

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung in die Leistungselektronik .....</b>	<b>11</b>
1.1	Grundlagen .....	11
1.2	Eigenschaften des Schaltbetriebs .....	13
1.2.1	Gleich-, Wechsel-, Mischgrößen .....	13
1.2.2	Arithmetischer Mittelwert .....	15
1.2.3	Effektivwert .....	16
1.2.4	Gesamteffektivwert, Klirrfaktor, Formfaktor und Welligkeit .....	19
1.2.5	Überschlägige Berechnung bei einfachen Kurvenverläufen .....	21
1.3	Leistungsbilanz bei Stromrichtern .....	25
1.3.1	Leistungsfaktor bei sinusförmigen Größen .....	25
1.3.2	Fourier-Analyse .....	27
1.3.3	Blindleistung bei Stromrichtern .....	28
1.4	Betriebsquadranten .....	33
1.5	Lösungen .....	34
<b>2</b>	<b>Leistungshalbleiter .....</b>	<b>39</b>
2.1	Vergleich von idealen und realen Schaltern .....	39
2.2	Diode .....	43
2.3	Thyristor .....	46
2.4	Transistoren .....	48
2.4.1	MOSFET (Unipolar-Transistor) .....	49
2.4.2	Bipolar-Transistor .....	52
2.4.3	IGBT .....	53
2.4.4	Gemeinsamkeiten von Transistoren .....	54
2.5	Abschaltbare Thyristoren .....	56
2.5.1	Gate-Turn-Off-Thyristor (GTO) .....	56
2.5.2	Integrated-Gate-Commutated-Thyristor (IGCT) .....	56
2.6	Schutz von Leistungshalbleitern .....	57
2.6.1	Spannungsbelastbarkeit .....	57
2.6.2	Überspannungsschutz .....	58
2.6.3	Schutz gegen Überstrom und Kurzschluss .....	63

2.6.4	Ein- und Ausschaltentlastung bei Transistoren .....	64
2.7	Erwärmung und Kühlung von Leistungshalbleitern .....	67
2.7.1	Durchlassverluste bei Thyristoren und Dioden .....	67
2.7.2	Verluste bei Transistoren .....	69
2.7.2.1	Durchlassverluste .....	69
2.7.2.2	Schaltverluste .....	71
2.7.3	Wärmetransport und Auslegung der Kühlung .....	72
2.8	Lösungen .....	77

### **3 Stromrichterschaltungen mit Dioden und Thyristoren..... 82**

3.1	Einpuls-Gleichrichter M1 .....	82
3.1.1	Aufbau der Schaltung .....	82
3.1.2	Funktionsweise der ungesteuerten M1U-Schaltung .....	83
3.1.3	Funktionsweise der gesteuerten M1C-Schaltung .....	85
3.2	Zweiphasige Mittelpunktschaltung M2 .....	88
3.2.1	Aufbau und Funktionsweise .....	88
3.2.2	Stromglättung .....	92
3.2.3	Steuergesetz im nicht lückenden Betrieb .....	95
3.3	Dreiphasige Mittelpunktschaltung M3 .....	96
3.3.1	M3-Schaltung bei ohmscher Last .....	96
3.3.1.1	Steuergesetz im nicht lückenden Betrieb .....	101
3.3.1.2	Steuergesetz im Lückbetrieb .....	102
3.3.2	M3-Schaltung bei idealer Glättung .....	103
3.3.3	Glättungsdrossel .....	106
3.3.4	Wechselrichterbetrieb .....	109
3.3.5	Auswirkung und Berechnung der Kommutierung .....	111
3.3.5.1	Kommutierung bei netzgeführten Stromrichtern .....	111
3.3.5.2	Auswirkung der Überlappung .....	114
3.3.5.3	Wechselrichtergrenze .....	117
3.3.5.4	Gleichspannungsersatzschaltbild für Mittelwerte .....	118
3.3.6	Mittelpunktschaltungen mit verbundenen Anoden .....	119
3.3.7	Netzströme und Transformatorbauleistung .....	121
3.4	Brückenschaltungen netzgeführter Stromrichter .....	123
3.4.1	Vollgesteuerte Drehstrombrückenschaltung B6C .....	123
3.4.2	Brückenschaltung B2C .....	127
3.5	Umkehrstromrichter .....	130
3.6	Lösungen .....	132

<b>4</b>	<b>Gleichstromsteller .....</b>	<b>139</b>
4.1	Einführung .....	139
4.2	Tiefsetzsteller .....	141
4.2.1	Grundschtaltung.....	141
4.2.2	Realer Tiefsetzsteller .....	144
4.2.3	Dimensionierung des LC-Filters.....	145
4.2.4	Stromwelligkeit .....	146
4.2.5	Betrieb mit lückendem Strom.....	149
4.3	Hochsetzsteller.....	153
4.3.1	Grundlegende Arbeitsweise .....	153
4.3.2	Betrieb mit lückendem Strom.....	156
4.4	Mehrquadrantensteller .....	158
4.4.1	Zweiquadrantensteller mit Stromumkehr.....	158
4.4.2	Zweiquadrantensteller mit Spannungsumkehr .....	160
4.5	Vollbrücke .....	166
4.5.1	Allgemeine Einführung .....	166
4.5.2	Pulsweitenmodulation .....	169
4.5.2.1	Pulsweitenmodulation mit zwei Spannungsniveaus (PWM2) .....	170
4.5.2.2	PWM mit drei Spannungsniveaus (PWM3) .....	173
4.6	Ansteuerschaltungen für MOS-Transistoren .....	180
4.6.1	Grundlagen .....	180
4.6.2	CMOS-Gatter .....	183
4.6.3	Gegentaktstufe .....	184
4.6.4	Beschleunigtes Abschalten .....	184
4.6.5	Treiber-ICs .....	185
4.6.6	Potenzialfreie Ansteuerung mit Impulsübertrager.....	186
4.7	Lösungen .....	190
<b>5</b>	<b>Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis .....</b>	<b>201</b>
5.1	Einführung .....	201
5.2	Einphasige spannungseinprägende Wechselrichter.....	204
5.2.1	Halbbrücke mit Grundfrequenztaktung.....	204
5.2.2	Vierquadrantensteller mit Grundfrequenztaktung .....	207
5.2.3	Steuerverfahren zur Verstellung von Frequenz und Amplitude .....	210
5.2.3.1	Pulsamplitudenmodulation .....	210
5.2.3.2	Vierquadrantensteller mit Unterschwingungsverfahren .....	210
5.2.4	Anwendungen.....	221

5.3 Dreiphasiger spannungseinprägender Wechselrichter .....	221
5.3.1 Grundlegender Aufbau und Steuerverfahren .....	221
5.3.1.1 Grundfrequenztaktung .....	222
5.3.1.2 Unterschwingungsverfahren .....	227
5.3.1.3 Raumzeigermodulation .....	234
5.3.1.4 Weitere Steuerverfahren .....	240
5.3.1.5 Flattop-Verfahren .....	242
5.3.2 Ergänzende Komponenten .....	242
5.4 Einsatzgebiete und Anwendungen .....	244
5.4.1 Elektronische Antriebstechnik .....	244
5.4.2 Netzeinspeisung regenerativ erzeugter Energien .....	245
5.5 Lösungen .....	246
<b>Formelzeichen und Abkürzungen .....</b>	<b>251</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>255</b>
<b>Index .....</b>	<b>257</b>