

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Einleitung	10
1 Kontinuierliche und zeitdiskrete Variable	14
1.1 Zinsrechnung	15
1.2 Mischvorgang	17
1.3 Optische Abtastung mit einem Stroboskop	18
1.4 Verzögerungsglied 1. Ordnung mit stufenförmig veränderlicher Anregung	19
1.5 Verzögerungsglied 2. Ordnung mit stufenförmig veränderlicher Anregung	23
1.6 Zeitdiskrete Beschreibung der Ausgleichsvorgänge eines konti- nuierlichen Übertragungssystems	24
1.7 Lösung einer linearen homogenen Differenzgleichung durch einen Potenzreihen-Ansatz	26
1.8 Differenzgleichung in Zustands-Normalform	27
1.9 Andere Schreibweise einer linearen Differenzgleichung n. Ord- nung	28
2 Stabilität und Dämpfung	30
2.1 z -Ebene und Tp -Ebene	30
2.2 Die Abbildung $w=(z-1)/(z+1)$	34
2.3 Beispiele für Stabilitätsgrenzen	35
2.4 Graphische Stabilitätsprüfung anhand des Polynoms $N(z)$	39
2.4.1 Grenzkurven für vorgegebene absolute oder relative Mindestdämpfung	39
2.4.2 Ortskurvenkriterium	41
3 Laplace-Transformation diskontinuierlicher Funktionen	44
3.1 Stufenfunktion	44
3.2 Impulsspeicher (Halteglied, Mittelwertbildner)	46
3.3 Modulierte Impulsreihe	47
3.4 Lineare Übertragung einer modulierten Impulsreihe	50

4 Die Impuls-Übertragungsfunktion	54
4.1 Rationale Übertragungsfunktion $F(p)$ mit Einzelpolen	55
4.2 Rationale Übertragungsfunktion $F(p)$ mit Einzel- und Doppelpolen	57
4.3 Übertragungsstrecke mit Laufzeit	58
4.4 Zusammenhang zwischen $F(p)$ und $F^*(p)$	60
4.4.1 Pole und Nullstellen	60
4.4.2 Impulsmodulation und Abtasttheorem	62
4.5 Beispiele für Impuls-Übertragungsfunktionen	68
4.5.1 Verzögerungsglied 1. Ordnung	68
4.5.2 Verzögerungsglied 2. Ordnung mit komplexen Polen	68
5 Zusammengesetzte Übertragungsstrecken	70
5.1 Kettenschaltung mehrerer Teilstrecken	70
5.1.1 Ohne Zwischenabtastung	70
5.1.2 Mit Zwischenabtastung	71
5.2 Andere Kombinationen von Teilübertragungsstrecken	72
5.2.1 Parallelschaltung mehrerer Teilstrecken	72
5.2.2 Überlagerung von modulierten Impulsreihen und kontinuierlichen Zeitfunktionen	74
5.3 Berechnung von Zwischenwerten	74
5.4 Übertragung von amplitudenmodulierten Impulsen endlicher Höhe und Breite	76
5.5 Übertragung von Stufenfunktionen	79
5.6 Lineare Interpolation	82
6 Berechnung zeitdiskreter Einschwingvorgänge mit Hilfe der z-Transformation	85
6.1 Rechenoperationen	85
6.1.1 Addition und Verstärkung	85
6.1.2 Verzögerung um ein ganzzahliges Vielfaches eines Abtastintervalles T	86
6.1.3 Differenzbildung	86
6.1.4 Summation	87
6.1.5 Dämpfung	88
6.1.6 Faltung	88
6.2 Häufig vorkommende Funktionen	89
6.2.1 Exponentialfunktion	89
6.2.2 Lineare Rampenfunktion	90
6.2.3 Parabolische Anstiegsfunktion	91
6.2.4 Verzögerungsfunktion	92
6.2.5 Gedämpfte Schwingung	92

6.3	Berechnung von Einschwingvorgängen	93
6.3.1	Zeit- und Frequenzbereich	93
6.3.2	Beispiele	95
7	Kontinuierlich wirkendes System mit Rückkopplung und einem Abtaster	98
7.1	Aufbau eines einfachen Abtast-Regelkreises	98
7.2	Berechnung der Impuls-Übertragungsfunktion des geschlossenen Kreises	99
7.3	Abtastregelkreis 2. Ordnung mit einem Integralregler	100
7.3.1	Wirkungsweise und Anwendungsbeispiel	100
7.3.2	Impuls-Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises	104
7.3.3	Stabilität	104
7.3.4	Wahl des Reglers für vorgegebene Mindestdämpfung	105
7.4	Abtastregelkreis mit Impulsspeicher	107
7.4.1	Impuls-Übertragungsfunktion	107
7.4.2	Stabilität und Dämpfung	108
7.5	Vertauschung der Reihenfolge von Übertragungsgliedern im Regelkreis	111
8	Anwendung der Abtastregelung bei einer Regelstrecke mit Laufzeit	113
8.1	Näherung für eine Tiefpaß-Regelstrecke höherer Ordnung	113
8.2	Impuls-Übertragungsfunktion eines Regelkreises mit Laufzeit	115
8.3	Stabilität und Dämpfung	116
8.4	Beispiel	119
9	Digitale Meßwertverarbeitung	122
9.1	Blockschema eines diskreten linearen Filters in Normalform	124
9.2	Diskretes lineares Filter in einer zweiten Normalform	131
9.3	Beispiele für diskrete lineare Filter	134
9.3.1	Idealer PID-Abtastregler	134
9.3.2	Diskrete Glättungsfiler	137
9.3.3	Diskretes Differenzierfilter	143
9.3.4	Zweifaches Differenzierfilter	147
9.3.5	Prädiktionsfilter	149
9.4	Angepaßtes Filter zur Laufzeitmessung	151
9.5	Auswirkungen von Rundungsfehlern infolge begrenzter Amplitudenaufösung der Wandler und des Rechners	158

10 Quasistetige lineare Abtastregelung mit digitalem Regler	162
10.1 Blockschaltbild und Übertragungsfunktion	162
10.2 Entwurf eines quasistetigen Abtastreglers im Frequenzbereich .	165
11 Rechnergestützter Entwurf linearer Abtastregler im z-Bereich	176
11.1 Entwurf eines kompensierenden Reglers	176
11.2 Entkoppelte Vorgabe des Stör- und Führungsverhaltens	183
11.3 Bestimmung einer nullstellenfreien diskreten Strecken-Übertragungsfunktion durch Regression	187
11.4 Kompensierender Regler für nullstellenfreie Strecken-Übertragungsfunktion	192
11.5 Störmodell zur Dämpfung von Strecken-Eigenschwingungen . .	196
11.6 Zeitdiskretes Streckenmodell für eine ganzzahlig vielfache Abtastperiode kT	201
12 Synthese eines Abtastregelkreises mit Einschwingvorgang endlicher Dauer	204
12.1 Zustandsgrößen einer kontinuierlichen linearen Regelstrecke . .	205
12.2 Synthese der Reglerfunktion für Einschwingvorgang endlicher Dauer bei Führungsanregung	207
12.3 Beispiel für endliche Dauer des Einschwingvorganges bei Führungsanregung	212
12.4 Synthese des Reglers für Einschwingvorgänge endlicher Dauer bei Stör- und Führungsanregung	216
13 Zeitreihenregler mit nicht-algebraischem Streckenmodell	222
13.1 Darstellung einer diskreten linearen Übertragungstrecke durch eine Zeitreihe; Faltung und Entfaltung	222
13.2 Entfaltung durch Ansatz einer quadratischen Zielfunktion . . .	229
13.3 Entwurf einer Regelung mit Zeitreihen	231
13.3.1 Verwendung einer Zeitreihe als nichtparametrisches dynamisches Modell	231
13.3.2 Prinzip einer Reglerauslegung mit Zeitreihen	233
13.3.3 Berechnung des Stellgrößenverlaufes	235
13.3.4 Berechnung der Regler-Impulsantwort	237
13.4 Ergebnisse einer Reglerberechnung mit Zeitreihen	239
14 Entwurf eines prädiktiven Abtastreglers im Zeitbereich	245

15 Entwurf eines selbsteinstellenden Reglers mit einem Parameter-Suchverfahren	254
15.1 Simulation des geschlossenen Kreises, Ansatz einer Zielfunktion	255
15.2 Minimisierung der Zielfunktion mit einem Suchverfahren	257
15.3 Selbsteinstellende Regelung für ein Zwei-Massen-Antriebssystem	261
15.4 Gesteuerte Adaptation bei einer nichtlinearen Strecke	272
16 Nichtlineare Abtastsysteme	280
16.1 Pulsweiten-Modulation als Beispiel einer zeitdiskreten nichtlinearen Signalverarbeitung	280
16.2 Linearisierung am Arbeitspunkt, analoge Regelung	287
16.3 Verallgemeinerung	292
16.3.1 Regelstrecke 2. Ordnung	292
16.3.2 Netzgeführte Stromrichter	293
16.4 Digitale Stromregelung mit schaltendem Stellglied	296
Literaturverzeichnis	302
Sachverzeichnis	307