

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen				
1.1	Physikalische Größen	11	1.9	Halbleiter	89
1.1.1	Kraftfelder	11	1.9.1	Kristallaufbau	89
1.1.2	Masse und Kraft	11	1.9.2	Eigenleitung	89
1.1.3	Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten	12	1.9.3	Störstellenleitung	89
1.1.4	Kraft als Beispiel eines Vektors	13	1.9.4	Halbleiterdioden	90
1.1.5	Arbeit	13	1.9.4.1	Sperrschicht	90
1.1.6	Energie	14	1.9.4.2	Sperrschichtkapazität	91
1.2	Elektrotechnische Grundgrößen	15	1.9.4.3	Rückwärtsrichtung und Vorwärtsrichtung	91
1.2.1	Ladung	15	1.9.4.4	Elektrischer Durchbruch	93
1.2.2	Spannung	16	1.9.4.5	Bauformen von Halbleiterdioden	94
1.2.3	Elektrischer Strom	17	1.9.4.6	Fotodioden, Fotowiderstände und Fotoelemente	96
1.2.4	Elektrischer Widerstand	18	1.9.4.7	LED und Optokoppler	98
1.2.5	Ohm'sches Gesetz	19	1.9.5	Arbeitspunkt	100
1.2.6	Widerstand und Temperatur	20	1.10	Schaltungstechnik und Funktionsanalyse	102
1.2.7	Stromdichte	21	1.10.1	Schaltungsunterlagen der Elektrotechnik	102
1.2.8	Bauformen der Widerstände	21	1.10.2	Referenzkennzeichnung in der Elektrotechnik	103
1.2.8.1	Festwiderstände	21	1.10.3	Schaltungen mit Installationsschaltern	105
1.2.8.2	Veränderbare Widerstände	23	1.10.4	Schaltfunktion	105
1.2.8.3	Heißleiterwiderstände NTC	23	1.10.5	Schützsicherungen	107
1.2.8.4	Kaltleiterwiderstände PTC	23	1.10.6	Schaltungen mit Zeitschaltern	110
1.2.8.5	Spannungsabhängige Widerstände VDR	24	1.10.7	Multifunktionsrelais (MFR)	111
1.2.9	Gefahren des elektrischen Stromes	24	1.11	Werkstoffe	112
1.3	Grundschaltungen	26	1.11.1	Grundlagen	112
1.3.1	Bezugspfeile	26	1.11.2	Periodensystem	112
1.3.2	Reihenschaltung	27	1.11.3	Chemische Bindungen	112
1.3.3	Parallelschaltung	29	1.11.4	Säuren, Basen und Salze	113
1.3.4	Gemischte Schaltungen	31	1.11.5	Elektrochemie	114
1.3.4.1	Spannungsteiler	31	1.11.6	Korrosion	117
1.3.4.2	Messen elektrischer Grundgrößen	33	1.11.7	Leiterplatten	118
1.3.4.3	Widerstandsbestimmung durch indirekte Messung	34	1.11.8	Lote und Flussmittel	119
1.4	Leistung, Arbeit, Wärme	35	1.11.9	Isolierstoffe	120
1.4.1	Elektrische Leistung	35			
1.4.2	Elektrische Arbeit	37	2	Anwendungen der Grundlagen	
1.4.3	Mechanische Leistung	38	2.1	Blindwiderstände an Sinuswechselspannung	121
1.4.4	Wirkungsgrad	38	2.1.1	Wechselstromwiderstand des Kondensators	121
1.4.5	Temperatur und Wärme	40	2.1.2	Wechselstromwiderstand der Spule	122
1.4.6	Wärmeübertragung	41	2.1.3	Schaltungen von nicht gekoppelten Spulen	123
1.4.7	Leistungshyperbel	43	2.2	RC-Schaltungen und RL-Schaltungen	124
1.5	Spannungserzeuger	44	2.2.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	124
1.5.1	Arten der Spannungserzeugung	44	2.2.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	126
1.5.2	Belastungsfälle einer Spannungsquelle	45	2.2.3	Verluste im Kondensator	127
1.5.3	Anpassung	46	2.2.4	Verluste in der Spule	128
1.5.4	Schaltungen von Spannungserzeugern	48	2.2.5	Impulsverformung	129
1.5.5	Ersatzspannungsquelle und Ersatzstromquelle	49	2.2.6	Siebschaltungen	131
1.6	Wechselspannung und Wechselstrom	50	2.3	Schwingkreise	135
1.7	Spannung und elektrisches Feld	57	2.3.1	Reihenschwingkreis	135
1.7.1	Elektrisches Feld	57	2.3.2	Parallelschwingkreis	136
1.7.2	Kondensator	59	2.3.3	Kennfrequenz f_0 und Resonanzfrequenz f_r	137
1.7.3	Schaltungen von Kondensatoren	62	2.3.4	Bandbreite und Güte	138
1.7.4	Kondensator im Gleichstromkreis	63	2.4	Leistungen bei Wechselstrom	139
1.7.5	Bauformen der Kondensatoren	64	2.4.1	Wirkleistung	139
1.8	Strom und Magnetfeld	68	2.4.2	Blindleistung, Scheinleistung	139
1.8.1	Magnetisches Feld	68	2.4.3	Leistungs-dreiecke	140
1.8.2	Elektromagnetische Baugruppen	76	2.4.4	Leistungsfaktor	141
1.8.2.1	Elektromagnete	76	2.4.5	Leistungen bei Dreiphasenwechselspannung	142
1.8.2.2	Relais	76	2.4.5.1	Entstehung des Drehstromes	142
1.8.3	Strom im Magnetfeld	78	2.4.5.2	Sternschaltung	143
1.8.4	Induktion	81	2.4.5.3	Dreieckschaltung	144
1.8.5	Spule im Gleichstromkreis	87	2.4.5.4	Ermittlung der Leistung	145
1.8.6	Bauformen der Spulen	87	2.4.6	Kompensation von Blindwiderständen	146

2.5	Transformatoren	148
2.5.1	Aufbau und Wirkungsweise	148
2.5.2	Aufbau von Transformatoren	148
2.5.3	Idealer Transformator	149
2.5.4	Realer Transformator im Leerlauf	151
2.5.5	Besondere Transformatoren	152
2.6	Weitere elektronische Bauelemente	155
2.6.1	Besondere Halbleiterdioden	155
2.6.1.1	Z-Dioden	155
2.6.1.2	Schottkydioden	156
2.6.1.3	SiC-Dioden	156
2.6.2	Bipolare Transistoren	156
2.6.3	Unipolare Transistoren (FET)	161
2.6.4	HEM-Transistoren	166
2.6.4.1	SiC-MOSFET	166
2.6.4.2	GaN-MOSFET	167
2.6.5	IGBT	167
2.6.6	Thyristoren	169
2.6.7	Triac	171
2.6.8	Diac	171
2.6.9	Vierschichtdiode	171
2.6.10	Thyristortetrode	172
2.7	Thyristoren mit integrierten Bauelementen	172
2.7.1	ACR	173
2.7.2	MCT	173
2.7.3	Integrierte Schaltungen (IC)	174
2.8	Laser	175
2.9	Elektronische Schaltungen mit Energie versorgen	178
2.9.1	Netzgeräte	178
2.9.2	Prinzip der Gleichrichtung	178
2.9.3	Gleichrichterschaltungen	179
2.9.4	Glatten der gleichgerichteten Spannung	182
2.9.5	Stabilisieren	184
2.9.5.1	Stabilisierungsfaktor	184
2.9.5.2	Lineare Spannungsregler	185
2.9.5.3	Lineare Spannungsregler-ICs	187
2.9.6	Projektaufgabe Netzteil	189
2.10	Verstärker	192
2.10.1	Grundbegriffe	192
2.10.2	Verstärker mit bipolaren Transistoren	196
2.10.2.1	Verstärkergrundschaltungen	196
2.10.2.2	Arbeitspunkt	197
2.10.2.3	Emitterschaltung	198
2.10.2.4	Gegenkopplung	200
2.10.2.5	Gegentaktschaltungen	201
2.10.3	Verstärker mit Feldeffekttransistoren	202
2.10.4	Verstärker für den D-Betrieb	205
2.10.5	Operationsverstärker	206
2.10.5.1	Eigenschaften	206
2.10.5.2	Schaltungsaufbau	207
2.10.5.3	Betriebsverhalten	207
2.10.5.4	Grundschaltungen	208
2.10.6	Instrumentenverstärker	214
2.10.7	Treiberverstärker	215
2.11	Generatoren und Kippschaltungen	216
2.11.1	Sinusgeneratoren	216
2.11.2	Sägezahngenerator	218
2.11.3	Elektronische Schalter	218
2.11.4	Bistabile Kippschaltung	220
2.11.5	Zeitgeberbaustein NE555	220
2.11.6	Monostabile Kippschaltung	221
2.11.7	Astabile Kippschaltung (Rechteckgenerator)	222
2.11.8	Schwellwertschalter	223
2.12	Messgeräte	224
2.12.1	Zeigermessgeräte	224
2.12.2	Digitale Messgeräte	225
2.12.3	Digitalmultimeter	226

2.12.4	Grundbegriffe der Oszilloskop-Messtechnik	227
2.12.4.1	Digitales Speicheroszilloskop DSO	229
2.12.4.2	ScopeMeter®	231
2.12.4.3	PC-Oszilloskop	232
2.12.5	Elektrizitätszähler	233
2.12.6	PC-Messtechnik	234
2.12.7	Simulationssysteme anwenden	238
2.13	Schutzmaßnahmen	242
2.13.1	Schutz gegen elektrischen Schlag	242
2.13.2	Verteilungssysteme, Fehlerarten	243
2.13.3	Überstromschutz	244
2.13.4	Fehlerstromschutz	245
2.13.5	Schutz durch Gehäuse	246
2.13.6	Schutz durch automatische Abschaltung	246
2.13.7	Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II)	248
2.13.8	Schutz durch Schutztrennung	248
2.13.9	Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV	249
2.13.10	Prüfung elektrischer Anlagen und Betriebsmittel	250
2.13.11	Wiederholungsprüfung an ortsveränderlichen elektrischen Geräten	251
2.13.12	Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen	252
2.13.13	Elektrotechnische Qualifizierungsmaßnahmen	253
2.14	Leitungen	254
2.14.1	Leiter- und Kontaktwerkstoffe	254
2.14.2	Leitungen der Energietechnik	255
2.14.3	Allgemeine Grundsätze	256
2.14.4	Mindestquerschnitte	256
2.14.5	Strombelastbarkeit	256
2.14.6	Spannungsfall in Wohngebäuden	259
2.14.7	Überlastschutz und Kurzschlusschutz	260

3 Digitaltechnik

3.1	Einführung in die Digitaltechnik	261
3.1.1	Dualcode	261
3.1.2	Binäre Elemente	262
3.1.3	Grundlagen der Schaltalgebra	265
3.1.4	Analyse und Synthese von Schaltungen	267
3.1.5	Binäre Elemente mit besonderen Ausgängen	268
3.1.6	Digitale Schaltkreise	269
3.1.7	Daten von binären Elementen	270
3.1.8	Karnaugh-Diagramm	272
3.1.9	Binärcodes	274
3.1.9.1	BCD-Codes	274
3.1.9.2	Gray-Code	275
3.1.9.3	Strichcodes (Barcodes)	275
3.1.9.4	Flächencodes	277
3.1.9.5	Codeleser	277
3.1.9.6	Darstellung von alphanumerischen Zeichen	278
3.1.10	Anwendung Codeumsetzer	279
3.2	Sequenzielle Digitaltechnik (Schaltwerke)	280
3.2.1	Binärspeicher	280
3.2.2	Asynchrone Kippglieder (Flipflops)	282
3.2.3	Synchrone Kippglieder (Flipflops)	283
3.2.4	Monoflops und Verzögerungselemente	286
3.2.5	Asynchrone Zähler	287
3.2.6	Synchrone Zähler	288
3.2.6.1	Wertetabelle und Zeitablaufdiagramm	288
3.2.6.2	Schaltfunktionen aus der Wertetabelle	288
3.2.6.3	Zähler mit T-Kippgliedern	289
3.2.7	Zähldekaden	290
3.2.8	Schieberegister	292
3.2.9	Frequenzteiler	294
3.2.10	Projektaufgabe Signalanlage	295

3.3	Anwendungen der Digitaltechnik	297
3.3.1	Programmierbare Logikelemente	297
3.3.1.1	Aufbau und Programmierung	297
3.3.1.2	PAL-Schaltkreise	298
3.3.1.3	Schaltkreise mit zwei programmierbaren Feldern	301
3.3.1.4	PAL-Schaltkreis als PROM	301
3.3.1.5	CPLD-Logikschaltkreise	302
3.3.1.6	ISP-Bauelemente	304
3.3.2	Binäre Übertragungsfehler erkennen	307
3.3.3	Paritätsprüfung	307
3.4	DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	309
3.4.1	Digital-Analog-Umsetzer	309
3.4.2	Analog-Digital-Umsetzer	310
3.4.2.1	Momentanwert-AD-Umsetzer	310
3.4.2.2	Integrierende AD-Umsetzer	312

4 **Datentechnik**

4.1	PC-System	315
4.1.1	Bestandteile eines PC-Systems	315
4.1.2	Externe Schnittstellen am PC	316
4.1.3	Tastatur des PC	317
4.1.4	Inbetriebnahme eines PC	317
4.1.5	PCI-Express-Schnittstellen	318
4.2	Merkmale und Arten von Computeranlagen	319
4.2.1	Leistungsfähigkeit	319
4.2.2	Arten von Computern	319
4.2.3	Client-Server-Systeme	321
4.2.4	Aufgabenbereiche von Computern	322
4.3	Speichertechnik	323
4.3.1	RAM	323
4.3.2	ROM	325
4.3.3	Speicheradressierung	326
4.3.4	Datenzugriff	327
4.3.5	Festplattenspeicher	328
4.3.6	Halbleiterlaufwerke	330
4.3.7	Optische Speicher	331
4.3.8	Speicher für Backup	333
4.3.9	Chipkarten	335
4.3.10	RFID-Transponder	337
4.4	Mikrocomputer	338
4.4.1	Aufbau eines Mikrocomputers	338
4.4.2	Wirkungsweise von Mikroprozessoren	339
4.4.3	Mikroprozessorfamilien x86, x64	341
4.4.4	Weitere Mikroprozessoren	343
4.5	Dateneingabe und Datenausgabe	344
4.5.1	Eingabegeräte	344
4.5.1.1	Tastaturen	344
4.5.1.2	Dateneingabe am Bildschirm	344
4.5.1.3	Befehls- und Dateneingaben durch Gestik und Tracking	346
4.5.1.4	Scanner	347
4.5.2	Ausgabegeräte	347
4.5.2.1	Drucker	347
4.5.2.2	3D-Drucker	349
4.5.2.3	Displays und Beamer	351
4.5.2.4	Interaktives Whiteboard	352
4.5.3	Schnittstellen für periphere Geräte	353
4.5.3.1	Aufgaben und Art der Schnittstellen	353
4.5.3.2	USB-Schnittstelle	354
4.5.3.3	Firewire (IEEE 1394)	354
4.5.3.4	Serielle Schnittstellen	355
4.6	Systementwicklung	358
4.6.1	Systemanalyse, Aufgabenanalyse	358
4.6.2	Agiles Projektmanagement	361

4.6.3	Programmentwicklung	362
4.6.4	CPU-Programmierung mit Hochsprachen	363
4.7	Programmieren in Hochsprache	366
4.7.1	Begriffe des Programmierens	366
4.7.2	Strukturierte Anweisungen	367
4.8	Programmieren in Visual C#	369
4.8.1	Vereinbarungen (Deklarationen)	370
4.8.2	Methoden für die Eingabe und Ausgabe	372
4.8.3	Operatoren und Ausdrücke	374
4.8.4	Bedingte Anweisungen	375
4.8.5	Inkrementoperatoren und Dekrementoperatoren	377
4.8.6	Iterationsanweisungen	377
4.8.7	Vergleich der Schleifenanweisungen	379
4.9	Mikrocontroller	380
4.9.1	Allgemeines	380
4.9.2	AVR-Mikrocontroller	383
4.9.3	Raspberry Pi	384
4.9.4	Programmierung von Mikrocontrollern	387
4.9.4.1	Programmierung von Mikrocontrollern in C	389
4.9.5	ARDUINO	391
4.9.6	Online-Programmierung mit Mbed OS 5	393
4.9.6.1	Einrichten von Mbed für Nucleo F103RB	393
4.9.6.2	Programme für Nucleo-F103RB erstellen	394
4.9.6.3	Anwendungen programmieren für Nucleo-F103RB	395
4.9.7	Periphere Busse	396
4.9.7.1	I ² C-Bus	396
4.9.7.2	Serial Peripheral Interface SPI	398
4.10	Betriebssystem	400
4.10.1	Aufgaben eines Betriebssystemes	400
4.10.2	BIOS und UEFI	401
4.10.3	Befehlszeilenkommandos	403
4.11	Windows anwenden	405
4.11.1	Taskleiste und Startmenü	405
4.11.2	Installation von Anwendungssoftware	406
4.11.3	Dateiverwaltung	407
4.11.4	Konfigurieren von Windows	408
4.11.5	Datenbanksystem Access	409
4.11.6	Tabellenkalkulation	413
4.11.7	Präsentationsprogramm PowerPoint	417
4.12	Lernen mit Moodle	419
4.13	Linux anwenden	421
4.14	Datenübertragung	423
4.14.1	Verhalten von Leitungen bei hoher Frequenz	423
4.14.2	Analoge Modulation und Demodulation	425
4.14.2.1	Amplitudenmodulation (AM)	425
4.14.2.2	Digitale Modulation	426
4.14.2.3	Demodulation	430
4.14.3	Multiplexverfahren	431
4.14.3.1	Zeitmultiplexverfahren	431
4.14.3.2	Weitere Multiplexverfahren	433
4.14.4	Datennetze und Feldbussysteme	434
4.14.4.1	Kommunikation in Datennetzen	434
4.14.4.2	Netztopologie und Netzwerkkomponenten	435
4.14.4.3	Übertragungsgeschwindigkeiten	436
4.14.4.4	Ethernet LAN	437
4.14.4.5	Adressen im Netzwerk	441
4.14.4.6	Power over Ethernet (PoE)	443
4.14.4.7	Powerline Communication	444
4.14.4.8	CAN-Bus	445
4.14.4.9	AS-i-Feldbus	447
4.14.4.10	IO-Link	449
4.14.4.11	Gateways für Feldbusse	450
4.14.4.12	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	451
4.14.4.13	PROFINET IE	452
4.14.4.14	PROFIsafe	454

4.15	All-IP-Technologie	455	5.2.4	Digitale Steuerungen (Beispiele)	524
4.15.1	Next Generation Network (NGN)	455	5.2.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	525
4.15.2	Digital Subscriber Line (DSL)	456	5.2.5.1	Aufbau und Funktionsweise	525
4.15.3	Voice over IP (VoIP), Internettelefonie	458	5.2.5.2	Projekt	526
4.16	Internet	459	5.2.5.3	Programmstruktur	527
4.16.1	Aufbau des Internet	459	5.2.5.4	Programmiersprachen	527
4.16.2	Internet-Zugangsarten	460	5.2.5.5	SPS-Programmerstellung	528
4.16.3	Kommunikationsprotokolle	461	5.2.5.6	Ansteuerung der SPS	530
4.17	Digitalisierung	462	5.2.5.7	Programmieren in AWL, KOP, FUP	530
4.17.1	Big Data	462	5.2.5.8	Programmieren von Zeitfunktionen	532
4.17.2	Internet der Dinge (IoT)	463	5.2.5.9	Zähler in SPS	533
4.17.2.1	Teilnehmer im Verbraucher-IoT	463	5.2.5.10	Analogwertverarbeitung.	534
4.17.2.2	IIoT in der Industrie	464	5.2.5.11	Ablaufsprache	536
4.17.3	Gerätekommunikation mit MQTT	465	5.2.5.12	Ablaufsteuerung mit S7-Graph	537
4.18	Mobile Kommunikation	467	5.2.5.13	Bibliotheksfähige SPS-Bausteine	538
4.18.1	Mobile Netze	467	5.2.5.14	Strukturierter Text ST	539
4.18.2	Mobilfunksystem GSM	468	5.2.5.15	Zustandsgraph	540
4.18.3	LTE 4 und 5 G	469	5.2.5.16	Dokumentation von SPS-Programmen	541
4.18.4	Funknetzwerke mit geringem Energiebedarf (LPWAN)	471	5.2.5.17	Sicherheits-SPS	542
4.18.5	Funkbussysteme	472	5.2.6	Fertigungsautomatisierung und TIA-Portal	543
4.18.6	Bluetooth	473	5.2.6.1	TIA-Portal	544
4.18.7	Funkanwendungen auf ISM-Bändern	475	5.2.6.2	TIA-Variablen und Konstanten	545
4.18.8	WLAN	476	5.2.6.3	Programmorganisation	546
4.18.8.1	WLAN-Betriebsarten	476	5.2.6.4	Bibliotheksfähige Bausteine	547
4.18.8.2	Störungen bei Funkübertragung im industriellen Umfeld	477	5.2.6.5	TIA-Projekt	549
4.18.9	App mit Android Studio entwickeln	478	5.2.7	Programmierungsumgebung CODESYS	550
4.19	Datensicherung und Datenschutz	482	5.2.8	Mensch-Maschine-Schnittstellen	553
4.19.1	Maßnahmen zur Datensicherung	482	5.2.9	Kleinsteuerungen	555
4.19.2	Maßnahmen gegen unbefugte Nutzung	484	5.2.9.1	Allgemeines	555
4.19.3	Schutz vor Computerviren	486	5.2.9.2	Anwendung der Kleinsteuerung LOGO!	556
4.19.4	Gesetzlicher Datenschutz	487	5.2.9.3	LOGO! im Netzwerk	558
4.19.5	EU-Datenschutzgrundverordnung DSGVO	488	5.3	Pneumatik	560
4.19.6	Kryptografie	489	5.4	Fernwirktechnik (Telecontrol)	562
4.19.6.1	Einfache Verschlüsselungsverfahren	489	5.4.1	Fernwirken und Fernüberwachen	562
4.19.6.2	Komplexe Verschlüsselungsverfahren	490	5.4.2	Fernwartung (Remote Control)	564
4.19.7	Passwörter	492	5.4.3	Virtuelles Privates Netzwerk VPN	565
5 Messen, Steuern, Regeln					
5.1	Messgrößenaufnehmer (Sensoren)	493	5.5	Regelungstechnik	566
5.1.1	Analoge Sensoren	494	5.5.1	Einführung	566
5.1.1.1	Eigenschaften	494	5.5.1.1	Unstetige Regelung	566
5.1.1.2	Sensoren für Wege, Winkel und Abstände	495	5.5.1.2	Stetige Regelung	567
5.1.1.3	Näherungsschalter	501	5.5.2	Der Regelkreis	568
5.1.1.4	Lichtschranken, Lichtvorhänge, Scan-Mikrometer	502	5.5.2.1	Die Regelstrecke	569
5.1.1.5	Sensoren für Kräfte, Dehnungen und Drücke	503	5.5.2.2	Zusammenstellung wichtigster Regelkreisglieder mit Beispielen	572
5.1.1.6	Beschleunigungssensoren	505	5.5.2.3	Regeleinrichtung	573
5.1.1.7	Temperatursensoren	506	5.5.3	Beispiele für Regelkreise	574
5.1.1.8	Sensoren der Sicherheitstechnik	508	5.5.3.1	Regelung von P-T ₁ -Strecken	574
5.1.2	Digitale Weg- und Winkelmessung	510	5.5.3.2	Regelung von I-Strecken	576
5.1.2.1	Inkrementelle Weg- und Winkelmessung	510	5.5.4	Aufbau und Funktion von Standardreglern	578
5.1.2.2	Codelineale und Winkelcodierer	511	5.5.4.1	Analoge Regler mit Operationsverstärkern	578
5.1.2.3	Drehmelder (Synchro)	511	5.5.4.2	Digitale Regler (Software-Regler)	580
5.1.3	Messwertgeber für elektrische Größen (Messumformer)	512	5.5.4.3	Kompaktregler	582
5.1.4	Störungen in Messleitungen	513	5.5.5	Wahl der Reglerparameter	583
5.1.5	Bestimmungen für Messeinrichtungen	515	5.5.5.1	Prüfen des Wirkungssinns	583
5.2	Steuerungstechnik	516	5.5.5.2	Die Regelkreisstabilität	583
5.2.1	Steuerungsarten	516	5.5.5.3	Einstellen der Reglerparameter	583
5.2.2	Binäre Steuerungen	517	5.5.5.4	Selbstoptimierende Regler	584
5.2.3	GRAFCET	520	6 Stromversorgung		
5.2.3.1	Die GRAFCET-Struktur	520	6.1	Geräte mit elektrischer Energieversorgen	585
5.2.3.2	Schritte	521	6.2	Leistungsgrenzen am öffentlichen Netz	585
5.2.3.3	Aktionen	522	6.3	Gesteuerte Gleichrichter	588
5.2.3.4	Transitionen und Ablaufstrukturen	523	6.4	Gleichstromsteller	593
			6.5	Wechselrichter	593

6.6	Durchflusswandler und Sperrwandler	595
6.6.1	Schaltregler	597
6.6.2	Industrielle Netzgeräte	600
6.7	Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme	602

7 Elektrische Antriebssysteme

7.1	Motoren	605
7.1.1	Drehbewegungen	605
7.1.2	Kennlinien von Arbeitsmaschinen	606
7.1.3	Kennwerte von Elektromotoren	606
7.1.4	Drehfeldmaschinen	608
7.1.5	Synchronmotoren	609
7.1.6	Reluktanzmotoren	610
7.1.7	Schrittmotoren	611
7.1.8	Piezo-Antriebe	613
7.1.9	Asynchronmotor (Induktionsmotor)	614
7.1.10	Energiesparende Antriebe	617
7.1.11	Stromwendermotoren	618
7.1.12	Linearantriebe	621
7.1.13	Motoren in vier Quadranten betreiben	623
7.2	Steuerung und Regelung elektrischer Antriebe	624
7.2.1	Maschinensicherheit	624
7.2.2	Funktionale Sicherheit	626
7.2.3	Drehzahlsteuerung	627
7.2.3.1	Universalmotor	627
7.2.3.2	Drehzahlsteuerung beim fremderregten Gleichstrommotor	628
7.2.3.3	Gleichstromsteller mit H-Brücke	629
7.2.4	Elektronisch kommutierte Motoren	630
7.2.4.1	Überblick, Vergleich mit Kommutatormotor	630
7.2.4.2	EC-Motor mit Hallsensoren	631
7.2.4.3	Sensorlose Steuerung des EC-Motors	632
7.2.4.4	Vektorregelung eines EC-Motors	633
7.2.4.5	Geschalteter Reluktanzmotor (SRM)	634
7.2.5	Asynchronmotoren steuern	635
7.2.5.1	Motorschutz auswählen	635
7.2.5.2	Anlassen von Kurzschlussläufermotoren (Ständeranlassverfahren)	638
7.2.6	Drehzahl mit Frequenzumrichter FU steuern	640
7.2.6.1	Frequenzumrichter mit Zwischenkreis	640
7.2.6.2	Pulsweitenmodulation (PWM)	641
7.2.6.3	Zusammenhang zwischen Spannung und Frequenz	643
7.2.6.4	Kurzschlussläufermotoren am Frequenzumrichter betreiben	644
7.2.6.5	Frequenzumrichter auswählen	645
7.2.6.6	Projektaufgabe Positionierung Transportband	646
7.2.6.7	Frequenzumrichter anschließen	648
7.2.7	Servomotoren	649
7.2.7.1	Anforderungen an Servomotoren	649
7.2.7.2	Servomotoren im Antriebssystem	650
7.2.7.3	Messsysteme auswählen	651
7.2.7.4	Achsmechanik einstellen	652
7.2.7.5	Maßbezug herstellen	653
7.2.7.6	Achsen positionieren	653
7.2.7.7	Synchronisieren mehrerer Achsen	655
7.2.7.8	Elektronisches Nockenschaltwerk	655
7.3	Roboter	657
7.3.1	Einteilung	657
7.3.2	Industrieroboter	657
7.4	Bildverarbeitung	661

8 Umwelttechnik

8.1	Erneuerbare Energiequellen	663
8.1.1	Solartechnik	663
8.1.1.1	Solarthermie	663
8.1.1.2	Fotovoltaik	664
8.1.2	Windkraftanlagen	666
8.1.3	Brennstoffzellen	668
8.1.4	Hybridantriebe	670
8.1.5	Elektromobilität	671
8.2	Umweltrecht	672
8.3	Umwelthaftung	672
8.4	Belastung durch elektrotechnische Produkte	673
8.5	Umgang mit Abfall	674
8.5.1	Begriffe der Abfallwirtschaft	674
8.5.2	Träger der Entsorgung	674
8.5.3	Betriebsbeauftragte	675
8.6	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	676
8.6.1	Bedeutung der EMV	676
8.6.2	Störungen durch elektrische Felder	676
8.6.3	Störungen durch elektromagnetische Felder	679

9 Wirtschaftliche Vorgänge

9.1	Betrieb und Umfeld	682
9.1.1	Betrieb und Unternehmen	682
9.2	Geschäftsprozesse	683
9.3	Verkaufsprozesse	686
9.3.1	Verkaufskalkulation	686
9.3.2	Erstellung eines Angebots	686
9.3.3	Verträge	687
9.3.4	Rechnungsstellung	688
9.4	Beschaffungsprozesse	688
9.5	Kundenberatung und Service	690
9.5.1	Umgang mit Kunden	690
9.5.2	Kundenservice	691
9.5.3	Kundenbindung	692
9.5.4	ABC-Analyse	692
9.5.5	Beschwerdemanagement (Reklamationen)	693
9.5.6	Konformitätserklärung	694
9.5.7	Qualitätsmanagement	695
9.5.7.1	Grundlagen	695
9.5.8	Qualitätswerkzeuge	696
9.6	Instandhaltung	697

10 Projektaufgabe

11 Anhang

11.1	Großen und Einheiten	707
11.2	Mathematische Begriffe und Basiseinheiten	711
11.3	Vorsätze, Größen und Einheiten der IT-Technik – Prefixes, Quantities and Units of IT-Technology	712
11.4	Wichtige Normen	713
11.5	Bildquellenverzeichnis	715
11.6	Verzeichnis der Firmen und Dienststellen	716
11.7	Software- und Literaturverzeichnis	717

Sachwortverzeichnis