

Studium und Praxis

Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme

Band 3.2

Automatisierung und Steuerungstechnik 2

Vierte, grundlegend neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Prof. Dr.-Ing. E.h. Dr.-Ing. Manfred Weck VDI

Vorschubantriebe

Positionsmeßsysteme für NC-Maschinen

Nachformsysteme

Prozeßüberwachung, Prozeßregelung, Diagnose und Instandhaltungsmaßnahmen

Robotersteuerungen

Fertigungsleittechnik

VW VERLAG

Inhalt

Formelzeichen und Abkürzungen	XVII
1 Vorschubantriebe	1
1.1 Prinzipieller Aufbau von Vorschubantrieben	1
1.2 Lineare zeitkontinuierliche Übertragungssysteme.	5
1.2.1 Regelungstechnische Grundlagen für lineare zeitkontinuierliche Übertragungssysteme.	5
1.2.1.1 Zeitverhalten von Regelkreisgliedern.	5
1.2.1.2 Grundsysteme von Regelkreisgliedern und ihre Darstellung	9
1.2.1.3 Aufbau eines Regelkreises.	12
1.2.1.4 Wirkungsplan (Blockschaltbild).	13
1.2.1.5 Stabilität von Regelkreisen.	15
1.2.1.6 Einstellregeln für analog arbeitende Regler.	17
1.2.2 Simulation von Vorschubantrieben.	19
1.2.3 Vorschubantrieb als Regelkreis.	21
1.2.4 Berechnung von zeitkontinuierlichen Lageregelkreisen.	22
1.2.5 Übertragungsverhalten des linearen Lageregelkreises.	24
1.2.6 Bahnerzeugung mit Lageregelkreisen (Werkstückfehler).	26
1.3 Lineare zeitdiskrete Übertragungssysteme.	30
1.3.1 Regelungstechnische Grundlagen für zeitdiskrete Systeme	30
1.3.1.1 Darstellung zeitdiskreter Systeme.	30
1.3.1.2 z-Transformation.	31
1.3.1.3 Lineare Differenzgleichungen.	33
1.3.1.4 z-Übertragungsfunktion.	36
1.4 Zustandsregelung	38
1.4.1 Darstellung im Zustandsraum.	38
1.4.2 Entwurf des Zustandsreglers.	42
1.4.3 Zustandsbeobachter.	44
1.5 Feedforward Controller zur Bahnfehlerkorrektur.	45
1.6 Antriebseinheiten von Vorschubantrieben.	48
1.6.1 Anforderungen an die Antriebseinheiten.	48
1.6.2 Elektrische Antriebseinheiten.	49
1.6.2.1 Gleichstrommotoren.	50
1.6.2.2 Synchronmotoren.	54
1.6.2.3 Asynchronmotoren.	57
1.6.2.4 Servoverstärker.	62

1.6.2.5	SERCOS-interface - digitale Antriebsschnittstelle	67
1.6.2.6	Vergleich Gleichstrom-/Drehstromservoantriebe.	72
1.6.2.7	Schrittmotoren	73
1.6.2.8	Linearmotoren	79
1.6.3	Hydraulische Antriebseinheiten	83
1.6.3.1	Kolben-Zylinder-Antriebe	84
1.6.3.2	Hydraulikmotoren	85
1.6.3.3	Servo-und Proportionalregelventile	88
1.6.3.4	System Hydraulikmotor - Servoventil	92
1.6.3.5	Elektrohydraulischer Antrieb als Stellglied im Lageregelkreis	94
1.6.3.6	Vergleich von Elektro-, Schritt-und Hydraulikmotoren	97
1.7	Mechanische Übertragungselemente für Vorschubantriebe	100
1.7.1	Übertragungsverhalten	102
1.7.2	Hinweise für die Auslegung von Vorschubantrieben	107
1.7.3	Konstruktionsbeispiele	112
1.7.3.1	Gewindespindel-Mutter-Antrieb	112
1.7.3.2	Ritzel-und Schnecke-Zahnstange-Antrieb	122
1.7.3.3	Zahnriemenantriebe	124
1.7.3.4	Vorschubgetriebe	126
1.7.3.5	Kupplungen	136
1.7.3.5.1	Drehstarre, flexible Kupplungen	136
1.7.3.5.2	Sicherheitskupplungen zum Überlastschutz in NC-Antriebssystemen	136
1.7.3.5.3	Ausführungsbeispiele von Sicherheitskupplungen	145
2	Positipnsmeßsysteme für NC-Maschinen	149
2.1	Grundlagen der Weg-und Winkelmessung	149
2.1.1	Grundbegriffe	149
2.1.2	Meßprinzipien und Meßverfahren	150
2.1.2.1	Direkte und Indirekte Meßwerterfassung	150
2.1.2.2	Analoge und Digitale Meßwerterfassung	151
2.1.2.3	Relative und Absolute Meßwerterfassung	151
2.2	Interpolationsverfahren und Richtungserkennung	154
2.2.1	Interpolation mit Hilfsphasen	155
2.2.2	Digitale Interpolation	157
2.2.3	Amplitudenauswertung	158
2.2.4	Richtungserkennung	160
2.3	Meßsysteme	161
2.3.1	Ohmsche Aufnehmer	161
2.3.2	Elektromagnetische Aufnehmer	162
2.3.2.1	Inductosyn	162
2.3.2.2	Resolver	165
2.3.3	Magnetische Aufnehmer	167
2.3.4	Kapazitive Aufnehmer	169
2.3.5	Ultraschall-Wegmeßsystem	171

2.3.6	Photoelektrische Meßverfahren	172
2.3.6.1	Digital-inkrementale Meßsysteme	174
2.3.6.2	Digital-absolute Meßsysteme	178
2.3.7	Interferentielle Wegmeßsysteme	180
2.3.8	Interferometrische Wegmeßsysteme	186
2.3.8.1	Michelson-Interferometer	186
2.3.8.2	Zweifrequenzlaser-Interferometer	187
2.3.8.3	Integriert optisches Interferometer	189
3	Nachformsysteme	192
3.1	Ein- und mehrachsige Nachformsysteme	193
3.2	Nachformsysteme mit einachsigen Tastern	195
3.2.1	Unstetige Nachformsysteme	195
3.2.2	Stetige Nachformsysteme	196
3.3	Nachformsysteme mit mehrachsigen Tastern	198
3.4	Auswertung der Tastersignale für die Geschwindigkeitsführung	199
3.5	Nachformsysteme mit NC-Datengenerierung	204
3.6	Optische Sensoren als Taster	209
4	Prozeßüberwachung, Prozeßregelung, Diagnose und Instandhaltungsmaßnahmen	212
4.1	Einführung	212
4.1.1	Hintergrund, Begriffe und Ziele	212
4.1.2	Einflußgrößen auf die Funktion der Fertigungsmittel und die Qualität der Produkte	216
4.1.3	Überwachungsstrategien	217
4.1.4	Prinzipien der Prozeßregelung	219
4.1.5	Wirtschaftliche Bedeutung von Prozeßüberwachung, Prozeßregelung, Diagnose und Instandhaltungsmaßnahmen	220
4.2	Sensoren	222
4.2.1	Dehnmeßstreifen	222
4.2.2	Piezoelektrische Kraftmeßelemente	226
4.2.3	Körperschallsensoren	230
4.2.4	Strom- und Leistungsmessung	231
4.2.5	Temperatursensoren	234
4.2.6	Mechanische und optische Sensoren	235
4.3	Signalverarbeitung und Mustererkennung	236
4.3.1	Analoge Signalaufbereitung	238
4.3.2	Digitale Vorverarbeitung und Merkmalsberechnung	241
4.3.3	Klassifikation	243
4.3.3.1	Feste Grenzen	243
4.3.3.2	Mitlaufende Schwellen	244

4.3.3.3	Mehrdimensionale Klassifikation	244
4.4	Technologische Prozeßüberwachung und Prozeßregelung bei verschiedenen Fertigungsverfahren	249
4.4.1	Drehbearbeitung	249
4.4.1.1	Sensorsysteme zur Drehmoment- und Zerspankraftmessung	249
4.4.1.2	Kraft-, Drehmoment- und Leistungsregelung bei der Drehbearbeitung	252
4.4.1.3	Automatische Schnittaufteilung für das Drehen	258
4.4.1.4	Prozeßüberwachung beim Drehen	261
4.4.2	Fräsbearbeitung	265
4.4.2.1	Sensorsysteme und Verfahren zur Prozeßüberwachung beim Fräsen	265
4.4.2.2	Prozeßregelung für die Fräsbearbeitung	272
4.4.2.3	Prozeßregelung beim Gußputzen	278
4.4.2.4	Automatische Ratterbeseitigung	280
4.4.3	Bohren	288
4.4.3.1	Prozeßüberwachung beim Bohren und Tiefbohren	288
4.4.3.2	Prozeßregelung für das Tiefbohren	294
4.4.4	Schleifen	295
4.4.4.1	Prozeßregelung	295
4.4.4.2	Abrichtüberwachung	297
4.4.5	Funkenerosive Bearbeitung	298
4.5	Kollisionsüberwachung	304
4.6	Instandhaltungsmaßnahmen und Maschinendiagnose	307
4.6.1	Inspektion als Teil von Instandhaltungsmaßnahmen	307
4.6.1.1	Kontinuierliche Überwachung an Maschinen	308
4.6.1.2	Regelmäßiger Maschinen-Funktionstest	308
4.6.1.3	Halbjährliche und jährliche Maschineninspektion	309
4.6.2	Konventionelle Methoden und Techniken zur Maschinenüberwachung und Diagnose	309
4.6.2.1	Diagnose auf Anforderung	310
4.6.2.2	Überwachungs- und Diagnoseeinrichtungen in Steuerungen	311
4.6.3	KI-Schlußfolgerungssysteme zur Überwachung und Diagnose	316
4.6.3.1	Aufbau von Expertensystemen	317
4.6.3.2	Maschinendiagnose durch Mustererkennung	318
4.6.4	Überwachungs- und Diagnoseeinrichtungen in hierarchischen Systemen	320
4.6.5	Auswertungs- und Anwendungsmöglichkeiten von Instandhaltungsmaßnahmen und Maschinendiagnose	321
4.6.6	Bewertung und Ausblick	323
5	Robotersteuerungen (RC)	325
5.1	Allgemeine Funktionsbeschreibung	325
5.2	Koordinatensysteme und Bezugspunkte	327

5.3	Koordinatentransformation und Bahngenerierung	330
5.4	Bedienung und Programmierung von Robotern	346
5.4.1	On-line-Programmierverfahren	347
5.4.1.1	Lernprogrammierverfahren (Teach-In, Playback)	347
5.4.1.2	Bedienelemente zur Bewegungsführung von Robotern	349
5.4.1.3	Erstellung eines Roboterprogramms an der Steuerung	352
5.4.1.4	Werkstatorientierte Programmiersysteme	357
5.4.2	Off-line-Programmierverfahren	359
5.4.2.1	Textuelle Programmerstellung	359
5.4.2.2	Roboterprogrammingsimulation	360
5.4.2.3	Aufgabenorientierte Roboterprogrammierung	363
5.4.3	Die Programmiersprachen IRL und IRDATA/ICR	366
5.4.3.1	Aufbau eines IRL-RC-Programms	366
5.4.3.2	Programmierbeispiel	375
5.4.3.3	Standardisierte RC-Programmschnittstellen IRDATA und ICR	375
5.5	Kommunikationsschnittstellen für Robotersteuerungen	379
5.6	Sensordatengewinnung und -Verarbeitung	379
5.7	Entwicklungstendenzen	382
6	Fertigungsleittechnik	384
6.1	Die Unternehmensstruktur im CIM-Verbund	385
6.1.1	CIM-Komponenten	385
6.1.1.1	PPS	385
6.1.1.2	CAD	387
6.1.1.3	CAP	388
6.1.1.4	CAQ	388
6.1.1.5	CAM	388
6.1.2	Der innerbetriebliche Informationsfluß	389
6.1.2.1	Begriffsdefinitionen für den Informationsaustausch	389
6.1.2.2	Möglichkeiten zur Integration von Anwendungssystemen	389
6.1.2.3	Datenaustausch zwischen CIM-Komponenten	390
6.2	Kommunikation	392
6.2.1	Schichtenmodell eines Unternehmens der Fertigungsindustrie	392
6.2.2	Kommunikationssegmente des Fertigungsbereichs	394
6.2.3	OSI-Referenzmodell	397
6.2.3.1	Offene Systeme	398
6.2.3.2	Schichtenmodell	399
6.2.4	Relevante OSI-Normen	401
6.2.4.1	OSI-Normen der Bitübertragungs- und Sicherungsschicht	401
6.2.4.2	Mediumzugriff-Steuerungsverfahren für lokale Netzwerke	401
6.2.4.3	Mediumzugriff-Steuerungsverfahren für Feldbusse	404
6.2.4.4	OSI-Normen der Anwendungsschicht (Schicht 7)	405
6.2.5	Funktionale Profile	413
6.2.6	TCP/IP-Protokolle	416

6.3	Fertigungsleitsysteme	417
6.3.1	DNC (Distributed Numerical Control)	418
6.3.1.1	Geschichtliche Entwicklung	418
6.3.1.2	DNC-Systemklassen	419
6.3.1.3	Funktionen eines DNC-Systems	422
6.3.2	Betriebsdatenerfassung und -Verarbeitung	424
6.3.2.1	Gliederung der Betriebsdaten und Begriffsdefinitionen	425
6.3.2.2	BDE-Terminals	426
6.3.2.3	Funktionen der Betriebsdatenverarbeitung	427
6.3.3	Materialflußsteuerung	428
6.3.4	Fertigungshilfsmittelorganisation	429
6.3.4.1	Werkzeugplanung	430
6.3.4.2	Werkzeuggestaltung	430
6.3.4.3	Werkzeugdisposition	431
6.3.4.4	Werkzeugver- und -entsorgung	432
6.3.4.5	Werkzeugeinsatz	432
6.3.4.6	Werkzeuginformationssystem	432
6.3.5	Elektronischer Leitstand	432
6.3.5.1	Aufgaben von Werkstattsteuerungssystemen	432
6.3.5.2	Funktionsumfang elektronischer Leitstände	434
6.3.6	Fertigungsleitrechner	436
6.3.6.1	Flexible Fertigungssysteme	436
6.3.6.2	Funktionsumfang von Fertigungsleitrechnern	437
6.3.6.3	Architekturen	439
6.4	Integriertes Fertigungs- und Montagesystem (IFMS)	443
6.4.1	Systemübersicht	443
6.4.2	Werkstückspektrum	444
6.4.3	Das Fertigungsleitsystem COSMOS	445
6.4.3.1	COSMOS-Steuerungsarchitektur	446
6.4.3.2	Funktionen der Leitebene	448
6.4.3.3	Funktionen der Zellenebene	450
6.4.3.4	Steuerungskomponenten	451
6.4.4	Aufbau der Zellen und informationstechnische Einbindung	452
6.4.4.1	Lager	452
6.4.4.2	Transportsystem	453
6.4.4.3	Sägezelle	454
6.4.4.4	Montagezelle	456
6.4.4.5	Drehzelle	459
6.4.4.6	Fräszelle	460
6.4.4.7	Meßzelle	463
	Schrifttum	465
	Sachwörterverzeichnis	478