

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	54
2.1.5	Pin-Übergang	54
2.2	Neue Halbleitermaterialien	56
2.2.1	Halbleiter mit großem Bandabstand	56
2.2.2	Anwendungsgebiete	57
2.3	Vergleich von idealen und realen Schaltern	58
2.4	Diode	62
2.5	Thyristor	65

2.6	Transistoren	68
2.6.1	MOSFET (Unipolar-Transistor)	68
2.6.2	Bipolar-Transistor	73
2.6.3	IGBT	74
2.6.4	Parasitäre Elemente	80
2.6.5	Schaltverhalten	84
2.6.6	Latch-Up	88
2.6.7	Ersatzschaltbild	88
2.6.8	Gemeinsamkeiten von Transistoren	89
2.7	GaN-Transistoren	92
2.8	Abschaltbare Thyristoren	95
2.8.1	Gate-Turn-Off-Thyristor (GTO)	95
2.8.2	Integrated-Gate-Commutated-Thyristor (IGCT)	96
2.9	Schutz von Leistungshalbleitern	96
2.9.1	Spannungsbelastbarkeit	97
2.9.2	Überspannungsschutz	98
2.9.3	Schutz gegen Überstrom und Kurzschluss	103
2.9.4	Ein- und Ausschaltentlastung bei Transistoren	104
2.10	Erwärmung und Kühlung von Leistungshalbleitern	107
2.10.1	Durchlassverluste bei Thyristoren und Dioden	108
2.10.2	Verluste bei Transistoren	110
	2.10.2.1 Durchlassverluste	110
	2.10.2.2 Schaltverluste	112
2.10.3	Wärmetransport und Auslegung der Kühlung	113
2.11	Datenblattangaben für Dioden und Transistoren	119
2.11.1	Verwendete Kurzzeichen und Indizes in Datenblättern	119
2.11.2	Angabe von Kenndaten und Grenzwerten	121
2.11.3	Gleichrichterdioden	122
	2.11.3.1 Grenzwerte (Absolute maximum ratings)	122
	2.11.3.2 Kenndaten (Characteristics)	124
2.11.4	Thyristoren	125
	2.11.4.1 Grenzwerte	126
	2.11.4.2 Kenndaten	126
2.11.5	Transistormodule	128
	2.11.5.1 Grenzwerte für Transistor-Module	129
	2.11.5.2 Kenndaten	130
2.12	Lösungen	134

3 Stromrichterschaltungen mit Dioden und Thyristoren 139

3.1	Einpuls-Gleichrichter M1	139
3.1.1	Aufbau der Schaltung	139
3.1.2	Funktionsweise der ungesteuerten M1U-Schaltung	140
3.1.3	Funktionsweise der gesteuerten M1C-Schaltung	142
3.2	Zweiphasige Mittelpunktschaltung M2	145
3.2.1	Aufbau und Funktionsweise	145
3.2.2	Stromglättung	149
3.2.3	Steuergesetz im nicht lückenden Betrieb	153

3.3	Dreiphasige Mittelpunktschaltung M3	154
3.3.1	M3-Schaltung bei ohmscher Last	154
3.3.1.1	Steuergesetz im nicht lückenden Betrieb	160
3.3.1.2	Steuergesetz im Lückbetrieb	161
3.3.2	M3-Schaltung bei idealer Glättung	162
3.3.3	Glättungsdrössel	166
3.3.4	Wechselrichterbetrieb	168
3.3.5	Auswirkung und Berechnung der Kommutierung	170
3.3.5.1	Kommutierung bei netzgeführten Stromrichtern	170
3.3.5.2	Auswirkung der Überlappung	174
3.3.5.3	Wechselrichtergrenze	177
3.3.5.4	Gleichspannungsersatzschaltbild für Mittelwerte	178
3.3.6	Mittelpunktschaltungen mit verbundenen Anoden	180
3.3.7	Netzströme und Transformatorbauleistung	182
3.4	Brückenschaltungen netzgeführter Stromrichter	184
3.4.1	Vollgesteuerte Drehstrombrückenschaltung B6C	185
3.4.2	Brückenschaltung B2C	189
3.5	Umkehrstromrichter	192
3.6	Lösungen	195

4**Gleichstromsteller 203**

4.1	Einführung	203
4.2	Tiefsetzsteller	206
4.2.1	Grundschialtung	206
4.2.2	Realer Tiefsetzsteller	208
4.2.3	Dimensionierung des LC-Filter	209
4.2.4	Stromwelligkeit	210
4.2.5	Betrieb mit lückendem Strom	214
4.3	Hochsetzsteller	219
4.3.1	Grundlegende Arbeitsweise	219
4.3.2	Betrieb mit lückendem Strom	223
4.4	Mehrquadrantensteller	224
4.4.1	Zweiquadrantensteller mit Stromumkehr	225
4.4.2	Zweiquadrantensteller mit Spannungsumkehr	227
4.5	Vollbrücke	233
4.5.1	Allgemeine Einführung	234
4.5.2	Pulsweitenmodulation	237
4.5.2.1	Pulsweitenmodulation mit zwei Spannungsniveaus (PWM2)	238
4.5.2.2	PWM mit drei Spannungsniveaus (PWM3)	241
4.6	Ansteuerschaltungen für MOS-Transistoren	251
4.6.1	Grundlagen	251
4.6.2	CMOS-Gatter	253
4.6.3	Gegentaktstufe	254
4.6.4	Beschleunigtes Abschalten	254
4.6.5	Treiber-ICs	255
4.6.6	Potenzialfreie Ansteuerung mit Impulsübertrager	256
4.7	Lösungen	260

5	Umrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis	272
5.1	Einführung	272
5.2	Einphasige spannungseinprägende Wechselrichter	275
5.2.1	Halbbrücke mit Grundfrequenztaktung	275
5.2.2	Vierquadrantensteller mit Grundfrequenztaktung	278
5.2.3	Steuerverfahren zur Verstellung von Frequenz und Amplitude .	281
5.2.3.1	Pulsamplitudenmodulation	281
5.2.3.2	Vierquadrantensteller mit Unterschwingungsverfahren	281
5.2.4	Anwendungen	293
5.3	Dreiphasiger spannungseinprägender Wechselrichter	293
5.3.1	Grundlegender Aufbau und Steuerverfahren	293
5.3.1.1	Grundfrequenztaktung	294
5.3.1.2	Unterschwingungsverfahren	302
5.3.1.3	Raumzeigermodulation	309
5.3.1.4	Weitere Steuerverfahren	316
5.3.1.5	Flatop-Verfahren	318
5.3.2	Ergänzende Komponenten	319
5.4	Einsatzgebiete und Anwendungen	320
5.4.1	Elektronische Antriebstechnik	321
5.4.2	Netzeinspeisung regenerativ erzeugter Energien	322
5.4.3	Aktive Gleichrichter	323
5.4.3.1	Einführung	323
5.4.3.2	Netzanschluss und Ersatzschaltbilder	326
5.4.3.3	Raumzeiger und Koordinatensysteme	328
5.4.3.4	Regelung des aktiven Gleichrichters	334
5.5	Lösungen	341
6	Mehrpunkt-Wechselrichter	347
6.1	Grundlagen und Schaltungsvarianten	347
6.2	Dreipunkt-Wechselrichter	351
6.2.1	Einphasiger Dreipunkt-Halbbrücken-Wechselrichter	352
6.2.1.1	Pulsweitenmodulation der Dreipunkt-Halbbrücke	356
6.2.1.2	Steuergesetz und Ausgangsspannung	360
6.2.1.3	Spannungs- und Stromverläufe bei der PWM	360
6.2.1.4	Bedeutung der Klemmdioden	361
6.2.2	Dreiphasiger Dreipunkt-Wechselrichter	362
6.2.2.1	Schaltzustände und Ausgangsspannungen	363
6.2.2.2	Spannungsraumzeiger	367
6.2.2.3	Modulationsverfahren und Steuergesetz	371
6.2.2.4	Auswirkung von Verriegelungszeiten auf die Ausgangsspannung	372
6.3	Lösungen	376

7	Resonantes Schalten	381
7.1	Motivation	381
7.2	Grundlegende Analyse von LC-Kreisen	384
7.3	Grundstrukturen für weiches Schalten	393
7.4	Tiefsetzsteller mit ZCS	397
7.5	Tiefsetzsteller mit ZVS	404
7.6	Lösungen	408
A1	Fachbegriffe Deutsch-Englisch/Englisch-Deutsch	411
A2	Formelzeichen und Abkürzungen	418
A3	Glossar	422
	Literatur	425
	Index	429