

Dipl.-Ing. Wolf Liebert, Zürich

Entwurf von schnellen Fuzzy-Reglern am Beispiel eines aktiven Magnetlagers

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

Nr. **545**

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen.....	VIII
Kurzfassung	XI
Abstract.....	XII
1. Einführung	1
1.1 Ziel der Arbeit.....	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2. Grundlagen der Fuzzy-Logic	5
2.1 Fuzzy-Mathematik.....	5
2.1.1 Fuzzy-Mengen und -Operatoren	6
2.1.2 Fuzzy-Regeln	10
2.1.3 Fuzzifizierung	11
2.1.4 Inferenz	12
2.1.5 Defuzzifizierung	14
2.2 Fuzzy-System	14
2.3 Einschränkung der Operatoren	16
3. Herkömmliche Fuzzy-Regler.....	18
3.1 Regelstrecke	18
3.2 Linearer Reglerentwurf.....	19
3.3 Aufbau von Fuzzy-Steuerungen und -Reglern	20
3.3.1 Fuzzy-Steuerung	22
3.3.2 Fuzzy-Linearisierung.....	22
3.3.3 Fuzzy-Regelung	23
3.3.4 Übergeordeter Fuzzy-Regler	23
3.3.5 Paralleler Fuzzy-Regler.....	24
3.3.6 Fuzzy-Begrenzungs-Regler.....	25
3.3.7 Fuzzy-Schalt-Regler	25

3.4 Anwendungen von Fuzzy-Reglern.....	26
3.5 Hilfsmittel zum Fuzzy-Reglerentwurf	27
3.6 Stabilität von Fuzzy-Reglern	30
 4. Fuzzy-Kompensationsregler	32
4.1 Begriff der Differenzordnung und direkte Systembeschreibung	33
4.2 Entwurf einer nichtlinearen Kompensation.....	36
4.3 Schwierigkeiten beim Kompensationsreglerentwurf	39
4.4 Einsatz von Fuzzy zur Kompensation.....	40
 5. Auswahl der Fuzzy-Operatoren und deren praktische Implementierung.....	43
5.1 Erzeugen von eindimensionalen Funktionen mit Fuzzy-Logic	43
5.1.1 Bereich zweier sich überlappender Zugehörigkeitsfunktionen....	45
5.1.2 Verwendung von gewichteten Regeln	48
5.1.3 Stetig differenzierbare Funktionen.....	49
5.2 Erzeugung von mehrdimensionalen Funktionen mit Fuzzy-Logic.....	53
5.2.1 MAX-MIN-Inferenz.....	54
5.2.2 PRODUKT-SUM-Inferenz.....	59
5.3 Numerische Methoden für schnelle Fuzzy-Regler	61
5.3.1 Fuzzifizierung bei linearen Zugehörigkeitsfunktionen	61
5.3.2 Fuzzifizierung bei einfach-überlappenden Zugehörigkeitsfunktionen.....	63
5.3.3 Fuzzifizierung mit Tabellenspeicher	65
5.3.4 Inferenz	66
5.3.5 Defuzzifizierung	69
5.3.6 Auflösung bei Festpunkt-Prozessoren	69
 6. Entwurf eines Fuzzy-Kompensationsreglers für ein aktives Magnetlager.....	73
6.1 Das Magnetlager im Regelkreis	74
6.1.1 Modell des Magnetlagers	74
6.1.2 Modell des Leistungsteils.....	78
6.1.3 Reglerentwurf im Frequenzbereich	78

6.1.4 Reglerentwurf im Zeitbereich	81
6.2 Kompensation der Nichtlinearitäten im Magnetlager	82
6.2.1 Transformation des Steuervektors.....	83
6.2.2 Kompensation der nichtlinearen Wegabhängigkeit.....	84
6.3 Kompensation mit Fuzzy-Logic	87
6.3.1 Definition der Fuzzy-Variablen	87
6.3.2 Kompensation der nichtlinearen Stromfunktion	90
6.3.3 Kompensation der nichtlinearen Wegfunktion.....	91
 7. Realisierung einer Versuchsanlage.....	 94
7.1 Aufbau des aktiven Magnetlagers	94
7.1.1 Elektromagnet	94
7.1.2 Leistungsteil.....	97
7.1.3 Positionserfassung und A/D-D/A-Wandlung	100
7.1.4 Prozessorkarte.....	101
7.2 Software	104
7.2.1 Mathematische Modellierung des Magnetlagers	104
7.2.2 Simulationswerkzeuge	105
7.2.3 Aufbau eines Programmes für Echtzeitanwendungen	107
7.3 Praktische Meßresultate	110
7.3.1 Meßanordnung und Vorgehen	110
7.3.2 Resultate.....	111
7.4 Bewertung des Fuzzy-Regler-Einsatzes	121
 8. Zusammenfassung und Ausblick.....	 123
 Literaturverzeichnis	 125