

# Steuerungs- und Regelungstechnik für Ingenieure

Von  
Fritz Tröster

Oldenbourg Verlag München Wien

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Vorworte...</b>	<b>VII</b>
<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
	Lernziele.....	1
	Lernaufgabe.....	1
1.1	Die Automation.....	2
1.2	Das Rückkopplungsprinzip.....	14
1.3	Geschichtliche Entwicklung.....	19
1.4	Inhalt und methodisches Vorgehen.....	22
	Bearbeitung der Lernaufgabe.....	23
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	26
<b>2</b>	<b>Signale und Systeme</b>	<b>27</b>
2.1	Grundbegriffe der Signal- und Systemtheorie.....	27
	Lernziele.....	27
	Lernaufgabe.....	28
2.1.1	Grundbegriffe.....	28
2.1.2	Elemente und Kopplungsarten im Wirkschaltplan.....	40
2.1.3	Modellbildung von Systemen.....	44
2.1.4	Beispiele von Wirkschaltplänen.....	50
	2.1.4.1 Raumheizung.....	50
	2.1.4.2 Mechanisches Dämpfer-Massesystem.....	51
	2.1.4.3 Fahrzeug-Systeme.....	52
	Bearbeitung der Lernaufgabe.....	56
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	57
2.2	Beschreibung von Signalen.....	59
	Lernziele.....	59
	Lernaufgabe.....	59

2.2.1	Beschreibung im Zeitbereich.....	64
2.2.1.1	Elementarsignale.....	65
2.2.1.2	Zusammengesetzte Signale.....	67
2.2.1.3	Periodische Signale.....	69
2.2.2	Beschreibung im Frequenzbereich.....	71
2.2.2.1	Periodische Signale.....	71
2.2.2.2	Aperiodische Signale.....	73
2.2.2.3	Fourier-Transformierte wichtiger Signale.....	77
2.2.3	Beschreibung im Bildbereich.....	84
2.2.3.1	Laplace-Transformierte wichtiger Signale.....	92
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	96
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	99
2.3	Beschreibungsmethoden für Systeme.....	101
	Lemziele.....	101
	Lemaufgabe.....	101
2.3.1	Systemeigenschaften und Modellanforderungen.....	105
2.3.1.1	Linearität.....	107
2.3.1.2	Kausalität.....	108
2.3.1.3	Zeitinvarianz.....	110
2.3.1.4	Stabilität.....	110
2.3.1.5	Modellanforderungen.....	112
2.3.2	Beschreibungsformen im Zeitbereich.....	112
2.3.2.1	Beschreibung durch Systemgleichungen.....	112
2.3.2.2	Linearisierung nichtlinearer Systeme.....	114
2.3.2.3	Elementare Systeme.....	117
2.3.2.4	Verzögertes Zeitverhalten.....	121
2.3.2.5	Zusammengesetztes Zeitverhalten.....	122
2.3.2.6	Beschreibung durch Antwortsignale.....	125
2.3.3	Beschreibung im Frequenzbereich.....	132
2.3.3.1	Frequenzgang.....	132
2.3.3.2	Nyquist- und Bode-Diagramm.....	134
2.3.4	Beschreibung im Bildbereich.....	142
2.3.4.1	Übertragungsfunktion.....	143
2.3.4.2	Pol-Nullstellenplan und "Pol-Nullstellenkurve".....	150

23.43	Beschreibung zusammengesetzter Systeme.....	161
2.3.4.4	Systembeispiel.....	165
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	168
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	170
<b>3</b>	<b>Regelungstechnik</b>	<b>173</b>
3.1	Grundbegriffe und Aufgaben von Regelungen.....	173
	Lemziele.....	173
	Lemaufgabe.....	174
3.1.1	Der standardisierte einschleifige Regelkreis.....	183
3.1.2	Anforderungen an Regelungen.....	188
3.1.3	Beispiele von Regelkreisen.....	190
3.1.3.1	Die Füllstandsregelung eines Wasserbehälters.....	190
3.1.3.2	Druckregelung eines Strömungskanals mit gasförmigem Medium. . . .	193
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	197
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	199
3.2	Regelstrecken und Regeleinrichtungen.....	201
	Lemziele.....	201
	Lemaufgabe.....	201
3.2.1	Regelstrecken.....	203
3.2.1.1	Regelstrecken mit Ausgleich.....	207
3.2.1.2	Regelstrecken ohne Ausgleich.....	211
3.2.2	Regeleinrichtungen.....	212
3.2.2.1	Die Vergleichseinrichtung.....	212
3.2.2.2	Der Regler.....	213
3.2.2.3	Unstetige Regler.....	217
3.2.2.4	Stetige Regler.....	228
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	248
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	252
3.3	Der Standard-Regelkreis.....	255
	Lemziele.....	255
	Lemaufgabe.....	255
3.3.1	Grundgleichungen.....	257
3.3.2	Regelgüte.....	264
3.3.2.1	Stationäre Regelgüte.....	266

3.3.2.2	Dynamische Regelgüte.....	271
3.3.2.3	I/I-Regelkreise.....	277
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	278
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	281
3.4	Stabilität von Regelkreisen.....	283
	Lemziele.....	283
	Lemaufgabe.....	283
3.4.2	Mathematische Stabilitätskriterien.....	290
3.4.3	Graphische und experimentelle Stabilitätsverfahren.....	294
3.4.3.1	WOK-Verfahren.....	295
3.4.3.2	Nyquist-Verfahren.....	299
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	309
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	313
3.5	Entwurf von Regelkreisen.....	315
	Lemziele.....	315
	Lemaufgabe.....	315
3.5.1	Empirische Einstellregeln für Regelstrecken mit Ausgleich.....	318
3.5.1.1	Verfahren nach Ziegler-Nichols.....	318
3.5.1.2	Verfahren nach Chien-Hrones-Reswick.....	319
3.5.2	Parameteroptimierung.....	321
3.5.2.1	Integralkriterium der linearen Regelfläche.....	322
3.5.2.2	Integralkriterium der Betragsregelfläche (IAE-Kriterium).....	322
3.5.2.3	Integralkriterium der quadratischen Regelfläche.....	323
3.5.3	Dynamische Kompensation.....	323
3.5.4	Synthese im Bildbereich.....	324
3.5.5	Synthese im Frequenzbereich.....	327
3.5.6	Erweiterungen der einschleifigen Regelkreisstruktur.....	330
3.5.6.1	Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung.....	331
3.5.6.2	Regelkreis mit Hilfsgrößenaufschaltung.....	333
3.5.6.3	Kaskadenregelung.....	334
3.5.6.4	Regelkreis mit Vorsteuerung.....	335
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	337
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	340

<b>4</b>	<b>Steuerungstechnik</b>	<b>341</b>
4.1	Grundbegriffe der Steuerungstechnik.....	341
	Lernziele.....	341
	Lernaufgabe.....	342
	Bearbeitung der Lernaufgabe.....	352
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	353
<b>4.2</b>	<b>Steuerungsarten</b> .....	<b>355</b>
	Lernziele.....	355
	Lernaufgabe.....	355
	Bearbeitung der Lernaufgabe.....	366
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	367
4.3	Methoden und Verfahren.....	369
	Lernziele.....	369
	Lernaufgabe.....	369
4.3.1	Grundfunktionen für kombinatorische Steuerungen (Schaltalgebra).....	371
	4.3.1.1 Die Identität.....	372
	4.3.1.2 Die Negation.....	372
	4.3.1.3 Die Konjunktion - AND.....	373
	4.3.1.4 Die Disjunktion - OR.....	375
	4.3.1.5 Erweiterte logische Grundfunktionen.....	375
	4.3.1.6 Gesetzmäßigkeiten der Schaltalgebra.....	379
4.3.2	Grundfunktionen für sequentielle Steuerungen.....	380
	4.3.2.1 RS-Flipflop.....	382
	4.3.2.2 JK-Flipflop.....	383
	4.3.2.3 D-Flipflop.....	384
4.3.3	Zeitfunktionen.....	385
4.3.4	Entwurfsmethoden für Schaltnetze.....	388
4.3.5	Entwurfsmethoden für Schaltwerke.....	398
4.3.6	Beschreibungsformen für Steuerungen.....	401
	4.3.6.1 Schaltbelegungstabelle.....	401
	4.3.6.2 Schaltfolgetabelle und Schaltfolgediagramm.....	402
	4.3.6.3 Kontaktplan.....	405
	4.3.6.4 Logik- oder zustandsorientierter Funktionsplan.....	411
	4.3.6.5 Funktionsplan oder Ablaufplan.....	412

4.3.6.6	Zustands- oder Automatengraph.....	416
4.3.6.7	Programmablaufplan.....	418
	Bearbeitung der Lemaufgabe.....	421
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	423
4.4	Speicherprogrammierbare Steuerungen - SPS.....	425
	Lernziele.....	425
	Lemaufgabe.....	426
4.4.1	Rechnergestützte Automatisierungsgeräte.....	427
4.4.2	Hardware-Aufbau einer SPS.....	433
4.4.3	Software-Aufbau einer SPS.....	437
	4.4.3.1 Permanent zyklischer Betrieb.....	438
	4.4.3.2 Zusätzliche Betriebsarten.....	443
4.4.4	SPS-Programmiersprachen.....	444
	4.4.4.1 Kontaktplan (KOP).....	445
	4.4.4.2 Anweisungsliste (AWL).....	447
	4.4.4.3 Funktionsplan (FUP).....	449
4.4.5	SPS-StandardEN61131(IEC1131).....	452
	4.4.5.1 Hardwaremodell einer SPS.....	455
	4.4.5.2 Softwaremodell einer SPS.....	456
	4.4.5.3 Spracherweiterungen.....	461
	4.4.5.4 Kommunikation zwischen Speicherprogrammierbaren Steuerungen... ..	469
	Bearbeitung der Lernaufgabe.....	470
	Fragen zur Selbstkontrolle.....	475
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>477</b>
5.A	Der Dirac-Impuls $\delta(t)$ .....	477
5.B	Fourier- und Laplace-Transformation.....	478
5.C	Korrespondenztabelle von Laplace-Transformationen.....	482
5.D	Partialbruchzerlegung.....	483
<b>6</b>	<b>Literaturangaben</b>	<b>485</b>
<b>7</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>487</b>