

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation und Zielsetzung	1
1.2	Allgemeine Anforderungen und Kenngrößen elektrischer Maschinen	3
1.3	Einfache Abschätzung der Leistungsfähigkeit	9
1.3.1	Wirkungsgrad.....	9
1.3.2	Ausnutzung	10
1.3.3	Gewicht und Massenträgheit	14
2	Grundlagen zu Synchron-Reluktanzmaschinen.....	15
2.1	Systemgleichungen.....	15
2.1.1	Lineares Grundwellenmodell	18
2.1.2	Nichtlineares Grundwellenmodell mit Querkopplung	19
2.1.3	Berücksichtigung der Eisenverluste	24
2.1.4	Oberschwingungsersatzschaltbild	26
2.2	Feldorientierter Betrieb	27
2.2.1	Regelungsstruktur.....	27
2.2.2	Maximales Drehmoment pro Ampere.....	29
2.2.3	Maximales Drehmoment pro Spannung	30
2.2.4	Maximaler Leistungsfaktor.....	30
2.3	Auslegungskriterien	32
2.3.1	Grundlegende Rotorstrukturen	32
2.3.2	Flussbarrieren	33
2.3.3	Eisensegmente	37
2.3.4	Luft-Eisen-Verhältnis	39
2.3.5	Luftspaltdurchmesser	39
2.3.6	Geometrische Luftspatllänge	40
3	Elektromagnetische Modellierung	43
3.1	Kommutierungskurve	43
3.2	Eindimensionale Magnetkreisrechnung	44
3.2.1	Voraussetzungen und Vereinfachungen	45
3.2.2	Berechnung des magnetischen Kreises	46
3.2.3	Feld- und drehmomentbildende Stromkomponente	53
3.2.4	Hauptinduktivität	53
3.3	Magnetkreisrechnung auf Basis von nichtlinearen Reluktanznetzwerken	55
3.3.1	Modellierung als magnetische Netzwerke	55
3.3.2	Lösungsverfahren	58
3.3.3	Kopplung der Netzwerke	65
3.3.4	Vergleich zur Simulation	68
3.4	Verlustberechnung	71
3.4.1	Stromwärmeverluste.....	73
3.4.2	Ummagnetisierungsverluste	74
3.4.3	Reibverluste	79
3.5	Ergänzende Berechnungen zu den Ersatzschaltbildgrößen	80
3.5.1	Spulenkopflänge	80
3.5.2	Ständerstrangwiderstand.....	80
3.5.3	Streuinduktivitäten	81
3.5.4	Eisenfüllfaktor	84
3.6	Numerische Berechnung	84

3.6.1	Finite-Elemente-Methode und elektromagnetische Feldtheorie.....	85
3.6.2	Modellierung in Maxwell 2D.....	86
3.6.3	Verluste.....	88
4	Funktionsmusterentwurf.....	91
4.1	Randbedingungen.....	91
4.1.1	Anforderungen.....	91
4.1.2	Muster 0: Basismaschine.....	92
4.2	Festlegung der Polpaarzahl und des Statorinnendurchmessers.....	93
4.3	Optimierung des Statorblechschnitts und Wicklungsauslegung.....	97
4.3.1	Optimierung mittels Genetischer Algorithmen.....	97
4.3.2	Berechnungsergebnisse.....	102
4.4	Auslegung des Rotorblechschnitts.....	106
4.4.1	Position und Anzahl der Flussbarrieren.....	106
4.4.2	Luftspaltbreite.....	110
4.4.3	Stegbreiten.....	110
4.5	Festlegung der Rotorschrägung bzw. -staffelung.....	114
4.6	Daten der Funktionsmuster.....	118
4.6.1	Muster 1: Einfacher Maschinenentwurf.....	120
4.6.2	Muster 2: Optimierter Maschinenentwurf (M330-50A).....	121
4.6.3	Muster 3: Optimierter Maschinenentwurf (M270-35A).....	122
5	Messtechnische Untersuchungen.....	123
5.1	Ringmagnetisierungsmessung.....	123
5.1.1	Messaufbau.....	123
5.1.2	Magnetisierungsverhalten.....	126
5.1.3	Ummagnetisierungsverluste.....	127
5.2	Induktivitätsmessung.....	129
5.2.1	Messprinzip.....	129
5.2.2	Absolute Induktivität.....	130
5.2.3	Vergleich zur Simulation.....	131
5.2.4	Differentielle Induktivität.....	132
5.3	Messung am Motorenprüfstand.....	133
5.3.1	Prüfstands Aufbau.....	133
5.3.2	Stationäre Betriebskennlinien.....	134
5.3.3	Verluste und Wirkungsgrad.....	141
5.3.4	Umrichterbedingte Zusatzverluste.....	145
5.3.5	Vergleich zur Simulation.....	149
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	155
	Anhang.....	159
	Formel- und Abkürzungsverzeichnis.....	173
	Literaturverzeichnis.....	185