
CONTENIDO

SOBRE LOS AUTORES	xv
PREFACIO	xvii
PARTE 1 INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1 Sistemas de electrónica de potencia	3
1-1 Introducción	3
1-2 Electrónica de potencia en comparación con la electrónica lineal	4
1-3 Alcance y aplicaciones	7
1-4 Clasificación de procesadores y convertidores de potencia	8
1-5 Sobre el texto	11
1-6 La naturaleza interdisciplinaria de la electrónica de potencia	12
1-7 Símbolos usados	12
<i>Problemas</i>	13
<i>Referencias</i>	14
Capítulo 2 Panorama general de los interruptores de semiconductores de potencia	15
2-1 Introducción	15
2-2 Diodos	15
2-3 Tiristores	16
2-4 Características deseadas en interruptores controlables	19
2-5 Transistores de unión bipolar y darlington monolíticos	22
2-6 Transistores de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor	23
2-7 Desactivación por puerta de tiristores	24
2-8 Transistores bipolares de puerta aislada (IGBT)	25
2-9 Tiristores controlados MOS	26
2-10 Comparación de interruptores controlables	26
2-11 Circuitos de control y amortiguadores (<i>SNUBBERS</i>)	27
2-12 Justificación de las características de dispositivos idealizadas	28
<i>Resumen</i>	29
<i>Problemas</i>	29
<i>Referencias</i>	29
Capítulo 3 Revisión de conceptos básicos de circuitos eléctricos y magnéticos	30
3-1 Introducción	30
3-2 Circuitos eléctricos	30
3-3 Circuitos magnéticos	42

<i>Resumen</i>	51
<i>Problemas</i>	52
<i>Referencias</i>	54

Capítulo 4 Simulación por computadora de convertidores y sistemas de electrónica de potencia 55

4-1	Introducción	55
4-2	Los retos en la simulación por computadora	56
4-3	Proceso de simulación	56
4-4	Las mecánicas de simulación [1]	58
4-5	Técnicas de solución para el análisis de dominio temporal	59
4-6	Simuladores orientados en circuitos de uso generalizado	62
4-7	Programas de solución de ecuaciones	65
	<i>Resumen</i>	66
	<i>Problemas</i>	66
	<i>Referencias</i>	68

PARTE 2 CONVERTIDORES GENÉRICOS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA 69

Capítulo 5 Rectificadores de diodos de línea de frecuencia: frecuencia de línea de CA → CC no controlada 71

5-1	Introducción	71
5-2	Conceptos básicos de rectificadores	72
5-3	Rectificadores monofásicos de puente de diodos	74
5-4	Rectificadores duplicadores de voltaje (monofásicos)	89
5-5	Efecto de rectificadores monofásicos sobre corrientes neutras en sistemas trifásicos de cuatro hilos	90
5-6	Rectificadores trifásicos de puente completo	91
5-7	Comparación de rectificadores monofásicos y trifásicos	99
5-8	Corriente de irrupción y sobretensiones en el arranque	100
5-9	Alertas y soluciones para armónicos de corriente de línea y un bajo factor de potencia	100
	<i>Resumen</i>	100
	<i>Problemas</i>	101
	<i>Referencias</i>	104
	<i>Apéndice</i>	104

Capítulo 6 Rectificadores e inversores de frecuencia de línea controlados por fases: frecuencia de línea CA ↔ CC controlada 108

6-1	Introducción	108
6-2	Circuitos de tiristores y su control	109
6-3	Convertidores monofásicos	112
6-4	Convertidores trifásicos	123
6-5	Otros convertidores trifásicos	136
	<i>Resumen</i>	136
	<i>Problemas</i>	137
	<i>Referencias</i>	139
	<i>Apéndice</i>	140

Capítulo 7 Convertidores de modo de conmutación CC-CC 142

7-1	Introducción	142
7-2	Control de convertidores de CC-CC	143
7-3	Convertidor reductor (buck)	144
7-4	Convertidor elevador (boost)	151

7-5	Convertidor reductor/elevador (buck-boost)	156	
7-6	Convertidor Cúk de CC-CC	162	
7-7	Convertidor de CC-CC de puente completo	165	
7-8	Comparación de convertidores de CC-CC	171	
	<i>Resumen</i>	173	
	<i>Problemas</i>	174	
	<i>Referencias</i>	175	
Capítulo 8 Inversores de CC-CA de modo conmutado: CC ↔ CA sinusoidal			176
8-1	Introducción	176	
8-2	Conceptos básicos de los inversores de modo conmutado	177	
8-3	Inversores monofásicos	185	
8-4	Inversores trifásicos	198	
8-5	Efecto del tiempo de supresión sobre el voltaje en inversores de PWM	208	
8-6	Otros métodos de conmutación de inversores	211	
8-7	Modo de operación de rectificadores	214	
	<i>Resumen</i>	215	
	<i>Problemas</i>	216	
	<i>Referencias</i>	218	
Capítulo 9 Convertidores resonantes: conmutaciones de tensión cero y/o corriente cero			219
9-1	Introducción	219	
9-2	Clasificación de convertidores resonantes	221	
9-3	Conceptos básicos de circuitos resonantes	223	
9-4	Convertidores de carga resonante	226	
9-5	Convertidores de interruptores resonantes	239	
9-6	Conmutación por voltaje cero, topologías de voltaje fijo	246	
9-7	Inversores de enlace de CC resonante con conmutaciones por voltaje cero	249	
9-8	Convertidores de semiciclo integral de enlace de alta frecuencia	254	
	<i>Resumen</i>	255	
	<i>Problemas</i>	256	
	<i>Referencias</i>	259	
PARTE 3 APLICACIONES DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN			263
Capítulo 10 Fuentes de alimentación de CC conmutadas			265
10-1	Introducción	265	
10-2	Fuentes de alimentación lineales	265	
10-3	Vista general de fuentes de alimentación conmutadas	266	
10-4	Convertidores de CC-CC con aislamiento eléctrico	268	
10-5	Control de fuentes de alimentación CC de modo conmutado	283	
10-6	Protección de fuentes de alimentación	300	
10-7	Aislamiento eléctrico en el lazo de realimentación	302	
10-8	Diseñar para cumplir con las especificaciones de fuentes de alimentación	303	
	<i>Resumen</i>	306	
	<i>Problemas</i>	306	
	<i>Referencias</i>	309	
Capítulo 11 Acondicionadores de potencia y fuentes de alimentación ininterrumpida			311
11-1	Introducción	311	
11-2	Perturbaciones de la red eléctrica	311	
11-3	Acondicionadores de potencia	314	
11-4	Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS)	314	

<i>Resumen</i>	318
<i>Problemas</i>	319
<i>Referencias</i>	320

PARTE 4 APLICACIONES DE ACCIONAMIENTOS POR MOTOR 321

Capítulo 12 Introducción a los accionamientos por motor 323

12-1	Introducción	323
12-2	Criterios para la selección de componentes del accionamiento	324
	<i>Resumen</i>	330
	<i>Problemas</i>	331
	<i>Referencias</i>	331

Capítulo 13 Accionamientos por motor de CC 332

13-1	Introducción	332
13-2	El circuito equivalente de motores de CC	332
13-3	Motores de CC de imanes permanentes	334
13-4	Motores de CC con un devanado de campo de excitación separada	335
13-5	Efecto de la forma de onda de corriente de inducido	337
13-6	Servoaccionamientos de CC	337
13-7	Accionamientos de CC de velocidad ajustable	344
	<i>Resumen</i>	349
	<i>Problemas</i>	349
	<i>Referencias</i>	350

Capítulo 14 Accionamientos por motor de inducción 351

14-1	Introducción	351
14-2	Principios básicos de la operación de motores de inducción	352
14-3	Características de motores de inducción con frecuencia nominal (de línea) y tensión nominal	356
14-4	Control de velocidad mediante la variación de frecuencia y voltaje del estator	357
14-5	Impacto de la excitación no sinusoidal sobre motores de inducción	365
14-6	Clasificaciones de convertidores de frecuencia variable	368
14-7	Accionamientos PWM-VSI de frecuencia variable	369
14-8	Accionamientos VSI de onda cuadrada y frecuencia variable	374
14-9	Accionamientos CSI de frecuencia variable	375
14-10	Comparación de accionamientos de frecuencia variable	376
14-11	Accionamientos de frecuencia de línea y tensión variable	377
14-12	Arranque con tensión reducida (“arranque suave”) de motores de inducción	378
14-13	Control de velocidad mediante la recuperación de potencia por deslizamiento estático	379
	<i>Resumen</i>	380
	<i>Problemas</i>	381
	<i>Referencias</i>	382

Capítulo 15 Accionamientos por motor síncrono 383

15-1	Introducción	383
15-2	Principios básicos de la operación del motor síncrono	383
15-3	Accionamientos por motores síncronos con formas de onda sinusoidales	386
15-4	Accionamientos por servomotores síncronos con formas de onda trapezoidales	388
15-5	Accionamientos de inversores conmutados por la carga	389
15-6	Cicloconvertidores	391

<i>Resumen</i>	391
<i>Problemas</i>	393
<i>Referencias</i>	393

PARTE 5 OTRAS APLICACIONES **395**

Capítulo 16 Aplicaciones residenciales e industriales **397**

16-1	Introducción	397
16-2	Aplicaciones residenciales	397
16-3	Aplicaciones industriales	400
	<i>Resumen</i>	404
	<i>Problemas</i>	404
	<i>Referencias</i>	404

Capítulo 17 Aplicaciones de los sistemas de suministro de energía **405**

17-1	Introducción	405
17-2	Transmisión de CC en altas tensiones	405
17-3	Compensadores VAR estáticos	414
17-4	Interconexión de fuentes de energía renovables y sistemas de almacenamiento de energía al sistema de suministro de energía	418
17-5	Filtros activos	421
	<i>Resumen</i>	422
	<i>Problemas</i>	422
	<i>Referencias</i>	423

Capítulo 18 Optimización de la interfaz de los sistemas de suministro de energía con sistemas de electrónica de potencia **425**

18-1	Introducción	425
18-2	Generación de armónicos de la corriente	426
18-3	Armónicos de corriente y factor de potencia	427
18-4	Normas de armónicos y prácticas recomendadas	427
18-5	Necesidad de mejores interfaces con los sistemas de suministro de energía	429
18-6	Interfaz monofásica mejorada con los sistemas de suministro de energía	429
18-7	Interfaz trifásica mejorada de los sistemas de suministro de energía	438
18-8	Interferencia electromagnética	439
	<i>Resumen</i>	442
	<i>Problemas</i>	442
	<i>Referencias</i>	442

PARTE 6 DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES **445**

Capítulo 19 Física básica de semiconductores **447**

19-1	Introducción	447
19-2	Procesos de conducción en semiconductores	447
19-3	Uniones <i>pn</i>	452
19-4	Descripción del control de carga de la operación de uniones <i>pn</i>	456
19-5	Ruptura de avalancha	458
	<i>Resumen</i>	459
	<i>Problemas</i>	460
	<i>Referencias</i>	461

Capítulo 20	Diodos de potencia	462
20-1	Introducción	462
20-2	Estructura básica y características $I-V$	462
20-3	Consideraciones sobre la tensión de ruptura	463
20-4	Pérdidas en estado activo	467
20-5	Características de conmutación	471
20-6	Diodos de Schottky	475
	<i>Resumen</i>	478
	<i>Problemas</i>	479
	<i>Referencias</i>	480
Capítulo 21	Transistores de unión bipolar	481
21-1	Introducción	481
21-2	Estructuras verticales de transistores de potencia	481
21-3	Características $I-V$	482
21-4	Física de la operación BJT	484
21-5	Características de conmutación	489
21-6	Tensiones de ruptura	495
21-7	Ruptura secundaria	496
21-8	Pérdidas en estado activo	497
21-9	Áreas de operación segura	498
	<i>Resumen</i>	500
	<i>Problemas</i>	500
	<i>Referencias</i>	501
Capítulo 22	MOSFET de potencia	502
22-1	Introducción	502
22-2	Estructura básica	502
22-3	Características $I-V$	505
22-4	Física de operación del dispositivo	506
22-5	Características de conmutación	510
22-6	Limitaciones operativas y áreas de operación segura	515
	<i>Resumen</i>	521
	<i>Problemas</i>	521
	<i>Referencias</i>	522
Capítulo 23	Tiristores	523
23-1	Introducción	523
23-2	Estructura básica	523
23-3	Características $I-V$	523
23-4	Física de operación del dispositivo	525
23-5	Características de conmutación	529
23-6	Métodos para mejorar especificaciones de dI/dt y dV/dt	533
	<i>Resumen</i>	534
	<i>Problemas</i>	535
	<i>Referencias</i>	536
Capítulo 24	Tiristores de desconexión de compuerta	537
24-1	Introducción	537
24-2	Estructura básica y características $I-V$	537
24-3	Física de operación de la desconexión	538
24-4	Características de conmutación del GTO	540

24-5	Protección del GTO contra sobrecorriente	545	
	<i>Resumen</i>	546	
	<i>Problemas</i>	547	
	<i>Referencias</i>	547	
Capítulo 25 Transistores bipolares de compuerta aislada			548
25-1	Introducción	548	
25-2	Estructura básica	548	
25-3	Características <i>I-V</i>	549	
25-4	Física de operación del dispositivo	550	
25-5	El latchup en IGBT	553	
25-6	Características de conmutación	555	
25-7	Límites de dispositivos y AOS	557	
	<i>Resumen</i>	559	
	<i>Problemas</i>	559	
	<i>Referencias</i>	560	
Capítulo 26 Dispositivos y circuitos emergentes			561
26-1	Introducción	561	
26-2	Transistores de potencia de unión de efecto de cambio	561	
26-3	Tiristor controlado por el campo	565	
26-4	Dispositivos basados en JFET y otros dispositivos de potencia	567	
26-5	Tiristores controlados por MOS	568	
26-6	Circuitos integrados de potencia	573	
26-7	Nuevos materiales semiconductores para dispositivos de potencia	578	
	<i>Resumen</i>	581	
	<i>Problemas</i>	581	
	<i>Referencias</i>	582	
PARTE 7 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DEL DISEÑO DE CONVERTIDORES			583
Capítulo 27 Circuitos amortiguadores			585
27-1	Función y tipos de circuitos de amortiguadores	585	
27-2	Amortiguadores de diodos	586	
27-3	Circuitos amortiguadores para tiristores	592	
27-4	Necesidad de amortiguadores con transistores	594	
27-5	Amortiguador de apagado	596	
27-6	Amortiguador de sobretensión	600	
27-7	Amortiguador de encendido	601	
27-8	Amortiguadores para configuraciones de circuitos de puentes	602	
27-9	Consideraciones de amortiguadores GTO	605	
	<i>Resumen</i>	605	
	<i>Problemas</i>	606	
	<i>Referencias</i>	607	
Capítulo 28 Circuitos excitadores de puerta y base			608
28-1	Consideraciones preliminares de diseño	608	
28-2	Circuitos excitadores con acoplamiento de CC	609	
28-3	Circuitos excitadores eléctricamente aislados	614	
28-4	Circuitos excitadores conectados en cascada	620	
28-5	Circuitos excitadores de tiristores	621	
28-6	Protección de dispositivos de potencia en circuitos excitadores	626	

28-7	Consideraciones de disposición de circuitos	630	
	<i>Resumen</i>	635	
	<i>Problemas</i>	636	
	<i>Referencias</i>	636	
 Capítulo 29 Control de la temperatura de componentes y disipadores de calor			638
29-1	Control de las temperaturas de dispositivos semiconductores	638	
29-2	Transmisión térmica por conducción	639	
29-3	Disipadores de calor	644	
29-4	Transmisión térmica por radiación y convección	645	
	<i>Resumen</i>	648	
	<i>Problemas</i>	649	
	<i>Referencias</i>	649	
 Capítulo 30 Diseño de componentes magnéticos			650
30-1	Materiales y núcleos magnéticos	650	
30-2	Devanados de cobre	656	
30-3	Consideraciones térmicas	659	
30-4	Análisis del diseño específico de un inductor	660	
30-5	Procedimientos de diseño de inductores	663	
30-6	Análisis del diseño de un transformador específico	670	
30-7	Corrientes parásitas	673	
30-8	Inductancia de dispersión del transformador	680	
30-9	Procedimiento de diseño de transformadores	681	
30-10	Comparación de tamaños de transformadores e inductores	688	
	<i>Resumen</i>	689	
	<i>Problemas</i>	689	
	<i>Referencias</i>	692	
 Índice			693