

Inhalt

1 Einführung	1
2 Leistungs-Halbleiterbauelemente	2
2.1 Einführung in die Physik der Halbleiter.....	2
2.1.1 Eigenleitung	3
2.1.2 Störstellenleitung	4
2.1.3 Der PN-Übergang	5
2.1.3.1 Sperrrichtung	6
2.1.3.2 Durchlassrichtung	7
2.2 Dioden	7
2.2.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	7
2.2.2 Strom-Spannungs-Kennlinie.....	8
2.2.3 Schaltverhalten von Dioden.....	9
2.2.3.1 Einschaltvorgang	10
2.2.3.2 Ausschaltvorgang	11
2.3 Bipolare Leistungstransistoren.....	12
2.3.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	12
2.3.2 Der Transistor als Schalter.....	14
2.3.2.1 Einschaltvorgang	15
2.3.2.2 Ausschaltvorgang	16
2.3.3 Transistoren in Darlington-Schaltung.....	18
2.4 Feldeffekt-Leistungstransistoren.....	19
2.4.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	19
2.4.2 Schaltverhalten von Leistungs-Feldeffekttransistoren.....	22
2.5 Bipolare Transistoren mit isoliertem Steueranschluss (IGBTs).....	24
2.5.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	24
2.5.2 Schaltverhalten.....	26
2.6 Thyristoren	28
2.6.1 Aufbau und Wirkungsweise.....	28
2.6.2 Schaltverhalten von Thyristoren	30

2.6.2.1	Kritische Stromsteilheit	30
2.6.2.2	Kritische Spannungssteilheit	31
2.6.2.3	Einschaltvorgang	32
2.6.2.4	Ausschaltvorgang	33
2.6.3	Zündung von Thyristoren – Phasenanschnittsteuerung	34
2.6.4	Thyristorarten.....	37
2.6.4.1	Zweirichtungs-Thyristoren (Triac, Diac).....	38
2.6.4.2	Asymmetrisch sperrender Thyristor (ASCR)	39
2.6.4.3	Rückwärts leitender Thyristor	40
2.6.4.4	Lichtgezündeter Thyristor.....	40
2.6.5	Abschaltbarer Thyristor (GTO-Thyristor)	41
2.6.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	41
2.6.5.2	Schaltverhalten	43
2.6.5.3	IGCT-Thyristor.....	46
2.6.6	MOS-gesteuerter Thyristor (MCT).....	46
2.7	Intelligente Leistungshalbleiter (Smart-Power-Elemente).....	48
2.8	Gehäuseformen von Leistungshalbleitern.....	49
2.9	Thermisches Verhalten von Leistungshalbleitern	51
2.9.1	Entstehung der Verlustleistungen	51
2.9.1.1	Ermittlung der Durchlassverluste	52
2.9.1.2	Ermittlung der Schaltverluste	55
2.9.2	Abführung der Verlustleistungen – thermisches Ersatzschaltbild.....	57
2.9.3	Kühlung	61
2.10	Schutz von Leistungshalbleitern	62
2.10.1	Überstromschutz	62
2.10.2	Überspannungsschutz	63
2.11	Reihen- und Parallelschaltung von Leistungshalbleitern	64
2.11.1	Reihenschaltung.....	65
2.11.2	Parallelschaltung.....	65
3	Netzgeführte Stromrichter.....	67
3.1	Zweipuls-Mittelpunktschaltung	68
3.1.1	Ohmsche Belastung	68
3.1.2	Glättung der Gleichspannung durch einen Kondensator	70
3.1.3	Glättung des Gleichstromes durch eine Drosselspule.....	72
3.1.4	Bauleistung des Transformators	74

3.1.5	Die gesteuerte Schaltung	78
3.1.6	Wechselrichterbetrieb	88
3.1.7	Kommutierung	92
3.1.8	Gleichspannungsänderung bei Belastung	98
3.1.9	Steuerwinkelgrenzwert beim Wechselrichterbetrieb	102
3.1.10	Steuerblindleistung und Verzerrungsleistung	105
3.1.11	Kommutierungsblindleistung	111
3.1.12	Bemessung der Induktivität der Glättungsdrossel	113
3.1.13	Lückbetrieb	117
3.2	Zweipuls-Brückenschaltung	123
3.2.1	Vollgesteuerte Schaltung	123
3.2.2	Halbgesteuerte Schaltung	129
3.3	Dreipuls-Mittelpunktschaltung	135
3.3.1	Aufbau und Betrieb bei Vollaussteuerung	135
3.3.2	Betrieb bei Teilaussteuerung	139
3.3.3	Berücksichtigung der Kommutierungsinduktivitäten	143
3.4	Sechspuls-Brückenschaltung	145
3.4.1	Aufbau und Funktion	145
3.4.2	Die halbgesteuerte Sechspuls-Brückenschaltung	151
3.5	Zwölfpuls-Schaltungen	156
3.6	Schaltungen mit verminderter Blindleistungsaufnahme	159
3.6.1	Schaltungen mit Freilaufdiode	160
3.6.2	Folgesteuerung	161
3.7	Netzurückwirkungen	163
3.7.1	Grundschwingungs-Blindleistung	163
3.7.2	Stromüberschwingungen	164
3.7.3	Spannungsüberschwingungen	167
4	Wechsel- und Drehstromschalter und -steller	170
4.1	Wechsel- und Drehstromschalter	170
4.1.1	Wechselstromschalter	170
4.1.2	Drehstromschalter	173
4.2	Wechsel- und Drehstromsteller	174
4.2.1	Wechselstromsteller mit Phasenanschnittsteuerung	174
4.2.2	Blindleistungsverhalten des phasenanschnittgesteuerten Wechselstromstellers	178
4.2.3	Phasenabschnittsteuerung, Sektorsteuerung	181

4.2.4	Wechselstromsteller mit Schwingungspaketsteuerung	182
4.2.5	Drehstromsteller.....	184
5	Selbstgeführte Stromrichter	188
5.1	Thyristor-Löschung durch Anwendung von Löschsaltungen	188
5.2	Gleichstromsteller	192
5.2.1	Tiefsetz-Gleichstromsteller.....	192
5.2.2	Hochsetz-Gleichstromsteller.....	197
5.2.3	Hochsetz-Tiefsetz-Gleichstromsteller	200
5.2.4	Umkehrung der Energierichtung.....	203
5.2.5	Vierquadranten-Gleichstromsteller.....	204
5.3	Selbstgeführte Wechselrichter.....	209
5.3.1	Spannungs-Wechselrichter	209
5.3.1.1	Einphasiger Spannungs-Wechselrichter	210
5.3.1.2	Dreiphasiger Spannungs-Wechselrichter.....	213
5.3.1.3	Einphasiger Spannungs-Pulswechselrichter	218
5.3.1.4	Dreiphasiger Spannungs-Pulswechselrichter.....	221
5.3.1.5	Dreiphasiger Spannungs-Wechselrichter mit Drei- punktverhalten	225
5.3.2	Strom-Wechselrichter	226
5.3.2.1	Dreiphasiger Strom-Wechselrichter mit abschalt- baren Leistungshalbleitern.....	227
5.3.2.2	Dreiphasiger Strom-Wechselrichter mit konventi- onellen Thyristoren	229
5.3.2.3	Strom-Pulswechselrichter	232
5.4	Netzparallel betriebene selbstgeführte Stromrichter	234
5.4.1	Wechselstrom-Gleichstrom-Wandler mit sinusförmigem Eingangsstrom.....	235
5.4.2	Wechselstrom-Gleichstrom- und Gleichstrom- Wechselstrom-Wandler mit sinusförmigem Netzstrom.....	238
5.4.2.1	Einphasiger Wechselstrom-Gleichstrom- und Gleichstrom-Wechselstrom-Wandler mit sinus- förmigem Netzstrom	238
5.4.2.2	Dreiphasiger Wechselstrom-Gleichstrom- und Gleichstrom-Wechselstrom-Wandler mit sinus- förmigem Netzstrom	242
5.4.3	Blindleistungsstromrichter	245
5.4.4	Netzspannungsstabilisierung	248

6 Lastgeführte Wechselrichter	250
6.1 Parallelschwingkreis-Wechselrichter	250
6.2 Reihenschwingkreis-Wechselrichter	254
7 Umrichter	258
7.1 Zwischenkreis-Wechselstromumrichter	258
7.1.1 Wechselstromumrichter mit Gleichspannungs- Zwischenkreis (U-Umrichter)	259
7.1.2 Wechselstromumrichter mit Gleichstrom-Zwischenkreis (I-Umrichter)	261
7.2 Netzgeführte Direktumrichter	263
7.3 Zwischenkreis-Gleichstromumrichter	267
7.3.1 Durchflusswandler	267
7.3.2 Sperrwandler	274
8 Stromrichteranwendungen in der elektrischen Antriebstechnik	278
8.1 Gleichstromantriebe	278
8.1.1 Schaltungsaufbau und Betriebsverhalten der fremderreg- ten, stromrichtergespeisten Gleichstrommaschine	278
8.1.2 Drehrichtungsumkehr mit einem Umkehrstromrichter	284
8.1.3 Drehzahl geregelter Gleichstromantrieb mit fremderregter Gleichstrommaschine	286
8.1.4 Drehzahlverstellung und Drehrichtungsumkehr mit einem Vierquadranten-Gleichstromsteller	289
8.1.5 Gleichstromantrieb mit Reihenschlussmaschine	293
8.2 Reihenschlussmotor mit Wechselstromsteller	295
8.3 Drehstromantriebe	296
8.3.1 Aufbau und Arbeitsweise von Drehstrommotoren	296
8.3.1.1 Drehstrom-Synchronmotor	297
8.3.1.2 Drehstrom-Asynchronmotor	298
8.3.1.3 Drehstrom-Reluktanzmotor	300
8.3.2 Drehzahlverstellung durch Umrichter mit Spannungszwi- schenkreis (U-Umrichter)	300
8.3.2.1 Kurvenform der erzeugten Spannungen und Raumzeiger-Ortskurve des magnetischen Dreh- flusses	301
8.3.2.2 Spannungs-Frequenz-Kennlinien und Kennlinien- Steuerung	306

8.3.2.3	Feldorientierte Regelung	308
8.3.2.4	Bremsbetrieb.....	311
8.3.2.5	Schlupfkompensation	313
8.3.2.6	Überstromschutz	313
8.3.3	Drehzahlverstellung durch Umrichter mit Stromzwischenkreis (I-Umrichter).....	313
8.3.4	Stromrichtermotor.....	315
8.3.5	Drehzahlverstellung durch Direktumrichter	318
8.3.6	Drehzahlverstellung durch Steuerung der Ständerspannung.....	319
8.3.7	Die untersynchrone Stromrichter­kaskade	321
8.3.8	Asynchronmaschine mit gepulstem Läuferwiderstand	323
8.3.9	Doppelt gespeiste Asynchronmaschine mit Spannungs­zwischenkreis-Umrichter	325
8.4	Elektronisch kommutierte Maschine (Elektronikmotor).....	327
8.4.1	Aufbau und Arbeitsweise.....	327
8.4.2	Bestromung der Wicklungen	329
8.4.3	Betriebsverhalten	329
8.4.4	Gebersysteme.....	330
8.4.4.1	Inkrementalgeber	331
8.4.4.2	Resolver	332
8.5	Schrittmotoren	333
8.5.1	Aufbau und Arbeitsweise.....	333
8.5.2	Vollschrittbetrieb, Halbschrittbetrieb, Mikroschrittbetrieb	334
8.5.3	Unipolare und bipolare Ansteuerung.....	335
8.5.4	Strangzahlen und Polpaarzahlen von Schrittmotoren	336
8.5.5	Ausführungsformen (Bauformen).....	337
8.5.6	Bestromung der Wicklungen	339
8.5.6.1	Blockbestromung	340
8.5.6.2	Sinusbestromung.....	343
	Verzeichnis der wichtigsten Symbole	346
	Literatur.....	350
	Sachverzeichnis.....	351