

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5259598号
(P5259598)

(45) 発行日 平成25年8月7日(2013.8.7)

(24) 登録日 平成25年5月2日(2013.5.2)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 C 19/5776 (2012.01)	GO 1 C 19/56 2 7 6
B 8 1 B 7/02 (2006.01)	B 8 1 B 7/02

請求項の数 11 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2009-527708 (P2009-527708)	(73) 特許権者	508233962
(86) (22) 出願日	平成19年8月8日(2007.8.8)		ノースロップ グルマン リテフ ゲーエム
(65) 公表番号	特表2010-502998 (P2010-502998A)		ムベーパー
(43) 公表日	平成22年1月28日(2010.1.28)		Northrop Grumman L I
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/007028		TE F GmbH
(87) 国際公開番号	W02008/031480		ドイツ フライブルク 7 9 1 1 5 レラ
(87) 国際公開日	平成20年3月20日(2008.3.20)		ヒャー ストラーセ 1 8
審査請求日	平成21年3月12日(2009.3.12)		Loerracher Str. 18, 7
(31) 優先権主張番号	102006043412.9		9 1 1 5 Freiburg, Germa
(32) 優先日	平成18年9月15日(2006.9.15)		ny
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(74) 代理人	110000338
			特許業務法人原謙三国際特許事務所
		(72) 発明者	シュパーリンガー, ギュンター
			ドイツ連邦共和国, 7 0 1 8 8 シュトゥ
			ットガルト, ハグベルグシュトラーセ 7
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微小電気機械センサ及び微小電気機械センサの操作方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つの移動可能な電極と、

個別に駆動可能であり、対応する電極信号が供給されるための複数の電極を備え、上記移動可能な電極と離間して配置されている電極構成とを備え、

上記電極信号は、力の適用、ばね定数及び共振器の読み取り係数の、設定または変更のために静電的に用いることが可能であり、

一上記電極構成に接続され、上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記読み取り係数に関する信号を供給され、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関してもたらされる設定及び／または変更を定義する電極信号生成ユニットをさらに備え、

上記電極信号生成ユニットは、上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関する信号に依存して各々の電極信号を生成し、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記共振器の上記読み取り係数が、互いに独立して特定の所望値に設定及び／または変更されるように、複数の上記電極信号を互いに整合させることを特徴とする微小電気機械センサ。

【請求項 2】

上記移動可能な電極において生じる電荷の転送を検出する電荷転送ユニットと、

検出された上記電荷の転送に基づき、上記移動可能な電極の瞬時の動きを決定する評価ユニットとを特徴とする請求項 1 に記載の微小電気機械センサ。

10

20

【請求項 3】

上記電極信号生成ユニットは、上記電荷の転送が、上記移動可能な電極の動きと上記読み取り係数の値とから生じるただ1つの電荷転送成分を含むような方法で、いわば上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関する信号に依存して各々の電極信号を生成することを特徴とする請求項2に記載の微小電気機械センサ。

【請求項 4】

上記電極構成は、4つの電極を含むことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の微小電気機械センサ。

【請求項 5】

上記4つの電極は、2つの電極対に分類され、

複数の上記電極は、第1の軸に関して軸方向に対称に構成され、

上記第1の軸は、第2の軸に関して軸方向に対称に、かつ互いに2つの上記電極対を分離し、

上記第2の軸は、各々の電極対の、複数の上記電極を互いに分離することを特徴とする請求項4に記載の微小電気機械センサ。

【請求項 6】

上記移動可能な電極は、対称である2つの軸の交点に関して中心対称に構成されることを特徴とする請求項5に記載の微小電気機械センサ。

【請求項 7】

上記電極信号は、以下の方程式

【数 1】

$$u_{o1} = \sqrt{\Delta\omega - m^2 + f + m}$$

【数 2】

$$u_{o2} = -\sqrt{\Delta\omega - m^2 + f + m}$$

【数 3】

$$u_{u1} = \sqrt{\Delta\omega - m^2 - f - m}$$

【数 4】

$$u_{u2} = -\sqrt{\Delta\omega - m^2 - f - m}$$

により与えられ、

($\Delta\omega$)は上記ばね定数に関する信号の値を表し、(m)は上記読み取り係数に関する信号の値を表し、(f)は上記力の適用に関する信号の値を表し、

(u_{o1} , u_{o2})は、上記第2の軸の上方に横たわっている上記電極信号の値を表し、(u_{u1} , u_{u2})は、上記第2の軸の下方に横たわっている上記電極信号の値を表すことを特徴とする請求項5に記載の微小電気機械センサ。

【請求項 8】

【数 5】

$$|f| < \Delta\omega - m^2$$

が成立することを特徴とする請求項7に記載の微小電気機械センサ。

【請求項 9】

上記移動可能な電極が共振器の一部として表現されることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の微小電気機械センサ。

【請求項10】

少なくとも1つの上記移動可能な電極と電氣的に接続される第2の移動可能な電極により特徴付けられ、

—上記第2の移動可能な電極から離間して配置されている第2の電極構成を備え、

上記第2の電極構成は、個別に駆動可能であり、対応する電極信号が供給されるための他の複数の電極を有し、

上記電極信号は、力の適用、ばね定数及び上記第2の移動可能な電極の読み取り係数の、設定または変更のために静電氣的に用いることが可能であり、

—上記第2の電極構成に接続されており、第2の力の適用に関する信号、第2のばね定数に関する信号、及び第2の読み取り係数に関する信号を供給され、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記共振器の上記読み取り係数に関してもたらされる設定及び／または変更を定義する第2の電極信号生成ユニットをさらに備え、

上記電極信号生成ユニットは、上記第2の力の適用に関する信号、上記第2のばね定数に関する信号及び上記第2の読み取り係数に関する信号に依存して各々の電極信号を生成し、上記第2の力の適用、上記第2のばね定数、及び上記第2の移動可能な電極の上記第2の読み取り係数が、互いに独立し、かつ上記力の適用、上記ばね定数、及び少なくとも1つの上記移動可能な電極の上記読み取り係数から独立して特定の所望値に設定及び／または変更されるように、複数の上記電極信号を互いに整合させることを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の微小電気機械センサ。

【請求項11】

少なくとも1つの移動可能な電極と、個別に駆動可能であり、対応する電極信号が供給されるための複数の電極を備え、上記移動可能な電極と離間して配置されている電極構成とを備える微小電気機械センサの操作方法であり、

—力の適用に関する信号、ばね定数に関する信号及び読み取り係数に関する信号に依存し、上記力の適用、上記ばね定数及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関して行われる設定及び／または変更を定義する電極信号を生成する工程と、

—上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数を静電氣的に設定及び／または変更するために、対応する上記電極に上記電極信号を適用する工程とを含み、

複数の上記電極信号が、上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記読み取り係数に関する信号に依存して生成され、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数が、互いに独立して特定の所望値に設定及び／または変更されるように、複数の上記電極信号を互いに整合することを特徴とする微小電気機械センサの操作方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微小電気機械センサ及び上記センサの操作方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

微小電気機械センサは、多くの技術製品の基礎となる。微小電気機械センサは、例えば航行の分野において価値があり、コリオリの角速度計として用いられている。微小電気機械センサの機能性は、コリオリの角速度計についての例を介して以下に示されるだろう。

【0003】

コリオリの角速度計は、振動をもたらされる質点系を有している。上記質点系は一般的に、最初に互いに独立している複数の振動モードを有している。コリオリの角速度計の操作状態において、即ち微小電気機械センサの操作状態において、質点系特有の振動モードは人工的に励起される。この振動モードを以下では“励起振動”と称する。

【0004】

コリオリの角速度計が回転すると、質点系の上記励起振動からエネルギーを取り出してそれを上記質点系のさらに別の振動モードに伝達するコリオリ力が発生する。上記さらに別の振動モードを以下では“読み取り振動”と称する。

【0005】

コリオリの角速度計の回転運動を決定するために、上記読み取り振動は受け取られ (tapped off)、対応する読み取り信号は、コリオリの角速度計の回転に関する測定値を表す、生じた読み取り振動の振幅で変化するかどうかを確かめるために審査される。コリオリの角速度計は、開ループ系及び閉ループ系の両方として実行されてもよい。閉ループ系では、上記読み取り振動の振幅は、対応する制御ループにより絶えず固定された値—好ましくは0に再設定され、復帰力が測定される。

10

【0006】

コリオリの角速度計の（より一般には微小電気機械センサの）質点系（これ以降はさらに“共振器”と称する）は、この事例においては様々な方法で構成されてもよい。例えば、1つの構成要素で具現化された質点系を用いることが出来る。代りとして、ばね系を介して互いに連結された2つの振動器に上記質点系を分けることも出来、互いに相対的な動きを行ってもよい。

【0007】

周知の実施形態にかかるコリオリの角速度計20は、図1において概略を示される。コリオリの角速度計20は、電荷増幅器1、アナログ—デジタル変換器2、信号分離箇所3、復調器4、5、制御系6、変調器7、ドライバ8、9、共振器10及び電極系11を備えている。電極系11は、4つの電極11₁～11₄を有している。

20

【0008】

共振器10は、電極11₁～11₄による振動効果で励起されることが可能である。その上、共振器10のばね定数は、共振器10に設けられる電極（“移動可能な中央電極”）における電荷転送量 Δq を測定することにより決定される。電荷の転送は、電極11₁～11₄により生成される電界の中での共振器10の動きにより引き起こされる。上記電荷転送量に比例する信号 S_7 は、電荷増幅器1によりアナログ—デジタル変換器2へ出力され、アナログ—デジタル変換器2により対応する信号 S_8 に変換される。信号 S_8 は、信号分離箇所3へ供給される。この信号から、復調器4、5、制御系6、変調器7及びドライバ8、9が動作することにより信号 S_3 ～ S_6 が生成される。信号 S_3 ～ S_6 は、電極11₁～11₄へ供給され、補償されるコリオリ力により引き起こされる共振器10のゆがみを確実なものとする。コリオリの角速度計20の詳細な機能性に関しては、例えば特許明細書DE 103 20 675が参照される。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

基礎となる本発明の目的は、例えば静電センサまたは圧電センサである微小電気機械センサの具体例を挙げることである。上記微小電気機械センサは、センサ電極が少数であるにもかかわらず広い機能性を有することが可能である。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明は請求項1に係る微小電気機械センサを提供する。その上本発明は、請求項11に係る微小電気機械センサの操作方法を提供する。本発明の好ましい構成及び開発概念は、独立請求項において示される。

【0011】

本発明の微小電気機械センサは、
—少なくとも1つの移動可能な電極と、
—個別に駆動可能であり、対応する電極信号が供給されるための複数の電極を備え、移動可能な電極と離間して配置されている電極構成とを備え、

50

上記電極信号は、力の適用、ばね定数及び上記移動可能な電極の読み取り係数の、設定または変更のために静電的に用いることが可能であり、

—上記電極構成に接続され、上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関する信号を供給され、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関してもたらされる設定及び／または変更を定義する電極信号生成ユニットをさらに備え、

上記電極信号生成ユニットは、いわば上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関する信号に依存して各々の電極信号を生成し、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数が、互いに独立して特定の所望値に設定及び／または変更されるように、複数の上記電極信号を互いに整合させる。

10

【0012】

本発明の基礎となる本質的な見識は、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数が、互いに独立して特定の所望値に設定及び／または変更されるように、任意の所望の電極構成に関する上記電極信号が互いに整合され、これにより上記微小電気機械センサに最大限の融通性を与えるということである。これに関連して、“任意の所望の電極構成”は、少なくとも3つの電極に関する、任意の所望の空間的な構成を意味する。

【0013】

既に上述したように、上記微小電気機械センサの上記質点系（これ以降はさらに“共振器”と称する）は、様々な方法で構成されてもよい。例えば、1つの構成要素で具現化された質点系を用いることが出来る。代りとして、ばね系を介して互いに連結された2つの振動器に上記質点系を分けることも出来、互いに相対的な動きを行ってもよい。

20

【0014】

一実施形態において、本発明の微小電気機械センサは、上記移動可能な電極において生じる電荷の転送を検出する電荷転送ユニットが設けられており、上記移動可能な電極の瞬時の動きは、検出された上記電荷の転送に基づき評価ユニットにより決定される。

【0015】

一実施形態において、上記電極信号生成ユニットは、上記移動可能な電極において検出された上記電荷の転送が、上記移動可能な電極の動きと上記読み取り係数の値とから生じるただ1つの電荷転送成分を含むような方法で、いわば上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関する信号に依存して各々の電極信号を生成する。この事例において、上記読み取り係数は、上記移動可能な電極の動きの読み取りに関するゲイン係数として解釈されるべきである。

30

【0016】

上記電極構成は、偶数の電極または奇数の電極を含んでもよい。その上、個々の電極の寸法及び構成は、互いに異なってもよい。1つの好ましい実施形態において、上記電極構成は、例えば2つの電極対に分類される4つの（好ましくは同一の）電極を含んでいる。複数の上記電極は、第1の軸に関して軸方向に対称に構成される。上記第1の軸は、第2の軸に関して軸方向に対称に、かつ互いに2つの上記電極対を分離する。上記第2の軸は、各々の電極対の、複数の上記電極を互いに分離する。有利な方法では、上記移動可能な電極は、対称である2つの軸の交点に関して中心対称に構成される。

40

【0017】

上記移動可能な電極が共振器の一部として表現される実施形態において、上記移動可能な電極は、振動効果で励起されることが可能であり、上記微小電気機械センサは、例えばコリオリの角速度計として用いることが可能である。

【0018】

2つの移動可能な電極、2つの電極構成及び2つの電極信号生成ユニットを含む実施形態において、両方の移動可能な電極は、2つの読み取り係数の内、対応する選ばれたものにより、互いに個別に読み取られ、（力の適用による影響を受ける）動き及びばね定数を

50

、互いに個別に設定することが出来る。

【0019】

本発明はさらに、移動可能な電極と、移動可能な電極と離間して配置され、個別に駆動可能であり、対応する電極信号が供給されるための複数の電極を備えている電極構成とを備える微小電気機械センサの操作方法を提供する。本発明の微小電気機械センサの操作方は、

－いわば、力の適用に関する信号、ばね定数に関する信号及び読み取り係数に関する信号に依存し、上記力の適用、上記ばね定数及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関して行われる設定及び／または変更を定義する電極信号を生成する工程と、

－上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数を静電的に設定及び／または変更するために、対応する上記電極に上記電極信号を適用する工程とを含み、

複数の上記電極信号が、いわば上記力の適用に関する信号、上記ばね定数に関する信号、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数に関する信号に依存して生成され、上記力の適用、上記ばね定数、及び上記移動可能な電極の上記読み取り係数が、互いに独立して特定の所望値に設定及び／または変更されるように、複数の上記電極信号を互いに整合させる。

【0020】

本発明は、図面を参照した以下の典型的な実施形態においてより詳細に示される。

【0021】

図1は、周知の微小電気機械センサ（コリオリの角速度計）の基礎外略図である。

【0022】

図2は、本発明に係る、1つの移動可能な電極を備える微小電気機械センサの実施形態を示す図である。

【0023】

図3aは、本発明に係る、2つの移動可能な電極を備える微小電気機械センサの他の実施形態を示す図である。

【0024】

図3bは、2つの読み取り係数の適用に関する時間特性の概略を示すタイミングチャートである。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】周知の微小電気機械センサ（コリオリの角速度計）の基礎外略図である。

【図2】本発明に係る、1つの移動可能な電極を備える微小電気機械センサの実施形態を示す図である。

【図3a】本発明に係る、2つの移動可能な電極を備える微小電気機械センサの他の実施形態を示す図である。

【図3b】2つの読み取り係数の適用に関する時間特性の概略を示すタイミングチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図2は、本発明に係る微小電気機械センサ30の好ましい実施形態からの抜粋である。図2に示される抜粋は、変調器7、ドライバ8、9、共振器10及び電極11₁～11₄を備える図1のコリオリの角速度計20の“全体像（ensemble）”と概要を比較される。

【0027】

図2は、移動可能な電極29と離間して配置された電極構成31を示す。移動可能な電極29は、例えば図示しない共振器の一部であってもよく、上記電極構成は、第1～第4の電極31₁～31₄を含んでいる。第1及び第3の電極31₁、31₃、並びに第2及び第4の電極31₂、31₄は、それぞれが電極対を形成している。電極対の複数の電極は、軸Aに関して軸方向に対称に構成される。複数の上記電極対は、軸Aと垂直である軸Bに

10

20

30

40

50

より、互いに関して軸方向に対称かつ互いに分離される。移動可能な電極 29 は、例えば図 2 における対称な 2 つの軸 A、B の交点 S に関して中心対称に配置されている。

【0028】

電極信号生成ユニット 32 がさらに示されてもよい。電極信号生成ユニット 32 は、（さらに“f”として示される）力の適用に関する信号 S_{20} 、（さらに“ $\Delta\omega$ ”として示される）ばね定数に関する信号 S_{21} 、及び（さらに“m”として示される）読み取り係数に関する信号 S_{22} を供給される。読み取り係数に関する信号 S_{22} は、2 乗ユニット 33 により 2 乗され、これにより得られた信号 S_{23} が、第 1 の加算器 34 に負の符号を付されて供給される。上記信号 S_{23} は、ばね定数に関する信号 S_{21} と加算される。第 1 の加算器 34 の出力信号 S_{24} は、第 2 及び第 3 の加算器 35、36 に供給される。第 2 の加算器 35 において、出力信号 S_{24} は力の適用に関する信号 S_{20} と加算されるが、第 3 の加算器 36 において、負の符号を付された力の適用に関する信号 S_{20} は、出力信号 S_{24} と加算される。第 2 及び第 3 の加算器 35、36 の出力信号 S_{25} 、 S_{26} は、根ユニット 37、38 に供給される。根ユニット 37、38 はそれぞれ、第 2 及び第 3 の加算器 35、36 の出力信号 S_{25} 、 S_{26} の内の 1 つから根を算出する。根ユニット 37、38 の出力信号 S_{27} 、 S_{28} は、第 4～第 7 の加算器 39～42 に供給される。第 4～第 7 の加算器 39～42 により、根ユニット 37、38 の出力信号 S_{27} 、 S_{28} は、それぞれ読み取り係数に関する信号 S_{22} と一度加算されると共にそれぞれ読み取り係数に関する信号 S_{22} と一度減算される。対応する出力信号 $S_{29} \sim S_{32}$ は、デジタルーアナログ変換器 43～46 に供給される。デジタルーアナログ変換器 43～46 は、（これまではデジタルであった）信号をアナログ信号 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{u1} 、 u_{u2} に変換し、アナログ信号 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{u1} 、 u_{u2} を対応する電極 31₁～31₄ に供給する。アナログ信号 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{u1} 、 u_{u2} は、本発明の意図する電極信号を表し、力の適用に関する信号 S_{20} ($=f$)、ばね定数に関する信号 S_{21} ($=\Delta\omega$)、及び読み取り係数に関する信号 S_{22} ($=m$) により以下に示す (1) 式～(4) 式で表される。

【0029】

【数 1】

$$u_{o1} = \sqrt{\Delta\omega - m^2} + f + m \quad \dots (1)$$

【0030】

【数 2】

$$u_{o2} = -\sqrt{\Delta\omega - m^2} + f + m \quad \dots (2)$$

【0031】

【数 3】

$$u_{u1} = \sqrt{\Delta\omega - m^2} - f - m \quad \dots (3)$$

【0032】

【数 4】

$$u_{u2} = -\sqrt{\Delta\omega - m^2} - f - m \quad \dots (4)$$

【0033】

それ故に、電極信号 u_{o1} 、 u_{o2} は、軸 A の上方に位置する電極 31₁、31₂ で示される電極信号を表し、電極信号 u_{u1} 、 u_{u2} は、軸 A の下方に位置する電極 31₃、31₄ で示される電極信号を表す。移動可能な電極 29 は仮想接地に接続され、移動可能な電極 29 か

らの電荷の転送が測定される。

【0034】

図3は、移動可能であり、電氣的に接続された2つの電極29, 50が、どのようにして多様な方法で結合されるかを示している。図3bにおいて示されるタイミングにおいて切り替えられる制御信号 m_1 , m_2 は、複数の移動可能な電極29, 50が電荷増幅器70に交互に接続されるようにする。そのために、力の影響 f_1 , f_2 及び整合 $\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$ は独立して選択される。

【0035】

図3は、第2の移動可能な電極50に対して離間して配置された電極構成51を示す。第2の移動可能な電極50は、少なくとも1つの移動可能な電極29と電氣的に接続されている。上記電極構成は、第1～第4の電極51₁～51₄を含んでいる。第1及び第3の電極51₁, 51₃、並びに第2及び第4の電極51₂, 51₄は、それぞれが電極対を形成している。電極対の複数の電極は、軸A₂に関して軸方向に対称に構成される。複数の上記電極対は、軸A₂と垂直である軸B₂により、互いに関して軸方向に対称かつ互いに分離される。

【0036】

第2の電極信号生成ユニット32がさらに示されてもよい。電極信号生成ユニット32は、（さらに“ f_2 ”として示される）第2の力の適用に関する信号バー S_{20} 、（さらに“ $\Delta\omega_2$ ”として示される）第2のばね定数に関する信号バー S_{21} 、及び（さらに“ m_2 ”として示される）第2の読み取り係数に関する信号バー S_{22} を供給される。第2の読み取り係数に関する信号バー S_{22} は、2乗ユニット53により2乗され、これにより得られた信号バー S_{23} が、第8の加算器54に負の符号を付されて供給される。上記信号バー S_{23} は、第2のばね定数に関する信号バー S_{21} と加算される。第8の加算器54の出力信号バー S_{24} は、第9及び第10の加算器55, 56に供給される。第9の加算器55において、出力信号バー S_{24} は第2の力の適用に関する信号バー S_{20} と加算されるが、第10の加算器56において、負の符号を付された力の適用に関する信号バー S_{20} は、出力信号バー S_{24} と加算される。第9及び第10の加算器55, 56の出力信号バー S_{25} , バー S_{26} は、根ユニット57, 58に供給される。根ユニット57, 58はそれぞれ、第9及び第10の加算器55, 56の出力信号バー S_{25} , バー S_{26} の内の1つから根を算出する。根ユニット37, 38の出力信号バー S_{27} , バー S_{28} は、第11～第14の加算器59～62に供給される。第11～第14の加算器59～62により、根ユニット57, 58の出力信号バー S_{27} , バー S_{28} は、それぞれ読み取り係数に関する信号バー S_{22} と一度加算されると共にそれぞれ読み取り係数に関する信号バー S_{22} と一度減算される。対応する出力信号バー S_{29} ～バー S_{32} は、デジタル－アナログ変換器63～66に供給される。デジタル－アナログ変換器63～46は、（これまではデジタルであった）信号をアナログ信号バー u_{o1} , バー u_{o2} , バー u_{u1} , バー u_{u2} に変換し、アナログ信号バー u_{o1} , バー u_{o2} , バー u_{u1} , バー u_{u2} を対応する電極51₁～51₄に供給する。アナログ信号バー u_{o1} , バー u_{o2} , バー u_{u1} , バー u_{u2} は、本発明の意図する電極信号を表し、力の適用に関する信号バー S_{20} 、ばね定数に関する信号バー S_{21} 、及び読み取り係数に関する信号バー S_{22} により以下に示す（5）式～（8）式で表される。

【0037】

【数5】

$$\overline{u_{o1}} = \sqrt{\Delta\omega_2 - m_2^2 + f_2} + m_2 \quad \dots (5)$$

【0038】

【数 6】

$$\overline{u_{o2}} = -\sqrt{\Delta\omega_2 - m_2^2 + f_2} + m_2 \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

【0039】

【数 7】

$$\overline{u_{u1}} = \sqrt{\Delta\omega_2 - m_2^2 - f_2} - m_2 \quad \cdot \cdot \cdot (7)$$

【0040】

10

【数 8】

$$\overline{u_{u2}} = -\sqrt{\Delta\omega_2 - m_2^2 - f_2} - m_2 \quad \cdot \cdot \cdot (8)$$

【0041】

それ故に、電極信号バー u_{o1} 、バー u_{o2} は、軸 A_2 の上方に位置する電極 51_1 、 51_2 で示される電極信号を表し、電極信号バー u_{u1} 、バー u_{u2} は、軸 A_2 の下方に位置する電極 51_3 、 51_4 で示される電極信号を表す。

【0042】

本発明のさらに別の実施形態は、以下の記載により示される。

20

【0043】

回転の加速度または回転速度の測定に関して、（これらを測定可能である）微小電気機械センサの動作中に、以下の要求が満足される場合は、上記測定に有利である。

1. 定義され、電氣的に生成された力を、移動可能な電極に及ぼすことが出来るように意図されている（トルカ（torquer）機能）。

2. 定義され、電氣的に生成されたばね力を、上記同一の移動可能な電極に及ぼすことが出来るように意図されている。ばね定数は一般に負であり、機械的な振動器の固有振動を定義されたように同調させることを可能にするために、正のばね特性を有する（positive）機械的なばねをある程度まで“よりソフトに（softer）”するように意図されている。

3. 上記移動可能な電極のゆがみは、設定される読み取り係数により測定可能となるように意図されている（もぎ取り（pick-off）機能）。

30

4. 1つの意図は、測定中に測定信号が、上記ゆがみ及び上記読み取り係数に依存する成分以外のさらに別のいかなる成分も含まないことを可能とすることである。

【0044】

移動可能な電極を有している容量が設けられると考える。上記移動可能な電極は、作動点におけるゆがみ x により移動できる。このとき上記容量はゆがみ x に依存し、 $C = C(x)$ となる。上記作動点において上記容量に電圧 U が供給される事例において、以下に示す（9）式で表される静電力 F は、その効果を生じる。

【0045】

【数 9】

40

$$F = \frac{U^2}{2} \frac{dC}{dx} \quad \cdot \cdot \cdot (9)$$

【0046】

別の容量は、共通の作動点を備える2つの容量である。ここで、以下に示す（10）式が成立する。

$$C_1(x) = C_2(-x) \quad (10)$$

上記事例においては、以下に示す近似式（11）が成立する。

$$C_1(x) = C_0(1 + a_1x + a_2x^2) \quad (11)$$

そして以下に示す近似式（12）が成立する。

50

$$C_2(x) = C_0(1 - a_1x + a_2x^2) \quad (12)$$

複数の上記容量において電圧 U_1 , U_2 が印加されており、上記移動可能な電極の上記作用点における静電力 F は、以下に示す (13) 式で示される。

【0047】

【数10】

$$F = \frac{U_1^2}{2} \frac{dC_1}{dx} + \frac{U_2^2}{2} \frac{dC_2}{dx} \quad \dots (13)$$

【0048】

近似式 (11), (12) を (13) 式に代入すると以下に示す (14) 式となる。

$$F = (U_1^2 - U_2^2) a_1 C_0 + 2x (U_1^2 + U_2^2) a_2 C_0 \quad (14)$$

従って、上記静電力 F は、 x から独立している部分と x に比例しばね定数に対応する部分とから成り立つ。 x から独立している上記部分は $U_1^2 - U_2^2$ に比例し、上記ばね定数は $U_1^2 + U_2^2$ に比例する。

【0049】

容量が4つの場合は、以下に示す近似式 (15), (16) が成立する。

$$C_{o1}(x) = C_{o2}(x) = \frac{C_0}{2} (1 + a_1x + a_2x^2) \quad (15)$$

$$C_{u1}(x) = C_{u2}(x) = \frac{C_0}{2} (1 - a_1x + a_2x^2) \quad (16)$$

同様に、静電力 F に関して以下に示す (17) 式が成立する。

$$F = (U_{o1}^2 + U_{o2}^2 - U_{u1}^2 - U_{u2}^2) a_1 C_0 + 2x (U_{o1}^2 + U_{o2}^2 \pm U_{u1}^2 \pm U_{u2}^2) a_2 C_0 \quad (17)$$

従って、距離から独立した項は、 $(U_{o1}^2 + U_{o2}^2 - U_{u1}^2 - U_{u2}^2)$ (18) に比例する。そしてばね定数は、 $(U_{o1}^2 + U_{o2}^2 + U_{u1}^2 + U_{u2}^2)$ (19) に比例する。

【0050】

距離から独立した上記項は、所望の力（復帰力、トルク）を加えるのに適切である。また、ばね定数は、ばね質量系との相互作用において、所望の回転周波数において上記ばね質量系を回転させることを可能とする。

【0051】

電荷 Q について以下に示す (20) 式が成立する。

$$Q = C_{o1}U_{o1} + C_{o2}U_{o2} + C_{u1}U_{u1} + C_{u2}U_{u2} \quad (20)$$

近似式 (15), (16) を (20) 式に代入すると、以下の式で示されるように、無視する項及び2次の項が生じる。

$$Q = 2C_0(U_{o1} + U_{o2} + U_{u1} + U_{u2}) \quad (21)$$

$$+ 2C_0(U_{o1} + U_{o2} - U_{u1} - U_{u2}) a_1 x \quad (22)$$

上記式の第1の項 (21) は、 x から独立した漏話であり、一般に望ましくない。第2の部分 (22) は x に比例し、それ故にゆがみ x の読み取りに適切である。上記2次の項を考慮に入れると、電荷 Q は以下の式で表される。

$$Q = 2C_0(U_{o1} + U_{o2} + U_{u1} + U_{u2}) (1 + a_2x^2) \quad (23)$$

$$+ 2C_0(U_{o1} + U_{o2} - U_{u1} - U_{u2}) a_1 x \quad (24)$$

上記2次の項は、（漏話を0にする場合、即ち $(U_{o1} + U_{o2} + U_{u1} + U_{u2}) = 0$ とする場合）、定数項と共に消滅する。

【0052】

上述した要求1～3は、本発明に係る微小電気機械センサ及び本発明に係る操作方法を用いて互いに独立して満足することが出来る。それ故に、読み取り信号を生成せずに力を加えることと、逆に読み取り信号を生成せずに0ではない読み取り係数を加えることとの両方が可能である。但し、必要な結果でなければならない力が加えられることはない。

【0053】

一般的な電極構成に関して、以下に示す規定が考慮に入れられる場合に、類似した系を方程式で確立することが出来る。

【0054】

10

20

30

40

50

全ての電極における電荷は、常に以下の規定を満足するような大きさを有している。

1. 電荷増幅器の入力における電荷の大きさの総和に関して、ゆがみ x から独立した項が無い。
2. 電荷増幅器の入力における電荷の大きさの総和に関して、ゆがみ x に依存し、ゲイン係数を設定可能な部分が有る。
3. 上記移動可能な電極において設定可能であり、ゆがみ x から独立した力の効果が有る。
4. 上記移動可能な電極においてばね定数を設定可能である静電ばねがある。

【0055】

例えば上記読み取り係数が上記移動可能な電極の振動による同一の周波数を有する正弦波状の搬送波として構成されている場合を考える。この場合、上記読み取り係数は設定可能であり、例えば“ダウンコンバートを行う検出器”を実現するために用いられる。この事例において、上記振動の周波数は 0 ヘルツにダウンコンバートされ、位相検波器を導く。その上、設定される読み取り係数により、複数の振動器の複数の読み取り機能は、以下の処理により時分割多重方式で読み込むことが出来る。複数の振動器それぞれが有する移動可能な電極は、電氣的に接続される。上記処理とは、1つの振動器の読み取り係数だけが、0ではない値に常に設定される事例における処理である。上記事例は、唯一の振動器の動きが共通の電荷増幅器により時間的連続において常に検出される事例である。

【0056】

容量の測定に基づく上記読み取り機能は以下に示す(25)式で表され、上記読み取り係数が電圧 U により切り替えられる場合に、ゆがみ Δx に依存する成分が生じるだけでなく、静止した容量 C_0 に依存する相当大きい部分を同時に生じるという効果をかなり一般的に有している。

【0057】

【数11】

$$Q(\Delta x) = U(C_0 + \frac{\partial C}{\partial x} \Delta x) \quad \dots (25)$$

【0058】

本発明に係る微小電気機械センサの操作方法は、図2の学術用語を元に以下に示されるように、この望ましく無い部分を抑制する。

【0059】

方程式(18)に係る、移動可能な電極29において作用する力は、 $U_{o1}^2 + U_{o2}^2 - U_{u1}^2 - U_{u2}^2 = 4f$ (26) に比例する。その結果要求1が満足される。

【0060】

方程式(19)に係る、静電ばねによる微調整(detuning)は、 $U_{o1}^2 + U_{o2}^2 + U_{u1}^2 + U_{u2}^2 = 4\Delta\omega$ (27) に比例する。その結果要求2が満足される。

【0061】

方程式(21)に係る、上記読み取り係数は、 $U_{o1} + U_{o2} - U_{u1} - U_{u2} = 4m$ (28) に比例する。その結果要求3が満足される。

【0062】

方程式(22)により、 $U_{o1} + U_{o2} + U_{u1} + U_{u2} = 0$ (29) となり、第4の要求が最後に満足される。

【0063】

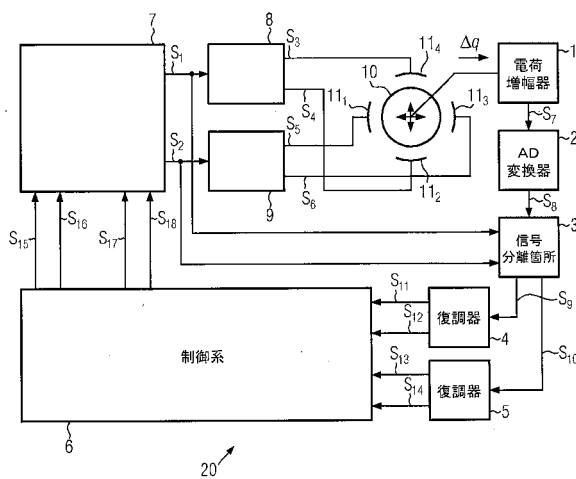
補正機能に関して、設計は常に $|f| < \Delta\omega - m^2$ (30) となるように行われる。

【0064】

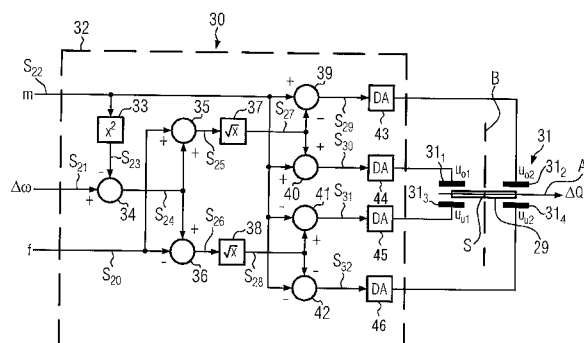
それ故に、本発明は、分離された電極を備える微小電気機械センサ(MEMSセンサ)の操作方法を示す。本発明に係る微小電気機械センサの操作方法は、複数の電氣的に結合された移動可能な電極を含んでいる系において、励起力、振動の調整及び読み取り係数を

互いに個別に設定することが可能である。それ故に、多重化操作中の読み取り処理は、励起処理（励起振動の生成）及び（双共振子の共振器を得るために、例えば励起振動の周波数を読み取り振動の周波数へ調整する）調整処理と完全に独立させることが可能である。

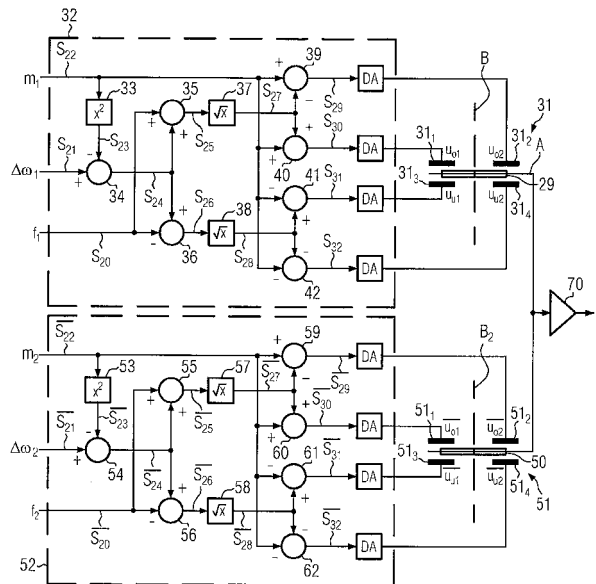
【図 1】



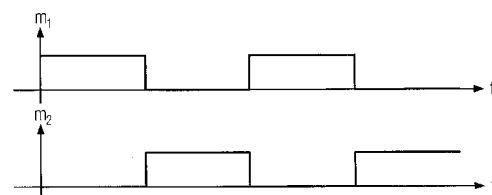
【図 2】



【図 3 a】



【図 3 b】



フロントページの続き

審査官 有家 秀郎

(56)参考文献 特表2006-525490 (JP, A)
特表2002-515976 (JP, A)
米国特許出願公開第2004/0199347 (US, A1)

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