

(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2009-244263

(P2009-244263A)

(43) 公開日 平成21年10月22日(2009.10.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1P 15/13 (2006.01)	GO1P 15/13 B	2F105
GO1C 19/56 (2006.01)	GO1C 19/56	4M112
GO1P 9/04 (2006.01)	GO1P 9/04	
HO1L 29/84 (2006.01)	HO1L 29/84 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-68045 (P2009-68045)
 (22) 出願日 平成21年3月19日 (2009. 3. 19)
 (31) 優先権主張番号 12/057, 695
 (32) 優先日 平成20年3月28日 (2008. 3. 28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500575824
 ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国ニュージャージー州07962-2245, モーリスタウン, コロンビア・ロード 101, ビー・オー・ボックス 2245
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 社本 一夫
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

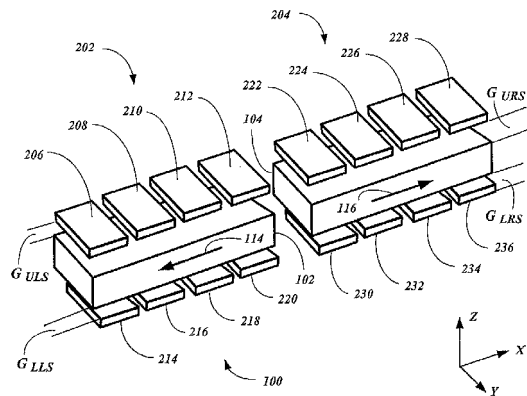
(54) 【発明の名称】 平面外MEMSデバイスから加速度および回転を決定するためのシステムおよび方法

(57) 【要約】

【課題】 平面外MEMSデバイスから加速度および回転を決定するためのシステムおよび方法を提供する。

【解決手段】 微小電気機械システム(MEMS)慣性センサシステムおよび方法は、線形加速度および回転を決定するように動作させることができる。一例示的实施形態は、第1の電極対を介して第1のプルーフマスに第1の線形加速度再平衡力を加え、第2の電極対を介して第2のプルーフマスに第2の線形加速度再平衡力を加え、第3の電極対を介して第1のプルーフマスに第1のコリオリ再平衡力を加え、第4の電極対を介して第2のプルーフマスに第2のコリオリ再平衡力を加え、加えられた第1および第2の線形加速度再平衡力に対応する線形加速度を決定し、かつ、加えられた第1および第2のコリオリ再平衡力に対応する回転を決定する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

線形加速度および回転を決定するための微小電気機械システム(MEMS)慣性センサ(100)であって、

第1のブルーフマス(102)と、

第2のブルーフマス(104)と、

第1の線形加速度再平衡力を前記第1のブルーフマスに加えるように動作させることができる第1の電極対(106、108)と、

第2の線形加速度再平衡力を前記第2のブルーフマスに加えるように動作させることができる第2の電極対(110、112)と、

第1のコリオリ再平衡力を前記第1のブルーフマスに加えるように動作させることができる第3の電極対(210、218)と、

第2のコリオリ再平衡力を前記第2のブルーフマスに加えるように動作させることができる第4の電極対(224、232)と

を備えたMEMS慣性センサ。

【請求項 2】

加えられた前記第1および第2の線形加速度再平衡力から線形加速度を決定するように動作させることができ、かつ、加えられた前記第1および第2のコリオリ再平衡力から回転を決定するように動作させることができる処理システム(1002)

をさらに備えた、請求項1に記載のMEMS慣性センサ。

【請求項 3】

前記第1のブルーフマスおよび前記第2のブルーフマスに通信結合された、ピックアップ電圧 V_{SP0} を出力するように動作させることができる増幅器システム(702)をさらに備え、

前記第1の電極対の第1の電極に加えられる再平衡電圧 V_{ULS} を前記ピックアップ電圧 V_{SP0} から決定することができ、

前記第1の電極対の第2の電極に加えられる再平衡電圧 V_{LLS} を前記ピックアップ電圧 V_{SP0} から決定することができ、

前記第2の電極対の第1の電極に加えられる再平衡電圧 V_{URS} を前記ピックアップ電圧 V_{SP0} から決定することができ、

前記第2の電極対の第2の電極に加えられる再平衡電圧 V_{LRS} を前記ピックアップ電圧 V_{SP0} から決定することができ、

前記第1の電極対の前記第1の線形加速度再平衡力が V_{ULS} および V_{LLS} に対応し、かつ、前記第2の電極対の前記第2の線形加速度再平衡力が V_{URS} および V_{LRS} に対応する、請求項1に記載のMEMS慣性センサ。

【請求項 4】

前記第1の電極対の前記第1の電極に通信結合された、電圧 V_{ULSP} を出力するように動作させることができる第1のピックアップ増幅器システム(902)と、

前記第1の電極対の前記第2の電極に通信結合された、電圧 V_{LLSP} を出力するように動作させることができる第2のピックアップ増幅器システム(904)と、

前記第2の電極対の前記第1の電極に通信結合された、電圧 V_{URSP} を出力するように動作させることができる第3のピックアップ増幅器システム(906)と、

前記第2の電極対の前記第2の電極に通信結合された、電圧 V_{LRSP} を出力するように動作させることができる第4のピックアップ増幅器システム(908)と、

をさらに備えた、請求項3に記載のMEMS慣性センサ。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

微小電気機械システム(MEMS)慣性測定ユニットには、姿勢および加速度の変化を検出するための3つのジャイロスコープおよび3つの加速度計が含まれる。通常、これら

10

20

30

40

50

の3つのジャイロスコープおよび3つの加速度計は、個別の直交軸上に取り付けられており、それぞれ独自の制御および読取りエレクトロニクスのセットを備える。これらの3つのジャイロスコープおよび3つの加速度計を正確に搭載しなければならない観点、6つの個別のユニットからの情報を処理するためには比較的大量の処理容量が必要である観点、およびこれらの3つのジャイロスコープおよび3つの加速度計に電力を供給するための電力源要件の観点から、MEMS慣性測定ユニットのアセンブリには固有のコストがあることは理解されよう。多くのアプリケーションには、サイズの縮小、計算要件および電力要件の軽減、ならびにMEMS慣性測定ユニットのコストの低減が必要である。これらの制約の観点から、MEMS慣性測定ユニット内における検知デバイスの数を少なくすることが有利であろう。

10

【0002】

従来のMEMSジャイロスコープを使用して、共鳴ブルーフマスに加えられるコリオリの力を測定することによって角回転を決定することができる。従来のMEMSジャイロスコープには、一般的にはガラスである基板に1つまたは複数のシリコンフレクシャを使用して機械的に結合され、かつ、基板から懸垂している2つのシリコンブルーフマスが含まれる。基板の中にエッチングされた多数の凹所が、デバイスの内部部分におけるシリコン構造の選択部分の自由な前後運動を可能にする。特定の設計では、シリコン構造の上側および下側に基板を提供し、これらの2つの基板の間にブルーフマスをはさむことができる。1つまたは複数の基板上に形成された金属トレースのパターンを使用して、様々な電気バイアス電圧および信号出力をデバイスに引き渡すことができる。

20

【0003】

多くのMEMSジャイロスコープのための駆動システムは、通常、コリオリの力が検知される方向に直角の駆動軸に沿ってブルーフマスを前後に振動させる多数の駆動エレメントを備える。特定の設計では、たとえば、駆動エレメントは、静電駆動を使用して電気エネルギーを機械エネルギーに変換するように構成された、インターディジタル型の垂直方向の多数の櫛形フィンガを備えることができる。たとえば、Tangらの「LATERALLY DRIVEN RESONANT MICROSTRUCTURES」という名称の米国特許第5,025,346号、およびJohnsonらの「MEMS GYROSCOPE WITH HORIZONTALLY ORIENTED DRIVE ELECTRODES」という名称の米国特許第7,036,373号に、このような駆動エレメントが記載されている。これらの米国特許は、いずれも参照によりその全体が本明細書に組み込まれている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許第5,025,346号

【特許文献2】米国特許第7,036,373号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

他のタイプのMEMSデバイスを使用して、線形加速度および回転の両方を測定することができる。しかしながら、このようなMEMSデバイスは、加速度および回転（ジャイロ）応答が互いに結合され、かつ、互いに依存する開ループモードで動作する。したがって、線形加速度および回転運動の両方を独立して測定するシステムには、加速度の検知が回転の検知から分離されるよう、少なくとも2つの異なるデバイスが必要であるが、そのために複雑性が増し、かつ、コストが増加することになり得る。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

微小電気機械システム(MEMS)慣性センサを使用して線形加速度および回転を決定するシステムおよび方法が開示される。一例示的实施形態は、第1のブルーフマスと、第

50

2のブルーフマスと、第1の線形加速度再平衡力を第1のブルーフマスに加えるように動作させることができる第1の電極対と、第2の線形加速度再平衡力を第2のブルーフマスに加えるように動作させることができる第2の電極対と、第1のコリオリ再平衡力を第1のブルーフマスに加えるように動作させることができる第3の電極対と、第2のコリオリ再平衡力を第2のブルーフマスに加えるように動作させることができる第4の電極対とを有する。

【0007】

他の態様によれば、一例示的实施形態は、第1の電極対を介して第1のブルーフマスに第1の線形加速度再平衡力を加え、第2の電極対を介して第2のブルーフマスに第2の線形加速度再平衡力を加え、第3の電極対を介して第1のブルーフマスに第1のコリオリ再平衡力を加え、第4の電極対を介して第2のブルーフマスに第2のコリオリ再平衡力を加え、加えられた第1および第2の線形加速度再平衡力に対応する線形加速度を決定し、かつ、加えられた第1および第2のコリオリ再平衡力に対応する回転を決定する。

10

【0008】

他の態様によれば、他の例示的实施形態は、第1の電極対の第1の電極と第1のブルーフマスとの間の第1のキャパシタンスの変化を検知し、第1の電極対の第2の電極と第1のブルーフマスとの間の第2のキャパシタンスの変化を検知し、第2の電極対の第1の電極と第2のブルーフマスとの間の第3のキャパシタンスの変化を検知し、第2の電極対の第2の電極と第2のブルーフマスとの間の第4のキャパシタンスの変化を検知し、第3の電極対の第1の電極と第1のブルーフマスとの間の第5のキャパシタンスの変化を検知し、第3の電極対の第2の電極と第1のブルーフマスとの間の第6のキャパシタンスの変化を検知し、第4の電極対の第1の電極と第2のブルーフマスとの間の第7のキャパシタンスの変化を検知し、かつ、第4の電極対の第2の電極と第2のブルーフマスとの間の第8のキャパシタンスの変化を検知する。この実施形態は、検知した第1のキャパシタンス、検知した第2のキャパシタンス、検知した第3のキャパシタンスおよび検知した第4のキャパシタンスから線形加速度を決定するように動作することができる。また、この実施形態は、検知した第5のキャパシタンス、検知した第6のキャパシタンス、検知した第7のキャパシタンスおよび検知した第8のキャパシタンスから回転を決定するように動作することも可能である。

20

【0009】

以下、好ましい実施形態および代替実施形態について、以下の図面を参照して詳細に説明する。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】慣性センサの一実施形態の一部の電極およびブルーフマスの概念斜視図である。

【図2】慣性センサの代替実施形態の電極およびブルーフマスの概念斜視図である。

【図3】慣性センサの一実施形態の概念側面図である。

【図4】初期化再平衡力が加えられた慣性センサの一実施形態の概念側面図である。

【図5】線形加速度が加えられた慣性センサの一実施形態の概念側面図である。

【図6】回転が加えられた慣性センサの一実施形態の概念側面図である。

40

【図7】慣性センサの実施形態の印加電圧および検知電圧を示す図である。

【図8】慣性センサの実施形態の印加電圧および検知電圧を示す図である。

【図9】慣性センサの実施形態の印加電圧および検知電圧を示す図である。

【図10】慣性センサの一実施形態に結合されたデジタル信号処理システムの一例示的实施態様を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

慣性センサ100の実施形態は、回転および加速度を独立して決定することができるよう、加速度の検知と回転の検知を分離する。図1は、慣性センサ100の一実施形態の一部のブロック図である。慣性センサ100のこの例示的部分は、線形加速度または回転の

50

いずれかを検知するように動作させることができる。回転を検知する慣性センサ 100 の他の部分については、以下で例示し、かつ、説明する。

【0012】

慣性センサ 100 のうちの図 1 に示されている部分は、第 1 のブルーマス 102 (本明細書においては、左側ブルーマス 102 として交換可能に称される) および第 2 のブルーマス 104 (本明細書においては、右側ブルーマス 104 として交換可能に称される) を備える。左側ブルーマス 102 は、上部検知電極 106 (本明細書においては、上部左側検知 (ULS) 電極 106 として交換可能に称される) と、下部検知電極 108 (本明細書においては、下部左側検知 (LLS) 電極 108 として交換可能に称される) との間が存在している。右側ブルーマス 104 は、上部検知電極 110 (本明細書においては、上部右側検知 (URS) 電極 110 として交換可能に称される) と、下部検知電極 112 (本明細書においては、下部右側検知 (LRS) 電極 112 として交換可能に称される) との間が存在している。

10

【0013】

左側ブルーマス 102 は、該左側ブルーマス 102 と ULS 電極 106 の間の分離距離によって決まるキャパシタンスを画定する間隙 (G_{ULS}) によって ULS 電極 106 から分離される。同様に、左側ブルーマス 102 は、該左側ブルーマス 102 と LLS 電極 108 の間の分離距離によって決まるキャパシタンスを画定する間隙 (G_{LLS}) によって LLS 電極 108 から分離される。線形加速または回転によって生じる、間隙 G_{ULS} および G_{LLS} と結合するキャパシタンスの変化は検出が可能である。

20

【0014】

右側ブルーマス 104 は、該右側ブルーマス 104 と URS 電極 110 の間の分離距離によって決まるキャパシタンスを画定する間隙 (G_{URS}) によって URS 電極 110 から分離される。同様に、右側ブルーマス 104 は、該右側ブルーマス 104 と LRS 電極 112 の間の分離距離によって決まるキャパシタンスを画定する間隙 (G_{LRS}) によって LRS 電極 112 から分離される。線形加速または回転運動によって生じる、間隙 G_{URS} および G_{LRS} と結合するキャパシタンスの変化は検出が可能である。

【0015】

ブルーマス 102、104 は、交流 (AC) 電圧が加えられると該ブルーマス 102、104 に「前後」運動を付与する駆動電極 (図示せず) に容量結合される。駆動電極は、ブルーマス 102、104 を駆動軸 (x 軸で示されている) に沿って共鳴して前後に振動させる。駆動軸および y 軸は、ブルーマス 102、104 の平面内運動を画定する。方向ベクトル 114 によって示されている左側ブルーマス 102 の運動の相対方向は、共鳴運動の半サイクルの間、方向ベクトル 116 によって示されている右側ブルーマス 104 の運動の方向とは逆方向である。したがって、図 1 には、互いに遠ざかる方向に移動しているブルーマス 102、104 が示されている。共鳴運動の次の半サイクルの間、ブルーマス 102、104 は、互いに接近する方向に移動する。慣性センサ 100 の実施形態は、様々な構成の駆動電極を有する、MEMS をベースとするデバイスの中で実施することができることを理解されたい。

30

【0016】

図 2 は、慣性センサ 100 の一代替実施形態の電極およびブルーマスの概念斜視図である。電極群 202、204 は、それぞれブルーマス 102、104 の上方および下方に配向される。電極 206、208、210 および 212 は、図に示されているように左側ブルーマス 102 の上方に、該左側ブルーマス 102 から実質的に同じ距離を隔てて配向されており、間隙 G_{ULS} を画定する。電極 214、216、218 および 220 は、図に示されているように左側ブルーマス 102 の下方に、該左側ブルーマス 102 から実質的に同じ距離を隔てて配向されており、間隙 G_{LLS} を画定する。電極 222、224、226 および 228 は、図に示されているように右側ブルーマス 104 の上方に、該右側ブルーマス 104 から実質的に同じ距離を隔てて配向されており、間隙 G_{URS} を画定する。電極 230、232、234 および 236 は、図に示されているよう

40

50

に右側ブルーフマス104の下方に、該右側ブルーフマス104から実質的に同じ距離を隔てて配向されており、間隙 G_{LRS} を画定する。代替実施形態では、対応する個々のブルーフマスから異なる距離を隔ててこれらの電極を配置することができる。他の実施形態では、電極のレイまたは複数の電極を使用して、本明細書において説明されている再平衡力のうちの1つまたは複数を加えることができる。

【0017】

互いに対向する電極が電極対を形成する。たとえば電極206および214は、電極対を形成する。電極対は、以下でより詳細に説明するように、相互関係で動作させることができる。他の電極対は、電極208と216、電極210と218、電極212と220、電極222と230、電極224と232、電極226と234、および電極228と236を備える。ブルーフマス102、104の各々に対して選択された一对の電極は、上で説明した電極106と108または電極110と112に対応する。ブルーフマスと電極対の個々の電極との間の間隙は、それらの両端間に電圧が加えられると、検出可能なキャパシタンスになる。たとえば、電極208とブルーフマス102の間の間隙 G_{ULS} は、第1のキャパシタンスになる。同様に、ブルーフマス102と電極216の間の間隙 G_{LLS} は、第2のキャパシタンスになる。ブルーフマス102が移動すると、上で説明した第1および第2のキャパシタンスが変化する。このキャパシタンスの変化は、電極208および/または電極216に結合される増幅器(図示せず)からの電流の変化を検知することによって決定することができる。

10

【0018】

図3は、慣性センサ100の一実施形態の概念側面図である。ここでは、図に示されているブルーフマス102、104は、x軸に沿って互いに整列される。フレクシャ302は、間隙 G_{ULS} と G_{LLS} の間の左側ブルーフマス102を支持する。フレクシャ304は、間隙 G_{URS} と G_{LRS} の間の右側ブルーフマス104を支持する。フレクシャ302および304はアンカー306に取り付けられる。この例示的实施形態では、アンカー306は下部基板308に取り付けられるが、代替実施形態では、上部基板310にアンカー306を取り付けることができ、あるいは両方の基板308、310にアンカー306を取り付けることができる。フレクシャ302、304は、ブルーフマス102、104が駆動電極(図示せず)によって駆動されると、ブルーフマス102、104が共鳴するよう、ばね様の特性を有する可撓性部材である。

20

30

【0019】

他の実施形態では、上部基板310にアンカー306を取り付けることができる。いくつかの実施形態は、ブルーフマス102、104をMEMSデバイス内の様々なアンカーポイントに結合するための複数のフレクシャを使用することができる。いくつかの実施形態では、フレクシャ302、304を異なるアンカーに接続することができる。

【0020】

慣性センサ100の例示的实施形態では、ブルーフマス102、104は、間隙 G_{ULS} と G_{LLS} 、および間隙 G_{URS} と G_{LRS} が互いに等しくなるように懸垂されている。したがって、ブルーフマス102、104および図に示されている電極と結合する上部キャパシタンスおよび下部キャパシタンスは実質的に等しい(互いに対して)。たとえば、電極206、214、228および236の表面積および他の特性が実質的に同じであると仮定すると、電極206と左側ブルーフマス102の間のキャパシタンス、電極214と左側ブルーフマス102の間のキャパシタンス、電極228と右側ブルーフマス104の間のキャパシタンス、および電極236と右側ブルーフマス104の間のキャパシタンスは実質的に同じである。代替実施形態では、互いに異なるキャパシタンスにすることができる。

40

【0021】

ブルーフマス102、104は、図に示されているz軸に沿った方向の線形加速度によって、共に同じ方向に実質的に同じ速度でおよび/または距離を移動する。この運動は、本明細書においては、「コモンモード」の運動と呼ばれている。ブルーフマス102、1

50

04のこのコモンモード運動により、間隙 G_{ULS} と G_{URS} の両端間の電極対の電極 - ブーフマスキャパシタンスが実質的に同じ量だけ変化し、また、間隙 G_{LLS} と G_{LRS} の両端間の電極対の電極 - ブーフマスキャパシタンスが実質的に同じ量だけ変化する。つまり、上部間隙および下部間隙 (G_{URS} 、 G_{LRS} 、 G_{ULS} および G_{URS}) が同じである (つまり平衡している) と仮定すると、間隙 G_{ULS} と G_{URS} の両端間の電極対の変化したキャパシタンスの大きさ、および間隙 G_{LLS} と G_{LRS} の両端間の電極対の変化したキャパシタンスの大きさは実質的に同じである。間隙 G_{ULS} 、 G_{LLS} 、 G_{URS} および G_{LRS} が不平衡である場合、ブーフマス102、104を移動させ、これらのキャパシタンスを変化させる力がほぼ等しいため、上部キャパシタンスは実質的に同じ量だけ変化し、また、下部キャパシタンスも実質的に同じ量だけ変化する。線形加速度は、検知されたコモンモードキャパシタンス変化から決定することができる。

10

【0022】

さらに、ブーフマス102、104は、図に示されているy軸の周りの方向の回転によって、逆の方向のz方向に実質的に同じ速度でおよび/または距離を移動する。この運動は、本明細書においては、「差動モード」の運動と呼ばれている。ブーフマス102、104のこの差動モード運動は、コリオリの力によって生じる。ブーフマス102、104のこの差動モード運動 (逆方向の運動) により、間隙 G_{ULS} と G_{LRS} の両端間の電極対の実質的に同じ大きさの電極 - ブーフマスキャパシタンス変化が生じ、また、間隙 G_{LLS} と G_{URS} の両端間の電極対の実質的に同じ大きさの電極 - ブーフマスキャパシタンス変化が生じる。回転は、検知された差動モードキャパシタンス変化から決定

20

【0023】

上で指摘したように、慣性センサ100の実施形態によれば、回転および加速度が独立して検知され、かつ、決定されるよう、加速度の検知と回転の検知との間で分離される。また、好ましい実施形態では、コリオリの力から90度位相が外れた直角力が同じく加速度およびコリオリの力から分離される。したがって、線形加速度、コリオリの力および/または直角力に対する再平衡力が電極対に個別に加えられ、それにより、間隙 G_{ULS} 、 G_{LLS} 、 G_{URS} および G_{LRS} の両端間の対応する個々の電極対と結合したキャパシタンスが実質的に整合するよう、ブーフマス102、104の位置が固定位置に維持される。したがって、ブーフマス102とブーフマス104の位置間に不平衡が生じると (間隙 G_{ULS} 、 G_{LLS} 、 G_{URS} および G_{LRS} の両端間の電極対の電極 - ブーフマスキャパシタンス変化から検出することができる)、ブーフマス102、104が自動的に中心に位置するよう再平衡力が動作する。

30

【0024】

コリオリ再平衡力は、選択された電極対によってブーフマス102に加えられる。また、コリオリ再平衡力は、選択された他の電極対によってブーフマス104にも加えられる。加えられるコリオリ再平衡力は、慣性センサ100が回転している間にブーフマス102、104を自動的に中心に位置させる。必要なコリオリ再平衡力の大きさは回転の量に対応する。同様に、加えられる線形加速度再平衡力は、慣性センサ100が線形加速している間にブーフマス102、104を自動的に中心に位置させる。必要な線形加速度再平衡力の大きさは線形加速度の量に対応する。線形加速度再平衡力は、選択された電極対に加えられる直流 (DC) 電圧によって提供されるため、線形加速度再平衡力は、コリオリ再平衡力から微分することができる。つまり、線形加速度 (z軸方向の時間変化加速力を誘導する) は、回転 (ブーフマス102、104の駆動周波数で変調される力を誘導する) とは異なるため、線形加速度再平衡力およびコリオリ再平衡力を個別に決定することができる。

40

【0025】

図4は、ベクトル402で示されている初期化再平衡力402が加えられた慣性センサ100の一実施形態の概念側面図である。選択された電極は、対応する個々のブーフマス102、104に初期化再平衡力を加えるように動作することができる。したがって間

50

隙 G_{ULS} 、 G_{LLS} 、 G_{URS} および G_{LRS} は、互いに等しくなるように設定することができ、あるいは所望の値に設定することができる。

【0026】

たとえば、図4に概念的に示されているように、左側ブルーマス102は、慣性センサ100を製造している間は必ずしも電極と電極の間のその理想的な設計位置404にある必要はない。ここでは、図に示されている左側ブルーマス102は非理想位置406に存在しており、したがって間隙 G_{ULS} および G_{LLS} は実質的に等しくない。左側ブルーマス102の非理想位置406は、たとえ製造の観点からは許容可能であっても、線形加速度および/または回転運動の検出に不正確性を付与するために、設計および/または製造公差の結果として理想位置404とは全く異なってもよい。ベクトル402で図に示されている初期化再平衡力は、選択された1つまたは複数の電極によって加えることができ、それにより左側ブルーマス102をその理想設計位置404に再配置することができ、あるいはその直近に再配置することができる。初期化再平衡力は、ブルーマスとその理想位置に配置するために必要な初期化再平衡の量に応じて、同じ力にすることもあるいは独自の力にすることも可能である。初期化再平衡力は、選択された電極に加えられる直流バイアスによるものであることが好ましい。初期化再平衡力は、慣性センサ100の使用に先立って、たとえば製造後におけるベンチ試験などによって決定することができる。

10

【0027】

図5は、加速度ベクトル502（負のz軸方向の運動に対応する）によって示されている線形加速度が加えられた慣性センサ100の一実施形態の概念側面図である。慣性力（ベクトル504で示されている）は、ブルーマス102、104に加えられている。したがってブルーマス102、104は、加速期間中、上部基板310に向かって移動する。フレクシャ302、304は、加速が停止すると、ブルーマス102、104をそれらの初期位置（図3参照）に復帰させるように動作する。

20

【0028】

上で説明したブルーマス102、104のコモンモード運動により、それぞれ、間隙 G_{ULS} と G_{LLS} の両端間の電極対の電極 - ブルーフマスキャパシタンスが実質的に同じ量だけ変化し、また、間隙 G_{URS} と G_{LRS} の両端間の電極対の電極 - ブルーフマスキャパシタンスが実質的に同じ量だけ変化する。つまり、間隙 G_{ULS} と G_{URS} の両端間の電極対の変化した電極 - ブルーフマスキャパシタンスの大きさと、間隙 G_{LLS} と G_{LRS} の両端間の電極対の変化した電極 - ブルーフマスキャパシタンスの大きさは実質的に同じである。ブルーマス102、104の運動に回答して、選択された電極対を介して線形加速度再平衡力を加え、それによりブルーマス102、104をそれらの元の位置に再配置することができる。線形加速度は、加えられた線形加速度再平衡力の量および/または検知されたコモンモードキャパシタンス変化から決定することができる。

30

【0029】

図6は、回転ベクトル602（y軸の周りの回転運動に対応する）で示されている回転が加えられた慣性センサ100の一実施形態の概念側面図である。ベクトル604および606で示されている慣性力は、それぞれブルーマス102、104に加えられている。したがってブルーマス102は、回転期間中、上部基板310に向かって移動し、また、ブルーマス104は、回転期間中、下部基板308に向かって移動する。フレクシャ302、304は、回転が停止すると、ブルーマス102、104をそれらの初期位置（図3参照）に復帰させるように動作する。

40

【0030】

上で説明したブルーマス102、104の差動モード運動により、間隙 G_{ULS} 、 G_{LLS} 、 G_{URS} および G_{LRS} の両端間の電極対の電極 - ブルーフマスキャパシタンスが検出可能に変化する。間隙 G_{ULS} と G_{LRS} の両端間の電極対の変化した電極 - ブルーフマスキャパシタンスの大きさと、間隙 G_{LLS} と G_{URS} の両端間の電極対の変化した電極 - ブルーフマスキャパシタンスの大きさは実質的に同じである（間隙 G_{URS} 、 G

50

V_{LRS} 、 V_{ULS} および V_{URS} が初期平衡していると仮定して)。ブルーフマス 102、104 の運動に 응답して、選択された電極対を介してコリオリ再平衡力を加え、それによりブルーフマス 102、104 をそれらの元の位置に再配置することができる。回転は、加えられたコリオリ再平衡力および / または検知された差動モードキャパシタンス変化から決定することができる。

【0031】

図 7 は、図 1 に示されている慣性センサ 100 の一実施形態の一部の印加電圧および検知電圧を示したものである。電極対 106 および 108 によって加えられる電圧 V_{ULS} 、 V_{LLS} 、および電極対 110 および 112 によって加えられる電圧 V_{URS} 、 V_{LRS} は、部分的に線形加速度再平衡力に対応する。

10

【0032】

加えられる電圧は、線形加速度再平衡化、回転検知バイアス化および加速度検知ピックアップの 3 つの機能を提供する 3 つの成分を有する。加えられる上部左側検知プレート電圧 (V_{ULS}) は、次の式 (1) によって定義することができる。

【0033】

$$V_{ULS} = -V_{SB} - V_A + V_P \sin(\omega_p t) \quad (1)$$

上式で、 V_{SB} は、印加される検知バイアスの電圧 (直流バイアス電圧) であり、 V_A は、加えられる線形加速度再平衡力の電圧であり、 V_P は、印加される交流ピックアップ電圧であり、また、 ω_p は、印加される交流ピックアップ電圧 V_P の周波数である。電流 i_{SP0} は、ブルーフマス 102、104 の位置における不平衡によって生じる。

20

【0034】

印加される下部左側検知プレート電圧 (V_{LLS})、加えられる上部右側検知プレート電圧 (V_{URS}) および印加される下部右側検知プレート電圧 (V_{LRS}) は、それぞれ次の式 (2)、(3) および (4) によって定義することができる。

【0035】

$$V_{LLS} = V_{SB} - V_A - V_P \sin(\omega_p t) \quad (2)$$

$$V_{URS} = V_{SB} + V_A + V_P \sin(\omega_p t) \quad (3)$$

$$V_{LRS} = -V_{SB} + V_A - V_P \sin(\omega_p t) \quad (4)$$

30

増幅器システム 702 は、ブルーフマス 102、104 からの電圧および / または電流を検出するために通信結合される。増幅器システム 702 の出力は、検知されるピックアップ電圧 V_{SP0} に対応する。 V_{SP0} は、次の式 (5) によって定義することができる。

【0036】

$$V_{SP0} = [V \cdot \cos(\omega_m t)] + [V_Q \cdot \sin(\omega_m t)] + [V_{CM} \cdot \sin(\omega_p t)] \quad (5)$$

上式で、 V は、 V_{SP0} のうちの回転運動に比例する部分であり、 V_Q は V の直角成分であり、 V_{CM} は、 V_{SP0} のうちのコモンモード運動 (線形加速度によって生じる) に比例する部分であり、また、 ω_m は、加えられる電動機周波数である。

40

【0037】

図 8 は、慣性センサ 100 の実施形態の印加電圧および検知電圧を示したものである。上で説明した、電極対 208、216 によってブルーフマス 102 に加えられ、また、電極対 226、234 によってブルーフマス 104 に加えられる線形加速度再平衡力に対応する印加電圧 V_{ULS} 、 V_{LLS} 、 V_{URS} および V_{LRS} が含まれる。他の実施形態は、選択される、異なる電極を使用して線形加速度再平衡力を加えることができる。いくつかの実施形態では、電極 208、216、226 および 234 を使用して、ブルーフマス 102、104 のコモンモード運動および / または差動モード運動を検知するために使用

50

される電流（または電圧）を注入することができる。

【0038】

電極対210、218は、ブルーフマス102にコリオリ再平衡力を提供する。同様に、電極対224、232は、ブルーフマス104にコリオリ再平衡力を加える。ブルーフマス102に加えられるコリオリ再平衡力は、ブルーフマス104に加えられるコリオリ再平衡力に対して、その方向が逆で、大きさが同じであることが好ましい。他の実施形態は、選択される、異なる電極を使用してコリオリ再平衡力を加えることができる。

【0039】

電極210によって加えられる V_{CUL} に対応するコリオリ再平衡力は、次の式(6)によって定義することができる。

$$V_{CUL} = V_{COR} \sin(\omega_m t / 2) \quad (6)$$

上式で、 V_{COR} はコリオリ電圧であり、また、 $\omega_m t / 2$ は、ブルーフマス102、104の電動機周波数の半分の周波数である。

【0040】

電極218によって加えられる V_{CLL} に対応するコリオリ再平衡力、電極224によって加えられる V_{CUR} に対応するコリオリ再平衡力、および電極232によって加えられる V_{CLR} に対応するコリオリ再平衡力は、それぞれ次の式(7)、(8)および(9)によって定義することができる。

$$V_{CLL} = V_{COR} \cos(\omega_m t / 2) \quad (7)$$

$$V_{CUR} = V_{COR} \cos(\omega_m t / 2) \quad (8)$$

$$V_{CLR} = V_{COR} \sin(\omega_m t / 2) \quad (9)$$

いくつかの実施形態は、任意選択の電極206、214、228および236を介して任意選択の直角再平衡力を加えることができる。この直角再平衡力は、ブルーフマス102、104の誘導電動機の運動に比例する。図2～9に示されている例示的实施形態では、直角再平衡力を加えるために使用される4つの電極が示されている（ブルーフマス102、104の各々の末端に）。代替実施形態では、ブルーフマス102、104の各々に対して単一の電極対を使用して直角再平衡力を加えることができる。単一の直角再平衡電極対は、そのブルーフマス102、104に対して適切な任意の位置に配置することができる。代替実施形態では、直角再平衡電極は任意選択であり、あるいは直角再平衡電極は使用されていない。

【0042】

図9は、慣性センサ100の代替実施形態の印加電圧および検知電圧を示したものである。電極208、216、226および234は、対応する個々の電極の電圧を検知すなわちピックアップするために、それぞれピックアップ増幅器システム902、904、906および908に結合される。この実施形態によれば、ブルーフマス102、104に注入される、望ましくない寄生力が加えられる原因になることがある寄生信号を補償することができる。つまり、寄生項の周波数がより高くなる（ $\omega_p + \omega_m / 2$ ）ため、回転力と線形加速力との間の寄生結合効果を抑制することができる。

【0043】

増幅器システム902は信号 V_{ULSP} を出力する。増幅器システム904、906および908は、それぞれ信号 V_{LLSP} 、 V_{URSP} および V_{LRSP} を出力する。回転出力 V_{RATE} は、増幅器システム902、904、906および908の出力から次の式(10)に従って導き出すことができる。

【0044】

$$V_{RATE} = V_{ULSP} + V_{LRSP} - V_{LLSP} - V_{URSP}$$

(1 0)

図 10 は、慣性センサ 100 の一実施形態に結合された処理システム 1002 の一例示的实施態様を示すブロック図である。一例示的实施形態では、処理システムはデジタル信号処理 (DSP) エレクトロニクスシステムである。処理システム 1002 は、特定のアプリケーションに応じて、アナログとして、デジタルシステムとして、またはそれらの組合せとして実施することができ、また、ソフトウェア、ハードウェア、またはハードウェアとソフトウェアの組合せとして実施することができる。

【 0 0 4 5 】

増幅器システム 702 は、検知したピックアップ電圧 V_{SPO} を処理システム 1002 に提供する。復調器 1004、1006 および 1008 は、 V_{SPO} の交流部分をストリップオフすることによって V_{SPO} を復調する。復調器 1004 に加えられる 90 度クロックおよび復調器 1006 に加えられる 0 度クロックは、異なる位相 (それぞれ 90 度および 0 度) における乗算された電動機信号に対応する。

10

【 0 0 4 6 】

低域通過フィルタ 1010 は、復調器 1004 の出力を処理し、比例積分微分 (PID) コントローラ 1012 にコリオリ出力信号を出力する。低域通過フィルタ 1014 および PID コントローラ 1016 は、復調器 1006 の出力を処理し、直角出力信号を出力する。低域通過フィルタ 1018 および PID コントローラ 1020 は、復調器 1008 の出力を処理し、コモンモードキャパシタンス不平衡に対応する加速出力信号を出力する。これらの出力信号を使用して、上で説明した線形加速度再平衡力に対応する出力 V_{ULS} 、 V_{LLS} 、 V_{URS} および V_{LRS} が生成され、また、これらの出力信号を使用して、上で説明したコリオリ再平衡力に対応する出力 V_{CUL} 、 V_{CLL} 、 V_{CUR} および V_{CLR} が生成される。

20

【 0 0 4 7 】

線形加速度および回転を検知し、かつ、決定するように動作させることができる慣性センサ 100 の実施形態は、慣性測定ユニットの中に組み込むことができる。1つの慣性センサ 100 が線形加速度および回転を検知するため、従来の慣性測定ユニットに使用されている 3つのジャイロスコープおよび 3つの加速度計の代わりに 3つの慣性センサ 100 を使用して 1つの慣性測定ユニットを構築することができる。したがって、使用されるコンポーネントがより少なくなるため、コストおよび/またはサイズを低減することができる。

30

【 0 0 4 8 】

以上、本発明の好ましい実施形態について例示し、かつ、説明したが、上で指摘したように、本発明の精神および範囲を逸脱することなく多くの変更を加えることができる。したがって本発明の範囲は、この好ましい実施形態の開示によっては制限されない。そうではなく、本発明は、以下の特許請求の範囲を参照することによって完全に決定されるものとする。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 9 】

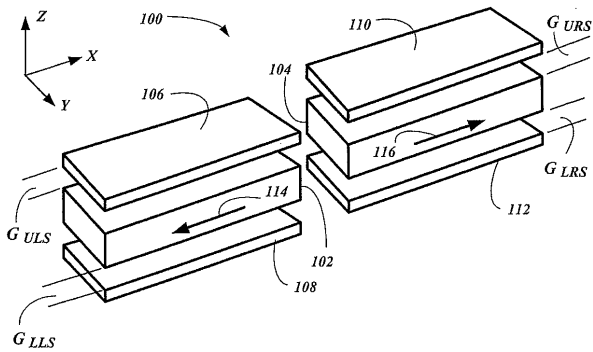
- 100 慣性センサ
- 102 第 1 のプルーフマス (左側プルーフマス)
- 104 第 2 のプルーフマス (右側プルーフマス)
- 106 上部検知電極
- 108 下部検知電極
- 110 上部検知電極
- 112 下部検知電極
- 202、204 電極群
- 302、304 フレクシャ
- 306 アンカー
- 308 下部基板

40

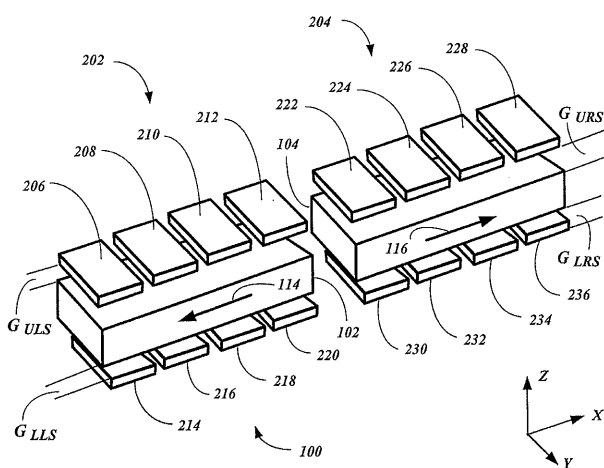
50

- 3 1 0 上部基板
- 4 0 2 初期化再平衡力
- 7 0 2 増幅器システム
- 9 0 2、9 0 4、9 0 6、9 0 8 ピックオフ増幅器システム
- 1 0 0 2 処理システム
- 1 0 0 4、1 0 0 6、1 0 0 8 復調器
- 1 0 1 0、1 0 1 4、1 0 1 8 低域通過フィルタ
- 1 0 1 2、1 0 1 6、1 0 2 0 比例積分微分 (P I D) コントローラ

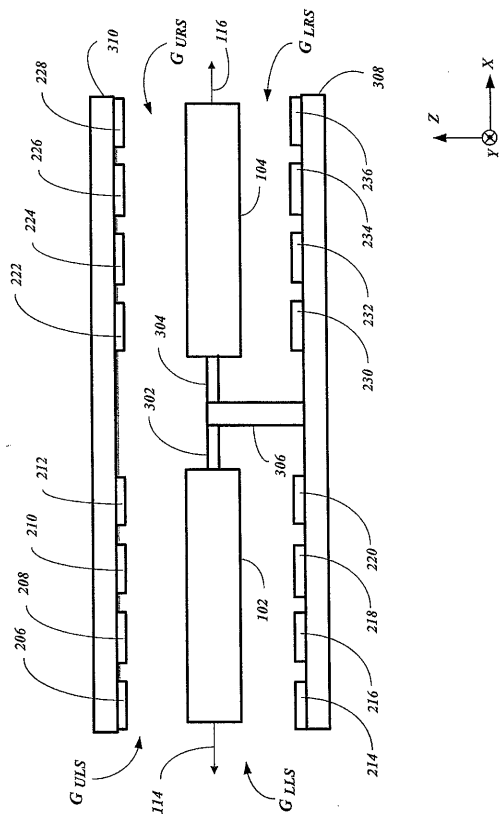
【 図 1 】



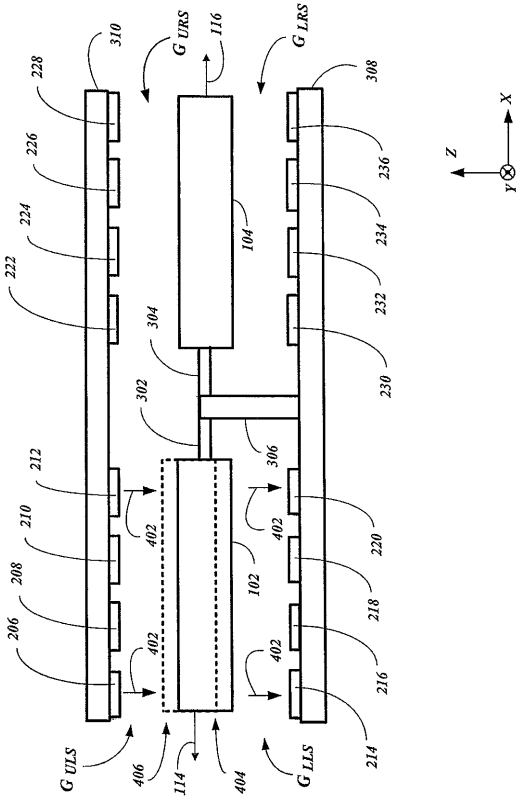
【 図 2 】



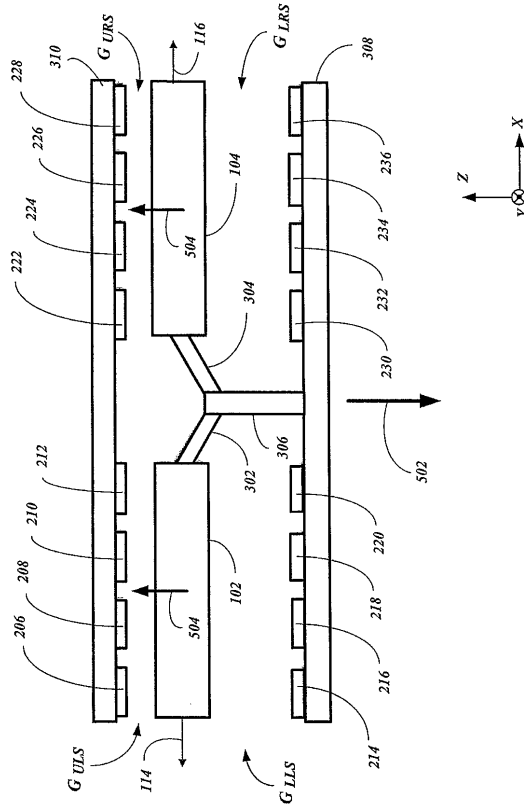
【 図 3 】



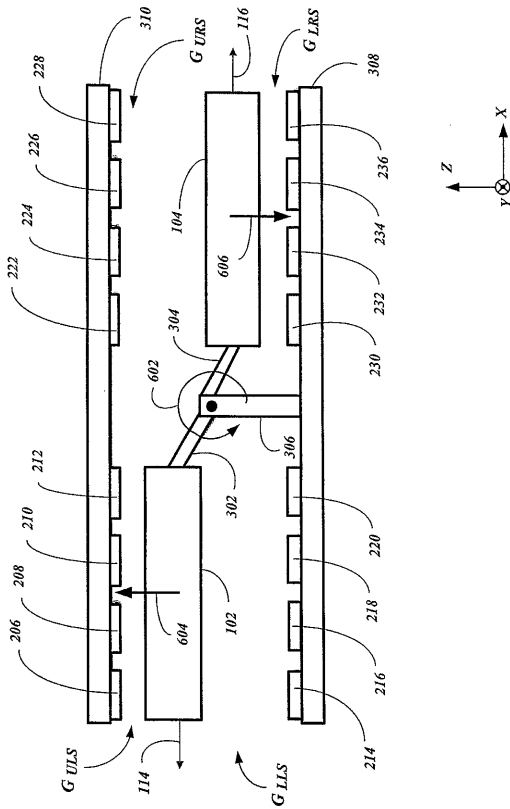
【 図 4 】



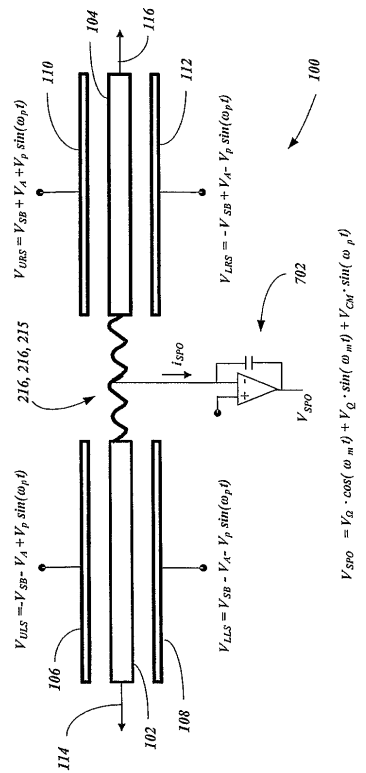
【 図 5 】



【 図 6 】

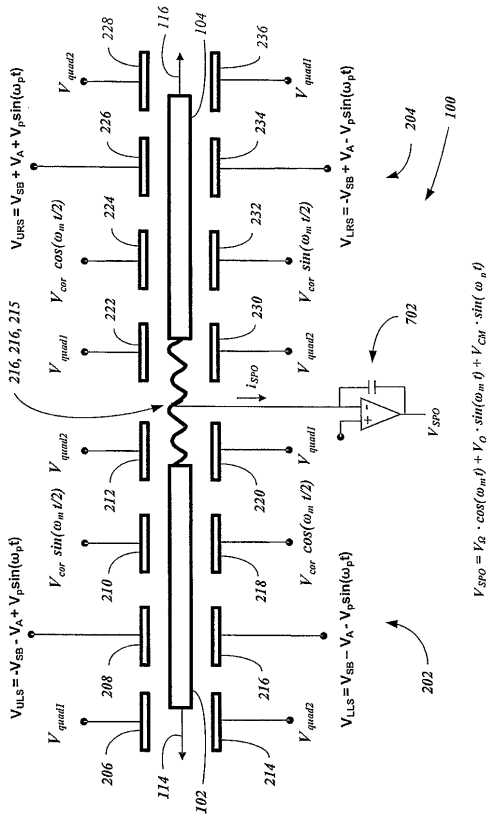


【 図 7 】

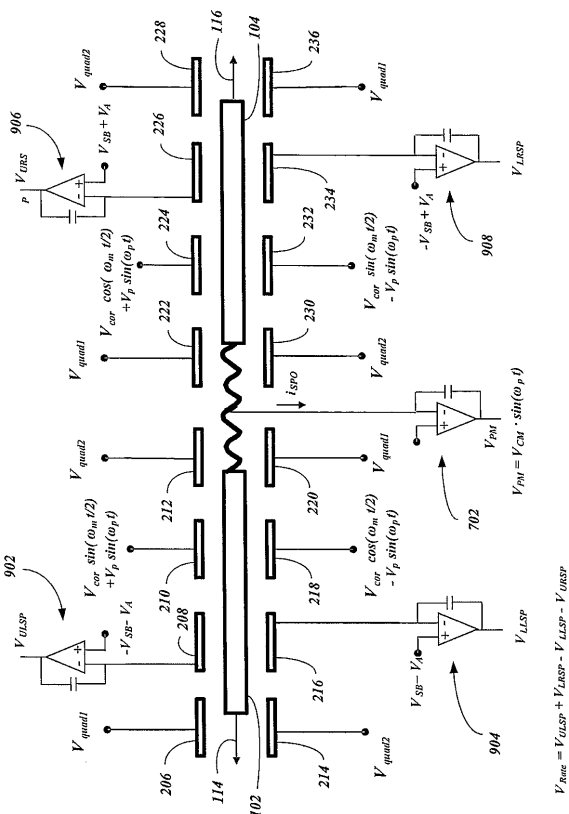


$$V_{SPO} = V_G \cdot \cos(\omega_m \cdot t) + Y_Q \cdot \sin(\omega_m \cdot t) + V_{CM} \cdot \sin(\omega_P \cdot t)$$

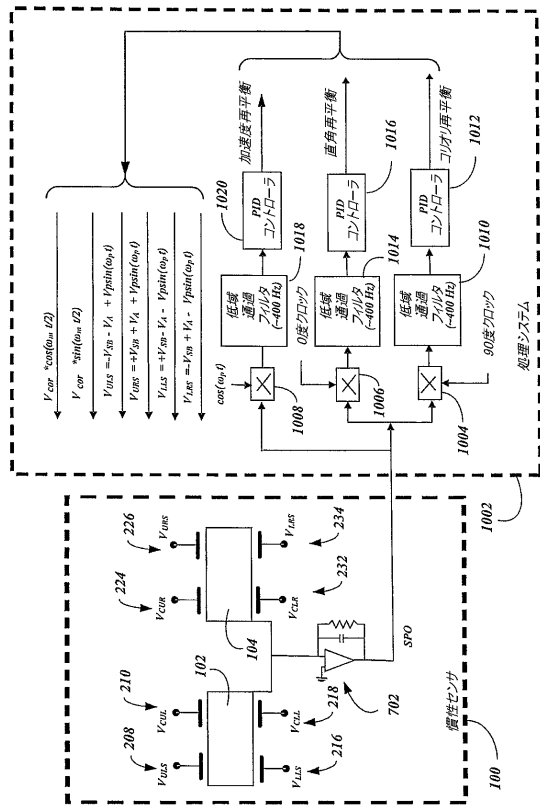
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100107696

弁理士 西山 文俊

(72)発明者 ライアン・スピーノ

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 6 2 - 2 2 4 5 , モーリスタウン, コロンビア・ロード
1 0 1 , ピー・オー・ボックス 2 2 4 5 , ハネウエル・インターナショナル・インコーポレー
テッド

(72)発明者 バージェス・ジョンソン

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 6 2 - 2 2 4 5 , モーリスタウン, コロンビア・ロード
1 0 1 , ピー・オー・ボックス 2 2 4 5 , ハネウエル・インターナショナル・インコーポレー
テッド

Fターム(参考) 2F105 BB13 BB17 CC04 CD03 CD05 CD11 CD13

4M112 AA02 BA07 CA21 CA23 CA26 CA31 CA32 FA02 FA20

【外国語明細書】

2009244263000001.pdf