

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-16419

(P2017-16419A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.
G05B 11/42 (2006.01)

F I
G05B 11/42 A

テーマコード(参考)
5H004

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2015-132863 (P2015-132863)
(22) 出願日 平成27年7月1日(2015.7.1)

(71) 出願人 000000099
株式会社 I H I
東京都江東区豊洲三丁目1番1号
(74) 代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹
(74) 代理人 100113435
弁理士 黒木 義樹
(74) 代理人 100176245
弁理士 安田 亮輔
(74) 代理人 100171583
弁理士 梅景 篤
(72) 発明者 鈴木 俊太郎
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会
社 I H I 内
Fターム(参考) 5H004 GA03 GA11 GB20 KB02 KB04
KB06 KB32 KB38

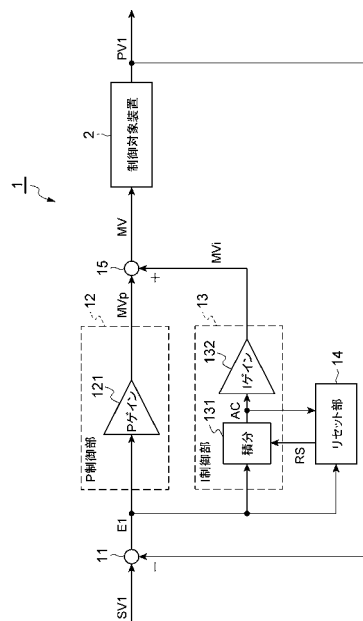
(54) 【発明の名称】 制御装置

(57) 【要約】

【課題】 オーバershootを低減するとともに、応答性を向上する。

【解決手段】 制御装置1は、制御対象装置2の計測値PV1及び目標値SV1に応じて、制御対象装置2に操作量MVを出力することによって制御対象装置2を制御する装置であって、目標値SV1と計測値PV1との偏差である制御偏差E1を演算する制御偏差演算部11と、制御偏差E1に基づいて制御値MVpを演算するP制御部12と、制御偏差E1の積分値である偏差積分値ACを演算し、偏差積分値ACに基づいて制御値MViを演算するI制御部13と、制御偏差E1及び偏差積分値ACが所定の条件を満たした場合に偏差積分値ACをリセットするリセット部14と、制御値MVp及び制御値MViに基づいて、制御対象装置2の操作量MVを演算する操作量演算部15と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御対象装置の第 1 計測値及び前記第 1 計測値の目標値である第 1 目標値に応じて、前記制御対象装置に操作量を出力することによって前記制御対象装置を制御する制御装置であって、

前記第 1 目標値と前記第 1 計測値との偏差である第 1 制御偏差を演算する第 1 制御偏差演算部と、

前記第 1 制御偏差に基づいて第 1 制御値を演算する第 1 制御部と、

前記第 1 制御偏差の積分値である偏差積分値を演算し、前記偏差積分値に基づいて第 2 制御値を演算する第 2 制御部と、

前記第 1 制御偏差及び前記偏差積分値が所定の条件を満たした場合に前記偏差積分値をリセットするリセット部と、

前記第 1 制御値及び前記第 2 制御値に基づいて、前記操作量を演算する操作量演算部と、
を備える制御装置。

10

【請求項 2】

前記リセット部は、前記第 1 制御偏差の極性と前記偏差積分値の極性とが異なり、かつ、前記偏差積分値の大きさが第 1 閾値より大きい場合に、前記偏差積分値をリセットする、請求項 1 に記載の制御装置。

20

【請求項 3】

前記制御対象装置の第 2 計測値と前記第 2 計測値の目標値である第 2 目標値との偏差である第 2 制御偏差を演算する第 2 制御偏差演算部と、

前記第 2 制御偏差に基づいて前記第 1 目標値を演算する第 3 制御部と、

をさらに備える、請求項 1 または請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記リセット部は、前記第 2 制御偏差の極性と前記偏差積分値の極性とが異なり、かつ、前記第 2 制御偏差の大きさが第 2 閾値より大きい場合に、前記偏差積分値をリセットする、請求項 3 に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

P I (Proportional-Integral) 制御及び P I D (Proportional-Integral-Derivative) 制御等のように、制御対象の現在値と目標値とのずれ(制御偏差)の積分値をフィードバックする制御方法が知られている。この制御方法では、現在値が目標値に到達するまでの間に制御偏差の積分値(以下、「偏差積分値」と呼ぶ。)が過大となり、現在値が目標値に到達した後も操作量が最大値に張り付いてオーバーシュートするといったウィンドアップと呼ばれる現象が生じることがある。

40

【0003】

このウィンドアップを回避する方法は、アンチウィンドアップ及びアンチリセットウィンドアップなどと呼ばれており、様々なアンチウィンドアップの手法が提案されている。例えば、特許文献 1 には、制御入力が入力制限値以上になった場合、制御対象の出力と目標値との偏差よりも小さい制御偏差を入力するアンチウィンドアップ手法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2012 - 113588 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載されたアンチwindアップの手法を用いてPI制御及びPID制御を行った場合、オーバーシュートは低減できるものの、偏差積分値は増加し続けるので、例えば目標値が反対の極性を持つ値に急に変更された場合などにおいて、応答が遅くなることがある。

【0006】

本発明は、オーバーシュートを低減するとともに、応答性を向上可能な制御装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面に係る制御装置は、制御対象装置の第1計測値及び第1計測値の目標値である第1目標値に応じて、制御対象装置に操作量を出力することによって制御対象装置を制御する装置である。この制御装置は、第1目標値と第1計測値との偏差である第1制御偏差を演算する第1制御偏差演算部と、第1制御偏差に基づいて第1制御値を演算する第1制御部と、第1制御偏差の積分値である偏差積分値を演算し、偏差積分値に基づいて第2制御値を演算する第2制御部と、第1制御偏差及び偏差積分値が所定の条件を満たした場合に偏差積分値をリセットするリセット部と、第1制御値及び第2制御値に基づいて、操作量を演算する操作量演算部と、を備える。

【0008】

この制御装置によれば、第1制御偏差に基づいて演算される第1制御値と、第1制御偏差の積分値である偏差積分値に基づいて演算される第2制御値と、に基づいて制御対象装置の操作量が演算される。例えば、何らかの要因により、第1計測値が第1目標値に到達するまでに長い時間を要した場合には、偏差積分値が大きくなる。このとき、第1計測値が第1目標値に到達した場合に、大きい値の偏差積分値が用いられると、操作量を即座に減らすことができないので、第1計測値のオーバーシュートが生じ得る。また、第1目標値が現在の値から反対の極性(符号)を持つ値に変更された場合、大きい値の偏差積分値が用いられると、操作量を即座に減らすことができないので、第1計測値が第1目標値に到達するまでの時間が長くなり、応答性が低下し得る。このため、第1制御偏差及び偏差積分値が所定の条件を満たした場合に偏差積分値がリセットされることにより、大きい値の偏差積分値が用いられる可能性を低減することができる。その結果、第1計測値のオーバーシュートを低減できるとともに、第1目標値の変更に対して、応答性の向上が可能となる。

【0009】

リセット部は、第1制御偏差の極性と偏差積分値の極性とが異なり、かつ、偏差積分値の大きさが第1閾値より大きい場合に、偏差積分値をリセットしてもよい。偏差積分値は第1制御偏差の積分値であるので、第1計測値が第1目標値に到達するまでは、第1制御偏差及び偏差積分値は同じ極性を有しているが、第1計測値が第1目標値を超えると、第1制御偏差の極性と偏差積分値の極性とは反対になる。ここで、何らかの要因により、第1計測値が第1目標値に到達するまでに、長い時間を要した場合には、偏差積分値が第1閾値よりも大きくなり、偏差積分値がリセットされる。これにより、第1計測値が第1目標値に到達した場合に、第1計測値のオーバーシュートを低減することができる。また、例えば、第1目標値が現在の値から反対の極性を持つ値に変更された場合、第1制御偏差の極性と偏差積分値の極性とは反対になる。このとき、偏差積分値が第1閾値よりも大きい場合には、偏差積分値がリセットされる。これにより、第1目標値の変更に対して、応答性の向上が可能となる。

【0010】

本発明の別の側面に係る制御装置は、制御対象装置の第2計測値と第2計測値の目標値である第2目標値との偏差である第2制御偏差を演算する第2制御偏差演算部と、第2制

10

20

30

40

50

御偏差に基づいて第1目標値を演算する第3制御部と、をさらに備えてもよい。この場合、いわゆるカスケードループにおいても、オーバーシュートを低減するとともに、応答性の向上が可能となる。

【0011】

リセット部は、第2制御偏差の極性と偏差積分値の極性とが異なり、かつ、第2制御偏差の大きさが第2閾値より大きい場合に、偏差積分値をリセットしてもよい。例えば、第2目標値が現在の値から反対の極性を持つ値に変更された場合、第2制御偏差の極性と偏差積分値の極性とは反対になる。ここで、第2目標値の変化量が大きい場合、第2制御偏差が第2閾値よりも大きくなり、偏差積分値がリセットされる。これにより、第2目標値の変更に対して、応答性の向上が可能となる。

10

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、オーバーシュートを低減するとともに、応答性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1実施形態に係る制御装置の構成を模式的に示す図である。

【図2】図1の制御装置の変形例を示す図である。

【図3】図1の制御装置の応答特性と比較例の制御装置の応答特性とを比較するための図である。

【図4】第2実施形態に係る制御装置の構成を模式的に示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、図面の説明において同一要素には同一符号を付し、重複する説明は省略する。

【0015】

(第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係る制御装置の構成を模式的に示す図である。図1に示される制御装置1は、制御対象装置2の計測値PV1(第1計測値)及び計測値PV1の目標値である目標値SV1(第1目標値)に応じて、制御対象装置2に操作量MVを出力することによって制御対象装置2を制御する装置である。制御装置1は、いわゆる単ループを成しており、単ループ制御を行う。制御対象装置2は、制御対象の装置である。制御対象装置2は、操作量MVに応じて動作し、計測値PV1を出力する。計測値PV1は、制御対象装置2に設けられているセンサ等によって計測される。制御対象装置2としては、例えば、モータ駆動装置等の静止摩擦の大きい機械が挙げられる。

30

【0016】

制御装置1は、制御偏差演算部11(第1制御偏差演算部)と、P制御部12(第1制御部)と、I制御部13(第2制御部)と、リセット部14と、操作量演算部15と、を備えている。制御偏差演算部11、P制御部12、I制御部13、リセット部14、及び操作量演算部15は、例えば、クロック信号に基づいて単位時間ごとに動作する。なお、時間変化する変数のある時刻nにおける値を表す場合に、当該変数を表す符号に(n)を付して説明を行う場合があるが、特定の時刻に限られず、任意の時刻において成り立つ。また、制御装置1の単位時間を「1」としており、括弧内の値が大きいほど時間が経過していることを示している。

40

【0017】

制御偏差演算部11は、目標値SV1と計測値PV1との偏差である制御偏差E1(第1制御偏差)を演算する。制御偏差演算部11は、外部から目標値SV1を受信し、制御対象装置2から計測値PV1を受信する。制御偏差演算部11は、例えば、減算器であり、目標値SV1から計測値PV1を減算し、減算結果を制御偏差E1とする。制御偏差演算部11は、制御偏差E1をP制御部12、I制御部13及びリセット部14に出力する。

50

【 0 0 1 8 】

P制御部12は、比例制御を行う部分であり、制御偏差E1に基づいて制御値M V p (第1制御値)を演算する。P制御部12は、制御値M V pを操作量演算部15に出力する。具体的には、P制御部12は、増幅器121を備えている。増幅器121は、制御偏差演算部11から制御偏差E1を受信し、P制御のゲインを用いて制御偏差E1を増幅する。増幅器121は、増幅した制御偏差E1を制御値M V pとして出力する。

【 0 0 1 9 】

I制御部13は、積分制御を行う部分であり、制御偏差E1の積分値である偏差積分値A Cを演算し、偏差積分値A Cに基づいて制御値M V i (第2制御値)を演算する。I制御部13は、偏差積分値A Cをリセット部14に出力し、制御値M V iを操作量演算部15に出力する。I制御部13は、リセット部14からリセット信号R Sを受信したことに応じて、偏差積分値A Cをゼロにリセットする。

10

【 0 0 2 0 】

具体的には、I制御部13は、積分器131と、増幅器132と、を備えている。積分器131は、制御偏差演算部11から制御偏差E1を受信し、制御偏差E1を累積加算する。積分器131は、累積加算した演算結果を偏差積分値A Cとしてリセット部14及び増幅器132に出力する。積分器131は、リセット部14からリセット信号R Sを受信したことに応じて、偏差積分値A Cをゼロにリセットする。増幅器132は、積分器131から偏差積分値A Cを受信し、I制御のゲインを用いて偏差積分値A Cを増幅する。増幅器132は、増幅した偏差積分値A Cを制御値M V iとして出力する。

20

【 0 0 2 1 】

リセット部14は、制御偏差E1及び偏差積分値A Cが所定の第1リセット条件を満たした場合に偏差積分値A Cをリセットする。第1リセット条件は、計測値P V 1が目標値S V 1に到達するのに長い時間を要したか否かを判定するための条件である。具体的には、第1リセット条件は、式(1)及び式(2)によって表される。

【 0 0 2 2 】

つまり、リセット部14は、制御偏差E1の極性と偏差積分値A Cの極性とが異なり(式(1))、かつ、偏差積分値A Cの大きさが第1閾値T H 1より大きい(式(2))場合に、偏差積分値A Cをリセットする。第1閾値T H 1は、計測値P V 1が目標値S V 1に到達するのに長い時間を要したことを判定するための値である。第1閾値T H 1は、例えば、予め計測した目標値S V 1での定常偏差補償の2倍に設定される。第1閾値T H 1は、実際の応答特性に合わせて調整されてもよい。リセット部14は、リセット信号R SをI制御部13に出力することによって、偏差積分値A Cをゼロにリセットする。

30

$$(E1の極性) (ACの極性) \dots (1)$$

$$|AC| > TH1 \dots (2)$$

【 0 0 2 3 】

操作量演算部15は、制御値M V p及び制御値M V iに基づいて、制御対象装置2の操作量M Vを演算する。操作量演算部15は、例えば、加算器であり、制御値M V p及び制御値M V iを加算し、加算結果を操作量M Vとする。操作量演算部15は、操作量M Vを制御対象装置2に出力する。

40

【 0 0 2 4 】

次に、制御装置1の動作を比較例の制御装置(不図示)の動作と比較しながら説明する。比較例の制御装置は、制御装置1と比較してリセット部14を備えていない点で相違する。制御対象装置2によっては、操作量M Vが最大値となっても計測値P V 1が目標値S V 1に到達しないことがある。この場合、I制御部13において、制御偏差E1が加算され続けるので、偏差積分値A Cが非常に大きな値となる。このような状況において、制御対象装置2の外部状況が急に変化して、計測値P V 1が目標値S V 1に到達することがある。

【 0 0 2 5 】

このとき、比較例の制御装置では、計測値P V 1が目標値S V 1に到達しても、偏差積

50

分値 AC が正の値であるので、さらに操作量 MV が計測値 $PV1$ を増加させる値を取り続ける。そして、計測値 $PV1$ が目標値 $SV1$ を超えて、制御偏差 $E1$ が負の値となり、偏差積分値 AC が減少する。しかし、計測値 $PV1$ が目標値 $SV1$ に到達するまでに累積された偏差積分値 AC が非常に大きい値であるので、操作量 MV を負の値に変化させるのに時間が掛かり、計測値 $PV1$ が目標値 $SV1$ を大きくオーバーシュートしてしまう。

【0026】

例えば、制御対象装置 2 がモータ駆動装置であり、モータ駆動装置が停止状態から動作を開始する場合を例として説明する。このとき、目標値 $SV1$ は目標速度であり、操作量 MV はトルク指令値であり、計測値 $PV1$ は現在速度である。

【0027】

想定以上に静止摩擦が大きい場合等において、制御対象装置 2 (モータ駆動装置) が動作するまでの間に I 制御によって正方向の偏差積分値 AC が増加し、正方向の操作量 MV (トルク指令値) が大きくなる。制御対象装置 2 が動作し始めると、静止摩擦から動摩擦に変わるので、操作量 MV を維持すると計測値 $PV1$ (現在速度) が目標値 $SV1$ (目標速度) よりも大きくなる。このため、操作量 MV を小さくする必要があるが、比較例の制御装置では、制御対象装置 2 が動作し始めた後でも、 I 制御の偏差積分値 AC が大きいので、制御偏差 $E1$ が負の値となっても操作量 MV を減らすのに時間が掛かり、計測値 $PV1$ のオーバーシュートが大きくなる現象が起こり得る。

【0028】

これに対し、制御装置 1 では、制御対象装置 2 が動作し始め、計測値 $PV1$ (現在速度) が目標値 $SV1$ (目標速度) を超えたときに制御偏差 $E1$ が負の値となるので、制御偏差 $E1$ の極性と偏差積分値 AC の極性とは反対になり、式 (1) の条件が満たされる。このとき、制御対象装置 2 が動作を開始するまでに長い時間を要した場合には偏差積分値 AC が十分に大きいので、偏差積分値 AC の大きさが第 1 閾値 $TH1$ よりも大きくなり、式 (2) の条件が満たされる。このため、リセット部 14 は I 制御部 13 にリセット信号 RS を出力し、 I 制御部 13 は偏差積分値 AC をゼロにリセットする。これにより、目標値 $SV1$ を始点として PI 制御を開始する状態となるので、計測値 $PV1$ のオーバーシュートを低減でき、目標値 $SV1$ 近傍の制御対象装置 2 の制御を安定化することが可能となる。

【0029】

また、比較例の制御装置では、目標値 $SV1$ が急に変更された場合に、偏差積分値 AC が減少する速度で操作量 MV が変化するので、計測値 $PV1$ が目標値 $SV1$ に到達するのに時間が掛かる。例えば、制御対象装置 2 が応答の遅いモータ駆動装置である場合を例として説明する。制御対象装置 2 を動作させるとき、本来の目標値よりも一旦大きく目標値 $SV1$ が設定されることがあるが、本来の目標値に到達するまでに時間が掛かる。このため、偏差積分値 AC が大きくなる。ここで、比較例の制御装置では、計測値 $PV1$ が本来の目標値を超えてから、目標値 $SV1$ が本来の目標値に設定されると、制御偏差 $E1$ が負の値になるが、偏差積分値 AC が大きいので操作量 MV を減らすのに時間が掛かり、計測値 $PV1$ (現在速度) のオーバーシュートが大きくなる現象が起こり得る。

【0030】

これに対し、制御装置 1 では、計測値 $PV1$ が本来の目標値に到達するのに時間が掛かることから、計測値 $PV1$ が本来の目標値に到達する時点では偏差積分値 AC は十分に大きく、偏差積分値 AC の大きさが第 1 閾値 $TH1$ よりも大きくなり、式 (2) の条件が満たされる。そして、計測値 $PV1$ が本来の目標値を超えてから目標値 $SV1$ が本来の目標値に設定されると、その時点で制御偏差 $E1$ の極性が負となるので、制御偏差 $E1$ の極性と偏差積分値 AC の極性とは反対になり、式 (1) の条件が満たされる。このため、リセット部 14 は I 制御部 13 にリセット信号 RS を出力し、 I 制御部 13 は偏差積分値 AC をゼロにリセットする。これにより、計測値 $PV1$ のオーバーシュートを低減でき、目標値 $SV1$ 近傍の制御対象装置 2 の制御を安定化することが可能となる。

【0031】

10

20

30

40

50

また、計測値 P V 1 が本来の目標値に到達する前に目標値 S V 1 が本来の目標値に設定されたとしても、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 を超えた時点で、制御偏差 E 1 が負の値となるので、制御偏差 E 1 の極性と偏差積分値 A C の極性とは反対になる。また、計測値 P V 1 が本来の目標値に到達するのに時間が掛かることから、偏差積分値 A C は十分に大きく、偏差積分値 A C の大きさが第 1 閾値 T H 1 よりも大きくなる。このため、リセット部 1 4 は I 制御部 1 3 にリセット信号 R S を出力し、I 制御部 1 3 は偏差積分値 A C をゼロにリセットする。なお、計測値 P V 1 が本来の目標値に到達するのに要する時間が短い場合は、偏差積分値 A C の大きさが第 1 閾値 T H 1 以下となるので、偏差積分値 A C はゼロにリセットされない。

【 0 0 3 2 】

10

以上のように、制御装置 1 によれば、制御偏差 E 1 に基づいて演算される制御値 M V p と、制御偏差 E 1 の積分値である偏差積分値 A C に基づいて演算される制御値 M V i と、に基づいて制御対象装置 2 の操作量 M V が演算される。例えば、何らかの要因により、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達するまでに長い時間を要した場合には、偏差積分値 A C が大きくなる。このとき、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達した場合に、大きい値の偏差積分値 A C が用いられると、操作量 M V を即座に減らすことができないので、計測値 P V 1 のオーバーシュートが生じ得る。また、目標値 S V 1 が現在の値から反対の極性を持つ値に変更された場合等において、大きい値の偏差積分値 A C が用いられると、操作量 M V を即座に減らすことができないので、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達するまでの時間が長くなり、応答性が低下し得る。このため、制御装置 1 では、制御偏差 E 1 及び偏差積分値 A C が所定の条件を満たした場合に偏差積分値 A C がリセットされることにより、大きい値の偏差積分値 A C が用いられる可能性を低減することができる。その結果、計測値 P V 1 のオーバーシュートを低減できるとともに、目標値 S V 1 の変更に対して、応答性の向上が可能となる。

20

【 0 0 3 3 】

具体的には、偏差積分値 A C は制御偏差 E 1 の積分値であるので、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達するまでは、制御偏差 E 1 及び偏差積分値 A C は同じ極性を有しているが、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 を超えると、制御偏差 E 1 の極性と偏差積分値 A C の極性とは反対になる。ここで、何らかの要因により、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達するまでに長い時間を要した場合には、偏差積分値 A C が第 1 閾値 T H 1 よりも大きくなり、偏差積分値 A C がリセットされる。これにより、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達した場合に、計測値 P V 1 のオーバーシュートを低減することができる。また、例えば、目標値 S V 1 が現在の値から反対の極性を持つ値に変更された場合等において、制御偏差 E 1 の極性と偏差積分値 A C の極性とは反対になる。このとき、偏差積分値 A C が第 1 閾値 T H 1 よりも大きい場合には、偏差積分値 A C がリセットされる。これにより、目標値 S V 1 の変更に対して、応答性の向上が可能となる。

30

【 0 0 3 4 】

また、図 2 に示されるように、制御装置 1 は、フィードフォワード制御部 1 6 及び D 制御部 1 7 をさらに備えてもよい。フィードフォワード制御部 1 6 は、定常偏差補償のための制御値 M V f を算出する。フィードフォワード制御部 1 6 は、例えば、目標値 S V 1 と制御値 M V f とが対応付けられたテーブルを有しており、そのテーブルを用いて、目標値 S V 1 に対応する制御値 M V f を算出する。フィードフォワード制御部 1 6 は、制御値 M V f を操作量演算部 1 5 に出力する。

40

【 0 0 3 5 】

D 制御部 1 7 は、微分制御を行う部分であり、制御偏差 E 1 に基づいて制御値 M V d を演算する。D 制御部 1 7 は、制御値 M V d を操作量演算部 1 5 に出力する。具体的には、D 制御部 1 7 は、微分器 1 7 1 と、増幅器 1 7 2 と、を備えている。微分器 1 7 1 は、制御偏差演算部 1 1 から制御偏差 E 1 を受信し、制御偏差 E 1 を微分して微分値を演算する。微分器 1 7 1 は、例えば、今回の制御偏差 E 1 (n) と前回の制御偏差 E 1 (n - 1) との差を演算し、演算結果を微分値とする。微分器 1 7 1 は、微分値を増幅器 1 7 2 に出

50

力する。増幅器 172 は、微分器 171 から微分値を受信し、D 制御のゲインを用いて微分値を増幅する。増幅器 172 は、増幅した微分値を制御値 MV_d として出力する。

【0036】

なお、この場合、操作量演算部 15 は、制御値 MV_p 、制御値 MV_i 、制御値 MV_d 及び制御値 MV_f に基づいて、制御対象装置 2 の操作量 MV を演算する。操作量演算部 15 は、例えば、制御値 MV_p 、制御値 MV_i 、制御値 MV_d 及び制御値 MV_f を加算し、加算結果を操作量 MV とする。

【0037】

変形例の制御装置 1 においても、制御装置 1 と同様の効果が奏される。また、制御装置 1 がフィードフォワード制御部 16 をさらに備えることにより、定常偏差補償分の制御値を予め操作量 MV に含めることができるので、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に到達するのに要する時間を短縮することが可能となる。制御装置 1 が D 制御部 17 をさらに備えることにより、制御装置 1 の制御開始時等において制御偏差 E_1 が大きく変化したときに一時的に操作量 MV を大きく変化させることが可能となる。

10

【0038】

次に、制御装置 1 の応答特性について説明する。図 3 は、制御装置 1 の応答特性と比較例の制御装置の応答特性とを比較するための図である。図 3 の (a) は比較例の制御装置の応答特性を示し、図 3 の (b) は制御装置 1 の応答特性を示す。

【0039】

図 3 の (a) に示されるように、比較例の制御装置では、制御対象装置 2 が動作を開始するまでは、時間の経過とともに制御値 MV_i が増加し、制御値 MV_p は一定である。制御対象装置 2 が動作を開始すると、時間の経過とともに計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に近づくので制御偏差 E_1 が小さくなり、制御値 MV_p が減少していく。そして、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に到達した時点で、制御値 MV_p はゼロとなる。一方、制御値 MV_i は、制御対象装置 2 が動作を開始した後、増加率はなだらかになるものの、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に到達するまで時間の経過とともに増加し続ける。

20

【0040】

計測値 PV_1 が目標値 SV_1 を超えると、制御偏差 E_1 が負の値になるので制御値 MV_p は負の値となるが、制御値 MV_i は制御偏差 E_1 と時間との積によって徐々に減少する。このため、操作量 MV がゼロになるまでに時間が掛かり、操作量 MV がゼロになるまでの間、計測値 PV_1 は増加し続ける。さらに、操作量 MV が負の値となってから計測値 PV_1 が減少し始めるが、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に再び到達するまで時間が掛かる。この計測値 PV_1 が目標値 SV_1 を超えてから計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に到達するまでの間、計測値 PV_1 はオーバーシュートすることになる。また、制御ゲインの設計によっては、計測値 PV_1 が再び目標値 SV_1 を下回って振動的な応答となることもある。また、D 制御（微分制御）を追加することにより、制御装置の制御開始時の操作量 MV を増大させることも可能であるが、静止摩擦力が想定より大きかった場合等には対処できない。

30

【0041】

図 3 の (b) に示されるように、制御装置 1 では、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 に到達するまでは比較例の制御装置と同じ動作が行われる。そして、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 を超えると、制御偏差 E_1 が負の値となる。このとき、制御偏差 E_1 の極性と偏差積分値 AC の極性とが反対になり、偏差積分値 AC が第 1 閾値 TH_1 よりも大きいので、偏差積分値 AC がゼロにリセットされ、制御値 MV_i がゼロになる。その結果、制御値 MV_p もゼロであるので、定常偏差が無ければ、計測値 PV_1 は目標値 SV_1 で安定する。実際には、動摩擦等による損失が生じるので、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 から一旦減少し、その分を制御値 MV_i が補って目標値 SV_1 に安定する。

40

【0042】

一方、静止摩擦の影響が小さい場合等では、偏差積分値 AC が第 1 閾値 TH_1 よりも大きくならないので、計測値 PV_1 が目標値 SV_1 を超えて、制御偏差 E_1 の極性と偏差積

50

分値 A C の極性とが反対になっても、偏差積分値 A C が第 1 閾値 T H 1 以下であるので、偏差積分値 A C がリセットされない。

【 0 0 4 3 】

このように、制御装置 1 によれば、計測値 P V 1 が目標値 S V 1 に到達するのに長時間を要した場合において、計測値 P V 1 のオーバーシュートが低減される。

【 0 0 4 4 】

(第 2 実施形態)

図 4 は、第 2 実施形態に係る制御装置の構成を模式的に示す図である。図 4 に示される制御装置 1 A は、制御対象装置 2 A の計測値 P V 1 及び計測値 P V 2 (第 2 計測値)、並びに、計測値 P V 2 の目標値である目標値 S V 2 (第 2 目標値) に応じて、制御対象装置 2 A に操作量 M V を出力することによって制御対象装置 2 A を制御する装置である。制御装置 1 A は、いわゆるカスケードループを成しており、カスケード制御を行う。制御装置 1 A は、制御装置 1 と比較して、制御対象が制御対象装置 2 A である点、制御偏差演算部 2 1 (第 2 制御偏差演算部) 及び P 制御部 2 2 (第 3 制御部) をさらに備える点、並びに、リセット部 1 4 に代えてリセット部 1 4 A を備える点において主に相違する。

【 0 0 4 5 】

制御対象装置 2 A は、操作量 M V に応じて動作し、計測値 P V 1 及び計測値 P V 2 を出力する。計測値 P V 1 及び計測値 P V 2 はそれぞれ、制御対象装置 2 A に設けられているセンサ等によって計測される。制御対象装置 2 A としては、例えば、水中航走体が挙げられる。

【 0 0 4 6 】

制御偏差演算部 2 1 は、目標値 S V 2 と計測値 P V 2 との偏差である制御偏差 E 2 (第 2 制御偏差) を演算する。制御偏差演算部 2 1 は、外部から目標値 S V 2 を受信し、制御対象装置 2 A から計測値 P V 2 を受信する。制御偏差演算部 2 1 は、例えば、減算器であり、目標値 S V 2 から計測値 P V 2 を減算し、減算結果を制御偏差 E 2 とする。制御偏差演算部 2 1 は、制御偏差 E 2 を P 制御部 2 2 及びリセット部 1 4 A に出力する。

【 0 0 4 7 】

P 制御部 2 2 は、比例制御を行う部分であり、制御偏差 E 2 に基づいて目標値 S V 1 を演算する。P 制御部 2 2 は、目標値 S V 1 を制御偏差演算部 1 1 に出力する。具体的には、P 制御部 2 2 は、増幅器 2 2 1 を備えている。増幅器 2 2 1 は、制御偏差演算部 2 1 から制御偏差 E 2 を受信し、P 制御のゲインを用いて制御偏差 E 2 を増幅する。増幅器 2 2 1 は、増幅した制御偏差 E 2 を目標値 S V 1 として出力する。

【 0 0 4 8 】

リセット部 1 4 A は、リセット部 1 4 と比較して、リセット条件において相違する。具体的には、リセット部 1 4 A は、第 1 リセット条件及び第 2 リセット条件のいずれかが満たされた場合に、偏差積分値 A C をリセットする。第 2 リセット条件は、前回の目標値 S V 2 (n - 1) と比較して、今回の目標値 S V 2 (n) の大幅な変更が行われたか否かを判定するための条件である。具体的には、第 2 リセット条件は、式 (3) 及び式 (4) によって表される。

【 0 0 4 9 】

つまり、リセット部 1 4 A は、制御偏差 E 1 の極性と偏差積分値 A C の極性とが異なり (式 (1))、かつ、偏差積分値 A C の大きさが第 1 閾値 T H 1 より大きい (式 (2)) 場合に、偏差積分値 A C をリセットし、制御偏差 E 2 の極性と偏差積分値 A C の極性とが異なり (式 (3))、かつ、制御偏差 E 2 の大きさが第 2 閾値 T H 2 より大きい (式 (4)) 場合に、偏差積分値 A C をリセットする。第 2 閾値 T H 2 は、目標値 S V 2 の変化量が大きいことを判定するための値である。第 2 閾値 T H 2 は、例えば、制御偏差 E 2 の最大値の 1 / 2 倍に設定される。第 2 閾値 T H 2 は、実際の運用目的に合わせて調整されてもよい。リセット部 1 4 A は、リセット信号 R S を I 制御部 1 3 に出力することによって、偏差積分値 A C をゼロにリセットする。

(E2 の極性) (A C の極性) ... (3)

10

20

30

40

50

|E2|>TH2 ... (4)

【0050】

次に、制御装置1Aの動作を比較例の制御装置の動作と比較しながら説明する。比較例の制御装置は、制御装置1Aと比較してリセット部14Aを備えていない点で相違する。

【0051】

例えば、制御対象装置2Aが水中航走体であり、水中航走体が水面から水中に潜ろうとする場合を例として説明する。このとき、目標値SV1はピッチ速度指令値であり、目標値SV2は目標ピッチであり、操作量MVは舵角度指令値であり、計測値PV1は現在ピッチ速度であり、計測値PV2は現在ピッチである。ここでは、下向きを正方向とする。

【0052】

制御対象装置2Aが下向きにピッチをかけて水面から潜ろうとする場合に、海面の状態によってはしばらく下を向けない(潜れない)場合がある。この場合、制御対象装置2Aが潜り始めるまでの間にI制御によって正方向の偏差積分値ACが増加し、正方向の操作量MV(舵角度指令値)が大きくなる。海面状況が変化するなどして制御対象装置2Aが潜り始めた場合に、操作量MVを維持すると計測値PV2(現在ピッチ速度)が目標値SV2(ピッチ速度指令値)よりも大きくなり、計測値PV1(現在ピッチ)が目標値SV1(目標ピッチ)よりも大きくなる。このため、操作量MVを小さくする必要があるが、比較例の制御装置では、制御対象装置2Aが潜り始めた後でも、I制御の偏差積分値ACが大きいので、制御偏差E1が負の値となっても操作量MVを減らすのに時間が掛かり、計測値PV2(現在ピッチ)のオーバーシュートが大きくなる、つまり、制御対象装置2Aが下に向きすぎる現象が起こり得る。

【0053】

これに対し、制御装置1Aでは、制御対象装置2Aが潜り始め、計測値PV2(現在ピッチ)が目標値SV2(目標ピッチ)に近づいたときに、制御偏差E2が小さくなり、目標値SV1(ピッチ速度指令値)が計測値PV1(現在ピッチ速度)よりも小さくなるので、制御偏差E1が負の値となる。これにより、制御偏差E1の極性と偏差積分値ACの極性とは反対になり、式(1)の条件が満たされる。このとき、制御対象装置2Aが潜り始めるまでに長い時間を要した場合には偏差積分値ACが十分に大きいので、偏差積分値ACの大きさが第1閾値TH1よりも大きくなり、式(2)の条件が満たされる。このため、リセット部14AはI制御部13にリセット信号RSを出力し、I制御部13は偏差積分値ACをゼロにリセットする。これにより、目標値SV2を始点としてPI制御を開始する状態となるので、速やかに制御対象装置2Aを上向きのピッチとすることができ、計測値PV2(現在ピッチ)のオーバーシュートを小さくすることが可能となる。

【0054】

また、制御対象装置2Aが水中航走体であり、制御対象装置2Aを右旋回から左旋回に切り替える場合を例として説明する。このとき、目標値SV1は旋回速度指令値であり、目標値SV2は目標方位であり、操作量MVは舵角度指令値であり、計測値PV1は現在旋回速度であり、計測値PV2は現在方位である。ここでは、右向きを正方向とする。

【0055】

水中航走体では、左右旋回の応答が遅いので、右旋回したい場合に右に大きく舵を切る操作が行われる場合がある。この場合、目標値SV2(目標方位)は正の値に設定され、目標値SV1(旋回速度指令値)も正の値となる。制御対象装置2Aが右旋回するのに時間を要するので、I制御によって正方向の偏差積分値ACが増加し、正方向の操作量MV(舵角度指令値)が大きくなる。右旋回を行っている途中で左旋回する必要がある場合、目標値SV2が正の値から負の値に変更される。このとき、比較例の制御装置では、制御偏差E2が負の値となり、目標値SV1も負の値となるので、制御偏差E1も負の値になるが、偏差積分値ACが大きいので操作量MVを減らすのに時間が掛かり、計測値PV2(現在方位)のオーバーシュートが大きくなる現象が起こり得る。つまり、舵が右向きからなかなか左向きとならないので、繰り返し旋回が遅れる現象が起こり得る。

【0056】

10

20

30

40

50

これに対し、制御装置 1 A では、右旋回を行っている途中で左旋回する必要が生じた場合、目標値 $SV2$ が正の値から負の値に変更され、制御偏差 $E2$ が負の値となるので、制御偏差 $E2$ の極性と偏差積分値 AC の極性とが反対となり、式 (3) の条件が満たされる。このとき、目標値 $SV2$ の大きさ (左旋回の目標方位) が十分に大きい場合には、制御偏差 $E2$ の大きさが十分に大きくなるので、制御偏差 $E2$ の大きさが第 2 閾値 $TH2$ よりも大きくなり、式 (4) の条件が満たされる。このため、リセット部 1 4 A は I 制御部 1 3 にリセット信号 RS を出力し、I 制御部 1 3 は偏差積分値 AC をゼロにリセットする。これにより、目標値 $SV2$ を始点として PI 制御を開始する状態となるので、速やかに水中航走体に左旋回を開始させることができ、目標値 $SV2$ の大幅な変更に対して応答性を向上することが可能となる。

10

【0057】

一方、旋回目標をゆっくり左右に変化させた場合は、制御偏差 $E2$ の大きさが小さいので、式 (3) の条件が満たされたとしても、式 (4) の条件が満たされないで、偏差積分値 AC がリセットされない。また、右旋回を行っている場合に、目標値 $SV2$ に計測値 $PV2$ が到達する直前では、目標値 $SV1$ (旋回速度指令値) が計測値 $PV1$ (現在旋回速度) を下回るので、制御偏差 $E1$ が負の値となる。このため、式 (1) の条件が満たされるが、この場合には偏差積分値 AC が大きくなり、式 (2) の条件が満たされない。したがって、偏差積分値 AC はリセットされない。

【0058】

以上のように、制御装置 1 A においても、制御装置 1 と同様の効果が奏される。また、制御装置 1 A では、例えば、目標値 $SV2$ が現在の値から反対の極性を持つ値に変更された場合、制御偏差 $E2$ の極性と偏差積分値 AC の極性とは反対になる。ここで、目標値 $SV2$ の変化量が大きい場合、制御偏差 $E2$ が第 2 閾値 $TH2$ よりも大きくなり、偏差積分値 AC がリセットされる。これにより、目標値 $SV2$ の変更に対して、応答性の向上が可能となる。このように、制御装置 1 A では、いわゆるカスケードループにおいて、計測値 $PV2$ のオーバーシュートを低減するとともに、目標値 $SV2$ の変更に対して応答性の向上が可能となる。

20

【0059】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されない。例えば、制御装置 1 A においても、制御装置 1 と同様にフィードフォワード制御部 1 6 及び D 制御部 1 7 をさらに備えてもよい。また、制御装置 1, 1 A は、フィードフォワード制御部 1 6 及び D 制御部 1 7 のいずれか一方を備えてもよい。

30

【0060】

また、上記実施形態では、第 1 リセット条件が成立した場合、I 制御部 1 3 は偏差積分値 AC をゼロにリセットしているが、目標値 $SV1$, $SV2$ において予め計測された定常偏差を補償するための補償値に偏差積分値 AC をプリセットしてもよい。

【0061】

また、目標値 $SV2$ が本来の目標値よりも一旦大きな値に設定され、ある程度時間が経過してから目標値 $SV2$ が本来の目標値に設定される場合において、操作感覚を優先し、計測値 $PV2$ が本来の目標値に達する前に、目標値 $SV2$ が本来の目標値に設定されることがある。この場合において、リセット部 1 4 A は、第 1 リセット条件及び第 3 リセット条件のいずれかが満たされた場合に、偏差積分値 AC をリセットしてもよい。具体的には、第 3 リセット条件は、式 (5)、式 (6) 及び式 (2) によって表される。

40

【0062】

つまり、リセット部 1 4 A は、制御偏差 $E1$ の極性と偏差積分値 AC の極性とが異なり (式 (1))、かつ、偏差積分値 AC の大きさが第 1 閾値 $TH1$ より大きい (式 (2)) 場合に、偏差積分値 AC をリセットし、現在の目標値 $SV2$ と前回の目標値 $SV2$ との差分が第 2 閾値 $TH2$ よりも大きく (式 (5))、かつ、現在の目標値 $SV2$ から前回の目標値 $SV2$ を減算した値の極性と偏差積分値 AC の極性とが異なり (式 (6))、かつ、偏差積分値 AC の大きさが第 1 閾値 $TH1$ より大きい (式 (2)) 場合に、偏差積分値 A

50

Cをリセットする。このようにすることで、目標値SV2が本来の目標値に設定されると同時に、偏差積分値ACをリセットすることができる。

$$|SV2(n)-SV2(n-1)|>TH2 \quad \dots \quad (5)$$

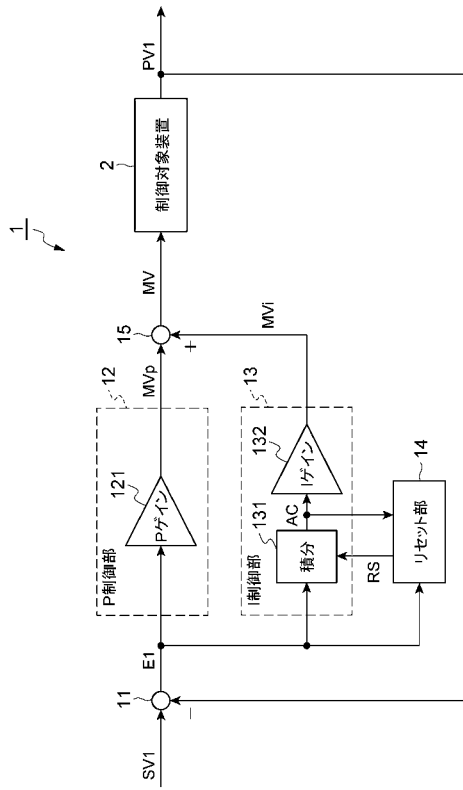
$$(SV2(n)-SV2(n-1)の極性) \quad (ACの極性) \quad \dots \quad (6)$$

【符号の説明】

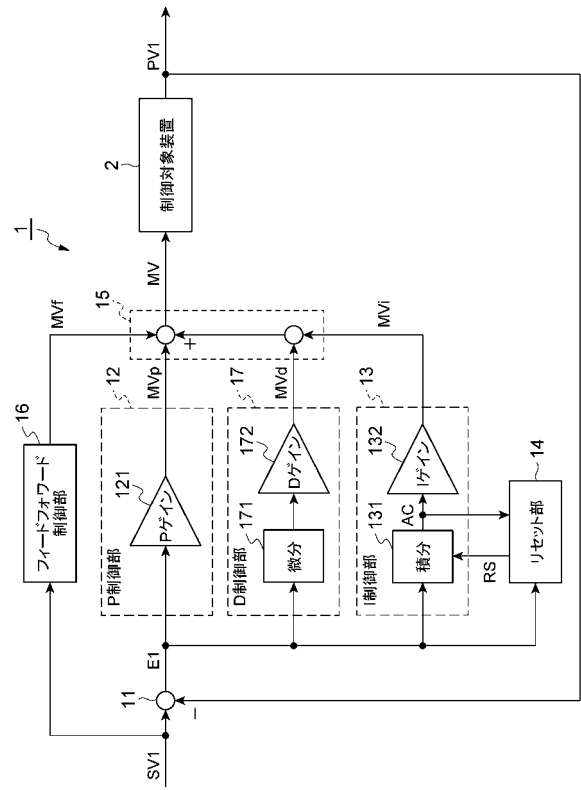
【0063】

- 1、1 A 制御装置
- 2、2 A 制御対象装置
- 1 1 制御偏差演算部（第1制御偏差演算部）
- 1 2 P制御部（第1制御部） 10
- 1 3 I制御部（第2制御部）
- 1 4、1 4 A リセット部
- 1 5 操作量演算部
- 2 1 制御偏差演算部（第2制御偏差演算部）
- 2 2 P制御部（第3制御部）
- AC 偏差積分値
- E 1 制御偏差（第1制御偏差）
- E 2 制御偏差（第2制御偏差）
- M V 操作量
- M V i 制御値（第1制御値） 20
- M V p 制御値（第2制御値）
- P V 1 計測値（第1計測値）
- P V 2 計測値（第2計測値）
- S V 1 目標値（第1目標値）
- S V 2 目標値（第2目標値）

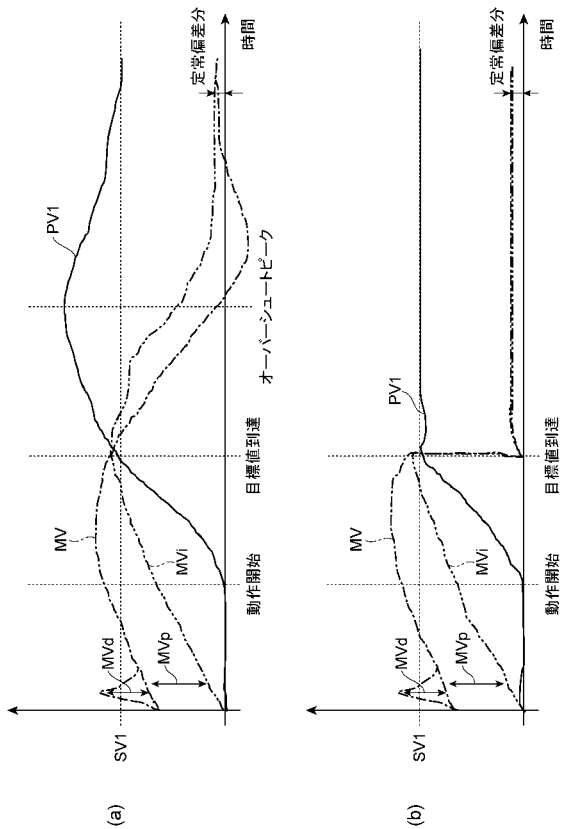
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

