



BIBLIOTHEK DES TECHNIKERS **BDT**

Automatisierungstechnik

in der Fertigung

Grundlagen, Komponenten und Systeme

2. neu bearbeitete Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren (s. Rückseite)

Lektorat: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schmid, Aalen

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co.
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 51518

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Fertigungs- automatisierung	9			
1.1	Einführung	9			
1.2	Grundlagen der Steuerungstechnik	12			
1.2.1	Steuerungsarten	12			
1.2.2	Programmsteuerungen	15			
1.2.3	Elektrische Bauelemente	16			
1.2.4	Schaltungsunterlagen für Kontaktsteuerungen	23			
1.2.5	Grundsaltungen elektrischer Kontaktsteuerungen	24			
1.2.6	Verknüpfungen mit integrierten Schaltkreisen	25			
1.2.7	Schaltalgebra	26			
1.2.8	Kombinatorische Steuerungen	27			
1.2.9	Sequentielle Steuerungen	31			
1.2.9.1	RS-Flipflop	31			
1.2.9.2	Taktgesteuerte Flipflop	33			
1.2.9.3	Zustandsfolgediagramm (Graph)	34			
1.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	35			
1.3.1	Aufbau und Funktionsweise	35			
1.3.2	Programmierung	37			
1.3.3	Grundverknüpfungen	39			
1.3.4	Speicher (Merker)	42			
1.3.5	Flankenauswertung	44			
1.3.6	Ablaufsteuerung	45			
1.3.7	Zähloperationen	47			
1.3.8	Programmieren von Zeiten	48			
1.3.9	Digitale Grundoperationen	49			
1.3.10	Datenbausteine	50			
1.3.11	Analogwertverarbeitung	51			
1.3.12	Schnelle Zählvorgänge	52			
1.3.13	Bedienen und Beobachten	52			
1.3.14	IEC 1131 für SPS	53			
1.3.15	Zuverlässigkeit und Sicherheit der SPS	54			
1.4	Grundlagen der Analogsignalverarbeitung	55			
1.4.1	Operationsverstärker (OP)	55			
1.4.2	Grundsaltungen	56			
1.4.3	Analog-Digital-Umsetzer und Digital-Analog-Umsetzer	59			
1.5	Grundlagen der Regelungstechnik	61			
1.5.1	Begriffe	61			
1.5.2	Regelungsarten	62			
1.5.3	Regelkreisglieder	63			
1.5.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	63			
1.5.3.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (PT ₁ -Glied)	64			
1.5.3.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PT ₂ -Glied) und Schwingungsglied	65			
1.5.3.4	Integralglied (I-Glied)	66			
1.5.3.5	Differenzierglied (D-Glied)	67			
1.5.3.6	Totzeitglied (T _t -Glied)	67			
1.5.4	Regler	68			
1.5.4.1	Schaltende Regler	68			
1.5.4.2	Analoge Regler	69			
1.5.4.3	Signalabtastung und digitale Regler ...	70			
1.5.5	Regelkreise (Beispiele)	73			
1.5.5.1	Regelung von P-Strecken	73			
1.5.5.2	Regelung von I-Strecken	74			
1.5.5.3	Einstellen eines Reglers	76			
2	Aktoren und ihre Ansteuerung	77			
2.1	Pneumatische Aktoren	77			
2.1.1	Einführung	77			
2.1.2	Komponenten der Pneumatik	78			
2.1.2.1	Wartungsgeräte	78			
2.1.2.2	Aktoren	79			
2.1.2.3	Ventile	81			
2.1.2.4	Signalgeber und Signalwandler	84			
2.1.3	Pneumatische Steuerungen	85			
2.1.3.1	Schaltplanaufbau	85			
2.1.3.2	Pneumatische Verknüpfungssteuerungen	87			
2.1.3.3	Pneumatische Ablaufsteuerungen	89			
2.1.3.4	Beispiele für Ablaufsteuerungen	91			
2.1.3.5	Randbedingungen für Ablaufsteuerungen	94			
2.1.3.6	Elektropneumatische Taktstufensteuerung	96			
2.1.3.7	Rundtisch mit pneumatischem Prägezyylinder	97			
2.2	Hydraulische Aktoren	99			
2.2.1	Einführung	99			
2.2.2	Physikalische Grundlagen	99			
2.2.3	Hydraulikflüssigkeiten	102			
2.2.3.1	Mineralöle	102			
2.2.3.2	Schwerentflammbare Hydraulik- flüssigkeiten	102			
2.2.3.3	Umweltverträgliche Hydraulikflüssigkeiten	103			
2.2.4	Aufbau hydraulischer Steuerungen	103			
2.2.5	Hydraulikpumpen	104			
2.2.5.1	Zahnradpumpen	104			
2.2.5.2	Flügelzellenpumpen	105			
2.2.5.3	Kolbenpumpen	106			
2.2.6	Hydraulikspeicher	108			
2.2.7	Antriebselemente	110			
2.2.7.1	Hydraulikzylinder	110			
2.2.7.2	Schwenkmotore	111			
2.2.7.3	Hydraulikmotore	111			
2.2.8	Hydraulikventile	114			

2.2.8.1	Druckventile	114	3.2.4	Kapazitiver Abstandssensor mit Oszillator	170
2.2.8.2	Wegeventile	117	3.2.5	Optische Sensoren	170
2.2.8.3	Sperrventile	118	3.2.6	Sensorsignalerzeugung durch Laufzeitmessung	172
2.2.8.4	Stromventile	119	3.2.7	Näherungsempfindliche Schalter (binäre Sensoren)	174
2.2.9	Stetigventile	121	3.2.8	Digitale Weg- und Winkelmessung	175
2.2.10	Proportionaltechnik	122	3.2.8.1	Übersicht	175
2.2.10.1	Proportionalmagnet	122	3.2.8.2	Inkrementale Weg- und Winkelmessung	175
2.2.10.2	Proportional-Wegeventile	123	3.2.8.3	Absolute Weg- und Winkelmessung	178
2.2.10.3	Durchflußkennlinie (<i>I-Q</i> -Kennlinie)	124	3.2.8.4	Zyklisch analoge Weg- und Winkelmessung	179
2.2.10.4	Elektronische Steuerkarte	125			
2.2.10.5	Digitale Ansteuer Elektronik	128	3.3	Geschwindigkeitssensoren	180
2.2.10.6	Hydraulische Vorschubeinheit	130	3.3.1	Tachogeneratoren	180
2.2.11	Servoventile	131	3.3.2	Induktive Sensoren für Lineargeschwindigkeiten	180
2.3	Elektrische Aktoren	133	3.3.3	Wiegand-Sensoren	180
2.3.1	Elektromagnete	133	3.3.4	Radar-Geschwindigkeitssensor	180
2.3.2	Gleichstromantriebe (DC-Antriebe)	134	3.4	Sensoren für Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke	181
2.3.2.1	Das elektrodynamische Prinzip	134	3.4.1	Dehnungsmessung	181
2.3.2.2	Stationäres Betriebsverhalten	135	3.4.2	Kraftsensoren	183
2.3.2.3	Dynamisches Betriebsverhalten	136	3.4.3	Drehmomentsensoren	184
2.3.2.4	Steller	137	3.4.4	Sensoren für Drücke	184
2.3.2.5	Bauformen	140	3.5	Beschleunigungssensoren	185
2.3.3	Netzbetriebene Drehstrommotore (AC-Motore)	141	3.5.1	Beschleunigungsmessung mit Piezo-Sensoren	185
2.3.3.1	Das Drehfeld	141	3.5.2	Beschleunigungsmessung durch Wirbelstromerzeugung	185
2.3.3.2	Funktionsweise des Drehstrom- asynchronmotors	142	3.6	Temperatursensoren	186
2.3.3.3	Anlaßsteuerungen	143	3.6.1	Thermoelemente	186
2.3.3.4	Drehrichtungsumkehr	145	3.6.2	Strahlungs-pyrometer	186
2.3.4	Drehstromantriebe mit elektronischer Drehzahlregelung (AC-Antriebe)	146	3.6.3	Widerstandsthermometer	187
2.3.4.1	Drehstromsynchronantrieb	146	3.6.4	Heißleiter (NTC-Sensoren)	188
2.3.4.2	Drehstromasynchronantrieb mit feldorientierter Kommutierung	150	3.6.5	Kaltleiter (PTC-Sensoren)	188
2.3.4.3	Mehrmotorenantrieb für Werkzeugmaschinen	153	3.6.6	Halbleitertemperatursensoren	188
2.3.5	Elektrische Linearantriebe	154	3.7	Sensoren und Meßwertgeber für elektrische Größen	189
2.3.6	Schrittmotorantriebe	155	3.8	Störungen in Sensorleitungen	190
2.3.7	Elektrische Antriebe mit hydraulischen Kraftverstärkern	156	4	CNC-Achsantriebssysteme	191
2.3.8	Piezoaktoren	157	4.1	Struktur	191
2.3.9	Magnetostriktive Aktoren	157	4.2	Art der Wegmessung	191
2.3.10	Memory-Metall-Aktoren	158	4.2.1	Indirekte Wegmessung	191
3	Sensoren	159	4.2.2	Direkte Wegmessung	193
3.1	Allgemeines zur Sensortechnik	159	4.3	Antriebsarten	193
3.2	Sensoren für Wege, Winkel und Abstände	161	4.4	Mechanische Übertragungsglieder	194
3.2.1	Sensorsignalerzeugung durch Widerstandsänderung	161			
3.2.2	Sensorsignalerzeugung durch Änderung der magnetischen Kopplung	166			
3.2.2.1	Differentialtransformator (LVDT)	166			
3.2.2.2	Drehmelder und Inductosyn	167			
3.2.3	Sensorsignalerzeugung durch Erfassen magnetischer und elektrischer Felder	169			

4.5	Lageregelung	196	5.3.4.2	I-Regelung mit PT_1 -Strecke	249
4.5.1	Kaskadenregelung	196	5.3.4.3	Füllstandsregelung mit I-Regler	249
4.5.1.1	Geschwindigkeitsvorsteuerung	197	5.3.4.4	Drehzahlregelung mit PI-Regler	251
4.5.1.2	Modellnachführung	198	5.3.4.5	Optimierung der Reglerparameter	
4.5.2	Zustandsregelung	198		(Beispiel)	252
4.5.3	Trennstelle zwischen digitalem und analogem Signalbereich	199	5.3.4.6	P-Regler mit PT_1 -I-Strecke (Lageregelung)	253
4.6	SERCOS-Interface	200	5.3.4.7	Lageregelkreis mit Totzeit	254
5	Computeranwendungen	201	5.3.4.8	Lageregelung mit 2 Achsen	254
5.1	Programmierung	201	5.3.5	Fuzzy-Logic	256
5.1.1	Programmiersprachen	201	5.3.5.1	Grundlagen der Fuzzy-Technologie	256
5.1.2	Software Engineering	202	5.3.5.2	Fuzzy-Regelung einer Bandsäge- maschine	257
5.1.3	Qualität der Software	203	6	CAD	259
5.1.4	Sicherung gegen unberechtigte Nutzung	203	6.1	Anforderungen an CAD	259
5.1.5	Algorithmen	204	6.1.1	Allgemeines	259
5.1.6	Strukturierte Programmierung	205	6.1.2	Begriffsdefinition von CAD	259
5.1.7	Rechnerinterne Darstellung von Daten	206	6.1.3	Die Aufgaben der Konstruktion	260
5.1.8	Programmaufbau und wichtige Funktionen zur Programmerstellung ...	208	6.1.4	CAD als Informationssystem	260
5.1.9	Strukturierte Anweisungen	209	6.1.5	Das Archiv	261
5.1.10	Programmstrukturierung mit Funktionen	211	6.1.6	Datenintegration	261
5.1.11	Fallbeispiel: Steuerkurve	212	6.1.7	Kosten und Nutzen	262
5.1.11.1	Technologische Beschreibung	212	6.2	Arbeiten mit CAD	263
5.1.11.2	Gesamtstruktur der Software	212	6.2.1	CAD-Ausrüstung	263
5.1.11.3	Codierung in PASCAL und C	213	6.2.2	Konstruieren am Bildschirm	263
5.1.11.4	Erzeugen eines CNC-Programmes	218	6.3	2D-Modus	266
5.1.11.5	Serielle Datenübertragung	221	6.3.1	2D-Konstruktion	266
5.1.12	Arbeiten mit Windows	223	6.3.2	Geometrieelemente	266
5.1.13	Objektorientierte Programmierung	226	6.3.3	Erzeugungslogik	267
5.1.14	Grafische Programmierung	228	6.3.4	Änderungsfunktionen	268
5.2	Steuern mit Computer	230	6.3.5	Bemaßung	270
5.2.1	Aufbau der Systeme	230	6.3.6	Schraffur	271
5.2.2	Die Schnittstellenkarte	230	6.3.7	Darstellung auf dem Bildschirm	271
5.2.3	Verknüpfungssteuerung ohne Speicher	233	6.3.8	Zeichnungs-Archivierung	272
5.2.4	Verknüpfungssteuerung mit Speicher ..	234	6.4	3D-Modus	273
5.2.5	Ablaufsteuerung	234	6.4.1	Allgemeines	273
5.2.6	Analoge Signale verarbeiten	237	6.4.2	Koordinatensysteme	273
5.3	Regelungstechnik mit dem Computer	240	6.4.3	Modelldarstellung	274
5.3.1	Hardware und Software	240	6.4.4	Arbeitsweise	275
5.3.2	Aufbau der Programme	240	6.4.5	3D-Geometrieelemente	276
5.3.3	Regelkreisglieder	243	6.4.6	Änderungsfunktionen	278
5.3.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	243	6.4.7	Darstellungshilfen	279
5.3.3.2	Integralglied (I-Glied)	244	6.5	Konstruktionshilfen	280
5.3.3.3	Totzeitglied (T_T -Glied)	245	6.5.1	Gruppenbildung, Ebenentechnik	280
5.3.3.4	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (PT_1 -Glied)	246	6.5.2	Variantentechnik	280
5.3.3.5	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PT_2 -Glied) und Schwingungsglied	247	6.5.3	Makrotechnik	281
5.3.4	Regelkreise	248	6.5.4	Bibliotheken (Norm- und Zukaufteile) ..	281
5.3.4.1	P-Regelung mit PT_1 -Strecke	248	6.5.5	Berechnen	281
			6.6	Schnittstellen für den CAD-Datenaustausch	282
			6.6.1	Allgemeines	282

6.6.2	Schnittstellenarten und Datenaustauschformate	282	8.4.3	Interpolation	329
6.6.3	IGES, VDAIS	283	8.4.4	Überschleifen	330
6.6.4	VDAFS	284	8.4.5	Die Bahngeschwindigkeit	331
6.6.5	DXF	285	8.4.6	Betriebsarten	333
6.6.6	STEP	285	8.5	Die Programmierung von Robotern	334
7	Computergesteuerte Maschinen	287	8.5.1	Die Play-back-Programmierung	334
7.1	Produktionsprozeß mit CNC-Maschinen	287	8.5.2	Die Teach-in Programmierung	335
7.2	NC-Achsen und deren Steuerung	290	8.5.3	Die Off-Line-Programmierung	337
7.2.1	Achsen von CNC-Maschinen	290	8.6	Sensorführung von Robotern	338
7.2.2	Steuerungsarten	290	8.6.1	Allgemeines	338
7.2.3	Maschinennullpunkt und Referenzpunkt	291	8.6.2	Beispiele zur Sensoranwendung	339
7.3	CNC-Programmierung	292	8.7	Schutzmaßnahmen	343
7.3.1	DIN-Programmierung	292	9	Qualitätsmanagement	345
7.3.1.1	Programmaufbau	292	9.1	Qualität	345
7.3.1.2	Programmstrukturen	300	9.1.1	Qualitätsmerkmale	345
7.3.1.3	Maschinenparameter	301	9.1.2	Fehler	346
7.3.2	Werkstatorientiertes Produzieren	302	9.2	Ziele des Qualitätsmanagements	347
7.4	Interpolation	304	9.3	TQM – Total Quality Management	347
7.4.1	Interpolation bei analytisch bestimmter Geometrie	304	9.4	Qualitätskreis und Qualitätspyramide	348
7.4.2	Interpolation bei freier Geometrie	304	9.5	Aufbau und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems	349
7.4.3	Interpolationsart und CAD	306	9.5.1	Aufbauorganisation	349
7.5	Leistungsfähigkeit	306	9.5.2	Ablauforganisation	350
7.6	Offene CNC-Steuerung	308	9.5.3	Qualitätsmanagementhandbuch	350
7.7	Maschinelle NC-Programmierung	309	9.5.4	Die Normenreihe DIN ISO 9000–9004	351
7.7.1	Allgemeines	309	9.5.5	Qualitätsaudits	352
7.7.2	NC-Programmierverfahren	310	9.5.6	Zertifizierung	352
7.7.3	NC-Teileprogramm	312	9.6	Werkzeuge des Qualitätsmanagements	353
7.7.4	NC-Prozessor-Funktionen	313	9.6.1	QFD – Quality Function Deployment	353
7.7.5	CLDATA	316	9.6.2	FMEA – Failure Mode and Effects Analysis	355
7.7.6	Postprozessor	316	9.6.3	Statistische Qualitätsüberwachung	358
8	Robotertechnik	317	9.6.3.1	Aufbereitung und Darstellung von Prüfdaten	358
8.1	Einteilung der Handhabungssysteme	317	9.6.3.2	Normalverteilung	359
8.2	Kinematischer Aufbau	319	9.6.3.3	Wahrscheinlichkeitsnetz	360
8.3	Koordinatensysteme	321	9.6.3.4	Auswertung einer Stichprobe	360
8.3.1	Anwenderkoordinatensysteme	321	9.6.3.5	Qualitätsregelkarten	364
8.3.2	Roboterachswinkel und Maschinenkoordinaten	323	9.6.3.6	Maschinen- und Prozeßfähigkeit	368
8.3.3	Definitionen für die Orientierungswinkel	323	10	Messen und Prüfen mit Koordinatenmeßgeräten	369
8.3.4	Koordinaten des TCP	324	10.1	Aufbau und Wirkungsweise von Koordinatenmeßgeräten	370
8.4	Die Bewegungssteuerung	325	10.2	Bauarten	371
8.4.1	Der Informationsfluß	325	10.3	Meßsysteme	371
8.4.2	Koordinatentransformation	328	10.4	Tastsysteme	372

10.4.1	Elektromechanische Tastsysteme	372	12.7	Termin- und Kapazitätsplanung	412
10.4.2	Optoelektronische Tastsysteme	373	12.7.1	Durchlaufterminierung	412
10.5	Zusatzausstattungen	374	12.7.2	Kapazitätsterminierung	414
10.6	Steuerungen und Antriebe	375	12.8	Auftragsveranlassung und Auftrags- überwachung	415
10.7	Meßwertverarbeitung und Meßwertauswertung	375	13	Betriebsdatenerfassung (BDE)	416
10.8	Tastelementkalibrierung	378	13.1	Allgemeines zu BDE	416
10.9	Planung und Durchführung eines Meßauftrags	379	13.2	Strichcodes (Barcodes)	417
11	Bildverarbeitung	385	13.3	Strichcodeleser	419
11.1	Allgemeines	385	13.4	Identifikationssysteme mit Datenspeicher	420
11.2	Die Look-Up-Tabelle (LUT)	386	14	Kommunikationstechnik	421
11.3	Lokale Filter	387	14.1	Allgemeines zur Kommunikations- technik	421
11.4	Etikettieren	390	14.2	Weltweite Kommunikation mit Internet	423
11.5	Binärbildverarbeitung	390	14.3	Lokale Netze (LAN)	425
11.6	Bildverarbeitung mit PC	391	14.3.1	Topologien	425
12	Produktionsplanung und Produktionssteuerung (PPS)	393	14.3.2	Zugriffsverfahren	426
12.1	Zielkonflikt der PPS	393	14.3.3	Ethernet-LAN	428
12.2	Informationsfluß und Hauptfunktionen	394	14.3.4	Token-Ring-LAN	429
12.3	Anforderungen an ein PPS-System	396	14.3.5	FDDI	430
12.4	Datenverwaltung	398	14.4	Das MAP-Übertragungsprotokoll	431
12.4.1	Datenarten	398	14.4.1	Allgemeines	431
12.4.2	Nummerung	399	14.4.2	Netzwerkmanagement und Directory-Service	431
12.4.3	Erzeugnisgliederung	400	14.4.3	FTAM	432
12.4.4	Stücklisten	402	14.4.4	MMS	432
12.4.5	Teileverwendungsnachweis	404	14.4.5	ACSE	434
12.4.6	Arbeitsplan	404	14.4.6	MAP-Anschaltung von Maschinen	434
12.4.7	Grunddatenorganisation	405	14.5	Feldbussysteme	435
12.5	Produktionsprogrammplanung	406	14.5.1	BITBUS	435
12.6	Mengenplanung	407	14.5.2	PROFIBUS	436
12.6.1	Materialarten	407	14.5.3	CAN-BUS	437
12.6.2	ABC-Analyse	407	14.5.4	Aktor-Sensor-Interface (ASI)	439
12.6.3	XYZ-Analyse	407	14.5.5	Interbus-S	440
12.6.4	Materialbestandsführung	408	14.6	V.24-Schnittstelle	441
12.6.5	Materialbedarfsermittlung	408	Sachwortverzeichnis	443	
12.6.6	Beschaffungsrechnung	410	Bildnachweis und Quellenverzeichnis	448	
12.6.7	Verbrauchsgesteuerte und bedarfs- gesteuerte Disposition	411			