

Dipl.-Ing. Heinrich Husmann, Hannover

**Ein Beitrag zur
Untersuchung des
dynamischen Verhaltens
feldbusgestützter
Regelkreise**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **655**

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abkürzungen und Symbole | IX |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Prozeßautomatisierung | 3 |
| 2.1 Prozeßrechensysteme in der Automatisierungstechnik | 3 |
| 2.1.1 Prozeßrechner Hardware-Architektur | 5 |
| 2.1.2 Prozeßrechner Software-Architektur | 6 |
| 2.2 Verteilte Prozeßautomatisierungssysteme | 9 |
| 2.2.1 Kommunikationsebenen | 10 |
| 2.2.2 Kommunikation in der Feldebene | 11 |
| 2.2.3 Offene Kommunikation, Normung | 13 |
| 2.2.4 ISO/OSI-Referenzmodell | 13 |
| 3 Der feldbusgestützte Regelkreis | 16 |
| 3.1 Der prozeßrechnergestützte Regelkreis | 16 |
| 3.2 Beschreibung des Zeitverhaltens von Prozeßrechnern | 17 |
| 3.2.1 Zusammensetzung von Stellzeitabweichung und Meßverzögerung | 19 |
| 3.2.2 Zeitlicher Ablauf der prozeßrechnergestützten Regelung | 20 |
| 3.2.3 Berechnung von Stellzeitabweichung und Meßverzögerung | 21 |
| 3.3 Der Zeitablauf im feldbusgestützten Regelkreis | 25 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | Zum dynamischen Verhalten von Abtastregelkreisen | 28 |
| 4.1 | Ein Zustandsmodell für Abtastregelkreise | 28 |
| 4.1.1 | Eigenbewegung einer Strecke 1.Ordnung mit einem diskreten Proportional-Regler | 34 |
| 4.1.2 | Eigenwertverschiebung bei einer Strecke 1.Ordnung mit einem diskreten Proportional-Regler | 36 |
| 4.1.3 | Eingrößenfall mit Proportional-Regler | 40 |
| 4.2 | Periodisierung von variablen Verzögerungen | 43 |
| 4.2.1 | Periodisch veränderliche Systemparameter | 44 |
| 4.2.2 | Periodisch veränderlicher Meß- und Stellabstand | 45 |
| 4.2.3 | Künstliche Periodisierung von Meß- und Stellabstand | 48 |
| 4.3 | Kompensation der Meßverzögerung | 49 |
| 4.4 | Folgerungen für feldbusgestützte Regelkreise | 50 |
| 5 | Die Feldbusprotokollschichten und ihr Einfluß auf das Zeitverhalten | 52 |
| 5.1 | Einfluß der Anwendungsschicht | 52 |
| 5.1.1 | Ereignisgesteuerte Übertragung (Enge Taktkopplung) | 53 |
| 5.1.2 | Pollingsysteme (Lose Taktkopplung) | 57 |
| 5.2 | Einfluß der Medienvergabeverfahren | 58 |
| 5.2.1 | Das Master/Slave-Verfahren | 58 |
| 5.2.2 | Das Token-Prinzip | 59 |
| 5.2.3 | Das Summenrahmenverfahren | 60 |
| 5.2.4 | Die CSMA-Verfahren | 60 |
| 5.3 | Einfluß der physikalischen Schicht | 61 |
| 5.4 | Verzögerungen bei zyklischer Übertragung | 62 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | Das Zeitverhalten verschiedener Feldbusrealisierungen | 66 |
| 6.1 | Token-Passing-Verfahren: PROFIBUS-FMS | 67 |
| 6.1.1 | Bestimmung der Paketübertragungszeiten | 71 |
| 6.1.2 | Zeitverhalten des PROFIBUS-FMS | 72 |
| 6.1.3 | Meßverzögerung und Stellabstand mit PROFIBUS-FMS | 77 |
| 6.2 | Master-/Slave-Verfahren: PROFIBUS-DP | 77 |
| 6.2.1 | Bestimmung der Paketübertragungszeiten | 79 |
| 6.2.2 | Zeitverhalten des PROFIBUS-DP | 79 |
| 6.2.3 | Meßverzögerung und Stellabstand mit PROFIBUS-DP | 80 |
| 6.3 | Summenrahmenverfahren: Interbus-S | 81 |
| 6.3.1 | Bestimmung der Paketübertragungszeiten | 83 |
| 6.3.2 | Zeitverhalten des Interbus-S | 83 |
| 6.3.3 | Meßverzögerung und Stellabstand beim Interbus-S | 84 |
| 6.4 | CSMA/CA-Verfahren: CAN-Bus | 85 |
| 6.4.1 | Bestimmung der Paketübertragungszeiten | 86 |
| 6.4.2 | Zeitverhalten des CAN-Bus | 87 |
| 6.4.3 | Meßverzögerung und Stellabstand beim CAN-Bus | 89 |
| 6.5 | Simulation des Zeitverhaltens von Feldbussen | 90 |
| 6.5.1 | Der minimale Schwankungsbereich der Meßverzögerung | 91 |
| 6.5.2 | Ein Reglerprozeß mit niederpriorer Grundlast | 98 |
| 6.5.3 | Gegenüberstellung der Feldbussysteme | 108 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 112 |
| A | Mathematica Quellen | 114 |
| A.1 | Zeitverläufe bei variablen Verzögerungen | 114 |
| A.2 | Berechnung von Eigenwertkurven | 116 |
| A.3 | Eigenwerte bei periodischen Verzögerungen | 118 |

| | |
|---|------------|
| B NETSIM-Steuerdateien | 120 |
| B.1 Minimale Meßverzögerung beim PROFIBUS-FMS | 120 |
| B.2 Minimale Meßverzögerung beim PROFIBUS-DP | 121 |
| B.3 Minimale Meßverzögerung beim Interbus-S | 122 |
| B.4 Minimale Meßverzögerung beim CAN-Bus | 123 |
| B.5 Niederpriore Grundlast mit dem PROFIBUS-FMS | 123 |
| B.6 Niederpriore Grundlast mit dem PROFIBUS-DP | 125 |
| B.7 Niederpriore Grundlast mit dem Interbus-S | 126 |
| B.8 Niederpriore Grundlast mit dem CAN-Bus | 127 |
| | |
| Literaturverzeichnis | 128 |