

G. Schweitzer, A. Traxler, H. Bleuler

Magnetlager

Grundlagen, Eigenschaften und
Anwendungen berührungsfreier,
elektromagnetischer Lager

Mit 139 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Übersicht.....	1
1.1	Prinzipielle Funktionsweise der magnetischen Lagerung.....	1
1.2	Das Magnetlager als Mechatronikprodukt	3
1.3	Das Magnetlager in der Verkehrstechnik, in der Physik und im Maschinenbau	4
1.4	Bauweisen von Magnetlagern.....	10
1.5	Eigenschaften der magnetischen Lagerung von Rotoren	16
1.6	Beispiele für die aktive elektromagnetische Lagerung aus Forschung und Industrie	18
	Literatur.....	24
2	Magnetische Lagerung eines einfachen starren Körpers..	27
2.1	Das Magnetlager als Element des Regelkreises.....	27
2.2	Schließen des Regelkreises: Das Magnetlagersystem	32
2.3	Stromsteuerung mit PD- und PID-Regler.....	36
2.4	Strom- oder Spannungssteuerung?.....	41
2.5	Zustandsdarstellung	44
2.6	Reglerauslegung im Zustandsraum	46
	Literatur.....	50
3	Komponenten im Magnetlagersystem.....	51
3.1	Grundlagen.....	51
3.2	Materialeigenschaften ferromagnetischer Stoffe.....	54
3.3	Magnetischer Kreis.....	56
3.4	Magnetkraft.....	59
3.5	Auslegung von Lagermagneten	63

3.6	Leistungsverstärker	73
3.7	Sensoren im Magnetlagersystem.....	75
3.8	Dauermagnetlager	83
	Literatur.....	87
4	Kenngrößen von Magnetlagern	89
4.1	Geometrie	89
4.2	Abschätzung der Tragkraft.....	90
4.3	Ansteuerungsarten und Linearisierung.....	92
4.4	Ummagnetisierungsverluste im Rotor.....	94
4.5	Luftverluste.....	96
4.6	Umfangsgeschwindigkeit.....	97
4.7	Übertragungsverhalten des magnetischen Aktuators	97
4.8	Messung von Systemkenngrößen	102
	Literatur.....	106
5	Dynamik des starren Rotors.....	107
5.1	Übersicht.....	107
5.2	Trägheitseigenschaften.....	107
5.3	Eigenschwingungen bei elastischer Lagerung	113
5.4	Einfluß der Rotordrehung.....	118
5.5	Statische und dynamische Unwucht.....	123
5.6	Kritische Drehzahlen	126
5.7	Festigkeitsprobleme bei hohen Drehzahlen.....	134
	Literatur.....	141
6	Magnetische Lagerung des starren Rotors.....	143
6.1	Aufteilung des Mehrgrößensystems in Teilsysteme.....	143
6.2	Rotorbewegungen in einer Ebene.....	144
6.3	Zustandsregelung	149
6.4	Regelung des starren, drehenden Rotors	151
6.5	Verfeinerung der Reglerauslegung: Dezentralisierung, Beobachter	158
	Literatur.....	164

7	Dynamik des elastischen Rotors	165
7.1	Übersicht.....	165
7.2	Modellierung durch Eigenschwingungen.....	165
7.3	Unwuchten beim elastischen Rotor	170
7.4	Finite Element Modell, Softwarepakete.....	173
7.5	Modalanalyse	176
	Literatur.....	186
8	Magnetische Lagerung des elastischen Rotors	187
8.1	Identifikation der Strecke.....	187
8.2	Modellreduktion.....	189
8.3	Einfluß der Lager- und Sensorposition längs des Rotors.....	194
8.4	Möglichkeiten und Grenzen der Regelung für elastische Rotoren.....	195
	Literatur.....	200
9	Digitale Regelung	201
9.1	Weshalb digitale Regelung?.....	201
9.2	Regler Hardware.....	203
9.3	Von den Differentialgleichungen zu den Differenzen- gleichungen	205
9.4	Abtastzeit	211
9.5	Reglerauslegung.....	215
9.6	Das Regelprogramm.....	216
	Literatur.....	220
10	Aspekte der Anwendung	221
10.1	Anwendungsbeispiel Frässpindel.....	221
10.2	Fanglager	233
10.3	Sicherheits- und Zuverlässigkeitsaspekte	238
	Literatur.....	240
	Sachverzeichnis	242