



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 20 653 T2** 2004.09.30

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 015 950 B1**

(51) Int Cl.7: **G05D 16/20**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 20 653.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/18928**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 948 148.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/015942**

(86) PCT-Anmeldetag: **10.09.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **01.04.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.07.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **17.12.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **30.09.2004**

(30) Unionspriorität:
934943 **22.09.1997** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, DE, FR, GB, GR, IE, IT, NL

(73) Patentinhaber:
**Fisher Controls International, Inc., Clayton, Mo.,
US**

(72) Erfinder:
**ADAMS, R., Paul, Marshalltown, US; GABEL, J.,
Karl, North Las Vegas, US; ROPER, G., Daniel,
Lucas, US**

(74) Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner GbR, 80538 München

(54) Bezeichnung: **INTELLIGENTER DRUCKREGLER**

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

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft Fluiddruckreguliereinrichtungen und insbesondere eine verbesserte Fluiddruckreguliereinrichtung, die intelligente Elektronik und Software hat, um das Betriebsverhalten zu verbessern.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Im allgemeinen umfassen die vier Grundelemente einer Prozeßsteuerschleife eine zu steuernde Prozeßvariable, einen Prozeßsensor oder ein Maß des Zustands der Prozeßgröße, ein Regelgerät und ein Stellglied. Der Sensor liefert eine Anzeige des Zustands der Prozeßvariablen an das Regelgerät, das auch eine Angabe des gewünschten Zustands der Prozeßvariablen oder den "Sollwert" enthält. Das Regelgerät vergleicht den Zustand der Prozeßvariablen mit dem Sollwert und errechnet ein Korrektursignal, welches es an das Stellglied sendet, damit dieses den Prozeß beeinflusst und ihn in den Soll-Zustand bringt. Das Regelgerät ist der letzte Teil der Schleife, und der häufigste Typ des Stellglieds ist ein Ventil, obwohl es beispielsweise auch einen stufenlos regelbaren Antrieb oder eine Pumpe aufweisen kann.

[0003] Eine Druckreguliereinrichtung bzw. ein Druckregler ist ein einfaches, unabhängiges Steuersystem, das den Prozeßsensor, das Regelgerät und das Ventil in einer einzigen Einheit kombiniert. Druckregler werden für die Druckregelung beispielsweise auf den Gebieten der Fluidverteilung und in der Prozeßindustrie häufig verwendet, um einen gewünschten reduzierten Auslaßdruck aufrechtzuerhalten, während gleichzeitig der geforderte Fluiddurchfluß ermöglicht wird, um einem an der Abstromseite auftretenden variablen Bedarf zu genügen. Druckregler fallen im allgemeinen in zwei Hauptkategorien, und zwar direktbetriebene Regler und vorgesteuerte Regler.

[0004] Die EP 039 370 zeigt einen Fluiddruckregler, der ein Gehäuse aufweist, das folgendes hat: eine zylindrische Kammer mit einem Einlaß für die Einleitung von Druckfluid in die Kammer, einem Auslaß, durch den Fluid mit reguliertem Druck aus der Kammer austreten kann, und einer Abblaßöffnung, die mit einem auf Konstantdruck befindlichen Raum in Verbindung steht. Ein Kolbenelement ist in die Kammer eingesetzt und zwischen einem Bereich von Positionen so gleitbar, daß die Abblaßöffnung teilweise von dem Kolben verdeckt ist, wobei der Kolben, wenn er sich innerhalb dieses Bereichs von Positionen befindet, mit einer im wesentlichen konstanten Kraft vorgespannt wird.

[0005] Dagegen zeigt US 5 662 137 einen Druckregler, bei dem ein Absperrelement, das von einer elastischen Membran betätigt wird, den Durchfluß steuert und den Druck eines Gases reguliert, das aus

einer Einlaßkammer zu einer Regulierungskammer und somit zu einer Auslaßöffnung strömt. Eine programmierbare Einrichtung erzeugt eine auf das Absperrelement wirkende Kraft, die sich als eine Funktion eines Parameters P ändert, so daß der Auslaßdruck $PS = f(P)$ exakt gleich einem vorher definierten Druck $PD = f(P)$ für jeglichen Wert des Parameters P ist. Bevorzugt ist der Parameter P der Druck des Fluids in der Einlaßkammer.

[0006] Ein typischer bekannter Direktregler **11** ist in **Fig. 1** gezeigt. Typische Anwendungsgebiete für Direktregler umfassen Industrie, Gewerbe und Gaswirtschaft; Luft- oder Gasversorgung von Instrumenten; Brenngas für Brenner; Wasserdruckregelung; Dampfbetrieb; und Behälterschutz. Der Direktregler **11** weist einen Reglerkörper **12** mit einem Einlaß **13** und einem Auslaß **14** auf. Ein Fluiddurchflußkanalbereich **15** mit einem Drosselbereich **16** verbindet den Einlaß **13** und den Auslaß **14** miteinander. Der Drosselbereich **16** hat ein Drosselement **17** wie etwa einen Stopfen, eine Membran, einen Flügel, eine Hülse oder eine ähnliche Drosseleinrichtung, die, wenn sie bewegt wird, den Durchfluß des Fluids (eines Gases oder einer Flüssigkeit) begrenzt. Ein Betätigen, der ein Fühlerelement aufweist, das zwei Seiten hat, spricht auf Änderungen des zu regelnden Fluiddrucks an. Beispiele von Fühlerelementen sind Membranen, Blenden oder Kolben. Die in **Fig. 1** gezeigte Ausführungsform verwendet eine Membran **18** als Fühlerelement. Die erste oder Steuerseite **19** des Fühlerelements wird über eine Steuerleitung oder einen Kanal **20** im Inneren des Reglerkörpers **12** mit Stelldruck beaufschlagt. Wenn zu diesem Zweck eine Steuerleitung verwendet wird, kann sie mit dem Reglerkörper **12** integral sein oder in den benachbarten Leitungen liegen. Die zweite oder Referenzseite **21** des Fühlerelements ist typischerweise auf Atmosphäre bezogen. Eine Zusatzkraft wie etwa eine Feder **22** kann den Betätigen beaufschlagen, der das Drosselement in eine einen Sollwert darstellende vorbestimmte Position vorspannt.

[0007] Der in **Fig. 1** gezeigte Direktregler **11** wird als "Druckminderungs"-Regler angesehen, weil das Fühlerelement (die Membran **18**) über einen inneren Kanal **20** mit dem Druck an der Abstromseite **14** des Reglers (an der Fluidauslaßseite) verbunden ist. Ein Anstieg des abstromseitigen Drucks wird der Steuerseite **19** durch den inneren Kanal **20** zugeführt und bringt Druck auf die Membran **18** auf und drängt sie gegen die Kraft der Feder **22** nach oben. Dadurch wird wiederum das Drosselement nach oben in den Durchflußdrosselbereich **16** bewegt, wodurch der Fluiddruck zum Reglerauslaß **20** vermindert wird.

[0008] Druckminderungsregler regulieren den Durchfluß durch Erfassen des Drucks an der Abstromseite des Reglers. Eine typische Anwendung eines Druckminderungsreglers erfolgt an Dampfkesseln, wo Druckminderungsregler die anfängliche Druckregulierung vornehmen. Wenn die Membran **18** mit dem aufstromseitigen Druck verbunden wäre und

das Drosselement **17** zur anderen Seite des Drosselbereichs **16** bewegt würde, wäre der Direktregler **11** als ein "Rückdruckregler" anzusehen. Rückdruckregler werden beispielsweise im Zusammenwirken mit Verdichtern verwendet, um sicherzustellen, daß ein Vakuumzustand den Verdichter nicht erreicht.

[0009] Ein vorgesteuerter Regler gleicht im Aufbau einem Direktregler. Ein typischer bekannter vorgesteuerter Druckminderungsregler **23** ist schematisch in **Fig. 2A** gezeigt, und ein bekannter vorgesteuerter Rückdruckregler ist in **Fig. 2B** gezeigt. Der vorgesteuerte Regler weist sämtliche strukturellen Elemente des Direktreglers und zusätzlich das Vorsteuerelement **24** (auch als Relais, Verstärker oder Vielfachen bezeichnet) auf. Das Vorsteuerelement ist eine Hilfseinrichtung, die den Lastdruck auf den Reglerbetätiger verstärkt, um den Druck zu regulieren. Das Vorsteuerelement gleicht im Aufbau einem Direktregler und hat im wesentlichen die gleichen Elemente wie der Direktregler.

[0010] Bei dem vorgesteuerten Regler **23**, der in den **Fig. 2A** und **2B** gezeigt ist, wird der Einlaßdruck über einen Druckanschluß **27** in der Leitung an der Aufstromseite des Reglers **23** zugeführt. Bei dem in **Fig. 2B** gezeigten vorgesteuerten Rückdruckregler **23** kann in dem Druckanschluß **27** außerdem eine Drosselstelle **26** vorgesehen sein. Der Einlaßdruck zum Vorsteuerelement kann auch durch einen integralen Druckanschluß zum Reglerkörper geliefert werden. Der Auslaßdruck wird durch eine Leitung **20**, die an der Abstromseite des Reglers **23** angeschlossen ist, zurückgeführt. Der abstromseitige Druck ist mit dem Vorsteuerelement **24** und dem Hauptregler **10** verbunden. Das Vorsteuerelement **24** verstärkt die Druckdifferenz über der Hauptreglermembran **18**, um entweder den aufstromseitigen Fluiddruck (Rückdruck) oder den abstromseitigen (druckmindernden) Fluiddruck zu regulieren.

[0011] Druckregler bieten gegenüber anderen Steuer- bzw. Reguliereinrichtungen viele Vorteile. Regler sind relativ kostengünstig. Im allgemeinen benötigen sie keine externe Energiequelle zur Durchführung der Druckregulierungsfunktion; Regler nutzen statt dessen als Energie den Druck von dem zu regelnden Prozeß. Außerdem sind der Prozeßsensor, das Regelgerät und das Steuerventil in einem relativ kleinen eigenständigen Gehäuse zusammengefaßt. Weitere Vorteile sind gutes Frequenzansprechverhalten, ein großer Bereichsumfang, geringe Größe, und außerdem tritt im allgemeinen nur geringe oder überhaupt keine Schaftundichtheit auf.

[0012] Bei bekannten Regelgeräten treten auch Nachteile auf. Erhebliche Probleme, die bei existierenden Druckreglern auftreten, sind "Proportionalabweichung" und "Anstieg", auch als Regelabweichungs- oder Proportionalbereich bezeichnet. Dabei ist die Proportionalabweichung als die Abnahme des geregelten Drucks in einem Druckminderungsregler definiert, und der Anstieg ist als eine Zunahme des geregelten Drucks bei einem Rückdruckregler defi-

niert; sie treten auf, wenn von einem Niedriglastzustand in einen Vollastzustand übergegangen wird. Sie werden normalerweise in Prozent ausgedrückt. Proportionalabweichung und Anstieg sind besonders bei Direktreglern vorhanden, existieren aber auch in geringerem Maß bei bekannten vorgesteuerten Reglern.

[0013] Regler müssen häufig in einen strömungslosen Zustand gehen, der als "Blockierung" oder "Verschließen" bezeichnet wird. Bei einem Druckminderungsregler wie etwa dem Direktregler **11** in **Fig. 1** oder dem vorgesteuerten Regler **23** in **Fig. 2A** kann der Druck an der Abstromseite einen Punkt erreichen, an dem es wünschenswert ist, daß der Regler **11** den Fluiddurchfluß vollständig unterbricht. Bei diesem abstromseitigen Druck bewegt der zu der Membran **18** zurückgeführte Steuerdruck das Drosselement **17** vollständig in den Durchflußdrosselungsbereich **16**, wodurch der Durchfluß blockiert wird. Dieser Zustand ist als Blockierzustand ("lock-up") bekannt. Bei einem Rückdruckregler wie etwa dem vorgesteuerten Regler **23** von **Fig. 2B** kann der Druck an der Abstromseite des Reglers auf einen Wert abfallen, bei dem der Regler den Durchfluß blockieren muß. In diesem Fall fällt der aufstromseitige Steuerdruck auf einen Wert, bei dem die Belastungsfeder und/oder der Vorsteuerdruck das Drosselement **17** veranlassen, sich in eine Position zu bewegen, in der der Fluiddurchfluß vollständig blockiert ist. Probleme mit inneren Teilen, Kontaminierung oder eine Hemmung der Bewegung der inneren Teile können sämtlich zu einem Verlust der Blockierungsfähigkeit beitragen.

[0014] Da ein Regelgerät ein selbständiges Steuerungssystem ist, haben bestehende Regelgeräte typischerweise keine Fähigkeit, mit anderen Bereichen eines Prozeßsteuerungssystems zu kommunizieren. Dadurch ergeben sich mehrere Nachteile. Da es keine Einrichtung gibt, um aus der Entfernung einen Sollwert anzugeben oder einen Regler abzustimmen, müssen sie im allgemeinen von Hand eingestellt werden. Die Einstellungen erfolgen durch Drehen eines Einstellknopfs an dem Regler, um so die gewünschte Kraft auf den Betätigten zu erreichen. Das ist besonders unerwünscht bei Fernanwendungen oder in Prozessen, die den Druck von gefährlichen Stoffen steuern. Es gibt keine Anzeigen des Reglerbetriebsverhaltens in der Steuerwarte, so daß es den Bedienern überlassen ist, durch das Lesen anderer Prozeßanzeigen auf Reglerstörungen zu schließen.

[0015] Der Mangel an Kommunikations- und Verarbeitungsmöglichkeiten kann auch zu Problemen bei den Wartungsmöglichkeiten führen. Es ist schwierig oder unmöglich, das Reglerbetriebsverhalten über die Zeit genau zu überwachen, und so gibt es kaum eine Vorwarnung, wenn es notwendig ist, einen Regler zu reparieren oder zu ersetzen. Ferner gibt es keine Vorwarnung vor einem bevorstehenden Ausfall, was bei bestehenden Druckreglern besonders ungünstig ist: Da sie ihre Energie aus dem Prozeß be-

ziehen, weisen sie charakteristisch keinen Störungsmodenbetrieb auf. Wenn die wirksame Membran eines unter Federbelastung stehenden Druckminderungsreglers ausfällt, öffnet der Regler vollständig. Das führt zu Problemen, wenn die abstromseitigen Leitungen den an der Aufstromseite herrschenden Druckbedingungen nicht standhalten können oder wenn kein Entlastungsventil vorhanden ist, das den maximalen Durchfluß des Reglers handhaben kann. Rückdruckregler schließen bei einem Membranausfall vollständig, so daß gleichartige Probleme für den aufstromseitigen Teil des Prozesses auftreten.

[0016] Es ist wohlbekannt, daß in vielen Situationen, in denen Druckregler angewandt werden könnten, statt dessen Steuerventile verwendet werden. Das Steuerventil enthält einen angetriebenen Betätigten, der auf von außen zugeführte Signale anspricht, um ein Drosselement zur Durchflußregelung zu bewegen. Man schätzt, daß bei richtiger Nutzung Steuerventile in 25% der Anwendungsfälle, die Steuerventile verwenden, durch Regler ersetzt werden könnten. Die zögerliche Verwendung von Reglern anstelle von Steuerventilen geht größtenteils auf die Nachteile zurück, die mit bekannten Druckreglern einhergehen. Die hauptsächlichen Bedenken sind die Proportionalabweichungs-Charakteristiken und der Mangel an Fernbedienbarkeit. Die Anwender von Prozeßanlagen trachten aber ständig danach, in Bezug auf die Kosten wettbewerbsfähiger zu sein. Die Anwender von Prozeßanlagen suchen nicht nur nach Verbesserungen des Prozeßwirkungsgrads und der verfügbaren Betriebszeit, sondern auch nach kostengünstigeren Lösungen für die Prozeßsteuerung. Wenn die oben erörterten Beschränkungen von Reglern beseitigt würden, könnte für viele Steuerventilanwendungen eine kostengünstigere Option angeboten werden.

[0017] Die US-Industrie gibt jährlich ungefähr 200 Millionen Dollar für die Wartung von Anlageneinrichtungen aus. Das resultiert in Wartungskosten, die 15 bis 40% der Kosten von jährlich verkauften Waren darstellen. Weiter wird ein Drittel der für Wartung ausgegebenen Dollars für unnötige oder unwirksame Wartung ausgegeben. Da bekannte Regler keine Diagnose- oder Kommunikationsfähigkeit haben, um Informationen mit externen Systemen auszutauschen, ist die Fehlersuche häufig schwierig. Bei dem Versuch, nichterkannte Prozeßprobleme zu korrigieren, werden oft Regler ausgewechselt und dann erkannt, daß der Regler ordnungsgemäß funktionierte. Eine Auswechslung des Reglers kann es erforderlich machen, den gesamten Prozeß anzuhalten, was zu erheblichen Verlusten an Produktionszeit führt. Die Verbesserung des Betriebsverhaltens von Prozeßinstrumenten wie etwa Druckreglern sowie die Verbesserung der Wartungsfähigkeit durch Verarbeitungsmöglichkeiten und Kommunikation wird die Herstellungskosten signifikant senken.

[0018] Es besteht also offensichtlich ein Bedarf für einen verbesserten Druckregler, der Blockierungs-

charakteristiken ausgleicht und ein verbessertes Betriebserhalten zeigt. Außerdem wäre es erwünscht, daß der verbesserte Regler Kommunikations- und Diagnosefähigkeiten aufweist, um eine Fernbetätigung und den Austausch von Daten zuzulassen und dadurch die Wartungsfähigkeit zu verbessern. Ferner werden diese zusätzlichen Merkmale gleichzeitig mit der Forderung nach kostengünstigen Lösungen zur Druckregulierung verlangt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0019] Die vorliegende Erfindung befaßt sich mit den oben angesprochenen Problemen des Stands der Technik durch Bereitstellen eines intelligenten Druckreglers, dessen Reglerbetriebsverhalten dadurch verbessert ist, daß er Verarbeitungs- und Kommunikationsfähigkeit aufweist. Das wird erreicht, während gleichzeitig die bestehenden Vorteile des Druckreglers, also Einfachheit und geringe Kosten, erhalten bleiben.

[0020] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Druckregler zum Steuern des Drucks eines Prozeßfluids bereitgestellt, der folgendes aufweist: einen Körper, der einen Fluideinlaß, einen Fluidauslaß und einen Fluiddurchflußkanal zwischen dem Einlaß und dem Auslaß definiert; ein Drosselement, das innerhalb des Durchflußkanals bewegbar ist; einen Betätigten, der mit dem Drosselement verbunden ist, um das Drosselement selektiv zu bewegen, um den Fluiddurchfluß durch den Durchflußkanal zu steuern, wobei der Betätigten eine Referenzseite und eine Steuerseite hat; eine Federlast, die mit dem Betätigten verbunden ist, um das Drosselement in einer vorbestimmten Referenzposition vorzuspannen; eine Rückführung zum Zuführen des Prozeßfluids zu der Steuerseite des Betätigten, um das Drosselement zu positionieren, wobei der Betätigten und die Rückführung so ausgebildet sind, daß sie das Drosselement so positionieren, daß der Fluiddurchfluß durch den Durchflußkanal in Abhängigkeit von einem vorbestimmten Druck des Prozeßfluids an der Abstromseite oder Aufstromseite des Reglers blockiert wird; und eine elektronische Steuereinheit, die auf die Referenzseite des Betätigten einen Einstelldruck aufbringt, um das Drosselement in Abhängigkeit von einer Prozeßvariablen weiter zu positionieren.

[0021] Bevorzugt ist der Betätigten eine Membran.

[0022] Ebenfalls bevorzugt weist die elektronische Steuereinheit ferner eine Speicherstruktur auf, wobei die Steuereinheit so ausgebildet ist, daß sie Digitaldaten, die den Betrieb des Druckreglers betreffen, in der Speicherstruktur speichert, und wobei die Steuereinheit eine Kommunikationsschaltung zum Übermitteln von mindestens einigen der gespeicherten Digitaldaten an Einrichtungen außerhalb der elektronischen Steuereinheit aufweist.

[0023] Ebenfalls bevorzugt weist die elektronische Steuereinheit eine Kommunikationsschaltung und einen Speicher auf, wobei die Steuereinheit so ausge-

bildet ist, daß sie durch die Kommunikationsschaltung ein elektrisches Signal empfängt, das einen gewünschten Druck des Prozeßfluids darstellt, und eine digitale Darstellung dieses elektrischen Signals in dem Speicher speichert.

[0024] Bei einer Ausführungsform der Erfindung weist die Steuereinheit folgendes auf: mindestens einen Sensor, der ein Signal liefert, das den Wert von mindestens einer Prozeßvariablen darstellt; einen Prozessor, der das Variablensignal empfängt und ein Signal ausgibt, das eine Einstellung des Drosselements als Reaktion auf die Differenz zwischen dem erfaßten Wert und einem Sollwert darstellt; und eine Einstelleinrichtung, die in Abhängigkeit von dem vom Prozessor ausgegebenen Signal eine Kraft auf den Betätigten aufbringt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0025] **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung eines typischen bekannten Direktdruckreglers;

[0026] **Fig. 2A** ist eine schematische Darstellung eines typischen bekannten vorgesteuerten Druckminderungsreglers;

[0027] **Fig. 2B** ist eine schematische Darstellung eines typischen bekannten vorgesteuerten Rückdruckreglers;

[0028] **Fig. 3** ist eine schematische Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform eines intelligenten Rückdruckreglers gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0029] **Fig. 4** ist eine schematische Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform eines intelligenten Druckminderungsreglers gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0030] **Fig. 5A** ist ein Diagramm, das die Blockierungsausgleichsfunktion der elektronischen Steuereinheit für eine Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0031] **Fig. 5B** ist ein Diagramm, das die Aufbauausgleichsfunktion der elektronischen Steuereinheit für eine Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0032] **Fig. 6** ist ein Blockbild des intelligenten Reglers, wobei die Funktionsbereiche des Direktreglers und der elektronischen Steuereinheit hervorgehoben sind;

[0033] **Fig. 7** zeigt schematisch die elektronische Steuereinheit einer Ausführungsform der Erfindung;

[0034] **Fig. 8A** ist ein Regelabweichungsdiagramm des Reglers, wobei der Soll-Druckwert und der Steuerdruck über dem Durchfluß für einen Druckminderungsregler gezeigt sind;

[0035] **Fig. 8B** ist ein Regelabweichungsdiagramm des Reglers, wobei der Soll-Druckwert und der Steuerdruck über dem Durchfluß für einen Rückdruckregler gezeigt sind;

[0036] **Fig. 9A** ist ein Diagramm der Reglereinlaß-Empfindlichkeit, wobei Steuerdruckkurven für verschiedene Einlaßdrücke für einen Druckminderungsregler gezeigt sind;

[0037] **Fig. 9B** ist ein Diagramm der Reglerein-

laß-Empfindlichkeit, wobei Steuerdruckkurven für verschiedene Einlaßdrücke für einen Rückdruckregler gezeigt sind;

[0038] **Fig. 10** ist ein Diagramm, das ein Maß des Hysteresefehlers für einen Druckregler zeigt;

[0039] **Fig. 11A** ist ein Diagramm, das "Blockieren" bei einem Druckminderungsregler zeigt;

[0040] **Fig. 11B** ist ein Diagramm, das "Verschließen" bei einem Rückdruckregler zeigt;

[0041] **Fig. 12** zeigt eine Datenübertragungseinrichtung zwischen einem intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung und einer externen Steuerwarte, wobei ein einziges verdrilltes Aderpaar mit Fieldbus verwendet wird;

[0042] **Fig. 13** zeigt eine Datenübertragungseinrichtung zwischen einem intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung und einer externen Steuerwarte, wobei ein einziges verdrilltes Aderpaar mit HART verwendet wird;

[0043] **Fig. 14** zeigt eine Datenübertragungseinrichtung zwischen einem intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung und einer externen Steuerwarte, wobei eine duale Vierdraht-Paarkabelanordnung verwendet wird;

[0044] **Fig. 15** zeigt eine Datenübertragungseinrichtung zwischen einem intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung und einer externen Steuerwarte unter Verwendung einer Funkverbindung; und

[0045] **Fig. 16** zeigt eine Datenübertragungseinrichtung zwischen einem intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung und einer externen Steuerwarte unter Verwendung einer alternativen Übertragungseinrichtung wie etwa eines Modems oder eines Lichtwellenleiters.

GENAUE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0046] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen und insbesondere die **Fig. 3** und **4** sind zwei Ausführungsformen eines intelligenten Druckreglers gemäß der vorliegenden Erfindung schematisch gezeigt. Jede Ausführungsform ist allgemein mit **10** bezeichnet und weist einen Direktregler und eine elektronische Steuereinheit (in den **Fig. 3** und **4** von einer Strichlinie umgeben) auf. Im allgemeinen zeigt **Fig. 3** einen intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung, der zur Rückdruckregulierung angewendet wird, wogegen **Fig. 4** einen intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt, der zur Druckminderung angewendet wird. In **Fig. 3** strömt das Fluid von rechts nach links. In **Fig. 4** strömt das Fluid von links nach rechts. Die in den **Fig. 3** und **4** gezeigten speziellen Ausführungsformen weisen einen Direktregler auf, aber der Fachmann könnte unter Heranziehung der vorliegenden Offenbarung die Erfindung unter Verwendung eines vorgesteuerten Reglers implementieren.

[0047] Gemäß den Figuren weist der Direktregler **11** einen Körper **12** auf, der einen Fluideinlaß **13**, einen Fluidauslaß **14** und einen Fluiddurchflußkanal **15** auf-

weist, der den Einlaß **13** mit dem Auslaß **14** verbindet. Ein Durchflußdrosselbereich **16** befindet sich in dem Durchflußkanal **15**, und ein Drosselement **17** hat die Funktion, den Fluiddurchfluß durch den Drosselbereich **16** zu begrenzen. Das Drosselement **17** kann einen Stopfen, eine Membran, einen Flügel, eine Hülse oder ein anderes geeignete Element aufweisen, daß den Fluiddurchfluß begrenzt, wenn es innerhalb des Drosselbereichs **16** bewegt wird. Ferner weist der Regler **10** einen Betätigen auf, der ein Fühlerelement ist, das bei den in den **Fig. 3** und **4** gezeigten speziellen Ausführungsbeispielen eine Membran **18** aufweist, die mit dem Reglerkörper **12** verbunden ist. Das Fühlerelement kann alternativ als Membran oder als Kolben ausgebildet sein. Ein Gleitschaft **29** verbindet das Drosselement **17** mit der Membran **18**. Die Membran **18** weist eine Steuerseite **19** auf, auf die Steuerdruck **30** aufgebracht wird. Der Steuerdruck **30** ist mit der Membran **18** über eine (nicht gezeigte) Steuerleitung oder einen (nicht gezeigten) Kanal innerhalb des Ventilkörpers **12** oder außerhalb desselben verbunden.

[0048] Die in **Fig. 3** gezeigte Ausführungsform des Reglers **10** ist ein Rückdruckregler, weil der Steuerdruck **30** an der Aufstromseite des Reglers **10** auf die Membran **18** aufgebracht wird. Ein Druckminderungsregler ist in **Fig. 4** gezeigt, wobei die Membran **18** mit dem Steuerdruck **30** verbunden ist, der an der Abstromseite des Reglers **10** vorhanden ist. Die Membran **18** hat ferner eine Referenzseite **21** gegenüber der Steuerseite **19**, die auf Atmosphäre bezogen ist. Bei bekannten Reglern weist die Referenzseite charakteristisch eine Feder **22** oder eine andere geeignete Einrichtung wie etwa ein Gewicht auf, das auf die Referenzseite **21** eine zusätzliche Kraft aufbringt. Zusätzlich ist eine Einstellschraube **31** so positioniert, daß die Ausgangsposition der Feder **22** eingestellt werden kann.

[0049] Bei dem Rückdruckregler **10** von **Fig. 3** strömt das Prozessfluid durch eine Leitung **32**. Die Feder **22** ist so vorgespannt, daß sie die Tendenz hat, das Drosselement **17** in einer im wesentlichen geschlossenen Position zu halten. Das Fluid strömt in den Einlaß **13**, durch den Drosselbereich **16** und durch den Auslaß **14**. Der Steuerdruck **30** ist mit der Steuerseite **19** der Membran **18** auf solche Weise verbunden, daß der Systemdruck von einer aufstromseitigen Stelle auf die Steuerseite **19** aufgebracht wird und die Membran **18** zwingt, sich gegen die Feder **22** zu bewegen, wodurch der Schaft und das Drosselement **17** nach Bedarf bewegt werden, um den Durchfluß durch den Drosselbereich **16** zu variieren und dadurch den Fluiddruck zu regulieren.

[0050] Der Druckminderungsregler **10** von **Fig. 4** arbeitet ähnlich wie der in Verbindung mit **Fig. 3** beschriebene Rückdruckregler, wobei jedoch der Steuerdruck **30** an der Abstromseite des Reglers **10** erfaßt wird und das Drosselement **17** sich auf der entgegengesetzten Seite des Drosselbereichs **16** befindet. Bei dem Druckminderungsregler **10** bringt die

Feder **22** auf die Referenzseite **21** der Membran **18** eine Kraft auf solche Weise auf, daß das Drosselement **17** in eine im wesentlichen geöffnete Position oder aus dem Durchflußdrosselbereich **16** hinaus vorgespannt wird. Der Steuerdruck **30** wird auf die Steuerseite **19** der Membran **18** von einer abstromseitigen Stelle aufgebracht, wodurch das Drosselement **17** weiter in den bzw. aus dem Drosselbereich **16** bewegt wird, um den abstromseitigen Druck durch Regulierung des Durchflusses durch den Drosselbereich **16** zu steuern.

[0051] Mit dem Federbelastungssystem von typischen Direktreglern zeigt der gesteuerte Druck die Tendenz abzunehmen, während sich der Durchfluß von einem Minimal- zu einem Maximaldurchfluß ändert. Das ist bei einem Druckminderungsregler als Regelabweichung und bei einem Rückdruckregler als Aufbau bekannt (und wird auch als Proportionalbereich oder Offset bezeichnet). Die vorliegende Erfindung gleicht die Regelabweichung bzw. den Aufbau aus und steigert die Genauigkeit des Reglers durch Vorsehen einer elektronischen Steuereinheit **28**, die außerdem eine Anzeige des Sollwerts und des Steuerdrucks empfängt. Die Steuereinheit vergleicht den Sollwert und den Steuerdruck und führt dann einen Einstellwert an die Referenzseite der Membran, um die Beschränkungen des Federmassensystems des Reglers auszugleichen.

[0052] Die Offset-Regulierungsfunktion der elektronischen Steuereinheit ist grafisch in **Fig. 5A** dargestellt, wobei der Steuerdruck auf der y-Achse und die Durchflußrate auf der x-Achse eingetragen sind. In **Fig. 5A** zeigt die mit "a" bezeichnete Kurve die Proportionalabweichung bzw. den Offset eines typischen Druckminderungs-Direktreglers, wobei der Steuerdruck mit ansteigender Durchflußrate abnimmt. Die mit "b" bezeichnete Kurve zeigt den Ausgangswert der elektronischen Steuereinheit zum Ausgleich für die in der Kurve a von **Fig. 5A** aufgetretene Proportionalabweichung. Unter Nichtbeachtung der Reibungseffekte sind diese Kurven im wesentlichen Spiegelbilder. Die Kurve "c" zeigt das Ergebnis der Kombination der Kurven "a" und "b", das gleich dem Sollwert ist.

[0053] Ebenso ist in **Fig. 5B** die Anstiegs-Regulierungsfunktion grafisch dargestellt. Ebenso wie in **Fig. 5A** zeigt die mit "a" in **Fig. 5B** bezeichnete Kurve den Anstieg oder Offset eines Rückdruckreglers, wobei der Steuerdruck mit ansteigender Durchflußrate zunimmt. Die mit "b" bezeichnete Kurve zeigt den Ausgang der elektronischen Steuereinheit zum Ausgleich des in Kurve "a" in **Fig. 5B** vorhandenen Anstiegs. Unter Nichtbeachtung der Reibungseffekte sind diese Kurven im wesentlichen Spiegelbilder ebenso wie die Regelabweichungskurven in **Fig. 5A**. Die Kurve "c" zeigt das Ergebnis der Kombination der Kurven "a" und "b", das gleich dem Sollwert ist.

[0054] Es wird erneut auf die **Fig. 3** und **4** Bezug genommen; die elektronische Steuereinheit **28** weist auf: einen Druck-/Strom- bzw. P/I-Wandler **33**, einen

Prozessor, der als Regler mit PID-Verhalten bzw. PID-Regler wirkt, und einen Strom-/Druck- bzw. I/P-Wandler **35**. Der PID-Regler **34** kann in einem Mikroprozessor verkörpert sein. Die elektronische Steuereinheit **28** wird von einer externen Energiequelle **36** gespeist, die in den **Fig. 3** und **4** als eine 24-V-Energieversorgung dargestellt ist. Die Energie kann von einer Reihe von geeigneten Energiequellen bereitgestellt werden, etwa einer externen Energiequelle wie einem Transformator oder Schleifenenergie von einem verteilten Steuersystem, einem Stromgenerator in dem Direktregler, der Druck von dem zu steuernden Prozeß als Energiequelle nutzt, Sonnenenergie oder Batterieenergie. Eine Druckquelle **37** speist den I/P-Wandler **35**, der der Referenzseite **21** der Membran **18** pneumatischen Druck liefert, um je nach den Durchflußbedingungen Regelabweichungs- oder Anstiegskompensation zu ermöglichen. Eine Alternative zu Nutzung der Druckquelle **37** für die Lieferung von pneumatischem Druck besteht darin, den Betätigten mit einem Elektromotor anzutreiben, und in diesem Fall ist der I/P-Wandler **35** nicht vorgesehen. Statt dessen empfängt der Motor ein Signal direkt vom dem PID-Regler **34**.

[0055] **Fig. 6** zeigt die Funktionsbereiche der beispielhaften Ausführungsform des intelligenten Reglers **10**. Der Großsollwert-Block **38** stellt den gewünschten Druck oder Sollwert dar, der bei einer Ausführungsform der Erfindung die Form der Reglerlastfeder hat, die auf die Referenzseite der Membran eine Kraft aufbringt, die als Summierknoten **39** gezeigt ist. Der Sollwert **38** ist ein "grober" Sollwert, weil die von dem Direktregler **11** durchgeführte Druckregulierung einer Regelabweichung unterliegt. Der Großsollwert **38** wird in den Direktregler eingegeben durch Justieren einer Einstellschraube, die die Last der Reglerfeder einstellt. Die von der Reglerlastfeder auf die Membran aufgebrauchte Kraft ist als eine positive (+)-Kraft an dem Summierknoten **39** gezeigt.

[0056] Die von dem Summierknoten **39** ausgegebene Kraft etabliert gemeinsam mit der Reglerfederkonstanten die Position des Drosselements des Reglers in dem Drosselbereich. Ein Verstärkungsfaktor **40** wird auf die Positionsinformation angewandt, um die Ausgangsdurchflußrate W des Reglers festzulegen. Der Ausgangsdurchfluß W wird mit dem gewünschten oder Lastdurchfluß WL an einem Summierknoten **41** verglichen. Wenn der Ausgangsdurchfluß W gleich dem Lastdurchfluß WL ist, befindet sich das System in einem stabilen Zustand, und der Steuerdruck P_c bleibt konstant. Wenn sich das System nicht in einem stabilen Zustand befindet, erfolgt durch P_c , der zu der Membran rückgeführt wird und an dem Summierknoten **39** als negative Kraft (-) gezeigt ist, kein Ausgleich an dem Summierknoten **39**. Das führt dazu, daß sich das Drosselement relativ zu dem Drosselbereich bewegt, bis der Ausgangswert des Summierknotens **39** Null ist. Anders ausgedrückt, P_c bringt auf die Membran eine Kraft auf, die zu der von der Lastfeder aufgebrauchten Kraft entgegengesetzt

ist, um die Position des Drosselements zu ändern, das den Durchfluß einstellt und dadurch den Druck reguliert.

[0057] Zum Ausgleich von Offset und zur Verbesserung des Betriebsverhaltens des Direktreglers wird der elektronischen Steuerung **28** auch eine Angabe des Steuerdrucks zugeführt. Der P/I-Wandler **33**, der ein Druckwandler sein kann, der entweder mit dem Regler integral oder an dem benachbarten Rohr außerhalb des Reglers angebracht ist, wandelt P_c in ein Signal um, das ein 4-20-mA-Signal sein kann, wie es von einem typischen analogen Druckwandler geliefert wird. Das P_c -Signal wird dann dem PID-Regler **34** der elektronischen Steuereinheit zugeführt. Das Signal P_c wird mit der Differentialkonstanten **42** multipliziert und dann einem Summierknoten **43** gemeinsam mit dem P_c -Signal zugeführt. Der Ausgangswert des Summierknotens **43** wird mit einem Feinsollwert-Signal **44** von einer externen Quelle wie etwa einem Hauptrechner oder verteilten Steuersystem an dem Summierknoten **45** verglichen, der ein Fehlersignal erzeugt. Das Fehlersignal wird der Proportionalkonstanten **46** und der Integralkonstanten **47** zugeführt und dann einem Summierknoten **48** zugeführt, der ein Ausgangssignal erzeugt. Das Ausgangssignal wird dem I/P-Wandler **35** zugeführt, welcher der Membran pneumatischen Druck liefert, der als eine positive Kraft (+) am Summierknoten **39** gezeigt ist.

[0058] Die Hinzufügung der oben erörterten Verarbeitungsmöglichkeiten zum Ausgleich der Regelabweichungs- und Anstiegs-Steuerung bildet auch eine Möglichkeit zur Verbesserung anderer Leistungsaspekte eines Druckreglers, etwa Fernbedienung und -Kommunikation, verbesserter Prozeßbetrieb, Diagnosefähigkeit, bessere Wartungsfähigkeit, Trendbildung, Alarmfähigkeit usw. Diese zusätzlichen Verbesserungen ergeben sich im einzelnen aus der weiteren Erläuterung der elektronischen Steuereinheit.

[0059] **Fig. 7** zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel des intelligenten Regelgeräts **10**. Der Direktregler **11** ist schematisch dargestellt. Zusätzlich zu dem oben beschriebenen PID-Reglerteil **34** weist die elektronische Steuerung **28** außerdem einen Diagnoseabschnitt **49**, einen Erfassungsabschnitt **50**, einen Kommunikationsabschnitt **51**, einen elektronischen Versorgungsabschnitt **52** und einen Abschnitt **53** für alternative Eingänge auf. Diese Funktionsabschnitte der elektronischen Steuerung können sämtlich in einem Mikroprozessor verkörpert sein.

[0060] Der Erfassungsabschnitt **50** liefert die Fehlersignale an den PID-Regler **34** auf der Basis der Signale, die den Einlaßdruck P_1 , den abstromseitigen Druck P_2 und den Betätigerlastdruck PL bezeichnen, die entsprechend den PID-Konstanten verarbeitet werden. Diese Signale können von Sensoren, die mit dem Reglerkörper integral sind, oder von externen Sensoren geliefert werden. Andere Prozeßvariablen werden von dem Abschnitt **53** für alternative Eingänge empfangen. Diese Eingangssignale können Temperatursignale **65** von Temperatursensoren sein, die

entweder mit dem Regler integral oder außen an den Reglern angebracht sind. Audio- oder Vibrationswandler **66** liefern beispielsweise Eingangssignale, die eine Undichtheit und/oder Kavitation oder eine Störung in dem Durchflußdrosselbereich anzeigen. Eine Ventilschaftbewegungsinformation **67** und Betätigerbewegungsinformation **68** werden dem Abschnitt **53** für alternative Eingänge über Bewegungswandler zugeführt, um den Zustand dieser Elemente zu überwachen. Informationen wie etwa die oben beschriebenen Eingangssignale sind Beispiele von Prozeßelementen, die dem Abschnitt **53** für alternative Eingänge der elektronischen Steuereinheit **28** zugeführt werden können. Andere geeignete Prozeßdaten wie etwa der pH-Wert oder der Durchfluß können ebenfalls über Sensoren geliefert werden, die entweder mit dem Regler integral oder außerhalb desselben vorgesehen sind. Einige oder alle oben angegebenen Sensorsignale können Analogsignale sein, die von der elektronischen Steuereinheit in Digitalwerte umgewandelt werden.

[0061] Grundlinien-Diagnosedaten können genutzt werden, um für einen bestimmten Regler eine "Signatur" zu entwickeln, die in dem Speicher der Steuereinheit oder im Speicher eines externen Systems gespeichert werden kann. Betriebsinformationen, die dem Diagnoseabschnitt **49** von dem Erfassungsabschnitt **50** und dem Abschnitt **53** für alternative Eingänge zugeführt werden, können dann verarbeitet und mit den Grundliniendaten oder der Signatur verglichen werden, und der Diagnoseabschnitt **49** kann Alarme, tatsächliche und vorhergesagte Störungen und andere Diagnoseinformationen an den Systembediener liefern, wenn die Charakteristiken und das Betriebsverhalten des Reglers von dem erwarteten Signatur-Betriebsverhalten um mehr als einen vorbestimmten Wert abweichen. Die Alarmzustände können spontan über freilaufende Kommunikationen zum Hauptrechner von dem Regler oder über Abfragen vom Hauptrechner berichtet werden. Abfragen können in vorbestimmten zeitlichen Abständen durchgeführt werden. Alternativ kann eine Warneinrichtung, die beispielsweise einen hörbaren oder sichtbaren Alarm liefert, Abweichungen von der Signatur anzeigen. Diese Informationen können dann genutzt werden, um die Wartung vorherzusagen, die Systemleistung zu verbessern, die Lebensdauer zu berechnen usw. Beispiele von speziellen Informationen, die von dem Diagnoseabschnitt **49** einer Ausführungsform der Erfindung verarbeitet werden können, werden nachstehend erörtert.

[0062] Offset: Wie oben beschrieben wird, zeigen bekannte Regler einen Offset wie etwa eine Regelabweichung oder einen Anstieg. Die **Fig. 8A** und **8B** zeigen Diagramme, in denen der Sollwert und der Steuerdruck für einen Direktregler über dem Durchfluß auf der x-Achse aufgetragen sind. Der Sollwert ist über den Durchflußbereich konstant. Der Steuerdruck für einen Druckminderungsregler nimmt mit steigender Durchflußrate ab, wie die mit "Regler" in

Fig. 8A bezeichnete Kurve zeigt, wogegen der Steuerdruck für einen Rückdruckregler mit steigender Durchflußrate ansteigt, wie **Fig. 8B** zeigt (wobei ein Regelabweichungs- oder Anstiegs-Ausgleich durch die elektronische Steuereinheit vernachlässigt wird). Ein vorgesteuerter Regler würde eine ähnliche Kurve zeigen, wobei allerdings der Offset kleiner wäre. Die Distanz zwischen der Proportionalabweichungskurve (**Fig. 8A**) oder der Aufbaukurve (**Fig. 8B**) und der Sollwertkurve bei einer gegebenen Durchflußrate ist der Offset für den Regler. Offset kann lokal bestimmt werden über

$$\text{Offset} = \Delta P \cdot K_L$$

wobei ΔP die Differenz zwischen dem gesteuerten Druck und dem Einlaßdruck und K_L ein lokaler Durchflußkoeffizient ist. Der Prozessor des intelligenten Reglers kann Offset überwachen und mit einem Grundlinienwert vergleichen. Eine Änderung des Offset kann beispielsweise ein Problem mit der Belastungskraft (Feder) des Reglers bedeuten. Der Bediener kann dann über diesen Zustand benachrichtigt werden.

[0063] Einlaßdruckempfindlichkeit: Die **Fig. 9A** und **9B** zeigen jeweils drei Kurven des Steuerdrucks gegenüber der Durchflußrate bei verschiedenen Einlaßdrücken, bezeichnet mit a, b und c. Das veranschaulicht die Empfindlichkeit eines Reglers gegenüber veränderlichen Einlaßdrücken. Bei einer gegebenen Durchflußrate definiert die Differenz zwischen Steuerdrücken für verschiedene Einlaßdrücke die Einlaßempfindlichkeit. Die Kurven in **Fig. 9A** zeigen die Einlaßempfindlichkeit im Fall eines Druckminderungsreglers, wogegen **Fig. 9B** Einlaßempfindlichkeitskurven für einen Rückdruckregler veranschaulicht. Ebenso wie bei dem Offset kann die Einlaßempfindlichkeit mit Grundlinieninformation verglichen werden, um Diagnoseinformation und Ausfallvorhersageinformation von der elektronischen Steuerung an einen Anwender zu übermitteln.

[0064] Hysterese und Totzone: Hysterese wird definiert als die Tendenz eines Instruments, für einen gegebenen Eingang einen davon verschiedenen Ausgang abzugeben in Abhängigkeit davon, ob der Eingang aus einer Zunahme oder einer Abnahme des vorhergehenden Werts resultierte. **Fig. 10** zeigt ein Maß für den Hysteresefehler, der Hysterese und Totzone umfaßt. Die mit "a" bezeichnete Kurve zeigt den Steuerdruck, der über der Durchflußrate für einen abnehmenden Durchflußbedarf aufgetragen ist. Die mit "b" bezeichnete Kurve ist eine ähnliche Kurve für einen zunehmenden Durchflußbedarf. Anders ausgedrückt, die Kurve "a" zeigt den Steuerdruck für gegebene Durchflußraten, wenn sich das Drosselement in einer ersten Richtung bewegt, und die Kurve "b" zeigt den Steuerdruck für entsprechende Durchflußraten, wenn sich das Drosselement in der entgegengesetzten Richtung bewegt. Die Differenz zwischen den beiden Kurven wird als "Totzone" bzw.

"Unempfindlichkeitsbereich" bezeichnet. Die Überwachung des Anstiegs einer Hystereseurve kann beispielsweise Informationen über die Federkonstante liefern. Eine Änderung der Totzone oder des Anstiegs einer Hystereseurve kann Probleme anzeigen oder genutzt werden, um Probleme vorherzusagen, die in Bezug auf Feder, Betätigen, Drosselement oder eine andere Komponente des Reglers auftreten können.

[0065] Blockierung und Verschließen: Die Fig. 11A und 11B zeigen grafisch die Blockierungs- und Verschließzustände. Bei einem Druckminderungsregler (Fig. 11A) sollte, wenn der Druck an der Abstromseite einen vorbestimmten Wert über dem Sollwert erreicht, der Steuerdruck das Drosselement veranlassen, sich in eine vollständig geschlossene Position zu bewegen und dadurch den Fluiddurchfluß zu verhindern. Der Blockierungspunkt ist in Fig. 11A mit "a" bezeichnet. Fig. 11B zeigt das Verschließen, welches beim Rückdruckregler das Gegenstück zu Blockierung ist. Der Verschließzustand tritt auf, wenn der Druck an der Aufstromseite auf einen Wert unter dem Sollwert fällt, so daß sich das Drosselement in eine geschlossene Position bewegt, die mit "b" in Fig. 11B bezeichnet ist. Der Blockierungs-/Verschließ-Steuerdruckwert und die Steigung des Segments der Reglerdruckkurve zwischen dem Sollwert und dem Blockierungs- oder Verschließpunkt kann bestimmt und in dem Diagnoseabschnitt des intelligenten Reglers oder in einem externen Computer gespeichert werden. Alternativ kann ein Leckwandler wie etwa ein Audio- oder seismischer Wandler verwendet werden, um den Blockierungs- oder Verschließzustand mit bekannten Durchflußzuständen zu korrelieren. Das Blockierungs-/Verschließverhalten des Reglers wird mit diesen Grundlinienwerten verglichen, um den Reglerbetrieb zu diagnostizieren. Änderungen des Blockierungs-/Verschließverhaltens können beispielsweise Probleme mit inneren Teilen oder eine Hemmung der Bewegung der inneren Teile aufzeigen.

[0066] Erwartete PID-Steuerung: Das Gesamtbetriebsverhalten des Reglers kann erhalten werden durch Betrachten von Steuerdruck, Offset, Durchfluß und/oder Hysteresefehler und Vergleichen dieser Variablen mit dem Verhalten der erwarteten PID-Steuerung. Eine Durchflußrate kann in der elektronischen Steuereinheit errechnet werden unter Nutzung von Parametern des Durchflußkoeffizienten für den Reglerkörper, bezogen auf den Flüssigkeitsdurchfluß, Gasdurchfluß und Dampfdurchfluß des Fluids. Dieser interne Durchfluß wird dann mit der Betätigerbewegung und einem Reglerkörper-Korrekturfaktor verglichen, um den Reglerhauptdurchfluß zu berechnen. Diese Berechnungen können in dem Prozessor des elektronischen Reglers durchgeführt werden, oder die Information kann über den Kommunikationsabschnitt an einen Hauptrechnerr für die Berechnung übermittelt werden.

[0067] Selbsttätige Abstimmung: Die obigen Fakto-

ren können auch zur Entwicklung von P-, I- und D-Abstimmungskonstanten genutzt werden. Eine schrittweise Änderung wird dem Sollwert über die elektronische Steuerung zugeführt, und dann wird die ausgegebene Antwort gemessen, um eine Diagnose der Systemdynamik durchzuführen.

[0068] Wanderung: Die Betätigerwanderung ist ein wichtiger Faktor für die Diagnose. Unter anderem wird die Betätigerwanderung genutzt, um die Drosselement-belastung und -position zu berechnen. Ein Beispiel der Nutzung der Wanderung für Diagnosezwecke ist die Berechnung und der Vergleich der Kräfte auf gegenüberliegenden Seiten der Membran. Der Diagnoseabschnitt des Prozessors kann die von der Reglerlastfeder auf die Referenzseite der Membran aufgebrauchte Kraft berechnen:

$$(R_1 + I_s) * K_1$$

mit T_1 = Betätigerwanderung, I_s = anfängliche Feder-einstellung gemäß der Einstellung durch die Einstellschraube, und K_1 = die Federkonstante. Dies wird verglichen mit der Kraft, die auf die Steuerseite der Membran aufgebracht wird:

$$P_c * A$$

mit P_c = Steuerdruck und A = Membranfläche. Bei einem vorgesteuerten Regler kann die Wanderung des Vorsteuerbetätigers auch auf ähnliche Weise für die Diagnose genutzt werden. Bei Reglern, die einen Elektromotor zum Einstellen des Drosselements verwenden, können ferner die Motorspannung und der Motorstrom im Hinblick auf die Wanderung für Diagnosezwecke betrachtet werden. Diese Vergleiche sowie Anzeichen für Einlaß- und Steuerdruck, Einlaßempfindlichkeit, Hysteresefehler und Durchfluß werden genutzt, um Diagnoseinformation in Bezug auf den guten Zustand und das Betriebsverhalten zu gewinnen.

[0069] Flashing und Kavitation: Diese sind Erscheinungen, die in Flüssigkeitsströmungen angetroffen werden und die Lärm und Vibrationen in den Regler einführen und eventuell seine Lebensdauer verkürzen können. Flashing und Kavitation stehen mit der Ausbildung von Dampfblasen in dem Fluid in Verbindung. Wenn das Fluid durch den Drosselbereich strömt, erhöht sich die Geschwindigkeit und der Druck nimmt ab, was zur Bildung der Dampfblasen führt. Wenn das Fluid den Drosselbereich durchströmt hat, verlangsamt sich der Fluiddurchfluß, und der Druck stellt sich wieder ein, so daß die Dampfblasen heftig zusammenfallen. Es können entweder Ton- oder Vibrationssensoren verwendet werden, um das Vorhandensein von Kavitation oder Flashing direkt zu erfassen, indem die erfaßten Lärm-/Vibrationscharakteristiken mit Grundliniencharakteristiken verglichen werden, oder eine alternative Prozessvariable ΔP_A kann wie folgt errechnet werden:

$$\Delta P_A = K_c(P_1 - r_c P_v)$$

mit K_c = ein Kavitations- oder Flashing-Index, P_1 = Einlaßdruck, r_c = kritische Druckverhältniskonstante und P_v = Dampfdruck. Dieser Wert wird mit den Eingangskonstanten des Fluidstromdampfdrucks verglichen, wodurch das Vorhandensein von Flashing oder Kavitation indirekt ermittelt und ein Alarm gesendet werden kann.

[0070] Mit den neuen Diagnosemöglichkeiten, die dem Regler hinzugefügt sind, kann nunmehr eine Online-Diagnose in den verschiedenen oben beschriebenen Kategorien und in anderen Bereichen durchgeführt werden. Ein elektronischer "Buckel" – eine plötzliche stufenförmige Änderung des Sollwerts – kann in das System eingeführt werden. Das bewirkt eine Störung der Prozeßsteuerschleife, die der intelligente Regler zu korrigieren versucht. Während der Regler auf den elektronischen Buckel reagiert, wird das Betriebsverhalten des Reglers in Bezug auf die verschiedenen oben beschriebenen Faktoren (und andere Faktoren) gemessen und von dem Diagnoseabschnitt der elektronischen Steuereinheit mit der Signatur des Reglers verglichen. Das ergibt eine Basis für die Durchführung einer Online-Diagnose, ohne dabei den Prozeß signifikant zu stören oder zu unterbrechen.

[0071] Sollwert-, Konfigurations-, Diagnose- und andere Informationen von dem beispielhaften intelligenten Regler können mit externen Systemen und Einrichtungen durch verschiedene Kommunikationsmittel ausgetauscht werden. Das eröffnet die Möglichkeit der Fernsteuerung des Reglers, was ein wichtiges Merkmal ist, das bei bekannten mechanischen Druckreglern nicht vorhanden ist. Ein Bediener kann Befehle an den Regler senden, um Betriebsparameter und Berichtsparameter zu ändern. Außerdem kann Diagnoseinformation an ein externes System zur Verarbeitung gesendet werden, anstatt daß diese Daten innerhalb des Reglers verarbeitet werden. Die Fähigkeit des beispielhaften intelligenten Reglers zur Nachrichtenübertragung ist besonders in entfernten und gefährlichen Umgebungen nützlich, wo Wartung und Eingriffe in den Betrieb schwierig sind.

[0072] Mit dem intelligenten Regler der vorliegenden Erfindung können verschiedene Kommunikationsmedien verwendet werden, etwa ein einzelnes verdrehtes Aderpaar nur für die Datenübertragung, Funk-, Modem-, Lichtwellenleiter-, Koaxial- und mehrere andere Kommunikationstechnologien. Die Nachrichtenübermittlungsfähigkeiten der beispielhaften Ausführungsform der Erfindung erlauben auch den Austausch von Konfigurations- und Steuerungsinformationen mit anderen Prozeßinstrumenten oder mit einem externen Steuersystem oder Hauptrechnern.

[0073] **Fig. 12** zeigt ein Zweidraht-Kommunikationssystem, das mit einer Ausführungsform des intelligenten Reglers der vorliegenden Erfindung unter Nutzung des digitalen Feldbus-Kommunikationsprotokolls implementiert werden könnte, wobei Digital-

daten mit Energie für die elektronische Steuerung des intelligenten Reglers auf dem einzigen verdrehten Aderpaar kombiniert werden. Das von der Steuerwarte **54** gesendete Signal wird durch ein Tiefpaßfilter **55** geleitet, um die Systemenergie von den Daten zu trennen. Die Energie kann dann durch Energieaufbereitungsschaltungen **56** geleitet und einem intelligenten Regler gemäß der vorliegenden Erfindung und anderen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden. Das empfangene Feldbus-Signal wird durch Hochpaßfilter **57** geschickt, um die Kommunikationsdaten von der Systemenergie zu trennen, und wird dann weiter zu dem Kommunikationsabschnitt **51** der elektronischen Steuerung geleitet. Zum Hauptsystem zurückübertragene Information wird durch einen Modulator **58** geleitet, um die Daten mit dem Systemenergiesignal zu kombinieren.

[0074] **Fig. 13** zeigt ein alternatives Kommunikationsschema, das mit einer Ausführungsform der Erfindung unter Anwendung des HART-Protokolls implementiert werden könnte, wobei die digitalen Kommunikationsdaten einem 4-20-mA-Analogsignal überlagert werden. Das Signal von der Steuerwarte **54** wird durch Impedanz- und Filterkreise **59** geleitet. Das 4-20-mA-Signal wird dann aufbereitet, um dem intelligenten Regler und anderen Geräten die geeignete Energie zuzuführen. Das empfangene Signal wird durch ein Filter **57** geleitet, um die Kommunikationsdaten von dem 4-20-mA-HART-Signal zu trennen, das zum Kommunikationsabschnitt **51** der elektronischen Steuerung weitergeleitet wird. Sendedaten werden durch einen Modulator **58** geleitet, um die Daten mit dem 4-20-mA-Signal zu kombinieren.

[0075] **Fig. 14** zeigt ein Beispiel eines Kommunikationssystems unter Verwendung von dualen verdrehten Adern. Energie wird in der Schaltung **56** aufbereitet und dem intelligenten Regler und anderen Geräten an einem der Zweidrahtpaare zugeführt. Daten werden über das andere Zweidrahtpaar von der Steuerwarte **54** durch Sende-/Empfangsschaltungen **60** zu dem Kommunikationsabschnitt **51** der elektronischen Steuerung geleitet.

[0076] In **Fig. 15** ist eine beispielhafte Kommunikationsanordnung gezeigt, die Funkübertragung nutzt. Ein Funksignal, das Daten enthält, wird von der Steuerwarte zu einem Funkgerät **61** gesendet, das dem intelligenten Regler zugeordnet ist. Das Signal wird durch eine Energiesteuereinrichtung **62** (wenn das Funkgerät des Reglers nicht mit einer Datensende-Bereitschaftssteuerung ausgestattet ist) und geeignete Datenübertragungshardware **63** geleitet, und dann wird die Information dem Kommunikationsabschnitt **51** des Reglers zugeführt. Gleichermaßen zeigt **Fig. 16** eine Konfiguration für die Kommunikation zwischen einer Steuerwarte **54** und einem intelligenten Regler gemäß der Erfindung unter Verwendung eines Modems oder eines Lichtwellenleiters. Andere Kommunikationsmedien können ebenfalls mit einer in **Fig. 16** gezeigten Konfiguration verwendet werden. Daten werden von der Steuerwarte **54** zu

einem geeigneten Transceiver **64** übermittelt, der die Daten verarbeitet und sie durch Kommunikationshardware **63** dem Kommunikationsabschnitt **51** der elektronischen Steuereinheit zuführt.

Patentansprüche

1. Druckregler zum Steuern des Drucks eines Prozeßfluids, der folgendes aufweist: einen Körper, der einen Fluideinlaß, einen Fluidauslaß und einen Fluiddurchflußkanal zwischen dem Einlaß und dem Auslaß definiert; eine Drosselement, das innerhalb des Durchflußkanals bewegbar ist; einen Betätigen, der mit dem Drosselement verbunden ist, um das Drosselement selektiv zu bewegen, um den Fluiddurchfluß durch den Durchflußkanal zu steuern, wobei der Betätigen eine Referenzseite und eine Steuerseite hat; eine Federlast, die mit dem Betätigen verbunden ist, um das Drosselement in einer vorbestimmten Referenzposition vorzuspannen; eine Rückführung zum Zuführen des Prozeßfluids zu der Steuerseite des Betätigers, um das Drosselement zu positionieren, wobei der Betätigen und die Rückführung so ausgebildet sind, daß sie das Drosselement so positionieren, daß der Fluiddurchfluß durch den Durchflußkanal in Abhängigkeit von einem vorbestimmten Druck des Prozeßfluids an der Abstromseite oder Aufstromseite des Reglers blockiert wird; und eine elektronische Steuereinheit, die auf die Referenzseite des Betätigers einen Einstelldruck aufbringt, um das Drosselement in Abhängigkeit von einer Prozeßvariablen weiter zu positionieren.
2. Druckregler nach Anspruch 1, wobei der Betätigen eine Membran aufweist.
3. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die elektronische Steuereinheit ferner eine Speicherstruktur aufweist, wobei die Steuereinheit so ausgebildet ist, daß sie Digitaldaten, die den Betrieb des Druckreglers in der Speicherstruktur betreffen, speichert, und wobei die Steuereinheit eine Kommunikationsschaltung zum Übermitteln von mindestens einigen der gespeicherten Digitaldaten an Einrichtungen außerhalb der elektronischen Steuereinheit aufweist.
4. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die elektronische Steuereinheit eine Kommunikationsschaltung und einen Speicher aufweist, und wobei die Steuereinheit so ausgebildet ist, daß sie durch die Kommunikationsschaltung ein elektrisches Signal empfängt, das einen gewünschten Druck des Prozeßfluids darstellt, und eine digitale Darstellung dieses elektrischen Signals in dem Speicher speichert.
5. Druckregler nach Anspruch 1, der ferner eine Energiequelle zum Zuführen von elektrischer Energie zu der elektronischen Steuereinheit aufweist.
6. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die elektronische Steuereinheit eine PID-Steuereinheit ist.
7. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die Referenzlast einstellbar ist.
8. Druckregler nach Anspruch 1, die ferner einen Gleitschaft aufweist, der den Betätigen mit dem Drosselement verbindet.
9. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Prozeßvariable den Druck des Prozeßfluids an der Abstromseite des Reglers aufweist.
10. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Prozeßvariable den Druck des Prozeßfluids an der Aufstromseite des Reglers aufweist.
11. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Prozeßvariable die Prozeßtemperatur aufweist.
12. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Prozeßvariable die Prozeßdurchflußrate aufweist.
13. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Prozeßvariable den pH-Wert des Prozesses aufweist.
14. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine Prozeßvariable den Belastungsdruck des Betätigers aufweist.
15. Druckregler nach Anspruch 8, wobei die mindestens eine Prozeßvariable die Ventilschaftbewegung aufweist.
16. Druckregler nach Anspruch 1, der ferner eine Kommunikationsschaltung aufweist, um externen Kommunikationseinrichtungen ein Kommunikationssignal zuzuführen.
17. Druckregler nach Anspruch 1, wobei die Steuereinheit folgendes aufweist: mindestens einen Sensor, der ein Signal liefert, das den Wert von mindestens einer Prozeßvariablen darstellt; einen Prozessor, der das Variablensignal empfängt und ein Signal ausgibt, das eine Einstellung des Drosselements als Reaktion auf die Differenz zwischen dem erfaßten Wert und einem Sollwert darstellt; und eine Einstelleinrichtung, die in Abhängigkeit von dem von dem Prozessor ausgegebenen Signal eine Kraft auf den Betätigen aufbringt.
18. Druckregler nach Anspruch 17, wobei die

Einstelleinrichtung eine Luftversorgung und einen Strom-/Druckwandler aufweist, der dem Betätigten einen pneumatischen Ausgangsdruck zuführt.

19. Druckregler nach Anspruch 17, wobei die Einstelleinrichtung einen Motor aufweist.

20. Druckregler nach Anspruch 5, wobei die Energiequelle einen Sonnenkollektor und ein von dem Sonnenkollektor aktiviertes Batteriesystem aufweist.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

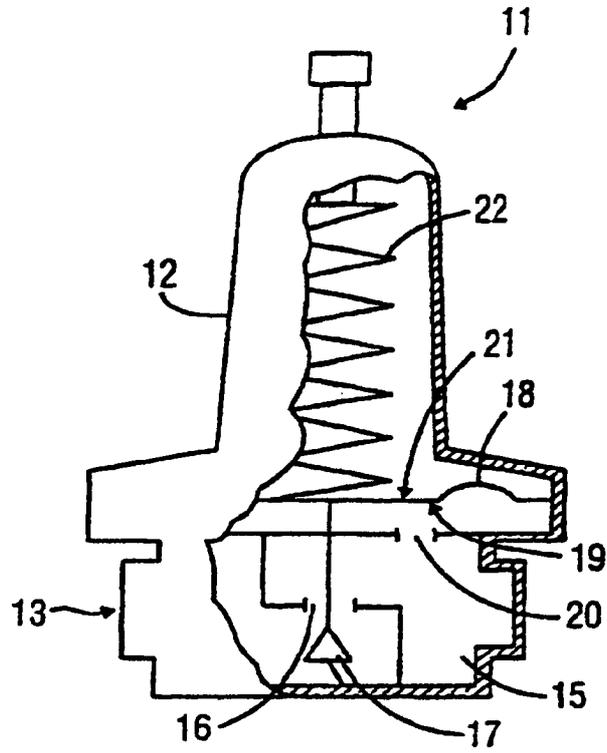


FIG. 1
(Stand der Technik)

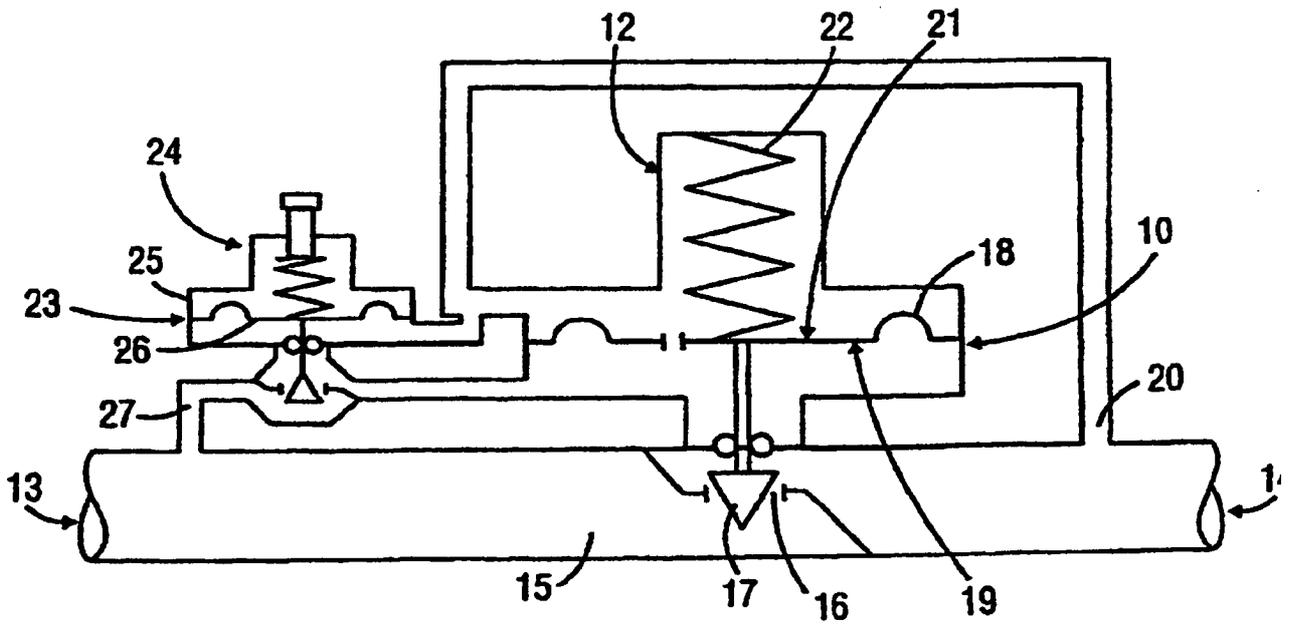


FIG. 2A
(Stand der Technik)

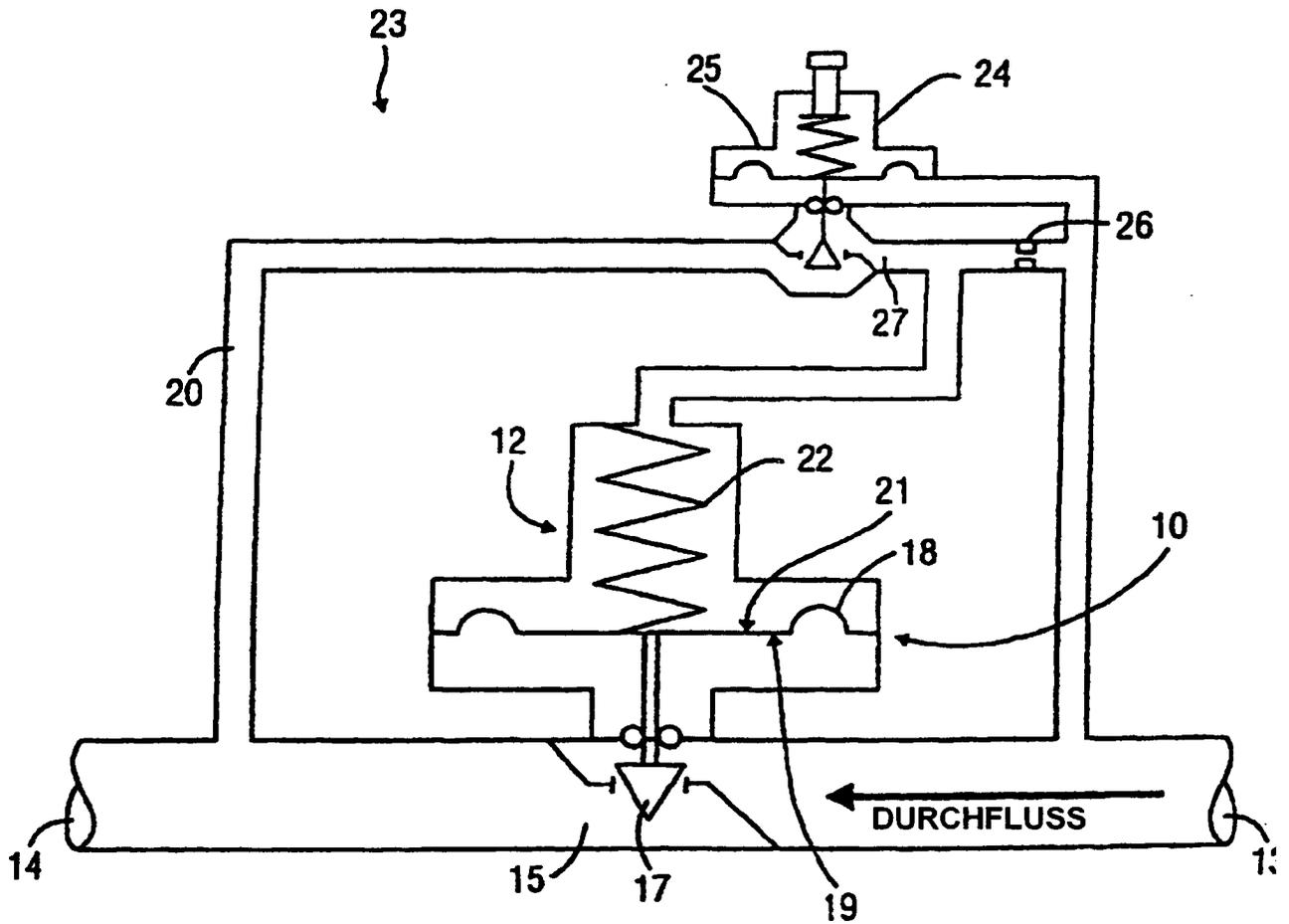


FIG. 2B
(Stand der Technik)

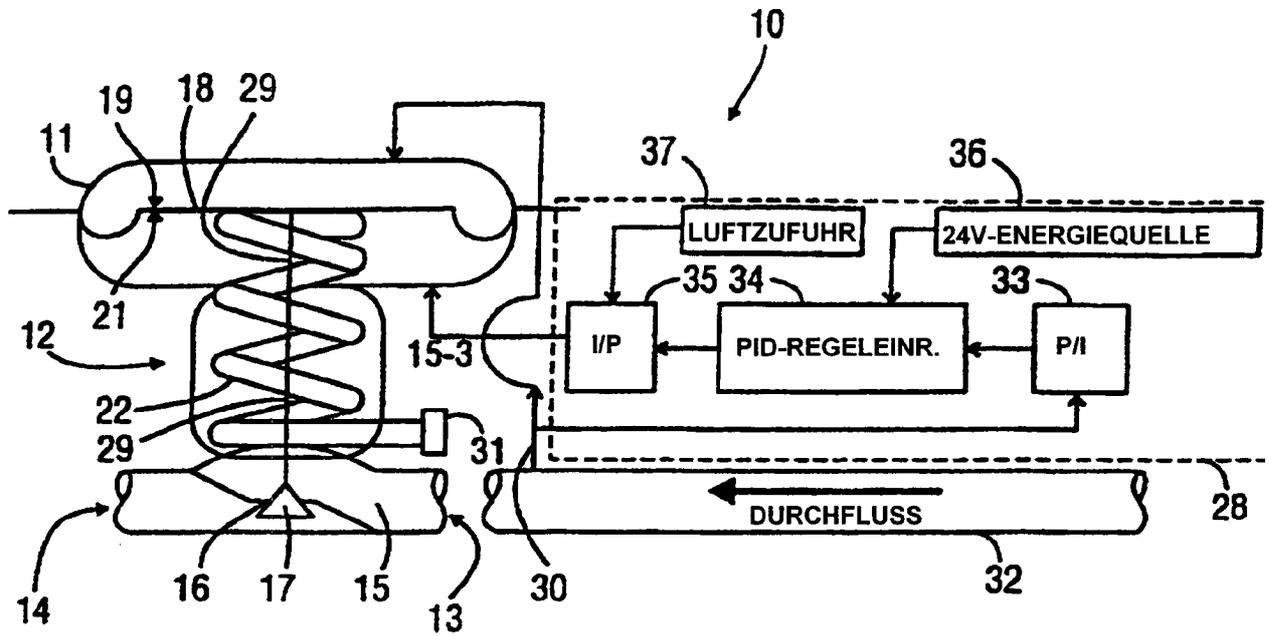


FIG. 3

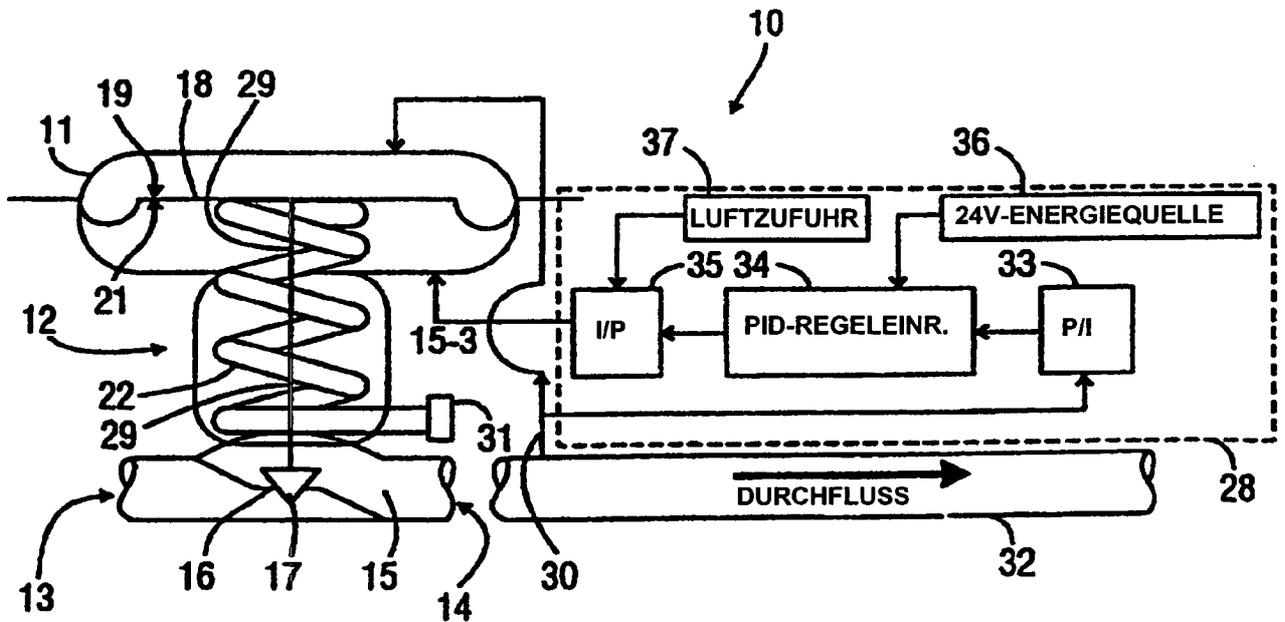


FIG. 4

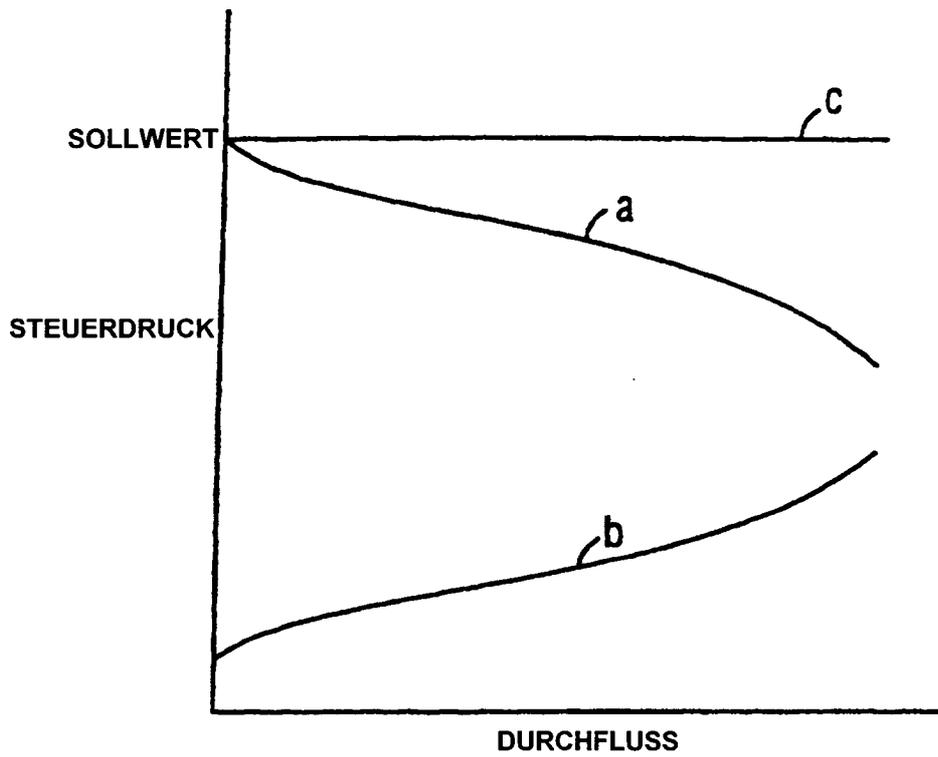


FIG. 5A

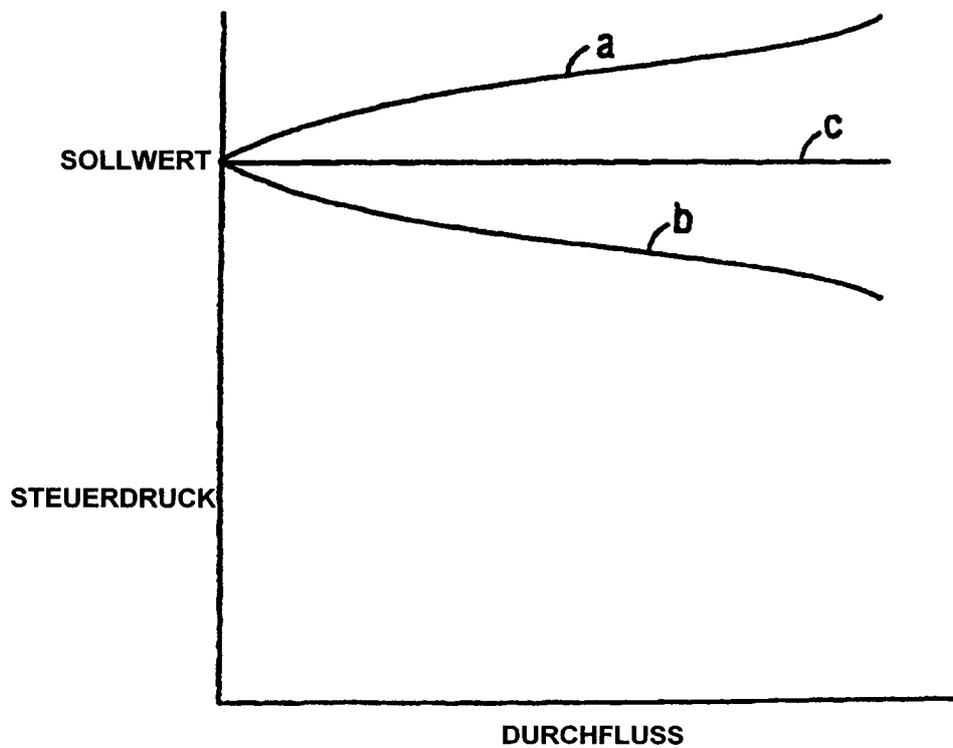


FIG. 5B

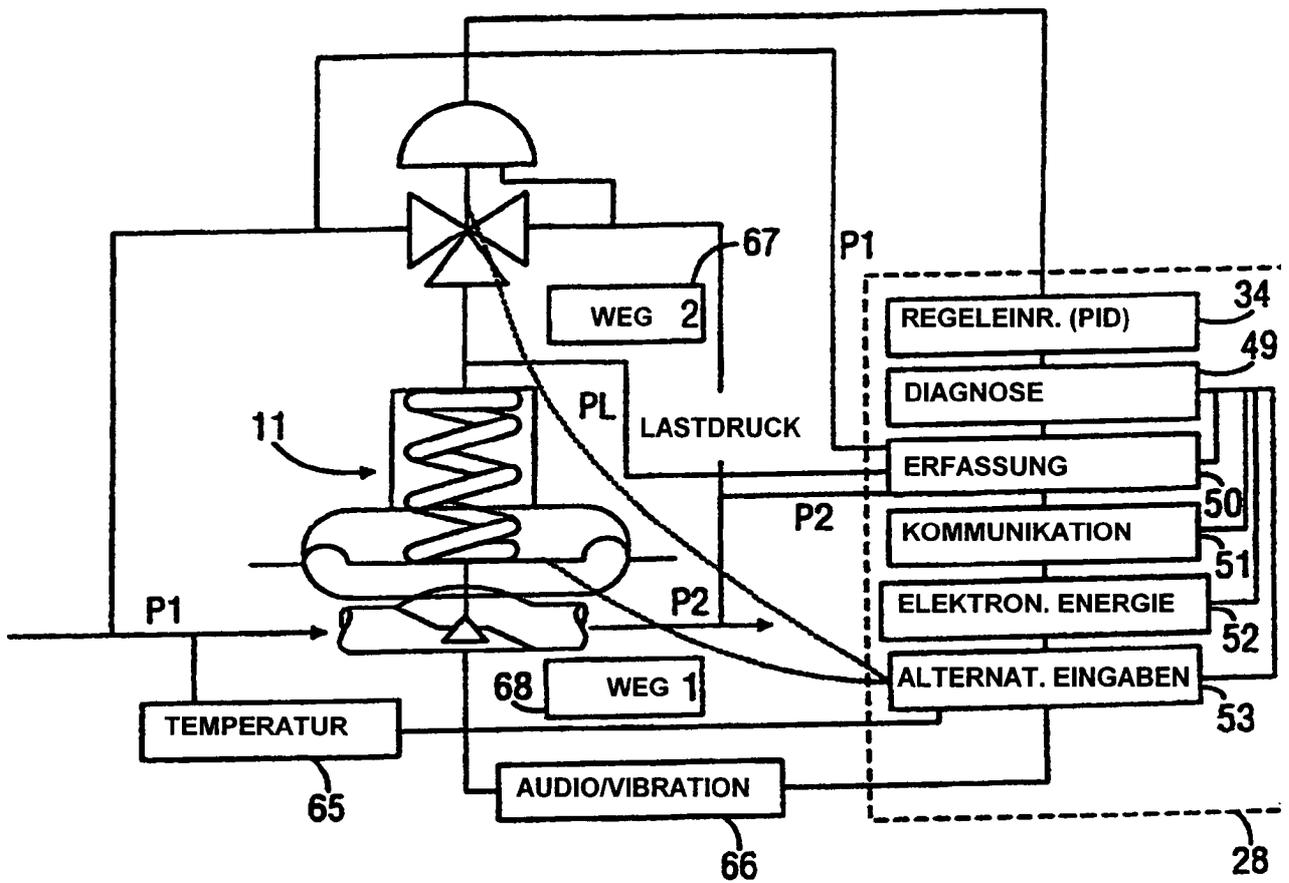


FIG. 7

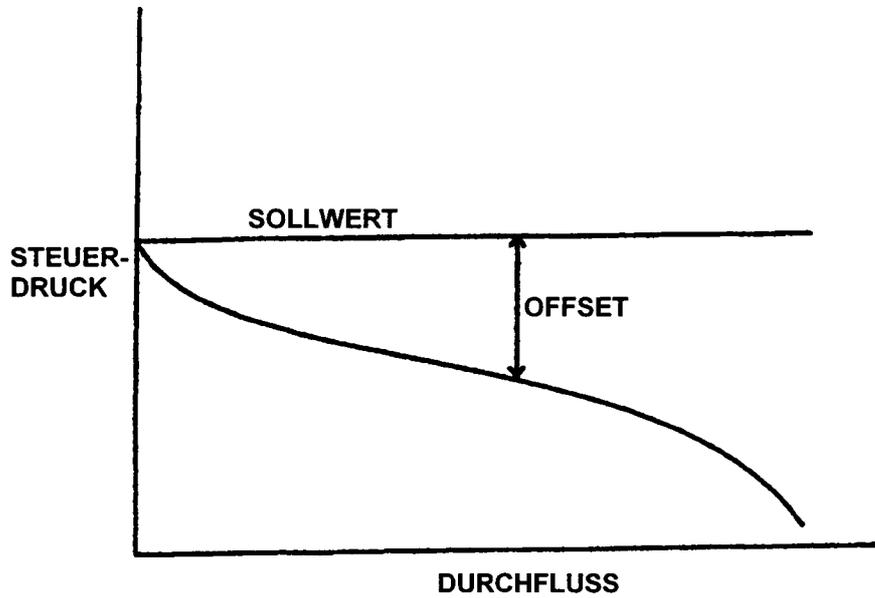


FIG. 8A

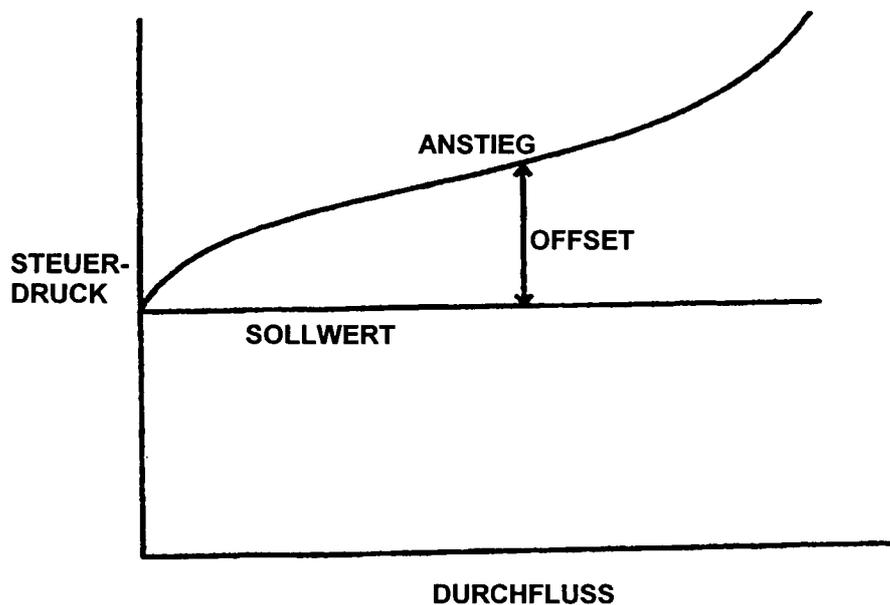


FIG. 8B

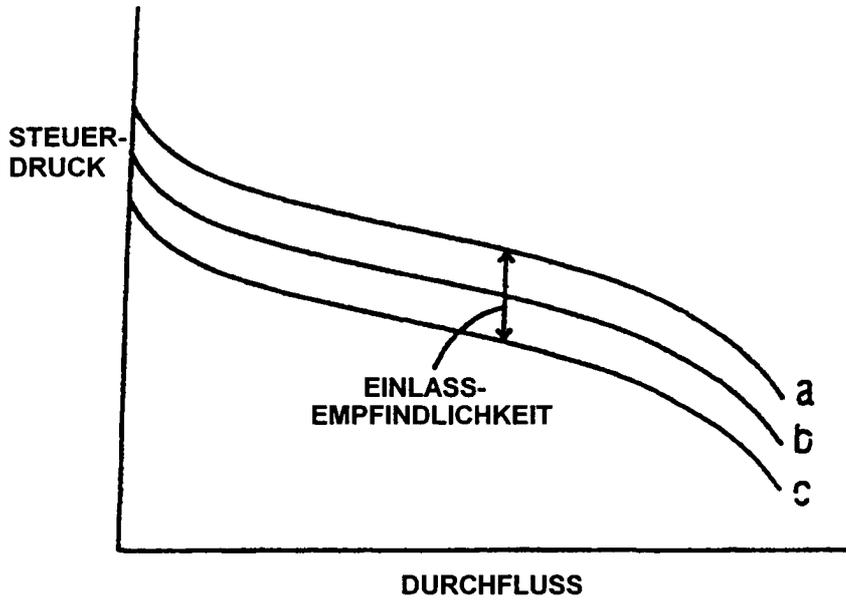


FIG. 9A

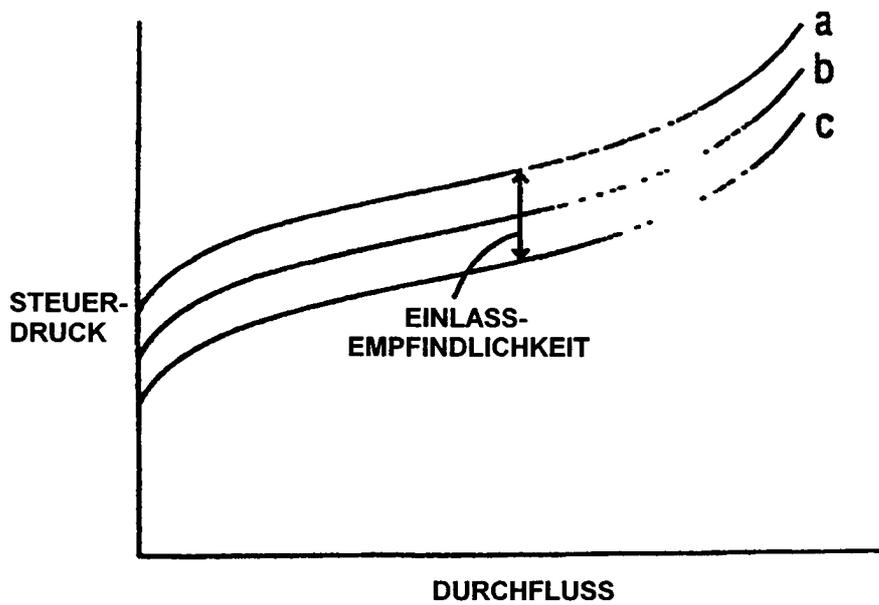


FIG. 9B

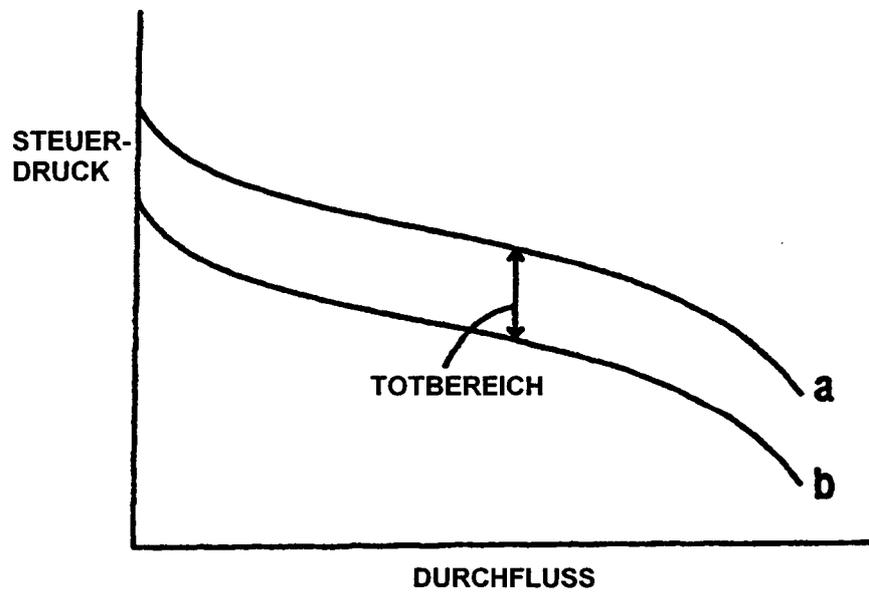


FIG. 10

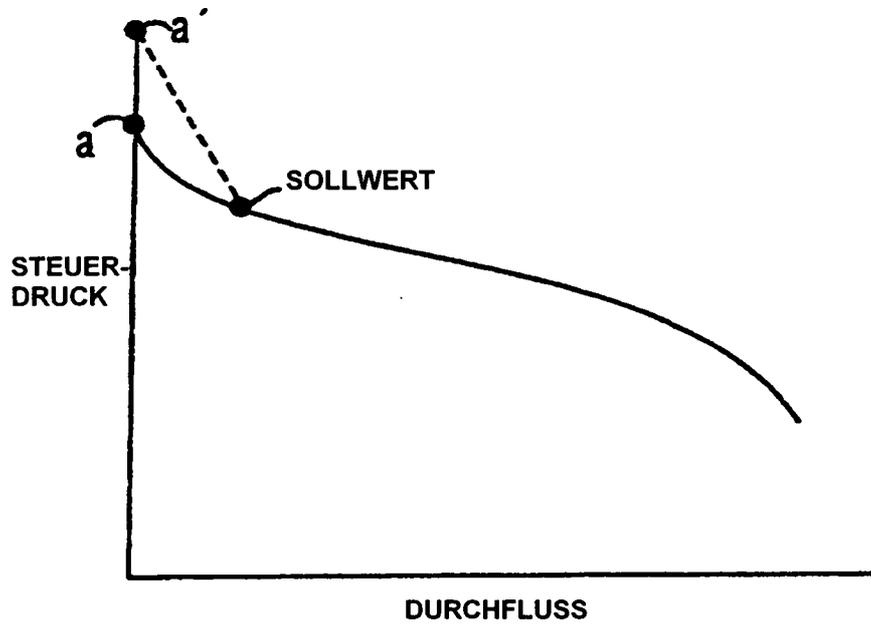


FIG. 11A

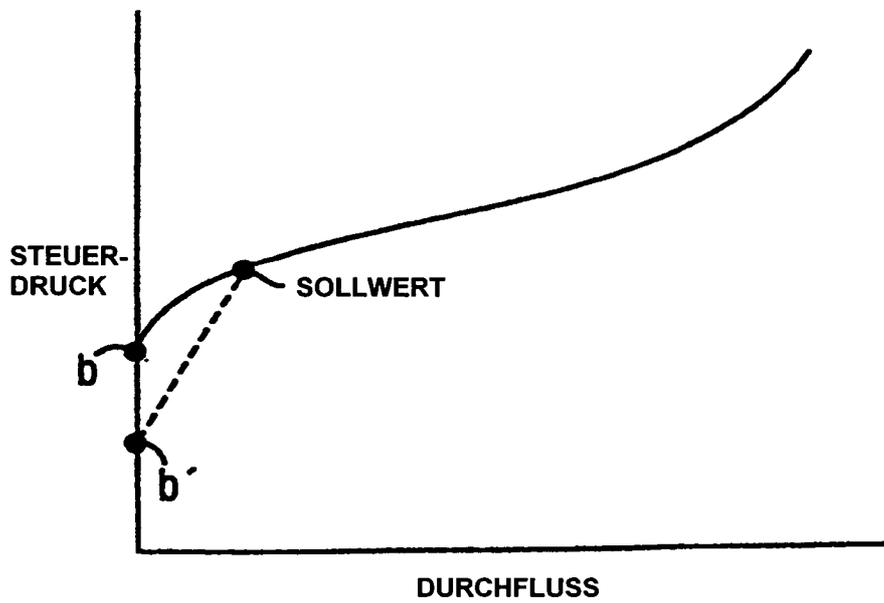


FIG. 11B

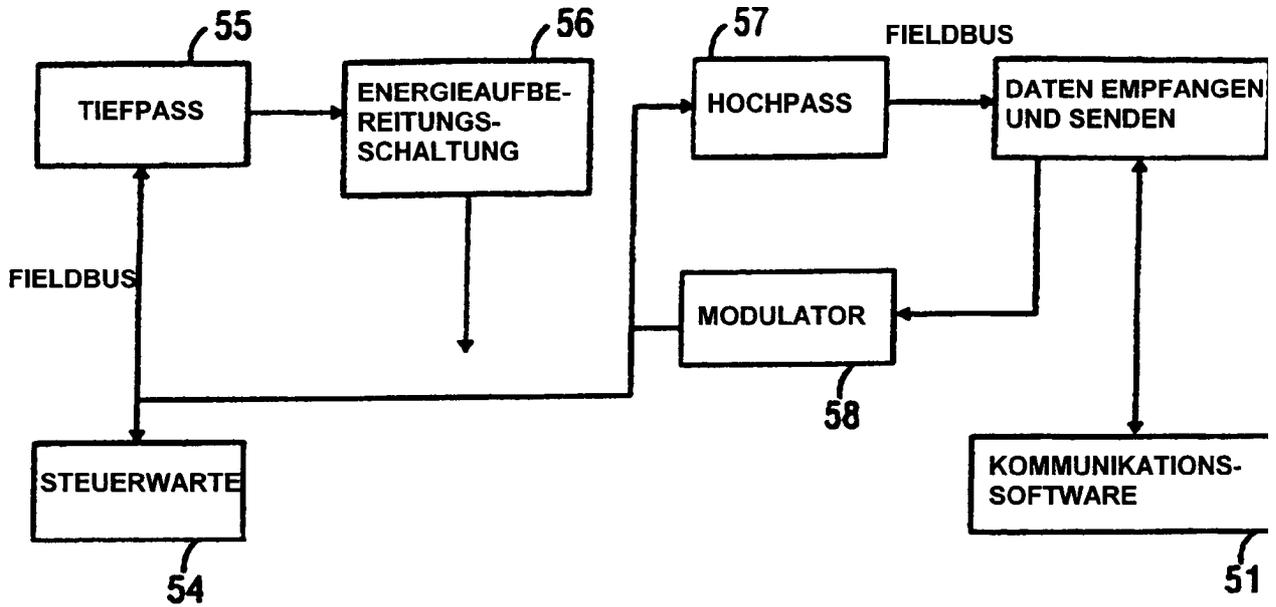


FIG. 12

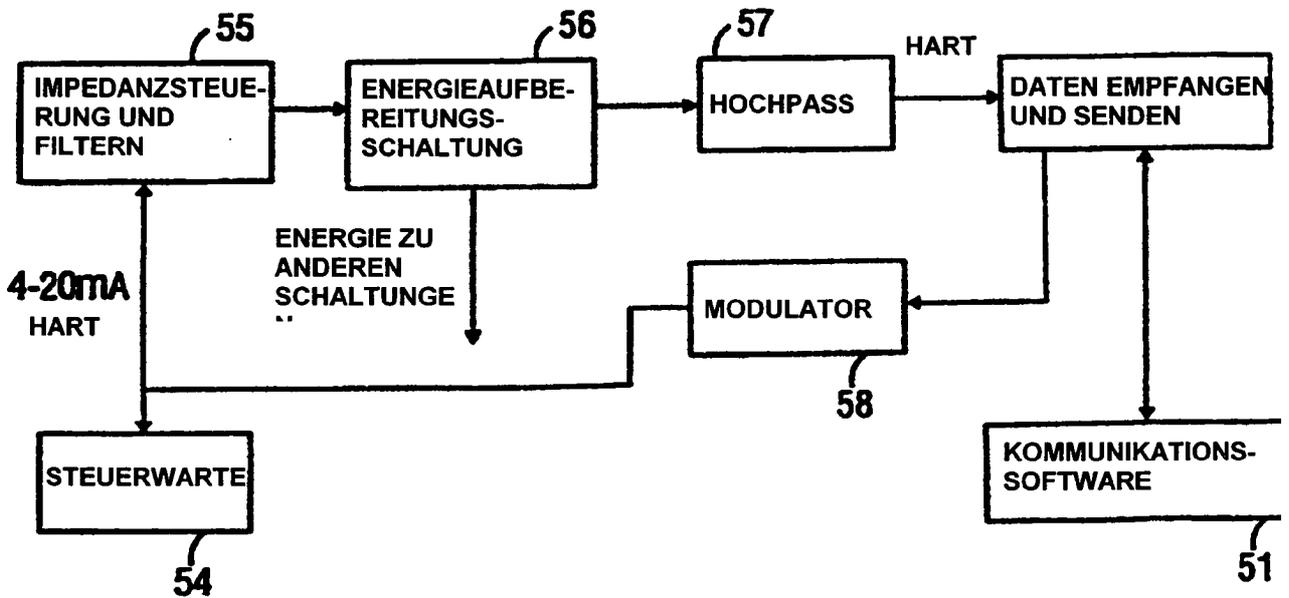


FIG. 13

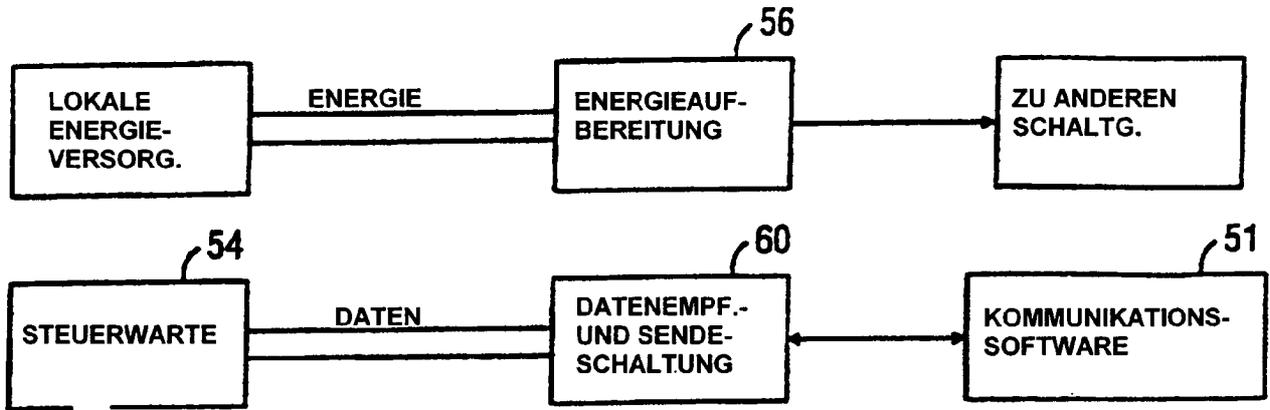


FIG. 14

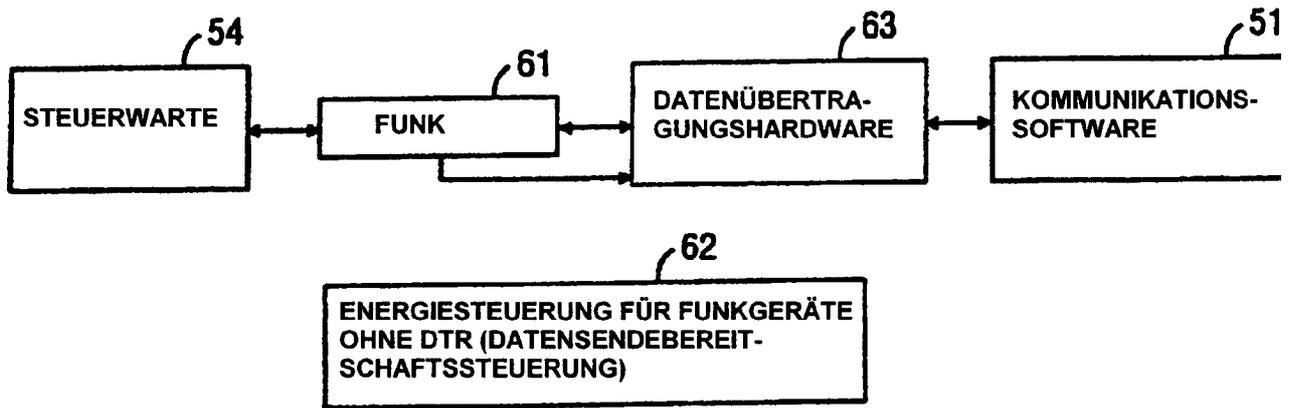


FIG. 15

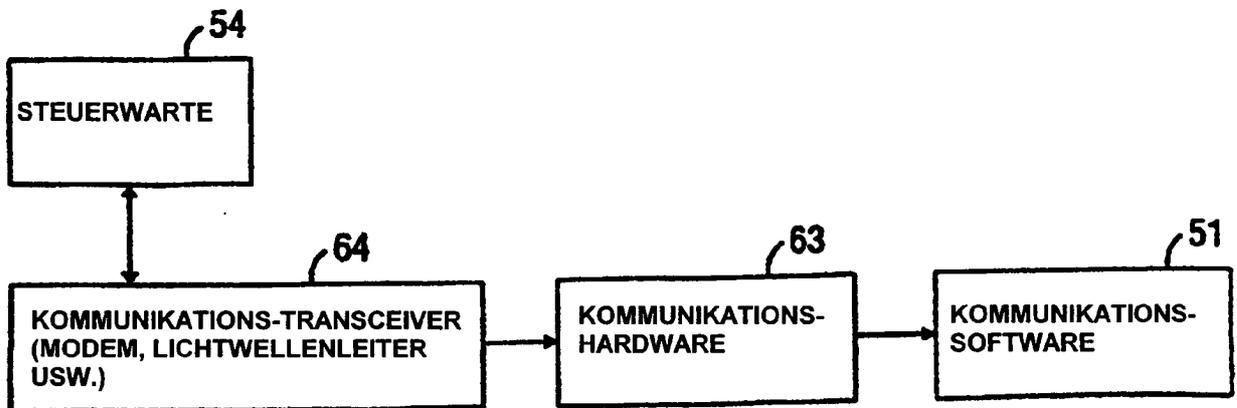


FIG. 16