

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IV
Abkürzungsverzeichnis	IV
Formelzeichenverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	2
1.2 Stand der Technik	5
1.2.1 Modellierung und Schwingungsanalyse von Statorwickelkopfstrukturen	6
1.2.2 Werkstoffermüdung des elektrischen Isoliersystems im Statorwickelkopf	10
1.2.3 Schädigungsmuster in großen elektrischen Maschinen	12
1.2.4 Schlussfolgerung	15
1.3 Ziele und Aufbau der Arbeit	16
2 Theoretische Grundlagen und Materialmodelle	19
2.1 Strukturmechanik von Festkörpern	19
2.1.1 Elastizitätstheorie	19
2.1.2 Flächenträgheitsberechnung eines Statorstabes	22
2.1.3 Eigenfunktionen von schwingfähigen Systemen	25
2.1.4 Dämpfungsmechanismen und Dämpfungsmodelle	28
2.1.5 Glasübergangstemperatur von Polymeren	32
2.2 Finite Elemente Methode	33
2.3 Kräfteberechnung infolge elektromagnetischer Felder	37
3 Modellestellung und -validierung	41
3.1 Aufbau des parametrisierbaren strukturmechanischen Berechnungsmodells	41
3.2 Implementierung von Temperatureffekten und Dämpfungseigenschaften	46
3.2.1 Bestimmung von temperaturabhängige Steifigkeiten des Statorstabes	46
3.3 Verifikation der Berechnungsergebnisse	50
3.3.1 Modell-Validierung über Eigenfrequenzen	51
3.3.2 Messstellen zur Verifikation der Schwingungsdaten	53
3.3.3 Indirekte Schwingungsanregung im Leerlauf	55
3.3.4 Direkte Schwingungsanregung im Dauerkurzschluss	58
3.3.5 Ergebnis der Verifikation	63

IX

4 Betriebsschwingungen und Betriebsbelastungen	65
4.1 Stationäre Verschiebungen während des Betriebs	66
4.1.1 Stationäre Betriebsschwingungen	67
4.1.2 Thermisch-induzierte Längenänderung des Wickelkopfbereichs	73
4.2 Transiente Betriebsschwingungen	85
4.2.1 Berechnung dynamischer Ströme und Kräfte infolge von Lastwechseln	85
4.2.2 3-poliger Klemmenkurzschluss	86
4.2.3 Einfluss temperaturabhängiger Materialeigenschaften	94
4.3 Ermittlung von hoch beanspruchten Bereichen im Wickelkopf	97
4.3.1 Superposition thermisch-induzierter Einflüsse auf das Schwingungsverhalten	97
4.3.2 Zusammenfassung und Einordnung der Belastungsmechanismen	101
4.3.3 Auswirkungen realer Lastzyklen	102
5 Methoden zur Optimierung der Strukturdynamik	105
5.1 Wirksamkeit von Designaspekten auf die Strukturdynamik	105
5.1.1 Designmodifikationen	105
5.1.2 Analyse der Effekte	107
5.1.3 Effektivität von Designmaßnahmen zur Dehnungsminderung	111
5.2 Innovativer Materialeinsatz und Potentiale zur Flexibilisierung	111
5.2.1 Anforderungen an neue Materialien zur Flexibilisierung des Wickelkopfes	112
5.2.2 Parameterstudie	114
5.2.3 Werkstofflösungen	128
5.3 Schadensbilder als Einflussfaktor auf modale Parameter	131
5.3.1 Auswahl definierter Fehlstellen im System	132
5.3.2 Offline-Fehlererkennung mittels modaler Parameter	133
6 Zusammenfassung und Ausblick	141
6.1 Zusammenfassung	141
6.2 Ausblick	145
A Temperaturabhängigkeiten und thermische Ausdehnungskoeffizienten	147
B Bestimmung mechanischer Materialeigenschaften mittels Modalanalyse	151
C Netzkonvergenzstudie	157
D Verifikation der modalen Superposition als Berechnungsmethode	163
Literatur	169