

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Wissenschaftlicher Beitrag	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen: Elektrische Maschinen und Messtechnik	7
2.1 Elektrische Maschinen in der Elektromobilität	7
2.1.1 Symmetrisches Dreiphasensystem	8
2.1.2 Permanenterregte Synchronmaschine mit eingebetteten Magneten	9
2.1.3 Asynchronmaschine mit Käfigläufer	12
2.1.4 Prüfstände für elektrische Antriebsmaschinen	14
2.2 Messtechnik im Kontext elektrischer Antriebe	15
2.2.1 Konventionelle Sensorik und Messtechnik	15
2.2.2 Erfassung des internen magnetischen Felds	17
2.3 Zielsetzung der Arbeit	21
2.4 Grundlagen des Messverfahrens	22
2.4.1 Technischer Lösungsansatz	23
2.4.2 Physikalische Grundlagen	26
2.4.3 Elektrische Gestaltung	29
3 Messprinzip: Charakterisierung des Systemverhaltens	31
3.1 Mathematische Beschreibung der magnetischen Feldgrößen .	32
3.1.1 Magnetisches Feld einer Spule	32
3.1.2 Magnetische Felder in der Asynchronmaschine . . .	33
3.1.3 Magnetische Felder in der permanenterregten Synchronmaschine	41
3.1.4 Einfluss des Umrichters	49
3.2 Untersuchung der Eigenschaften des induktiven Messprinzips	52
3.2.1 Elektromagnetisches Modell	52
3.2.2 Numerische Berechnung der Feldgrößen	55
3.2.3 Flussänderung bei Variation der Remanenzflussdichte	57

3.2.4	Flussänderung bei Variation der Luftspaltbreite	59
3.2.5	Flussdichteveerteilung an der Zahnkante	62
3.2.6	Zusammenfassung	63
3.3	Untersuchung der Eigenschaften des impedanzbasierten Messprinzips	64
3.3.1	Frequenzverhalten des Sensors	64
3.3.2	Simulation des impedanzbasierten Messprinzips	67
3.3.3	Identifikation von Einflussgrößen	70
3.3.4	Impedanzmessung in einer elektrischen Maschine	74
3.4	Ergänzende Eigenschaften von Induktions- und Impedanzmessung	81
4	Technische Umsetzung des Messverfahrens	85
4.1	Bestimmung der Impedanz	85
4.1.1	Mehrkanal-Anregung	85
4.1.2	Effiziente Berechnungsmethodik	88
4.1.3	Auslegung der Filter	90
4.1.4	Kompensation von Störungen	92
4.2	Bestimmung des Verkettungsflusses	95
4.3	Kalibrierung von Induktions- und Impedanzmessung	97
4.3.1	Laboraufbau	98
4.3.2	Ausnutzung der Exzentrizität	100
5	Anwendungen	103
5.1	Drehzahlmessung bei Asynchronmaschinen	103
5.1.1	Auswahl des Messprinzips	104
5.1.2	Drehzahlbestimmung im Lastbetrieb	107
5.1.3	Drehzahlbestimmung im Leerlauf	114
5.1.4	Validierung	117
5.2	Temperaturmessung bei permanenterregten Synchronmaschinen	122
5.2.1	Messprinzipien	123
5.2.2	Messverfahren zur Temperaturbestimmung	123
5.2.3	Kalibrierung	126
5.2.4	Plausibilisierung und Validierung	129
6	Zusammenfassung und Ausblick	135

A Anhang	139
A.1 Sensitivitätsanalyse des Frequenzgangs des impedanzbasier- ten Messprinzips	139
A.2 Schaltplan der Anregungsschaltung mit Multiplexer	145
A.3 Winkeldefinitionen bei PMSM	146