

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	XVII
1 Einleitung.....	1
1.1 Begriffsbestimmung „mechatronische Systeme“	2
1.2 Beispiele mechatronischer Komponenten in Werkzeugmaschinen....	3
1.3 Weiterentwicklungen	5
2 Aufbau einer Vorschubachse.....	8
2.1 Motoren in Vorschubachsen.....	9
2.1.1 Anforderungen an die Antriebseinheiten	9
2.1.2 Elektrische Antriebseinheiten	10
2.1.2.1 Gleichstrommotoren.....	12
2.1.2.2 Synchronmotoren.....	16
2.1.2.3 Asynchronmotoren.....	21
2.1.2.4 Vergleich Gleichstrom-/Drehstromservoantriebe	25
2.1.2.5 Schrittmotoren.....	27
2.1.2.6 Linearmotoren	32
2.2 Positionsmesssysteme für NC-Maschinen	40
2.2.1 Grundlagen der Weg- und Winkelmessung.....	40
2.2.1.1 Grundbegriffe.....	40
2.2.1.2 Messprinzipien und Messverfahren	41
2.2.1.2.1 Direkte und indirekte Messwerterfassung.....	41
2.2.1.2.2 Analoge und digitale Messwerterfassung	44
2.2.1.2.3 Relative und absolute Messwerterfassung	44
2.2.2 Messsysteme	47
2.2.2.1 Photoelektrische Messverfahren	47

2.2.2.1.1	Digital-inkrementale Messsysteme	48
2.2.2.1.2	Digital absolute Messsysteme	52
2.2.2.1.3	Inkremental-absolute Messsysteme.....	56
2.2.2.1.4	Interferenzielle Wegmesssysteme	58
2.2.2.2	Interferometrische Wegmesssysteme.....	63
2.2.2.2.1	Michelson-Interferometer	63
2.2.2.2.2	Zweifrequenzlaser-Interferometer	65
2.2.2.3	Elektromagnetische Aufnehmer	68
2.2.2.3.1	Inductosyn	69
2.2.2.3.2	Resolver	72
2.2.2.4	Magnetische Aufnehmer	74
2.2.3	Interpolationsverfahren und Richtungserkennung	77
2.2.3.1	Interpolation mit Hilfsphasen.....	78
2.2.3.2	Digitale Interpolation	80
2.2.3.3	Amplitudenauswertung	82
2.2.3.4	Richtungserkennung.....	82
2.2.4	Messgeräte – Auswahl und Einbau.....	83
2.2.4.1	Auswahl des Messgeräts	84
2.2.4.2	Anbauort in der Anlage und Maschine	85
2.2.4.3	Montagehinweise	86
2.2.4.4	Elektrischer Anschluss.....	88
2.3	Mechanische Übertragungselemente.....	89
2.3.1	Komponenten zur Wandlung von Rotationsbewegung in Translationsbewegung	90
2.3.1.1	Gewindespindel-Mutter-Antrieb	90
2.3.1.2	Ritzel-Zahnstange-Antrieb.....	102
2.3.1.3	Schnecke-Zahnstange-Antrieb	104
2.3.1.4	Zahnriemen-Antriebe	106
2.3.2	Vorschubgetriebe	107
2.3.2.1	Zahnradgetriebe	108
2.3.2.2	Zahnriemengetriebe	110
2.3.2.3	Sondervorschubgetriebe.....	111
2.3.3	Kupplungen.....	118
2.3.3.1	Ausgleichskupplungen	118
2.3.3.2	Sicherheitskupplungen zum Überlastschutz.....	120
2.4	Umrichter für WZM-Vorschubachsen.....	125
2.4.1	Aufbau von Umrichtersystemen	125
2.4.2	Regelungstechnik in Umrichtern	128
2.4.2.1	Analoge Regelung	129
2.4.2.2	Digitale Regelung	130

2.4.2.3	Zusätzliche Funktionen digitaler Antriebsregler	130
2.4.3	Schnittstellen zur Steuerung	133
2.4.3.1	Analoge Schnittstelle	135
2.4.3.2	Digitale Schnittstelle	136
2.5	Hydraulische Antriebseinheiten	142
2.5.1	Kolben-Zylinder-Antriebe	144
2.5.2	Hydraulikmotoren	145
2.5.3	Servo-, Proportionalregel- und Piezoventile	147
2.5.4	System Hydraulikmotor – Servoventil	153
2.5.5	Elektrohydraulischer Antrieb als Stellglied im Lage- regelkreis	155
2.5.6	Vergleich von Elektro-, Schritt- und Hydraulikmotoren	159
3	Dynamisches Verhalten von Vorschubachsen	163
3.1	Regelungstechnische Grundlagen	164
3.1.1	Lineare zeitkontinuierliche Übertragungssysteme	167
3.1.1.1	Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	167
3.1.1.2	Grundsysteme von Regelkreisgliedern und ihre Dar- stellung	172
3.1.1.3	Aufbau eines Regelkreises	173
3.1.1.4	Wirkungsplan (Blockschaltbild)	177
3.1.1.5	Stabilität von Regelkreisen	179
3.1.1.6	Einstellregeln für analog arbeitende Regler	182
3.1.2	Lineare zeitdiskrete Übertragungssysteme	186
3.1.2.1	Darstellung zeitdiskreter Systeme	186
3.1.2.2	z-Transformation	187
3.1.2.3	Lineare Differenzgleichungen	190
3.1.2.4	Einstellregeln für zeitdiskret arbeitende Regler	192
3.1.2.5	z-Übertragungsfunktion	194
3.1.3	Feedforward-Controller zur Schleppfehlerkorrektur	197
3.1.4	Zustandsregelung	200
3.1.4.1	Darstellung im Zustandsraum	201
3.1.4.2	Entwurf des Zustandsreglers	206
3.1.4.3	Zustandsbeobachter	209
3.2	Regelung von Vorschubantrieben	210
3.2.1	Vorschubantrieb als Regelkreis	210
3.2.2	Berechnung von zeitkontinuierlichen Lageregelkreisen	214
3.2.3	Übertragungsverhalten des linearen Lageregelkreises	217

3.2.4	Simulation von Vorschubantrieben.....	221
3.3	Übertragungsverhalten der Mechanik	223
3.3.1	Physikalische Grenzen des mechanischen und elektrischen Systems	224
3.3.2	Übertragungsverhalten elektromechanischer Antriebs- systeme	225
3.3.2.1	Kinematisches Übertragungsverhalten.....	226
3.3.2.2	Statisches Übertragungsverhalten	227
3.3.2.3	Dynamisches Übertragungsverhalten.....	228
3.3.3	Übertragungsverhalten linearer Direktantriebe.....	232
3.4	Einflüsse des Messsystems auf die Vorschubregelung	235
3.4.1	Verhalten von elektromechanischen Achsen bei Rege- lung über indirektes und direktes Messsystem	235
3.4.2	Einfluss des Messsystems bei linearen Direktantrieben	238
3.4.3	Kleinste verfahrbare Schrittweite	239
3.5	Statische und dynamische Steifigkeit von Vorschubachsen	241
3.5.1	Statische Steifigkeit	242
3.5.1.1	Statische Steifigkeit elektromechanischer Antriebe (Gewindespindelantrieb).....	243
3.5.1.2	Statische Steifigkeit beim elektrischen Lineardirekt- antrieb	244
3.5.2	Dynamische Steifigkeit.....	255
3.5.2.1	Dynamische Steifigkeit elektromechanischer Vor- schubachsen	247
3.5.2.2	Elektrischer Lineardirektantrieb.....	248
4	Vorschubantriebe zur Bahnerzeugung	253
4.1	Aufbau von Bahnsteuerungen	253
4.2	Bahnfehler an Werkzeugmaschinen.....	254
4.2.1	Bahnfehler im Interpolator.....	254
4.2.2	Typische Bahnfehler der Lageregelung	255
4.2.3	Auswirkungen der mechanischen Übertragungselemente	256
4.2.4	Bestimmung der dynamischen Bahnabweichungen	258
4.2.4.1	Eckenverrundung	258
4.2.4.2	Kreisform und Durchmesserabweichung	259
4.2.5	Einfluss des K_v -Faktors auf die Bahnabweichungen	262

4.3 Maßnahmen zur Verringerung der Bahnabweichungen.....	265
5 Auslegung von Vorschubantrieben.....	267
5.1 Auswahl des Motors und der mechanischen Komponenten.....	267
5.1.1 Bestimmung der Anforderungen und Wahl des Antriebs- prinzips	267
5.1.2 Wahl und Auslegung der mechanischen Komponenten	269
5.1.3 Auswahl und Auslegung des Antriebsmotors.....	272
5.1.3.1 Statische Auslegung.....	273
5.1.3.2 Dynamische Auslegung	275
5.1.3.3 Optimales Übersetzungsverhältnis.....	276
5.2 Auslegung des Messsystems	279
5.3 Inbetriebnahme der Regelung	279
5.3.1 Manuelle Inbetriebnahme	280
5.3.1.1 Einstellung des Drehzahlreglers.....	281
5.3.1.2 Einstellung des Lagereglers	285
5.3.2 Automatische Inbetriebnahme	286
6 Prozessüberwachung, Prozessregelung, Diagnose und Instandhaltungsmaßnahmen.....	287
6.1 Einführung	287
6.1.1 Hintergrund, Begriffe, Ziele	287
6.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung von Prozessüberwachung, Pro- zessregelung, Diagnose und Instandhaltungsmaßnahmen ..	292
6.1.3 Einflussgrößen auf die Funktion der Fertigungsmittel und die Qualität der Produkte	294
6.1.4 Strategien und Struktur von Überwachungssystemen	295
6.1.4.1 Strategien für Überwachungssysteme	296
6.1.4.2 Die Struktur von Überwachungssystemen	298
6.1.4.3 Zusammenhang und Abgrenzung zwischen Prozess- überwachung und Maschinendiagnose	299
6.1.5 Prinzipien der Prozessregelung.....	301
6.2 Sensoren	304
6.2.1 Dehnungsmessung	304
6.2.2 Piezoelektrische Kraftmesselemente	307

6.2.3	Körperschall- und Beschleunigungssensoren	313
6.2.4	Strom- und Leistungsmessung.....	316
6.2.5	Steuerungsinterne Informationen.....	318
6.2.6	Temperatursensoren.....	320
6.2.7	Mechanische und optische Sensoren	322
6.3	Signalverarbeitung und Mustererkennung	323
6.3.1	Analoge Signalaufbereitung.....	325
6.3.2	Digitale Vorverarbeitung.....	329
6.3.3	Merkmalsextraktion	330
6.3.4	Klassifikation	332
6.3.4.1	Feste Grenzen.....	333
6.3.4.2	Mitlaufende Schwellen	334
6.3.4.3	Mehrdimensionale Klassifikation	335
6.4	Technologische Prozessüberwachung und Prozessregelung bei verschiedenen Fertigungsverfahren.....	338
6.4.1	Drehbearbeitung.....	338
6.4.1.1	Sensorsysteme zur Drehmoment- und Zerspankraft- messung.....	338
6.4.1.2	Kraft-, Drehmoment- und Leistungsregelung bei der Drehbearbeitung	342
6.4.1.3	Automatische Schnittaufteilung für das Drehen	347
6.4.1.4	Prozessüberwachung.....	351
6.4.2	Fräsbearbeitung.....	356
6.4.2.1	Sensorsysteme und Verfahren zur Prozessüber- wachung beim Fräsen.....	356
6.4.2.2	Prozessüberwachung für die Fräsbearbeitung.....	361
6.4.2.3	Prozessregelung für die Fräsbearbeitung	367
6.4.2.4	Prozessregelung beim Gussputzen	373
6.4.2.5	Automatische Ratterbeseitigung	375
6.4.3	Bohren.....	384
6.4.3.1	Prozessüberwachung beim Bohren und Tiefbohren.....	384
6.4.3.2	Prozessregelung für das Tiefbohren.....	391
6.4.4	Schleifen	393
6.4.4.1	Prozessregelung	393
6.4.4.2	Abrichtüberwachung.....	395
6.4.5	Funkenerosive Bearbeitung	396
6.4.6	Kollisionsüberwachung	404
6.5	Statistische Prozessregelung	408

6.6 Instandhaltung und Maschinenzustandsüberwachung	411
6.6.1 Verfahren der Instandhaltung und Wartung.....	411
6.6.2 Maschinenzustandsüberwachung.....	414
6.6.3 Diagnosemöglichkeiten	422
6.6.4 Teleservice	431
Literaturverzeichnis.....	438
Sachverzeichnis	449