



ENTREGADO
BIBLIOTECA

Indice

Prefacio	V
1. Bandas de energía en los sólidos	1
1-1. Partículas cargadas, 1. – 1-2. Intensidad de campo. potencial, energía, 3. – <i>Potencial</i> , 2. – <i>Concepto de barrera de energía potencial</i> , 3. – 1-3. La unidad de energía eV, 4. – 1-4. Naturaleza del átomo, 5. – <i>El átomo de Bohr</i> , 6. – 1-5. Niveles de energía atómica, 7. – <i>Colisión de los electrones con los átomos</i> , 8. – <i>Naturaleza del fotón de luz</i> , 8. – <i>Líneas espectrales</i> , 9. – <i>Fotoionización</i> , 9. – <i>Mecánica ondulatoria</i> , 9. – 1-6. Estructura electrónica de los elementos, 10. – <i>El principio de exclusión</i> , 10. – <i>Capa electrónica</i> , 12. – 1-7. Teoría de las bandas de energía de los cristales, 13. – 1-8. Aislantes, semiconductores y metales, 15. – <i>Aislantes</i> , 15. – <i>Semiconductor</i> , 15. – <i>Metal</i> , 16. – Referencias, 16. – Temas de repaso, 17.	
2. El fenómeno del transporte en los semiconductores	19
2-1. Movilidad y conductibilidad, 19. – <i>Densidad de corriente</i> , 20. – <i>Conductividad</i> , 21. – 2-2. Los huecos y los electrones en un semiconductor intrínseco, 22. – <i>El enlace covalente</i> , 22. – <i>El hueco</i> , 23. – <i>Masa efectiva</i> , 24. – 2-3. <u>Impurezas donadoras y aceptadoras</u> , 24. – <i>Donadores</i> , 25. – <i>Aceptadores</i> , 26. – <i>Ley de acción de masas</i> , 27. – 2-4. Densidades de carga en un semiconductor, 27. – 2-5. Propiedades electrónicas del Ge y del Si, 28. – <i>Conductividad</i> , 28. – <i>Concentración intrínseca</i> , 28. – <i>La banda vacía</i> , 29. – <i>La movilidad</i> , 29. – 2-6. <u>El efecto Hall</u> , 31. – <i>Determinación experimental de la movilidad</i> , 31. – <i>Aplicaciones</i> , 32. – 2-7. Modulación de la conductivi-	

dad, 32. — *Termistores*, 32. — *Fotoconductores*, 33. — *Respuesta espectral*, 34. — *Células fotoconductoras comerciales*, 35. — 2-8. Generación y recombinación de cargas, 35. — *Centros de recombinación*, 37. — 2-9. Difusión, 38. — *Relación de Einstein*, 38. — *Corriente total*, 39. — 2-10. La ecuación de continuidad, 39. — 2-11. Inyección de carga de portadores minoritarios, 40. — *Corrientes de difusión*, 42. — *Corrientes de desplazamiento*, 43. — 2-12. La variación de potencial en un semiconductor, 43. — *Ley de acción de masas*, 44. — *Unión abrupta en circuito abierto*, 45. — 2-13. Recapitulación, 45. — Referencias, 46. — Temas de repaso, 47.

3. Características de los diodos de unión 49

3-1. Unión *p-n* en circuito abierto, 49. — *Región de la carga espacial*, 49. — *Intensidad de campo eléctrico*, 51. — *Potencial*, 51. — *Resumen*, 51. — 3-2. La unión *p-n* como rectificador, 52. — *Polarización inversa*, 52. — *Polarización directa*, 53. — *Contactos óhmicos*, 53. — *La unión p-n en circuito abierto y en cortocircuito*, 54. — *Grandes tensiones directas*, 54. — 3-3. Componentes de corriente en un diodo *p-n*, 54. — *Ley de la unión*, 55. — *La corriente total del diodo*, 56. — *Corriente de saturación inversa*, 56. — *Componentes de la corriente de los portadores mayoritarios*, 56. — *La región de transición*, 57. — 3-4. Característica tensión-corriente, 57. — *Tensión umbral*, 58. — *Características logarítmicas*, 59. — *Corriente de saturación inversa*, 60. — 3-5. Dependencia de la característica V/I con respecto a la temperatura, 60. — 3-6. Resistencia del diodo, 61. — *Característica lineal aproximada del diodo*, 62. — 3-7. Capacidad de la carga espacial o de transición C_T , 62. — *Unión brusca o abrupta*, 63. — *Unión gradual lineal*, 65. — *Diodos de capacidad variable (varicaps)*, 66. — 3-8. Modelo del control de la carga de un diodo, 67. — *Carga almacenada en la polarización inversa*, 68. — 3-9. Capacidad de difusión, 69. — *Obtención estática de C_D* , 69. — *Capacidad de difusión para una entrada arbitraria*, 69. — *Capacidad de difusión para una entrada senoidal*, 71. — 3-10. Tiempo de conmutación del diodo de unión, 71. — *Tiempo de recuperación en inversa del diodo*, 71. — *Tiempos de transición y de almacenamiento*, 71. — 3-11. Diodos de avalancha, 73. — *Multipliación de la avalancha*, 74. — *Ruptura Zener*, 74. — *Características de temperatura*, 74. — *Resistencia y capacidad dinámicas*, 75. — *Diodos de referencia adicional*, 75. — 3-12. Diodo túnel, 76. — *Efecto-túnel*, 76. — *Características de un diodo túnel*, 76. — 3-13. Fotodiodo semiconductor, 78. — *Características de tensión-corriente*, 78. — *Variación de la sensibilidad según la posición de la iluminación*, 80. — 3-14. Efecto fotovoltaico, 80. — *Potencial fotovoltaico*, 81. — *Potencial de salida máxima*, 82. — *Corriente de cortocircuito*, 82. — *Convertidores de energía solar*, 82. — 3-15. Diodos emisores de luz, 82. — Referencias, 83. — Temas de repaso, 84.

4. Circuitos de diodos 87

4-1. El diodo como elemento de un circuito, 87. — *Recta de carga*, 87. —

66

Característica dinámica, 88. — *Característica de transferencia*, 89. — 4-2. Concepto de recta de carga, 89. — 4-3. Modelo aproximado lineal de un diodo, 90. — *Aplicación elemental*, 91. — *Región de ruptura*, 92. — *Análisis de circuitos de diodos empleando el modelo aproximado lineal*, 93. — 4-4. Circuitos recortadores (limitadores), 93. — *Circuitos recortadores adicionales*, 95. — 4-5. Recorte a dos diferentes niveles, 96. — *Diodos de sujeción o de fijación*, 97. — 4-6. Comparadores, 98. — 4-7. Puerta de discriminación, 100. — *Condiciones de equilibrio*, 101. — ~~(4-8)~~ *Rectificadores*, 102. — *Rectificador de media onda*, 102. — *La tensión del diodo*, 103. — *La corriente (tensión) alterna*, 104. — *Regulación*, 105. — *Teorema de Thévenin*, 106. — *Rectificador de onda completa*, 106. — *Tensión inversa de pico*, 107. — 4-9. Otros circuitos de onda completa, 107. — *Rectificador en puente*, 107. — *Medidores con rectificación*, 108. — *Multiplicadores de tensión*, 108. — 4-10. Filtros de condensador, 109. — *Diodo en estado de conducción*, 110. — *Diodo en estado de bloqueo*, 111. — *Circuito de onda completa*, 111. — *Análisis aproximado*, 112. — 4-11. Circuitos de diodos adicionales, 113. — *Detector de picos*, 113. — *Circuito limitador*, 114. — *Circuitos de calculadoras digitales*, 114. — *Reguladores constituidos por diodos de avalancha*, 115. — Referencias, 115. — Temas de repaso, 115.

5. Características de los transistores

117

5-1. El transistor de unión, 117. — *El transistor en circuito abierto*, 118. — *Polarización del transistor en la región activa*, 118. — 5-2. Componentes de la corriente del transistor, 120. — *Ganancia de corriente α con grandes señales*, 121. — *Ecuación generalizada del transistor*, 122. — 5-3. El transistor como amplificador, 122. — *El parámetro α'* , 123. — 5-4. Fabricación de transistores, 123. — *Tipo de crecimiento*, 123. — *Tipo de aleación*, 123. — *Tipo de difusión*, 124. — *Tipo epitaxial*, 124. — 5-5. Configuración en base común, 125. — *Efecto Early o modulación de la anchura de la base*, 126. — *Características de entrada*, 127. — *Características de salida*, 127. — *Región activa*, 128. — *Región de saturación*, 128. — *Región de corte*, 128. — 5-6. Configuración en emisor común, 128. — *Características de entrada*, 130. — *Características de salida*, 130. — 5-7. Región de corte en emisor común, 133. — *Corriente inversa de saturación de colector I_{CBO}* , 133. — *Consideraciones del circuito al corte*, 134. — 5-8. Región de saturación en emisor común, 134. — *Resistencia de saturación*, 135. — *Resistencia de dispersión de la base r_{bb}* , 136. — *El coeficiente de temperatura de las tensiones de saturación*, 136. — *Ganancia de corriente continua h_{FE}* , 136. — 5-9. Valores típicos de las tensiones de los transistores de unión, 137. — *Región de corte*, 137. — *La base en cortocircuito*, 137. — *La base en circuito abierto*, 137. — *Tensión umbral*, 137. — *Tensiones de saturación*, 139. — *Resumen*, 140. — 5-10. Ganancia de corriente en emisor común, 141. — *Ganancia de corriente con señales grandes β* , 141. — *Ganancia en corriente continua h_{FE}* , 142. — *Ganancia de corriente con pequeña señal h_{fe}* , 142. — 5-11. Configuración en colector común, 142. — 5-12. Expresiones analíticas de las características del transistor, 143. — *Polaridades de referencia*, 144. — *Modelo de Ebers-Moll*, 144. — *Tensiones en*

función de las corrientes, 145. – 5-13. Máxima tensión alcanzable, 147. – Multiplicación de avalancha, 147. – Perforación, 148. – 5-14. El fototransistor, 149. – Referencias, 150. – Temas de repaso, 151.

6. Circuitos digitales 155

6-1. Operaciones digitales (binarias) de un sistema, 155. – *Sistemas lógicos, 157. – 6-2. Puerta O, 158. – Identidades de Boole, 160. – 6-3. Puerta Y, 160. – Identidades de Boole, 162. – 6-4. Circuito NO, o inversor, 162. – Limitaciones del transistor, 164. – Identidades de Boole, 165. – 6-5. Tiempos de conmutación del transistor, 165. – Tiempo de retardo, 166. – Tiempos de subida y de caída, 167. – Tiempo de almacenamiento, 167. – 6-6. Función de inhibición y habilitación, 168. – 6-7. Circuito O exclusivo, 169. – Lógica de dos niveles, 171. – 6-8. Leyes de Morgan, 171. – 6-9. Puertas lógicas NAND y NOR con diodos y transistores, 173. – 6-10. Puertas DTL modificadas (circuitos integrados), 178. – Fan-out, 180. – Interconexión lógica, 182. – 6-11. Puerta lógica de umbral elevado (HTL), 183. – 6-12. Puerta lógica transistor - transistor (TTL), 183. – 6-13. Etapas de salida, 184. – Interconexión lógica, 187. – Otras etapas de salida, 187. – 6-14. Lógica de transistores y resistencia (RTL) y lógica de transistores directamente acoplados (DCTL), 187. – Lógica de transistor resistencia (RTL), 188. – Lógica de transistores directamente acoplados (DCTL), 189. – 6-15. Comparación de familias lógicas, 190. – Retraso de la propagación, 190. – Funciones, 191. – Referencias, 192. – Temas de repaso, 193.*

7. Circuitos integrados: fabricación y características 195

7-1. Tecnología de los circuitos integrados, 195. – 7-2. Circuitos integrados monolíticos básicos, 196. – 1.^{er} paso. Crecimiento epitaxial, 197. – 2.^o paso. Difusión del aislamiento, 197. – 3.^{er} paso. Difusión de la base, 199. – 4.^o paso. Difusión del emisor, 199. – 5.^o paso. Metalización con aluminio, 200. – Resumen, 200. – 7-3. Crecimiento epitaxial, 200. – 7-4. Enmascarado y corrosión, 202. – 7-5. Difusión de impurezas, 202. – Ley de difusión, 202. – Función complementaria de error, 203. – Distribución de Gauss, 203. – Solubilidad del sólido, 204. – Coeficientes de difusión, 205. – Aparatos de difusión generalizados, 206. – 7-6. Transistores para circuitos monolíticos, 207. – Perfil de impurezas para un transistor integrado, 208. – Aspecto físico de los transistores monolíticos, 210. – Capa enterrada, 211. – Transistor lateral p-n-p, 212. – Transistor p-n-p vertical, 212. – Transistor p-n-p de superganancia, 212. – 7-7. Diodos monolíticos, 213. – Características del diodo, 213. – 7-8. Resistencias integradas, 214. – Resistencia pelicular, 214. – Valores de resistencia, 216. – Circuito equivalente, 216. – Resistencias de película delgada, 217. – 7-9. Condensadores e inductancias integrados, 217. – Condensadores de unión, 217. – Condensadores de película delgada, 218. – Inductancias, 219. – Características de los componentes integrados, 219. – 7-10. Esquema de circuitos monolíticos, 219. – Reglas para diseñar el esque-

ma monolítico, 219. – Terminales de conexión, 220. – Cruces, 220. – Islas aisladas, 220. – Secuencia de fabricación, 221. – 7-11. Otros métodos de aislamiento, 223. – Aislamiento con dieléctrico, 223. – Haz de terminales, 223. – Circuitos híbridos, 225. – 7-12. Integración a gran escala y a media escala (LSI y MSI), 225. – Integración a media escala, 225. – 7-13. Contacto metal semiconductor, 226. – Transistor Schottky, 227. – Referencias, 228. – Temas de repaso, 229.

8. El transistor a bajas frecuencias 231

8-1. Análisis gráfico de la configuración en EC, 231. – *Observación, 232. – Forma de onda, 233. – 8-2. El cuadripolo y el modelo híbrido, 235. – Observaciones, 236. – El modelo, 236. – 8-3. Modelo híbrido de un transistor, 237. – 8-4. Los parámetros, 239. – El parámetro h_{fe} , 239. – El parámetro h_{oe} , 240. – Variaciones de los parámetros híbridos, 240. – 8-5. Fórmulas de conversión para los parámetros de las tres configuraciones del transistor, 241. – 8-6. Análisis de un circuito amplificador a transistores empleando los parámetros h , 243. – *Ganancia de corriente, o amplificación de corriente, A_I , 244. – Impedancia de entrada Z_i , 244. = Ganancia de tensión, o amplificación de tensión, A_V , 245. – Amplificación de tensión A_{V_s} , 245. – Amplificación de corriente A_{I_s} , teniendo en cuenta la resistencia de la fuente R_s , 246. – Admitancia de salida, 246. – Resumen, 247. – 8-7. Teoremas y corolarios de Thévenin y de Norton, 248. – Corolarios, 249. – 8-8. El seguidor de emisor, 250. – 8-9. Comparación de las configuraciones del amplificador a transistores, 251. – Configuración en emisor común (EC), 251. – Configuración en base común (BC), 252. – Configuración en colector común (CC), 253. – Resumen, 253. – 8-10. Análisis lineal de un circuito a transistores, 253. – 8-11. Teorema de Miller y su dual, 254. – Dual del teorema de Miller, 256. – 8-12. Amplificador a transistores en cascada, 257. – Elección de la configuración de los transistores en cascada, 261. – 8-13. Modelo híbrido simplificado en emisor común, 262. – Ganancia de corriente, 262. – Impedancia de entrada, 263. – Ganancia de tensión, 263. – Impedancia de salida, 264. – 8-14. Cálculos simplificados para la configuración en colector común, 264. – Ganancia de corriente, 264. – Resistencia de entrada, 265. – Ganancia de tensión, 265. – Impedancia de salida, 265. – 8-15. El amplificador en emisor común con una resistencia de emisor, 268. – La solución aproximada, 268. – Transistor visto desde la base y el emisor, 269. – Validez de las aproximaciones, 270. – La solución exacta, 271. – Efecto de una resistencia en el circuito de colector de un seguidor de emisor, 272. – 8-16. Circuitos a transistores con alta resistencia de entrada, 273. – El problema de la polarización, 275. – Circuito Darlington modificado, 277. – Referencias, 278. – Temas de repaso, 279.**

9. Polarización y estabilización térmica del transistor 281

9-1. El punto de funcionamiento, 281. – *Acoplamiento capacitivo, 282. –*

Rectas de carga estática y dinámica, 282. – Circuito de polarización fija, 283. – 9-2. Estabilidad de la polarización, 284. – Inestabilidad térmica, 285. – 9-3. Autopolarización, o polarización por emisor, 286. – Análisis del circuito de autopolarización, 286. – 9-4. Estabilización frente a las variaciones de I_{CO} , V_{BE} , Y_{β} , 289. – Característica de transferencia, 289. – Factor de estabilización S , 290. – Factor de estabilidad S' , 291. – Factor de estabilidad S'' , 292. – 9-5. Consideraciones generales sobre la estabilidad de la corriente del colector, 294. – Consideraciones prácticas, 296. – 9-6. Compensación de la polarización, 299. – Compensación de V_{BE} por diodo, 299. – Compensación de I_{CO} por diodo, 299. – 9-7. Técnicas de polarización de circuitos integrados lineales, 300. – 9-8. Compensación mediante termistor y sensor, 302. – 9-9. Disipación térmica, 303. – Resistencia térmica, 303. – Consideraciones sobre el punto de funcionamiento, 304. – Condición de estabilidad térmica, 305. – 9-10. Estabilidad térmica, 305. – Referencias, 308. – Temas de repaso, 308.

10. Transistores de efecto de campo 311

10-1. Transistores de unión de efecto campo, 312. – Fuente, 312. – Drenaje, 312. – Puerta, 312. – Canal, 313. – Funcionamiento del FET, 313. – Características estáticas de los FET, 313. – Estructura práctica del FET, 315. – 10-2. Tensión de contracción, 315. – 10-3. Características tensión-corriente de un JFET, 316. – La resistencia en funcionamiento $r_{d,ON}$, 317. – Región de contracción, 317. – Región antes de la contracción hasta saturación, 318. – Características de transferencia, 318. – Corte, 319. – 10-4. Modelo FET de pequeña señal, 319. – Transconductancia g_m y resistencia de drenaje r_d , 319. – Dependencia con la temperatura, 321. – Modelo del FET, 321. – 10-5. FET de metal-óxido-semiconductor, 323. – MOSFET de acumulación, 323. – Tensión de umbral, 324. – Condicionamientos de la fuente de alimentación, 325. – Implantación de iones, 325. – MOSFET de depleción, 326. – Comparación de los FET de canal n con los de canal p, 327. – Protección de las puertas en los MOSFET, 327. – Símbolos del circuito, 328. – Modelo del circuito MOSFET para pequeña señal, 328. – 10-6. Circuitos MOSFET digitales, 328. – Inversor, 329. – Puerta NAND, 330. – Puerta NOR, 331. – MOS complementarios (CMOS), 332. – 10-7. Amplificadores de baja frecuencia con fuente común y con drenaje común, 333. – Amplificador en fuente común con una resistencia de fuente sin desacoplar, 334. – Amplificador en drenaje común con una resistencia de drenaje, 334. – 10-8. Polarización del FET, 335. – Autopolarización de fuente, 336. – Polarización frente a la variabilidad de los elementos, 337. – Polarización de un MOSFET de acumulación, 339. – 10-9. El FET como resistencia variable con la tensión (VVR), 340. – Aplicaciones de la VVR, 341. – 10-10. Amplificador en fuente común para altas frecuencias, 341. – Ganancia de tensión, 341. – Admitancia de entrada, 343. – Capacidad de entrada (Efecto Miller), 343. – Admitancia de salida, 345. – 10-11. Amplificador en drenaje común para altas frecuencias, 345. – Ganancia de tensión, 345. – Admitancia de entrada, 346. – Admitancia de salida, 346. – Referencias, 346. – Temas de repaso, 347.

11. El transistor a altas frecuencias 349

11-1. Modelo híbrido PI (π) de transistor en emisor común, 349. — *Los componentes del circuito*, 350. — *Valores de los parámetros híbridos π* , 350. — 11-2. Conductancias del modelo híbrido π , 350. — *Transconductancia del transistor g_m* , 351. — *Conductancia de entrada $g_{b,e}$* , 352. — *Conductancia de realimentación $g_{b,c}$* , 353. — *Resistencia de dispersión de base r_{bb}* , 353. — *Conductancia de salida $g_{c,e}$* , 353. — *Resumen*, 354. — 11-3. Capacidades del modelo híbrido π , 354. — *Capacidad de difusión*, 355. — 11-4. Validez del modelo híbrido π , 356. — 11-5. Variación de los parámetros híbridos π , 357. — 11-6. Ganancia de corriente en corto circuito en emisor común, 357. — *Parámetro f_T* , 359. — *Medición de f_T* , 360. — 11-7. Ganancia de corriente con carga resistiva, 361. — 11-8. Respuesta de un amplificador a transistores en emisor común de una sola etapa, 362. — *Función de transferencia*, 363. — *Análisis aproximado*, 364. — *Impedancia de entrada de Miller*, 366. — 11-9. Producto de la anchura de banda por la ganancia, 367. — *Resumen*, 368. — 11-10. Seguidor de emisor a alta frecuencia, 369. — *Solución con un solo polo*, 370. — *Admitancia de entrada*, 371. — *Referencias*, 372. — *Temas de repaso*, 372.

12. Amplificadores multietapas 373

12-1. Clasificación de los amplificadores, 373. — *Clases A, B, AB, C*, 374. — *Aplicaciones de los amplificadores*, 374. — 12-2. Distorsión en los amplificadores, 374. — *Distorsión no lineal*, 374. — *Distorsión de frecuencia*, 375. — 12-3. Respuesta en frecuencia de un amplificador, 375. — *Consideraciones sobre la fidelidad*, 375. — *Respuesta a baja frecuencia*, 376. — *Respuesta a alta frecuencia*, 377. — *Ancho de banda*, 378. — 12-4. Curvas de Bode, 378. — *Función de transferencia de un solo polo*, 379. — *Función de transferencia de un solo cero*, 380. — *Función de transferencia de dos polos*, 381. — *Polo dominante*, 383. — 12-5. Respuesta de un amplificador a un escalón, 383. — *Tiempo de subida*, 384. — *Pendiente*, 384. — *Prueba con onda cuadrada*, 386. — 12-6. Paso de banda de etapas en cascada, 387. — *Etapas con interacción*, 388. — *Respuesta a un escalón*, 389. — 12-7. Amplificador acoplado en RC, 389. — 12-8. Respuesta a baja frecuencia de una etapa acoplada en RC, 390. — 12-9. Efectos de un condensador de paso en emisor sobre la respuesta en baja frecuencia, 392. — *Respuesta a una onda cuadrada*, 395. — *Consideraciones prácticas*, 395. — *Respuesta debida a los condensadores de emisor y de acoplamiento*, 395. — 12-10. Respuesta a alta frecuencia de dos etapas en cascada a transistores en emisor común, 396. — *Polo dominante*, 398. — *Análisis simplificado de dos etapas en cascada*, 398. — 12-11. Amplificador multietapa en cascada en emisor común para altas frecuencias, 399. — *Análisis aproximado*, 401. — 12-12. Ruido, 402. — *Ruido térmico o de Johnson*, 402. — *Efecto Shot o Schottky*, 403. — *Figura o factor de ruido*, 403. — *Medición del factor de ruido*, 404. — *Ruido de un transistor*, 405. — *Ruido de los FET*, 406. — *Referencias*, 406. — *Temas de repaso*, 407.

13. Amplificadores realimentados 409

13-1. Clasificación de los amplificadores, 409. — Amplificador de tensión, 409. — Amplificador de corriente, 410. — Amplificador de transconductancia, 410. — Amplificador de transresistencia, 411. — 13-2. Concepto de realimentación, 411. — Fuente de señal, 412. — Red de realimentación, 412. — Circuito de muestreo, 412. — Red comparadora o mezcladora, 413. — Relación de transferencia, o ganancia, 413. — Ventajas de la realimentación negativa, 413. — 13-3. Ganancia de transferencia con realimentación, 414. — Ganancia del lazo, 416. — Suposiciones fundamentales, 416. — 13-4. Características generales de los amplificadores con realimentación negativa, 417. — Estabilidad de la amplificación de transferencia, 417. — Distorsión de frecuencia, 418. — Distorsión no lineal, 419. — Reducción del ruido, 419. — 13-5. Resistencia de entrada, 420. — Realimentación de tensión en serie, 420. — Realimentación de corriente en serie, 421. — Realimentación de corriente en paralelo, 422. — Realimentación de tensión en paralelo, 423. — 13-6. Resistencia de salida, 423. — Realimentación de tensión en serie, 424. — Realimentación de tensión en paralelo, 424. — Realimentación de corriente en paralelo, 425. — Realimentación de corriente en serie, 425. — 13-7. Método de análisis de un amplificador realimentado, 426. — 13-8. Realimentación de tensión en serie, 427. — El FET seguidor de fuente, 427. — El seguidor de emisor, 429. — 13-9. Par con realimentación de tensión en serie, 431. — Par con realimentación del segundo colector al primer emisor, 431. — 13-10. Realimentación de corriente en serie, 433. — La configuración con un transistor, 433. — Etapa de FET en fuente común con una resistencia de fuente R, 437. — 13-11. Realimentación de corriente en paralelo, 439. — El amplificador sin realimentación, 440. — 13-12. Realimentación de tensión en paralelo, 443. — El amplificador sin realimentación, 444. — Referencias, 447. — Temas de repaso, 447.

14. Estabilidad y osciladores 449

14-1. Efecto de la realimentación en el ancho de banda de los amplificadores, 449. — Función de transferencia de un solo polo, 450. — Mejora del ancho de banda, 452. — Respuesta a un escalón, 453. — 14-2. Función de transferencia de doble polo con realimentación, 453. — Lugar de las raíces, 454. — Modelo de circuito, 455. — Respuesta en frecuencia, 456. — Respuesta a un escalón, 457. — 14-3. Función de transferencia de tres polos con realimentación, 459. — 14-4. Análisis aproximado de un amplificador realimentado multipolo, 461. — Polo dominante, 461. — 14-5. Respuesta en frecuencia de un amplificador con realimentación de tensión en paralelo, 462. — Polo dominante, 464. — 14-6. Respuesta en frecuencia de un amplificador con realimentación de corriente en serie, 466. — Polo dominante, 467. — 14-7. Respuesta en frecuencia de un par con realimentación de corriente en paralelo, 469. — 14-8. Respuesta en frecuencia del par con realimentación de tensión en serie, 472. — Solución aproximada, 473. — Solución exacta, 473. — 14-9. Estabilidad, 474. — Condición para la estabilidad, 475. — Criterio de Nyquist, 475. — 14-10. Márgenes de ganancia y fase, 477. — Margen de ganancia, 477. —

Margen de la fase, 478. — 14-11. *Compensación*, 478. — *Amplificador de tres polos*, 478. — *Métodos generales de compensación*, 480. — 14-12. *Compensación de polo dominante*, 480. — 14-13. *Compensación polo-cero (retraso-avance)*, 481. — 14-14. *Compensación por modificación de la red β* , 483. — 14-15. *Osciladores senoidales*, 486. — *Criterio de Barkhausen*, 487. — *Consideraciones prácticas*, 487. — 14-16. *El oscilador de cambio de fase*, 488. — *Oscilador de cambio de fase a transistores*, 489. — *Funcionamiento con frecuencia variable*, 491. — 14-17. *Osciladores con circuito resonante*, 491. — *Autopolarización y estabilización de la amplitud*, 492. — *Oscilador a transistores sintonizado en el colector*, 493. — 14-18. *Forma general de un circuito oscilador*, 493. — *Ganancia del lazo*, 493. — *Elementos reactivos Z_1 , Z_2 y Z_3* , 494. — 14-19. *Oscilador de puente de Wien*, 495. — *Estabilización de la amplitud*, 497. — 14-20. *Oscilador a cristal*, 497. — 14-21. *Estabilidad de la frecuencia*, 499. — *Criterio de estabilidad*, 499. — *Referencias*, 500. — *Temas de repaso*, 501.

15. Amplificadores operacionales 503

15-1. *El amplificador operacional básico*, 503. — *Amplificador operacional ideal*, 503. — *Amplificador operacional inversor práctico*, 505. — *Amplificador operacional no inversor*, 506. — 15-2. *El amplificador diferencial*, 507. — *Relación de rechazo del modo común*, 507. — 15-3. *El amplificador diferencial acoplado por emisor*, 509. — *Amplificador diferencial alimentado con corriente constante*, 510. — *Consideraciones prácticas*, 512. — 15-4. *Características de transferencia de un amplificador diferencial*, 512. — 15-5. *Ejemplo de un amplificador operacional integrado*, 514. — *Resistencia de entrada*, 514. — *Ganancia de tensión en cadena abierta*, 516. — *Análisis en corriente continua*, 516. — *Etapa de salida*, 518. — *Oscilación de la tensión de modo común*, 519. — 15-6. *Errores offset de tensiones y corrientes*, 520. — *Corriente de polarización de entrada*, 520. — *Corriente offset de entrada*, 520. — *Variación de la corriente offset de entrada*, 520. — *Tensión offset de entrada*, 520. — *Variación de la tensión offset de entrada*, 520. — *Tensión offset de salida*, 520. — *Relación de rechazo de la alimentación*, 521. — *Relación de variación*, 521. — *Técnicas universales de equilibrado*, 521. — 15-7. *Variación con la temperatura de las tensiones y corrientes offset de entrada*, 522. — 15-8. *Medición de los parámetros de un amplificador operacional*, 524. — *Ganancia de tensión diferencial en cadena abierta $A_v = A_d$* , 524. — *Resistencia de salida R_o* , 524. — *Resistencia de entrada diferencial R_i* , 525. — *Tensión offset de entrada*, 525. — *Corriente de polarización de entrada*, 526. — *Relación de rechazo del modo común*, 526. — *Relación de variación*, 527. — 15-9. *Respuesta en frecuencia de los amplificadores operacionales*, 527. — *Estabilidad de un amplificador operacional*, 528. — 15-10. *Compensación por polo dominante*, 530. — 15-11. *Compensación por polo-cero*, 532. — *Modificación de la impedancia de entrada en cadena abierta*, 532. — *Compensación por efecto Miller*, 533. — 15-12. *Compensación por avance*, 535. — 15-13. *Respuesta de los amplificadores operacionales a un escalón*, 537. — *Respuesta a una gran señal escalón*, 537. — *Referencias*, 538. — *Temas de repaso*, 538.

16. Los circuitos integrados como bloques de construcción de sistemas analógicos . . . 541

I. Sistemas analógicos lineales, 541. — 16-1. Aplicaciones del amplificador operacional básico, 541. — *Cambiador de signo o inversor*, 542. — *Cambiador de escala*, 542. — *Cambiador de fase*, 542. — *Sumador*, 542. — *Convertidor de tensión a corriente*, 543. — *Convertidor de corriente a tensión*, 544. — *Seguidor de tensión continua*, 544. — 16-2. Amplificador diferencial de corriente continua, 544. — *Puente amplificador*, 545. — 16-3. Amplificador estable acoplado en alterna, 546. — *Seguidor de tensión alterna*, 546. — 16-4. Diferenciación e integración antológica, 547. — *Corriente de polarización y offset en continua*, 548. — *Ganancia finita y ancho de banda*, 548. — *Circuito práctico*, 549. — *Diferenciador*, 550. — *Caso general*, 550. — 16-5. Cálculo analógico electrónico, 550. — 16-6. Filtros activos, 552. — *Filtro Butterworth*, 553. — *Realización práctica*, 555. — *Filtro de paso de banda*, 558. — *Filtro de rechazo de banda*, 558. — 16-7. Filtros pasabanda resonantes activos, 558. — *Simetría geométrica*, 559. — *Ancho de banda*, 560. — *Filtro pasabanda activo RC*, 560. — 16-8. Compensador de fase, 562. — 16-9. Amplificador sintonizado en circuito integrado, 563. — *Funcionamiento de un amplificador sintonizado*, 563. — *Parámetros y*, 565. — *Amplificador sintonizado práctico*, 567. — *Modulador de amplitud*, 568. — 16-10. Amplificador de video cascado, 570. — II. Sistemas analógicos no lineales, 572. — 16-11. Comparadores, 572. — *Detector del cruce por cero*, 573. — *Ondas cuadradas a partir de ondas senoidales*, 573. — *Generador de señales de tiempo a partir de una onda senoidal*, 573. — *Fasómetro*, 573. — *Analizador de la distribución de amplitud*, 574. — *Modulación de impulsos de tiempo*, 574. — 16-12. Circuitos de retención de información, 574. — 16-13. Convertidores de precisión alterna/continua, 576. — *Acoplamiento de precisión*, 576. — *Rectificador rápido de media onda*, 576. — *Detector de media activo*, 577. — *Detector de picos activo*, 577. — 16-14. Amplificadores logarítmicos, 578. — *Amplificador logarítmico empleando transistores aparejados*, 579. — *Amplificador antilogarítmico*, 580. — *Multiplicador logarítmico*, 581. — *Amplificador multiplicador diferencial*, 582. — 16-15. Generadores de forma de onda, 583. — *Generador de onda cuadrada*, 583. — *Generador de impulsos*, 584. — *Generador de onda triangular*, 585. — 16-16. Comparador regenerativo (disparador de Schmitt), 587. — 16-17. Lógica del emisor acoplado, 590. — Referencias, 594. — Temas de repaso, 595.

17. Circuitos integrados como bloques constructivos de sistemas digitales . . . 597

I. Combinación de sistemas digitales, 598. — 17-1. Montajes de puertas normalizadas, 598. — 17-2. Sumadores binarios, 600. — *Semisumador*, 600. — *Funcionamiento en paralelo*, 601. — *Sumador completo*, 601. — *Sumadores MSI*, 603. — *Funcionamiento en serie*, 605. — 17-3. Funciones aritméticas, 606. — *Elemento real/complemento*, *Cero/Uno*, 607. — *Resta binaria*, 607. — *Comparador digital*, 609. — *Comprobador de paridad/generador*, 611. — 17-4. Decodificador/Demultiplex, 613. — *Sistema de codificación binario decimal (BCD)*, 613. — *Decodificador de BCD a decimal*, 613. — *Demultiplex*,

615. — *Decodificador/Demultiplex de 4 a 16 líneas, 615. — Excitadores decodificador/lámpara, 615. — 17-5. Selector de datos/multiplex, 615. — Conversión paralelo a serie, 616. — Selección de datos secuenciales, 617. — 17-6. Codificador, 617. — 17-7. Memoria de solo lectura (ROM), 620. — Convertidores de código, 621. — Programación de la ROM, 622. — 17-8. Aplicaciones de los ROM, 624. — Tablas de recurrencia, 624. — Generadores de secuencia, 624. — Imagen visible con siete segmentos, 624. — Lógica combinatoria, 626. — Generador de caracteres, 626. — II. Sistemas digitales secuenciales, 626. — 17-9. Una memoria de 1 bit, 626. — Sistema secuencial, 627. — Célula de almacenamiento de 1 bit, 627. — 17-10. FLIP-FLOP, 629. — Puesta a 1 y a 0 (Preset and Clear), 630. — Condición de auto-oscilación, 631. — FLIP-FLOP J-K ordenador seguidor, 632. — FLIP-FLOP tipo D, 632. — FLIP-FLOP tipo T, 633. — Resumen, 633. — 17-11. Registradores de desplazamiento, 634. — Convertidor de serie a paralelo, 635. — Registradores de entrada en serie y salida en serie, 636. — Convertidor de paralelo a serie, 636. — Entrada en paralelo, salida en paralelo, 636. — Registradores de desplazamiento a izquierda y derecha, 636. — Línea de retardo digital, 637. — Generador de secuencias, 637. — Contador en anillo con registrador de desplazamiento, 637. — Contador de anillo de Johnson, 638. — 17-12. Contadores asíncronos, 638. — Contador asíncrono, 638. — Contador reversible, 640. — Contador divisor por N, 641. — 17-13. Contadores síncronos, 642. — Transporte en serie, 643. — Transporte en paralelo, 644. — Contador síncrono reversible con transporte en paralelo, 644. — Contador síncrono de décadas, 644. — 17-14. Aplicaciones de los contadores, 647. — Contador directo, 647. — Divisor por N, 647. — Medición de frecuencia, 647. — Medición de tiempo, 648. — Medición de distancia, 648. — Medición de velocidad, 648. — Ordenador digital, 648. — Generador de ondas, 649. — Conversión entre informaciones analógicas y digitales, 649. — III. Sistemas digitales MOS/LSI, 649. — 17-15. Circuitos MOS dinámicos, 649. — Inversor MOS dinámico, 649. — MOS de dos fases, 650. — 17-16. Registradores de desplazamiento MOS, 651. — Registradores de desplazamiento MOS dinámicos, 651. — Registradores de desplazamiento MOS estáticos, 652. — Registrador de desplazamiento de cuatro fases, 653. — 17-17. Memoria MOS de solo lectura, 655. — 17-18. Memoria de acceso aleatorio (RAM), 657. — Selección lineal, 657. — Selección coincidente, 658. — Elementos RAM básicos, 659. — RAM bipolar, 660. — RAM MOS estático, 661. — RAM MOS dinámico, 662. — IV. Sistemas D/A y A/D, 663. — 17-19. Convertidores digitales a analógicos, 663. — Convertidor D/A tipo escalera, 664. — Convertidor D/A multiplicador, 666. — 17-20. Convertidor analógico a digital, 666. — Convertidor A/D por aproximaciones sucesivas, 668. — 17-21. Generador de caracteres, 668. — Matriz de puntos de un carácter, 668. — Impresión de caracteres, 670. — Forma de onda para un solo carácter en un tubo de rayos catódicos, 670. — Representación de un carácter, 671. — Representación de una línea de caracteres, 672. — Referencias, 672. — Temas de repaso, 673.*

18. Sistemas y circuitos de potencia 677

18-1. Amplificadores clase A para grandes señales, 678. — 18-2. Distorsión

del segundo armónico, 679. — 18-3. Generación de armónicos de orden superior, 681. — *Cálculo de las componentes de Fourier*, 682. — *Potencia de salida*, 684. — 18-4. Amplificador de potencia de audio con acoplamiento por transformador, 684. — *Adaptación de impedancia*, 685. — *Potencia de salida máxima*, 686. — 18-5. Rendimiento, 688. — *Rendimiento de la conversión*, 688. — *Valor máximo del rendimiento*, 689. — 18-6. Amplificadores en contrafase (push-pull), 690. — 18-7. Amplificadores clase B, 692. — *Consideraciones sobre la potencia*, 692. — *Distorsión*, 695. — *Circuitos especiales*, 695. — 18-8. Funcionamiento en clase AB, 696. — *Amplificadores de potencia integrados*, 697. — 18-9. Fuentes de alimentación reguladas, 699. — *Estabilización*, 700. — 18-10. Regulador de tensión serie, 701. — *Análisis simplificado*, 702. — *Consideraciones prácticas*, 705. — 18-11. Reguladores monolíticos, 707. — 18-12. El diodo de cuatro capas, 708. — 18-13. Características del *p-n-p-n*, 711. — *Efecto de la velocidad*, 712. — *Conmutador bidireccional a diodos*, 713. — 18-14. Rectificador gobernado de silicio, 713. — *Tiempos de conducción y de corte de la puerta*, 715. — *Características*, 715. — *El triac, o interruptor triodo de doble sentido*, 715. — 18-15. Regulación de potencia, 716. — *Regulación con SCR*, 716. — *Funcionamiento con onda completa rectificadas*, 720. — *Circuito de control*, 720. — *Gobierno de corriente alterna*, 722. — Referencias, 724. — Temas de repaso, 725.

19. Física de los sistemas semiconductores 727

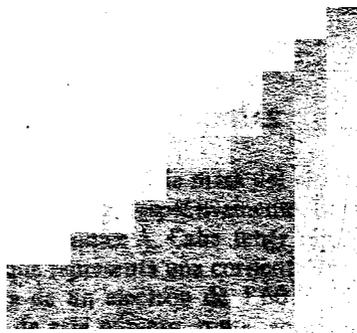
19-1. Distribución de la energía de los electrones en un metal, 727. — *Imagen simplificada de la energía potencial de un metal*, 727. — *Densidad en edad*, 728. — *Densidad de energía*, 729. — 19-2. Función de Fermi-Dirac, 729. — *Nivel de Fermi*, 731. — 19-3. Densidad de estados, 731. — *Estados cuánticos en un metal*, 732. — 19-4. Emisión electrónica de un metal, 734. — *Función trabajo*, 734. — *Emisión termoiónica*, 735. — *Energía de los electrones emiti-dos*, 735. — 19-5. Concentración de portadores en un semiconductor intrínseco, 736. — *Número de huecos en la banda de valencia*, 738. — *Nivel de Fermi en un semiconductor intrínseco*, 738. — *Concentración intrínseca*, 739. — 19-6. Nivel de Fermi en los semiconductores con impurezas, 740. — 19-7. Estructura de las bandas de una unión *p-n* en circuito abierto, 741. — *Diferencia de potencial del contacto*, 742. — *Relación de Einstein*, 743. — 19-8. Diodo túnel, 744. — *Estructura de las bandas de energía de un diodo p-n altamente dopado*, 744. — *Características tensión-corriente*, 745. — 19-9. Ecuaciones básicas de los semiconductores, 747. — *Concentración independiente de x con campo eléctrico nulo*, 749. — *Concentración independiente de t con campo eléctrico nulo*, 749. — *Concentración variable senoidalmente con t y campo eléctrico nulo*, 750. — 19-10. Ecuación tensión-corriente del diodo *p-n*, 751. — *Ley de la unión*, 751. — *Componentes de la corriente*, 752. — *Corriente inversa de saturación*, 753. — 19-11. Características *p-n* en función de la temperatura, 753. — 19-12. Capacidad dinámica de difusión, 755. — 19-13. Corrientes en un transistor, 757. — *Corriente de huecos en la región de base tipo n*, 757. — *Ecuaciones de Ebers-Moll*, 758. — 19-14. Alfa del transistor, 759. — 19-15. Análisis de un transistor al corte y en la región

de saturación, 760. — *Región de corte*, 760. — *Base corto circuitada*, 761. — *La base en circuito abierto*, 761. — *Tensión umbral*, 762. — *Región de saturación*, 762. — Referencias, 763. — Temas de repaso, 763.

Apéndice A. — Valores probables de las constantes físicas generales 765

Apéndice B. — Factores de conversión y prefijos 767

Apéndice C. — Problemas 769



Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly bleed-through from the reverse side or a very low-quality scan of the bottom section of the document.