

Dipl.-Ing. Karl-Dieter Tieste, Hannover

Mehrgrößenregelung und Parameteridentifikation einer Linear-Magnetführung

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

Nr. **656**

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	VII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit	1
2 Literaturstudie	3
2.1 Magnetschwebeprinzipien	3
2.2 Stand der Technik	5
2.2.1 Magnetschwebetechnik	5
2.2.1.1 Elektromagnetisches Schweben	5
2.2.1.2 Elektrodynamisches Schweben	6
2.2.2 Magnetlagertechnik	8
2.2.2.1 Reinraum und Vakuumtechnik	8
2.2.2.2 Lagerung von Turbomaschinen	8
2.2.2.3 Spindellagerungen für Werkzeugmaschinen	9
2.2.2.4 Supraleitende Magnetlagerungen	10
2.2.3 Linearführungen	11
2.2.3.1 Fördertechnik	11
2.2.3.2 Reinraum- und Vakuumtechnik	11
2.2.3.3 Präzisionstechnik	12
3 Magnetführungen für Werkzeugmaschinen	15
3.1 Statisches und dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen- Linearführungen	15
3.2 Vergleich der Magnetführung mit Magnetschwebebahn und Radial- Magnetlager	17
4 Modellbildung	19
4.1 Das mechanische Teilsystem	20
4.2 Die Aktuatoren	24
4.2.1 Aktuatoren für das Tragen und Führen	24
4.2.2 Aktuatoren für den Antrieb	27

4.2.3	Modellbildung der Aktuatoren	28
4.3	Die Kopplung	29
4.4	Die Magnetführung	30
4.5	Kritische Anmerkungen zur Modellbildung	31
4.6	Zur Anordnung der Sensoren und Aktuatoren	32
5	Versuchsaufbau	33
5.1	Komponenten der Magnetführung	34
5.1.1	Die Trag- und Führungsmagnete	34
5.1.1.1	Überlegungen zur Auslegung der Elektromagnete	35
5.1.1.2	Das Kennlinienfeld des Magnetpaars vom Einfreiheitsgradlager	36
5.1.1.3	Die Kenngrößen der Elektromagnete der Magnetführung	37
5.1.2	Die Leistungsverstärker	38
5.1.3	Die Wegsensoren	40
5.1.4	Elektromagnetische Verträglichkeit	42
5.1.5	Die Regelungshardware	43
5.2	Regelungstechnische Beschreibung	46
5.2.1	Das Einfreiheitsgradlager	46
5.2.2	Die Magnetführung	47
5.2.3	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	51
6	Freiheitsgrad-Regelung	53
6.1	Ansatz zur Freiheitsgrad-Regelung	53
6.2	Reglerentwurf anhand des Einfreiheitsgradlagers	56
6.3	Freiheitsgrad-Regelung der Magnetführung	62
6.4	Stärken und Schwächen der Freiheitsgrad-Regelung	64
7	Entkoppelte Kaskadenregelung	66
7.1	Die Stromregelung	66
7.2	Lageregelung der Magnetführung	68
7.3	Lageregelung des Einfreiheitsgradlagers	70
7.3.1	Zeitdiskrete PIDT ₁ Regelung	72

7.3.2	Zeitkontinuierliche Zustandsregelung	72
7.3.3	Vergleich der Reglereigenschaften	74
7.4	Messungen an der Magnetführung	78
7.5	Die Grenzen der entkoppelten Kaskadenregelung	91
7.5.1	Die Modellbildung	92
7.5.2	Die Sensorik	94
7.5.3	Die Aktuatorik	94
7.5.4	Der Prozeßrechner	94
8	Adaption und Identifikation der Beladung	95
8.1	Identifikation der Magnetparameter	95
8.2	Identifikation der Massenmatrix	97
8.3	Identifikationsergebnisse für das Einfreiheitsgradlager	103
8.4	Identifikationsergebnisse für die Magnetführung	109
8.5	Parameteradaption	115
9	Betrachtungen zur Technologie der Linear- Magnetführung. Ein Ausblick	116
9.1	Einsatzfähigkeit	116
9.2	Möglichkeiten	117
9.2.1	Trennung von Lagereferenz und Kraftübertragung	118
9.2.2	Die Berührungsfreiheit	118
9.2.3	Einsatz als Sensor	119
9.2.4	Einsatz als Stellglied	119
9.2.5	Integration des Antriebes	119
9.3	Einsatzgebiete	121
10	Zusammenfassung	122
	Literatur	124