

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6234584号
(P6234584)

(45) 発行日 平成29年11月22日 (2017.11.22)

(24) 登録日 平成29年11月2日 (2017.11.2)

(51) Int. Cl.	F I
F O 4 B 49/06 (2006.01)	F O 4 B 49/06 3 2 1 Z
F O 4 B 43/04 (2006.01)	F O 4 B 43/04 A
F O 4 B 49/20 (2006.01)	F O 4 B 49/20
F O 4 B 17/04 (2006.01)	F O 4 B 17/04

請求項の数 13 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2016-537237 (P2016-537237)	(73) 特許権者	514226590
(86) (22) 出願日	平成26年8月21日 (2014. 8. 21)		プロミネント ゲーエムベーハー
(65) 公表番号	特表2016-530444 (P2016-530444A)		P R O M I N E N T G M B H
(43) 公表日	平成28年9月29日 (2016. 9. 29)		ドイツ、 6 9 1 2 3 ハイデルベルグ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2014/067816		イム シューマッハーゲヴァン 5-1 1
(87) 国際公開番号	W02015/028385	(74) 代理人	110001368
(87) 国際公開日	平成27年3月5日 (2015. 3. 5)		清流国際特許業務法人
審査請求日	平成28年9月2日 (2016. 9. 2)	(74) 代理人	100129252
(31) 優先権主張番号	102013109410.4		弁理士 昼間 孝良
(32) 優先日	平成25年8月29日 (2013. 8. 29)	(74) 代理人	100155033
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		弁理士 境澤 正夫
早期審査対象出願		(74) 代理人	100138287
			弁理士 平井 功

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 容積型ポンプにおける物理変数の算出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

容積型ポンプの、少なくとも一つの物理変数を算出する方法であって、前記容積型ポンプは、吸引ラインと圧力ラインとに弁で接続されている計量室を区画する可動のディスプレイサ要素を有し、前記ディスプレイサ要素の揺動運動により、前記吸引ラインでの供給流体の前記計量室への吸引と、前記圧力ラインでの前記計量室からの吐出とが交互に実行され、前記ディスプレイサ要素を揺動運動させる電磁駆動装置が設けられ、前記ディスプレイサ要素のために物理モデルに基づく微分方程式が確立され、少なくとも前記ディスプレイサ要素の位置が測定され、前記微分方程式によって前記物理変数が算出され、容積型ポンプの計量室内の供給流体の流体圧力 p が、前記物理変数として算出される方法において、算出された流体圧力が、所定の最大値に達する又はこれを超える場合、警告信号が出力され、前記警告信号の受信により、流量調節ポンプを停止するよう構成された自動停止機構へと前記警告信号が送信され、

前記容積型ポンプの油圧パラメータが算出され、油圧系統のために前記油圧パラメータと共に物理モデルが確立され、前記ディスプレイサ要素の位置に加えて、前記計量室内の流体に対して前記ディスプレイサ要素がかける力、又は前記計量室内の圧力が算出され、少なくとも一つの油圧パラメータが最適化演算により算出されることを特徴とする方法。

【請求項 2】

容積型ポンプの、少なくとも一つの物理変数を算出する方法であって、前記容積型ポンプは、吸引ラインと圧力ラインとに弁で接続されている計量室を区画する可動のディス

レーサ要素を有し、前記ディスプレイサ要素の揺動運動により、前記吸引ラインでの供給流体の前記計量室への吸引と、前記圧力ラインでの前記計量室からの吐出とが交互に実行され、前記ディスプレイサ要素を揺動運動させる電磁駆動装置が設けられ、前記ディスプレイサ要素のために物理モデルに基づく微分方程式が確立され、少なくとも前記ディスプレイサ要素の位置が測定され、前記微分方程式によって前記物理変数が算出され、容積型ポンプの計量室内の供給流体の流体圧力 p が、前記物理変数として算出される方法において、前記ディスプレイサ要素の移動サイクルにおいて、目標流体圧力曲線、前記ディスプレイサ要素の目標位置曲線及び/又は前記電磁駆動装置を流れる目標電流パターンが提供され、算出された流体圧力は目標流体圧力と比較され、前記ディスプレイサ要素の実際の位置は前記ディスプレイサ要素の目標位置と比較され、及び/又は前記電磁駆動装置を流れる実際の電流は前記電磁駆動装置を流れる目標電流と比較され、実際の値と目標値との差が所定基準を満たす場合、警告信号が出力されることを特徴とする方法。

10

【請求項 3】

容積型ポンプの、少なくとも一つの物理変数を算出する方法であって、前記容積型ポンプは、吸引ラインと圧力ラインとに弁で接続されている計量室を区画する可動のディスプレイサ要素を有し、前記ディスプレイサ要素の揺動運動により、前記吸引ラインでの供給流体の前記計量室への吸引と、前記圧力ラインでの前記計量室からの吐出とが交互に実行され、前記ディスプレイサ要素を揺動運動させる電磁駆動装置が設けられ、前記ディスプレイサ要素のために物理モデルに基づく微分方程式が確立され、少なくとも前記ディスプレイサ要素の位置が測定され、前記微分方程式によって前記物理変数が算出される方法において、前記ディスプレイサ要素の質量 m 、前記ディスプレイサ要素に予応力をかけるばねのばね定数 k 、前記ディスプレイサ要素の減衰 d 、又は前記電磁駆動装置の電気抵抗 R_{cu} が物理変数として算出されることを特徴とする方法。

20

【請求項 4】

前記容積型ポンプは、電磁駆動される流量調節ポンプであることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記ディスプレイサ要素の位置以外に、前記電磁駆動装置を流れる電流が測定され、前記微分方程式は、前記ディスプレイサ要素の位置と、前記電磁駆動装置を流れる電流とを測定変数として使用することを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

30

【請求項 6】

前記目標値からの相対偏差の加重和が決定され、前記加重和が所定値を超えた場合、警告信号が出力されるように前記基準が選択されることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 7】

複数の基準が事前に決められ、不具合事象が各基準と関連付けられ、基準が満たされると、前記関連付けられた不具合事象が診断されることを特徴とする請求項 2 又は 6 に記載の方法。

【請求項 8】

モデルベース閉ループ制御が前記電磁駆動装置に使用されることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 9】

前記ディスプレイサ要素の前記検出された実際の位置プロファイルと、前記ディスプレイサ要素の所定目標位置プロファイルとの差が、吸引 - 圧力サイクル時に検出され、前記検出された差の少なくとも一部と、前記所定目標位置プロファイルとの差が、次の吸引 - 圧力サイクルの目標位置プロファイルとして使用されることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記容積型ポンプの油圧パラメータが算出され、油圧システムのために前記油圧パラメータと共に物理モデルが確立され、前記ディスプレイサ要素の位置に加えて、前記計量室内の

50

流体に対して前記ディスプレイサ要素がかける力、又は前記計量室内の圧力が算出され、少なくとも一つの油圧パラメータが最適化演算により算出されることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記計量室内の流体の密度及び/又は粘度が前記油圧パラメータとして算出されることを特徴とする請求項 1 又は 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記吸引ラインの弁が開状態であつ前記圧力ラインの弁が閉状態である場合、及び/又は前記吸引ラインの弁が閉状態であつ前記圧力ラインの弁が開状態である場合に、前記物理モデルが設定され、前記吸引ラインの弁が開状態であつ前記圧力ラインの弁が閉状態である場合、又は前記吸引ラインの弁が閉状態であつ前記圧力ラインの弁が開状態である場合に、開弁時間が算出され、前記開弁時間の算出結果により、前記物理モデルが選択されることを特徴とする請求項 1 0 又は 1 1 に記載の方法。

10

【請求項 1 3】

前記油圧パラメータの算出後、前記供給流体により、前記ディスプレイサ要素にかかる力の判定に前記物理モデルが使用され、前記判定された力が前記ディスプレイサ要素の移動に対する閉ループ制御に使用されることを特徴とする請求項 1 0 ~ 1 2 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0 0 0 1】

本発明は、容積型ポンプにおける物理変数の算出方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

一般に容積型ポンプは、吸引ラインと圧力ラインとに弁で順に接続された計量室を画定する可動ディスプレイサ要素を有する。これにより、吸引ラインでのディスプレイサ要素の揺動運動による供給流体の計量室への吸引と、圧力ラインでの計量室からの吐出とが交互に実行される。上記目的のため、ディスプレイサ要素を揺動運動させる駆動装置が提供される。

【0 0 0 3】

30

例えば、ディスプレイサ要素が、二つの端部間を往復可能なダイアフラムとして構成され、第一端部では計量室の容積が最小となり、第二端部では最大となる、電磁駆動ダイアフラムポンプがある。このダイアフラムが第一位置から第二位置に移動すると、計量室の圧力が下がり、供給流体は、吸引ラインによって計量室へと吸引される。復路、即ち、第二位置から第一位置への移動では、吸引ラインとの接続が閉じられ、計量室の容積が下がることにより、供給流体の圧力が上昇する。そして圧力ラインへの弁が開いて供給流体が圧力ラインへと供給される。ダイアフラムの揺動運動により、供給流体の吸引ラインから計量室への吸引と、計量室から圧力ラインへの供給とが交互に行われる。圧力ライン内の供給流体の流れを計量プロファイルとも呼ぶ。この計量プロファイルは、ディスプレイサ要素の移動プロファイルによって概ね決定される。

40

【0 0 0 4】

電磁気駆動されるダイアフラムポンプは、ほとんどの場合、ソレノイド内の少なくとも一部が弾性的に圧縮応力を予め付与された状態で支持された圧力部に接続されている。このソレノイドに電流が流れず、内部に磁束が形成されなければ、弾性予応力により、圧力部とダイアフラムは所定位置、例えば、第二位置、即ち、計量室の容積が最大となる位置に留まる。

【0 0 0 5】

電流がソレノイドに印加された場合、磁束が発生し、適切に設計された圧力部をソレノイド内の第二位置から第一位置へと移動させ、計量室の供給流体がそこから圧力ラインへと供給される。

50

【 0 0 0 6 】

ソレノイドの起動により、圧力部と計量ダイヤフラムの第二位置から第一位置へのストローク移動が急に発生する。

【 0 0 0 7 】

一般に、上記電磁駆動ダイヤフラムポンプは、計量される流体容積が、計量室の容積よりはるかに大きいときに使用され、計量速度は、ソレノイドを流れる電流の周波数やサイクルによって実質的に決まる。例えば、計量速度が二倍になると、ソレノイドには同時に二倍の周波数の電流が一時的に付加される。これによって、ダイヤフラムの移動サイクルが二倍になる。

【 0 0 0 8 】

上記の磁気流量調節ポンプは、例えば、欧州特許第 1 7 5 7 8 0 9 号明細書に記載されている。

【 0 0 0 9 】

しかしながら、このような磁気流量調節ポンプの使用は、ストローク移動全体を通して急な計量動作とならないよう、低計量速度のみが要求される場合に限界がある。

【 0 0 1 0 】

上記欧州特許第 1 7 5 7 8 0 9 号明細書では、圧力部またはこれに接続されているダイヤフラムの位置を決めることができる位置センサの設置が提案されている。その移動の閉ループ制御は、圧力部の実際の位置と、その所定目的位置とを比較することで実行される。

【 0 0 1 1 】

圧力部の移動を閉ループ制御することで、ストローク移動は急にではなく、通常通り発生するため、非常に少量の流体の供給にも、磁気流量調節ポンプを使用することができる。

【 0 0 1 2 】

例えば、特に計量流量が非常に少ないと、実際の計量動作の最初と最後を決める、流量調節ポンプの弁の開閉時間が主に重要になる。

【 0 0 1 3 】

更に、油圧システムの気泡及び/又は計量ユニットのポンプヘッドの空洞化現象により、実際の計量流量が小さくなり、特に計量流量が非常に少ない場合、計量精度はかなり低下する。

【 0 0 1 4 】

原則的には、例えば、圧力センサによる計量室の流体圧力を計測し、また計測結果を使用して、例えば、油圧システムの気泡や計量ヘッドの空洞化現象及び/又は過圧など、計量ヘッド内の工程について結論付けることは可能である。

【 0 0 1 5 】

しかしながら、このような圧力センサは、流量調節ポンプのコストを上昇させ、故障しやすいため、保守が必要となる。

【 0 0 1 6 】

特に流量調節ポンプが食品工業で使用される場合、定期的に徹底した計量室の清掃が必要となる。

【 0 0 1 7 】

清掃作業の際、例えば、接合部に形成される全ての凹部から製品の流体残渣をくまなく除去することになっている。圧力流体に接するセンサを追加すると、清掃作業の複雑さと労力が増すこととなり、センサと計量室間の接合部の清掃も更に必要となる。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 8 】

従って、本発明の目的は、余分なセンサを使用することなく変数を算出できる、例えば、流体圧力などの物理変数の算出方法を提供することにある。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

本発明によれば、ディスプレイサ要素において、物理モデルに基づき微分方程式が成立し、少なくともディスプレイサ要素の位置が測定され、例えば、流体圧力などの物理変数が微分方程式で算出されるという目的が達成される。例えば、微分方程式は、運動方程式としてよい。運動方程式という用語は、外的な影響下でのディスプレイサ要素の空間的かつ時間的な移動を記述する方程式を表す際に使用される。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 0 】

本発明は、特許請求の範囲に記載の請求項 1 ~ 1 3 に記載の発明である。

本発明は、まず流体圧力の算出の例に関して説明する。ただし、本発明は、流体圧力の算出に限定されることはない。その他の例は、後で説明する。

10

【 0 0 2 1 】

ディスプレイサ要素の位置は、例えば、非接触状態で測定でき、いずれの場合においても、一般的に上記の流量調節ポンプで実施され、ディスプレイサ要素の現状の位置情報が得られる。ディスプレイサ要素の運動方程式は、これに作用する全ての力を考慮するものである。駆動装置によりディスプレイサ要素にかけられる力とは別に、計量室の流体圧力により付加される、上記力を相殺する力が、ダイヤフラム、そしてディスプレイサ要素にかけられる。

【 0 0 2 2 】

従って、駆動装置によりディスプレイサ要素にかけられた力が既知であるなら、計量ヘッド内の流体圧力についての結論は、ディスプレイサ要素の位置又はその位置から推測される速度、又は加速度から引き出される。

20

【 0 0 2 3 】

好ましい実施形態において、容積型ポンプは、電磁駆動の流量調節ポンプであり、好適には、電磁駆動のダイヤフラムポンプである。

【 0 0 2 4 】

この場合、ディスプレイサ要素の位置とは別に、電磁駆動装置を流れる電流も計測され、微分方程式が、測定変数としてのディスプレイサ要素の位置と、電磁駆動装置を流れる電流との両方に対して使用される。一般に、さらに測定変数が検出される必要はない。駆動装置によりディスプレイサ要素にかかる力は、ディスプレイサ要素の位置の測定と、電磁駆動装置に流れる電流の測定とにより決まり、計量ヘッドの圧力は、ディスプレイサ要素の移動から決定可能である。

30

【 0 0 2 5 】

例えば、実際の流体圧力が所定最大値に達するか、これを上回る場合、警告信号が自動停止機構へと出力され、警告信号の受信に応じて、流量調節ポンプを停止させる。従って、何らかの理由で弁が開かないか、圧力ラインの圧力が大きく上昇した場合、圧力センサを使用することなく本発明に係る方法により確認することができ、安全のため、ポンプを停止することができる。基本的に、連繋された駆動装置を備えたディスプレイサ要素は、更に圧力センサの機能を果たす。

【 0 0 2 6 】

40

ディスプレイサ要素の移動サイクルに関する方法の別の好ましい実施形態において、目標流体圧力曲線、ディスプレイサ要素の目標位置曲線及び/又は電磁駆動装置を流れる目標電流パターンが得られる。この場合、実際の流体圧力は目標流体圧力と比較され、ディスプレイサ要素の実際の位置はディスプレイサ要素の目標位置と比較され、及び/又は電磁駆動装置を流れる実際の電流は電磁駆動装置を流れる目標電流と比較されて、実際の値と目標値との差が所定基準を満たす場合、警告信号が出力される。

【 0 0 2 7 】

上記方法の工程は、例えば、油圧系統内の気泡やポンプヘッドの空洞化などの現象により流体圧力が顕著に変化するという概念に基づき、このような現象についての結論は、流体圧力の決定工程から導出される。

50

【 0 0 2 8 】

警告信号により、例えば、光学ディスプレイや音響ディスプレイが起動する。しかしながら、上記のどちらか一方または組み合わせにおいて、警告信号の受信に応じて適切に対応する制御ユニットが、この信号を直接処理できるような構成としてよい。

【 0 0 2 9 】

最も簡単な事例では、実際の値と目標値との差は、一つ以上の計測変数又は所定変数に対して求められ、上記差のうちの一つが所定値を超えると、警告信号が出力される。

【 0 0 3 0 】

しかしながら、例えば、計量室の気泡や空洞化の発生などの発生しうる不具合の検出のみならず、これらを互いに区別するため、各不具合に固有の基準を定義することができる。

10

【 0 0 3 1 】

好ましい実施形態において、目標値からの相対偏差の加重和を決めることができ、この加重和が所定値を超える場合、警告信号が出力されるような基準が選択される。

【 0 0 3 2 】

異なる加重係数が、異なる不具合に関連付けられる。不具合の発生時、確実に一つの基準が適合し、不具合が診断されることが望ましい。

【 0 0 3 3 】

従って、計量ヘッドの圧力を決める工程は、圧力センサを必要とすることなく、上記方法により実施可能であり、計量ヘッドの所定状態についての結論は、上記で決定された圧力から導出され、所定の測定を開始させることができる。

20

【 0 0 3 4 】

本発明に係る方法により、圧力変数を正確に決めることができる。

【 0 0 3 5 】

更に別の実施形態において、計測変数又は所定変数の時間の勾配が確認され、これが所定制限值を超える場合、弁の開閉について診断される。

【 0 0 3 6 】

別の実施形態において、ディスプレイサ要素の質量 m 、ディスプレイサ要素に予応力を付加するばねのばね定数 k 、前記ディスプレイサ要素の減衰 d 、又は電磁駆動装置の電気抵抗 R_{Cu} が、物理変数として決められる。

30

【 0 0 3 7 】

特に好ましい実施形態では、上記変数全てが、例えば、最小化計算によって決定可能である。計量室の圧力以外の全ての規定変数は、実験で決定可能であり、ポンプが作動しても通常変化しない定数を示す。しかし、異なる要素についての疲労現象の発生する可能性があり、それによって定数の値は変わる。例えば、測定された圧力と移動の関係は、想定された圧力と移動の関係と比較される。両者の関係からのサイクルに取り込まれた上記の差は、一定のパラメータを変化させることで最小化することができる。上記の場合、例えば、ばね定数が変わる場合、ばねの不具合と診断することができる。

【 0 0 3 8 】

このような最小化動作は、計量室の流体が存在しない場合の無圧状態でも実施可能である。

40

【 0 0 3 9 】

本発明に係る方法は、上記好ましい実施形態において、より詳細には、従来必要とされた制御パラメータを用意することなしに圧力部の移動に対する閉ループ制御を向上させるためにさらに展開可能である。これにより、容積型ポンプで達成される計量プロファイルが向上する。

【 0 0 4 0 】

上記目的のため、モデルベースの閉ループ制御、特に非線形モデルベースの制御は、ディスプレイサ要素の駆動に使用される。

【 0 0 4 1 】

50

モデルベース制御の場合、できる限り完全な工程動力学としてのモデルが展開される。このモデルにより、システム変数の次の瞬間の動きを簡易に予測することができる。

【 0 0 4 2 】

上記モデルにより、適正な調整パラメータを算出することもできる。そのようなモデルベース制御の特徴は、モデルから得られるシステムパラメータを使用し、測定変数に基づく必要な調整パラメータの算出が同時進行で実行されていることにある。

【 0 0 4 3 】

基本的に、本来の物理システムは、モデル化によりほぼ数学的に記述される。上記数学的な記述は、取得した測定変数に基づく調整パラメータの計算に使用される。周知の計量プロファイル最適化方法とは異なり、駆動装置はもはや「ブラックボックス」として認識されない。それどころか周知の物理的關係は、調整パラメータの決定に使用される。本発明に係るディスプレイサ要素の微分方程式は、これを目的として使用可能である。

【 0 0 4 4 】

上記において好ましい実施形態では、容積型ポンプに特有であり、かつ圧力部に作用する力が、微分方程式においてモデル化される。例えば、ばねによって圧力部にかかる力又はそのばね定数 k 、及び/又は磁気駆動装置により圧力部にかかる磁力をモデル化することができる。供給流体によって圧力部にかかる力は、干渉変数として扱われる。

【 0 0 4 5 】

測定変数が検出された場合、そのような状態空間モデルにより、直後に行われるシステム動作が予測可能となる。

【 0 0 4 6 】

上記のように予見された後続の動作が、所望の所定動作から逸脱している場合、システム補正が適用される。

【 0 0 4 7 】

適切な作用を把握するため、閉ループ制御変数に対する使用可能な調整パラメータの作用が同じモデルでシミュレートされる。ある瞬間において最良の制御戦略が、周知の最適化方法により、適切に選択される。上記の代わりに、このモデルに基づき、一度限りの制御戦略を決定し、検出された測定変数に応じてそれを適用することもできる。

【 0 0 4 8 】

好ましい実施形態において、非線形状態空間モデルが選択され、制御 - リアプノフ関数、フラットベースのプリ制御されたフラットベース閉ループ制御方法、インテグレータバックステップ方法、スライドモード方法、又は予測閉ループ制御などにより、非線形閉ループ制御が実行される。この場合、制御 - リアプノフ関数による非線形閉ループ制御が好適である。

【 0 0 4 9 】

上記五つの方法はすべて数学的に周知であるため、詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 0 】

制御 - リアプノフ関数は、例えば、リアプノフ関数の一般化された記述である。適切に選択された制御 - リアプノフ関数により、モデルに即した安定な動作をもたらす。

【 0 0 5 1 】

言い換えれば、補正関数が計算され、基礎となるモデルにおいてその安定解をもたらす。

【 0 0 5 2 】

一般に、基本モデルにおいては実際のプロファイルと目標プロファイルとの差が小さくなるような複数の制御オプションがある。

【 0 0 5 3 】

好ましい実施形態において、モデルベース閉ループ制御の基礎を形成するモデルは、最適化の課題を定式化するために使用される。この最適化の第二条件として、電動機の電圧、即ち、流量調節ポンプへの供給エネルギーを可能な限り小さくして、同時に実際のプロファイルから目標プロファイルへの近似をできる限り早めることで、オーバーシュートを

10

20

30

40

50

減少することがあげられる。更にノイズの影響を抑えるため、基本モデルでの処理の前に、測定信号を低域フィルタにかけることが有利となる。

【0054】

更に特に好ましい実施形態において、吸引圧力サイクル中、ディスプレイサ要素の検出された実際の位置プロファイルと、ディスプレイサ要素の所望の目標位置プロファイルとの差が検出され、この差分が低減された、所望の目標位置プロファイルに対応する目標位置プロファイルが、次の吸引圧力サイクルで使用される。

【0055】

基本的に、ここでは自己学習システムが実施されている。本発明に係るモデルベース閉ループ制御により、制御特性は大きく向上したが、目標プロファイルと実際のプロファイルとの間には依然として偏差がある。特に制御調整時のエネルギー最小化の選択では、これは避けられない。少なくとも後のサイクルでの偏差を低減するため、サイクル中の偏差が検出され、検出された偏差は、次のサイクルの所望の目標位置プロファイルから、少なくとも部分的に減じられる。

【0056】

即ち、後続の圧力 - 吸引サイクルのため「誤った」目標値プロファイルが意図的に事前に設定され、「誤った」目標値プロファイルは、前のサイクルでの経験から算出される。詳細には、後続の吸引 - 圧力サイクルが、前のサイクルと同様に実際のプロファイルと目標プロファイルの全く同じ偏差を伴う場合、その「誤った」目標値プロファイルの使用により、実際の所望の目標値プロファイルが達成される結果となる。

【0057】

上記が基本的に可能であることは確かであり、システムの定期的な動作により、ある適用で一度だけ実行される自己学習工程、即ち、第一サイクルでの差の測定と、第二サイクル以降での目標値プロファイルの適切な補正で十分である。ただし、実際のプロファイルと目標プロファイルの差が定期的（サイクル毎が最も良い）に判定され、後続サイクルが考慮されるならば、特に好ましい。

【0058】

後続サイクルに、検出された差のわずかな部分だけをプロファイル補正として使用することも可能である。これは、目標値の突然の変化により、システムが不安定にならないよう、検出された差が大きすぎるような状況には特に有効である。

【0059】

更に、目標プロファイルと実際のプロファイルとの現状の差に基づき、プロファイル補正として使用される検出された差の一部の大きさを決めることができる。

【0060】

複数サイクル、例えば、2サイクルにわたって測定される実際のプロファイルと目標プロファイルとの差を測定可能であり、また、差の平均はここから算出可能であり、後続サイクルの目標プロファイルから、少なくとも一部が低減される。

【0061】

更に別の実施形態において、検出された差に依存する任意の関数を、次の目標位置プロファイルの補正に使用することができる。

【0062】

更に別の実施形態において、油圧パラメータを有する物理モデルが油圧システム用にも設定され、少なくとも一つの油圧パラメータが、最適化計算で算出される。

【0063】

油圧パラメータとは、ディスプレイサ要素の位置から離間し、計量室の供給流体の流れに影響を及ぼす油圧システムの任意のパラメータを意味する。

【0064】

油圧パラメータは、例えば、計量室内の供給流体の密度や粘度などである。他の油圧パラメータとしては、例えば、ホース長又はパイプ長、計量室に少なくとも一時的に接続されるホースやパイプの径があげられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

上記測定により、センサの追加を必要とすることなく、油圧パラメータを決めることができる。

【 0 0 6 6 】

容積型ポンプの固有プロパティは、計量室を吸引ライン及び圧力ラインに接続させる弁の一つが開閉されるたびに油圧系統が大きく変化することである。

【 0 0 6 7 】

この系統は、吸引ラインの弁が開き、圧力ラインの弁が閉じている状態を表すモデル化には最も簡易なものである。詳細には、撓みホースが吸引ラインの弁に頻繁に嵌めこまれ、その両端が大気圧下の供給コンテナ内に位置している。

10

【 0 0 6 8 】

上記の状況は、いわゆる吸引工程動作中、即ち、ディスプレイ要素が第二位置から第一位置への移動時に発生する。上記油圧系統は、例えば、層流や乱流において、非線形ナビエ - ストーク方程式で記述される。供給流体の密度や粘度の他に、吸引弁を供給コンテナにつなぐホースの径、ホース長及びホース内の流体が対処すべき高さの差は、油圧パラメータとして考慮される。

【 0 0 6 9 】

使用される各系統により、有意義な前提を更にたてることができる。例えば、周知の傾斜法やレーベンバーク - マルカートアルゴリズムでなされる最適化計算により、物理モデルに含まれ、計量ヘッドの圧力変化や、圧力部から得られる移動又は速度、加速度を最も良く表す油圧パラメータを決めることができる。

20

【 0 0 7 0 】

原則として、吸引工程実行に関する分析の繰り返しのみで、本発明に係る決定方法は実施される。

【 0 0 7 1 】

しかしながら、上記とは別に、吸引ラインへの弁が閉じ、圧力ラインへの弁が開いている状態について、油圧系統の物理モデルを検討することもできる。ただし、ポンプ製造業者は初期の段階において、流量調節ポンプの使用環境や、圧力ラインと計量室とをつなぐ圧力弁に接続される配管系などについての情報を得ていないため、一般的な前提のみを用いるものとする。圧力弁に接続された配管系の知識がないと、吸引工程中、油圧系統では一般に可能な物理モデルの正確な設定はできない。

30

【 0 0 7 2 】

特に好ましい実施形態において、上記両者の油圧系統の物理モデルが使用され、開弁時間が測定されるか決定され、開弁時間の決定結果により、それぞれ正しい物理モデルが選択される。基本的に本発明に係る方法は、吸引工程と圧力工程で個別に実施される。いずれの場合の値も実際は全く同じではなく、例えば、供給流体の密度や粘度などの油圧パラメータ用として取得される。原則として、異なる値を平均化することは可能であるものの、その場合、吸引工程中に物理モデルにおいて実際の状態がより良好に表されることにより、平均化する際に圧力工程で確認された値よりも吸引工程で得られた値が重み付けされるという事実を考慮しなければならない。

40

【 0 0 7 3 】

本発明に係る要領で油圧パラメータを決定後、この油圧パラメータにより、計量室の圧力を決定するため、設定された物理モデルを使用することができる。上記の知識は、流体により圧力部にかかる力を、上記のように決定された油圧パラメータでモデル化すれば、圧力部の移動調整を向上させるために使用可能である。

【 発明の効果 】

【 0 0 7 4 】

更なる利点、特徴及び想定されうる用途は、以下で説明する図面と共に、好ましい実施形態の説明により明確になる。

【 図面の簡単な説明 】

50

【 0 0 7 5 】

【図 1】通常状態の圧力 - 移動グラフ及び移動 - 時間グラフを示す図である。

【図 2】計量室内に気泡が発生した状態での圧力 - 移動グラフ及び移動 - 時間グラフを示す図である。

【図 3】望ましい移動プロファイルを示すグラフである。

【図 4】自己学習機能を示すグラフである。

【図 5】容積型ポンプに接続された吸引ラインを示す図である。

【図 6】(a) ~ (e) は、油圧パラメータと時間についてのそれらの推移をそれぞれ示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【 0 0 7 6 】

本発明に係る方法は、磁気流量調節ポンプに関してなされた。好ましい実施形態において、そのような流量調節ポンプは、スラストロッドが固定され接続されている可動圧力部を有する。この圧力部は、ポンプハウジング内に堅固に固定された磁気ケースの長手方向の軸に沿って移動可能に軸支されており、スラストロッドを備える圧力部は、磁気ケース内の磁気コイルの電氣的作動により、圧縮ばねの力に反して磁気ケースの穴へと引き込まれる。その後圧力部は、ソレノイドの停止後、圧縮ばねにより、最初の位置に戻る。このような一連の動作は、磁気コイルの起動と停止を連続して実行する際、圧力部とこれに作動されるダイアフラムが、排出弁と吸込弁に関連し、縦軸方向に配置された計量ヘッドで揺動運動し、ポンプ工程（圧力工程）と吸入工程（吸引工程）とが発生する。磁気コイルは、コイルに電圧を印加することで作動される。圧力部の移動は、時間経過に伴うコイルの電圧パターンにより決まる。

20

【 0 0 7 7 】

圧力工程と吸引工程の持続時間が同じである必要はない。吸引工程では計量は実行されず、計量室は供給流体で満たされる。これに対して吸引工程をできるだけ早くする場合は有利だが、圧力室に空洞化を発生させないように注意がなされる。

【 0 0 7 8 】

本発明において、磁気システムの状態を表す（非線形）モデルが考案されている。

【 0 0 7 9 】

好ましい実施形態に、以下のモデルが適用される。

30

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\Phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \frac{1}{m}(-d\dot{x} - kx - F_{vor} + F_p + K_L(\delta)\Phi^2) \\ \frac{1}{N_1}(-R_{cu} \frac{R_{m_{ges}}(\delta, \Phi)}{N_1} \Phi + u) \end{bmatrix}$$

m : 圧力部の質量

: 磁束

40

$K_L ()^2$: 磁力

N_1 : 巻数

u : 電圧

d : 減衰

k : ばね定数

F_{vor} : ばねの予応力により圧力部にかかる力

F_p : 供給室内の流体圧力により圧力部にかかる力

$R_{m_{ges}} (,)$: 磁気抵抗

R_{cu} : コイルのオーム抵抗

x : 圧力部の位置

50

： 電機子と磁石間の間隙の大きさ

【 0 0 8 0 】

上記は非線形微分方程式システムであり、開始点から始動する、システムの後続動作についての予測を提供することができる。

【 0 0 8 1 】

圧力部の位置と磁気駆動装置を流れる電流、即ち、供給室内の流体圧力により圧力部にかかる力 F_p は、唯一の未知変数である。従って、このモデルを用いると、供給室内の流体圧力により圧力部にかかる力を決めることができる。流体圧力がかかる圧力部の領域は既知であるため、流体圧力はこの力から算出可能である。

【 0 0 8 2 】

電磁流量調節ポンプシステムの非線形システムの上述の記載により、モデルベースの診断方法の使用が可能となる。上記目的のため、システムモデルの状態パラメータが評価され、電磁流量調節ポンプのポンプヘッドの圧力が決まる。必要な電流センサと位置センサは、上記の場合、制御目的のためポンプシステムに既に設置されているので、流量調節ポンプの構造を付加しなくても、その情報が利用可能となる。状態パラメータの時間変化と、ポンプの計量ヘッド内の圧力の時間変化に基づき診断アルゴリズムを実行できる。

【 0 0 8 3 】

従って、例えば、工程側の過圧やポンプの自動停止のモデルベースの診断を実施することができる。

【 0 0 8 4 】

例えば、システムモデルの連繫された状態パラメータの時間勾配を判定、評価することで、弁の開閉時間が認識可能となる。所定限界値により状態勾配を超える、或いは下回る状態であるかを検出可能であり、弁の開閉時間が識別される。

【 0 0 8 5 】

また、圧力部の位置により圧力を決定し、評価動作から弁の開閉時間を推測することができる。図 1 の左側は、対応する圧力 - 移動グラフである。図 1 の右側は、これに関連する移動 - 時間グラフである。その移動 - 時間グラフは、時間の経過による圧力部の移動を示す。グラフから、圧力部は、まず開始位置 1 ($x = 0 \text{ mm}$) から前方に移動し、計量室 (圧力相) の容積が減少することがわかる。時間 3 にて圧力部は最大値に達し、再び開始位置へと戻る (吸引相) 。

【 0 0 8 6 】

図 1 の左側は、関連する圧力 - 移動グラフである。圧力部が位置 1 にある座標原点から時計回り方向の移動を示す。圧力相において、圧力が圧力ラインの弁の開位置に達するまで、初め計量室内の圧力部は急激に上昇する。圧力弁が開くと、速やかに計量室内の圧力がほぼ一定となる。その開弁点を参照 2 により示す。図 1 の右側にも示されているように、計量動作はこのときから始まる。圧力部が更に移動して、計量流体が圧力ラインへと供給される。圧力部が最大位置 (時間 3) に達するとすぐに、圧力部の移動は逆方向となり、圧力弁が速やかに閉じられ、計量室内の圧力は再び低下する。圧力が最低になると (時間 4) 、速やかに吸引弁が開き、計量室と吸引ラインとが接続され、開始位置に再び達するまで、計量流体が計量室へと供給される。

【 0 0 8 7 】

閉弁時間は、圧力部の移動の最大値として、移動 - 時間グラフから決定可能である。特に、実際には圧力 - 移動グラフの「角部」に丸みがつけられているので、時間 2 及び時間 4、即ち、開弁時間の決定はそれほど簡単ではない。従って、例えば、圧力 - 移動グラフの位置 1 から始まり、最大圧力値の 90% に達すると (位置 3)、その移動を読み取って、圧力 - 移動グラフの位置 1 と位置 2 の間の勾配を決定することができる。90% の曲線が点線で示されている。結果として得られる直線は、開弁時間において曲線 $p = p_{\max}$ と交差する。時間 4 も同様に決定することができる。上記の決定動作は、各サイクル毎になされ、後のサイクルでその結果が使用される。このように、開弁時間の变化も検出される。

【 0 0 8 8 】

油圧系統の気泡、計量ユニットのポンプヘッドの空洞化及び/又は計量ユニットの弁の開閉時間などは、各状態パラメータの目標の軌道と実際の軌道とを比較することで診断可能である。特に、目標の軌道と実際の軌道と間で所定の故障制限値を超えると、警告信号が発信され、これに伴い対応がなされる。

【 0 0 8 9 】

例を図2に示す。この図でも、左側は圧力 - 移動グラフ、右側は移動 - 時間グラフである。同図の右側のグラフは、図1の対応するグラフと同じである。油圧系統内に圧縮された気泡がある場合、時間2'においてのみ圧力弁が開き、時間4'においてのみ吸引弁が開くことになる。開弁時間の顕著な移行を、「計量室内に空気が存在する」状態について
10
の診断に使用することができる。開弁時間4'においてのみ空洞化があり、開弁時間2'の移行が無い場合、このような動作を「空洞化」状態についての診断に使用することができる。

【 0 0 9 0 】

それぞれ連繫されたシステムの状態パラメータの分析により、ここに記載のモデルベース方法は、以前の診断と比較して、より広範でかつより高度なレベルの診断を実現することができる。

【 0 0 9 1 】

また、低コストのセンサシステムで、信頼性の高い診断を確実に達成することができる。質の高い診断とは、計量精度を大幅に向上させ、電磁流量調節ポンプシステムの使用領域が、特定の状況で強化されることを意味する。
20

【 0 0 9 2 】

更に、そのモデルにより、目標曲線と実際の曲線との間に偏差が存在する可能性があるか、或いは既に偏差が存在しているかを識別することができる。このモデルを制御時の調整作業で発生しうる影響の算出に使用することもできる。

【 0 0 9 3 】

リアルタイムでは、電流の強さや圧力部の位置の測定により、システムの構成が決まると想定されている。制御時の調整作業、即ち、磁気コイルの電圧の変化を算出することができ、そのシステムは所望の方向に再度移動可能である。

【 0 0 9 4 】

圧力部を移動させるため、図3に示すように、圧力部の移動について、閉ループ制御を実行しなければならない。
30

【 0 0 9 5 】

閉ループ制御において、システム内での複数の調整作業方法が想定される。従って、動的システムの安定解を任意のタイミングで求めることができる。このような演算工程は、演算パワーが許す範囲の頻度で連続して繰り返され、最適な閉ループ制御が達成される。

【 0 0 9 6 】

一般的に、ここで提案されたモデルにより、動的システムの新たな安定解をその都度決める必要はない。一般に、圧力部の位置、磁気駆動装置の電圧やその後の閉ループ制御のための補正関数の使用などの測定変数に基づいて、適正な補正関数を一度決めれば十分である。
40

【 0 0 9 7 】

閉ループ制御に関わらず、選択されたモデルは常に望ましい状態を示しているため、目標値と実際の値との間には必然的に偏差が生じる。更に、検出された測定変数は、常にエラー（ノイズ）の影響を受ける。

【 0 0 9 8 】

実際のプロファイルと目標プロファイルとの差をさらに小さくするため、このような差を圧力 - 吸引サイクル時に測定し、測定した差と所望の目標プロファイルとの合計を後続サイクルの目標プロファイルとして用いる。即ち、上記を用いることは、圧力 - 工程サイクルが繰り返されることを意味する。後続サイクルの目標値プロファイルは、実際に所望
50

されている目標値プロファイルから逸脱している。

【0099】

図4は、自己調整原理を模式的に示す説明図である。Y軸は圧力部の位置、X軸は時間を示す。

【0100】

第一サイクルにおいて、閉ループ制御に使用される目標プロファイルを破線で示す。この目標プロファイルは、参照プロファイルとしての第三サイクルとの比較目的で再現された所望の目標プロファイルに対応している。本発明に係るモデルベースの閉ループ制御にかかわらず、実際のプロファイルは目標プロファイルから逸脱している。図4の第一サイクルにおいて、実際のプロファイル例を実線で示す。この場合、実際のプロファイルと目標プロファイルとの偏差は、実際よりも明確な形で示されている。

10

【0101】

第二サイクルにおいて、第一サイクルの実際のプロファイルと参照プロファイルとの差は、第一サイクルに使用された目標プロファイルから軽減され、この差が第二サイクル時の閉ループ制御の目標プロファイルとして使用される。このようにして得られた目標プロファイルは、第二サイクルでは破線で示されている。

【0102】

第二サイクルでの実際のプロファイルは目標プロファイルから逸脱しており、その程度は第一サイクルの場合と同程度であることが望ましい。その結果、実際のプロファイルは参照プロファイルに対応することとなる（第二サイクルでは実線で示される）。

20

【0103】

物理モデルのデザイン、特に、計量室での油圧工程や電磁流量調節ポンプシステムの計量室に接続されたラインなど非線形システムの記述により、リアルタイムでモデルベースの識別方法を使用することができる。上記目的のため、油圧パラメータ、即ち、油圧モデルの状態パラメータが評価され、システム力学や油圧工程のパラメータが決定される。

【0104】

ディスプレーサ要素の位置や、これから推測可能なディスプレーサ要素の速度や加速度、及び計量室の圧力は、ダイヤフラムにより供給流体にかけられる力によって、測定変数又は決定されるべき外部変数として決めることができる。

【0105】

30

一般に、特定の容積型ポンプでは、吸引ラインは吸引弁を供給コンテナに接続するホースを備えており、図5に示すように、吸引工程、即ち、圧力弁が閉じていると共に、吸引弁が開いている状態における油圧システムが簡易な形式で示される。吸引ラインは、径 D_s でかつ長さ L のホースを備える。このホースは、高さの差 Z をつなぐものである。

【0106】

吸引ラインが一定の径を有し、延長することができず、非圧縮性の流体を使用する場合、非線形ナビエ-ストーク方程式を簡易化することができる。

【0107】

例えば、傾斜法やレーベンバーグ-マルカートアルゴリズムなど周知の最適化方法により、油圧パラメータが決定され、これに基づくモデルは、圧力部の測定又は決定された位置及び計量室内の測定又は決定された圧力を最も良好に記述することができる。

40

【0108】

図6(a)～図6(e)は、供給流体として、例えば、グリセリンが使用され、油圧パラメータ（点線）及び本発明に係る方法から得られた時間に対する値（実線）をそれぞれ示す。

【0109】

例えば、図6(a)は供給流体の密度を示し、その密度は約 1260 kg/m^3 （点線）である。本発明に係る方法は、約100秒内で密度を決める立場にあることがわかる。時間 $t=0$ 秒では、所定値は実際の値をはるかに下回っていることが明確にわかる。同時進行で最適化を進めることで、密度に関して本発明に係る方法により決定された値は、真値

50

(実線)に近づいている。

【0110】

上記は、ホース長 L (図6(b)参照)、高さの差 Z (図6(c)参照)、ホース径 (図6(d)参照) 及び粘度 (図6(e)参照) についても同様に適用される。

【0111】

本発明に係る方法により決定されたパラメータは、油圧系統により圧力部にかけられる力を決めるために生成された物理モデルと共に使用される。

【0112】

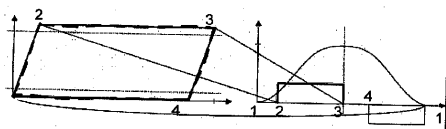
上記情報を、本発明に係る閉ループ制御に使用可能である。このようにして得られた油圧モデルは、油圧系統の影響を物理的に再現し、外乱変数の挿入という形で考慮される。

【0113】

これにより、電磁流量調整ポンプシステムのポンプ作動が大幅に向上される。

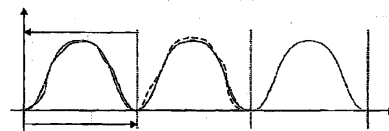
10

【図1】



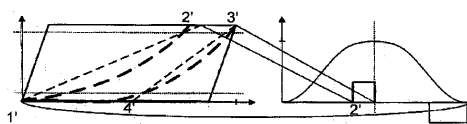
Figur 1

【図4】



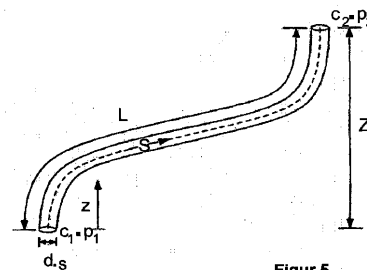
Figur 4

【図2】



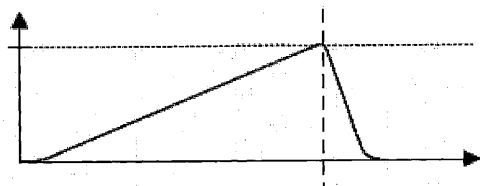
Figur 2

【図5】



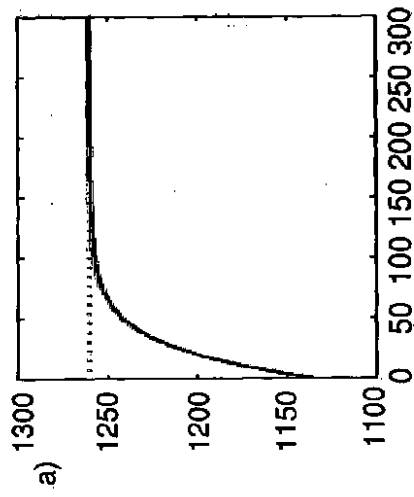
Figur 5

【図3】

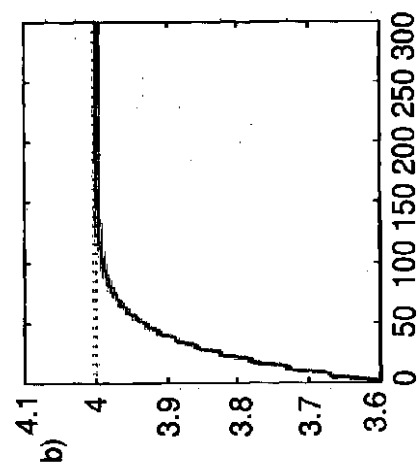


Figur 3

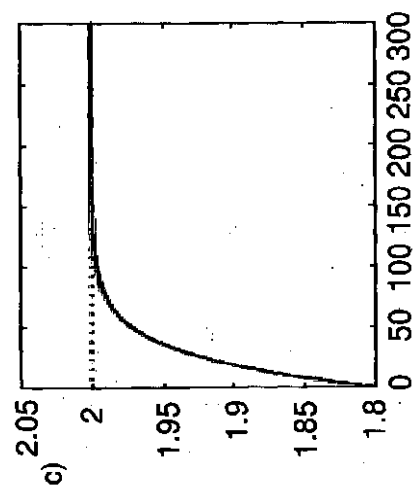
【図 6 a)】



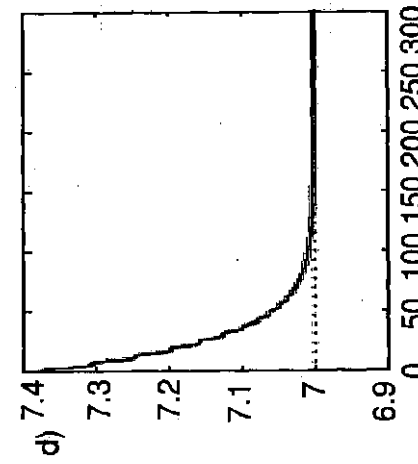
【図 6 b)】



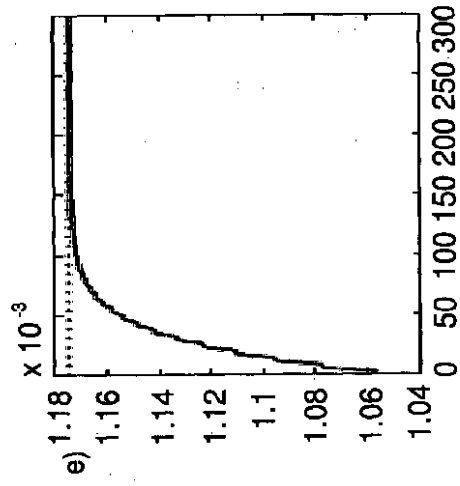
【図 6 c)】



【図 6 d)】



【図 6 e)】



フロントページの続き

(72)発明者 リウ、スティーブン

ドイツ、67663 カイゼルスロイテルン、ブンキョウ-ク-シュトラーク 31

(72)発明者 ケネル、ファビアン

ドイツ、67663 カイゼルスロイテルン、ダベンポルトプラッツ 17

審査官 田谷 宗隆

(56)参考文献 特開2007-092750(JP,A)

特開2013-057310(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F04B 49/06

F04B 17/04

F04B 43/04

F04B 49/20