

(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2011-113111
(P2011-113111A)

(43) 公開日 平成23年6月9日(2011.6.9)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G05B 11/36 (2006.01) G05B 11/36 503C 5H004
G05B 13/02 (2006.01) G05B 13/02 D

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2009-266074 (P2009-266074)
 (22) 出願日 平成21年11月24日 (2009.11.24)

(71) 出願人 000143949
 株式会社鷺宮製作所
 東京都中野区若宮2丁目55番5号
 (74) 代理人 100106459
 弁理士 高橋 英生
 (74) 代理人 100102635
 弁理士 浅見 保男
 (74) 代理人 100105500
 弁理士 武山 吉孝
 (74) 代理人 100103735
 弁理士 鈴木 隆盛
 (74) 代理人 100118821
 弁理士 祖父江 栄一

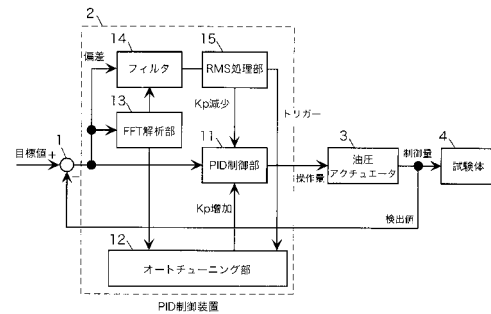
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 P I D制御装置及びP I D制御方法

(57) 【要約】

【課題】高速応答が求められる制御システムにおいて、P I Dパラメータを自動設定する。

【解決手段】P I D制御部 1 1 をP制御状態とし、目標値入力を一定とした状態で、オートチューニング部 1 2 はP I D制御部 1 1 の比例ゲインKpを徐々に増大させる。Kpの増大に伴い、偏差に振動が発生する。F F T解析部 1 3 は偏差を周波数解析して振動の周波数を検出する。フィルタ 1 4 は偏差から振動周波数の成分を抽出しR M S処理部 1 5 に出力する。R M S処理部 1 5 は偏差の振動の1周期ごとに実効値を算出し、複数周期連続して増加していることを検出したときに、オートチューニング部 1 2 にトリガー信号を送出し、P I D制御部 1 1 のKpの値を下げる。オートチューニング部 1 2 はトリガー信号を受信すると、そのときの比例ゲインKp及び固有振動の周期TcからP I Dパラメータを決定する。



【選択図】 図 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

目標値と制御対象からの検出値との偏差に基づいて P I D 演算又は P I 演算により制御対象に対する操作量を算出する P I D 制御部と、

前記 P I D 制御部を比例動作だけを行う P 制御状態とし、前記目標値を一定とした状態で、前記 P I D 制御部の比例ゲインを徐々に増大させるオートチューニング部と、

前記比例ゲインの増大に応じて前記偏差に発生する振動の 1 周期ごとにその実効値を算出し、該算出した実効値が複数周期にわたって単調増加していることを検出したときに、前記オートチューニング部による前記比例ゲインの増大を停止させるとともに、前記 P I D 制御部の比例ゲインを低下させる機能と、前記振動の周波数を検出する機能とを有する R M S 処理部とを有し、

前記オートチューニング部は、前記偏差の振動周期と、前記 R M S 処理部により前記偏差の実効値の単調増加が検出された時点における前記 P I D 制御部の比例ゲインとに基づいて、P I D パラメータを決定し、該決定したパラメータを前記 P I D 制御部に設定することを特徴とする P I D 制御装置。

【請求項 2】

前記偏差の周波数解析を行い、前記比例ゲインの増大に応じて前記偏差に発生する振動の周波数を検出する F F T 解析部と、

前記偏差が入力され、前記 F F T 解析部により検出された振動周波数成分を前記 R M S 処理部に通過させるフィルタとを有することを特徴とする請求項 1 記載の P I D 制御装置。

【請求項 3】

目標値と制御対象からの検出値との偏差に基づいて P I D 演算又は P I 演算により制御対象に対する操作量を算出する P I D 制御部における P I D パラメータを自動設定する P I D 制御方法であって、

前記 P I D 制御部を比例動作だけを行う P 制御状態とする工程と、

前記目標値を一定とした状態で、前記 P I D 制御部の比例ゲインを徐々に増大させる工程と、

前記偏差の周波数解析を行い、前記比例ゲインの増大に応じて前記偏差に発生する振動の周波数を検出する工程と、

前記偏差の振動の 1 周期ごとにその実効値を算出し、該算出した実効値が複数周期にわたって単調増加していることを検出したときに、前記 P I D 制御部の比例ゲインの増大を停止する工程と、

前記 P I D 制御部の比例ゲインの増大を停止したときの該比例ゲインの値を記録するとともに、前記 P I D 制御部の比例ゲインを低下させる工程と、

前記偏差の振動周期と前記記録した比例ゲインの値とに基づいて P I D パラメータを決定し、該決定した P I D パラメータを前記 P I D 制御部に設定する工程と

を含むことを特徴とする P I D 制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、油圧サーボ装置・油圧サーボ試験機などの高速応答と高精度が求められる制御システムにおける P I D 制御装置及び P I D 制御方法に関するものであり、特に、その P I D パラメータの自動設定に関する。

【背景技術】

【0002】

図 11 は、P I D 制御システムの構成を示すブロック図である。

図中 81 は目標値と制御量との差を演算して偏差を出力する加算器、82 は偏差に基づいて操作量を算出し制御対象 83 に出力する P I D 制御部、83 は P I D 制御部 82 から出力される操作量に応じて動作が制御される制御対象である。P I D 制御部 82 は、偏差

10

20

30

40

50

を P I (P : 比例、 I : 積分) 制御演算、又は、 P I D (P : 比例、 I : 積分、 D : 微分) 制御演算することによって、制御量を目標値に一致させるような操作量を算出し、前記制御対象 8 3 を制御する。

【 0 0 0 3 】

このような P I D 制御システムにおいて最適な制御性能を得るためには、前記 P I D 制御部における P I D パラメータ、すなわち、比例ゲイン K_p 、積分時間 T_I 、微分時間 T_D の各パラメータを最適な値に設定することが必要である。

P I D パラメータの設定方法として、(1) ステップ応答法、(2) 限界感度法、(3) 周波数応答法、及び、(4) リミットサイクル法などが知られている。また、P I D パラメータの設定に関する多くの提案がなされている (特許文献 1 ~ 特許文献 7) 。

10

【 0 0 0 4 】

油圧サーボ装置などのように高速応答と高精度が必要なシステムにおいては、制御対象のスピードが速いので、一般に、オペレータによる限界感度法により P I D パラメータを設定することが行われている。

図 1 2 は限界感度法について説明するための図であり、図 1 2 の (a) は入力される方形波信号、図 1 2 の (b) ~ (d) は、比例ゲイン K_p を増大させていったときの制御量の信号波形を示す図である。

【 0 0 0 5 】

前記図 1 1 に示した P I D 制御システムにおいて、比例動作だけの制御状態 (P 制御状態) に設定する。その状態で、図 1 2 の (a) に示す方形波信号を目標値として入力し、P I D 制御部 8 2 の比例ゲイン K_p を増大させていく。比例ゲイン K_p が増大するにしたがって、制御量の信号波形には、図 1 2 の (b) に示すようにオーバーシュートが発生し始める。さらに、比例ゲイン K_p を増大させると、図 1 2 の (c) に示すように、そのオーバーシュートが振動的になってリングングが発生し、さらに比例ゲイン K_p を増大させるとリングングの減衰時間が大きくなる。さらに、比例ゲイン K_p を増大させると、図 1 2 の (d) に示すように、そのリングングが減衰しなくなり振動状態が持続する。そして、さらに、比例ゲイン K_p を増大させると発散を始める。その発散前の限界状態、すなわち、振動状態が持続する持続振動状態であるときの比例ゲイン K_p とリングング周期を元に P I D パラメータを算出する。

20

このように、限界感度法では、P I D 制御システムに目標値として方形波信号を入力し、その方形波のエネルギーによりオーバーシュートを発生させ、その減衰を目視することにより持続振動状態を検出し、そのときの比例ゲインとリングング周期に基づいて P I D パラメータを算出する。

30

【 0 0 0 6 】

次に、方形波信号を入力せず目標値入力をゼロとした状態で比例ゲイン K_p を増大させていく場合における制御量の波形の変化について、図 1 3 を参照して説明する。

図 1 3 の (a) ~ (d) は、P I D 制御部 8 2 の比例ゲイン K_p が増大されていくときの制御量の信号波形の変化を示す図である。なお、この場合には、目標値入力がゼロであるので、制御量と偏差の波形は同一となる。

前記図 1 1 に示した P I D 制御システムにおいて、比例動作だけを行う制御状態 (P 制御状態) に設定し、目標値として方形波信号を入力せず入力をゼロにした状態で比例ゲイン K_p を増大させていく。

40

【 0 0 0 7 】

始めの状態においては、図 1 3 の (a) に示すように、P I D 制御部 8 2 内の抵抗器に発生する熱雑音などにより、制御量の波形にはホワイトノイズが現れている。この状態から比例ゲイン K_p を増大させていくと、図 1 3 の (b) に示すように、次第に系に固有の周波数を有する振動が現れてくる。図 1 3 の (b) に示す状態においては、この振動は持続しており持続振動状態となっているが、振幅が非常に小さいため、ノイズとの分離が困難である。この状態からさらに比例ゲイン K_p を増大させていくと、図 1 3 の (c) に示すように、持続振動の振幅が増大してくる。さらに比例ゲイン K_p を増大させていくと、

50

図 1 3 (d) に示すように、振幅が急速に増大し、発散を始める。

油圧サーボ系では、固有振動周波数が数 1 0 Hz 以上になるので、比例ゲイン K_p を増大させながら、持続振動から発散への変化点を目視で検出し、比例ゲイン K_p の増大を停止させようとしても、操作が遅れ、異常発振を引き起こしてしまうこととなる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】特開平 1 1 - 2 0 1 8 8 8 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 2 - 2 0 2 8 0 1 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 3 - 1 5 0 2 0 3 号公報

【特許文献 4】特公平 0 6 - 1 0 7 6 1 号公報

【特許文献 5】特公平 0 7 - 6 6 2 8 1 号公報

【特許文献 6】特許第 2 8 6 5 1 0 9 号公報

【特許文献 7】特開平 0 9 - 3 4 5 0 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上述のように、限界感度法では方形波を入力してオーバーシュート量が持続振動になるのを目視により観察していく。そのため、不必要なテスト信号を与えなければいけないことと、波形観察が方形波プラス振動波となるため解析が難しいという問題点があった。

また、油圧サーボ装置や油圧サーボ試験機などの高速応答性が必要な制御システムにおいては、固有振動周波数が高いため、手動による限界感度法では、前述のように異常発振を起こしてしまうこととなる。そこで、このような制御システムでは、オープンループ状態で P I D パラメータの設定を行う手法が採用されていた。

【0010】

さらに、オペレータによるパラメータ設定は専門技術を要し、適正な設定とするためには、カット&トライにかかる時間を要していた。また、オペレータによっては、設定の精度にもバラツキが発生する。さらには、予期せぬ外乱によっても、負荷に過大な入力を与えてしまい、負荷や装置を故障させてしまうという危険があった。

なお、特許文献 7 において、限界感度法によるオートチューニング法が提案されており、この方法では、制御量の第 1 のピークと第 2 のピークとを比較することにより、持続振動を検出するようになされている。しかしながら、ノイズの影響が大きいため、制御量のピークを高精度に検出することは困難である。

【0011】

そこで本発明は、油圧サーボ装置や油圧サーボ試験機などの高速応答性及び高精度が必要とされる制御システムにおいて、従来自動解析が困難であった出力波形を短時間で自動解析し、P I D パラメータ設定を自動で行うことができる P I D 制御装置と P I D 制御方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明の P I D 制御装置は、目標値と制御対象からの検出値との偏差に基づいて P I D 演算又は P I 演算により制御対象に対する操作量を算出する P I D 制御部と、前記 P I D 制御部を比例動作だけを行う P 制御状態とし、前記目標値を一定とした状態で、前記 P I D 制御部の比例ゲインを徐々に増大させるオートチューニング部と、前記比例ゲインの増大に応じて前記偏差に発生する振動の 1 周期ごとにその実効値を算出し、該算出した実効値が複数周期にわたって単調増加していることを検出したときに、前記オートチューニング部による前記比例ゲインの増大を停止させるとともに、前記 P I D 制御部の比例ゲインを低下させる機能と、前記振動の周波数を検出する機能とを有する R M S 処理部とを有し、前記オートチューニング部は、前記偏差の振動周期と、前記 R M S 処理部により前記偏差の実効値の単調増加が検出された時点における前記 P I D

10

20

30

40

50

制御部の比例ゲインとに基づいて、P I D パラメータを決定し、該決定したパラメータを前記 P I D 制御部に設定するものである。

さらに、前記偏差の周波数解析を行い、前記比例ゲインの増大に応じて前記偏差に発生する振動の周波数を検出する F F T 解析部と、前記偏差が入力され、前記 F F T 解析部により検出された振動周波数成分を前記 R M S 処理部に通過させるフィルタとを有するものである。

【 0 0 1 3 】

さらにまた、本発明の P I D 制御方法は、目標値と制御対象からの検出値との偏差に基づいて P I D 演算又は P I 演算により制御対象に対する操作量を算出する P I D 制御部における P I D パラメータを自動設定する P I D 制御方法であって、前記 P I D 制御部を比例動作だけを行う P 制御状態とする工程と、前記目標値を一定とした状態で、前記 P I D 制御部の比例ゲインを徐々に増大させる工程と、前記偏差の周波数解析を行い、前記比例ゲインの増大に応じて前記偏差に発生する振動の周波数を検出する工程と、前記偏差の振動の 1 周期ごとにその実効値を算出し、該算出した実効値が複数周期にわたって単調増加していることを検出したときに、前記 P I D 制御部の比例ゲインの増大を停止する工程と、前記 P I D 制御部の比例ゲインの増大を停止したときの該比例ゲインの値を記録するとともに、前記 P I D 制御部の比例ゲインを低下させる工程と、前記偏差の振動周期と前記記録した比例ゲインの値とに基づいて P I D パラメータを決定し、該決定した P I D パラメータを前記 P I D 制御部に設定する工程とを含むものである。

10

【 発明の効果 】

20

【 0 0 1 4 】

このような本発明の P I D 制御装置及び P I D 制御方法によれば、従来具体化されず解決されていなかった油圧サーボ装置・油圧サーボ試験機などの高速応答性が必要な制御システムにおいて油圧アクチュエータ等の制御対象をコントロールする P I D 制御装置の P I D パラメータを自動設定することができるようになったことに加え、以下の効果を奏することができる。

- (1) 整定時間を大幅に削減することができる。
- (2) 出力機器や試験体にダメージを与える危険が無くなる。
- (3) 入力装置に特別な信号発生装置を用いることがないため、P I D 制御装置の小型化を達成することができる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】本発明の P I D 制御装置の一実施の形態を用いた油圧サーボ試験機のブロック図である。

【 図 2 】オートチューニング部の動作を説明するためのフローチャートである。

【 図 3 】 F F T 解析部の動作を説明するためのフローチャートである。

【 図 4 】 R M S 処理部の動作を説明するためのフローチャートである。

【 図 5 】従来方式で比例ゲインが小さいときの出力波形を示す図である。

【 図 6 】従来方式で比例ゲインが発振限界の手前のときの出力波形を示す図である。

【 図 7 】本発明の方式において比例ゲインが小さいときの出力波形を示す図である。

40

【 図 8 】本発明の方式において比例ゲインが発振限界の手前のときの出力波形を示す図である。

【 図 9 】本発明の P I D 制御装置の他の実施の形態を用いた油圧サーボ試験機のブロック図である。

【 図 1 0 】図 9 に示した実施の形態における R M S 処理部の動作を説明するためのフローチャートである。

【 図 1 1 】従来の P I D 制御システムの構成を示す図である。

【 図 1 2 】限界感度法における出力波形の例を示す図である。

【 図 1 3 】入力信号無しの場合における出力波形の例を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

50

【0016】

本発明のPID制御方法を用いたPID制御装置の一実施の形態について、油圧サーボ試験機に適用した場合を例にとって説明する。

図1は、本発明のPID制御装置の一実施の形態を用いた油圧サーボ試験機の構成を示すブロック図である。

この図において、1は目標値と検出値との差を検出して偏差を出力する加算器、2は本発明のPID制御装置、3はPID制御装置2からの操作量により駆動される油圧アクチュエータ、4は油圧アクチュエータ3により載荷される試験体である。変位、荷重あるいは加速度などを制御対象とすることができるが、この実施の形態では、前記油圧アクチュエータ3に接続された振動計を制御対象とし、その出力を検出値として前記加算器1に入力している。

10

【0017】

PID制御装置2は、図示するように、前記加算器1からの偏差をPID制御演算することによって操作量を算出するPID制御部11、PIDパラメータの自動設定処理を制御するオートチューニング部12、前記加算器1からの偏差の周波数解析を行って偏差に含まれている振動の周波数のうちピークとなる周波数(固有振動周波数 f_c)を検出するFFT(Fast Fourier Transform:高速フーリエ変換)解析部13、前記偏差に含まれている雑音成分を除去するデジタルフィルタで構成されたローパスフィルタ14、前記ローパスフィルタ14を通過した偏差の実効値(Root Mean Square:二乗平均平方根)を算出し、持続振動から発散への変化点(「発振限界」とよぶ。)を検出して比例ゲイン K_p の増大を停止するトリガー信号を出力するRMS処理部15を備えている。

20

前記オートチューニング部12は、前記PID制御部11における比例ゲイン K_p を徐々に増大させるとともに、前記RMS処理部15から発振限界を検出したときに出力される前記トリガー信号に応じて比例ゲイン K_p の増大を停止させるとともに、前記FFT解析部13により検出された振動の周期 $T_c (= 1 / f_c)$ 及び発振限界における比例ゲインの値 K_{pc} に基づいてPIDパラメータ(比例ゲイン K_p 、積分時間 T_I 、微分時間 T_D)を決定する処理を行う。

【0018】

図2は、前記オートチューニング部12により実行される処理の流れを示すフローチャートである。

30

オートチューニング処理が開始される前に、PID制御部11は比例動作だけを行うP制御状態に設定されているものとする。これは、オートチューニング処理の開始時に自動的に設定するようにしてもよいし、オペレータが設定するようにしてもよい。

【0019】

処理が開始されると、オートチューニング部12は、まず、前記RMS処理部15から発振限界の検出に応じて出力される比例ゲイン K_p の増大を停止するトリガー信号が発生されているか否かを判定する(ステップS1)。

前記トリガー信号が発生されていないときは、ステップS2に進み、前記PID制御部11における比例ゲイン K_p を所定値だけ増加させる。そして、増加させた比例ゲイン K_p の値が予め定められた最大値に達していないときは、前記ステップS1に戻る。一方、最大値に達したときには、処理を終了する。このように、前記トリガー信号が発生されていないときは、比例ゲイン K_p を漸増させていく。

40

一方、前記ステップS1において、前記RMS処理部15から発振限界の検出時に出力されるトリガー信号が発生されていると判定された場合は、ステップS4に進み、その時点(発振限界)における比例ゲインの値 K_{pc} を記録するとともに、前記FFT解析部13により検出された固有振動周波数 f_c に対応する振動周期 $T_c (= 1 / f_c)$ を記録する。

そして、ステップS5に進み、前記比例ゲイン K_{pc} と振動周期 T_c により、PIDパラメータを決定する。例えば、限界感度法に適用するジューグラ・ニコルスの公式に基づいて、比例ゲイン $K_p = 0.6 K_{pc}$ 、積分時間 $T_I = 0.5 T_c$ 、微分時間 $T_D = 0.125 T_c$ と決定する。そして、この決定したPIDパラメータを前記PID制御部11に設定する。

50

【 0 0 2 0 】

図 3 は前記 F F T 解析部 1 3 の処理の流れを示すフローチャートである。

F F T 解析部 1 3 は、ステップ S 1 1 において、偏差をフーリエ変換し、その周波数成分を検出する。そして、ステップ S 1 2 において、検出した周波数成分からピークとなる周波数成分を検出することができるか否かを判定する。例えば、周波数解析結果の全周波数成分の平均に対し、数デシベル以上大きいピークが検出されたときに、ピークとなる周波数成分が検出されたと判定する。

そして、ピークとなる周波数成分が検出されないときは、前記ステップ S 1 1 に戻り、F F T 処理を繰り返す。

【 0 0 2 1 】

前記オートチューニング部 1 2 の処理により比例ゲイン Kp が徐々に大きくなり、偏差に振動が現れ始め、検出した周波数成分からピークとなる周波数成分が検出されると、ステップ S 1 2 の判定結果が「ピーク検出あり」となってステップ S 1 3 に進み、そのピークとなる周波数を、この P I D 制御系の固有振動周波数 f c であると決定し、前記オートチューニング部 1 2 に通知する。

そして、ステップ S 1 4 に進み、決定した固有振動周波数 f c に所定の値を加算した周波数をローパスフィルタ 1 4 のカットオフ周波数とするフィルタ定数を決定し、ローパスフィルタ 1 4 に設定する。

【 0 0 2 2 】

図 4 は前記 R M S 処理部及び前記ローパスフィルタ 1 4 の処理の流れを示すフローチャートである。この処理は、前記 F F T 解析部 1 3 により、系の固有振動周波数 f c が決定された後に、動作が開始される。

前記ローパスフィルタ 1 4 は、前記偏差を入力して、前記 F F T 解析部 1 3 により設定されたカットオフ周波数よりも低い周波数の信号を通過させ、前記 R M S 処理部 1 5 に出力する（ステップ S 2 1）。これにより、偏差からノイズ成分が除去される。

【 0 0 2 3 】

前記 R M S 処理部 1 5 は、ローパスフィルタ 1 4 から入力される偏差の 1 周期を確定しながら 1 周期ごとに実効値を算出して振幅を検出する（ステップ S 2 2）。

1 周期内のサンプル数を M、該 1 周期内の偏差の振幅のサンプル値を x_k ($k = 1, 2, \dots, M$) としたとき、偏差の振幅の実効値 x_{rms} は次の式 (1) で表される。

【 数 1 】

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_M^2}{M}} \quad (1)$$

例えば、R M S 処理部 1 5 は、偏差の振幅のサンプル値 x_k が入力されるごとに、その 2 乗を計算し、先行するサンプル値の 2 乗の値に加算する処理を行うとともに、サンプル値のゼロクロス点を検出することなどによって偏差の 1 周期を確定し、該確定した 1 周期内の偏差の振幅のサンプル値から前記式 (1) の実効値 x_{rms} を算出する。

【 0 0 2 4 】

そして、ステップ S 2 3 に進み、ステップ S 2 2 で計算した 1 周期ごとの振幅の実効値 x_{rms} が予め設定した複数 N 個の周期にわたって単調増加しているか否かを判定する。すなわち、前記ステップ S 2 2 において算出した 1 周期ごとの振幅の実効値 x_{rms} を予め設定した過去 N 周期分記憶しておき、その値が連続して増加しているか否かを判定する。その判定結果が「いいえ」であるときは、前記ステップ S 2 1 に戻り、次の 1 周期の振幅の実効値 x_{rms} を計算する。ここで、連続して単調増加しているか否かを判定する周期の数 N、すなわち、発振限界を検出するための周期の数 N は、少ない場合には検出間違いが発生することがあり、あまり多いと検出が遅れて振幅が大きくなりすぎるといった問題があり、数周期 (3 ~ 7 周期)、例えば、5 周期 (N = 5) 程度とするのが好適である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

ステップ S 2 3 で、偏差の振幅の実効値 x_{rms} が予め設定した複数周期にわたって連続して増加していることを検出したときには、ステップ S 2 4 に進む。

ステップ S 2 4 では、オートチューニング部 1 2 に対して比例ゲイン K_p の増大を停止するトリガー信号を送出する。そして、ステップ S 2 5 に進み、前記 P I D 制御部 1 1 に対して、比例ゲイン K_p を低下させる制御信号を送出する。例えば、比例ゲインの値をその 1 / 2 程度の値とする制御信号を送信し、これにより、限界振動がすみやかに停止される。

【 0 0 2 6 】

このように、偏差に含まれる振動の 1 周期ごとに振幅の実効値を算出し、該実効値を用いて偏差の振幅の増大を検出することにより、ノイズによる影響を受けることなく、発振限界を検出することができる。

10

なお、上記においては、ローパスフィルタ 1 4 を設けてノイズを除去するようにしたが、R M S 計算の中に平均を計算する処理が含まれており、ノイズを除去する性質を有しているため、ローパスフィルタ 1 4 を省略することも出来る。また、ローパスフィルタではなく、バンドパスフィルタなどを用いることもできる。

【 0 0 2 7 】

以上説明したように、この実施の形態の油圧サーボ試験機において、P I D 制御部 1 1 における P I D パラメータは、次のようにして自動設定される。

始めに、前記 P I D 制御部 1 1 を比例動作のみを行う制御状態 (P 制御状態) に設定し、目標値入力は一値 (例えば、ゼロ入力) とする。

20

この状態で、前記オートチューニング部 1 2 は、前記 P I D 制御部 1 1 における比例ゲイン K_p を徐々に増大させていく。これにより、前記加算器 1 から出力される偏差には、前記図 1 3 の (b) に示したように、ノイズの状態から徐々に固有振動周波数 f_c による振動が含まれるようになる。前記図 1 3 の (c) ~ (d) に示したように、比例ゲイン K_p が大きくなるに従い、この振動は次第に振幅を増していき、最後は発散する。

【 0 0 2 8 】

前記 F F T 解析部 1 3 は偏差の周波数解析を行い、ピーク周波数から偏差に含まれている固有振動周波数 f_c を検出する。そして、前記ローパスフィルタ 1 4 のカットオフ周波数を、検出した固有振動周波数 f_c よりも高い周波数成分の信号が通過しないように設定する。本発明においては、目標値入力が一値であるため、方形波信号を入力する従来方式の場合と比べて、周波数解析結果が単一ピークとなり容易にピーク周波数を検出することができる。

30

【 0 0 2 9 】

前記ローパスフィルタ 1 4 により、固有振動周波数 f_c よりも高い周波数のノイズ成分が除去された偏差は R M S 処理部 1 5 に入力される。

R M S 処理部 1 5 は、前記ローパスフィルタ 1 4 から出力される偏差の振幅の変動を検出するために、振動の 1 周期ごとに実効値を算出し、偏差の振幅が N 周期にわたって連続して増加していることを検出すると、限界発振であると認識し、比例ゲイン K_p の増大を停止するトリガー信号を前記オートチューニング部 1 2 に送付する。そして、これと同時に、前記 P I D 制御部 1 1 に対して比例ゲイン K_p の値を減少させる。これにより、偏差の振動が停止される。複数 N 周期の期間という非常に短い期間 (例えば、2 0 msec 程度) で、偏差の振幅の増大を検出することができ、検出後にすみやかに振動を停止させているために、試験体に負荷が印加される時間は非常に短時間であり、試験体にダメージが与えられることがない。

40

【 0 0 3 0 】

前記オートチューニング部 1 2 は、前記トリガー信号を受信すると、前記 P I D 制御部 1 1 の比例ゲイン K_p の増大を停止し、前記トリガー信号を受信したときの比例ゲインの値 K_{pc} を取得し、この比例ゲインの値 K_{pc} と前記 F F T 解析部 1 3 により得られた固有振動周波数 f_c に基づいて、P I D パラメータを決定し、これを前記 P I D 制御部 1 1 に設

50

定する。PIDパラメータが設定された後は、オペレータはシステムの所望の運転モードを選択して運転を開始することができる。

【0031】

図5～図8を参照して、本願発明のPIDパラメータ設定方法と、前述した従来の方波信号を入力する限界感度法とを比較しつつ、さらに説明する。

図5は前述した従来の方波信号の場合において比例ゲイン K_p が小さいときの(a)操作量、(b)制御量(=偏差)及び(c)制御量の周波数成分を示す図、図6は前述した従来の方波信号の場合において比例ゲイン K_p が発振限界の手前の大きさであるときの上記(a)～(c)を示す図、図7は本発明の方法の場合において比例ゲイン K_p が小さいときの上記(a)～(c)を示す図、図8は本発明の方法の場合において比例ゲイン K_p が発振限界の手前の大きさであるときの上記(a)～(c)を示す図である。図5～図8において、(a)及び(b)の図の縦軸は振幅、横軸は時間を示している。また、(c)の図の縦軸は信号強度(dB)、横軸は周波数を示している。

10

【0032】

図5に示す従来方式で比例ゲイン K_p が小さいときには、目標値入力として方波信号を入力しているため、(b)の制御量(=偏差)は方波形状となっており、(a)の操作量に目標値入力に対応する力が試験体に加わっている。また、(c)の制御量の周波数領域のグラフにおいてピークは発生していない。

【0033】

この状態で比例ゲイン K_p を徐々に増大させていくと、図6に示す比例ゲイン K_p が発振限界の手前の状態となる。このときは、図6の(b)に示すように、持続振動が発生している。そして、(a)に示すように、目標値入力に持続振動の振幅が加わり、大きな力が試験体に加わっている。図5(a)の縦軸の目盛りと、図6(a)の縦軸の目盛りの差に注目されたい。また、(c)に示す制御量の周波数領域のグラフには、ピークが出現しているのが分かる。

20

【0034】

図7は、本発明の方式において比例ゲイン K_p が小さいときの様子を示す図である。この図に示すように、比例ゲイン K_p が小さいときには振動は発生しておらず、(b)の制御量はほぼゼロ、(a)の操作量は小さな値でほぼ一定となっており、試験体には何の力も加わっていない。また、(c)の制御量の周波数領域のグラフもほぼフラットとなっておりピークは発生していない。

30

【0035】

この状態で比例ゲイン K_p を徐々に増大させていくと、図8に示す比例ゲイン K_p が発振限界手前の状態となる。このときは、(b)の制御量には振動が発生しており、(c)には単一のピークが出現しており、振動現象をはっきりとみてとることができる。また、(a)の操作量も振動状態となっている。しかしながら、目標値入力がゼロのために、試験体に加わる振動の力は大きくない。そして、前述のように、制御量の振動のN周期の期間で限界振動が検出され、比例ゲイン K_p が低下されて、例えば、前記図7の状態に移行せられるので、試験体に大きな振動が加わる期間はN周期の間にすぎない。

このように、本発明の方法によれば、試験体に大きな力を加えることなくPIDパラメータを決定することができる。

40

【0036】

次に、本発明の他の実施の形態について説明する。この実施の形態は、上述した実施の形態の構成をより簡素化したものである。

図9は、本発明のPID制御装置のこの実施の形態を用いた油圧サーボ試験機の構成を示すブロック図である。

図9と前述した図1とを比較すると明らかなように、この実施の形態のPID制御装置2には、前記FFT解析部13及びローパスフィルタ14が設けられておらず、前記加算器1から出力される偏差は、RMS処理部15に直接に入力されるようになされている。なお、その他の構成は前記図1に示した構成と同じであるので説明は省略する。

50

【 0 0 3 7 】

このように構成された P I D 制御装置 2 において、オートチューニング部 1 2 は、前記図 1 に示した実施の形態と同様に、前記図 2 に示したフローチャートに従って動作する。ただし、前記図 1 に示した実施の形態においては、前記 F F T 解析部 1 3 により検出された固有振動周波数 f_c に基づいて算出した振動周期 T_c を用いて P I D パラメータを決定していたが、この実施の形態においては、R M S 処理部 1 5 において振動周期 T_c を決定することができるようになされており、該 R M S 処理部 1 5 において決定された振動周期 T_c を用いて P I D パラメータを決定するようにしている。

すなわち、オートチューニング部 1 2 は、P I D 制御部 1 1 が比例動作のみを行う P 制御状態に設定されている状態で、前記 R M S 処理部 1 5 からの比例ゲイン K_p の増大を停止するトリガー信号の発生が検出されるまで、P I D 制御部 1 1 における比例ゲイン K_p を増大させていき、R M S 処理部 1 5 からのトリガー信号を検出したときに、その時点における比例ゲイン K_{pc} の値を記録するとともに、R M S 処理部 1 5 により決定された振動周期 T_c を記録し、該比例ゲイン K_p と振動周期 T_c を用いて前述と同様に P I D パラメータを決定する。

【 0 0 3 8 】

図 1 0 は、前記 R M S 処理部 1 5 により実行される処理の流れを示すフローチャートである。

前記 R M S 処理部 1 5 は、前記加算器 1 からの偏差を入力し、前記式 (1) に示した実効値 x_{rms} を算出する。すなわち、ステップ S 3 1 で入力される偏差の振幅のサンプル値 x_k の 2 乗を計算して先行するサンプル値の 2 乗に加算する処理を行い、ステップ S 3 2 でゼロクロスが検出されたか否か、すなわち、偏差の振動の 1 周期を検出したか否かを判定して、ゼロクロスを検出するまで、ステップ S 3 1 を繰り返す。例えば、偏差の振幅のサンプル値が正から負に変化するゼロクロス、又は、負から正へ変化するゼロクロスのいずれか一方の種類ゼロクロスを検出することにより、1 周期を検出することができる。

そして、ゼロクロスを検出すると、ステップ S 3 3 に進み、その 1 周期に対応するサンプルの数 M を確定し、その 1 周期分の偏差の振幅のサンプル値の 2 乗の和、すなわち実効値 x_{rms} を確定する。

【 0 0 3 9 】

そして、ステップ S 3 4 に進み、前記図 4 のステップ S 2 3 と同様に、ステップ S 3 3 で算出した 1 周期ごとの偏差の振幅の実効値 x_{rms} が予め設定した複数 N 個の周期にわたって単調増加しているか否かを判定する。

その判定結果が「いいえ」であるときは、前記ステップ S 3 1 に戻って上述の処理を繰り返す。

一方、「はい」のときは、ステップ S 3 6 に進み、オートチューニング部 1 2 に対して比例ゲイン K_p の増大を停止するトリガー信号を送出する。次に、ステップ S 3 6 に進み、前記 P I D 制御部 1 1 に対して、比例ゲイン K_p を低下させる制御信号を送出し、限界振動をすみやかに停止させる。

【 0 0 4 0 】

そして、ステップ S 3 7 に進み、偏差の振動の周期 T_c を確定し、前記オートチューニング部 1 2 に通知する。

この振動の周期 T_c は、例えば、次の式 (2) により決定することができる

【 数 2 】

$$T_c = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N M_k \times \text{サンプル周期} \quad (2)$$

ここで、 M_k は k 番目の周期に含まれるサンプル数である。

【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

偏差に含まれるノイズが大きいときには各周期に含まれるサンプル数 M_k の値にバラツキが発生するため、式(2)に示すように、偏差の振幅が単調増加していることを検出したときのデータ、例えば、 $N = 5$ 周期分のサンプル値を平均化して用いるようにしている。

なお、前記ステップ S 3 3 で求める振幅の実効値 x_{rms} については、各周期においてサンプル数 M_k の値が異なっても、前記式(1)に示すように、サンプル数 M で除算をしているため、それほどの影響を受けることはなく、また、振幅の増加が認められればよいので、正確なサンプル数 M_k の値を用いる必要はない。

【0042】

前記オートチューニング部 1 2 は、このようにして RMS 処理部 1 5 で決定された周期 T_c と、前記ステップ S 3 5 において RMS 処理部 1 5 により発生されたトリガー信号を検出したときの比例ゲイン K_{pc} の値を用いて、前記図 1 に示した実施の形態の場合と同様に、PID パラメータを決定し、PID 制御部 1 1 に設定する。

このように、この実施の形態においては、FFT 解析部 1 3 及びローパスフィルタ 1 4 を設けること無く、前記図 1 に示した実施の形態と同様に PID パラメータを自動設定することができる。

【0043】

なお、上記においては、PID 制御部 1 1 を有する PID 制御装置について説明したが、PI 制御部を有する PI 制御装置であっても同様に構成することができる。

また、上述の実施の形態においては、目標値入力をゼロとして処理を行うようにしたが、目標値入力をゼロ以外の一定値として上述の処理を行うようにしてもよい。

さらにまた、上述の実施の形態では、本発明を油圧サーボ試験機に適用した場合を例にとって説明したがこれに限られることはなく、油圧サーボ装置、電気サーボ装置、電気サーボ試験機などの高速応答と高精度が要求されるシステムにも全く同様に適用することができる。

【符号の説明】

【0044】

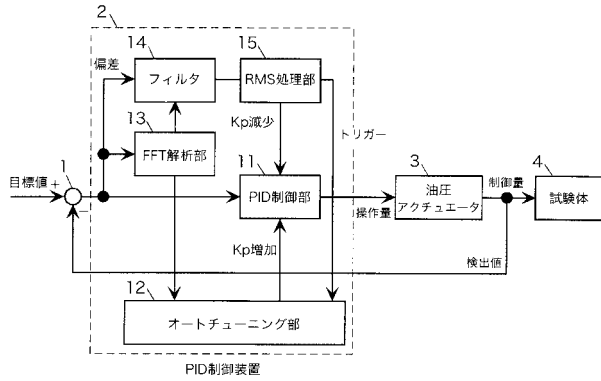
1 : 加算器、2 : PID 制御装置、3 : 油圧アクチュエータ、4 : 試験体、11 : PID 制御部、12 : オートチューニング部、13 : FFT 解析部、14 : ローパスフィルタ、15 : RMS 処理部

10

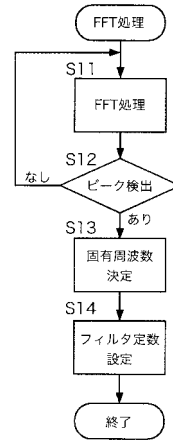
20

30

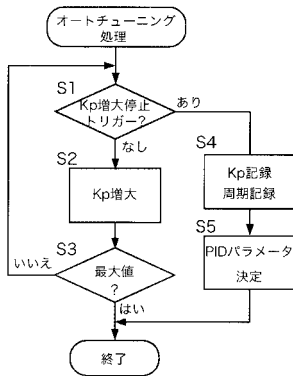
【 図 1 】



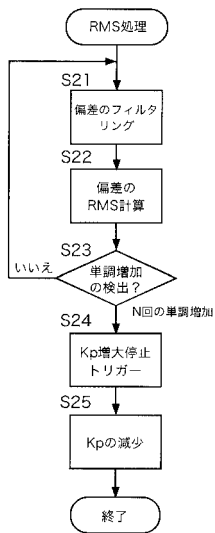
【 図 3 】



【 図 2 】

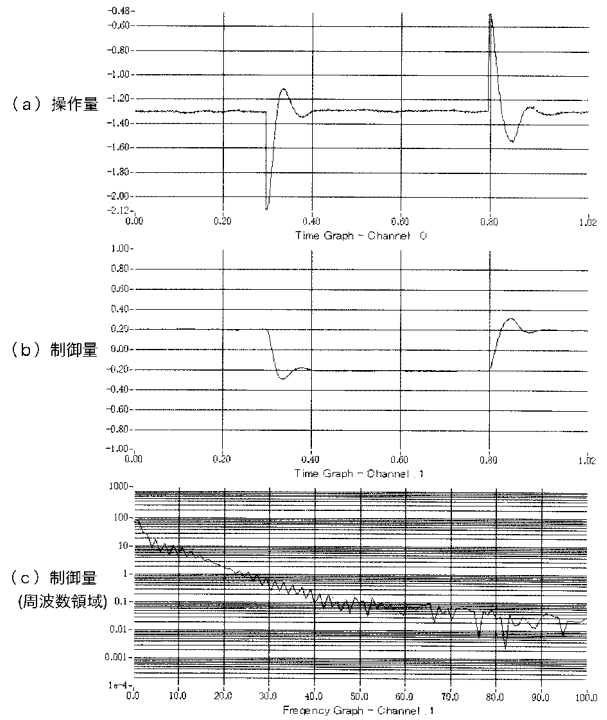


【 図 4 】



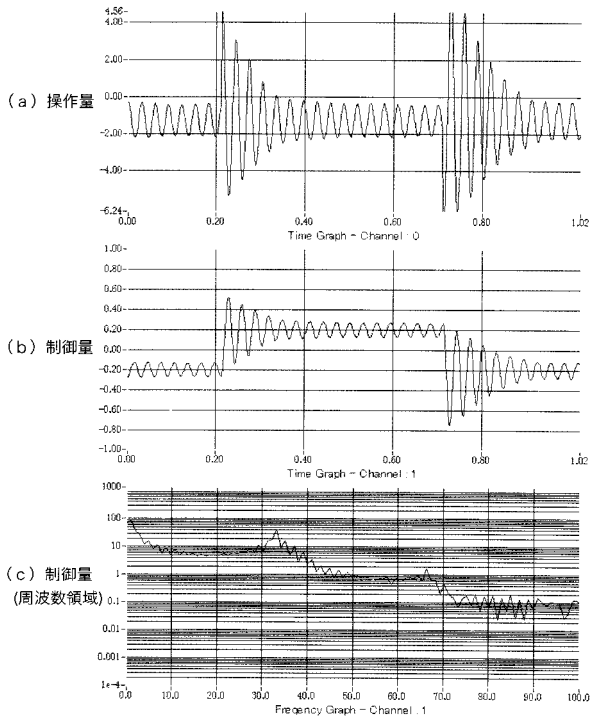
【 図 5 】

従来方式で比例ゲインKpが小さいとき



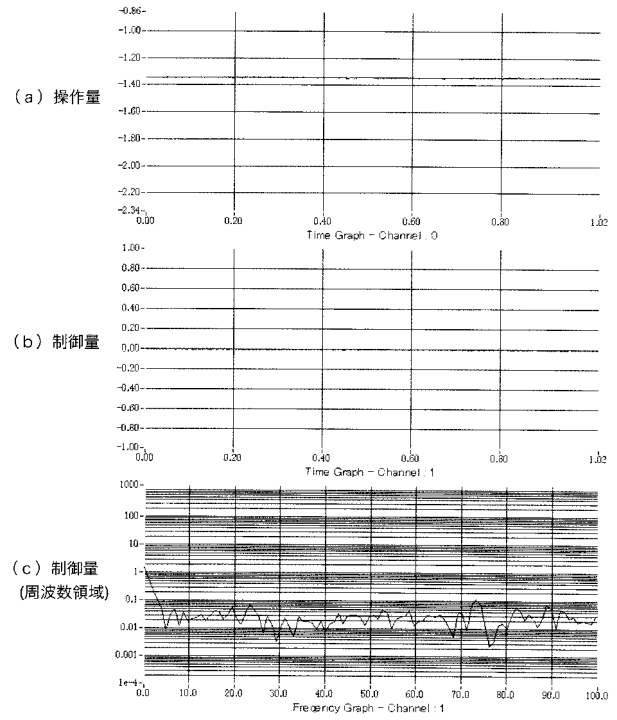
【 図 6 】

従来方式で比例ゲインKpが発振限界の手前するとき



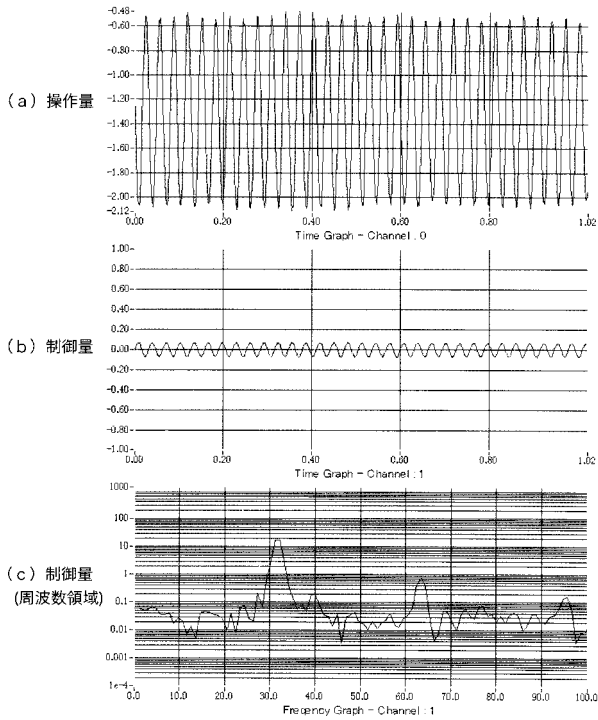
【 図 7 】

本発明の方式で比例ゲインKpが小さいとき

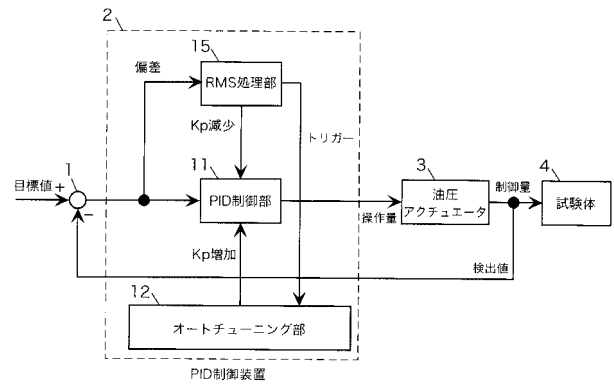


【 図 8 】

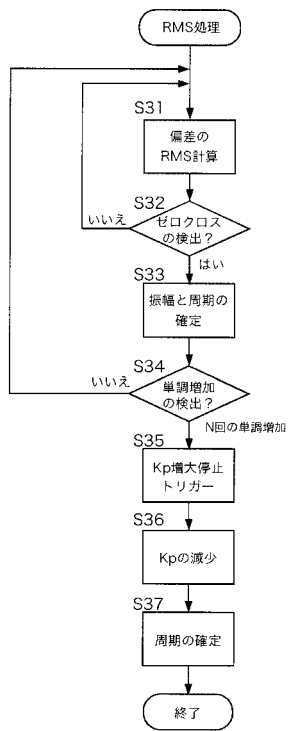
本発明の方式で比例ゲインKpが発振限界の手前するとき



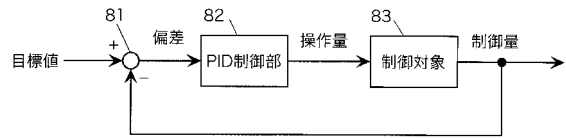
【 図 9 】



【図10】

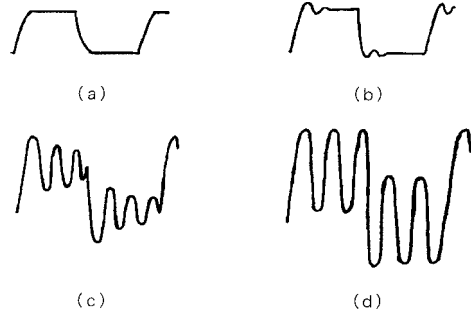


【図11】



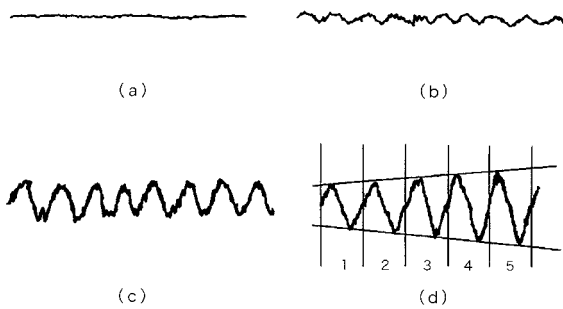
【図12】

方形波信号を入力したとき



【図13】

入力信号がないとき



フロントページの続き

(72)発明者 中島 英司

埼玉県狭山市笹井 5 3 5 株式会社鷺宮製作所狭山事業所内

Fターム(参考) 5H004 GA01 GA29 GA30 GB15 HA07 HA09 HA12 HB07 HB09 HB12
JA01 KB01 KB18 KC48