

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichenkonvention	VI
Formelzeichenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XV
Kurzfassung	XVI
Abstract	XVII
1 Einleitung	1
2 Allgemeines	4
2.1 Differentialgleichung des Erwärmungsvorgangs	4
2.2 Wärmequellennetzwerke	7
2.2.1 Allgemeines	7
2.2.2 Wärmequellennetzwerkstrukturen und deren Parametrierungsmethodiken	9
2.3 Einzelverluste	12
2.3.1 Allgemeines	12
2.3.2 Einzelverluste einer PMSM	13
2.4 Identifikationsmethoden	20
2.4.1 Allgemeines	20
2.4.2 Serielle Prüfstrategie	24
2.4.3 Partikel-Schwarm-Optimierung (PSO)	25
3 Prüfstand	30
3.1 Funktionsweise des Prüfstands	30
3.2 Untersuchte Versuchsmaschinen	32
4 Modellierung einer PMSM	34
4.1 Simulationsmodell	34
4.2 Thermische Modelle	36
4.2.1 Thermisches Modell 1	36
4.2.2 Thermisches Modell 2	41
4.2.3 Thermisches Modell 3	42
4.3 Elektromagnetische Modelle	46
4.3.1 Elektrische Ersatzschaltbildanordnung der PMSM	46
4.3.2 Elektromagnetisches Modell 1	46
4.3.3 Elektromagnetisches Modell 2	49
4.3.4 Elektromagnetisches Modell 3	50

5	Parameteridentifikation der elektromagnetischen Modelle	51
5.1	Bestimmung der Reibungs- und Ummagnetisierungsverluste beim Sinusbetrieb	51
5.2	Bestimmung des Zuschlagfaktors	56
5.3	Bestimmung der Oberschwingungsverluste	58
5.3.1	Stillstandsfrequenzgangmessung	58
5.3.2	Oberschwingungsanalyse durch Messung	60
5.3.3	Vergleich von Rechnung und Messung	64
5.4	Validierung des Strommodells	69
6	Parameteridentifikation der thermischen Modelle	71
6.1	Thermisches Modell 1	71
6.1.1	Thermische Kapazitäten	72
6.1.2	Thermische Widerstände	73
6.1.3	Sensitivitätsanalyse	88
6.1.4	Experimentelle Ermittlung der kritischen Parameter	91
6.2	Thermisches Modell 2	101
6.2.1	Thermische Widerstände	101
6.2.2	Thermische Kapazitäten	106
6.3	Thermisches Modell 3	110
6.3.1	Parametrierungsmethodik	110
7	Experimentelle Validierung der Simulationsmodelle unter Last	119
7.1	Berechnung der Ständerwicklungskopf-temperatur bei Sinusbetrieb	119
7.1.1	Untersuchung bei konstanter Belastung	119
7.1.2	Untersuchung bei wechselnder Belastung	122
7.2	Berechnung der Ständerwicklungskopf- und Permanentmagnettemperatur bei Wechselrichterbetrieb	125
7.2.1	Untersuchung bei konstanter Belastung	125
7.2.2	Untersuchung bei wechselnder Belastung	139
7.3	Einfluss der Schaltfrequenz auf das thermische Betriebsverhalten von PMSM	143
8	Zusammenfassung	146
A	Anhang	151
A.1	Identifikation elektrischer und thermischer Parameter	151
	Literaturverzeichnis	154