

Dipl.-Ing. Rüdiger Deibert, Tamm

**Methoden zur  
Fehlererkennung an  
Komponenten im  
geschlossenen Regelkreis**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Nr. **650**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Liste der verwendeten Zeichen und Symbole</b> .....	VIII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Allgemeine Aspekte zur Überwachung technischer Systeme</b> .....	5
2.1 Begriffsdefinitionen .....	5
2.2 Anforderungen an Überwachungseinheiten .....	6
2.3 Aufbau einer Überwachungs- und Fehlerdiagnoseeinheit .....	7
2.4 Fehler im geschlossenen Regelkreis .....	9
2.5 Überwachungsebenen für Regelkreise .....	14
2.6 Zusammenfassung .....	16
<b>3 Grundlagen der Fehlererkennung mit analytischen Methoden</b> .....	17
3.1 Merkmalgewinnung mit modellgestützten Methoden .....	17
3.1.1 Fehlererkennung durch Parameterschätzung .....	19
3.1.2 Fehlererkennung mit Paritätsgleichungen .....	24
3.1.3 Fehlererkennung durch Zustandsbeobachtung .....	25
3.1.4 Kombination modellgestützter Verfahren .....	27
3.1.4.1 Schätzung der Parameter für Paritätsgleichungen .....	27
3.2 Signalgestützte Methoden .....	30
3.2.1 Grenzwertkontrollen .....	30
3.2.2 Statistische Kenngrößen .....	31
3.2.3 Erkennung und Klassifikation von Schwingungen .....	32
3.3 Klassifikation und Bewertung von Symptomen .....	32
3.4 Zusammenfassung und Bewertung .....	33
<b>4 Modellgestützte Fehlererkennung im geschlossenen Regelkreis</b> .....	35
4.1 Parameterschätzung zur Fehlererkennung im geschlossenen Regelkreis .....	35
4.1.1 Vergleich Gleichungsfehleransatz-Ausgangsfehleransatz .....	35
4.1.1.1 Bewertung der Modellvorhersage .....	35
4.1.1.2 Bewertung der Modellvorhersage im geschlossenen Regelkreis .....	39
4.2 Erzeugung von Fehlermerkmalen durch Parameterschätzverfahren .....	43
4.2.1 Rekonstruktion statischer Kennlinien .....	43
4.2.1.1 Merkmalgewinnung aus Kennlinienveränderungen .....	44
4.2.1.2 Richtungsabhängige Modelle .....	45

4.2.2 Fehlererkennung an Teilmodellen	47
4.3 Zusammenfassung	49
<b>5 Signalgestützte Methoden zur Fehlererkennung</b>	<b>50</b>
5.1 Auswertung einzelner Regelkreissignale	50
5.2 Erkennung und Klassifikation von Schwingungen in der Regelgröße	52
5.3 Kombinierte Auswertung aller verfügbaren Meßsignale	57
5.3.1 Simulationsbeispiel	58
5.3.2 Erweiterte Betrachtung bei Kaskadenregelung	61
5.4 Zusammenfassung und Bewertung	63
<b>6 Gesamtkonzept zur Überwachung und Fehlererkennung</b>	
<b>im geschlossenen Regelkreis</b>	<b>65</b>
6.1 Kopplung von Regelung und Fehlererkennung	65
6.1.1 Gekoppelte Optimierung von Regelung und Fehlerdiagnose	68
6.1.2 Entkoppelte Optimierung von Regelung und Fehlerdiagnose	73
6.2 Ein Gütekriterium für den überwachten Regelkreis	74
6.2.1 Bewertung modell- und signalgestützter Verfahren zur Fehlerdiagnose	75
6.2.2 Bewertung der Regelgütekriterien	76
6.2.3 Einfluß von Regelkreisstruktur und Reglerauslegung, Wahl der Abtastzeit	78
6.3 Zusammenfassung	81
<b>7 Fehlererkennung an einem pneumatisch betätigten Stellventil</b>	
<b>im Durchflußregelkreis</b>	<b>83</b>
7.1 Modellbildung	83
7.1.1 Ventilantrieb	84
7.1.1.1 Elektrisches Teilsystem des Antriebs	86
7.1.1.2 Pneumatisches Teilsystem des Antriebs	86
7.1.1.3 Mechanisches Teilsystem des Antriebs	90
7.1.2 Resultierendes Gesamtmodell, Bildung von Schätzgleichungen	91
7.2 Fehler an pneumatisch angetriebenen Stellventilen	93
7.3 Experimentelle Ergebnisse	96
7.3.1 Ermittlung der Kennlinienabweichungen im Fehlerfall aus den gemessenen Kennlinien	96
7.3.2 Erzeugung von Fehlermerkmalen durch Parameterschätzung	103
7.3.2.1 Parameterschätzung mit zeitkontinuierlichen Teilmodellen des Stellventils	103

## VII

7.3.2.2	Bestimmung von Kennlinienänderungen durch Parameterschätzung	106
7.3.3	Ermittlung signalgestützter Kenngrößen	111
7.3.4	Einfluß anderer Reglereinstellungen	112
7.3.5	Symptomverarbeitung und Fehlerbäume	113
7.4	Zusammenfassung	114
<b>8</b>	<b>Fehlererkennung im Temperaturregelkreis</b>	<b>116</b>
8.1	Vereinfachte Modellbildung der Regelstrecke	117
8.1.1	Elektrisch angetriebenes Stellventil	117
8.1.2	Wärmetauscher	117
8.2	Berechnung des Residuums	118
8.3	Experimentelle Ergebnisse	118
8.4	Zusammenfassung	121
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung der Arbeit</b>	<b>122</b>
<b>Anhang</b>		<b>125</b>
<b>Schrifttum</b>		<b>138</b>