

# Moderne Leistungs- elektronik und Antriebe

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Hofer

*HLuHB Darmstadt*



*13377340*

---

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Entwicklungsgeschichte der Leistungselektronik und Antriebstechnik</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Leistungshalbleiter und Stromrichterschaltungen</b> .....	<b>15</b>
2.1	Einteilung der Stromrichter .....	15
2.2	Leistungshalbleiter .....	19
2.2.1	Leistungsdioden .....	20
2.2.2	Thyristoren .....	22
2.2.2.1	Zweirichtungsthyristor (Triac) .....	23
2.2.2.2	Abschaltthyristor (GTO) .....	24
2.2.2.3	Spannungsgesteuerter Thyristor (MCT) .....	25
2.2.3	Leistungstransistoren .....	26
2.2.3.1	Feldeffekttransistor (MOSFET) .....	27
2.2.3.2	Isolierter Bipolartransistor (IGBT) .....	28
2.3	Dimensionierung von Stromrichterschaltungen .....	30
2.3.1	Schutzbeschaltung .....	31
2.3.2	Ansteuerung .....	32
2.3.3	Erwärmung und Kühlung .....	35
2.4	Oberschwingungen und Leistungsspektren in Stromrichtern .....	37
2.4.1	Spektren periodischer Mischgrößen .....	37
2.4.2	Welligkeit und Formfaktor pulsierender Gleichgrößen .....	39
2.4.3	Grund- und Oberschwingungsgehalt nichtsinusförmiger Wechselgrößen .....	43
2.4.4	Leistungsbilanz in Stromrichterschaltungen .....	46
2.4.4.1	Sinusförmige Spannungen und verzerrte Ströme .....	48
2.4.4.2	Verzerrte Spannungen und verzerrte Ströme .....	51
2.5	Wirkungsgrad von Stromrichtergeräten .....	53
<b>3</b>	<b>Kommutierungslose Stromrichterschaltungen</b> .....	<b>55</b>
3.1	Wechselstromsteller (W1) .....	55
3.1.1	Ohmsche Belastung .....	56
3.1.1.1	Steuerfunktionen .....	56
3.1.1.2	Grund- und Oberschwingungsspektrum .....	59
3.1.2	Induktive Belastung .....	61
3.1.3	Ohmsch-induktive Belastung .....	64
3.1.4	Phasenanschnittsteuerung .....	68
3.1.5	Schwingungspaketsteuerung .....	70
3.2	Drehstromsteller (W3) .....	71
3.2.1	Betrieb ohne Mittelpunktleiter .....	72
3.2.2	Reversierschaltung .....	74

<b>4</b>	<b>Netzgeführte Stromrichterschaltungen</b> .....	75
4.1	Wechselstrom-Brückenschaltung (B2) .....	76
4.1.1	Ungesteuerter Betrieb .....	76
4.1.2	Vollgesteuerter Betrieb .....	79
4.1.3	Kommutierungsbetrieb .....	81
4.1.3.1	Belastungs- und Steuerkennlinien .....	82
4.1.3.2	Wechselrichtertrittgrenze .....	86
4.1.4	Lückbetrieb .....	87
4.1.4.1	Steuerkennlinien im Lückbetrieb .....	89
4.1.4.2	Belastungskennlinien im Lückbetrieb .....	90
4.1.5	Oberschwingungsspektren .....	92
4.1.6	Ansteuerverfahren .....	100
4.1.6.1	Phasenanschnittsteuerung .....	100
4.1.6.2	Folgesteuerung .....	102
4.1.6.3	Halbgesteuerter Betrieb .....	104
4.1.7	Blindleistungsbedarf .....	105
4.1.8	Stromrichtertransformator .....	108
4.2	Drehstrom-Brückenschaltung (B6) .....	109
4.2.1	Kommutierungsbetrieb .....	111
4.2.2	Lückbetrieb .....	113
4.2.3	Impulsdigramm .....	114
4.2.4	Oberschwingungsspektren .....	117
4.3	Umkehrstromrichterschaltungen .....	119
4.3.1	Betriebsquadranten .....	120
4.3.2	Umschaltvorgang .....	122
4.3.3	Direktumrichter .....	123
<b>5</b>	<b>Selbstgeführte Stromrichterschaltungen</b> .....	125
5.1	Gleichstromstellerschaltungen .....	125
5.1.1	Kommutierungsvorgang .....	128
5.1.2	Oberschwingungsspektren .....	132
5.1.3	Mehrquadrant-Chopper .....	133
5.1.4	Steuerverfahren .....	139
5.2	Selbstgeführte Wechselrichterschaltungen .....	140
5.2.1	Wechselstrom-Brückenschaltung (B2) .....	142
5.2.1.1	Leistungsbilanz .....	144
5.2.1.2	Sinusbewertete Pulsweitenmodulation .....	145
5.2.2	Drehstrom-Brückenschaltung (B6) .....	147
5.2.2.1	Synthetisches Drehstromsystem .....	149
5.2.2.2	Spannungs-Raumzeigermodulation .....	152
5.2.2.3	Oberschwingungsspektren .....	156
5.2.3	Frequenzumrichter .....	159

<b>6</b>	<b>Leistungselektronik in der Antriebstechnik</b> .....	161
6.1	Elektromechanische Grundlagen .....	162
6.1.1	Fremderregte Gleichstrommaschine .....	166
6.1.2	Drehstromasynchronmaschine .....	168
6.1.3	Drehstromsynchronmaschine .....	173
6.2	Vierquadrant-Gleichstromantriebe .....	177
6.2.1	Linearisierung im Lückbetrieb .....	179
6.2.2	Berechnung der Reglerparameter .....	180
6.2.3	Dynamisches Verhalten .....	182
6.3	Einquadrant-Drehstromantriebe .....	184
6.3.1	Spannungssteuerung der Asynchronmaschine .....	185
6.3.2	Dynamisches Verhalten .....	188
6.4	Vierquadrant-Drehstromantriebe .....	189
6.4.1	Frequenzsteuerung der Asynchronmaschine .....	189
6.4.1.1	Steuerkennlinien für konstanten Hauptfluß .....	191
6.4.1.2	Dynamisches Verhalten .....	192
6.4.2	Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine .....	194
6.4.2.1	Raumzeigerdarstellung .....	195
6.4.2.2	Koordinatentransformationen .....	197
6.4.2.3	Antriebsstruktur mit Vektorstromregelung .....	198
6.4.2.4	Dynamisches Verhalten .....	201
6.4.3	Feldorientierte Regelung der Synchronmaschine .....	203
6.4.3.1	Antriebsstruktur mit Zweipunkt-Stromregelung .....	204
6.4.3.2	Dynamisches Verhalten .....	206
6.5	Beobachterorientierte Antriebsregelungen .....	208
<b>7</b>	<b>Mikroelektronik und Leistungselektronik</b> .....	213
7.1	Störsicherheit der Rechnerhardware .....	213
7.2	Timing von Stromrichtersoftware .....	216
<b>8</b>	<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b> .....	219
<b>9</b>	<b>Englische Fachausdrücke</b> .....	223
9.1	Deutsch – Englisch .....	223
9.2	Englisch – Deutsch .....	231
<b>10</b>	<b>Literatur</b> .....	241
<b>11</b>	<b>Übungs- und Seminaufgaben</b> .....	245
11.1	Allgemeine Stromrichterbeispiele (ASR) .....	245
11.2	Kommutierungslose Stromrichterbeispiele (KSR) .....	247
11.3	Netzgeführte Stromrichterbeispiele (NSR) .....	249
11.4	Selbstgeführte Stromrichterbeispiele (SSR) .....	251

11.5 Antriebsbeispiele (ANT) ..... 253

**Stichwortverzeichnis** ..... 259