

Rolf Isermann

Digitale Regel- systeme

Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage

Band II

Stochastische Regelungen,
Mehrgrößenregelungen,
Adaptive Regelungen, Anwendungen



Springer-Verlag

TP27
I78
V.12

8763428

Rolf Isermann

TP27
I78
E.2
V.12

Digitale Regelsysteme

Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage

Band II:
Stochastische Regelungen
Mehrgrößenregelungen
Adaptive Regelungen
Anwendungen

Mit 120 Abbildungen



E8763428

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1987

Professor Dr.-Ing. Rolf Isermann

Institut für Regelungstechnik
Fachgebiet Regelsystemtechnik
TH Darmstadt
Schloßgraben 1
6100 Darmstadt

ISBN 3-540-16597-5 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-16597-5 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek:

Isermann, Rolf: Digitale Regelsysteme/Rolf Isermann. – Berlin; Heidelberg; New York;
London; Paris; Tokyo: Springer

Engl. Ausg. u. d. T.: Isermann, Rolf: Digital control systems

Bd. 2. – 2., überarb. u. erw. Aufl. – 1987

ISBN 3-540-16597-5 (Berlin...)

ISBN 0-387-16597-5 (New York...)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1987

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: Mit einem System der Springer Produktions-Gesellschaft

Datenkonvertierung: Brühlsche Universitätsdruckerei, Gießen

Druck: Saladruck, Steinkopf & Sohn, Berlin

Bindearbeiten: Lüderitz & Bauer, Berlin

2160/3020-543210

Vorwort zu Band I und II

Die großen Fortschritte bei der Großintegration von Halbleitern und die entstandenen preiswerten digitalen Prozessoren und Datenspeicher prägen die derzeitige Entwicklung der Automatisierungstechnik.

Die Anwendung von digitalen Systemen zur Prozeßautomatisierung begann etwa 1960, als die ersten *Prozeßrechner* eingesetzt wurden. Seit etwa 1970 gehören Prozeßrechner mit Bildschirmwarten zur Standardausrüstung von größeren Automatisierungssystemen, mit jährlichen Zuwachsraten von 20–30% im Zeitraum bis etwa 1980. Die Kosten für die Hardware zeigten bereits damals eine fallende, die relativen Kosten zur Erstellung der Software jedoch eine ansteigende Tendenz. Wegen der hohen Gesamtkosten war die erste Phase der digitalen Prozeßautomatisierung durch eine *Zentralisierung* vieler Funktionen in einem (gelegentlich auch in mehreren) Prozeßrechner gekennzeichnet. Die Anwendung war im wesentlichen auf mittlere und große Prozesse beschränkt. Wegen der weitreichenden Folgen bei einem Ausfall des zentralen Rechners mußten dann Reserveprozeßrechner (standby) oder parallele analoge Automatisierungssysteme (back-up) vorgesehen werden, was die Kosten wesentlich erhöhte. Tendenzen zur Überladung der Kapazität und Software-Probleme bereiteten weitere Schwierigkeiten.

1971 erschienen die ersten *Mikroprozessoren* auf dem Markt, die zusammen mit großintegrierten Halbleiterspeichern und Ein/Ausgabebausteinen bei entsprechender Stückzahl zu preiswerten Mikroprozeßrechnern zusammengefügt werden können. Diese Mikroprozeßrechner unterscheiden sich von den Prozeßrechnern durch weniger, aber höher integrierte Bausteine und durch die Möglichkeit der Hardware- und Softwareanpassung an spezielle, weniger umfangreiche Aufgaben. Die Mikroprozessoren hatten anfänglich eine kleinere Wortlänge, eine kleinere Arbeitsgeschwindigkeit und kleinere Betriebssoftware-Systeme mit weniger Befehlen. Sie konnten jedoch von Anfang an vielseitig angewendet werden, so daß sich größere Stückzahlen und damit niedere Hardware-Kosten ergaben. Damit war auch die Möglichkeit zum Einsatz bei kleinen Prozessen gegeben. Mit Hilfe dieser Mikroprozeßrechner, die heute die Leistungsfähigkeit der früheren Prozeßrechner übertreffen, können nun dezentralisierte Automatisierungssysteme aufgebaut werden. Hierzu werden die bisher in einem Prozeßrechner zentral bearbeiteten Aufgaben an verschiedene Mikroprozeßrechner delegiert. Zusammen mit digitalen Sammelleitungen (Bus) und eventuell übergeordneten Rechneinheiten können viele verschiedene, hierarchisch gegliederte Automatisierungsstrukturen aufgebaut werden, die sich dem jeweiligen Prozeß anpassen lassen. Man

vermeidet dadurch die hohe Rechnerbelastung eines zentralen Rechners, eine umfangreiche und unübersichtliche Anwender-Software und eine hohe Anfälligkeit gegen Rechnerausfall. Ferner lassen sich dezentralisierte Systeme einfacher schrittweise in Betrieb nehmen, mit gegenseitiger Redundanz aufbauen (kleinere Störanfälligkeit), und es können Kabelkosten eingespart werden, usw. Die zweite Phase der digitalen Prozeßautomatisierung, ist also durch eine *Dezentralisierung* charakterisiert.

Neben dem Einsatz von Mikroprozeßrechnern als Unterstationen in dezentral angeordneten Automatisierungssystemen finden die Mikroprozeßrechner zunehmend Eingang in *einzelne Geräte* der Automatisierungstechnik. Seit 1975 sind digitale Regler und frei programmierbare Steuerungen auf der Basis von Mikroprozessoren auf dem Markt.

Die *digitalen Regler* ersetzen dabei mehrere analoge Regler. Sie benötigen im allgemeinen wegen der weit verbreiteten Meßfühler, Meßumformer und Meßsignalübertragung mit analogen Signalen am Eingang einen Analog/Digital-Wandler und zur Ansteuerung der für die Analogtechnik ausgelegten Stellglieder am Ausgang einen Digital/Analog-Wandler. Es ist jedoch damit zu rechnen, daß die Digitalisierung auf längere Sicht bis hin zum Meßfühler und Stellglied schreiten wird. Dadurch lassen sich nicht nur A/D- und D/A-Wandler einsparen, sondern auch Störsignalprobleme umgehen, Meßfühler mit digitalem Ausgang einsetzen oder eine Signalvorverarbeitung in digitalen Meßumformern (Meßbereichswahl, Korrektur nichtlinearer Kennlinien, Berechnung nicht direkt meßbarer Größen, automatische Fehlererkennung usw.) durchführen. Stellantriebe mit digitaler Ansteuerung werden ebenfalls entwickelt.

Digitale Regler können jedoch nicht nur einen oder mehrere analoge Regler ersetzen, sondern zusätzliche Funktionen ausüben, die bisher andere Geräte übernahmen, oder neue Funktionen erfüllen. Zusätzliche Funktionen sind z.B. die Zeitprogrammsteuerung von Sollwerten, das selbsttätige Umschalten auf verschiedene Regel- und Stellgrößen, adaptiv gesteuerte Reglerparameter in Abhängigkeit vom Betriebspunkt, die zusätzliche Grenzwertüberwachung, usw. Beispiele für neue Funktionen sind: Kommunikation mit anderen digitalen Reglern, gegenseitige Redundanz, automatische Fehlererkennung und -diagnose, vielerlei Zusatzfunktionen, Auswahlmöglichkeit für verschiedene Regelalgorithmen und insbesondere selbsteinstellende bzw. adaptive Regelalgorithmen. In einem digitalen Regler können ganze Regelschaltungen realisiert werden, wie z.B. Kaskadenregelungen, Mehrgrößenregelungen mit Koppelreglern, Störgrößenaufschaltungen, die sich leicht durch Konfiguration der Software bei der Inbetriebnahme, oder später, modifizieren und abändern lassen. Schließlich können sehr große Zahlenbereiche für die Reglerparameter und die Abtastzeit verwirklicht werden. Wegen dieser vielen Vorteile entstehen zur Zeit viele digitale Geräte der Automatisierungstechnik, die die bewährte analoge Meß- und Regelungstechnik entweder ergänzen oder ersetzen.

Einige *Kennzeichen von digitalen Regelungen*, die mit Prozeßrechnern oder mit Mikroprozeßrechnern verwirklicht werden, sind im Vergleich zu analogen Regelungen:

- Regel- und Steueralgorithmen sind als Software realisiert.
- Es entstehen zeitquantisierte (abgetastete) Signale.

- Die Signale sind durch endliche Wortlängen in A/D-Wandler, Zentraleinheit und D/A-Wandler amplitudenquantisiert.
- Analyse des Prozesses und Synthese der Regelung können durch den Rechner selbst durchgeführt werden.

Wegen der großen Flexibilität bei den in Software abgelegten Regel- und Steueralgorithmen ist man nicht mehr, wie bei den analogen Regelungen auf standardisierte Bausteine mit P-, I- und D-Verhalten beschränkt, sondern kann auch hochwertigere Algorithmen einsetzen, die von mathematischen Prozeßmodellen ausgehen. Hinzu kommen noch viele zusätzliche Funktionen. Besonders bedeutsam ist, daß prozeßgekoppelte Digitalrechner den Einsatz von Prozeßidentifikations-, Reglerentwurfs- und Simulationsverfahren erlauben und somit dem Ingenieur neue Werkzeuge in die Hand geben.

Zur theoretischen Behandlung und Synthese von linearen Abtastregelungen auf der Grundlage von Differenzgleichungen, Vektordifferenzgleichungen und der z-Transformation sind seit 1958 mehrere Bücher erschienen. Bis zum Erscheinen des *ersten Auflage* dieses Buches (1977) fehlten jedoch Abhandlungen, in denen die verschiedenen Methoden zum Entwurf von Abtastregelungen übersichtlich zusammengefaßt, verglichen und so aufbereitet werden, daß sie unmittelbar zum Entwurf von Regel- und Steueralgorithmen für verschiedene Klassen von Prozessen angewendet werden können. Dabei müssen unter anderem betrachtet werden: die Form und Genauigkeit der praktisch erhältlichen mathematischen Prozeßmodelle, der rechnerische Aufwand zum Entwurf und die Eigenschaften der resultierenden Regelalgorithmen, wie z.B. Verhältnis von Regelgüte zu Stellaufwand, Verhalten bei verschiedenen Prozessen und verschiedenen Störsignalen und Empfindlichkeit gegenüber Änderungen des Prozeßverhaltens. Schließlich ist das im Vergleich zu analogen Regelungen, durch die Abtastung und Amplitudenquantisierung entstehende veränderte Regelverhalten zu untersuchen.

In der ersten Auflage wurden außer deterministischen Regelungen auch stochastische Regelungen, Mehrgrößenregelungen und erste Ergebnisse von digitalen adaptiven Regelungen behandelt. Dieses Buch wurde 1983 in die chinesische Sprache übersetzt. 1981 erschien eine erweiterte englische Ausgabe mit dem Titel „Digital Control Systems“, 1984 deren Übersetzung in die russische Sprache und 1986, erneut, in die chinesische Sprache.

In der Zwischenzeit hat sich das Gebiet der digitalen Regelungen erwartungsgemäß weiterentwickelt. Zum einen sind aus Forschungsarbeiten neue Erkenntnisse und Methoden gewonnen worden, zum anderen lieferte der vermehrte praktische Einsatz eine reiche Erfahrung und damit eine tiefergehende Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten. Mehrere Jahre Vorlesungsbetrieb und Lehrgänge bei verschiedenen Firmen gaben weitere Anregungen zur didaktischen Ausgestaltung des Stoffes. Die *zweite Auflage* ist deshalb eine vollständige Überarbeitung des ersten Buches und enthält viele Ergänzungen, besonders in den Kapiteln 1, 3, 5, 6, 10, 20, 21, 23, 26, 30 und 31. Der Umfang ist im Vergleich zur ersten Auflage deutlich angestiegen, sodaß die Aufteilung in zwei Bände erforderlich war.

Beide Bände richten sich an Studenten und an Ingenieure in der Praxis, die eine Einführung in die Theorie und Anwendung digitaler Regelungen wünschen. Die

erforderlichen Voraussetzungen bestehen lediglich aus den üblichen Grundkenntnissen der zeitkontinuierlichen (analogen) Regelungstheorie und Regelungstechnik, gekennzeichnet z.B. durch die Stichworte: Differentialgleichung, Laplace-Transformation, Übertragungsfunktion, Frequenzgang, Pole, Nullstellen, Stabilitätskriterien und elementare Matrizenrechnung.

Der *erste Band* behandelt die theoretischen Grundlagen linearer Abtastsysteme und die deterministischen Regelungen. Die Einführung in die Grundlagen der Abtastregelungen im Teil A wurde wesentlich ausführlicher gestaltet, als in der ersten Auflage. Es werden konzentriert, mit vielen Beispielen und Übungsaufgaben versehen, die wesentlichen Grundkenntnisse vermittelt, die für die späteren Kapitel erforderlich sind und für den praktizierenden Ingenieur im allgemeinen ausreichen. Dabei wird sowohl die Ein/Ausgangs-Darstellung als auch die Zustandsdarstellung verwendet. Der Teil B behandelt die für deterministische Störsignale entworfenen Regelalgorithmen. Es wird zunächst ausführlich auf die parameteroptimierten Regelalgorithmen, insbesondere mit PID-Verhalten, eingegangen, da diese in der Praxis nach wie vor am meisten eingesetzt werden. Es folgen allgemeine lineare Regler (höherer Ordnung), Kompensationsregler und die für Abtastregelungen typischen Deadbeat-Regler. Zustandsregler einschließlich Zustandsbeobachter nach verschiedenen Entwurfsprinzipien und den erforderlichen Ergänzungen nehmen ebenfalls einen breiten Raum ein. Dann werden verschiedene Regelungen für Totzeitprozesse, unempfindliche und robuste Regler behandelt, und verschiedene Regelalgorithmen durch Simulationen verglichen. Im Anhang werden zahlreiche Übungsaufgaben und deren Lösungsergebnisse angegeben.

Der *zweite Band* widmet sich im Teil C dem Entwurf von Regelungen für stochastische Störsignale, darunter Minimal-Varianz-Regler. Im Teil D werden der Entwurf vermaschter Regelsysteme (Kaskaden-Regelung, Störgrößenaufschaltung) und im Teil E Mehrgrößen-Regelsysteme einschließlich Mehrgrößen-Zustandsschätzung behandelt. Ausführlich wird in Teil F auf digitale adaptive Regelungen eingegangen, die in den letzten 10 Jahren große Fortschritte gemacht haben. Nach einer generellen Übersicht folgen On-line-Identifikationsverfahren, auch im geschlossenen Regelkreis, und verschiedene parameteradaptive Regelungen. Der Teil G betrachtet praktische Aspekte, wie z.B. den Einfluß der Amplitudenquantisierung, analoge und digitale Störsignalfilterung und die Stellgliedansteuerung. Schließlich folgen eine Beschreibung des rechnergestützten Entwurfs von Regelungen mit besonderen Programmsystemen einschließlich verschiedener Anwendungen und Einsatzbeispiele von adaptiven und selbststellenden Regelungen für verschiedene technische Prozesse.

Gerade die letzten Kapitel zeigen, daß die meisten in den beiden Bänden beschriebenen Regelungen und zugehörigen Entwurfsverfahren in Kombination mit Methoden der Modellgewinnung in Programmsystemen zusammengefaßt und praktisch an eigenen Pilotanlagen und Anlagen in der Industrie erprobt wurden. Weitere Angaben zum Inhalt werden im Kap. 1 gemacht.

Viele der beschriebenen Methoden, Untersuchungen und Ergebnisse wurden anfänglich in einem mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (DV 5.505) geförderten Forschungsvorhaben des Projekts „Prozeßlenkung mit DV-Anlagen (PDV)“ von 1973 bis 1981 und in Forschungsvor-

haben der Deutschen Forschungsgemeinschaft erarbeitet. Für diese Unterstützung möchte sich der Autor auch an dieser Stelle sehr bedanken.

Der Verfasser dankt ferner seinen Mitarbeitern, die in mehrjähriger gemeinsamer Arbeit durch die Entwicklung von Methoden, die Durchrechnung von Beispielen, Erstellung von Programmpaketen, Simulationen auf Digital- und Prozeßrechnern, praktischen Erprobungen an verschiedenen Prozessen, den Bau von Mikrorechnern und schließlich durch das Korrekturlesen am Zustandekommen des Buches wesentlichen Anteil haben. Hierbei möchte ich besonders die Herren Dr.-Ing. S. Bergmann, Dr.-Ing. P. Blessing, Dr.-Ing. D. Bux, Dipl.-Ing. H. Hensel, Dipl.-Ing. W. Goedecke, Dipl.-Ing. R. Kofahl, Dr.-Ing. H. Kurz, Dr.-Ing. P. Kneppo, Dr.-Ing. K. H. Lachmann, Dr.-Ing. W. Mann, Dipl.-Ing. K. H. Peter, Dr.-Ing. F. Radke, Dr.-Ing. H. Schramm, Dr.-Ing. R. Schumann nennen. Herrn T. Knapp und Herrn S. Juraschek danke ich für das Durchrechnen der Übungsbeispiele. Mein Dank gilt ferner dem Springer-Verlag für die Herausgabe des Bandes und für die angenehme Zusammenarbeit. Schließlich danke ich Frau M. Widulle für die sorgfältige Gestaltung des Textes einiger Kapitel mit der Schreibmaschine.

Darmstadt, Januar 1986

Rolf Isermann

Inhaltsübersicht Band I

1 Einführung

A Grundlagen

2 Regelung mit Digitalrechnern (Prozeßrechner, Mikrorechner)

3 Grundlagen linearer Abtastsysteme (zeitdiskrete Systeme)

B Regelungen für deterministische Störungen

4 Deterministische Regelungen (Übersicht)

5 Parameteroptimierte Regler

6 Allgemeine lineare Regler und Kompensationsregler

7 Regler für endliche Einstellzeit

8 Zustandsregler und Zustandsbeobachter

9 Regler für Prozesse mit großen Totzeiten

10 Empfindlichkeit und Robustheit mit konstanten Reglern

11 Vergleich verschiedener Regler für deterministische Störsignale

Anhang A Tabellen und Textprozesse

Anhang B Übungsaufgaben

Anhang C Ergebnisse der Übungsaufgaben

Digitale Regelsysteme – Band I

Entwurf
Regel-system-
Struktur

Entwurf
Regelalgo-
rithmen

Information
über Prozeß
und Signale

Realisierung
mit
Digitalrechner

2 Regelung mit Digitalrechnen

3 Grundlagen linearer Abtastsysteme

4 Deterministische Regelungen (Übersicht)

5-11: Eingrößen-
Regelungen

5 Parameter-
opt. Regler
(PID)

6 Allgem. lineare
und Kompen-
sationsregler

7 Deadbeat-
regler

8 Zustandsregler und -beobachter

9 Regler bei
großen
Totzeiten

10 Robuste
Regler

11 Vergleich
von Regel-
algorithmen

Digitale Regelsysteme – Band II

Entwurf
Regel-system-
Struktur

Entwurf
Regelalgo-
rithmen

Information
über Prozeß
und Signale

Realisierung
mit
Digitalrechner

12 Stochastische Regelungen (Übersicht)

13–15: Eingrößen-
regelungen

13 Parameter-
opt. Regler

14 Minimal-
varianz-
regler

15 Zustands-
regler

16–17: Vermaschte
Regelungen

16 Kaskaden-
regelungen

17 Störgrößen-
aufschaltung

18–21: Mehr-
größen-
regelungen

18 Strukturen
Mehrgrößen-
prozeß

19 Parameter-
opt. Mehr-
größen-
regelungen

20 Polynom-
Matrizenregler

21 Zustandsregler

22 Zustands-
schätzung

23 Adaptive Regelungen (Übersicht)

24/25 Prozeß-
identifikation

26 Parameteradaptive Regelungen

27 Amplituden-
quantisierung

28 Signalfilter-
rung

29 Stellantrieb-
steuerung

30 Rechnergestützter Entwurf von Regelalgorithmen
mit Prozeßidentifikation

31 Adaptive Regelung mit Mikrorechnern

Verzeichnis der Abkürzungen

Es werden nur die häufig vorkommenden Abkürzungen und Symbole angegeben.

Buchstaben-Symbole

a	}	Parameter von Differenzgleichungen des <i>Prozesses</i>
b		
c	}	Parameter von Differenzgleichungen <i>stochastischer Signale</i>
d		
d		Totzeit $d = T_i/T_0 = 1, 2, \dots$
e		Regelabweichung $e = w - y$ (auch $e_w = w - y$) oder Gleichungsfehler bei Parameterschätzung oder Zahl $e = 2, 71828\dots$
f		Frequenz, $f = 1/T_p$ (T_p Schwingungsdauer) oder Parameter
g		Gewichtsfunktion
h		Parameter
i		ganze Zahl oder laufender Index oder $i^2 = -1$
j		ganze Zahl oder laufender Index
k		diskrete Zeiteinheit $k = t/T_0 = 0, 1, 2, \dots$
l		ganze Zahl oder Parameter
m		Ordnung der Polynome $A()$, $B()$, $C()$, $D()$
n		Störsignal
p		Parameter der Differenzgleichung des Reglers oder ganze Zahl
$p()$		Verteilungsdichte
q		Parameter der Differenzgleichung des Reglers
r		Gewichtsfaktor der Stellgröße oder ganze Zahl
s		Variable der Laplace-Transformation $s = \delta + i\omega$ oder Nutzsinal
t		kontinuierliche Zeit
u		Eingangssignal des Prozesses, Stellsignal, Steuergröße $u(k) = U(k) - U_{00}$
v		nichtmeßbares, virtuelles Störsignal
w		Führungsgröße, Sollwert $w(k) = W(k) - W_{00}$
x		Zustandsgröße
y		Ausgangssignal des Prozesses, Regelgröße $y(k) = Y(k) - Y_{00}$
z		Variable der z-Transformation $z = e^{T_0 s}$
a	}	Parameter von Differentialgleichungen des <i>Prozesses</i>
b		

$A(s)$	Nennerpolynom von $G(s)$	
$B(s)$	Zählerpolynom von $G(s)$	
$A(z)$	Nennerpolynom der z -Übertragungsfunktion des Prozeßmodells	
$B(z)$	Zählerpolynom der z -Übertragungsfunktion des Prozeßmodells	
$C(z)$	Nennerpolynom der z -Übertragungsfunktion des Störsignalmodells	
$D(z)$	Zählerpolynom der z -Übertragungsfunktion des Störsignalmodells	
$G(z)$	z -Übertragungsfunktion	
$G(s)$	Übertragungsfunktion für zeitkontinuierliche Signale	
$H()$	Übertragungsfunktion eines Haltegliedes	
I	Regelgütekriterium	
K	Verstärkungsfaktor, Übertragungsbeiwert	
L	Wortlänge	
M	ganze Zahl	
N	ganze Zahl oder Meßzeit	
$P(z)$	Nennerpolynom der z -Übertragungsfunktion des Reglers	
$Q(z)$	Zählerpolynom der z -Übertragungsfunktion des Reglers	
$R()$	Dynamischer Regelfaktor	
S	Leistungsdichte oder Summenkriterium	
T	Zeitkonstante	
T_{95}	Einschwingzeit einer Übergangsfunktion auf 95% des Endwertes	
T_0	Abtastzeit, Abtastintervall	
T_t	Totzeit	
U	Eingangsgröße des Prozesses (Absolutwert)	
V	Verlustfunktion	
W	Führungsgröße (Absolutwert)	
Y	Ausgangsgröße des Prozesses (Absolutwert)	
b	Steuervektor	
c	Ausgangsvektor	
k	Parametervektor des Zustandsreglers	
n	Störsignalvektor	$(r \times 1)$
u	Stellgrößenvektor, Steuergrößenvektor	$(p \times 1)$
v	Störsignalvektor	$(p \times 1)$
w	Führungsgrößenvektor	$(r \times 1)$
x	Zustandsgrößenvektor	$(m \times 1)$
y	Ausgangsgrößenvektor, Regelgrößenvektor	$(r \times 1)$
A	Systemmatrix	$(m \times m)$
B	Steuermatrix	$(m \times p)$
C	Ausgangs-, Beobachtungsmatrix	$(r \times m)$
D	Durchgangsmatrix ($r \times p$) oder Diagonalmatrix	
F	Störmatrix oder $F = A - BK$	
G	Matrix von Übertragungsfunktionen	
I	Einheitsmatrix	
K	Parametermatrix des Zustandsreglers	
Q	Gewichtsmatrix der Zustandsgrößen	$(m \times m)$

Anmerkung: Die Vektoren und Matrizen sind in den Bildern geradestehend mit Unterstreichung gesetzt. Also entsprechen sich z.B. $\underline{x} \rightarrow \underline{\dot{x}}$; $\underline{K} \rightarrow \underline{\dot{K}}$.

R	Gewichtsmatrix der Steuergrößen ($p \times p$) oder Reglermatrix
0	Nullmatrix
$\mathcal{A}(z)$	Nennerpolynom z-Übertragungsfunktion, geschlossener Regelkreis
$\mathcal{B}(z)$	Zählerpolynom z-Übertragungsfunktion, geschlossener Regelkreis
\mathcal{F}	Fourier-Transformierte
\mathcal{I}	Information
$\mathcal{L}()$	Laplace-Transformierte
$\mathcal{Z}()$	z-Transformierte
$\mathcal{Z}()$	Korrespondenz $G(s) \rightarrow G(z)$
α	Koeffizient
β	Koeffizient
γ	Koeffizient oder Zustandsgröße des Führungsgrößenmodells
δ	Abweichung, Fehler
ε	Koeffizient
ζ	Zustandsgröße des Störsignalmodells
η	Zustandsgröße des Störsignalmodells oder Stör/Nutzsignalverhältnis
κ	Koppelfaktor oder stochastischer Regelfaktor
λ	Standardabweichung des Störsignals $v(k)$
μ	Ordnung von $P()$
ν	Ordnung von $Q()$ oder Zustandsgröße des Führungsgrößenmodells
π	3,14159...
σ	Standardabweichung, σ^2 Varianz, oder bezogene komplexe Laplace-Variable
τ	Zeitverschiebung
ω	Kreisfrequenz $\omega = 2\pi/T_p$ (T_p Schwingungsdauer)
Δ	Abweichung, Änderung oder Quantisierungseinheit
Θ	Parameter
Π	Produkt
Σ	Summe
Ω	Bezogene Kreisfrequenz
\dot{x}	$= dx/dt$
x_0	exakte Größe
\hat{x}	geschätzte oder beobachtete Größe
$\tilde{x}, \Delta x$	$= \hat{x} - x_0$ Schätzfehler
\bar{x}	Mittelwert
X_{00}	Wert im Beharrungszustand

Mathematische Abkürzungen

$\exp(x)$	$= e^x$
$E\{\}$	Erwartungswert einer stochastischen Größe
$\text{var}[]$	Varianz
$\text{cov}[]$	Kovarianz
dim	Dimension, Anzahl der Elemente
sp	Spur einer Matrix: Summe der Diagonalelemente
adj	Adjungierte
det	Determinante

Indizes

<i>P</i>	Prozeß
<i>P_u</i>	Prozeß mit Eingang <i>u</i>
<i>P_v</i>	Prozeß mit Eingang <i>v</i>
<i>R</i>	Regler, Regelalgorithmus
<i>S</i>	Steuerung, Steueralgorithmus
<i>o</i>	exakte Größe
<i>oo</i>	Beharrungszustand

Abkürzungen für Regler bzw. Regelalgorithmen (R)

<i>i-PR-j</i>	Parameteroptimierter Regler mit <i>i</i> Parametern und <i>j</i> zu optimierenden, also <i>j-i</i> vorgegebenen Parametern
DB	Deadbeat-Regler
LR-PV	Linearer Regler mit Polvorgabe
PID	Proportional-integral-differential-Regler
PRER	Prädiktor-Regler
MV	Minimalvarianz-Regler
ZR	Zustandsregler (meistens mit Beobachter)
MDB	Mehrgrößen-Deadbeatregler
MMV	Mehrgrößen-Matrizenpolynom-Minimalvarianzregler
MSMV	Mehrgrößen-Minimalvarianz-Zustandsregler
MSPA	Mehrgrößen-Polvorgabe-Zustandsregler
MSR	Mehrgrößen-Riccati-Zustandsregler

Abkürzungen für Parameterschätzmethoden

COR-LS	Korrelationsanalyse mit LS-Parameterschätzung
IV	Instrumental Variables (Hilfsvariablen)
LS	Least Squares (kleinste Quadrate)
ML	Maximum-Likelihood
STA	Stochastische Approximation
DSFI	discrete square root filter in variance form
DSFC	discrete square root filter in covariance form
DVDC	discrete UD-factorization in covariance form

Der Vorsatz R bedeutet Rekursiver Algorithmus, also z.B. RIV, RLS, RML.

Abkürzungen für Signalprozesse

AR	autoregressiv
MA	gleitendes Mittel (moving average), summierend
ARMA	autoregressiv-gleitendes Mittel
ARMAX	autoregressiv-gleitend mit exogener Variablen

Sonstige Abkürzungen

PRBS	Pseudo-Rausch-Binär-Signal
WL	Wortlänge
SISO	single-input single-output
MIMO	multi-input multi-output
MRAS	Adaptives System mit Referenzmodell
MIAS	Adaptives System mit Identifikationsmodell