

Regelungs- und Steuerungstechnik

H. Unbehauen, F. Ley

Regelungstechnik

H. Unbehauen

1	Einführung	1
1.1	Einordnung der Regelungs- und Steuerungstechnik	1
1.2	Darstellung im Blockschaltbild	1
1.3	Unterscheidung zwischen Regelung und Steuerung	2
1.4	Beispiele von Regel- und Steuerungssystemen	3
2	Modelle und Systemeigenschaften	4
2.1	Mathematische Modelle	4
2.2	Systemeigenschaften	5
	2.2.1 Lineare und nichtlineare Systeme – 2.2.2 Systeme mit konzentrierten und verteilten Parametern – 2.2.3 Zeitvariante und zeitinvariante Systeme – 2.2.4 Systeme mit kontinuierlicher und diskreter Arbeitsweise – 2.2.5 Systeme mit deterministischen oder stochastischen Variablen – 2.2.6 Kausale Systeme – 2.2.7 Stabile und instabile Systeme – 2.2.8 Eingrößen- und Mehrgrößensysteme	
3	Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme im Zeitbereich	9
3.1	Beschreibung mittels Differenzialgleichungen	9
	3.1.1 Elektrische Systeme – 3.1.2 Mechanische Systeme – 3.1.3 Thermische Systeme	
3.2	Beschreibung mittels spezieller Ausgangssignale	11
	3.2.1 Die Übergangsfunktion (Normierte Sprungantwort) – 3.2.2 Die Gewichtsfunktion (Impulsantwort) – 3.2.3 Das Faltungsintegral (Duhamel'sches Integral)	
3.3	Zustandsraumdarstellung	12
	3.3.1 Zustandsraumdarstellung für Eingrößensysteme – 3.3.2 Zustandsraumdarstellung für Mehrgrößensysteme	
4	Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme im Frequenzbereich	14
4.1	Die Laplace-Transformation	14
4.2	Die Fourier-Transformation	15
4.3	Der Begriff der Übertragungsfunktion	16
	4.3.1 Definition – 4.3.2 Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktion – 4.3.3 Das Rechnen mit Übertragungsfunktionen – 4.3.4 Zusammenhang zwischen $G(s)$ und der Zustandsraumdarstellung – 4.3.5 Die komplexe G -Ebene	
4.4	Die Frequenzgangdarstellung	18
	4.4.1 Definition – 4.4.2 Ortskurvendarstellung des Frequenzganges – 4.4.3 Darstellung des Frequenzganges durch Frequenzkennlinien (Bode-Diagramm)	
4.5	Das Verhalten der wichtigsten Übertragungsglieder	20
	4.5.1 Das proportional wirkende Glied (P-Glied) – 4.5.2 Das integrierende Glied (I-Glied) – 4.5.3 Das differenzierende Glied (D-Glied) – 4.5.4 Das Verzögerungsglied 1. Ordnung (PT_1 -Glied) – 4.5.5 Das Verzögerungsglied 2. Ordnung (PT_2 -Glied und	

	PT ₂ S-Glied) – 4.5.6 Bandbreite eines Übertragungsgliedes – 4.5.7 Systeme mit minimalem und nichtminimalem Phasenverhalten	
5	Das Verhalten linearer kontinuierlicher Regelkreise	26
5.1	Dynamisches Verhalten des Regelkreises	26
5.2	Stationäres Verhalten des Regelkreises	27
5.3	Der PID-Regler und die aus ihm ableitbaren Reglertypen	28
6	Stabilität linearer kontinuierlicher Regelsysteme	31
6.1	Definition der Stabilität	31
6.2	Algebraische Stabilitätskriterien	32
	6.2.1 Das Hurwitz-Kriterium – 6.2.2 Das Routh-Kriterium	
6.3	Das Nyquist-Verfahren	34
	6.3.1 Das Nyquist-Kriterium in der Ortskurvendarstellung – 6.3.2 Das Nyquist-Kriterium in der Frequenzkennliniendarstellung – 6.3.3 Vereinfachte Formen des Nyquist-Kriteriums	
7	Das Wurzelortskurvenverfahren	37
7.1	Der Grundgedanke des Verfahrens	37
7.2	Regeln zur Konstruktion von Wurzelortskurven	38
8	Entwurfsverfahren für lineare kontinuierliche Regelsysteme	40
8.1	Problemstellung	40
8.2	Entwurf im Zeitbereich	40
	8.2.1 Gütemaße im Zeitbereich – 8.2.2 Integralkriterien – 8.2.3 Quadratische Regelfläche – 8.2.4 Ermittlung optimaler Einstellwerte eines Reglers nach dem Kriterium der minimalen quadratischen Regelfläche – 8.2.5 Empirisches Vorgehen	
8.3	Entwurf im Frequenzbereich	45
	8.3.1 Kenndaten des geschlossenen Regelkreises im Frequenzbereich und deren Zusammenhang mit den Gütemaßen im Zeitbereich – 8.3.2 Kenndaten des offenen Regelkreises und deren Zusammenhang mit den Gütemaßen des geschlossenen Regelkreises im Zeitbereich – 8.3.3 Reglerentwurf nach dem Frequenzkennlinien-Verfahren – 8.3.4 Korrekturglieder für Phase und Amplitude – 8.3.5 Reglerentwurf mit dem Wurzelortskurvenverfahren	
8.4	Analytische Entwurfsverfahren	50
	8.4.1 Vorgabe des Verhaltens des geschlossenen Regelkreises – 8.4.2 Das Verfahren nach Truxal-Guillemin – 8.4.3 Algebraisches Entwurfsverfahren	
9	Nichtlineare Regelsysteme	55
9.1	Allgemeine Eigenschaften nichtlinearer Regelsysteme	55
9.2	Regelkreis mit Zwei- und Dreipunktreglern	55
9.3	Analyse nichtlinearer Regelsysteme mithilfe der Beschreibungsfunktion	57
	9.3.1 Definition der Beschreibungsfunktion – 9.3.2 Stabilitätsuntersuchung mittels der Beschreibungsfunktion	
9.4	Analyse nichtlinearer Regelsysteme in der Phasenebene	58
	9.4.1 Zustandskurven – 9.4.2 Anwendung der Methode der Phasenebene zur Untersuchung von Relaisssystemen	
9.5	Stabilitätstheorie nach Ljapunow	60
	9.5.1 Der Grundgedanke der direkten Methode von Ljapunow – 9.5.2 Stabilitätssätze von Ljapunow – 9.5.3 Ermittlung geeigneter Ljapunow-Funktionen	
9.6	Das Stabilitätskriterium von Popov	61
	9.6.1 Absolute Stabilität – 9.6.2 Formulierung des Popov-Kriteriums – 9.6.3 Geometrische Auswertung der Popov-Ungleichung	
10	Lineare zeitdiskrete Systeme: Digitale Regelung	63
10.1	Arbeitsweise digitaler Regelsysteme	63
10.2	Darstellung im Zeitbereich	64
10.3	Die z-Transformation	66
	10.3.1 Definition der z-Transformation	

10.4	Darstellung im Frequenzbereich	66
10.4.1	Die Übertragungsfunktion diskreter Systeme – 10.4.2 Die z -Übertragungs- funktion kontinuierlicher Systeme	
10.5	Stabilität diskreter Regelsysteme	68
10.5.1	Stabilitätsbedingungen – 10.5.2 Stabilitätskriterien	
10.6	Regelalgorithmen für die digitale Regelung	70
10.6.1	PID-Algorithmus – 10.6.2 Der Entwurf diskreter Kompensationsalgorithmen – 10.6.3 Kompensationsalgorithmus für endliche Einstellzeit	
11	Zustandsraumdarstellung linearer Regelsysteme	73
11.1	Allgemeine Darstellung	73
11.2	Normalformen für Eingrößensysteme	74
11.3	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	75
11.4	Synthese linearer Regelsysteme im Zustandsraum	76
11.4.1	Das geschlossene Regelsystem – 11.4.2 Der Grundgedanke der Reglersynthese – 11.4.3 Die modale Regelung – 11.4.4 Das Verfahren der Polvorgabe – 11.4.5 Optimaler Zustandsregler nach dem quadratischen Gütekriterium – 11.4.6 Das Messproblem	
12	Systemidentifikation	80
12.1	Deterministische Verfahren zur Systemidentifikation	80
12.1.1	Wendetangenten- und Zeitprozentkennwerte-Verfahren – 12.1.2 Identifikation im Frequenzbereich – 12.1.3 Berechnung des Frequenzganges aus der Übergangsfunktion – 12.1.4 Berechnung der Übergangsfunktion aus dem Frequenzgang	
12.2	Statistische Verfahren zur Systemidentifikation	83
12.2.1	Korrelationsanalyse – 12.2.2 Spektrale Leistungsdichte – 12.2.3 Statistische Bestimmung dynamischer Eigenschaften linearer Systeme – 12.2.4 Systemidentifikation mittels Parameterschätzverfahren	
13	Weitere Reglerentwurfsverfahren	86
13.1	Übersicht	86
13.2	Einige weitere klassische Regelkreisstrukturen	86
13.2.1	Vermaschte Regelkreise – 13.2.2 Smith-Prädiktor – 13.2.3 IMC-Regler	
13.3	Robuste Regler	89
13.4	Modellbasierte prädiktive Regler	89
13.5	GMV-Regler	90
13.6	Adaptive Regler	91
13.7	Nichtlineare Regler	91
13.8	„Intelligente“ Regler	92

Steuerungstechnik

F. Ley

14	Binäre Steuerungstechnik	93
14.1	Grundstruktur binärer Steuerungen	93
14.1.1	Signalflussplan – 14.1.2 Klassifizierung binärer Steuerungen	
14.2	Grundlagen der kombinatorischen und der sequentiellen Schaltungen	95
14.2.1	Kombinatorische Schaltungen – 14.2.2 Synthese und Analyse sequentieller Schaltungen	
14.3	Darstellung von Zuständen durch Zustandsgraphen und Petri-Netze	97
14.4	Technische Realisierung von verbindungsprogrammierten Steuerungseinrichtungen	100
14.4.1	Relaisstechnik – 14.4.2 Diskrete Bausteinsysteme (DTL- und TTL-Logikfamilien)	
14.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen	100
14.5.1	Sprachen für Steuerungen nach der Norm IEC61131-3 – 14.5.2 SPS und Prozessrechner – 14.5.3 Prozesssignale von Speicherprogrammierbaren Steuerungen	
	Formelzeichen der Regelungs- und Steuerungstechnik	116
	Literatur	117

Das Ingenieurwissen: Regelungs- und
Steuerungstechnik

Unbehauen, H.; Ley, F.

2014, IX, 123 S. 70 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-44025-4