

Inhalt

1 Einführung und Definitionen

1.1	Entwicklungsgeschichte	17
1.2	Grundfunktionen von Stromrichtern	21

2 Systemkomponenten

2.1	Lineare Komponenten	23
2.2	Halbleiterschalter	24
2.3	Netzwerksimulation	26
2.4	Nichtlineare Komponenten	27
2.5	Simulationsprogramme für die Leistungselektronik	28
2.5.1	Beispiele für Simulationsprogramme	29
2.5.1.1	NETASIM	29
2.5.1.2	NETOMAC	29
2.5.1.3	PSPICE	30
2.5.1.4	SABER	30
2.5.2	Vergleich der Eigenschaften der Simulationsprogramme	31

3 Leistungshalbleiter

3.1	Halbleiterdioden	38
3.1.1	Kennlinie	38
3.1.2	Schaltverhalten	39
3.2	Thyristoren	39
3.2.1	Kennlinie	40
3.2.2	Schaltverhalten	41
3.2.3	Thyristordaten	43
3.2.4	Thyristorarten	44
3.2.4.1	Zweirichtungs-Thyristortriode (TRIAC)	45
3.2.4.2	Asymmetrisch sperrender Thyristor (ASCR)	47
3.2.4.3	Rückwärtsleitender Thyristor (RLT)	47
3.2.4.4	Gate-Assisted-Turn-Off Thyristor (GATT)	47
3.2.4.5	Abschaltthyristor (GTO)	48
3.2.4.6	Lichtgesteuerter Thyristor	49
3.2.4.7	Static-Induction-Thyristor (SITh)	49
3.2.4.8	MOS-Controlled Thyristor (MCT)	50
3.3	Leistungstransistoren	53
3.3.1	Bipolare Leistungstransistoren	54
3.3.1.1	Aufbau	54
3.3.1.2	Grundschaltungen	55
3.3.1.3	Kennlinienfeld	56
3.3.1.4	Schaltverhalten	56

3.3.2	MOS-Leistungstransistoren	57
3.3.2.1	Aufbau	58
3.3.2.2	Kennlinienfeld	58
3.3.2.3	Ansteuerung und Schaltverhalten	59
3.3.3	Static-Induction-Transistoren (SIT)	59
3.3.4	Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT)	60
3.3.4.1	Aufbau	60
3.3.4.2	Kennlinienfeld	62
3.3.4.3	Ansteuerung und Schaltverhalten	63
3.4	Leistungsmodule	66
3.4.1	Modulaufbau	66
3.4.2	Intelligentes Leistungsmodul	67
3.4.3	Hochvolt-IC	68

4 Beschaltung, Zündung, Kühlung und Schutzeinrichtungen

4.1	Beschaltung	69
4.1.1	TSE-Beschaltung	70
4.1.2	du/dt-Begrenzung	71
4.1.3	Transformator- und Lastbeschaltung	72
4.1.4	Reihenschaltung	73
4.1.5	Parallelschaltung	73
4.1.6	Beschaltung bei GTO-Thyristoren	75
4.2	Zündung	76
4.2.1	Zündbereich	76
4.2.2	Steuerimpuls	78
4.2.3	Steuerimpulsgenerator	78
4.2.3.1	Steuerimpulsgenerator für Thyristor	78
4.2.3.2	Steuerimpulsgenerator für GTO	79
4.2.3.3	Steuerimpulsgeneratoren für bipolare und MOS-Leistungstransistoren	81
4.2.3.4	Steuerleistung	81
4.2.4	Steuersatz	83
4.3	Kühlung	84
4.3.1	Betriebs- und Grenztemperaturen	85
4.3.2	Verluste	85
4.3.3	Thermische Ersatzschaltung	87
4.3.4	Kühlkörper	89
4.3.5	Kühlarten	90
4.4	Schutzeinrichtungen	93
4.4.1	Überspannungsschutz	93
4.4.2	Überstromschutz	95

5 Schaltvorgänge und Kommutierung

5.1	Schaltbedingungen in elektrischen Netzwerken	98
5.1.1	Schalten einer Induktivität	99
5.1.2	Schalten eines Kondensators	100
5.2	Definition der Kommutierung	101
5.3	Natürliche Kommutierung	102
5.4	Zwangskommutierung	103
5.5	Stromrichtertypen	104

6 Halbleiterschalter und -steller

6.1	Halbleiterschalter für Wechsel- und Drehstrom	107
6.1.1	Halbleiterschalter	108
6.1.2	Schalten von Wechselstrom	111
6.1.3	Schalten von Drehstrom	113
6.1.4	Schalten von Induktivitäten und Kondensatoren	117
6.2	Halbleitersteller für Wechsel- und Drehstrom	118
6.2.1	Stellen von Wechselstrom	119
6.2.2	Stellen von Drehstrom	121
6.2.3	Blind- und Verzerrungsleistung	122
6.2.4	Steuerverfahren	123

7 Fremdgeführte Stromrichter

7.1	Netzgeführte Gleich- und Wechselrichter	126
7.1.1	Gleichrichterbetrieb	126
7.1.2	Wechselrichterbetrieb	129
7.1.3	Netzkommütierung	130
7.1.4	Belastungskennlinie	136
7.1.5	Stromrichterschaltungen	139
7.1.6	Stromrichtertransformator	151
7.1.7	Blindleistung	157
7.1.8	Halbgesteuerte Schaltungen	163
7.1.9	Oberschwingungen	166
7.2	Netzgeführte Umrichter	176
7.2.1	Umkehrstromrichter	176
7.2.2	Direktumrichter	181
7.3	Lastgeführte Wechselrichter	184
7.3.1	Parallelschwingkreis-Wechselrichter	185
7.3.2	Reihenschwingkreis-Wechselrichter	186
7.3.3	Motorgeführte Wechselrichter	188

8 Selbstgeführte Stromrichter

8.1	Halbleiterschalter für Gleichstrom	191
8.1.1	Einschalten eines Gleichstromkreises	191

8.1.2	Ausschalten eines Gleichstromkreises	192
8.2	Halbleitersteller für Gleichstrom	195
8.2.1	Strom- und Spannungsverlauf	195
8.2.2	Transformationsgleichungen	196
8.2.3	Energierücklieferung und Mehrquadrantenbetrieb	197
8.2.4	Kondensatorlöschschaltungen	200
8.2.5	Steuerverfahren	201
8.2.6	Berechnung von Glättungsinduktivität und -kondensator ...	202
8.2.7	Pulsgesteuerter Widerstand	203
8.2.8	Berechnung einer Kondensatorlöschung	205
8.2.9	Aufstellung einer Energiebilanz	207
8.3	Selbstgeführte Wechselrichter	209
8.3.1	Einphasige selbstgeführte Wechselrichter	209
8.3.2	Mehrphasige selbstgeführte Wechselrichter	211
8.3.3	Spannungssteuerung	213
8.3.4	Pulswechselrichter	216
8.3.5	Stromrichter mit Sektorsteuerung	217
8.4	Blindleistungsstromrichter	222
9	Netze für Stromrichter	
9.1	Eigenschaften elektrischer Netze	225
9.2	Gleichstromnetze	228
9.3	Wechsel- und Drehstromnetze	229
10	Belastungen für Stromrichter	
10.1	Widerstand, Induktivität und Kapazität als Last	238
10.2	Innenwiderstand des Stromrichters	241
10.3	Motorlast	242
10.4	Batterielast	243
10.5	Verzerrende Last	244
10.6	Betriebsarten und Belastungsklassen	244
10.7	Betriebsbedingungen	247
11	Energetische Verhältnisse	
11.1	Energiequellen	249
11.2	Zeitlicher Verlauf der Leistung	250
11.3	Stromrichtertypen	253
11.3.1	Stromrichter mit wechselstromseitiger Kommutierung	253
11.3.2	Stromrichter mit gleichstromseitiger Kommutierung	256
11.4	Kupplung von Netzen	258
11.4.1	Kupplung von Wechselstrom- und Gleichstromnetz	259
11.4.2	Kupplung von Drehstrom- und Gleichstromnetz	262
11.5	Pulszahl	265

11.6	Pulsfrequenz	267
11.6.1	Pulsstromrichter mit gleichstromseitiger Kommutierung	268
11.6.2	Pulsstromrichter mit wechselstromseitiger Kommutierung ...	272
11.7	Blindstromkompensation und Symmetrierung von Schiefast	274
11.7.1	Blindstromkompensation	276
11.7.2	Symmetrierung von Schiefast	277
11.8	Verluste und Wirkungsgrad	279
12	Regelungstechnische Verhältnisse	
12.1	Begriffe und Benennungen	284
12.1.1	Steuerung	284
12.1.2	Regelung	285
12.2	Stromrichter als Stellglied	286
12.2.1	Steuerkette mit Stromrichter als Stellglied	287
12.2.2	Regelkreis mit Stromrichter als Stellglied	288
12.3	Regelkreisglieder	288
12.3.1	Lineare Regelkreisglieder	289
12.3.2	Totzeitglied	291
12.3.3	Kennlinienglied	291
12.3.4	Strukturbild	292
12.4	Interne Regelungen	293
13	Stromrichteranwendungen	
13.1	Anwendungsschwerpunkte	294
13.1.1	Industrieantriebe	294
13.1.2	Energieerzeugung	300
13.1.3	Energieverteilung	301
13.1.4	Elektrowärme	303
13.1.5	Elektrochemie	305
13.1.6	Traktion	307
13.1.7	Hausgeräte	310
13.2	Leistungsbereich	311
13.2.1	Grenzdaten von Leistungshalbleitern	311
13.2.2	Netzgeführte Stromrichter	312
13.2.3	Lastgeführte Stromrichter	314
13.2.4	Selbstgeführte Stromrichter	315
13.2.5	Halbleiterschalter und -steller	316
13.3	Frequenzbereich	317
13.4	Entwicklungstrends	320
14	Prüfungen	324
	Literaturverzeichnis	327
	Sachverzeichnis	354