

Dipl.-Ing. Thomas Höfling, Darmstadt

# **Methoden zur Fehler- erkennung mit Parameterschätzung und Paritätsgleichungen**

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

Nr. **546**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis wichtiger Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	VIII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Begriffe in der Fehlererkennung</b> .....	6
<b>3 Modellgestützte Verfahren der Fehlererkennung</b> .....	11
3.1 Parameterschätzmethoden .....	11
3.1.1 Parameterschätzung mit dem Gleichungsfehler .....	12
3.1.2 Parameterschätzung mit dem Ausgangsfehler .....	16
3.1.3 Identifizierbarkeitsbedingungen .....	18
3.2 Paritätsgleichungen .....	19
3.2.1 Entwurf von Paritätsgleichungen mit Ein-/Ausgangsmodellen .....	22
3.2.2 Entwurf von Paritätsgleichungen im Zustandsraum .....	23
3.2.3 Orthogonaler Paritätsraum .....	28
3.3 Modellgestützte Fehlererkennung mit Hilfe von Beobachterstrukturen .....	29
3.3.1 Zustandsbeobachter zur Sensor- und Aktorfehlererkennung (Bank von Beobachtern) .....	29
3.3.2 Zustandsbeobachter mit Eigenstrukturentwurf .....	31
3.3.3 Verallgemeinerter Fehlerbeobachter mit unbekanntem Eingang .....	34
3.3.4 Fehlersensitiver Zustandsbeobachter .....	36
3.4 Zusätzliche Maßnahmen .....	39
3.4.1 Zustandsvariablenfilterung .....	39
3.4.2 Adaptive Schwellen .....	41
3.4.3 Empirische Mittelwerte und Varianzen .....	44
3.4.4 Zusammenfassung .....	46
3.5 Vergleich und Bewertung .....	46
<b>4 Testprozeß Gleichstrommotor</b> .....	49
4.1 Prüfstand .....	49
4.2 Modellbildung des Gleichstrommotors .....	51
4.2.1 Spannungserzeugung .....	51
4.2.2 Drehmomenterzeugung .....	52
4.2.3 Dynamisches Modell des Ankerstromkreises .....	52

4.2.4	Dynamisches Modell des mechanischen Teilsystems	53
4.2.5	Gesamtmodell	54
4.3	Identifikation des Motors und Modellvalidierung	55
<b>5</b>	<b>Verwandtschaften der Fehlererkennungsverfahren</b>	<b>59</b>
5.1	Paritätsgleichungen und Beobachterresiduen	59
5.2	Paritätsgleichungen und Parameterschätzung	64
5.3	Zusammenfassung	68
<b>6</b>	<b>Empfindlichkeit der Fehlererkennung</b>	<b>69</b>
6.1	Fehlerempfindlichkeit von primären Residuen	69
6.2	Empfindlichkeit und Tiefpaßcharakter der Parameterschätzung	72
6.3	Fehlergröße und Fehlererkennungszeit	76
6.4	Unterscheidung von Sensor- und Parameterfehlern	78
6.5	Zusammenfassung	81
<b>7</b>	<b>Fehlererkennung bei bilinearen Systemen</b>	<b>82</b>
7.1	Paritätsgleichungen für bilineare Systeme	82
7.2	Beobachterentwurf für bilineare Systeme	88
7.3	Parameterschätzung bei bilinearen Systemen	90
7.4	Zusammenfassung	92
<b>8</b>	<b>Kombinationen modellgestützter Fehlererkennungsverfahren</b>	<b>93</b>
8.1	Durch Paritätsgleichungen ausgelöste Parameterschätzung	93
8.2	Parameteradaptive Paritätsgleichungen mit Parameterschätzung	95
8.2.1	Adaption des geschätzten, zeitvarianten Parameters	99
8.2.2	Adaption aus einem Parameterkennfeld	99
8.3	Abwechselnde Fehlererkennung für nichtlineare Prozesse	100
8.3.1	Schätzung des Kleinsignalmodells	101
a)	Schätzung mit künstlicher Anregung	101
b)	Schätzung mit Kenntnis der nichtlinearen, statischen Kennlinie	102
8.3.2	Paritätsgleichungen	103
8.3.3	Fehlererkennung	104
8.4	Vergleichende Bewertung	105

---

<b>9 Anwendungsbeispiele</b> .....	108
9.1 Gleichstrommotor .....	108
9.2 Kraftfahrzeugquerdynamik .....	110
9.3 Thermischer Prozeß .....	113
9.4 Zusammenfassung .....	117
<b>10 Fehlerdiagnose am Gleichstrommotor</b> .....	118
10.1 Bestimmung des entkoppelten Residuums mit Fuzzy Logik .....	118
10.2 Regelgenerierung für die Diagnose .....	120
10.3 Bewertung und Zusammenfassung .....	123
<b>11 Zusammenfassung</b> .....	124
<b>Anhang</b> .....	126
A Mathematischer Anhang .....	126
A.1 RLSU-Schätzverfahren .....	126
A.2 DSFI-Schätzalgorithmus .....	127
A.3 Zuweisung der Eigenstruktur .....	131
A.3.1 Zuweisung der linken Eigenstruktur .....	131
A.3.2 Zuweisung der rechten Eigenstruktur .....	132
A.3.3 Beobachter mit minimaler Einschwingzeit .....	133
A.4 Entwurf des Beobachters mit unbekanntem Eingang .....	134
B Technische Daten des Prüfstands .....	137
B.1 Gleichstrommotor .....	137
B.2 Weitere Hardware .....	138
B.3 Eingebaute Hardwarefehler .....	139
B.4 Software .....	140
C Zeitkontinuierliche Paritätsgleichungen für den Motor .....	141
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	144