

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Stand der Technik	1
1.2	Ableitung der Aufgabenstellung	4
2	Beschreibung des Versuchsstandes	6
2.1	Meßtechnik zur Erfassung der Systemzustände	8
2.1.1	Meßtechnik zur Erfassung der elektrischen Systemgrößen Ankerstrom und Motordrehzahl	9
2.1.2	Laserinterferometrie zur Erfassung der Schlittenposition . . .	10
2.2	Elektrische Antriebskonzepte	12
2.3	Datenverarbeitung	13
2.3.1	Transputerkarte	13
2.3.2	Occam-Softwareentwicklung	14
2.3.3	Hardwarearchitektur und interne Signalstruktur	14
3	Modellbildung elektromechanischer Hybridsysteme	18
3.1	Gleichstrommotor mit starr gekoppelter Mechanik (M1)	19
3.1.1	Formulierung der Bewegungsgleichung von Antriebssträngen	24
3.2	Gleichstrommotor mit einer elastisch gekoppelten Masse (M2) . . .	25
3.3	Lagrange-Modell 43. Ordnung (M3)	30
3.3.1	Eigenschaften des mechanischen Ersatzmodells	31
3.3.2	Formulierung der Bewegungsgleichungen für das Lagrange- Modell 43. Ordnung	33
3.3.3	Berücksichtigung der Dämpfung	37
3.3.4	Zusammenfassung der Modelleigenschaften	38
3.3.5	Praktische Erfahrung	38
3.4	FE-Modell 505. Ordnung (M4)	39
3.4.1	Aufbau der Systemmatrix <u>A</u> im Zustandsraum	44
3.4.2	Berücksichtigung der Dämpfung	45
3.5	Allgemeines FE-Modell (M5)	45

4 Experimentelle Verifikation der Modelle	49
4.1 Ergebnisse der Modalanalyse	49
4.2 Vergleich von Experiment und Rechnung	53
5 Ordnungsreduktion	58
5.1 Entwicklung der Grundidee	58
5.2 Auswahl eines geeigneten Reduktionsverfahrens	59
5.3 Definition der Maßzahlen beim Ordnungsreduktionsverfahren von LITZ	61
5.4 Ergebnisse der Ordnungsreduktion	62
5.4.1 Ordnungsreduktion der FE-Struktur (M4); mechanisches Modell	63
5.4.2 Ordnungsreduktion des elektromechanischen Hybridmodells M4	68
5.4.3 Zusammenfassung	73
5.4.4 Problematik des Verfahrens der modalen Ordnungsreduktion	74
6 Digitale Zustandsregelung hybrider Systeme	76
6.1 Entwurf von Zustandsreglern im Zeitbereich	76
6.1.1 Theorie der Zustandsbeobachtung im Zeitbereich	78
6.1.1.1 Beobachter reduzierter Ordnung	78
6.1.1.2 Beobachter für lineare Funktionale	80
6.1.2 Beobachter im Regelkreis	80
6.1.3 Auswahl einer geeigneten Beobachterstruktur im Zeitbereich	81
6.1.4 Berücksichtigung von Störgrößen	81
6.1.5 Zustandsregelung mit integraler Ausgangsrückführung . . .	82
6.1.6 Verfahren zum Festlegen der Regelkreisdynamik	83
6.1.6.1 Polvorgabe	83
6.1.6.2 Optimaler Zustandsregler (Riccati-Regler)	84
6.1.7 Optimaler Zustandsregler mit vorgegebenem Stabilitätsgrad	85
6.2 Frequenzbereichsentwurf von Zustandsreglern mit Integralanteil . .	85
7 Berücksichtigung praktischer Randbedingungen	89
7.1 Diskrete Streckenbeschreibung	89
7.2 Wahl der Abtastzeit	90
7.3 Quantisierungseffekte	91
7.4 Anpassung der Motorkennlinien	91
7.5 Programmstruktur	94

8	Digitale Simulation	100
9	Experimentelle Ergebnisse	105
9.1	Vorschubantrieb mit angestellter Spindellagerung	105
9.1.1	Riccati-Regler mit Stabilitätsvorgabe	106
9.1.2	Vergleich der Regelungsentwürfe im Zeitbereich und Frequenzbereich	107
9.1.2.1	Beobachter für lineare Funktionale	107
9.1.2.2	Reduzierter Beobachter	112
9.1.3	Variation des Streckenmodells	115
9.1.4	Variation der Dämpfung im FE-Modell M4	116
9.1.5	Variation des Antriebskonzepts: bürstenloser Gleichstrommotor — konventioneller Gleichstrommotor	119
9.2	Vorschubantrieb mit Fest-Loslagerung	122
9.3	Variation der Struktur der Zustandsregelung — nichtlineare Regelung	126
10	Zusammenfassung	131
10.1	Hardware	131
10.2	Erfassung der Schlittenposition	132
10.3	Regelungstechnische Aussagen	132
10.3.1	Digitale Zustandsregelung — Digitale Simulation	132
10.3.2	Nichtlineare Regelung	135
10.4	Maschinenbauspezifische Aussagen	136
10.4.1	Zur Modellierung von elektromechanischen Vorschubantriebssystemen	136
10.4.2	Ordnungsreduktion	139
10.4.3	Variation der Kugelgewindespindellagerung	140
10.4.4	Elektrische Vorschubantriebskonzepte — Kennlinienkorrektur	141
11	Literaturverzeichnis	142