Henning Wöhl-Bruhn (Autor)

Synchronmaschine mit eingebetteten Magneten und neuartiger variabler Erregung für Hybridantriebe

https://cuvillier.de/de/shop/publications/820

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

1 Einleitung **1**
1.1 Randbedingungen 1
1.2 Struktur der Arbeit 3

2 Der elektrische Antrieb im Antriebsstrang von Straßenfahrzeugen **5**
2.1 Verbesserung der Energieeffizienz 6
2.1.1 Fahrwiderstand 7
2.1.2 Verluste von Antriebsstrangkomponenten 9
2.1.3 Fahrspiel- und Zyklenbetrieb 14
2.2 Hybridfahrzeuge 16
2.2.1 Gruppierung nach Antriebsstrukturen 17
2.2.2 Gruppierung nach Leistungsfähigkeit des elektrischen Energiespeichers 21
2.3 Elektrofahrzeuge 22
2.3.1 Batteriefahrzeuge 23
2.3.2 Brennstoffzellenfahrzeuge 24

3 Vorstellung von Antriebsstrang, Modellierung und Optimierungsziel **25**
3.1 Quasistationäre vorwärtsgerichtete Simulation 27
3.2 Modellierung der Komponenten 29
3.2.1 Energiespeicher 29
3.2.2 Elektrische Maschine und zugehöriges Getriebe 31
3.2.3 24 V-Bordnetz 35
3.2.4 Verbrennungskraftmaschine mit Starter 35
3.2.5 Kupplung und Fahrzeuggetriebe 37
3.2.6 Rad und konventionelle Bremse 39
3.2.7 Karosserie 39
3.3 Betriebsstrategie 39
3.3.1 Schaltstrategie 40
3.3.2 Energiemanagement 41
3.4 Simulationsergebnisse 47
3.4.1 Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlichen Betriebsmodi 47

3.4.2 Kraftstoffverbrauch bei eingeschränkter Leistungsfähigkeit der elektrischen Maschine 49
3.5 Fazit 50

4 Verfahren zur Berechnung von Synchronmaschinen 53
4.1 Magnetische Materialien und Definitionen der relativen Permeabilität 53
4.2 Berücksichtigung von Permanentmagneten 58
4.2.1 Modellierung unterschiedlicher Magnetformen 58
4.2.2 Berücksichtigung von Streuflüssen 60
4.3 Allgemeine Spannungsgleichungen gekoppelter Leiterschleifen . 62
4.4 Spannungsgleichungen einer dreisträngigen rotierenden Synchronmaschine 64
4.5 Berechnung von dreisträngigen Maschinen nach dem Grundwellenmodell 65
4.5.1 Spannungsgleichungen für Schenkelpol- und Vollpolmaschinen 66
4.5.2 Überführung der Gleichungen in das einphasige Ersatzschaltbild 74
4.5.3 Drehmomentberechnung 77
4.6 Berechnung mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode 79
4.6.1 Spannungsspeisung der Maschine 80
4.6.2 Berechnung von Induktivitäten zur Lösung der Spannungsgleichungen 80
4.6.3 Fazit zu vorgestellten FE-Berechnungsmethoden 83

5 Feldschwächung bei Synchronmaschinen 85
5.1 Prinzip und Einsatzgebiet der Feldschwächung 85
5.2 Stellung des Hauptflusses und Klassifizierung von Verfahren . . 87
5.3 Feldschwächung durch Vorkommutieren des Ankerstroms (Stand der Technik) 88
5.4 Vorstellung alternativer Feldschwächverfahren 92
5.4.1 Verstellung der bestehenden Durchflutung 93
5.4.2 Nutzung zusätzlicher Durchflutungen 95
5.4.3 Veränderung magnetischer Widerstände 100
5.5 Abschließende Bewertung alternativer Verfahren zur Feldschwächung 104

6 Magnetkreisauslegung 107
6.1 Das Design von Synchronmaschinen mit eingebetteten Magneten 107
6.1.1 Das Design von Maschinen mit verteilter Drehstromwicklung 108

6.1.2 Das Design von Maschinen mit Einzelzahnwicklung . . . 109
6.1.3 Eigenschaften unterschiedlicher Magnetanordnungen im Rotor . . . 110
6.2 Das neue Konzept: IMAB-Maschine . . . 112
6.3 Randbedingungen für die Magnetkreisauslegung . . . 115
6.3.1 Vorstellung des Stators . . . 116
6.3.2 Restriktionen und Festlegungen für das Rotordesign . . 116
6.4 Rotordesign und -optimierung . . . 119
6.4.1 Betriebsstrategie für einen verlustoptimalen Betrieb der Maschine mit eingebetteten Magneten . . . 119
6.4.2 Kennfeldberechnung während der Magnetkreisauslegung 121
6.4.3 Kombination von einsträngigem und dreisträngigem Statormodell in der FE-Rechnung mit der analytischen Rechnung . . . 122

7 Ausführung des Prototyps und experimentelle Überprüfung 127
7.1 Ergebnisse der FE-Rechnung . . . 127
7.1.1 Feldbilder und Kennfelder zur Beschreibung der Maschine 127
7.1.2 Berücksichtigung von mechanischen Spannungen im Rotorblechschnitt . . . 134
7.2 Konstruktion von Rotor und Verstelleinrichtung . . . 138
7.2.1 Integration des Rotors in den vorhandenen Stator . . . 138
7.2.2 Konstruktion der Magnetstäbe und Verstelleinrichtung . 139
7.3 Experimentelle Verifikation . . . 142
7.3.1 Verstellung der Magnetstäbe . . . 142
7.3.2 Prüfstandsaufbau . . . 142
7.3.3 Messungen . . . 145
7.4 Fazit und Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 156

8 Zusammenfassung und Ausblick 161

Literaturverzeichnis 165

Abkürzungsverzeichnis 175

Formelzeichen und Indizes 177

Anhang 183