

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen und Stand der Technik.....	5
2.1 Grundlagen der Schaltnetzteiltechnik	5
2.2 Stand der Technik.....	7
3. Analyse des Optimierungspotentials und Zielstellung der Arbeit.....	15
3.1 Vorbemerkungen.....	15
3.2 Leistungshalbleiter	15
3.2.1 Vorbemerkungen.....	15
3.2.2 Hochvolt-Silizium (Si)-Leistungs-MOSFETs.....	15
3.2.3 Niedervolt-Silizium (Si)-Leistungs-MOSFETs	22
3.2.4 Siliziumkarbid (SiC)-Schottky-Dioden.....	28
3.2.5 Vergleich von Si- und SiC-Dioden in einer Hochsetzsteller-PFC-Stufe	31
3.3 Magnetwerkstoffe für Schaltnetzteilanwendungen.....	34
3.4 Schaltnetzteiltopologien im Überblick.....	37
3.4.1 Vorbemerkungen.....	37
3.4.2 Einstufige Topologien (Single-Stage).....	38
3.4.3 Zweistufige Topologien (Dual-Stage).....	39
3.4.4 Dreistufige Topologien (Three-Stage)	41
3.5 Power Factor Correction (PFC)-Stufe.....	42
3.5.1 Vorbemerkungen.....	42
3.5.2 Boost-PFC-Stufe	44
3.5.3 Bridgeless-PFC-Stufe.....	50
3.5.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	52
3.6 Hauptwandler-Stufe	53
3.6.1 Vorbemerkungen.....	53
3.6.2 Partiell hart schaltende Wandler	54
3.6.3 Resonanzwandler für die DC-DC Transformation.....	57
3.6.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	67
3.7 Sekundärseitige Gleichrichter	68
3.8 Partiell hart schaltende und resonante Ansteuerung von MOSFETs	73
3.8.1 Partiell hart schaltende Ansteuerung.....	73
3.8.2 Resonante Ansteuerung.....	77
3.8.3 Ergebnisse der Untersuchungen zur Ansteuerung von MOSFETs	79

3.9	Untersuchungen zur Synchronisation verschiedener Schaltnetzteilstufen.....	80
3.9.1	Vorbemerkung.....	80
3.9.2	Synchronisation von PFC-Stufe und Hauptwandler	80
3.9.3	Synchronisation von Resonanz- und partiell hart schaltenden Wandlern.....	83
3.9.4	Ergebnisse der Untersuchungen zur Stufensynchronisation	85
3.10	Zielstellung der Arbeit und Vorgehensweise	86
4.	Zweistufige Schaltnetzteiltopologien	89
4.1	Vorbemerkungen.....	89
4.2	Partiell hart schaltender Halbbrücken-Konverter.....	89
4.2.1	Topologie, Parameter und Realisierung	89
4.2.2	Ergebnisse der Betrachtungen	90
4.3	Ergebnisse der Untersuchungen an zweistufigen Schaltnetzteilen	91
5.	Dreistufige Schaltnetzteiltopologien	93
5.1	Vorbemerkungen.....	93
5.2	Primärseitig geregelte (Pre-Regulated) Schaltnetzteile.....	93
5.2.1	Vorbemerkungen.....	93
5.2.2	Topologieauswahl für Pre-Regulated Schaltnetzteile	94
5.2.3	Current Fed Push Pull-Konverter	96
5.2.4	Current Fed Full Bridge-Konverter.....	100
5.2.5	Parallelresonanzkonverter	104
5.2.6	Betrachtungen zur Synchrongleichrichtung in stromgespeisten Systemen...	108
5.2.7	Einfluss der Wandlerauslegung auf die Überspannungen im System.....	109
5.2.8	Parasitäre Elemente in Pre-Regulated Schaltnetzteilen	110
5.2.9	Transformatoren in Pre-Regulated Schaltnetzteilen	111
5.2.10	Ergebnisse der Untersuchungen an Pre-Regulated Schaltnetzteilen.....	112
5.3	Sekundärseitig geregelte (Post-Regulated) Schaltnetzteile.....	116
5.3.1	Vorbemerkungen.....	116
5.3.2	Vergleich verschiedener Topologien für Post-Regulated Schaltnetzteile.....	116
5.3.3	Passive Bauelemente in der Hauptstufe	119
5.3.4	Topologieauswahl für Post-Regulated Schaltnetzteile.....	121
5.3.5	Serienresonanzkonverter mit sekundärseitigem Tiefsetzsteller	126
5.3.6	LLC-Konverter mit sekundärseitigem Tiefsetzsteller.....	130
5.3.7	Partiell hart schaltende Halbbrücke mit sekundärseitigem Tiefsetzsteller.....	136
5.3.8	Einflussfaktoren auf das Schaltverhalten des Serienresonanzkonverters	141
5.3.9	Einflussfaktoren auf das Schaltverhalten der partiell hart schaltenden Halbbrücke	144

5.3.10	Ergebnisse der Untersuchungen an Post-Regulated Schaltnetzteilen	146
6.	Diskussion der Ergebnisse.....	151
6.1	Betriebsarten des LLC-Konverters.....	151
6.2	Einflussfaktoren auf das Schaltverhalten und den Wirkungsgrad des LLC-Konverters	156
6.3	Einfluss des Luftspaltes auf die Verluste im Transformator des LLC-Konverters	162
6.4	Wirkungsgrad-Skalierung für einen 2 kW Post-Regulated LLC-Konverter.....	163
6.5	Diskussion eines Pre-Regulated LLC-Konverters	165
6.6	Ergebnisse der Untersuchungen zu dreistufigen Schaltnetzteiltopologien	167
6.7	Entwurfssystematik für ein Schaltnetzteil.....	170
7.	Zusammenfassung und Ausblick	173
Literaturverzeichnis.....		177
Verzeichnis der Formelzeichen, Abkürzungen, Begriffe und Indizes		183
Anhang		192