

# Inhaltsverzeichnis

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Formelzeichenkonvention</b>  | <b>XIII</b> |
| <b>Formelzeichenverzeichnis</b>   | <b>XIV</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>  | <b>XX</b>   |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1 Stand der Wissenschaft und Technik . . . . .                                  | 2           |
| 1.2 Abgrenzung und Zielsetzung der Dissertation . . . . .                         | 5           |
| <b>2 Das Luftspaltfeld elektrischer Synchronmaschinen</b>                         | <b>7</b>    |
| 2.1 Strombelagswellen der Statorwicklung . . . . .                                | 9           |
| 2.2 Wicklungsfaktor . . . . .   | 10          |
| 2.3 Leitwertwellen des Luftspalts . . . . .                                       | 11          |
| 2.4 Flussdichtewellen . . . . .   | 13          |
| 2.5 Einfluss der Schrägung . . . . .  | 15          |
| <b>3 Drehmomentbildung und Geräuschberechnung elektrischer Maschinen</b>          | <b>17</b>   |
| 3.1 Maxwell'sche Grenzflächenkräfte und Zugspannungswellen . . . . .              | 17          |
| 3.2 Drehmomentbildung . . . . .   | 19          |
| 3.3 Geräuschberechnung elektrischer Maschinen . . . . .                           | 21          |
| 3.3.1 Strukturdynamische Modellierung . . . . .                                   | 22          |
| 3.3.2 Kopplung von elektromagnetischer und strukturdynamischer Domäne . . . . .   | 28          |
| 3.3.3 Akustische Modellierung . . . . .   | 30          |
| <b>4 Modifikation der Maschinengeometrie zur Beeinflussung des Luftspaltfelds</b> | <b>33</b>   |
| 4.1 Bewertungsgrößen für Luftspaltfelder . . . . .                                | 33          |
| 4.2 Vorstellung der Referenzgeometrie . . . . .                                   | 34          |
| 4.3 Modifikation der Rotorgeometrie . . . . .                                     | 36          |
| 4.3.1 Sinuspolaußenkontur . . . . .   | 37          |
| 4.3.2 Zusätzliche Einzelflussperren . . . . .                                     | 40          |
| 4.3.3 Sinuskavitäten . . . . .  | 45          |
| 4.3.4 Rotorpolweitenmodulation . . . . .  | 54          |
| 4.3.5 Bewertung der Rotormodifikationen . . . . .                                 | 67          |
| 4.4 Modifikation der Statorgeometrie . . . . .                                    | 68          |
| 4.4.1 Tangentiale Variation der Nutschlitz . . . . .                              | 68          |
| 4.4.2 Axiale Variation der Nutschlitz . . . . .                                   | 83          |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.4.3    | Bewertung der Statormodifikationen . . . . .  | 90         |
| <b>5</b> | <b>Einfluss der Modifikation der Blechschnitte auf das Maschinenverhalten</b>                           | <b>93</b>  |
| 5.1      | Maschinenverhalten im Leerlauf . . . . .  | 95         |
| 5.1.1    | Rotormodifikationen . . . . .   | 95         |
| 5.1.2    | Statormodifikationen . . . . .  | 97         |
| 5.2      | Drehmoment und Pendelmomente im Lastbetrieb . . . . .   | 100        |
| 5.2.1    | Rotormodifikationen . . . . .   | 101        |
| 5.2.2    | Statormodifikationen . . . . .  | 105        |
| 5.3      | Oberflächenschwingungen und abgestrahlter Schalldruckpegel . . . . .                                    | 114        |
| 5.3.1    | Referenzmaschine . . . . .  | 114        |
| 5.3.2    | Rotormodifikationen . . . . .   | 118        |
| 5.3.3    | Axiale Nutschlitzmodulation . . . . .   | 123        |
| 5.4      | Verluste und Wirkungsgrad . . . . .   | 128        |
| 5.5      | Bewertung der Modifikationen . . . . .  | 134        |
| <b>6</b> | <b>Messtechnische Validierung</b>   | <b>137</b> |
| 6.1      | Aufbau des Prüfstands . . . . .   | 137        |
| 6.2      | Vergleich von Messung und Vorausberechnung . . . . .  | 138        |
| 6.2.1    | Induzierte Spannung im Leerlauf . . . . .   | 139        |
| 6.2.2    | Grenzkennlinie . . . . .  | 141        |
| 6.2.3    | Wirkungsgrad im gesamten Betriebsbereich . . . . .  | 146        |
| 6.2.4    | Oberflächenschnelle . . . . .   | 149        |
| <b>7</b> | <b>Kombination von Stator- und Rotormodifikationen</b>  | <b>155</b> |
| 7.1      | Leerlauf . . . . .  | 157        |
| 7.2      | Drehmomentverhalten im Lastbetrieb . . . . .  | 158        |
| 7.3      | Wirkungsgrad . . . . .  | 161        |
| 7.4      | Geräuschanalyse . . . . .   | 163        |
| 7.5      | Bewertung der modifizierten Maschine . . . . .  | 166        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>   | <b>169</b> |
| <b>A</b> | <b>Maschinendaten</b>   | <b>173</b> |
| A.1      | Maschinendaten der Referenzmaschine . . . . .   | 173        |
| A.2      | Parameter für einen Rotor mit Sinuskavitäten . . . . .  | 174        |
| A.3      | Maschinendaten der Prototypen . . . . .   | 174        |
| <b>B</b> | <b>Simulationsergebnisse und Modifikationsansätze</b>   | <b>175</b> |
| B.1      | Einfluss der tangentialen Nutschlitzmodulation . . . . .  | 175        |
| B.2      | Akustisches Verhalten im Hochlauf . . . . .   | 178        |
| B.3      | Einfluss der Modifikationen auf die Wirbelstromverluste in den Permanentmagneten . . . . .              | 179        |
| B.4      | Kombination von Stator- und Rotormodifikationen und Vergleich mit einer gestaffelten Maschine . . . . . | 179        |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <i>Inhaltsverzeichnis</i> | <i>XI</i> |
|---------------------------|-----------|

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>C Messtechnische Validierung</b> | <b>181</b> |
|-------------------------------------|------------|

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>Literaturverzeichnis</b> | <b>183</b> |
|-----------------------------|------------|