

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第6088521号  
(P6088521)

(45) 発行日 平成29年3月1日(2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日(2017.2.10)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 P 21/00 (2006.01)

GO 1 P 21/00

GO 1 P 15/125 (2006.01)

GO 1 P 15/125

Z

請求項の数 14 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-530913 (P2014-530913)	(73) 特許権者	591245473
(86) (22) 出願日	平成24年9月14日 (2012.9.14)		ロベルト・ボッシュ・ゲゼルシャフト・ミ
(65) 公表番号	特表2014-526701 (P2014-526701A)		ト・ベシュレンクテル・ハフツング
(43) 公表日	平成26年10月6日 (2014.10.6)		ROBERT BOSCH GMBH
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/055645		ドイツ連邦共和国デー70442 シュ
(87) 国際公開番号	W02013/040508		トゥットガルト, ヴェルナー・シュトラ
(87) 国際公開日	平成25年3月21日 (2013.3.21)		セ 1
審査請求日	平成27年9月11日 (2015.9.11)	(74) 代理人	100140109
(31) 優先権主張番号	13/235,334		弁理士 小野 新次郎
(32) 優先日	平成23年9月16日 (2011.9.16)	(74) 代理人	100075270
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100101373
			弁理士 竹内 茂雄
		(74) 代理人	100118902
			弁理士 山本 修

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 オンチップの中和キャパシタ及び線形作動を用いて自動キャリブレーションを行うことによる容量性変換器の線形性増大

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中和容量のための初期値からスタートしてフィードスルー容量を中和するために容量性変換器を自動キャリブレーションする方法であって、

前記方法は、

静電力を前記容量性変換器のブルーフマスへ供給しないステップと、

静電力が前記ブルーフマスに供給されていない間に前記容量性変換器の基本出力値を記録するステップと、

静電力  $F_0$  を前記容量性変換器の前記ブルーフマスに供給するステップと、

前記静電力  $F_0$  が前記ブルーフマスに供給されているときに、前記基本出力値と第 1 の出力値との間における前記容量性変換器の前記出力値の第 1 の変化を記録するステップと、

静電力  $n \times F_0$  を前記容量性変換器の前記ブルーフマスに供給するステップであって、 $n > 1$  である、ステップと、

前記静電力  $n \times F_0$  が前記ブルーフマスに供給されているときに、前記第 1 の出力値と第 2 の出力値との間における前記容量性変換器の前記出力値の第 2 の変化を記録するステップと、

前記容量性変換器の前記出力値における前記記録された第 1 の変化及び第 2 の変化に基づいて、前記中和容量を増加する、減少する、又は維持するステップと、

前記中和容量のための最終値に到達するまで前記方法を繰り返すステップと、

10

20

を備える、自動キャリブレーション方法。

【請求項 2】

請求項 1 の自動キャリブレーション方法において、

前記増加する、減少する、又は維持するステップは、

前記出力値における前記第 1 の変化が前記出力値における前記第 2 の変化より大きい場合には前記中和容量を減少するステップと、

前記出力値における前記第 1 の変化が前記出力値における前記第 2 の変化より小さい場合には前記中和容量を増加するステップと、を含む

自動キャリブレーション方法。

【請求項 3】

10

請求項 2 の自動キャリブレーション方法において、

前記中和容量は、最小中和容量と最大中和容量との間で設定され、

前記増加する、減少する、又は維持するステップ、及び、前記繰り返しステップは、前記最小中和容量と前記最大中和容量との間で 2 分探索を実行するステップを含む、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 4】

請求項 3 の自動キャリブレーション方法において、さらに、

前記中和容量のための前記最終値の線形性と線形性閾値とを比較するステップを含む、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 5】

20

請求項 3 の自動キャリブレーション方法において、

前記静電力は、充電制御方法を用いて前記ブルーフマスに供給される、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 6】

請求項 5 の自動キャリブレーション方法において、

前記静電力  $F_0$  を前記ブルーフマスに供給するステップは、期間  $t$  の間前記ブルーフマスを作動するステップを含み、

前記静電力  $n \times F_0$  を前記ブルーフマスに供給するステップは、期間  $n \times t$  の間前記ブルーフマスを作動するステップを含む、

自動キャリブレーション方法。

30

【請求項 7】

請求項 6 の自動キャリブレーション方法において、

前記容量性変換器は、第 1 及び第 2 の可変キャパシタを含み、

前記静電力を供給するステップは、

前記第 1 及び第 2 の可変キャパシタから放電することによる第 1 の作動フェーズの間に、前記容量性変換器をリセットするステップと、

第 2 の作動フェーズの間に静電作動力を前記容量性変換器へ供給するステップであって、前記静電作動力は前記第 2 の作動フェーズの期間の機能であり、前記第 2 の作動フェーズは前記第 1 の作動フェーズに続くフェーズである、ステップと、

第 1 の測定フェーズの間に前記静電作動力に起因する前記容量性変換器の出力信号を読み出すステップであって、前記第 1 の測定フェーズは前記第 2 の作動フェーズに続くフェーズである、ステップと、

40

第 2 の測定フェーズの間に前記静電作動力を前記第 1 及び第 2 の可変キャパシタに供給しないステップであって、前記第 2 の測定フェーズは前記第 1 の測定フェーズに続き、前記第 1 の作動フェーズに先立つフェーズである、ステップと、を備える、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 8】

請求項 1 の自動キャリブレーション方法において、

第 1 の中和容量が最初に最小中和容量に設定され、前記第 1 の中和容量より高い第 2 の中和容量が最初に最大中和容量に設定され、前記中和容量の初期値は前記最小中和容量と

50

前記最大中和容量との平均であり、

前記増加する、減少する、又は維持するステップは、

前記出力値における前記第 1 の変化が前記出力値における前記第 2 の変化より大きい場合には、前記第 2 の中和容量を前記中和容量の現在値へ設定し、

前記出力値における前記第 1 の変化が前記出力値における前記第 2 の変化より小さい場合には、前記第 1 の中和容量を前記中和容量の現在値へ設定し、

前記出力値における前記第 1 の変化が前記出力値における前記第 2 の変化と等しい場合には、前記第 1 の中和容量と前記第 2 の中和容量とを維持し、

前記中和容量を前記第 2 の中和容量と前記第 1 の中和容量との平均に設定する、

自動キャリブレーション方法。

10

【請求項 9】

請求項 8 の自動キャリブレーション方法において、

前記方法を N 回に至るまで繰り返し、

前記出力値における前記第 1 の変化と前記出力値における前記第 2 の変化とが等しくなった場合に、前記方法の繰り返しを停止する、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 10】

請求項 9 の自動キャリブレーション方法において、

前記中和容量のための前記最終値の線形性と線形性閾値とを比較するステップを含む、

自動キャリブレーション方法。

20

【請求項 11】

請求項 1 の自動キャリブレーション方法において、

前記静電力は、充電制御方法を用いて前記プルーフマスに供給される、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 12】

請求項 11 の自動キャリブレーション方法において、

静電力  $F_0$  を前記プルーフマスに供給するステップは、期間  $t$  の間前記プルーフマスを作動させるステップを含み、

静電力  $n \times F_0$  を前記プルーフマスに供給するステップは、期間  $n \times t$  の間前記プルーフマスを作動するステップを含む、

自動キャリブレーション方法。

30

【請求項 13】

請求項 12 の自動キャリブレーション方法において、

前記容量性変換器は、第 1 及び第 2 の可変キャパシタを含み、

前記静電力を供給するステップは、

前記第 1 及び第 2 の可変キャパシタから放電することによる第 1 の作動フェーズの間に、前記容量性変換器をリセットするステップと、

第 2 の作動フェーズの間に静電作動力を前記容量性変換器へ供給するステップであって、前記静電作動力は前記第 2 の作動フェーズの期間の機能であり、前記第 2 の作動フェーズは前記第 1 の作動フェーズに続くフェーズである、ステップと、

40

第 1 の測定フェーズの間に前記静電作動力に起因する前記容量性変換器の出力信号を読み出すステップであって、前記第 1 の測定フェーズは前記第 2 の作動フェーズに続くフェーズである、ステップと、

第 2 の測定フェーズの間に静電作動力を前記第 1 及び第 2 の可変キャパシタに供給しないステップであって、前記第 2 の測定フェーズは前記第 1 の測定フェーズに続き、前記第 1 の作動フェーズに先立つフェーズである、ステップと、を備える、

自動キャリブレーション方法。

【請求項 14】

請求項 13 の自動キャリブレーション方法において、

前記容量性変換器の前記第 2 の可変キャパシタは前記第 2 の作動フェーズの間ショート

50

される回路である、

自動キャリブレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001]本発明は、容量性変換器に関し、特に、フィードスルー容量に起因する非線形性を減少する又は除去する技術、及び、寄生フィードスルー容量を除去することによって容量性ブリッジ及び加速度計の線形性を向上させる自動キャリブレーション処理に関する。

【背景技術】

【0002】

[0002]変換器（トランスデューサ）は、一般物理量（例えば、加速度、圧力など）を、電子回路で処理可能な量に変換する。具体的には、容量性変換器は、測定された入力信号の大きさに応じて、静電容量の変化を生成する。容量性変換器の読み出し回路は、変換器によって生成される静電容量変化を電気信号に変換する。当プロセスでは、回路は変換器の電極に電圧波形を印加する。

【0003】

[0003]容量性加速度計（加速度を測定するための容量性変換器）は、容量性プレートの組の変位が加速度に比例するように設計されていてもよい。加速度は、キャパシタの組における差異を測定することによって電気的に測定されてもよい。容量性加速度計は、機械的な検出素子、及び、読み出し回路を備えていてもよい。図1は、容量性加速度計の機械的な検出素子100の実施形態の一例を示す。この実施形態では、機械的な検出素子100は、第1のバネ104と第2のバネ106との間に吊り下げられたブルーフマス102、第1の電極110、及び、第2の電極112、を備える。ブルーフマス102の近位端は第1のバネ104に結合され、ブルーフマス102の遠位端は第2のバネ106に結合される。第1のバネ104は、ブルーフマス102の近位端に結合された第1の端部、及び、基板に結合された第2の端部、の2つの端部を備える。第2のバネ106は、ブルーフマス102の遠位端に結合された第1の端部、及び、基板に結合された第2の端部、の2つの端部を備える。共通電極Mは、ブルーフマス102に結合され、基板に相対するブルーフマス102と共に移動する。第1の電極110及び第2の電極112は、基板に相対して静止している。この実施形態では、正の基準電圧 $V_s$ が第1の電極110に印加され、負の基準電圧 $-V_s$ が第2の電極112に印加される。第1の可変キャパシタ $C_1$ は、第1の電極110と共通電極Mとの間に形成され、第2の可変キャパシタ $C_2$ は、第2の電極112と共通電極Mとの間に形成される。

【0004】

[0004]本実施形態では、システムが静止している場合、第1の電極110と共通電極Mとの間、及び、第2の電極112と共通電極Mとの間、に実質的に等しいわずかなギャップ $g_0$ があり、第1の可変キャパシタ $C_1$ 及び第2の可変キャパシタ $C_2$ は実質的に等しい静電容量となる。入力加速度は、基板に対してブルーフマス102を移動させ、電極間のギャップを変化させ、そして、第1の可変キャパシタ $C_1$ 及び第2の可変キャパシタ $C_2$ の静電容量を変化させる。矢印120の方向の加速度は、ブルーフマス102を、入力加速度に比例する距離 $x$ 移動させる。このブルーフマス102の移動は、第1の電極110と共通電極Mとの間の距離を $g_0 + x$ へ増加させ、第2の電極112と共通電極Mとの間の距離を $g_0 - x$ へ減少させる。これにより、キャパシタ $C_1$ 、 $C_2$ の静電容量は変化する。可変キャパシタ $C_1$ 、 $C_2$ の静電容量 $C$ は、以下の式によって決定される。

【数1】

$$C_{1/2} = \frac{\epsilon_0 A}{g_0 \pm \Delta x} \quad (1)$$

ここで $\epsilon_0$ は誘電体の誘電率であり、 $A$ は（紙の中に延在する）容量性プレートの面積であり、 $g_0$ はわずかなギャップ、 $x$ は加速度による変位である。読み出し回路は、キャ

10

20

30

40

50

パシタ  $C_1$  ,  $C_2$  の静電容量の変化に基づいて  $x$  の値を決定する。

【 0 0 0 5 】

[0005] 加速度計は、例えば自動車又は産業環境などのような、過酷な振動環境に実装される。これらの環境下では、加速度計は、良好な線形性、少ないドリフト性能、大きなフルスケールレンジが求められる。これらの適用には自己バランス加速度計が通常選択される。自己バランス加速度計では、静電容量  $C$  は  $1/d$  に比例し、測定された出力電圧  $V_o$  は  $(C_1 - C_2) / (C_1 + C_2)$  に比例する。ここで、 $d$  は容量性プレート間の距離である。これら 2 つの関係から数 2 式が求められる。

【 数 2 】

$$V_o \propto \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}} = \frac{d_2 - d_1}{d_2 + d_1} = \frac{x}{d_0} \quad (2)$$

10

ここで、 $x$  は変位値を表し、 $d_0$  はゼロ変位値を表し、 $d_1 = d_0 - x$  はキャパシタ  $C_1$  のプレート間の距離を表し、 $d_2 = d_0 + x$  はキャパシタ  $C_2$  のプレート間の距離を表す。数 2 式は、理想的なケースでは、自己バランス加速度計の出力電圧  $V_o$  は、変位  $x$  の線形関数になることを示している。しかし残念なことに、実際の実装では、数 2 式が考慮されていない非線形となる原因が存在する。

【 0 0 0 6 】

[0006] ブルーフマスの変位に比例する数値を得るための自己バランス加速度を実現する方法はいくつかあるが、高い線形性の加速度を得るためには、センサ励起電圧のアプリケーションにゼロ残留力をもたらすトポロジが望まれる。自己バランス加速度における非線形性の 2 つの主な原因は、フィードスルー容量及び 2 つのセンサコア間のミスマッチである。主要な原因はフィードスルー容量であり、これは ( 1 つのコアを使用する ) シングル

20

エンド、及び、( 2 つのコアを使用する ) 差動トポロジの両方で現れる。

【 0 0 0 7 】

[0007] フィードスルー容量 (  $C_{ft}$  ) は、ブルーフマスと検出電極との間の固定された容量である。フィードスルー容量  $C_{ft}$  は、センサ素子の寄生容量及び結合ワイヤ間の容量に起因して生じる。図 2 は、図 1 に示された例示の容量性コア 200 のフィードスルー容量を示している。容量性コア 200 は、第 1 の検出電極 202 とブルーフマス 204 との間の第 1 のキャパシタ  $C_1$  と、第 2 の検出電極 206 とブルーフマス 204 との間の第 2 のキャパシタ  $C_2$  と、を備える。容量性コア 200 は、ブルーフマス 204 と検出電極 202 , 206 のそれぞれとの間の不要なフィードスルー容量  $C_{ft}$  もまた含む。数 2 式

30

フィードスルー容量  $C_{ft}$  を考慮すると、数 2 式は、数 3 式を提供する。

【 数 3 】

$$V_o \propto \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2 + 2C_{ft}} = \frac{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} + \frac{2C_{ft}}{A}} = \frac{d_2 - d_1}{d_2 + d_1 + \frac{2C_{ft} d_2 d_1}{C_0 d_0}} = \frac{x}{d_0 + \frac{C_{ft} (d_0^2 - x^2)}{C_0 d_0}} \quad (3)$$

数 3 式は、フィードスルー容量に起因する非線形項である  $x^2$  を導く。

【 0 0 0 8 】

40

[0008] センサコアにおけるミスマッチに起因する非線形性は、2 つのセンサコアを使用する完全差動加速度計で発生する。差動トポロジは、電磁信号及び他のまばらな外乱に対する安定性を供給する。センサコアは、ブルーフマスと一緒にあっており機械的に結合されていない 2 つの独立した要素である。これは、2 つのコアのブルーフマスの電氣的に分離された機械的結合は処理のコストが高いので、コストを抑えるためにしばしば行われる。この状況で、センサコアのオフセットは反対方向に起こる場合があり、これは、静電容量が変位に反比例するように、残留静電力による非線形性を起こす。

【 0 0 0 9 】

[0009] フィードスルー容量及びコアミスマッチによる非線形性の大きさを比較すると、フィードスルー容量が非線形性の主要な原因であることが示される。5 pF ( + / - 5 %

50

コアミスマッチ)のコアミスマッチによる非線形性は、 $0.016\%$ である。しかしながら、( $5\text{ pF}$ より $100$ 倍小さい) $50\text{ fF}$ の残留フィードスルー容量による非線形性は、 $0.43\%$ であり、これはコアミスマッチの非線形性の約 $30$ 倍大きい。 $10\text{ fF}$ の残留フィードスルー容量でさえ $0.087\%$ の非線形性を引き起こす。

#### 【0010】

[0010]フィードスルー容量に起因する非線形性を減少する又は除去することが望まれる。また、寄生フィードスルー容量を除去することによって容量性ブリッジ及び加速度計の線形性を向上させる自動キャリブレーション処理が望まれる。

#### 【0011】

[0011]中和容量のための初期値からスタートするフィードスルー容量を中和するために容量性変換器を自動キャリブレーションする方法が開示される。前記方法は、静電力を前記容量性変換器のブルーフマスへ供給しないステップと、静電力が供給されていない間に基本出力値を記録するステップと、静電力 $F_0$ を前記ブルーフマスに供給するステップと、前記静電力 $F_0$ が供給されているときに、前記基本出力値と第1の出力値との間における前記容量性変換器の前記出力値の第1の変化を記録するステップと、静電力 $n \times F_0$ を前記ブルーフマスに供給するステップと、前記静電力 $n \times F_0$ が前記ブルーフマスに供給されているときに、前記第1の出力値と第2の出力値との間における前記容量性変換器の前記出力値の第2の変化を記録するステップと、前記容量性変換器の前記出力値における前記記録された第1の変化及び第2の変化に基づいて、前記中和容量を増加する、減少する、又は維持するステップと、前記中和容量のための最終値に到達するまで前記方法を繰り返すステップと、を備える。前記静電力 $F_0$ は、前記静電力 $n \times F_0$ の一部である。

#### 【0012】

[0012]前記増加する、減少する、又は維持するステップは、前記出力値における前記第1の変化が前記出力値における前記第2の変化より大きい場合には前記中和容量を減少するステップと、前記出力値における前記第1の変化が前記出力値における前記第2の変化より小さい場合には前記中和容量を増加するステップと、を含むことができる。

#### 【0013】

[0013]前記静電力は、充電制御方法を用いて前記ブルーフマスに供給され得る。前記静電力 $F_0$ を前記ブルーフマスに供給するステップは、期間 $t$ の間前記ブルーフマスを作動するステップを含み、前記静電力 $n \times F_0$ を前記ブルーフマスに供給するステップは、期間 $n \times t$ の間前記ブルーフマスを作動するステップを含み得る。前記容量性変換器は、第1及び第2の可変キャパシタを含み得る。前記静電力を供給するステップは、前記第1及び第2の可変キャパシタから放電することによって前記容量性変換器をリセットするステップのための第1のフェーズと、静電作動力を前記容量性変換器へ供給するステップのための第2の作動フェーズであって、前記静電作動力は前記第2の作動フェーズの期間の機能である第2の作動フェーズと、前記静電作動力に起因する前記容量性変換器の前記出力信号を読み出すステップのための第1の測定フェーズであって、前記第1の測定フェーズは前記第2の作動フェーズに続くフェーズである、第1の測定フェーズと、前記静電作動力を前記第1及び第2の可変キャパシタに供給しないステップのための第2の測定フェーズと、を備える。この場合、前記システムは、第1の作動フェーズ、第2の作動フェーズ、第1の測定フェーズ、第2の測定フェーズ、の順番にフェーズを進める。前記容量性変換器の前記第2の可変キャパシタは前記第2の作動フェーズの間ショートされる回路であってもよい。

#### 【0014】

[0014]充電制御方法を用いてセンサを線形作動させるための装置が開示される。前記装置は、容量性コアと、作動増幅器と、導電性パスと、作動源と、を備える。前記容量性コアは、第1の検出ノード、第2の検出ノード、及びブルーフマスを備え、第1の可変キャパシタは前記第1の検出ノードと前記ブルーフマスとの間に形成され、第2の可変キャパシタは前記第2の検出ノードと前記ブルーフマスとの間に形成される。前記作動増幅器は、反転入力、非反転入力、出力、及び、前記出力と前記反転入力とを結合する第1のフィ

10

20

30

40

50

ードバックパス、を含む。前記容量性コアは前記第 1 のフィードバックパスに配置される。前記導電性パスは、前記第 2 の可変キャパシタをショートさせる。前記作動源は、デューティサイクルの間、作動力を前記容量性コアの前記ブルーフマスに与える。前記作動力は前記デューティサイクルの線形関数である。前記作動源は、電圧源と、前記電圧源を前記増幅器の前記反転入力へ切り替え可能に結合する入力キャパシタと、を備えることができ、前記増幅器の前記非反転入力グラウンドへ結合される。前記装置は、さらに、前記第 1 のフィードバックパスに平行な第 2 のフィードバックパスを備えることができる。第 1 のフェーズの間、前記電圧源は前記入力キャパシタを充電することができ、前記第 2 のフィードバックパスは前記容量性コアの全体をショートすることができ、第 2 のフェーズの間、前記電圧源は前記入力キャパシタから切り離されることができ、前記第 2 のフィードバックパスは、前記入力キャパシタの充電が前記容量性コアの前記第 1 の可変キャパシタへダンプされて作動力を前記ブルーフマスへ与えるように、オープンになることができる。

10

#### 【0015】

[0015]変換器システムの容量性センサのための連続自己テスト方法が開示される。前記容量性センサは、第 1 の検出ノード、第 2 の検出ノード、及びブルーフマスを備え、第 1 の可変キャパシタは前記第 1 の検出ノードと前記ブルーフマスとの間に形成され、第 2 の可変キャパシタは前記第 2 の検出ノードと前記ブルーフマスとの間に形成される。前記方法は、前記容量性センサの前記ブルーフマスに静電力を供給するために連続的に線形作動を用いるステップと、前記静電力によって生じた前記ブルーフマスの変位を測定するステップと、前記ブルーフマスの変位に起因する前記変換器システムの出力信号を読み出すステップと、前記出力信号が作動範囲内であるか否かを判定するステップと、前記出力信号が前記作動範囲内ではない場合に前記変換器システムが正常に働いていないと判定するステップと、を備える。前記静電力は充電制御方法を用いて前記ブルーフマスに供給される。前記静電力を前記容量性センサの前記ブルーフマスへ供給するステップは、前記第 1 及び第 2 の可変キャパシタから放電することによって前記容量性センサをリセットするステップのための第 1 の作動フェーズと、前記静電力を前記第 1 の可変キャパシタへ供給するステップのための第 2 の作動フェーズであって、前記静電力は前記第 2 の作動フェーズの期間の機能である、第 2 の作動フェーズと、を備え得る。前記第 2 の作動フェーズは前記第 1 の作動フェーズに続くフェーズである。前記変換器システムの出力信号を読み出すステップは、前記静電力に起因する前記変換器の前記出力信号を読み出すステップのための第 1 の測定フェーズと、静電力を前記容量性センサに供給しないステップのための第 2 の測定フェーズと、を備え得る。前記第 2 の測定フェーズは前記第 1 の測定フェーズに続くフェーズである。前記測定フェーズは前記作動フェーズに続くフェーズである。

20

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0016】

[0016]本発明の上記の構成及び他の構成は、以下に図面とともに説明される実施形態を参照することによってより理解され明らかになるであろう。

【図 1】[0017]図 1 は、容量性変換器の機械的な検出要素の実施形態の一例を示す図である。

40

【図 2】[0018]図 2 は、容量性コアにおけるフィードスルー容量を示す図である。

【図 3】[0019]図 3 は、フィードスルー容量をとまなう差動容量性変換器回路の一例を示す図である。

【図 4】[0020]図 4 は、不要なフィードスルー容量を除去するために追加されたオンチップの中和キャパシタを備える図 3 の差動回路の一例を示す図である。

【図 5】[0021]図 5 は、50 fF のフィードスルー容量に過多又は過小の中和容量を加えた場合の影響を表すグラフの一例を示す図である。

【図 6】[0022]図 6 A は、F0 の力及び  $2 \times F0$  の力がセンサに供給され、中和容量がフィードスルー容量を完全に除去したときの出力電圧の線形性を示す図である。[0023]図 6 B は、F0 の力及び  $2 \times F0$  の力がセンサに供給され、中和容量がフィードスルー容量よ

50

りも大きいときの出力電圧の非線形性を示す図である。[0024]図6Cは、 $F_0$ の力及び $2 \times F_0$ の力がセンサに供給され、中和容量がフィードスルー容量よりも小さいときの出力電圧の非線形性を示す図である。

【図7】[0025]図7は、オンチップの中和容量を用いてフィードスルー容量を調整するための自動キャリブレーション処理のフローダイアグラムの一例を示す図である。

【図8】[0026]図8は、電圧作動回路の一例を示す図である。

【図9】[0027]図9は、充電制御作動回路の一例を示す図である。

【図10】[0028]図10は、フィードスルー容量及び中和容量を備える充電制御作動回路の一例を示す図である。

【図11】[0029]図11は、自動キャリブレーション処理のためのタイミングダイアグラムの一例を示す図である。

【図12】[0030]図12は、差動容量性センサシステムの一例を示す図である。

【0017】

[0031]いくつかの図において、対応する参照符号は対応する部品を示す。ここに記載される例示は本発明の実施形態であるが、以下に示される実施形態は、本発明の範囲を制限するよう解釈されることを意図していない。

【発明を実施するための形態】

【0018】

[0032]容量中和は、差動電圧を用いて反対の極性の中和キャパシタを追加することによって不要な寄生容量を除去するために差動回路において用いられる方法である。図3は、第1の容量性コア $C_A$ 及び第2の容量性コア $C_B$ を備える差動回路の一例を示す図である。

第1の容量性コア $C_A$ は、可変キャパシタ $C_{1A}$ 及び $C_{2A}$ を含む。第2の容量性コア $C_B$ は、可変キャパシタ $C_{1B}$ 及び $C_{2B}$ を含む。図3はまた、所望の検出キャパシタ $C_{1A}$ 、 $C_{2A}$ 、 $C_{1B}$ 、 $C_{2B}$ にそれぞれ並列な不要なフィードスルー容量 $C_{ft1}$ 、 $C_{ft2}$ 、 $C_{ft3}$ 、 $C_{ft4}$ を示している。図4は、不要なフィードスルー容量を除去するために追加されたオンチップの中和キャパシタを備える図3の差動回路の一例を示す図である。中和キャパシタ $C_{n1}$ 、 $C_{n2}$ 、 $C_{n3}$ 、 $C_{n4}$ はそれぞれ、不要なフィードスルー容量 $C_{ft1}$ 、 $C_{ft2}$ 、 $C_{ft3}$ 、 $C_{ft4}$ を除去するように追加される。

【0019】

[0033]図5は、フィードスルー容量が $50\text{ fF}$ の場合に過多又は過小の中和容量を加えた場合の影響を示す図である。仮に、中和キャパシタが完全にフィードスルー容量を除去する理想的な状況であれば、計測電圧 $V_0$ は、数2式に示すようにブルーファースの変位 $x$ に比例する。もし中和容量がフィードスルー容量よりも小さい場合( $C_n = 0\text{ fF}$ 又は $C_n = 40\text{ fF}$ )には、フィードスルー容量は完全には除去されず、計測電圧 $V_0$ は理想状況より大きくなる。もし中和容量がフィードスルー容量より大きい場合( $C_n = 60\text{ fF}$ 又は $C_n = 100\text{ fF}$ )には、フィードスルー容量は除去され、理想状況に比べて小さい計測電圧 $V_0$ をもたらす過剰な中和容量を有することになる。図5はまた、ブルーファースの変位 $x$ が増加するにしたがって、理想状態に対する計測電圧 $V_0$ の偏りが増加することを示している。よって、過剰な中和容量を追加することなくフィードスルー容量を除去するために、追加する中和容量の必要な総量を決定することが望ましい。

【0020】

[0034]ある方法は、不要なフィードスルー容量を除去するために、いくつかの部品の不要なフィードスルー容量を単に見積もり、わずかな中和容量を追加する。しかしながら、フィードスルー容量および中和容量は、処理のバリエーションによって部品ごとに異なり、不正確な除去を導く不整合を起こす。この方法は、比較的高価ではなく多少の効果をもたらす得るが、必ずしも特定の部品を精密にするものではない。

【0021】

[0035]フィードスルー容量を除去するためのさらに精密であるが高価な方法は、遠心器の内部に各チップを置くことである。加速度は遠心器を用いることによって増加するので

10

20

30

40

50



、出力電圧は様々なオンチップ中和キャパシタ設定のために読み出され得る。オンチップ中和容量は、トリムビットを用いて設定され得る。最も線形の出力測定対加速度カーブに対応する中和容量は、チップ内部にプログラムされ得る。この方法は、遠心器の使用、チップをロードする時間、各チップの加速度カーブに対する測定を行う必要があるため、テストコストや時間的に高価である。

#### 【 0 0 2 2 】

[0036] 中和容量の必要な総量を決定するための代替の方法は、2つ又はそれ以上の既知の力について測定出力の線形性を測定することである。 $F_0$ の力及び2倍の力 $2 \times F_0$ がブルーフマスに供給され、入力された力と出力された測定値との間の線形性を判定するために出力の変化が測定される。図6は、力 $F_0$ と $2 \times F_0$ が供給されたときのこの方法の3つのシナリオを示す図である。各力の間の関係が既知である限り他の比率で力が加えられてもよいし、より多くの力が加えられてもよい。

10

#### 【 0 0 2 3 】

[0037] 図6Aは、中和容量が完全にフィードスルー容量を除去する場合( $C_n = C_{ft}$ )の理想状態を示している。この場合、力 $F_0$ によってもたらされる出力電圧 $V_1$ の変化は、力 $2 \times F_0$ によってもたらされる出力電圧 $V_2$ の変化と等しくなり、変位と出力電圧との間に線形の関係をもたらし。図6Bは、中和容量が過剰に追加された状態( $C_n > C_{ft}$ )を示している。この場合、力 $F_0$ によってもたらされる出力電圧 $V_1$ の変化は、力 $2 \times F_0$ によってもたらされる出力電圧 $V_2$ の変化より大きくなり、変位と出力電圧との間の非線形の関係の減少をもたらし。図6Cは、中和容量が過少に追加された状態( $C_n < C_{ft}$ )を示している。この場合、力 $F_0$ によってもたらされる出力電圧 $V_1$ の変化は、力 $2 \times F_0$ によってもたらされる出力電圧 $V_2$ の変化より小さくなり、変位と出力電圧との間の非線形の関係の増加をもたらし。図6A - 図6Cからわかるように、供給される力が既知である場合には、出力測定結果の非線形性は、理想状態における線形性モデルのようにするために、中和容量を増加すべきか否か、減少すべきか否かを示す。力は、静電作動を用いてブルーフマスに供給される。

20

#### 【 0 0 2 4 】

[0038] 図7は、オンチップの中和容量 $C_{neut}$ を用いてフィードスルー容量を調整するための自動キャリブレーション処理700の一例を示す図である。キャリブレーション処理700は、オンチップ中和容量の下限 $C_{min}$ とオンチップ中和容量の上限 $C_{max}$ との間で2分探索方法を用いる。フィードスルー容量を除去するための中和容量の値を探索するために、当業者に知られている他の探索方法もまた用いることができる。

30

#### 【 0 0 2 5 】

[0039] ブロック702において、オンチップの中和容量の下限に2分探索下限を設定し( $C_{low} = C_{min}$ )、オンチップの中和容量の上限に2分探索上限を設定し( $C_{high} = C_{max}$ )、探索カウンタを1に設定することによって、処理が開始される。

#### 【 0 0 2 6 】

[0040] ブロック704において、システムは、作動している2分探索の範囲の中心( $C_{low} + C_{high}$ ) / 2にチェックすべき中和容量の値 $C_{neut}$ を設定する。ブロック706において、静電作動はブルーフマスに供給されず、出力値が記録される。この出力は、センサオフセットと、ブルーフマスの搭載角度に依存する地球の重力のわずかな影響と、を含む。ブロック708において、 $F_0$ の静電力がブルーフマスに供給され、出力値の変化( $V_1$ )が記録される。ブロック710において、 $2 \times F_0$ の静電力がブルーフマスに供給され、出力値の変化( $V_2$ )が記録される。いくつかの状態において、 $2 \times F_0$ の力は、作動のデューティサイクル(負荷サイクル)を $F_0$ の力のデューティサイクルの2倍の長さにすることによって供給され得る。2倍に限らず他の倍数もまた線形性を判定するために使用することができる。方法は、続いて、フィードスルー容量をより除去するために、中和容量を増加すべきか減少すべきかを判定する。これらのステップは、中和容量のためのトリム設定を増加又は減少することによって実行し得る。

40

#### 【 0 0 2 7 】

50

【0041】ブロック 712 において、システムは、 $V_2$  が  $V_1$  より小さいか否かテストする。この場合、フィードスルー容量に対して中和容量が過多である。もし  $V_2$  が  $V_1$  より小さい場合、制御はブロック 714 へ進み、そうでなければ、制御はブロック 716 へ進む。ブロック 714 において、システムは、2 分探索の上限を現在値に設定する ( $C_{high} = C_{new}$ ) ことによって中和容量を減少し、制御はブロック 720 へ進む。

【0028】

【0042】ブロック 716 において、システムは、 $V_2$  が  $V_1$  より大きい場合、制御はブロック 718 へ進み、そうでなければ、制御はブロック 722 へ進む。ブロック 718 において、システムは、2 分探索の下限を現在値に設定する ( $C_{low} = C_{new}$ ) ことによって中和容量を増加し、ブロック 720 へ進む。

【0029】

【0043】ブロック 720 において、システムは、2 分探索のカウンタが  $N$  と等しいかチェックすることによって 2 分探索が完了したか否かをチェックする。 $N$  は、大きな値になると、フィードスルー容量を除去する中和容量の判定がより精密になるので、より正確な除去を行うために設定されるべきである。もし 2 分探索が完了していない場合には ( $C_{nt} < N$ )、制御は、ブロック 704 へ戻り、中和容量の新しい値のために出力読み出しが行われる。もし 2 分探索が完了したら ( $C_{nt} = N$ )、制御はブロック 722 へ進む。

【0030】

【0044】(a) システムが、 $V_2$  が  $V_1$  より小さくない又は大きくない、つまり  $V_2$  と  $V_1$  が等しいと判定した場合、又は (b) 2 分探索が完了した場合、にはブロック 722 へ進む。どちらの場合も、中和容量  $C_{new}$  の最終的な値が使用される。

【0031】

【0045】システムは、選択された中和容量の値  $C_{new}$  が閾値に合致することを確実にするために、閾値線形性チェックを含むことができる。例えば、閾値チェックは、 $V_2$  と  $V_1$  との差の絶対値が中和容量 ( $C_{new}$ ) の最終値のための線形性閾値より小さくなっているか否かを判定することができる。

【0032】

【0046】センサキャリブレーションのために静電力を供給する 1 つの方法は、電圧作動である。図 8 は、電圧作動回路 800 の一例を示す図である。電圧作動では、センサキャパシタ  $C_2$  がショートしている間、固定された電圧  $V$  がセンサキャパシタ  $C_1$  に供給される。供給された静電力  $F_e$  と機械的な力  $F_m$  との関係は、数 4 式で表される。

【数 4】

$$F_e = \frac{1}{2} \frac{dC}{dx} V^2 * duty\_cycle = kx = F_m \quad (4)$$

静電力の項を解くと数 5 式が導かれる。

【数 5】

$$\frac{1}{2} \frac{C_0 d_0}{(d_0 - x)^2} V^2 * duty\_cycle = kx \quad (5)$$

数 5 式は、電圧作動において、変位  $x$  はデューティーサイクルの線形関数ではなく、すなわち、2 倍のデューティーサイクルの作動はブルームスの変位を 2 倍にすることにはならない、ことを示している。したがって、電圧作動のこの方法は、デューティーサイクルの機能としての所望の線形作動をもたらさない。

【0033】

【0047】センサキャリブレーションのために静電力を供給する他の方法は、充電制御作動である。図 9 は、可変センサキャパシタ  $C_1$  及び  $C_2$  を有するセンサコア、増幅器 902、キャパシタ  $C_a$ 、及び、入力電圧源  $V_a$  を備える充電制御作動回路 900 の一例を示す

図である。充電制御作動では、センサコアは、増幅器 902 の第 1 のフィードバックパスに配置され、センサキャパシタ  $C_2$  は、充電がセンサコアのセンサキャパシタ  $C_1$  でのみ行われるように、ショートする。増幅器 902 は、フェーズ  $A_1$  の間に開になるスイッチを有する第 2 の並列フィードバックパスを備える。フェーズ  $A_1$  の間、センサコアはリセットされ、一定の充電  $V_a$  がキャパシタ  $C_a$  に集電される。また、フェーズ  $A_2$  の間、充電はキャパシタ  $C_a$  からセンサキャパシタ  $C_1$  へダンプされる。この場合、供給された静電力  $F_e$  と機械的な力  $F_m$  との関係は、数 6 式によって表される。

【数 6】

$$F_e = \frac{Q_0^2}{2} \frac{d}{dx} \left( \frac{-1}{C} \right) * duty\_cycle = kx = F_m \quad (6)$$

10

静電力の項を解くと数 7 式が得られる。

【数 7】

$$\frac{Q_0^2}{2} \left( \frac{1}{C_0 d_0} \right) * duty\_cycle = kx \quad (7)$$

数 7 式は、充電制御作動において、変位  $x$  はデューティサイクルの線形関数であり、すなわち、デューティサイクルの作動を 2 倍にすると、プルーフマスの変位が 2 倍になることを示している。この充電制御作動の方法は、デューティサイクルの関数として所望の線形作動を提供する。

20

【0034】

[0048] 上記の分析は、フィードスルー容量が無い充電制御作動を示している。図 10 は、フィードスルー容量及び中和容量を備える充電制御作動回路 1000 の一例を示す図である。残念なことに、フィードスルー容量  $C_{ft}$  が含まれていると、充電  $Q_0$  は、キャパシタ  $C_1$  にダンプされるだけでなくキャパシタ  $C_{ft}$  にもダンプされ、変位  $x$  に基づいて、充電はキャパシタ  $C_1$  と  $C_{ft}$  との間で線形に分割されない。中和原理は充電制御回路 1000 にも同様に使用可能である。理想的には、もし  $C_{ft}$  と  $C_{neut}$  が等しければ、完全な除去がもたらされ、充電制御は完全に線形になる。しかしながら、もし  $C_{ft}$  と  $C_{neut}$  が等しくなければ、非線形になる。幸いなことに、この非線形の除去は、フィードスルー容量  $C_{ft}$  によるフィードスルー非線形と同じ傾向である。したがって、この非線形の除去は実際に中和に役立つ。なぜなら、もし  $C_{ft}$  除去にエラーが生じたら、この除去エラーはフィードスルーエラーをより大きくし、 $C_{ft}$  が  $C_{neut}$  と等しくなれば除去又はフィードスルーエラーは無くなる。

30

【0035】

[0049] 自動キャリブレーション処理の一例のタイミングダイヤグラムが図 11 に示される。また、一例の差動容量センサシステムが図 12 に示される。自動キャリブレーションの間、時間は作動フェーズ  $A$  と測定フェーズ  $M$  に分割される。作動フェーズの説明は図 10 の回路が参照され、測定フェーズの説明は図 12 の回路が参照される。図 10 の回路は、説明を明確にするために図 12 の回路には示されていない。当業者であれば、他の作動可能なスイッチをセンサスイッチと直列に設けてもよいことが理解できるであろう。これらのスイッチは図 12 には示されていない。図 12 は、測定フェーズにおける回路のみを示している。図 12 にすべてのスイッチを記載すると、図 12 が極めて複雑になる。そこで、図 12 は、測定フェーズにおけるセンサ及び容量電圧回路を示しており、図 10 は作動フェーズにおけるセンサ及び作動回路を示している。センサと作動増幅器 1002 又は容量電圧増幅器との間を接続するスイッチに関する詳細は示されておらず、例えばセンサは測定フェーズの間キャパシタ  $C_a$  から切り離される。

40

【0036】

[0050] 作動フェーズの間、センサは図 10 に示すように接続される。差動センサシステムにおいて、各キャパシタ  $C_A$  及び  $C_B$  は図 10 に示すように接続される。作動フェーズ  $A$  はさらに 2 つのサブフェーズ  $A_1$  及び  $A_2$  に分割される。作動フェーズの間、セ

50

ンサはフロントエンドから切り離され、 $\gamma_2$  は 0 になる。サブフェーズ  $A_1$  の間、センサはリセットされキャパシタ  $C_a$  に一定の充電が行われる。サブフェーズ  $A_2$  の間、充電は MEMS キャパシタ  $C_1$  にダンプされる。作動力は、作動サブフェーズ  $A_2$  の持続又はデューティサイクル  $T_w$  に線形比例する。また、 $A_1$  は、キャパシタをリセットして 0 の力を供給し測定フェーズへの準備のために、作動フェーズの最終部分の間ハイ (high) になる。差動システムにおいて、作動力は、動作の力の妥当性をシミュレートするために、両方のコアに実質的に同時に供給され得る。

【 0 0 3 7 】

[0051]測定フェーズの間、センサは図 12 に示すように接続される。測定フェーズ  $M$  は 2 つのサブフェーズ  $\gamma_1$  と  $\gamma_2$  に分割される。第 1 のサブフェーズ  $\gamma_1$  の間、MEMS キャパシタは、容量センサシステムのフロントエンドに接続され、変位は電圧  $V_0$  としてシステムによって読み出される。第 2 のサブフェーズ  $\gamma_2$  の間、コア  $C_A$  及び  $C_B$  のブルーフマスにエラー動作を起こす正味の静電力が掛からないように電圧がセンサに供給される。

10

【 0 0 3 8 】

[0052]作動フェーズ及び測定フェーズを交互に行うことによって、超高速 (例えば 100 kHz) で、正確に、低ノイズの測定が行われ得る。

【 0 0 3 9 】

[0053]充電制御動作は、線形動作のために説明されていない。充電制御は、センサのブルーフマスを振動させる不要な振動に対する耐性を得るための線形動作に使用することができる。

20

【 0 0 4 0 】

[0054]連続自己テストは、センサが動作中に正しく機能し続けているかをチェックするための技術である。連続自己テストでは、バックグラウンド信号 (力) がセンサに連続的に供給される。このバックグラウンド信号は通常、疑似ランダム信号であり、例えば方形波又はサイン波である。ブルーフマスの変位を測定することによって、バックグラウンド信号によって生じる出力信号は変換器システムによって読み出される。もし出力信号がバックグラウンド信号に対して予期される作動限度内であれば、センサは正しく動作していると推定される。もし出力信号が警告限度を超えれば、センサは正常に働いていないと推定され、セーフティクリティカルな決定には用いることができない。自動車分野の適用では、セーフティクリティカルな決定は、例えばセンサ信号によってスリップを検出し、車輪に選択的にブレーキをかけることであってもよい。

30

【 0 0 4 1 】

[0055]線形動作は自己テスト適用において重要となり得る。例えば、自動車では、センサ帯域幅内で重力 ( $g$ ) のかかり方によって振動が生じる。加速度計の一例のセンサ帯域幅は通常 5 kHz 以下である。マルチ重力による振動はブルーフマスを振動させる。もし自己テスト中のブルーフマスの動作が非線形であれば (すなわち動作力はブルーフマスの変位に依存する)、これらの振動は作動信号と混合され、センサの DC 値を変化させ、その後の読み出しを不正確にする。一例の非線形動作は数 5 式に示した電圧作動である。電圧作動による静電力はブルーフマスの変位の 2 乗  $\times^2$  の関数であり、これらの振動はブルーフマスを自己テストの間に振動させ不正確な結果をもたらす。

40

【 0 0 4 2 】

[0056]線形作動は、連続自己テストの間のセンサの DC 値の変化を防止することができる。一例の線形作動は数 7 式に示した充電制御作動である。充電制御作動による静電力はブルーフマスの変位  $x$  の関数ではない。したがって、自己テスト中に生じるブルーフマスの振動は自己テストに影響しない。したがって、自己テストは、マルチ重力の振動がセンサにかかっても動作の間正確な結果を供給することができる。

【 図 3 】

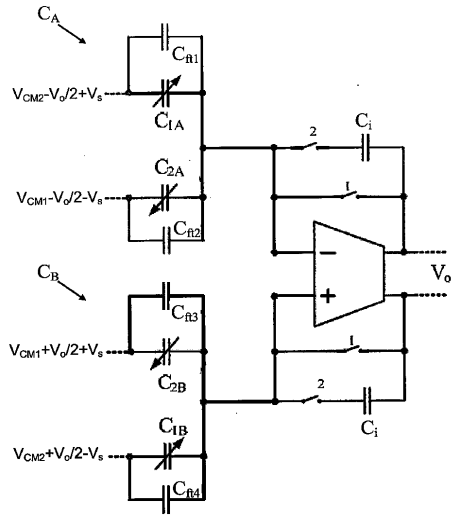
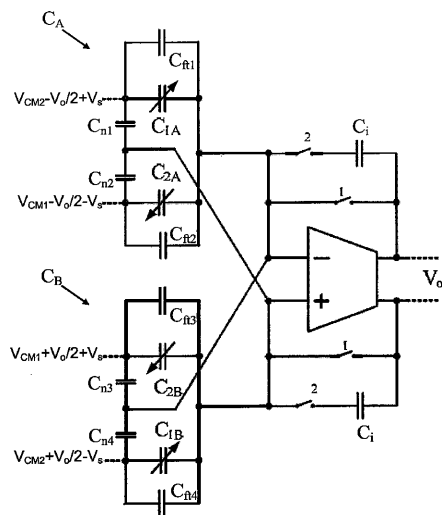


Figure 3

【圖 4】



【 図 5 】

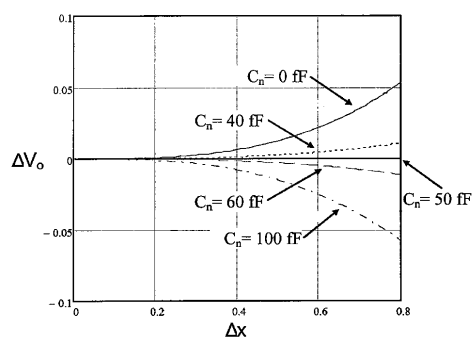
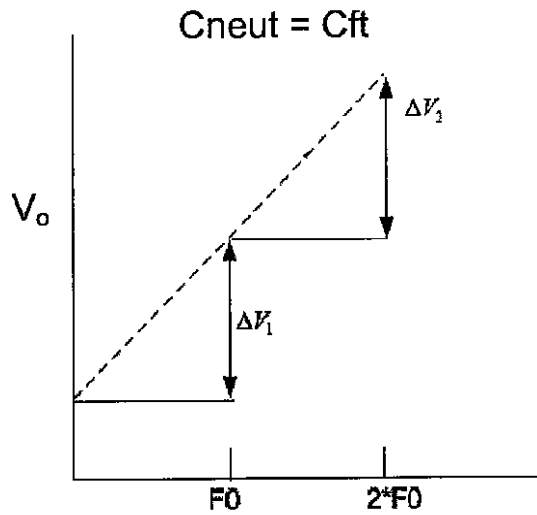
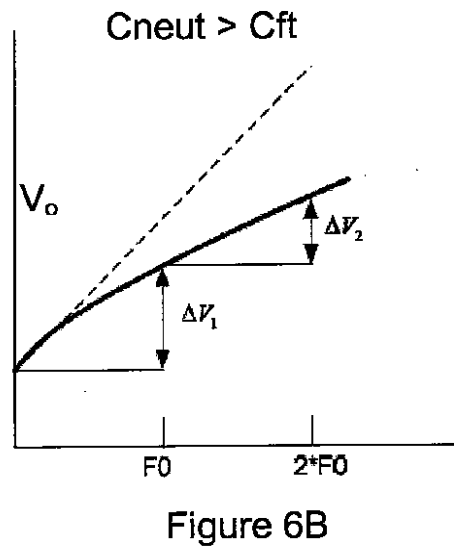


Figure 5

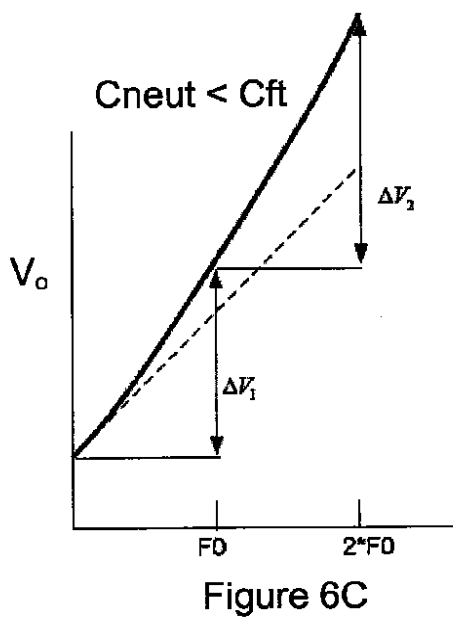
【図 6 A】



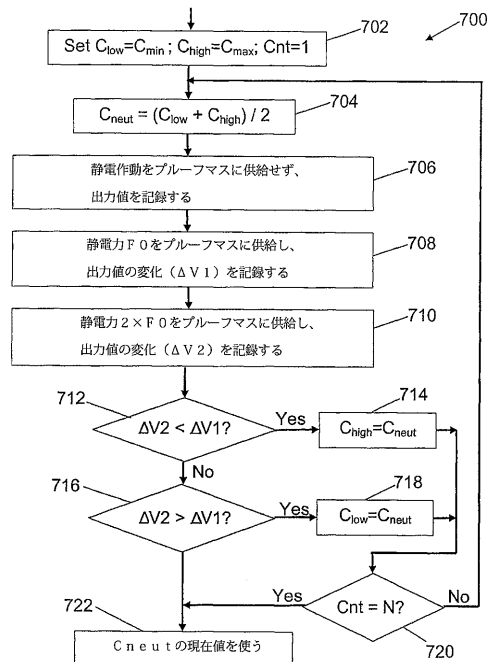
【図 6 B】



【図 6 C】



【図 7】



The diagram shows four signals over time.  $\Phi_{A1}$  and  $\Phi_{A2}$  are clock signals.  $\Phi_1$  and  $\Phi_2$  are data signals. A time interval  $T_W$  is marked between the rising edges of  $\Phi_{A1}$  and  $\Phi_{A2}$ . The diagram is divided into two sections by a dashed line, labeled  $\Phi_A$  and  $\Phi_M$  at the bottom.

Figure 12

---

フロントページの続き

(74)代理人 100153947

弁理士 家成 隆彦

(72)発明者 バラチャンドラン, ガネーシュ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 8 5 , サニーヴェール, コスタ・メサ・テラス 4 3 1 エイチ

(72)発明者 ペトコフ, ウラジーミル

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 4 0 , マウンテン・ビュー, ラッサム・ストリート 2 2 5 0 , ナンバー 2 4

審査官 岡田 卓弥

(56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 9 5 1 0 4 ( J P , A )

特開 2 0 0 8 - 6 4 7 4 2 ( J P , A )

特開 2 0 0 0 - 7 4 9 3 9 ( J P , A )

特開平 1 0 - 3 0 0 7 7 6 ( J P , A )

米国特許第 5 6 0 0 0 6 6 ( U S , A )

特開平 2 - 1 1 0 3 8 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 P 1 5 / 0 0 - 2 1 / 0 2