

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6600672号
(P6600672)

(45) 発行日 令和1年10月30日(2019.10.30)

(24) 登録日 令和1年10月11日(2019.10.11)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 C 19/5691 (2012.01)

GO 1 C 19/5691

請求項の数 12 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-201755 (P2017-201755) (22) 出願日 平成29年10月18日 (2017.10.18) (65) 公開番号 特開2018-91831 (P2018-91831A) (43) 公開日 平成30年6月14日 (2018.6.14) 審査請求日 平成29年10月18日 (2017.10.18) (31) 優先権主張番号 15/296,774 (32) 優先日 平成28年10月18日 (2016.10.18) (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 503178185 ノースロップ グラマン システムズ コ ーポレーション NORTHROP GRUMMAN SY STEMS CORPORATION アメリカ合衆国 22042-4511 バージニア州 フォールズ チャーチ フ ェアビュー パーク ドライブ 2980 (74) 代理人 100105957 弁理士 恩田 誠 (74) 代理人 100068755 弁理士 恩田 博宣 (74) 代理人 100142907 弁理士 本田 淳</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半球共振型ジャイロスコープ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半球共振型ジャイロスコープ (HRG) であって、

受感軸を中心とした対称環状配置で配置され、複数の電極に印加される複数のフォーサー信号に基づいて共振器に実質的に周期的な動きを静電的にさせるように構成された複数の電極を含むセンサシステムであって、前記複数の電極は、前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転の指示を提供するように構成される、前記センサシステムと、

前記複数の電極と振動パターンとの比が非整数となるように、前記振動パターンにおいて実質的に周期的な動きを提供するように複数のフォーサー信号を異なる位相で生成し、前記複数のフォーサー信号を供給することと実質的に同時に対応する複数の電極を介して複数のピックアップ信号を測定することにより、前記複数のフォーサー信号に応答して半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するように構成されたコントローラと、を備える半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 2】

前記振動パターンが、 $N = 3$ の振動パターンである、請求項 1 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 3】

前記複数の電極は、前記複数のフォーサー信号に応答して前記振動パターンを提供するように構成された 8 つの電極を含む、請求項 1 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

10

20

【請求項 4】

前記コントローラは、

第 1 の時刻において前記複数の電極のうちの少なくとも一部分に前記複数のフォーサー信号を供給し、第 2 の時刻において前記複数の電極のうちの少なくとも一部分に関連する複数のピックアップ信号を測定して前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するように構成される、請求項 1 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 5】

前記コントローラは、

前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するために、前記複数のフォーサー信号を力再平衡化で供給するように構成される、請求項 1 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

10

【請求項 6】

前記コントローラは、

対応する複数の異なる数式に基づく対応する電圧を有する前記複数の電極のうちの少なくとも一部分について前記複数のフォーサー信号を生成するように構成される、請求項 1 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 7】

前記複数のフォーサー信号は、前記複数の電極のうちの第 1 の組に関連付けられ、

前記コントローラは、前記複数の電極のうちの第 2 の組を介して複数のピックアップ信号の測定を実施するように構成され、

20

前記第 1 の組と第 2 の組は、互いに対して同一であり、交互に配置される、請求項 6 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 8】

前記複数のフォーサー信号は、

【数 1】

$$\varepsilon_0 = [E_A \sin \omega_3 t \cos 3\theta - (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \sin 3\theta] - E_R;$$

$$\varepsilon_2 = -[E_A \sin \omega_3 t \sin 3\theta + (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \cos 3\theta] - E_R;$$

$$\varepsilon_4 = -[E_A \sin \omega_3 t \cos 3\theta - (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \sin 3\theta] - E_R;$$

30

$$\varepsilon_6 = [E_A \sin \omega_3 t \sin 3\theta + (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \cos 3\theta] - E_R.$$

を含み、

ε_0 は、対応する第 1 の電極に関連する第 1 のフォーサー電圧であり、

ε_2 は、対応する第 3 の電極に関連する第 2 のフォーサー電圧であり、

ε_4 は、対応する第 5 の電極に関連する第 3 のフォーサー電圧であり、

ε_6 は、対応する第 7 の電極に関連する第 4 のフォーサー電圧であり、

ω_3 は、振動パターンの共振周波数であり、

θ は、所定のパターン位置角であり、

40

E_x は電圧成分である、請求項 7 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 9】

前記複数のフォーサー信号は、

【数 2】

$$\varepsilon_0 = E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - E_{\Omega} \sin 3\theta \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_1 = -E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t + \frac{\sqrt{2}}{2} E_{\Omega} (\cos 3\theta + \sin 3\theta) \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_2 = -E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - E_{\Omega} \cos 3\theta \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_3 = E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t + \frac{\sqrt{2}}{2} E_{\Omega} (-\sin 3\theta + \cos 3\theta) \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_4 = E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t + E_{\Omega} \sin 3\theta \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_5 = -E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - \frac{\sqrt{2}}{2} E_{\Omega} (\cos 3\theta + \sin 3\theta) \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_6 = -E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - E_{\Omega} \cos 3\theta \sin \omega_3 t;$$

$$\varepsilon_7 = E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - \frac{\sqrt{2}}{2} E_{\Omega} (-\sin 3\theta + \cos 3\theta) \sin \omega_3 t.$$

10

を含み、

20

- 0 は、対応する第 1 の電極に関連する第 1 のフォーサー電圧であり、
- 1 は、対応する第 2 の電極に関連する第 2 のフォーサー電圧であり、
- 2 は、対応する第 3 の電極に関連する第 3 のフォーサー電圧であり、
- 3 は、対応する第 4 の電極に関連する第 4 のフォーサー電圧であり、
- 4 は、対応する第 5 の電極に関連する第 5 のフォーサー電圧であり、
- 5 は、対応する第 6 の電極に関連する第 6 のフォーサー電圧であり、
- 6 は、対応する第 7 の電極に関連する第 7 のフォーサー電圧であり、
- 7 は、対応する第 8 の電極に関連する第 8 のフォーサー電圧であり、
- 3 は、振動パターンの共振周波数であり、
- は、所定のパターン位置角であり、

30

E_x は電圧成分である、請求項 1 に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

【請求項 10】

半球共振型ジャイロスコープ (HRG) の受感軸を中心とした回転を測定する方法であって、

対応する複数の異なる数式に基づく対応する複数の電圧を有する複数のフォーサー信号を生成することであって、複数のピックアップ電極と交互に配置された複数のフォーサー電極に関連付けられた前記複数のフォーサー信号を生成することを含む、前記複数のフォーサー信号を生成すること、

前記半球共振型ジャイロスコープに関連付けられた 8 つの電極のうちの少なくとも一部分に前記複数のフォーサー信号を供給することであって、前記 8 つの電極は、前記受感軸を中心とした対称環状配置で配置され、前記 8 つの電極のうちの少なくとも一部分に供給される複数のフォーサー信号に基づいて共振器を実質的に周期的な $N = 3$ の振動パターンに静電的にさせるように構成される、前記複数のフォーサー信号を供給することであって、前記 8 つの電極は、4 つのフォーサー電極および 4 つのピックアップ電極を含む、前記複数のフォーサー信号を供給すること、

40

前記実質的に周期的な $N = 3$ の振動パターンにตอบสนองして前記 4 つのピックアップ電極に関連付けられた複数のピックアップ信号を測定して、前記受感軸を中心とした回転を測定すること、を備える方法。

【請求項 11】

前記複数のフォーサー信号を供給することは、

50

第1の時刻において前記8つの電極のうちの少なくとも一部分に前記複数のフォーサー信号を供給することを含み、

前記複数のピックアップ信号を測定することは、

前記第1の時刻の後の第2の時刻において前記8つの電極のうちの少なくとも一部分に関連付けられた複数のピックアップ信号を測定することを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項12】

前記複数のフォーサー信号を供給することは、

前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するために、前記複数のフォーサー信号を力再平衡化で供給することを含む、請求項10に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本開示は、概してセンサシステムに関し、具体的には半球共振型ジャイロスコープに関する。

【背景技術】

【0002】

受感(すなわち、入力)軸を中心とした回転を計算するように構成された複数の異なるタイプのジャイロスコープがある。ジャイロスコープの1つのタイプは、コリオリ振動ジャイロスコープ(Coriolis vibratory gyroscope: CVG)である。CVGの一例は、2つの質量(mass)(例えば、尖叉(tine))が駆動軸に沿って平面で振動することができる音叉型ジャイロスコープ(tuning fork gyroscope)である。音叉の尖叉に平行な入力軸を中心と付与された角速度にตอบสนองして、コリオリ力により、尖叉が(例えば、駆動軸に対して90°)感知軸に沿って平面外で振動する。開ループ器具における平面外運動の振幅、または、閉ループ器具における平面外運動を再平衡化し、かつ無効にするために必要とされる力は、入力軸を中心と付与された角速度の計測値に対応する。CVGの別例は、「ワイングラス(wine glass)」形状の共振器を基本共振周波数で振動させる半球共振型ジャイロスコープ(Hemispherical Resonator Gyroscope: HRG)である。基本モードまたはN=2モードでは、振動共振器上の複数の点の変位は、周方向に45°で離された複数の腹および複数の節(antinodes and nodes)を有する定常波(standing wave)の形態である。力再平衡化動作(force-rebalance operation)では、複数の腹のうちの一つが、駆動軸に沿って維持され得る。HRGでは、共振器の対称軸(例えば、入力軸)を中心と付与された角度回転は、定常波がハウジングに対して角変位(angular displacement)を遅らせ(lag)、受感軸を中心としたHRGの回転を示す。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許第7,621,184号明細書

【特許文献2】米国特許第7,637,157号明細書

【特許文献3】米国特許第7,874,209号明細書

【特許文献4】米国特許第8,205,499号明細書

【特許文献5】米国特許第8,763,441号明細書

【特許文献6】米国特許出願公開第2009/0158846号明細書

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

一例は、半球共振型ジャイロスコープ(HRG)を含む。HRGは、受感軸を中心とした対称環状配置で配置され、複数の電極に印加される複数のフォーサー信号に基づいて共振器を実質的に周期的な動きを静電的にさせるように構成された複数の電極を含むセンサシステムを含む。複数の電極は、半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転の指示を提供するように構成される。またHRGは、複数の電極と振動パターンとの比が

50

非整数であるように、振動パターンにおいて実質的に周期的な動きを提供するように複数のフォーサー信号を異なる位相で生成し、複数のフォーサー信号にตอบสนองして半球共振型ジャイロ스코ープの受感軸を中心とした回転を測定するように構成されたコントローラと、を備える。

【0005】

他の例は、半球共振型ジャイロ스코ープ(HRG)の受感軸を中心とした回転を測定する方法を含む。方法は、対応する複数の異なる数式に基づく対応する複数の電圧を有する複数のフォーサー信号を生成することを含む。また方法は、半球共振型ジャイロ스코ープに関連付けられた8つの電極のうち少なくとも一部分に複数のフォーサー信号を供給することであって、8つの電極は、受感軸を中心とした対称環状配置で配置され、8つの電極のうち少なくとも一部分に印加される複数のフォーサー信号に基づいて共振器を実質的に周期的な $N = 3$ のモーションに静電的にさせるように構成される、複数のフォーサー信号を供給することを含む。さらに方法は、実質的に周期的な $N = 3$ のモーションにตอบสนองして8つの電極のうち少なくとも一部分に関連付けられた複数のピックアップ信号を測定して、受感軸を中心とした回転を測定することを含む。

10

【0006】

他の例は、半球共振型ジャイロ스코ープ(HRG)を含む。HRGは、受感軸を中心とした対象環状配置で配置され、8つの電極に供給される複数のフォーサー信号に基づいて共振器を実質的に周期的な $N = 3$ のモーションに静電的にさせるように構成された8つの電極を含むセンサシステムを含む。8つの電極は、半球共振型ジャイロ스코ープの受感軸を中心とした回転の指示を提供するように構成される。またHRGは、8つの電極と振動パターンとの比が非整数となるように、複数のフォーサー信号を異なる位相で生成し、複数のフォーサー信号にตอบสนองして振動パターンにおいて実質的に周期的な動きを提供し、半球共振型ジャイロ스코ープの受感軸を中心とした回転を測定するように構成されたコントローラと、を含む。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】半球共振型ジャイロ스코ープ(hemispherical resonator gyroscope : HRG)の一例を示す。

【図2】センサシステムの一例を示す。

30

【図3】共振型センサシステムの周期的動作の例示的な図を示す。

【図4】位相図の一例を示す。

【図5】HRGを制御する方法の一例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本開示は、概してセンサシステムに関し、具体的には半球共振型ジャイロ스코ープ(hemispherical resonator gyroscope : HRG)に関する。HRGは、センサシステムおよびコントローラを含み得る。コントローラは、複数のフォーサー信号(forcer signal)の電圧を決定する対応する組の数式に基づいて複数のフォーサー信号を生成する信号発生器を含む。複数のフォーサー信号は、受感軸(sensitive axis)を中心とした対称環状配置(symmetrical annular arrangement)で配置されたセンサシステムに関連する一組の電極(例えば、8つの電極)に供給される。従って、複数のフォーサー信号は、1組の電極への複数のフォーサー信号の印加に基づいて、共振器(例えば、半球型共振器)を実質的に周期的な振動パターン(vibration pattern)に静電的に(electrostatically)させるように構成され得る。振動パターンは、電極の数と振動パターンとの比が非整数(non-integer number)となるようにすることができる。例えば、電極の数は、複数のフォーサー信号が実質的に周期的な $N = 3$ の振動パターンを生成するように、8つにすることができる。

40

【0009】

コントローラは、1組の電極に関連付けられたピックアップ(pickoff)を測定すること

50

に基づいて、入力軸を中心としたセンサの回転角速度を計算するように構成される。例えば、複数のフォーサー信号は、1組の電極のうちの第1の組（例えば、4つの電極）に付与され、コントローラは、4つのピックアップ電極からのピックアップ信号を測定するように構成され得る。ピックアップ電極およびフォーサー電極は、互いに対して実質的に同一であり、交互に配置され得る（equal and interleaved）。別例として、複数のフォーサー信号は、1対1のように、対応する複数の電極に関連付けられ、コントローラは、複数のフォーサー信号の供給と実質的に同時に対応する複数の電極を介してピックアップを実施するように構成される。

【0010】

図1は、半球共振型ジャイロスコープ（hemispherical resonator gyroscope : HRG）システム10の一例を示す。HRG10は、航空宇宙および航海ナビゲーションのような回転の正確な計測が必要とされる様々な用途のいずれかで具体化され得る。HRG10は、センサシステム12およびコントローラ14を含む。

【0011】

センサシステム12は、弾性特性を有する変形可能な材料として構成され且つ様々な異なる形態のうちの1つで提供される環状共振器（annular resonator）16を含む。例えば、環状共振器16は、弾性半球型（elastic hemisphere）であってもよい。センサシステム12はまた、環状共振器16が一組の電極18を実質的に取り囲むように、環状共振器16に対して内側に配置された一組の電極18を含む。一組の電極18は、コントローラ14によって提供される複数のフォーサー信号FRCにตอบสนองして静電力（electrostatic force）を生成するように構成され、環状共振器16の振動を周期的に提供するように環状共振器16の変形を提供する。一例として、振動パターンは、電極の数と振動パターンの節及び腹（nodes and antinodes）の数との比が非整数となるようなものであってもよい。例えば、電極の数は、フォーサー信号FRCが実質的に周期的な $N = 3$ の振動パターンを生成するように、8つであってもよい。本明細書で説明するように、用語「 $N = 3$ 」は、振動パターンの腹の数の半分を表し、 $N = 3$ の場合、振動パターンは、6つの実質的に等しく角度を離された主軸（principle axes）に沿って環状共振器16の6つの腹を提供する。

【0012】

一例として、一組の電極18は、定常波の角変位（angular displacement）の環状共振器16への力再平衡化を提供し、同時に定常波を劣化させるかまたは定常波に影響を与える可能性がある直交効果の無効化（nulling of the quadrature effects）をもたらすように具体化することができる。さらに、一組の電極18は、環状共振器16の動きに対応する複数のピックアップ信号P0を供給して受感軸を中心としたセンサシステム12の回転を測定するために複数のピックアップ電極を含むおよび/または具体化され得る。したがって、第1の例として、一組の電極18は、専用の複数のフォーサー電極および複数のピックアップ電極を含むか、または第2の例として、一組の電極18は、デュアルフォーサーおよびピックアップ機能（dual forcer and pickoff functionality）を実装することができる。

【0013】

コントローラ14は、プロセッサ22および信号発生器24を含む。信号発生器24は、プロセッサ22による一組の電極18に対する環状共振器16の変形の容量測定のために（例えば、信号生成器24を介して）センサシステム12に供給される複数のピックアップ信号P0に基づいて一組の電極18に供給される複数のフォーサー信号FRCを生成するように構成される。一例として、信号発生器24によって生成された複数のフォーサー信号FRCは、複数の電極18の適切な一部分である複数のフォーサー信号FRCを含み得る。複数のフォーサー信号FRCは、一組の電極18のうちの第1の部分に供給されて、複数のピックアップ信号P0のうちの一つ以上にตอบสนองして環状共振器16の周期的な動きを提供し得る。複数のピックアップ信号P0は、一組の電極18を介して供給される合成静電力（resultant electrostatic forces）の異なる位相に関連付けられた一組の異なる数

10

20

30

40

50

式に基づいて複数のフォーサー信号 FRC を生成するプロセッサ 22 に供給され得る。したがって、複数の数式によって、静電力の振幅を制御し、受感軸を中心としたセンサシステム 12 の角回転速度の測定値を提供することができ、また、直交効果を制御することができる。つまり、コントローラ 14 は、複数のピックアップ信号に基づいて出力信号 ROT としての入力軸を中心とした回転角速度の測定値を提供することができる。

【0014】

8つの電極 18 を有する $N = 3$ の振動パターンを実施することに基づいて、電極 18 の数と振動パターンとの間に非整数の比を実現することにより、HRG 10 は、典型的な HRG、例えば、 $N = 2$ の振動パターンを実現するものなどに関連した多くの効果を達成することができる。例えば、HRG 10 は、レート駆動 (rate drive) と、共振器の振動周波数で変化する正弦波フォーシング信号 (sinusoidal forcing signal) を利用する駆動のような 1 - 振幅駆動との間のクロストークから生じるノイズを実質的に緩和することができ、且つ 1 - 直交駆動と前記駆動との間の結合に起因するバイアス不安定性を緩和する。別例として、8つの電極 18 を有する $N = 3$ を実現する HRG 10 は、DC 電圧を利用する直交制御 (quadrature control) を提供することができるが、環状共振器 16 の振動周波数の 2 倍で変化する正弦波電圧を利用する定常波振幅制御のためのパラメトリックレート駆動 (parametric rate drive) を依然として維持する。さらに、 $N = 3$ の振動パターンは、 $N = 2$ の振動パターンとは対照的に、測定された回転 ROT に誤差を生じさせる可能性がある取り付けシステムに関連する振動エネルギーのより良好な減結合を提供することができる。さらにまた、 $N = 3$ の振動パターンは、 $N = 2$ の振動パターンよりも実質的に高い周波数で具体化され、より高い測定帯域幅のための基本的なデジタル信号処理速度を向上させることができる。したがって、HRG 10 は、 $N = 2$ の振動パターンを実現する他の HRG よりも改善された回転測定システムを提供することができ、物理的な構造を変更することなく、環状共振器と、 $N = 2$ の振動パターンを実現する 8つの電極を含む既存の物理パッケージで具体化され得る。

【0015】

図 2 は、センサシステム 50 の一例を示す。センサシステム 50 は、図 1 の例におけるセンサシステム 12 に対応し得る。したがって、図 2 の例の以下の説明において、図 1 の例が参照される。

【0016】

センサシステム 50 は、複数の電極を実質的に取り囲む環状共振器 52 を含む。一例として、環状共振器 52 は、弾性半球シェル (elastic hemispherical shell) として構成され得るが、他の幾何学的配置 (例えば、弾性リング) を有することもできる。複数の電極は、第 1 の電極 54、第 2 の電極 56、第 3 の電極 58、第 4 の電極 60、第 5 の電極 62、第 6 の電極 64、第 7 の電極 66、第 8 の電極 68 を含む。電極 54、56、58、60、62、64、66、68 は、図 2 の紙面に垂直に示された受感軸 70 を中心とし、対向して配置された対称環状配置で配置され、したがって、振動パターンに関連する複数の軸に垂直であり、明細書においてより詳細に説明する。

【0017】

図 2 の例では、電極 54、56、58、60、62、64、66、68 には、フォーサー信号および/またはピックアップ信号に対応する複数の信号 ϕ_0 が供給される。第 1 電極 54 には第 1 の信号 ϕ_0 が供給され、第 2 電極 56 には第 2 の信号 ϕ_1 が供給され、第 3 電極 58 には第 3 の信号 ϕ_2 が供給され、第 4 電極 60 には第 4 の信号 ϕ_3 が供給されることが示されている。同様に、第 5 の信号 ϕ_4 が第 5 の電極 62 に供給され、第 6 の信号 ϕ_5 が第 6 の電極 64 に供給され、第 7 の信号 ϕ_6 が第 7 の電極 66 に供給され、第 8 の信号 ϕ_7 は、第 8 の電極 68 に供給されることが示されている。図 2 の例は、信号 ϕ_0 が電極 54、56、58、60、62、64、66、68 の各々に供給されることを示しているが、複数の信号 ϕ_0 のうちの適切な一部分が、ピックアップ専用であるいくつかの電極 54、56、58、60、62、64、66、68 の例におけるなど、複数のフォーサー電圧として電極 54、56、58、60、62、64、66、68 の対応する適切な一部分に

10

20

30

40

50

供給され得ることを理解されたい。

【 0 0 1 8 】

電極 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 , 6 2 , 6 4 , 6 6 , 6 8 は、複数のフォーサー電圧として供給される複数の信号の印加にตอบสนองして、環状共振器 5 2 に作用する静電気力を提供し得る。それにตอบสนองして、複数のフォーサー電圧の相対位相、つまり静電気力の相対位相に基づいて、環状共振器 5 2 が、電極 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 , 6 2 , 6 4 , 6 6 , 6 8 に静電的に引き付けられる。その結果、環状共振器 5 2 が、 $N = 3$ の振動パターンで変形する。複数のフォーサー電圧の印加にตอบสนองする環状共振器 5 2 の状態は、図 3 および図 4 の例において示されている。

【 0 0 1 9 】

図 3 は、共振センサシステムの $N = 3$ の周期的な動作の例示的な図 1 0 0 を示し、図 4 は、位相図 1 5 0 の一例を示す。環状共振器 5 2 の弾性特性により、環状共振器 5 2 は、共振周波数の約半周期でリバウンド (rebound) し得る。それにตอบสนองして、環状共振器 5 2 は、時刻 $T = 0$ に対応する第 1 の状態と時刻 $T = 1 / 2 F$ に対応する第 2 の状態との間で振動する。ここで、 F は振動パターンの振動周波数である。第 1 の状態は、図 3 の例における 1 0 2 と図 4 の例における 1 5 2 で示されている。第 2 の状態は、図 3 の例における 1 0 4 と図 4 の例における 1 5 4 で示されている。

【 0 0 2 0 】

時刻 $T = 0$ に対応する図 3 の例における第 1 の状態では、環状共振器 5 2 は、1 0 6 , 1 0 8 , 1 1 0 と示された 3 つの $1 2 0^\circ$ の軸に沿って伸縮する (extended and contracted) ことが示され、電極 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 , 6 2 , 6 4 , 6 6 , 6 8 により区画された 4 つの $9 0^\circ$ の軸 1 1 2 , 1 1 4 , 1 1 6 , 1 1 8 を示し、軸線 1 1 0 は、軸線 1 1 2 と同一線上にある。時刻 $T = 0$ に対応する図 4 の例における第 1 の状態 1 5 2 では、位相図 1 5 0 は、電極 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 , 6 2 , 6 4 , 6 6 , 6 8 に印加される駆動電圧に対応する実線 1 5 6 を示し、電極 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 , 6 2 , 6 4 , 6 6 , 6 8 で検出されたピックアップ信号に対応する点線 1 5 8 を示す。時刻 $T = 1 / 2 F$ に対応する図 3 の例における第 2 の状態 1 0 4 では、環状共振器 5 2 は、第 1 の状態 1 0 2 に対して同じ方向か反対方向に 3 つの $1 2 0^\circ$ の軸 1 0 6 , 1 0 8 , 1 1 0 に沿って伸縮されることが示される。したがって、図 3 および図 4 は、 $N = 3$ の振動パターンに対応するフォーサー信号およびピックアップ信号の動きおよび印加を示す。

【 0 0 2 1 】

第 1 の例として、複数の信号のうち適切な一部分 (例えば 4 つ) がフォーサー電圧として構成される。例えば、第 1 電極 5 4、第 3 電極 5 8、第 5 電極 6 2、第 7 電極 6 6 には、それぞれフォーサー電圧 ε_0 , ε_2 , ε_4 , ε_6 が供給される。第 1 の例では、信号発生器 2 4 は、以下のように定義される複数の電圧信号として、フォーサー電圧 ε_0 , ε_2 , ε_4 , ε_6 を生成し得る。

【 0 0 2 2 】

【 数 1 】

$$\varepsilon_0 = [E_A \sin \omega_3 t \cos 3\theta - (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \sin 3\theta] - E_R \quad \text{数式 1}$$

$$\varepsilon_2 = -[E_A \sin \omega_3 t \sin 3\theta + (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \cos 3\theta] - E_R \quad \text{数式 2}$$

$$\varepsilon_4 = -[E_A \sin \omega_3 t \cos 3\theta - (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \sin 3\theta] - E_R \quad \text{数式 3}$$

$$\varepsilon_6 = [E_A \sin \omega_3 t \sin 3\theta + (E_\Omega \sin \omega_3 t + E_Q \cos \omega_3 t) \cos 3\theta] - E_R \quad \text{数式 4}$$

ここで、 ε_0 は、対応する第 1 の電極 5 4 に関連する第 1 のフォーサー電圧であり、

ε_2 は、対応する第 3 の電極 5 8 に関連する第 2 のフォーサー電圧であり、

ε_4 は、対応する第 5 の電極 6 2 に関連する第 3 のフォーサー電圧であり、

ε_6 は、対応する第 7 の電極 6 6 に関連する第 4 のフォーサー電圧であり、

10

20

30

40

50

ω_3 は、 $N = 3$ モードの振動パターンの共振周波数であり、
 θ_3 は、所定のパターン位置角であり、

E_x は、電圧成分である。

【 0 0 2 3 】

この例では、第 2 の電極 5 6、第 4 の電極 6 0、第 6 の電極 6 4、第 8 の電極 6 8 には、ピックアップ信号 $\omega_1, \omega_3, \omega_5, \omega_7$ が供給される。したがって、この例では、第 2 の電極 5 6、第 4 の電極 6 0、第 6 の電極 6 4、および第 8 の電極 6 8 は、ピックアップ用に実装され、振動パターンの中に環状共振器 5 2 の位置を示す複数のピックアップ信号 P_0 を検出して受感軸 7 0 を中心としたセンサシステム 5 0 の回転を決定する。

【 0 0 2 4 】

したがって、第 1 の例は、フォーサー電圧 $\omega_0, \omega_2, \omega_4, \omega_6$ の生成に基づいて、 $N = 2$ の振動パターンを実現する構造化 (mechanization) と機能的に同等な構造化を有するが、依然として先に説明した $N = 3$ の振動パターンの利点を有する。一例として、フォーサー電圧 $\omega_0, \omega_2, \omega_4, \omega_6$ の相対電圧に基づいて、第 1 の電極 5 4 は、信号 ω_0 を介して第 1 の腹フォーサー機能 (first anti-node forcer function) (例えば、 $X +$) を実現し、第 2 の電極 5 6 は、信号 ω_1 を介して第 1 の中間ピックアップ機能 (first in-between pickoff function) (例えば、 $X - / Y +$) を実現し、第 3 の電極 5 8 は、信号 ω_2 を介して第 2 の腹フォーサー機能 (例えば、 $Y -$) を実現し、第 4 の電極 6 0 は、信号 ω_3 を介して第 2 の中間ピックアップ機能 (例えば、 $X + / Y +$) を実現することができる。同様に、第 5 の電極 6 2 は、信号 ω_4 を介して第 3 の腹フォーサー機能 (例えば、 $X -$) を実現し、第 6 の電極 6 4 は、信号 ω_5 を介して第 3 の中間ピックアップ機能 (例えば、 $X + / Y -$) を実現し、第 7 の電極 6 6 は、信号 ω_6 を介して第 4 の腹フォーサー機能 (例えば、 $Y +$) を実現し、第 8 の電極 6 8 は、信号 ω_7 を介して第 4 の中間ピックアップ機能 (例えば、 $X - / Y -$) を実現することができる。

【 0 0 2 5 】

第 2 の例として、8 つの電極 5 4, 5 6, 5 8, 6 0, 6 2, 6 4, 6 6, 6 8 のすべてに、複数のフォーサー電圧 が供給される。したがって、第 1 の電極 5 4 には第 1 のフォーサー電圧 ω_0 が供給され、第 2 の電極 5 6 には第 2 のフォーサー電圧 ω_1 が供給され、第 3 の電極 5 8 には第 3 のフォーサー電圧 ω_2 が供給され、第 4 の電極 6 0 には第 4 のフォーサー電圧 ω_3 が供給され、第 5 の電極 6 2 には第 5 のフォーサー電圧 ω_4 、第 6 の電極 6 4 には第 6 のフォーサー電圧 ω_5 、第 7 の電極 6 6 には第 7 のフォーサー電圧 ω_6 、第 8 の電極 6 8 には第 8 のフォーサー電圧 ω_7 が供給される。第 2 の例では、信号発生器 2 4 は、以下のように定義される複数の電圧信号としてフォーサー電圧 $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7$ を生成することができる。

【 0 0 2 6 】

10

20

30

【数 2】

$$\varepsilon_0 = E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - E_\Omega \sin 3\theta \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 5}$$

$$\varepsilon_1 = -E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t + \frac{\sqrt{2}}{2} E_\Omega (\cos 3\theta + \sin 3\theta) \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 6}$$

$$\varepsilon_2 = -E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - E_\Omega \cos 3\theta \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 7}$$

$$\varepsilon_3 = E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t + \frac{\sqrt{2}}{2} E_\Omega (-\sin 3\theta + \cos 3\theta) \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 8}$$

$$\varepsilon_4 = E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t + E_\Omega \sin 3\theta \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 9}$$

$$\varepsilon_5 = -E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - \frac{\sqrt{2}}{2} E_\Omega (\cos 3\theta + \sin 3\theta) \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 10}$$

$$\varepsilon_6 = -E_0 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - E_\Omega \cos 3\theta \sin \omega_3 t; \quad \text{数式 11}$$

$$\varepsilon_7 = E_3 + E_{2\omega} \sin 2\omega_3 t - \frac{\sqrt{2}}{2} E_\Omega (-\sin 3\theta + \cos 3\theta) \sin \omega_3 t. \quad \text{数式 12}$$

ここで、 ε_0 は、対応する第 1 の電極 5 4 に関連する第 1 のフォーサー電圧であり、 20

ε_1 は、対応する第 2 の電極 5 6 に関連する第 2 のフォーサー電圧であり、

ε_2 は、対応する第 3 の電極 5 8 に関連する第 3 のフォーサー電圧であり、

ε_3 は、対応する第 4 の電極 6 0 に関連する第 4 のフォーサー電圧であり、

ε_4 は、対応する第 5 の電極 6 2 に関連する第 5 のフォーサー電圧であり、

ε_5 は、対応する第 6 の電極 6 4 に関連する第 6 のフォーサー電圧であり、

ε_6 は、対応する第 7 の電極 6 6 に関連する第 7 のフォーサー電圧であり、

ε_7 は、対応する第 8 の電極 6 8 に関連する第 8 のフォーサー電圧であり、

ω_3 は、N = 3 モードの振動パターンの共振周波数であり、

θ は、所定のパターン位置角であり、

E_x は、電圧成分であり、 E_0 および E_3 は共にそれぞれ $\sin 6$ および $\cos 6$ 30
に比例する定数である。

【0027】

この例では、図 2 の例において示されているように、8 つの電極 5 4, 5 6, 5 8, 6
0, 6 2, 6 4, 6 6, 6 8 のすべてに、対応するフォーサー電圧 $\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2,$
 $\varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6, \varepsilon_7$ が供給される。さらに、この例では、8 つの電極 5 4, 5 6
5 8, 6 0, 6 2, 6 4, 6 6, 6 8 のすべてが、ピックアップのために実装され、プロ
セッサ 2 2 に提供され且つ振動パターンの間に環状共振器 5 2 の位置を示す複数のピック
オフ信号 P O を検出するように具体化され、受感軸 7 0 を中心としたセンサシステム 5 0
の回転を決定する。

【0028】

したがって、フォーサー電圧 $\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6, \varepsilon_7$ の生成
に基づいて、第 2 の例は、2 - パラメトリック振幅駆動 (parametric amplitude drive
)、DC 直交制御、および 1 - レート駆動を提供する実施形態を提供する。したがって
、第 2 の実施例は、それぞれの駆動信号の周波数の減結合による実質的に改善されたバイ
アス不安定性およびノイズ低減を提供することができる。一例として、所与のパターン位
置角度 (pattern-location angle) 0° に対して、第 1 の電極 5 4 は、信号 ε_0 を介して
第 1 のパラメトリック駆動および DC 直交機能 (first parametric drive and DC quadra
ture function) を実現し、第 2 の電極 5 6 は、信号 ε_1 を介して第 1 の中間ピックオフ
機能 (例えば、X - / Y +) を実現し、第 3 の電極 5 8 は、信号 ε_2 を介してパラメトリ
ック駆動、レート駆動、および DC 直交機能を実現し、第 4 の電極 6 0 は、信号 ε_3 を介 50

して第2の中間ピックアップ機能(例えば、 $X + / Y +$)を実現することができる。同様に、第5の電極62は、信号 4 を介して第2のパラメトリック駆動及びDC直交機能を実現し、第6の電極64は、信号 5 を介して第3の中間ピックアップ機能(例えば、 $X + / Y -$)を実現し、第7の電極66は、信号 6 を介して腹パラメトリック駆動およびレート駆動機能を実現し、第8の電極68は、信号 7 を介して第4の中間ピックアップ機能(例えば、 $X - / Y -$)を実現することができる。

【0029】

上述の構造的および機能的特徴を考慮して、本開示の様々な態様による方法は、図5を参照することにより、より良く理解されるであろう。説明の簡略化のために、図5の方法は、連続して実行されるように示され説明されているが、本開示によれば、本明細書に示され記述された態様からいくつかの態様が他の態様と異なる順序でおよび/または同時に実施されるため、例示された順序に限定されないことは明らかであり、理解されたい。さらに、本開示の一態様による方法を実施するために例示された特徴の全てが必要とされるわけではない。

【0030】

図5は、HRG(例えば、HRG10)の受感軸(例えば、受感軸70)を中心とした回転(例えば、信号ROT)を測定する方法200を示す。202において、複数のフォーサー信号(例えば、フォーサー信号FRC)は、対応する複数の別個の数式(数式1~4または数式5~12)に基づく対応する電圧(例えば、電圧 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7)を有するように生成される。204において、複数のフォーサー信号は、HRGに関連する8つの電極(例えば、複数の電極18)のうちの少なくとも一部分に供給される。8つの電極は、受感軸を中心とした対称環状配置で配置され、8つの電極のうちの少なくとも一部分に印加された複数のフォーサー信号に基づいて、共振器(例えば、環状共振器16)を実質的に周期的な $N = 3$ の振動パターン(例えば、図3の例において示される)に静電的にさせるように構成され得る。206において、実質的に周期的な $N = 3$ の振動パターンに応答して、8つの電極のうちの少なくとも一部分に関連するピックアップ(例えば、ピックアップ信号PO)が、受感軸を中心とした回転を測定するために測定される。

【0031】

上述した事項は、本開示の例である。当然のことながら、本開示を説明する目的で構成要素または方法のすべての考えられる組み合わせを説明することは不可能であるが、当業者は、本開示の多くのさらなる組み合わせおよび置換が可能であることを認識するであろう。したがって、本開示は、添付の特許請求の範囲を含む本出願の範囲内に含まれるそのような変更、修正、および変形をすべて包含することが意図されている。

以下に、上記各実施形態から把握できる技術思想を記載する。

(付記1)

半球共振型ジャイロスコープ(HRG)であって、

受感軸を中心とした対称環状配置で配置され、複数の電極に印加される複数のフォーサー信号に基づいて共振器を実質的に周期的な動きを静電的にさせるように構成された複数の電極を含むセンサシステムであって、前記複数の電極は、前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転の指示を提供するように構成される、前記センサシステムと、

前記複数の電極と振動パターンとの比が非整数となるように、前記振動パターンにおいて実質的に周期的な動きを提供するように複数のフォーサー信号を異なる位相で生成し、前記複数のフォーサー信号に応答して半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するように構成されたコントローラと、を備える半球共振型ジャイロスコープ。

(付記2)

前記複数のフォーサー信号は、前記複数の電極に対する前記複数のフォーサー信号の相對位相に関連付けられる、付記1に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

10

20

30

40

50

(付記3)

半球共振型ジャイロスコープ(HRG)であって、

受感軸を中心とした対象環状配置で配置され、8つの電極に供給される複数のフォーサー信号に基づいて共振器を実質的に周期的な $N=3$ の振動パターンに静電的にさせるように構成された8つの電極を含むセンサシステムであって、前記8つの電極は、前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転の指示を提供するように構成される、前記センサシステムと、

前記8つの電極と前記振動パターンとの比が非整数となるように、前記複数のフォーサー信号を異なる位相で生成して前記振動パターンにおいて前記実質的に周期的な動きを提供し、前記複数のフォーサー信号に応答して前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するように構成されたコントローラと、を備える半球共振型ジャイロスコープ。

10

(付記4)

前記コントローラは、

前記半球共振型ジャイロスコープの受感軸を中心とした回転を測定するために、前記複数のフォーサー信号を力再平衡化で供給するように構成される、付記3に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

(付記5)

前記複数のフォーサー信号は、前記8つの電極のうちの4つのフォーサー電極に関連付けられ、

20

前記コントローラは、前記8つの電極のうちの4つのピックアップ電極を介して複数のピックアップ信号の測定を実施するように構成され、

前記フォーサー電極およびピックアップ電極は、互いに対して同一であり、交互に配置されている、付記3に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

(付記6)

前記複数のフォーサー信号は、対応する8つの電極に関連付けられた8つのフォーサー信号を含み、

前記コントローラは、前記8つのフォーサー信号を供給することと実質的に同時に前記8つの電極を介して前記8つのピックアップ信号の測定を実施するように構成されている、付記3に記載の半球共振型ジャイロスコープ。

30

【図1】

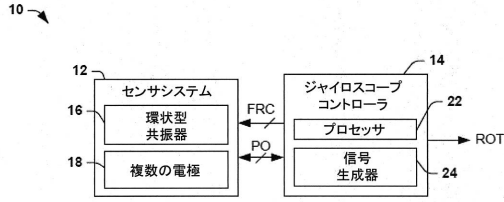


FIG. 1

【図2】

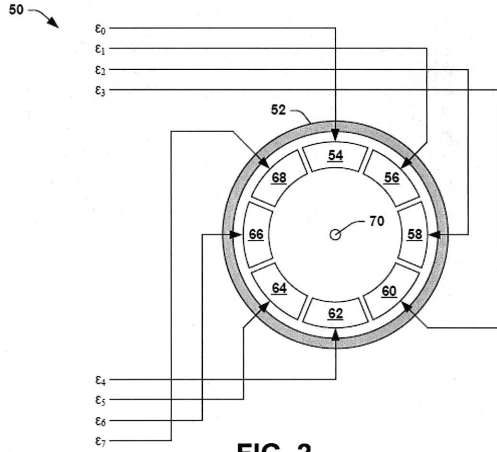


FIG. 2

【図3】

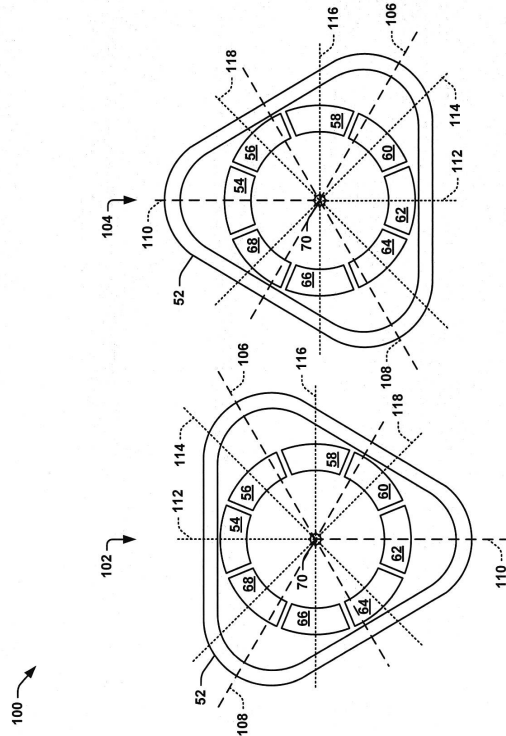


FIG. 3

【図4】

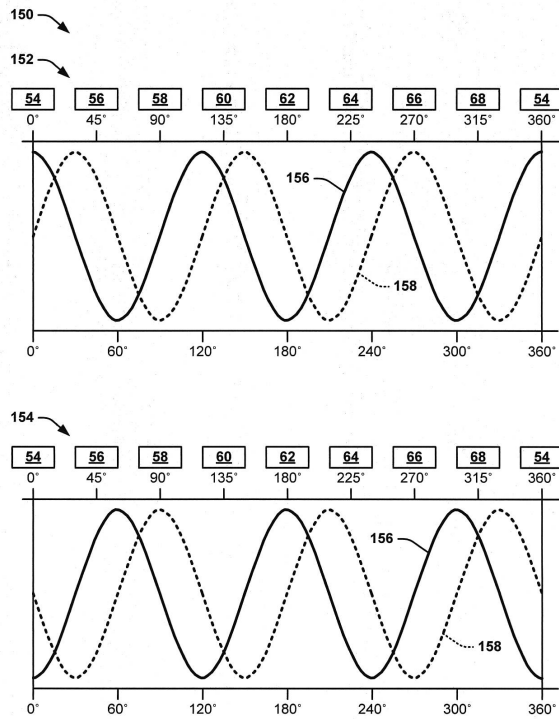


FIG. 4

【図5】

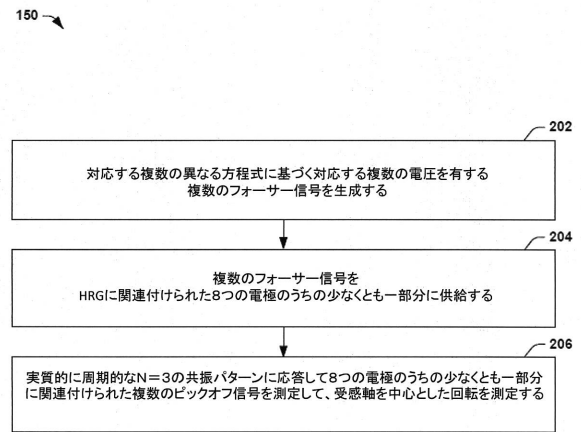


FIG. 5

フロントページの続き

- (72)発明者 アレクサンダー トルースフ
アメリカ合衆国 91367 カリフォルニア州 ウッドランド ヒルズ レオノーラ ドライブ
23049
- (72)発明者 デイビッド エム・ロゼール
アメリカ合衆国 91367 カリフォルニア州 ウッドランド ヒルズ ル セージ アベニュー
5800
- (72)発明者 デイビッド デイ・リンチ
アメリカ合衆国 93111 カリフォルニア州 サンタバーバラ パークレー ロード 544
2

審査官 八木 智規

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2011/239763(US, A1)
特開2010-66254(JP, A)
特開2016-156810(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01C 19/56 - 19/5783