

W. Kortüm · P. Lugner

Systemdynamik und Regelung von Fahrzeugen

Einführung und Beispiele

Mit 167 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Übersicht, Stand der Technik	1
1.2	Grundaufgaben	13
1.3	Literaturübersicht	17
1.4	Notation, Schreibweise für Formeln	22
2	Modellbildung	25
2.1	Grundsätzliches zur Modellbildung	25
2.2	Modellbildung beim Kraftfahrzeug	28
2.2.1	Modelle zum Fahrverhalten	28
2.2.2	Vertikalmodelle	37
2.3	Modellbildung bei Magnetschwebebahnen	43
2.4	Modellbildung für Rad-Schiene-Fahrzeuge	46
2.5	Ersatzmodelle von Systemkomponenten	50
2.5.1	Aufhängungssysteme	51
2.5.2	Reibung zwischen Systemteilen	52
2.5.3	Stoßdämpfer	54
2.5.4	Modelle für Federn	56
2.5.5	Aktive Stellglieder	64
2.6	Kraftübertragung zum Fahrweg	66
2.6.1	Reifenmodelle	66
2.6.2	Kontaktkräfte zwischen Rad und Schiene	80
2.6.3	Kraftübertragung Magnet-Schiene	90
2.7	Bewegungswiderstände	93
2.7.1	Rollwiderstand und Luftkräfte beim Kfz	93
2.7.2	Bewegungswiderstände bei der Eisenbahn	96
2.8	Datenbeschaffung, Parameterbestimmung	97
3	Bewegungsgleichungen	111
3.1	Aufstellung der Bewegungsgleichungen	111
3.1.1	Kinematik, allgemeine Überlegungen	112
3.1.2	Kinematik von Mehrkörpersystemen	116
3.1.3	Dynamik	120
3.2	Linearisierung der Bewegungsgleichungen	128

3.2.1	Linearisierung des Endsystems	129
3.2.2	Linearisierung in der Kinematik	132
3.3	Beispiele	134
4	Lineare Systemanalyse	146
4.1	Einführung in die Zustandsform	146
4.2	Transitionsmatrix und ihre Berechnung	150
4.3	Stabilität und Abklingverhalten	155
4.4	Steuerbarkeit, Beobachtbarkeit	158
4.5	Zustandsdarstellung und Frequenzgang	163
4.6	Beispiele	165
5	Analyse stochastischer Fahrzeugschwingungen	173
5.1	Beschreibung zufälliger Störungen	175
5.2	Störmodelle für Fahrwegunebenheiten	186
5.3	Analyse im Zeitbereich	193
5.3.1	Numerische Simulation	193
5.3.2	Kovarianzanalyse	195
5.4	Berechnung im Frequenzbereich	202
5.5	Bewertung von Fahrzeugschwingungen	204
5.5.1	Fahrsicherheit	204
5.5.2	Fahrkomfort	205
5.6	Beispiele	216
6	Auslegungs- und Reglerentwurfsverfahren	229
6.1	Einige prinzipielle Überlegungen zu aktiven Systemen	230
6.2	Entwurf durch Polvorgabe	238
6.2.1	Bestimmung der Verstärkungen	239
6.2.2	Wahl der Eigenwerte	243
6.3	Quadratische Synthese (RICCATI-Entwurf)	247
6.4	Zustandsschätzung	251
6.4.1	Aufgabenstellung	251
6.4.2	Struktur des Zustandsschätzers (Beobachters)	252
6.4.3	Übergang zum KALMAN-BUCY-Filter	255
6.4.4	Regelungssysteme mit Zustandsschätzung	257
6.4.5	Zustandsbeobachter reduzierter Ordnung	260
6.4.6	Optimalfilter bei korreliertem Rauschen	261
6.5	Beispiele	266
7	Digitale Regelung	291
7.1	Einführung	291
7.2	Diskretisierung der Zustandsgleichungen	294
7.3	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	298
7.4	Reglerentwurf	299
7.4.1	Verfahren der Polvorgabe, Eingrößenfall	300
7.4.2	Das Verfahren der quadratischen Synthese	301

7.5	Diskreter Zustandsbeobachter	302
7.6	Das diskrete KALMAN-Filter	304
7.7	Beispiel	307
8	Software zur Systemdynamik	311
8.1	Entwicklungstendenzen	311
8.2	Entwicklungsschritte der Systemdynamik-Software	314
8.2.1	Vom Analogrechner zu den Simulationssprachen	314
8.2.2	Software zur Unterstützung der Modellbildung	317
8.2.3	Regler-Analyse-Synthese-Pakete	320
8.2.4	Neuere Entwicklungen	322
8.3	Simulation mit Mehrkörperprogrammen	325
8.3.1	Vorbemerkungen zu Mehrkörperprogrammen	326
8.3.2	MKS-spezifische Methodik und Terminologie	329
8.3.3	Anforderungen an fahrzeugorientierte MKS-Programme	331
	Literaturverzeichnis	338
	Sachverzeichnis	352