

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7101806号  
(P7101806)

(45)発行日 令和4年7月15日(2022.7.15)

(24)登録日 令和4年7月7日(2022.7.7)

(51)国際特許分類		F I			
<i>F 1 6 K</i>	<i>31/06</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 K</i>	<i>31/06</i>	<i>3 1 0 Z</i>
<i>G 0 5 B</i>	<i>11/32</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 5 B</i>	<i>11/32</i>	<i>F</i>
<i>B 6 0 T</i>	<i>8/17</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>B 6 0 T</i>	<i>8/17</i>	<i>Z</i>

請求項の数 11 (全16頁)

(21)出願番号	特願2020-555798(P2020-555798)	(73)特許権者	591245473 ロベルト・ボッシュ・ゲゼルシャフト・ ミト・ベシュレンクテル・ハフツング ROBERT BOSCH GMBH ドイツ連邦共和国 7 0 4 4 2 シュトゥ ットガルト ポストファッハ 3 0 0 2 2 0
(86)(22)出願日	平成31年4月5日(2019.4.5)	(74)代理人	100177839 弁理士 大場 玲児
(65)公表番号	特表2021-517951(P2021-517951 A)	(74)代理人	100172340 弁理士 高橋 始
(43)公表日	令和3年7月29日(2021.7.29)	(74)代理人	100182626 弁理士 八島 剛
(86)国際出願番号	PCT/EP2019/058591	(72)発明者	シャンツェンパッハ マティアス ドイツ連邦共和国 7 4 2 4 6 エベルシ 最終頁に続く
(87)国際公開番号	WO2019/201620		
(87)国際公開日	令和1年10月24日(2019.10.24)		
審査請求日	令和2年10月12日(2020.10.12)		
(31)優先権主張番号	102018206114.9		
(32)優先日	平成30年4月20日(2018.4.20)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		

(54)【発明の名称】 弁を制御するための方法および対応する装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電磁式の弁駆動装置(6)を有する弁(5)を制御するための方法であって、前記弁(5)を開閉するためにまたは前記弁(5)を開放された位置若しくは閉鎖された位置で保持するために、前記弁駆動装置(6)を通して電流(7)が伝送される方法において、少なくとも、

a) 開放信号(8)を受信するステップと、

b 1) 前記弁または前記弁駆動装置の物理的な限界に合わせられた、適合された開放信号(27)を算出するステップと、

b 2) 前記適合された開放信号(27)に反応して、電気式の弁駆動装置を駆動することにより前記弁を開放するために、電流をフィードフォワード制御するためのフィードフォワード制御信号(9)を算出するステップと、

c) 前記フィードフォワード制御信号(9)を使用して前記弁駆動装置を制御するための制御信号(11)を算出するステップと、

d) 前記制御信号(11)をアウトプットするステップと、

を有しており、

b 2) のステップにおいて、弁モデル(12)を用いて前記フィードフォワード制御信号(9)を算出し、前記弁モデルが、前記弁の第1の配列の遅延特性をモデル形成している、弁(5)を制御するための方法。

## 【請求項 2】

b 3) 前記弁駆動装置(6)を通る電流を表す電気的な電流信号(10)を受信するステップを有しており、

この場合、前記ステップ(c)で、前記制御信号(11)の算出時に追加的に、前記ステップb 3)で受信された電流信号を使用する、請求項1記載の方法。

【請求項3】

前記弁モデル(12)の時定数が、前記弁駆動装置(6)の時定数と合致している、請求項1または2記載の方法。

【請求項4】

前記弁モデル(12)内で前記弁駆動装置の電気抵抗を推定する、請求項1から3までのいずれか1項記載の方法。

【請求項5】

前記弁モデル(12)内で前記弁駆動装置のインダクタンスを推定する、請求項1から4までのいずれか1項記載の方法。

【請求項6】

前記制御信号(11)を決定するために、前記ステップc)で、フィードフォワード制御装置(17)および制御器(18)を利用する、請求項1から5までのいずれか1項記載の方法。

【請求項7】

前記フィードフォワード制御装置(17)内で逆PT1-素子(22)を使用する、請求項6記載の方法。

【請求項8】

前記フィードフォワード制御装置(17)内で状態変数型フィルタ(23)を使用する、請求項6または7記載の方法。

【請求項9】

電気式の弁駆動装置(6)を有する弁(5)を制御するためのコントロールユニット(13)であって、前記コントロールユニット(13)が請求項1から8までのいずれか1項記載の方法を実行する、弁を制御するためのコントロールユニット(13)。

【請求項10】

コンピュータプログラムであって、請求項1から8までのいずれか1項記載の方法を実行するコンピュータプログラム。

【請求項11】

機械読み取り可能な記憶媒体であって、請求項10記載のコンピュータプログラムが記憶されている、機械読み取り可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

今日のブレーキコントロールシステムは、ABSまたはESP介入(ピークルダイナミックコントロール介入)時の圧力変換を実行するために電気機械式の弁を使用する。使用されたアクチュエータ(例えば電磁弁)は、電圧によって制御され、電圧の増大に応じて、液圧式または空圧式の媒体または機械的な構成部分もコントロールまたは制御される。このようなピークルダイナミックな介入には常により多くの要求が課せられる(圧力調整の質、再現可能性、ダイナミクス、切替え時の騒音その他)ので、ブレーキコントロールシステムの調節器にも常により多くの要求が課せられる。ABSおよびESPシステムにおける非常に重要なポイントは、特に制動パフォーマンス(制動距離)であり、快適性に関する機能においては切替え騒音である。制動距離が短ければ短い程、上位のブレーキ制御器の圧力規定を満たすために、電磁弁はより迅速かつ精確にその目標値に達する必要がある。これらの弁のアウトプットステージは、制御されたまたは制御されていない電圧アウトプットステージを介して駆動される。

【発明の概要】

【0002】

10

20

30

40

50

ここでは、不都合なオーバーシュートが発生することなしに、かつシステムが振動し始めることなしに、または弁ができるだけ穏やかに開閉するようにゆっくり制御されるように、目標値（ここでは弁の磁気回路内の電流）が迅速に調節されるように最適化されている、電磁弁を制御するための方法について記載することとする。ここに記載されたシステムはさらに、横方向の影響に対して頑丈である。しかも、このシステムはモデルに基づく数式を介して重要なシステム値（コイルの抵抗）を推定し、それによって迅速に、存在する条件に適合させることが可能である。

#### 【 0 0 0 3 】

弁を開閉するために、および弁を開放された位置または閉鎖された位置で保持するために、電磁式の弁駆動装置を通して電流が伝送されるようになっている、電磁式の弁駆動装置を有する弁を制御するための、ここに記載された方法は、少なくとも、

- a) 開放信号を受信するステップと、
  - b 1) 弁または弁駆動装置の物理的な限界に合わせられた、適合された開放信号を算出するステップと、
  - b 2) 適合された開放信号に反応して、電気式の弁駆動装置を駆動することにより弁を開放するために、電流をフィードフォワード制御するためのフィードフォワード制御信号を算出するステップと、
  - c) フィードフォワード制御信号を使用して弁駆動装置を制御するための制御信号を算出するステップと、
  - d) 制御信号をアウトプットするステップと、
- を有している。

#### 【 0 0 0 4 】

この方法は特に好適には、さらに、

- b 3) 弁駆動装置を通る電流を表す電気的な電流信号を受信するステップを有しており、この場合、ステップ c) で、制御信号の算出時に追加的に、ステップ b 3) で受信された電流信号を使用する。

#### 【 0 0 0 5 】

一般的にブレーキコントロールシステム内に、PT 1 素子（R - L 制御回路）の特性によって記述可能な電磁弁が使用される。追加的に電磁弁の制御が行われる。このことはつまり、実際電流が電磁弁によって測定され、かつ考慮される、ということである。これは必要である。何故ならば、運転条件に応じて非常に様々な負荷が存在するからである。様々な負荷は、例えば温度に依存するコイル抵抗の変化によってまたは管路内の圧力の変化によって引き起こされる。管路内の圧力の変化は、特に弁によって閉鎖されるかまたは解放され得る管路内の圧力の関係も含んでいる。従って、電磁弁を通る電流は、単なる制御では調節できない。もちろん、標準的な電流制御によって、電磁弁の制御装置内にフィードバックが存在する。フィードバックは基本的な問題をもたらす。最も重要な問題は、制御装置の振動し易さである。制御器は、目標値を制御するために、単数または複数の制御サイクルを必要とする。従って、制御器を使用する場合、これらの制御器が大量生産製造許容誤差を越えて頑丈であることが保証されなければならない。

#### 【 0 0 0 6 】

前記方法のステップ a) で、まず開放信号が受信される。開放信号は、弁の開放状態に関する信号である。弁を開放するための信号かまたは閉鎖するための信号であってよい。

#### 【 0 0 0 7 】

ここに記載した方法によれば、ステップ a) で開放信号を受信した後で、ステップ b 1) および b 2) でフィードフォワード制御信号が算出 / 演算される。開放信号の種類および形態に応じて、別の制御信号が必要とされてよい。フィードフォワード制御信号は、この制御信号によって弁駆動装置が制御されるように推測された、特に適合された制御信号である。

#### 【 0 0 0 8 】

ステップ b 1) および b 2) は、フィードフォワード制御信号を決定するための 2 段階の

プロセスを形成する。

【 0 0 0 9 】

ステップ b 1 ) で、弁または弁駆動装置の物理的な限界に合わせられた、適合された開放信号の算出が行われる。

【 0 0 1 0 】

ステップ b 2 ) で、適合された開放信号に反応して、電気式の弁駆動装置を駆動することにより弁を開放するために、電流をフィードフォワード制御するためのフィードフォワード制御信号の算出が行われる。

【 0 0 1 1 】

制御装置に対する良好なフィードフォワード制御装置の利点は、フィードフォワード制御装置は（それ自体が）振動し得ない、という点にある。従って、少なくとも安定性は、ほとんど大量生産製造許容誤差に左右されることはないであろう。しかしながら追加的に、弁の制御のために制御装置も必要である。何故ならば、フィードフォワード制御装置は、弁に作用するすべての考えられ得る影響を十分に考慮することはできないからである。

10

【 0 0 1 2 】

ステップ c ) で、弁駆動装置を制御するための制御信号の算出が行われる。ステップ d ) で、算出された制御信号が、例えば弁駆動装置にアウトプットされる。

【 0 0 1 3 】

特に好適には、この方法は、さらに、

b 3 ) 弁駆動装置を通る電流を表す電気的な電流信号を受信するステップを有しており、この場合、ステップ ( c ) で、制御信号の算出時に追加的に、ステップ b 3 ) で受信された電流信号が使用される。

20

【 0 0 1 4 】

ステップ c ) で、追加的に、実際に弁駆動装置を通して流れる電流を表す、測定された電流若しくはパラメータ ( 信号 ) が受信される。この電流若しくはパラメータは、測定されかつ / または別の測定値からのみ算出され得る。

【 0 0 1 5 】

ステップ c ) で、制御信号の算出時に、好適には測定された電流 ( ステップ b 3 ) に従って ) と、フィードフォワード制御によって非常に良好に実際値に相当するモデル化された電流 ( ステップ b 1 ) および b 2 ) に従って生成された ) とが、互いに比較され、システムパラメータ ( 抵抗 ) の変化における可能な誤差が解明される。

30

【 0 0 1 6 】

好適には、さらなる方法ステップ e ) および f ) で、システムパラメータからフィードフォワード制御装置へのフィードバックが行われる。前述のように、システムパラメータ ( 例えば抵抗 ) は、測定された電流と算出された電流との間の誤差によって決定される。好適には、さらなる方法ステップ e ) および f ) は次のように記載される。

f ) フィードフォワード制御装置のシステムパラメータ ( 例えば抵抗 ) の新たなデータセットの算出若しくは推定。

g ) 特にフィードフォワード制御装置でもモデルエラーを考慮するために、新たに算出された若しくは新たに推定された ( 特に抵抗の ) システムパラメータをフィードフォワード制御装置にフィードバックする。

40

方法ステップ e ) および f ) は、時間的に方法ステップ d ) の前で、後でまたは並行して実行されてよい。

【 0 0 1 7 】

2 つの信号を考慮して弁駆動装置を制御するために特に適した制御信号を算出するために、好適には、ステップ c ) における算出を通じて、フィードフォワード制御信号と測定された電気的な電流信号とは一緒に流れる。次いでこの制御信号はステップ d ) でアウトプットされる。

【 0 0 1 8 】

制御信号のアウトプットとは、ここに記載されたすべての方法変化例において、特に、制

50

御信号が弁駆動装置に提供される、という意味である。制御信号は、例えば弁駆動装置に印加される出力電圧であってよい。

【 0 0 1 9 】

この方法は、弁モデルを有するフィードフォワード制御信号が算出されるようになっていれば、特に好適である。

【 0 0 2 0 】

弁モデルは、それぞれの運転時点で弁の特性をシミュレートする。弁モジュールを用いて、弁の特性が制御信号に反応して予測され得る。弁モデルは好適には、弁の時間遅延された特性を制御信号に記述する、少なくとも1つの一次関数的な微分方程式より成っている。この時間遅延された特性は、制御信号が変化すると時間遅延して変化する、特に弁駆動装置を通る電流に関する。

10

【 0 0 2 1 】

この方法は、弁モデルが弁の第1の配列の遅延特性をモデル形成していれば、特に好適である。

【 0 0 2 2 】

第1配列の遅延特性は、PT1特性とも呼ばれる。PT1特性によって、弁駆動装置は効果的に弁モデルとして作成され得る。PT1特性は、簡単かつ安価にシミュレートされ得る。PT1特性によって、弁特性の十分良好な予測が制御信号に反応して可能であることが明らかとなった。弁モデルは、弁特性をシミュレートするために、PT1特性を有する、互いに接続された複数の遅延素子を含有していてもよい。この弁モデルは、より高い配列 (PT2, PT3その他) の遅延素子を含有していてもよい。

20

【 0 0 2 3 】

弁モデルの時定数が、弁駆動装置の時定数と合致していれば、さらに好適である。

【 0 0 2 4 】

弁モデルと弁駆動装置との互いに合致し合う時定数によって、弁モデルの遅延特性が弁駆動装置にならって作成される。弁駆動装置および弁モデルが複数の時定数を有している場合、これらの時定数は弁駆動装置および弁モデルにおいて好適にはやはり互いに合致し合っている。弁駆動装置が実際に、特に複数の小さい時定数を含有するより高い配列の遅延特性を有していて、より長い時定数を有するPT1素子によって近似されることも可能である。

30

【 0 0 2 5 】

しかし、フィードフォワード制御装置において、特にフィードフォワード制御装置が状態変数型フィルタを有していれば、任意の別の時定数が記憶されていてもよい。好適には、フィードフォワード制御装置に記憶された時定数のうちの1つは、「実際の」弁駆動装置の時定数と合致している。特にこの時定数は、「実際の」弁駆動装置の特性をシミュレートする弁モデルに属している。

【 0 0 2 6 】

弁モデル内で弁駆動装置の電気抵抗の推定が利用されるようになっていても、この方法は特に好適である。

【 0 0 2 7 】

さらに、弁モデル内で弁駆動装置のインダクタンスの推定が利用されるようになっていれば、この方法は特に好適である。

40

【 0 0 2 8 】

抵抗は、不変に記憶されていて、また各演算ステップにおいて新たに推定もされる。フィードフォワード制御装置をできるだけ効果的に構成するために、どのような周辺状況で弁が使用されているかに応じて、各ステップで抵抗を推定すれば有利である。

【 0 0 2 9 】

弁駆動装置のインダクタンスおよび電気抵抗は、制御信号の変化と弁駆動装置を流れる電流との間の遅延特性 (PT1特性) を完全に本質的に規定する。その限りにおいて、好適には弁モデル内でこのパラメータを推定することを考慮しなければならない。

50

## 【 0 0 3 0 】

制御信号を決定するために、ステップ d ) でフィードフォワード制御装置および制御器を利用すれば、この方法は特に好適である。

## 【 0 0 3 1 】

フィードフォワード制御装置で逆 P T 1 - 素子を使用すれば、この方法はさらに好適である。

## 【 0 0 3 2 】

フィードフォワード制御装置で状態変数型フィルタを使用すれば、この方法はさらに好適である。

## 【 0 0 3 3 】

特に好適には、状態変数型フィルタは弁モデルに前置接続されている。特に好適には、適合された開放信号を生成するために、ステップ b 1 ) を実行するために状態変数型フィルタが使用される。特に好適には、フィードフォワード制御信号を生成するために若しくは追加的な制御器が使用されない場合は制御信号を直接に生成するためにも、ステップ b 2 ) を実行するために弁モデルが使用される。

10

## 【 0 0 3 4 】

状態変数型フィルタは、通常は制御器区間自体と同じ配列である制御技術的な素子である。状態変数型フィルタを用いて、区間が占めるべき（ここでは好適には弁の開放状態）所望の信号変化を生成することができる。フィードフォワード制御装置を用いて区間に印加されるべき状態変数は、これらの実際の物理的な状態若しくは特に物理的な限界も考慮するように、状態変数型フィルタによって適合される。ステップ a ) で受信された開放信号は、例えばジャンプ関数である。しかし実際の弁は、構造に制限された物理的な限界に基づいて急激に開放され得ないようになっている。従って、好適には、ステップ b 1 ) で、状態変数型フィルタによって開放信号から、物理的な限界を考慮した適合された開放信号が生成される。0（閉鎖された）から1（開放された）へのジャンプ関数に相当する開放信号から、状態変数型フィルタによって、例えば P T 1 特性の変化に相当する、例えば0から1に相当する開放信号が生成される。

20

## 【 0 0 3 5 】

ここで、前記方法を実行するために設計された電気式の弁駆動装置を有する弁を制御するためのコントロールユニットについても記載されるべきである。

30

## 【 0 0 3 6 】

前記方法に関連して述べられた利点および形態的特徴は、上記コントロールユニットに使用可能かつ適用可能である。同じことは、上記コントロールユニットに関連して述べられた利点および形態的特徴についても当てはまり、これらは前記方法に使用可能かつ適用可能である。

## 【 0 0 3 7 】

このようなコントロールユニットは、適合された制御信号を生成するために弁駆動装置のために、開放信号に対する反応として設けられているか若しくは設計されている独立したモジュールを形成する。開放信号は、どのように弁が挙動するべきであるかの基準を記述し、またこれは、一般的に上位のコントロールユニットによって提供される。ここで扱われたコントロールユニットは、開放信号を含有していて、好適にはさらに、弁駆動装置の実際の状況を表すか、または弁若しくは弁駆動装置内に実際に存在する電流を表す電流信号を含有する。

40

## 【 0 0 3 8 】

ここで、請求項 1 から請求項 10 までのいずれか 1 項記載の方法若しくは方法のすべてのステップを実行するために設計されたコンピュータプログラムについても記載されるべきである。さらに、コンピュータプログラムが記憶されている、機械読み取り可能な記憶媒体についても記載されるべきである。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 3 9 】

50

【図 1】記載された弁の概略図である。

【図 2】制御器およびフィードフォワード制御装置を有する区間の制御を示す図である。

【図 3】制御器およびフィードフォワード制御装置を有する P T 1 区間の制御を示す図である。

【図 4】予め設定された信号変化  $y_t(t)$  を有する区間の制御を示す図である。

【図 5】制御しようとする区間の 1 例を示す図である。

【図 6】1 つの区間を有するインバータを示す図である。

【図 7】調節量制限なしの状態変数型フィルタを示す図である。

【図 8】調節器制限を伴う状態変数型フィルタを示す図である。

【図 9】単なるフィードフォワード制御装置（制御器なし）、しかしながら様々にデータ化された状態変数型フィルタを有する飛び越し応答特性を示す図である。

10

【図 10】図 9 に対応する飛び越し応答特性を示す別の図である。

【図 11】フィードフォワード制御および抵抗推定のための区間観察を有する制御設計概念を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

本発明並びに技術的な環境を、以下に図面を用いて詳しく説明する。図面、および特に図面に記載された大きさの比率は概略的でしかない、ということを指摘しておく。

【0041】

図 1 は、弁 5 を制御するためのコントロールユニット 13 を備えた弁 5 を示す。弁 5 は流体ブロック 14 を有しており、この流体ブロック 14 は、例えば管路、狭窄箇所、弁体を有していて、この弁体によって弁 5 が開放および閉鎖され得る。流体ブロック 14 若しくは特に流体ブロック 14 の弁体は、弁 5 の弁駆動装置 6 によって制御される。弁駆動装置 6 は、特に電気コイルまたは電磁石であって、電磁石は磁力を作用させることができ、磁力は、弁 5 を開放若しくは閉鎖する、または一般的に弁 5 の開放状態を変えるために、流体ブロック 14 または特に流体ブロック 14 内で可動な弁体に作用する。

20

【0042】

コントロールユニット 13 は、開放信号 8 を受信するために設計されている。開放信号 8 内に、好適には弁 5 の開放状態がどのように変えられるべきであるかの情報が含まれている。開放信号 8 から、コントロールユニット 13 が適切な制御信号 11 を生成し、この制御信号 11 によって、弁駆動装置がこの開放信号 8 に反応して目的に合わせて制御される。制御信号 11 を適切に作成するために、コントロールユニット 13 内に、弁モデル 12 および状態変数型フィルタ 23 が配置されている。弁モデル 12 および状態変数型フィルタ 23 を接続するためのさらなる詳細を、以下にその他の図面を用いて説明する。コントロールユニット 13 はさらに、弁パラメータ 15 を検出するために設計されていてよい。弁パラメータ 15 は、弁駆動装置の測定された実際のパラメータである。このパラメータの値は、適切な制御信号 11 の作成時に考慮され得る。さらに、コントロールユニット 13 は、実際に弁駆動装置 6 を通って流れる電流を表す電流信号 10 を受信する。弁駆動装置 6 の電流信号 10 は同じく、弁駆動装置 6 のための適切な制御信号 11 を算出するために非常に有利である。

30

40

【0043】

図 2 は、区間 24 を制御するための制御器 18 およびフィードフォワード制御装置 17 を備えた制御回路の一般的な図を示す。区間 24 は、弁 5 若しくは弁駆動装置に相当する。フィードフォワード制御装置 17 と制御器 18 との組み合わせによって、区間 24 の特に迅速で効果的かつ正確な制御が得られる。図 1 に示されたコントロールユニット 13 は、制御器 18 およびフィードフォワード制御装置 17 によって形成される。開放信号 8 は、制御器 18 およびフィードフォワード制御装置 17 の左側に接続される。フィードフォワード制御装置 17 は区間 24 に直接作用する。区間 24 はセンサ 19 によって監視される。センサ 19 は、ここでは区間 24 の出力値としてみなされる電流 7 に基づく電流信号 10 を生成する、例えば電流センサであってよい。電流信号 10 と開放信号 8 とから、制御

50

器 18 のための入力値として用いられる制御エラー 20 が算出される。フィードフォワード制御装置 17 によって算出されたフィードフォワード制御信号および制御器 18 の出力から、区間 24 ( 弁 5 若しくは弁 5 の駆動装置 ) のための制御信号 11 が決定される。ここでは、制御器ブロックがアクチュエータを含んでいることが前提とされる。

【 0044 】

制御器 18 は、図 3 では、全回路装置の構成要素として図示されている。しかしながら、特にフィードフォワード制御が十分正確であるか、若しくは場合によっては妨害値を補正して追加的な制御がもはや不要であるようにすることを可能にする妨害値補正さえも有している場合には、制御器 18 なしの変化実施例も可能である。

【 0045 】

図 3 は、図 2 の制御回路の変化例を示し、この場合、同じ要素はここでは同じ符号で示されている。区間 24 は、ここでは P T 1 素子 21 とみなされる。

【 0046 】

フィードフォワード制御装置は、ここでは状態変数型フィルタ 23 とインバータ 22 とから成る組み合わせである。このようなフィードフォワード制御は、予測型フィードフォワード制御とも呼ばれる。状態変数型フィルタ 23 は、「トラジェクトリー」とも呼ばれる信号変化を算出する。この信号変化若しくはこのトラジェクトリーは、出力値 7 が満たすべき物理的限界を考慮した要求変化に相当する。インバータ 22 によって、トラジェクトリーは本来の調節量に変えられる。

【 0047 】

図 4 は、制御器が設けられていない区間 24 を制御するための単なるフィードフォワード制御装置 17 を示す。個別の要素の符号は図 2 および図 3 に相当する。

【 0048 】

状態変数型フィルタ 23 の作用を、図 4 を用いて説明する。状態変数型フィルタ 23 のために次の値が関連している。

$y_w(t)$  = 出力値が想定すべき時間的な目標値変化。これは、例えば開放信号に相当する。

$y_t(t)$  = 出力値が物理的に最大で想定できる時間変化。これは例えば適合された開放信号に相当する。

$u(t)$  = 調節量  $u(t)$ 、従って  $y(t) = y_t(t)$  である。これは例えばフィードフォワード制御信号若しくは制御信号に相当する。

【 0049 】

P T 1 特性は、次のように記述され得る。

【数 1】

$$T_i \cdot \frac{d}{dt} y(t) + y(t) = K \cdot u(t)$$

【 0050 】

図 2 乃至図 4 に記載された区間について、ここで検討された、制御しようとする区間としての弁若しくは弁駆動装置の場合のために、図 5 を用いて簡単に説明する。図 5 は、抵抗  $R$ 、インダクタンス  $L$ 、印加された電圧  $U$ 、およびこの電圧から生ぜしめられた電流  $i$  を有する弁駆動装置の電気的特性の図表を示す。従って、弁駆動装置の電磁コイルは電氣的に示されて記載される。電磁弁コイルは、図 5 に図示されているように記載される。従って次の微分方程式が得られる。

【数 2】

$$T_i \cdot \frac{d}{dt} i(t) + i(t) = K \cdot u(t)$$

【 0051 】

$u(t)$  は、要求された出力特性が調節されるように選択される。従って、 $y(t)$  を得

10

20

30

40

50

るために、要求された信号  $u(t)$  を出力としてアウトプットするブロックが必要となる。これは、インバータブロックによって得られ、このインバータブロックは、出力として  $u(t)$  を有しているが、このために入力値として  $i(t)$  および  $\frac{d}{dt}i(t)$

が必要となる。

#### 【 0 0 5 2 】

区間およびインバータブロックの図は図 6 に示されており、図 6 では、インバータ 2 2 および状態変数型フィルタ 2 3 を有するフィードフォワード制御装置 1 7 が再び示されている。状態変数型フィルタ 2 3 によって、この状態変数型フィルタ 2 3 によって開放信号 8 から算出されている (ステップ b 1 1)、例えば適合された開放信号 2 7 がインバータ 2 2 に伝送される。次いで、インバータ 2 2 はステップ b 2 ) を実行する。

10

#### 【 0 0 5 3 】

次いで、要求された出力特性  $y(t)$  のために、入力値  $i(t)$  および  $\frac{d}{dt}i(t)$

を、要求特性が調節されるか若しくは要求特性の調節がそもそも物理的に可能であるように、算出する必要がある。これを行うブロックは、信号発生器とも呼ばれる前記状態変数型フィルタ 2 3 である。状態変数型フィルタ 2 3 は、入力として信号  $y_w(t)$  を有して、出力値  $i(t)$  および  $\frac{d}{dt}i(t)$

20

を算出するので、これは上記インバータブロック内にメモリされ得る。

#### 【 0 0 5 4 】

状態変数型フィルタ 2 3 は、図 7 にさらに詳細が示されている。制御区間が P T 1 特性を有していれば、状態変数型フィルタ 2 3 のために P T 1 特性も使用され得る。状態変数型フィルタ 2 3 の回路増幅度は “ 1 ” であって、この特性のダイナミクスは、状態変数型フィルタ 2 3 の時定数 “ T a u \_ \_ Z V F ” = “ 状態変数型フィルタの時定数 ” を介して決定される。こうして通常は、調節量 (この場合、車両内の電圧) が制限されている。同じ状態変数型フィルタ 2 3 内で直接的に、このような調節量制限 (つまり最大可能な電圧) を考慮すれば、これは、電流の最大勾配の制限を生ぜしめる。最大可能な勾配の最大可能な電圧は、全体的にここでは適合された開放信号 2 7 とみなされるベクトルを形成する。基本的に (すべての変化実施例において)、この適合された開放信号 2 7 は、弁の開放状態に関する複数の個別値を含有するベクトルであり得る。基本的に (すべての変化実施例において)、開放信号 8 は同様に、弁の開放状態に関する複数の個別値を含有するベクトルであり得る。

30

#### 【 0 0 5 5 】

図 8 は、開放信号 8 から適合された開放信号 2 7 を生ぜしめる状態変数型フィルタ 2 3 の別の変化実施例を示す。状態変数型フィルタ 2 3 のこの変化例において、例えば物理的な限界を考慮する目的で用いられる調節量制限が行われる。これは、状態変数型フィルタ 2 3 とインバータブロックとの組み合わせで、調節量制限が最大に利用され得るように作用する。

40

#### 【 0 0 5 6 】

状態変数型フィルタ 2 3 によって弁駆動装置を制御するために制御を用いることにより、図 9 および図 1 0 に示された飛び越し応答特性が得られる。図 9 および図 1 0 によれば、応答特性は、それぞれフィードフォワード制御装置の他に制御器を使用することなしにシミュレートされている。比較のために、それぞれ制御器による特性 ( 3 ) が図表に図示されている。

#### 【 0 0 5 7 】

図 9 および図 1 0 は、状態変数型フィルタ、インバータブロックおよび P T 1 特性を有す

50

る区間より成る、ここに記載された制御設計概念およびここに記載された制御特性を用いた全システム特性の結果を示す。

【 0 0 5 8 】

図面中の図表の上の部分範囲はそれぞれ、状態変数型フィルタの様々な時定数における調節量の時間特性 4 を示す。図面中の図表の下の部分範囲は、次の信号を示す。

- フィードフォワード制御装置および区間から成るシステムにプリセット値として与えられる目標ジャンプ ( 1 ) 。

- 目標ジャンプ ( 1 ) に対する応答として発生する電流 ( 3 ) の実際の変化。電流 ( 3 ) はここでは、ダイナミクスと比較するために図示されていて、標準 P I 制御器により制御されている。

- フィードフォワード制御装置および区間から成るシステムのシミュレーションによって得られる出力電流 ( 2 ) の算出された変化。

【 0 0 5 9 】

図 9 および図 1 0 は、追加的な調整器なしで、状態変数型フィルタの様々な時定数を有する飛び越し応答の図を示す。図 1 0 は、図 9 と同じ特性を示す。しかしながら図 1 0 は、延ばした図で、図 9 に示された特性の起動間隔の詳細を示す。

【 0 0 6 0 】

飛び越し応答の図面は、単なるフィードフォワード制御装置によって、制御の時点で、非常にダイナミックに設計された P - I 制御器を有する制御設計概念と同じダイナミクスが得られることを示す必要がある。曲線変化 4 は、それぞれフィードフォワード制御装置によりシミュレートされた応答特性を示す。曲線変化 3 はそれぞれ、P I 制御器によって得られる実際に測定された応答特性を示す。

【 0 0 6 1 】

下の図表のシミュレーション結果によれば、相応のフィードフォワード制御 ( 区間のインバータおよび状態変数型フィルタ ) によって、非常にアグレッシブに設計されたフィードフォワード制御装置なしの一般的な型式の調整器によるのと同じダイナミクスを得ることができる。このために、状態変数型フィルタにおける時定数は相応に選択されなければならない。しかしながら、フィードフォワード制御の大きな利点は、ここでは、フィードフォワード制御された出力値が、オーバーシュートなしに目標値を調節する、という点にある。これは、通常の制御器ではこの速度で得ることはできない。

【 0 0 6 2 】

しかも、状態変数型フィルタを含むフィードフォワード制御装置を有する設計概念において、ダイナミクスは的確に状況的に選択 / 適合され得るので、非常に高いダイナミクスかまたは非常に低いダイナミクスが予め設定され得る。低いダイナミクスの適切な調節は、騒音に関して最適化された切替え操作を得るために有利である。

【 0 0 6 3 】

図 9 および図 1 0 の上の図表には様々な調節量変化 4 が示されており、この調節量変化 4 は、状態変数型フィルタの様々な時定数における調節量の変化を示す。状態変数型フィルタが区間自体と同じ時定数を有していれば、入力におけるジャンプもまた出力におけるジャンプも、最終値を得るために必要な相応の増幅度を有して ( ここでは、 $u = R \cdot y w$  ) アウトプットされる。Z V F の時定数が ( 調節器制限を考慮して )、区間の時定数よりも小さければ、上の図表で、調節量は、必要なだけ長く調節器の最大値にほぼ自動的に維持されることが分かる。

【 0 0 6 4 】

弁制御のための、ここに記載されたフィードフォワード制御の設計概念は、特にブレーキコントロールシステムのために使用され得る。ブレーキコントロールシステムにおいては、この設計概念は、次の目的のために利用することができる。

- 単なるフィードフォワード制御装置を有する弁制御

- フィードフォワード制御装置および制御器 ( 制御器は、制御誤差若しくは妨害値の補正のために最適化する ) を有する弁制御

10

20

30

40

50

- 電流変化（電流のトラジェクトリープランニング）に関する特別な要求を有する弁制御として

【0065】

さらに、この設計概念は、電磁弁を有するほぼすべての用途に使用可能である。この設計概念は、特に区間の時定数に関する要求が高い場合に適している。

【0066】

さらに、推定された若しくは算出されたシステムパラメータ（特にシステムパラメータ抵抗）のフィードバックを含有する、上記の追加的な方法ステップ f ) および g ) を追加的に実行すれば有利である。これらの追加的なステップによって、観測器の設計に応じて、抵抗が数ミリ秒内で補正されることが保証され得る。このことはつまり、抵抗の誤差が既に A B S 制御サイクル内で修正され得る、ということである。このような制御サイクルは、例えば約 200 ミリ秒の長さを有している。

10

【0067】

ここに記載された方法に基づく設計概念を線形化してハードウェアに変換することは、次の方程式によって記述され得る。

ステップ 1 は電流の目標トラジェクトリーを記述する。

【数 3】

$$I_{sollk} - I_0 + \frac{dt}{\tau_{ZVF}} \cdot (I_{soll} - I_0)$$

20

ステップ 2 は、電流の目標トラジェクトリーのための必要な（制御）電流を記述する。

【数 4】

$$U_k - R \cdot \left( \frac{\tau_{LR}}{dt} \cdot (I_{sollk} - I_0) + I_0 \right)$$

第 3 のステップは、電圧を最大提供可能な電圧に制限する。

【数 5】

$$U_{lim} = \lim(\min, \max, U_k)$$

30

次いで、第 4 のステップは、電圧の制限によって可能な最大可能電流を算出する。

【数 6】

$$I_{istk} - I_0 - \frac{dt}{\tau_{Lit}} \cdot \left( \frac{U_{lim}}{R} - I_0 \right)$$

【0068】

実際の使用において、公差および構成部分のばらつきに基づいて、およびもちろんすべてを検出することはできない環境条件の変化によっても、誤差が発生するので、特に図 3 にも示されているように、フィードフォワード制御装置および制御器から成る組み合わせが推奨される。

40

【0069】

ここで提案された制御数式は、弁制御において多くの使用において発生するようなフィードフォワード制御によって補正され得ない変化（抵抗、電圧その他）を補正しなくてはならない。最初の数式で、ルーエンバーガー観測器構造が使用されるが、これは抵抗推定によって補われる。

【0070】

図 11 は、弁 5、弁 6 および隣接する弁モデル 12 を含む実際の区間 24 の一覽できる構造を示しており、この構造はコントロールユニット 13 内でハードウェアに変換することによって実現されている。弁モデル 12 は、いわゆる観測器によっても補われ、この観測器は、実際の区間 24 を持続的に観測し、弁モデル 12 と実際の区間 24 とを合致させる

50

。観測器は、区間 2 4 若しくは弁 5 若しくは弁駆動装置 6 の特性を観測するために用いられる。観測器は弁モデル 1 2 内で実現されている。

【 0 0 7 1 】

第 1 のステップで、電流誤差が抵抗誤差として解釈され、修正値および単位は増幅器ゲイン  $K_{Observer}$  内に含有されている。続いて、 $R$  が積分され、項  $R + R$  が形成される。次いで、さらに適当な変形によって “fracdidt” (分数  $di/dt$ ) が算出され、次いでこれが観測器内に取り込まれる。

【数 7】

ステップ 1:

$$\frac{R + \Delta R}{L}$$

10

ステップ 2:

$$\frac{R + \Delta R}{L} \cdot I - \frac{R + \Delta R}{L} \cdot \frac{U}{R + \Delta R}$$

ステップ 3:

$$\frac{R + \Delta R}{L} \cdot \frac{U}{R + \Delta R} - \frac{U}{L} - \frac{di}{dt}$$

【符号の説明】

【 0 0 7 2 】

20

- 1 目標ジャンプ
- 2 出力電流
- 3 曲線変化、制御器による特性、電流
- 4 曲線変化、調節量の時間特性、調節量変化、応答特性
- 5 弁
- 6 弁駆動装置
- 7 電流、出力値
- 8 開放信号
- 9 フィードフォワード制御信号
- 10 電流信号
- 11 制御信号
- 12 弁モデル
- 13 コントロールユニット
- 14 流体ブロック
- 15 弁パラメータ
- 17 フィードフォワード制御装置
- 18 制御器
- 19 センサ
- 20 制御エラー
- 21 PT1 素子
- 22 インバータ、逆 PT1 - 素子
- 23 状態変数型フィルタ
- 27 開放信号
- i 電流
- i ( t ) 入力値
- L インダクタンス
- R 抵抗
- U 電圧
- u ( t ) 信号
- y ( t ) 出力特性

30

40

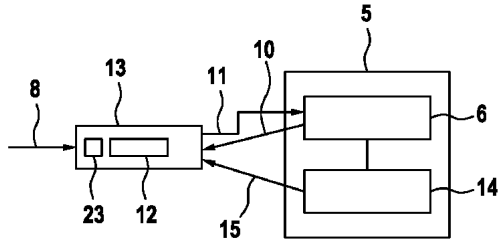
50

$y_t(t)$  信号变化

【 図面 】

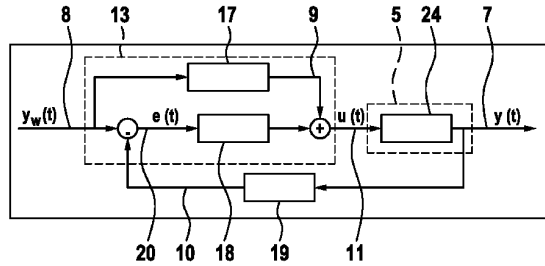
【 図 1 】

Fig. 1



【 図 2 】

Fig. 2

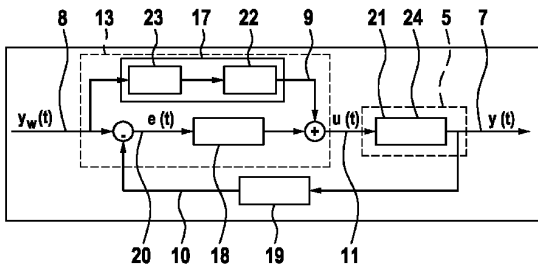


10

20

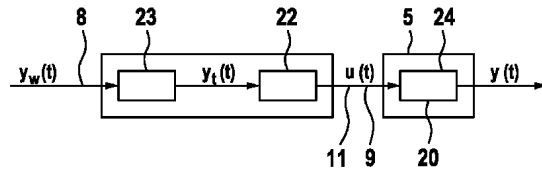
【 図 3 】

Fig. 3



【 図 4 】

Fig. 4



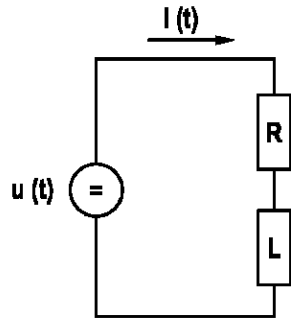
30

40

50

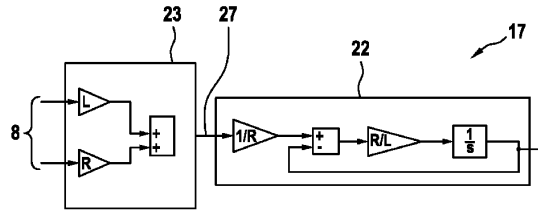
【 図 5 】

Fig. 5



【 図 6 】

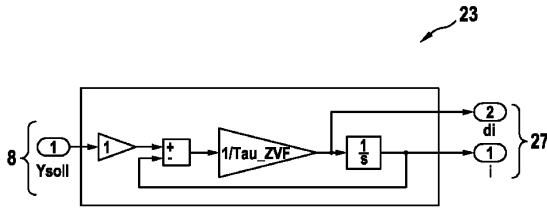
Fig. 6



10

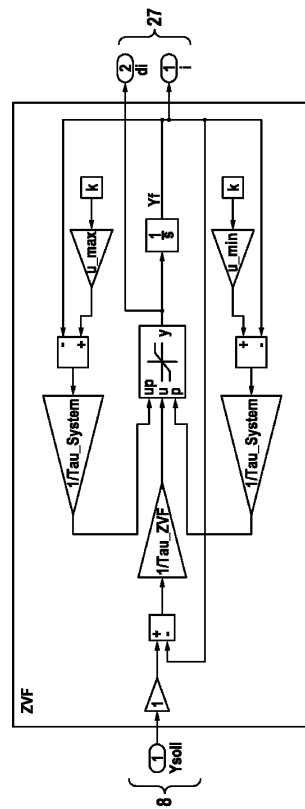
【 図 7 】

Fig. 7



【 図 8 】

Fig. 8



20

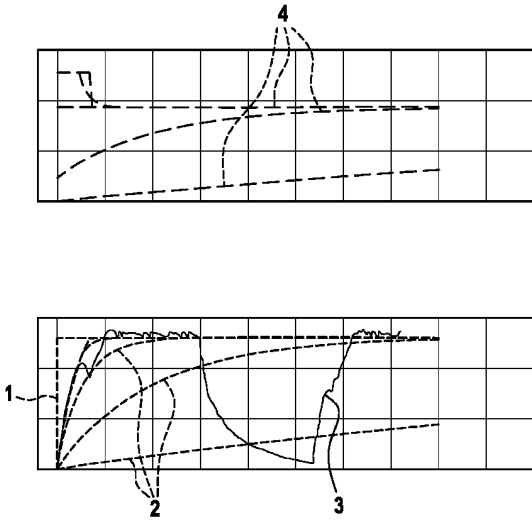
30

40

50

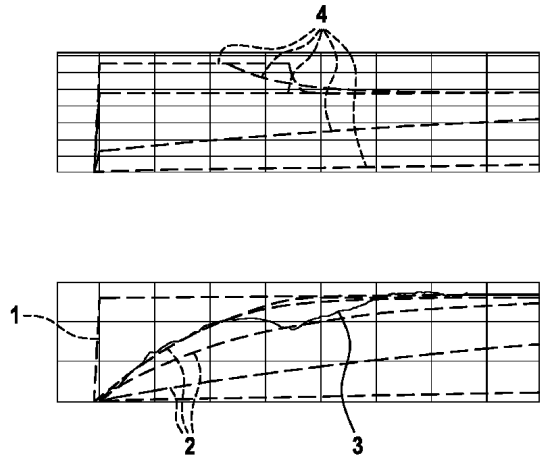
【 9 】

Fig. 9



【 1 0 】

Fig. 10

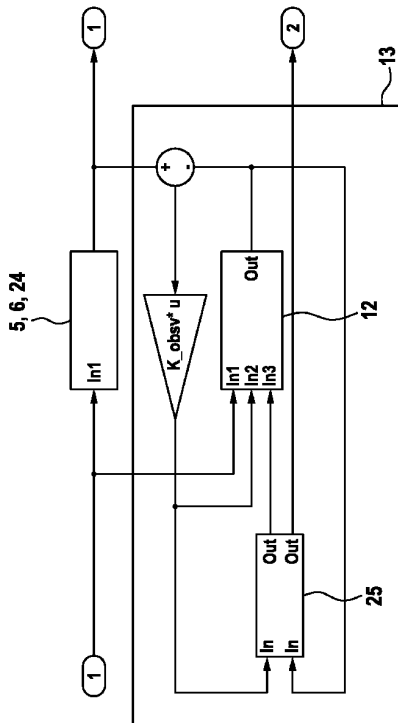


10

20

【 1 1 】

Fig. 11



30

40

50

## フロントページの続き

- ユタット アム ハダー 8  
(72)発明者 シュミッドライン アンドレアス  
ドイツ連邦共和国 7 1 7 3 2 タム シュトゥットガルターシュトラッセ 1 6 6
- (72)発明者 ヘーフェレ フランク  
ドイツ連邦共和国 7 4 3 4 3 ザクセンハイム - クラインサクセンハイム ハビヒトヴェーク 4
- (72)発明者 オブンラント ルベン  
ドイツ連邦共和国 7 1 7 2 3 グロースポットヴァー イム・ラングゲヴェント 2 1
- 審査官 加藤 昌人
- (56)参考文献 特開2007 - 050742 ( J P , A )  
特開2008 - 025831 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- B 6 0 T 7 / 1 2 - 8 / 1 7 6 8  
B 6 0 T 8 / 3 2 - 8 / 9 6  
G 0 5 B 1 / 0 0 - 7 / 0 4  
G 0 5 B 1 1 / 0 0 - 1 3 / 0 4  
G 0 5 B 1 7 / 0 0 - 1 7 / 0 2  
G 0 5 B 2 1 / 0 0 - 2 1 / 0 2  
F 1 6 K 3 1 / 0 6 - 3 1 / 1 1