



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 CENTRO DE MEDIOS  
 BIBLIOTECA

# Contenido

## PREFACIO

xvii

## AGRADECIMIENTOS

xxi

# 1

## DIODOS SEMICONDUCTORES

1

- 1.1 Introducción 1
- 1.2 El diodo ideal 1
- 1.3 Materiales semiconductores 3
- 1.4 Niveles de energía 6
- 1.5 Materiales extrínsecos: tipo  $n$  y tipo  $p$  7
- 1.6 Diodo semiconductor 10
- 1.7 Niveles de resistencia 17
- 1.8 Circuitos equivalentes para diodos 24
- 1.9 Hojas de especificaciones de diodos 27
- 1.10 Capacitancia de transición y difusión 31
- 1.11 Tiempo de recuperación inverso 32
- 1.12 Notación de diodos semiconductores 32
- 1.13 Prueba de diodos 33
- 1.14 Diodos Zener 35
- 1.15 Diodos emisores de luz 38
- 1.16 Arreglos de diodos: circuitos integrados 42
- 1.17 Análisis por computadora 44

1.1  
1.2  
1.3  
1.4  
1.5  
1.6  
1.7  
1.8  
1.9  
1.10  
1.11  
1.12  
1.13  
1.14  
1.15  
1.16  
1.17  
1.18  
1.19  
1.20  
1.21  
1.22  
1.23  
1.24  
1.25  
1.26  
1.27  
1.28  
1.29  
1.30  
1.31  
1.32  
1.33  
1.34  
1.35  
1.36  
1.37  
1.38  
1.39  
1.40  
1.41  
1.42  
1.43  
1.44  
1.45  
1.46  
1.47  
1.48  
1.49  
1.50  
1.51  
1.52  
1.53  
1.54  
1.55  
1.56  
1.57  
1.58  
1.59  
1.60  
1.61  
1.62  
1.63  
1.64  
1.65  
1.66  
1.67  
1.68  
1.69  
1.70  
1.71  
1.72  
1.73  
1.74  
1.75  
1.76  
1.77  
1.78  
1.79  
1.80  
1.81  
1.82  
1.83  
1.84  
1.85  
1.86  
1.87  
1.88  
1.89  
1.90  
1.91  
1.92  
1.93  
1.94  
1.95  
1.96  
1.97  
1.98  
1.99  
2.00

## 2

### APLICACIONES DE DIODOS

53

- 2.1 Introducción 53
- 2.2 Análisis mediante la recta de carga 54
- 2.3 Aproximaciones de diodos 59
- 2.4 Configuraciones de diodos en serie con entradas dc 61
- 2.5 Configuraciones en paralelo y en serie-paralelo 66
- 2.6 Compuertas AND/OR 69
- 2.7 Entradas senoidales; rectificación de media onda 71
- 2.8 Rectificación de onda completa 74
- 2.9 Recortadores 78
- 2.10 Cambiadores de nivel 85
- 2.11 Diodos Zener 89
- 2.12 Circuitos multiplicadores de voltaje 96
- 2.13 Análisis por computadora 99

## 3

### TRANSISTORES BIPOLARES DE UNIÓN

114

- 3.1 Introducción 114
- 3.2 Construcción de transistores 115
- 3.3 Operación del transistor 115
- 3.4 Configuración de base común 117
- 3.5 Acción amplificadora del transistor 121
- 3.6 Configuración de emisor común 122
- 3.7 Configuración de colector común 129
- 3.8 Límites de operación 130
- 3.9 Hoja de especificaciones de transistores 132
- 3.10 Prueba de transistores 136
- 3.11 Encapsulado de transistores e identificación de terminales 138
- 3.12 Análisis por computadora 140

## 4

### POLARIZACIÓN DE DC-BJT

144

- 4.1 Introducción 144
- 4.2 Punto de operación 145
- 4.3 Circuito de polarización fija 147
- 4.4 Circuito de polarización estabilizado en emisor 154
- 4.5 Polarización por divisor de voltaje 158
- 4.6 Polarización de dc por retroalimentación de voltaje 166
- 4.7 Diversas configuraciones de polarización 169
- 4.8 Operaciones de diseño 175
- 4.9 Redes de conmutación con transistores 181
- 4.10 Técnicas para la localización de fallas 186
- 4.11 Transistores *pnp* 189
- 4.12 Estabilización de la polarización 191
- 4.13 Análisis por computadora 200



# 5

## TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

215

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.1  | Introducción                               | 215 |
| 5.2  | Construcción y características de los JFET | 216 |
| 5.3  | Características de transferencia           | 223 |
| 5.4  | Hojas de especificaciones (JFET)           | 227 |
| 5.5  | Instrumentación                            | 230 |
| 5.6  | Relaciones importantes                     | 231 |
| 5.7  | MOSFET de tipo decremental                 | 238 |
| 5.8  | MOSFET de tipo incremental                 | 238 |
| 5.9  | Manejo del MOSFET                          | 246 |
| 5.10 | VMOS                                       | 247 |
| 5.11 | CMOS                                       | 248 |
| 5.12 | Tabla resumen                              | 250 |
| 5.13 | Análisis por computadora                   | 251 |

# 6

## POLARIZACIÓN DEL FET

256

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.1  | Introducción                              | 256 |
| 6.2  | Configuración de polarización fija        | 257 |
| 6.3  | Configuración de autopolarización         | 261 |
| 6.4  | Polarización mediante divisor de voltaje  | 267 |
| 6.5  | MOSFET de tipo decremental                | 273 |
| 6.6  | MOSFET de tipo incremental                | 277 |
| 6.7  | Tabla resumen                             | 283 |
| 6.8  | Redes combinadas                          | 285 |
| 6.9  | Diseño                                    | 288 |
| 6.10 | Localización de fallas                    | 290 |
| 6.11 | FET de canal- $p$                         | 291 |
| 6.12 | Curva universal de polarización para JFET | 294 |
| 6.13 | Análisis por computadora                  | 297 |

# 7

## MODELAJE DE TRANSISTORES BIPOLARES

311

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 7.1 | Introducción                                     | 311 |
| 7.2 | Amplificación en el dominio de $ac$              | 311 |
| 7.3 | Modelaje de transistores BJT                     | 312 |
| 7.4 | Los parámetros importantes: $Z_i, Z_o, A_v, A_i$ | 314 |
| 7.5 | El modelo de transistor $r_e$                    | 320 |
| 7.6 | El modelo híbrido equivalente                    | 327 |
| 7.7 | Determinación gráfica de los parámetros $h$      | 333 |
| 7.8 | Variaciones de los parámetros de transistores    | 337 |
| 7.9 | Análisis por computadora                         | 339 |

# 8

## ANÁLISIS A PEQUEÑA SEÑAL DEL TRANSISTOR BIPOLAR

346

- 8.1 Introducción 346
- 8.2 Configuración de emisor común con polarización fija 346
- 8.3 Polarización mediante divisor de voltaje 350
- 8.4 Configuración de E-C con polarización en emisor 353
- 8.5 Configuración emisor-seguidor 360
- 8.6 Configuración de base común 366
- 8.7 Configuración con retroalimentación en colector 368
- 8.8 Configuración con retroalimentación de dc en colector 374
- 8.9 Circuito equivalente híbrido aproximado 377
- 8.10 Modelo equivalente híbrido completo 383
- 8.11 Tabla resumen 390
- 8.12 Solución de problemas 390
- 8.13 Análisis por computadora 393

# 9

## ANÁLISIS A PEQUEÑA SEÑAL DEL FET

415

- 9.1 Introducción 415
- 9.2 Modelo de pequeña señal del FET 416
- 9.3 Configuración de polarización fija para el JFET 424
- 9.4 Configuración de autopolarización para el JFET 426
- 9.5 Configuración de divisor de voltaje para el JFET 432
- 9.6 Configuración fuente-seguidor (drenaje común) para el JFET 433
- 9.7 Configuración de compuerta común para el JFET 436
- 9.8 MOSFET de tipo decremental 440
- 9.9 MOSFET de tipo incremental 442
- 9.10 Configuración de retroalimentación en drenaje para el EMOSFET 443
- 9.11 Configuración de divisor de voltaje para el EMOSFET 446
- 9.12 Cómo diseñar redes de amplificador FET 447
- 9.13 Tabla resumen 450
- 9.14 Solución de problemas 453
- 9.15 Análisis por computadora 453

# 10

## APROXIMACIÓN A LOS SISTEMAS: EFECTOS DE $R_s$ Y $R_L$

468

- 10.1 Introducción 468
- 10.2 Sistemas de dos puertos 468
- 10.3 Efecto de la impedancia de carga ( $R_L$ ) 470
- 10.4 Efecto de la impedancia de la fuente ( $R_s$ ) 475
- 10.5 Efecto combinado de  $R_s$  y  $R_L$  477
- 10.6 Redes BJT de CE 479
- 10.7 Redes emisor-seguidor 484
- 10.8 Redes CB 487
- 10.9 Redes FET 489
- 10.10 Tabla resumen 492
- 10.11 Sistemas en cascada 496
- 10.12 Análisis por computadora 497



# 11 RESPUESTA EN FRECUENCIA DE TRANSISTORES BJT Y JFET 509

- 11.1 Introducción 509
- 11.2 Logaritmos 509
- 11.3 Decibelios 513
- 11.4 Consideraciones generales sobre la frecuencia 516
- 11.5 Análisis a baja frecuencia, gráfica de Bode 519
- 11.6 Respuesta a baja frecuencia, amplificador a BJT 524
- 11.7 Respuesta a baja frecuencia, amplificador FET 533
- 11.8 Capacitancia de efecto Miller 536
- 11.9 Respuesta a alta frecuencia, amplificador BJT 539
- 11.10 Respuesta a alta frecuencia, amplificador FET 546
- 11.11 Efectos de frecuencia en multietapas 550
- 11.12 Prueba de onda cuadrada 552
- 11.13 Análisis por computadora 554

# 12 CONFIGURACIONES COMPUESTAS 560

- 12.1 Introducción 560
- 12.2 Conexión en cascada 560
- 12.3 Conexión cascode 565
- 12.4 Conexión Darlington 566
- 12.5 Par retroalimentado 571
- 12.6 Circuito CMOS 575
- 12.7 Circuitos de fuente de corriente 577
- 12.8 Espejo de corriente 579
- 12.9 Circuito de amplificador diferencial 582
- 12.10 Circuitos de amplificador diferencial BiFET, BiMOS y CMOS 590
- 12.11 Análisis por computadora 591

# 13 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE CIRCUITOS DISCRETOS E INTEGRADOS 607

- 13.1 Introducción 607
- 13.2 Materiales semiconductores, Si, Ge y GaAs 607
- 13.3 Diodos discretos 609
- 13.4 Fabricación de transistores 611
- 13.5 Circuitos integrados 612
- 13.6 Circuitos integrados monolíticos 614
- 13.7 El ciclo de producción 617
- 13.8 Circuitos integrados de película delgada y película gruesa 626
- 13.9 Circuitos integrados híbridos 627

# 14 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

628

- 14.1 Introducción 628
- 14.2 Operación en modo diferencial y en modo común 630
- 14.3 Amplificador operacional básico 634
- 14.4 Circuitos prácticos con amplificadores operacionales 638
- 14.5 Especificaciones, parámetros de desvío de dc 644
- 14.6 Especificaciones de parámetros de frecuencia 647
- 14.7 Especificaciones para una unidad de amplificador operacional 651
- 14.8 Análisis por computadora 657

# 15 APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

669

- 15.1 Multiplicador de ganancia constante 669
- 15.2 Suma de voltajes 673
- 15.3 Acoplador de voltaje 676
- 15.4 Fuentes controladas 677
- 15.5 Circuitos de instrumentación 679
- 15.6 Filtros activos 683
- 15.7 Análisis por computadora 687

# 16 AMPLIFICADORES DE POTENCIA

701

- 16.1 Introducción: definiciones y tipos de amplificadores 701
- 16.2 Amplificador clase A alimentado en serie 703
- 16.3 Amplificador acoplado con transformador clase A 708
- 16.4 Operación del amplificador clase B 715
- 16.5 Circuitos de amplificador clase B 719
- 16.6 Distorsión del amplificador 726
- 16.7 Disipación de calor del transistor de potencia 730
- 16.8 Amplificadores clase C y clase D 734
- 16.9 Análisis por computadora 736

# 17 CI LINEALES/DIGITALES

741

- 17.1 Introducción 741
- 17.2 Operación del comparador 741
- 17.3 Convertidores analógicos-digitales 748
- 17.4 Operación del CI temporizador 752
- 17.5 Oscilador controlado por voltaje 755
- 17.6 Lazo de seguimiento de fase 758
- 17.7 Circuitos de interfaz 762
- 17.8 Análisis por computadora 765

# 18 CIRCUITOS CON RETROALIMENTACIÓN Y OSCILADORES

773

- 18.1 Conceptos de retroalimentación 773
- 18.2 Tipos de conexión de retroalimentación 774



- 18.3 Circuitos prácticos con retroalimentación 780
- 18.4 Amplificador retroalimentado: consideraciones de fase y frecuencia 787
- 18.5 Operación del oscilador 789
- 18.6 Oscilador de corrimiento de fase 791
- 18.7 Oscilador de puente Wien 794
- 18.8 Circuito de oscilador sintonizado 795
- 18.9 Oscilador a cristal 798
- 18.10 Oscilador monounión 802

## 19 FUENTES DE ALIMENTACIÓN (REGULADORES DE VOLTAJE)

805

- 19.1 Introducción 805
- 19.2 Consideraciones generales de filtros 805
- 19.3 Filtro capacitor 808
- 19.4 Filtro RC 811
- 19.5 Regulación de voltaje con transistores discretos 814
- 19.6 Reguladores de voltaje de CI 821
- 19.7 Análisis por computadora 826

## 20 OTROS DISPOSITIVOS DE DOS TERMINALES 832

- 20.1 Introducción 832
- 20.2 Diodos de barrera Schottky ("portadores calientes") 832
- 20.3 Diodos varactores (varicap) 836
- 20.4 Diodos de potencia 840
- 20.5 Diodos túnel 841
- 20.6 Fotodiodos 846
- 20.7 Celdas fotoconductoras 849
- 20.8 Emisores de IR 851
- 20.9 Pantallas de cristal líquido 853
- 20.10 Celdas solares 855
- 20.11 Termistores 859

## 21 DISPOSITIVOS *pnpn*

864

- 21.1 Introducción 864
- 21.2 Rectificador controlado de silicio 864
- 21.3 Operación básica del rectificador controlado de silicio 864
- 21.4 Características y valores nominales del SCR 867
- 21.5 Construcción e identificación de terminales del SCR 869
- 21.6 Aplicaciones del SCR 870
- 21.7 Interruptor controlado de silicio 874
- 21.8 Interruptor controlado en compuerta 876
- 21.9 SCR activado por luz 877
- 21.10 Diodo Shockley 880
- 21.11 DIAC 880
- 21.12 TRIAC 882
- 21.13 Transistor monounión 883
- 21.14 Fototransistores 893
- 21.15 Optoaisladores 895
- 21.16 Transistor monounión programable 897

# 22 OSCILOSCOPIO Y OTROS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

906

- 22.1 Introducción 906
- 22.2 Tubo de rayos catódicos: teoría y construcción 906
- 22.3 Operación del osciloscopio de rayos catódicos 907
- 22.4 Operación del barrido de voltaje 908
- 22.5 Sincronización y disparo 911
- 22.6 Operación en multitrazo 915
- 22.7 Medición utilizando las escalas calibradas 915
- 22.8 Características especiales 920
- 22.9 Generadores de señales 921

## APÉNDICE A: PARÁMETROS HÍBRIDOS: ECUACIONES PARA CONVERSIÓN (EXACTAS Y APROXIMADAS)

924

## APÉNDICE B: FACTOR DE RIZO Y CÁLCULOS DE VOLTAJE

926

## APÉNDICE C: GRÁFICAS Y TABLAS

933

## APÉNDICE D: PSPICE

935

## APÉNDICE E: SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS SELECCIONADOS CON NÚMERO NON

937

## ÍNDICE

943