

Matthias Seitz

# Speicherprogrammierbare Steuerungen für die Fabrik- und Prozessautomation

Strukturierte und objektorientierte SPS-Programmierung, Motion Control, Sicherheit, vertikale Integration

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 231 Bildern, 29 Tabellen, 86 Beispielen und 51 Übungsaufgaben sowie einer begleitenden Internetseite unter [www.es.hs-mannheim.de/sps40](http://www.es.hs-mannheim.de/sps40)



**Fachbuchverlag Leipzig**  
im Carl Hanser Verlag

# Inhalt

<b>Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole</b> .....	<b>12</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>17</b>
1.1 Definition einer Steuerung .....	17
1.2 Aufgaben der Steuerungstechnik .....	18
1.2.1 Einsatzfelder für Steuerungen .....	18
1.2.2 Tätigkeitsfelder des Steuerungstechnikers .....	20
1.3 Steuereinrichtungen .....	21
1.3.1 Entwicklung der Steuerungstechnik .....	22
1.3.2 Stand der Technik .....	24
<b>2 Aufbau und Strukturen industrieller Steuerungen</b> .....	<b>27</b>
2.1 Aufbau einer SPS .....	27
2.1.1 Central Processing Unit .....	28
2.1.2 Ein- und Ausgangskarten .....	28
2.1.3 Programmiergerät (PG) .....	28
2.1.4 Human Machine Interface (HMI) .....	29
2.2 SPS-Arten .....	30
2.2.1 Hardware-SPS .....	30
2.2.2 Slot-SPS .....	30
2.2.3 Soft-SPS .....	31
2.2.4 Vor- und Nachteile PC-basierter SPSen .....	31
2.3 Informationsverarbeitung in der SPS .....	32
2.4 Konventionelle Ankopplung der Feldgeräte .....	33
2.4.1 Binäre Eingänge der SPS .....	33
2.4.2 Binäre Ausgänge der SPS .....	34
2.4.3 Analoge Eingänge der SPS .....	35
2.4.4 Analoge Ausgänge der SPS .....	37
2.5 Busankopplung der Feldgeräte .....	38
2.5.1 Feldbussysteme und -strukturen .....	38
2.5.2 Datenübertragung zwischen SPS und Feldgeräten .....	41
2.6 Bedienen und Beobachten .....	43
2.6.1 Aufbau von Bedien- und Beobachtungssystemen .....	44
2.6.2 Darstellung der Prozessgrafik .....	46

<b>3</b>	<b>Strukturierte SPS-Programmierung nach IEC 61131 .....</b>	<b>54</b>
3.1	Das Softwaremodell .....	55
3.1.1	Steuerungskonfiguration und Ressourcen .....	55
3.1.2	Tasks .....	57
3.1.3	Programmorganisationseinheiten .....	60
3.1.4	Variablen .....	65
3.2	Das Kommunikationsmodell .....	67
3.2.1	Datenaustausch innerhalb eines Programms .....	67
3.2.2	Datenaustausch zwischen Programmen .....	68
3.3	Das Programmiermodell .....	69
3.3.1	Programmiersprachen .....	69
3.3.2	Anwender-Datentypen .....	72
3.3.3	Anwender-Funktionsbausteine .....	73
3.4	Strukturierte Programmierung in der Automatisierungstechnik .....	75
3.4.1	Analyse der User Requirements .....	75
3.4.2	Objektorientierte Softwarestrukturierung .....	77
3.4.3	Entwurf der Funktionsbausteine .....	79
3.4.4	Entwurf der Ansteuerprogramme .....	80
3.4.5	Implementierung in der SPS .....	82
3.4.6	Simulation des Anlagenverhaltens .....	83
3.4.7	Testdurchführung und -protokollierung .....	86
<b>4</b>	<b>Verknüpfungssteuerungen .....</b>	<b>93</b>
4.1	Entwurf von Schaltnetzen .....	94
4.1.1	Wahrheitstabelle .....	94
4.1.2	Karnaugh-Veitch-Diagramme .....	96
4.2	Entwurf von Schaltwerken .....	98
4.2.1	Speicherschaltungen mit Flip-Flops .....	99
4.2.2	Zählschaltungen mit Countern .....	101
4.2.3	Zeitschaltungen mit Timern .....	104
4.2.4	Automatenentwurf .....	105
4.3	Einzelsteuerfunktionen .....	114
4.3.1	Motorbausteine .....	115
4.3.2	Ventilbausteine .....	117
4.3.3	Schutzmaßnahmen .....	119
4.3.4	Betriebsartenkonzepte .....	122
4.4	Sensordatenverarbeitung .....	126
4.4.1	Einlesen binärer Sensordaten .....	126
4.4.2	Einlesen analoger Sensorsignale .....	127
4.5	Regelungen .....	129
4.5.1	Reglerbetriebsarten .....	130
4.5.2	Schaltende Regler .....	131
4.5.3	Kontinuierliche Regler .....	133
4.5.4	Selbsteinstellende Regler .....	141

<b>5</b>	<b>Ablaufsteuerungen</b> .....	<b>152</b>
5.1	Aufbau von Schrittketten .....	153
5.1.1	Aktionen und Transitionen .....	153
5.1.2	Strukturen von Schrittketten .....	155
5.2	Analyse und Entwurf von Ablaufketten .....	157
5.2.1	Erreichbarkeitsgraf .....	157
5.2.2	Schrittkettenentwurf aus Zustandsgraphen .....	158
5.3	Verknüpfung zwischen SFCs und CFCs .....	159
5.4	Schutzfunktionen und Betriebsarten .....	163
5.4.1	HALT und ABBRUCH einer Schrittkette .....	163
5.4.2	Betriebsarten .....	165
5.5	Schrittkettenentwurf durch anlagenneutrale Grundfunktionen .....	167
5.6	Koordination paralleler Prozesse durch Petri-Netze .....	171
5.6.1	Modellierung paralleler Prozessabläufe durch Petri-Netze ....	172
5.6.2	Algebraischer Entwurf zur Koordination paralleler Prozesse ..	175
5.6.3	Programmwurf aus Petri-Netzen .....	177
<b>6</b>	<b>Bewegungssteuerungen</b> .....	<b>184</b>
6.1	Motion-Control-Systeme .....	185
6.1.1	Aufbau von Motion-Control-Systemen .....	185
6.1.2	Komponenten von Motion-Control-Systemen .....	187
6.1.3	Standard-Funktionsbausteine in Motion-Control-Systemen ....	189
6.2	Steuerung einer Bewegungsachse .....	190
6.2.1	Interpolation .....	192
6.2.2	Lageregelung .....	195
6.3	Steuerung von Werkzeugmaschinen .....	197
6.3.1	Bahnplanung durch CNC-Programmierung .....	197
6.3.2	Bewegungsvorgaben durch Kurvenscheiben .....	200
6.4	Robotersteuerungen .....	203
6.4.1	Kinematische Transformationen .....	204
6.4.2	Programmierung von Bewegungsabläufen .....	205
6.4.3	Bildverarbeitung zur Steuerung von Robotern .....	208
6.5	Bewegungsplanung für eine Fertigungszelle .....	213
6.5.1	Fertigungsplanung mit Vorranggraphen .....	214
6.5.2	Schrittkettenentwurf durch Petri-Netze .....	216
<b>7</b>	<b>Objektorientierte SPS-Programmierung</b> .....	<b>224</b>
7.1	Einsatz von Methoden und Eigenschaften .....	224
7.2	Klassen und Objekte .....	227
7.3	Vererbung .....	230
7.4	Objektorientierte Ansteuerung der Feldgeräte .....	232
7.4.1	Ablaufsteuerungen mit Methoden und Eigenschaften .....	232
7.4.2	Anlagenneutrale Grundfunktionen .....	234
7.4.3	Ansteuerung von Interfaces .....	235
7.4.4	Verallgemeinerung durch abstrakte Klassen .....	237

7.5	Rezeptsteuerung mit polymorphen Grundfunktionen .....	238
7.5.1	Entwurf von Rezeptsteuerungen .....	239
7.5.2	Prozessanalyse .....	240
7.5.3	Rezeptsynthese .....	244
7.5.4	Flexible Automatisierungssoftware .....	249

## **8** Sicherheitskonzepte für industrielle Steuerungen ..... 254

8.1	Gefahrenanalyse und Gegenmaßnahmen .....	254
8.1.1	Ereignisbaumanalyse .....	255
8.1.2	Fehlerbaumanalyse .....	255
8.1.3	Risikoanalyse .....	256
8.1.4	Gegenmaßnahmen .....	257
8.1.5	Safety Integrity Levels (SIL) .....	258
8.1.6	Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten .....	259
8.2	Sicherheitsgerichtete Steuerungen .....	261
8.2.1	Redundanz und Diversität .....	261
8.2.2	Aufbau sicherheitsgerichteter SPSen (SSPSen) .....	263
8.2.3	Sicherheitsgerichtete Feldbussysteme .....	265
8.3	Engineering zuverlässiger Steuerungen .....	267
8.3.1	Gute Automatisierungspraxis .....	267
8.3.2	Planung und Projektierung .....	268
8.3.3	Realisierung der Hard- und Software .....	272
8.3.4	Inbetriebnahme und Verifizierung .....	277
8.3.5	Wartung und Instandhaltung .....	280

## **9** Vertikale Integration betrieblicher Abläufe ..... 284

9.1	Horizontale Integration der Feld- und Steuerungsebene .....	285
9.1.1	Vernetzung mit Feldbus .....	285
9.1.2	Werkzeuge zur Netzwerkimtegration .....	286
9.1.3	Vernetzung mit Ethernet .....	287
9.1.4	Vernetzung mit Industrial Ethernet .....	291
9.2	Vertikale Integration mit den höheren Ebenen .....	293
9.2.1	Datenaustausch durch OPC .....	293
9.2.2	Internet in der Automatisierungstechnik .....	296
9.3	Prozessleitsysteme .....	301
9.4	Integrierte Betriebsführung .....	303
9.4.1	Betriebsdateninformationssysteme .....	304
9.4.2	Produktionsplanung und -steuerung .....	308
9.4.3	Ausführung von Steuerrezepten .....	310
9.4.4	Lagerverwaltungssysteme .....	315
9.4.5	Supply Chain Management .....	316

---

<b>10</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>321</b>
	10.1 Systematischer Programmentwurf .....	321
	10.2 Modularer Systementwurf .....	323
	10.3 Ausblick - SPS 4.0 .....	324
<b>■</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>327</b>
A	Wichtige Funktionsbausteine und Funktionen nach IEC 61131 .....	327
B	Bibliotheken wichtiger Anwenderfunktionsbausteine .....	330
	B1 Bausteine der automation.library .....	330
	B2 Bausteine der automationOOP.library .....	332
	B3 Bausteine der SimAT.library .....	333
	B4 Weitere Bibliotheken .....	334
C	Umsetzung der strukturierten Programmierung mit STEP 7 .....	335
D	Fachbegriffe Deutsch/Englisch .....	336
<b>■</b>	<b>Literatur und Links</b> .....	<b>341</b>
<b>■</b>	<b>Index</b> .....	<b>345</b>
	Hinweise zur Internetseite <a href="http://www.es.hs-mannheim.de/sps40">www.es.hs-mannheim.de/sps40</a> .....	354