

Manfred Meyer

Leistungs— elektronik

Einführung
Grundlagen
Überblick

Mit 324 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona 1990

Inhalt

Formelzeichen	XIII
Indizes	XVII
Schaltplanzeichen	XIX

Teil 1 Einführung 1

1	Definition des Begriffs Leistungselektronik	1
2	Begriffe der Stromrichtertechnik	3
2.1	Aufbau und Funktionsarten	3
2.2	Führung und Taktgebung	7

Teil 2 Stromrichterventile und Ventilbauelemente 13

3	Nicht steuerbare Stromrichterventile	14
4	Steuerbare Stromrichterventile	18
4.1	Über den Steueranschluß nur einschaltbare Stromrichterventile	18
4.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	18
4.1.2	Statische Eigenschaften	19
4.1.3	Dynamische Eigenschaften	21
4.1.3.1	Einschaltverhalten	21
4.1.3.2	Ausschaltverhalten	24
4.1.3.3	Kritische Spannungsteilheit $(du/dt)_{cr}$	26
4.1.4	Sonderbauformen	27
4.1.4.1	Thyristor mit asymmetrischen Sperrkennlinien	27
4.1.4.2	Rückwärts leitender Thyristor	28
4.1.4.3	Zweirichtungs-Thyristortriode (TRIAC)	29
4.1.4.4	Optisch ansteuerbare Thyristoren	30
4.1.5	Schaltleistung von Thyristoren	30
4.2	Über den Steueranschluß ein- und ausschaltbare Strom- richterventile	30
4.2.1	Leistungstransistoren	31
4.2.1.1	Bipolare Leistungstransistoren	31
4.2.1.2	MOS-Feldeffekt-Leistungstransistoren	36
4.2.1.3	Bipolare Leistungstransistoren mit integrierter MOSFET- Ansteuerung (IGBT)	39
4.2.2	Abschaltbare Thyristoren	41
4.2.2.1	GTO-Thyristoren	41
4.2.2.2	SI-Thyristoren und F.C. Thyristoren	44
4.3	Abschließende Bemerkungen zum Thema Ventilbauelemente .	46

VIII Inhalt

5	Konstruktive und thermische Eigenschaften	49
5.1	Konstruktiver Aufbau	49
5.2	Thermisches Verhalten	51
6	Überstromschutz	55
7	Überspannungsschutz, Entlastungsnetzwerke	59
7.1	Schutz gegen innere Überspannungen, Entlastungsnetzwerke	59
7.2	Schutz gegen äußere Überspannungen	63

Teil 3 Stromrichtertheorie 67

8	Fremdgeführte Stromrichter	68
8.1	Netzgeführte und netzgetaktete Stromrichter mit induktiver Glättung des Gleichstromes	68
8.1.1	Idealisierte Theorie	68
8.1.1.1	Idealisierte Theorie der Dreipuls-Mittelpunktschaltung	68
	Voraussetzungen	68
	Die ideelle Gleichspannung	70
	Gesteuerter Gleich- und Wechselrichterbetrieb	72
	Stromflußwinkel und Totzeit	76
	Spannungs- und Strom-Übertragungsverhalten	78
8.1.1.2	Idealisierte Theorie der Sechspuls-Brückenschaltung	79
	Die ideelle Gleichspannung	79
	Stromrichtertransformatoren	80
	Gesteuerter Gleich- und Wechselrichterbetrieb	85
	Der netzseitige Leiterstrom	88
	Die ungeglättete Gleichspannung	90
	Der Lückbetrieb	93
	Leistung, Blindleistung und Leistungsfaktor	97
8.1.1.3	Zwölf- und höherpulsige Schaltungen	101
8.1.1.4	Abschließende Bemerkung zum Thema idealisierte Theorie des netzgeführten Stromrichters	105
8.1.2	Konventionelle Theorie	105
8.1.2.1	Konventionelle Theorie der Dreipuls-Mittelpunktschaltung	105
	Voraussetzungen	105
	Der Kommutierungsvorgang	107
	Gesteuerter Gleich- und Wechselrichterbetrieb	112
	Wechselrichtertrittgrenze und Wechselrichterkippen	115
8.1.2.2	Konventionelle Theorie der Sechspuls-Brückenschaltung	117
	Gleichspannung und induktive Gleichspannungsänderung	117
	Die Belastung des vollausgesteuerten Stromrichters vom Leerlauf bis zum Kurzschluß	120
	Oberschwingungen im Netzstrom unter Berücksichtigung des Kommutierungsvorganges und der Welligkeit des Gleichstromes	127
	Kommutierungsblindleistung	134

	Abschließende Bemerkung zum Thema konventionelle Theorie des netzgeführten Stromrichters	136
8.1.3	Stromrichter zum Betrieb in verschiedenen Quadranten der Gleichstrom-Gleichspannungsebene	136
8.1.3.1	Einquadrant-Stromrichter	137
8.1.3.2	Zweiquadranten-Stromrichter	137
8.1.3.3	Vierquadranten-Stromrichter	138
8.1.4	Wechsel- und Drehstromumrichter	140
8.1.4.1	Direktumrichter	141
8.1.4.2	Zwischenkreisumrichter: HGÜ und Kurzkupplung	148
8.1.5	Netzrückwirkungen	149
8.1.5.1	Spannungsänderungen	150
8.1.5.2	Spannungsunsymmetrien	152
8.1.5.3	Spannungsüberschwingungen	153
8.1.5.4	Spannungszwischenschwingungen (Interharmonics)	159
8.1.5.5	Verträglichkeitspegel	160
8.1.6	Ermittlung dynamischer Vorgänge	161
8.2	Netzgeführte Gleichrichter mit kapazitiver Glättung der Gleichspannung	161
8.3	Lastgeführte und lastgetaktete Stromrichter	165
8.3.1	Lastgeführte und lastgetaktete Stromrichter mit induktiver Glättung des Gleichstromes	165
8.3.1.1	Maschinengeführte Stromrichter	165
8.3.1.2	Parallelschwingkreis-Wechselrichter	167
8.3.2	Lastgeführte und lastgetaktete Stromrichter mit kapazitiver Glättung der Gleichspannung: Reihenschwingkreis-Wechselrichter	171
9	Wechselstrom- und Drehstromsteller	174
9.1.	Wechselstromsteller	175
9.1.1	Anschnittsteuerung	175
	Ohmsche Belastung	175
	Induktive Belastung	177
	Gemischt ohmsch-induktive Belastung	178
	Leistungsfaktor und Oberschwingungen	180
9.1.2	Schwingungspaketsteuerung (Vielperiodensteuerung)	183
9.2	Drehstromsteller	186
9.2.1	Schaltungsvarianten und Steuerkennlinien	186
9.2.2	Anwendungen	192
10	Selbstgeführte Stromrichter	195
10.1	Selbstgeführte und eigengetaktete Stromrichter mit kapazitiver Glättung der Gleichspannung	195
10.1.1	Idealisierte Theorie	196
10.1.1.1	Idealisierte Theorie des Einquadrant-Gleichstromstellers	196
	Voraussetzungen	196
	Ströme und Spannungen	197

Wechselanteile in Eingangsstrom und Ausgangsspannung; Welligkeit	200
Der Gleichstromsteller als steuerbarer elektrischer Energiewandler	203
Verfahren zur Steuerung der Ausgangsspannung bzw. zur Regelung des Ausgangsstroms	204
Tiefsetzsteller und Hochsetzsteller	206
10.1.1.2 Idealierte Theorie des Zweiquadranten-Gleichstromstellers	207
Gleichzeitige Taktung	208
Alternierende Taktung	216
10.1.1.3 Idealierte Theorie des Vierquadranten-Gleichstromstellers	221
10.1.1.4 Idealierte Theorie eines Brückenzeigepaares	224
Blocksteuerung	225
Pulssteuerung	225
Dreieck-Rechteckmodulation	227
Dreieck-Sinusmodulation	230
10.1.1.5 Idealierte Theorie der Wechselstrom-Brückenschaltung	234
Schwenksteuerung	235
Symmetrische und unsymmetrische Pulssteuerung	237
Unsymmetrische Dreieck-Rechteckmodulation	238
Unsymmetrische Dreieck-Sinusmodulation	242
10.1.1.6 Idealierte Theorie der Drehstrom-Brückenschaltung	245
Blocksteuerung	246
Pulssteuerung	248
Dreieck-Rechteckmodulation	249
Dreieck-Sinusmodulation	252
Elimination der Oberschwingungen; optimierte Pulsmuster	255
10.1.1.7 Idealierte Theorie einer erweiterten Drehstrombrücken- schaltung (Dreipunktwechselrichter)	259
Blocksteuerung	265
Pulssteuerung	268
10.1.2 Konventionelle Theorie	271
10.1.2.1 Kommutierung mit kapazitivem Energiespeicher	271
Induktivitätsfreie Kommutierungskreise	272
Induktivitätsbehaftete Kommutierungskreise	275
Schaltung mit Umschwingthyristor	277
Schaltung mit Rücklade- und getrenntem Umschwingkreis	278
Schaltung mit Nachlade- und getrenntem Umschwingkreis	279
Abschließende Betrachtung	280
10.1.2.2 Kommutierung bei über den Steueranschluß auch abschaltbaren realen elektrischen Ventilen	280
10.2 Selbstgeführte und netzgetaktete Stromrichter mit kapazitiver Glättung der Gleichspannung	282
10.2.1 Umkehrstromrichter zur Speisung eines Spannungszwischen- kreises	284
10.2.2 Stromrichter zur Blindleistungskompensation	286
10.3 Selbstgeführte und netzgetaktete Stromrichter mit induktiver Glättung des Gleichstroms	290

	Inhalt	XI
10.3.1	Idealisierte Theorie der Drehstrom-Brückenschaltung	291
10.3.1.1	Steuerung der Gleichspannung über den Steuerwinkel α bei einem Stromführungswinkel $\omega t_F = 2\pi/3$	291
10.3.1.2	Steuerung der Gleichspannung durch Aufteilung der Ventilstromführungsdauer je Periode in zwei Abschnitten mit über den Steuerwinkel δ veränderbarer Länge beim Grundschiebungsfaktor $\cos \varphi_1 = 1$	293
10.3.1.3	Pulssteuerung beim Grundschiebungsfaktor $\cos \varphi_1 = 1$	298
10.4	Selbstgeführte und eigengetaktete Stromrichter mit induktiver Glättung des Gleichstroms	302
10.4.1	Idealisierte Theorie der Drehstrom-Brückenschaltung	302
10.4.1.1	Blocksteuerung	303
10.4.1.2	Pulssteuerung	303
10.4.2	Konventionelle Theorie der Drehstrom-Brückenschaltung . .	306
10.4.2.1	Stromrichter mit über den Steueranschluß ein- und ausschaltbaren elektrischen Ventilen	306
10.4.2.2	Stromrichter mit über den Steueranschluß nur einschaltbaren rückwärtssperrenden Thyristoren und Phasenfolgelöschung . .	307
10.5	Selbstgeführte Direktumrichter	314
10.5.1	Blocksteuerung	316
10.5.2	Pulssteuerung	323
10.5.3	Abschließende Bemerkungen zum selbstgeführten Direktumrichter	328
11	Umrichter mit Zwischenkreis	330
12	Elektromagnetische Verträglichkeit	334
	Literatur	338
	Sachverzeichnis	347