

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6680669号
(P6680669)

(45) 発行日 令和2年4月15日(2020.4.15)

(24) 登録日 令和2年3月24日(2020.3.24)

(51) Int.CI.

G05D 7/06 (2006.01)

F 1

G 05 D 7/06

Z

請求項の数 3 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2016-500345 (P2016-500345)
 (86) (22) 出願日 平成26年2月22日 (2014. 2. 22)
 (65) 公表番号 特表2016-514324 (P2016-514324A)
 (43) 公表日 平成28年5月19日 (2016. 5. 19)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/017859
 (87) 國際公開番号 WO2014/158530
 (87) 國際公開日 平成26年10月2日 (2014. 10. 2)
 審査請求日 平成29年2月22日 (2017. 2. 22)
 (31) 優先権主張番号 61/783,346
 (32) 優先日 平成25年3月14日 (2013. 3. 14)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73) 特許権者 591203428
イリノイ トゥール ワークス インコーポレイティド
アメリカ合衆国, イリノイ 60025,
グレンビュー, ハーレム アベニュー 15
5
(74) 代理人 100099759
弁理士 青木 篤
(74) 代理人 100102819
弁理士 島田 哲郎
(74) 代理人 100123582
弁理士 三橋 真二
(74) 代理人 100153084
弁理士 大橋 康史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】質量流量制御器のバルブペデスタルを自動的に自己調整するシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量流量制御器を改良するための方法において、
 該方法は、前記質量流量制御器が、プロセッサを用いて、
 流体の質量流量に対応する信号を質量流量センサーから受信することと、
ゼロから非ゼロへの流量設定点の変更の間に流量を監視することと、
制御バルブのバルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することと、
前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっていないとの判断に応答して、前記バルブ応答を補正する一定の自己調整を繰り返し行うことと、
前記制御バルブを前記自己調整に基づいて制御することと、を含む動作を行う命令を実行することを含んでおり、

前記バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することが、
 最終設定点の第1のパーセンテージに達する第1の測定された値を求めるのことと、
 前記最終設定点の第2のパーセンテージに達する第2の測定された値を求めるのことと、
 を含む、質量流量制御器を改良するための方法。

【請求項 2】

質量流量制御器において、
 流体を受け取る流入口と、
 前記流体が該質量流量制御器を通過する流路と、
 前記流路を通る前記流体の質量流量に対応する信号を提供する質量流量センサーと、

10

20

該質量流量制御器の流出口から出る前記流体の流量を調整するバルブと、以下の作用をなす命令を実行するように構成された少なくとも1つの処理構成要素とを具備し、

前記作用は、

質量流量に対応する前記信号を前記質量流量センサーから受信することと、

ゼロから非ゼロへの流量設定点の変更の間に流量を監視することと、

バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することと、

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっているか否かを判断することと、前記バルブ応答を補正する一定の自己調整を繰り返し行うことと、

前記バルブを前記自己調整に基づいて制御することと、を含んでおり、

10

前記バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することが、

最終設定点の第1のパーセンテージに達する第1の測定された値を求めるのことと、

前記最終設定点の第2のパーセンテージに達する第2の測定された値を求めるのことと、を含む、質量流量制御器。

【請求項3】

質量流量制御器を改良するための方法において、

該方法は、前記質量流量制御器が、プロセッサを用いて、

ペデスタル値を流入口圧力の関数として調整することと、

ゼロから非ゼロへの流量設定点の変更の間に流量を監視することと、

制御バルブのバルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することと、

20

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっているか否かを判断することと、前記バルブ応答を補正する一定の自己調整を繰り返し行うことと、

前記制御バルブを前記自己調整に基づいて制御することと、を含む動作を行う命令を実行することを含んでおり、

前記バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することが、

最終設定点の第1のパーセンテージに達する第1の測定された値を求めるのことと、

前記最終設定点の第2のパーセンテージに達する第2の測定された値を求めるのことと、を含む、質量流量制御器を改良するための方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、質量流量制御器（MFC）の動作に関する。

【背景技術】

【0002】

多くの産業プロセスは、様々なプロセス流体の正確な制御を必要とする。例えば、半導体産業では、質量流量制御器が、プロセスチャンバーに導入されるプロセス流体の量を正確に測定及び制御するのに用いられる。流体という用語は、本明細書においては、流れることが可能な任意の状態にある任意のタイプの物質を説明するのに用いられる。例えば、流体という用語は、液体、気体、蒸気、及び制御された流れが重要であり得る物質又は物の任意の組み合わせを含むスラリーに該当し得ることが理解されるべきである。

40

【0003】

MFCの顧客は、多くの場合、品質及び性能のメトリック（例えば、設定点に達するのに要する時間及びオーバーシュートの量）としてターンオン特性を監視する。通常、オーバーシュートは許容されていない。

【0004】

顧客は、デバイス間での再現性を所望している。MFCが正常に挙動することを確保するために、MFCは調整される。調整は、各デバイスが同じ入力を受けたときに同じ挙動を提供することができるよう特定のMFC特性を較正するプロセスである。例えば、特定の設定点が与えられたとき、全てのMFCは、或る特定の時間（例えば、300ms ± 50ms）内にその設定点に達すると見込まれている。MFCのうちの1つが150ms

50

で設定点に達し、別のMFCが400msで設定点に達する場合、顧客が可能な限り速いMFCを得ることに関心があるわけではない。

【0005】

MFCを調整することは、特殊化されたセットアップ及び経験を積んだオペレーターを必要とする困難な操作である。加えて、MFCの動作条件の変更及び物理特性の僅かな変更は、数ヶ月の動作の後にデバイスを再調整する高価な現場サービスを必要とする可能性がある。

【発明の概要】

【0006】

こうして、開示の発明は、上記問題に対して1つ又は複数の解決策を提供しようとするものである。例えば、1つの実施形態では、開示の発明は、ターンオン応答特性を監視するためのアルゴリズムを実行するとともに調整パラメーターを自動的に自己調整するよう構成されたMFCを含む。

【0007】

本発明の例示の実施形態が、添付された図を参照して以下で詳細に説明される。これらの図は、参照することによって本明細書の一部をなすものとする。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】開示の実施形態による質量流量制御器の構成要素を示す図である。

【図2】開示の実施形態による初期調整及びストレスサイクルの一例を示すグラフである。

【図3A】開示の実施形態による調整パラメーターを自動的に自己調整するためのプロセスを示すフローチャートである。

【図3B】開示の実施形態による調整パラメーターを自動的に自己調整するためのプロセスの代替の実施形態を示すフローチャートである。

【図4】開示の実施形態による質量流量制御器において実行される変更された制御アルゴリズムを示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

開示の実施形態及びこれらの実施形態の利点は、図面の図1～図4を参照することによって最も良く理解される。同様の参照符号は、様々な図面の同様の対応する部分に用いられている。開示の実施形態の他の特徴及び利点は、当業者には、以下の図及び詳細な説明を検討すると明らかであるか又は明らかになる。全てのそのような追加の特徴及び利点は、開示の実施形態の範囲内に含まれるように意図されている。さらに、示された図は、例示にすぎず、異なる実施形態を実施することができる環境、アーキテクチャ、設計、又はプロセスについていかなる限定も主張又は意味することを意図するものではない。

【0010】

図1は、開示の実施形態による質量流量制御器100の構成要素を示している。1つの実施形態では、質量流量制御器100は、この質量流量制御器の構成要素が取り付けられたプラットフォームであるブロック110を備える。熱式質量流量計140及びバルブアセンブリ150が、ブロック110上において、流体流入口120と流体流出口130との間に取り付けられている。他の実施形態では、熱式質量流量計140は、ブロック110を用いずにバルブアセンブリ150に直接ボルト留めすることができる。バルブアセンブリ150は、制御バルブ170を備える。或る特定の実施形態では、制御バルブ170は、ソレノイドバルブ又はピエゾバルブのうちの一方とすることができる。熱式質量流量計140は、通常は流体の大部分が流れるバイパス142と、その流体のより少量な一部分が流れる熱式流量センサー146とを備える。

【0011】

熱式流量センサー146は、取付板又は基部108上に取り付けられたセンサーハウジング102（センサー146を示すために除去された状態で示された部分）内に収容され

10

20

30

40

50

ている。センサー 146 は、通常は毛管と呼ばれる小さな直径の管であり、センサー流入部 146A と、センサー流出口部 146B と、2 つの抵抗コイル又は抵抗巻き線 147、148 が周囲に配置されたセンサー測定部分 146C とを有する。動作時には、電流が 2 つの抵抗巻き線 147、148 に提供され、これらの抵抗巻き線は、センサー測定部分 146C と熱接触する。抵抗巻き線 147、148 内の電流は、測定部分 146 内を流れる流体を、バイパス 142 を通って流れる流体の温度よりも高い温度に加熱する。巻き線 147、148 の抵抗は、温度とともに変化する。流体がセンサー導管を通って流れに沿って、熱は、上流抵抗器 147 から下流抵抗器 148 に向かって運ばれ、この温度差は、センサーを通る質量流量率に比例する。

【0012】

10

センサーを通る流体流量に関係した電気信号が、2 つの抵抗巻き線 147、148 から取り出される。この電気信号は、抵抗巻き線の抵抗の差又は各巻き線を特定の温度に維持するために各抵抗巻き線に提供されるエネルギーの量の差等から、複数の異なる方法で取り出すことができる。熱式質量流量計内の流体の流量率に相関する電気信号を求めることができる様々な方法の例は、例えば、同一出願人による米国特許第6,845,659号に記載されている。この米国特許は、引用することによって本明細書の一部をなすものとする。抵抗巻き線 147、148 から取り出された電気信号は、信号処理後はセンサー出力信号を構成する。

【0013】

20

センサー出力信号は、電気信号が測定された時に流体流量を求めるができるように、質量流量計内の質量流量に相関される。流量計を通る総流量を求めることができ、それに応じて、制御バルブ 170 を制御することができるよう、センサー出力信号は、通常は、まずセンサー 146 内の流量に相関され、この流量は、次に、バイパス 142 内の質量流量に相関される。センサー出力信号と流体流量との間の相関は、複雑であり、流体の種類、流量率、流入口及び / 又は流出口の圧力、温度等を含む複数の動作条件に依存する。

【0014】

30

バイパス 142 は、センサーに取り付けることができ、流量計を通る総流量をセンサー出力信号から求めることができるように、バイパス 142 は、既知の流体を用いて調整され、質量流量センサー内を流れる流体と、様々な既知の流量率でバイパス内を流れる流体との間の適切な関係が求められる。幾つかの質量流量制御器では、バイパスは用いられず、全流量がセンサーを通過する。質量流量センサー部分及びバイパス 142 は、制御バルブ及び制御電子機器部分に結合し、次いで、既知の条件下で調整するようできる。制御電子機器及び制御バルブの応答は、設定点又は入力圧力の変化に対するシステムの全体応答が既知であるように特徴付けられ、この応答は、所望の応答を提供するようにシステムを制御するのに用いることができる。

【0015】

40

加えて、質量流量制御器 100 は、或る地点において流路に結合された圧力変換器 112 を備えることができる。この或る地点は、通常、流路内の圧力を測定するためにバイパス 142 の上流であるが、これに限定されるものではない。圧力変換器 112 は、圧力を示す圧力信号を提供する。

【0016】

50

制御電子機器 160 は、所望の質量流量率を示す設定点と、センサー導管内を流れる流体の実際の質量流量率を示す質量流量センサーからの電気流量信号とに従って制御バルブ 170 の位置を制御するのに用いられる。幾つかの実施形態では、比例制御、積分制御、比例積分 (P I) 制御、微分制御、比例微分 (P D) 制御、積分微分 (I D) 制御、及び比例積分微分 (P I D) 制御等の従来のフィードバック制御方法が、質量流量制御器内の流体の流量を制御するのに用いられる。他の実施形態は、いずれの P I D タイプの制御も用いないモデルベースの制御器を用いる場合がある。制御信号 (例えば、制御バルブ駆動信号) が、流体の所望の質量流量率を示す設定点信号と、質量流量センサーによって検知

された実際の質量流量率に関係したフィードバック信号との差である誤差信号に基づいて生成される。制御バルブは、メイン流体流路（通常、バイパス及び質量流量センサーの下流）に位置決めされ、メイン流体流路を通って流れる流体の質量流量率を変化させるよう に制御（例えば、開放又は閉鎖）することができる。この制御は、質量流量制御器によつて 提供される。

【0017】

図示された例では、流量率は、電気導体 158 によって閉ループシステム制御器 160 に電圧信号として供給される。この信号は、増幅され、処理され、そして、流量を変更するためには、電気導体 159 を用いてバルブアセンブリ 150 に供給される。このために、制御器 160 は、質量流量センサー 140 からの信号を所定の値と比較し、それに応じて 10 制御バルブ 170 を調整して所望の流量を達成する。

【0018】

図 1 は、質量流量制御器 100 が熱式質量流量センサーを備えることを示しているが、質量流量制御器 100 は、開示の実施形態によれば、コリオリ型センサー又は差圧型センサーを含む他のタイプの質量流量センサーを利用することができる。コリオリベースのセンサーを用いることの利点は、温度、流量プロファイル、密度、粘度、及び均質性とは無関係に質量流量を求めることが可能であるということである。加えて、差圧型センサーは、気体制御には一般的になってきている。

【0019】

加えて、質量流量制御器 100 の上記説明は、電圧信号の使用を開示しているが、或る特定の実施形態では、質量流量制御器 100 は、信号がセンサーへのデジタルコマンド及びセンサーからのデジタルコマンド並びにバルブへのデジタルコマンド及びバルブからのデジタルコマンドである分散型電子機器を備えることができる。

【0020】

図 2 は、初期調整及びストレスサイクルを示すグラフの一例を示している。図 2 に示すように、デバイスは、工場出荷時のその応答（実線）が、許容限度を表す水平の黒線内を通過するように調整される。経時的に、このデバイスの応答は、新たな応答（破線）が限度内にもはや入らないように変化する。現在、これは、顧客によって監視されており、顧客は、その後、これらのユニットを工場に戻すか、又は現場サービス技師に来てもらい、MFC を修理するように要求する。いずれの行為も、多くの時間、コストを要し、その結果、顧客の不満をもたらす。

【0021】

加えて、これらの応答特性は気体特有のものであるが、通常、工場では 1 つの気体に対してのみ調整が行われ、その後、異なる気体について調整を大きく変更する必要がある場合には、顧客の現場において再び行われる。経時的な変化に対する 1 つの現在の回避策は、工場において、調整後に広範なサイクルにバルブをさらし、次いで確認し、次いで必要に応じて再調整し、再びサイクルを行うことである。しかしながら、これは、多くの時間を要し、非付加価値プロセスである。

【0022】

こうして、上述したように、開示の発明は、ターンオン応答特性を監視するとともに、調整パラメーターを自動的に自己調整するアルゴリズムを実行する MFC を提供する。

【0023】

例えば、図 3A は、経時的に発生する変化に起因して、及び / 又は代替的に流入口圧力の変化に起因して MFC のバルブ応答を補正するための調整パラメーターを自動的に自己調整するためのプロセス 300A を示している。これらの調整パラメーターは、バルブペデスタル値等であるが、これに限定されるものではない。このバルブペデスタル値は、非ゼロの設定点を受け取った後にバルブが最初に移動する変位の量である。これは、バルブ開放の際の長い遅延を回避する最初のステップ移動と同様である。バルブペデスタル値は、通常、調整時に、オーバーシュートを伴わずに高速応答を提供することができる最も高い可能な値に設定される。この値を過度に高く設定すると、バルブは、過度に遠く過度に 50

速く移動するので、「跳ね上がり(jump the gun)」、オーバーシュートを引き起こす。加えて、ペデスタルパラメーターは、流入口圧力及び気体特性に非常に高感度になる。加えて、経時的に、調整パラメーターは、制御バルブの動作条件の変化及び物理特性の僅かな変化に起因して調整を必要とする場合がある。

【0024】

1つの実施形態によれば、上記で説明したようなMFCは、工場出荷時のその応答が以下の式による許容限度内になるように最初に調整される。

$$P_{\text{pedestal}} = P_{\text{factory}} \quad (\text{式 } 1)$$

【0025】

ここで、 P_{factory} は、工場において求められた定数である。

10

【0026】

プロセス300Aは、ステップ300において、起動中又は気体の変更中にMFCを初期化して関係する属性をメモリからリロードすることによって開始する。プロセス300Aは、次に、ゼロから非ゼロへの各設定点の変更の初期応答の間に流量を監視し(ブロック302)、その応答が許容限度内に収まっているか否かを測定/判断する(ブロック304)。例えば、1つの実施形態では、1つの測定された値は、最終設定点のX%に達する時間であり(Xは、通常、10%~20%である。t₂₀)、別の測定された値は、最終設定点のY%に達する時間である(Yは、通常、75%~95%である。t₉₅)。或る特定の実施形態では、開示の実施形態は、t₂₀及びt₉₅のみを見ることとは対照的に、曲線全体が公称曲線に対して適合しているか否かを監視することができる。

20

【0027】

さらに、幾つかの実施形態では、第3の測定された値は、流量が、要求された設定点を最初に通過するときのオーバーシュートの値である(OVS)。その値は、最終設定点の100%~125%とすることができますが、調整が全く不十分なときは200%を上回る可能性がある。

【0028】

応答が許容限度内に収まっている場合、プロセスはステップ302に戻る。一方、応答が許容限度内に収まっていない場合、プロセスは、応答を補正する自己調整を自動的に行う(ブロック306)。例えば、1つの実施形態では、プロセスは、制御ループのP、I、及びDのパラメーターを調整することによって応答を補正する命令を実行するように構成することができる。

30

【0029】

代替的に、プロセスは、ペデスタルパラメーターを調整することによって応答を補正する命令を実行するように構成することができる。このペデスタルパラメーターの調整は、ペデスタル補正值の調整等であるが、これらに限定されるものではない。例えば、図2に示すように、応答特性は、応答曲線が許容限度内に入っていない地点に経時的にゆっくりと展開する場合がある。1つの実施形態では、アルゴリズムは、例えば、以下の式に基づいて、流入口圧力の関数としてペデスタルを調整することによってこの劣化を補正する。

$$P_{\text{ped}}_{\text{corrected}} = P_{\text{pedestal}} * (1 + P_{\text{correctionfactor}}) \quad (\text{式 } 2)$$

$$P_{\text{pedestal}} = P_{\text{r actual}} * (P_{\text{ed high}} - P_{\text{ed low}}) / (P_{\text{r high}} - P_{\text{r low}}) + P_{\text{r 0}} \quad (\text{式 } 3)$$

40

又は

$$P_{\text{pedestal}} = P_{\text{r 0}} + P_{\text{r 1}} * P_{\text{r actual}} + P_{\text{r 2}} * P_{\text{r actual}}^2 + \dots + P_{\text{r n}} * P_{\text{r actual}}^n \quad (\text{式 } 4)$$

【0030】

ここで、 $P_{\text{r 0}} \dots P_{\text{r n}}$ は、調整プロセスの間に求められた定数であり、

$P_{\text{r actual}}$ は、圧力変換器112によって測定された圧力であり、

$P_{\text{ed high}}$ 、 $P_{\text{ed low}}$ は、工場調整プロセスの間に高圧力及び低圧力において得られたそれぞれのペデスタル値であり、

$P_{\text{correctionfactor}}$ は、各設定点の変更後、反復して調整される。応答が範囲外の過度

50

に速い側にある場合、補正係数は、少しずつディクリメントされる。応答が範囲外の過度に遅い側にある場合、補正係数は、少しずつインクリメントされる。補正係数は、正又は負とすることができます。補正の量は、調整可能とすることができます。目標は、あらゆるステップにおいて調整することであるので、補正の量は、通常、いかなる突然の変更もプロセスに導入しないように非常に小さいが、経時的に相加的である。許容可能な補正の総量は、調整可能とすることができます。或る補正閾値に基づいて警報を実施することができる。

【0031】

同様の補正は、ブロック306において、それぞれの補正の量、限度、及び閾値を用いて、P、I、Dのパラメーターについて実施することができる。

10

【0032】

或る特定の時間又は或る特定の補正レベルの後に、全ての補正係数をフラッシュメモリに保存することができ、そのため、電力サイクル後に、デバイスは、0から開始するのではなく、最後に保存された値から補正を継続する。加えて、顧客が気体を定期的に変更して、それらのプロセス要件に適応させる場合、各気体についての補正が、別の気体についての補正から分離されるように、全ての補正係数は、気体依存値として保存することができる。

【0033】

図3Bは、調整パラメーターを自動的に自己調整するための代替の実施形態（プロセス300B）を示している。図3Aとは対照的に、この実施形態では、プロセスは、電源投入時にMFCを初期化し又は気体を変更して、関係する属性をメモリからリロードした（ステップ300）後に、流入口圧力を読み取り、流入口圧力に基づいてペデスタルを補正する（ステップ301）。プロセスは、次に、MFC応答を監視し（ステップ302）、この応答が、上記で説明したような受け入れ可能な限度の範囲外である場合（ステップ304）、ペデスタル等の調整パラメーターを更に調整する（ステップ306）。

20

【0034】

図4は、開示の実施形態によるMFCにおいて実行される変更された制御アルゴリズムを示している。実線の黒線は、MFCの既存の制御アルゴリズムを表している。例えば、既存の制御アルゴリズムでは、PID制御器404は、流量設定点402を受け取り、メモリ（例えば、ランダムアクセスメモリ（RAM）又は電気的消去可能プログラマブル読み出し専用メモリ（EEPROM））に記憶された調整パラメーターに基づいて、PID制御器404は、制御バルブ406を調整する。流体流量が、次に、流量センサー408を用いて測定される。この流量測定は、PID制御器404に中継され、このPID制御器は、必要に応じて制御バルブを再調整して、流体流量を制御する。

30

【0035】

開示の実施形態によれば、図4における破線は、既存の制御アルゴリズムに対する変更を示している。流量測定に基づいて、この変更された制御アルゴリズムは、ブロック412において、上記で説明したような調整アルゴリズムを実行する。このアルゴリズムでは、圧力、温度、気体タイプ、又は他のパラメーター414が、調整パラメーター410を更新してバルブペデスタルを自動的に調整するのに用いられる。或る特定の実施形態では、或る特定の時間期間にわたって許容可能な変更の量、許容される変更の総量、行われた変更の量の報告方法、様々な誤差の報告方法等について、制限をこの新たなアルゴリズム内に設定することができる。

40

【0036】

こうして、開示の発明は、調整パラメーターを自動的に自己調整するように構成された質量流量制御器を提供するための様々な実施形態を提供する。上記実施形態についての具体的な詳細が説明されているが、上記説明は、単に例示の実施形態として意図されているにすぎず、開示の実施形態の構造も実施態様も限定することを意図するものではない。

【0037】

当業者であれば、本教示が、様々に変更したもの及び／又は高度化したものに補正可能

50

であることを認識するであろう。上記内容は、最良の形態及び／又は他の例とみなされるものを説明したものであるが、様々な変更を行うことができるとともに、本明細書において開示された主題は、様々な形態及び例において実施することができる事が理解され、また、本教示は、数多くの用途において適用することができる事が理解される。これらの数多くの用途のうちの一部のみが、本明細書において説明されている。そのような変更は、本教示の真の範囲内に包含されるように意図されている。

【0038】

本明細書において用いられている術語は、特定の実施形態を説明するためのものにすぎず、本発明を限定することを意図するものではない。数量を指定していない名詞は、本明細書において用いられるとき、文脈上明らかに別段の指定がない限り、単数形だけでなく複数形も含むように意図されている。「備える」及び／又は「含む」という用語は、この明細書及び特許請求の範囲において用いられるとき、明記された特徴、完全体、ステップ、動作、要素、及び／又は構成要素の存在を指定しているが、1つ又は複数の他の特徴、完全体、ステップ、動作、要素、構成要素、及び／又はそれらの群の存在又は追加を排除するものではないことが更に理解されるであろう。添付の特許請求の範囲における全ての手段又はステップに機能を加えた要素の対応する構造、材料、動作、及び均等物は、その機能を、具体的に請求項に記載されている他の請求項記載の要素と組み合わせて実行するための任意の構造、材料、又は動作を含むように意図されている。本発明の説明は、例示及び説明の目的で提示されており、網羅的であること、開示された形態の発明に限定されることも意図するものではない。本発明の範囲及び趣旨から逸脱することなく、多くの変更形態及び変形形態が当業者に明らかであろう。実施形態は、本発明の原理及び実用的な用途を説明するとともに、他の当業者が、考慮されている特定の使用に適するよう様々な変更を有する様々な実施形態について本発明を理解することを可能にするために選ばれて記載されたものである。請求項の範囲は、開示の実施形態及び任意のそのような変更を広く包含するように意図されている。

なお、本発明は以下の特徴を以って実施することができる。

【特徴1】

質量流量制御器を改良するための方法であって、該方法は、前記質量流量制御器が、プロセッサを用いて、

ゼロから非ゼロへの設定点変更の初期応答の間に流量を監視することと、

バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することと、

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっていないとの判断に応答して、前記バルブ応答を補正する自己調整を自動的に行うことと、

を含む動作を行う命令を実行することを含む、質量流量制御器を改良するための方法。

【特徴2】

前記バルブ応答を補正する前記自己調整は、制御ループの比例、積分、及び微分（P I D）のパラメーターを調整することを含む特徴1に記載の方法。

【特徴3】

前記バルブ応答を補正する前記自己調整は、ペデスタルパラメーターを調整して、経時に発生する変化を補正することを含む特徴1に記載の方法。

【特徴4】

前記バルブ応答を補正する前記自己調整は、流入口圧力の関数としてペデスタルを調整することを含む特徴1に記載の方法。

【特徴5】

前記バルブペデスタル値を流入口圧力の関数として調整することは、次のように求められ、

$$\text{Pedestal} = \text{Pr}_{\text{actual}} * (\text{Ped}_{\text{high}} - \text{Ped}_{\text{low}}) / (\text{Pr}_{\text{high}} - \text{Pr}_{\text{low}}) + \text{Pr}_0,$$

ここで、 $\text{Pr}_{\text{actual}}$ は、測定された圧力であり、 Ped_{high} 、 Ped_{low} は、工場調整プロセスの間に高圧力及び低圧力において得られたそれぞれのペデスタル値であり、 Pr_0

10

20

30

40

50

は、前記工場調整プロセスの終了時に求められた定数である特徴 4 に記載の方法。

[特徴 6]

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっているか否かを判断することは、最終設定点の第 1 のパーセンテージに達する第 1 の測定された値を求めることと、前記最終設定点の第 2 のパーセンテージに達する第 2 の測定された値を求めるることと、を含む特徴 1 に記載の方法。

[特徴 7]

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっているか否かを判断することは、前記流量が前記最終設定点を最初に通過する時に発生するオーバーシュートの第 3 の測定された値を求めること更に含む特徴 6 に記載の方法。 10

[特徴 8]

ペデスタルパラメーターを調整することは、次のように行われ、
 $P_{\text{ed_corrected}} = P_{\text{ed_stall}} * (1 + P_{\text{correctionfactor}})$ 、
ここで、 $P_{\text{ed_stall}} = P_{\text{r_actual}} * (P_{\text{ed_high}} - P_{\text{ed_low}}) / (P_{\text{r_high}} - P_{\text{r_low}}) + P_{\text{r_0}}$ であり、 $P_{\text{r_actual}}$ は、測定された圧力であり、 $P_{\text{ed_high}}$ 、 $P_{\text{ed_low}}$ は、工場調整プロセスの間に高圧力及び低圧力において得られたそれぞれのペデスタル値であり、 $P_{\text{r_0}}$ は、前記工場調整プロセスの終了時に求められた定数であり、

$P_{\text{correctionfactor}}$ は、前記設定点変更後に反復して調整され、ここで、前記バルブ応答が過度に速い場合には、前記 $P_{\text{correctionfactor}}$ は、少しずつディクリメントされ、前記応答が過度に遅い場合には、前記 $P_{\text{correctionfactor}}$ は、少しずつインクリメントされる特徴 3 に記載の方法。 20

[特徴 9]

前記ペデスタルパラメーターは、メモリに保存される特徴 8 に記載の方法。

[特徴 10]

前記質量流量制御器は、前記プロセッサを用いて、メモリに保存された前記ペデスタルパラメーターに基づいて電力サイクル後に補正を引き続き行う命令を実行するように更に構成されている特徴 9 に記載の方法。

[特徴 11]

質量流量制御器であって、
流体を受け取る流入口と、 30
前記流体が該質量流量制御器を通過する流路と、
前記流路を通る前記流体の質量流量に対応する信号を提供する質量流量センサーと、
該質量流量制御器の流出口から出る前記流体の流量を調整するバルブと、
以下の作用をなす命令を実行するように構成された少なくとも 1 つの処理構成要素とを具備し、

前記作用は、

ゼロから非ゼロへの設定点変更の初期応答の間に流量を監視することと、
バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することと、
前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっていないとの判断に応答して、前記バルブ応答を補正する自己調整を自動的に行うこととを含んで成る質量流量制御器。 40

[特徴 12]

前記バルブ応答を補正する前記自己調整は、制御ループの比例、積分、及び微分 (PID) のパラメーターを調整することを含む特徴 11 に記載の質量流量制御器。

[特徴 13]

前記バルブ応答を補正する前記自己調整は、ペデスタルパラメーターを調整して、経時的に発生する変化を補正することを含む特徴 11 に記載の質量流量制御器。

[特徴 14]

前記バルブ応答を補正する前記自己調整は、流入口圧力の関数としてペデスタルを調整することを含む特徴 11 に記載の質量流量制御器。

[特徴 15]

10

20

30

40

50

前記バルブペデスタル値を流入口圧力の関数として調整することは、次のように求められ、

$$\text{Pedestal} = \text{Pr}_{\text{actual}} * (\text{Ped}_{\text{high}} - \text{Ped}_{\text{low}}) / (\text{Pr}_{\text{high}} - \text{Pr}_{\text{low}}) + \text{Pr}_0$$

ここで、 $\text{Pr}_{\text{actual}}$ は、測定された圧力であり、 Ped_{high} 、 Ped_{low} は、工場調整プロセスの間に高圧力及び低圧力において得られたそれぞれのペデスタル値であり、 Pr_0 は、前記工場調整プロセスの終了時に求められた定数である特徴 14 に記載の質量流量制御器。

[特徴 16]

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっているか否かを判断することは、最終設定点の第 1 のパーセンテージに達する第 1 の測定された値を求めることと、前記最終設定点の第 2 のパーセンテージに達する第 2 の測定された値を求めるのことと、を含む特徴 11 に記載の質量流量制御器。

[特徴 17]

前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっているか否かを判断することは、前記流量が前記最終設定点を最初に通過する時に発生するオーバーシュートの第 3 の測定された値を求ること、を更に含む特徴 16 に記載の質量流量制御器。

[特徴 18]

ペデスタルパラメーターを調整することは、次のように行われ、

$$\text{Ped}_{\text{corrected}} = \text{Pedestal} * (1 + \text{P}_{\text{correctionfactor}}),$$

ここで、 $\text{Pedestal} = \text{Pr}_{\text{actual}} * (\text{Ped}_{\text{high}} - \text{Ped}_{\text{low}}) / (\text{Pr}_{\text{high}} - \text{Pr}_{\text{low}}) + \text{Pr}_0$ であり、 $\text{Pr}_{\text{actual}}$ は、測定された圧力であり、 Ped_{high} 、 Ped_{low} は、工場調整プロセスの間に高圧力及び低圧力において得られたそれぞれのペデスタル値であり、 Pr_0 は、前記工場調整プロセスの終了時に求められた定数であり、

$\text{P}_{\text{correctionfactor}}$ は、前記設定点変更後に反復して調整され、ここで、前記バルブ応答が過度に速い場合には、前記 $\text{P}_{\text{correctionfactor}}$ は、少しずつディクリメントされ、前記応答が過度に遅い場合には、前記 $\text{P}_{\text{correctionfactor}}$ は、少しずつインクリメントされる特徴 13 に記載の質量流量制御器。

[特徴 19]

前記ペデスタルパラメーターは、メモリに保存される特徴 18 に記載の質量流量制御器。

[特徴 20]

質量流量制御器を改良するための方法であって、該方法は、前記質量流量制御器が、プロセッサを用いて、

ペデスタルを流入口圧力の関数として調整することと、ゼロから非ゼロへの設定点変更の初期応答の間に流量を監視することと、バルブ応答が許容限度内に収まっているか否かを判断することと、前記バルブ応答が前記許容限度内に収まっていないとの判断に応答して、前記バルブ応答を補正する自己調整を自動的に行うこととを含む動作を行う命令を実行することを含む質量流量制御器を改良するための方法。

【符号の説明】

【0039】

100	質量流量制御器
102	センサーハウジング
108	基部
110	プロック
112	圧力変換器
120	流体流入口
130	流体流出口

10

20

30

40

50

- 140 質量流量センサー
 142 バイパス
 146 熱式流量センサー
 146A センサー流入口部分
 146B センサー流出口部分
 146C センサー測定部分
 147 上流抵抗器
 148 下流抵抗器
 150 バルブアセンブリ
 158 電気導体
 159 電気導体
 160 制御器
 170 制御バルブ

10

【図1】

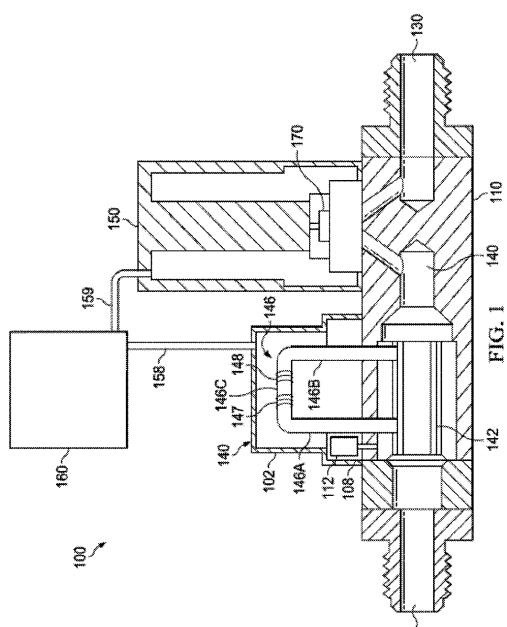
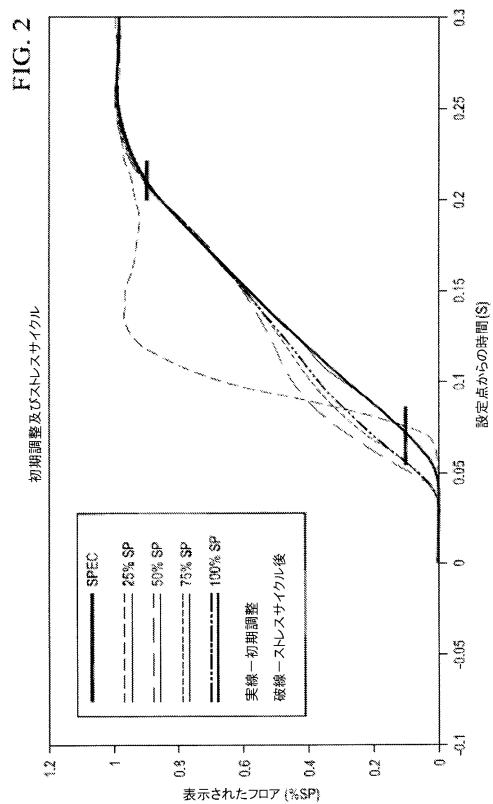
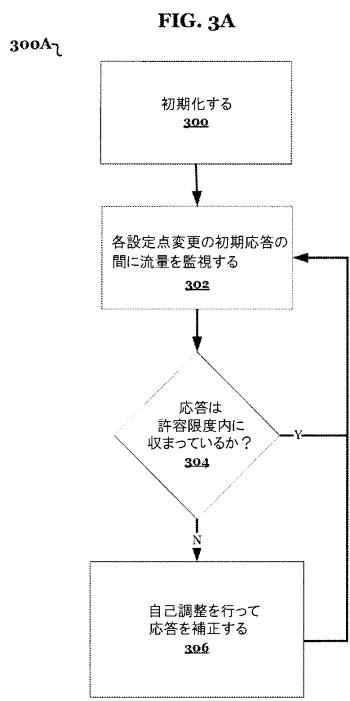


FIG. 1

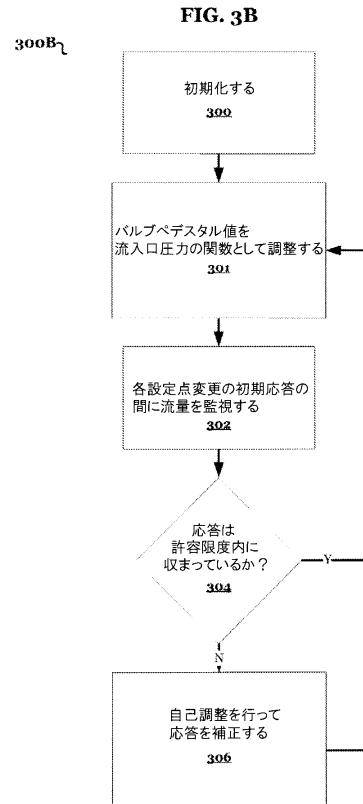
【図2】



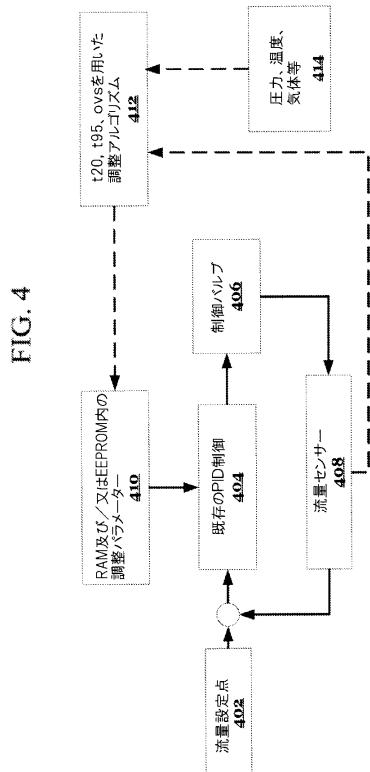
【図3A】



【図3B】



【図4】



フロントページの続き

(74)代理人 100147555

弁理士 伊藤 公一

(74)代理人 100171251

弁理士 篠田 拓也

(72)発明者 ウィリアム エス . バレンタイン

アメリカ合衆国 , イリノイ 60025 , グレンビュー , ハーレム アベニュー 155 , シー / オ
ー イリノイ トゥール ワークス インコーポレイティド

(72)発明者 クリストフ エルク

アメリカ合衆国 , イリノイ 60025 , グレンビュー , ハーレム アベニュー 155 , シー / オ
ー イリノイ トゥール ワークス インコーポレイティド

審査官 永田 和彦

(56)参考文献 特表2005-534110 (JP, A)

国際公開第2011/135826 (WO, A1)

特表平6-502942 (JP, A)

国際公開第2013/022697 (WO, A1)

特開平2-194409 (JP, A)

特表2005-534014 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D 7/00 - 7/06 ,

G01F 1/68 - 1/699 , 25/00