

Inhaltsverzeichnis

1	Einordnung der Dissertation	1
1.1	Stand der Forschung	1
1.2	Motivation	1
1.3	Ziel der Dissertation	3
1.4	Themenübersicht	4
1.4.1	Industielle Entwicklungszyklen	4
1.4.2	Beiträge zum Entwicklungszyklus	6
2	Leistungsübertragungssystem für EESM	7
2.1	Dreh-Transformatoren	7
2.2	Standard-Formen für Drehübertrager	8
2.3	Demonstrator	8
2.4	Einfluss des RT-BEES-Projektes	11
3	Grundlagen	12
3.1	Begriffsdefinitionen	12
3.1.1	Raum- und Datenvektoren	12
3.1.2	Klemmenverhalten	12
3.1.3	Wirbelströme	12
3.1.4	Verhaltensmodelle	13
3.1.5	Das Zylinder-Koordinatensystem	13
3.1.6	Strukturen und 2D-Projektionen	13
3.1.7	Modellbasierte Post-Processing-Auswertung	14
3.2	Grundlagen aus der Literatur	15
3.2.1	Ringströme/Stromfäden	15
3.2.2	Numerische Integration mit der Sehnentrapezformel	17
3.2.3	Magnetmaterialien	17
3.2.4	Berechnung magnetischer Kreise	18
3.2.5	Kernparameter für Topfkerne	19
3.2.6	Luftspalte	21
3.2.7	Transformatoren: Ersatzschaltbilder und Verlustberechnung	22
3.2.8	Verlustberechnung mit Spektralkomponenten	26
3.2.9	Berechnung der Koeffizienten	29
3.2.10	Kernverluste	30
3.2.11	Stromverdrängungseffekte in Flachleitern	31
3.2.12	Optimale Stärke einer Flachkupferwindung	34
3.2.13	Skineffekt in Flachleiter	35
3.2.14	Die Kirchhoffschen Regeln in Matrizen	37
3.2.15	Serienresonanz- und LLC-Wandler	40
3.2.16	Magnetische Grenzflächen	42
3.3	Grundbegriffe Optimierung	42
3.3.1	Die Optimierungssoftware „APMonitor“	45
3.3.2	Einführungsbeispiel und Anmerkungen	46
3.3.3	Vorteile und Einschränkungen von Optimierungssoftware	47
4	Optimierung eines Drehübertragers	49
4.1	Der Mehrgrößen-Optimierungs-Vorgang	49
4.1.1	Optimierungsansatz für Drehübertrager	50
4.1.2	Der einzelne Optimierungsvorgang	52

4.2	Aufgabenstellung für Optimierung	58
4.3	Elektrisches Modell eines Drehübertragers	58
4.3.1	LLC im Resonanzpunkt (Topologie-Modell)	58
4.3.2	Kernverluste	60
4.3.3	Dünner Flachleiter im magnetischen Wechselfeld	61
4.3.4	Wirbelstromverluste durch Magnetisierungsströme	70
4.4	Thermisches Modell eines Drehübertragers	73
4.4.1	Aufbau des thermischen Ersatznetzwerkes	74
4.4.2	Ersatzelemente der Basiszelle des thermischen Modells	76
4.4.3	Aufstellung des Gleichungssystems	77
4.4.4	Das parameterisierbare thermische Modell	78
4.5	Definition der Optimierungsaufgabe	80
4.6	Implementierung der Optimierungsaufgabe	80
4.7	Durchführung der Optimierung	85
4.7.1	Ermittlung von Pareto-Optimalen Auslegungen	85
4.8	Validierung der Ergebnisse	87
4.9	Zusammenfassung und Fazit	91
5	Modellierung und Simulation	92
5.1	Die Filamentmethode	93
5.2	Feldberechnung im Wickelfenster	98
5.2.1	Feldberechnung mittels der Randwertmethode	100
5.2.2	Vermeidung der Koeffizientenbestimmung	115
5.3	Filamentmatrix mit Kernrückwirkung	118
5.4	Beispiel für RT-BEES-Drehübertrager	119
5.5	Vergleich mit bekannten Ansätzen	122
5.6	Verlustbestimmung mit Impedanzmatrizen	123
5.7	Verlustberechnung mit Spektralkomponenten für Drehübertrager	124
5.8	Numerisch effiziente Anwendung des Spektralmodells	129
6	Vergleich zwischen Messungen und Simulationsmodelle	130
6.1	Messaufbau	131
6.2	Durchführung der Messungen	131
6.3	Anwendung des Spektralmodells	132
6.4	Fehlerabschätzung	133
6.5	Abgleich des Messaufbaus	135
6.6	Temperaturschätzung	136
6.7	Messergebnisse	138
6.8	Diskussion der Ergebnisse	141
7	Zusammenfassung und Ausblick	142
	Literaturverzeichnis	144
	Formelzeichenkonvention	149
	Formelzeichenverzeichnis	150
	Lateinische Formelzeichen	150
	Griechische Formelzeichen	156
	Konstantenverzeichnis	157
	Abkürzungsverzeichnis	158
A	Anhang	159
A.1	Alternative Berechnung der Elliptischen Integrale E und K	159
A.2	Fitting Ferrit-Parameter	161
A.3	Berechnung der Eigen- und Koppelinduktivitäten	162
A.3.1	Ermittlung der minimal notwendigen Filamentgröße	164
A.3.2	Ermittlung der Eigeninduktivität	166

A.4	Aufspaltung der speziellen Lösung des Feldansatzes	167
A.5	Normierung des Ansatzes der Randwertmethode	167
A.5.1	Reduktion des Gleichungssystems	168
A.6	Effiziente Berechnung des Gleichungssystems in der Randwertmethode	169
A.7	Approximation von Luftspalten durch Ringströme	170
A.8	Beispiel Gleichungssystem des thermischen Modells eines CR-Übertragers	171
A.9	Nachweis der Passivität des Spektralverlustmodells	173
A.10	Schirmwirkung von Flachleitern	174
A.11	Verlustbehaftete Zeitbereichsmodelle	175
Lebenslauf		177