

Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>Mathematische Systembeschreibung</u>	15
1.1	Reales System, Modell und mathematische Beschreibung	15
1.2	Ein- und Ausgangsgrößen	16
1.3	Eingang-Ausgang-Beschreibung	19
1.4	Zeitfunktionen	22
1.5	Zustandsgrößen	24
1.6	Linearität und Zeitinvarianz	35
1.7	Zustandsgleichung für zeitkontinuierliche Systeme	38
1.8	Linearisierung	43
1.8.1	Linearisierung nichtlinearer statischer Systeme	43
1.8.2	Linearisierung nichtlinearer dynamischer Systeme	46
1.9	Zusammenschaltung linearer dynamischer Systeme	50
1.9.1	Parallelschaltung	50
1.9.2	Hintereinanderschaltung	52
1.9.3	Rückkopplung	53
<u>2.</u>	<u>Lösung der Zustandsdifferentialgleichung</u>	56
2.1	Existenz und Eindeutigkeit von Lösungen	56
2.1.1	Voraussetzungen	56
2.1.2	Existenzbeweis	60
2.1.3	Eindeutigkeitsbeweis	67
2.2	Lineare Systeme	68
2.2.1	Einleitung	68
2.2.2	Lösung der homogenen Differentialgleichung	69
2.2.3	Eigenschaften der Transitionsmatrix	71
2.2.4	Lösung der inhomogenen Differentialgleichung	78
2.2.5	Lineare zeitinvariante Systeme	81
<u>3</u>	<u>Äquivalente mathematische Beschreibungen I</u>	86
3.1	Äquivalenz	86
3.2	Ähnlichkeit	90
3.3	Lineare zeitinvariante Systeme	94
3.3.1	Diagonalform	94
3.3.2	Jordanform	109
3.3.3	Geometrische Folgerungen aus der Diagonal- und Jordanform	129
<u>4</u>	<u>Steuerbarkeit und Erreichbarkeit</u>	141
4.1	Definition der Steuerbarkeit und Erreichbarkeit von Zustandsgrößen	141
4.2	Steuerbarkeit und Erreichbarkeit linearer Systeme	149
4.2.1	Steuerbarkeit linearer, zeitvarianter Systeme	149
4.2.2	Erreichbarkeit linearer zeitvarianter Systeme	161

4.2.3	Steuerbarkeit und Erreichbarkeit linearer zeitin- varianter Systeme	165
4.2.4	Steuerbarkeit und Jordanform	172
4.2.5	Steuerbare Unterräume	178
4.3	Steuerbarkeit und Erreichbarkeit der Ausgangsgrößen	187
4.3.1	Definitionen	187
4.3.2	Lineare zeitvariante Systeme	189
4.3.3	Lineare zeitinvariante Systeme	193
5	<u>Rekonstruierbarkeit und Beobachtbarkeit</u>	195
5.1	Definition der Rekonstruierbarkeit und Beobachtbarkeit von Zustandsgrößen	195
5.2	Rekonstruierbarkeit und Beobachtbarkeit linearer Systeme	199
5.2.1	Lineare zeitvariante Systeme und duale Systeme	199
5.2.2	Lineare zeitinvariante Systeme	206
5.2.3	Rekonstruierbarkeit und Jordanform	208
5.2.4	Unrekonstruierbare Unterräume	211
6	<u>Äquivalente mathematische Beschreibungen II</u>	219
6.1	Frobeniusform linearer Einfachsysteme	219
6.1.1	Regelungsnormalform	219
6.1.2	Rekonstruktionsnormalform	225
6.2	Kanonische Systemunterteilung nach Kalman	228
6.3	Lineare zeitvariante Systeme mit periodischer Systemmatrix	236
7	<u>Gewichtsfunktion, Übertragungsfunktion und Frequenzgang</u>	239
7.1	Gewichtsfunktion und Gewichtsmatrix	239
7.1.1	Lineare zeitvariante Systeme	239
7.1.2	Lineare zeitinvariante Systeme	246
7.2.	Übertragungsfunktion und Übertragungsmatrix	249
7.3.	Frequenzgang	267
8	<u>Stabilität</u>	275
8.1	Einleitung	275
8.2	Ljapunow-Stabilität	276
8.2.1	Bewegung, Ruhelage und Grenzyklus	276
8.2.2	Stabilitäts-Definitionen	281
8.2.3	Die direkte Methode von Ljapunow	285
8.2.4	Lineare zeitvariante Systeme	292
8.2.5	Lineare zeitinvariante Systeme	292
8.2.6	Stabilisierbarkeit linearer zeitinvarianter Systeme	307
8.3.	Eingangs-Ausgangs-Stabilität	314
8.3.1	BIBO-Stabilität	314
8.3.2	BIBO-Stabilität linearer Systeme	316

<u>9</u>	<u>Synthese</u>	323
9.1	Einleitung	323
9.2.	Realisierung einer gegebenen Gewichts- bzw. Übertragungsmatrix	324
9.3	Minimalrealisierung einer Übertragungsmatrix	337
9.4	Zustandsrückführung	345
9.5	Rekonstruktion der Zustandsgrößen	353
9.5.1	Kalman-Rekonstruierer	353
9.5.2	Luenberger-Rekonstruierer	358
9.5.3	Ermittelbarkeit und Stabilisierbarkeit	362
9.6	Zustandsrückführung über Rekonstruierer	369
<u>10</u>	<u>Zeitdiskrete Systeme</u>	373
10.1	Automaten und Abtastsysteme	373
10.2	Lösung der Zustandsdifferenzgleichung	379
10.2.1	Existenz und Eindeutigkeit von Lösungen	379
10.2.2	Lineare zeitdiskrete Systeme	380
10.2.3	Berechnung der Transitionsmatrix	385
10.3	Steuerbarkeit und Erreichbarkeit zeitdiskreter Systeme	388
10.4.	Rekonstruierbarkeit und Beobachtbarkeit zeitdiskreter Systeme	401
10.5.	Stabilität zeitdiskreter Systeme	414
10.6	Synthese zeitdiskreter Systeme	415
10.6.1	Zeitoptimale Abtastregler	416
10.6.2	Zustandsrekonstruierer	421
<u>11</u>	<u>Axiomatische Definition dynamischer Systeme</u>	425
<u>12</u>	<u>Mathematischer Anhang</u>	431
12.1	Vektoren und Matrizen	431
12.1.1	Einleitung	431
12.1.2	Lineare Vektorräume	432
12.1.3	Matrizen	436
12.1.4	Lineare Transformationen	441
12.1.5	Norm und quadratische Form	443
12.1.6	Der Satz von Cayley-Hamilton	446
12.2	Laplacetransformation	446
12.2.1	Einführung	446
12.2.2	Eigenschaften der Laplacetransformation	449
12.2.3	Rücktransformation in den Zeitbereich	450
<u>13</u>	<u>Schrifttum</u>	455
13.1	Mathematische Grundlagen	455
13.2	Systemtheorie	455
13.3	Anwendungen der Systemtheorie	456
13.4	Zitierte Aufsätze	456
	<u>Sachverzeichnis</u>	459