

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Schaltplansymbole	XI
1 Einführende Übersicht	1
2 Modellbildung mit Hilfe physikalischer Gesetze	5
2.1 Eigenschaften des inkompressiblen, masselosen Fluids	6
2.1.1 Druckkraft auf eine Wand	6
2.1.2 Durchfluß durch Spalte	6
2.1.3 Viskosität von Mineralöl	11
2.1.4 Durchfluß durch Blenden	13
2.1.5 Durchfluß durch Ventile	19
2.2 Einfluß der Kompressibilität des Hydrauliköls	22
2.2.1 Elastizität einer Ölsäule	22
2.2.2 Druckaufbau in einem Volumen	26
2.3 Eigenschaften des massebehafteten Öls	29
2.3.1 Strömungskräfte an Ventilschiebern	30
2.3.2 Induktivität kleiner Spalte und Leitungen	32
2.4 Modellieren von Leitungen	34
2.4.1 Reibungsverluste in Leitungen	34
2.4.2 Modellieren der Leitungsdynamik bei Reibungsfreiheit	36
2.4.3 Impedanzen hydraulischer Komponenten	41
2.4.4 Simulation reibungsfreier Leitungsströmung	44
2.4.5 Modellieren reibungsbehafteter Leitungsdynamik	45
2.4.6 Simulation reibungsbehafteter Leitungsströmung	50
3 Modellbildung durch Beschreibung des Eingangs-/Ausgangsverhaltens	53
3.1 Stationäre Zusammenhänge	53
3.1.1 Reibungskräfte an Kolben	53
3.1.2 Fördercharakteristik von Hydropumpen	57
3.1.3 Volumenstrompulsation	62
3.1.4 Verhalten von Hydromotoren	63
3.1.5 Beschreibung von Dieselmotoren	64
3.2 Bilineare Systemmodelle	67

4	Eigenschaften linearer Modelle	71
4.1	Definition linearer Systeme	71
4.2	Linearisierung nichtlinearer Systeme	72
4.3	Beschreibung im Zeitbereich	80
4.3.1	Laplace-Transformation	80
4.3.2	Die Übertragungsfunktion	84
4.3.3	Das Verzögerungsglied erster Ordnung	85
4.3.4	Das Verzögerungsglied zweiter Ordnung	87
4.3.5	Der Integrator	91
4.3.6	Der Differenzierer	92
4.3.7	Der Allpaß	94
4.3.8	Systeme mit Totzeit	96
4.3.9	Dynamische Glieder höherer Ordnung	97
4.4	Beschreibung im Frequenzbereich	98
4.4.1	Verzögerungsglied erster Ordnung	103
4.4.2	Verzögerungsglied zweiter Ordnung	106
4.4.3	Der Integrator	109
4.4.4	Der Differenzierer	110
4.4.5	Der Allpaß	112
4.4.6	Systeme mit Totzeit	114
4.4.7	Dynamische Glieder höherer Ordnung	115
4.5	Darstellung im Zustandsraum	116
5	Aufstellen von Gesamtmodellen	125
5.1	Verbinden von Teilmodellen	128
5.2	Hydraulische Widerstandsketten	136
5.3	Modellieren von Unstetigkeiten	139
5.4	Erforderliche Modellgüte	145
6	Stabilitätsanalyse	147
6.1	Stabilität linearer, zeitinvarianter Systeme	148
6.1.1	Stabilitätsbedingung für lineare Systeme	148
6.1.2	Numerische Stabilitätsanalyse	155
6.1.3	Stabilitätsbedingungen für den einschleifigen Regelkreis	160
6.2	Stabilitätsanalyse mit Hilfe der Beschreibungsfunktion	162
6.3	Stabilitätsanalyse reibungsbehafteter Systeme	176

7	Digitale Simulation	183
7.1	Grundzüge von Simulationssprachen	183
7.2	Behandlung von Unstetigkeiten	188
7.3	Beispiel eines CSSL-Programms	190
7.4	Dymola, eine moderne Simulationssprache	193
 8	 Numerische Integration	 201
8.1	Integrationsverfahren	203
8.1.1	Euler-Cauchy-Verfahren	206
8.1.2	Runge-Kutta-Verfahren	213
8.1.3	Mehrschrittverfahren	216
8.2	Rechentechnische Behandlung von Ereignissen	222
8.3	Wahl des Integrationsverfahrens	223
 9	 Beispiele	 229
9.1	Modellbildung und Simulation eines Druckregelventils	229
9.2	Simulation eines hydrostatischen Getriebes	235
9.3	Analyse eines Bremssystems	242
 Literatur		 251
 Sachverzeichnis		 257