

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	15
I	Topologien und Schalttechniken	
2	Einführung	18
2.1	Flußkonverter	19
2.2	Resonanzkonverter	20
2.3	Resonant schaltende Konverter	21
2.3.1	Funktionsweise der behandelten Topologie	22
2.3.2	Serien-Resonanz-Konverter (SRK)	23
2.3.3	Phasengesteuerte Brückenschaltung	24
2.3.4	Asymmetrisch gesteuerte Brückenschaltung	25
2.4	Qualitative Aussagen zu Schaltverlusten	26
3	Asymmetrische Phasensteuerung	28
3.1	Annahmen und Definitionen	28
3.2	Definitionsbereich	29
3.2.1	Bereich a	30
3.2.2	Bereich b	30
3.2.3	Bereich c	30
3.2.4	Bereich d	31
3.2.5	Bereich $D > 1/2$	31
3.3	Analyse des Stromrichters im Bereich a	32
3.3.1	Ausgangsspannung	32
3.3.2	Transformator	33
3.3.3	Ströme in den Ventilen $V_1 \dots V_4$	34
3.3.4	Formfaktor f_e des Eingangsstromes i_e	36
3.3.5	Kondensator C_s im Wechselrichter	36
3.3.6	Gleichrichter	38
3.4	Analyse des Stromrichters im Bereich b	40
3.4.1	Ausgangsspannung	40
3.4.2	Transformator	41
3.4.3	Ströme in den Ventilen $V_1 \dots V_4$	42
3.4.4	Formfaktor f_e des Eingangsstromes i_e	44
3.4.5	Kondensator C_s im Wechselrichter	44
3.4.6	Gleichrichter	46
3.5	Verschiedenes	47
3.5.1	Relevante Teilmenge des Definitionsbereichs	47
3.5.2	Bemerkungen zur Steuerung der Ausgangsspannung	48
3.5.3	Spezialfall einer Arbeitsgeraden: $\delta = 1/2 - D$	48
3.5.4	Teilmenge des Definitionsbereichs mit weichem Schalten	49

3.6	Vergleich der Ansteuerverfahren	51
3.7	Realisierungsbeispiel einer Ansteuerschaltung	57

II Dimensionierung von Ausgangsfiltern

4	Einführung	60
5	Filtereingangsspannung	62
5.1	Innenwiderstand der Quelle	62
5.2	Modell für die Analyse der stationären Spannungswelligkeit	63
5.3	Modell für die Analyse des Lastsprungverhaltens	65
6	Verfahren zum Filterentwurf	67
6.1	Spezifikationen	67
6.2	Stand der Technik	67
6.2.1	Klassischer Ansatz der Leistungselektronik	67
6.2.2	Filterentwurf nach Ridley	72
6.2.3	Filterentwurf in der Nachrichtentechnik	73
6.2.4	Vergleich der Entwürfe	75
6.2.5	Vergleich ideales und reales Filter	76
6.3	Iterative Optimierung	76

III Simulation mit Spannungswellen

7	Einführung	82
8	Grundlagen	83
9	Erweiterungen.	87
9.1	Wahl des Torwiderstand für reaktive Bauelemente	87
9.2	Nichtlineare Bauelemente.	87
9.2.1	Definitionen und Vereinbarungen	88
9.2.2	Eindeutigkeit der Lösung	89
9.2.3	Realisierungsbeispiel für Netzwerke mit mehreren Dioden	90
10	Simulationsprogramm	99
10.1	Kurzbeschreibung	99
10.1.1	Simulator 1	99
10.1.2	Simulator 2	100
10.2	Vergleich verschiedener Simulatoren	100
10.2.1	Genauigkeit	101
10.2.2	Zuverlässigkeit	102
10.2.3	Geschwindigkeit	102

IV	Experimentelle Untersuchungen	
	11 Realisierung von Baugruppen	106
	11.1 Treiberschaltung.	107
	11.1.1 Synchrone Ansteuerung	108
	11.1.2 Komplementäre Ansteuerung	109
	11.1.3 Treiber mit sekundärseitiger Gleichspannungsquelle	110
	11.2 Leistungstransformator	112
	11.3 Ausgangsfilter	114
	12 Messungen	115
	12.1 Vergleich synchroner Gleichrichtung mit Schottkydioden.	115
	12.2 Anlauf- und Abschaltverhalten des Umrichters	115
	12.3 Übertragungsfunktion der Regelstrecke	117
	12.4 Schaltentlastung, resonantes Schalten	118
	12.5 Ausgangsspannung	119
	12.5.1 Stationäre Welligkeit	119
	12.5.2 Lastsprungverhalten	120
	12.6 Strombegrenzung	120
	12.7 Sperrspannung an den Dioden des Gleichrichters	122
	12.8 Wirkungsgrad	124
V	Verschiedenes	
	13 Zusammenfassung und Ausblick	128
	14 Schaltbilder	130
	15 Literaturverzeichnis	132

Bildverzeichnis:

I Topologien und Schalttechniken

2.1: Blockersatzschaltbild zweier typischer Flußkonverter	19
2.2: Blockersatzschaltbild eines Gleichstromumrichters in Brückenschaltung	22
2.3: Digitale Ansteuersignale in phasengesteuerten Brückenschaltungen.	24
2.4: Digitale Ansteuersignale in asymmetrisch gesteuerten Brücken.	25
2.5: Ersatzschaltbild zum Verhalten in der Ausschaltphase	26
3.1: Definitionsbereich einer asymmetrisch phasengesteuerten Brückenschaltung	29
3.2: Digitale Ansteuersignale und Primärspannung im Bereich a	30
3.3: Digitale Ansteuersignale und Primärspannung im Bereich b	30
3.4: Digitale Ansteuersignale und Primärspannung im Bereich c	30
3.5: Digitale Ansteuersignale und Primärspannung im Bereich d	31
3.6: Gängige Mittelpunktleitrichtung, Realisierungsmöglichkeiten	38
3.7: Ansteuersignale und Primärspannung in den Bereichen a und b	49
3.8: Graphiken zum Entwurf, Teil 1	51
a) Ausgangsspannung $u_a = f(D, \delta)$ für Eingangsspannung $U_e = const.$	51
b) Eingangsspannung $U_e = f(D, \delta)$ für Ausgangsspannung $u_a = const.$	51
c) Magnetisierungsstrom, Wechselanteil $\Delta i_h = f(D, \delta)$	51
d) Magnetisierungsstrom, Gleichanteil $i_h = f(D, \delta)$	53
e) Effektivwerte der Ventilströme $I_{V1,4RMS} = f(D, \delta)$	53
f) Effektivwerte der Ventilströme $I_{V2,3RMS} = f(D, \delta)$	53
3.9: Graphiken zum Entwurf, Teil 2	53
a) $I_{b,RMS}, P_{v,on}, P_{v,cs}, \Delta u_{cs}$	53
b) Formfaktor des Eingangsstromes $f_e = f(D, \delta)$	53
c) Sperrspannung Diode D_1 : $u_{D1} = f(D, \delta)$	53
d) Sperrspannung Diode D_2 : $u_{D2} = f(D, \delta)$	55
e) Diodenstrom $I_{F(AV)1} = f(D, \delta)$	55
f) Gültigkeitsbereich des hergeleiteten Modells	55
3.10: Graphiken zum Entwurf, Teil 3	55
a) $\Delta i_F = (Supremum - Infimum)$ des Filtereingangsstromes	55
b) $\Delta u_a = (Supremum - Infimum)$ der Ausgangsspannung	55
3.11: Signalfußplan einer Ansteuerung für „asymmetrische Phasensteuerung“	56

II Dimensionierung von Ausgangsfiltern

4.1: Allgemeines Blockschaltbild eines Gleichstromumrichters	60
5.1: Allgemeines Blockschaltbild für den Filterentwurf	62
5.2: Approximation der Filtereingangsspannung für Flußkonverter	63
5.3: Filtereingangsspannung für asymmetrisch gesteuerte Brücken	64
5.4: Filtereingangsspannung, asymmetrisch phasengesteuerte Brücke für $\delta < D$	64
5.5: Filtereingangsspannung, asymmetrisch phasengesteuerte Brücke für $\delta > D$	64
5.6: Eingangsspannung e_0 und Hilfsstrom i_h zur Analyse eines Lastsprunges	66
5.7: Eingangsspannung und -strom, Ausgangsspannung bei Lasterhöhung	66
6.1: Ersatzschaltbild eines einstufigen Ausgangsfilters	67
6.2: Ersatzschaltbild zur Bestimmung der Filterinduktivität L	67
6.3: Prinzipieller Verlauf des Eingangsstromes im stationären Betrieb	69
6.4: Ersatzschaltbild zur Betrachtung eines idealen Lastsprunges	69
6.5: Stromrichter ohne Ausgangskapazität	70
6.6: Verhalten bei Lasterhöhung vs. Ausgangskapazität C_4	71
6.7: Ersatzschaltbild eines Tiefpasses nach Ridley	72
6.8: Ersatzschaltbild und Dimensionierung der Filterentwürfe	75
6.9: Simulierte Größen im stationären Betrieb	77
6.10: Frequenzverlauf der Spannungsdämpfungsfunktion ausgewählter Filter	77
6.11: Ausgangsspannung im stationären Betrieb	77
6.12: Programmablaufplan zum Entwurfsalgorithmus	79

III Simulation mit Spannungswellen

8.1: Definition der Signalgrößentransformation	83
8.2: Beispiel zur Zerlegung eines Netzwerkes	83
8.3: Ersatzschaltbild einer realen Kapazität und zeitdiskreter Signalflußplan	84
8.4: Wellenflußdiagramme der wichtigsten linearen Bauelemente	85
8.5: Beispiel für die Verbindung von zwei Adaptoren	86
9.1: Schaltbild und Kennlinienapproximationen einer einzelnen Diode	90
9.2: Ersatzschaltbild und Definitionen an einer einzelnen Diode	91
9.3: Standardgleichrichter für Flußkonverter, Schaltbild und Definitionen	91
9.4: Fallunterscheidung am Standardgleichrichter für Flußkonverter	92
9.5: Namenskonvention am Transformator mit Mittelpunktgleichrichtung	93

9.6: Brückengleichrichter, Schaltbild und Definitionen	94
9.7: Fallunterscheidung Brückengleichrichter	95
9.8: Allgemeine Mittelpunktgleichrichtung	96
9.9: Grundschialtung zur Gleichrichtung mit „Stromverdopplung“	98
10.1: Sprungantwort eines einstufigen Filters	101
10.2: Ersatzschaltbild und Sprungantwort eines zweistufigen Filter	103
10.3: Hochlauf einer Stromrichterschaltung (SPRK)	103

IV Experimentelle Untersuchungen

11.1: Häufig verwendete Schaltungen für die Primärseite einer Treiberschaltung. . .	107
11.2: Beispiele zur einfachen Realisierung einer sekundärseitigen Ansteuerung . . .	108
11.3: Prinzip und Realisierung einer Treiberschaltung mit sek. Spannungsquelle . .	110
11.4: Ersatzschaltbild einer Treiberschaltung für einen Hauptzweig aus Bild 2.2 . .	111
11.5: Leistungstransformator, Ersatzschaltbild und Aufbau.	112
11.6: Primärseitige Eingangsimpedanzen des Leistungstransformators.	112
11.7: Realisierung der Filterinduktivitäten.	114
11.8: Ersatzschaltbild des mehrstufigen Ausgangsfilters	114
12.1: Meßschaltung für Gleichrichtventile, typische Meßkurve.	116
12.2: Strom–Spannungskennlinien ausgewählter Halbleiter.	116
12.3: Hochlauf- und Abschaltverhalten des Umrichters	116
12.4: Frequenzgang der Strecke in ausgewählten Arbeitspunkten.	118
12.5: u_{DS} an V_4 im Ausschaltmoment, verschiedene Lastströme I_a	118
12.6: Wechselanteil der Ausgangsspannung im stationären Betrieb.	121
12.7: Lastsprungverhalten für verschiedene Stromprofile, $U_e = 250V$	121
12.8: Kurzschlußverhalten des Umrichters	123
12.9: Typische Diodenspannung in den Betriebsarten a und b	123
12.10: Spitzensperrspannung als Funktion der Eingangsspannung	123
12.11: Aufbau und Ergebnis einer Wirkungsgradmessung	124

V Verschiedenes

14.2: Ersatzschaltbild des Stromrichters	130
14.1: Ersatzschaltbild zur Generierung der Ansteuersignale	131