

Aus dem Programm

Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik

Grundlegende Bücher:

Meß- und Prüftechnik, von M. Naumann

Schaltalgebra für Fachschulen Technik, von H. Gschwendtner

Messen – Steuern – Regeln
für Maschinenbauer
von W. Kaspers und H.-J. Kufner

Ergänzende Bücher:

Pneumatische Steuerungen, von G. Kriechbaum

Der Regelkreis – eine Einführung, von H. Kindler

Weiterführende Bücher:

Regelungstechnik für Ingenieure, von M. Reuter

Einführung in die Regelungstechnik, von W. Leonhard

Handbücher:

Handbuch der technischen Temperaturmessung,
von F. Lieneweg

Vieweg

Walter Kaspers
Hans-Jürgen Küfner

Messen Steuern Regeln

für Maschinenbauer

Mit 812 Bildern

Vieweg

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Kaspers, Walter

Messen, Steuern, Regeln für Maschinenbauer / Walter Kaspers;

Hans-Jürgen Kufner. – 1. Aufl. – Braunschweig:

Vieweg, 1977.

NE: Kufner, Hans-Jürgen:

ISBN 978-3-528-04062-8

ISBN 978-3-322-85948-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-85948-8

1977

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1977

Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren, einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien.

Satz: Vieweg, Braunschweig

Umschlagentwurf: Hanswerner Klein, Leverkusen

Vorwort

Die Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik ist ein junges, dynamisches Lehrgebiet im Fächerkanon der Fachschulen und nimmt in der Gesamtbetrachtung aller Automatisierungs- und Optimierungsbestrebungen eine Schlüsselposition ein. Sie ist damit eine übergreifende Disziplin mit Anwendungsbereichen in den Fächern: Fertigungsmaschinen und Fertigungsverfahren, Elektrotechnik, Förder-technik, Strömungs- und Kolbenmaschinen und Arbeitsvorbereitung.

Dieses Buch soll den Lernenden mit den Prinzipien, Denkmodellen und Anwendungsbereichen der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik vertraut machen. Es ist gedacht für den Unterricht in der Sekundarstufe II, z.B. an Fachschulen, Fachoberschulen, Berufsschulen usw. Ebenso wird mit diesem Buch der Facharbeiter und Meister in technischen Berufen angesprochen.

Für den Aufbau des Werkes ist der im Titel wiedergegebene Dreiklang bestimmend:

Messen – Steuern – Regeln.

Da wesentliche Teile der *Meßtechnik* aus zwingenden Gründen in anderen Fachgebieten behandelt werden müssen, werden sie hier ausgegliedert. So ist z.B. die Längenmeß- und Prüftechnik dem Fach Fertigungstechnik, und die Messung elektrischer Größen dem Grundlagenfach Elektrotechnik zugeordnet. Das Kapitel *Meßtechnik* vermittelt die Grundlagen und behandelt an Beispielen die Erfassung nichtelektrischer Größen sowie die Registrierung der Meßwerte.

Im Kapitel *Steuerungstechnik* ist die Anwendung der Steuerungslogik das zentrale Anliegen und hier mit Schwerpunkt die digitale Steuerungstechnik. Anschließend werden gleichgewichtig elektromagnetische, elektronische und pneumatische Steuerungen sowie ihre zugehörigen Bauteile erklärt. Es wird versucht, an Fallbeispielen immer wieder den direkten Bezug zur betrieblichen Praxis herzustellen.

Das Kapitel *Regelungstechnik* ist aufgrund des Schwierigkeitsgrades und der Bedeutung dieser Disziplin umfassend angelegt.

Das Lehrbuch ist vorwiegend in zwispaltiger Anordnung geschrieben. Dabei ist in der linken Spalte der Lehrtext angeordnet; diesem sind in der rechten Spalte Zeichnungen, Beispiele und Hinweise eindeutig zugeordnet. Am Ende eines Abschnitts sind Fragen *Zur Selbstkontrolle* angeordnet.

Möge das Werk seine Aufgabe erfüllen und allen Benutzern eine Hilfe sein. Anregungen und Verbesserungsvorschläge nehmen wir gern entgegen.

*Walter Kaspers
Hans-Jürgen Küfner*

Wuppertal, November 1976

Inhaltsverzeichnis

1. Meßtechnik

1.1. Grundbegriffe der Meßtechnik	1
1.1.1. Der Meßvorgang	1
1.1.2. Einmalige Messung, Meßreihe oder Dauermessung	2
1.1.3. Meßgrößen	2
1.1.4. Die Anzeige	3
1.1.5. Anzeigebereich und Meßbereich	4
1.1.6. Meßfehler – Fehlerursachen und Fehlerbeurteilung	5
1.2. Temperaturmessung in der Verfahrenstechnik	7
1.2.1. Temperaturmessung mit dem Widerstandsthermometer	7
Aufbau 9 – Auswahl des Schutzrohrs 9 – Halbwertszeit 10 – Einbaugrundsätze 11	
1.2.2. Temperaturmessung mit Thermoelementen	12
Hohe Standzeit oder schnelles Ansprechen 15 – Grundsaltungen 16 – Anwendungsbeispiele 16 – Spezialaufgaben 17 – Auswahlkriterien 18 – Die Zeitkonstante 20	
1.2.3. Der Flüssigkeits-Ausdehnungsfühler	21
1.2.4. Thermo-Bi-Metalle und Invarstab als Temperaturfühler	22
1.3. Kraftmessung	23
1.3.1. Dehnungsmeßstreifen	23
Wirkungsweise 23 – Anwendung 23 – Formen 24 – Temperaturkompensation durch Brückenschaltung 24 – Vollbrückenschaltung mit 4 DMS und Verstärker 25 – Anwendungsbeispiele 25	
1.3.2. Messungen mit Kraftmeßdosen	28
1.4. Drehzahlmessung	29
1.4.1. Analoge Drehzahlmessung	29
Stroboskopische 29 – Tachogenerator 30 – Impulszählung 30	
1.4.2. Digitale Drehzahlmessung (Frequenzmessung)	31
Kurzzeitmessung 32 – Frequenz und Drehzahlmessung 33	
1.5. Meßwertgeber für weitere nichtelektrische Meßgrößen	34
1.5.1. Meßwertgeber für die Regelgröße Druck	35
1.5.2. Meßwertgeber für Durchfluß (Wirkdruckverfahren)	36
1.5.3. Meßwertgeber für Durchfluß nach dem induktiven Meßverfahren	37
1.5.4. Schwebekörper als Meßwertgeber für Durchfluß	38
1.5.5. Meßwertgeber für die Regelgröße Niveau und Dichte	38
1.5.6. Meßwertgeber für die Regelgröße Durchhang	40
1.5.7. Meßwertgeber zur Erfassung des pH-Wertes	40
1.6. Registrierung	41
1.6.1. Die analoge Registrierung	41
1.6.2. Beurteilung und Auswertung des Registrierstreifens	42
1.6.3. Bauteile der Analog-Registriergeräte	44
1.6.4. Punktschreiber, Linienschreiber und Lichtschreiber im Vergleich	45
1.6.5. Schreibeinrichtung und Meßgerät	46
1.6.6. Auflösungsvermögen und Meßwertgenauigkeit beim Analogschreiber	47
1.6.7. Die Digital-Registrierung	48

2. Steuerungstechnik

2.1. Grundbegriffe der Steuerungstechnik	51
2.1.1. Einführung in die Steuerungstechnik	51
2.1.2. Steuerungsarten	53
Führungssteuerung und Haltgliedsteuerung 54 – Programmsteuerungen 54 – Gegenüberstellung 56	
2.1.3. Graphische Darstellung von Steuerungsabläufen	57
Bewegungsdiagramme 57 – Funktionsdiagramme 59	
2.2. Grundelemente logischer Schaltungen	61
2.2.1. NICHT (Negation)	61
2.2.2. UND-NAND	62
2.2.3. ODER-NOR	65
2.2.4. Exklusiv-ODER	68
2.2.5. NOR und NAND – universelle Logikbausteine	70
2.2.6. Lehrbeispiele	73
2.3. Schaltalgebra	75
2.3.1. Grundregeln der Schaltalgebra	75
Inversionsgesetze 76 – Distributives Gesetz 77	
2.3.2. Karnaugh-Diagramme	82
für zwei Variable 83 – für drei Variable 84 – für vier Variable 86 – für fünf Variable 91	
2.3.3. Der Speicher als Element der Schaltalgebra	97
Statische Speicher 98 – Speicherelement aus NOR-Elementen 99	
2.3.4. Zählspeicher	101
Logikplan 102 – Aufbau eines Dualzählers 103 – Umsetzung 105 – Schrittschaltungen 105	
2.4. Technische Ausführung von digitalen Steuerelementen	109
2.4.1. Elektromechanische Bauteile	111
NICHT-Stufe 111 – ODER-NOR-Stufe 111 – UND-NAND-Stufe 112 – Exklusiv-ODER-Element 112	
Speicher (Flip-Flop) 113 – Zeitschalter 113 – Verzögerungsschaltung 114 – Impulswandler (Monoflop) 115 – Impulserzeuger 115	
2.4.2. Elektronische Bauteile	116
Transistor als Schalter 116 – NICHT-Stufe 118 – ODER-NOR-Stufe 118 – UND-NAND-Stufe 119 – Speicher (Flip-Flop) 119 – Zählspeicher (Untersetzer) 121 – Zeitrelais 121 – Taktgeber 123 – Integrierte Schaltungen (IC) 124	
2.4.3. Fluidik-Elemente	125
ODER-NOR-Stufe 126 – UND-NAND-Stufe 127 – Speicherelement (Flip-Flop) 127 – Impulswandler-Element 128 – Impulserzeugung mit Wandstrahlelementen 131 – Binarzähler, Schrittspeicher, Schieberegister 131	
2.4.4. Schaltlogik mit Hilfe des Pneumistors	133
ODER-Stufe 134 – UND-Stufe 135 – Speicherelement (Flip-Flop) 135	
2.4.5. Statische Fluidik-Elemente	136
UND-Element 136 – ODER-Element 137 – NICHT-Element 137 – Speicherelement (Flip-Flop) 138	
Verzögerungsschalter 139 – Zeitschalter mit einstellbarer Verzögerung 139 – Impulsformer 140	
Impulsgenerator 140	
2.4.6. Steuerschaltungen mit Fluidik-Elementen	141
2.4.7. Pneumatische Elemente	149
Darstellung nach DIN 24300 149 – NICHT-Stufe 151 – ODER-NOR-Stufe 151 – UND-NAND-Stufe 152 – Speicherschaltungen (Flip-Flop) 152 – Zählspeicher 154 – Verzögerungsschalter 155	
Impulswandler (Monoflop) 156 – Impulserzeuger 157 – Kaskadenschaltung 157 – Taktstufensteuerung 161 – Elektropneumatische Schaltungen 162 – Gegenüberstellung der Steuerungssysteme 164	

Inhaltsverzeichnis

2.4.8. Steuerschaltungen mit pneumatischen- und Fluidik-Elementen	165
2.4.9. Periphere Geräte digitaler Steuerungen	170
Signaleingabe 171 – Signalumformung 181 – Pneumatische Signalanzeigergeräte 186 – Pneumatische Stell- und Arbeitsglieder 186	
2.4.10. Komplexe Schaltungen, Fallbeispiele mit Lösungen	187

3. Regelungstechnik

3.1. Grundbegriffe	205
3.1.1. Regelung	205
3.1.2. Regelung und Steuerung	206
3.1.3. Regelgröße	207
3.1.4. Erfassen, Umformen und Verstärken der Meßwerte	208
3.1.5. Regelstrecke	209
3.1.6. Stellen und Stelleinrichtungen	209
Istwert und Sollwert 210 – Führungsgröße 211 – Störgrößen 212 – Regelabweichung und Regeldifferenz 213 – Bleibende und vorübergehende Abweichung 215 – Umkehrung des Wirkungssinnes 216	
3.1.7. Blocksinnbild	217
Blockstrukturen 218 – Blocksaltbild des Reglers 219 – Blocksaltbild eines einfachen Regelkreises 219 – Bildzeichen 221	
3.1.8. Zeitverhalten der Regelkreisglieder	224
Sprungantwort – Anstiegsantwort – Impulsantwort 225 – Übergangverhalten und Übergangsfunktion 226	
3.2. Einteilung und Beurteilung der Regelstrecken	227
3.2.1. Regelstrecken ohne Ausgleich	228
Ideale und reale Regelstrecken mit Integralverhalten 229 – Übergangverhalten 230	
3.2.2. Verzögerungsarme Regelstrecken mit Ausgleich	231
Übertragungsbeiwert 232 – Mit Ausgleich 1. Ordnung 233 – Drosselglied und Speicherglied 234 – Speicher mit und ohne Ausgleich 235 – Zeitkonstante und Aufladeverhalten 236 – Entladeverlauf eines Speichergliedes 237 – Die Irrationalzahl 238 – Zeitkonstante und Übertragungsbeiwert 239	
3.2.3. Regelstrecken mit Totzeit	240
3.2.4. Regelstrecke mit Ausgleich 2. Ordnung	243
Beispielhafte Strecken 244 – Sprungantwort 245	
3.2.5. Regelstrecken mit Ausgleich höherer Ordnung	246
Ordnungszahl und Regelbarkeit 247 – Diagnose 248	
3.3. Unstetige Regler	251
3.3.1. Abgrenzung zwischen Regelstrecke und Regeleinrichtung	252
3.3.2. Zweipunktregler	253
Hysterese 254 – Zweipunktregler mit Totzeit 255 – Thermobegrenzer und Thermostate 256 – Schleichende Kontaktgabe und Sprungschaltverhalten 259 – Stabausdehnungsregler 260 – Kapillarrohr- Temperaturregler 261 – Zweipunktregler für Niveaustand 264	
3.3.3. Grundlast und Spitzenlast	265
3.3.4. Meßwerkregler	269
Mechanischer Abgriff 270 – Induktive Abtastung 271 – Fotoelektronische Abtastung 272	
3.3.5. Dreipunktregler	273
Geschwindigkeits-Regelung 274 – Zweigruppen-Regler 275 – Dreieck-Stern-Aus-Regler 276	
3.3.6. Rückführung – Rückkopplung – Mitkopplung – Gegenkopplung	278
Die thermische Rückführung 279 – Schaltvoreilung 280	

3.3.7. Unstetige Regler im Regelkreis an Strecken ohne Verzugszeit	281
Zweipunktregler und Regelstrecke ohne Ausgleich 281 – Zweipunktregler an Regelstrecke	
1. Ordnung 282 – Schaltdifferenz und Schaltfrequenz 283 – Zeitkonstante und Schaltfrequenz 284	
3.3.8. Unstetige Regler an Strecken zweiter und höherer Ordnung	285
Leistungsüberschuß 286 – Zweipunktregler mit Leistungsüberschuß von 100 % 287 –	
Schwankungsbreite 288 – Änderung des Sollwertes 289 – Bleibende Regelabweichung beim	
Zweipunktregler 290 – Rückführung und Schwankungsbreite 291	
3.4. Stetige Regler	297
3.4.1. Regler mit P-Verhalten	298
Proportional-Bereich 299 – Sprungantwort und Übertragungsbeiwert 300 – Kennlinie und	
Gleichung 301 – Bleibende Regelabweichung 302 – Präzision kontra Stabilität 303 – Stellbereich 304 –	
Proportionalbereich 305	
3.4.2. Regler mit I-Verhalten	307
Stellgeschwindigkeit 308 – Sprungantwort 309 – Kennlinie 309 – Übertragungsbeiwert 310 –	
Stellgeschwindigkeit und Schwingungsdämpfung 311 – Schwingungsverhalten 312 – Gleichung 313 –	
P-Regler und I-Regler im Vergleich 314	
3.4.3. Regler mit PI-Verhalten	315
Die Nachstellzeit 316 – Nachstellzeit und Übertragungsbeiwert 317 – Regelparameter X_p 318 –	
Gleichung des PI-Reglers 319 – Einsatz der Reglertypen 320	
3.4.4. Die Rückführung formt den Verlauf der Stellgröße	323
3.4.5. Vorhaltglieder kompensieren Verzögerungen	325
D-Anteil als Reglerbestandteil 326 – PID-Regler 327 – Verzögerte Rückführung 328 – Reihen-	
schaltung der verzögerten und der nachgebenden Rückführung 329	
3.4.6. Die Kreisverstärkung des Regelkreises ohne I-Verhalten	332
3.4.7. Der Regelfaktor, ein Gradmesser für die bleibende Abweichung	333
3.4.8. Die Regelaufgabe bestimmt die Regelgüte	336
3.5. Regelkreise in allen Lebensbereichen	337

Anhang

Formelzeichen der Regelungstechnik	339
Literaturverzeichnis	340
Sachwortverzeichnis	341