

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4971490号
(P4971490)

(45) 発行日 平成24年7月11日(2012.7.11)

(24) 登録日 平成24年4月13日(2012.4.13)

(51) Int.Cl. F I
 GO 1 C 19/5726 (2012.01) GO 1 C 19/56 2 2 6
 GO 1 C 19/5755 (2012.01) GO 1 C 19/56 2 5 5

請求項の数 7 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-229399 (P2010-229399) (22) 出願日 平成22年10月12日 (2010.10.12) (62) 分割の表示 特願2001-530525 (P2001-530525) の分割 原出願日 平成12年10月4日 (2000.10.4) (65) 公開番号 特開2011-39074 (P2011-39074A) (43) 公開日 平成23年2月24日 (2011.2.24) 審査請求日 平成22年10月12日 (2010.10.12) (31) 優先権主張番号 60/159,279 (32) 優先日 平成11年10月13日 (1999.10.13) (33) 優先権主張国 米国 (US) 前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 502132726 アナログ デバイシーズ インコーポレイテッド アメリカ合衆国 02062-9106 マサチューセッツ州 ノーウッド ワンテクノロジー ウエイ (番地なし) (74) 代理人 100062225 弁理士 秋元 輝雄 (72) 発明者 ジーン, ジョン, エー. アメリカ合衆国 01876 マサチューセッツ州 テュークスベリー アパシュウエイ 72 審査官 有家 秀郎</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 機械式センサとこれを含む機械式レートジャイロスコープとその操作方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、質量と、前記質量に作動的に結合された第1数 N_d の第1のセグメントを含み、第1の駆動信号を受信し且つ該第1の駆動信号の受信にตอบสนองして駆動軸に沿って駆動力 F_d を発生させると共に、該駆動力により前記質量を前記基板に対して該駆動軸に沿って振動させる構成となっている第1セグメント駆動系と、前記質量に作動的に結合された第2数 N_f の第2のセグメントを含み、該第2のセグメントが、前記第1のセグメントと同じ形態であって該第1のセグメントに対して横断する方向に向いており、第2の駆動信号を受信し且つ該第2の駆動信号の受信にตอบสนองして感知軸に沿ってフィードバック力 F_f を発生させ、 F_d / F_f が N_d / N_f に比例する構成となっている横断セグメント駆動系と、レート感知軸回りに印加された角速度に応じて感知軸に沿って発生するコリオリの力であって、該感知軸に沿って発生された前記フィードバック力 F_f によって相殺される前記コリオリの力により該感知軸に沿って生じる前記質量の変位の大きさに比例した大きさを持つ感知信号を発生する構成となっている変位センサと、を含む機械式センサであって、前記駆動軸と前記感知軸と前記レート感知軸とは、それぞれ相互に直交している前記機械式センサと、

入力信号として前記感知信号を受信するとともに基準信号として前記第1の駆動信号を受信して、同期復調信号を発生する同期復調器と、

前記同期復調器からの前記同期復調信号を受信して該同期復調信号を平均化することによって、平均化された同期復調信号を発生する低域通過フィルタと、

コンパレータと、D型フリップフロップと、クロススイッチと、を含む制御回路と、
 を具備する機械式レートジャイロスコープであって、

前記コンパレータは、前記低域通過フィルタからの前記平均化された同期復調信号を受信して、前記コリオリの力と前記フィードバック力 F_f との間の差の時間平均値をあらわすデジタル信号を発生し、

前記D型フリップフロップは、前記コンパレータからの前記デジタル信号をデータ入力として受信するとともにクロック入力として前記第1の駆動信号の基本周波数成分を受信して、前記印加された角速度に比例するパルス反復周波数を有する出力信号を発生し、

前記クロススイッチは、入力信号として前記第1の駆動信号を受信するとともに前記D型フリップフロップからの前記出力信号を制御信号として受信して、前記第1の駆動信号の完全サイクルの複数を備える第2の駆動信号を前記横断セグメント駆動系へ供給し、

前記横断セグメント駆動系は、前記クロススイッチからの前記第2の駆動信号を受信し且つ該第2の駆動信号の受信に应答して、前記感知軸に沿って前記フィードバック力 F_f を発生して、前記コリオリの力を相殺する構成になっていることを特徴とする機械式レートジャイロスコープ。

【請求項2】

前記第1セグメント駆動系が第1の静電式セグメント駆動系を具備し、前記横断セグメント駆動系が横断静電式セグメント駆動系を具備し、前記第1の駆動信号が電圧駆動信号を備える請求項1記載の機械式レートジャイロスコープ。

【請求項3】

前記第1セグメント駆動系が第1の電磁式セグメント駆動系を具備し、前記横断セグメント駆動系が横断電磁式セグメント駆動系を具備し、前記第1の駆動信号が電流駆動信号を備える請求項1記載の機械式レートジャイロスコープ。

【請求項4】

同期復調器と、低域通過フィルタと、制御回路と、によって制御される機械式センサであって、前記機械式センサは、

基板と、

質量と、

前記質量を前記基板に対し結合する構成となっている懸垂系と、

前記質量に作動的に結合された第1数 N_d のセグメントを含み、第1の駆動信号を受信し且つ該第1の駆動信号の受信に应答して駆動軸に沿って駆動力 F_d を発生させると共に、該駆動力により前記質量を前記基板に対して前記駆動軸に沿って振動させる構成となっている第1セグメント駆動系と、

前記質量に作動的に結合された第2数 N_f の第2のセグメントを含み、前記第2のセグメントが、前記第1のセグメントと同じ形態であって該第1のセグメントに対して横断する方向に向いており、第2の駆動信号を受信し且つ該第2の駆動信号の受信に应答して感知軸に沿ってフィードバック力 F_f を発生させ、 F_d / F_f が N_d / N_f に比例する構成となっている横断セグメント駆動系と、

レート感知軸回りに印加された角速度に応じて前記感知軸に沿って発生するコリオリの力であって、前記感知軸に沿って発生された前記フィードバック力 F_f によって相殺される前記コリオリの力により該感知軸に沿って生じる前記質量の変位の大きさに比例した大きさを持つ感知信号を発生する構成となっている変位センサと、を具備するとともに、前記駆動軸と前記感知軸と前記レート感知軸とが、それぞれ相互に直交している機械式センサであって、

前記制御回路は、コンパレータと、D型フリップフロップと、クロススイッチと、を含み、

前記同期復調器は、前記感知信号を入力信号として受信するとともに前記第1の駆動信号を基準信号として受信して同期復調信号を発生し、

前記低域通過フィルタは、前記同期復調器からの前記同期復調信号を受信するとともに該同期復調信号を平均化して、平均化された同期復調信号を発生し、

10

20

30

40

50

前記コンパレータは、前記低域通過フィルタからの前記平均化された同期復調信号を入力信号として受信して、前記コリオリの力と前記フィードバック力 F_f との間の差の時間平均値をあらわすデジタル信号を発生し、

前記 D 型フリップフロップは、前記コンパレータからの前記デジタル信号をデータ入力として受信するとともに前記第 1 の駆動信号の基本周波数成分をクロック入力として受信して、前記印加された角速度に比例するパルス反復周波数を有する出力信号を発生し、

前記クロススイッチは、前記第 1 の駆動信号を入力信号として受信するとともに前記 D 型フリップフロップからの前記出力信号を制御信号として受信して、前記第 1 の駆動信号の完全サイクルの複数を備える第 2 の駆動信号を前記横断セグメント駆動系へ供給し、

前記横断セグメント駆動系は、前記クロススイッチからの前記第 2 の駆動信号を受信し且つ該第 2 の駆動信号の受信に应答して、前記感知軸に沿って前記フィードバック力 F_f を発生して、前記コリオリの力を相殺することを特徴とする機械式センサ。

【請求項 5】

前記第 1 セグメント駆動系が第 1 の静電式セグメント駆動系を具備し、前記横断セグメント駆動系が横断静電式セグメント駆動系を具備し、前記第 1 の駆動信号が電圧駆動信号を備える請求項 4 記載の機械式センサ。

【請求項 6】

前記第 1 セグメント駆動系が第 1 の電磁式セグメント駆動系を具備し、前記横断セグメント駆動系が横断電磁式セグメント駆動系を具備し、前記第 1 の駆動信号が電流駆動信号を備える請求項 4 記載の機械式センサ。

【請求項 7】

機械式センサと、同期復調器と、低域通過フィルタと、制御回路とを含む機械式レートジャイロスコープの動作方法であって、前記機械式センサは、駆動軸と、感知軸と、レート感知軸と、基板と、質量と、変位センサと、第 1 セグメント駆動系と、横断セグメント駆動系と、を有するとともに、前記駆動軸と、前記感知軸と、前記レート感知軸とは、それぞれ相互に直交しており、前記制御回路は、コンパレータと、D 型フリップフロップと、クロススイッチと、を備え、前記動作方法が、

前記第 1 セグメント駆動系によって、前記第 1 の駆動信号の受信に应答して駆動軸に沿って駆動力 F_d を発生させると共に、該駆動力により前記質量を前記基板に対して前記駆動軸に沿って振動させるステップと、

前記レート感知軸回りに印加された角速度に応じて前記感知軸に沿って発生するコリオリの力であって、前記感知軸に沿って発生されたフィードバック力 F_f によって相殺される前記コリオリの力によって前記感知軸に沿って引き起こされる前記質量の変位の大きさに比例した大きさを持つ感知信号を、前記変位センサによって発生するステップと、

前記同期復調器によって、前記感知信号を入力信号として受信するとともに前記第 1 の駆動信号を基準信号として受信して同期復調信号を発生するステップと、

前記低域通過フィルタによって、前記同期復調器からの前記同期復調信号を受信するとともに該同期復調信号を平均化して、平均化された同期復調信号を発生するステップと、

前記コンパレータによって、前記低域通過フィルタからの前記平均化された同期復調信号を受信して、前記コリオリの力と前記フィードバック力 F_f との間の差の時間平均値をあらわすデジタル信号を発生するステップと、

前記 D 型フリップフロップによって、前記コンパレータからの前記デジタル信号をデータ入力として受信するとともに前記第 1 の駆動信号の基本周波数成分をクロック入力として受信して、前記印加された角速度に比例するパルス反復周波数を有する出力信号を発生するステップと、

前記クロススイッチによって、前記第 1 の前記駆動信号を入力信号として受信するとともに前記 D 型フリップフロップからの前記出力信号を制御信号として受信して、前記第 1 の駆動信号の完全サイクルの複数を備える第 2 の駆動信号を前記横断セグメント駆動系へ供給するステップと、

前記横断セグメント駆動系によって、前記クロススイッチからの前記第 2 の駆動信号の

10

20

30

40

50

受信に応答して前記感知軸に沿って前記フィードバック力 F_f を発生させて前記コリオリの力を相殺するステップと、

を備える機械式レートジャイロスコープの動作方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、1999年10月13日出願のレートジャイロスコープ用フィードバック機構と題する米国特許仮出願60/159,279号の優先権を主張する。

【0002】

本発明は、一般的に機械的レートジャイロスコープに関し、詳細にはジャイロスコープの機械的及び電気的特性に対する感応度の小さい変換係数を有する機械式レートジャイロスコープに関する。

10

【背景技術】

【0003】

機械式レートジャイロスコープは、コリオリの効果を利用して、印加された角速度の測定値を与えることが知られている。在来の機械式レートジャイロスコープにおいては、質量、 m 、を有する本体を、堅固な加速度計枠から柔軟な懸架システムで支える。堅固な枠が本体速度に直交するレート感知軸の周りに、印加された角速度、 Ω_N 、で回転するとき、本体は、駆動力 F_d により、速度 v で振動させられる。振動と角度変位の複合により、本体には、速度とレート感知軸の双方に直交する方向に、コリオリの加速度、 $A_c = 2v\Omega_N$ 、を生じる。したがって、コリオリの力、 $F_c = mA_c$ 、が本体に与えられ、それにより本体はコリオリの加速度の方向に変位する。

20

【0004】

在来の機械式レートジャイロスコープにおいては、本体のこのような変位は、一般的に機械的又は電気的いずれかの抑制力、例えば、ばね定数、 k 、を有する機械式ばねなどにより、抑制される。したがって、コリオリの加速度の方向への本体の変位は、一般的に式、 $y = F_c / k$ 、により定まる。さらに、本体の変位は、一般的に、コンデンサの平行板の間の距離の変化が起こす容量変化を測定する装置などの変位センサを用いて測定される。コンデンサの平行板のうち1つを本体に作動的に結合し他の板を堅固な枠に固定しておく、板の間の距離の変化が本体の変位に比例する。このような変位センサは、印加された角速度、 Ω_N 、に比例する出力を生じるので、比例定数、 k 、は普通にレートジャイロスコープの感度と言われる。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

在来の機械式レートジャイロスコープの感度、 k 、には、一般的に複数の変換係数が含まれる。これらは、機械的寸法、材料特性、及びジャイロスコープとそれに対する補助回路の電氣的利得、並びにそれらに加わる電圧、電流、及び電磁場の関数である。在来の機械式レートジャイロスコープの出力は、したがって、これら変換係数の各種不確実性と不安定性の影響を受ける。このような不確実性と不安定性は、一般的に、製造工程中に変換係数を測定して調整することによって、及び/又はジャイロスコープ出力に専用信号調整回路を設けることによって出来るだけ小さくする。しかし、このような余分の製造工程及び信号調整回路を付け加えることは、機械式レートジャイロスコープ、特に微細加工の機械式レートジャイロスコープのサイズと原価を著しく増加することがある。

40

【0006】

したがって、ジャイロスコープの機械的及び電気的特性に対する感応度の小さい変換係数を有する改良機械式レートジャイロスコープを有するのが望ましい。このような改良機械式レートジャイロスコープはサイズが小さく簡単な製造工程を用いて加工され、それによりジャイロスコープの全体原価を引き下げる。在来のシリコン微細加工技術を用いて製造することの出来る改良機械式レートジャイロスコープを有することもまた望ましい。

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明にしたがうと、ジャイロスコープの機械的及び電気的特性に対する感応度の小さい変換係数を有する機械式レートジャイロスコープが提供される。この機械式レートジャイロスコープは、質量に対して振動を与えるため使用される第1セグメント駆動系、及び同様のセグメントから形成されジャイロスコープが角度変位を受けたとき質量に加わるコリオリの力を相殺するフィードバック力を発生するため使用される横断セグメント駆動系を含む。

【0008】

この機械式レートジャイロスコープはさらに、第1駆動系が利用する駆動信号の完全サイクル少なくとも1つを横断駆動系に与えるため使用される力-フィードバック制御機構を含む。この力-フィードバック制御機構は、横断駆動系に与えられる駆動信号の完全サイクルの極性を制御するため使用されるフィードバック信号を発生する。このフィードバック信号は、印加された角速度に比例するパルス反復周波数を有する。印加された角速度をパルス反復周波数に関係付ける比例定数には、ジャイロスコープの機械的及び電気的特性に対する感応度の低い変換係数が含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明に従う機械式レートジャイロスコープの構成図である。

【図2】図1の機械式レートジャイロスコープの第1代替実施例の構成図である。

【図3】図1の機械式レートジャイロスコープの第2代替実施例の構成図である。

【0010】

この機械式レートジャイロスコープの他の特性、機能、及び様相は、本発明に関する以下の詳細説明から明らかになるであろう。

【発明を実施するための形態】

【0011】

図面との関連で以下の本発明の詳細説明を参照すると本発明がいっそう完全に理解されるであろう。

【0012】

1999年10月13日申請の米国特許仮出願60/159,279号を参照によりここに合併する。

【0013】

図1は、本発明にしたがう機械式レートジャイロスコープ100の説明的実施例の構成図である。図1に示すように、機械式レートジャイロスコープ100には機械式センサ102が含まれる。これは、上述の米国特許仮出願60/159,279号に記述するようにシリコン微細加工センサ構造から成る。明細に言うところ、機械式センサ102には、堅固な加速度計枠から複数の撓み体により懸垂された本体106が含まれる。堅固な枠は、シリコン基板に対し複数のアンカー点で複数の横方向撓み体を用いてアンカー止めされている。堅固な枠、複数の撓み体、及び機械式センサ組立体を基板にアンカー止めするためのアンカーは、上記の米国特許仮出願60/159,279号に詳しく記述されている。

【0014】

本体106は、静電式又は電磁式セグメント駆動系として実現されるセグメント駆動系114により、駆動軸、x、に沿って振動させられる。図示の実施例においては、駆動系114の各々は静電式セグメント駆動系であって、本体106に一体で結合された駆動セグメントの第1セット118（即ち、電極又は「指」）、及び基板にアンカー止めされ駆動セグメントの第1セット118と互いにかみ合う駆動セグメントの第2セット120（即ち、電極又は「指」）を含む。本体106は、駆動指の第1セット118と第2セット120との間に印加された静電駆動力、 F_d 、に反応して、駆動軸、x、に沿って速度、 v 、で振動する。静電駆動力、 F_d 、は、駆動系114に対しそれぞれの伝送路178と180の上で与えられる交流電圧からなる駆動信号を用いて発生される。代替実施例にお

10

20

30

40

50

いては、磁場の存在下で交流電流を適切な電磁式駆動系に印加することにより電磁駆動力が発生される。

【0015】

差動容量変位センサ116が、本体106の振動を感知してそれぞれの伝送路143と149の上に信号を与え、それらが振動する本体106の振動を持続させるのに用いられる。この例示的实施例において、変位センサ116は、本体106に一体で結合された少なくとも1つの感知指と、それに対応して基板にアンカー止めされた少なくとも1つの感知指を含む。振動する本体に持続振動を与えるため適切な静電式駆動系は、横方向駆動共鳴微細構造体と題する1991年6月18日付でTang等に発行された米国特許5,025,346に記述されており、それをここに参照により合併する。

10

【0016】

当業者は、本体106が駆動軸、x、に沿って振動する一方で、堅固な枠が駆動x軸に直交するレート感知軸、z、の周りで回転すると、本体106は、駆動軸及びレート感知軸双方に直交する感知軸、y、に沿ってコリオリの加速度、Ac、を受けることを理解するであろう。その結果、堅固な枠が角度変位を受けたとき、明確なコリオリの力、Fc、が振動する本体106に印加され、それにより、振動する本体106が感知軸、y、に沿って偏る。

【0017】

この例示的实施例においては、機械式センサ102の堅固な枠は、堅固な枠を基板から懸垂する横方向撓み体の少なくとも一部により、駆動軸、x、の方向に動かないようになっている。さらに、本体106の感知軸、y、の方向への変位は、機械的ばねなど少なくとも1つの横方向撓み体により抑制されている。好適実施例においては、振動する本体106は、堅固な枠に対し駆動軸、x、の方向にだけ動くよう束縛されており、堅固な枠は、基板に対し感知軸、y、の方向にだけ動くよう束縛されている。

20

【0018】

振動する本体106の、感知軸、y、に沿う変位は、差動容量変位センサ117を用いて測定する。この差動容量変位センサは、堅固な枠に一体で結合された感知指の第1セット142と、それに対応して基板に固定された感知指の第2セット144及び第3セット146を含む。堅固な枠と感知指の第1セット142は、振動する本体106が基板及び固定感知指の第2セット144と第3セット146に対して感知軸、y、の方向に変位するとき、振動する本体106と共に運ばれることが認められる。変位センサ117は、感知軸、y、に沿う本体106の偏変位を感知し、感知信号をそれぞれの伝送路152と154の上に生じ、その大きさは変位の大きさに比例する。

30

【0019】

上述のように、変位センサ116は、信号を伝送路143及び149の上に生じ、それらは、機械式レートジャイロスコープ100が振動する本体106の振動を持続するため用いる。その行き先に、機械式レートジャイロスコープ100は、差動増幅器126と分路フィードバック抵抗器130及び132を含む相互抵抗増幅器125を有する。明細に言う、変位センサ116は、伝送路143及び149の上で相互抵抗増幅器125のそれぞれの入力に対し信号を与える。相互抵抗増幅器は、これらから逆極性の信号を生じてコンパレータ160に送る。このコンパレータは、それぞれの伝送路178及び180の上で駆動系114に対し駆動信号を与える。

40

【0020】

好適実施例においては、駆動信号が駆動系114に与えられて、本体106を機械的共鳴で振動させる。機械式センサ102、相互抵抗増幅器125、及びコンパレータ160はこうして発振回路を形成する。この発振回路では、共鳴する本体106が周波数決定要素であり、相互抵抗増幅器125が、機械的共鳴における本体106の振動の持続に必要な位相前進(即ち90度位相シフト)を与える。

【0021】

また上述したように、変位センサ117は、感知軸、y、に沿う本体106の変位の大

50

きさに比例する大きさを有する感知信号を伝送路 152 と 154 の上に発生する。この感知信号は、差動増幅器 128 及び分路フィードバックコンデンサ 134 と 136 を含む増幅器 127 により増幅される。増幅器 127 は、それぞれの伝送路 152 と 154 の上の感知信号を、その位相を保ったまま増幅し、増幅感知信号をクロススイッチ 138 に与える。このクロススイッチは、図示の実施例では同期復調装置として働く。

【0022】

明細に言う、クロススイッチ 138 は、増幅感知信号を入力信号として、伝送路 178 と 180 の上の信号を基準信号として受信し、同期的に復調された信号を低域通過フィルタ 140 に与える。これが復調信号を平均する。好適実施例において、フィルタ 140 は、積分フィルタとして実現される。フィルタ 140 は、復調信号からオフセット及びリプルを除去し、復調/平均信号をコンパレータ 156 にそれぞれの伝送路 186 と 188 の上で与える。

10

【0023】

当業者は、機械式レートジャイロスコープの感度は、ジャイロスコープの機械的寸法、材料特性、及び電氣的利得、及び/又はジャイロスコープの各種構成部品に印加される電圧、電流、及び電磁場などの関数である複数の変換係数から成ることを理解するであろう。機械式レートジャイロスコープ 100 の説明的実施例においては、コンパレータ 156、D-型フリップフロップ 158、クロススイッチ 164、及び横断駆動系 166 と 168 を含む力-フィードバック制御機構を用いて、変換係数がジャイロスコープの機械的及び電氣的特性に対する感応度を小さくしている。

20

【0024】

明細に言う、コンパレータ 156 が復調/平均信号を入力信号として受信し、デジタル信号を D-型フリップフロップ 158 の D-入力に与える。このデジタル信号は、横断駆動系 166 と 168 が発生して振動する本体 106 に感知軸、y、に沿って印加されるフィードバック力、 F_f 、と見掛け上のコリオリの力、 F_c 、との間の差の時間平均値をあらわす。その結果、D-型フリップフロップ 158 のラッチされた出力は、極性が交互に代わる(即ち、正と負の)複数のパルスから成る。このパルスは、機械式センサ 102 に印加された角速度、 $\dot{\theta}$ 、に比例するパルス反復周波数(PRF)を有する。上述の力-フィードバック制御機構を含む機械式レートジャイロスコープ 100 は、デルタ-シグマ復調器として働くことが認められる。

30

【0025】

コンパレータ 160 は、相互抵抗増幅器 125 が発生した信号を、その差動入力に受信し、これら信号の基本周波数成分から成るデジタル出力を、伝送路 178 と 180 の上でクロススイッチ 164 に与える。コンパレータ 160 はまた、信号のこの基本周波数成分を伝送路 178 の上で D-型フリップフロップ 158 のクロックの入力に与える。

【0026】

その結果、D-型フリップフロップ 158 は、駆動信号のサイクル毎に D 入力にデジタル信号をラッチし、その Q-出力にあるラッチされた信号を、クロススイッチ 164 に与える。D-型フリップフロップ 158 はまた、ラッチされた信号の逆転型、 $\overline{V_{OUT}}$ 、をそのノット Q-出力から与える。クロススイッチ 164 は、このラッチされた信号を使用し、伝送路 178 と 180 の上で横断駆動系 166 と 168 に対する駆動信号の供給を制御する。明確には、クロススイッチ 164 は、横断駆動系 166 と 168 に対しそれぞれの伝送路 182 と 184 の上に作られる駆動信号の完全サイクルの極性を制御する。横断駆動系 166 と 168 は、この駆動信号を利用して、フィードバック力、 F_f 、を発生し、機械式センサ 102 が角度変位を受けたとき振動する本体 106 に印加されるコリオリの力の効果を相殺する。

40

【0027】

コンパレータ 156 の発生するデジタル信号は、その値に限界はあるが機能的制限のないエラー信号の形を取ることが、認められる。さらに、D-型フリップフロップ 158 の出力は、その平均値と角速度との間の長期にわたる機能的マッピング、及び平均値と角速

50

度との間の短期的な概略マッピングを有するフィードバック信号である。上記のエラー信号は、この近似の目安である。

【0028】

駆動系114と同様に、横断駆動系166及び168は、静電式又は電磁式セグメント駆動系として実現されるセグメント駆動系である。図示の実施例において、横断駆動系166は、本体106に一体として結合された少なくとも1つの駆動セグメント170（即ち、電極又は指）と、基板にアンカー止めされ、駆動セグメント170とかみ合う複数の駆動セグメント172（即ち、電極又は指）を含む静電式セグメント駆動系である。同様に、横断駆動系168は、本体106に一体として結合された少なくとも1つの駆動指174と、基板にアンカー止めされ駆動指174とかみ合う複数の駆動指176を含む静電式セグメント駆動系である。機械式レートジャイロスコープ100の或る実施例においては、駆動系114に伴う周縁電磁場に整合させるため、横断駆動系166及び168の作動指170及び174の近くにそれぞれ不作動指を付け加える必要があることを認めなければならない。機械式レートジャイロスコープにおける周縁電磁場整合は、上に参照した米国特許仮出願60/159,279に記述されている。

10

【0029】

機械式レートジャイロスコープ100の作動は、以下の解析を参照すると、さらに良く理解されるであろう。上述のように、機械式センサ102の本体106は、駆動系114が駆動軸、 x 、に沿って印加される駆動力、 F_d 、に応じ、速度、 v 、で振動する。明細に言う、駆動力、 F_d 、と速度、 v 、との関係は、本体106の質量を“ m ”とし、本体106を有するシステムの特性周波数応答を“ ω_c ”とするとき、式

20

【0030】

$$F_d = m v \omega_c \quad (1)$$

にしたがう。2次システムの自然共鳴周波数を“ ω_0 ”とし、自然共鳴周波数、 ω_0 、における周波数応答の品質係数を“ Q ”とすると、一般的に、2次システムの特性周波数応答、 ω_c 、は、次式であらわされる。

【0031】

$$\omega_c = [\omega_0^2 + j (\omega_0 / Q) - \omega_c^2] / \quad (2)$$

さらに、品質係数、 Q 、は、次式であらわされる。

【0032】

$$Q = \omega_0 / BW \quad (3)$$

ここで、 BW は、自然共鳴周波数、 ω_0 、に中心を置く3-dB帯域幅である。

30

【0033】

本体106から成る2次機械式システムに関し対応する速度応答 \tilde{v} は、本体106の変位を感知軸、 y 、に沿って制限する機械式ばねのばね定数を“ k_D ”とし、本体106と基板との間のせん断粘性による減衰を“ D ”とすると、次式によってあらわされることが認められる。

$$\tilde{v} = (F_d / m) / [k_D / m + j (D / m) - \omega_c^2] \quad (4)$$

上の(2)と(4)で類似の係数を等しいとすると、自然共鳴周波数、 ω_0 、及び品質係数、 Q 、を機械式センサ102の機械的特性を用いて、次のようにあらわすことができる。

40

【0034】

$$\omega_0^2 = k_D / m \quad (5)$$

及び

【0035】

$$\omega_0 / Q = D / m \quad (6)$$

【0036】

また上述のように、本体106の駆動軸、 x 、に沿う振動は、機械式センサ102のレート感知軸、 z 、の周りの回転と結合して、感知軸、 y 、に沿って生じる見掛けのコリオリの力、 F_c 、のため、本体106にコリオリの加速度、 A_c 、を受けさせる。明細に言

50

うと、コリオリの力、 F_c 、は、次式にしたがって、コリオリの加速度、 A_c 、に対応する。

【0037】

$$F_c = m A_c \quad (7)$$

$A_c = 2v$ 、コリオリの力、 F_c 、は、機械式センサ102をレート感知軸、 z 、の周りで回転させるため印加される角速度を“ I_N ”とすると、次式にしたがって、速度、 v 、に対応するからである。

【0038】

$$F_c = 2 m v I_N \quad (8)$$

【0039】

したがって、上記に定義した(1)と(2)を用いて、コリオリの力、 F_c 、の駆動力、 F_d 、に対する比は、次式となる。

【0040】

$$F_c / F_d = 2 I_N / c \quad (9)$$

【0041】

駆動力、 F_d 、は、駆動指の第1セット118と第2セット120との間に印加され、フィードバック力、 F_f 、は、横断駆動指170と172との間及び横断駆動指174と176との間に印加される。したがって、駆動力、 F_d 、のフィードバック力、 F_f 、に対する比は、駆動系114と横断駆動系166及び168の中の指(一般的に、セグメント)の各数 N_d 、 N_f の比 N_d / N_f を“ N ”と定義すると、数値、 N 、に比例する。

【0042】

$$F_d / F_f = N \quad (10)$$

好適実施例においては、各駆動系114のための複数の駆動指118が本体106に一体となって結合されており、単一の駆動指170と単一の駆動指174が同様に本体106に一体となって結合されている。例えば、数値、 N 、を400とし、フィードバック力、 F_f 、は、70度/秒の角速度、 I_N 、に等しいとする。

【0043】

当然の帰結として、フィードバック力、 F_f 、は、駆動力、 F_d 、を数値、 N 、で割ったものに比例する。

【0044】

$$F_f = F_d / N \quad (11)$$

上に定義した(11)を用いると、フィードバック力、 F_f 、は、したがって次のようにならわされる

【0045】

$$F_f = R (F_d / N) \quad (12)$$

ここで“ R ”は、横断駆動系166及び168が駆動信号を受信して必要なフィードバック力、 F_f 、を生じる間の時間量に比例する数値である。

【0046】

フィードバック力、 F_f 、の大きさは、コリオリの力、 F_c 、の大きさに等しいと認められる。したがって、上に定義した(12)を用いると、コリオリの力、 F_c 、の駆動力、 F_d 、に対する比もまた、次式であらわされる。

【0047】

$$F_c / F_d = R / N \quad (13)$$

上に定義した(9)及び(13)を用いると、レート感知軸、 z 、の周りで回転させるため機械式センサ102に印加される角速度、 I_N 、は次式であらわされる。

【0048】

$$I_N = (R / 2 N) c \quad (14)$$

【0049】

上述のように、駆動信号を伝送路178及び180の上で駆動系114に与えて、機械式センサ102を機械的共鳴で作動させるのが好適である。特性周波数、 c 、は、した

10

20

30

40

50

がって、自然共鳴周波数、 ω_0 、に中心のある 3 - d B 帯域幅、BW、に対応する。即ち、

【0050】

$$c = BW \quad (15)$$

上に定義した(3)及び(15)を用いると、特性周波数、 c 、は、次のようにあらわされる。

【0051】

$$c = \omega_0 / Q \quad (16)$$

したがって、上に定義した(14)及び(16)を用いると、機械式センサ102が機械的共鳴で作動するとき機械式センサ102に印加される角速度、 I_N 、は次のようにあらわされる。

【0052】

$$I_N = R(\omega_0 / 2)(1 / NQ) \quad (17)$$

【0053】

この解析において、コンパレータ156が発生するデジタルフィードバック信号のPRFは、説明を判り易くするため、角周波数、 s 、であらわす。さらに、上述のように、この例示的实施例の機械式レートジャイロスコープ100は、デルタ-シグマ変調器として機能する。1-ビットA-D変換を持つデルタ-シグマ変調器(即ちコンパレータ)のフィードバック流は、正と負の量子だけから成る。入力信号が全く無いと、正と負の量子が交互に繰り返されて、平均値がゼロ(0)になる。フィードバック流を変えることの出来る唯一の方法は、量子を反対極性のものと置き換えることである。したがって、フィードバック流の値は、量子二つ(2)の増し分でだけ変更することが出来る。この場合、量子は、 ω_0 の全サイクル又はそれらの逆位相等価物を構成し、ゼロフィードバック波形は、 ω_0 成分のない、

【0054】

$$\omega_0 / 2 \quad (18)$$

のように見えるようになる。当然の帰結として、量子が s に同等のPRFにおいてこのように変えられると、フィードバックの時間平均は、次のようにあらわされる。

【0055】

$$R = 2s / \omega_0 \quad (19)$$

したがって、上に定義した(17)及び(19)を用いると、角周波数、 s 、は次のようにあらわされる。

【0056】

$$s = k_1 I_N \quad (20)$$

ここで、

【0057】

$$K_1 = NQ \quad (21)$$

である。

【0058】

角周波数、 s 、はしたがって、印加された角速度、 I_N 、に比例する。加えて、比例定数、 K_1 、は変換係数N及びQから成り、これらは機械式レートジャイロスコープ100の増幅回路又は電気-機械インターフェースからの不確実性を全く含まない。

【0059】

図示した実施例において、駆動信号は駆動系114にもまた与えられ、機械式センサ102を自然共鳴周波数、 ω_0 、から離れて作動させる。例えば、機械式センサ102を、自然共鳴周波数、 ω_0 、より上の角周波数、 c 、で作動させる。この場合、特性周波数共鳴、 c 、は次のようにあらわされる。

【0060】

$$c = \omega_0 \quad (22)$$

したがって、上に定義した(14)及び(22)を用いると、機械式センサ102が自

10

20

30

40

50

然共鳴周波数、 ω 、より上で作動するとき機械式センサ 102 に加わる角速度、 I_N 、は、次式であらわされる。

【0061】

$$I_N = R(\omega/2)(1/N), \quad \omega > 0. \quad (23)$$

【0062】

さらに、D - 型フリップフロップ 158 のクロック入力に与えられる駆動信号の角周波数は、印加された角周波数、 ω ($\omega > 0$)、に等しいので、この角周波数、 s 、は次のようにあらわされる。

【0063】

$$s = R(\omega/2), \quad \omega > 0. \quad (24)$$

上に定義した(23)及び(24)を用いると、この角周波数、 s 、は次のようにあらわされる。

【0064】

$$s = K_2 I_N, \quad \omega > 0 \quad (25)$$

ここで

【0065】

$$K_2 = N. \quad (26)$$

である。

【0066】

角周波数、 s 、は、したがって、印加された角速度、 I_N 、に比例する。しかし、この場合、比例定数、 K_2 、は変換係数、 N 、だけから成り、これは、機械式レートジャイロスコープ 100 の増幅回路又は電気 - 機械インターフェースからの不確実性を全く含まない。

【0067】

機械式レートジャイロスコープ 100 は、ジャイロスコープの機械的及び電気的特性に対して感応度が低いか又はその影響を全く受けない変換係数を有するので、変換係数を測定するとともに調節してその不確実性と不安定性を減少する工程段階を簡略化するか又は省略することが出来、それにより、機械式レートジャイロスコープ 100 の全体製造工程が簡単になる。その上、これら不確実性と不安定性を減少するため専用の信号調節回路もまた、簡略化するか又は省略することができるので、それにより、機械式レートジャイロスコープ 100 の大きさが小さくなる。

【0068】

上の機械式レートジャイロスコープ 100 の説明的実施例を記述したので、別の代替実施例又は変形を行うことが出来る。例えば、図 2 は、機械式レートジャイロスコープ 100 に対し小型にした機械式レートジャイロスコープ 200 を示す。このような小型化は、相互抵抗増幅器 125 を D - 型フリップフロップ 210 及び 212 で置き換えることにより、果たされる。D - 型フリップフロップ 210 は、そのクロック入力に、外部発生 of クロックを受信する。さらに、D - 型フリップフロップ 212 が、反対極性の駆動信号を、クロススイッチ 164 に与える。そして伝送路 178 の上に与えられた駆動信号を用いて、クロススイッチ 138 を制御し、D - 型フリップフロップ 158 をクロックする。D - 型フリップフロップ 210 及び 212 は、上述の共鳴が、この代替実施例において駆動信号とフィードバック信号との間に必要な 90 度位相シフトを生じるため、必要とする。

【0069】

図 3 は、小型化した機械式レートジャイロスコープ 300 を示す。この代替実施例においては、増幅器 127 をスイッチキャパシタ増幅器 320 で置き換えており、これが相互抵抗増幅器の働きをする。スイッチキャパシタ増幅器 320 が 90 度位相シフトを生じるので、クロススイッチ 138 及び D - 型フリップフロップ 158 の制御入力及びクロック入力は、このとき D - 型フリップフロップ 210 によりその Q 出力から与えられる。増幅器 127 もまた、このような 90 度位相シフトを生じる別の増幅器構成に置き換えてよいことが理解される筈である。

10

20

30

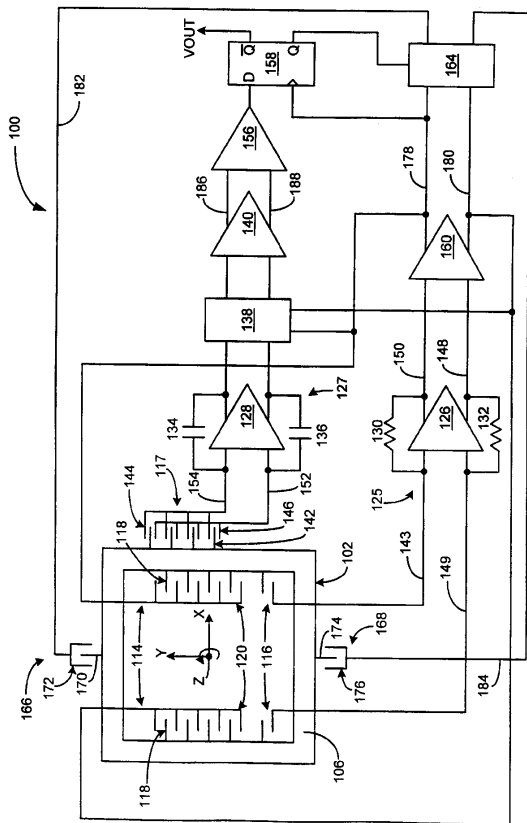
40

50

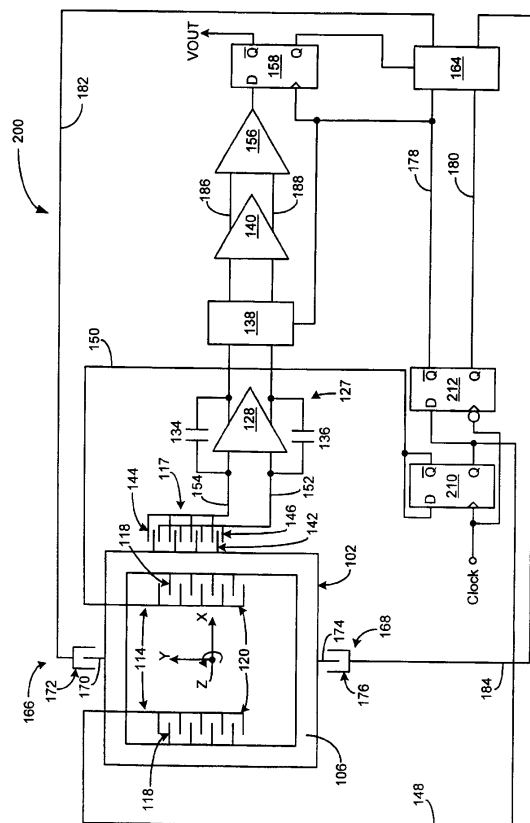
【0070】

当業者はさらに、ここに記述した新規概念から逸脱することなく上述の機械式レートジャイロスコープの変形及び修正をおこない得ることを、理解するであろう。したがって、本発明は付属請求項の範囲及び精神のみにより制限されるべきものである。

【図1】



【図2】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 159460 (JP, A)
特開平06 - 123632 (JP, A)
特開平08 - 054242 (JP, A)
特開平06 - 258083 (JP, A)
特開平09 - 042973 (JP, A)
特開平11 - 083494 (JP, A)
国際公開第99 / 012002 (WO, A1)
国際公開第99 / 014557 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 19 / 56 - 19 / 5783