



Florian Bittner (Autor)

Modellgestützte multikriterielle Optimierung von permanenterregten Synchronmaschinen für Hybrid- und Elektrofahrzeuge



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8807>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungen und Formelzeichen | XI |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Optimierung rechenzeitintensiver Fragestellungen | 7 |
| 2.1 Grundlagen der multikriteriellen Optimierung | 7 |
| 2.2 Optimierung elektrischer Maschinen | 11 |
| 2.3 Methoden zur Reduzierung der Gesamtrechenzeit | 13 |
| 3 Das Optimierungsverfahren KG-MPSO | 15 |
| 3.1 Multikriterielle Partikelschwarmoptimierung | 16 |
| 3.2 Umgang mit linearen Restriktionen des Parameterraums | 20 |
| 3.3 Das Kriging-Interpolationsverfahren | 23 |
| 3.4 Unterstützung der Partikelschwarmoptimierung | 26 |
| 3.4.1 Pre-Evaluation | 26 |
| 3.4.2 Spawning | 28 |
| 3.4.3 Anpassung der Schwarmgröße | 31 |
| 3.5 Ablauf der KG-MPSO | 32 |
| 3.6 Untersuchung des Verfahrens mit akademischen Testfällen | 34 |
| 4 Betriebsverhalten und Werkstoffe von permanenterregten Synchronmaschinen | 39 |
| 4.1 Aufbau und Grundwellenmodell der PSM | 39 |
| 4.2 Regelung permanenterregter Synchronmaschinen | 44 |
| 4.2.1 Maschinen ohne Schenkligkeit $L_d = L_q$ | 44 |
| 4.2.2 Maschinen mit Schenkligkeit $L_d < L_q$ | 46 |
| 4.3 Permanentmagnete | 48 |
| 4.3.1 Eigenschaften von Selten-Erd-Magneten | 49 |
| 4.3.2 Herstellung mittels Korngrenzendiffusion | 52 |
| 4.4 Elektroblech | 54 |
| 4.5 Verlustmechanismen und Wirkungsgrad | 57 |
| 4.6 Einflüsse auf die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie | 60 |
| 5 Optimierung von permanenterregten Synchronmaschinen | 67 |
| 5.1 Anforderungen, Randbedingungen und Zielgrößen | 67 |
| 5.2 Maschinenvarianten | 70 |
| 5.2.1 Rotorvarianten und deren Parameter | 71 |
| 5.2.2 Statorvarianten und deren Parameter | 73 |
| 5.2.3 Untersuchte Maschinenvarianten | 74 |



| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3 | Voruntersuchungen | 75 |
| 5.3.1 | Zulässiger Parameterraum | 77 |
| 5.3.2 | Aktive Länge | 77 |
| 5.3.3 | Windungszahl | 79 |
| 5.3.4 | Staffelung | 80 |
| 5.3.5 | Transienter dreiphasiger Kurzschluss | 83 |
| 5.3.6 | Analytische Berechnung der mechanischen Spannung | 87 |
| 5.4 | Vorgehen bei der Optimierung | 89 |
| 5.4.1 | Festlegung zusätzlicher Maschinenparameter | 89 |
| 5.4.2 | Ermittlung der Zielfunktionswerte | 90 |
| 5.4.3 | Anpassung des Optimierungsverfahrens an die Problemstellung | 91 |
| 5.5 | Ergebnisse der Optimierung | 91 |
| 5.5.1 | Polpaarzahl 3, Lochzahl 3 mit Rotor T3 (p3q3T3) | 92 |
| 5.5.2 | Polpaarzahl 4, Lochzahl 2 mit Rotor T3 (p4q2T3) | 93 |
| 5.5.3 | Polpaarzahl 4, Lochzahl 2,5 mit Rotor T3 (p4q2,5T3) | 93 |
| 5.5.4 | Polpaarzahl 5, Lochzahl 2/5 mit Rotor T3 (p5q0,4T3) | 95 |
| 5.5.5 | Polpaarzahl 5, Lochzahl 2 mit allen Rotorvarianten | 95 |
| 5.5.6 | Polpaarzahl 6, Lochzahl 1/2 mit Rotoren V1 und T3 | 96 |
| 5.5.7 | Polpaarzahl 6, Lochzahl 1,5 mit Rotor T3 (p6q1,5T3) | 97 |
| 5.5.8 | Polpaarzahl 7, Lochzahl 1 mit Rotor T3 (p7q1T3) | 98 |
| 5.5.9 | Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse | 98 |
| 5.6 | Vergleich ausgewählter Maschinenvarianten | 102 |
| 5.6.1 | Vergleich auf Basis der multikriteriellen Optimierung | 102 |
| 5.6.2 | Vergleich auf Basis des Verbrauchs in einem Fahrzyklus | 104 |
| 5.6.3 | Auswahl eines Maschinendesigns | 107 |
| 6 | Untersuchung der aufgebauten Maschine und Vergleich mit der Messung | 109 |
| 6.1 | Effiziente Nutzung des Magnetmaterials durch hohe Rotorfestigkeit | 109 |
| 6.1.1 | Bionischer Ansatz zur Reduzierung mechanischer Spannungen | 110 |
| 6.1.2 | Optimierung der Anordnung und Kontur der Stege | 112 |
| 6.2 | Aufbau eines Prototypen | 113 |
| 6.3 | Eigenschaften im Leerlauf | 115 |
| 6.3.1 | Induzierte Spannung | 115 |
| 6.3.2 | Verluste | 116 |
| 6.4 | Betriebsverhalten unter Last | 118 |
| 6.4.1 | Stromdichteverdrängung | 118 |
| 6.4.2 | Betriebskennfelder | 119 |
| 6.4.3 | Maximalkennlinie | 120 |
| 6.4.4 | Wirkungsgrad | 122 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 125 |
| A | Anhang | 129 |
| A.1 | Grundlagen zum magnetischen Kreis | 129 |
| A.2 | Richtwerte bei der Maschinenauslegung | 133 |
| | Literaturverzeichnis | 134 |