

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	XVII
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	4
2 Automatisierbare Funktionen der Fertigungseinrichtungen und ihre Realisierung	7
2.1 Steuerung des Funktionsablaufs	9
2.1.1 Funktionsfolgen	9
2.1.2 Elemente der Steuerung, Programmierung und Speicherung	11
2.2 Beispiele automatisierter Funktionen	12
2.2.1 Weg- und Schaltinformationen	12
2.2.1.1 Nocken- und Schalterleisten	13
2.2.1.2 Absolute und inkrementale Drehgeber zur Erfassung der Istposition einer Maschinenbaugruppe und zur Steuerung von Schaltfunktionen	14
2.2.2 Drehzahlverstellung	14
2.2.3 Werkstücktransport und -handhabung	15
2.2.4 Werkzeughandhabung und -speicherung	20
2.2.5 Prozessüberwachung, Prozessregelung, Diagnose und Sicherheit	24
2.2.6 Leittechnik	25
2.2.7 Entsorgung	26
3 Mechanische Steuerungen	29
3.1 Einspindeldrehautomat	30
3.2 Mehrspindeldrehautomat	40
3.3 Weiterentwicklung des mechanisch gesteuerten Mehrspindlers	49

4	Grundlagen der Informationsverarbeitung	51
4.1	Grundlagen	51
4.1.1	Zahlensysteme	51
4.1.2	Datencodes	55
4.1.3	Boolsche Algebra	56
4.1.4	Karnaugh-Veitch-Diagramm	61
4.2	Bausteine	64
4.2.1	Realisierung der Grundfunktionen	64
4.2.2	Erweiterte Funktionen	67
4.2.2.1	Flip-Flop	67
4.2.2.2	Flankengetriggerte Flip-Flops	67
4.2.2.3	1:2-Untersetzer	68
4.2.2.4	Binärzähler	69
4.2.2.5	Halbaddierer	69
4.2.2.6	Volladdierer	70
4.2.2.7	Vergleicher	71
4.2.2.8	Decodierer	71
4.2.2.9	Parityprüfer	73
4.2.2.10	A/D-Wandler	73
4.2.2.11	D/A-Wandler	77
4.2.3	Integrierte Schaltkreise	79
4.2.4	Bedien- und Anzeigeelemente	80
4.3	Rechner	82
4.3.1	Aufbau und Funktion	83
4.3.1.1	Hardware	83
4.3.1.2	Software	86
4.3.2	Peripherie	88
4.3.2.1	Speicherperipherie	88
4.3.2.2	Benutzer- und Kommunikationsperipherie	90
4.3.2.3	Prozessperipherie	90
4.3.3	Softwareentwicklung	90
4.3.3.1	Planungsphase	91
4.3.3.2	Definitionsphase	91
4.3.3.3	Entwurfsphase	92
4.3.3.4	Implementierungsphase	93
4.3.3.5	Abnahme- und Einführungsphase	96
4.3.3.6	Wartungs- und Pflegephase	96
4.3.4	Entwicklung objektorientierter Steuerungssoftware	96
S	Elektrische Steuerungen	99
5.1	Aufbau und Einordnung von elektrischen Steuerungen	99
5.1.1	Verknüpfungssteuerungen	101
5.1.2	Ablaufsteuerungen	102
5.2	Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS)	105
5.2.1	Anwendungsbiete und Aufgaben	105

5.2.2	Anwendungsbeispiele	106
5.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	108
5.3.1	Anwendungsbereiche und Aufgaben	108
5.3.2	Aufbau und Funktionsweise	111
5.3.2.1	Aufbau	111
5.3.2.2	Funktionsweise	115
5.3.3	SPS-Programmierung	117
5.3.3.1	Kontaktplan-Programmierung	121
5.3.3.2	Funktionsplan-Programmierung	122
5.3.3.3	Programmierung mit Anweisungsliste	122
5.3.3.4	Beispiele für komplexere Programmanweisungen	124
5.3.3.4.1	Zeitfunktionen	124
5.3.3.4.2	Zähler	125
5.3.3.4.3	Wortverarbeitung	126
5.3.3.5	Hochsprachen-Programmierung	128
5.3.3.6	Ablaufsprache	130
5.3.4	Vorgehensweise zur systematischen Entwicklung von komplexen SPS-Programmen	131
5.3.4.1	Spezifikation der Steuerungsaufgabe	132
5.3.4.2	Programmentwurf und Programmierung	133
5.3.4.3	Programmtest	135
5.3.5	Feldbusssysteme für SPS	137
5.4	Sicherheitssteuerungen	141
5.4.1	Zweikanalige, fehlererkennende Steuerungsstruktur	143
5.4.2	Dreikanalige, fehlertolerante Steuerungsstruktur	144
5.4.3	Konventionelle Sicherheitsschaltung in Relaistechnik	145
5.4.4	Fehlersichere Prozessankopplung	146
5.4.4.1	Sichere Auswertung von Prozesseingängen	146
5.4.4.2	Fehlersichere und fehlertolerante Prozessausgänge	149
6	Numerische Steuerungen	151
6.1	Geschichtliche Entwicklung numerischer Steuerungen	151
6.2	Aufbau und Funktionsbeschreibung numerischer Steuerungen	154
6.2.1	Allgemeine Funktionsbeschreibung	154
6.2.2	Hardware und Schnittstellen einer NC-Steuerung	157
6.2.2.1	Komponenten	158
6.2.2.2	Interner Aufbau	160
6.2.2.3	Externe Schnittstellen	162
6.2.3	Software einer NC-Steuerung	165
6.2.4	Funktionsweise einer NC-Steuerung	167
6.2.5	Funktionsumfang moderner NC-Steuerungen	170
6.2.5.1	Standard-Funktionen	170
6.2.5.2	Funktionen zur Steuerung automatisierter Produktionszellen	177

6.2.6	Offene Steuerungssysteme	182
6.2.6.1	Motivation und Ziele offener Steuerungssysteme	182
6.2.6.2	Ausprägungen offener Steuerungssysteme	183
6.2.6.3	Realisierung offener Steuerungen	185
6.2.6.4	Herstellerübergreifende Standards für offene Steuerungen	190
6.2.7	Entwicklungstendenzen bei numerischen Steuerungen	194
6.3	Werkstückprogrammierung in der NC-Fertigung	196
6.3.1	Aufbau eines satzbasierten NC-Programms	196
6.3.2	STEP-NC, Aufbau eines objektorientierten NC-Programms	199
6.3.3	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	202
6.4	NC-Programmierverfahren	207
6.4.1	Manuelle NC-Programmierverfahren	207
6.4.1.1	Grundlagen und Vorgehensweise	207
6.4.1.2	Programmierbeispiel (DIN 66025)	211
6.4.1.3	Zusätzliche Befehle zur Programmeingabe	213
6.4.1.4	Grenzen der Programmiersprache nach DIN 66025	217
6.4.2	Rechnergestützte NC-Programmierverfahren	218
6.4.2.1	CAD/CAP/CAM-Kopplung	223
6.4.2.2	Programmierbeispiel anhand des EXAPT- Systems	238
6.4.2.3	Programmierbeispiel für ein objektorientiertes NC-Programm (STEP-NC)	246
6.4.2.4	Werkstattorientierte NC-Programmierung	247
6.4.2.5	Kostenvergleich der Programmierverfahren	252
6.4.3	Digitalisierung von Werkstückgeometrien zur NC-Datengenerierung	254
6.4.3.1	Messgeräte zur Digitalisierung von Werkstücken	256
6.4.3.2	Abtaststrategien	258
6.4.3.3	Tastsysteme	260
6.4.3.4	Aufbereitung und Weiterverarbeitung der Messdaten	266
6.5	Benutzerschnittstellen an Werkzeugmaschinen	271
6.5.1	Bedienfelder an Werkzeugmaschinen	271
6.5.2	Manuelle Prozessführung	273
6.5.2.1	Allgemeine Übersicht	273
6.5.2.2	Bedienelemente zur Prozessführung	273
6.5.2.3	Möglichkeiten für die Realisierung einer benutzerorientierten Prozessführung	275
6.5.2.4	Entwicklungstendenzen	279
6.5.3	Benutzerorientierte Darstellung prozess- und systembezogener Kenngrößen	280
6.5.3.1	Ausgangssituation	280

6.5.3.2	Benutzergerechte Vermittlung der Kenngrößen	281
6.5.3.3	Technische Realisierung und Anwendungsbeispiele	282
7	Führungsgrößenerzeugung und Interpolation	287
7.1	Interpolation	289
7.1.1	Funktionen zur satzorientierten Geschwindigkeits- und Beschleunigungsführung einfacher Bahnen	290
7.1.1.1	Beschleunigungs- und Verzögerungsphase	294
7.1.1.2	Konstantgeschwindigkeitsphase	297
7.1.1.3	Bremseinsatzpunktterkennung	297
7.1.2	Funktionen zur satzübergreifenden Geschwindigkeits- und Beschleunigungsführung einfacher Bahnen	299
7.1.2.1	Satzübergänge	299
7.1.2.2	Vorausschauende Geschwindigkeitsführung (Look Ahead)	300
7.1.3	Interpolation einfacher Bahnen	303
7.1.3.1	Geradeninterpolation	303
7.1.3.2	Kreisinterpolation	305
7.1.4	Spline-Interpolation	307
7.1.4.1	Polynomsplines	308
7.1.4.1.1	Definition	308
7.1.4.1.2	Polynomermittlung	309
7.1.4.1.3	Bestimmung des Parametervektors	309
7.1.4.1.4	Globales Verfahren	310
7.1.4.1.5	Lokales Verfahren nach Akima	312
7.1.4.1.6	Eigenschaften	313
7.1.4.2	B-Splines	314
7.1.4.2.1	Definition	315
7.1.4.2.2	Eigenschaften	317
7.1.4.3	NURBS	318
7.1.4.4	Auswertung von Splines	319
7.1.5	Sonstige Verfahren	322
7.2	Geometrische Transformationen	322
7.2.1	Nullpunktverschiebungen	322
7.2.2	Werkzeugkorrekturen	324
7.2.3	Kinematische Transformation für die 5-Achs-Fräsbearbeitung	327
7.2.3.1	Serielle Kinematiken	328
7.2.3.2	Parallele Kinematiken	329
7.3	Externe Lage- und Geschwindigkeitsbeeinflussung	332
7.3.1	Kompensation geometrischer Fehler	332
7.3.1.1	Kompensation geometrischer Fehler von Vorschubantrieben	332

7.3.1.1.1	Messung der Positionierunsicherheit nach VDI/DGQ 3441	332
7.3.1.1.2	Umkehrspanne	333
7.3.1.2	Kompensation thermischer Verlagerungen	334
7.3.1.2.1	Direkte Kompensation	335
7.3.1.2.2	Indirekte Kompensation	336
7.3.1.3	Kompensation statischer Prozesslasten	341
7.3.1.4	Messregelung für Schleifprozesse	347
7.3.2	Vorschub-Override und externe Geschwindigkeitsbeeinflussung	347
7.3.2.1	Override	347
7.3.2.2	Externe Geschwindigkeitsbeeinflussung	349
7.3.2.3	Look-Ahead-Funktion	349
7.3.3	Referenzpunktfahrt	350
8	Robotersteuerungen	353
8.1	Allgemeine Funktionsbeschreibung	353
8.2	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	356
8.3	Koordinatentransformation und Bahngenerierung	359
8.4	Bedienung und Programmierung von Robotern	378
8.4.1	Online-Programmierverfahren	380
8.4.1.1	Lernprogrammierverfahren (Playback, Teach-In)	380
8.4.1.2	Bedienelemente zur Bewegungsführung von Robotern	381
8.4.1.3	Erstellung eines Roboterprogramms an der Steuerung	384
8.4.1.4	Werkstattorientierte Programmiersysteme	390
8.4.2	Offline-Programmiersysteme	391
8.4.2.1	Textuelle Programmerstellung	391
8.4.2.2	Industrial Robot Language (IRL)	393
8.4.2.3	Grafische Programmierung mit Ablaufdiagrammen	403
8.4.2.4	Standardisierung grafischer Programmoberflächen	403
8.4.2.5	Roboterprogrammsimulation	404
8.4.2.6	Aufgabenorientierte Roboterprogrammierung	409
8.4.3	IRL-Programmierbeispiel	411
8.5	Kommunikationsschnittstellen für Robotersteuerungen	411
8.6	Sensordatengewinnung und -verarbeitung	413
8.7	Entwicklungstendenzen	417
9	Fertigungsleittechnik	419
9.1	Die Unternehmensstruktur im CIM-Verbund	420
9.1.1	CIM-Komponenten	420
9.1.1.1	PPS	422

9.1.1.2	CAD.....	424
9.1.1.3	CAP und CAM	424
9.1.1.4	CAQ.....	425
9.1.1.5	Automatisierte Produktion	425
9.1.2	Ebenenmodell eines Unternehmens der Fertigungsindustrie	425
9.1.3	Kommunikation in der Leittechnik.....	428
9.1.3.1	Kommunikationssegmente des Fertigungsbereichs	428
9.1.3.2	OSI-Referenzmodell	431
9.1.3.3	Offene Systeme	431
9.1.3.4	Schichtenmodell	432
9.1.3.5	TCP/IP-Protokolle	434
9.2	Fertigungsleitsysteme	435
9.2.1	DNC(Distributed Numerical Control)	436
9.2.1.1	Geschichtliche Entwicklung	436
9.2.1.2	DNC-System	437
9.2.2	Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung	439
9.2.2.1	Gliederung der Betriebsdaten und Begriffsdefinitionen	440
9.2.2.2	BDE-Terminals	441
9.2.2.3	Funktionen der Betriebsdatenverarbeitung	442
9.2.3	Materialflussteuerung	444
9.2.4	Fertigungshilfsmittelorganisation	445
9.2.4.1	Werkzeugplanung	445
9.2.4.2	Werkzeugbewirtschaftung	445
9.2.4.3	Werkzeugdisposition	446
9.2.4.4	Werkzeugver- und -entsorgung	447
9.2.4.5	Werkzeugeinsatz	447
9.2.4.6	Werkzeuginformationssystem	447
9.2.5	Elektronischer Leitstand	448
9.2.5.1	Aufgaben von Werkstattsteuerungssystemen ...	448
9.2.5.2	Funktionsumfang elektronischer Leitstände ...	449
9.2.6	Fertigungsleitrechner	452
9.2.6.1	Flexible Fertigungssysteme	452
9.2.6.2	Funktionsumfang von Fertigungsleitrechnern ...	453
9.2.6.3	Architekturen	455
9.3	Integriertes Fertigungs- und Montagesystem	458
9.3.1	Systemübersicht	458
9.3.2	Werkstückspektrum	460
9.3.3	Das Fertigungsleitsystem COSMOS ^{plus}	460
9.3.3.1	COSMOS ^{plus} -Steuerungsarchitektur	461
9.3.3.2	Funktionen der Leitebene	464
9.3.3.3	Funktionen der Zellenebene	466
9.3.3.4	Steuerungskomponenten	467

9.3.3.5	Industrieller Einsatz von COSMOS ^{plus}	467
9.3.4	Aufbau der Zellen des IFMS und informationstechnische Einbindung	469
9.3.4.1	Lager	469
9.3.4.2	Transportsystem	470
9.3.4.3	Sägezelle	471
9.3.4.4	Montagezelle	472
9.3.4.5	Drehzelle	475
9.3.4.6	Fräszellen	478
9.3.4.7	Messzelle	480
Literatur	483
Index	495