

automatisieren!

by atp

**Predictive Functional Control:
Algorithmus
und Testbetrieb
S. 15**

automatisieren! by atp
jetzt weiterempfehlen

AALE 2012 in Aachen mit den Schwerpunktthemen Robotik, Prozessautomatisierung und 3D-Simulation gesteuerter Systeme

Die Konferenz für angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung an Fachhochschulen (AALE), findet 2012 an der FH Aachen statt. Das Programm am 3. und 4. Mai umfasst 40 Übersichts- und Fachvorträge, unter anderem mit Schwerpunkten in der Lehre, der Robotik, der Prozessautomatisierung oder der 3D-Simulation gesteuerter Systeme.

Das aktualisierte Programm steht abrufbereit unter www.fh-aachen.de/aale2012. Dort kann auch die Anmeldung erfolgen. Bei der AALE ist das Forum, auf dem sich Professoren der Automatisierungstechnik oder verwandter Gebiete austauschen und aktuelle Themen diskutieren können. Verliehen wird bei der Tagung wieder der AALE Student Award.

Der Verein der Freunde und Förderer der Angewandten Automatisierungstechnik an Fachhochschulen (VFAALE e.V.) plant auch die Gründung einer Plattform für kooperative Promotionen. Etwa zehn Vertreter von



Die 9. Fachkonferenz für Experten der Angewandten Automatisierungstechnik aus Hochschule und Industrie (kurz: AALE) findet in Aachen statt. Die Beiträge sind im **Tagungsband** zu finden.

Hochschulen und Instituten haben bereits eine Absichtserklärung zur Gründung der Internationalen Akademie für Angewandte Automatisierungstechnik (IAAA) unterzeichnet. Hauptaufgabe soll die Förderung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit von nicht-promotionsberechtigten Hochschulen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz mit promotionsberechtigten Universitäten und Unternehmen sein, um kooperative Promotionen zu ermöglichen. Für dieses Projekt sucht der VFAALE weitere Unterstützung von Universitäten und Unternehmen.

**VFAALE E.V.,
c/o Fachhochschule Düsseldorf,
Fachbereich Elektrotechnik,
D-40474 Düsseldorf,
Tel. +49 (0) 211 435 13 08**

Inhaltsverzeichnis

Hauptbeitrag

- 15 Predictive Functional Control: Algorithmus und Testbetrieb. Einfach realisierbare Methode für SPS und PLS

Branche

- 3 Was kann der Erfolg von Smartphones für die Mensch-Maschine-Interaktion tun?
- 4 Simulationssoftware Scalexio verbessert
- 6 Netzwerke überwachen – Workshops zur Diagnose
- 7 Überwachung von Prozessen per Android-App
- 7 SPS IPC Drives: Call for Papers
- 8 Kolloquium: Beiträge für „Kommunikation in der Automation“ gesucht
- 9 Zenon 7 verspricht effiziente Produktionsprozesse und ergonomische Arbeitsabläufe
- 11 Alle gängigen SPS-Systeme visualisieren
- 11 TwinCAT3 ist online verfügbar
- 12 Namur-Award für beste Nachwuchsautomatisierer
- 13 Protocol Developer um Präprozessor erweitert
- 13 CoDeSys SPS spart Platz und Kosten
- 31 EtherCAT jetzt auch koreanischer Standard

Techniker gefragt

- 31 Warum kann es in der Nähe bestimmter Autos zu einem Stromschlag kommen?



Was kann der Erfolg von Smartphones für die Mensch-Maschine-Interaktion tun?

Welches Potenzial haben Apps, die ganz wesentlich zum Erfolg von Smartphones und Tablet PCs beigetragen haben? Und welche Bedeutung haben die erfolgreich eingesetzten Elemente (Gamification) für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion, zum Beispiel im Fahrzeug, im Operationssaal oder in den Anlagen der Fertigungs- und Prozessindustrie?

Während der sechsten Fachtagung „Useware 2012 – Mensch-Maschine-Interaktion“ am 4. und 5. Dezember in Kaiserslautern stehen diese Themen im Mittelpunkt. Neben Fachbeiträgen zu Empirie, Methodik und Anwendung von Useware bietet diese Fachtagung eine Plattform zur Präsentation

von Demonstratoren, Designstudien und ersten industriellen Produkten.

Experten sind aufgefordert zu den Themenbereichen „Appifikation und Gamification in herausfordernden Einsatzumgebungen“ und „Demonstratoren, Designstudien sowie Industrielle Produktpräsentationen“ aus verschiedenen Industriezweigen Ihre Beiträge einzureichen. Weitere Informationen enthält die Internetseite www.vdi.de/useware

VDI Wissensforum GmbH,
D-40468 Düsseldorf,
Tel. +49 (0) 211 621 42 01

Simulationssoftware Scalexio verbessert

Die Hardware-in-the-Loop-Technologie Scalexio unterstützt ab sofort die Protokolle Sent 2010 und Ethernet. Außerdem bietet sie eine Fehlersimulation mit flexiblen Lizenzen.

Der SAE-Standard J2716 Sent 2010 garantiert zuverlässige Datenübertragung zwischen Sensoren und Steuergeräten. Basierend auf diesem Standard hat Scalexio nun zwei neue Funktionen: Sent In und Sent Out. Diese erweitern Scalexio um die Möglichkeiten, die Sent-Datenkommunikation der Sensoren für die Validierung und den Test von Steuergeräte-Software zu simulieren und zu erfassen.

Eine weitere neue I/O-Funktion unterstützt den Echtzeiteinsatz des Ethernet-Protokolls. Anwender können Geräte, die über Ethernet kommunizieren, direkt über eine Schnittstelle der Processing Unit an ihr System anbinden.

Alle I/O-Funktionen werden grafisch mit ConfigurationDesk von dSpace konfiguriert.

Außerdem hat der Hersteller ein flexibles und skalierbares Lizenzmodell für die Fehlersimulation eingeführt. Mit einer einzelnen Hardware-Lizenz lässt sich die Fehlersimulation für jede beliebige Anzahl bestehender I/O-Kanäle eines Systems aktivieren. Dafür muss weder der Aufbau verändert noch das System angepasst werden. So können Anwender die Investitionslast auf-



Die Hardware-in-the-Loop-Technologie Scalexio würde erweitert. Bild: D Space

grund Funktions- und Planungsunsicherheiten verringern. Zudem ist es möglich, dieselbe Lizenz nacheinander auf verschiedenen Systemen einzusetzen, um komplette Flexibilität und Anpassungsfähigkeit innerhalb eines Unternehmens zu gewährleisten. Dadurch sind funktionale und Diagnosetests ohne vorab zugewiesene Hardware-Konfigurationen möglich.

D Space GmbH,
D-33102 Paderborn,
Tel. +49 (0) 5251 163 80

HAUPTBEITRAG

Predictive Functional Control: Algorithmus und Testbetrieb

Einfach realisierbare Methode für SPS und PLS

Robert Haber, Mirco Kreutz, Khaled Zabet, Fachhochschule Köln

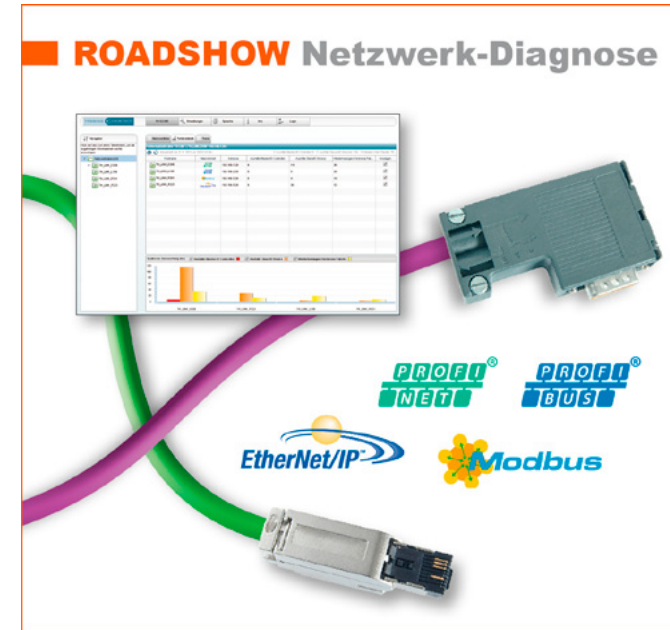
Prädiktive (vorausschauende) Regelungen werden vor allem für komplexe Optimalwertregelungen eingesetzt. Die vorgestellte PFC-Regelung (Predictive Functional Control) bietet Algorithmen für Ein- oder Zweigrößensysteme, welche in speicherprogrammierbaren Steuerungen und Prozessleitsystemen einfach implementiert werden können. Der Algorithmus berücksichtigt die vorhandenen Begrenzungen und vermeidet das Integrator-Windup. Der Beitrag zeigt grundlegende Eigenschaften von PFC sowie Implementierungsmöglichkeiten in das Prozessleitsystem Simatic PCS7 auf.

Schlagwörter: Prädiktiver Regler / Predictive Functional Control / Totzeit / Störgrößenaufschaltung / SPS / Prozessleitsystem

►► Den kompletten Artikel lesen Sie auf S. 15

by atp
automatisieren!
Ihr Kontakt zur **Redaktion**
atp@oldenbourg.de

Netzwerke überwachen – Workshops zur Diagnose



Die Roadshow Netzwerk-Diagnose ist wieder unterwegs.
Bild: Trebing+Himstedt

Trebing + Himstedt veranstaltet auch dieses Jahr wieder „Roadshow Netzwerk-Diagnose“. Auf den kostenfreien Veranstaltungen werden Diagnosekonzepte für Profibus, Profinet, Ethernet/IP, Modbus TCP und Industrial Ethernet praxisnah vorgestellt. Anhand von Live-Demonstrationen mit dem TH Scope und dem TH Link erfahren die Teilnehmer, wie es gelingt, alle Netzwerke einheitlich und protokollübergreifend zu überwachen, Störungen schnell aufzufinden

und häufige Fehlerursachen zu erkennen und zu beheben. Es wird aufgezeigt, wie sich durch Netzwerk-Diagnose die Anlagenverfügbarkeit erhöhen lässt und welche Überwachungs- und Reporting-Funktionen bei Inbetriebnahme, Instandhaltung und Inventur Unterstützung bieten.

Trebing & Himstedt Prozeßautomation GmbH & Co. KG,
D-19061 Schwerin, Tel. +49 (0) 385 39 57 20

Produktionsprozesse nun auch per Android-App überwachen



Die Überwachung auf industrietauglichen Endgeräten ist nun auch mit einem Android-Betriebssystem möglich. Bild: Itac Software

Nutzer des MES (Manufacturing Execution System) von Itac Software können die Vorteile von Android-basierten Apps für industrietaugliche Endgeräte nutzen. Mit den Apps TR und BDE/MDE sind die Supply-Chain-übergreifende Traceability und das Controlling von Produktionsprozessen sicher möglich. Anwender erhalten die Möglichkeit, mobil auf ihre Produktionsprozesse einwirken zu können. Die Apps werden unter anderem für das Motorola E1 Unternehmens-Tablet angeboten. Mit der Bereitstellung der API-Bibliotheken auf der Android-Betriebssystemplattform stehen die

standardisierten fachlichen Funktionalitäten des iTAC-Applikationsservers über gesicherte Kommunikationsstrecken zur Verfügung.

Bis dato sind die Android App TR (Traceability) und das MDE/BDE-Dashboard verfügbar – weitere Applikationen werden folgen. Die beiden derzeit verfügbaren Apps ermöglichen die mobile, Supply-Chain-übergreifende Rückverfolgbarkeit sowie die komfortable Sichtung von Betriebs- und Maschinendaten.

Itac Software AG,
D-56428 Dernbach, Tel. +49 (0) 2602 106 50

Kolloquium: Beiträge für „Kommunikation in der Automation“ gesucht

Für das Kolloquium „Kommunikation in der Automation“ (KommaA) können Interessierte noch grundlagen- oder anwendungsorientierte Beiträge einreichen. Das Jahreskolloquium befasst sich mit industrieller Kommunikation, die das Rückgrat jeder dezentralen Automatisierung bildet.

Die Veranstalter ifak e.V. und inIT (Institut für Industrielle Informationstechnik) der Hochschule Ostwestfalen-Lippe nehmen noch Beitragsvorschläge, die eine Länge von einer Seite nicht überschreiten sollten, bis zum 11. Mai entgegen.

Einzureichen sind die Papers unter www.init-owl.de/komma2012. Dort finden sich weitere Informationen zur Agenda der Veranstaltung. Das Kolloquium findet am 14. November 2012 zum dritten Mal statt. Dieses Jahr laden die Veranstalter ins Centrum Industrial IT in Lemgo.

inIT – Institut für Industrielle Informationstechnik
Hochschule Ostwestfalen-Lippe,
D-32657 Lemgo,
Tel. +49 (0) 5261 702 138

SPS IPC Drives ruft zur Einreichung von Beiträgen für Kongress auf

Zum Kongress der SPS IPC Drives 2012 (27. bis 29. November 2012) ist der Call for Papers eröffnet. Noch bis zum 3. Mai können Beiträge für den Kongress auf der Leitmesse für Automatisierung in Nürnberg eingereicht werden. Die Manuskripte können in Form von Vorträgen oder Tutorials eingereicht werden. Die Auswahl erfolgt durch das Kongresskomitee. Es setzt sich aus Experten der Wirtschaft und Industrie zusammen. Zusätzlich zu den persönlichen Präsentationen auf dem Kongress werden die Beiträge im Tagungsband veröffentlicht.



Nachfolger gesucht: Stephan Seidel (links) und Dr. Alexander Bähr wurden im vergangenen Jahr auf der SPS IPC Drives jeweils mit dem Young Engineer Award ausgezeichnet. Bild: Mesago

Unter all den Einreichungen zeichnet der Young Engineer Award die besten Beiträge junger Ingenieure (unter 35 Jahren) aus. Je ein Gewinner aus den Bereichen Automation und Drives erhält ein Preisgeld von 1000 Euro. Die einzelnen Themenbereiche der Schwerpunkte Automation und Drives sind zu finden unter www.mesago/sps.

Mesago Messemanagement GmbH,
D-70178 Stuttgart,
Tel. +49 (0) 711 61 94 60

Zenon 7 verspricht effiziente Produktionsprozesse und ergonomische Arbeitsabläufe

Copa-Data stellt mit Zenon 7 ein umfassendes Portfolio an Software-Produkten für integrierte, ergonomische Automatisierungslösungen vor. Die Produktfamilie besteht aus vier Lösungen und deckt damit die Automatisierung vom Sensor bis hin zum ERP-System ab. Für Projekte in der Pharmaindustrie steht Anwendern ab sofort eine spezielle Pharma-Edition zur Verfügung.

Bisher wurde die HMI/SCADA-Software als zentrales Produkt entwickelt und vertrieben. Jetzt umfasst es hingegen vier individuelle, vollständig integrierte Softwareprodukte: Zenon Analyzer, Zenon Supervisor, Zenon Operator und Zenon Logic.

Volle Wiederverwendbarkeit und Durchgängigkeit durch die gesamte Produktfamilie sorgen für effizientes Engineering, einfaches Handling und bedeutende Zeit- und Kosteneinsparungen. Für plattformunabhängige, dynamische Produktionsdatenauswertungen bringt der Zenon Analyzer ideale Voraussetzungen mit, betont der Hersteller. Das Reporting-Tool verarbeitet und präsentiert Daten aus dem Prozess bis hin zum ERP-System und erstellt aussagekräftige Reports mit umfassenden Kennzahlenberechnungen und statistischen Auswertungen.

Für jene Anwender, die komplexe Anlagen umfassend visualisieren und steuern



Die Produktfamilie rund um Zenon 7 soll maßgeschneiderte Produkte für unterschiedliche Anforderungen und ergonomische Arbeitsprozesse in der Automatisierung liefern.

möchten, ist das unabhängige SCADA-System Zenon Supervisor die passende Lösung. Der Zenon Operator, das neue Embedded-HMI-System von Copa-Data, wurde speziell für die einfache und ergonomische Maschinensteuerung und die Steuerung kleiner Anlagen entwickelt. Zenon Logic, das integrierte SPS-System mit IEC 61131-3-Programmierungsumgebung, vervollständigt die neue Produktfamilie von Copa-Data.

Zenon 7 wurde mit rund 230 neuen Funktionalitäten ausgestattet, dazu gehören:

- Neues ISA-S88-kompatibles Modul „Batch Control“ für optimale Steuerung in der chargenbasierten Prozessindustrie
- Markteinführung der „Zenon Pharma Edition“ mit maßgeschneiderten Features für Projekte in der pharmazeutischen Industrie (GAMP 5-klassifiziert, Audit Trail, Einhaltung der FDA 21 CFR Part 11 Vorschriften)
- Native Multitouch-Unterstützung
- Mehr Sicherheit im Netzwerk – verschlüsselte Netzwerkkommunikation
- Neues „Message Control“ für verbessertes Eskalationsmanagement
- Neues Modul „Report Viewer“ für übersichtliche Datenaufbereitung und vollgrafisches Reporting am HMI
- Verbesserungen der Module „Rezeptgruppenmanager“ (RGM) und „Erweiterter Trend“ (ETM)
- Ergonomieverbesserungen der Sprachtabelle und der Querverweisliste
- DirectX11-Unterstützung und neue grafische Möglichkeiten
- Performance-Optimierung der Zenon Runtime
- Vielzahl neuer Vorlagen und Wizards für effizientes Arbeiten

- Neue und adaptierte Zenon-Treiber, etwa Allen Bradley mit Offline-Import, OPC-UA-Treiber mit Zertifikatsunterstützung und Benutzerauthentifizierung, B&R-Treiber mit Blocklesen von Arrays und Strukturen, Mitsubishi-Treiber für Q-Serie

Zenon 7 bietet auch eine branchenspezifisch angepasste Software für Automatisierungsprojekte in der pharmazeutischen Industrie. Dabei sind wichtige Bereiche wie Sicherheit, Nachvollziehbarkeit und Benutzerverwaltung berücksichtigt. Der Hersteller hat die Pharma-Edition mit speziellen Sicherheitsfunktionen ausgestattet, um den gesetzlichen Vorschriften zu entsprechen und schnelle, einfache Validierungsprozesse zu unterstützen.

Copa-Data GmbH,
D-85521 Ottobrunn,
Tel. +49 (0) 89 660 29 89 00

Kostenloses Basisformat

**Kostenloses Basisformat
im Satzspiegel 60 x 28**

Buchen Sie bitte unter:
<http://anzeigen.automatisieren.org>

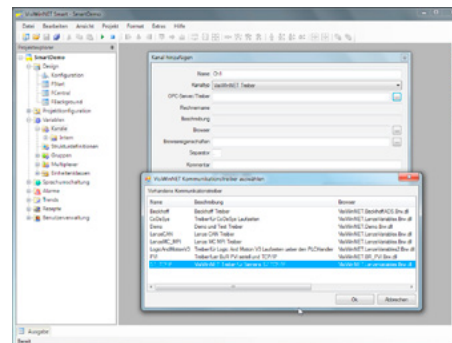
Alle gängigen SPS-Systeme visualisieren

Die Visualisierungsumgebung VisiWinNET wird bereits weltweit mit CoDeSys-basierten Steuerungen eingesetzt. Dabei werden die meisten SPSen heute hardwaremäßig über Standard-Ethernet mit dem Visualisierungsserver gekoppelt.

Es sind aber auch noch Anbindungen über CAN-Bus, Profibus und viele weitere Schnittstellen verfügbar. Außerdem sind OPC DA- und UA-Kopplungen möglich – all dies wird von VisiWinNET unterstützt. Viele Anbindungen an ältere Steuerungssysteme sind ebenfalls noch verfügbar, sodass das Visualisierungssystem für Modernisierungen eingesetzt werden kann. Auch wenn der Endkunde auf seiner SPS besteht, braucht die VisiWinNET-Visualisierung nicht verän-

dert zu werden. Es besteht die Möglichkeit, die Applikation über einen sogenannten Variablenadapter für unterschiedliche Steuerungen so vorzubereiten, dass nur noch bei der Installation auf dem Zielrechner unterschieden werden muss, an welches SPS-System ange koppelt werden soll.

Dabei ist die VisiWin-Produktfamilie ein modernes Visualisierungssystem: Durch Verwendung des Windows Presentation Foundation Frameworks für Prozessgrafiken erlaubt es völlig neue Oberflächendesigns für HMI- und SCADA-Anwendungen. Eine weitere Innovation ist die Möglichkeit, bei der Entwicklung von Anwendungen Oberflächendesign und Programmlogik vollständig voneinander zu trennen. Für verteilte



Das Visualisierungssystem VisiWinNET kann mit allen gängigen Steuerungen eingesetzt werden. Bild: Inosoft

Visualisierungsaufgaben unterstützt VisiWinNET Client/Server-Architekturen.

Inosoft GmbH,

D-32120 Hiddenhausen, Tel. +49 (0) 5221 16 66 00

Namur-Award für beste Nachwuchsautomatisierer

Für die Bewerbung um den Namur-Award 2012 können noch bis zum 29. Juni herausragende Abschlussarbeiten zum Thema „Intelligente Prozess- und Betriebsführung“ eingereicht werden. Mit dem Preis möchte die Namur die Attraktivität des zukunfts-trächtigen, interdisziplinären Arbeitsgebiets Prozessautomatisierung weiter erhöhen und junge Absolventen ermutigen, sich darin zu vertiefen. Prämiert werden die beste Diplom-/Masterarbeit mit 1000 Euro sowie die beste Promotionsarbeit mit 2000 Euro.

Die Arbeiten können beispielsweise aus folgenden Fachgebieten stammen: Automatisierungstechnik, Elektrotechnik, Informationstechnik, Mess-, Regelungstechnik, Prozessleittechnik sowie Verfahrenstechnik. Lehrstuhlinhaber entsprechender Fachgebiete können formlos Anträge für die beste Abschlussarbeit einreichen. Zur Unterstützung der Bewerbung können zugehörige Veröffentlichungen ebenfalls eingereicht werden. Die Unterlagen erbittet die Namur per E-Mail an office@namur.de. Die Preisverleihung findet im Rahmen der Namur-Hauptsitzung am 9. November in Bad Neuenahr statt.

Namur-Geschäftsstelle,

c/o Bayer Technology Services,

D-51368 Leverkusen, Tel. +49 (0) 214 307 10 34

TwinCAT3 ist online verfügbar – Module für viele Sprachen geeignet

TwinCAT 3 ist nun kostenfrei zum Download erhältlich. Das Programm soll mit einem innovativen Engineeringkonzept, der modularen Softwareerstellung und performanter Runtime punkten. Das Engineering wurde mit der Integration in das Microsoft Visual Studio eingebunden. Damit stehen dem Automatisierer moderne Software-Engineeringwerkzeuge zur Verfügung. Um den steigenden Anteil von Software in Maschinen oder Anlagen zu beherrschen, muss



die Software modular aufgebaut werden. Das ist mit TwinCat 3 möglich. Die Module können in vielen Sprachen ge-

Die im November releaste Version TwinCat 3 steht nun kostenfrei zur Verfügung. Bild: Beckhoff

schrieben werden. Neben der klassischen, aber um Objektorientierung erweiterten IEC 61131, stehen auch C/C++ und Matlab/Simulink zur Verfügung. In der Echtzeit von TwinCat können diese Module auf verschiedenen Kernen einer Multicore-CPU verteilt und hochdeterministisch auch mit kleinsten Zykluszeiten ausgeführt werden.

Beckhoff Automation GmbH,

D-33415 Verl, Tel. +49 (0) 5246 96 30

Protocol Developer um Präprozessor erweitert

Deutschmann Automation erweitert den Funktionsumfang des bewährten „Protocol Developer“ um einen wahlweise zuschaltbaren Präprozessor, der bedingte Kompilierungen erlaubt. Kunden können damit Skripte für verschiedene Bussysteme mit einem Programm erstellen und unterschiedliche Programmteile mit Software-Schaltern für die jeweiligen Bussysteme kompilieren. Damit reduzieren Hersteller von Automatisierungsgeräten den Entwicklungsaufwand, der zu großen Teilen bei der Anpassung der Produkte an unterschiedliche Feldbus- und Industrial-Ethernet-Protokolle anfällt.

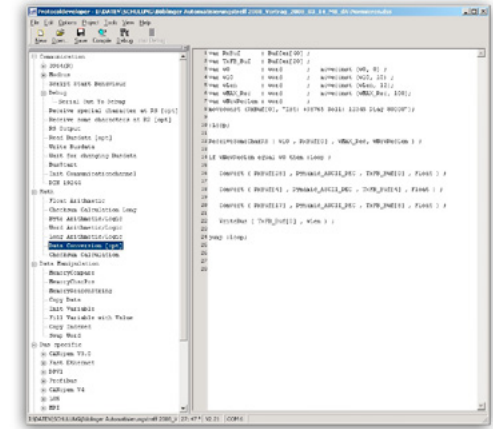
In den einbaufertigen Schnittstellen der Unigate-IC-Baureihe und Unigate-CL-Protokollkonvertern, die für alle gängigen

Feldbusse und Industrial-Ethernet-Systeme zur Verfügung stehen, setzt das Skript das Protokoll des Endgeräts um – Änderungen an der Endgeräte-Firmware entfallen damit.

Mit dem an moderne Programmiersprachen angelehnten Skript, zu dessen Erzeugung der Hersteller außerdem den kostenlosen Protocol Developer bereitstellt, lassen sich auch komplexe Protokolle nachbilden, Daten zwischenspeichern und beliebig weiterverarbeiten, ohne dass spezielle Kenntnisse zur Programmierung oder zu den Besonderheiten der Feldbusse und Ethernet-Systeme vorausgesetzt werden.

Auf Skript-Grundlage lassen sich bei Bedarf auch kundenspezifische Befehle integrieren. Genauso können Aktionen mit

zeitlichen und ereignisbasierten Auslösern verknüpft sowie alle Daten und Zustände im Bus dargestellt werden. Für das komfortable und schnelle Debugging auch großer Skripte bietet der Protocol Developer zahlreiche Funktionen, wie zum Beispiel Breakpoint, Single-Step, Anzeige der Variablen und ihrer Werte sowie Fehleranzeigen. Anwender finden über die kontextsensible Hilfefunktion eine Beschreibung sämtlicher Skript-Befehle. Durch die standardisierten Hardware-Schnittstellen der Serien Unigate CL und Unigate IC lassen sich einmal erstellte Konfigurationen und Skripte praktisch ohne Änderungen für alle Varianten der gleichen Baureihe verwenden. Die Geräte sind unter anderem für Profibus, MPI, DeviceNET, CANopen, LonWorks, Modbus TCP, Profinet, Powerlink, EtherCAT, Ethernet/IP, Ethernet TCP/IP und auch für RS-basierte Protokolle wie zum Beispiel Mod-



Ansicht des Protocol Developers.
Bild: Deutschmann

bus RTU (Master oder Slave) und Modbus ASCII erhältlich.

Deutschmann Automation GmbH & Co. KG,
D-65520 Bad Camberg, Tel. +49 (0) 6434 943 30

CoDeSys SPS spart Platz und Kosten

Mit der CoDeSys SPS bietet MKT eine Kleinststeuerung zur kostengünstigen und platzsparenden Umsetzung von Automatisierungsaufgaben. Die mit CoDeSys V3.4 (IEC-61131-3) programmierbare Steuerung für die Hutschienenmontage integriert wahlweise einen EtherCat-Master und/oder einen CANopen-Master und verfügt über je eine EtherCAT- und CAN-Schnittstelle.



Die CoDeSys SPS.
Bild: MKT

Ein zusätzliches Ethernet-Interface dient zur CoDeSys-Programmierung (unter anderem Übertragen des Programms, Schaltzustände auslesen). Kernstück der Lösung ist ein ARM11-Prozessor mit 532 MHz-Takung. Speicherseitig verfügt die CoDeSys-SPS über 128 MB DDR2-SDRAM, 32 MB NOR-Flash und 1 GB NAND-Flash. Optional kann der Speicher auf 256 MB DDR2-SDRAM erweitert und mit einer Micro-SD-Karte weiter aufgerüstet werden. Das Ge-

häuse mit der Schutzart IP20 misst 85 x 110 x 22 mm. Passend zur Kleinststeuerung bietet MKT kompakte CANopen- und EtherCAT-E/A-Module mit acht digitalen Ein- beziehungsweise Ausgängen und Gehäusemaßen von 100 x 80 x 25 mm.

MKT Systemtechnik GmbH & Co. KG,
D-32257 Bünde,
Tel. +49 (0) 5223 493 93 30

HAUPTBEITRAG

Predictive Functional Control: Algorithmus und Testbetrieb

Einfach realisierbare Methode für SPS und PLS

Robert Haber, Mirco Kreutz, Khaled Zabet, Fachhochschule Köln

Prädiktive (vorausschauende) Regelungen werden vor allem für komplexe Optimalwertregelungen eingesetzt. Die vorgestellte PFC-Regelung (Predictive Functional Control) bietet Algorithmen für Ein- oder Zweigrößensysteme, welche in speicherprogrammierbaren Steuerungen und Prozessleitsystemen einfach implementiert werden können. Der Algorithmus berücksichtigt die vorhandenen Begrenzungen und vermeidet das Integrator-Windup. Der Beitrag zeigt grundlegende Eigenschaften von PFC sowie Implementierungsmöglichkeiten in das Prozessleitsystem Simatic PCS7 auf.

Schlagwörter: Prädiktiver Regler / Predictive Functional Control / Totzeit / Störgrößenaufschaltung / SPS / Prozessleitsystem

Predictive Functional Control: Algorithm and Test Implementation – Simply realizable method for PLC and PCS

Predictive control is used primarily for complex optimal control. The presented Predictive Functional Control (PFC) provides algorithms for single variable or two variables systems. They can be easily implemented in programmable logic controllers and process control systems. The algorithm takes the limits into account while avoiding the integrator windup. The article demonstrates basic properties of PFC and implementation possibilities in the process control system Simatic PCS7.

Keywords: Predictive Controller / PFC (Predictive Functional Control) / Dead Time / Disturbance Feed-forward / PLC / Process Control System

Der PFC-Algorithmus [6] ist einfacher als die in wissenschaftlichen Kreisen bekannte verallgemeinerte prädiktive GPC-Regelung (Generalized Predictive Control). Im Unterschied zum GPC-Regelungsalgorithmus wird beim PFC-Regelungsalgorithmus in seiner üblichen Form die Regelgröße nur für einen Schritt in der Zukunft optimiert und somit eine Matrizenrechnung vermieden. Die Stellsignalbegrenzungen werden analytisch berücksichtigt. Daher entfallen die bei prädiktiven Regelungen üblichen Iterationen bis zum Finden der optimalen Lösung und das damit eventuell verbundene Konvergenzproblem. Das typische Anwendungsgebiet der PFC-Regelung ist die Eingrößenregelung (einschleifig oder in Kaskadenstruktur). Eine PFC-Regelung verbessert das Regelungsverhalten bei totzeitbehafteten Prozessen gegenüber den PI(D)-Regelungen ohne ein komplexes, prädiktives Regelungsprogramm oder den sehr parameterempfindlichen Smith-Prädiktor einsetzen zu müssen. Zudem berücksichtigt sie in eleganter Weise die Begrenzungen und vermeidet gleichzeitig das Integrator-Windup, das die Regelung stark verlangsamt.

Die vorgestellten Algorithmen wurden für die Regelung eines Heißluftgebläses (Laboranlage Amira LTR-701 [1]) angepasst und erfolgreich getestet. Der Durchfluss des Luftstroms wird über die Gebläseleistung, die Lufttemperatur über eine Heizung geregelt. Ziel war, eine Temperaturregelung zu entwerfen, welche die durch Änderungen des Luft-

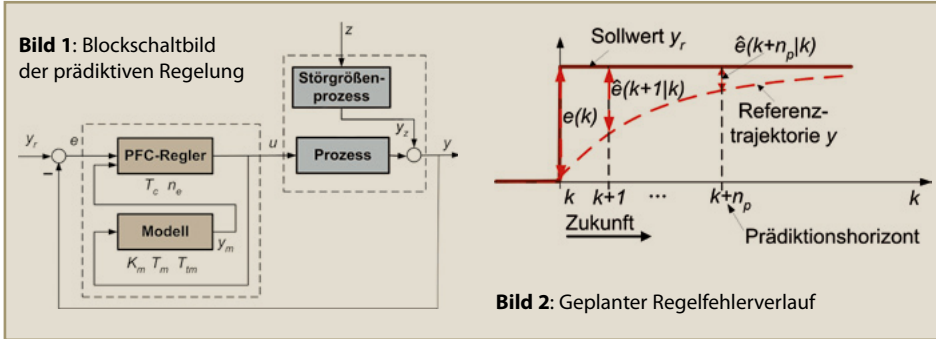
stroms verursachten Störungen kompensieren kann. Ein lineares Modell zweiter Ordnung der Anlage wurde aufgestellt und die Modellparameter aus aktiven Versuchen geschätzt. Anhand des Modells wurde eine Regelung ohne und eine mit Störgrößenaufschaltung entwickelt.

Die Regelung wurde zuerst simuliert und anschließend die Anlage mit der Software Matlab über einen Rechner mit Prozessperipherie erfolgreich geregelt. Der Regelungsalgorithmus wurde ebenfalls als Baustein im Prozessleitsystem Simatic PCS7 realisiert und im Echtzeitversuch erfolgreich getestet.

Obwohl bereits weltweit Industrieanwendungen der PFC-Regelung vorliegen (siehe zum Beispiel [6, 7]), wozu auch die von Evonik/Degussa seit Jahren in Zusammenarbeit mit dem Erfinder des PFC-Algorithmus, Dr. Richalet, realisierten Anwendungen [2] gehören, ist dieser Algorithmus in Deutschland wenig bekannt.

1. PFC-Prinzip und Reglerparameter

PFC ist eine Form der modellbasierten prädiktiven Regelung, das heißt, der Regler berechnet das zukünftige Verhalten des Prozesses beziehungsweise der Regelgröße anhand des bekannten Prozessmodells möglichst genau voraus (prädiziert), um damit eine Minimierung des zukünftigen Regelfehlers zu erreichen. Bild 1 zeigt die Regelungsstruktur für einen Prozess erster Ordnung. Der Prozess wird durch die Parameter K (Proportionalbeiwert), T (Zeitkon-



stante) und T_t (Totzeit) beschrieben. Die dem PFC-Regler bekannten Modellparameter werden mit dem Index m versehen.

Bild 2 stellt den geplanten Regelgrößen- und Regelfehlerverlauf bei einer sprunghaften Sollwertänderung dar. Es wird angenommen, dass der Regelfehler in jedem Schritt gleichermaßen sinkt:

$$\begin{aligned}\hat{e}(k+1|k) &= \lambda_r e(k) \\ \hat{e}(k+2|k) &= \lambda_r \hat{e}(k+1|k) = \lambda_r^2 e(k) \\ \hat{e}(k+n_p|k) &= \lambda_r^{n_p} e(k)\end{aligned}\quad (1)$$

mit den Reglerparametern

- n_p : Vorhersagehorizont,
- λ_r : Reduktionsverhältnis der nacheinander folgenden Regelfehler

Das Symbol „ $\hat{\cdot}$ “ bedeutet einen prädizierten Wert.

Die stetige Reduktion des Regelfehlers kann man mit einer exponentiellen Funktion beschreiben, wie die Differenz der Sprungantwort eines PT1-Prozesses (Pro-

zess erster Ordnung) zum angestrebten Endwert. Folglich sollte der so entworfene geschlossene Regelkreis sich wie ein PT1-Glied verhalten und 95 % des Sollwertes ohne Überschwung in T_c erreichen. Daraus folgt:

$$\lambda_r = \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_c/3}\right) = \exp\left(-\frac{3\Delta t}{T_c}\right) \quad (2)$$

Δt symbolisiert die Abtastzeit. Daher wird anstatt λ_r eher die geplante Ausregelzeit ($t_{95\%}$) des zu erwartenden geschlossenen Regelkreises als Reglerparameter benutzt:

- T_c : Ausregelzeit ($t_{95\%}$) des geschlossenen Regelkreises.

2. PFC-Regelungsalgorithmus

Der PFC-Algorithmus wird für die wichtigsten Fälle der Eingrößenregelung beschrieben:

- PT1-Prozess ohne Totzeit
- PT1-Prozess mit Totzeit
- aperiodischer Prozess höherer Ordnung

Die Erweiterung auf die Störgrößenaufschaltung mit und ohne Totzeit wird in Abschnitt 3 gezeigt. Die Regelung schwingungsfähiger Prozesse ist in [6] behandelt.

Die Simulationsbeispiele zeigen für einen PT1-Prozess mit den Parametern $T = 1,0$ s und $K = 1,0$ zunächst ohne und später mit einer Totzeit von $T_t = 2,0$ s den Vergleich zwischen einer PFC- und einer PI-Regelung. Das Regelungsverhalten wird dabei zuerst für einen Sollwertsprung und anschließend für eine sprunghafte Störung gezeigt.

2.1 PFC-Algorithmus anhand eines PT1-Modells ohne Totzeit

Die Regelung für einen Sollwertsprung ist in Bild 3 dargestellt. Zusätzlich zur Regelgröße werden auch das konstant angenommene Stellsignal und der Modellausgang gezeigt.

Es wird angenommen, dass die Änderung der Regelgröße in n_p Schritten ($\Delta \hat{y} \equiv \Delta \hat{y}(k+n_p|k)$) gleich der Änderung des Modellausgangs ($\Delta \hat{y}_m \equiv \Delta \hat{y}_m(k+n_p|k)$) ist und das Modell nur durch die Änderung des Stellsignals beeinflusst wird.

Das Prozessmodell wird mit einem PT1-Glied beschrieben

$$T_m \dot{y}(t) + y(t) = K_m u(t) \quad (3a)$$

Die für ein zwischen den Abtastpunkten konstante Stellsignal äquivalente zeitdiskrete Form ist

$$y_m(k) = -a_m y_m(k-1) + b_m u(k-1), \quad (3b)$$

wobei

$$a_m = -\exp\left(-\frac{\Delta t}{T_m}\right); \quad b_m = K_m(1 + a_m)$$

Die Vorhersage des Modellausgangs kann zum Beispiel durch rekursives Einsetzen berechnet werden:

$$\begin{aligned}\hat{y}_m(k+1|k) &= -a_m y_m(k) + K_m(1 + a_m)u(k) \\ \hat{y}_m(k+2|k) &= -a_m \hat{y}_m(k+1|k) + K_m(1 + a_m)u(k) \\ &= (-a_m)^2 y_m(k) + K_m[1 - (-a_m)^2]u(k) \\ &\dots\end{aligned}$$

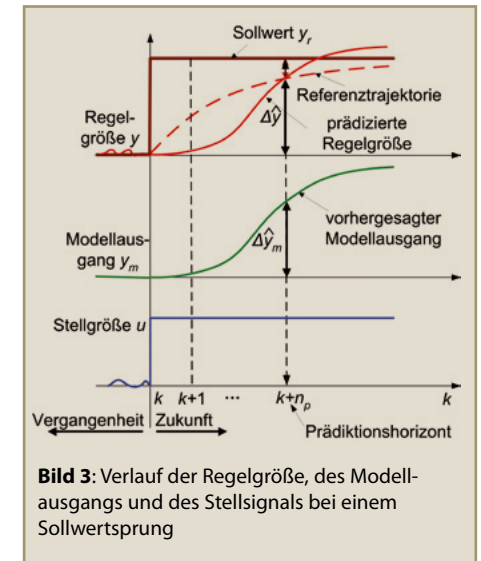


Bild 3: Verlauf der Regelgröße, des Modellausgangs und des Stellsignals bei einem Sollwertsprung

$$\begin{aligned} & \hat{y}_m(k + n_p | k) \\ &= (-a_m)^{n_p} y_m(k) + [1 - (-a_m)^{n_p}] K_m u(k) \end{aligned} \quad (4)$$

Die Änderung des Modellausganges im Zeitpunkt $k + n_p$ beträgt (bezogen auf den Zeitpunkt k):

$$\begin{aligned} \Delta \hat{y}_m(k + n_p | k) &= \hat{y}_m(k + n_p | k) - y_m(k) \\ &= K_m [1 - (-a_m)^{n_p}] u(k) \\ &\quad - [1 - (-a_m)^{n_p}] y_m(k) \end{aligned} \quad (5)$$

Die gewünschte Änderung des Prozessausganges beträgt nach (1)

$$\begin{aligned} \Delta \hat{y}(k + n_p | k) &= e(k) - \hat{e}(k + n_p | k) \\ &= (1 - \lambda_r^{n_p}) e(k) \end{aligned} \quad (6)$$

Mit der Annahme eines konstanten Sollwertes y_r gilt

$$\Delta \hat{y}(k + n_p | k) = (1 - \lambda_r^{n_p}) [y_r - y(k)] \quad (7)$$

Die Gleichstellung der Änderungen in (5) und (6) führt zu

$$\begin{aligned} & (1 - \lambda_r^{n_p}) [y_r - y(k)] \\ &= K_m [1 - (-a_m)^{n_p}] u(k) - [1 - (-a_m)^{n_p}] y_m(k) \end{aligned} \quad (8)$$

Nach Umformen von (8) lautet die PFC-Gleichung für einen Prozess 1. Ordnung:

$$u(k) = k_0 [y_r - y(k)] + k_1 y_m(k) \quad (9a)$$

mit

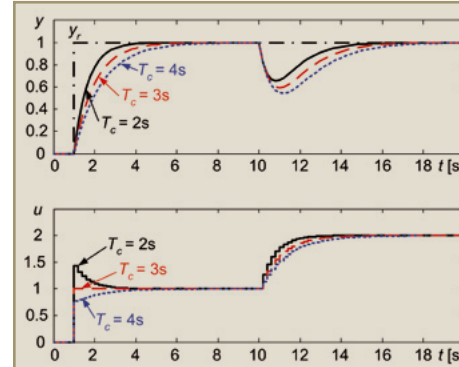


Bild 4: PFC-Regelung eines PT1-Prozesses ohne Totzeit: Änderung der geplanten Ausregelzeit. ($n_p = 1$)

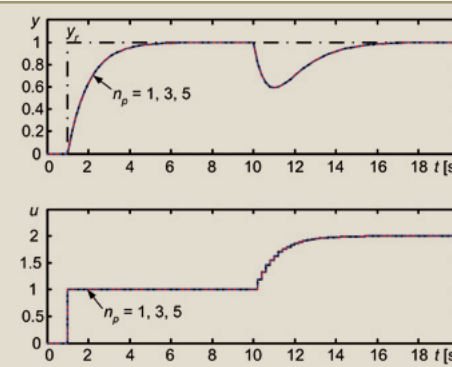


Bild 5: PFC-Regelung eines PT1-Prozesses ohne Totzeit: Änderung des Prädiktionshorizontes n_p ($T_c = 3T_m$)

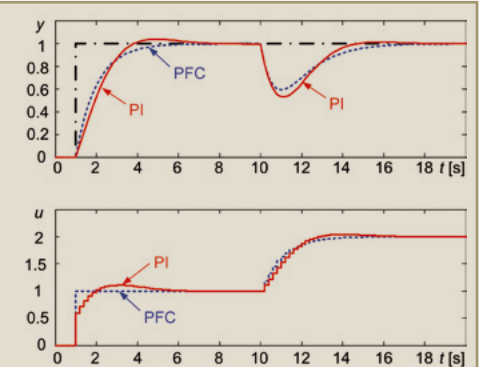


Bild 6: PFC- und PI-Regelung eines PT1-Prozesses ohne Totzeit ($n_p = 1$; $T_c = 3T_m$; $K_{PR} = 0,5$; $T_n = 0,52983$ s)

$$\begin{aligned} k_0 &= \frac{1 - \lambda_r^{n_p}}{K_m [1 - (-a_m)^{n_p}]} \\ k_1 &= \frac{1 - (-a_m)^{n_p}}{K_m [1 - (-a_m)^{n_p}]} = \frac{1}{K_m} \end{aligned} \quad (9b)$$

Das Stellsignal wird in jedem Regelungsschritt – nach dem Prinzip des gleitenden Horizonts – neu berechnet, sodass das Stellsignal während der Regelung doch nicht konstant bleiben muss, wie ursprünglich angenommen.

Die Bilder 4 und 5 zeigen die Wirkung der Reglerparameter. Mit der geplanten Ausregelzeit (T_c) kann die Regelung – auf Kosten einer größeren anfänglichen Änderung des Stellsignals – beliebig beschleunigt werden. Durch die Wahl von $T_c = 3T_m$ ändert sich das Stellsignal nach einem Sollwertsprung ebenfalls sprungförmig. Eine zusätzliche Ände-

rung des Prädiktionshorizontes n_p hat auf den Verlauf der Regelgröße beziehungsweise des Stellsignals keinen Einfluss. Für $T_c \neq 3T_m$ dagegen soll n_p bevorzugt 1 gewählt werden, da sich andernfalls eine Änderung von n_p in geringem Maße auf die Regelung auswirkt.

Der Vergleich der Simulation zwischen dem PI-Regler und dem PFC-Regler für einen Prozess 1. Ordnung ohne Totzeit zeigt in Bild 6 für die gewählten Reglereinstellungen ähnliche Regelgrößenverläufe. Auch wenn der PI-Regler zu leichtem Überschwingen tendiert, erreicht er den Sollwert fast genauso schnell. Der PFC-Regler hingegen arbeitet stets aperiodisch.

2.2 PFC-Algorithmus mit Totzeit

Der Prozess und das Prozessmodell werden weiterhin mit dem PT1-Glied (3) und mit

einer zusätzlichen Totzeit von T_t bzw. T_{tm} beschrieben. Dies entspricht $d = T_t / \Delta t$ bzw. $d_m = T_{tm} / \Delta t$ Abtastzeitschritten. (Sollte der Bruch nicht eine ganze Zahl ergeben, wird der Integerteil genommen.)

Die Differenz zwischen dem totzeitbehafteten und dem aktuellen Prozessausgang ist gleich der Differenz zwischen dem aktuellen und dem um die Totzeit früheren Wert des Modellausgangs:

$$\begin{aligned} & \hat{y}(k + d_m | k) - y(k) \\ &= y_m(k) - y_m(k - d_m) \end{aligned} \quad (10)$$

Für den prädizierten, totzeitbehafteten Prozessausgang ergibt sich daraus folgende Gleichung:

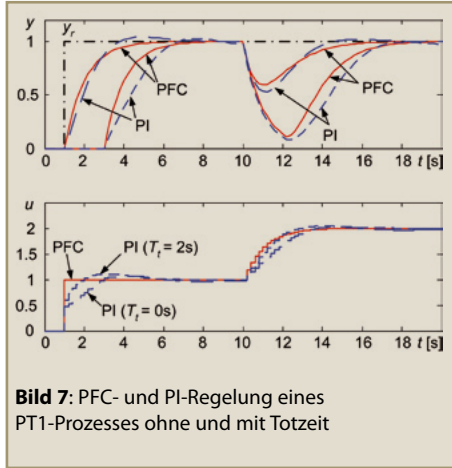


Bild 7: PFC- und PI-Regelung eines PT1-Prozesses ohne und mit Totzeit

$$\hat{y}(k + d_m | k) = y(k) + y_m(k) - y_m(k - d_m) \quad (11)$$

In (9a) soll jetzt $y(k)$ durch $\hat{y}(k + d_m | k)$ ersetzt werden:

$$u(k) = k_0[y_r - [y(k) + y_m(k) - y_m(k - d_m)]] + k_1 y_m(k) \quad (12)$$

und (9b) bleibt unverändert.

Bild 7 zeigt die PFC-Regelung des unter Punkt 3 beschriebenen PT1-Prozesses, jetzt jedoch mit einer Totzeit von $T_t = 2$ s. Durch die Wahl der PFC-Reglerparameter $n_p = 1$ und $T_c = 3T_m$ wird die Regelung nach einem Sollwertsprung schnell und das Stellsignal erreicht seinen Endwert in einem Schritt. Das Stellsignal bleibt unverändert und die Regelgröße ist bei einem Sollwertsprung

um die Totzeit T_t verschoben. Der Modellausgang ist in beiden Fällen gleich dem Prozessausgang ohne Totzeit.

Die schnellste aperiodische PI-Regelung ($K_{PR} = 0,5$; $T_n = 0,52983$ s) ist langsamer als die PFC-Regelung. Die PFC-Regelung könnte man auf Kosten einer größeren Stellsignaländerung beschleunigen.

Die PFC- und PI-Regelung sind beide jeweils unempfindlich gegenüber Parameteränderungen. Bei einer Erhöhung des Prozess-Proportionalbeiwertes jedoch ist die PFC-Regelung eindeutig robuster.

2.3 Erweiterung auf aperiodische Prozesse höherer Ordnung

In der Verfahrens- und Klimatechnik werden Prozesse oft mit aperiodischem Verhalten höherer Ordnung beschrieben. Solche Prozesse können üblicherweise als eine Parallelschaltung von n Prozessen erster Ordnung unterschiedlicher Zeitkonstanten beschrieben werden, wie in Bild 8 für einen PT2-Prozess dargestellt.

Hierbei werden folgende Bezeichnungen angewendet:

- Proportionalbeiwerte: K_{im} ,
- Zeitkonstanten: T_{im} ,
- Koeffizienten der Differenzengleichung:

$$a_{im} = -\exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{im}}\right);$$

Die Änderung des Modellausgangs in n_p Schritten beträgt nach (5)

$$\begin{aligned} \Delta \hat{y}_m(k + n_p | k) &= \hat{y}_m(k + n_p | k) - y_m(k) \\ &= u(k) \sum_{i=1}^n K_{im} [1 - (-a_{im})^{n_p}] \\ &\quad - \sum_{i=1}^n [1 - (-a_{im})^{n_p}] y_{im}(k) \end{aligned} \quad (13)$$

Die Gleichstellung mit der Änderung des Prozessausgangs (7) resultiert in

$$u(k) = k_0[y_r - y(k)] + \sum_{i=1}^n k_i y_{im}(k) \quad (14a)$$

mit

$$\begin{aligned} k_0 &= \frac{1 - \lambda_r^{n_p}}{\sum_{j=1}^n K_{jm} [1 - (-a_{jm})^{n_p}]}; \\ k_i &= \frac{1 - (-a_{im})^{n_p}}{\sum_{j=1}^n K_{jm} [1 - (-a_{jm})^{n_p}]} \end{aligned} \quad (14b)$$

und die einzelnen Teilmodellausgänge y_{im} können simuliert werden [3, 6].

Im Gegensatz zu einem PT1-Prozess wird der Prädiktionshorizont bei aperiodischen Prozessen höherer Ordnung im Wendepunkt der Sprungantwort gewählt [6, 4].

Im Falle einer Totzeit soll in (14a) $y(k)$ – ähnlich wie bei (12) – durch $\hat{y}(k + d_m | k)$ (11) ersetzt werden.

3. PFC-Störgrößenaufschaltung

3.1 Ohne Berücksichtigung der Totzeiten

Bei der Störgrößenaufschaltung wird der zu erwartende Einfluss einer messbaren Störung berücksichtigt, siehe Bild 9 für ein PT1-Prozess- und Störmodell.

Das Störmodell wird mit den Parametern

- Proportionalbeiwert: K_{zm} ,
- Zeitkonstante: T_{zm} ,
- Koeffizient der Differenzengleichung:

$$a_{zm} = -\exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{zm}}\right);$$

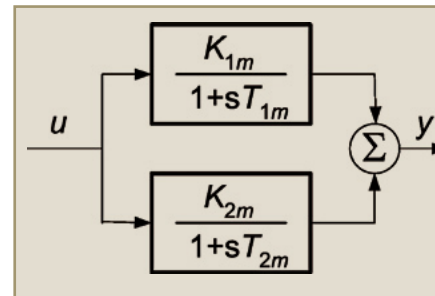


Bild 8: Aperiodisches Prozessmodell als Parallelschaltung zweier PT1-Glieder

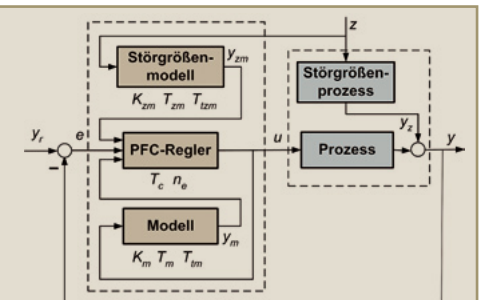


Bild 9: PFC-Störgrößenaufschaltung

bezeichnet. Ferner wird angenommen, dass die Störquelle konstant bleibt, wobei auch andere Annahmen möglich wären. Im aktuellen Zeitpunkt kann man die durch die Störung verursachte Ausgangsänderung ähnlich zur Änderung des Prozessmodells in (5) vorhersagen:

$$\begin{aligned}\Delta \hat{y}_{zm}(k + n_p | k) &= \hat{y}_{zm}(k + n_p | k) - y_{zm}(k) \\ &= K_{zm}[1 - (-a_{zm})^{n_p}]z(k) \\ &\quad - [1 - (-a_{zm})^{n_p}]y_{zm}(k)\end{aligned}\quad (15)$$

Es wird angenommen, dass die gewünschte Änderung des Prozessausgangs durch die Summe der Änderungen des Prozessmodells und des Störmodellausgangs vorhergesagt werden kann

$$\begin{aligned}\Delta \hat{y}(k + n_p | k) &= \Delta \hat{y}_m(k + n_p | k) \\ &\quad + \Delta \hat{y}_{zm}(k + n_p | k)\end{aligned}\quad (16)$$

$$\begin{aligned}\text{Unter Berücksichtigung von (5), (7), (15) und (16)} \\ (1 - \lambda_r^{n_p})[y_r - y(k)] \\ &= K_m[1 - (-a_m)^{n_p}]u(k) - [1 - (-a_m)^{n_p}]y_m(k) \\ &\quad + K_{zm}[1 - (-a_{zm})^{n_p}]z(k) - [1 - (-a_{zm})^{n_p}]y_{zm}(k)\end{aligned}\quad (17)$$

und nach Umstellung von (17) wird das Stellsignal berechnet

$$\begin{aligned}u(k) &= k_0[y_r - y(k)] + k_1y_m(k) \\ &\quad + k_{1z}z(k) + k_{2z}y_{zm}(k)\end{aligned}\quad (18a)$$

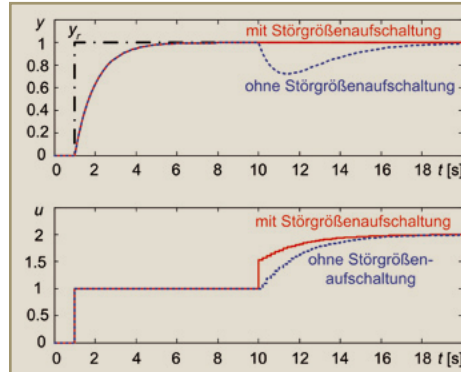


Bild 10: PFC-Regelung eines PT1-Prozesses ohne Totzeit mit und ohne Störgrößenaufschaltung

mit

$$\begin{aligned}k_0 &= \frac{1 - \lambda_r^{n_p}}{K_m[1 - (-a_m)^{n_p}]}; \quad k_1 = \frac{1}{K_m}; \\ k_{1z} &= -\frac{K_{zm}[1 - (-a_{zm})^{n_p}]}{K_m[1 - (-a_m)^{n_p}]}; \\ k_{2z} &= \frac{1 - (-a_{zm})^{n_p}}{K_m[1 - (-a_m)^{n_p}]}\end{aligned}\quad (18b)$$

Bild 10 zeigt die Regelung des in Abschnitt 3 beschriebenen PT1-Prozesses ohne Totzeit mit Störgrößenaufschaltung. Der Störgrößenprozess und das Störmodell besitzen die gleichen, jedoch vom Prozessmodell abweichenden Parameter: Proportionalbeiwert $K_z = K_{zm} = 1$ und Zeitkonstante

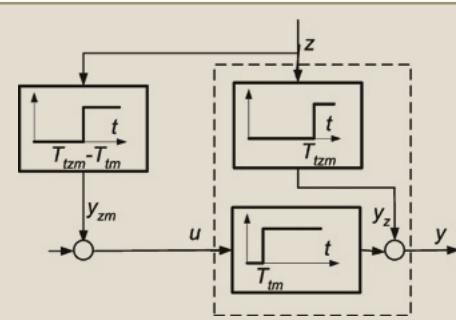


Bild 11: Kompensation einer Störung unter Berücksichtigung der Totzeiten

$T_z = T_{zm} = 2$ s. Die Störung wird durch die Störgrößenaufschaltung vollständig kompensiert.

3.2 Mit Berücksichtigung der Totzeiten

Eine Kompensation ist nur dann möglich, wenn die Totzeit des Störprozesses T_{tzm} beziehungsweise des Störmodells T_{tmz} nicht kleiner ist als die Totzeit des Prozesses T_t oder des Prozessmodells T_{tm} . Die durch das Aufschaltungsglied von der gemessenen Störung auf das Stellsignal wirkende Steuerung soll also eine Totzeit von $T_{tzm} - T_{tm}$ betragen, siehe Bild 11. Die zeitdiskrete Totzeit des Störprozesses beziehungsweise des Störmodells wird mit $d_z = T_{tzm} / \Delta t$ und $d_{zm} = T_{tmz} / \Delta t$ bezeichnet.

Der Prozessausgang in (17) soll durch seinen um die Totzeit verschobenen Wert vorausgerechnet werden. Die Wirkung des Prozessmodells wurde bereits unter (11) angegeben. Bei Wirkung der Störung soll folgendes berücksichtigt werden:

- Die Wirkung der Störung auf den Prozessausgang ist um die zeitdiskrete Totzeit des Störmodells d_{zm} verzögert.
- Folglich kann der sich während der zeitdiskreten Totzeit d_m ergebende Zuwachs des Ausgangssignals durch die messbare Störung berechnet werden:

$$y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) - y_{zm}(k - d_{zm}) \quad (19)$$

In (18a) soll daher der Prozessausgang durch den Term

$$\begin{aligned}\hat{y}(k + d_m | k) &= y(k) + [y_m(k) - y_m(k - d_m)] \\ &\quad + [y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) - y_{zm}(k - d_{zm})]\end{aligned}\quad (20)$$

ersetzt werden. Des Weiteren soll in (15) das messbare Störsignal um die zeitdiskrete Totzeitdifferenz $\Delta d = d_{zm} - d_m$ verzögert werden. Dadurch kann die um die zeitdiskrete Totzeit d_{zm} verzögerte Störwirkung über den Prozess, der die zeitdiskrete Totzeit d_m besitzt, kompensiert werden.

$$\begin{aligned}\Delta y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m) + n_p | k) \\ &= \hat{y}_{zm}(k - (d_{zm} - d_m) + n_p | k) - y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) \\ &= K_{zm}[1 - (-a_{zm})^{n_p}]z(k - (d_{zm} - d_m)) \\ &\quad - [1 - (-a_{zm})^{n_p}]y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m))\end{aligned}\quad (21)$$

Die Gleichung (17) wird folgendermaßen modifiziert:

$$\begin{aligned} (1 - \lambda_r^{n_p})[y_r - \{y(k) + [y_m(k) - y_m(k - d_m)] \\ + [y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) - y_{zm}(k - d_{zm})]\}] \\ = K_m[1 - (-a_m)^{n_p}]u(k) - [1 - (-a_m)^{n_p}]y_m(k) \\ + K_{zm}[1 - (-a_{zm})^{n_p}]z(k - (d_{zm} - d_m)) \\ - [1 - (-a_{zm})^{n_p}]y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) \end{aligned} \quad (22)$$

Nach Umstellung von (22) ergibt sich das Stellsignal mit den Reglerparametern von (18b)

$$\begin{aligned} u(k) = k_0[y_r - \{y(k) + [y_m(k) - y_m(k - d_m)] \\ + [y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) - y_{zm}(k - d_{zm})]\}] \\ + k_1 y_m(k) + k_{1z} z(k - (d_{zm} - d_m)) \\ + k_{2z} y_{zm}(k - (d_{zm} - d_m)) \end{aligned} \quad (23)$$

4. PFC-Echtzeitregelung über Prozessleitsystem

Um den PFC-Algorithmus in einem System nutzen zu können, bei dem sich dieser einfach in Regelungsstrukturen einbinden und

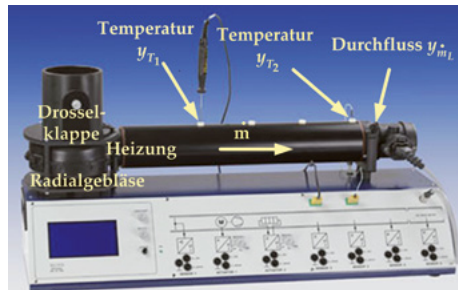


Bild 12: Heißluftgebläse Amira LTR-701

an die nötige Hardware-Peripherie anbinden lässt, wurde auf der Entwicklungsebene des Prozessleitsystems Simatic PCS7 ein PFC-Reglerbaustein entworfen und im Echtzeitversuch mit einer kompakten Versuchsanlage LTR-701 (siehe Bild 12) der Firma Amira [1] erfolgreich getestet. Die LTR-701 ist ein Heißluftgebläse mit Strom- und Spannungsanschlüssen zum Messen und Regeln. Die Luft wird über das Radialgebläse angesaugt und über eine Drosselklappe zur Heizung geführt. Dort wird die Luft erwärmt und strömt anschließend durch das Rohr. Die Temperatur wird an zwei Stellen über Thermoelemente gemessen (y_{T1} und y_{T2}), und der Massenstrom y_m wird über die gemessene Druckdifferenz an einer Lochblende am Ende des Rohres berechnet. Die Anlage wurde an das Prozessleitsystem PCS7 angeschlossen. Die Sensorsignale werden zur analogen Eingabegruppe (AI) und die analogen Ausgabesignale (AO) zu den Aktoren (Heizung und Gebläse) geführt. Die Mess- und Stellsignale werden wegen der kurzen Entfernung im Labor mit analogen Spannungssignalen von 0 bis 10V übertragen. Für die Versuche wurden die Spannungswerte in Prozent umgerechnet: 1V = 10 %.

Für die PFC-Regelung der Anlage wird das lineare Anlagenmodell von Bild 13 betrachtet, bei dem die Temperatur y_T am äußersten Messpunkt des Rohres über die Heizleistung (Stellsignal u_T) geregelt wird. Schwankungen im Luftstrom wirken sich aber auch auf die Temperatur aus und

müssen durch die Temperaturregelung kompensiert werden.

Zwischen dem Stellsignal der Heizung (u_T) und der Temperatur (y_T) sowie zwischen dem Gebläsestellsignal (u_F) und der Temperatur (y_T) wurden jeweils PT2-Modelle identifiziert [4]. Tabelle 1 fasst die Parameter des Prozess- und Tabelle 2 die des Störmodells zusammen.

Der PFC-Reglerbaustein (Bild 14) wurde für einen Prozess 2. Ordnung mit Störgrößenaufschaltung entworfen. Die Eingänge des Reglerblocks wurden so gewählt, dass je nach Arbeitspunkt die Modellparameter angepasst werden können.

Bei dem Echtzeitversuch mit PCS7 wurde das Stellsignal für das Gebläse bei $u_F = 50$ % (5V) eingestellt. Bei $t = 30$ s wurde der Temperatursollwert sprunghaft von 0 auf 30 % geändert. Ab dem Zeitpunkt $t = 150$ s wurde das Stellsignal des Gebläses u_F stufenweise erhöht beziehungsweise ab $t = 200$ s stufenweise gesenkt, um eine Störung zu generieren. Die Versuchseinstellungen orientieren sich dabei an den Arbeitspunkten bei der Identifikation der Modellparameter.

Die Einstellungen der Reglerparameter wurden für eine schnelle und möglichst aperiodische Regelung gewählt. Der PFC-Regler wurde zunächst für den Vergleich mit einem PI-Regler für einen linearen Prozess zweiter Ordnung in einem Arbeitspunkt entworfen. Für den PFC-Regler wurden die Reglerparameter für eine schnelle aperiodische Regelung gewählt ($n_p = 1$ und $T_c = 50$ s). Der PI-Regler sollte für den Ver-

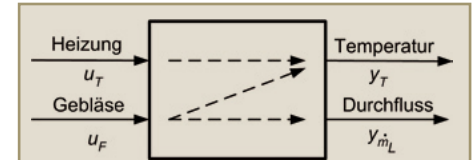


Bild 13: Amira-LTR-701-Anlagenmodell

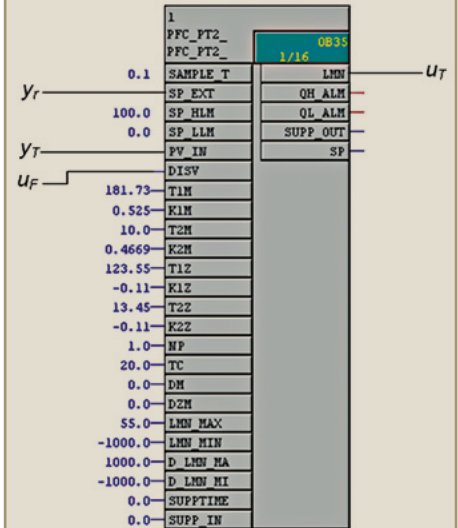


Bild 14: Linearer PFC-Reglerbaustein mit Störgrößenmodell

gleich ähnlich schnell regeln können, daher wurden folgende PI-Reglerparameter für den Echtzeitversuch bestimmt: $K_{PR} = 1$; $T_n = 5$ s. Das Stellsignal sollte nicht mehr als 20 % über dem zum Sollwert gehörenden

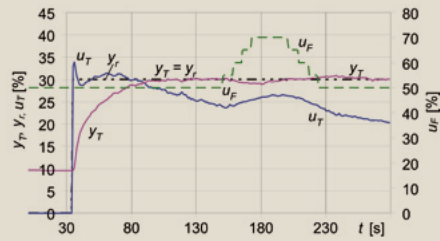


Bild 15: Lineare PFC-Temperaturregelung über Prozessleitsystem

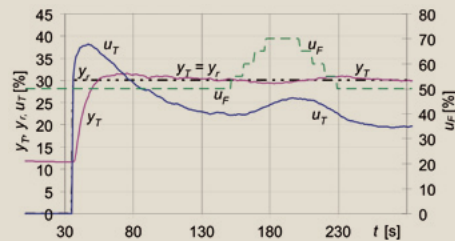


Bild 16: PI-Temperaturregelung über Prozessleitsystem

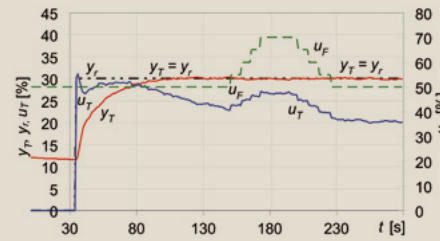


Bild 17: Lineare PFC-Temperaturregelung mit Störgrößenaufschaltung über Prozessleitsystem

stationärem Stellsignalwert liegen (ohne Begrenzung) und die Überschwingung sollte nicht mehr als 5 % betragen. Das Stellsignal wurde sowohl für die PI- als auch für PFC-Regelung dann auf 35 % begrenzt.

Die PFC-Regelung (Bild 15) zeigt wie erwartet eine schnelle und aperiodische Regelung. Die Begrenzung des Stellsignals ist hier inaktiv. Im Vergleich zur PI-Regelung (Bild 16) erreicht die PFC-Regelung zirka

ein Drittel schneller den Sollwert y_r . Die Änderungen des Durchflusses (durch Änderung der Gebläseleistung) als Störungen machen sich in beiden Fällen ungefähr gleich stark bemerkbar.

Bild 17 zeigt den Verlauf der PFC-Regelung mit Störgrößenaufschaltung. Die Änderung des Durchflusses wird in dem Störgrößenmodell berücksichtigt. Der Vergleich der PFC-Regelung ohne und mit Störgrößenauf-

schaltung zeigt, dass die Änderungen des Durchflusses (bei gleicher Intensität) durch die Modellanpassung vollständig von der Temperaturregelung kompensiert werden.

Um die Versuchsreihe in einem Bild darstellen zu können, wurde der Beharrungszustand nach der Sollwertänderung nicht ganz abgewartet, was am Stellsignal u_T ablesbar ist. Dies ist derart zu erklären, dass das Rohr sich langsamer erwärmt als die Luft und daher ein verzögerter Temperaturanstieg auf den Messfühler wirkt, welcher durch das sinkende Stellsignal kompensiert wird.

Fazit

Ein prädiktiver Regelungsalgorithmus wurde für Eingrößensysteme ohne und mit Störgrößenaufschaltung vorgestellt. Die für Prozesse 1. Ordnung entwickelten Gleichungen können einfach für aperiodische Prozesse höherer Ordnung erweitert werden. Hierbei wird der Prozess mit der Par-

Modellparameter	Wert
Zeitkonstante T_{1m}	181,73 s
Proportionalbeiwert K_{1m}	0,525
Zeitkonstante T_{2m}	10,0 s
Proportionalbeiwert K_{2m}	0,467

Tabelle 1: Prozessmodellparameter bei $u_T = 2$ V und $u_F = 6$ V

Modellparameter	Wert
Zeitkonstante T_{1zm}	123,55 s
Proportionalbeiwert K_{1zm}	-0,12
Zeitkonstante T_{2zm}	13,45 s
Proportionalbeiwert K_{2zm}	-0,11

Tabelle 2: Störmodellparameter bei $u_T = 2$ V und $u_F = 6$ V Wert

REFERENZEN

- [1] Amira: Luft- und Temperatur-Regelstrecke LTR-701, <http://www.amira.de/neuheiten.html>, 2002.
- [2] Deis, W.: Optimierung mit Rundumblick. Effiziente Prozessführung endet nicht mit der schnellen Lösung der Regelungsaufgabe, P&A, 23–25, 2009
- [3] Khadir, M.T., Ringwood, J.V.: Extension of first order predictive functional controllers to handle higher order internal models, Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., Vol. 18, No. 2, 229–239, 2008
- [4] Haber, R., Kreutz, M., Zabet, K.: PFC- (Predictive Functional Control)-Regelung eines Heißluftgebläses, 7. Fachkolloquium AALE (Angewandte Automatisierung in der Lehre und Forschung), Wien, Österreich, S. 99–104, 2010
- [5] Kuhn, U.: Eine praxisnahe Einstellregel für PID-Regler: Die T-Summen-Regel, Automatisierungstechnische Praxis, Band 37, Nr. 5, S. 10–16, 1995
- [6] Richalet, J., O'Donovan, D.: Elementary Predictive Functional Control, Springer Verlag, 2009
- [7] Richalet, J.: Model predictive heuristic control: Applications to industrial processes, Automatica, Vol. 14, pp. 413–428, 1978

automatisieren! by atp



Buchungen Ihrer Vorzugsanzeigen

Kontaktieren Sie bitte:
Annemarie Scharl-Send
Tel. +49 (0) 8144 99 69 512
E-Mail: ass@salescomm.de
oder auf
anzeigen.automatisieren.org

Kostenloses Basisformat

**Kostenloses Basisformat
im Satzspiegel 60 x 28**

Buchen Sie bitte unter:
<http://anzeigen.automatisieren.org>

allelschaltung mehrerer Teilprozesse 1. Ordnung angenähert. Das Regelungsverhalten ist bei Vorhandensein einer Totzeit sehr ähnlich zu einem Smith-Prädiktor, jedoch nicht so empfindlich gegenüber Parameteränderungen. Die Stellsignalbegrenzung führt nicht zum Integrator-Windup-Problem.

Die Einfachheit des PFC-Algorithmus ist darauf zurückzuführen, dass die Regelgröße nur für einen zukünftigen Punkt optimiert

wird und das Stellsignal als konstant angenommen wird.

Der hier vorgestellte PFC-Algorithmus ist in seiner Grundform sehr einfach. Eine Erweiterung auf Kaskadenregelung und für Zweigrößensysteme wird in [6] vorgestellt.

MANUSKRIPTEINGANG
08.03.2011

Im Peer-Review-Verfahren begutachtet

DANKSAGUNG

Die Verfasser danken für die Ratschläge von Dr. J. Richalet während der Entwicklungsarbeit und bei der Durchführung der Versuche.

AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. **Robert Haber** (geb. 1948) leitet das Labor für Prozessleittechnik und Verfahrensoptimierung im Institut Anlagen- und Verfahrenstechnik der Fakultät für Anlagen-, Energie- und Maschinensysteme der Fachhochschule Köln. Er studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Budapest, wo er seinen Dokortitel in Regelungstechnik erworben hat. Seine Forschungsinteressen umfassen Prozessautomatisierung, experimentelle Identifikation, modellbasierte prädiktive Regelung und intelligente Verfahren zur Datenanalyse.

Fachhochschule Köln,
Labor für Prozessleittechnik und
Verfahrensoptimierung,
Betzdorfer Straße 2,
D-50679 Köln,
Tel. +49 (0) 221 82 75 22 42,
E-Mail: robert.haber@fh-koeln.de



Dipl.-Ing. (FH), M. Eng. **Mirco Kreutz** (geb. 1980) arbeitet seit 2010 auf dem Gebiet der energetischen Optimierung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystemen. Er hat an der Fachhochschule Köln Anlagen- und Verfahrenstechnik studiert und in seinem anschließenden Masterstudium auf dem Gebiet Regelungs- und Prozessleittechnik mit dem Schwerpunkt prädiktive Regelung gearbeitet.

A. Nattermann & Cie GmbH,
Nattermannallee 1,
50829 Köln,
Tel. +49 (0) 221 50 92 11,
E-Mail: Mirco.Kreutz@sanofi-aventis.com



M.Sc. **Khaled Zabet** (geb. 1973) studierte Regelungstechnik und Informatik an der Universität Nasser in Libyen. Er erwarb seinen Master-Abschluss von der Technischen und Wirtschaftswissenschaftlichen Universität Budapest im Jahr 2006. Seit 2008 ist er Stipendiat an der Fachhochschule Köln im Labor für Prozessleittechnik und Verfahrensoptimierung des Instituts Anlagen- und Verfahrenstechnik.

Fachhochschule Köln,
Labor für Prozessleittechnik und
Verfahrensoptimierung,
Betzdorfer Straße 2,
D-50679 Köln,
Tel. +49 (0) 221 82 75 22 40,
E-Mail: khaled.zabet@mail.fh-koeln.de

EtherCAT jetzt auch koreanischer Standard

EtherCAT ist nun auch als koreanischer Industriestandard (KS) anerkannt worden. Das koreanische Büro der EtherCAT Technology Group (ETG) hatte sich zwei Jahre um diese Anerkennung durch das Amt für Technologie und Standards bemüht. Key Yoo, Leiter des ETG-Büros Korea, betont: „EtherCAT ist nicht nur der Systembus der größten koreanischen Steuerungshersteller, sondern hat Verbreitung in den Schlüsselbranchen unseres Landes gefunden, wie etwa der Herstellung von Halbleitern und Flachbildschirmen, Schiffsbau und Robotik. Dass EtherCAT jetzt nationaler Standard ist, macht es für andere koreanische Hersteller und Anwender noch einfacher, die Technologie einzuführen.“

Ethercat Technology Group,

D-90482 Nürnberg,
Tel. +49 (0) 911 540 56 20

CiK Der revolutionäre Mini-Datenlogger
für Schocks, Vibrationen,
Beschleunigungen, Schwingungen
und Stöße
www.cik-solutions.com

www.cik-solutions.com/msr.html

TECHNIKER GEFRAGT

Warum kann es in der Nähe bestimmter Autos zu einem Stromschlag kommen?

Wissen Sie's? Die automatisieren! by atp stellt Ihnen eine knifflige Rätselaufgabe aus der Physik. Die Auflösung steht im nächsten Heft.

Die Frage lautet dieses Mal: Warum kann es in der Nähe bestimmter Autos zu einem Stromschlag kommen

Lösung für das Rätsel in der vorherigen automatisieren! by atp (5/2012)

In der letzten automatisieren! by atp (5/2012) stellten wir folgende Frage: Manchmal beobachten Skifahrer, dass ihre Skier nachts leuchten. Warum? Die Antwort lautet: Wenn ein Ski Schnee berührt, wird zwischen Ski und Schnee Ladung ausgetauscht. Das wird als Kontaktelektrizität oder Triboelektrizität bezeichnet. Vereinfacht bedeutet dies, dass (frei bewegliche) Elektronen von einer auf eine andere Oberfläche gezogen (übertragen) werden. Angenommen der Ski ist nicht metallisch und enthält keine Metall-

ösen. Mit der Ansammlung von Ladungen an der Skiunterseite aufgrund der Elektronenübertragung wird das Skimaterial dann elektrisch gepolt.

Die positiven und negativen Ladungen innerhalb der Moleküle werden also leicht getrennt. Daraus resultiert ein elektrisches Feld über dem Ski-Querschnitt, wobei Ober- und Unterseite des Skis entgegengesetzt geladen sind. Nimmt der Ski beispielsweise Elektronen aus dem Schnee auf, lädt sich die Unterseite des Skis negativ und die Oberseite des Skis positiv auf.

Der Ski wirkt dann als Kondensator. Gleitet ein Ski über Schnee, tritt dieser Effekt noch viel ausgeprägter auf und zwischen Schnee und Ober- und Unterseite des Skis springen viele kleine Funken über.



IMPRESSUM



Verlag:
Oldenbourg Industrieverlag
GmbH
Rosenheimer Straße 145,
D-81671 München
Telefon + 49 89 4 50 51-0
Telefax + 49 89 4 50 51-3 23
www.oldenbourg-industrieverlag.de

Geschäftsführer:
Carsten Augsburgs,
Jürgen Franke

Redaktion (verantwortlich):
Gerd Scholz
Telefon + 49 89 4 50 51-3 44
Telefax + 49 89 4 50 51-3 23
E-Mail: scholz@oiv.de

Anne Hütter
Telefon + 49 89 4 50 51-4 18
Telefax + 49 89 4 50 51-3 23
E-Mail: huetter@oiv.de

Einreichung von Hauptbeiträgen:
Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas
(Chefredakteur, verantwortlich für die Hauptbeiträge)
Technische Universität Dresden
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
Institut für Automatisierungstechnik
Professur für Prozessleittechnik
D-01062 Dresden
Telefon: +49 (0) 351 46 33 96 14
E-Mail: urbas@oiv.de

Organschaft:
Organ der VDI-/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) und der Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie (NAMUR).

Bezugsbedingungen:
automatisieren! by atp erscheint zweimal monatlich und wird über die atp-mediathek als PDF-Datei gratis distribuiert.

Verantwortlich für den Anzeigenteil:
Annemarie Scharl-Send
Telefon +49 (0) 8144 996 95 12
Telefax +49 (0) 8144 996 95 14
E-Mail: ass@salescomm.de
Kirchfeldstraße 9
D-82284 Grafath
Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 2.

Anzeigenverwaltung:
Brigitte Krawczyk
Telefon +49 89 450 51-2 26
Telefax +49 89 450 51-3 00
E-Mail: krawczyk@oiv.de

© 2012 Oldenbourg
Industrieverlag GmbH,
München.

Die Veröffentlichung und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlages strafbar.

ISSN 1869-9022

by atp
automatisieren!
Ihr Kontakt zur **Redaktion**
atp@oldenbourg.de