



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Übersetzung der
europäischen Patentschrift**

51 Int. Cl.⁶:
G 05 B 15/00

87 EP 0 495 001 B 1

10 **DE 690 32 954 T 2**

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 690 32 954.7
- 86 PCT-Aktenzeichen: PCT/US90/05584
- 86 Europäisches Aktenzeichen: 90 916 636.5
- 87 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 91/05293
- 86 PCT-Anmeldetag: 1. 10. 90
- 87 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 18. 4. 91
- 87 Erstveröffentlichung durch das EPA: 22. 7. 92
- 87 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 17. 2. 99
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 26. 8. 99

DE 690 32 954 T 2

30 Unionspriorität:

416180 02. 10. 89 US

73 Patentinhaber:

Rosemount Inc., Eden Prairie, Minn., US

74 Vertreter:

Patentanwälte Splanemann Reitzner Baronetzky,
80331 München

84 Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, NL

72 Erfinder:

WARRIOR, Jogesh, Chanhassen, MN 55317, US;
JACOBSON, Vincent, C., Minnetonka, MN 55343,
US; ORTH, Kelly, M., Apple Valley, MN 55124, US;
TIELENS, Craig, R., Minneapolis, MN 55419, US

54 IN EINER ARBEITSUMGEBUNG MONTIERTE STEUEREINHEIT

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.

DE 690 32 954 T 2

0495001

190499

- 1 -

1. GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuereinheit, die über eine Zweidraht-Schaltung kommuniziert und einen Ausgang bereitstellt, der eine Prozeßvariable wiedergibt, die von einem Prozeß erzeugt wird.

2. HINTERGRUND DER ERFINDUNG

10 Meßumformer messen Prozeßvariablen, die für einen Prozeß repräsentativ sind, der von entfernten Vorrichtungen gesteuert wird, und übertragen Meßumformer-Ausgänge bzw. -Ausgangssignale, die die Prozeßvariablen wiedergeben, zu Controllern über Zweidraht-Schaltungen. Die Meßumformer sind typischerweise in einem Einsatzgebiet montiert, wo Strom- und Spannungswerte begrenzt sind, um eine eingebaute Sicherheit bereitzustellen. Der Meßumformer-Ausgang ist durch vom Benutzer definierbare Parameter, wie zum Beispiel Bereichseinstellung, Nulleinstellung und Dämpfung skaliert. Bereichs- und Nulleinstellungen ermöglichen es dem Benutzer, die Meßbereichs-Extremwerte des Meßumformers auf spezielle Meßumformer-Ausgangswerte zu beziehen, wodurch der Bereich der gewünschten Ausgänge gesetzt wird. Die Dämpfung beeinflusst die Antwortzeit des Meßumformers auf Änderungen der Prozeßvariablen. Der skalierte Meßumformer-Ausgang wird über die Zweidraht-Schaltung an den Controller gesendet.

Controller, die typischerweise in einem Steuerraum angeordnet sind, verknüpfen den Meßumformer-Ausgang mit Signalen, die andere Prozeßvariablen wiedergeben, um Befehlsausgangssignale zu erzeugen. Befehlsausgangssignale werden typischerweise über ein separates Paar von Drähten zu entfernten Vorrichtungen, zum Beispiel einem Ventil, gesendet, die den Prozeß gemäß dem Befehlsausgang steuern. In bestimmten Anwendungen wählen Controller den geeignetsten Befehlssatz

für die Prozeßsteuerung aus mehreren Befehlssätzen in Abhängigkeit von dem Prozeß, der gesteuert werden soll, und der erforderlichen Genauigkeit aus.

5 In anderen Anwendungen erfassen Controller mehrere Meßumformer-Ausgänge, die Prozeßvariablen wiedergeben, um den Befehlsausgang für die entfernte Vorrichtung festzulegen. Typischerweise umfaßt ein eigener Meßumformer jede Prozeßvariable. Die Meßumformer senden ein Signal, das für die
10 erfaßte Prozeßvariable repräsentativ ist, zu dem Controller über eine Zweidraht-Schaltung und der Controller bestimmt den Befehlsausgang und steuert die entfernte Vorrichtung, zum Beispiel eine Ventilstellung, eine Pumpengeschwindigkeit, die Thermostateinstellung usw..

15 Eine Einschränkung der Anordnung des Stands der Technik besteht darin, daß der Meßumformer, die entfernte Vorrichtung, der Controller und die Komponenten in einer Rückkopplerschleife alle für die Steuerung des Prozesses kontinuierlich arbeiten müssen. Eine weitere Beschränkung besteht
20 in der Menge der Zwischenverbindungsverkabelung, die die Rückkopplerschleife-Komponenten verbindet. Der Controller ist typischerweise weit von dem Prozeß weg in einem Steuer-
raum, während die entfernte Vorrichtung und der Meßumformer für gewöhnlich am Einsatzort sind und räumlich nahe zueinander und zum Prozeß sind. Die Installations- und Wartungs-
25 Komplexität ist eine weitere Beschränkung, da es für jedes Kabel erforderlich sein kann, daß die Installation bzw. Einrichtung einer Schwellenvorrichtung für eingebaute Sicherheit an der Schnittstelle zwischen dem Steuerraum und
30 den Einsatzort-Vorrichtungen vorgesehen wird. In Fällen, wo mehrere Prozeßvariablen von dem Controller verwendet werden, ist eine Verkabelung zwischen jedem Meßumformer und dem Controller erforderlich. Die Rückkopplerschleife-
35 Zuverlässigkeit ist eine vierte Begrenzung, da ein Ausfall

einer oder mehrerer Zwischenverbindungen bzw. Verbindungen die Prozeßsteuerung nachteilig beeinflusst.

Die JP-A-63/1988-41904 offenbart eine Zweidraht-Einsatzort-Vorrichtung, die einen Sensor zum Erfassen einer bestimmten physikalischen Quantität enthält, die verwendet wird, um einen Regler zu steuern.

ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

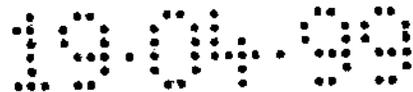
10

Um diese Einschränkungen zu vermindern, erzeugt ein Prozeßvariable-Meßumformer (oder eine Steuereinheit) einen Steuerausgang direkt, wodurch der Controller selbst überbrückt wird. Ausgänge, die für andere Prozeßvariablen repräsentativ sind, werden zu dem Meßumformer (oder der Steuereinheit) übertragen, aber nicht zum Controller. Der Meßumformer kommuniziert mit dem Controller über eine gemeinsame Zweidraht-Verbindung, die eine einzelne Schleife mit dem Controller, der Steuereinheit und einer äußeren Steuervorrichtung bildet, die alle in Serie verbunden sind. Die Prozeßsteuerung-Zuverlässigkeit und -Antwortzeit wird verbessert und die Steuerung wird mit weniger Kommunikationsaustausch realisiert, während die Installationskomplexität, die Wartungskomplexität und die Kosten abnehmen.

25

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Zweidraht-Steuereinheit zur Anbringung am Einsatzort bereitgestellt, die aufweist:

- ein Gehäuse;
 - 30 eine Erfassungsvorrichtung in dem Gehäuse, die eine Einrichtung zum Erfassen einer Prozeßvariablen und zum Erzeugen eines Prozeßvariablensignals hat, das für die Prozeßvariable repräsentativ ist;
 - eine Eingangseinrichtung in dem Gehäuse zum Koppeln mit einer Gleichstrom-Zweidraht-Prozeßsteuerschleife zum Empfan-
- 35



- gen von Energie von der Zweidraht-Prozeßsteuerschleife, wobei die Eingangseinrichtung eine Einrichtung zum Empfangen von zumindest einem Prozeßsignal über die Zweidraht-Prozeßsteuerschleife und zum Speichern dieses Prozeßsignals
- 5 aufweist; und
- eine Steuereinrichtung in dem Gehäuse, die mit der Erfassungsvorrichtung und der Eingangseinrichtung zum Bereitstellen eines Befehlsausgangs für eine äußere Steuervorrichtung gekoppelt ist, die einen Prozeß steuert, dadurch
- 10 gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung auch den Befehlsausgang speichert, wobei der Befehlsausgang eine Funktion des gespeicherten Prozeßsignales, des Prozeßvariablen-signals und eines zuvor gespeicherten Wertes des Befehlsausgangs ist; und
- 15 daß die Steuereinheit dafür ausgelegt ist, ein digitales Ausgangssignal in einem Träger modulierten Format zu erzeugen, das dem Befehlsausgang überlagert ist.

- Die Prozeßsignale, die von der Zweidraht-Schaltung aus empfangen werden, können den Betrieb der Steuereinrichtung
- 20 beim Erzeugen eines Befehlsausgangs bestimmen. In Alternative weisen die Prozeßsignale eine Prozeßvariable auf, die an die Steuereinheit über die Zweidraht-Schaltung berichtet wird, oder einen Befehlssatz, der über die Zweidraht-
- 25 Schaltung zum Bestimmen des Befehlsausgangs gesendet wird. Wenn die Prozeßsignale einen Sollwert aufweisen, der für einen gewünschten Zustand des Prozesses repräsentativ ist, kann der Steuerabschnitt den Befehlsausgang als eine Funktion der Differenz zwischen dem Sollwert und der Prozeßvariablen erzeugen. Wenn es für den zu steuernden Prozeß
- 30 geeignet ist, verwendet der steuernde Abschnitt eine Gleichung, die eine lineare Kombination aus der Prozeßvariablen und dem Zeitintegral der Prozeßvariablen enthält, um den Befehlsausgang zu bestimmen. Wenn es die Anwendung erfordert, enthält die Gleichung zum Bestimmen des Befehlsaus-
- 35

gangs die zeitliche Änderungsgeschwindigkeit der Prozeßvariablen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

5

FIG. 1 zeigt ein Diagramm eines Teils eines Prozeßsteuersystems, das eine Steuereinheit, eine überwachende Haupteinheit und einen Hauptcontroller hat; und

10 FIG. 2 zeigt ein Blockdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform einer Steuereinheit, die mit einer entfernten Vorrichtung gekoppelt ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

15 Die Figur 1 zeigt eine industrielle Prozeßsteueranwendung in einer petrochemischen Tankanlage 1, wobei ein Fluid 2 in einem Rohrnetzwerk 4 fließt. Ein Hauptcontroller 6 befiehlt einer überwachenden Haupteinheit 10 über eine Verkabelung 12. Die überwachende Haupteinheit 10 kommuniziert über eine
20 Zweidraht-Schaltung 18 mit einer Rückkoppelschleife 14, die den Fluß bzw. Durchfluß in einem Rohrabschnitt 20 steuert. Die Rückkoppelschleife 14 umfaßt eine Steuereinheit 22 und eine entfernte Vorrichtung 26 mit zwei Anschlüssen, die den Fluidfluß Q von einem Tank 30 in das Rohrnetzwerk 4 hinein
25 steuert. Die Kapazität der Tankanlage 1 kann durch zusätzliche Rückkoppelschleifen erhöht werden, die an Rohrabschnitten 20A, 20B, 20C und 20D angeordnet sind und von dem Hauptüberwacher 10 gesteuert werden. Eine noch weitere Expansion erfordert noch zusätzliche Rückkoppelschleifen und
30 zusätzliche überwachende Haupteinheiten. Unabhängig von der Kapazität ist die Tankanlage 1 in ein Einsatzgebiet 34, das eine eigene Sicherheitsausrüstung erfordert, und ein Steuerungsraumgebiet unterteilt, das durch den Block 36 angegeben ist. Eine Grenzvorrichtung 16 für eigene Sicherheit, die
35 die Spannung und dem Strom auf bestimmte Werte begrenzt,

ist am Kabel 12 an der Schnittstelle zwischen dem Steuer-
raum 36 und dem Einsatzort 34 angebracht. Jedes zusätzliche
Kabel zwischen dem Stellerraum 36 und dem Einsatzort 34 er-
fordert die Einrichtung einer solchen Grenzvorrichtung.

5

Der Fluß Q in dem Rohrsegment 20 ist gegeben als:

$$Q = k \{ \rho * DP \}^{0,5} \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei Q die Masseflußrate, ρ die Dichte des Fluids 2, DP
der Differenzdruck entlang einer Öffnung in dem Rohrsegment
20 und k eine Proportionalitätskonstante ist. Diese Berech-
nung des Flusses erfordert eine Prozeßvariable, die den
Differenzdruck angibt.

Wenn sich jedoch ρ ändert, wie es bei petrochemischen Er-
zeugnissen typisch ist, ist eine genauere Bewertung des
Flusses Q gegeben durch :

$$Q = k' \{ AP * DP / AT \}^{0,5} \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei AP der Absolutdruck im Rohrsegment 20 ist, k' eine
weitere Proportionalitätskonstante und AT die Absoluttempe-
ratur des Fluids 2 sind. Zwei zusätzliche Prozeßvariablen,
nämlich die Absoluttemperatur und der Absolutdruck, sind
erforderlich.

Die Figur 2 zeigt eine "smarte" Steuereinheit 22, die mit
der überwachenden Haupteinheit 10 über eine Zweidraht-
Schaltung 18 kommuniziert und eine Eingangseinrichtung 50
und eine Steuereinrichtung 52 aufweist. "Smart" bedeutet,
daß ein Berechnungsvermögen in der Steuereinheit vorgesehen
ist, zum Beispiel wie es durch einen Mikroprozessor durch-
geführt wird. Die Steuereinheiten sind in Zweidraht-
Schaltungen auf unterschiedlichste Art und Weisen verbun-
den. Jede Zweidraht-Schaltung ist mit einer Energiequelle
gekoppelt, die Instrumente an der Schaltung versorgt. In
einer ersten Konfiguration enthält die überwachende Haupt-

einheit die Energiequelle, die eine Steuereinheit versorgt. Zusätzliche Steuereinheiten können durch die überwachende Haupteinheit mit Energie versorgt werden und sind parallel entlang der Energiequelle verbunden. In einer zweiten Konfiguration enthält die überwachende Haupteinheit die Energiequelle, die zumindest eine Steuereinheit und zumindest eine entfernte Vorrichtung mit Energie versorgt, die in Serie an der Energiequelle verbunden sind. In einer dritten Konfiguration versorgt eine Steuereinheit, die in der ersten Konfiguration verwendet wird, eine oder mehrere entfernte Vorrichtungen, Steuereinheiten oder beides mit Energie. Die Anzahl der Instrumente, die mit Energie versorgt werden, ist typischerweise durch den erhältlichen Strom begrenzt, aber alternative Energiequellen sind manchmal für entfernte Vorrichtungen erhältlich. Die entfernte Vorrichtung kann mit der Steuereinheit durch ein Drahtpaar oder in Alternative durch eine zweite Zweidraht-Schaltung verbunden werden.

20 Die Eingangseinrichtung 50 hat eine Empfangseinrichtung 54, die mit der Zweidraht-Schaltung 18 gekoppelt ist, zum Empfangen von Prozeßsignalen und eine Speichereinrichtung 56, die mit der Empfangseinrichtung 54 gekoppelt ist, zum Speichern von Prozeßsignalen 55. Die Steuereinrichtung 52 empfängt Prozeßsignale 55 von der Empfangseinrichtung 54 und der Speichereinrichtung 56 der Eingangseinrichtung 50, wie beabsichtigt. Eine Speichereinrichtung 53 empfängt den Befehlsausgang 58 und gibt einen vorherigen Befehlsausgang 60 aus. Der Befehlsausgang 58 wird vom Block 52a als eine Funktion der Prozeßsignale 55 und des vorherigen Befehlsausgangs 60 bereitgestellt und zu dem Kabel 57 ausgekoppelt, das ein Teil einer zweiten Zweidraht-Schaltung abhängig von der Konfiguration sein kann. Der Befehlsausgang 58 kann in einigen Anwendungen als Funktion alleine der Prozeßsignale 55 erzeugt werden. Eine Steuereinheit wie

diese wird in einer Vorwärtskoppel-Steueranwendung verwendet, wo keine Rückkopplung verwendet wird, um den Befehlsausgang zu erzeugen. In jeder Anwendung ist die entfernte Vorrichtung 26 ein Aufnehmer, zum Beispiel einer, der eine Stromgröße dazu verwendet, einen Druck zu regeln, und ist in der Prozeßsteuerindustrie als Strom zu Druck (I/P)-Wandler bekannt. In einer kaskadierten Steueranwendung wird jedoch der Befehlsausgang einer Steuereinheit als ein Prozeßsignal verwendet, das für den Sollwert für eine andere Steuereinheit repräsentativ ist. In einer kaskadierten Steueranwendung ist dementsprechend die entfernte Vorrichtung 26 eine weitere Steuereinheit 22.

Die entfernte Vorrichtung 26 legt eine Energiequelle 59 für Druckluft an den Prozeß als Funktion des Befehlsausgangs 58 an. Prozeßsignale, die beim Erzeugen des Befehlsausgangs 58 verwendet werden, umfassen Sollwerte, die für einen gewünschten Prozeßzustand repräsentativ sind, Prozeßvariablen, die von dem Prozeß erzeugt werden, Befehle, die den Betrieb der Steuereinrichtung 52 lenken, Befehlssätze, teilweise oder insgesamt, Term-Koeffizienten für die Steuereinrichtung 52 und Nachfragen nach Statusinformationen über die Steuereinheit 22 von der überwachenden Haupteinheit 10. Unterschiedliche Typen von Prozeßsignalen werden zu der Steuereinheit 22 in Abhängigkeit von der Steuereinheit 22 und der Prozeßsteueranwendung gesendet.

Ein erster Typ von Prozeßsignal ist die Prozeßvariable. Prozeßvariablen sind als primäre Prozeßvariablen klassifiziert, wenn sie direkt die von der Rückkoppelschleife zu steuernde Variable wiedergeben. Die Primärprozeßvariable für die Steuereinheit 22 ist der Durchfluß. Sekundäre Prozeßvariablen beeinflussen die primären Prozeßvariablen und werden typischerweise verwendet, um die primären Prozeßvariablen genauer bestimmen zu können. Diese Kompensation-

stechniken sind in dem U.S. Patent Nr. 4,598,381 mit dem Titel "Druckkompensierter Differenzdrucksensor und Verfahren" offenbart, das dem gleichen Anmelder wie die vorliegende Anmeldung gehört. In Alternative werden zwei Prozeßvariablen, die für die gleiche Messung oder die gleiche Meßgröße repräsentativ sind, zur Steuereinheit 22 von unterschiedlichen Instrumenten aus auf der gleichen Rückkoppelschleife gesendet, wodurch eine Redundanz einer kritischen Messung bereitgestellt wird.

10

Ein zweiter Typ von Prozeßsignal ist der Sollwert, der den gewünschten Prozeßzustand angibt. In dieser Anwendung ist ein Beispiel für den Sollwert ein gewünschter Durchfluß von $10 \text{ m}^3/\text{Minute}$ in dem Rohrsegment 20. Typischerweise werden Prozeßsignale 55, die für einen Sollwert und für Prozeßvariablen repräsentativ sind, zu der Steuereinheit 22 gesendet. Die primäre Prozeßvariable ist typischerweise durch weitere Prozeßvariablen, die über die Schaltung 18 gesendet werden, kompensiert. Die Steuereinrichtung 52 ermittelt die Differenz zwischen dem Sollwert und der kompensierten Prozeßvariablen und stellt den Befehlsausgang 58 ein.

20

Ein weiterer Typ des Prozeßsignals 55 gibt Befehle wieder, die zwischen Befehlssätzen auswählen, die in der Steuereinheit 22 gespeichert sind, um einen Befehlsausgang 58 bereitzustellen. Zum Beispiel verursacht ein Abschaltkommando, daß der Befehlsausgang 58 von einem Befehlssatz zum sicheren Herunterfahren der Rückkoppelschleife 14 verwaltet wird. Abschaltbefehle ermöglichen ein manuelles Eingreifen der Rückkoppelschleife 14. Ein weiterer Typ des Kommandos befiehlt der Steuereinheit 22, ihren eigenen Befehlssatz für den Betrieb der Steuereinrichtung 52 adaptiv zu setzen. Bei der adaptiven Steuerung kann der Befehlssatz als Funktion der Zeit variieren. In diesem Modus berechnet die Steuereinheit 22 ihre eigenen Terme und Koeffizienten, wie

30

35

vorgesehen, für den Betrieb der Steuereinrichtung 52. In Alternative kann ein weiteres Kommando verursachen, daß die Steuereinheit 22 in einem Ausnahmemodus arbeitet, in dem sie mit der überwachenden Haupteinheit 10 nur kommuniziert, wenn die Prozeßvariablen spezifizierte Grenzwerte überschreiten. Ein Ausnahmemodus-Betrieb reduziert die Dialoge bzw. Kommunikationen zwischen Instrumenten der Tankanlage 1 und befreit die überwachende Haupteinheit 10 von einer kontinuierlichen Kommunikation mit der Rückkoppelschleife 14. Die sich daraus ergebende Abnahme der Kommunikationsüberlastung stellt die überwachende Haupteinheit 10 dafür frei, größere Anzahlen von Rückkoppelschleifen zu überwachen und mehr Aufgaben durchzuführen als vorher.

Prozeßsignale, die Befehlssätze teilweise oder insgesamt wiedergeben, werden zur Steuereinheit 22 gesendet, um den Betrieb der Steuereinrichtung 52 zu lenken. Teilweise Befehlssätze werden zur Steuereinheit 22 gesendet, wenn ein Untersatz eines Befehlssatzes benötigt wird, um den Befehlsausgang 58 einzustellen.

Ein typischer Befehlssatz stellt den Befehlsausgang 58 ein. Eine allgemeine Gleichung zur Steuerung ist gegeben durch:

$$\Delta q_k = \sum_{i=0}^k a_i r_i + \sum_{i=20}^k b_i y_i \quad \text{Gleichung 3}$$

wobei q_k der Befehlsausgang zum K -ten Zeitpunkt ist, r_i und y_i der Sollwert und die Prozeßvariablenwerte bei dem K -ten Zeitpunkt sind, i von 0 bis K variiert und a_i und b_i anwendungsspezifische Konstanten sind, die sich mit der Zeit ändern können. Viele Anwendungen benötigen eine Steuerung, die proportional zu einer im wesentlichen linearen Verknüpfung der Prozeßvariablen, des Zeitintegrals der Prozeßvariablen und der zeitlichen Änderungsgeschwindigkeit der

Prozeßvariablen ist, was manchmal als Proportional-Integral-Differential (PID)-Betrieb bezeichnet wird. Die folgenden Gleichungen definieren Konstanten a_1 und b_1 aus der Gleichung 3 für den PID-Steuer- bzw. Regelbetrieb in geeigneter Weise. Die Konstante a_1 für die momentane Zeit und zwei vorhergehende Ermittlungen sind in den Gleichungen 3.1a-c definiert:

$$a_K = K_P + K_I, \quad \text{Gleichung 3.1a}$$

wobei K_P und K_I als proportionaler bzw. integraler Verstärkungsfaktor definiert sind.

$$a_{K-1} = -K_P, \quad \text{Gleichung 3.1b}$$

$$a_{K-x} = 0, \text{ wobei } x \geq 2 \quad \text{Gleichung 3.1c}$$

Die Konstante b_1 für die momentane Zeit und die beiden vorherigen Ermittlungen ist durch die Gleichungen 3.2a-c definiert:

$$b_K = \{R / (1 - Q) - K_P - K_I\} \quad \text{Gleichung 3.2a}$$

wobei $R = (K_D T_D N) / (T_D + N h)$,

$Q = T_D / (T_D + N h)$, K_D ein differenzieller Verstärkungsfaktor, T_D eine differenzielle Zeitkonstante, N ist eine geschwindigkeitsbegrenzende Konstante und h ein Maß für die Menge der benötigten Zeit zur Einstellung des Befehlsausgangs sind. Weiterhin sind

$$b_{K-1} = \{-2R / (1 - Q) + K_P\} \quad \text{Gleichung 3.2b}$$

$$b_{K-2} = R / (1 - Q) \quad \text{Gleichung 3.2c}$$

und alle $b_{K-x} = 0$, wobei $x \geq 3$.

Das Substituieren der Gleichungen 3.1a-c und der Gleichungen 3.2a-c in die allgemeine Steuergleichung 3 führt zu einer PID-Steuergleichung 3.3 mit drei Termen, die eine PI-Gleichung wird, wenn der dritte Term auf 0 gesetzt wird:

$$\Delta q_K = \Delta P_K + \Delta I_K + \Delta D_K \quad \text{Gleichung 3.3}$$

wobei $\Delta P_K = K_P \{E_K - E_{K-1}\}$, $\Delta I_K = K_I E_K$ und

$\Delta D_K = \{R / (1 - Q)\} \{Y_K - 2Y_{K-1} + Y_{K-2}\}$ und

$E_K = r_K - y_K$ ist die Differenz zwischen der Prozeßvariablen und dem Sollwert zum Zeitpunkt K und gibt den Fehler wieder.

5 Die Prozeßsteueranwendung verlangt nach einer geeigneten PI- oder PID-Steergleichung. Wenn eine proportionale Verstärkung einer Steueranwendung relativ niedrig ist, über einen großen Bereich variiert und sich die gesteuerte Variable langsam ändert, wie es typischerweise in Durchfluß- und Flüssigkeitsdruckanwendungen der Fall ist, ist ein Integralsteuerbetrieb notwendig, während ein Differenzialsteuerbetrieb nicht notwendig ist. Eine solche Steuerung verwendet am besten einen PI-Steuerbetrieb. Der PID-Steuerbetrieb ist andererseits am besten für Anwendungen, zum Beispiel Temperatursteuerung, geeignet, wo eine Proportionalverstärkung niedrig ist, auf ein schmales Werteband begrenzt ist und die gesteuerte Variable sich langsam ändert.

20 Ein weiterer Typ des Prozeßsignals gibt die Koeffizienten für Terme eines Befehlssatzes wieder, der bereits in der Steuereinheit 22 gespeichert ist. Zum Beispiel, wenn Modifikationen des Rohrnetzwerks 4 erforderlich sind, sendet die überwachende Haupteinheit 10 einen neuen Wert von K_P , vgl. Gleichung 3.1a, zur Steuereinheit 22.

Eine letzte Art von Prozeßsignal ist für die Nachfrage nach Informationen von der Steuereinheit 22 repräsentativ. Diese Nachfrage stammt von weiteren Steuereinheiten und von der überwachenden Haupteinheit 10, wie vorgesehen. Statusinformationen, zum Beispiel Prozeßsteuerstatistiken, gegenwärtige Betriebsmodi, Prozeßvariablenwerte und Seriennummern der Einheiten können überwacht werden.

Verschiedene Typen der entfernten Vorrichtung 26 können zusammen mit der Steuereinheit 22 verwendet werden. Wie erläutert wurde, ist die entfernte Vorrichtung 26 ein I/P-Wandler, der einen Befehlsausgang 58 empfängt, der einen Luftdruck 59 zum Einstellen bzw. Positionieren des Ventils 62 als Funktion des Befehlsausgangs 58 anlegt. Weiter Prozeßsteueranwendungen können den absoluten Druck, die Temperatur, die Leitfähigkeit, den pH-Wert, die Sauerstoffkonzentration, die Chlorkonzentration, die Dichte, die Kraft, die Trübheit, eine Bewegung und weitere Größen steuern. In diesen Anwendungen kann die entfernte Vorrichtung 26 einen Motor, ein Ventil für eine Druckmeßanwendung, einen Schalter und einen Kontakt, wie es in einer Temperatursteueranwendung erforderlich ist, ein Relais in einem pH-Wert oder Niveauanwendung oder weitere Implementierungsvorrichtungen aufweisen.

Die Steuereinheit 22 enthält in dem Gehäuse eine Erfassungsvorrichtung 100, die einen erfaßten Ausgang 112 von entweder einer Erfassungseinrichtung 102 oder einer Skalierungseinrichtung 104 hat. In dieser Anwendung ist der Durchfluß durch die Gleichung 1 gegeben, die nur eine Prozeßvariable erfordert, welche den Differenzdruck wiedergibt. In der Erfassungsvorrichtung 100 erfaßt die Erfassungseinrichtung 102 den Druck auf jeder Seite einer Öffnung 106, die in das Fluid 2 hineinreicht. Wenn erforderlich skaliert die Skalierungseinrichtung 104 erfaßte Prozeßvariablen gemäß vom Benutzer definierter bzw. definierbarer Konstanten, wie zum Beispiel den Bereich, den Nullwert und die Dämpfung. Bereichs- und Nullwertstellungen ermöglichen, daß bekannte Drücke auf die Bereichsextremwerte der Erfassungseinrichtung 102 bezogen werden können, während die Dämpfung die Antwortzeit der Einheit auf eine Änderung des Prozeßvariableneingangs beeinflußt. Verfahren zum Skalieren der Prozeßvariablen durch die Verwendung von

Bereichs- und Nullwerteneinstellungen sind in der U.S.-
Anmeldung 112,410 offenbart, die den Titel "Meßumformer mit
magnetischem Null/Bereich-Stellglied" trägt, dem gleichen
Anmelder wie die vorliegende Anmeldung gehört und die hier
5 durch Bezugnahme aufgenommen wird.

Der erfaßte Ausgang 112 der Erfassungseinrichtung 102 und
der Skalierungseinrichtung 104 wird, wie vorgesehen, in der
Steuereinrichtung 52 verwendet oder wird direkt mit der
10 Verkabelung 57, wie gewünscht, gekoppelt. Wenn der erfaßte
Ausgang 112 mit der Verkabelung 57 gekoppelt ist, ist das
Signal auf der Verkabelung 57 repräsentativ für die erfaßte
Prozeßvariable, wie von einem Meßumformer. Meßumformer er-
fassen Prozeßvariablen und geben ein Signal aus, das reprä-
15 sentativ für die erfaßte Prozeßvariable ist. Meßumformer
sind bekannt aus und offenbart in dem U.S. Patent Nr.
4,833,922 von Frick usw. mit dem Titel "Modularer Meßumfor-
mer", das dem gleichen Anmelder gehört.

20 Die Steuereinheit 22, wie in der Figur 2 gezeigt ist, ist
in der Zweidraht-Schaltung 18 in der zweiten Konfiguration,
wie vorstehend erläutert wurde, verbunden, kann aber auch
in anderen Konfigurationen verbunden sein. Ein Anschluß der
entfernten Vorrichtung 26 ist über ein Kabel 27 mit der
25 Steuereinheit 22 verbunden, während der andere mit dem
Haupt-Überwacher 10 durch die Zweidraht-Schaltung 18 ver-
bunden ist.

Die Eigenschaft der Steuereinheit 22 als Meßumformer oder
30 als ein Controller zu arbeiten, erlaubt es, daß verschiede-
ne Typen von Prozeßsignalen verwendet werden. Unterschied-
liche Optionen sind für Prozeßsignale verfügbar, die Pro-
zeßvariablen wiedergeben.

Prozeßsignale 55, die eine Prozeßvariable wiedergeben und jene, die für einen Sollwert repräsentativ sind, werden über die Zweidraht-Schaltung 18 gesendet und von der Steuereinrichtung 52 zur Erzeugung des Befehlsausgangs 58 verwendet. Prozeßvariablen, die zur Steuereinheit 22 gesendet werden, sind typischerweise repräsentativ für sekundäre Prozeßvariablen wie, wenn die Gleichung 2 verwendet wird, zum Berechnen des Durchflusses und kompensieren typischerweise die primäre Prozeßvariable, die von der Erfassungsvorrichtung 100 erfaßt wird. In Alternative werden Prozeßsignale 55, die für eine redundant erfaßte primäre Prozeßvariable repräsentativ sind, über die Zweidraht-Schaltung 18 für eine erhöhte Zuverlässigkeit bei kritischen Anwendungen gesendet. Ein dritter Befehl sorgt für eine gleichzeitige Ausführung des Steuermodus und des Meßumformermodus. Bei diesem Dualmodus-Betrieb ist der Befehlsausgang 58 mit dem Kabel 57 in analoger Art und Weise gekoppelt und die Größe des Stroms auf dem Kabel 57 ändert sich als Befehlsausgang 58. Die entfernte Vorrichtung 26 stellt das Ventil 62 als Funktion der Höhe der Stromstärke auf dem Kabel 57 ein. Verschiedene Kommunikationsstandarts verändern die Stromhöhe als eine Funktion der gesendeten Information, zum Beispiel 4-20 mA und 10-50 mA Stromschleifenkommunikationsstandarts. In Alternative ist die Spannung am bzw. auf dem Kabel 57 repräsentativ in einem Spannungswert-Kommunikationsstandart, zum Beispiel 1-5 V. Gleichzeitig koppelt die Steuereinheit 22 die digital erfaßte Prozeßvariable 112 mit dem Kabel 57 in einer trägermodulierten Art und Weise. Zum Beispiel werden die Signale, die für einen Befehlsausgang repräsentativ sind, durch den 4-20 mA-Standard kodiert und Signale, die für eine Prozeßvariable repräsentativ sind, werden durch das trägermodulierte Format digital kodiert. Typische Trägermodulations-Kommunikationsstandarts, die verwendet werden können, sind Frequenzumschaltung (FSK = frequency shift key), Amplitu-

denmodulation (AM), Phasenmodulation (PM), Frequenzmodulation (FM), Quadraturamplitudenmodulation (QAM) und Quadraturphasenumschaltung (QPSK = Quadrature Phase Shift Key).

- 5 Der Haupt-Überwacher 10 überwacht die Prozeßvariablen, während die Steuereinheit 22 die entfernte Vorrichtung 26 gleichzeitig steuert, und zwar aufgrund der Serienverbindung von Haupt-Überwacher 10, Steuereinheit 22 und entfernter Vorrichtung 26 und da die entfernte Vorrichtung 26 den
- 10 Strom in der Schaltung 18 aufgrund ihrer passiven Natur nicht ändern kann. Dieser Betrieb sorgt für Kosten- und Effizienzvorteile, da die Anzahl von Zweidraht-Schaltungen, die für die Prozeßsteuerung benötigt werden, von zwei Schaltungen auf eine Schaltung für jede Rückkoppelschleife
- 15 reduziert wird. Wenn dieser Modus nicht verwendet wird, kommuniziert eine erste Zweidraht-Schaltung eine Prozeßvariable zwischen einem Meßumformer und einem Haupt-Überwacher 10 und eine zweite Zweidraht-Schaltung kommuniziert einen Befehlsausgang zwischen dem Haupt-Überwacher 10
- 20 und der entfernten Vorrichtung 26. Mit diesem Modus steuert eine einzelne Zweidraht-Schaltung, die den Haupt-Überwacher 10, die Steuereinheit 22 und die entfernte Vorrichtung 26 in Serie verbindet, den Prozeß. Verdrahtungskosten in Einsatzgebieten sind hoch, wobei jede Rückkoppelschleife-
- 25 Verdrahtung ungefähr die gleiche Investition wie ein Meßumformer und eine entfernte Vorrichtung benötigt. Zweitens wählen die Prozeßsignale 55, die für die Kommandos repräsentativ sind, die über die Zweidraht-Schaltung 18 gesendet werden, zwischen den beiden Betriebsmodi aus. Dieser Befehl
- 30 lenkt die Steuereinheit 22, die erfaßte Prozeßvariable 112 oder den Befehlsausgang 58 mit der Verkabelung 57 zu koppeln. In Abhängigkeit von diesem Befehl arbeitet die gleiche Steuereinheit 22 als Meßumformer oder als Controller. Während des Betriebs als Controller wird ein Befehl, der
- 35 den Betrieb auf einer Ausnahmehasis lenkt, über die Schal-

tung 18 gesendet. Ein Ausnahme abhängiger Betrieb befiehlt der Steuereinheit 22, mit dem Haupt-Überwacher 10 nur zu kommunizieren, wenn die Prozeßvariablen, die von der Einheit empfangen oder erfaßt werden, nicht innerhalb bestimmter Grenzen sind. Diese Befehle vermeiden, daß der Haupt-Überwacher 10 den Betrieb der Steuereinheit 22 überwachen oder in diesen eingreifen muß, was in weniger Kommunikationen für die Aufrechterhaltung der Prozeßsteuerung resultiert. Ein weiterer Vorteil ist die erhöhte Zuverlässigkeit der Prozeßsteuerung, da das Kabel 12 unterbrochen werden kann, ohne daß der Prozeß in diesem Modus beeinflusst wird.

Drittens werden Prozeßsignale 55, die für geänderte Befehlssätze repräsentativ sind, zur Steuereinheit 22 wie geeignet für die Prozeßsteueranwendung gesendet, die zuvor erläutert wurde. Unterschiedliche Funktionalitäten in sich ändernden Applikationen werden erreicht. Zum Beispiel erfaßt die Steuereinheit 22 den Differenzdruck in einem Prozeß, der den Durchfluß steuert, wenn ein erster Befehlssatz die Steuereinrichtung 52 verwaltet, und erfaßt den Differenzdruck auf einem Prozeßsteuerniveau, wenn ein zweiter Befehlssatz die Steuereinrichtung 52 verwaltet. In Alternative stellt die Steuereinheit 22 den Befehlsausgang 58 für unterschiedliche Typen von entfernten Vorrichtungen 26 bereit, wobei dieser Befehlsausgang 58 als Funktion der Prozeßsignale 55 geändert wird.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Zweidraht-Steuereinheit zum Anbringen am Einsatzort, die aufweist:
- 5 ein Gehäuse;
eine Erfassungsvorrichtung (100) in dem Gehäuse, die eine Einrichtung zum Erfassen einer Prozeßvariablen und zum Erzeugen eines Prozeßvariablensignales (112) hat, das für die Prozeßvariable repräsentativ ist;
- 10 eine Eingangseinrichtung (54) in dem Gehäuse zum Koppeln mit einer Gleichstrom-Zweidraht-Prozeßsteuerschleife (18) zum Empfangen von Energie von der Zweidraht-Prozeßsteuerschleife (18), wobei die Eingangseinrichtung (54) aufweist eine Einrichtung (56) zum Empfangen von zumindest einem
- 15 Prozeßsignal über die Zweidraht-Prozeßsteuerschleife und zum Speichern dieses Prozeßsignals; und
eine Steuereinrichtung (52) in dem Gehäuse, die mit der Erfassungsvorrichtung (100) und der Eingangseinrichtung (54) gekoppelt ist, zum Erzeugen eines Befehlsausgangs (58) für
- 20 eine externe Steuervorrichtung (26), die einen Prozeß steuert, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung auch zum Speichern des Befehlsausgangs ist, wobei der Befehlsausgang eine Funktion des gespeicherten Prozeßsignals, des Prozeßvariablensignals und eines zuvor gespeicherten
- 25 Werts des Befehlsausgangs ist; und
daß die Steuereinheit (22) dafür ausgelegt ist, ein digitales Ausgangssignal in einem trägermodulierten Format zu erzeugen, das dem Befehlsausgang überlagert ist.
- 30 2. System, das eine Zweidraht-Steuereinheit, wie in dem Anspruch 1 zitiert, eine externe Steuervorrichtung (26) und eine Haupteinheit (10) aufweist, die elektrisch in Serie verbunden sind.

3. Zweidraht-Steuereinheit, wie in Anspruch 1 zitiert, die einen Befehlssatz für den Betrieb der Steuereinrichtung adaptiv setzt.
- 5 4. Zweidraht-Steuereinheit, wie in Anspruch 1 zitiert, wobei das Prozeßsignal Befehle für den Betrieb der Steuereinrichtung aufweist.
- 10 5. Zweidraht-Steuereinheit, wie in Anspruch 1 zitiert, wobei das Prozeßsignal einen Sollwert aufweist und wobei die Steuereinrichtung dafür ausgelegt ist, den Befehlsausgang als eine Funktion der Differenz zwischen dem Sollwert und dem Prozeßvariablensignal einzustellen.
- 15 6. Zweidraht-Steuereinheit, wie in Anspruch 1 zitiert, wobei die Steuereinrichtung dafür ausgelegt ist, den Befehlsausgang q_k gemäß einer Gleichung

$$\Delta q_k = \sum_{i=0}^k a_i r_i + \sum_{i=0}^k b_i y_i$$

20

- einzustellen, wobei q_k der Befehlsausgang zu einem k-ten Zeitpunkt ist, r_i und y_i ein Sollwert bzw. ein Prozeßvariablensignalwert zum i-ten Zeitpunkt ist, wobei i zwischen 0
- 25 und k variiert und a_i und b_i applikationsspezifische Konstanten sind, die sich mit der Zeit ändern können.

7. Zweidraht-Steuereinheit, wie in Anspruch 1 zitiert, wobei der Befehlsausgang ausgelegt ist, in einer analogen Art
- 30 und Weise mit der externen Steuereinrichtung (26) über die Zweidraht-Prozeßsteuerschleife gekoppelt zu sein.

8. Zweidraht-Steuereinheit, wie in Anspruch 7 zitiert, wobei das Format für das Koppeln des Befehlsausgangs mit der

19.04.99

- 20 -

Zweidraht-Prozeßsteuerschleife einen 4-20mA-Stromschleife-Kommunikationsstandart aufweist.

9. Zweidraht-Steereinheit, wie in Anspruch 1 zitiert, wobei die Einrichtung zum Erfassen einen Sensor aufweist, der aus der Gruppe von Sensoren für die Erfassung des Drucks, der Temperatur, des Flusses, der Masse, der Leitfähigkeit, der Feuchtigkeit, des pH-Werts, der Sauerstoffkonzentration, der Chlorkonzentration, der Dichte, der Kraft und der Trübheit ausgewählt ist.

FIG. 1

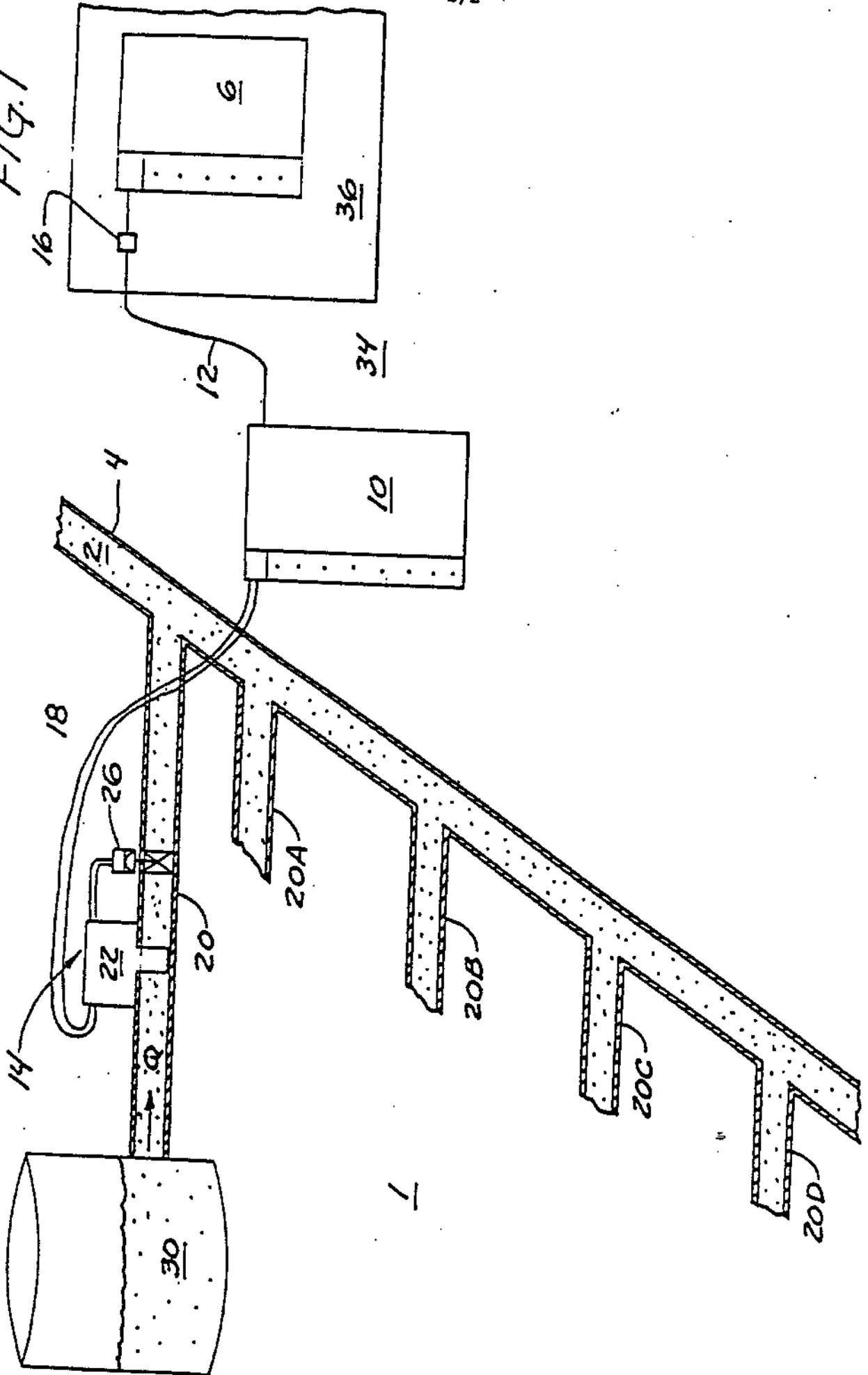


FIG 2

