

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
1.1	Stand der Technik	13
1.2	Vorgehensweise	15
2	Schalten mit abschaltbaren Leistungshalbleitern	17
2.1	Struktur und Eigenschaften aktueller Leistungshalbleiter	17
2.1.1	Der Insulated Gate Bipolar Transistor	17
2.1.2	Leistungsdioden	21
2.2	Hartes Schalten in Brückenschaltungen	27
2.2.1	Doppelpulsverfahren	27
2.2.2	Ausschaltverhalten von NPT-IGBTs	29
2.2.3	Einfluss der Diode auf den Einschaltvorgang	29
2.2.4	Schaltverhalten rückwärtssperrender IGBTs	33
2.3	Weiches Schalten	34
2.3.1	Induktive Kommutierung	35
2.3.2	Kapazitive Kommutierung	36
2.3.3	Resonantes Schalten	38
3	Wechselrichtertopologien	39
3.1	Stand der Technik hartschaltender Zwischenkreisumrichter	39
3.2	Überblick resonante Stromrichtertopologien	42
3.3	Resonant Link Converters	43
3.3.1	Resonant AC-Link Converters	43
3.3.2	Resonant DC-Link Converters	44
3.4	Resonant Transition Inverters	47
3.4.1	Quasi Resonant Inverters	48
3.4.2	Resonant Snubber Inverters	49
3.4.3	Soft Transition PWM Inverters	54
3.4.4	Resonanzwechselrichter mit ZCS-ZVS-Eigenschaften	57
3.5	Fazit	58

4	Der ARCPI mit Spannungszwischenkreis	61
4.1	Auslegung eines Stromrichters für einen Schwungmassenspeicher	61
4.2	Funktionsweise des ARCP-Wechselrichters	64
4.2.1	Kommutierungsmodi	64
4.2.2	Auslegung des Resonanzkreises	68
4.2.3	Symmetrie des Mittelpunktes	69
4.2.4	Steuerung der Halbbrücken	70
4.3	Der ausgeführte 1-MVA-ARCPI	72
4.3.1	Steuerung	72
4.3.2	Leistungsteil	74
4.3.3	Erste Ergebnisse	78
4.3.4	Optimierung des Leistungsteils	79
4.4	Messungen	83
4.4.1	Schaltverhalten	84
4.4.2	Schaltverluste	84
4.4.3	Leistungsmessungen	88
4.5	Diskussion der Ergebnisse	91
4.5.1	Optimierungspotential	92
5	Der ARCPI mit Stromzwischenkreis	93
5.1	Stromzwischenkreisumrichter	93
5.2	Kommutierung im CS ARCPI	94
5.2.1	Kommutierungsmodi	95
5.2.2	Simulation einer Kommutierungszelle	98
5.2.3	Simulationsergebnisse	101
5.3	Dreiphasige Realisierungen	102
5.3.1	Der CS ARCPI Avarage Voltage Driven	102
5.3.2	Der CS ARCPI Neutral Voltage Driven	103
5.4	Experimentelle Verifikation	106
5.4.1	Versuchsaufbau	106
5.4.2	Untersuchungen	108
5.4.3	Einsatz rückwärtssperrender IGBTs	111
5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	112
6	Vom ARCP zum Resonant Commutated Twin Pole	115
6.1	Dualität in leistungselektronischen Schaltungen	115
6.1.1	Duale Netzwerkelemente	116
6.1.2	Netzwerkgraphen und topologische Matrizen	116
6.2	Entwicklung der Resonant Commutated Twin Pole Zelle	119
6.2.1	Umwandlung	119
6.2.2	Funktionsweise der RCTP-Zelle	122
6.3	Experimentelle Verifikation	125

6.3.1	Versuchsaufbau	125
6.3.2	Messungen	127
6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	130
7	Der RCTPI mit Spannungszwischenkreis	133
7.1	Kommutierung im VS RCTPI	133
7.1.1	Kommutierungsmodi	133
7.2	Aufbau des Versuchswchselrichters	136
7.2.1	Auswahl der Bauelemente	137
7.2.2	Leistungsteil	140
7.2.3	Steuerung	143
7.3	Messungen	146
7.3.1	Schaltverhalten	146
7.3.2	Ausgangsgrößen	152
7.3.3	Wirkungsgrad und Verlustleistung	155
7.4	Bewertung und Ausblick	160
8	Zusammenfassung	163
	Literaturverzeichnis	165
A	Verzeichnis der Abkürzungen	179
A.1	Formelzeichen und Indices	179
A.2	Bezeichnungen in Schaltbildern	182
A.3	Abkürzungen	183