

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	xi
Abstract	xv
1 Einleitung	1
1.1 Konvertertopologien für die Lichtbogen-Fügetechnik . . .	2
1.1.1 Vollbrückenschaltung	4
1.1.2 Serien-Parallel-Resonanzkonverter	5
1.2 Ziel und neue Beiträge der Arbeit	7
1.3 Gliederung der Arbeit	9
2 Modell des SPR-Konverters	13
2.1 Serien-Parallel-Resonanzkonverter	14
2.2 Reluktanzmodell des Transformators	18
2.3 Berechnung der Reluktanzen	23
2.3.1 Reluktanzen einzelner Kernabschnitte	23
2.3.2 Reluktanz eines Luftspaltes	26
2.3.3 Reluktanzen weiterer Luftspaltformen	44
2.4 Analytisches Modell des Resonanzkonverters	51
2.4.1 Analyse des erweiterten Modells	54
2.4.2 Stabilitätsgrenze	62
2.4.3 Sekundärwicklung mit Mittelpunktanzapfung	70
2.4.4 Verlauf der Ströme	72
2.4.5 Validierung des analytischen Modells	74
2.5 Beschreibung - JAVA Applet	82
3 Integration von Induktivitäten	87
3.1 Perpendicular Leakage Path (PLP)	88
3.1.1 Realisierung von Streufluspfaden	91

3.1.2	Geteilte Wicklungen	93
3.2	Aligned Leakage Path(ALP)	94
3.2.1	Realisierung von Streupfaden	97
3.2.2	Umschließende Wicklungen	98
3.2.3	Geteilte Wicklungen	99
3.2.4	U / UR-Kerne	100
3.2.5	Matrix-Transformator	104
3.2.6	Zusätzlicher Streukern	107
3.2.7	Aufbau mit I- und speziellem E-Kern	108
3.2.8	Integrierter Transformator mit Ringkernen	109
3.2.9	Planarer Transformator mit E-E-I Kern	110
3.3	Vergossene Kerne	114
4	Parasitäre Kapazitäten im Transformator	117
4.1	Aufbau von Hochspannungstransformatoren	118
4.2	Statische Lagenkapazität	120
4.2.1	Plattenkondensator-Modell	120
4.2.2	Zylinderkondensator-Modell	123
4.2.3	Modell einer orthogonalen Wicklung	124
4.2.4	Modell einer orthozyklischen Wicklung I	126
4.2.5	Modell einer orthozyklischen Wicklung II	129
4.2.6	Vergleich der Modelle	130
4.2.7	Wicklungen aus Litze	130
4.3	Einfluß der Lagenverschaltung	132
4.3.1	Standard-Wicklungsmethode	132
4.3.2	Flyback Wicklungsmethode	134
4.3.3	Allgemeiner Berechnungsansatz	135
4.3.4	Mehrlagige Wicklungen	136
4.3.5	Nicht vollständige Lagen	138
4.4	Allgemeines Modell zweier Lagen	139
4.4.1	Kapazitätsmodell mit 6 Kondensatoren	139
4.4.2	Mehrlagige Transformatoren	140
4.5	Verifikation der Modelle	144
5	Modell EM-integrierter Strukturen	149
5.1	Basis-Modul der EM-Integration	150
5.1.1	Ersatzschaltbild des Basis-Modules	151
5.1.2	Lösung der allgemeinen Leitungsgleichung	153
5.1.3	Vereinfachung des Ersatzschaltbildes	154
5.2	Kaskadierung von Basis-Modulen	172

5.3	Modell einer Lage mit mehreren Windungen	178
5.3.1	Kapazitive Kopplung koplanarer Leiter	179
5.3.2	Unterteilung des Aufbaus in Abschnitte	187
5.3.3	Leitungsgleichungen eines Mehrleitersystems	193
5.3.4	Modell des Gesamtaufbaus	209
5.4	Mehrere Lagen mit je einer Windung	212
5.4.1	Allgemeine Aufbauten	217
5.5	Grundsaltungen	217
5.6	Dielektrische Materialien für die Integration	221
5.6.1	Konstruktionsbeschränkungen	224
6	Verlustberechnung	227
6.1	HF-Verluste in Wicklungen	228
6.1.1	Diffusionsgleichungen für leitende Medien	229
6.1.2	Folienleiter	231
6.1.3	Verluste im Rundleiter	235
6.1.4	Orthogonalität der Verlustanteile	240
6.1.5	Verluste im Litzendraht	242
6.1.6	Aufbau mit mehreren Lagen	245
6.1.7	Optimale Höhe eines Folienleiters	254
6.1.8	Optimaler Litzendurchmesser	259
6.2	Integrierter Serienschwingkreis	261
6.2.1	Skin-Effekt-Verluste	263
6.2.2	Proximity-Effekt-Verluste	265
6.2.3	Optimale Dicke der Folien	267
6.3	Integrierter Parallelschwingkreis	272
6.3.1	Asymmetrischer Aufbau	277
6.3.2	Symmetrischer Aufbau	284
6.3.3	Vergleich - symmetrisch/asymmetrisch	290
6.3.4	Mittelpunktgleichrichter	293
6.4	Validität der Berechnungsverfahren	297
6.5	Verluste im magnetischen Kern	298
7	Integrierte Prototypen	301
7.1	Integrierter Serien-Parallel-Resonanzkreis	302
7.2	Integrierte Serieninduktivität	307
7.2.1	Aufbau mit senkrechtem Streuflußpfad (PLP)	307
7.2.2	Aufbau mit U-Kernen	312
7.2.3	Planarer integrierter Aufbau mit E-E-I Kern	316
7.3	Elektromagnetisch integrierte Prototypen	322

7.3.1	Keramische Dielektrika	323
7.3.2	Dielektrischer Folien (Kapton)	337
7.3.3	Kapazitive Lamine für PCBs	345
7.4	Grenzen der Integration	348
8	Optimierung des Konvertersystems	351
8.1	Approximation des Betriebspunktes	354
8.1.1	Bereich der Betriebsfrequenz	357
8.2	Volumen der Kondensatoren	361
8.3	Verluste in den Halbleitern / Volumen Kühlkörper	368
8.3.1	Durchlaßverluste	369
8.3.2	Schaltverluste	371
8.3.3	Volumen des Kühlkörpers	386
8.4	Optimierung des Transformators	389
8.4.1	Geometrische Beschreibung	390
8.4.2	Thermisches Modell	396
8.5	Unabhängige Volumenanteile	424
8.6	Optimierungsroutine	430
8.7	Ergebnisse der Optimierung	433
8.8	Numerische Überprüfung der Resultate	453
8.8.1	Simulation der elektrischen Größen	453
8.8.2	Mechanische Konstruktion	458
8.8.3	Thermische Simulation	462
8.9	Diskussion der Ergebnisse	468
8.9.1	Weiterführende Maßnahmen	473
9	Integrierte EMV-Filter	475
9.1	Diskretes EMV-Filter	477
9.2	Passiv hybrides EMV-Filter	481
9.2.1	Aufbau der integrierten Spulen	485
9.2.2	Designroutine	489
9.3	Aktiv hybrides EMV-Filter	491
9.4	Vergleich der EMV-Filter	496
9.5	Zusammenfassung	503
A	Modell Mittelpunktgleichrichter	505
A.1	Kontinuierliche Spannung an C_P	506
A.2	Diskontinuierliche Spannung an C_P	508
B	Transformator ohne HF-Effekte	511

B.1	Reduktion auf 2 Dimensionen	512
B.2	Anforderung an die Hüllkurve f_1	515
B.3	Berechnung der Volumen Kennziffer Z_V	518
B.3.1	Rotierender Kreisbogen als Querschnittsfläche . .	518
B.3.2	Näherung des Kreisbogens mittels Sekante	522
B.3.3	Näherung des Kreisbogens mittels Normale . . .	524
B.3.4	Berechnung der Hüllkurve f_2	526
B.4	Numerische Approximation der Funktionen	529
B.5	Optimale Hüllkurven	534
B.5.1	Wurzelfunktion	535
B.5.2	Quadratische Spline mit 3 Stützstellen	536
B.5.3	Quadratische Spline mit 5 Stützstellen	537
B.5.4	Quadratische Spline mit 7 Stützstellen	539
B.5.5	Quadratische Spline mit 9 Stützstellen	541
B.5.6	Abgeschnittene und verbogene Ellipse	543
B.6	Vergleich der Ergebnisse	544
C	Optimierungsergebnisse	547
C.1	Details zum Aufbau: 18:2:2 / CSPI 25	557
D	Konstruktionszeichnungen	565
	Literaturverzeichnis	569
	Lebenslauf	595