

2817-1924

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 8

Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Dipl.-Ing. Armin Wolfram,
Kemnath

Nr. 967

Komponentenbasierte Fehlerdiagnose industrieller Anlagen am Beispiel frequenz- umrichter gespeister Asynchronmaschinen und Kreiselpumpen

Berichte aus dem

Institut für
Automatisierungstechnik
der TU Darmstadt



Inhaltsverzeichnis

VORWORT	III
INHALTSVERZEICHNIS	V
VERZEICHNIS WICHTIGER FORMELZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN	IX
1 EINLEITUNG	15
1.1 Service und Instandhaltung	15
1.2 Ziele der Arbeit	5
1.3 Inhaltliche Gliederung	6
2 KOMPONENTENBASIERTER TELESERVICE	8
2.1 Teleservice	8
2.1.1 Stand der Technik im Bereich Telediagnose und Fernüberwachung	9
2.2 Komponentenbasierte Überwachung	12
2.2.1 Komponentenbasierter Überwachungsansatz	12
2.2.2 Anforderungen an die Komponenten und die Kommunikationseinrichtungen	13
3 VERFAHREN ZUR FEHLERERKENNUNG UND DIAGNOSE	15
3.1 Ziele und Anforderungen von Überwachungseinrichtungen	16
3.2 Grundlagen der Fehlererkennung und Diagnose	17
3.2.1 Grundbegriffe und Übersicht der Methoden	17
3.2.2 Modellierung von Fehlern	18
3.3 Signalmodellgestützte Prozessüberwachung	19
3.3.1 Einsatz stochastischer Signalmodelle	19
3.3.2 Modelle und Identifikation von Schwingungen	20
3.3.3 Das Time-Warping Verfahren	22
3.4 Modellgestützte Fehlererkennung	26
3.4.1 Arten der Modellbildung	27
3.4.2 Zeitdiskrete mathematische Modelle	27
3.4.3 Parameterschätzung	30
3.4.4 Paritätsgleichungen	32
3.5 Modellbildung nichtlinearer Prozesse mit Neuro-Fuzzy Ansätzen	38
3.5.1 Lokale Modellansätze	39

VI	Inhaltsverzeichnis	
3.5.2	Methoden zur Identifikation der Struktur und der lokalen Parameter.....	40
3.5.3	Ansätze zur Berücksichtigung langsam veränderlicher Eingangssignale.....	44
3.5.4	Anregungssignale zur Identifikation dynamischer nichtlinearer Prozesse.....	47
3.5.5	Identifikation und Einsatz von Neuro-Fuzzy Modellen zur Fehlererkennung.....	50
3.6	Vergleich der Verfahren zur Fehlererkennung.....	51
3.7	Verfahren zur Fehlerdiagnose.....	55
3.7.1	Akquisition von Referenzdaten.....	56
3.7.2	Inferenzverfahren.....	56
3.7.3	Klassifikationsansätze.....	57
3.7.4	Zusammenfassung.....	58
4	VORSTELLUNG DER FREQUENZUMRICHTERGESPEISTEN ASYNCHRONMASCHINE ALS PUMPENANTRIEB.....	59
4.1	Prozessbeschreibung.....	59
4.1.1	Farbansatzbehälter und Prüfstände.....	59
4.1.2	Asynchronmotor mit Käfigläufer.....	61
4.1.3	Feldorientierte Regelung.....	65
4.1.4	Umrichter mit Spannungszwischenkreis.....	67
4.2	Fehlerpotentiale der Asynchronmaschine und des Umrichters.....	71
4.2.1	Asynchronmaschinen mit Käfigläufer.....	71
4.2.2	Umrichter mit Spannungszwischenkreis.....	73
4.3	Auswirkungen der Fehlerfälle auf das Betriebsverhalten.....	75
4.3.1	Mechanisches Teilsystem.....	76
4.3.2	Elektrisches Teilsystem.....	79
4.3.3	Umrichterfehler.....	81
4.3.4	Feldorientierte Regelung.....	85
4.3.5	Zusammenfassung.....	90
4.4	Stand der Technik: Fehlererkennung bei Asynchronmotoren.....	91
4.4.1	Funktionsumfang des betrachteten Umrichters.....	91
4.4.2	Fehlererkennung an der Asynchronmaschine.....	91
4.4.3	Fehlererkennung am Umrichter.....	94
4.5	Vorstellung des Gesamtkonzepts.....	95
4.5.1	Anforderungen an Systeme zur Telediagnose bei Asynchronmotoren.....	95
4.5.2	Gesamtkonzept.....	96
5	SIGNALMODELLGESTÜTZTE METHODEN ZUR ONLINE- FEHLERERKENNUNG BEI ASYNCHRONMASCHINEN.....	97
5.1	Ansätze zur Überwachung von Gleichrichter und Zwischenkreiskondensator.....	97
5.1.1	Verfahren zur Online Fehlererkennung des Gleichrichters.....	98

Inhaltsverzeichnis	VII
5.1.2	Online-Überwachung des Zwischenkreiskondensators 99
5.1.3	Fehlerdiagnose Gleichrichter und Zwischenkreis 101
5.1.4	Rekonfiguration der Antriebsregelung..... 102
5.2	Überwachung des Pulswechselrichters und des Statorwicklungssystems 103
5.2.1	Fehlererkennung bei gesteuert betriebenen Asynchronmaschinen 103
5.2.2	Fehlerdiagnose gesteuert betriebener Asynchronmaschinen 106
5.2.3	Rekonfiguration bei Sensorfehlern 107
5.2.4	Überwachung feldorientiert geregelter Asynchronmaschinen 108
6	MULTIMODELLBASIERTE ONLINE-ÜBERWACHUNG UMRICHTERGESPEISTER ASYNCHRONMASCHINEN 110
6.1	Überwachung des elektrischen Teilsystems 110
6.1.1	Modellbildung..... 110
6.1.2	Prozessanregung..... 113
6.1.3	Modellansätze und -identifikation..... 114
6.1.4	Fehlererkennung und -diagnose 118
6.2	Fehlererkennung am thermischen Teilsystem 119
6.2.1	Modellbildung..... 120
6.2.2	Modellidentifikation..... 122
6.2.3	Fehlererkennung und -diagnose 123
6.3	Überwachung des mechanischen Teilsystems..... 125
6.3.1	Verfahren zur Berechnung des abgegebenen Drehmoments 125
6.3.2	Ermittlung des Drehmoments zur Überwachung..... 128
7	FEHLERERKENNUNG AN UMRICHTERGESPEISTEN ASYNCHRONMASCHINEN IM STILLSTAND 129
7.1	Fehlererkennung an Gleichrichter und Zwischenkreis 130
7.2	Überprüfung des Pulswechselrichters und der Statorwicklungen..... 131
7.3	Fehlererkennung am Rotorsystem mittels Parameterschätzung..... 134
7.3.1	Anregung im Stillstand 134
7.3.2	Modell im Stillstand..... 135
7.3.3	Bekannte Methoden zur Parameterschätzung im Stillstand..... 135
7.3.4	Fehlererkennung im Stillstand durch Parameterschätzung 136
8	METHODEN ZUR ÜBERWACHUNG VON KREISELPUMPEN..... 143
8.1	Fehleranalyse an Kreiselpumpen..... 143
8.2	Stand der Technik 145
8.3	Modellreduktion und -identifikation 147

VIII	Inhaltsverzeichnis
8.3.1	Modelle der Teilsysteme und Betriebspunktabhängigkeit 147
8.3.2	Modellreduktion 150
8.3.3	Modellidentifikation mittels Neuro-Fuzzy Ansätzen 153
8.4	Multimodellbasierte Fehlererkennung und -diagnose 155
8.4.1	Residuengenerierung 155
8.4.2	Fehlerdiagnose 156
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 158
A	ANHANG: MATHEMATISCHER ANHANG 161
A.1	Filteralgorithmen zur Berechnung zeitlicher Ableitungen 161
A.1.1	Berechnung der Ableitungen durch Filterung 161
A.1.2	Modulationsfunktionen 161
A.1.3	Zustandsvariablenfilter 165
A.1.4	Vergleich der Verfahren 166
B	ANHANG: MODELLBILDUNG 168
B.1	Asynchronmaschine 168
B.1.1	Allgemeines Modell einer Asynchronmaschine mit Käfigläufer 168
B.1.2	Modellierung von Fehlern 172
B.1.3	Vereinfachtes Modell der Asynchronmaschine 173
B.2	Kreiselpumpe 175
B.2.1	Theoretische Förderhöhe bei unendlicher Schaufelzahl 175
B.2.2	Tatsächliche Förderhöhe der Kreiselpumpe 177
B.2.3	Das Rohrleitungssystem 178
B.2.4	Drehmomentenbilanz des mechanischen Systems mit Motor 179
C	ANHANG: KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN FÜR TELESERVICEANWENDUNGEN 180
D	ANHANG: PRÜFSTÄNDE 184
D.1	Farbansatzbehälter- und Kreiselpumpenprüfstand 184
D.2	Rapid-Prototyping-System 185
D.3	Umrichterprüfstand 186
D.4	Asynchronmotor-Prüfstand 187
D.5	Technische Daten der Komponenten 191
	LITERATURVERZEICHNIS 193

Verzeichnis wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen

Abkürzungen

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
APRBS	Amplitudenmoduliertes Pseudo-Rausch-Binär-Signal
ASM	Asynchronmaschine
CAN	Control Area Network
DFT	Discrete Fourier-Transform
DSFI	Discrete Square Root Filter in Information Form
FFT	Fast Fourier-Transform
GEO	Geostationary Earth Orbit
GSM	Global System for Mobile Communications
GPRS	General Pocket Radio Service
HF	Hochfrequenz
HSCSD	High-Speed Circuit Switched Data
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
LEO	Low Earth Orbit
LM	Lokales Modell
LS	Least Squares
LOLIMOT	Local Linear Model Tree
MEO	Medium Earth Orbit
MLP	Multi Layer Perceptron
MOSFET	Metal Oxide Field Effect Transistor
NRBF	Normierte radiale Basis Funktionen
PC	Personal Computer
PSM	Permanenterregter Synchronmotor
PRBS	Pseudo-Rausch-Binär-Signal
PWM	Pulsweitenmodulation
PWR	Pulswechselrichter
RLS	Recursive Least Squares
RBF	Radiale Basis Funktionen
TCP	Transmission Control Protocol

TE	Teilentladungen
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WLS	Weighted Least Squares
ZK	Zwischenkreis
ZVF	Zustandsvariablenfilter

Allgemeine Variablen und Festlegungen

f_a	Abtastfrequenz
$j = \sqrt{-1}$	Imaginäre Einheit
k	Diskrete Zeitpunkte $t = k \cdot T_a$
s	Laplace-Operator $s = \sigma + j\omega$
t	Zeit
$x(t)$	Zeitkontinuierliche Größe
$x[k]$	Zeitdiskrete Größe
x_w	Sollwert der Größe x
x_z	Störgröße
$\hat{x}$	Schätzwert der Größe x
$\dot{x}$	Zeitliche Ableitung der Größe x
$\bar{x}$	Zeitlicher Mittelwert der Größe x
x^*	Konjugiert komplexe Größe x
x^T	Transponierter Vektor x
z	Variable der Z-Transformation
I	Einheitsmatrix
T_a	Abtastzeit
$\operatorname{Re}\{.\}$	Realteil einer komplexen Variablen
$\operatorname{Im}\{.\}$	Imaginärteil einer komplexen Variablen
x	Vektor
X	Matrix
$\underline{x}$	Raumzeiger
$\hat{x}$	Amplitude des Raumzeigers $\underline{x}$

Übertragungsfunktion

a_v	Koeffizienten des Nennerpolynoms
b_μ	Koeffizienten des Zählerpolynoms