

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------------|---|----------|
| Kapitel 1 | Grundlagen für Echtzeitsysteme in der Automatisierung | 1 |
| 1.1 | Einführung | 1 |
| 1.1.1 | Echtzeitdatenverarbeitung | 1 |
| 1.1.2 | Ziele und Grundprinzip der Automatisierung von technischen Prozessen | 2 |
| 1.1.3 | Anwendungsbeispiele zur Automatisierung von technischen Prozessen | 4 |
| 1.1.4 | Prozessmodell | 9 |
| 1.1.5 | Steuerung und Regelung | 11 |
| 1.2 | Methoden zur Modellierung und zum Entwurf von diskreten Steuerungen | 16 |
| 1.2.1 | Petri-Netze | 16 |
| 1.2.2 | Automaten | 25 |
| 1.2.3 | Zusammenhang zwischen Petri-Netzen und Automaten | 31 |
| 1.3 | Methoden für Modellierung und Entwurf zeitkontinuierlicher Regelungen | 33 |
| 1.3.1 | Aufgabenstellung in der Regelungstechnik | 33 |
| 1.3.2 | Beschreibungsverfahren für zeitkontinuierliche Systeme | 34 |
| 1.3.3 | Streckenidentifikation | 54 |
| 1.3.4 | Entwurf von zeitkontinuierlichen Regelungen | 59 |
| 1.3.5 | PID-Regler | 73 |
| 1.3.6 | Vorsteuerung und Störgrößenaufschaltung | 80 |
| 1.3.7 | Mehrschleifige Regelung | 82 |
| 1.3.8 | Zustandsregler und modellbasierte Regler | 84 |
| 1.3.9 | Adaptive Regler | 86 |
| 1.4 | Methoden für Modellierung und Entwurf zeitdiskreter Regelungen | 89 |
| 1.4.1 | Zeitdiskreter Regelkreis | 89 |
| 1.4.2 | Das Abtasttheorem | 91 |
| 1.4.3 | Beschreibung linearer zeitdiskreter Systeme im Zeitbereich | 92 |
| 1.4.4 | Beschreibung linearer zeitdiskreter Systeme im Bildbereich | 93 |
| 1.4.5 | Die zeitdiskrete Ersatzregelstrecke | 98 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| 1.4.6 | Der digitale PID-Regler | 100 |
| 1.4.7 | Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktion, Stabilität | 103 |
| 1.4.8 | Stabilität mit dem Schur-Cohn-Kriterium | 103 |
| 1.4.9 | Digitale Filter | 105 |
| 1.5 | Methoden für Modellierung und Entwurf von Regelungen mit Matlab | 108 |
| 1.5.1 | Systemanalyse und Reglerentwurf im zeitkontinuierlichen Fall | 109 |
| 1.5.2 | Systemanalyse und Reglerentwurf im zeitdiskreten Fall | 118 |
| 1.5.3 | Systemanalyse und Reglerentwurf mit Simulink | 127 |
| | Literatur | 129 |
| Kapitel 2 | Rechnerarchitekturen für Echtzeitsysteme | 131 |
| 2.1 | Allgemeines zur Architektur von Mikrorechnersystemen | 131 |
| 2.1.1 | Aufbau und Konzepte | 133 |
| 2.1.2 | Unterbrechungsbehandlung | 137 |
| 2.1.3 | Speicherhierarchien, Pipelining und Parallelverarbeitung | 145 |
| 2.1.4 | Echtzeitfähigkeit | 152 |
| 2.2 | Mikrocontroller | 155 |
| 2.2.1 | Abgrenzung zu Mikroprozessoren | 155 |
| 2.2.2 | Prozessorkern | 157 |
| 2.2.3 | Speicher | 158 |
| 2.2.4 | Zähler und Zeitgeber | 161 |
| 2.2.5 | Watchdogs | 162 |
| 2.2.6 | Serielle und parallele Ein-/Ausgabekanäle | 163 |
| 2.2.7 | Echtzeitkanäle | 164 |
| 2.2.8 | AD-/DA-Wandler | 166 |
| 2.2.9 | Unterbrechungen | 167 |
| 2.2.10 | DMA | 168 |
| 2.2.11 | Ruhebetrieb | 168 |
| 2.2.12 | Erweiterungsbuss | 169 |
| 2.3 | Signalprozessoren | 169 |
| 2.4 | Parallelbusse | 172 |
| 2.4.1 | Grundkonzepte | 173 |
| 2.4.2 | Echtzeitaspekte | 182 |
| 2.4.3 | Der PCI-Bus | 183 |
| 2.4.4 | Der VME-Bus | 190 |
| 2.5 | Schnittstellen | 198 |
| 2.5.1 | Klassifizierung von Schnittstellen | 200 |
| 2.5.2 | Beispiele | 204 |
| 2.6 | Rechner in der Automatisierung | 207 |
| | Literatur | 212 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| Kapitel 3 | Hardwarechnittstelle zwischen Echtzeitsystem und Prozess | 215 |
| 3.1 | Einführung | 215 |
| 3.2 | Der Transistor | 217 |
| | 3.2.1 Der Transistor als Verstärker | 217 |
| | 3.2.2 Der Transistor als Schalter | 218 |
| 3.3 | Operationsverstärker | 220 |
| | 3.3.1 Definition und Eigenschaften des Operationsverstärkers | 220 |
| | 3.3.2 Realisierung mathematischer Funktionen mit Operationsverstärkern | 222 |
| | 3.3.3 Weitere Operationsverstärkerschaltungen | 228 |
| 3.4 | Datenwandler zur Ein- und Ausgabe von Analogsignalen | 232 |
| | 3.4.1 Parameterdefinitionen für Datenwandler | 233 |
| | 3.4.2 Digital zu Analog (D/A) - Wandler | 234 |
| | 3.4.3 Analog zu Digital (A/D) - Wandler | 236 |
| | 3.4.4 Analogmessdatenerfassung | 243 |
| 3.5 | Eingabe/Ausgabe von Schaltsignalen | 245 |
| | 3.5.1 Pegel-/Leistungsanpassung durch Relaisreiber mit gemeinsamer Spannungsversorgung | 245 |
| | 3.5.2 Pegel-/Leistungsanpassung durch Relaisreiber mit separater Spannungsversorgung | 247 |
| | 3.5.3 Pegelumsetzung auf 24 Volt | 248 |
| 3.6 | Serielle Schnittstellen | 249 |
| | 3.6.1 RS-232 Schnittstelle | 249 |
| | 3.6.2 RS-422-Schnittstelle | 252 |
| | 3.6.3 RS-485-Schnittstelle | 253 |
| Kapitel 4 | Echtzeitkommunikation | 255 |
| 4.1 | Einführung | 255 |
| 4.2 | Grundlagen für die Echtzeitkommunikation | 257 |
| | 4.2.1 Kommunikationsmodell | 257 |
| | 4.2.2 Topologien von Echtzeit-Kommunikationssystemen | 260 |
| | 4.2.3 Zugriffsverfahren auf Echtzeit-Kommunikationssysteme | 263 |
| | 4.2.4 Signalkodierung, Signaldarstellung | 266 |
| 4.3 | Ethernet für die Kommunikation zwischen Leitebene und Steuerungsebene | 267 |
| 4.4 | Feldbusse für die Kommunikation zwischen Steuerungs- und Prozessebene | 272 |
| | 4.4.1 Allgemeines | 272 |
| | 4.4.2 PROFIBUS | 274 |
| | 4.4.3 CAN-Bus | 278 |
| | 4.4.4 CAN-Bus - höhere Protokolle | 283 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| 4.4.5 | INTERBUS | 290 |
| 4.4.6 | ASI-Bus | 293 |
| 4.4.7 | Sicherheitsbus | 296 |
| 4.4.8 | Industrial Ethernet mit Echtzeit | 301 |
| 4.4.9 | ETHERNET Powerlink | 303 |
| 4.4.10 | EtherCAT | 306 |
| 4.4.11 | PROFINet | 308 |
| 4.4.12 | SERCOS III | 310 |
| 4.4.13 | Vergleich der Eigenschaften von Echtzeit-Ethernetsystemen | 312 |
| | Literatur | 314 |
| Kapitel 5 | Echtzeitprogrammierung | 317 |
| 5.1 | Problemstellung und Anforderungen | 317 |
| 5.1.1 | Rechtzeitigkeit | 318 |
| 5.1.2 | Gleichzeitigkeit | 322 |
| 5.1.3 | Verfügbarkeit | 324 |
| 5.2 | Verfahren | 325 |
| 5.2.1 | Synchrone Programmierung | 326 |
| 5.2.2 | Asynchrone Programmierung | 334 |
| 5.3 | Ablaufsteuerung | 338 |
| 5.3.1 | Zyklische Ablaufsteuerung | 339 |
| 5.3.2 | Zeitgesteuerte Ablaufsteuerung | 340 |
| 5.3.3 | Unterbrechungsgesteuerte Ablaufsteuerung | 340 |
| | Literatur | 342 |
| Kapitel 6 | Echtzeitbetriebssysteme | 343 |
| 6.1 | Aufgaben | 343 |
| 6.2 | Schichtenmodelle | 344 |
| 6.3 | Taskverwaltung | 349 |
| 6.3.1 | Taskmodell | 350 |
| 6.3.2 | Taskzustände | 351 |
| 6.3.3 | Zeitparameter | 354 |
| 6.3.4 | Echtzeitscheduling | 356 |
| 6.3.5 | Synchronisation und Verklemmungen | 378 |
| 6.3.6 | Task-Kommunikation | 391 |
| 6.3.7 | Implementierungsaspekte der Taskverwaltung | 394 |
| 6.4 | Speicherverwaltung | 395 |
| 6.4.1 | Modelle | 396 |
| 6.4.2 | Lineare Adressbildung | 397 |
| 6.4.3 | Streuende Adressbildung | 405 |
| 6.5 | Ein-/Ausgabeverwaltung | 410 |
| 6.5.1 | Grundlagen | 410 |
| 6.5.2 | Synchronisationsmechanismen | 413 |
| 6.5.3 | Unterbrechungsbehandlung | 419 |
| 6.6 | Klassifizierung von Echtzeitbetriebssystemen | 420 |

| | | | |
|-------------------------|-------|---|------------|
| | 6.6.1 | Auswahlkriterien | 421 |
| | 6.6.2 | Überblick industrieller Echtzeitbetriebssysteme | 424 |
| 6.7 | | Beispiele | 425 |
| | 6.7.1 | QNX | 425 |
| | 6.7.2 | POSIX.4 | 429 |
| | 6.7.3 | RTLinux | 433 |
| | 6.7.4 | VxWorks | 437 |
| | | Literatur | 442 |
| Kapitel 7 | | Echtzeitmiddleware | 443 |
| | 7.1 | Grundkonzepte | 443 |
| | 7.2 | Middleware für Echtzeitsysteme | 445 |
| | 7.3 | RT-CORBA | 447 |
| | 7.4 | OSA+ | 453 |
| | | Literatur | 465 |
| Kapitel 8 | | Echtzeitsystem Speicherprogrammierbare Steuerung | 467 |
| | 8.1 | Einführung | 467 |
| | 8.2 | Grundprinzip der SPS | 467 |
| | 8.3 | Hardware und Softwarearchitekturen der SPS | 469 |
| | 8.4 | SPS-Programmierung | 476 |
| | | Literatur | 486 |
| Kapitel 9 | | Echtzeitsystem Werkzeugmaschinensteuerung | 487 |
| | 9.1 | Einführung | 487 |
| | 9.2 | Struktur und Informationsfluss innerhalb einer NC | 492 |
| | 9.3 | Bewegungsführung | 499 |
| | 9.4 | Kaskadenregelung für eine Maschinenachse | 505 |
| Kapitel 10 | | Echtzeitsystem Robotersteuerung | 511 |
| | 10.1 | Einführung | 511 |
| | 10.2 | Informationsfluss und Bewegungssteuerung einer RC | 512 |
| | 10.3 | Softwarearchitektur und Echtzeitverhalten der RC | 517 |
| | 10.4 | Sensorgestützte Roboter | 533 |
| | | 10.4.1 Sensorstandardschnittstelle | 535 |
| Indexverzeichnis | | | 541 |