

# Inhaltsverzeichnis

<b>Liste der verwendeten Symbole</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
Literatur zu Kapitel 1	10
Aufgaben zu Kapitel 1	11
<b>2 Analyse linearer zeitinvarianter Systeme im Frequenzbereich</b>	<b>12</b>
2.1 Die Bewegungsgleichungen	12
2.2 Die Laplace-Transformation	14
2.3 Lösung der Bewegungsgleichungen	18
2.3.1 System 1. Ordnung	18
2.3.2 System 2. Ordnung	27
2.3.3 System n. Ordnung	36
2.3.4 Vektorfall	39
2.4 Der Frequenzgang	40
2.5 Literatur zu Kapitel 2	47
2.6 Aufgaben zu Kapitel 2	48
<b>3 Behandlung einfacher regelungstechnischer Probleme im Frequenzbereich</b>	<b>50</b>
3.1 Lineare Reglerbausteine	50
3.2 Fallstudien	52
3.2.1 Allgemeine Gleichungen des Regelsystems	52
3.2.2 System 1. Ordnung	52
3.2.3 System 3. Ordnung mit P-Regler	58
3.3 Das Nyquist-Kriterium	61
3.3.1 Das spezielle Nyquist-Kriterium	61
3.3.2 Das allgemeine Nyquist-Kriterium	65
3.3.3 Nyquist-Kriterium für Mehrgrößen-Regelssysteme	67

3.4	Literatur zu Kapitel 3	69
3.5	Aufgaben zu Kapitel 3	70
<b>4</b>	<b>Analyse linearer Systeme im Zeitbereich</b>	<b>72</b>
4.1	Der Zustandsvektor und die Bewegungsgleichung	72
4.2	Übergang von einer Differentialgleichung höherer Ordnung auf eine Vektordifferentialgleichung erster Ordnung	77
4.2.1	Steuerbare Standardform	77
4.2.2	Beobachtbare Standardform	79
4.2.3	Bemerkungen	81
4.3	Lösung der Bewegungsgleichung	82
4.3.1	Die homogene Bewegungsgleichung	82
4.3.2	Die spezielle inhomogene Bewegungsgleichung	84
4.3.3	Der allgemeine Fall	85
4.3.4	Beispiele	85
4.4	Eigenschaften der Transitionsmatrix	88
4.4.1	..... eines zeitvariablen Systems	88
4.4.2	..... eines zeitinvarianten Systems	92
4.4.3	Weitere Eigenschaften	94
4.5	Übergang von der Vektordifferentialgleichung 1. Ordnung auf die Übertragungsmatrix	98
4.6	Lineare Matrizen-Differentialgleichungen	99
4.7	Literatur zu Kapitel 4	100
4.8	Aufgaben zu Kapitel 4	101
<b>5</b>	<b>Behandlung regelungstechnischer Probleme im Zeitbereich</b>	<b>103</b>
5.1	Problem 1: Das Regulatorproblem	103
5.1.1	Problemstellung	103
5.1.2	Lösung des Regulatorproblems	104
5.1.3	Verifikation der Lösung und Kommentare	105
5.1.4	Spezialfall: zeitinvariantes System	107
5.1.5	Beispiel: System 3. Ordnung	110
5.2	Problem 2: Das Folgeregelungsproblem	113
5.2.1	Problemstellung	113
5.2.2	Lösung des Folgeregelungsproblems	114
5.2.3	Spezialfall: zeitinvariantes System	115
5.2.4	Beispiel: Servosteuerung	117
5.3	Literatur zu Kapitel 5	119
5.4	Aufgaben zu Kapitel 5	120

<b>6</b>	<b>Struktureigenschaften linearer Systeme</b>	<b>122</b>
6.1	Steuerbarkeit	122
6.1.1	Fragestellung	122
6.1.2	Zeitvariable Systeme	123
6.1.3	Zeitinvariante Systeme	125
6.2	Stabilisierbarkeit und Polvorgabe	129
6.3	Beobachtbarkeit	130
6.3.1	Fragestellung	130
6.3.2	Zeitvariable Systeme	131
6.3.3	Zeitinvariante Systeme	132
6.4	Bemerkungen	135
6.5	Der Luenberger-Beobachter	137
6.6	Literatur zu Kapitel 6	140
6.7	Aufgaben zu Kapitel 6	141
<b>7</b>	<b>Systembetrachtungen zum dynamischen Messen</b>	<b>142</b>
7.1	Anmerkungen	142
7.2	Literatur zu Kapitel 7	142
<b>8</b>	<b>Dynamische Messung und Messfehler; Beschreibung von Zufallsprozessen im Zeitbereich</b>	<b>144</b>
8.1	Dynamische Messung	144
8.2	Zufallsprozesse und ihre Kennzeichnung im Zeitbereich	146
8.2.1	Der Zufallsprozess als unendliche Familie von Zufallsvariablen	146
8.2.2	Der momentane Erwartungswert	147
8.2.3	Autokorrelationsfunktion, Autokovarianzfunktion, Autokovarianzmatrix	147
8.2.4	Stationäre Zufallsprozesse	150
8.2.5	Stationäre, ergodische Zufallsprozesse	152
8.3	Weisses Rauschen	153
8.4	Literatur zu Kapitel 8	158
8.5	Aufgaben zu Kapitel 8	159
<b>9</b>	<b>Analyse stochastischer linearer dynamischer Systeme im Zeitbereich</b>	<b>160</b>
9.1	Farbiges Rauschen als Eingangsvektor	160
9.2	Weisses Rauschen als Eingangsvektor	164
9.3	Stationäres weisses Rauschen als Eingangsvektor	166

9.4	Beispiele	167
9.4.1	System 1. Ordnung	167
9.4.2	Unterkritisch gedämpftes System 2. Ordnung	170
9.5	Das Kalman-Bucy Filter	175
9.6	Literatur zu Kapitel 9	180
9.7	Aufgaben zu Kapitel 9	181
<b>10</b>	<b>Beschreibung stationärer Zufallsprozesse im Frequenzbereich</b>	<b>183</b>
10.1	Spektrum oder spektrale Leistungsdichte eines stationären Zufallsprozesses	183
10.2	Interpretation des Spektrums	184
10.3	Beispiele	185
10.4	Behandlung des Erwartungswerts des Signals	192
10.5	Eigenschaften des Spektrums	193
10.6	Literatur zu Kapitel 10	194
10.7	Aufgaben zu Kapitel 10	195
<b>11</b>	<b>Analyse stochastischer linearer zeitinvarianter dynamischer Systeme im Frequenzbereich</b>	<b>196</b>
11.1	Problemstellung	196
11.2	Spektrum des Ausgangsvektors	197
11.3	Dezibel-Skala	199
11.4	Beispiele	200
11.5	Kreuzspektrum von Eingangs- und Ausgangssignal	205
11.6	Literatur zu Kapitel 11	207
11.7	Aufgaben zu Kapitel 11	208
<b>Anhang 1.</b>	<b>Bode-Diagramm des Systems 1. Ordnung</b>	<b>209</b>
<b>Anhang 2.</b>	<b>Bode-Diagramm des Systems 2. Ordnung</b>	<b>211</b>
<b>Anhang 3.</b>	<b>Lineare Algebra</b>	<b>214</b>
<b>Anhang 4.</b>	<b>Linearisierung eines nichtlinearen dynamischen Systems um eine Nominaltrajektorie herum</b>	<b>230</b>
<b>Anhang 5.</b>	<b>Wahrscheinlichkeitslehre</b>	<b>232</b>
<b>Sachverzeichnis</b>		<b>245</b>