

(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2010-96765

(P2010-96765A)

(43) 公開日 平成22年4月30日(2010.4.30)

(51) Int.Cl.

G01C 19/56 (2006.01)
G01P 9/04 (2006.01)

F I

G01C 19/56
G01P 9/04

テーマコード (参考)

2 F 1 〇 5

審査請求 未請求 請求項の数 26 〇 L 外国語出願 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2009-237361 (P2009-237361)
(22) 出願日 平成21年10月14日 (2009.10.14)
(31) 優先権主張番号 61/105, 236
(32) 優先日 平成20年10月14日 (2008.10.14)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 594083070
ワトソン インダストリーズ, インコーポ
レイティド
アメリカ合衆国, ウィスコンシン 547
〇3, オ クレール, メルビー ロード
3〇41
(74) 代理人 100068755
弁理士 恩田 博宣
(74) 代理人 100105957
弁理士 恩田 誠
(74) 代理人 100142907
弁理士 本田 淳
(74) 代理人 100149641
弁理士 池上 美穂

最終頁に続く

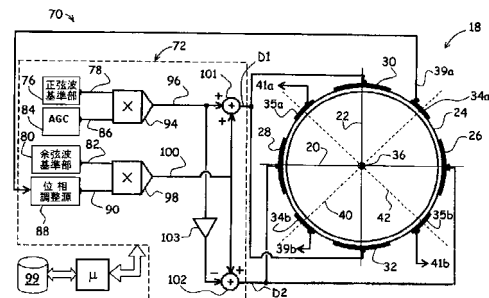
(54) 【発明の名称】 直角位相制御を備えた振動構造ジャイロ스코ープ

(57) 【要約】

【課題】 専用トルク要素を必要とせずに複数の軸に沿って駆動するように構成された振動構造ジャイロ스코ープにおける同調誤差を補正する装置及び/又は方法。

【解決手段】 1つ以上の駆動素子の駆動信号に他の駆動素子に対する位相オフセットを導入し、直角位相信号を最小化又は低減することによって補正を行う。同調は、ユーザの裁量で実行される手動調整として、閉ループ能動補正システムとして、又は1回限りの「設定後操作不要な」調整として行うことができる。本手法では、単に誤同調を補償するのではなく、共振器組立体の同調を改善する。それによって、本発明の様々な実施形態では、複数の駆動軸間の有害な干渉が低減される。従って、共振器に存在する振動エネルギーの保存が強化され、支持構造へ伝達される振動エネルギーが減少する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

振動構造ジャイロ스코ープの直角位相を制御するための方法であって、

共振器組立体を提供する工程と、前記共振器組立体は、軸対称共振器と、前記共振器に連結され、前記軸対称共振器における共振発振パターンを持続させるための複数の駆動素子と、前記軸対称共振器に連結されており、回転速度を検出するための 1 つ以上の検知素子と、を備えることと、前記複数の駆動素子のうちの第 1 駆動素子は第 1 駆動軸に沿って駆動され、前記複数の駆動素子のうちの第 2 駆動素子は第 2 駆動軸に沿って駆動されることと、

第 1 駆動信号に基づき、前記駆動素子のうちの第 1 駆動素子により、第 1 駆動軸に沿って前記共振器組立体を駆動する工程と、

第 2 駆動信号に基づき、前記駆動素子のうちの第 2 駆動素子により、第 2 駆動軸に沿って前記共振器組立体を駆動する工程と、

前記共振器組立体が第 1 駆動軸及び第 2 駆動軸に沿って駆動されているときに回転速度信号を測定する工程と、

前記回転速度信号から直角位相信号を推定する工程と、

前記直角位相信号が所望レベルで維持されるように、第 1 駆動信号と第 2 駆動信号との間に合成位相オフセットを与える工程と、からなる方法。

【請求項 2】

合成位相オフセットを与える工程は、前記直角位相信号が最小の大きさを維持されるように実行される請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

第 1 駆動信号と第 2 駆動信号との間に合成位相オフセットを与える工程は、第 1 駆動信号に対し第 1 位相オフセットを与え、第 2 駆動信号に対し第 1 位相オフセットと逆で第 1 位相オフセットにほぼ等しい第 2 位相オフセットを与える工程を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

共振器組立体の駆動発振を検出するための 1 つ以上の駆動センサを提供する工程と、

前記 1 つ以上の駆動センサに連結された入力部と、前記複数の駆動素子のうちの第 1 駆動素子及び第 2 駆動素子に連結された出力部とを有する、位相同期ループ駆動系を提供する工程と、

前記位相同期ループ駆動系に第 1 駆動信号及び第 2 駆動信号を出力させる工程と、第 1 駆動信号及び第 2 駆動信号は前記駆動発振の周波数にほぼ一致する周波数を有することと、を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記提供する工程において提供される前記 1 つ以上の検知素子は、共振器組立体の駆動発振を検出するように構成されており、前記方法は、

前記 1 つ以上の駆動センサに連結された入力部と、前記複数の駆動素子のうちの第 1 駆動素子及び第 2 駆動素子に連結された出力部とを有する、位相同期ループ駆動系を提供する工程と、

前記位相同期ループ駆動系に第 1 駆動信号及び第 2 駆動信号を出力させる工程と、第 1 駆動信号及び第 2 駆動信号は前記駆動発振の周波数にほぼ一致する周波数を有することと、を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記提供する工程において提供される前記共振器組立体の前記駆動素子は、前記共振器組立体の回転が停止しているとき、前記共振発振パターンを持続させ、複数の基準軸を定義する複数の腹対を含むように構成されており、前記腹対の各々は中心軸について全く反対に位置し、前記複数の基準軸の各々は前記複数の腹対のうちの対応する腹対を貫通していることと、

前記提供する工程において提供される前記共振器組立体の第 1 駆動軸は、前記複数の基

10

20

30

40

50

準軸のうちの第 1 基準軸に対し第 1 回転オフセットだけ離れており、第 1 駆動軸は前記複数の基準軸のいずれとも一致しないことと、

前記提供する工程において提供される前記共振器組立体の第 2 駆動軸は、前記複数の基準軸のうちの第 2 基準軸に対し第 1 回転オフセットとは反対の方向に第 2 回転オフセットだけ離れており、第 2 駆動軸は前記複数の基準軸のいずれとも一致しないことと、を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記駆動する工程において駆動される第 1 駆動軸及び第 2 駆動軸は互いから離れている請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記駆動する工程において駆動される第 1 駆動軸及び第 2 駆動軸はほぼ一致している請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記直角位相信号から位相復調誤差を推定する工程を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

直角位相制御式振動構造ジャイロスコープであって、

共振器組立体と、前記共振器組立体は、

中心軸を定義する軸対称共振器と、

前記共振器に連結された複数の駆動素子と、前記複数の駆動素子のうちの第 1 駆動素子は第 1 駆動軸に沿って駆動され、前記複数の駆動素子のうちの第 2 駆動素子は第 2 駆動軸に沿って駆動されることと、

前記軸対称共振器に連結されており、回転速度信号を検出するための 1 つ以上の検知素子と、を備えることと、

前記複数の駆動素子に連結されており、前記軸対称共振器において共振発振パターンを持続させ、前記回転速度信号から直角位相成分を推定するとともに、前記直角位相成分の大きさを制御するために第 1 駆動素子と第 2 駆動素子との間の合成位相オフセットを制御するための制御系と、からなる直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 11】

第 2 駆動軸は第 1 駆動軸と一致している請求項 10 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 12】

第 2 駆動軸は回転方向に第 1 駆動軸から離れている請求項 10 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 13】

前記制御系及び前記駆動素子は、前記共振器組立体の回転が停止しているとき、前記発振パターンを持続させ、複数の基準軸を定義する複数の腹対を含むように構成されており、前記腹対の各々は中心軸について全く反対に位置し、前記複数の基準軸の各々は前記複数の腹対のうちの対応する腹対を貫通していることと、

第 1 駆動軸は前記複数の基準軸のうちの第 1 基準軸に対し第 1 回転オフセットだけ離れており、第 1 駆動軸は前記複数の基準軸のいずれとも一致しないことと、

第 2 駆動軸は、前記複数の基準軸のうちの第 2 基準軸に対し第 1 の回転オフセットとは反対の方向に第 2 回転オフセットだけ離れており、第 2 駆動軸は前記複数の基準軸のいずれとも一致しないことと、を含む請求項 11 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 14】

前記制御系は、前記 1 つ以上の検知素子に連結されており、前記直角位相信号をフィードバック信号として利用する閉ループ制御系である請求項 10 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 15】

第 1 駆動素子は次式によって定義される第 1 駆動信号によって駆動され、

【数 1】

$$K \sin(\omega t) + K\alpha \cos(\omega t)$$

第 2 駆動素子は次式によって定義される第 2 駆動信号によって駆動され、

【数 2】

$$K\alpha \cos(\omega t) - K \sin(\omega t)$$

10

K は前記駆動信号の振幅であり、 α は位相オフセットであり、 ω は駆動周波数であり、 t は時間パラメータである、請求項 10 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 16】

前記制御系は、更に、

前記駆動信号の振幅を提供するための自動利得制御部と、

前記位相オフセットを提供するための直角位相調整源と、

$\sin(\omega t)$ 関数を提供するための正弦波基準部と、

$\cos(\omega t)$ 関数を提供するための余弦波基準部と、を備える請求項 15 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。 20

【請求項 17】

第 1 駆動素子は次式によって定義される第 1 駆動信号によって駆動され、

【数 3】

$$K \sin(\omega t) + K\alpha \cos(\omega t)$$

第 2 駆動素子は次式によって定義される第 2 駆動信号によって駆動され、

【数 4】

30

$$K \sin(\omega t) - K\alpha \cos(\omega t)$$

K は前記駆動信号の振幅であり、 α は位相オフセットであり、 ω は駆動周波数であり、 t は時間パラメータである請求項 10 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 18】

前記制御系は、更に、

前記駆動信号の振幅を提供するための自動利得制御部と、 40

前記位相オフセットを提供するための直角位相調整源と、

$\sin(\omega t)$ 関数を提供するための正弦波基準部と、

$\cos(\omega t)$ 関数を提供するための余弦波基準部と、を備える請求項 17 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 19】

前記共振器組立体は、カップ共振器、半球形共振器、リング共振器、二分岐共振器、及び四又分岐共振器から選択される共振器を含む請求項 10 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 20】

直角位相制御式振動構造ジャイロスコープであって、 50

共振器組立体と、前記共振器組立体は、
軸対称共振器と、

前記共振器に連結され、前記軸対称共振器において共振発振パターンを持続させるための複数の駆動素子と、前記駆動素子のうちの第 1 駆動素子は第 1 駆動軸に沿って駆動され、前記複数の駆動素子のうちの第 2 駆動素子は第 1 の駆動軸から離れている第 2 駆動軸に沿って駆動されることと、

前記軸対称共振器に連結されており、回転速度を検出するための 1 つ以上の検知素子と、を備えることと、

前記軸対称共振器に連結された中央マイクロプロセッサと、

前記中央マイクロプロセッサに連結されており、前記直角位相制御式振動構造ジャイロスコープを制御するための命令を含むコンピュータ可読媒体と、からなり、前記命令は、

第 1 駆動信号に基づき第 1 駆動軸に沿って前記共振器組立体を駆動することと、

第 2 駆動信号に基づき第 2 駆動軸に沿って前記共振器組立体を駆動することと、

前記共振器組立体が第 1 及び第 2 駆動軸に沿って駆動されているときに回転速度信号を測定することと、

前記回転速度信号から直角位相信号を推定することと、

前記直角位相信号が所望レベルで維持されるように、第 1 駆動信号と第 2 駆動信号との間に合成位相オフセットを与えることと、を含む、直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 21】

第 1 駆動軸及び第 2 駆動軸はほぼ一致している請求項 20 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 22】

第 2 駆動軸は回転方向に第 1 駆動軸から離れている請求項 20 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 23】

前記制御系及び前記駆動素子は、前記共振器組立体の回転が停止しているとき、前記共振パターンを持続させ、複数の基準軸を定義する複数の腹対を含むように構成されており、前記腹対の各々は中心軸について全く反対に位置し、前記複数の基準軸の各々は前記複数の腹対のうちの対応する腹対を貫通していることと、

第 1 駆動軸は前記複数の基準軸のうちの第 1 基準軸に対し第 1 回転オフセットだけ離れており、第 1 駆動軸は前記複数の基準軸のいずれとも一致しないことと、

第 2 駆動軸は、前記複数の基準軸のうちの第 2 基準軸に対し第 1 の回転オフセットとは反対の方向に第 2 回転オフセットだけ離れており、第 2 駆動軸は前記複数の基準軸のいずれとも一致しないことと、を含む請求項 22 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 24】

前記制御系は、前記 1 つ以上の検知素子に連結されており、前記直角位相信号をフィードバック信号として利用する閉ループ制御系である請求項 20 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 25】

第 1 駆動素子は次式によって定義される第 1 駆動信号によって駆動され、

【数 5】

$$K \sin(\omega t) + K\alpha \cos(\omega t)$$

第 2 駆動素子は次式によって定義される第 2 駆動信号によって駆動され、

10

20

30

40

【数 6】

$$K\alpha \cos(\omega t) - K \sin(\omega t)$$

K は前記駆動信号の振幅であり、 α は位相オフセットであり、 ω は駆動周波数であり、 t は時間パラメータである請求項 20 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【請求項 26】

第 1 駆動素子は次式によって定義される第 1 駆動信号によって駆動され、

10

【数 7】

$$K \sin(\omega t) + K\alpha \cos(\omega t)$$

第 2 駆動素子は次式によって定義される第 2 駆動信号によって駆動され、

【数 8】

$$K \sin(\omega t) - K\alpha \cos(\omega t)$$

20

K は前記駆動信号の振幅であり、 α は位相オフセットであり、 ω は駆動周波数であり、 t は時間パラメータである請求項 20 に記載の直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般にジャイロスコープの分野に関する。より詳細には、本発明は直角位相制御を有する振動構造ジャイロスコープに関する。

【背景技術】

30

【0002】

振動構造ジャイロスコープ (VSG) は、姿勢センサ及びジャイロコンパスを含む、回転速度及び位置の検出を伴う多数の用途に用いられている。回転速度及び / 又は位置は、通常、1 つ又は複数の駆動軸に沿って共振器を励起して、共振器に発振又は振動パターンを発生させることによって、また、出力信号の変化を検出することによって求められる。出力信号には、「直角位相」信号又は成分を含み得るが、これは、本明細書では、時間領域で同相成分に対して位相が 90 度ずれた複素信号の成分として定義される。この直角位相信号は、一般的に、出力誤差を発生し得る望ましくない信号と見なされる。

【0003】

回転速度信号から直角位相信号を求めることは、当分野において既知である。直角位相信号は、駆動発振に対して位相がずれている回転速度信号を復調することによって得ることができる。そのように復調によって直角位相信号を求めることは、非特許文献 1 において、また、バーンハム (Varnham) らによる特許文献 1 によって更に詳細に提示されている。

40

【0004】

VSG には、複数の駆動軸に沿って、それら駆動軸が互いに対して離間された状態で、あるいはほぼ一致した (即ち、三次元空間においてほぼ同じ軸を定義した) 状態で、共振器組立体を駆動するように構成されたものがある。VSG 共振器組立体の共振周波数は、通常、それぞれの駆動軸間で異なる。例えば、2 つの同相駆動軸に沿って駆動される共振器組立体は、通常、第 2 駆動軸の共振周波数とは異なる第 1 駆動軸の共振周波数を有する

50

。即ち、共振器組立体の各駆動軸は、固有の共振周波数を有すると言える。共振器組立体は、それぞれの駆動軸の共振周波数が接近するように設計及び製造し得る。更に、同調処理を実行して、それぞれの共振周波数を更に近接させてよい。しかしながら、共振周波数は、特に、温度が、共振器組立体の材料の特性を変化させ、また、共振器組立体の同調の劣化を招き得ることから、特に、ある温度範囲では、完全に同調できない。この劣化及び結果的に生じる直角位相信号は、非特許文献 1 に報告されている。よって、直角位相信号は、二重軸系の両軸が駆動されると、出現する可能性があり、その結果、回転速度及び／又は回転位置が誤表示される。

【 0 0 0 5 】

直角位相信号の影響を打ち消す様々なオプションが、当業者には利用可能である。方法の中には、共振器の振動特性を変化させることに焦点が当てられるものがある。例えば、特許文献 1 では、共振器質量又は質量分布を機械的に調整してジャイロスコープを同調することによる直角位相成分の補正処理が開示されている。ローパ (L o p e r) らによる特許文献 2 には、ばね剛性を電氣的に調整してジャイロスコープを同調することによる直角位相成分の補正処理が開示されている。他の米国特許及び公開特許出願 (例えば、特許文献 3 及び特許文献 4、及び特許文献 5) にも、この手法が開示されている。

【 0 0 0 6 】

同様に、ワイズ (W y s e) による特許文献 6 が開示の方法及び装置では、DC 電圧が振動リング共振器付近に導入されて、振動から発振力を誘発し、これにより、同時に振動要素の剛性が変わり、このことを用いて、直角位相成分を相殺することができる。特許文献 6 には、動的調整をせずに自動又はフィードバック制御を行う「設定後操作不要な」システムが開示されている。更に、チャロナー (C h a l l o n e r) らによる特許文献 7 には、方法及び装置が開示されており、これによって、直角位相信号が、駆動ループにおける位相オフセットに影響を及ぼす DC バイアス電圧として印加される。特許文献 6 及び特許文献 7 によって開示された方法には、感応を大きくするために、駆動電極の他に少なくとも 1 つの追加電極が必要である。

【 0 0 0 7 】

他の手法では、直角位相信号を電子的に補償することに焦点が当てられる。例えば、マルバーン (M a l v e r n) らによる特許文献 8 が開示の手法では、直角位相信号は、直角位相補正用位相調整信号を専用「トルク」要素に供給して、被駆動発振パターンと相互作用する振動に直角位相信号を最小にさせることによって最小化され、これによって、誤同調が能動的に補正される。フェル (F e l l) らによる特許文献 9 (フェル I) では、トルク制御ループに位相補正器を含むことによって、本手法の異形態が提示されるが、このトルク制御ループは、検知された直角位相信号に直角位相トルクエネルギーを直接供給し、直角位相成分の影響を補正する。直角位相信号がトルク信号に付加されて、直角位相信号を補正する他の例には、特許文献 10 及び特許文献 11 が含まれる。

【 0 0 0 8 】

シュローダー (S c h r o d e r) による特許文献 12 には、読出し信号の「外乱成分」を測定し、周波数オフセットを必要に応じて実行して、外乱と整合させるシステムが開示されている。特許文献 13 及び特許文献 14 には、特許文献 12 と同様なシステムが開示されている。

【 0 0 0 9 】

非特許文献 2 (フェル II) が開示されたシステム等、他のシステムでは、駆動周波数と発振器周波数との間に、位相差が存在しないように又は既知の位相差が存在するように、発振器を制御する位相同期ループを利用する。そのようなシステムは、位相関係が同期するように絶えず調整され、従って、位相同期ループにおいて位相ジッターを受ける。

【 0 0 1 0 】

上記特許及び公報の開示は、それらに含まれる明示的な定義を除き、以下の通り、その全体を引用によって本明細書に援用する：特許文献 1、特許文献 2、特許文献 6、特許文献 7、特許文献 8、特許文献 9、特許文献 12、及び非特許文献 1。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

ワトソン (W a t s o n) による特許文献 1 5 及び特許文献 1 6 (いずれも本出願の譲受人に譲渡されたものである。それらに含まれる明示的な定義を除き、その全体を引用によって本明細書に援用する) では、V S G の回転が静止していると、振動パターンの波腹軸に対して傾斜回転する駆動軸が開示されている。傾斜軸により、複数の駆動軸系の駆動素子は、発振パターンを持続させることに加えて、トルク機能に影響を及ぼすことが可能になり、従って、別個の専用トルク要素の必要性が解消される。専用トルク要素の排除により、共振器組立体が簡約化され、また、複数の駆動軸を中心とした鏡像対称性が提供され、系の様々な波節と波腹との間で振動の伝搬が更に均一になり得る。特許文献 1 5 及び 1 6 には、更に、それぞれの傾斜駆動軸に沿って駆動信号の相対振幅を変え、これにより共振器における波節の位置をシフトすることによって、発振パターンの波節における信号を最小化又は低減するための方法が開示されている。

10

【 0 0 1 2 】

直角位相信号の電子的補償に焦点を当てる上記手法及びシステムでは、ジャイロスコープの同調は改善されない。即ち、各々の開示内容は、荷重を与える (例えば、特許文献 9 の独立トルク要素又は特許文献 1 5 及び 1 6 の振幅変更) か、又は単に誤差を既知量として確立する (例えば、非特許文献 2 の位相固定システム) 。これらのシステム又は手法では、いずれも共振器組立体の同調が改善されない。直角位相信号それ自体は、複数の駆動軸に導入されたエネルギーが、弱め合う干渉において放散されることを表す。追加の力を導入して補償を実現するシステムは、弱め合う干渉においても放散される更に多くのエネルギーを導入する。そのような放散エネルギーは、多くの場合、共振器組立体を支持する構造に伝達され、そして、反射されて共振器に戻り、結果的に回転速度信号の偏り誤差を助長する任意位相の他の信号を生じさせる。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 3 】

- 【 特許文献 1 】 米国特許第 5 , 6 2 9 , 4 7 2 号明細書
- 【 特許文献 2 】 米国特許第 4 , 9 5 1 , 5 0 8 号明細書
- 【 特許文献 3 】 米国特許第 6 , 4 8 1 , 2 8 5 号明細書
- 【 特許文献 4 】 米国特許第 6 , 9 3 4 , 6 6 0 号明細書
- 【 特許文献 5 】 米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 0 8 9 5 1 0 号明細書
- 【 特許文献 6 】 米国特許第 6 , 8 8 3 , 3 6 1 号明細書
- 【 特許文献 7 】 米国特許第 6 , 6 7 5 , 6 3 0 号明細書
- 【 特許文献 8 】 米国特許第 7 , 1 2 0 , 5 4 8 号明細書
- 【 特許文献 9 】 米国特許第 7 , 2 4 0 , 5 3 3 号明細書
- 【 特許文献 1 0 】 米国特許第 7 , 1 8 8 , 5 2 2 号明細書
- 【 特許文献 1 1 】 米国特許第 7 , 2 1 6 , 5 2 5 号明細書
- 【 特許文献 1 2 】 米国特許第 7 , 2 3 1 , 8 2 3 号明細書
- 【 特許文献 1 3 】 米国特許第 7 , 2 4 9 , 4 8 8 号明細書
- 【 特許文献 1 4 】 米国特許第 7 , 3 3 7 , 6 6 5 号明細書
- 【 特許文献 1 5 】 米国特許第 7 , 5 2 6 , 9 5 7 号明細書
- 【 特許文献 1 6 】 米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 2 5 6 4 9 5 号明細書

30

【 非特許文献 】

【 0 0 1 4 】

- 【 非特許文献 1 】 リンチ (D r . D . D . L y n c h) による「コリオリ振動ジャイロ」、ジャイロ技術討論会にて発表、シュトゥットガルト、ドイツ、1998年
- 【 非特許文献 2 】 フェル (C . F e l l) 、ホプキンズ (I . H o p k i n s) 、及びタウンゼンド (K . T o w n s e n d) らによる「第 2 世代シリコン・リング・ジャイロスコープ」

40

【 発明の概要 】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

単にVSGの固有同調誤差を補償するのではなく、直角位相信号によって表される固有同調誤差についてVSGの同調を電子的に改善する振動構造ジャイロスコープシステムがあれば歓迎されるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明の様々な実施形態には、専用トルク要素を用いることなく又はそれを必要とせず、駆動軸の入力に沿って直接直角位相信号を補正することによって、複数の軸に沿って駆動されるように構成された振動構造ジャイロスコープの同調誤差を補正する装置及び／又は方法が含まれる。補正は、1つ又は複数の駆動素子の駆動信号に他の駆動素子を基準として位相オフセットを導入して、直角位相信号を最小化又は低減することによって達成される。同調は、1回限りの「設定後操作不要な」調整として、ユーザの裁量で実行される手動調整として、又は閉ループ能動補正システムとして実現し得る。本手法は、固有の誤同調を単に補償するよりもむしろ、共振器組立体の同調を改善する。従って、本発明の様々な実施形態の場合、複数の駆動軸間の弱め合う干渉は、低減される。従って、共振器に存在する振動エネルギーの保存が、強化され、支持構造に伝達される振動エネルギーが、少なくなる。

【0017】

共振器組立体には、通常、駆動及び検知素子を有する共振器要素が含まれる。これらの各構成要素は、共振器組立体に不均一性を持ち込み得る。例えば、共振器要素は、振動部位上で変動する厚さ又は密度を有し得る。更に、駆動及び／又は検知素子は、様々な厚さ又は密度及び／又は不均一な大きさを有し得る。機械加工誤差及びマスク位置合わせ不良も、不均一性に寄与し得る。更に、共振器組立体のインターフェイスとなる様々な付属物（例えば、配線、接点）及び組立品を結合する付属物（例えば、素子用の半田や接着材）も、素子間において様々な質量のものであり、これによって、共振器組立体に更なる不均一性を導入し得る。更に、共振器組立体に存在する（過渡的又は定常状態の）温度勾配は、更なる不均一性をもたらし得る。従って、共振器組立体の任意の部位が、共振器の対応部位及び／又は共振器全体と異なる共振周波数を有し得る。

【0018】

共振器組立体の不均一性によって、直角位相信号が検知素子に現れ得る。共振器全体と共振器の一部位との間における時間領域の位相オフセットは、位相ずれ（即ち、直角位相）発振パターンでの検知信号の歪みとして明らかにできる。位相ずれ振動パターンは、従って、波節位置に振動振幅を与え、結果的に直角位相信号となる。

【0019】

本出願を特定の理論に限定するものではないが、上記不均一性は、共振器組立体が異なる軸に沿って駆動される場合、異なる共振周波数を生じさせられると思われる。2つの独立駆動軸に沿って駆動され共振する共振器組立体について考える。共振器組立体の共振周波数は、第1駆動軸に沿って駆動される場合と第2駆動軸に沿って駆動される場合とで異なることが多く、また、両駆動軸に沿って駆動される場合も、異なることが多い。

【0020】

本発明の実施形態は、2つ（又は2つ以上）の駆動軸に沿って生成される共振器組立体の共振周波数間の変動を利用する。振動特性間の位相差を用いると、それぞれの軸に沿って駆動素子の入力駆動信号を補正して、これにより位相差及び付随する直角位相信号を、低減、最小化、又は本質的に解消できる。

【0021】

構造的に、本発明の様々な実施形態には、軸対称共振器（例えば、リング又はカップ及び音叉構成）等、少なくとも2つの駆動軸に沿って駆動される共振器組立体が含まれる。軸は、一致していてもよく、互いに対してオフセットしていてもよい。本明細書では、「軸対称共振器」は、中心軸を定義するものであり、また、共振器の質量は、中心軸を含む

任意平面の両側にほぼ等しく分散される。

【0022】

一実施形態において、振動構造ジャイロ스코ープの直角位相を制御するための方法を実現する。この方法は、軸対称共振器と、この共振器に連結された複数の駆動素子とを備える共振器組立体を提供する工程を伴う。駆動素子は、軸対称共振器における共振発振パターンを持続させるように構成されている。この実施形態において、複数の駆動素子のうちの第1駆動素子は第1駆動軸に沿って駆動されるように構成され、複数の駆動素子のうちの第2駆動素子は第2駆動軸に沿って駆動されるように構成されている。第1駆動軸及び第2駆動軸は一致していてもよく、互いから離れていてもよい。1つ以上の検知素子が、軸対称共振器に連結されるとともに、回転速度を検出するように構成されている。幾つかの実施形態では、この1つ以上の検知素子は、共振器組立体の駆動発振も検知するように構成され得る。この方法は、更に、第1駆動信号に基づき、第1駆動素子により第1駆動軸に沿って共振器組立体を駆動する工程と、第2駆動信号に基づき、第2駆動素子により第2駆動軸に沿って共振器組立体を駆動する工程と、を含む。共振器組立体が第1駆動軸及び第2駆動軸に沿って駆動されているときに回転速度信号が測定され、この回転速度信号から直角位相信号が推定される。この方法は、更に、直角位相信号が所望レベルで維持されるように、第1駆動信号と第2の駆動信号との間に合成位相オフセットを与える工程を含む。合成位相オフセットは、第1駆動信号に対し第1位相オフセットを与え、第2駆動信号に対し第2位相オフセットを与えることによって、実現される。ここで、第2位相オフセットは第1位相オフセットと逆で、第1位相オフセットにほぼ等しい。直角位相信号は、復調位相誤差検出のために、最小の大きさを維持されてもよく、既知の許容可能なレベルで維持されてもよい。

10

20

【0023】

幾つかの実施形態では、この方法は、更に、共振器組立体の駆動発振を検知するように構成された1つ以上の駆動センサを提供する工程と、この1つ以上の駆動センサに連結された入力部と、複数の駆動素子のうちの第1及び第2駆動素子に連結された出力部とを有する、位相同期ループ駆動系を提供する工程と、位相同期ループ駆動系に第1駆動信号及び第2駆動信号を出力させる工程と、を含む。第1駆動信号及び第2駆動信号は、駆動発振の周波数にほぼ一致する周波数を有する。

【0024】

或る実施形態では、共振器組立体の駆動素子は、共振器組立体の回転が停止しているとき、発振パターンを持続させ、複数の基準軸を定義する複数の腹対を含むように構成されており、各腹対は中心軸について全く反対に位置し、複数の基準軸の各々は、複数の腹対のうちの対応する腹対を貫通する。これらの実施形態では、共振器組立体の第1駆動軸は、複数の基準軸のうちの第1基準軸に対し第1回転オフセットだけ離れており、第1駆動軸は複数の基準軸のいずれとも一致しない。また、提供する工程において提供される共振器組立体の第2駆動軸は、複数の基準軸のうちの第2基準軸に対し第1回転オフセットとは反対の方向に第2回転オフセットだけ離れており、第2駆動軸は複数の基準軸のいずれとも一致しない。

30

【0025】

本発明の実施形態では、直角位相の制御された直角位相制御式振動構造ジャイロ스코ープ(QCVSG)を開示する。このQCVSGは共振器組立体を備え、この共振器組立体は、中心軸を定義する軸対称共振器を備える。共振器組立体は、カップ共振器、半球形共振器、リング共振器、二又分岐共振器、及び四又分岐共振器から選択される共振器を含んでよい(それらに限定するものではない)。QCVSGは、共振器に連結されており、軸対称共振器において共振発振パターンを持続させるように構成された複数の駆動素子を備え得る。駆動素子のうちの第1駆動素子は第1駆動軸に沿って駆動されるように構成され、複数の駆動素子のうちの第2駆動素子は第2駆動軸に沿って駆動されるように構成されている。第1駆動軸及び第2駆動軸はほぼ一致していてもよく、互いから離れていてもよい。このオフセットは、回転オフセットであってよい。1つ以上の検知素子が、軸対称共

40

50

振器に連結されるとともに、回転速度を検出するように構成されている。Q C V S Gは、更に、複数の駆動素子に連結されており、軸対称共振器において発振パターンを持続させるように構成され、回転速度信号から直角位相成分を推定するように構成された制御系を備える。この制御系は、更に、直角位相成分の大きさを制御するために、第1駆動素子と第2駆動素子との間の合成位相オフセットを制御するように構成されている。

【0026】

幾つかの実施形態では、このQ C V S Gは、制御系及び駆動素子が、共振器組立体の回転が停止しているとき、発振パターンを持続させ、複数の基準軸を定義する複数の腹対を含むように構成されている。各腹対は中心軸について全く反対に位置し、複数の基準軸の各々は複数の腹対のうちの対応する腹対を貫通している。第1駆動軸は複数の基準軸のうちの第1基準軸に対し第1回転オフセットだけ離れてよいが、第1駆動軸は複数の基準軸のいずれとも一致しない。第2駆動軸は複数の基準軸のうちの第2基準軸に対し第1の回転オフセットとは反対の方向に第2回転オフセットだけ離れてよいが、第2駆動軸は複数の基準軸のいずれとも一致しない。幾つかの実施形態では、このQ C V S Gの制御系は、1つ以上の検知素子に連結されており、直角位相信号をフィードバック信号として利用する閉ループ制御系である。このQ C V S Gは、更に、駆動信号の振幅を提供するように構成された自動利得制御部と、位相オフセットを提供するように構成された直角位相調整源と、 $SIN(\omega t)$ 関数を提供するように構成された正弦波基準部と、 $COS(\omega t)$ 関数を提供するように構成された余弦波基準部と、を備えてよい。

【0027】

一実施形態では、Q C S V Gは、中央マイクロプロセッサによる制御用に構成される。中央マイクロプロセッサは、軸対称共振器及びコンピュータ可読媒体に連結される。この実施形態では、コンピュータ可読媒体は、直角位相制御式振動構造ジャイロスコープを制御するための命令を含む。この命令は、第1駆動信号に基づき第1駆動軸に沿って共振器組立体を駆動することと、第2駆動信号に基づき第2駆動軸に沿って共振器組立体を駆動することと、共振器組立体が第1駆動軸及び第2駆動軸に沿って駆動されているときに、回転速度信号を測定することと、回転速度信号から直角位相信号を推定することと、直角位相信号が所望レベルで維持されるように、第1駆動信号と第2駆動信号との間に合成位相オフセットを与えることと、を含む。所望レベルは、最小の大きさであってよい。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】2つの駆動軸に沿って駆動されるカップ共振器組立体を示す図。

【図2】総共振周波数 ω_N を有する理想的なV S Gについて、振動振幅及び位相対周波数を示す図。

【図3】本発明の一実施形態におけるV S Gの総共振周波数 ω_N より低い周波数である共振周波数 ω_{N1} を生成する第1駆動軸に沿って駆動されるV S Gについて、振動振幅及び位相対周波数を示す図。

【図4】本発明の一実施形態におけるV S Gの総共振周波数 ω_N より高い周波数である共振周波数 ω_{N2} を生成する第2駆動軸に沿って駆動され図3に描写されたV S Gについて、振動振幅及び位相対周波数を示す図。

【図5】本発明の一実施形態における第1及び第2駆動軸に沿って駆動され図3及び4に描写されたV S Gの振動振幅及び位相の位相偏移対複合周波数を示す図。

【図6】本発明の一実施形態におけるカップ型ジャイロスコープに連結された直角位相制御駆動回路の概略図。

【図7】2つの斜軸に沿って駆動される四又分岐共振器組立体を示す図。

【図7A】図7の四又分岐共振器及び駆動素子の平面図。

【図8】本発明の一実施形態において、四又分岐型ジャイロスコープの駆動素子に連結された直角位相制御駆動回路の概略図。

【図9】本発明の一実施形態における傾斜駆動軸に沿って配置された駆動素子と、位同期ループ駆動システムを利用する直角位相制御駆動回路と、を有するカップ型ジャイロス

コープの概略図。

【図 1 0】本発明の一実施形態において用いられる駆動素子と同じ半径方向の位置に配置された検知素子を有するカップ型ジャイロスコープの斜視図。

【図 1 1】本発明の一実施形態における二又直角位相制御系及び二又分岐共振器組立体を備える Q C V S G の概略図。

【図 1 2】本発明の一実施形態における二又直角位相制御系及び二又分岐共振器組立体を備える Q C V S G の概略図。

【発明を実施するための形態】

【0029】

図 1 において、2つの独立駆動軸 20, 22 に沿って駆動され得る共振器組立体 18 の例を示して、用語を定める。共振器組立体 18 は、共振器要素 24 (カップ型共振器として示す)、第 1 対の駆動素子 26, 28、第 2 対の駆動素子 30, 32、並びに様々な検知素子対 34a, 34b 及び 35a, 35b を備える。両駆動素子対 26, 28 及び 30, 32 は、共振器要素 24 に連結され、共振器要素 24 は、中心軸 36 を定義し、その周囲における共振器組立体 18 の回転が検知される。

【0030】

各駆動素子対の駆動素子 26, 28 及び 30, 32 は、中心軸 36 について全く反対に位置する。本実施形態では、第 1 及び第 2 の駆動素子対 26, 28 及び 30, 32 は、第 1 駆動軸 20 及び第 2 駆動軸 22 をそれぞれ定義する。本明細書では、「駆動軸」は、所定の共振器組立体上に発振パターンを維持するために強制関数を与えられる際に沿うベクトルを定義する。従って、図 1 に示す共振器組立体 18 の場合、各駆動軸 20, 22 は、それぞれの駆動素子対 26, 28 及び 30, 32 の駆動素子の中心を実質的に貫通している。なお、他の構成では、駆動軸は、駆動素子の中心を貫通しない (例えば、図 7, 7A、及び 8、並びに付随の議論を参照)。

【0031】

共振器組立体 18 の駆動軸 20, 22 は、互いに対してほぼ 90° に向いている。もっと一般的には、図 1 の実施形態の第 2 駆動軸 22 は、第 1 駆動軸 20 によって生成される振動パターンの波腹位置に配置され、また反対に、第 1 駆動軸 20 は、第 2 駆動軸 22 によって生成される振動パターンの波腹位置に配置される。検知素子対 34a, 34b 及び 35a, 35b は、発振パターンの波節位置に隣接して配置され、また、各々、局部発振 (振幅及び周波数) を示すそれぞれの出力信号 39a, 39b, 41a, 41b を生成するように構成されている。検知素子対 34a, 34b 及び 35a, 35b は、それぞれ一対の検知素子軸 40, 42 を定義し得る。

【0032】

図 2 乃至 5 を参照して、駆動周波数の関数としての共振器組立体 (例えば、共振器組立体 18) の様々な振幅及び位相特性について述べる。図 2 乃至 5 の各々は、振幅比縦軸 46 (対数) 及び位相縦軸 48 (線形) を表し、双方共、周波数比横軸 50 (対数) を基準にする。振幅比縦軸 46 は、駆動素子の振幅に対する共振器組立体の振動振幅の比を表す。周波数比横軸 50 は、共振器組立体の共振又は固有周波数 ω_N に対する駆動周波数 ω の比を表す。振幅曲線又は関数 52 (又は 52a, 52b, 52c) は、振幅縦軸に対してグラフ化され、また、位相曲線又は関数 54 (又は 54a, 54b, 54c) は、位相縦軸 48 に対してグラフ化される。

【0033】

図 2 は、理想的な振幅及び位相特性 56、即ち、理想的な共振器の特性を示す。振幅関数 52 は、低周波数比において、1 (例えば、図 2 の周波数比 0.1 における振幅比 1) であり、また、駆動振幅と同相であることに留意されたい。高周波数比では、振幅関数 52 は、駆動振幅に対して極めて小さく (例えば、図 2 の周波数比 1.0 における振幅比は無視できる)、また、位相は、位相関数 54 によって表されるように、180 度遅れている。駆動周波数が共振器組立体の共振周波数 ω_N (周波数比 1) である場合、振幅関数 52 は、駆動振幅より極めて大きく、位相関数 54 は、共振器の振動の遅れが、駆動振幅より

- 90度遅れることを示す。

【0034】

次に、2つ以上の駆動軸に沿って駆動され、図3及び4にそれぞれ示す振幅及び位相特性を有する理想的でない共振器について考える。共振器は、全駆動軸に沿って駆動されると、総合的な又はシステムの共振周波数 ω_N を有し得るが、第1駆動軸だけに沿って駆動されると、共振器の共振周波数は、システム共振周波数 ω_N と異なることがある。即ち、共振器は、実質的に、互いに異なり、また、システム共振周波数 ω_N と異なる第1軸駆動共振周波数 ω_{N1} （図3）及び第2軸駆動共振周波数 ω_{N2} （図4）を有することがある。

【0035】

ここで、共振器組立体の第1軸駆動周波数特性58の振幅関数52a（図3）は、 ω_{N1} での振幅関数52aの大きさに対して、システム共振周波数 ω_N での大きさが減少したものである。第1軸駆動周波数特性58の位相関数54aは、位相関数54aが、 $\omega = \omega_N$ において、 $-(90 + \alpha)$ （即ち、 $-90 - \alpha$ ）であるように、システム共振周波数 ω_N において位相オフセット α を有すると言える。

【0036】

同様に、共振器組立体の第2軸駆動周波数特性60の振幅関数52b（図4）も、 ω_{N2} での振幅関数52bの大きさに対して、システム共振周波数 ω_N での大きさが減少したものである。位相関数54bは、システム共振周波数 ω_N において $-(90 - \alpha)$ （即ち、 $-90 + \alpha$ ）である。

【0037】

図1に示すような二重駆動軸システムの場合、共振器組立体18の共振周波数 ω_N は、両駆動軸20、22に沿って駆動される場合、第1及び第2軸駆動共振周波数 ω_{N1} 及び ω_{N2} のほぼ平均であり得る。位相関数54a及び54bは、互いに対して、大きさが 2α の合成位相オフセット64を有すると言うことができ、ここで、 90° の位相遅れは、 2α 間隔（図5）の中間に任意に選択される。

【0038】

本発明の様々な実施形態の方法は、各々の駆動軸（例えば、20及び22）を、互いに対して又は共振器組立体の総特性に対して適切な位相で駆動して、それぞれの軸駆動特性58、60の間の差異を補償することである。それぞれの駆動軸に与えられた駆動関数間の適切な位相差を確立することによって、振幅関数52c及び位相関数54cを有する同調した振幅及び位相特性62は、理想的な振幅及び位相特性56に更に近づくようになる。

【0039】

幾つかの実施形態において、位相補償は、公称動作条件において直角位相信号を最小にするように確立された所定の信号の形態をとる。他の実施形態において、位相補償は、既存の動作条件の場合、直角位相信号を低減するために手動設定し得る。更に他の実施形態において、位相補償は、或る範囲の動作条件全体において、直角位相信号を動的に最小化する又は低減するための閉ループ能動補正システムとして提供される。

【0040】

次に、2つの軸に沿って駆動される共振器組立体用の位相補償手法について、数学的に述べる。本発明の或る実施形態に基づき直角位相信号の補正に影響を及ぼすには、 2α の合成位相オフセット64に等しい総位相差は、第1と第2の駆動軸間で持続させることが望ましい。従って、第1及び第2駆動軸の所望の駆動信号D1及びD2は、それぞれ次式で表される。

【0041】

10

20

30

40

【数 1】

$$D1 = K \cdot \sin(\omega t + \alpha) \quad \text{式 (1)}$$

$$D2 = -K \cdot \sin(\omega t - \alpha) \quad \text{式 (2)}$$

【0042】

上式において、K は、駆動信号の振幅（例えば、単位は、ボルト）であり、 ω は、駆動周波数であり、t は、時間パラメータである。2 角の和の正弦に対する三角関数の恒等式は、次の通りである。

【0043】

10

【数 2】

$$\sin(\omega t + \alpha) = \cos(\alpha) \sin(\omega t) + \sin(\alpha) \cos(\omega t) \quad \text{式 (3)}$$

【0044】

角度 α が小さい場合、式 (3) は、次式のように簡約化される。

【0045】

【数 3】

20

$$\sin(\omega t + \alpha) = \sin(\omega t) + \alpha \cdot \cos(\omega t) \quad \text{式 (4)}$$

【0046】

従って、駆動信号 D 1 及び D 2 は、次式で表し得る。

【0047】

【数 4】

$$D1 = K \cdot \sin(\omega t) + K\alpha \cdot \cos(\omega t) \quad \text{式 (5)}$$

30

$$D2 = -K \cdot \sin(\omega t) + K\alpha \cdot \cos(\omega t) \quad \text{式 (6)}$$

$$= -K \cdot \sin(\omega t) + P \cdot \cos(\omega t)$$

【0048】

式 $K\alpha \cdot \cos(\omega t)$ は、本明細書では、位相調整成分 $P \cdot \cos(\omega t)$ と称し、式中、 $P = K\alpha$ であり、これは、直角位相調整信号（例えば、図 6 における参照番号 90）の振幅である。

【0049】

従って、式 (5) 及び (6) における駆動信号 D 1 及び D 2 の三角関数は、単に駆動周波数と時間の積 ωt の項で表され、この結果、駆動信号 D 1 及び D 2 の様々な成分は、電子回路及び / 又はコンピュータ制御によって容易に実現される。式 (5) 及び (6) を実現する実施形態例を以下に提示する。

40

【0050】

図 6 において、本発明の一実施形態における直角位相制御式振動構造ジャイロスコープ (QCVSG) 70 を示す。QCVSG 70 には、直角位相制御系 72 に連結された共振器組立体 18 が含まれる。図示した実施形態において、直角位相制御系 72 には、正弦波基準信号 78 を出力するための正弦波基準部 76 と、余弦波基準信号 82 を出力するための余弦波基準部 80 と、駆動信号 K の振幅に影響を及ぼす AGC 信号 86 を出力するための自動利得制御部 (AGC) 84 と、位相調整成分 $P \cdot \cos(\omega t)$ の振幅 P に影響を

50

及ぼす直角位相調整信号 90 を出力するための直角位相調整源 88 と、が含まれる。正弦波基準信号 78 及び A G C 信号 86 は、第 1 信号乗算器 94 を経由して送られ、可変利得正弦波信号 96 を生成し得る。余弦波基準信号 82 及び直角位相調整信号 90 は、第 2 乗算器 98 を経由して送られ、位相調整余弦信号 100 を生成し得る。

【0051】

本実施形態において、位相調整源 88 には、復調器を含むことができるが、これは、駆動発振に対して同相及び位相ずれ状態での回転速度を示す出力信号 39a を受け取って復調し、直角位相信号を提供する。位相調整源 88 には、更に、調整した直角位相調整信号 90 を提供するフィルタシステムを含んでよい。1 つの回転速度信号だけが、位相調整源 88 に用いられているように示すが、オプションとして、任意の又は全ての出力信号 39b、41a、及び 41b を同様に用い得ることを当業者は認識されるであろう。

10

【0052】

或る実施形態において、可変利得正弦波信号 96 及び位相調整余弦信号 100 は、それぞれ第 1 及び第 2 加算器 101 及び 102 に並列に送られ、それぞれ第 1 及び第 2 駆動信号 D1 及び D2 を生成し、この場合、可変利得正弦波信号 96 は、インバータ 103 を経由して送られ、式 (6) の減算演算に影響を及ぼす。第 1 及び第 2 駆動信号 D1 及び D2 は、それぞれ第 1 及び第 2 駆動素子対 26, 28、及び 30, 32 に送られる。

【0053】

Q C V S G 70 の様々な構成要素には、中央プロセッサを必要とせずに、Q C V S G 70 の様々な機能を実行する電子回路を含み得る。これに代えて、Q C V S G 70 は、コンピュータ可読媒体 99 に記憶された命令 (例えば、ソフトウェア又はファームウェア) に従って Q C V S G 70 を制御する中央マイクロプロセッサ μ による制御のために構成し得る。

20

【0054】

動作中、直角位相制御系 72 は、式 (5) 及び (6) に記載された位相補償を実行する。直角位相制御系 72 の様々な制御構成要素は、式 (5) 及び (6) の様々な変数及び関数に次のように関係し得る。即ち、駆動信号 K の振幅は、A G C 84 によって影響され得る。位相オフセット α は、直角位相調整源 88 によって影響され得る。S I N (ωt) 関数は、正弦波基準部 76 によって影響され得る。また、C O S (ωt) 関数は、余弦波基準部 80 によって影響され得る。

30

【0055】

上記内容は、式 (5) 及び (6) の明示に焦点を当てる。しかしながら、他の回路及び / 又はコンピュータ制御される実施形態は、式 (1) 乃至 (6) のいずれにも又はそれらの等価なものに影響を及ぼすように実現することができ、また、依然として本発明の範囲内であり得ることを理解されたい。

【0056】

図 6 の実施形態における共振器組立体は、駆動素子対及び検知素子対を有するものとして示すが、単一の要素が任意の駆動又は検知素子対の代わりに利用し得ることを理解されたい。そのような構成におけるそれぞれの駆動及び / 又は検知素子軸は、実質的に単一要素それぞれの法線として定義され、中心軸付近又は中心軸を貫通し得る。

40

【0057】

図 7 において、4 つの又 105a、105b、105c、及び 105d を有し、更に、中心軸 106 を定義する四又分岐共振器組立体 104 を示す。図 7 に示す四又分岐共振器組立体 104 は、フランス、パリのセージェム (S a g e m) から市販されているクアブゾン (Q U A P A S O N) ジャイロスコープである。四又分岐共振器組立体を実装するジャイロスコープは、更に、リーガー (L e g e r) らの米国特許第 5, 597, 955 号に示されており、それに含まれる明示的な定義を除き本明細書にその全体を引用・参照する。

【0058】

なお、四又分岐共振器組立体 104 は、四又分岐共振器組立体 104 の質量が、中心軸

50

106を含む任意平面の両側に等しく分散されることから、「軸対称」共振器である。

四又分岐共振器組立体104には、4つの駆動素子対107, 108, 109、及び110と、4つの検知素子対111, 112, 113、及び114と、が含まれる。図7における各対の各部材は、「a」及び「b」指定（例えば、108a及び108b）によって識別する。図7の斜視図の後側に配置された要素は、想像線で示す。駆動素子は、それぞれの叉の角部で対になり（例えば、叉105bの外側の角部における駆動素子108a及び108b）、他方、検知素子は、四又分岐共振器組立体104の同一面上で対になる（例えば、叉105b及び105cによって定義される四又分岐共振器組立体104の面上の検知素子112a及び112b）ことに留意されたい。駆動素子対107, 108, 109、及び110は、実質的に中心軸106に垂直な第1面に中心を置く。同様に、検知素子対111, 112, 113、及び114は、実質的に中心軸106に垂直な（即ち、第1面に平行な）第2面に中心を置く。

10

【0059】

図7Aにおいて、四又分岐共振器組立体104は、叉105a、105b、105c、及び105dを中心軸106側に撓ませる振動パターンを有するものとして示す。このパターンを生成するために、直径方向に又は対角線上で対向する駆動素子対（例えば、駆動素子対107及び109）は、同時に励振されて、対角叉を中心軸106側に駆動する。更に、第1対角対（例えば、駆動素子対107及び109）が内側に駆動されると、第2対角対（例えば、駆動素子対108及び110）が外側に駆動されるように、対角対の起動は、交互に行い得るが、この場合、対角対は、双方共同一周波数で駆動される。このように、叉105a及び105cは、ほぼ中心軸106を通る駆動軸115に沿って対角線上で駆動される。同様に、図7Aに示すように、叉105b及び105dは、駆動軸116に沿って、また、叉105a及び105cに対して相補的な（complementary）（位相がずれた）振動で対角線上に駆動される。

20

【0060】

四又分岐共振器組立体104の検知素子対111, 112, 113、及び114は、叉105a、105b、105c、及び105dに沿って、駆動素子対107, 108, 109、及び110の位置に対して軸方向に離される。図7及び7Aに示す検知素子対111, 112, 113、及び114は、駆動発振の成分を各々検出するが、逆位相であり、検知素子対の各素子を加算すると、駆動成分が相殺される。

30

【0061】

また、各駆動軸115及び116に沿った駆動成分は、対向する角部に配置された検知素子からの信号を加算することによって推定できる（例えば、検知素子111b、112a、113b、及び114aからの信号を加算して、駆動軸116に沿う駆動成分を推定する）。

【0062】

図8において、本発明の一実施形態における共振器組立体として、四又分岐共振器組立体104を利用するQCVSG117を示す。二重軸駆動のおかげで、図6のQCVSG70用に示したものと同一の直角位相制御系72を用い得る。四又分岐共振器組立体104の場合、駆動軸115は、対角線上で対向する駆動素子対107及び109の図心と同一平面上で、これらの対の間を等距離で貫通するように定義される。同様に、駆動軸116は、対角線上で対向する駆動素子対108及び110の図心と同一平面上で、これらの対の間を等距離で貫通するように定義される。また、一对の検知素子軸118及び119は、対角線上で対向する検知素子対111, 113、及び112, 114の図心と同一平面上で、これらの対の間を等距離で貫通するように定義し得る。

40

【0063】

図9において、本発明の一実施形態の傾斜駆動装置QCVSG120を示す。傾斜駆動装置QCVSG120には、傾斜駆動共振器組立体122及びトルク・直角位相制御系124が含まれる。傾斜駆動共振器組立体には、第1及び第2駆動軸126及び128が含まれ、これらは、ほぼ駆動素子26, 28、及び30, 32の中心をそれぞれ通り、また

50

、回転方向に均一な分布に対して「傾斜している」。即ち、第 1 及び第 2 駆動軸 1 2 6 及び 1 2 8 は、90° 方向に対してそれぞれ角度 - θ 及び + θ で意図的に回転方向に離間されている。傾斜駆動共振器組立体 1 2 2 及びトルク・直角位相制御系 1 2 4 には、共振器組立体 1 8 及び直角位相制御系 7 2 と同じ構成要素及び態様が多く含まれ、同じ参照番号によって識別する。

【0064】

傾斜駆動装置 QCVSG 1 2 0 の利点は、駆動素子 2 6 , 2 8 , 3 0、及び 3 2 が、傾斜駆動共振器組立体 1 2 2 における発振パターンの持続に加えて、発振パターンにトルクを与え、これにより追加トルク要素（1 つ又は複数）の必要性を解消できることである。従って、一実施形態では、式（5）及び（6）の駆動信号 D 1 及び D 2 を調整して、トルク成分を加算することによってトルク機能を実現する。

10

【0065】

【数 5】

$$D1 = K \cdot \sin(\omega t) + P \cdot \cos(\omega t) + T \cdot \sin(\omega t) \quad \text{式(7)}$$

$$D2 = -K \cdot \sin(\omega t) + P \cdot \cos(\omega t) + T \cdot \sin(\omega t) \quad \text{式(8)}$$

20

【0066】

上式において、式（5）及び（6）について述べたように、 $P = K \alpha$ であり、T は、トルク調整信号 1 3 4 の振幅である。残りのパラメータは、式（1）及び（2）について定義したものと同一である。

【0067】

また、一旦 QCVSG 1 2 0 を同調すると、位相オフセット α は、K 及び P から求め得ることに留意されたい。即ち、

【0068】

【数 6】

$$\alpha = P/K \quad \text{式(9)}$$

30

【0069】

従って、合成位相オフセット 6 4 は、次式で与えられる。

【0070】

【数 7】

$$2\alpha = 2P/K \quad \text{式(10)}$$

40

【0071】

傾斜駆動共振器組立体 1 2 2 には、図 6 の直角位相制御系 7 2 と同じ構成要素が多く含まれ、これらは、同じ参照番号によって識別される。更に、トルク・直角位相制御系 1 2 4 には、トルク調整信号 1 3 4 を出力するためのトルク信号源 1 3 6 と、トルク調整正弦波信号 1 4 0 を生成する第 3 信号乗算器 1 3 8 と、トルク及び位相オフセット成分を加算するための第 3 加算器 1 4 2 と、が含まれる。更に、傾斜駆動共振器組立体 1 2 2 の場合、直角位相調整信号 9 0 は、直角位相を調整して所望レベルに設定できる。

【0072】

本方法は、位相同期ループの使用を必要としないが、図 9 に示すように、位相同期ルー

50

ブ駆動系 150 に実現できる。1つのそのような位相同期ループ駆動系の詳細は、米国特許第 7, 411, 465 号に開示されており、これは、本出願の譲受人に譲渡され、また、それに含まれる明白な定義を除き本明細書にその全体を引用・参照する。

【0073】

位相同期ループ駆動系 150 は、入力信号 156 の位相と固定関係を有する出力信号 152, 154 を生成することによって、性能を強化できる。位相同期ループ回路（図示せず）は、出力 152, 154 と入力 156 との間の位相差を検出し、結果的に生じるこれらの信号間の差異を用いて、出力 152, 154 が、周波数及び位相双方について、入力 156 と整合するまで、内部発振器の周波数を調整する。実際、位相同期ループ駆動系 150 は、駆動雑音及び付随するシステム雑音を低減するためのフィルタとして機能する。使用時、位相同期ループ駆動系 150 は、図 9 に示す乗算器 94, 98、及び 138 の各々に結合される。

10

【0074】

一実施形態において、位相同期ループ駆動系 150 への入力信号 156 には、共振器組立体の駆動発振と駆動信号 D1 及び D2 との比較が含まれ、従って、駆動発振を測定可能な共振器組立体を必要とする。本明細書では、「駆動発振」は、駆動信号 D1 及び / 又は D2 によって共振器組立体に与えられる合成発振（振幅及び周波数）である。図 9 に示す傾斜駆動共振器組立体 122 の検知素子 34a、34b、及び、35a、35b は、傾斜駆動共振器組立体 122 が動作中であるか又は回転が停止していると、検知素子軸 40 及び 42 が、それぞれ波節対 164, 166、及び 168, 170 を貫通する波節軸 160 及び 162 に関して角度 - ψ 及び + ψ でそれぞれ傾斜するように、共振器要素 24 に結合されている。検知素子軸 40, 42 と波節軸 160, 162 との間の傾斜関係により、検知素子 34a、34b、及び 35a、35b に駆動発振成分が与えられるが、これは、検知軸 40 上の検知素子（1つ又は複数）34a、34b からの出力信号 39a 及び 39b に検知軸 42 上の検知素子（1つ又は複数）35a、35b からの出力信号 41a 及び 41b を加算することによって分離し得る。この目的のために、第 4 加算器 174 を図 9 に示す。傾斜検知構成の動作の詳細は、上記において引用・参照した米国特許第 7, 526, 957 号に述べられている。

20

【0075】

また、他の軸対称共振器組立体は、駆動発振の測定値を提供するように構成し得る。例えば、図 7 の四叉分岐共振器組立体 104 の検知素子対 111, 112, 113、及び 114 は、隣接角部上の素子によって生成された信号の減算により駆動発振成分を分離するように、駆動発振成分を各々検出し得る。例えば、検知素子 112b 及び 113a によって生成された信号の減算は、駆動軸 115 に沿う駆動発振の表示を提供し得る。同様に、検知素子 113b 及び 114a によって生成された信号の減算は、駆動軸 116 に沿う駆動発振の表示を提供し得る。従って、当業者は、四叉分岐共振器組立体 104 が、位相同期ループ駆動系 150 と共に用い得ることを認識されるであろう。

30

【0076】

図 10 に、本発明の一実施形態に用いるカップ共振器組立体 180 を示す。カップ共振器組立体 180 には、同一半径方向位置で共振器要素 186 に連結されているが軸方向に離間している駆動素子 182 及び検知素子 184 が含まれる。これによって、検知素子 184 は、駆動素子 182 によって定義される駆動軸に沿う駆動発振の測定を行うが、これは、位相同期ループ駆動系 150 への入力信号 156 用 to 実行され得る。

40

【0077】

図 11 及び 12 に、本発明の一実施形態において、二又直角位相制御系 198 と、中心軸 201 を中心とした音叉型構成を有する二又分岐共振器組立体 200 と、を実装した QCVSG 196 を示す。二又分岐共振器組立体 200 は、又 202a 及び 202b を有し、各々、駆動軸 205 に沿って駆動されるように構成された駆動素子 204 と、検知素子 206 の主要面に対し垂直な検知軸 207 に沿って振動を検知するように構成された検知素子 206 と、を含む。駆動素子 204 は、励振されると、駆動軸 205 に沿って又 20

50

2 a 及び 2 0 2 b を駆動し、そして、又 2 0 2 a 及び 2 0 2 b をベクトル 2 0 8 によって示された方向に振動させる。ジャイロスコープ 2 0 0 が検知軸 2 0 1 を中心に回転すると、検知素子 2 0 6 は、ベクトル 2 1 0 によって示された方向に撓み、回転検知軸 2 0 1 を中心としたジャイロスコープ 2 0 0 の回転に比例した振幅を有する信号 2 1 2 を生成する。

【 0 0 7 8 】

二又分岐共振器組立体 2 0 0 の場合、又 2 0 2 a 及び 2 0 2 b は、ほぼ一致する駆動軸 2 0 5 に沿って反対方向に振動する。駆動素子 2 0 4 は、二又分岐共振器組立体 2 0 0 の対向面上にあることから、双方共、同じ極性を有する一次駆動信号で駆動される。次に、二又音叉及びその異型の場合のように、1 つの軸に沿って駆動される共振器組立体用の位相補償手法について、数学的に述べる。

10

【 0 0 7 9 】

本発明の或る実施形態に基づき直角位相信号の補正に影響を及ぼすためには、 2α の合成位相オフセット 6 4 に等しい総位相差が、第 1 の又と第 2 の又との間でさせることが望ましい。従って、第 1 及び第 2 又駆動用の所望の駆動信号 D 3 及び D 4 は、それぞれ次式で表される。

【 0 0 8 0 】

【 数 8 】

$$D3 = K \cdot \sin(\omega t + \alpha)$$

式 (11)

20

$$D4 = K \cdot \sin(\omega t - \alpha)$$

式 (12)

【 0 0 8 1 】

上式において、K は、駆動信号の振幅（例えば、単位は、ボルト）であり、 ω は、駆動周波数であり、t は、時間パラメータである。2 つの角の和の正弦に対する三角関数の恒等式は、次の通りである。

【 0 0 8 2 】

【 数 9 】

30

$$\sin(\omega t + \alpha) = \cos(\alpha) \sin(\omega t) + \sin(\alpha) \cos(\omega t)$$

式 (13)

【 0 0 8 3 】

角度 α が小さい場合、式 (1 3) は、次式のように簡約化される。

【 0 0 8 4 】

【 数 1 0 】

$$\sin(\omega t + \alpha) = \sin(\omega t) + \alpha \cos(\omega t)$$

式 (14)

40

【 0 0 8 5 】

式 (1 4) を式 (1 1) 及び (1 2) に代入すると、駆動信号 D 3 及び D 4 は、次式によって表し得る。

【 0 0 8 6 】

【数 1 1】

$$D3 = K \cdot \sin(\omega t) + K\alpha \cdot \cos(\omega t) \quad \text{式 (15)}$$

$$D4 = K \cdot \sin(\omega t) - K\alpha \cdot \cos(\omega t) \quad \text{式 (16)}$$

【0087】

従って、式(15)及び(16)の駆動信号D3及びD4の三角関数は、単に駆動周波数と時間の積 ωt の項で表され、D3及びD4関数の様々な成分は、電子回路及び/又はコンピュータ制御によって容易に実現される。

10

【0088】

また、微小電子機械システム(MEMS)ジャイロスコープ及びH型分岐ジャイロスコープ等の他の共振器組立体は、同じ極性の一次駆動信号により共通軸に沿って駆動される。そのようなジャイロスコープの例は、ヤチ(Yachi)らの米国特許第5,996,410号と、ザマン(Zaman)らの「高性能整合モード音叉ジャイロスコープ」、MEMS 2006、イスタンブール、トルコ、pp.22-26, 2006年1月と、トルソフ(Trusov)らによる「構造強制式逆位相駆動モード及び線形結合式逆位相検知モードを有するジャイロスコープ構造」、IEEE トランスデューサ 2009、コロラド州デンバー、米国、2009年6月と、によって開示されている。それらの開示内容は、それらにある明白な定義を除き、全体的に本明細書に引用・参照する。式(10)乃至(15)は、これらの装置で実現し同じ結果を得ることができる。

20

【0089】

二又直角位相制御系198には、図6の直角位相制御系72と同じ構成要素が多く含まれ、これらは、同じ参照番号によって識別する。二又直角位相制御系198と直角位相制御系72との間の相違は、インバータ103が、第2加算器102に(可変利得正弦波信号96の代わりに)入力される位相調整余弦信号100を反転して、式(16)の $K\alpha \cdot \cos(\omega t)$ 成分の減算に影響を及ぼすことである。

【0090】

本発明の更に他の実施形態において、「制御式」バイアスの利用を伴う位相補償手法を実現する。復調済み直角位相信号Sqによる速度信号のバイアスBqについて考える。これは、次式で与えられる。

30

【0091】

【数 1 2】

$$Bq = K1 \cdot Sq \cdot \epsilon_{DM} \quad \text{式 (17)}$$

【0092】

上式において、 ϵ_{DM} は、速度信号の復調位相誤差であり、K1は、検知系の利得である。復調位相誤差 ϵ_{DM} は、本明細書では、所望の又は目標の復調位相と実際の復調位相との間の差異として定義する。

40

【0093】

場合によっては、復調位相誤差 ϵ_{DM} を生じる固有の位相関連の現象があり得る(例えば、電源投入ドリフトによる遷移又は温度変化による応力)。そのような固有の原因は、Bq等の制御式バイアスによって補正し得る。この制御式バイアスには、直角位相信号の許容可能なレベルを確立して、固有の位相誤差を用いて特定のバイアスを生成することを伴い得る。少量の直角位相信号Sqを許容することによって、直角位相信号Sqのレベルを制御して、未知量のより大きな直角位相信号を防止し得る。一実施形態において、その目的は、復調済み直角位相信号Sqを用いて、復調位相誤差 ϵ_{DM} と相関傾向があるこれ

50

ら他のバイアス誤差源を補償することである。復調済み直角位相信号 S_q が分かると、復調位相誤差 ε_{DM} の大きさを求め、その情報を用いて、回転速度の誤表示を補償することができる。

【0094】

本発明は、その精神又は本質的な特質から逸脱することなく、他の特別な形態で具現化することができ、従って、示した実施形態は、全て例示的なものであって、限定的なものではないことを理解されたい。例えば、上記説明は、カップ及び四叉ジャイロスコープに関するが、本明細書に述べた方法及び装置は、これらに限定するものではないが、カップ共振器、半球形共振器、リング共振器、及び四叉共振器を含み、複数の駆動軸を利用する任意のジャイロスコープ又は共振器で実現することができる。

10

【0095】

上記の説明は、本発明の様々な実施形態の完全な理解を提供する数多くの特定の詳細を提示する。本明細書に開示する各図及び方法は、個別に又は他の特徴や方法と共に用いて、これらを作成及び使用するための装置、システム及び方法を改善し得る。従って、本明細書に開示する特徴及び方法の組合せは、その最も広い意味では、本発明の実践には必要でなく、むしろ本発明の代表的な実施形態を詳細に記述するためだけに開示されている。

【0096】

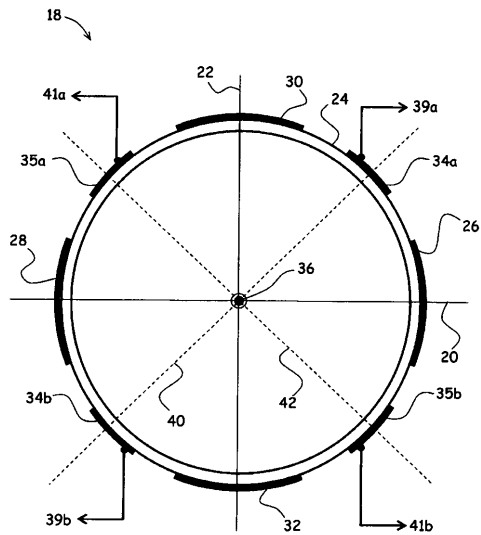
上記説明では、様々な実施形態の数多くの特性及び利点について、様々な実施形態の構造及び機能の詳細と共に述べたが、本開示は、単なる例示であることを理解されたい。他の実施形態であって、なお以下の請求項によってのみ規定される本発明の原理と精神を用いる実施形態を構成してもよい。

20

【0097】

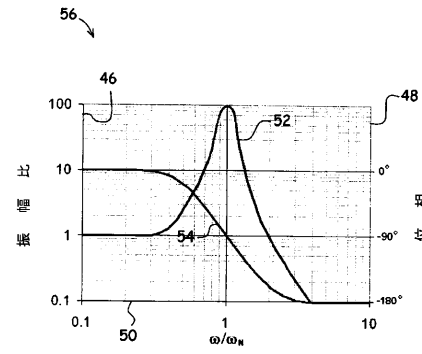
本発明の請求項を解釈する場合、米国特許法(35 USC)112条第6項の規定は、その特許請求の範囲において、特定の用語「ための手段(means for)」又は「ための工程(step for)」が言及されない限り、与えられた請求項について引用されるべきでないことを明記する。

【図 1】

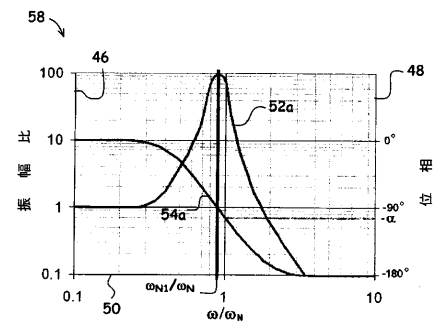


(Prior Art)

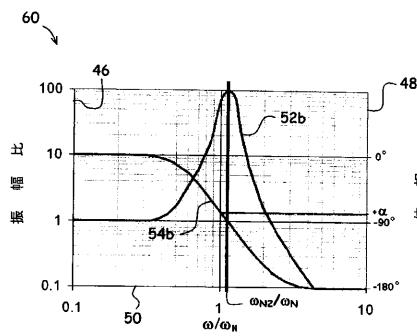
【図 2】



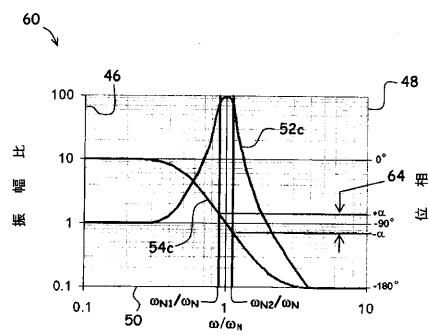
【図 3】



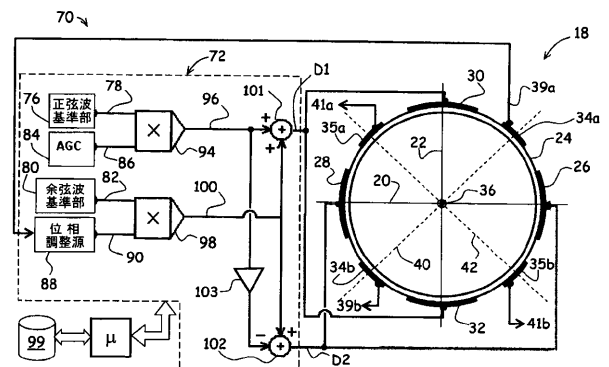
【図 4】



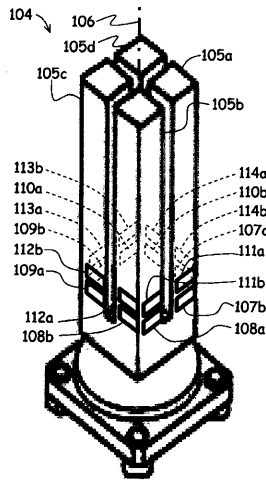
【図 5】



【図 6】

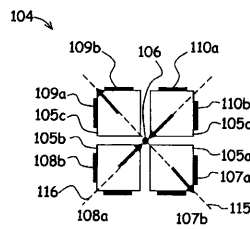


【図 7】



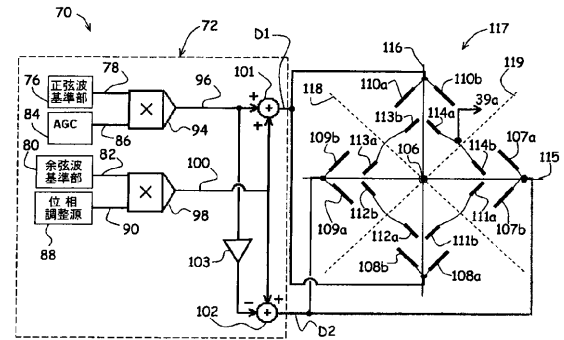
(Prior Art)

【図 7 A】

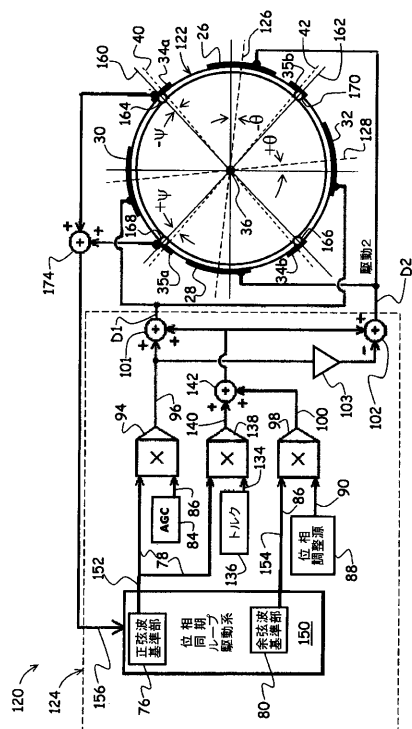


(Prior Art)

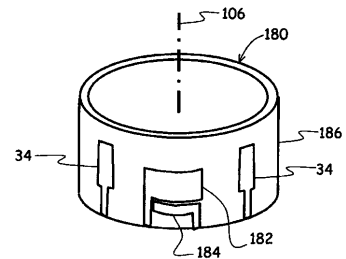
【図 8】



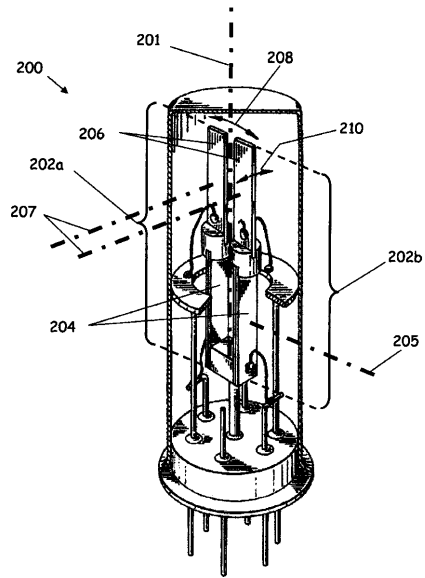
【図 9】



【図 10】

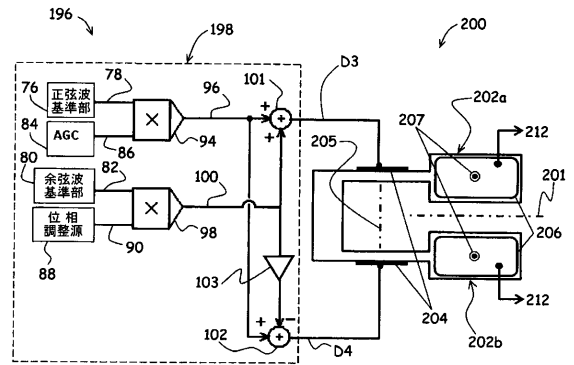


【 図 1 1 】



Prior Art

【 図 1 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 ウィリアム エス・ワトソン

アメリカ合衆国 5 4 7 0 3 ウィスコンシン州 オ クレール メルビー ロード 3 0 4 1

ワトソン インダストリーズ インコーポレイティド 内

Fターム(参考) 2F105 BB01 BB07 CC01 CC04 CD01 CD05 CD11

【外国語明細書】
2010096765000001.pdf