

Dipl.-Ing. Jörg Eidam, Hannover

**Beurteilung und Simulation  
des Betriebsverhaltens von  
lagegeregelten elektrischen  
Direktantrieben als  
„Elektronische Kurven-  
scheibe“**

Reihe **1**: Konstruktionstechnik/  
Maschinenelemente

Nr. **279**

# Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Symbole	VIII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Untersuchungsgegenstand und Ziel der Arbeit . . . . .	1
1.2 Einsatzbereiche für „Elektronische Kurvenscheiben“ . . . . .	2
1.3 Stand der Technik . . . . .	3
1.4 Gliederung der Arbeit . . . . .	5
<b>2 Gerätetechnik</b>	<b>7</b>
2.1 Funktionsweise der untersuchten Servoantriebe . . . . .	7
2.2 Bedienoberfläche . . . . .	9
2.3 Speicherung und Interpolation von Sollbewegungen . . . . .	10
2.4 Zusatzfunktionen . . . . .	11
2.5 Probleme . . . . .	13
<b>3 Regelungstechnische Grundlagen und Modellbildung</b>	<b>15</b>
3.1 Die Laplacetransformation . . . . .	15
3.2 Der Regelkreis . . . . .	17
3.3 Lageregelung . . . . .	17
3.4 Kaskadenregelung . . . . .	18
3.4.1 Führungsübertragungsfunktion . . . . .	19
3.4.2 Störübertragungsfunktion . . . . .	21
3.4.3 Arbeitsweise einer Kaskadenregelung . . . . .	22
3.4.4 Minimalmodell eines Kaskadenregelkreises . . . . .	23
3.4.5 Abstimmung der Reglerparameter . . . . .	24
3.5 Parallel aufgebauter Regler . . . . .	26
3.5.1 Führungsübertragungsfunktion . . . . .	26
3.5.2 Störübertragungsfunktion . . . . .	27
3.5.3 Vereinfachter Parallelregler . . . . .	28
3.6 Reglerverhalten im Bode-Diagramm . . . . .	28
3.7 Vorsteuerung . . . . .	30
3.8 Stabilität und Übertragungsverhalten im Wurzelortsdigramm . . . . .	34
3.9 Schwingfähige Last . . . . .	38
3.9.1 Beschreibung des Lastsystems . . . . .	38
3.9.2 Anwendung auf ein System mit Kaskadenregler . . . . .	39
3.9.3 Anwendung auf ein System mit Parallelregler . . . . .	43
3.10 Last mit veränderlichem Massenträgheitsmoment . . . . .	46
3.10.1 Allgemeine Systemmerkmale . . . . .	47
3.10.2 Technische Nutzung der Eigenbewegung . . . . .	48

---

<b>4</b>	<b>Simulation</b>	<b>50</b>
4.1	Zielsetzungen und Hilfsmittel . . . . .	50
4.2	Sollwertdateien . . . . .	51
4.2.1	Erzeugung von Sollwertdateien . . . . .	51
4.2.2	Testfunktionen . . . . .	51
4.3	Simulationsmodelle . . . . .	52
4.3.1	Simulationssteuerung und -auswertung . . . . .	52
4.3.2	Kaskadenregelkreis . . . . .	53
4.3.3	Parallelregelkreis . . . . .	56
4.3.4	Erweiterung um ein schwingfähiges System . . . . .	57
4.3.5	Erweiterung um ein Koppelgetriebe . . . . .	58
4.3.6	Erzeugung einer Eigenbewegung . . . . .	59
4.4	Berechnung von Bode- und Wurzelortsdigrammen . . . . .	60
<b>5</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>62</b>
5.1	Auswahl von Meßgrößen . . . . .	62
5.2	Mechanischer Versuchsaufbau . . . . .	63
5.3	Meßaufbau und Meßgeräte . . . . .	65
5.3.1	Messung mit eigenen Geräten . . . . .	65
5.3.2	Meßsystem der Servoverstärker . . . . .	68
5.3.3	Vergleich der Meßsysteme . . . . .	68
5.4	Nachbearbeitung der Meßdaten . . . . .	69
5.4.1	Verarbeitung der Beschleunigungsmessung . . . . .	69
5.4.2	Ermittlung des Schleppfehlers . . . . .	70
5.5	Parameteridentifikation . . . . .	70
5.5.1	Bode-Diagramm . . . . .	71
5.5.2	Koeffizienten und Parameter . . . . .	71
<b>6</b>	<b>Vergleich von Messung und Simulation</b>	<b>75</b>
6.1	Basisregelkreise . . . . .	75
6.2	Schwingfähiger Abtrieb . . . . .	78
6.3	Koppelgetriebe als Abtrieb . . . . .	79
<b>7</b>	<b>Betriebsverhalten</b>	<b>81</b>
7.1	Betriebsverhalten ohne Vorsteuerung . . . . .	81
7.1.1	Kaskadenregler . . . . .	81
7.1.2	Parallelregler . . . . .	83
7.2	Stabilität . . . . .	86
7.3	Parameterstudien . . . . .	88
7.3.1	Kaskadenregler . . . . .	88
7.3.2	Parallelregler . . . . .	91

---

7.4	Typisches Betriebsverhalten mit Vorsteuerung . . . . .	93
7.4.1	Kaskadenregler . . . . .	93
7.4.2	Parallelregler . . . . .	96
7.5	Betrieb mit schwingfähiger Last . . . . .	98
7.5.1	Kaskadenregler . . . . .	99
7.5.2	Parallelregler . . . . .	103
7.6	Betrieb mit veränderlichem Massenträgheitsmoment . . . . .	107
7.6.1	Antrieb mit konstanter Winkelgeschwindigkeit . . . . .	108
7.6.2	Antrieb mit Eigenbewegung . . . . .	110
7.7	Auswahl von Bewegungsgesetzen für einen Servoantrieb . . . . .	112
7.7.1	Gestalterfüllung . . . . .	113
7.7.2	Einfluß eines Bewegungsgesetzes auf den Energiebedarf . . . . .	115
7.7.3	Einfluß eines Bewegungsgesetzes auf die Erwärmung . . . . .	116
7.7.4	Maximalmoment und Maximalstrom . . . . .	118
7.8	Einsatz von HS-Profilen . . . . .	119
7.9	Vergleich der untersuchten Geräte . . . . .	120
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>123</b>
9.1	Daten der untersuchten Geräte . . . . .	123
9.2	Meßfehler . . . . .	124
9.2.1	Winkelmessung . . . . .	124
9.2.2	Beschleunigungsmessung . . . . .	125
9.2.3	Messungen der Servoverstärker . . . . .	126
9.3	Zahlenwerte zu dargestellten Funktionsverläufen . . . . .	127
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>132</b>
<b>11</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>139</b>