

Inhaltsverzeichnis

Liste der Formelsymbole	viii
Übersicht	xi
Abstract	xii
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die Mechatronik	1
1.2 Aktive Magnetlager für Rotoren	3
1.3 Funktion von Magnetlagersystemen	4
1.4 Anwendungsgebiete von Magnetlagern	5
1.5 Ziele und Gliederung der Arbeit	10
1.6 Integrierte Magnetlagersysteme	12
1.7 Stand der Entwicklung	15
2 Magnetgelagerter Versuchsrotor	20
2.1 Rotor	21
2.1.1 Allgemeine Beschreibung	21
2.1.2 Experimentelle Modalanalyse	23
2.2 Positionsbestimmung des Rotors	28
2.2.1 Allgemeine Beschreibung	28
2.2.2 Einflußfaktoren auf die Sensorik	31
2.3 Leistungsverstärker	34
2.4 Elektromagnete	38

2.4.1	Technische Beschreibung	38
2.4.2	Elektromagnetische Feldgleichungen	40
2.4.3	Magnetkraft	45
2.4.4	Technische Näherungslinearisierung der Magnetkraft	48
2.4.5	Übertragungsverhalten der Aktorik	50
2.5	Regler	51
2.5.1	Allgemeine Beschreibung	51
2.5.2	Realisierung der Grundregelung	53
2.5.3	Implementierung der Grundregelung	60
2.5.4	Regelgüte der Grundregelung	64
3	Nichtlinearitäten in Magnetlagersystemen	67
3.1	Nichtlineares Kennfeld eines Elektromagneten	68
3.1.1	Idealisiertes Kraftkennfeld	68
3.1.2	Gemessenes reales Kraftkennfeld	68
3.1.3	Modellierung des gemessenen Kraftkennfelds	83
3.1.4	Auswirkungen des nichtlinearen Kraftkennfelds	86
3.2	Weitere Nichtlinearitäten	86
3.2.1	Magnetische Sättigung des Spulenkernmaterials	87
3.2.2	Magnetische Hysterese des Spulenkernmaterials	90
3.2.3	Nichtlinearitäten der Leistungsverstärker	94
3.2.4	Totzeit durch den Regler	97
3.3	Reales System: Präsenz aller Nichtlinearitäten	97
4	Kompensationsregler	104
4.1	Funktionsprinzip des Kompensationsreglers	105
4.2	Modellrechnungen	108
4.3	Realisierung und Verifikation	110
4.3.1	Realisierung und Implementierung	110
4.3.2	Experimentelle Verifikation	112

4.4	Regelkreis mit Kompensationsregler	113
4.5	Integration des Kompensationsreglers	115
4.5.1	Rapid-Prototyping Methode	116
4.5.2	DSP-basierter Reglerprototyp	119
4.5.3	FPGA-basierter Reglerprototyp	122
4.5.4	Design des ASIC-basierten Reglerprototyps	125
5	Ausblick	126
5.1	Andere Linearisierungskonzepte	126
5.1.1	PID-Regler mit nichtlinearen Anteilen	126
5.1.2	Neuronales Netz	127
5.1.3	Fuzzy-Regler	131
5.2	Weitere Integrationsmaßnahmen	132
5.2.1	Sensorloses Magnetlager	132
5.2.2	Aktive Rotorbeeinflussung mit Magnetlagern	136
6	Zusammenfassung	140
A	Regelprogramm	143
A.1	Programmhierarchie	143
A.2	Bedienoberfläche	146
	Literaturverzeichnis	147