

Kurzfassung

Elektropneumatische Stellungsregler werden zusammen mit pneumatischen Stellantrieben zur Regelung und Steuerung von Prozessventilen in verfahrenstechnischen Anlagen eingesetzt. Der Ausfall oder die Fehlfunktion von Prozessventilen kann in Anlagen mit kontinuierlich betriebenen Prozessen zu hohen Reparatur-, Folge- und Ausfallkosten führen oder in Zusammenhang mit Wirkungsgradverlusten oder Leckagen nicht nur zu permanenten wirtschaftlichen Verlusten, sondern auch zu einer ökologischen Belastung führen. Es ist somit das Bestreben aller Anlagenbetreiber, den fortschreitenden Verschleiß, das Entstehen von Schäden und einen sich ankündigenden Geräteausfall rechtzeitig zu erkennen, um entsprechend dem Prozessverlauf angepasst reagieren zu können.

Der Einsatz eines Mikroprozessors im Stellungsregler ermöglicht dem Anwender mehr Flexibilität und bietet darüber hinaus die Möglichkeit zur Kommunikation mit zentralen Leitstellen über genormte Feldbus-Systeme. Dadurch besteht die Möglichkeit, den Stellungsregler nicht nur für Regelaufgaben zu nutzen, sondern auch zu Diagnosezwecken einzusetzen.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass es mit Hilfe signalgestützter Erkennungsmethoden, Schätzverfahren und Neuronaler Netze möglich ist, aus wesentlichen zur Verfügung stehenden zeitveränderlichen Zustandsgrößen wie den Soll- und Istwerten des Weges, der Stellgröße und dem Druck in den Antriebskammern auf die interessierenden Veränderungen am pneumatischen Antrieb zu schließen. Entsprechende Techniken wurden in Simulationen und in praktischen Untersuchungen erprobt und verifiziert. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf Leckagen am Antrieb, das Reibungsniveau und das Spiel in der Wegrückführung gelegt.

Andere Fehler, wie Leckagen an der Armatur, stehen in keinem messtechnisch zu erfassenden Zusammenhang zu den genannten Zustandsgrößen. Zur Erkennung dieser Fehler wurden heuristische Methoden unter Verwendung von fehlerspezifischen Sensoren entwickelt und im Feldeinsatz geprüft.

Abstract

Electropneumatic positioners are used in conjunction with pneumatic actuators for the open-loop and closed-loop control of process valves in industrial installations. The consequences of failed or malfunctioning process valves in plants used for continuously running processes not only include high repair, follow-up and outage costs; combined with loss of efficiency or leakages, they may also include long-term economic losses, as well as an environmental impact. All plant operators are therefore concentrating their efforts on finding methods that enable them to identify progressive wear and tear, initial indications of damage and signs of pending failures in good time in order to be able to respond appropriately in accordance with the process profile.

Use of a microcontroller in the positioner offers the user greater flexibility, as well as a means of communicating with centralised instrumentation and control centres via standardised field bus systems. This means that the positioner can also be used for diagnostic purposes, as well as for servo-control functions.

This project showed how signal-aided recognition methods, estimation techniques and neuronal networks can be used to draw conclusions regarding significant changes in the pneumatic actuator on the basis of the essential time-variant state variables that are available, such as the setpoint and actual displacement values, the manipulated variable and the pressure in the drive chambers. Appropriate techniques were tested and verified within the framework of simulation runs and practical experiments. Special attention was given to leakage in the drive, the friction level and backlash in the feedback path.

Other faults, such as leakage at the fitting cannot be correlated with the above-mentioned state variables in any measurable way. Heuristic methods are being developed to identify these faults using fault-specific sensors and these are being tested in field trials.

1 Zusammenfassung und Ausblick

In verfahrenstechnischen Anlagen kommen zur Steuerung und Regelung von Druck und Volumenstrom der verschiedenartigen benötigten Fluide wie Gase, Flüssigkeiten und fließfähige Feststoffe meist zahlreiche Prozessventile zum Einsatz. Weite Verbreitung - insbesondere in explosionsgefährdeten Bereichen - finden dabei Prozessventile, die mit pneumatischen Antrieben verfahren werden und mit Hilfe eines dezentralen Stellungsreglers dem vorgegebenen Sollwertverlauf folgen. Die rasante Entwicklung und Verbreitung digitaler elektronischer Komponenten ermöglicht seit einigen Jahren die Ausführung digitaler Stellungsregler auf Basis von Mikrocontrollern und deren Anbindung über standardisierte Kommunikationssysteme (Feldbussysteme) an die Leitebene bis hin zum Datenaustausch zwischen gleichwertigen Automatisierungskomponenten.

Aufgrund der Vielzahl der eingesetzten Ventile und anderer Automatisierungskomponenten, der Weitläufigkeit der Anlagen und den langanhaltenden ununterbrochenen Betriebszeiten ist es für die Anlagenbetreiber von großem Interesse, jederzeit über den Zustand der im Einsatz befindlichen Ventile zentral informiert zu sein. Durch die Bereitstellung von Diagnose-Funktionen im Rahmen eines Online-Condition-Monitorings am eingesetzten Prozessventil, kann dieser Forderung nachgekommen werden. Dies versetzt den Anlagenbetreiber in die Lage, Wartungsintervalle langfristig und bedarfsorientiert zu planen, auf kurzfristige Störungen direkt zu reagieren und Ausfällen rechtzeitig vorzubeugen. Dadurch können die Instandhaltungskosten reduziert werden, die Wirtschaftlichkeit der Anlage gesteigert sowie vor allem das finanzielle und technische Risiko des Ausfalls der Gesamtanlage oder von Teilprozessen erheblich reduziert werden.

Die geforderten Diagnosefunktionen können bei Verwendung modernster, leistungsfähiger Mikrocontroller und auf dem Markt verfügbarer leistungsarmer Messtechnik neben dem bereits vorhandenen Regelalgorithmus ebenfalls mit dem dezentralen Stellungsregler realisiert werden. Eine Einschränkung stellt dabei die Einhaltung ausreichenden Explosionsschutzes dar, weshalb die zum Einsatz kommenden Mikrocontroller mit reduziertem Prozessortakt betrieben werden müssen und Sensoren mit minimaler Leistungsaufnahme zu verwenden sind. Dies resultiert in einer Begrenzung der verfügbaren Rechenleistung und damit der Forderung nach einfachen Fehlererkennungsalgorithmen, welche eine endliche und bekannte Anzahl an Rechenoperationen umfassen. Die vermeintlichen Mehrkosten für die Installation dieser neuen Generation von intelligenten Stellungsreglern sollen sich binnen kurzer Betriebszeit amortisieren.

Im Rahmen des dieser Arbeit zugrundeliegenden IEPP-Projektes wurde eine Erhebung bei Herstellern und Anwendern von Prozessventilen durchgeführt. Diese hat ergeben, dass vor allem die Überwachung des Reibniveaus an den zu bewegenden Bauteilen, die Erkennung von Druckluftleckagen an Antriebskomponenten und der Lose in der Wegrückführung zum Stellungsregler sowie die Erkennung von externen und internen Leckagen an der Armatur das größte Interesse der beteiligten Anwender und Hersteller aufweisen. Zu diesen Fehlertypen wurden verschiedene Fehlererkennungsmethoden entwickelt und erprobt.

Es wurde dabei gezeigt, dass es mit Hilfe signalgestützter Erkennungsmethoden, Schätzverfahren und Neuronaler Netze möglich ist, aus wesentlichen zur Verfügung stehenden zeitveränderlichen Zustandsgrößen wie den Soll- und Istwerten des Weges, der Stellgröße und dem Druck in den Antriebskammern auf die interessierenden Veränderungen am pneumatischen Antrieb zu schließen. Unabhängig davon, welches Verfahren zum Einsatz kommt, ist die Strecke kurzzeitig durch eine geringe Sollwertänderung zu stimulieren. Aus dem Antwortverhalten können Merkmale abgeleitet werden, die entweder sofort dem Fehler bzw. der interessierenden Systemveränderung entsprechen oder aber durch logische Verknüpfung oder Umrechnung in eine Fehlergröße überführt werden können. Ist die Anregung der Strecke gering gegenüber den prozessrelevanten Signalamplituden, wird der zugehörige Teilprozess, welcher meist integrierendes Verhalten aufweist, nicht gestört. Zur Stimulation der Strecke insbesondere für die signalgestützte Fehlererkennung wurden drei Verfahren untersucht: die kurzzeitige Öffnung des Regelkreises bei gesteuerter Stellgrößenvorgabe, die Überlagerung des Sollwerts mit kleinen Rechtecksprüngen sowie die Diskretisierung des Sollwerts.

Die kurzzeitige Öffnung des Regelkreises bei gesteuerter Stellgrößenvorgabe ist vor allem bei einer signalgestützten Fehlererkennung zu nutzen. Diese Methode der Anregung der Strecke erscheint trotz brauchbarer Ergebnisse für die praktische Umsetzung nur eingeschränkt einsetzbar, da sie zu großen Sollwertabweichungen führt oder aber aufgrund frühzeitigen Abbruchs keine neuen Erkenntnisse über die Strecke liefert. Die Anregung der Strecke durch Überlagerung des Sollwerts mit kleinen Rechtecksprüngen sowie die Diskretisierung des Sollwerts kann sowohl für signalgestützte Methoden als auch für Schätzverfahren und Neuronale Netze geeignete Eingangssignale liefern. Die überlagerten Sollwertsprünge liefern dabei die exaktesten Informationen über den Streckenzustand, während die Diskretisierung des Sollwerts ebenfalls aussagekräftige Ergebnisse liefert und zugleich ständig eine minimale Sollwertabweichung garantiert. Somit erscheint die Diskretisierung des Sollwerts, welche sich einfach realisieren lässt, als das geeignetste Verfahren zur Stimulation der überwachten Strecke.

Während die Schätzverfahren an anderer Stelle ausführlich behandelt werden /DEI97/, liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Entwicklung und Untersuchung von signalgestützten Methoden. Mit den vorgestellten Verfahren zur Interpretation der zeitabhängigen Veränderung des Istwerts (Position des Stellventils) und des Kammerdrucks können brauchbare quantitative Aussagen über das Reibniveau, die Lose in der Wegrückführung sowie die pneumatische Leckage im Antriebsbereich getroffen werden. Alternativ zeigen die Untersuchungen mit Neuronalen Netzen, welche eine reduzierte Anzahl von Stützstellen aus Signalen einer Sprungantwort analysieren, eine gute zukünftige Perspektive einer Online-Fehlererkennung ohne wissensbasierte Informationsverarbeitung bei geringer notwendiger Rechenleistung. Voraussetzung ist allerdings das Vorhandensein ausreichender Datensätze mit quantitativ definierten Fehlergrößen, die dem einzelnen Prozessventilsystem aus Armatur und Antrieb respektive der verwendeten Baugröße zugeordnet werden können.

Da zwischen den genannten messtechnisch zu erfassenden Zustandsgrößen und den Leckagen an der Armatur kein wiederkehrender fester Zusammenhang besteht, kommen zur Erfassung dieser Fehlertypen nur heuristische Methoden unter Verwendung fehlerspezifischer Sensoren in Frage. Speziell für die Erkennung und Quantisierung externer Leckagen über die Dichtung zwischen bewegter Ventilstange und Armaturengehäuse kann ein Verfahren zum Einsatz kommen, welches auf einer doppelten Dichtung beruht. Hierbei können schon selbst geringste Leckagen durch eine stetige oder diskontinuierliche Entleerung des Kontrollvolumens zwischen den Dichtungen erfasst und gemeldet werden. Die interne Leckage über den Dichtsitz der Armatur im Falle des geforderten völligen Verschlusses, kann mit Hilfe von hochdynamischen Drucksensoren zur Erfassung des typischen Fluidschalls oder Ultraschallsensoren zur Detektierung des weitergeleiteten Körperschalls erkannt und mit begrenzter Genauigkeit bestimmt werden. Hierbei empfiehlt es sich das gemessene Signalspektrum analog zu analysieren, indem es einer Bandpassfilterung und anschließender Effektivwertbildung unterzogen wird.

Folgendes Szenario gibt einen Ausblick auf eine mögliche zukünftige Online-Überwachung eines Prozessventils mit Hilfe eines intelligenten digitalen Stellungsreglers auf Mikrocontrollerbasis: Der Stellungsregler kommuniziert über ein Feldbussystem mit der übergeordneten Prozessleitebene sowie Sensoren im Bereich des angrenzenden Prozesses. Er tauscht Daten über die Soll- und Ist-Position des Stellventils aus und analysiert z.B. Druck- und Durchflusswerte, die ihm von Sensoren im angrenzenden Prozess gemeldet werden, etwa um die Durchflusskennlinie der Armatur zu kontrollieren. Von Zeit zu Zeit – beispielsweise einmal am Tag - schaltet er in einen Reglermodus zu Diagnosezwecken

um, diskretisiert den vorgegebenen Sollwert und erzeugt somit typische Sprungantworten fester Sprunghöhe, die er anschließend durch signalgestützte Methoden oder Neuronale Netze analysiert, um Fehlermerkmale zu generieren. Darüber hinaus wertet der Stellungsregler die eigenen zusätzlichen Sensoren aus, die ihn in die Lage versetzen, externe und interne Leckagen an der Armatur oder aber den Druckabfall im pneumatischen Leitungsnetz festzustellen. Die ermittelten Fehlermerkmale bzw. der daraus abgeleitete Systemzustand oder die Fehlertypen und -dimension kann er der übergeordneten Leitebene mitteilen oder aber selber verwalten und im Falle der Überschreitung festgelegter Grenzen eine Warnung oder Alarmierung auslösen. Über die Ethernetanbindung der übergeordneten Leitebene wird schließlich der Zustand oder ein eintretender Fehler per Email oder Kurznachrichte auf das mobile Telefon des zuständigen Wartungspersonals übermittelt. Anhand langfristiger Zustandsbeobachtung ist das Wartungspersonal in der Lage, Wartungszyklen zu optimieren und rechtzeitige Instandhaltungsmaßnahmen zu veranlassen. Durch die rechtzeitige und direkte Alarmierung können im Falle von auftretenden erheblichen Fehlern oder Fehlfunktionen insbesondere von Leckagen, die das Medium betreffen, größere Anlagen- und Umweltschäden abgewendet und der Verlust wertvoller Ressourcen vermindert werden.

