

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>i</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b> .....	<b>v</b>
Verwendete Formelzeichen .....	v
Indizes .....	ix
Allgemeine Festlegungen .....	ix
Abkürzungen .....	ix
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Vergleich und Auswahl von Schaltungen zur dreiphasigen, netzfreundlichen Gleichrichtung</b> .....	<b>5</b>
2.1 Grundprinzip und Definitionen .....	5
2.2 Schaltungen mit reiner Sinusform der Ströme .....	8
2.2.1 Dreiphasige Brückenschaltung .....	8
2.2.2 Varianten der dreiphasigen Brückenschaltung .....	9
2.2.2.1 Stellbereich der Varianten des Zweipunkt-Gleichrichters .....	10
2.2.2.2 Schaltfolge und Kommutierungen .....	12
2.2.2.3 Belastung der Halbleiter .....	17
2.2.2.4 Treiberaufwand .....	26
2.2.2.5 Gleichtaktspannungen .....	27
2.2.2.6 Zusammenfassende Bewertung der Zweipunkt-Topologien .....	27
2.2.3 Dreipunkt-Topologien .....	28
2.2.3.1 Dreipunkt-Gleichrichter .....	30
2.2.3.2 Funktionsprinzip und Stellbereich der Dreipunkt-Gleichrichter .....	32
2.2.3.3 Belastungsgrößen der Dreipunkt-Gleichrichter .....	35

2.2.3.4	Treiberaufwand .....	39
2.2.4	Stromwelligkeit bei Zweipunkt- und Dreipunkt-Topologien .....	41
2.2.4.1	Spektrum der Spulenströme .....	41
2.2.4.2	Spektrum der Stromrichterspannungen .....	41
2.2.4.3	Globale Effektiv- und Spitzenwerte der Spulenströme .....	47
2.2.5	Gleichtaktspannungen .....	49
2.2.6	Zusammenfassende Bewertung von Zwei- und Dreipunkt-Topologien ..	49
2.3	Weitere Gleichrichterschaltungen .....	51
2.3.1	Dreiphasiger Hochsetzsteller bei lückendem Strom .....	51
2.3.2	Minnesota Gleichrichter .....	53
2.3.3	Netzgeführter Dreipunkt-Gleichrichter .....	54
2.3.4	Nicht auf dem Hochsetzsteller basierende Schaltungen .....	56
2.3.5	Drei einphasige Teilschaltungen .....	57
2.4	Übersicht .....	61
<b>3</b>	<b>Modulationsverfahren .....</b>	<b>63</b>
3.1	Analoges Modulationskonzept .....	64
3.1.1	Zweipunkt-Regelung .....	64
3.1.2	Pulsbreitenmodulation mit zwei Referenzsignalen .....	66
3.2	Wahl der Nullkomponente .....	69
3.2.1	Optimale Nutzung des Stellbereichs der Spannungen .....	70
3.2.2	Optimale Symmetrie der Zwischenkreisspannungen .....	71
3.2.3	Zweisträngige Modulation („Flat-Top“-Prinzip) .....	72
3.2.4	Strombelastung der Kondensatoren im Zwischenkreis .....	76
3.2.5	Minimierung der Welligkeit der Eingangsströme .....	78
3.2.6	Auswirkung auf das Spektrum der Ströme .....	82
3.2.7	Zusammenfassung und Bewertung .....	85
3.3	Analoge Implementierung des Modulationsverfahrens .....	87
3.3.1	Der Modulator .....	87
3.3.2	Erzeugung der Nullkomponente .....	88
3.4	Raumzeigerbasiertes Modulationskonzept .....	89
<b>4</b>	<b>Aspekte zur Realisierung .....</b>	<b>93</b>
4.1	Der Gleichrichter .....	93
4.1.1	Halbleiter .....	93
4.1.2	Passive Bauelemente .....	101
4.1.2.1	Speicherspulen .....	101
4.1.2.2	Kondensatoren im Zwischenkreis .....	104
4.2	Netzseitiges Filter .....	104
4.2.1	Gegentaktfilter .....	106
4.2.2	Gleichtaktfilter .....	107
<b>5</b>	<b>Modellierung und Regelung .....</b>	<b>111</b>
5.1	Modellierung von Dreipunkt-Gleichrichtern .....	111
5.1.1	Wechselstromseitiges Teilsystem .....	114

5.1.2	Gleichstromseitiges Teilsystem .....	117
5.2	Messgrößenerfassung .....	119
5.3	Regelung .....	121
5.3.1	Stromregelkreise .....	122
5.3.2	Spannungsregelkreis .....	128
5.3.3	Simulative Verifikation .....	130
5.3.4	Symmetrierung der Ausgangsspannungen .....	134
5.4	Messergebnisse .....	140
<b>6</b>	<b>Besondere Betriebszustände .....</b>	<b>147</b>
6.1	Unsymmetrisches Netz .....	147
6.2	Betrieb an zwei Leitern .....	152
6.2.1	Auswirkungen auf den Leistungsteil .....	153
6.2.2	Modulation und Regelung .....	156
6.2.2.1	Modulationsverfahren .....	156
6.2.2.2	Regelung .....	159
6.2.3	Messergebnisse .....	162
6.3	Betrieb bei Schwachlast und Stromlücken .....	164
6.3.1	Analyse des Lückbetriebs .....	164
6.3.2	Vermeidung und Kompensation von Fehlerspannungen .....	178
6.3.2.1	Funktionsprinzip der adaptiven Kompensation .....	179
6.3.2.2	Simulationen und Messergebnisse .....	181
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>187</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>189</b>
	<b>Anhang A .....</b>	<b>197</b>
A.1	Gleichungen .....	197
A1.1	Maximale und Minimale Leistung beim Dreipunkt-GR .....	197
A1.2	Spezifische Schaltverlustleistung .....	198
A1.3	Effektivwert des schaltfrequenten Wechselanteils .....	198
A1.4	Belastungsgrößen des Dreipunkt-Gleichrichters beim Betrieb an zwei Leitern 201	
A1.5	Effektivwert des schaltfrequenten Wechselanteils beim Betrieb des Drei- punkt-Gleichrichters an zwei Leitern202	
	<b>Anhang B .....</b>	<b>203</b>