

Digitale Regelungstechnik

von
Professor Dr.-Ing. Anton Braun
Fachhochschule Regensburg

R. Oldenbourg Verlag München Wien 1997

Inhalt

1 Einleitung.....	1
1.1 Signaltypen.....	1
1.2 Grundsätzlicher Aufbau digitaler Regelkreise.....	3
1.3 Signalkonversion.....	4
1.3.1 Halteglieder.....	4
1.3.2 Analog-Digital-Umsetzer.....	4
1.3.3 Digital-Analog-Umsetzer.....	6
2 Die diskrete Übertragungsfunktion.....	9
2.1 Die z-Transformation.....	9
2.2 Rechenregeln der z-Transformation.....	11
2.2.1 Linearität.....	11
2.2.2 Faltung.....	12
2.2.3 Verschiebungssatz.....	12
2.2.4 Dämpfungsregel.....	14
2.2.5 Grenzwertsätze.....	15
2.3 Die Übertragungsfunktion im z-Bereich.....	17
3 Mathematische Beschreibung des Abtastvorgangs.....	23
3.1 Die z-Transformierte eines abgetasteten Systems.....	24
3.2 Analyse des Übergangsverhaltens im z-Bereich.....	30
3.2.1 z-Transformierte elementarer Signale.....	31
3.2.2 Abbildung der s-Ebene in die z-Ebene.....	37
3.2.3 Die Stabilität von Abtastsystemen.....	44

3.3 Rücktransfonnation (Umkehrung der z-Transformation).....	54
3.3.1 Problemstellung.....	54
3.3.2 Rücktransformation rationaler Funktionen von z durch Polynomdivision.....	55
3.3.3 Rücktransformation mittels Partialbruchzerlegung.....	65
3.3.4 Rücktransformation mit Hilfe des Inversions-Integrals.....	70
3.3.5 Sukzessive Berechnung der diskreten Wertefolge.....	77
3.3.6 Die Lösung von Differenzgleichungen mit Hilfe der z-Transformation.....	81
 4 Analyse von Abtastsystemen.....	 85
4.1 Einleitung.....	85
4.2 Analyse der Prozesse Abtasten und Halten.....	85
4.3 Das Spektrum eines abgetasteten Signals, Aliasing.....	88
4.4 Algebra der Blockschaltbilder im z-Bereich.....	95
4.5 Die Übertragungsfunktion digitaler Regler im z-Bereich.....	111
4.6 Die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises im z-Bereich.....	85
4.7 Die Übertragungsfunktion des digitalen PID-Reglers.....	114
 5 Das diskrete Filter in Analogie zum kontinuierlichen Filter.....	 121
5.1 Einleitung.....	121
5.2 Entwicklung diskreter Filter durch numerische Integration.....	122
5.2.1 Rechteckregel in Vorwärtsrichtung.....	122
5.2.2 Rechteckregel in Rückwärtsrichtung.....	123
5.2.3 Trapezregel.....	123
5.2.4 Bilineare Transformation mit Frequenzkorrektur (Prewarping).....	128
5.2.5 Das Abbildungsverfahren von Pol- und Nullstellen vom Laplace-Bereich in den z-Bereich.....	135
5.2.6 Das Modifizierte Abbildungsverfahren von Pol- und Nullstellen vom Laplace-Bereich in den z-Bereich.....	142

6 Synthese digitaler Regelkreise.....	147
6.1 Regelkreis-Spezifikationen.....	147
6.2 Analyse des dynamischen Verhaltens von Regelkreisen.....	153
6.3 Regelkreis-Synthese mit Hilfe der Emulation.....	161
6.4 Regelkreis-Synthese mit Hilfe von Wurzelortskurven.....	169
6.4.1 Allgemeine Regeln zur Konstruktion von Wurzelortskurven.....	171
6.4.2 Wurzelortskurven digitaler Regelkreise.....	175
6.4.3 Einfluß der Abtastperiode auf das Einschwingverhalten.....	184
6.5 Regelkreis-Synthese im Frequenzbereich.....	200
6.5.1 Bilineare Transformation und w -Ebene.....	200
6.5.2 Bode-Diagramme.....	204
6.6 Regelung auf endliche Einstellzeit (Deadbeat-Regelung).....	213
6.6.1 Synthese des Deadbeat-Reglers für minimale Einschwingdauer und verschwindendem stationärem Fehler.....	214
6.7 Zur Wahl der Abtastrate.....	236
6.7.1 Der Mindestwert der Abtastperiode.....	237
6.7.2 Zeitverhalten und Welligkeit der Regelgröße.....	237
Anhang.....	239
A Partialbruchzerlegung.....	239
A1 Bildfunktion mit einfachen reellen Polen.....	240
A2 Bildfunktion mit mehrfachen reellen Polen.....	244
A3 Bildfunktion mit einfachen komplexen Polen.....	248
B Tabelle der z-Transformierten häufig auftretender Funktionen.....	252
C Analyse des stationären Verhaltens analoger und digitaler Regelkreise.....	257
C1 Analyse des stationären Verhaltens analoger Regelkreise.....	257
C2 Analyse des stationären Fehlers diskreter Systeme.....	267
Literatur.....	271
Stichwortverzeichnis.....	273