

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung		
1.1	Steuern, Steuerung	7	4.2.4 Temperaturen 92
1.1.1	Analoge, binäre und digitale Steuerungen	7	4.2.5 Sensoren für Strömungen 94
1.1.2	Verknüpfungssteuerungen und Ablaufsteuerungen	9	4.3 Digitale Sensoren 95
1.1.3	Verbindungsprogrammierte Steuerungen und speicherprogrammierte Steuerungen	10	4.3.1 Inkrementale Sensoren 95
1.2	Regeln, Regelung	10	4.3.2 Codemaßstäbe und Winkelcodierer 97
1.3	Leiten, Leitung	11	4.3.3 Drehmelder (Resolver) 98
1.4	Entwicklungsphasen industrieller Technik	12	4.4 Sensorsysteme der Sicherheitstechnik 99
1.5	Industrie 4.0	14	4.5 Störungen in Sensorleitungen 102
1.6	Cyber-Physische Systeme (CPS)	15	
2	Mechanische Steuerungen und Getriebe		5 Pneumatik
2.1	Allgemeines	16	5.1 Aufbau einer Pneumatikanlage 104
2.2	Getriebe	17	5.2 Drucklufterzeugung 106
2.2.1	Schaltgetriebe	17	5.2.1 Verdichter (Kompressoren) 106
2.2.2	Stufenlos verstellbares Getriebe	18	5.2.2 Druckluftnetze 109
2.2.3	Reduziergetriebe als Drehmomentwandler	19	5.2.3 Druckluftaufbereitung 110
2.3	Getriebe für Linearbewegungen	20	5.3 Antriebsglieder 111
2.4	Ungleichförmiger Antrieb	21	5.3.1 Druckluftmotoren 111
3	Elektrische und elektronische Steuerungen		5.3.2 Pneumatischer Muskel 113
3.1	Elektrische Kontaktsteuerungen	23	5.3.3 Balgantrieb 113
3.1.1	Bauelemente und Betriebsmittel	23	5.3.4 Dreh- und Schwenkantriebe 114
3.1.2	Grundschaltungen	38	5.3.5 Druckluftzylinder 114
3.2	Elektronische Bauelemente	40	5.3.5.1 Standardzylinder 114
3.3	Binäre und digitale Steuerungen	44	5.3.5.2 Sonderbauarten 117
3.3.1	Codierungen	44	5.3.5.3 Zylinderkennwerte 118
3.3.2	Digitale Speicher	46	5.3.5.4 Zylinderberechnungen 118
3.3.2.1	Mechanische Speicher	46	5.3.5.5 Vakuumtechnik 119
3.3.2.2	Magnetische Speicher	47	5.4 Ventile und Grundsteuerungen 120
3.3.2.3	Elektronische Speicher	48	5.4.1 Darstellung der Ventile 120
3.3.3	Binäre Verknüpfungen	50	5.4.2 Einteilung der Ventile 122
3.3.4	Schaltalgebra	53	5.4.2.1 Wegeventile 122
3.3.5	Kombinatorische Steuerungen	54	5.4.2.2 Stromventile 124
3.3.6	Ablaufsteuerungen	57	5.4.2.3 Sperrventile 125
3.3.6.1	Elektromechanische Ablaufsteuerungen	58	5.4.2.4 Druckventile und Absperrventile 127
3.3.6.2	Ablaufsteuerungen mit Kippgliedern (Flipflops)	58	5.4.2.5 Ventilinseln 128
3.3.6.3	Zähler	61	5.5 Grafische Darstellung 129
3.4	GRAFCET	64	5.5.1 Aufbau eines Schaltplans 129
3.4.1	Schritte	65	5.5.2 Funktionsdiagramme 131
3.4.2	Aktionen	66	5.5.2.1 Wegdiagramm 132
3.4.3	Transitionen und Ablaufstrukturen	67	5.5.2.2 Zustandsdiagramm 132
3.4.4	Beispiel zu GRAFCET	69	5.6 Proportionaltechnik 135
3.5	Wegdiagramm und Zustandsdiagramm	70	5.6.1 Proportional-Druckregelventile 135
3.6	Gefährdungen und Schutzmaßnahmen	71	5.6.2 Proportional-Wegeventile 136
3.6.1	Berührungsschutz	71	5.7 Pneumatische Positioniersysteme 136
3.6.2	Elektrostatische Entladungen (ESD)	72	5.8 Beispiele für pneumatische Steuerungen 138
3.6.3	Arbeitsschutzmaßnahmen im Rahmen der Fachaufsicht	72	5.9 Elektropneumatische Steuerungen 141
3.6.4	Erdung und Potenzialausgleich	73	5.9.1 Elektropneumatische Betriebsmittel 141
3.6.5	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	74	5.9.2 Direkte und indirekte Steuerung 142
4	Sensoren und Sensorsysteme		5.9.3 Selbstthalteschaltung 143
4.1	Allgemeines	76	5.9.4 Darstellung 143
4.2	Analoge Sensoren	77	5.9.5 Stetigantrieb 144
4.2.1	Wege, Winkel, Abstände und geometrische Strukturen	77	5.9.6 Ablaufsteuerung 144
4.2.2	Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke	89	
4.2.3	Beschleunigungen und Geschwindigkeiten	91	6 Hydraulik
			6.1 Allgemeines 146
			6.2 Physikalische Eigenschaften 146
			6.2.1 Hydrostatik 146
			6.2.2 Hydrodynamik 148
			6.3 Hydraulikflüssigkeiten 149
			6.4 Aufbau hydraulischer Steuerungen 151
			6.4.1 Hydraulikpumpen 152
			6.4.1.1 Zahnradpumpen 152
			6.4.1.2 Kolbenpumpen 153
			6.4.1.3 Flügelzellenpumpe 153
			6.5 Hydraulikspeicher 154

6.6	Antriebselemente	156	8.6	Programmieren mit strukturiertem Text (ST)	239
6.6.1	Hydraulikzylinder	156	8.6.1	Digitale Regelung	239
6.6.2	Hydraulikmotoren	157	8.6.2	Zweipunktregler	240
6.7	Hydraulikventile	159	8.6.3	PID-Reglerbaustein	241
6.7.1	Allgemeines	159	8.7	Bedienen und Beobachten von Produktionsprozessen	243
6.7.2	Druckventile	160	8.8	Bedienen und Beobachten mit mobilen Endgeräten	244
6.7.3	Wegeventile	163	8.9	Kleinsteuerung LOGO!	246
6.7.4	Sperrventile	164	9	Elektrische Antriebe und Aktoren	
6.7.5	Stromventile	165	9.1	Einführung	250
6.7.6	Ventilaufbauarten	168	9.2	Rechnerische Grundlagen	252
6.7.7	Stetigventile	170	9.3	Gleichstrommotoren (DC-Motoren)	255
6.7.8	Proportionalventiltechnik	171	9.4	Drehstromasynchronmotor	257
6.7.9	Servoventile	177	9.4.1	Aufbau des Kurzschlussläufers	257
7	Regelungstechnik		9.4.2	Das Drehfeld	258
7.1	Grundbegriffe	179	9.4.3	Funktionsweise	259
7.2	Regelungsarten	180	9.4.4	Anlasssteuerungen	260
7.3	Regelkreisglieder	182	9.4.5	Drehrichtungsumkehr	261
7.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	182	9.4.6	Betriebsarten und Fahrprofile	261
7.3.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (P-T ₁ -Glied)	183	9.4.7	Drehzahlsteuerung und Drehzahlregelung	262
7.3.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (P-T ₂ -Glied), Schwingungsglied	184	9.4.7.1	Allgemeines und Einteilung	262
7.3.4	Integralglied (I-Glied)	187	9.4.7.2	UIf-Steuerung	263
7.3.5	Differenzierglied (D-Glied)	188	9.4.7.3	Vektorregelung	264
7.3.6	Totzeitglied (T _z -Glied)	188	9.5	Drehstromsynchronmotor	266
7.3.7	Zusammenwirken mehrerer Regelkreisglieder	190	9.5.1	Servoantriebe	266
7.4	Regler und Regelkreise	191	9.5.2	Direktantriebe	268
7.4.1	Schaltende Regler	191	9.5.2.1	Torque-Motoren	268
7.4.2	Analoge Regler	192	9.5.2.2	Linearmotoren	269
7.4.3	Digitale Regler (Software-Regler)	194	9.5.3	Schrittmotoren	269
7.4.3.1	Digitalisierung und Signalabtastung	194	9.6	Mechatronische Aktoren	270
7.4.3.2	Regelungsalgorithmus	195	9.6.1	Piezooaktoren	270
7.4.3.3	PID-Stellungsalgorithmus	196	9.6.2	Tauchspulen-Linearkaktoren	271
7.4.3.4	PID-Geschwindigkeitsalgorithmus	197	9.6.3	Kapazitive Mikroaktoren	271
7.4.4	Regelung von P-Strecken	198	9.6.4	Thermische Aktoren	272
7.4.4.1	Drehzahlregelung mit PI-Regler	198	9.6.4.1	Thermobimetall-Aktoren	272
7.4.5	Regelung von I-Strecken	199	9.6.4.2	Dehnstoff-Aktoren	273
7.4.6	Einstellen eines Reglers	200	9.6.4.3	Memory-Metall-Aktoren	273
7.4.7	Selbstoptimierende Regler	201	9.7	Lageregelung (Positionierantriebe)	274
8	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)		9.7.1	Kaskadenregelung	274
8.1	Aufbau und Funktionsweise	202	9.7.2	Geschwindigkeitsvorsteuerung	275
8.2	Programmierung	205	9.7.3	Analoger und digitaler Drehzahlregelkreis	276
8.2.1	Programmiersprachen	205	10	Computergesteuerte Maschinen	
8.2.2	Programmaufbau	208	10.1	CNC-Werkzeugmaschinen	277
8.3	Funktionen und Operationen	212	10.1.1	Der Produktionsprozess	277
8.3.1	Binäre Abfragen und Verknüpfungen	212	10.1.2	NC-Achsen und deren Steuerung	280
8.3.2	SR/RS-Speicherfunktionen	215	10.1.3	CNC-Programmierung	282
8.3.3	Flankenauswertung	217	10.1.3.1	DIN-Programmierung	282
8.3.4	Zeitfunktionen	218	10.1.3.2	Werkstattorientiertes Produzieren (WOP)	292
8.3.5	Zählfunktionen	220	10.1.4	Interpolation	294
8.3.6	Arithmetische und numerische Funktionen	222	10.1.5	Leistungsfähigkeit	296
8.3.7	Übertragungsfunktionen und Programmsteuerungsfunktionen	222	10.1.6	Offene CNC-Steuerung	298
8.3.8	Digitale Operationen	223	10.2	3D-Druck – Additive Fertigungsverfahren	299
8.4	Ablaufsteuerungen	225	10.2.1	Allgemeines	299
8.4.1	Gliederung und Darstellung	225	10.2.2	AM-Verfahren	300
8.4.2	Beispiel für eine Ablaufsteuerung	226	10.2.3	Die Informationskette und die Prozesskette	302
8.4.3	Programmierung in Ablaufsprache	229	10.3	Robotertechnik	303
8.4.4	Betriebsartensignale	231	10.3.1	Einteilung	303
8.4.5	Funktionsbaustein für Betriebsarten	232	10.3.2	Der kinematische Aufbau	305
8.4.6	Funktionsbaustein für Schrittketten	233	10.3.2.1	Die RRR-Kinematik	308
8.4.7	Funktionsbaustein für die Befehlausgabe	234	10.3.2.2	Der Gewichtsausgleich	309
8.4.8	Zustandsautomaten	234	10.3.3	Greifer	310
8.5	Analogwertverarbeitung	236	10.3.4	Roboterprogrammierung	311
			10.3.5	Die Bewegungserzeugung	313

10.3.5.1	Koordinatensysteme	313	14.3.1	Energie-Monitoring	389
10.3.5.2	Robotersteuerung	315	14.3.2	Energiewertstrom	389
10.3.5.3	Achsstellungen	316	14.3.3	Lastmanagement	390
10.3.5.4	Überschleifen und Pendeln	318	14.4	Energieeffiziente Geräte und Anlagen	391
10.3.5.5	Robotersensorführung	319			
10.3.6	Kollaborierende Roboter	321	15	Geschäftsprozesse	
10.3.7	Schutzmaßnahmen	322	15.1	Managementaufgaben	392
11	Materialflussautomatisierung		15.2	Prozessmanagement	393
11.1	Fördersysteme	324	15.3	Produkt-Daten-Management	394
11.2	Fahrerlos Transportieren	327	15.4	Gestaltungsmethoden für Prozessketten	396
11.3	Puffersysteme	328	15.5	Projektmanagement	398
11.4	Bunkersysteme	328	15.6	Informationsmanagement	399
11.5	Magazinsysteme	329	15.7	Planungsinstrumente	401
11.6	Sortieranlagen	330	15.8	Moderation	407
11.7	Verkettungssysteme	331	15.9	Präsentation	407
12	Montageautomatisierung		15.9.1	Inhalt und visuelle Darstellung	408
12.1	Grundlagen	332	15.9.2	Präsentationsgrafik mit PowerPoint	409
12.2	Fügeverfahren in der Montage	335	16	Arbeitsgestaltung und Arbeitsschutz	
12.2.1	Zusammensetzen, Anpressen und Eindrücken	336	16.1	Der Mensch ist das Maß	410
12.2.1.1	Zusammensetzen	336	16.2	Arbeitsplatzgestaltung	411
12.2.1.2	Anpressen und Eindrücken	336	16.3	Arbeitsbelastungen	415
12.2.1.3	Verschrauben	337	16.3.1	Arbeitsbelastung durch die Art der Arbeit	415
12.2.2	Fügen durch Umformen	342	16.3.2	Belastungen durch die Arbeitsorganisation	416
12.2.3	Fügen durch Schweißen	344	16.4	EU-Maschinenrichtlinie	418
12.2.4	Fügen durch Löten	349	16.4.1	Sicherheit und Gesundheitsschutz	418
12.2.5	Fügen durch Kleben	351	16.4.2	Kennzeichnung und Betriebsanleitung	420
12.3	Montageautomaten	353			
12.4	Montagefolge und Erzeugnislösung	354	17	Informations- und Kommunikationstechnik	
12.5	Beispiel Motorenmontage	356	17.1	Computertechnik	422
12.5.1	Logistik und Layout	356	17.1.1	Der PC	422
12.5.2	Wareneingang	357	17.1.2	Objektorientierte Software	425
12.5.3	Montage des Basismotors	358	17.1.3	Steuern mit PC	428
13	Qualitätsmanagement		17.1.4	Schaltplanerstellen mit FluidSIM	433
13.1	Qualität	359	17.1.5	Steuern und Regeln mit FluidSIM	434
13.1.1	Qualitätsmerkmale	360	17.2	Kommunikationstechnik	435
13.1.2	Fehler	360	17.2.1	Lokale Kommunikation	435
13.2	Ziele des Qualitätsmanagements	361	17.2.2	Lokale Netze (LAN)	437
13.3	TQM – Total Quality Management	361	17.2.3	Feldbusysteme	439
13.4	Qualitätskreis und Qualitätspyramide	362	17.2.3.1	CAN-Bus	439
13.5	Aufbau und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems	363	17.2.3.2	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	440
13.5.1	Aufbauorganisation	363	17.2.3.3	Aktor-Sensor-Interface (AS-i)	441
13.5.2	Ablauforganisation	364	17.2.3.4	IO-Link	443
13.5.3	DIN EN ISO 9000	364	17.2.4	Serielle Schnittstelle V.24	444
13.5.4	Zertifizierung	366	17.2.5	Serielle Schnittstelle RS 485	446
13.6	Statistische Qualitätslenkung	366			
13.6.1	Prozessanalyse	367	18	Aufgaben und Übungen	
13.6.2	Qualitätsregelkarten	369	18.1	Aufgaben und Übungen zur Pneumatik	447
13.6.3	Maschinen- und Prozessfähigkeit	370	18.2	Aufgaben und Übungen zur Hydraulik	452
14	Instandhaltung und Energieeffizienz		18.3	Aufgaben und Übungen zu GRAFCET	454
14.1	Instandhaltung	371	18.4	Aufgaben und Übungen zur SPS	455
14.1.1	Begriffe	371	18.5	Aufgaben und Übungen zur Regelungstechnik	468
14.1.2	Wartung	374	18.6	Aufgaben und Übungen zu elektrischen Antrieben	470
14.1.3	Inspektion	378	18.7	Aufgaben und Übungen zur CNC-Technik	471
14.1.4	Instandsetzung	380			
14.1.5	Inbetriebnahme	381			
14.1.6	Fehlersuche	383			
14.1.7	Reparatur	384			
14.2	Condition-Monitoring (Zustandsbedingte Instandhaltung)	385	Verzeichnis der Sachworte und der Personen	472	
14.3	Energieeffizienz	389	Quellenverzeichnis	480	