB y CD-CG	646

6.12. circuito espejo de corriente con desempeño mejorado	
6.12.1. espejos MOS cascode	649
6.12.2. un espejo bipolar con compensación de corriente en la base	650
6.12.3. el espejo de corriente Wilson	651
6.1.2.4. el espejo MOS Wilson	652
6.1.2.5. La fuente de corriente Wildar	653
6.11. Ejemplos de simulación en SPICE	656
Resumen	665
Problemas	666
7 Amplificadores diferenciales y de varias etapas	
Introducción	687
7.1. El par diferencial MOS	688
7.1.1. Operación con un voltaje de entrada de modo común	689
7.1.2. Operación con un voltaje diferencial entrada de entrada	691
7.1.3. operación a gran señal	693
7.2. operación a pequeña señal del par diferencial MOS	696
7.2.1. ganancia diferencial	697
7.2.2. ganancia de modo común y relación de rechazo a modo común (CMRR)	700
7.3. El par diferencial BJT	
7.3.1. operación básica	704
7.3.2. operación a señal grande	707
7.3.3. operación a señal pequeña	709
7.4. otras características no ideales del amplificador diferencial	
7.4.1. Voltaje de desnivel (Offset) de entrada del par diferencial MOS	720
7.4.2. Voltaje de desnivel de entrada del par diferencial bipolar	723
7.4.3. corrientes de polarización y de desnivel de entrada del par bipolar	725
7.4.4. intervalo de entrada de modo común	
7.4.5. un comentario a manera de conclusión	726
7.5. el amplificador diferencial con carga activa	
7.5.1. conversión de diferencial a un solo extremo (o terminal)	727
7.5.2. el par diferencial MOS cargado activamente	728
7.5.3. ganancia diferencial del par MOS cargado activamente	729
7.5.4. ganancia de modo común y CMR (Relación de rechazo a modo comuna)	732
7.5.5. el par diferencial bipolar con carga activa	733
7.6. respuesta en frecuencia del amplificador diferencial	
7.6.1. análisis del amplificador MOS cargado resistivamente	740
7.6.1. análisis del amplificador MOS cargado activamente	744
7.7. amplificadores de varias etapas (O MULTIETAPICOS)	
7.7.1. amplificador operacional CMOS de dos etapas	749
7.7.2. Un amplificador operacional bipolar	758
7.8. ejemplo de simulación con SPICE	767
Resumen	773
Problemas	775
8 Retroalimentación	
Introducción	791
8.1. la estructura de retroalimentación general	792
8.2. algunas propiedades de la retroalimentación negativa	795

8.2.1. insensibilización de la ganancia	
8.2.2. extensión de ancho de banda	
8.2.3. reducción de ruido	796
8.2.4. reducción de la distorsión no lineal	797
8.3. las cuatro topologías básicas de retroalimentación	798
8.3.1. amplificadores de voltaje	
8.3.2. amplificadores de corriente	799
8.3.3. amplificadores de transconductancia	801
8.3.4. amplificadores de transferencia	
8.4. el amplificador de retroalimentación serie-paralelo	802
8.4.1. la situación ideal	
8.4.2. la situación práctica	804
8.4.3. Resumen	807
8.5. el amplificador de retroalimentación serie-serie	
8.5.1. el caso ideal	811
8.5.2. el caso práctico	812
8.5.3. Resumen	814
8.6. los amplificadores de retroalimentación paralelo-paralelo y paralelo-serie	818
8.6.1. la configuración paralelo-paralelo	819
8.6.2. nota importante	
8.6.3. la configuración paralelo-serie	823
8.6.4. resumen de resultados	
8.7. determinación de la ganancia de lazo	831
8.7.1. otro método para encontrar AB	
8.7.2. equivalencia de circuitos desde la perspectiva del lazo de retroalimentación	833
8.8. el problema de la estabilidad	
8.8.1. función de transferencia del amplificador de retroalimentación	834
8.8.2. la grafica de Nyquist	835
8.9. Efecto de la retroalimentación en los polos del amplificador	836
8.9.1. estabilidad y ubicación de polos	837
8.9.2. polos del amplificador de retroalimentación	
8.9.3. amplificador con respuesta de un polo	838
8.9.4. amplificador con respuesta de dos polos	839
8.9.5. amplificadores con tres o mas polos	843
8.10. estudio de estabilidad mediante graficas de Bode	
8.10.1. ganancia y márgenes de fase	845
8.10.2. efecto del margen de fase en la repuesta a lazo cerrado	846
8.10.3. método alternativo aproximado para investigar la estabilidad	847
8.11. compensación de frecuencia	849
8.11.1. teoría	850
8.11.2. implementación	851
8.11.3. compensación de Miller y división de polos	852
8.12. ejemplo de simulación en SPICE	855
Resumen	859
Problemas	860
9 Amplificador operacional y circuitos convertidores de datos	
Introducción	871

9.1. el amplificador operacional CMOS de dos etapas	872
9.1.1. el circuito	872
9.1.2. Intervalo de entrada en modo común y oscilación de salida	873
9.1.3. ganancia de voltaje	874
9.1.4. respuesta en frecuencia	876
9.1.5. velocidad en respuesta	879
9.2. el amplificador operacional CMOS de cascodo plegado	
9.2.1. El circuito	883
9.2.2. Intervalo de entrada en modo común y la oscilación de voltaje de salida	885
9.2.3. Ganancia de voltaje	886
9.2.4. respuesta en frecuencia	
9.2.5. Velocidad de respuesta	888
9.2.6. aumento en el intervalo de entrada en modo común: operación de entrada de riel (barra a barra)	890
9.2.7. aumento del intervalo de voltaje de salida: el espejo de corriente de oscilación amplia	892
9.3. el circuito amplificador operacional 741	
9.3.1. circuito de polarización	893
9.3.2. circuito de protección contra cortocircuitos	
9.3.3. la etapa de entrada	895
9.3.4. la segunda etapa	
9.3.5. la etapa de salida	896
9.3.6. parámetros del dispositivo	
9.4. parámetros del dispositivo	898
9.4. análisis de DC del 741	
9.4.1. corriente de polarización de referencia	899
9.4.3. corriente de polarización de entrada y de desnivel (OFFSET)	
9.4.4. Voltaje de desnivel (Offset) de entrada	902
9.4.5. intervalo de entrada en modo común	
9.4.6. polarización de la segunda etapa	
9.4.7. polarización de etapa de salida	903
9.4.8. Resumen	904
9.5. análisis a pequeña señal del 741	
9.5.1. la etapa de entrada	905
9.5.2. la segunda etapa	910
9.5.3. la etapa de salida	912
9.6. ganancia, respuesta en frecuencia y velocidad de respuesta del 741	
9.6.1. ganancia a pequeña señal	917
9.6.2. respuesta en frecuencia	
9.6.3. un modelo simplificado	918
9.6.4. velocidad de respuesta	919
9.6.5. relación entre f_t y SR	920
9.7. convertidores de datos: introducción	
9.7.1. procesamiento digital de señales	922
9.7.2. muestreo de señales analógicas	
9.7.3. cuantificación de la señal	
9.7.4. los convertidores A/D y D/A como bloques funcionales	924
9.8. circuitos convertidores D/A	925

9.8.1. circuito básico con resistores de ponderación binaria	
9.8.2. escaleras R-2R	926
9.8.3. Una implementación práctica del circuito	927
9.8.4. Interruptores de corriente	928
9.9. circuitos convertidores A/D	
9.9.1. El convertidor del tipo de retroalimentación	929
9.9.2. el convertidor A/D de pendiente doble	930
9.9.3. el convertidor en paralelo o tipo flash	
9.9.4. el convertidor de redistribución de carga	932
9.10. ejemplo de simulación con SPICE	934
Resumen	940
Problemas	941
10 Circuitos lógicos CMOS digitales	
Introducción	949
10.1. diseño de circuitos digitales: un repaso general	
10.1.1. tecnologías de circuitos integrados digitales y familias de circuitos lógicos	950
10.1.2. caracterización de un circuito lógico	952
10.1.3. estilos de diseño de sistemas digitales	954
10.1.4. abstracción en el diseño y ayudas de computadora	
10.2. análisis de diseño y desempeño del inversor	955
10.2.1. estructura del circuito	
10.2.2. operación estática	956
10.2.3. operación dinámica	958
10.2.4. disipación de potencia dinámica	961
10.3. Circuitos CMOS de compuerta lógica	
10.3.1. estructura básica	963
10.3.2. compuerta NOR de dos entradas	
10.3.3. compuerta NAND de dos entradas	966
10.3.4. Una compuerta compleja	967
10.3.5. Obtención de la PUN a partir de la PND y viceversa	968
10.3.6. función OR exclusiva	969
10.3.7. resumen del método de síntesis	
10.3.8. determinación de las dimensiones de los transistores	970
10.3.9. efectos de los abanicos de entrada y de salida (fan-in y fan-out) en el retardo de propagación	973
10.4. circuitos lógicos pseudo-NMOS	
10.4.1. el inversor pseudo-NMOS	974
10.4.2. características estáticas	975
10.4.3. obtención de la VTC	976
10.4.4. Operación dinámica	
10.4.5. diseño	979
10.4.6. circuitos de compuerta	
10.4.7. Observaciones concluyentes	980
10.5. circuitos lógicos de transistor de paso	982
10.5.1. un requerimiento esencial de diseño	983
10.5.2. operación con transistores NMOS como conmutadores	984
10.5.3. uso de compuertas de transmisión CMOS como conmutadores	988
10.5.4. ejemplos de circuitos lógicos de transistor de paso	990

10.5.5. una observación final	
10.6. circuitos lógicos dinámicos	991
10.6.1. principio básico	992
10.6.2. efectos no ideales	993
10.6.3. Lógica CMOS domino	996
10.6.4. Observaciones de conclusión	
10.7. ejemplo de simulación SPICE	998
Resumen	
Problemas	1002
Parte III Temas selectos	1010
11 Circuitos digitales avanzados y memoria	
Introducción	1013
11.1. candados y flip-flops	
11.1.1. el candado	1014
11.1.2. el flip-flop SR	1015
11.1.3. implementación en CMOS de flip-flops SR	1016
11.1.4. una implementación CMOS mas simple de flip-flop SR sincronizado por reloj	1019
11.1.5. circuitos flip-flop tipo D	
11.2. circuitos multivibradores	1021
11.2.1. un circuito CMOS monoestable	1022
11.2.2. un circuito astable	1026
11.2.3. el oscilador anular (o de anillo)	1027
11.3. Memorias de semiconductor: tipos y arquitecturas	
11.3.1. organización del chip de memoria	1028
11.3.2. Temporización del chip de memoria	1030
11.4. celdas de memoria de acceso aleatorio (RAM)	
11.4.1. celda de memoria estática	1031
11.4.2. celda de memoria dinámica	1036
11.5. amplificadores de salida y decodificadores de dirección	
11.5.1. el amplificador de salida	1038
11.5.2. Decodificador redirecciones en filas	1043
11.5.3. Decodificador de direcciones en columnas	1045
11.6. memoria de solo lectura (ROM)	1046
11.6.1. una ROM MOS	1047
11.6.2. ROM programables con mascarar	
11.6.3. ROM programables (ROM y EPROM)	1049
11.7. lógica acopada a emisor (ECL)	
11.7.1. El principio básico	1052
11.7.2. Familias ECL	
11.7.3. circuito de compuerta básico	1053
11.7.4. Curvas características de transferencia de voltaje	1057
11.7.5. factor de carga de salida (fan out)	1061
11.7.6. velocidad de operación y transmisión de señal	1062
11.7.7. disipación de potencia (energía)	
11.7.8. Efectos térmicos	1063
11.7.9. capacidad del cableado OR	
11.7.10. comentarios finales	1066
11.8. circuitos digitales BiCMOS	1067

11.8.1. el inversor BiCMOS	
11.8.2. operación dinámica	1069
11.8.3. compuertas lógicas BiCMOS	1070
11.9. Ejemplo de simulación con SPICE	1071
Resumen	1076
Problemas	1077
12 Filtros y amplificadores sintonizados	
Introducción	1083
12.1. Filtros de transmisión, tipos y especificaciones	
12.1.1. filtro de transmisión	1084
12.1.2. tipos de filtros	
12.1.3. especificación de filtros	1085
12.2. la función de transferencia de un filtro	1088
12.3. filtros Butterworth y Chebyshev	
12.3.1. el filtro Butterworth	1091
12.3.2. el filtro Chebyshev	1095
12.4. funciones de filtro de primero y segundo ordenes	
12.4.1. filtros de primer orden	1098
12.4.2. funciones de filtro de segundo orden	1101
12.5. resonador LCR de segundo orden	
12.5.1. Modos naturales del resonador	1106
12.5.2. realización de los ceros de transmisión	1107
12.5.3. realización de las función pasabajas	
12.5.4. realización de las función pasaaltas	1108
12.5.5. realización de las función pasabandas	
12.5.6. realización de las funciones muesca	1110
12.5.7. realización de la función pasatodas	1111
12.6. Filtros activos de segundo orden basados en el reemplazo del inductor	1112
12.6.1. Circuito Antoniou simulador de inductancia	
12.6.2. el resonador de amplificador operacional RC	
12.6.3. realización de varios tipos de filtros	1114
12.6.4. circuito pasatodas	1118
12.7. filtros activos de segundo orden hasta en la topología de lazo de dos integradores	1120
12.7.1. Obtención del circuito bicuadrático con lazo de dos integradores	
12.7.2. implementación de circuito	1122
12.7.3. Otro circuito bicuadrático con lazo de dos integradores	1123
12.7.4. Comentarios finales	
12.8. filtros activos bicuadrático de amplificador único	1125
12.8.1. síntesis del lazo de retroalimentación	1126
12.8.2. inyección de la señal de entrada	1128
12.8.3. generación de lazos de retroalimentación equivalentes	1130
12.9. sensibilidad	1133
12.9.1. un comentario final	1135
12.10. filtros de capacitar conmutado	
12.10.1. el principio básico	1136
12.10.2. circuitos prácticos	1137
12.10.3. un comentario final	1141

12.11. amplificadores sincronizados	
12.11.1. el principio básico	
12.11.2. perdidas en el inductor	1143
12.11.3. uso de transformadores	1144
12.11.4. amplificadores con circuitos sintonizados múltiples	1145
12.11.5. el cascado y la cascada CC-CB (colector común y base común)	1146
12.11.6. sintonización sincrónica	1147
12.11.7. sintonización escalonada	1148
12.12. ejemplos de simulación con Spice	1152
Resumen	1158
Problemas	1159
13 Generadores de señales y circuitos conformadores de formas de onda	1165
Introducción	
13.1. Principios básicos de los osciladores senoidales	
13.1.1. el lazo de retroalimentación de oscilador	1166
13.1.2. criterio de oscilación	1167
13.1.3. control de amplitud no lineal	1168
13.1.4. un circuito limitador popular para controlar la amplitud	1169
13.2. circuitos osciladores de amplificador operacional y red RC	
13.2.1. oscilador de puente Wien	1171
13.2.2. oscilador de desplazamiento de fase	1174
13.2.3. oscilador de cuadratura	1176
13.2.4. oscilador sintonizado de filtro activo	1177
13.2.5. una observación final	
13.3. osciladores de cristal y LC	1179
13.3.1. osciladores sintonizados LC	
13.3.2. osciladores de cristal LC	1182
13.4. multivibradores biestables	
13.4.1. el lazo de retroalimentación	1185
13.4.2. características de transferencias del circuito biestable	1186
13.4.3. disparo o activación del circuito biestable	1187
13.4.4. circuito biestable como elemento de memoria	
13.4.5. circuito estable con características de transferencia no inversoras	1188
13.4.6. aplicación del circuito biestable como comparador	1189
13.4.7. como hacer mas precisos los niveles de salida	1191
13.5. generación de formas de onda cuadrada y triangular por medio de multivibradores astables	1192
13.5.1. operación del multivibrador estable	1192
13.5.2. generación de formas de onda triangulares	1194
13.6. generación de un pulso estandarizado: el multivibrador monoestable	1196
13.7. temporizadores de circuito integrado	
13.7.1. el circuito 555	1198
13.7.2. implementación de un multivibrador monoestable mediante el circuito integrado 555	1199
13.7.3. Multivibrador estable que utiliza el circuito integrado 555	1201
13.8. circuitos conformadores de forma de onda no lineal	1203

13.8.1. método de un punto de ruptura	
13.8.2. método de amplificación no lineal	1205
13.9. circuitos rectificadores de precisión	1206
13.9.1. rectificador de precisión de media onda: el superdiodo	1207
13.9.2. Un circuito alternativo	1208
13.9.3. una paliación : medición de voltajes de AC	1209
13.9.4. rectificador de precisión de onda completa	1210
13.9.5. rectificador de puente de precisión para aplicaciones de implementación	1212
13.9.6. rectificadores de pico de precisión	
13.9.7. detector de pico de precisión con búfer	1213
13.9.8. circuito de sujeción de precisión	
13.10. ejemplos de simulación con SPICE	1214
Resumen	1219
Problemas	1220
14 Etapas de salida y amplificadores de potencia	
Introducción	1229
14.1. clasificación de etapas de salida	1230
14.2. etapa de salida clase A	
14.3. características de transferencia	1231
14.2.2. formas de onda de señal	
14.2.3. disipación de potencia	1233
14.2.4. eficiencia de conversión de potencia	
14.3. etapa de salida clase B	1235
14.3.1. operación del circuito	
4.3.2. características de transferencia	1236
14.3.3. eficiencia de conversión de potencia	
14.3.4. disipación de potencia	1238
14.3.5. reducción de la distorsión de cruce	
14.3.6. operación como fuente única	1240
14.4. etapa de salida clase A	1241
14.4.1. operación del circuito	1242
14.4.2. Resistencia de salida	1243
14.5. polarización del circuito clase B	
14.5.1. polarización por medio de diodos	1244
14.5.2. polarización con el multiplicador V_{BE}	1246
14.6. BJT de potencia	
14.6.1. temperatura en la unión	1249
14.6.2. resistencia térmica	
14.6.3. disipación de potencia frente a temperatura	1250
14.6.4. cubierta de transistor y disipador de calor	1251
14.6.5. área de operación segura de un BJT	1254
14.6.6. valores de los parámetros de transistores de potencia	1255
14.7. variaciones en la configuración clase AB	
14.7.1. uso de seguidores de emisor de entrada	1256
14.7.2. uso de dispositivos compuestos	1257
14.7.3. protección contra cortocircuitos	1259
14.7.4. corte térmico	1260
14.8. amplificadores de potencia de circuito integrado	61

14.8.1. amplificador de potencia de circuito integrado y ganancia fija	
14.8.2. amplificador puente	1265
14.9. transistores de potencia MOS	
14.9.1. estructura del MOSFET de potencia	1266
14.9.2. curvas características de los MOSFET de potencia	1268
14.9.3. efectos de la temperatura	
14.9.4. comparación con los BJT	1269
14.9.5. etapa de salida clase AB que utiliza MOSFET	1270
14.10. ejemplo de simulación con SPICE	1271
Resumen	1276
Problemas	1277
Apéndices	
A Tecnologías de fabricación VLSI	A-1
B Parámetros de red de dos puertos	B-1
C Algunos teoremas de red útiles	C-1
D Circuitos de un sola constante de tiempo	D-1
E Análisis en el dominio s: polos, ceros y graficas de Bode	E-1
F Bibliografía	F-1
G Valores de resistencia estándar y prefijos de unidades	G-1
H Respuesta a los proclames seleccionados	H-1
Índice	IN-1