

# Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis . . . . .	VIII
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	XV
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Motivation . . . . .	1
1.2 Wissenschaftlicher Beitrag . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Grundlagen: Elektrische Maschinen und Messtechnik</b>	<b>7</b>
2.1 Elektrische Maschinen in der Elektromobilität . . . . .	7
2.1.1 Symmetrisches Dreiphasensystem . . . . .	8
2.1.2 Permanenterrechte Synchronmaschine mit eingebet- teten 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
<b>3 Messprinzip: Charakterisierung des Systemverhaltens</b>	<b>31</b>
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 permanenterrechten Syn- chronmaschine . . . . .	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	Flussdichteverteilung 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 Impedanz- messung . . . . .	81
<b>4</b>	<b>Technische Umsetzung des Messverfahrens</b>	<b>85</b>
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
<b>5</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>103</b>
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 permanentenerregten Synchronma- schinen . . . . .	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
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>135</b>

---

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