

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung..... | 7 |
| 1.1 | Einordnung und Verbreitung des permanentmagneterregten Kommutatormotors kleiner Leistung | 7 |
| 1.2 | Literaturbewertung | 10 |
| 1.3 | Motivation und Ziel der Arbeit..... | 14 |
| 2 | Kommutierungsvorgang bei PM-DC-Motoren..... | 15 |
| 2.1 | Theoretische Betrachtungen zur Stromkommutierung..... | 15 |
| 2.1.1 | Allgemeine Beschreibung unter Berücksichtigung des Magnetkreises | 15 |
| 2.1.2 | Kommutierungskreis und Funktion von Bürste und Kommutator | 20 |
| 2.1.3 | Prinzipielle Kommutierungsverläufe und deren Auswirkungen | 23 |
| 2.2 | Methoden zur Diagnose und Beurteilung der Kommutierung | 27 |
| 2.2.1 | Klassische Diagnoseverfahren..... | 27 |
| 2.2.2 | Direkte Messung des Kommutierungsstromes an präparierten Motoren | 28 |
| 2.2.3 | Auswertung der Kommutatorlamellenpotentiale..... | 32 |
| 2.2.4 | Kommutierungsanalyse mittels einer Flussmessspule | 33 |
| 2.2.5 | Auswertung des Motorstromes | 36 |
| 2.3 | Verfahren zur Vorausberechnung und Simulation | 39 |
| 2.3.1 | Analytische Berechnungsmethoden | 39 |
| 2.3.2 | Anwendung von numerischen Feldberechnungsprogrammen | 40 |
| 2.3.3 | Simulation der Stromwendung mit Hilfe der transienten FEM | 42 |
| 2.4 | Anwendungsgebiet und Grenzen der Untersuchungsmethoden | 46 |
| 3 | Modellbasiertter Ansatz zur Simulation des Kommutierungsverhaltens..... | 48 |
| 3.1 | Gesamtstruktur des Antriebsmodells..... | 48 |
| 3.2 | Nachbildung der Ankerwicklung und des Magnetkreises | 49 |
| 3.2.1 | Berechnung der Ankerspulenflüsse mittels FEM | 49 |
| 3.2.2 | Bestimmung der Wickelkopfinduktivitäten | 55 |
| 3.2.3 | Ermittlung der Ankerspulenwiderstände und Verschaltung zur Wicklung | 57 |
| 3.3 | Beschreibung der Antriebsmechanik | 59 |
| 3.4 | Berücksichtigung der Ansteuerschaltung | 61 |
| 3.5 | Modellierung des Kontaktsystems Bürste Kommutator | 62 |
| 3.5.1 | Allgemeine Beschreibung des Kontaktverhaltens | 62 |
| 3.5.2 | Untersuchungen an Kontaktssystemen mit Metall-Graphitbürsten | 66 |
| 3.5.3 | Nachbildung des Bürstenübergangs zum Kommutator | 71 |

| | | |
|-------------------------|---|------------|
| 3.5.4 | Berücksichtigung von Lichtbogeneffekten | 75 |
| 4 | Validierung des Modellansatzes | 78 |
| 4.1 | Kommutierung bei einem PM-DC-Motor mit 8 Ankerspulen und 8 Nuten | 78 |
| 4.2 | Stromwendung bei einem PM-DC-Motor mit 12 Nuten und abgeflachtem Ständer .. | |
| | | 80 |
| 5 | Vereinfachung der Modellparametrierung | 84 |
| 5.1 | Erforderliche Modellparameter | 84 |
| 5.2 | Automatische Parametrierung des Kontaktssystemmodells | 85 |
| 6 | Anwendungsbeispiele | 88 |
| 6.1 | Optimierung der Stromwendung durch Bürstenbrückenverdrehung | 88 |
| 6.2 | Einsatz von Hochenergiemagneten bei PM-DC-Motoren | 89 |
| 6.3 | Betrieb bei welliger und gepulster Gleichspannung | 91 |
| 6.4 | Kommutierungsverhalten mitstellungsabhängigem Lastmoment | 94 |
| 6.5 | Verschleißprognose bei geregelten Antrieben | 96 |
| 7 | Zusammenfassung | 98 |
| 7.1 | Allgemeine Erkenntnisse der Anwendung | 98 |
| 7.2 | Ansätze zur Weiterentwicklung | 99 |
| 8 | Anhang | 100 |
| A1: | Verwendete Messschaltung zur direkten Aufnahme des Kommutierungsverlaufs | 100 |
| A2: | Verfahren zur Aufbereitung des Ankerstromes für die Kommutierungsbeurteilung .. | |
| | | 100 |
| A3: | Überblick der Werkstoffdaten von Hartmagneten | 101 |
| A4: | Experimentelle Bestimmung der Wickelkopfstreuinduktivität | 101 |
| A5: | Messaufbau zur Bestimmung des Übergangswiderstands Bürste-Kommutator .. | 103 |
| A6: | Abhängigkeit des Übergangswiderstandes Bürste-Kommutator von Anpresskraft, Luftfeuchtigkeit, Bürstenpolarität und Temperatur | 103 |
| A7: | Veränderungen am Kontaktssystem während des Einlaufens | 105 |
| 9 | Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen | 107 |
| 10 | Literaturverzeichnis | 112 |
| Lebenslauf | | 118 |