

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Verzeichnis der Formelzeichen	v
Verwendete Formelzeichen	v
Indizes	ix
Allgemeine Festlegungen	ix
Abkürzungen	ix
1 Einleitung	1
2 Vergleich und Auswahl von Schaltungen zur dreiphasigen, netzfreundlichen Gleichrichtung	5
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
3	Modulationsverfahren	63
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
4	Aspekte zur Realisierung	93
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
5	Modellierung und Regelung	111
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
6	Besondere Betriebszustände	147
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
7	Zusammenfassung	187
	Literaturverzeichnis	189
	Anhang A	197
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	
	Anhang B	203