

# Verfahren zur Erkennung sowie Diagnose von Fehlern in pneumatischen Systemen und Komponenten

## Kurzfassung

Verfahren zur Zustandsüberwachung sowie Fehlerdiagnose technischer Systeme werden im zunehmenden Maße für ein breites Spektrum des Maschinen- und Anlagenbaus entwickelt und eingesetzt. Gerade im Bereich pneumatischer Systeme fehlen noch aussichtsreiche und kostengünstige Methoden, die es erlauben, den Zustand der Anlage während des Betriebs online zu überwachen sowie die funktionsrelevanten Fehler zu erkennen und zu quantifizieren. Ist die Bewertung des Fehlerzustandes einzelner Komponenten gewünscht, so können Methoden aus dem Bereich der Offline-Diagnose an Einzelelementen zum Einsatz kommen. Zusätzlich zu der Genauigkeit müssen sich die Methoden zur Offline-Fehlererkennung und Fehlerquantifizierung zudem durch ihre kurze Prüfzeit und ihre einfache Anwendbarkeit auszeichnen. Der Einsatz der Online- wie Offline-Methoden kann dazu beitragen die Anlagenverfügbarkeit zu steigern, die Betriebssicherheit zu erhöhen, die Wartungsarbeiten planbar zu gestalten und dadurch die Wirtschaftlichkeit pneumatischer Systeme zu verbessern.

Die vorliegende Arbeit befasst sich im ersten Teil mit der Entwicklung einer Methode zur Online-Überwachung eines schaltpnematisch gesteuerten Systems. Die Methode wird entsprechend der etablierten Systematik entwickelt und am Beispielsystem einer pneumatisch betriebenen Schweißzange verifiziert. Zur Bildung der zustandscharakterisierenden Merkmale wird die Verwendung der Signale der vorhandenen Endlagenschalter und Druckdifferenzschalter bzw. Drucksensoren untersucht. Auf Basis des gegebenen Systemaufbaus erfolgt die Entwicklung eines konzentriert-parametrischen Simulationsmodells. Dieses wird durch den Vergleich der simulativ generierten Resultate mit den entsprechenden Messergebnissen validiert. Da das Simulationsmodell das gleiche Fehlerverhalten wie dessen zugrunde liegender realer Antrieb zeigt, können die Simulationsergebnisse zur Zuordnung der Symptomkombination zu entsprechendem Fehlerfall verwendet werden. Zur Zuordnung kommt ein Polynomverfahren zum Einsatz. Hierbei werden Ansatzpolynome erster und zweiter Ordnung untersucht. Die Erprobung der Methode erfolgt am aufgebauten Prüfstand, der das Einbringen der antriebsrelevanten Fehler *Externe Leckage*, *Interne Leckage* und *Reibung* gestattet. Die entwickelte Methode ist in der Lage, eingebrachte Veränderungen im Fehlerzustand zu identifizieren und die Fehlerausprägung quantitativ zu bestimmen. Nun ist ein frühzeitiges Erkennen schleichender Leistungsveränderungen an schaltpnematisch betriebenen Systemen möglich. Durch die detaillierte Angabe der Fehlerform wird der Wartungsaufwand genauer vorab planbar.

Zur Prüfung einzelner Ventile wird im zweiten Teil der Arbeit eine Offline-Methode vorgestellt, die auf der Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größen während des Ventilschaltens und der Auswertung des Druckverlaufs in einem Prüfvolumen basiert. Als Ergebnis stehen dem Anwender qualitäts- und fehlerbeschreibende Parameter sowie die Durchflusscharakteristik zur Verfügung, welche er zur Einschätzung des Ventilzustandes nutzen kann. Die Verifikation der Methode erfolgt durch die beispielhafte Prüfung verschiedener Pneumatikventile. Der Vergleich der Durchflusscharakteristik mit Ergebnissen direkter Messungen unterstreicht die Qualität des entwickelten Verfahrens zur Durchflussbestimmung. Dieses Verfahren stellt im Bereich der Vermessung pneumatischer Durchflussleitungen eine Alternative zu den etablierten energie- und zeitaufwändigen Verfahren dar und ist zudem auch zur Untersuchung weiterer pneumatischer Komponenten adaptierbar.

# **Approach for Detection and Diagnosis of Faults in Pneumatically Actuated Systems and Components**

## **Abstract**

Methods for condition monitoring and fault diagnosis of technical systems are increasingly developed for a great number of applications in mechanical engineering and plant construction. Especially in the field of pneumatically actuated systems, promising and cost effective online methods are still missing, which enable a condition monitoring of the system during its operation as well as the detection and quantification of functionally relevant faults. If detailed results of diagnosis are desired, offline methods can be applied on an individual element. In addition to accuracy, offline methods for fault detection and fault quantification have to be characterised by a simple usage and a short time of element testing. The application of the online and the offline methods might contribute to increase the system's availability as well as the operational reliability and to schedule the maintenance. In this way, the economic efficiency of pneumatically actuated systems may be improved.

The first part of this thesis deals on the development of a method for the online monitoring of a switching pneumatically actuated system. The method is developed in accordance with the established systematology and is verified on the pneumatic system of a pneumatically driven welding gun. Usage of the signals of proximity switches as well as pressure switches and pressure sensors respectively is investigated for the development of features which characterize the system's condition. A lumped parameter simulation model is developed based on the given system design and is validated by the comparison of simulation with measurement results. Due to the identical fault behaviour of the simulation model and the real system, the results generated by simulation can be used for symptom-fault allocation. The allocation will be performed by a mathematical method based upon polynomials. In this context, polynomials of first and second order are investigated. The developed method is verified on the set-up test bench, which enables a simulation of the drive related faults *external leakage*, *internal leakage* and *friction*. The method provides an early detection of fault state changes as well as its quantification with high accuracy. Regarding this, an early detection of insidious performance deterioration of a pneumatically actuated system becomes possible. Additionally, maintenance tasks can be exactly scheduled according to detailed fault information.

An offline method for testing of single valves is presented in the second part of this thesis. This method is based on the investigation of time dependent characteristics of the electrical signals during valve switching and the analysis of the pressure characteristic captured in a test vessel. Parameters describing the valve's performance and its fault state as well as the identified flow rate will be presented to the user for evaluation of the valve condition. The method is verified by an exemplary testing of different pneumatic valves. Furthermore, the quality of the newly developed method is shown by comparison of flow characteristics with measurement results of direct gauging of flow rate. Thus, it is an alternative to well-known methods out of the field of gauging of air flown elements, being costly in energy and time. Moreover, the method is adaptable for the investigation of other pneumatic components.