

Inhaltsverzeichnis

4.	Reglerentwurf im Zustandsraum	Seite
4.1	<u>Matrizen, Determinanten und Vektoren</u>	9
4.1.1	Rechnen mit Matrizen	9
4.1.2	Die Determinante einer quadratischen Matrix ..	20
4.1.3	Inverse Matrix und Lösung linearer Gleichungssysteme	28
4.1.4	Vektoren und lineare Abbildungen	34
4.1.5	Eigenwerte und Eigenvektoren	63
4.1.6	Technische Anwendungen der Matrizenrechnung ..	78
4.2	<u>Systembeschreibung mit Zustandsvariablen</u>	87
4.2.1	Rückblick auf die klassische Regelungstechnik.	87
4.2.2	Einführung von Zustandsvariablen	89
4.2.3	Aufstellen eines Zustandsvariablen-Modells ...	97
4.2.4	ZV- und IO-Darstellung	104
4.2.5	Normalformen (Kanonische Darstellung)	112
4.2.6	Zusammengesetzte Systeme	136
4.2.7	Ergänzungen zur Systembeschreibung	141
4.3	<u>Analyse linearer Systeme im Zustandsraum</u>	150
4.3.1	Lösung der Zustandsgleichung und Transitions-Matrix	150
4.3.2	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	166
4.3.3	Stabilität	189
4.4	<u>Entwurf von Zustandsregelungen</u>	203
4.4.1	Problemstellung	203
4.4.2	Reglerentwurf durch Polvorgabe	205
4.4.3	Zustandsregler mit Beobachter	230
5.	Digitalrechner in der Regelungstechnik	257
5.1	<u>Folgen, Differenzgleichungen und Z-Transformation</u>	257
5.1.1	Zahlfolgen	257
5.1.2	Definition der Z-Transformation und Rechen-Regeln	263
5.1.3	Rücktransformation	281
5.1.4	Lösung linearer Differenzgleichungen	288

	Seite
5.2	<u>Beschreibung und Analyse diskreter Systeme</u> 295
5.2.1	Abtastregelungen 295
5.2.1	Diskretisierung eines linearen zeitinvarianten Prozesses 300
5.2.3	Lösung der Zustands-Differenzgleichung 310
5.2.4	Die Z-Uebertragungsfunktion 318
5.2.5	Blockdiagramme linearer diskreter Systeme 333
5.2.6	Systeme mit Totzeit 338
5.2.7	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit 346
5.2.8	Stabilität und Wurzelortskurven 352
5.2.9	δ -Abtastung und Z-Transformation 369
5.2.10	Diskreter Frequenzgang 387
5.2.11	Exakte und angenäherte Uebertragungsmodelle ... 400
5.3	<u>Entwurf digitaler Regler</u> 413
5.3.1	Struktur und allgemeine Entwurfsüberlegungen .. 413
5.3.2	Wahl der Abtastzeit 431
5.3.3	Parameteroptimale Regler 442
5.3.4	Kompensationsregler 459
5.3.5	Reglerentwurf mit Wurzelortskurven und Bode- diagram 478
5.3.6	Abtastregler im Zustandsraum 484
5.3.7	"Wind up" und andere Phänomene 503
5.4	<u>Ausblick: Entwicklungstendenzen in der Rege- lungstechnik</u> 506
5.4.1	Dem zu lösenden Problem angepasste Strukturen . 506
5.4.2	Optimale Regelungen 507
5.4.3	Mehrfachsysteme, Zeitvarianz und Nichtlineari- tät 509
5.4.4	Adaptive und robuste Regelungen 511
6.	Schaltende Regler
6.1	<u>Zweipunkt- und Dreipunktregler</u> 517
6.1.1	Merkmale und Bedeutung von Nichtlinearitäten .. 517
6.1.2	Verwendung eines Schalters als Stellglied 523
6.1.3	Der Zweipunktregler 535
6.1.4	Der Dreipunktregler 548
6.1.5	Methode der Beschreibungsfunktion 554

	Seite
6.2 <u>Darstellung von Regelvorgängen in der Zustands-</u> <u>ebene</u>	579
6.2.1 Zustandsvariablen und Zustandsebene	579
6.2.2 Grenzyklen	585
6.2.3 Analyse von Regelkreisen in der Zustandsebene .	588
<u>Regelungstechnische Symbole</u>	600
<u>Literaturhinweise</u>	602
<u>Sachverzeichnis</u>	603