

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	III
Abkürzungen und Formelzeichen	VII
Kurzfassung	XV
Extended Abstract	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziele der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Stand der Technik	5
2.1 Aufbau eines elektrischen Antriebsstrangs	5
2.2 Aufbau der permanenterregten Synchronmaschine	7
2.3 NVH-Simulationsansätze	8
2.3.1 Numerischer Modellierungsansatz im Frequenzbereich	9
2.3.2 Modalreduzierter Systemsimulationsansatz im Zeitbereich	10
2.4 Optimierungsansätze	12
2.4.1 Maßnahmen in der Leistungselektronik zur Reduktion der Geräuschemissionen	13
2.4.2 Optimierung des elektromagnetischen Kreises	16
2.4.3 Herausforderungen für die Strukturoptimierung	20
3 Modellierung einer Synchronmaschine	21
3.1 Elektromagnetische Simulation einer PMSM	22
3.1.1 I_d/I_q -Transformation	23
3.1.2 Magnetische Feldgrößen	24
3.1.3 Drehmomentenwelligkeit	26
3.1.4 Kennfeldberechnung	27
3.1.5 Elektromagnetische Kraftdichte	32
3.1.6 Exzentrizität des Rotors	34
3.2 Strukturmechanische Simulation einer PMSM	37
3.2.1 Modale Transformation	38
3.2.2 Dämpfungsmodelle	41
3.2.3 Domänenkopplung	42
3.2.4 Maßnahmen zur Rechenzeitoptimierung	45
3.2.5 Ausgabegrößen zur Beurteilung des NVH-Verhaltens	47

4 Validierung des Simulationsmodells	51
4.1 Abgleich der Eigenfrequenzen und Strukturmöden	51
4.2 Ordnungsanalyse an einem Akustikprüfstand	55
5 Analyse geometrischer Einflussparameter auf das NVH-Verhalten	59
5.1 Bewertung eines Frequenzgangs	60
5.2 Variation der Anzahl an Kühlkanälen im Statorgehäuse	63
5.3 Variation der Stegbreite zwischen den Kühlkanälen	68
5.4 Übertragung mit konstantem Querschnitt	71
5.5 Einfluss symmetrisch angeordneter Fixpunkte am Lagerschild	73
6 Körperschalloptimierung mittels statistischer Versuchsplanung	79
6.1 Methode zur Körperschalloptimierung	79
6.2 Einflüsse des Gütekriteriums auf die Optimierung	81
6.2.1 Einfluss verschiedener Gütekriterien	82
6.2.2 Einfluss unterschiedlicher Gewichtung der Gütekriterien	83
6.3 Optimierung der Position der Montagepunkte	84
6.3.1 Optimierung der Position der Fixpunkte für unterschiedliche Zielordnungen	84
6.3.2 Optimierung der Position der Fixpunkte für eine unterschiedliche Anzahl an Fixpunkten	88
7 Luftschalloptimierung mittels Topologieoptimierung	93
7.1 Theoretischer Hintergrund zur Topologieoptimierung	93
7.2 Optimierung des Statorgehäuses	94
7.2.1 Topologieoptimierung des Statorgehäuses in 2D	95
7.2.2 Topologieoptimierung des Statorgehäuses in 3D	98
8 Analyse des optimalen Gesamtsystems	103
8.1 Validierung der gesamtoptimierten Maschinenvariante	103
8.2 Betrachtung der gesamtoptimierten Maschine im Gesamtsystem	107
9 Designempfehlungen für die Optimierung des NVH-Verhaltens	115
10 Zusammenfassung und Ausblick	121
Literatur	125
Anhang	135
10.1 Ergebnisse der Untersuchung mit konstantem Querschnitt	135
Publikationen	137
Lebenslauf	138