

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	V
Abstract	VII
Formelzeichen	IX
1. Einleitung	1
1.1 Merkmale mechatronischer Systeme.....	2
1.2 Überwachung und Instandhaltung komplexer Systeme	3
1.3 Ziel und Aufbau dieser Arbeit.....	5
2 Konzept einer zuverlässigkeitsbasierten Regelung.....	8
2.1 Drei-Schicht-Design	8
2.2 Entwurf eines zuverlässigkeitsbasierten Regelkreises	11
2.3 Anwendungsbereiche	16
3 Methoden und Stand der Technik	18
3.1 Grundlagen zu Fehlern und Fehlerdiagnose.....	18
3.2 Grundlagen der Prognosetechnik	20
3.2.1 Charakteristika der Prognosetechnik.....	20
3.2.2 Vorgehensweise bei der allgemeinen Prognose	21
3.2.3 Prognose und Health Management technischer Systeme.....	22
3.3 Zuverlässigkeitsanalyse für die quantitative Prognose	24
3.3.1 Begriffe und Definitionen	24
3.3.2 Zuverlässigkeitsmodelle.....	25
3.3.3 Verfahren der Fehleranalyse	28
3.3.4 Methodische Lebensdauerberechnung	30
3.3.5 Beispiel für eine zuverlässigkeitsbasierte Prognose.....	33
3.4 Verfahren zur Fehleridentifikation	37
3.4.1 Grenzwertüberwachung	38
3.4.2 Signalbasierte Fehlererkennungsverfahren	39
3.4.3 Modellbasierte Fehlererkennungsverfahren	40
3.4.3.1 Residuengenerierung mit Paritätsgleichungen	41
3.4.3.2 Residuengenerierung mit Beobachtern	42
3.4.3.3 Fehlererkennung mit Parameterschätzung	43
3.5 Fehlertolerante Regelung.....	47
3.5.1 Robuste Regelung als Verfahren zur passiven fehlertoleranten Regelung	49

3.5.2	Adaptive Regelung als eine aktive fehlertolerante Regelung	49
4	Motorfehleranalyse und Modellierung	52
4.1	Fehleranalyse: Fehlerquellen, -ursachen, -merkmale und -verhalten ...	53
4.1.1	Lager.....	54
4.1.2	Wicklungen	55
4.1.3	Permanentmagnete	56
4.2	Zuverlässigkeitsmodell von PM-Synchronmaschinen.....	57
4.3	Modellierung der PM-Synchronmaschine.....	58
4.3.1	Physikalisches Dreiphasen-Motormodell.....	59
4.3.2	Rotorfestes dq -Motormodell	60
5	Prognose und Identifikation des Motorzustands	64
5.1	Prognose des Lagerzustands.....	64
5.1.1	Berechnung der Lagerschädigung und der Lagerlebensdauer	64
5.1.2	Mechanische Kraftanalyse der Motorlager	71
5.1.3	Fazit zur Berechnung der Lagerlebensdauer und Schädigung	73
5.1.4	Simulation für die Prognose des Lagerzustands	74
5.2	Prognose des Wicklungszustands.....	76
5.2.1	Alterungsfaktoren und Schädigungsmechanismen der Isoliersysteme	76
5.2.2	Alterungsmodelle der Isoliersysteme	78
5.2.2.1	<i>Einfaktorielles Alterungsmodell</i>	79
5.2.2.2	<i>Mehrfaktorielles Alterungsmodell</i>	81
5.2.3	Schadensakkumulation von Motorwicklungen	83
5.2.4	Simulation für die Prognose des Wicklungszustands	85
5.3	Parameteridentifikation für PM-Synchronmaschinen	88
5.3.1	Schätzgleichungen und Algorithmus	89
5.3.1.1	<i>Elektrischer Teil</i>	89
5.3.1.2	<i>Mechanischer Teil</i>	91
5.3.2	Identifikationsergebnisse.....	93
6	Zustandsbeschreibung, Beeinflussung und Reglerentwurf ...	96
6.1	Systemzustandsbeschreibung	96
6.1.1	Grundlage	96
6.1.2	Health Rate.....	98
6.1.3	Bestimmung des Gesundheitszustands für den Motor	100
6.2	Entwurf fehlertoleranter Regler.....	102
6.2.1	Klassische Kaskadenregelstruktur.....	102
6.2.2	Reglerentwurf mit “Backstepping” und “Synergetic Control”	104
6.2.3	Verhalten des passiven Reglers.....	108
6.2.4	Fehlertolerante Regelung mit Parameteradaption	112
6.2.5	Zuverlässigkeitsbasierte Regelung für die Erhöhung der Verfügbarkeit	112
6.2.6	Simulation einer zuverlässigkeitsbasierten Regelung	118
7	Zusammenfassung	123
8	Literaturverzeichnis	125

Anhang	134
A Methoden zur Berechnung des Motorlastmoments	134
A.1 Bestimmung der Ströme	134
A.2 Verfahren zur Bestimmung des Motorlastmoments.....	135
A.2.1 <i>Direkte Drehmomentbestimmung aus der Momentgleichung</i>	135
A.2.2 <i>Momentschätzung aus der Motorleistung</i>	136
A.2.3 <i>Beobachter-basierte Verfahren</i>	137
A.2.4 <i>Entwurf eines zeitdiskreten Zustandsbeobachters</i>	138
A.3 Validierung der Lastmomentschätzung am Prüfstand	139
B Bestimmung der Wicklungstemperatur in elektrischen Maschinen	144
B.1 Stand der Technik zum Aufbau eines thermischen Modells.....	144
B.2 Erstellung eines Zwei-Körper-Temperaturmodells.....	145
B.3 Bestimmung der Parameter des thermischen Modells	147
B.4 Bestimmung der Anfangstemperatur	150
B.5 Versuchsergebnisse	151
B.5.1 <i>Thermische Parameter in Abhängigkeit von den Zustandsgrößen</i>	151
B.5.2 <i>Mess- und Schätzergebnisse</i>	154
C Prinzip des Überlagerungslenksystems	157