

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Vorwort zur 1. Auflage | 5 |
| Vorwort zur 2., verbesserten Auflage | 6 |
| 1 Mathematik | 19 |
| 1.1 Komplexe Zahlen | 19 |
| 1.1.1 Definition komplexer Zahlen | 19 |
| 1.1.2 Darstellungsformen | 19 |
| 1.1.2.1 Komplexe Zahlenebene | 19 |
| 1.1.2.2 Polarformen | 20 |
| 1.1.3 Rechenoperation mit komplexen Zahlen | 21 |
| 1.1.3.1 Addition und Subtraktion | 21 |
| 1.1.3.2 Multiplikation | 21 |
| 1.1.3.3 Division | 21 |
| 1.2 Matrizen | 22 |
| 1.2.1 Quadratische Matrix | 22 |
| 1.2.2 Symmetrische Matrix | 22 |
| 1.2.3 Transponierte Matrix | 23 |
| 1.2.4 Spaltenvektor | 23 |
| 1.2.5 Zeilenvektor | 23 |
| 1.2.6 Nullvektor 0 | 23 |
| 1.2.7 Einheitsmatrix I | 23 |
| 1.3 Rechenregeln für Matrizen | 24 |
| 1.3.1 Addition von Matrizen | 24 |
| 1.3.2 Vektorrechnung | 24 |
| 1.3.3 Skalares Produkt | 25 |
| 1.3.4 Vektorprodukt | 25 |
| 1.3.5 Multiplikation einer Matrix mit einem Skalar | 26 |
| 1.3.6 Matrizenmultiplikation | 26 |
| 1.3.7 Wichtige Gesetze für Matrizen | 26 |
| 1.3.8 Determinante | 26 |
| 1.3.9 Inverse Matrix | 27 |
| 1.3.10 Darstellung von linearen Gleichungssystemen mithilfe von Matrizen | 28 |
| 1.3.11 Eigenwerte und Eigenvektoren | 29 |
| 1.4 Numerische Integration | 30 |
| 1.4.1 Simpson'sche Formel | 30 |
| 1.4.2 Summierende Simpson'sche Formel | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 1.5 | Laplace-Transformation | 31 |
| 1.5.1 | Linearitätssatz | 31 |
| 1.5.2 | Verschiebungssatz | 32 |
| 1.5.3 | Dämpfungssatz | 32 |
| 1.5.4 | Integrationsatz | 32 |
| 1.5.5 | Differenziationssatz | 32 |
| 1.5.6 | Faltungssatz | 32 |
| 1.5.7 | Inverse Laplace-Transformation (Rücktransformation in den Zeitbereich) | 33 |
| 1.6 | Fourier-Transformation | 37 |
| 1.7 | Fourier-Reihen | 38 |

2 Regelungstechnik

| | | |
|---------|---|----|
| 2.1 | Regelsysteme | 41 |
| 2.1.1 | Gegenkopplung, ein universelles Prinzip | 41 |
| 2.1.2 | Struktur einer Regelung | 43 |
| 2.1.3 | Anforderungen an eine Regelung | 46 |
| 2.2 | Regelstrecke | 49 |
| 2.2.1 | Modellbildung | 49 |
| 2.2.1.1 | Experimentelle Modellbildung | 49 |
| 2.2.1.2 | Theoretische Modellbildung | 50 |
| 2.2.2 | Klassifikation des Übertragungsverhaltens | 52 |
| 2.2.3 | Linearisierung um den Arbeitspunkt | 53 |
| 2.2.4 | Darstellung von LZI-Systemen | 57 |
| 2.2.4.1 | Differenzialgleichung | 57 |
| 2.2.4.2 | Übertragungsfunktion | 57 |
| 2.2.4.3 | Zustandsraumdarstellung | 59 |
| 2.2.4.4 | Umformung des Wirkungsplans | 62 |
| 2.3 | Analyse der Regelstrecke | 68 |
| 2.3.1 | Dynamisches Grundverhalten | 69 |
| 2.3.1.1 | Beschreibung des Zeitverhaltens | 69 |
| 2.3.1.2 | P - T_1 -Verhalten | 70 |
| 2.3.1.3 | P - T_2 -Verhalten | 71 |
| 2.3.1.4 | P - T_n -Verhalten | 73 |
| 2.3.1.5 | Kurzzeichenzeichnungen | 73 |
| 2.3.2 | Analyse der Übertragungsfunktion | 74 |
| 2.3.2.1 | Stabilität | 75 |
| 2.3.2.2 | Anfangs- und Endwert | 76 |
| 2.3.2.3 | Übergangsverhalten | 77 |
| 2.3.2.4 | Einfluss der Zählernullstellen | 79 |
| 2.3.2.5 | Abschätzung des Streckenverhaltens | 79 |
| 2.3.3 | Analyse im Zustandsraum | 81 |
| 2.3.3.1 | Eigenwerte | 81 |
| 2.3.3.2 | Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit | 82 |
| 2.4 | Regler | 83 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 2.4.1 | P-Regler | 83 |
| 2.4.2 | PI-Regler | 85 |
| 2.4.3 | PID-Regler | 86 |
| 2.4.4 | Schaltregler | 88 |
| 2.4.4.1 | Zweipunktregler | 88 |
| 2.4.4.2 | Dreipunktregler | 90 |
| 2.5 | Entwurf linearer Standardregler | 91 |
| 2.5.1 | Übertragungsfunktionen des Regelkreises | 91 |
| 2.5.2 | Wurzelortskurve | 92 |
| 2.5.3 | Frequenzgangsentwurf | 94 |
| 2.5.4 | Einstellregeln | 97 |
| 2.5.4.1 | Einstellung nach Ziegler-Nichols | 98 |
| 2.5.4.2 | Einstellung nach der Summenzeitkonstante | 99 |
| 2.5.4.3 | Betragsoptimum und symmetrisches Optimum | 100 |
| 2.5.5 | Erweiterte Regelkreisstrukturen | 102 |
| 2.5.5.1 | Führungsfilter | 102 |
| 2.5.5.2 | Kaskadenregelung | 103 |
| 2.6 | Digitalregler | 104 |
| 2.6.1 | Struktur und Elemente des Abtastregelkreises | 104 |
| 2.6.2 | Quasikontinuierlicher Entwurf | 105 |
| 2.7 | Entwurf von Zustandsreglern | 106 |
| 2.7.1 | Struktur und Wirkung eines Zustandsreglers | 107 |
| 2.7.2 | Entwurf eines allgemeinen Polvorgabereglers | 108 |
| 2.7.3 | Zustandsbeobachter | 110 |
| | Literatur | 111 |

3 Analogtechnik 112

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.1 | Analoge Schaltungen in der Mechatronik | 112 |
| 3.2 | Verstärkergrundschaltungen | 113 |
| 3.2.1 | Prinzip der Verstärkung mit Transistoren | 113 |
| 3.2.2 | Differenzverstärker | 115 |
| 3.3 | Operationsverstärker (OPV) | 117 |
| 3.3.1 | Reale OPV und nichtideale Eigenschaften | 118 |
| 3.3.1.1 | Frequenzgang | 119 |
| 3.3.1.2 | Offsetspannung | 120 |
| 3.3.1.3 | Gleichtaktverstärkung | 120 |
| 3.3.1.4 | Eingangs- und Ausgangswiderstände | 121 |
| 3.3.2 | Typische Kennwerte realer OPV | 121 |
| 3.4 | Grundschaltungen des OPV | 122 |
| 3.4.1 | Invertierender Verstärker | 122 |
| 3.4.2 | Nichtinvertierender Verstärker | 124 |
| 3.5 | Analogrechenschaltungen | 125 |
| 3.5.1 | Subtrahier- und Summationsverstärker | 125 |
| 3.5.2 | Instrumentenverstärker | 127 |
| 3.5.3 | Analoge Multiplizierer und Dividierer | 129 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------|-----|
| 3.5.4 | Differenzier- und Integrierglieder | 129 |
| 3.5.5 | Exponential- und Logarithmierglieder | 130 |
| Literatur | | 131 |

4 Digitaltechnik 132

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.1 | Schalterlogik und binäre Signale | 132 |
| 4.1.1 | Gesteuerte Schalter und Logikpegel | 132 |
| 4.1.2 | Logikdefinitionen und -funktionen | 133 |
| 4.2 | Boole'sche Algebra | 135 |
| 4.2.1 | Variablendefinition und Verknüpfungen | 135 |
| 4.2.2 | Postulate der Boole'schen Algebra | 136 |
| 4.2.3 | Rechenregeln der Boole'schen Algebra | 137 |
| 4.2.4 | Boole'sche Gleichungen und Logikgatter | 137 |
| 4.3 | Das Transmissionsgatter | 139 |
| 4.4 | Kombinatorische Schaltungen | 140 |
| 4.4.1 | Allgemeines | 140 |
| 4.4.2 | Optimierung von Schaltfunktionen | 141 |
| 4.4.2.1 | Minimierung einer AND-OR-Schaltfunktion | 141 |
| 4.4.2.2 | Realisierung auf Gatterniveau | 143 |
| 4.4.2.3 | Aktuelle Aspekte | 143 |
| 4.4.3 | Codierschaltungen (Codierer und Decoder) | 144 |
| 4.4.4 | Multiplexer und Demultiplexer | 146 |
| 4.4.5 | Rechenschaltungen | 147 |
| 4.4.5.1 | Addierer | 148 |
| 4.4.5.2 | Subtrahierer | 149 |
| 4.4.5.3 | Komparatoren | 149 |
| 4.4.5.4 | Multiplizierer und Dividierer | 150 |
| 4.4.6 | Festwertspeicher | 151 |
| 4.5 | Flipflops | 152 |
| 4.5.1 | Allgemeines | 152 |
| 4.5.2 | Ungetaktete Flipflops | 152 |
| 4.5.3 | Taktzustandsgesteuertes D-Flipflop | 153 |
| 4.5.4 | Flankengesteuertes D-Flipflop | 154 |
| 4.5.5 | Weitere Arten flankengesteuerter Flipflops | 156 |
| 4.6 | Praktische sequenzielle Schaltungen | 158 |
| 4.6.1 | Register | 158 |
| 4.6.2 | Zähler und Teiler | 159 |
| 4.6.2.1 | Asynchrone Zähler und Teiler | 160 |
| 4.6.2.2 | Synchrone Zähler | 160 |
| 4.6.3 | Synchrone sequenzielle Schaltungen als Zustandsmaschinen | 161 |
| 4.6.3.1 | Moore-Automat | 161 |
| 4.6.3.2 | Mealy-Automat | 162 |
| 4.6.3.3 | Methodisches Beispiel | 163 |
| 4.7 | Realisierungen digitaler Schaltungen | 165 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.7.1 | Standard-Logikbausteine | 165 |
| 4.7.2 | Programmierbare Logikbausteine (PLD) | 166 |
| 4.7.3 | Anwenderspezifische Schaltkreise | 170 |
| | Literatur | 170 |
| 5 | Leistungselektronik | 171 |
| 5.1 | Elektronische Ventile | 171 |
| 5.1.1 | Leistungsdioden | 172 |
| 5.1.2 | Thyristor | 173 |
| 5.1.3 | Gate-Turn-Off-Thyristor (GTO) | 174 |
| 5.1.4 | Bipolartransistor | 174 |
| 5.1.5 | MOSFET | 175 |
| 5.1.6 | Insulated-Gate-Bipolartransistor (IGBT) | 175 |
| 5.2 | Selbstgeführte Stromrichter | 176 |
| 5.2.1 | Tiefsetzsteller | 176 |
| 5.2.2 | Vierquadrantensteller | 179 |
| | 5.2.2.1 Gleichzeitige Taktung | 180 |
| | 5.2.2.2 Alternierende Taktung | 180 |
| 5.2.3 | Selbstgeführte Drehstrombrückenschaltung | 181 |
| 5.2.4 | Pulsbreitenmodulation (PBM) | 184 |
| 5.2.5 | Modellbildung von dreiphasigen Stromrichtern | 186 |
| | Literatur | 188 |
| 6 | Modellbildung | 189 |
| 6.1 | Grundbegriffe | 189 |
| 6.2 | Modellierungs- und Simulationsprozess | 190 |
| | 6.2.1 Zyklen | 190 |
| | 6.2.2 Modellerstellung und -verfeinerung | 192 |
| 6.3 | Modellansätze | 193 |
| 6.4 | Modellklassen | 194 |
| 6.5 | Beschreibungsmittel | 195 |
| | 6.5.1 Beschreibung im Zeitbereich | 195 |
| | 6.5.2 Beschreibung im Bildbereich | 197 |
| | 6.5.3 Grafische Beschreibung | 197 |
| 6.6 | Modellelemente | 199 |
| | 6.6.1 Steuerungs- und Regelungstechnik | 199 |
| | 6.6.2 Mechanik | 201 |
| | 6.6.3 Elektrotechnik | 202 |
| | 6.6.4 Mechanische und elektrische Analogien | 204 |
| 6.7 | Methoden und Werkzeuge der Modellbildung | 206 |
| | 6.7.1 Analytische Methoden | 206 |
| | 6.7.1.1 Mechanik | 208 |
| | 6.7.1.2 Elektrotechnik | 210 |
| | 6.7.2 Synthetische Methoden | 213 |

| | | |
|---------|-------------------------------|-----|
| 6.7.2.1 | Mechanik | 213 |
| 6.7.2.2 | Elektrotechnik | 215 |
| 6.7.2.3 | Bondgrafen | 216 |
| 6.7.3 | Experimentelle Modellbildung | 216 |
| 6.7.3.1 | Datenerhebung | 218 |
| 6.7.3.2 | Festlegung der Modellstruktur | 219 |
| 6.7.3.3 | Parameteridentifikation | 221 |
| 6.8 | Werkzeuge der Modellbildung | 222 |
| | Literatur | 223 |

7 Mechanische Systeme 224

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.1 | Modelle in der Mechanik | 224 |
| 7.2 | Kinematik | 226 |
| 7.2.1 | Einführung | 226 |
| 7.2.2 | Kinematik des Massenpunktes | 226 |
| 7.2.2.1 | Darstellung der Bewegung in kartesischen Koordinaten | 226 |
| 7.2.2.2 | Darstellung der Bewegung eines Massenpunktes in Zylinderkoordinaten | 229 |
| 7.2.2.3 | Darstellung der Bewegung eines Massenpunktes in Kugelkoordinaten | 230 |
| 7.2.3 | Kinematik des starren Körpers | 231 |
| 7.2.3.1 | Notation | 231 |
| 7.2.3.2 | Translation und Rotation | 232 |
| 7.2.3.3 | Euler-Winkel | 234 |
| 7.2.4 | Kinematik des Mehrkörpersystems | 235 |
| 7.2.4.1 | Klassifikation | 235 |
| 7.2.4.2 | Holonome Starrkörpersysteme mit kinematischer Baumstruktur | 236 |
| 7.2.4.3 | Denavit-Hartenberg-Notation | 237 |
| 7.3 | Kinetik | 240 |
| 7.3.1 | Einführung | 240 |
| 7.3.2 | Kinetik des Massenpunktes | 241 |
| 7.3.2.1 | Impulssatz | 241 |
| 7.3.2.2 | Drehimpulssatz | 244 |
| 7.3.2.3 | Arbeitssatz | 244 |
| 7.3.2.4 | Energiesatz | 245 |
| 7.3.3 | Kinetik des starren Körpers | 246 |
| 7.3.3.1 | Schwerpunktsatz | 246 |
| 7.3.3.2 | Drehimpulssatz | 246 |
| 7.3.3.3 | Arbeitssatz | 249 |
| 7.3.3.4 | Energiesatz | 249 |
| 7.3.4 | Kinetik des Mehrkörpersystems | 253 |
| 7.3.4.1 | Prinzip von d'Alembert | 253 |
| 7.3.4.2 | Lagrange'sche Gleichungen 2. Art | 254 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.3.5 | Der Lagrange-Formalismus für elektromechanische Systeme | 258 |
| 7.4 | Schwingungstechnik | 260 |
| 7.4.1 | Freie gedämpfte Schwingungen | 260 |
| 7.4.1.1 | Starke Dämpfung, Kriechfall ($D > 1$) | 261 |
| 7.4.1.2 | Mittlere Dämpfung, Aperiodischer Grenzfall ($D = 1$) | 262 |
| 7.4.1.3 | Schwache Dämpfung, Schwingfall ($D < 1$) | 262 |
| 7.4.2 | Erzwungene gedämpfte Schwingungen | 265 |
| 7.4.2.1 | Klassifizierung der erzwungenen Schwingungen nach dem Ort der Erregung | 265 |
| 7.4.2.2 | Partikuläre Lösung der Schwingungsdifferenzialgleichung | 267 |
| 7.4.2.3 | Vergrößerungsfunktionen und Phasenwinkel | 268 |
| Literatur | | 271 |
| 8 | Sensoren | 272 |
| 8.1 | Allgemeiner Aufbau | 272 |
| 8.1.1 | Beschreibungen | 273 |
| 8.1.1.1 | Messgrößen und Maßeinheiten | 273 |
| 8.1.1.2 | Kenngößen | 274 |
| 8.1.1.3 | Statisches Verhalten | 275 |
| 8.1.1.4 | Dynamisches Verhalten | 276 |
| 8.1.2 | Anforderungen | 278 |
| 8.2 | Einteilung von Sensoren | 279 |
| 8.3 | Direkt umsetzende Sensoren | 281 |
| 8.3.1 | Aktive Sensoren | 281 |
| 8.3.1.1 | Piezoelektrischer Effekt | 281 |
| 8.3.1.2 | Elektrodynamischer Effekt | 282 |
| 8.3.1.3 | Fotoelektrischer Effekt | 283 |
| 8.3.1.4 | Seebeck-Effekt | 284 |
| 8.3.1.5 | Elektrochemischer-Effekt | 285 |
| 8.3.2 | Passive resistive Sensoren | 286 |
| 8.3.2.1 | Potenziometrische Sensoren | 286 |
| 8.3.2.2 | Dehnungsmessstreifen (DMS) | 287 |
| 8.3.2.3 | Fotowiderstand | 288 |
| 8.3.2.4 | Widerstandsthermometer | 288 |
| 8.3.2.5 | Feldplatte | 290 |
| 8.3.2.6 | Gasdetektor | 291 |
| 8.3.3 | Passive kapazitive Sensoren | 291 |
| 8.3.3.1 | Geometrische Effekte | 291 |
| 8.3.3.2 | Dielektrizitätseffekte | 292 |
| 8.3.3.3 | Näherungsschalter | 293 |
| 8.3.3.4 | Feuchtemessung | 294 |
| 8.3.4 | Passive induktive Sensoren | 295 |

| | | | |
|-----|-----------|---------------------------------------|-----|
| | 8.3.4.1 | Positionsmessung | 295 |
| | 8.3.4.2 | Nherungsschalter | 295 |
| 8.4 | | Indirekt umsetzende Sensoren | 296 |
| | 8.4.1 | Weg, Strecke | 296 |
| | 8.4.1.1 | Triangulation | 296 |
| | 8.4.1.2 | Ultraschall | 297 |
| | 8.4.1.3 | Magnetostriktion | 298 |
| | 8.4.1.4 | Optisch | 299 |
| | 8.4.2 | Fllstand | 301 |
| | 8.4.2.1 | Radioaktiv | 301 |
| | 8.4.2.2 | Schwinggabelsensor | 302 |
| | 8.4.3 | Geschwindigkeit | 303 |
| | 8.4.3.1 | Impulszhlung | 303 |
| | 8.4.3.2 | Korrelation | 304 |
| | 8.4.4 | Druck und Kraft | 304 |
| | 8.4.4.1 | Dehnungsmessstreifen (DMS) | 304 |
| | 8.4.4.2 | Magnetoelastisch | 305 |
| | 8.4.5 | Beschleunigung | 306 |
| | 8.4.6 | Durchfluss | 307 |
| | 8.4.6.1 | Druckdifferenz | 307 |
| | 8.4.6.2 | Hitzdraht | 308 |
| | 8.4.6.3 | Magnetisch-induktiv | 309 |
| | 8.4.7 | Magnetfeld | 309 |
| | 8.4.7.1 | Hall-Sonde | 309 |
| | 8.4.7.2 | Sttigungskernsonde | 310 |
| | 8.4.8 | Temperatur | 311 |
| | 8.4.9 | Konzentration | 312 |
| | 8.4.9.1 | λ -Sonde | 312 |
| | 8.4.9.2 | Ionensensitive Feldeffekttransistoren | 313 |
| | Literatur | | 314 |

9 Elektrische Aktoren 315

| | | | |
|-----|---|---|-----|
| 9.1 | Gleichstrommaschine (GM) | 316 | |
| | 9.1.1 | Aufbau der Antriebsstruktur | 316 |
| | 9.1.2 | Analyse der Strecke | 317 |
| | 9.1.3 | Berechnung des Ankerstromreglers | 319 |
| | 9.1.4 | Berechnung des Drehzahlreglers | 322 |
| 9.2 | Feldorientierte Steuerung einer Synchronmaschine (SM) | 323 | |
| | 9.2.1 | Beschreibung der Synchronmaschine im rotorfesten Bezugssystem | 325 |
| | 9.2.2 | Berechnung des inneren Drehmoments | 326 |
| | 9.2.3 | Struktur der luferflussorientierten Regelung | 328 |
| | 9.2.4 | Berechnung der Stromregler | 330 |
| 9.3 | Hubmagnet | 332 | |
| 9.4 | Schrittmotor | 336 | |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 9.4.1 | Vollschrittbetrieb | 339 |
| 9.4.2 | Halbschrittbetrieb | 339 |
| 9.4.3 | Start-Stopp-Rampe | 340 |
| 9.4.4 | Stromregelung | 341 |
| 9.5 | Asynchronmaschine (ASM) | 343 |
| | Literatur | 348 |
| 10 | Hydraulische Aktoren | 349 |
| 10.1 | Vor- und Nachteile hydraulischer Antriebe | 349 |
| 10.2 | Zahnradpumpe mit Außenverzahnung | 350 |
| 10.3 | Flügelzellenpumpe | 351 |
| 10.4 | Axialkolbenpumpe | 351 |
| 10.5 | Ventil | 352 |
| 10.5.1 | Proportionalventil | 352 |
| 10.5.2 | Servoventil | 353 |
| 10.6 | Hydraulik-Zylinder und -Motor | 355 |
| 10.6.1 | Hydraulisches Teilmodell | 356 |
| 10.6.2 | Vereinfachtes Modell | 361 |
| 10.7 | Steuerung und Regelung | 364 |
| 10.7.1 | Istwertfassung | 364 |
| 10.7.2 | Steuerung | 364 |
| 10.7.3 | Regelung | 364 |
| 10.8 | Auslegen eines hydraulischen Antriebes | 365 |
| | Literatur | 366 |
| 11 | Pneumatische Aktoren | 367 |
| 11.1 | Erzeugung und Aufbereitung der Druckluft | 367 |
| 11.2 | Wegeventil | 368 |
| 11.3 | Zylinder und Greifer | 369 |
| 11.3.1 | Zylinder mit Kolbenstange | 369 |
| 11.3.2 | Kolbenstangenlose Zylinder | 369 |
| 11.4 | Greifer | 370 |
| 11.5 | Steuerung und Regelung | 375 |
| 11.5.1 | Analoge Wegerfassung | 375 |
| 11.5.2 | Digitale Wegerfassung | 377 |
| 11.6 | Steuerung | 378 |
| 11.7 | Regelung | 378 |
| 11.8 | Pneumatisches Handhabungsgerät | 378 |
| 11.9 | Auslegung eines pneumatischen Antriebes | 380 |
| | Literatur | 381 |
| 12 | Informatik (Computer Science) | 382 |
| 12.1 | Gegenstand | 382 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 12.2 | Grundlagen der Informationsverarbeitung | 383 |
| 12.2.1 | Daten, Zeichen, Maschinenwort | 383 |
| 12.2.2 | Zahlensysteme | 385 |
| 12.2.3 | Darstellung von Zeichen, Ziffern und Zahlen | 386 |
| 12.2.3.1 | Darstellung von alphanumerischen Zeichen | 387 |
| 12.2.3.2 | Darstellung von Ziffern | 387 |
| 12.2.3.3 | Darstellung von Zahlen | 388 |
| 12.3 | Programmierung und Softwareentwicklung | 390 |
| 12.3.1 | Algorithmen und Notationen | 390 |
| 12.3.2 | Variable, Ausdrücke und Zuweisungen | 391 |
| 12.3.3 | Zusammengesetzte Datentypen | 392 |
| 12.3.4 | Zeigervariablen | 393 |
| 12.3.5 | Datenstrukturen | 393 |
| 12.3.6 | Programmierung und Softwareentwicklung | 394 |
| 12.3.7 | Programmiersprachen | 394 |
| 12.3.8 | Programmierparadigmen | 396 |
| 12.3.9 | Entwicklungswerkzeuge | 399 |
| 12.4 | Struktur und Organisation von Rechnern | 400 |
| 12.4.1 | Von-Neumann-Rechnerkonzept | 400 |
| 12.4.2 | Komponenten | 401 |
| 12.4.3 | Schnittstellen | 402 |
| | Literatur | 403 |
| 13 | Mikrorechentchnik | 404 |
| 13.1 | Aufbau und Organisation von Mikrorechnern | 406 |
| 13.2 | Arbeitsweise eines Mikrorechners | 407 |
| 13.2.1 | Befehlssatzarchitektur | 408 |
| 13.2.2 | Adressierungsarten | 409 |
| 13.2.3 | Befehlsformat | 410 |
| 13.2.4 | Komplexität von Befehlssätzen | 411 |
| 13.2.5 | Optimierungstechniken | 412 |
| 13.3 | Peripheriebausteine | 415 |
| 13.4 | Eingebettete Systeme | 417 |
| 13.4.1 | Universalprozessoren | 417 |
| 13.4.2 | Mikrocontroller (μ C) | 418 |
| 13.4.3 | Digitale Signalprozessoren (DSP) | 420 |
| 13.5 | Beispiele für Prozessoren | 421 |
| 13.5.1 | 32-Bit-Mikrocontroller mit Cortex-M3-Kern | 421 |
| 13.5.2 | 8086-kompatible Prozessoren | 425 |
| | Literatur | 429 |
| 14 | Mechatronische Systeme | 430 |
| 14.1 | Elektronischer Zündstartschalter | 430 |
| 14.1.1 | Funktionen | 430 |

| | | |
|----------------------------------|---|------------|
| 14.1.2 | Mechanische Komponenten | 432 |
| 14.1.3 | Hardware-Komponente | 435 |
| 14.1.4 | Software-Komponente | 436 |
| 14.2 | Bedienfelder mit CAN-Elektronik | 440 |
| 14.3 | Einzelvernetzter Schalter „MAXIS“ | 441 |
| 14.3.1 | Mechanischer Aufbau | 441 |
| 14.3.2 | Schaltsystem | 442 |
| 14.3.3 | Leiterplatte und Betätiger | 443 |
| 14.3.4 | Stecker | 443 |
| 14.3.5 | Elektronik | 443 |
| 14.4 | Piezo-Inline-Injektor | 445 |
| 14.5 | Getriebeautomatisierung am Beispiel Durashift EST | 445 |
| 14.5.1 | Systembeschreibung | 445 |
| 14.5.2 | Software | 449 |
| 14.5.3 | Vorteile des mechatronischen Konzepts | 450 |
| 14.6 | Antiblockiersystem (ABS) | 451 |
| 14.7 | Antriebsschlupfregelung (ASR) | 452 |
| 14.8 | Regelung der Fahrdynamik (ESP) | 453 |
| 14.9 | Kompensation mechanischer Fehler | 456 |
| 14.10 | Bewegen großer Lasten | 458 |
| Sachwortverzeichnis | | 459 |