

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichenkonvention	VII
Formelzeichenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Geräuschberechnung mit modalem Ansatz	1
1.2 Darstellung von Drehwellen	5
1.3 Zielsetzung der Arbeit	6
1.4 Vorgehensweise	7
2 Methoden zur Geräuschreduzierung	9
2.1 Bestehende Methoden zur Geräuschkompensation	9
2.1.1 Lautsprecherbasierte Kompensation	10
2.1.2 Zusätzliche Freiheitsgrade	10
2.1.3 Veränderung des Arbeitspunkts	11
2.1.4 Modulation	11
2.1.5 Sinusförmige Ströme	12
2.1.6 Klemmengrößenbasierte Modelle	12
2.1.7 Feldrekonstruktion	13
2.1.8 Numerische Optimierung	14
2.1.9 Einzelzahn Betrachtung	14
2.1.10 Drehfeldtheorie	16
2.2 Zweidimensionale Kompensation mit Drehfeldern	17
2.2.1 Verwendung von alternierenden Drehfeldern	17
2.2.2 Verwendung von zweidimensionalen Feldern	22
3 Analytische Berechnung des Luftspaltfelds	25
3.1 Beschreibung der Ströme	25
3.2 Bestehende Methoden zur Berechnung der Flussdichte	30
3.2.1 Theorie radialer Drehfelder	30
3.2.2 Subdomänenmodell	32
3.3 Theorie radialer und tangentialer Drehfelder	33
3.3.1 Separation des Luftspaltfelds	34
3.3.2 Ansatz zur Berücksichtigung der Rückwirkung des Stators und des Rotors auf das Luftspaltfeld	41
3.3.3 Analytische Betrachtung der Nutung	42
3.3.4 Fluss der Permanentmagneten	52
3.3.5 Berücksichtigung der Rotornutung	62
3.3.6 Zusammenfassung der analytischen Feldberechnung	69

3.4	Berücksichtigung von Staffelung	71
3.5	Einschränkungen des analytischen Modells	72
4	Analytische und semianalytische Kompensationsstromberechnung	75
4.1	Analytische Vorausberechnung basierend auf der Grundwelle	75
4.1.1	Berechnung der Zugspannung	77
4.1.2	Beschreibung des Einflusses der Oberschwingungsströme	80
4.1.3	Erzeugung einer gewünschten Zugspannung	82
4.1.4	Interpretation der Sollströme	83
4.1.5	Anwendung der Grundwellenrechnung auf die untersuchte permanentmagneterregte Synchronmaschine (PMSM)	85
4.2	Semianalytische Vorausberechnung inklusive Nutung	88
4.2.1	Variation der Ströme	89
4.2.2	Semianalytische Berechnung der Einflussfaktoren	90
4.2.3	Vorausberechnung der Ströme	93
4.2.4	Berechnungsergebnisse der semianalytischen Rechnung	95
4.3	Zusammenfassung der analytischen und der semianalytischen Rechnung . .	101
5	Finite-Elemente-Methode (FEM)-basierte Kompensationsstromberechnung	103
5.1	Vorausberechnung des Kreisstroms	104
5.2	Identifikation der Richtungsabhängigkeit	105
5.3	Iterative Kompensation	107
5.4	Ergebnisse der Beispielmachine	108
5.5	Zusammenfassung der FEM Ergebnisse	115
6	Experimentelle Kompensationsstromermittlung	117
6.1	Identifikation der Einflussfaktoren bei einer Drehzahl	120
6.2	Identifikation der Übertragungsfunktionen	125
6.3	Durchführung der Kompensation	127
6.4	Temperaturabhängigkeit der Versuchsmachine	132
6.5	Diskussion der Gesamtauswirkungen	133
6.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen zu den Messungen	141
7	Zusammenfassung und Ausblick	143
	Anhang:	145
A	Mathematische Identitäten	145
A.1	Geometrische Summe	145
B	Grafische Darstellung der Drehfeldtheorie	146
C	Validierung der analytischen Berechnung	148
D	Zusätzliche Messungen	158
E	Normierungsgrößen	163
F	Prüfstandsdaten	164

G Modulation	165
Literaturverzeichnis	167