

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	Modellbasierter 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 Kontaktsystemen 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 Kontaktsystemmodells	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 mit stellungsabhängigem 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 Kontaktsystem während des Einlaufens	105
9	Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen	107
10	Literaturverzeichnis	112
	Lebenslauf	118