

Manfred Weck

Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 4

Automatisierung von Maschinen
und Anlagen

5., neu bearbeitete Auflage

Mit 341 Abbildungen

Springer

*Berlin
Heidelberg
New York
Barcelona
Budapest
Hongkong
London
Mailand
Paris
Singapur
Tokio*



Springer

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	XXI
1 Einleitung.....	1
1.1 Begriffsbestimmung.....	1
1.2 Geschichtliche Entwicklung und Gründe für die Automatisierung von Werkzeugmaschinen	2
1.3 Steuerungs- und Automatisierungstechnik als Teilaufgabe der Maschinenentwicklung	5
2 Automatisierbare Funktionen der Fertigungseinrichtungen und ihre Realisierung.....	9
2.1 Steuerung des Funktionsablaufs.....	11
2.1.1 Funktionsfolgen	11
2.1.2 Elemente der Steuerung, Programmierung und Speiche- rung.....	13
2.2 Beispiele automatisierter Funktionen.....	15
2.2.1 Weg- und Schaltinformationen.....	15
2.2.1.1 Nocken- und Schalterleisten	16
2.2.1.2 Absolute und inkrementale Drehgeber zur Erfassung der Istposition einer Maschinenbaugruppe und zur Initiie- rung von Funktionen	17
2.2.2 Drehzahlverstellung.....	18
2.2.3 Werkstücktransport und -handhabung	19
2.2.4 Werkzeughandhabung und -speicherung.....	25

2.2.5	Prozessüberwachung, Prozessregelung, Diagnose und Sicherheit	29
2.2.6	Leittechnik	30
2.2.7	Entsorgung	31
3	Mechanische Steuerungen	33
3.1	Einspindeldrehautomat	34
3.2	Mehrspindeldrehautomat	45
3.3	Weiterentwicklung des mechanisch gesteuerten Mehrspindlers	56
4	Grundlagen der Informationsverarbeitung	58
4.1	Grundlagen	59
4.1.1	Zahlensysteme	59
4.1.2	Datencodes	63
4.1.3	Boolesche Algebra	64
4.1.4	Karnaugh-Veitch-Diagramm	69
4.2	Bausteine	73
4.2.1	Realisierung der Grundfunktionen	73
4.2.2	Erweiterte Funktionen	76
4.2.2.1	Flip-Flop	76
4.2.2.2	Flankengetriggerte Flip-Flops	77
4.2.2.3	1:2-Untersetzer	78
4.2.2.4	Binärzähler	78
4.2.2.5	Halbaddierer	80
4.2.2.6	Volladdierer	80
4.2.2.7	Vergleicher	81
4.2.2.8	Decodierer	82
4.2.2.9	Parityprüfer	82
4.2.2.10	A/D-Wandler	83
4.2.2.11	D/A-Wandler	87
4.2.3	Integrierte Schaltkreise	89
4.2.4	Bedien- und Anzeigeelemente	91
4.3	Rechner	93
4.3.1	Aufbau und Funktion	94

4.3.1.1	Hardware	94
4.3.1.2	Software	98
4.3.2	Peripherie	99
4.3.2.1	Speicherperipherie	100
4.3.2.2	Benutzer- und Kommunikationsperipherie	102
4.3.2.3	Prozessperipherie	103
4.3.3	Softwareentwicklung	103
4.3.3.1	Planungsphase	104
4.3.3.2	Definitionsphase	104
4.3.3.3	Entwurfsphase	105
4.3.3.4	Implementierungsphase	106
4.3.3.5	Abnahme- und Einführungsphase	110
4.3.3.6	Wartungs- und Pflegephase	110
4.3.4	Entwicklung objektorientierter Steuerungssoftware	110
5	Elektrische Steuerungen	113
5.1	Aufbau und Einordnung von elektrischen Steuerungen	114
5.1.1	Verknüpfungssteuerungen	116
5.1.2	Ablaufsteuerungen	118
5.2	Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS)	120
5.2.1	Anwendungsgebiete und Aufgaben	120
5.2.2	Anwendungsbeispiele	121
5.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	124
5.3.1	Anwendungsgebiete und Aufgaben	124
5.3.2	Aufbau und Funktionsweise	127
5.3.2.1	Aufbau	127
5.3.2.2	Funktionsweise	131
5.3.3	SPS-Programmierung	134
5.3.3.1	Kontaktplan-Programmierung	137
5.3.3.2	Funktionsplan-Programmierung	139
5.3.3.3	Programmierung mit Anweisungsliste	140
5.3.3.4	Beispiele für komplexere Programmanweisungen	142
5.3.3.4.1	Zeitfunktionen	142
5.3.3.4.2	Zähler	143
5.3.3.4.3	Wortverarbeitung	145
5.3.3.5	Hochsprachen-Programmierung	146
5.3.3.6	Ablaufsprache	148

5.3.4	Vorgehensweise zur systematischen Entwicklung von komplexen SPS-Programmen	149
5.3.4.1	Spezifikation der Steuerungsaufgabe	151
5.3.4.2	Programmentwurf und Programmierung	152
5.3.4.3	Programmtest	154
5.3.5	Feldbussysteme für SPS.....	156
5.4	Sicherheitssteuerungen.....	160
5.4.1	Zweikanalige, fehlererkennende Steuerungsstruktur.....	162
5.4.2	Dreikanalige, fehlertolerante Steuerungsstruktur	163
5.4.3	Konventionelle Sicherheitsschaltung in Relais-technik.....	164
5.4.4	Fehlersichere Prozessankopplung.....	165
5.4.4.1	Sichere Auswertung von Prozesseingängen.....	166
5.4.4.2	Fehlersichere und fehlertolerante Prozessausgänge.....	168
6	Numerische Steuerungen.....	171
6.1	Geschichtliche Entwicklung numerischer Steuerungen	171
6.2	Aufbau und Funktionsbeschreibung numerischer Steuerungen	174
6.2.1	Allgemeine Funktionsbeschreibung.....	174
6.2.2	Hardware und Schnittstellen einer NC-Steuerung	177
6.2.2.1	Komponenten.....	178
6.2.2.2	Interner Aufbau.....	181
6.2.2.3	Externe Schnittstellen	184
6.2.3	Software einer NC-Steuerung	186
6.2.4	Funktionsweise einer NC-Steuerung	189
6.2.5	Funktionsumfang moderner NC-Steuerungen	192
6.2.5.1	Standard-Funktionen.....	193
6.2.5.2	Funktionen zur Steuerung automatisierter Produktionszellen	201
6.2.6	Offene Steuerungssysteme.....	206
6.2.6.1	Motivation und Ziele offener Steuerungssysteme.....	206
6.2.6.2	Ausprägungen offener Steuerungssysteme	207
6.2.6.3	Realisierung offener Steuerungen	210
6.2.6.4	Herstellerübergreifende Standards für offene Steuerungen	214
6.2.7	Entwicklungstendenzen bei numerischen Steuerungen	219
6.3	Werkstückprogrammierung in der NC-Fertigung	221
6.3.1	Aufbau eines satzbasierten NC-Programms	222

6.3.2	Aufbau eines objektorientierten NC-Programms.....	225
6.3.3	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	228
6.4	NC-Programmiersverfahren.....	232
6.4.1	Manuelle NC-Programmiersverfahren	233
6.4.1.1	Grundlagen und Vorgehensweise	233
6.4.1.2	Programmierbeispiel (DIN 66025)	237
6.4.1.3	Zusätzliche Befehle zur Programmeingabe.....	240
6.4.1.4	Grenzen der Programmiersprache nach DIN 66025	244
6.4.2	Maschinelle NC-Programmiersverfahren.....	246
6.4.2.1	CAD/CAP/CAM-Kopplung.....	252
6.4.2.2	Programmierbeispiel (STEP-NC)	268
6.4.2.3	Programmierbeispiel anhand des EXAPT-Systems	276
6.4.2.4	Werkstatorientierte NC-Programmierung	277
6.4.2.5	Werkstattnahe Programmierung mit manueller Prozessführung	284
6.4.2.6	Kostenvergleich der Programmiersverfahren	285
6.4.3	Digitalisierung von Werkstückgeometrien zur NC-Datengenerierung	288
6.4.3.1	Messgeräte zur Digitalisierung von Werkstücken.....	289
6.4.3.2	Abtaststrategien.....	293
6.4.3.3	Tastsysteme.....	294
6.4.3.4	Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Messdaten	302
6.5	Benutzerschnittstellen an Werkzeugmaschinen	306
6.5.1	Bedienfelder an Werkzeugmaschinen.....	306
6.5.2	Manuelle Prozessführung	309
6.5.2.1	Allgemeine Übersicht	309
6.5.2.2	Bedienelemente zur Prozessführung.....	309
6.5.2.3	Möglichkeiten für die Realisierung einer benutzerorientierten Prozessführung.....	311
6.5.2.4	Entwicklungstendenzen	315
6.5.3	Benutzerorientierte Darstellung prozess- und systembezogener Kenngrößen	316
6.5.3.1	Ausgangssituation	316
6.5.3.2	Benutzergerechte Vermittlung der Kenngrößen	317
6.5.3.3	Technische Realisierung und Anwendungsbeispiele	318
7	Führungsgrößenerzeugung und Interpolation	323
7.1	Interpolation	325

7.1.1 Funktionen zur satzorientierten Geschwindigkeits- und Beschleunigungsführung einfacher Daten	327
7.1.1.1 Beschleunigungs- und Verzögerungsphase	331
7.1.1.2 Konstantgeschwindigkeitsphase	334
7.1.1.3 Bremsseinsatzpunkterkennung	335
7.1.2 Funktionen zur satzübergreifenden Geschwindigkeits- und Beschleunigungsführung einfacher Bahnen	337
7.1.2.1 Satzübergänge	337
7.1.2.2 Vorausschauende Geschwindigkeitsführung	339
7.1.3 Interpolation einfacher Bahnen	341
7.1.3.1 Geradeninterpolation	342
7.1.3.2 Kreisinterpolation	344
7.1.4 Spline-Interpolation	346
7.1.4.1 Polynomsplines	348
7.1.4.1.1 Definition	349
7.1.4.1.2 Polynomermittlung	349
7.1.4.1.3 Bestimmung des Parametervektors	350
7.1.4.1.4 Globales Verfahren	351
7.1.4.1.5 Lokales Verfahren nach Akima	353
7.1.4.1.6 Eigenschaften	355
7.1.4.2 B-Splines	356
7.1.4.2.1 Definition	356
7.1.4.2.2 Eigenschaften	360
7.1.4.3 NURBS	362
7.1.4.4 Auswertung von Splines	362
7.1.5 Sonstige Verfahren	366
7.2 Geometrische Transformationen	367
7.2.1 Nullpunktverschiebungen	367
7.2.2 Werkzeugkorrekturen	369
7.2.3 Kinematische Transformation für die 5-Achs-Fräsbearbeitung	372
7.2.3.1 Serielle Kinematiken	374
7.2.3.2 Parallele Kinematiken	374
7.3 Externe Lage- und Geschwindigkeitsbeeinflussung	378
7.3.1 Kompensation geometrischer Fehler	378
7.3.1.1 Kompensation geometrischer Fehler von Vorschubantrieben	378
7.3.1.1.1 Messung der Positionierungsunsicherheit nach VDI/DQG 3441	379
7.3.1.1.2 Umkehrspanne	380

7.3.1.1.3 Spindelsteigungsfehler	381
7.3.1.2 Kompensation thermischer Verlagerungen	381
7.3.1.2.1 Direkte Kompensation	382
7.3.1.2.2 Indirekte Kompensation	384
7.3.1.3 Kompensation statischer Prozesslasten	387
7.3.1.4 Messregelung für Schleifprozesse	393
7.3.2 Vorschub-Override und externe Geschwindigkeitsbeeinflussung	394
7.3.2.1 Override	394
7.3.2.2 Externe Geschwindigkeitsbeeinflussung	395
7.3.2.3 Look-Ahead-Funktion	396
7.3.3 Referenzpunktfahrt	396
8 Robotersteuerungen	399
8.1 Allgemeine Funktionsbeschreibungen	399
8.2 Koordinatensysteme und Bezugspunkte	402
8.3 Koordinatentransformation und Bahngenerierung	405
8.4 Bedienung und Programmierung von Robotern	427
8.4.1 Online-Programmiersverfahren	429
8.4.1.1 Lernprogrammiersverfahren (Playback, Teach-in)	429
8.4.1.2 Bedienelemente zur Bewegungsführung von Robotern	431
8.4.1.3 Erstellung eines Roboterprogramms an der Steuerung	434
8.4.1.4 Werkstattorientierte Programmiersysteme	441
8.4.2 Offline-Programmiersysteme	443
8.4.2.1 Textuelle Programmerstellung	443
8.4.2.2 Grafische Programmierung mit Ablaufdiagrammen	444
8.4.2.3 Roboterprogrammsimulation	445
8.4.2.4 Aufgabenorientierte Roboterprogrammierung	450
8.4.3 Roboter-Programmiersprachen	453
8.4.3.1 Industrial Robot Language (IRL)	453
8.4.3.2 IRL-Programmierbeispiel	463
8.4.3.3 Standardisierung grafischer Programmieroberflächen	464
8.5 Kommunikationsschnittstellen für Robotersteuerungen	466
8.6 Sensordatengewinnung und -verarbeitung	467

8.7 Entwicklungstendenzen.....	471
9 Fertigungsleittechnik	473
9.1 Die Unternehmensstruktur im CIM-Verbund	475
9.1.1 CIM-Komponenten	475
9.1.1.1 PPS.....	477
9.1.1.2 CAD.....	479
9.1.1.3 CAP und CAM.....	479
9.1.1.4 CAQ.....	480
9.1.1.5 Automatisierte Produktion	480
9.1.2 Schichtenmodell eines Unternehmens der Fertigungs- industrie	481
9.1.3 Kommunikation in der Leittechnik.....	483
9.1.3.1 Kommunikationssegmente des Fertigungsbereichs	484
9.1.3.1.1 Aktor-/Sensor-Feldbusse (Abtastbusse).....	485
9.1.3.1.2 Zellennetzwerke/System-Feldbusse.....	486
9.1.3.1.3 Backbone-Netzwerke	487
9.1.3.1.4 Büro-Netzwerke	487
9.1.3.2 OSI-Referenzmodell	487
9.1.3.3 Offene Systeme	488
9.1.3.4 Schichtenmodell.....	489
9.1.3.5 TCP/IP-Protokolle.....	491
9.2 Fertigungsleitsysteme.....	492
9.2.1 DNC (Distributed Numerical Control)	493
9.2.1.1 Geschichtliche Entwicklung.....	493
9.2.1.2 DNC-Systemklassen	494
9.2.1.2.1 Terminal-DNC	495
9.2.1.2.2 Remote-DNC	497
9.2.1.3 Funktionen eines DNC-Systems	498
9.2.1.3.1 Grundfunktionen	499
9.2.1.3.2 Erweiterte Funktionen	500
9.2.2 Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung.....	500
9.2.2.1 Gliederung der Betriebsdaten und Begriffsdefinitionen	501
9.2.2.2 BDE-Terminals	503
9.2.2.3 Funktionen der Betriebsdatenverarbeitung	504
9.2.3 Materialflusssteuerung.....	506
9.2.4 Fertigungshilfsmittelorganisation	507
9.2.4.1 Werkzeugplanung	508
9.2.4.2 Werkzeugbewirtschaftung.....	508

9.2.4.3 Werkzeugdisposition.....	509
9.2.4.4 Werkzeugver- und -entsorgung.....	510
9.2.4.5 Werkzeugeinsatz	510
9.2.4.6 Werkzeuginformationssystem.....	510
9.2.5 Elektronischer Leitstand	511
9.2.5.1 Aufgaben von Werkstattsteuerungssystemen.....	511
9.2.5.2 Funktionsumfang elektronischer Leitstände	512
9.2.6 Fertigungsleitrechner	514
9.2.6.1 Flexible Fertigungssysteme.....	515
9.2.6.2 Funktionsumfang von Fertigungsleitrechnern	517
9.2.6.3 Architekturen	519
9.3 Integriertes Fertigungs- und Montagesystem	522
9.3.1 Systemübersicht	522
9.3.2 Werkstückspektrum	524
9.3.3 Das Fertigungsleitsystem COSMOS ^{plus}	525
9.3.3.1 COSMOS-Steuerungsarchitektur	526
9.3.3.2 Funktionen der Leitebene.....	529
9.3.3.3 Funktionen der Zellenebene.....	532
9.3.3.4 Steuerungskomponenten	533
9.3.3.5 Industrieller Einsatz von COSMOS ^{plus}	533
9.3.4 Aufbau der Zellen des IFMS und informationstechnische Einbindung.....	535
9.3.4.1 Lager	535
9.3.4.2 Transportsystem.....	536
9.3.4.3 Sägezelle	538
9.3.4.4 Montagezelle.....	539
9.3.4.5 Drehzelle	543
9.3.4.6 Fräszellen	544
9.3.4.7 Messzelle.....	547
Literaturverzeichnis.....	550
Sachverzeichnis	563