

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung			
1.1	Steuern, Steuerung	7		
1.1.1	Analoge, binäre und digitale Steuerungen	7	3.6.3.1	Inkrementale Sensoren
1.1.2	Verknüpfungssteuerungen und Ablaufsteuerungen	9	3.6.3.2	Codemaßstäbe und Winkelcodierer
1.1.3	Verbindungsprogrammierte Steuerungen und speicher-programmierte Steuerungen	10	3.6.3.3	Drehmelder (Resolver)
1.2	Regeln, Regelung	10	3.6.4	Sensoren zur Sicherheitstechnik
1.3	Leiten, Leitung	11	3.6.5	Störungen in Sensorleitungen
1.4	Entwicklungsphasen industrieller Technik	12	3.7	Gefährdungen und Schutzmaßnahmen
1.5	Industrie 4.0	14	3.7.1	Berührungsschutz
1.6	Cyber-Physische Systeme (CPS)	15	3.7.2	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
			3.7.3	Elektrostatische Entladungen (ESD)
			3.7.4	Arbeitsschutzmaßnahmen im Rahmen der Fachaufsicht
				100
			4	Pneumatik
2	Mechanische Steuerungen und Getriebe		4.1	Aufbau einer Pneumatikanlage
2.1	Allgemeines	16	4.2	Drucklufterzeugung
2.2	Getriebe	17	4.2.1	Verdichter (Kompressoren)
2.2.1	Schaltgetriebe	17	4.2.2	Druckluftnetze
2.2.2	Stufenlos verstellbares Getriebe	18	4.2.3	Druckluftaufbereitung
2.2.3	Reduziergetriebe als Drehmomentwandler	19	4.3	Antriebsglieder
2.3	Getriebe für Linearbewegungen	20	4.3.1	Druckluftmotoren
2.4	Ungleichförmiger Antrieb	21	4.3.2	Pneumatischer Muskel
2.5	Getriebe mit aussetzender Bewegung	23	4.3.3	Balgantrieb
			4.3.4	Dreh- und Schwenkantriebe
			4.3.5	Druckluftzylinder
			4.3.5.1	Standardzylinder
			4.3.5.2	Sonderbauarten
			4.3.5.3	Zylinderkennwerte
			4.3.5.4	Zylinderberechnungen
			4.4	Ventile und Grundsteuerungen
3	Elektrische und elektronische Steuerungen		4.4.1	Darstellung der Ventile
3.1	Elektrische Kontaktsteuerungen	24	4.4.2	Einteilung der Ventile
3.1.1	Bauelemente und Betriebsmittel	24	4.4.2.1	Wegeventile
3.1.2	Darstellung und Schaltpläne	38	4.4.2.2	Stromventile
3.1.3	Grundsaltungen	39	4.4.2.3	Sperrventile
3.2	Elektronische Bauelemente	41	4.4.2.4	Druckventile und Absperrventile
3.3	Binäre und digitale Steuerungen	45	4.4.2.5	Ventilinseln
3.3.1	Codierungen	45	4.5	Grafische Darstellung
3.3.1.1	Dualcode	45	4.5.1	Aufbau eines Schaltplans
3.3.1.2	BCD-Codes	46	4.5.2	Funktionsdiagramme
3.3.1.3	Barcodes	46	4.5.2.1	Wegdiagramm
3.3.1.4	2D-Codes	46	4.5.2.2	Zustandsdiagramm
3.3.2	Digitale Speicher	47	4.6	Proportionaltechnik
3.3.2.1	Mechanische Speicher	47	4.6.1	Proportional-Druckregelventile
3.3.2.2	Magnetische Speicher	48	4.6.2	Proportional-Wegeventile
3.3.2.3	Elektronische Speicher	49	4.7	Pneumatische Positioniersysteme
3.3.3	Binäre Verknüpfungen	51	4.8	Beispiele pneumatischer Steuerungen
3.3.4	Schaltalgebra	54	4.8.1	Wegplansteuerung einer Biegevorrichtung
3.3.5	Kombinatorische Steuerungen	55	4.8.2	Spannen von Werkstücken
3.3.6	Ablaufsteuerungen	60	4.8.3	Beispiel: Werkstücke heben
3.3.6.1	Elektromechanische Ablaufsteuerungen	61	4.9	Elektropneumatische Steuerungen
3.3.6.2	Ablaufsteuerungen mit Kippgliedern (Flipflops)	61	4.9.1	Elektropneumatische Betriebsmittel
3.3.6.3	Zähler	64	4.9.2	Direkte und indirekte Steuerung
3.4	GRAF CET	67	4.9.3	Selbsthalteschaltung
3.4.1	Schritte	68	4.9.4	Darstellung
3.4.2	Aktionen	69	4.9.5	Stetigantrieb
3.4.3	Transitionen und Ablaufstrukturen	70	4.9.6	Ablaufsteuerung
3.4.4	Beispiel zu GRAF CET	72		
3.5	Wegdiagramm und Zustandsdiagramm	73		
3.6	Sensoren	74		
3.6.1	Allgemeines	74		
3.6.2	Analoge Sensoren	75	5	Hydraulik
3.6.2.1	Wege, Winkel, Abstände und Dicken	75	5.1	Allgemeines
3.6.2.2	Geschwindigkeiten und Drehzahlen	82	5.2	Physikalische Grundlagen
3.6.2.3	Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke	83	5.2.1	Hydrostatik
3.6.2.4	Beschleunigungen	85	5.2.2	Hydrodynamik
3.6.2.5	Temperaturen	86	5.3	Hydraulikflüssigkeiten
3.6.3	Digitale Sensoren	88		

5.4	Aufbau hydraulischer Steuerungen	149	7.4.6	Funktionsbaustein für Schrittketten	231
5.4.1	Hydraulikpumpen	150	7.4.7	Funktionsbaustein für die Befehlsausgabe	232
5.4.1.1	Zahnradpumpen	150	7.4.8	Zustandsautomaten	232
5.4.1.2	Kolbenpumpen	151	7.5	Analogwertverarbeitung	234
5.4.1.3	Flügelzellenpumpe	151	7.6	Programmieren mit strukturiertem Text (ST)	237
5.6	Hydraulikspeicher	152	7.6.1	Digitale Regelung	237
5.7	Antriebselemente	154	7.6.2	Zweipunktregler	238
5.7.1	Hydraulikzylinder	154	7.6.3	PID-Reglerbaustein	239
5.7.2	Hydraulikmotoren	155	7.7	Bedienen und Beobachten von Produktionsprozessen	241
5.8	Hydraulikventile	157	7.8	Bedienen und Beobachten mit mobilen Endgeräten	242
5.8.1	Allgemeines	157	7.9	Kleinsteuerung LOGO!	244
5.8.2	Druckventile	158	8	Elektrische Antriebe	
5.8.3	Wegeventile	161	8.1	Einführung	248
5.8.4	Sperrventile	162	8.2	Rechnerische Grundlagen	250
5.8.5	Stromventile	163	8.3	Gleichstrommotoren (DC-Motoren)	253
5.8.6	Ventilaufbauarten	166	8.4	Drehstromasynchronmotor	255
5.8.7	Stetigventile	168	8.4.1	Aufbau des Kurzschlussläufers	255
5.8.8	Proportionalventiltechnik	169	8.4.2	Das Drehfeld	256
5.8.9	Servoventile	175	8.4.3	Funktionsweise	257
6	Regelungstechnik		8.4.4	Anlasssteuerungen	258
6.1	Grundbegriffe	177	8.4.5	Drehrichtungsumkehr	259
6.2	Regelungsarten	178	8.4.6	Betriebsarten und Fahrprofile	259
6.3	Regelkreisglieder	180	8.4.7	Drehzahlsteuerung und Drehzahlregelung	260
6.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	180	8.4.7.1	Allgemeines und Einteilung	260
6.3.2	Proportionalglied mit Verzögerung		8.4.7.2	U/f-Steuerung	261
	1. Ordnung (P-T ₁ -Glied)	181	8.4.7.3	Vektorregelung	262
6.3.3	Proportionalglied mit Verzögerung		8.5	Drehstromsynchronmotor	264
	2. Ordnung (P-T ₂ -Glied), Schwingungsglied	182	8.5.1	Servoantriebe	264
6.3.4	Integralglied (I-Glied)	185	8.5.2	Direktantriebe	265
6.3.5	Differenzierglied (D-Glied)	186	8.5.2.1	Torque-Motoren	265
6.3.6	Totzeitglied (T _r -Glied)	186	8.5.2.2	Linearmotoren	267
6.3.7	Zusammenwirken mehrerer Regelkreisglieder	188	8.6	Schrittmotoren	267
6.4	Regler und Regelkreise	189	8.7	Lageregelung (Positionierantriebe)	268
6.4.1	Schaltende Regler	189	8.7.1	Kaskadenregelung	268
6.4.2	Analoge Regler	190	8.7.2	Geschwindigkeitsvorsteuerung	269
6.4.3	Digitale Regler (Software-Regler)	192	8.7.3	Analoger und digitaler Drehzahlregelkreis	270
6.4.3.1	Digitalisierung und Signalabtastung	192	9	Computergesteuerte Maschinen	
6.4.3.2	Regelungsalgorithmus	193	9.1	CNC-Werkzeugmaschinen	271
6.4.4	Regelung von P-Strecken	196	9.1.1	Der Produktionsprozess	271
6.4.5	Regelung von I-Strecken	197	9.1.2	NC-Achsen und deren Steuerung	274
6.4.6	Einstellen eines Reglers	198	9.1.3	CNC-Programmierung	276
6.4.7	Selbstoptimierende Regler	199	9.1.3.1	DIN-Programmierung	276
			9.1.3.2	Werkstatorientiertes Produzieren (WOP)	286
7	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)		9.1.4	Interpolation	288
7.1	Aufbau und Funktionsweise	200	9.1.5	Leistungsfähigkeit	290
7.2	Programmierung	203	9.1.6	Offene CNC-Steuerung	292
7.2.1	Programmiersprachen	203	9.2	3D-Druck – Additive Fertigungsverfahren	293
7.2.2	Programmaufbau	206	9.2.1	Allgemeines	293
7.3	Funktionen und Operationen	210	9.2.2	AM-Verfahren	294
7.3.1	Binäre Abfragen und Verknüpfungen	210	9.2.3	Die Informationskette und die Prozesskette	296
7.3.2	SR/RS-Speicherfunktionen	213	9.3	Robotertechnik	297
7.3.3	Flankenbewertung	215	9.3.1	Einteilung	297
7.3.4	Zeitfunktionen	216	9.3.2	Der kinematische Aufbau	299
7.3.5	Zählfunktionen	218	9.3.2.1	Die RRR-Kinematik	302
7.3.6	Arithmetische und numerische Funktionen	220	9.3.2.2	Der Gewichtsausgleich	303
7.3.7	Übertragungsfunktionen und Programmsteuerungsfunktionen	220	9.3.3	Greifer	304
7.3.8	Digitale Operationen	221	9.3.4	Roboterprogrammierung	305
7.4	Ablaufsteuerungen	223	9.3.5	Die Bewegungserzeugung	307
7.4.1	Gliederung und Darstellung	223	9.3.5.1	Koordinatensysteme	307
7.4.2	Beispiel für eine Ablaufsteuerung	224	9.3.5.2	Robotersteuerung	309
7.4.3	Programmierung in Ablaufsprache	227	9.3.5.3	Achsstellungen	310
7.4.4	Betriebsartensignale	229			
7.4.5	Funktionsbaustein für Betriebsarten	230			

9.3.5.4	Überschleifen und Pendeln	312	12.3.1	Energie-Monitoring	373
9.3.5.5	Robotersensorführung	313	12.3.2	Energiewertstrom	373
9.3.6	Kollaborierende Roboter	315	12.3.3	Lastmanagement	374
9.3.7	Schutzmaßnahmen	316	12.4	Energieeffiziente Geräte und Anlagen	375
10	Montagetechnik		13	Geschäftsprozesse	
10.1	Grundlagen	317	13.1	Managementaufgaben	376
10.2	Der Materialfluss	320	13.2	Prozessmanagement	377
10.2.1	Lagern	320	13.3	Produkt-Daten-Management	378
10.2.2	Puffern	321	13.4	Gestaltungsmethoden für Prozessketten	380
10.2.3	Bunkern	322	13.5	Projektmanagement	382
10.2.4	Magazinieren	323	13.6	Informationsmanagement	383
10.2.5	Fördersysteme	324	13.7	Planungsinstrumente	385
10.2.5.1	Transporttische und Rutschen	324	13.8	Moderation	391
10.2.5.2	Rollenförderer	324	13.9	Präsentation	391
10.2.5.3	Bandförderer	325	13.9.1	Inhalt und visuelle Darstellung	392
10.2.5.4	Hängeförderer	325	13.9.2	Präsentationsgrafik mit PowerPoint	393
10.2.5.5	Fahrerlose Transportsysteme (FTS)	326	14	Arbeitsgestaltung und Arbeitsschutz	
10.3	Fügen in der Montage	327	14.1	Der Mensch ist das Maß	394
10.3.1	Fügestrukturen	327	14.2	Arbeitsplatzgestaltung	395
10.3.2	Schrauben	327	14.3	Arbeitsbelastungen	399
10.3.3	Umformen	331	14.3.1	Arbeitsbelastung durch die Art der Arbeit	399
10.3.4	Kleben und Abdichten (Sealen)	332	14.3.2	Belastungen durch die Arbeitsorganisation	400
10.3.5	Thermisches Fügen	333	14.4	EU-Maschinenrichtlinie	402
10.3.6	Zusammenlegen	335	14.4.1	Sicherheit und Gesundheitsschutz	402
10.3.7	Schrumpfen	335	14.4.2	Kenzeichnung und Betriebsanleitung	404
10.4	Montageplätze	336	14.5	Europäische Sicherheitsnormen	405
10.4.1	Manuelle Montage	336	15	Informations- und Kommunikationstechnik	
10.4.2	Maschinelle Montage	337	15.1	Computertechnik	406
10.5	Montageorganisation	338	15.1.1	Der PC	406
10.5.1	Topologie	338	15.1.2	Objektorientierte Software	409
10.5.2	Montageablauf	338	15.1.3	Steuern mit PC	412
10.6	Erzeugnisgliederung und Montagefolge	340	15.1.4	Schaltplanerstellen mit FluidSIM®	417
10.7	Taktgebundene Montage	342	15.1.5	Steuern und Regeln mit FluidSIM®	418
11	Qualitätsmanagement		15.2	Kommunikationstechnik	419
11.1	Qualität	343	15.2.1	Lokale Kommunikation	419
11.1.1	Qualitätsmerkmale	344	15.2.2	Lokale Netze (LAN)	421
11.1.2	Fehler	344	15.2.3	Feldbussysteme	423
11.2	Ziele des Qualitätsmanagements	345	15.2.3.1	CAN-Bus	423
11.3	TQM – Total Quality Management	345	15.2.3.2	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	424
11.4	Qualitätskreis und Qualitätspyramide	346	15.2.3.3	Aktor-Sensor-Interface (AS-i)	425
11.5	Aufbau und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems	347	15.2.3.4	IO-Link	427
11.5.1	Aufbauorganisation	347	15.2.4	Serielle Schnittstelle (V.24)	428
11.5.2	Ablauforganisation	348	16	Aufgaben und Übungen	
11.5.3	DIN EN ISO 9000	348	16.1	Aufgaben und Übungen zur Pneumatik	429
11.5.4	Zertifizierung	350	16.2	Aufgaben und Übungen zur Hydraulik	434
11.6	Statistische Qualitätslenkung	350	16.3	Aufgaben und Übungen zu GRAFCET	436
11.6.1	Prozessanalyse	351	16.4	Aufgaben und Übungen zur SPS	437
11.6.2	Qualitätsregelkarten	353	16.5	Aufgaben und Übungen zur Regelungstechnik	450
11.6.3	Maschinen- und Prozessfähigkeit	354	16.6	Aufgaben und Übungen zu elektrischen Antrieben	452
12	Instandhaltung und Energieeffizienz		16.7	Aufgaben und Übungen zur CNC-Technik	453
12.1	Instandhaltung	355	Sachwortverzeichnis	454	
12.1.1	Begriffe	355	Quellenverzeichnis	463	
12.1.2	Wartung	358			
12.1.3	Inspektion	362			
12.1.4	Instandsetzung	364			
12.1.5	Inbetriebnahme	365			
12.1.6	Fehlersuche	367			
12.1.7	Reparatur	368			
12.2	Condition-Monitoring (Zustandsbedingte Instandhaltung)	369			
12.3	Energieeffizienz	373			