

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Aufbau, Funktion und Klassifikation von Stromrichtern</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.2	Prinzipieller Aufbau und Klassifikation von Stromrichtern	2
1.3	Prinzipieller Aufbau und Klassifikation von Frequenzumrichtern	4
	Literatur	7
<b>2</b>	<b>Zweistufige Stromrichter mit eingepprägter Gleichspannung</b>	<b>9</b>
2.1	Einführung	9
2.2	Grundlagen	11
2.2.1	Ideale Schalter	11
2.2.2	Arbeitsbereich von U-Stromrichtern	12
2.2.3	Schaltzustände einer Halbbrücke	14
2.2.4	Kommutierungen in einer Halbbrücke	18
2.2.5	Trägerbasierte Pulsweitenmodulation einer Halbbrücke	19
2.2.5.1	Trägerbasierte Pulsweitenmodulation bei konstanter Referenzspannung	19
2.2.5.2	Trägerbasierte Pulsweitenmodulation bei linear zeitlich veränderlicher Referenzspannung	23
2.2.5.3	Trägerbasierte Pulsweitenmodulation bei sinusförmiger Referenzspannung im linearen Bereich	28
2.2.5.4	Synchrone und asynchrone Pulsweitenmodulation	32
2.2.5.5	Übermodulation und Blocktaktung	32
2.2.5.6	Qualitätskriterien	35
2.3	Halb- und Vollbrückenschaltung	38
2.3.1	Halbbrückenschaltung	39
2.3.2	Vollbrückenschaltung	42
2.3.2.1	Schaltzustände und Strompfade	42
2.3.2.2	Trägerbasierte Pulsweitenmodulation	43
2.3.2.3	Wirkung von Grund- und Oberschwingungsspannungen auf einen angeschlossenen Zweipol	54

2.3.2.4	Analyse des gleichspannungsseitigen Stroms . . . . .	62
2.3.3	Einfluss der Totzeit auf die Spannungsform . . . . .	68
2.4	Dreiphasige Schaltungen . . . . .	71
2.4.1	Einleitung . . . . .	71
2.4.2	Spannungen und Ströme im Dreiphasensystem . . . . .	72
2.4.3	Schaltzustände . . . . .	77
2.4.4	Trägerbasierte Pulsweitenmodulation . . . . .	78
2.4.4.1	Modulation mit sinusförmiger Referenzspannung . . . . .	81
2.4.4.2	Modulation mit sinusförmiger Referenzspannung und überlagerter dritter Harmonischer . . . . .	87
2.4.5	Wirkung von Grund- und Oberschwingungsspannungen auf einen angeschlossenen Vierpol . . . . .	93
2.4.6	Analyse des gleichspannungsseitigen Stroms . . . . .	98
2.4.7	Bremschopper . . . . .	100
Literatur	. . . . .	104
3	<b>Modulation zweistufiger Stromrichter</b> . . . . .	105
3.1	Einführung . . . . .	105
3.1.1	Was ist Modulation? . . . . .	105
3.1.2	Aufgaben und Freiheitsgrade . . . . .	106
3.2	Trägerbasierte Modulation . . . . .	108
3.2.1	Modulation einer Phase: Grundlagen . . . . .	108
3.2.2	Trägersignale . . . . .	110
3.2.3	Abtastverfahren . . . . .	112
3.2.4	Erweiterung auf dreiphasige Modulation . . . . .	115
3.2.5	Optimierung durch dritte Harmonische . . . . .	121
3.2.6	Synchrone und asynchrone Modulation . . . . .	126
3.3	Raumzeigermodulation . . . . .	128
3.3.1	Grundlagen der Raumzeigerdarstellung . . . . .	128
3.3.2	Raumzeiger von U-Stromrichtern . . . . .	131
3.3.3	Synthese von Raumzeigern . . . . .	132
3.3.4	Optimierung der Schaltsequenzen . . . . .	136
3.3.5	Diskontinuierliche Modulation . . . . .	138
3.4	Zusammenhang zwischen Raumzeiger- und Trägerverfahren . . . . .	139
3.4.1	Raumzeiger und Spannungspulse . . . . .	140
3.4.2	Aktive Pulspositionierung bei Trägerverfahren . . . . .	141
3.5	Zusammenfassung . . . . .	145
Literatur	. . . . .	145
4	<b>Regelung von Stromrichtern mit eingprägter Gleichspannung</b> . . . . .	147
4.1	Regelung von Asynchronmaschinen mit U-Stromrichtern . . . . .	147
4.1.1	Elektrisches Modell der Asynchronmaschine . . . . .	148
4.1.1.1	Leistung und Drehmoment . . . . .	150
4.1.1.2	Kippmoment . . . . .	151
4.1.2	Skalare Regelungsverfahren . . . . .	152

4.1.3	Feldorientierte Regelung .....	155
4.1.3.1	Struktur der feldorientierten Regelung .....	157
4.1.4	Direkte Drehmomentregelung .....	159
4.1.4.1	Struktur der direkten Drehmomentregelung .....	161
4.1.5	Vor- und Nachteile der Regelungsverfahren für Asynchronmaschinen .....	164
4.1.5.1	Skalare Regelung .....	164
4.1.5.2	Feldorientierte Regelung mit Rotorflussorientierung .....	165
4.1.5.3	Direkte Drehmomentregelung (DTC) .....	165
4.2	Regelung von pulsweitenmodulierten U-Stromrichtern am dreiphasigen Netz .....	166
4.2.1	Modell des pulsweitenmodulierten U-Stromrichters am dreiphasigen Netz .....	167
4.2.2	Spannungsorientierte Regelung .....	169
4.2.2.1	Struktur der spannungsorientierten Regelung .....	170
4.2.3	Direkte Leistungsregelung .....	171
4.2.4	Vor- und Nachteile der Regelungsverfahren für pulsweitenmodulierte U-Stromrichter .....	175
4.2.4.1	Spannungsorientierte Regelung .....	175
4.2.4.2	Direkte Leistungsregelung .....	176
	Literatur .....	176
	<b>Anhang</b> .....	179
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	189