

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

3 Leistungshalbleiter

3.1 Halbleiterdioden	32
3.1.1 Kennlinie	32
3.1.2 Schaltverhalten	33
3.2 Thyristoren	33
3.2.1 Kennlinie	34
3.2.2 Schaltverhalten	35
3.2.3 Thyristordaten	37
3.2.4 Thyristorarten	38
3.2.4.1 Zweirichtungs-Thyristortriode (TRIAC)	39
3.2.4.2 Asymmetrisch sperrender Thyristor (ASCR)	41
3.2.4.3 Rückwärtsleitender Thyristor (RLT)	41
3.2.4.4 Gate-Assisted-Turn-Off Thyristor (GATT)	41
3.2.4.5 Abschalthyristor (GTO)	42
3.2.4.6 Lichtgesteuerter Thyristor	43
3.2.4.7 Static-Induction-Thyristor (SITH)	43
3.3 Leistungstransistoren	44
3.3.1 Bipolare Leistungstransistoren	46
3.3.1.1 Aufbau	47
3.3.1.2 Grundschaltungen	47
3.3.1.3 Kennlinienfeld	48
3.3.1.4 Schaltverhalten	49
3.3.2 MOS-Leistungstransistoren	49
3.3.2.1 Aufbau	49
3.3.2.2 Kennlinienfeld	51
3.3.2.3 Ansteuerung und Schaltverhalten	51
3.3.3 Static-Induction-Transistoren (SIT)	51
3.3.4 Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT)	52
3.3.4.1 Aufbau	52
3.3.4.2 Kennlinienfeld	54
3.3.4.3 Ansteuerung und Schaltverhalten	54

6 Inhalt

4 Beschaltung, Zündung, Kühlung und Schutzeinrichtungen

4.1	Beschaltung	59
4.1.1	TSE-Beschaltung	60
4.1.2	du/dt-Begrenzung	61
4.1.3	Transformator- und Lastbeschaltung	62
4.1.4	Reihenschaltung	63
4.1.5	Parallelschaltung	63
4.1.6	Beschaltung bei GTO-Thyristoren	65
4.2	Zündung	66
4.2.1	Zündbereich	66
4.2.2	Steuerimpuls	68
4.2.3	Steuerimpulsgenerator	68
4.2.3.1	Steuerimpulsgenerator für Thyristor	68
4.2.3.2	Steuerimpulsgenerator für GTO	69
4.2.3.3	Steuerimpulsgeneratoren für bipolare und MOS-Leistungstransistoren	71
4.2.3.4	Steuerleistung	71
4.2.4	Steuerersatz	73
4.3	Kühlung	74
4.3.1	Betriebs- und Grenztemperaturen	75
4.3.2	Verluste	75
4.3.3	Thermische Ersatzschaltung	77
4.3.4	Kühlkörper	79
4.3.5	Kühlarten	80
4.4	Schutzeinrichtungen	83
4.4.1	Überspannungsschutz	83
4.4.2	Überstromschutz	85

5 Schaltvorgänge und Kommutierung

5.1	Schaltbedingungen in elektrischen Netzwerken	88
5.1.1	Schalten einer Induktivität	89
5.1.2	Schalten eines Kondensators	90
5.2	Definition der Kommutierung	91
5.3	Natürliche Kommutierung	92
5.4	Zwangskommutierung	93
5.5	Stromrichtertypen	94

6 Halbleiterschalter und -steller

6.1	Halbleiterschalter für Wechsel- und Drehstrom	97
6.1.1	Halbleiterschalter	98
6.1.2	Schalten von Wechselstrom	101
6.1.3	Schalten von Drehstrom	103
6.1.4	Schalten von Induktivitäten und Kondensatoren	107

6.2 Halbleitersteller für Wechsel- und Drehstrom	108
6.2.1 Stellen von Wechselstrom	109
6.2.2 Stellen von Drehstrom	111
6.2.3 Blind- und Verzerrungsleistung	112
6.2.4 Steuerverfahren	113
7 Fremdgeführte Stromrichter	
7.1 Netzgeführte Gleich- und Wechselrichter	116
7.1.1 Gleichrichterbetrieb	116
7.1.2 Wechselrichterbetrieb	119
7.1.3 Netzkommutierung	120
7.1.4 Belastungskennlinie	126
7.1.5 Stromrichterschaltungen	129
7.1.6 Stromrichtertransformator	141
7.1.7 Blindleistung	147
7.1.8 Halbgesteuerte Schaltungen	153
7.1.9 Oberschwingungen	156
7.2 Netzgeführte Umrichter	166
7.2.1 Umkehrstromrichter	166
7.2.2 Direktumrichter	171
7.3 Lastgeführte Wechselrichter	174
7.3.1 Parallelschwingkreis-Wechselrichter	175
7.3.2 Reihenschwingkreis-Wechselrichter	176
7.3.3 Motorgeführte Wechselrichter	178
8 Selbstgeführte Stromrichter	
8.1 Halbleiterschalter für Gleichstrom	181
8.1.1 Einschalten eines Gleichstromkreises	181
8.1.2 Ausschalten eines Gleichstromkreises	182
8.2 Halbleitersteller für Gleichstrom	185
8.2.1 Strom- und Spannungsverlauf	185
8.2.2 Transformationsgleichungen	186
8.2.3 Energierücklieferung und Mehrquadrantenbetrieb	187
8.2.4 Kondensatorlöschschaltungen	190
8.2.5 Steuerverfahren	191
8.2.6 Berechnung von Glättungsinduktivität und -kondensator	192
8.2.7 Pulsgesteuerter Widerstand	193
8.2.8 Berechnung einer Kondensatorlöschung	195
8.2.9 Aufstellung einer Energiebilanz	197
8.3 Selbstgeführte Wechselrichter	199
8.3.1 Einphasige selbstgeführte Wechselrichter	199
8.3.2 Mehrphasige selbstgeführte Wechselrichter	201
8.3.3 Spannungssteuerung	203
8.3.4 Pulswechselrichter	206

8 Inhalt

8.3.5 Stromrichter mit Sektorsteuerung	207
8.4 Blindleistungsstromrichter	212
9 Netze für Stromrichter	
9.1 Eigenschaften elektrischer Netze	215
9.2 Gleichstromnetze	218
9.3 Wechsel- und Drehstromnetze	219
10 Belastungen für Stromrichter	
10.1 Widerstand, Induktivität und Kapazität als Last	228
10.2 Innenwiderstand des Stromrichters	231
10.3 Motorlast	232
10.4 Batterielast	233
10.5 Verzerrende Last	234
10.6 Betriebsarten und Belastungsklassen	234
10.7 Betriebsbedingungen	237
11 Energetische Verhältnisse	
11.1 Energiequellen	239
11.2 Zeitlicher Verlauf der Leistung	240
11.3 Stromrichtertypen	243
11.3.1 Stromrichter mit wechselstromseitiger Kommutierung	243
11.3.2 Stromrichter mit gleichstromseitiger Kommutierung	246
11.4 Kupplung von Netzen	248
11.4.1 Kupplung von Wechselstrom- und Gleichstromnetz	249
11.4.2 Kupplung von Drehstrom- und Gleichstromnetz	252
11.5 Pulszahl	255
11.6 Pulsfrequenz	257
11.6.1 Pulsstromrichter mit gleichstromseitiger Kommutierung	258
11.6.2 Pulsstromrichter mit wechselstromseitiger Kommutierung	262
11.7 Blindstromkompensation und Symmetrierung von Schieflast	264
11.7.1 Blindstromkompensation	266
11.7.2 Symmetrierung von Schieflast	267
11.8 Verluste und Wirkungsgrad	269
12 Regelungstechnische Verhältnisse	
12.1 Begriffe und Benennungen	274
12.1.1 Steuerung	274
12.1.2 Regelung	275
12.2 Stromrichter als Stellglied	276
12.2.1 Steuerkette mit Stromrichter als Stellglied	277
12.2.2 Regelkreis mit Stromrichter als Stellglied	278

12.3 Regelkreisglieder	278
12.3.1 Lineare Regelkreisglieder	279
12.3.2 Totzeitglied	281
12.3.3 Kennlinienglied	281
12.3.4 Strukturbild	282
12.4 Interne Regelungen	283
13 Stromrichteranwendungen	
13.1 Anwendungsschwerpunkte	284
13.1.1 Industrieantriebe	284
13.1.2 Energieerzeugung	290
13.1.3 Energieverteilung	291
13.1.4 Elektrowärme	293
13.1.5 Elektrochemie	295
13.1.6 Traktion	297
13.1.7 Hausgeräte	300
13.2 Leistungsbereich	301
13.2.1 Grenzdaten von Leistungshalbleitern	301
13.2.2 Netzgeführte Stromrichter	302
13.2.3 Lastgeführte Stromrichter	304
13.2.4 Selbstgeführte Stromrichter	305
13.2.5 Halbleiterschalter und -steller	306
13.3 Frequenzbereich	307
14 Prüfungen	311
Literaturverzeichnis	314
Sachverzeichnis	339