

Inhalt

1	Einführung in die Leistungselektronik	13
1.1	Grundlagen	13
1.2	Eigenschaften des Schaltbetriebs	15
1.2.1	Gleich-, Wechsel-, Mischgrößen	16
1.2.2	Arithmetischer Mittelwert	17
1.2.3	Effektivwert	19
1.2.4	Gesamteffektivwert, Klirrfaktor, Formfaktor und Welligkeit	22
1.2.5	Überschlägige Berechnung bei einfachen Kurvenverläufen	24
1.3	Leistungsbilanz bei Stromrichtern	29
1.3.1	Leistungsfaktor bei sinusförmigen Größen	29
1.3.2	Fourier-Analyse	31
1.3.3	Blindleistung bei Stromrichtern	32
1.4	Betriebsquadranten	38
1.5	Lösungen	39
2	Leistungshalbleiter	44
2.1	Grundlagen der Halbleiterphysik	44
2.1.1	Eigenleitfähigkeit	47
2.1.2	Dotierung	48
2.1.3	Feld- und Diffusionsstrom	50
2.1.4	Kombination von P- und N-dotierten Halbleitern zum PN-Übergang	50
2.1.4.1	Raumladungszone beim stromlosen PN-Übergang	51
2.1.4.2	Raumladungszone beim PN-Übergang in Durchlassrichtung	53
2.1.4.3	Raumladungszone beim PN-Übergang in Sperrrichtung	53
2.2	Neue Halbleitermaterialien	54
2.2.1	Halbleiter mit großem Bandabstand	54
2.2.2	Anwendungsgebiete	56
2.3	Vergleich von idealen und realen Schaltern	56
2.4	Diode	60
2.5	Thyristor	64
2.6	Transistoren	66
2.6.1	MOSFET (Unipolar-Transistor)	67
2.6.2	Bipolar-Transistor	70

2.6.3	IGBT	71
2.6.4	Gemeinsamkeiten von Transistoren	72
2.7	Abschaltbare Thyristoren	75
2.7.1	Gate-Turn-Off-Thyristor (GTO)	75
2.7.2	Integrated-Gate-Commutated-Thyristor (IGCT)	75
2.8	Schutz von Leistungshalbleitern	76
2.8.1	Spannungsbelastbarkeit	76
2.8.2	Überspannungsschutz	77
2.8.3	Schutz gegen Überstrom und Kurzschluss	82
2.8.4	Ein- und Ausschaltentlastung bei Transistoren	83
2.9	Erwärmung und Kühlung von Leistungshalbleitern	86
2.9.1	Durchlassverluste bei Thyristoren und Dioden	87
2.9.2	Verluste bei Transistoren	89
	2.9.2.1 Durchlassverluste	89
	2.9.2.2 Schaltverluste	91
2.9.3	Wärmetransport und Auslegung der Kühlung	92
2.10	Datenblattangaben für Dioden und Transistoren	98
2.10.1	Verwendete Kurzzeichen und Indizes in Datenblättern	98
2.10.2	Angabe von Kenndaten und Grenzwerten	100
2.10.3	Gleichrichterioden	101
	2.10.3.1 Grenzwerte (Absolute maximum ratings)	101
	2.10.3.2 Kenndaten (Characteristics)	103
2.10.4	Thyristoren	104
	2.10.4.1 Grenzwerte	104
	2.10.4.2 Kenndaten	104
2.10.5	Transistormodule	106
	2.10.5.1 Grenzwerte für Transistor-Module	107
	2.10.5.2 Kenndaten	108
2.11	Lösungen	113

3. Stromrichterschaltungen mit Dioden und Thyristoren 118

3.1	Einpuls-Gleichrichter M1	118
3.1.1	Aufbau der Schaltung	118
3.1.2	Funktionsweise der ungesteuerten M1U-Schaltung	119
3.1.3	Funktionsweise der gesteuerten M1C-Schaltung	121
3.2	Zweiphasige Mittelpunktschaltung M2	124
3.2.1	Aufbau und Funktionsweise	124
3.2.2	Stromglättung	128
3.2.3	Steuergesetz im nicht lückenden Betrieb	132
3.3	Dreiphasige Mittelpunktschaltung M3	133
3.3.1	M3-Schaltung bei ohmscher Last	133
	3.3.1.1 Steuergesetz im nicht lückenden Betrieb	139
	3.3.1.2 Steuergesetz im Lückbetrieb	140
3.3.2	M3-Schaltung bei idealer Glättung	141
3.3.3	Glättungsdrossel	145
3.3.4	Wechselrichterbetrieb	147
3.3.5	Auswirkung und Berechnung der Kommutierung	149

3.3.5.1	Kommutierung bei netzgeführten Stromrichtern	149
3.3.5.2	Auswirkung der Überlappung	153
3.3.5.3	Wechselrichtergrenze	156
3.3.5.4	Gleichspannungsersatzschaltbild für Mittelwerte	157
3.3.6	Mittelpunktschaltungen mit verbundenen Anoden	159
3.3.7	Netzströme und Transformatorbauleistung	161
3.4	Brückenschaltungen netzgeführter Stromrichter	163
3.4.1	Vollgesteuerte Drehstrombrückenschaltung B6C	164
3.4.2	Brückenschaltung B2C	168
3.5	Umkehrstromrichter	171
3.6	Lösungen	174

4 Gleichstromsteller 182

4.1	Einführung	182
4.2	Tiefsetzsteller	185
4.2.1	Grundschtaltung	185
4.2.2	Realer Tiefsetzsteller	187
4.2.3	Dimensionierung des LC-Filters	188
4.2.4	Stromwelligkeit	189
4.2.5	Betrieb mit lückendem Strom	193
4.3	Hochsetzsteller	198
4.3.1	Grundlegende Arbeitsweise	198
4.3.2	Betrieb mit lückendem Strom	202
4.4	Mehrquadrantensteller	203
4.4.1	Zweiquadrantensteller mit Stromumkehr	204
4.4.2	Zweiquadrantensteller mit Spannungsumkehr	206
4.5	Vollbrücke	212
4.5.1	Allgemeine Einführung	213
4.5.2	Pulsweitenmodulation	216
4.5.2.1	Pulsweitenmodulation mit zwei Spannungsniveaus (PWM2)	217
4.5.2.2	PWM mit drei Spannungsniveaus (PWM3)	220
4.6	Ansteuerschaltungen für MOS-Transistoren	231
4.6.1	Grundlagen	231
4.6.2	CMOS-Gatter	233
4.6.3	Gegentaktstufe	234
4.6.4	Beschleunigtes Abschalten	234
4.6.5	Treiber-ICs	235
4.6.6	Potenzialfreie Ansteuerung mit Impulsübertrager	236
4.7	Lösungen	240

5 Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis 252

5.1	Einführung	252
5.2	Einphasige spannungseinprägende Wechselrichter	255
5.2.1	Halbbrücke mit Grundfrequenztaktung	255
5.2.2	Vierquadrantensteller mit Grundfrequenztaktung	258

5.2.3	Steuerverfahren zur Verstellung von Frequenz und Amplitude	261
5.2.3.1	Pulsamplitudenmodulation	261
5.2.3.2	Vierquadrantensteller mit Unterschwingungsverfahren	261
5.2.4	Anwendungen	273
5.3	Dreiphasiger spannungseinprägender Wechselrichter	273
5.3.1	Grundlegender Aufbau und Steuerverfahren	273
5.3.1.1	Grundfrequenztaktung	274
5.3.1.2	Unterschwingungsverfahren	282
5.3.1.3	Raumzeigermodulation	289
5.3.1.4	Weitere Steuerverfahren	296
5.3.1.5	Flattop-Verfahren	298
5.3.2	Ergänzende Komponenten	299
5.4	Einsatzgebiete und Anwendungen	300
5.4.1	Elektronische Antriebstechnik	301
5.4.2	Netzeinspeisung regenerativ erzeugter Energien	302
5.5	Lösungen	304

6 Mehrpunkt-Wechselrichter 309

6.1	Grundlagen und Schaltungsvarianten	309
6.2	Dreipunkt-Wechselrichter	313
6.2.1	Einphasiger Dreipunkt-Halbbrücken-Wechselrichter	314
6.2.1.1	Pulsweitenmodulation der Dreipunkt-Halbbrücke	318
6.2.1.2	Steuergesetz und Ausgangsspannung	322
6.2.1.3	Spannungs- und Stromverläufe bei der PWM	322
6.2.1.4	Bedeutung der Klemmdioden	323
6.2.2	Dreiphasiger Dreipunkt-Wechselrichter	324
6.2.2.1	Schaltzustände und Ausgangsspannungen	325
6.2.2.2	Spannungsraumzeiger	329
6.2.2.3	Modulationsverfahren und Steuergesetz	333
6.2.2.4	Auswirkung von Verriegelungszeiten auf die Ausgangsspannung	334
6.3	Lösungen	338

7 Resonantes Schalten 343

7.1	Motivation	343
7.2	Grundlegende Analyse von LC-Kreisen	346
7.3	Grundstrukturen für weiches Schalten	355
7.4	Tiefsetzsteller mit ZCS	359
7.5	Tiefsetzsteller mit ZVS	366
7.6	Lösungen	370

A1	Fachbegriffe Deutsch-Englisch/Englisch-Deutsch	373
A2	Formelzeichen und Abkürzungen	380
A3	Glossar	384
■	Literatur	387
■	Index	389