



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 012 980 T2** 2009.05.07

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 599 712 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 012 980.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2004/004039**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 710 617.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/074947**

(86) PCT-Anmeldetag: **12.02.2004**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **02.09.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.11.2005**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **09.04.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G05B 23/02** (2006.01)
G01L 27/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
447598 P **14.02.2003** **US**

(73) Patentinhaber:
Dresser, Inc., Addison, Tex., US

(74) Vertreter:
Uexküll & Stolberg, 22607 Hamburg

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR**

(72) Erfinder:
**SCHOONOVER, Larry, North Attleboro, MA 02760,
US**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN, SYSTEM UND SPEICHERMEDIUM ZUR DURCHFÜHRUNG VON ONLINE-VENTILDI-
AGNOSE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Infolge von Abnutzung, Umwelteinflüssen, Alterung, falscher Anwendung oder Herstellungsfehlern kann es passieren, dass Steuerventile, die in der Verfahrensindustrie verwendet werden, nicht korrekt arbeiten oder ausfallen. Wenn sie nicht korrekt arbeiten, dann führt dies häufig zu einem geringeren Wirkungsgrad des Verfahrens. Wenn sie ausfallen, dann führt dies oft zu einer Unterbrechung des Verfahrens. In einer großen Raffinerie oder in einer chemischen Anlage oder in einem Kraftwerk können all diese Ergebnisse sehr teuer sein. Betreiber von Anlagen sind daran interessiert, Wege zum Erkennen von Problemen hinsichtlich der Funktion von Ventilen zu finden, bevor sich das Problem dahingehend offenbart, dass die Produktion der Anlage behindert wird.

[0002] Einzige übliche Probleme, die bei Ventilen auftreten, sind: Abnutzung oder Beschädigung des Sitzes, Beschädigung des Schafts, Korrosion des Schafts, Abnutzung des Schafts, Abnutzung der Dichtung, Probleme/Ausfälle des Gestänges, Probleme/Ausfälle der Betätigungsfeder und Ausfälle des Betätigungsmittel-Diaphragmas. Einige dieser Probleme können nicht endgültig identifiziert werden, außer dann, wenn das Ventil demontiert und die Teile untersucht werden. Dies ist eine allgemeine Praxis bei der Diagnose von Ventilen, stellt aber eine teure Lösung dar.

[0003] In den letzten Jahren haben Betreiber begonnen, viele der üblichen Probleme aus Tests abzuleiten, die mit dem vollständig zusammengebauten Ventil durchgeführt werden können, das sich noch in der Prozesslinie befindet (wenn allerdings der Prozess nicht läuft, wie zum Beispiel während einer Abschaltung der Anlage). Es wurden Ventil-"Testgeräte" gebaut, bei denen Sensoren an den Ventilen angebracht sind und Messungen durchführen. Die meisten üblichen Messungen beinhalten Positionierungsfehler, Genauigkeit, Antwortzeit, Überschwingen, Federbereich und Friktion. Um diese Tests durchzuführen, müssen Sensoren an dem Ventil angebracht werden, und das Ventil muss über dem größten Teil seines Bereichs betrieben werden. Dadurch wird verhindert, dass diese Tests während des Betriebs der Anlage durchgeführt werden.

[0004] Die Verwendung von Datengewinnungssystemen, um Ventilbetriebsdaten zu gewinnen, ist seit einiger Zeit verfügbar, wurde jedoch für spezielle Ventildiagnoseanwendungen nicht in großem Umfang benutzt. Häufiger wurden Datengewinnungssystem-Daten verwendet, um den gesamten Prozessbetrieb und die Prozesseinstellung zu bewerten. Eine Zeit lang waren Ventileinstellungspunkt und Ventilposition unter Verwendung SCADA-Systemen oder dem Steuersystem verfügbar.

[0005] In neuerer Zeit wurde ein Teil der Datengewinnung in das Ventil selbst verlagert, und zwar in der Form von smarten Positionierern. Statt den Ventileinstellungspunkt und die Ventilposition aus analogen Signalen zu messen, die zum Steuerraum zurückgesendet wurden, erfolgten diese Messungen an dem Ventil und wurden in digitaler Form unter Verwendung verschiedener Standard-Kommunikationsprotokolle zum Steuerraum zurückgesendet. Einige Anbieter von smarten Positionierern haben die Diagnoseanwendungen in die Firmware der Positionierer eingebunden, was es erlaubte, dass die Positionierer das Ventil steuern, um einige Diagnosetests durchzuführen. Diese Tests beinhalten Antwortzeittests, Impulsantworttests, Betätigungsmittelsignaturen und Friktionsanalyse. Mit einigen Ausnahmen müssen diese Tests jedoch immer noch durchgeführt werden, wenn der Prozess nicht läuft.

[0006] Es gab ein beträchtliches Interesse an Tests, die durchgeführt werden können, wenn der Prozess immer noch läuft. Zumindest ein Anbieter hat einige Tests in die Firmware seiner Positionierer eingebaut, um Diagnoseinformationen zu gewinnen. Dieser Anbieter fordert die Verwendung einer speziellen Version der Positionierer, um mit Software im Steuerraum zusammen zu arbeiten, um diese Tests durchzuführen, und kann Informationen über Ventile während des normalen Betriebs oder während des Betriebs liefern, wobei das Ventil künstlich bewegt wird, jedoch nur über einen kleinen Bereich, der durch den laufenden Betrieb toleriert wird.

[0007] Das U.S. Patent Nr. 6,272,401 beschreibt Steuerverfahren und Steuervorrichtungen für ein Ventilpositionierungssystem, mit Routinen, um die kontinuierlichen Wartungs-, Kalibrierungs- und Einstellungserfordernisse des Ventils zu erleichtern. Das Positionierungssystem kann ein automatisches Positionieren bewirken und kann in einem manuellen Betriebsmodus oder in einem automatischen Betriebsmodus betrieben werden. Das Positionierungssystem kann beispielsweise Druck- und Positionsrückführsignale, um das Ventil zu überwachen, und eine externe Steuerung für verschiedene Diagnoseroutinen und andere Routinen verwenden. Das Positionierungssystem kann eine Diagnose des Ventils durchführen, während der Ventilprozess läuft, oder während eines Wartungsbetriebs. Das Positionierungssystem kann ferner das Ventil selbst einstellen und

selbst charakterisieren, um eine gleichmäßige Positionssteuerung zu gewährleisten.

[0008] In der Technik besteht daher eine Forderung nach einem Verfahren und nach einem System zum Durchführen von Ventildiagnosen während des normalen Ventilbetriebs.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und ein System gemäß Anspruch 12 sowie ein Speichermedium zum Implementieren eines Verfahrens nach Anspruch 13.

[0010] Ausführungsbeispiele der Erfindung umfassen Verfahren und Systeme zum Durchführen von Online-Ventildiagnosen. Ventilcharakteristiken, wie zum Beispiel Impulsantwort, Friktion und Federbereich werden bestimmt, während das Ventil in einem Prozess betrieben wird. Ventilinformationen werden erhalten, während des Betriebs des Ventils in Reaktion auf ein Steuersignal erhalten, das einen Prozess steuert, wobei das Ventil eine Reihe von graduellen Bewegungen durchläuft. Ventilcharakteristiken werden dann aus den Ventilinformationen bestimmt.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0011] [Fig. 1](#) zeigt ein System zum Durchführen von Ventildiagnosen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0012] [Fig. 2A–Fig. 2D](#) zeigen die Verarbeitung zum Herleiten eines Schrittantwort-Modells.

[0013] [Fig. 3](#) ist ein Flussdiagramm von einem Prozess zum Bestimmen von Modell-Parametern.

[0014] [Fig. 4a–Fig. 4d](#) zeigen die Verarbeitung zur Bestimmung von Friktion.

[0015] [Fig. 5A–Fig. 5B](#) zeigen die Verarbeitung zur Bestimmung des Federbereichs.

[0016] [Fig. 6](#) zeigt einen Prozess zur Bestimmung einer Verzögerung, durch die ein minimaler Fehler erzeugt wird.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0017] [Fig. 1](#) zeigt ein System zur Durchführung von Ventildiagnosen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Eine Prozesssteuerung **10** erzeugt ein Steuersignal, das verwendet wird, um während des normalen Betriebs eines Prozesses eine Ventilposition zu erzeugen. Ein Positionierer **12** wirkt mit einem Ventil **14** in Reaktion auf das Steuersignal von der Prozesssteuerung **10** zusammen. Der Positionierer **12** interpretiert ein elektrisches Steuersignal und steuert ein Betätigungsmittel, um das Ventil **14** zu positionieren. Ein pneumatisches Signal wird zu dem Ventil **14** gesendet, um das Ventil in Reaktion auf das Steuersignal zu positionieren, und ein Rückführsignal wird an den Positionierer **12** geliefert. Das Rückführsignal gibt die Position des Ventils **14** an. Der Positionierer basiert auf einer Positionsrückführmessung, um das Betätigungsmittel einzustellen.

[0018] Der Positionierer **12** liefert Ventilinformationen an die Steuerung **16**. Die Ventilinformationen beinhalten den gemessenen Einstellpunkt, die gemessene Ventilposition und den Druck des Betätigungsmittels. Die Ventilposition gibt die tatsächliche Position des Schafts an, wobei 0% vollständig geschlossen und 100% vollständig geöffnet bedeutet. Der Druck des Betätigungsmittels gibt den Luftdruck in dem Betätigungsmittel an, der erforderlich ist, um das Ventil zu positionieren. Dem Luftdruck wirken die Federn innerhalb des Betätigungsmittels entgegen sowie Kräfte der Prozessfluidströmung und der Friktion.

[0019] Die Steuerung **16** führt eine Routine durch, um Ventildiagnosen durchzuführen. Die Steuerung **16** kann eine auf einem Mikroprozessor basierende Steuerung sein, und die Routine kann in einem Computerprogramm implementiert sein, das durch die Steuerung ausgeführt wird. Die Steuerung **16** kann unter Verwendung einer Vielzahl an Technologien implementiert sein, wie zum Beispiel eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) oder ein feldprogrammierbares Logik-Array (SPGA). Obwohl die Steuerung **16** separat vom Ventil **14** dargestellt ist, soll verstanden werden, dass die Steuerung **16** als eine integrierte Steuerung in dem Ventil **14** eingebettet sein kann.

[0020] Bei Betrieb überwacht die Steuerung **16** die Ventilinformationen von dem Ventil **14** und führt Ventildi-

agnosen durch. Während des normalen Prozessbetriebs finden kleine Änderungen bezüglich der Ventilposition statt, und zwar infolge von Veränderungen bezüglich des Einstellpunkts, die zum Ventil **14** gesendet wird. Dieser Einstellpunkt ist der Wert des Signals, der in Prozent umgewandelt wird, wobei 0% geschlossen bedeutet und 100% offen bedeutet. Das Ventil **14** antwortet auf die Veränderungen des Einstellpunkts, indem der Ventilschaft weiter geöffnet oder geschlossen wird. Die Steuerung **16** verwendet diese Daten, um Charakteristiken zu berechnen, wie zum Beispiel Fehler, Versatz, Impulsantwort (einschließlich Verzögerung, Antwortzeit (T86) und Überschwingen), Oszillation, Friktion und Federbereich. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, können diese berechneten Charakteristiken verwendet werden, um Alarmlmeldungen, Nachrichtung und/oder Analysen für die Benutzer zur Verfügung zu stellen. Ausführungsbeispiele der Erfindung beinhalten das Ableiten der Impulsantwort, der Friktion und des Federbereichs.

[0021] Bezüglich der Verzögerung schätzt die Steuerung die gesamte Verzögerung zwischen den Einstellpunktveränderungen und der Positionsantwort auf die Veränderungen. Die Verzögerung wird durch Berechnen des Fehlers zwischen dem Einstellpunkt und der verzögerten Position bestimmt. Die berechnete Verzögerung ist die Verzögerung, die zum Fehler der kleinsten Quadrate führt. Die Verzögerung wird zur Berechnung des Fehlers und des Versatzes verwendet.

[0022] Fehler und Versatz sind übliche Messungen, die bei vorhandenen Ventildiagnosesystemen durchgeführt werden. Eine einfache Berechnung von Fehlern als die Differenz zwischen dem Einstellpunkt und der Position hat jedoch die unerwünschte Eigenschaft, durch die Antwortzeit signifikant beeinflusst wird. In den Ausführungsbeispielen der Erfindung definiert die Steuerung einen Fehler als die Differenz zwischen dem Einstellpunkt und der verzögerten Position, und diese unerwünschte Eigenschaft wird minimiert. Die Steuerung **16** berechnet den Versatz als den Durchschnitt des Fehlers. Ohne die Verwendung der verzögerten Position würde der Versatz die gleiche unerwünschte Eigenschaft haben.

[0023] Die Steuerung **16** verwendet ferner Ventilpositionsspektralfrequenzen, um Oszillation zu identifizieren und periodische Vorgänge zu begrenzen. Wie hier in größerem Detail beschrieben wird, verwendet die Steuerung **16** standardisierte Fourier-Techniken, um das Spektrum zu erhalten.

[0024] Ein üblicher Diagnosetest besteht darin, den Einstellpunkt abrupt zu ändern und zu sehen, wie das Ventil antwortet. Normalerweise folgt das Ventil nicht unmittelbar der Veränderung des Einstellpunkts, sondern benötigt eine gewisse Zeit. Die Zeit, die benötigt wird, um das Ventil um 86% des Weges von dem Startpunkt zu einem neuen Einstellpunkt zu bewegen, wird als T86 bezeichnet und ist eine übliche Messung. Wenn das Ventil den neuen Einstellpunkt erreicht, kann es sich weiter über den Einstellpunkt hinaus bewegen, bevor es in die korrekte Position zurückkehrt. Dieses sogenannte Überschwingen ist eine weitere übliche Messung.

[0025] Während des normalen Ventilbetriebs führt der Einstellpunkt normalerweise keine abrupten Bewegungen durch. Die Steuerung **16** kann zwei Techniken verwenden, um eine Impulsantwort aus den graduellen Bewegungen abzuleiten, die während des normalen Prozessbetriebs des Ventils **14** auftreten. Bei der ersten Technik wird ein Modell der Ventilantwort auf Einstellpunktveränderungen erstellt. Bei Verwendung dieses Modells stellt die Steuerung **16** die Modellparameter ein, bis die Vorhersage, die das Modell unter Verwendung des aktuellen Einstellpunkts durchgeführt hat, zu dem minimalen Fehler zwischen der Vorhersage und der tatsächlichen Position führt. Das Modell mit diesen Parametern kann dann auf einen "Impuls" im Einstellpunkt angewendet werden, um eine Grafik der Impulsantwort in einer Form zu erzeugen, mit der der Fachmann vertraut ist. In einem Ausführungsbeispiel hat das verwendete Modell zwei Parameter, und zwar einen, durch den primär die Antwortzeit beeinflusst wird, und einen, durch den primär ein Überschwingen beeinflusst wird. Der Algorithmus wird hier in größerem Detail beschrieben. Aus dem Ergebnis dieses Modells sagt die Steuerung **16** den Wert T86 und das Überschwingen voraus.

[0026] Ein zweites Impulsantwortverfahren beinhaltet die Annahme, dass jede kleine Bewegung des Einstellpunkts eine Reihe von Antworten (über die Zeit) von dem Ventil **14** beinhaltet. Die Ventilposition über die Zeit ist die Summe der Antworten von allen der individuellen Änderungen des Einstellpunkts. Die Zeitreihenantwort auf jede Einstellpunktveränderung ist als "Wavelet" (kleine Welle) bekannt. Das Wavelet, das mit den Daten mit dem Fehler der kleinsten Quadrate übereinstimmt, kann durch Lösung einer Reihe linearer Gleichungen bestimmt werden. Die Anwendungen des Wavelets auf einen Einstellpunktschritt führt zu einer Abschätzung der Impulsantwort, aus der T86 und das Überschwingen bestimmt werden können. Eine detaillierte Herleitung des Wavelet-Modells wird hier angegeben.

[0027] Friktion ist die Kraft, die erforderlich ist, um die Bewegung des Ventilschafts zu starten. Für Ventile wird sie oft hinsichtlich der erforderlichen Betätigungsmitteldrucks oder als ein Prozentsatz des erforderlichen Be-

tätigungsmitteldrucks gemessen. Friktion wird üblicherweise während einer Betätigungsmittel-Signatur gemessen, indem die Positionshysterese durch Erhöhen des Betätigungsmitteldrucks und durch anschließendes Absenken des Betätigungsmitteldrucks gemessen wird. Die Differenz zwischen den beiden resultierenden Kurven ist proportional zur Friktion (Schaft-Friktion plus Betätigungsmittel-Friktion plus irgendein toter Bereich oder eine andere Friktion in dem System).

[0028] Wenn das Ventil bei Betrieb normale kleine Bewegungen durchführt, dann bewegen sich diese Bewegungen über kleine Hystereseschleifen. Wenn der Federbereich des Ventils bekannt ist, kann jede der Abtastungen der Position über dem Druck unter Verwendung der Steigung der Federbereichslinie auf die Druckachse projiziert werden. Der Federbereich entspricht den Betätigungsmitteldrücken, die bewirken, dass sich das Ventil in der geschlossenen Position und in der geöffneten Position befindet. Diese Drücke sind als Federbereich bekannt, da sie größtenteils durch die Federn innerhalb des Betätigungsmittels bestimmt werden.

[0029] Dies führt zu einer "gedehnten normalen" Verteilung, die über einer Zone flach wäre, die die Reibung darstellt, und fällt wie eine normale Verteilung außerhalb des flachen Bereichs ab. Die in der Steuerung **16** verwendete Technik projiziert die Daten unter Verwendung der Steigung des Federbereichs auf die Druckachse und findet dann die 90%- und 10%-Werte. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten (des Drucks) ist eine Abschätzung der Reibung. Diese Technik benötigt kein Nachverfolgen einzelner Hystereseschleifen und erfordert nicht das Anpassen von Linien an die Daten und ist daher sehr robust.

[0030] Wenn die Veränderung der Position über die abgetasteten Daten klein ist, dann haben Fehler in dem angenommenen Federbereich annähernd keine Auswirkung auf die berechnete Reibung. Wenn der Positionsbereich breiter ist, dann ist es möglich, den tatsächlichen benutzten Federbereich zu berechnen.

[0031] Zwei weitere Verfahren zum Berechnen der Friktion können implementiert sein. Diese Verfahren benötigen keine Druckmessung und können breiter angewendet werden. Das Steuersystem **10** führt normalerweise sehr kleine Korrekturen bezüglich der Position durch. Wenn diese Korrekturen kleiner sind als die Friktion (in Prozent des Federbereichs), dann reagiert das Ventil tatsächlich nicht auf die Veränderungen. Das Steuersystem **10** fährt dann fort, den Einstellpunkt zu verändern, bis das Ventil schließlich antwortet. Die Veränderung, die hinsichtlich des Einstellpunkts erforderlich ist, bis sich das Ventil schließlich bewegt, ist der Prozentsatz der Friktion. Bei einem ersten Verfahren verwendet die gleiche Modelltechnik, wie oben beschrieben, bezüglich der Impulsantwort. Das Modell hat einen Parameter, der die Friktion ist, und das Modell berechnet keine Veränderung bezüglich der Position, bis das Integral der Veränderungen zum Einstellpunkt in irgendeiner Richtung den Friktionsparameter übersteigt, wobei zu diesem Zeitpunkt das normale Proportional-Integral-(PI)Modell angewendet wird.

[0032] Bei einem zweiten Verfahren wird die Verteilung von Veränderungen bezüglich der Position über die Verteilung von Veränderungen bezüglich des Einstellpunkts berechnet. Wenn in der Positionsverteilung ein hoher Spitzenwert vorliegt, der sich an einer höheren Position befindet als die Spitzenwerte in dem Einstellpunkt, dann stellt dieser aufgrund der Friktion einen Grenzwert dar. Durch das Subtrahieren der Einstellpunktveränderungsverteilung von der Positionsveränderungsverteilung und das Auffinden des Spitzenwertes wird die Friktion bestimmt.

[0033] Wegen der Hysterese und wegen der Uneinheitlichkeiten bezüglich Position über Druck, die während der Einstellpunktveränderungen auftreten, kann das Anpassen der Positionsdaten über die Druckdaten mit einer Linie zur Abschätzung des Federbereichs schwierig sein. Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung, die durch die Steuerung **16** implementiert sind, werden verschiedene Federbereiche angenommen und alle abgetasteten Daten auf die Druckachse projiziert. Der berechnete Federbereich ist der Federbereich, bei dem die Varianz der projizierten Daten minimiert ist. Wenn die Ventilbewegung mehr als 5% beträgt, liefert dieses Verfahren üblicherweise eine gute Abschätzung des Federbereichs.

[0034] Nun werden weitere Details bezüglich der durch die Steuerung **16** durchgeführten Verarbeitung beschrieben. Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung wird eine Verarbeitung verwendet, die analog zur Wavelet-Verarbeitung ist, die bei seismischer Exploration verwendet wird. Es sei $s = s_0, s_1, s_2, s_3, \dots$ das Eingangssignal (Einstellpunkt), ausgedrückt in Positionsprozenteneinheiten, und $p = p_0, p_1, p_2, p_3, \dots$ ist die Ventilposition. [Fig. 2A](#) zeigt den Einstellpunkt und die Position bezüglich der Zeit. Wir nehmen an, dass jede Änderung des Signal einen Impuls zu dem Ventil darstellt, das mit einer erweiterten Ausgabe oder Wavelet $\omega = \omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ antwortet. Mathematisch ausgedrückt,

$$\frac{dp}{dt} = \left(\frac{ds}{dt} \otimes \omega \right)$$

[0035] Das Integrieren beider Seiten führt zu

$$p = \int \left(\frac{ds}{dt} \otimes \omega \right) dt$$

[0036] Es sei $i = i_1, i_2, i_3, \dots$ die zeitliche Ableitung des (Eingangs-)Signals und $o = o_1, o_2, o_3, \dots$ die zeitliche Ableitung der (Ausgangs-)Position. [Fig. 2B](#) zeigt die Ableitung von Einstellpunkt und Position. Wir können die Faltung in der obigen Gleichung schreiben als:

$$o_k = (i_k \cdot \omega_0) + (i_{k-1} \cdot \omega_1) + (i_{k-2} \cdot \omega_2) + \dots + (i_{k-n} \cdot \omega_n)$$

[0037] Dies hat die Form einer linearen Gleichung mit unabhängigen Variablen i_k, i_{k-1}, \dots , einer abhängigen Variablen o_k und Koeffizienten $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n$. Da wir einige Abtastungen haben, mit denen gearbeitet wird, können wir eine Abschätzung der kleinsten Quadrate der Koeffizienten finden – d. h. der Satz von Koeffizienten, der zum kleinsten Fehler der Abschätzung o_k aus dem i_k unter Verwendung der Formel führt.

[0038] Die Formeln der kleinsten Quadrate können durch Multiplizieren der Gleichung mit jeder unabhängigen Variable und durch Summieren gebildet werden, um einen Satz von $n + 1$ linearen Gleichungen zu bilden:

$$\sum (o_k \cdot i_k) = \omega_0 \sum (i_k \cdot i_k) + \omega_1 \sum (i_k \cdot i_{k-1}) + \dots + \omega_n \sum (i_k \cdot i_{k-n})$$

$$\sum (o_k \cdot i_{k-1}) = \omega_0 \sum (i_{k-1} \cdot i_k) + \omega_1 \sum (i_{k-1} \cdot i_{k-1}) + \dots + \omega_n \sum (i_{k-1} \cdot i_{k-n})$$

$$\sum (o_k \cdot i_{k-2}) = \omega_0 \sum (i_{k-2} \cdot i_k) + \omega_1 \sum (i_{k-2} \cdot i_{k-1}) + \dots + \omega_n \sum (i_{k-2} \cdot i_{k-n})$$

$$\sum (o_k \cdot i_{k-n}) = \omega_0 \sum (i_{k-n} \cdot i_k) + \omega_1 \sum (i_{k-n} \cdot i_{k-1}) + \dots + \omega_n \sum (i_{k-n} \cdot i_{k-n})$$

[0039] Wenn wir die Symbole $C_{xy}(n)$ als das Kreuzprodukt verwenden, dann ist $\sum x_k \cdot y_{k-n}$ und $A_x(n)$ das Kreuzprodukt (Autokorrelation) $\sum x_k \cdot y_{k-n}$. Diese sind die Kreuzkorrelation und die Autokorrelationsfunktionen. Wir können dann die Gleichungen schreiben als:

$$C_{oi}(0) = \omega_0 A_i(0) + \omega_1 A_i(1) + \omega_2 A_i(2) + \dots + \omega_n A_i(n)$$

$$C_{oi}(1) = \omega_0 A_i(1) + \omega_1 A_i(0) + \omega_2 A_i(1) + \dots + \omega_n A_i(n-1)$$

$$C_{oi}(2) = \omega_0 A_i(2) + \omega_1 A_i(1) + \omega_2 A_i(0) + \dots + \omega_n A_i(n-2)$$

$$C_{oi}(3) = \omega_0 A_i(3) + \omega_1 A_i(2) + \omega_2 A_i(1) + \dots + \omega_n A_i(n-3)$$

...

$$C_{oi}(n) = \omega_0 A_i(n) + \omega_1 A_i(n-1) + \omega_2 A_i(n-2) + \dots + \omega_n A_i(0)$$

Geschrieben in Matrix-Form:

$$\begin{bmatrix} A_i(0) & A_i(1) & \dots & A_i(n) \\ A_i(1) & A_i(0) & & A_i(n-1) \\ \dots & & & \\ A_i(n) & A_i(n-1) & \dots & A_i(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_0 \\ \omega_1 \\ \dots \\ \omega_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{oi}(0) \\ C_{oi}(1) \\ \dots \\ C_{oi}(n) \end{bmatrix}$$

[0040] Dies kann durch übliche Matrix-Methoden gelöst werden und führt zu einem Wavelet, wie in [Fig. 2C](#) gezeigt ist. Die Steuerung **16** verwendet ein Gauss-Jordan-Eliminierungsverfahren mit Zeilentauschen, um das Wavelet zu lösen.

[0041] Die Ableitung einer Impulseingabe ist ein Impuls. Um ein Impulsantwortmodell aus dem Wavelet zu berechnen, wird das Wavelet mit einem einzelnen Impuls gefaltet, was dem Wavelet multipliziert mit einer Konstanten entspricht. Diese Faltung ist in [Fig. 2D](#) gezeigt. Die Impulsantwortausgabe (Position) ist das Integral des Wavelets multipliziert mit der Konstanten.

[0042] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Proportional-Integral-(IP)Modell verwendet, obwohl Ausführungsbeispiele der Erfindung nicht auf diesen Typ von Modell beschränkt sind. Die Modellparameter sind wie folgt definiert.

$$\text{Fehler}_i = (\text{Einstellung}_{i-1} - \text{Abschätzung}_{i-1})$$

$$\text{Abschätzung}_i = \text{Abschätzung}_{i-1} + \text{Fehler}_i \cdot P + \text{Fehler}_{\text{summe}} \cdot I + \text{Versatz}$$

$$\text{Abschätzung}_i = \text{Abschätzung}_{i-1} + \text{Fehler}_i \cdot P + \text{Fehler}_{\text{summe}} \cdot I + \text{Versatz}$$

$$\text{Fehler}_{\text{summe}} = \text{Fehler}_{\text{summe}} + \text{Fehler}_i$$

[0043] Der Wert des Versatzes wird, wie oben beschrieben (Durchschnitt des Fehlers) berechnet, und eine Variable Summenfehler wird bei 0 initialisiert. Die Steuerung **16** bestimmt P und I, so dass das Quadrat der Fehler zwischen den Variablen Abschätzung und der Position minimiert wird. Zwei Techniken können verwendet werden, um P und I zu bestimmen, um das Quadrat der Fehler zu minimieren. Die erste Technik arbeitet für jeden Parameter rekursiv, findet ein lokales Minimum des Fehlers durch Einstellen der Parameter, die darauf folgen. Diese Technik ist in [Fig. 3](#) dargestellt und ist selbsterklärend.

[0044] Eine zweite Technik arbeitet durch Erzeugen eines Gitters von N Abschnitten über dem Raum von erlaubten Werten von jedem der Parameter. Der Fehler wird bei jedem der Gitterpunkte berechnet. Der Gitterabschnitt, der den minimalen Fehler enthält, wird ausgewählt, und dieses Gitter wird in N Abschnitte unterteilt, und der Prozess wird wiederholt, bis die untere Grenze der Veränderung erreicht ist.

[0045] Während des normalen Betriebs des Ventils wird der Einstellpunkt durch die Steuerung **10** leicht verändert, um Feineinstellungen durchzuführen. Dies führt dazu, dass der Positionierer **12** kleine Verstellungen bezüglich des Betätigungsmitteldrucks durchführt. Aber aufgrund der Friktion erhöht oder vermindert sich der Betätigungsmitteldruck in einem gewissen Ausmaß, bevor sich das Ventil **14** tatsächlich bewegt. Wenn Druck über Position ausgedrückt wird, statt einer Linie zu folgen (die den Federbereich darstellt), folgen die Punkte einem Band um die Federbereichslinie, wobei die Breite des Bandes die Friktion darstellt. [Fig. 4A](#) zeigt einen Ausdruck von Druck über Position.

[0046] Wenn die Achse des Graphen (Druck auf der X-Achse, Position auf der Y-Achse) so gedreht wird, dass die Federbereichslinie vertikal verläuft, wie in [Fig. 4B](#) gezeigt, dann liegt, bei Ignorieren der Effekte von Prozessvariationen, die statistische Verteilung der Drücke etwa normal außerhalb des Friktionsbandes und ist innerhalb des Friktionsbandes flach, wie in [Fig. 4C](#) gezeigt. Die Steuerung **16** schätzt die Friktion durch Auffinden der Drücke, innerhalb derer 80 Prozent der Punkte liegen, nachdem der Graph gedreht wurde. Die Differenz zwischen dem 90% Druck und dem 10% Druck, gezeigt in [Fig. 4D](#), zeigt 2-mal die Friktion. Der Grund für die Verwendung von 10% und 90% (oder andere Werte, wie 20 und 80) besteht darin, dass einige der Ventilbewegungen, falls sie schnell erfolgen, eine Verzögerung zwischen der Druckänderung und der Ventilbewegung bewirken. Dadurch wird bewirkt, dass der abgetastete Druck-Position-Punkt außerhalb der Stelle liegt, wo er normalerweise liegen würde. Durch Ausschließen der äußeren 20% der Punkte wird eine bessere Abschätzung der Friktion erreicht, da die übrigen Punkte möglicherweise nicht jene sind, die durch plötzliche Bewegungen beeinflusst werden.

[0047] Die Steuerung **16** bestimmt ferner den Federbereich für das Ventil **14**. Wie vorstehend beschrieben, wird zur Durchführung der Friktionsberechnung die Achse des Drucks über dem Positionsgraph so gedreht, dass die Federbereichslinie vertikal verläuft. Dadurch wird ein angenäherter Federbereich zur Verfügung gestellt, der zur Friktionsberechnung verwendet wird. Es ist jedoch möglich, den Federbereich zu berechnen, indem die Achse gedreht wird, wenn genug Daten vorliegen. [Fig. 5A](#) zeigt die gedrehte Achse des Druck-über-Position Graphen. Zur Berechnung des Federbereichs sucht die Steuerung **16** nach einem Rotationswert, bei dem die Varianz der Datenpunkte minimal wird. [Fig. 5B](#) zeigt die Datenverteilung für zwei verschiedene Rotationen der Achse, eine mit einer geringeren Varianz. Der Durchschnitt der resultierenden Druckwerte ist der untere Federbereich, und das Ausmaß der Drehung bestimmt die Steigung (und somit den oberen Federbereich).

[0048] Die Berechnung der Verzögerung wird bestimmt, indem die Verzögerung, die zu einem minimalen summierten Quadratfehler führt, aus dem Einstellpunkt aufgefunden wird. Die Werte

$$\text{Fehler}_i = (\text{Einstellpunkt}_i - \text{Position}_{i+\text{Verzögerung}})^2$$

$$\text{Summierter Quadratfehler} = \sum \text{Fehler}$$

werden durch die Steuerung **16** für jede Verzögerung in dem akzeptierten Bereich berechnet. Die Verzögerung, für die der summierte Quadratfehler minimal ist, ist die berechnete Verzögerung. [Fig. 6](#) zeigt einen Prozess zur Bestimmung der Verzögerung, die die minimale Summe des Quadratfehlers erzeugt.

[0049] Bezüglich des Versatzes und des Fehlers berechnet die Steuerung **16** Fehler, nachdem die Verzögerung bestimmt wurde, und zwar wie folgt.

$$\text{Fehler} = ((\sum((\text{Einstellpunkt}_i - \text{Position}_{i+\text{Verzögerung}})^2)) / \text{NummerVonPunkten})^{1/2}$$

[0050] Der Versatz wird als der Durchschnitt der Rohfehler wie folgt bestimmt.

$$\text{Versatz} = (\sum(\text{Einstellpunkt}_i - \text{Position}_{i+\text{Verzögerung}})) / \text{NummerVonPunkten}$$

[0051] Ausführungsbeispiele der Erfindung ermöglichen die Aufnahme von Daten, während der Prozess läuft, greifen aber insgesamt nicht durch Veränderung ein, was die Prozess-Steuerung macht. Mit anderen Worten, die Steuerung **16** arbeitet als ein passiver Zuhörer. Wenn der Anlagen-Ingenieur eingreift und in dem Prozess kleine Änderungen herbeiführt, dann erzeugt die Steuerung **16** bessere Informationen, wobei es jedoch nicht erforderlich ist, dass der Ingenieur irgendwelche Änderungen durchführt. Tatsächlich werden Tests, die die Steuerung **16** durchführt, automatisch auf einer Zeitbasis erstellt, ohne dass der Ingenieur sich darüber bewusst ist, dass die Tests durchgeführt werden.

[0052] Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf beispielhafte Ausgestaltungen beschrieben wurde, soll verstanden werden, dass der Fachmann verschiedene Änderungen durchführen kann und dass Äquivalente deren Elemente ersetzen können, ohne vom wesentlichen Schutzzumfang abzuweichen. Es ist daher beabsichtigt, dass die Erfindung nicht durch die speziellen offenbarten Ausführungsbeispiele zur Durchführung der Erfindung beschränkt ist, sondern dass die Erfindung alle Ausführungsbeispiele einschließt, die in den Schutzbereich der beiliegenden Ansprüche fallen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchführen von Online-Ventildiagnosen für ein in einem Anlagenprozess betriebenes Ventil (**14**), wobei das Verfahren umfasst:

Erhalten von Ventilinformationen während des Betriebs des Ventils in Reaktion auf eine Mehrzahl von sequentiellen Einstellpunkten, die zur Steuerung des Anlagenprozesses bestimmt sind, wobei das Ventil durch eine Reihe von graduellen Bewegungen betrieben wird;

wobei die Ventilinformationen mindestens zwei von Daten bezüglich eines oder mehrerer Einstellpunkte, Positionsdaten und Druckdaten beinhalten;

Ableiten von mindestens einem von Impulsantwort, Friktion und Federbereich für das Ventil, basierend auf den Ventilinformationen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, außerdem mit:

Ableiten eines Modells aus Ventilantwort zu Einstellpunkt-Veränderungen in Reaktion auf die Ventilinformationen;

Einstellen des Modells in Reaktion auf einen oder mehrere Fehler zwischen Vorhersagen, die durch das Modell erzeugt werden, und tatsächlichen Positionsinformationen; und

Anwenden einer Impulseingabe auf das Modell, um eine Impulsantwort zu erzeugen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem:

das Einstellen des Modells das Einstellen eines ersten Parameters beinhaltet, durch den die Antwortzeit beeinflusst wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem:

das Einstellen des Modells das Einstellen eines zweiten Parameters beinhaltet, durch den ein Überschwingen

beeinflusst wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem:
das Ableiten des Modells umfasst: Hernehlen einer Ableitung von Einstellpunktdaten und Hernehlen einer Ableitung von Positionsdaten;
Auflösen nach einem Satz von Koeffizienten, durch den die Fehlerabschätzung der Ableitung von Positionsdaten von der Ableitung von Einstellpunktdaten minimiert wird, um eine Welle zu definieren;
das Anwenden der Impulseingabe auf das Modell umfasst: Integrieren der Welle; und
Ableiten von Antwortzeit und Überschwingen aus der Impulsantwort.

6. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem:
das Ableiten des Modells umfasst: Erhalten einer Mehrzahl von Wellen in Reaktion auf Einstellpunkt-Veränderungen;
das Einstellen umfasst: Auswählen von einer der Wellen mit minimalem Fehler;
Ableiten einer Impulsantwort durch Anwenden der Welle auf einen Impuls; und
Ableiten von Impulszeit und Überschwingen aus der Impulsantwort.

7. Verfahren nach Anspruch 1, außerdem mit:
Ableiten einer Verteilung der Positionsdaten durch Transformieren der Druckdaten und der Positionsdaten in Reaktion auf einen Federbereich des Ventils; Bestimmen der Friktion des Ventils in Reaktion auf diese Verteilung.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem:
das Bestimmen der Friktion das Bestimmen einer Differenz zwischen einem oberen Percentil und einem unteren Percentil dieser Verteilung beinhaltet.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem:
das obere Percentil 90 Prozent beträgt und das untere Percentil 10 Prozent beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem:
das Ableiten der Verteilung das Projizieren von Positionsdaten auf eine Druckachse entlang einer Steigung beinhaltet, die dem Federbereich entspricht.

11. Verfahren nach Anspruch 1, außerdem mit:
Ableiten einer Mehrzahl von Verteilungen der Positionsdaten in Reaktion auf eine Mehrzahl von Federbereichen des Ventils; und
Auswählen von einem der Federbereiche in Reaktion auf Varianz der Mehrzahl von Verteilungen.

12. System zum Ableiten von Ventilcharakteristiken von einem in einem Anlagenprozess betriebenen Ventil (**14**), wobei das System aufweist:
eine Prozesssteuerung (**10**), die eine Mehrzahl von sequenziellen Einstellpunkten erzeugt, die zur Steuerung des Anlagenprozesses bestimmt sind, wobei das Ventil mittels der Mehrzahl von Einstellpunkten durch eine Reihe von graduellen Bewegungen betrieben wird; und
einen Positionierer (**12**), der die Mehrzahl von Einstellpunkten empfängt und ein Signal zum Positionieren des Ventils erzeugt;
wobei das System gekennzeichnet ist durch:
eine Steuerung (**16**), die während des Betriebs des Ventils Ventilinformationen von dem Positionierer erhält, basierend auf den Einstellpunkten, wobei die Ventilinformationen mindestens zwei von Daten bezüglich eines oder mehrerer Einstellpunkte, Positionsdaten und Druckdaten beinhalten;
wobei die Steuerung mindestens eines von Impulsantwort, Friktion und Federbereich für das Ventil ableitet, basierend auf den Ventilinformationen.

13. Speichermedium, das mit einem maschinenlesbaren Computer-Programm-Code kodiert ist, um Ventilcharakteristiken von einem in einem Anlagenprozess betriebenen Ventil (**14**) abzuleiten, wobei das Speichermedium Instruktionen enthält, um zu bewirken, dass eine Steuerung (**16**) ein Verfahren implementiert, mit:
Erhalten von Ventilinformation während des Betriebs des Ventils in Reaktion auf eine Mehrzahl von sequenziellen Einstellpunkten, die zur Steuerung des Anlagenprozesses bestimmt sind, wobei das Ventil durch eine Reihe von graduellen Bewegungen betrieben wird;
wobei die Ventilinformationen mindestens zwei von Daten bezüglich eines oder mehrerer Einstellpunkte, Positionsdaten und Druckdaten beinhalten;

DE 60 2004 012 980 T2 2009.05.07

Ableiten von mindestens einem von Impulsantwort, Friktion und Federbereich für das Ventil, basierend auf den Ventilinformationen.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

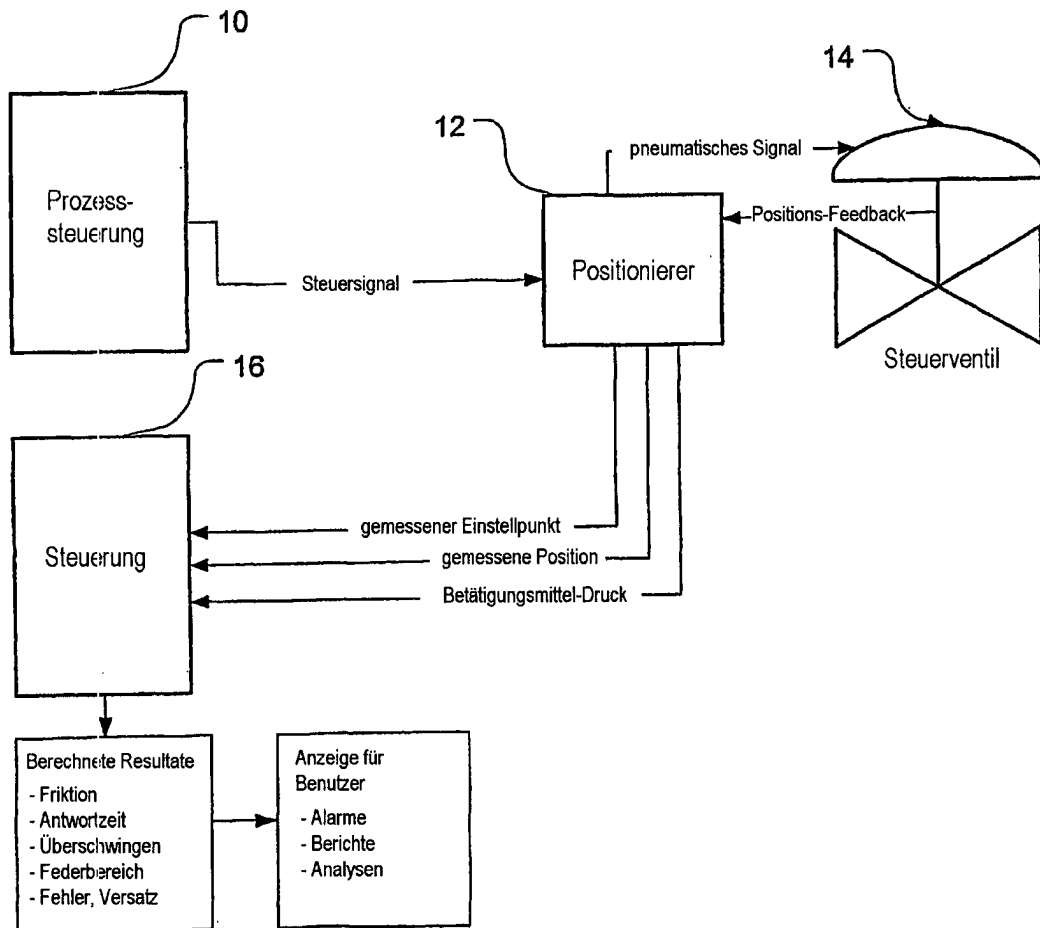


Fig. 1

Impulsantwort-Abschätzung - Wavelet-Technik

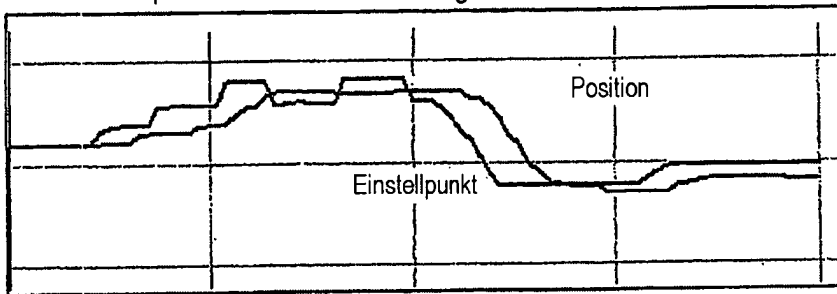
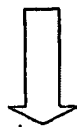


Fig. 2A



Aufnehmen der Ableitung

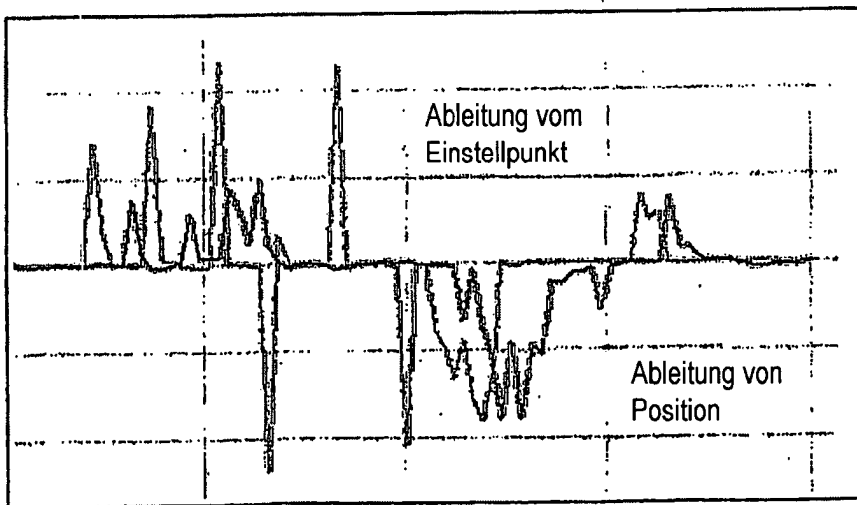


Fig. 2B

↓
Auflösen der Matrix für ω ,
das Wavelet

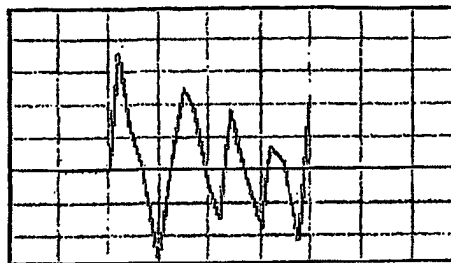


Fig. 2C

↓
Falten des Wavelet mit einem Einheiten-
Impuls (wie Integrieren)

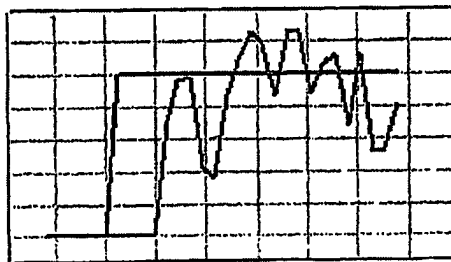


Fig. 2D

Impulsantwort-Abschätzung

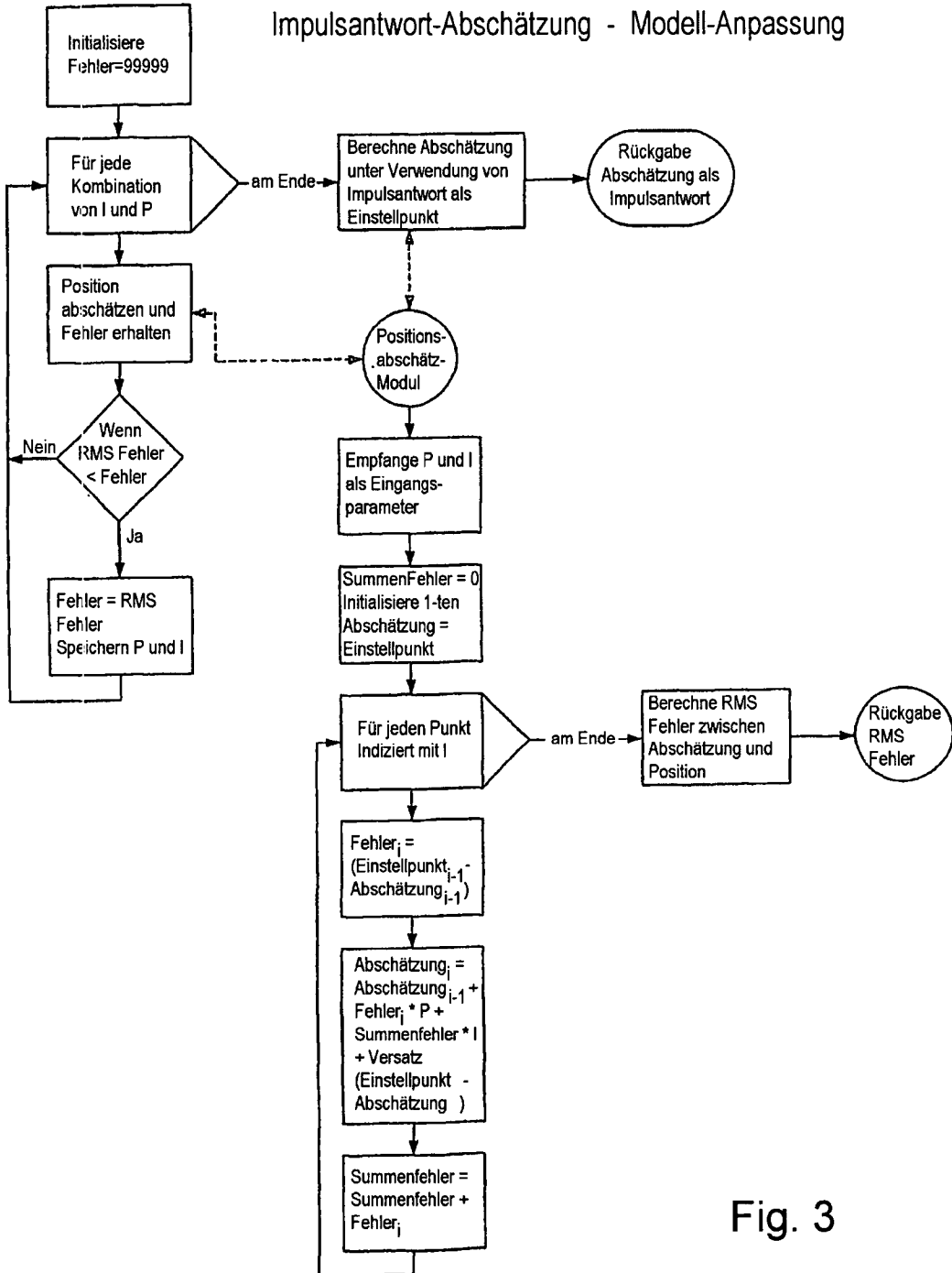


Fig. 3

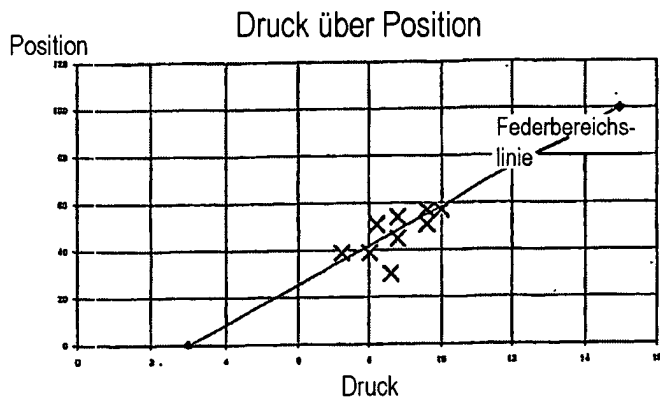


Fig. 4A

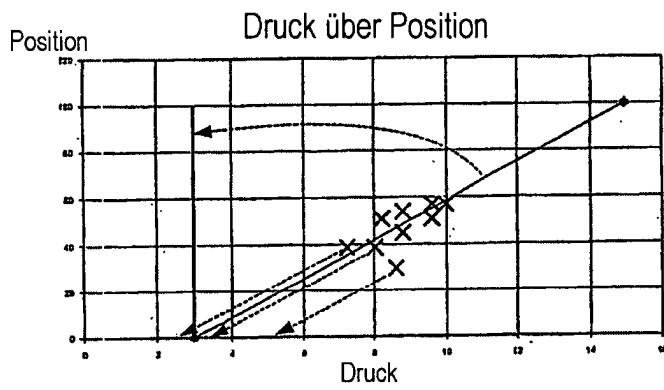


Fig. 4B

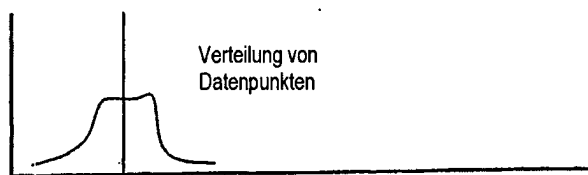


Fig. 4C

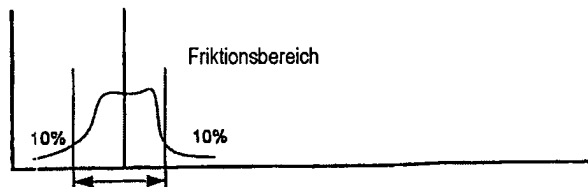


Fig. 4D

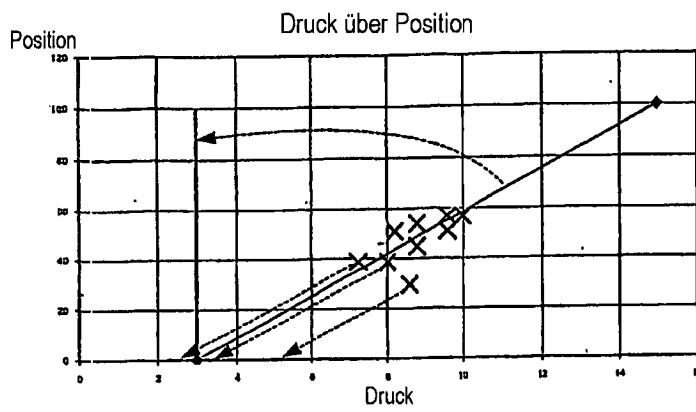


Fig. 5A

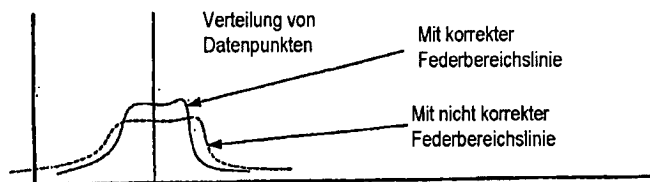


Fig. 5B

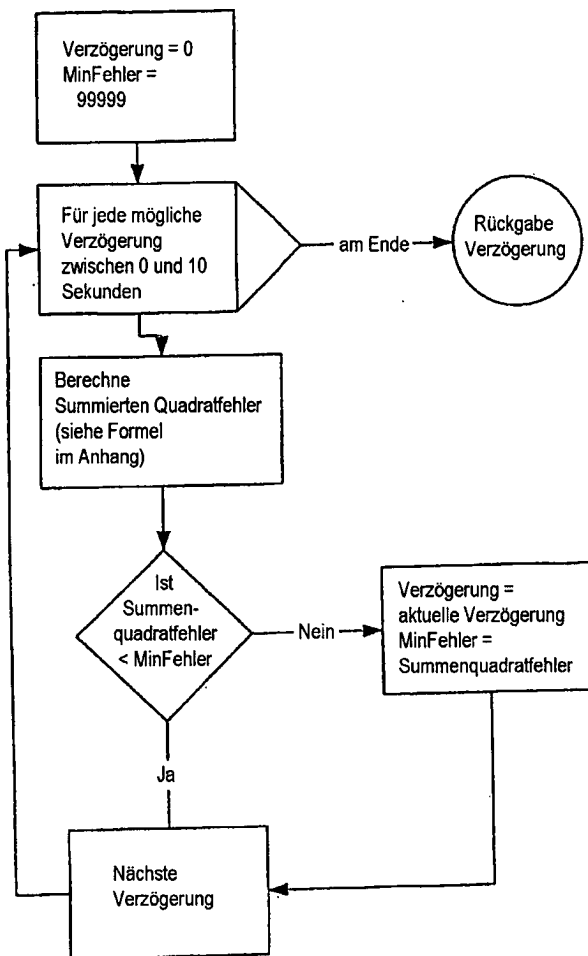


Fig. 6