

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6410740号
(P6410740)

(45) 発行日 平成30年10月24日 (2018.10.24)

(24) 登録日 平成30年10月5日 (2018.10.5)

(51) Int. Cl.

G O 1 R 27/02 (2006.01)

F I

G O 1 R 27/02

A

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-561543 (P2015-561543)	(73) 特許権者	390020248
(86) (22) 出願日	平成26年3月4日 (2014.3.4)		日本テキサス・インスツルメンツ株式会社
(65) 公表番号	特表2016-514265 (P2016-514265A)		東京都新宿区西新宿六丁目24番1号
(43) 公表日	平成28年5月19日 (2016.5.19)	(73) 特許権者	507107291
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/020305		テキサス インスツルメンツ インコーポ
(87) 国際公開番号	W02014/138059		レイテッド
(87) 国際公開日	平成26年9月12日 (2014.9.12)		アメリカ合衆国 テキサス州 75265
審査請求日	平成29年3月3日 (2017.3.3)		-5474 ダラス メール ステーショ
(31) 優先権主張番号	14/186,942		ン 3999 ビーオーボックス 655
(32) 優先日	平成26年2月21日 (2014.2.21)		474
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 上記1名の代理人	100098497
(31) 優先権主張番号	61/772,290		弁理士 片寄 恭三
(32) 優先日	平成25年3月4日 (2013.3.4)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御された負のインピーダンスに基づく共振インピーダンス感知

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ターゲットに対する共振センサの応答をキャプチャするように動作可能な回路であって、前記共振センサが、共振インピーダンス損失因子と、定常状態振動に対応する共振状態を含む共振状態（共振器振動振幅と共振器振動周波数）とによって特徴付けられる共振器を含み、前記回路が、

負のインピーダンスを有する前記共振器に電流を駆動するように構成される、クラスDの負のインピーダンス回路要素であって、

共振器振動電圧を受け取り、前記共振器振動周波数に同期した周波数を有するクラスDスイッチング出力を提供するように構成される比較器と、

制御された負のインピーダンスの大きさに対応するループ制御信号に基づいて駆動電流を出力するように構成される電流駆動回路要素と、

前記共振器に対して駆動電流源をインターフェースするように構成されるHブリッジ回路要素と、

を含み、

前記共振器が前記負のインピーダンスで駆動されるように、正のフィードバックを維持するために前記比較器のクラスDスイッチング出力が前記Hブリッジ回路要素を制御する、前記クラスDの負のインピーダンス回路要素と、

前記駆動電流の時間平均が、定常状態振動を維持するために前記共振器の損失を実質的に相殺する前記制御された負のインピーダンスの大きさに対応するように、検出されたセ

10

20

ンサ共振状態に基づいて前記ループ制御信号を生成するように構成される、ループ制御回路要素と、

を含み、

それによって、ループフィルタとして前記共振器を含み、前記ループ制御信号が前記ターゲットに対する前記共振センサの応答を表すセンサ応答データに対応するように、負のインピーダンスを制御する、負のインピーダンス制御ループを確立する、回路。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の回路であって、

前記検出された共振状態が共振器振動振幅に対応し、前記負のインピーダンス制御ループが、共振器振動振幅を制御することによって少なくとも部分的に負のインピーダンスを制御するように構成される、回路。

10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の回路であって、

前記ループ制御回路要素が、定常状態振動に対応する基準振幅信号に関連する共振器振動振幅における差異に基づいて前記ループ制御信号を提供するように構成される、回路。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の回路であって、

前記電流駆動回路要素が、少なくとも 2 つのレベルの電流駆動を前記共振器に供給するように構成されるマルチレベル電流駆動回路要素を含み、

前記ループ制御回路要素が、前記電流駆動レベルの間の切り替えを制御する、回路。

20

【請求項 5】

ターゲットに対する共振センサの応答をキャプチャするように動作可能なシステムであって、

共振インピーダンス損失因子と、定常状態振動に対応する共振状態を含む共振状態（共振器振動振幅と共振器振動周波数）とによって特徴付けられる共振器を含む、共振センサと、

前記共振器に結合され、前記ターゲットに対する前記共振センサの応答をセンサ応答データに変換するように構成される、インダクタンス - データ変換器回路であって、

負のインピーダンスを有する前記共振器に電流を駆動するように構成されるクラス D の負のインピーダンス回路要素であって、

30

共振器振動電圧を受け取り、前記共振器振動周波数に同期した周波数を有するクラス D スイッチング出力を提供するように構成される比較器と、

制御された負のインピーダンスの大きさに対応するループ制御信号に基づいて駆動電流を出力するように構成される電流駆動回路要素と、

前記共振器に対して駆動電流源をインターフェースするように構成される H ブリッジ回路要素と、

を含み、前記共振器が前記負のインピーダンスで駆動されるように、正のフィードバックを維持するために前記比較器のクラス D スイッチング出力が前記 H ブリッジ回路要素を制御する、前記クラス D の負のインピーダンス回路要素を含む、前記インダクタンス - データ変換器回路と、

40

前記駆動電流の時間平均が、定常状態振動を維持するために前記共振器の損失を実質的に相殺する前記制御された負のインピーダンスの大きさに対応するように、検出されたセンサ共振状態に基づいて前記ループ制御信号を生成するように構成される、ループ制御回路要素と、

を含み、

それによって、ループフィルタとして前記共振器を含み、前記ループ制御信号が前記ターゲットに対する前記共振センサの応答を表すセンサ応答データに対応するように、負のインピーダンスを制御する、負のインピーダンス制御ループを確立する、システム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のシステムであって、

50

前記検出された共振状態が共振器振動振幅に対応し、前記負のインピーダンス制御ループが、共振器振動振幅を制御することによって少なくとも部分的に負のインピーダンスを制御するように構成される、システム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のシステムであって、

前記ループ制御回路要素が、定常状態振動に対応する基準振幅信号に関連する共振器振動振幅における差異に基づいて前記ループ制御信号を提供するように構成される、システム。

【請求項 8】

請求項 5 に記載のシステムであって、

前記電流駆動回路要素が、少なくとも 2 つのレベルの電流駆動を前記共振器に供給するように構成されるマルチレベル電流駆動回路要素を含み、

前記ループ制御回路要素が、前記電流駆動レベルの間の切り替えを制御する、システム。

【請求項 9】

ターゲットに対する共振センサの応答をキャプチャする際に使用可能な方法であって、前記共振センサが、共振インピーダンスと、定常状態振動に対応する共振状態を含む共振状態（共振器振動振幅と共振器振動周波数）とによって特徴付けられる共振器を含み、前記方法が、

クラス D の H ブリッジ増幅器を用いて前記共振センサに現れる制御された負のインピーダンスを生成することであって、前記クラス D の H ブリッジ増幅器が、

共振器振動電圧を受け取り、前記共振器振動周波数に同期した周波数を有するクラス D スイッチング出力を提供するように構成される比較器と、

制御された負のインピーダンスの大きさに対応するループ制御信号に基づいて駆動電流を出力するように構成される電流駆動回路要素と、

前記共振器に対して駆動電流源をインターフェースするように構成される H ブリッジ回路要素と、

を含み、前記共振器が前記負のインピーダンスで駆動されるように、正のフィードバックを維持するために前記比較器のクラス D スイッチング出力が前記 H ブリッジ回路要素を制御する、前記制御された負のインピーダンスを生成することと、

前記駆動電流の時間平均が、定常状態振動を維持するために前記共振器の損失を実質的に相殺する前記制御された負のインピーダンスの大きさに対応するように、検出された共振状態に基づいて負のインピーダンスを制御する前記ループ制御信号を生成することと、

それにより、ループフィルタとして前記共振器を含む負のインピーダンス制御ループを確立することと、

センサ応答データが前記ターゲットに対する前記共振センサの応答に対応するように、前記制御された負のインピーダンスに基づいて前記センサ応答データを提供することと、を含む、方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、

前記検出された共振状態が共振器振動振幅に対応し、前記負のインピーダンス制御ループが、定常状態振動に対する共振器振動振幅を制御することによって少なくとも部分的に負のインピーダンスを制御するように構成される、方法。

【請求項 11】

請求項 9 に記載の方法であって、

前記電流駆動回路要素が、前記共振器に対する少なくとも 1 つのレベルの電流駆動を提供するように構成されるマルチレベル電流駆動回路要素を含み、

前記ループ制御信号を生成することが、前記電流駆動レベルの間の切り換えを制御するマルチレベルループ制御信号を生成することを含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は概して、例えば、位置、近接度、或いは物理的な状態又は条件に基づく、ターゲットに対するセンサの応答の測定又は検出に使用され得るような、センサ及び感知に関する。

【背景技術】

【0002】

共振センサは、共振周波数及び振幅での定常状態（非感知）動作のために構成される共振器を含む。共振感知は、例えば、ターゲットに 응답したセンサ／共振器共振インピーダンスにおける変化から生じる共振器振動振幅及び周波数における変化によって発現するよう
10
な、センサ共振状態における変化に基づく。ターゲットに対するセンサ応答は、例えば、センサに対するターゲットの近接度又は位置、或いはターゲットの何らかの感知された物理的状态によって、起こり得る。

【0003】

例えば、誘導感知の場合、センサ（共振器）インピーダンスは、導電性ターゲットに関連付けられた渦電流効果によって発生し得るような、LC共振器の誘導感知コイルから出力される磁束エネルギーの蓄積又は損失によって影響を受ける。可変キャパシタに基づく共振器を備えるセンサの場合、共振器インピーダンスは電界エネルギーの蓄積又は損失によって影響を受ける。圧電共振器の場合、センサ共振は圧電結晶にかかる機械的応力にお
20
ける変化によって影響を受ける。

【発明の概要】

【0004】

共振センサを用いる共振インピーダンス感知のための装置及び方法が提供され、共振センサは、共振インピーダンス及び共振周波数、並びに、定常状態振動（定常状態共振）に対応する共振状態を含む、共振器振動振幅及び共振器周波数に対応する共振状態によって特徴付けられる共振器を含む。共振インピーダンス及び共振状態はどちらもターゲットに
30
応答して変化する。

【0005】

共振インピーダンス感知方法の様々な説明する実施形態が、（a）センサに提示される制御された負のインピーダンスを生成すること、（b）センサ共振状態が定常状態振動に
30
対応するように、センサ共振インピーダンスを実質的に相殺するために、検出された共振状態に基づいて負のインピーダンスを制御することであって、負のインピーダンスが、ループフィルタとしてセンサ共振器を含む負のインピーダンス制御ループによって制御される、制御すること、及び、（c）センサ応答データがターゲットに対するセンサの応答を表すように、制御された負のインピーダンスに基づいてセンサ応答データを提供すること
40
を含み得る。

【0006】

共振インピーダンス感知方法を実装するように構成される装置の実施形態が、（a）センサに結合されるように構成され、負のインピーダンス制御信号に
40
応答して制御される負のインピーダンスをセンサに提示するように構成される、負のインピーダンス回路と、（b）センサ共振状態が定常状態振動に対応するように、制御された負のインピーダンスがセンサ共振インピーダンスを実質的に相殺するように、検出されたセンサ共振状態に基づいて負のインピーダンス制御信号を生成するように構成されるインピーダンス制御回路と
50
を含み得る。負のインピーダンス制御ループが、ループフィルタとしてセンサ共振器を含み、負のインピーダンス制御信号がターゲットに対するセンサの応答を表すセンサ応答データに対応するように負のインピーダンスを制御する。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1A】本発明の態様に従い、（共振インピーダンスと並列に共振器によって表される）共振センサと、定常状態振動を維持するために、制御された負のインピーダンスがセン
50

サに提示される負のインピーダンス制御ループを確立する、負のインピーダンスステージ及び負のインピーダンス制御ステージを含むセンサデータ変換器とを含む、制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知の例示的な機能図である。

【0008】

【図1B】(a)直列抵抗 R_s と、(b)並列抵抗 R_p を備える等価回路表現とによって表される共振インピーダンスを備える、LC共振器に基づく誘導感知のための例示の共振センサを示す。

【0009】

【図1C】本発明の態様に従い、制御された負の抵抗 R_{res} に結合される、並列抵抗 R_p (インピーダンス)を備える、LC共振器に基づく誘導感知のための共振センサを示し、 $P_{res} = -R_p$ は定常状態振動に対応する。

10

【0010】

【図2】負のインピーダンスステージ及び負のインピーダンス制御ステージを含むセンサデータ変換器に結合される、誘導共振センサ(LC共振器)を用いる、制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知の例示的な機能的実施形態を示し、負のインピーダンスステージが、可変(制御可能)トランスアドミタンス(g_m)を備えるトランスアドミタンス増幅器によって実装され、インピーダンス(アドミタンス)制御ステージが、 g_m (アドミタンス)を変調/調整するために g_m 制御信号を提供し、それによって負のインピーダンスを制御する。

【0011】

20

【図3】負のインピーダンスステージ及び負のインピーダンス制御ステージを含むセンサデータ変換器に結合される誘導共振センサ(LC共振器)を用いる、制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知の例示的な機能的実施形態を示し、負のインピーダンスステージが、2つの離散的トランスアドミタンスレベル($g_{m_low/high}$ など)間でスイッチするように構成されるトランスアドミタンス増幅器によって実装され、負のインピーダンス制御ステージが、対応する $g_{m_low/high}$ 制御信号を提供するように構成される。

【0012】

【図4】制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知の例示的な実施形態を示し、負のインピーダンスステージがクラスA又はAB増幅器構成に基づくトランスアドミタンス増幅器を用いて実装される。

30

【0013】

【図5】負のインピーダンスステージが、接地基準Hブリッジを備える共振センサとインターフェースされるクラスD増幅器構成に基づくトランスアドミタンス増幅器を用いて実装される、制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知の例示的な実施形態を示す。

【0014】

【図6】接地基準HブリッジクラスDトランスアドミタンス増幅器に基づくクラスD負のインピーダンスステージを用いて実装されるインダクタンス-デジタル変換器(LDC)を含む、制御された負のインピーダンスを備える共振センサシステムの例示的な実施形態を示す。

40

【0015】

【図7A】ターゲットに対するセンサの応答がターゲットに対するセンサの軸方向(z軸)位置及び/又は方位に対応する、軸位置感知を含む、本発明の態様に従った共振インピーダンス感知のための例示的な応用例を示す。

【図7B】センサ応答が、センサ及びターゲットの相対的横方向(x,y)位置に対応し、センサによって生成される磁束に曝されるターゲット領域の小部分に依存する、横方向位置感知を含む、本発明の態様に従った共振インピーダンス感知のための例示的な応用例を示す。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 6 】

例示的な実施形態が、全般的に、ターゲットに対する共振センサの応答が誘導共振センサから出力される磁束エネルギーの蓄積又は損失に対応するように、誘導共振センサ（LC共振器）が導電性ターゲットに関連して用いられる、誘導感知に関連して提供される。実施形態の適用可能性は誘導感知に限定されず、これらの実施形態は、全般的に（例えば、容量性及び機械的共振インピーダンス感知を含む）共振インピーダンス感知に適用可能である。

【 0 0 1 7 】

図 1 A は、制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知の例示的な機能図である。共振インピーダンス感知システム 1 0 が、共振センサ 5 0 及びセンサデータ変換器 1 0 0 を含む。

10

【 0 0 1 8 】

共振センサ 5 0 は、共振インピーダンス 5 3 と、共振器振動振幅及び周波数によって特徴付けられる共振状態とによって特徴付けられ得る共振器 5 1 を含む。共振センサ 5 0 は、共振インピーダンス 5 3 の損失を克服するために十分なエネルギーを共振器 5 1 に注入することによって、定常状態振動に対応する共振状態で動作可能である。

【 0 0 1 9 】

ターゲット（との相互作用）の存在は、センサ / 共振器インピーダンス及び周波数における変化に反映され、共振状態に変化を生じさせる。本発明の態様に従い、ターゲットに対する共振センサ 5 0（共振器 5 1）の応答は、キャプチャされ、共振器 5 1 を定常状態振動で維持するために必要な制御された負のインピーダンスを共振センサに提示することによってセンサ応答データに変換される。すなわち、センサ応答データは、定常状態振動を維持するために必要な負のインピーダンスを定量化する。このセンサ応答データは、検出、測定、又は他の処理のために、例えばプロセッサ又はコントローラに、提供され得る。

20

【 0 0 2 0 】

図 1 B は、直列抵抗 R_s によって表される共振インピーダンス 5 3 を備える、インダクタ感知コイル及び並列キャパシタによって形成される LC 共振器 5 1 に基づく誘導感知のための例示の共振センサ 5 0 を図示する。抵抗 R_p によって表される並列インピーダンス 5 3 を備える等価 LC 共振器 5 1 回路も示され、 $R_p = L / (C \cdot R_s)$ である。本説明及び図面において、 R_s 及び R_p は、 $R_p = L / (C \cdot R_s)$ に従って交換可能に用いられる。

30

【 0 0 2 1 】

図 1 C は、LC 共振器 5 1 と、抵抗 R_p によって表される並列共振インピーダンス 5 3 とを備える、共振センサ 5 0 を図示する。本発明の態様に従い、センサデータ変換器 1 0 0 が、センサ抵抗 R_{res} によって表される制御された負のインピーダンス 5 5 を共振センサに提示し、センサ抵抗 R_p が相殺されるように、定常状態振動に関する条件を $R_{res} = -R_p$ として確立する。

【 0 0 2 2 】

図 1 A 及び 1 C を参照すると、センサデータ変換器 1 0 0 は、ターゲットに対する共振センサ 5 0 の応答を変換 / キャプチャするように構成される。センサデータ変換器 1 0 0 は、本発明の態様に従い、制御された負のインピーダンス 5 5 を共振センサ 5 0 に提示し、定常状態振動に対応する共振状態を維持するために共振インピーダンス 5 3 を実質的に相殺することによって、共振インピーダンス感知を実装する。結果として、定常状態振動を維持するために必要な制御された負のインピーダンスは、センサ応答データとして定量化され得る。センサデータ変換器は、図 1 A に示されるように、共振インピーダンスと並列、又は共振インピーダンスと直列のいずれかで、制御された負のインピーダンスを提示するように構成され得る。

40

【 0 0 2 3 】

センサデータ変換器 1 0 0 は共振センサ 5 0 に結合される。変換器 1 0 0 は、負のイン

50

ピーダンスステージ 120 及びそれに続く負のインピーダンス制御ステージ 130 を含む。負のインピーダンスステージ 120 は、感知されたターゲットの存在又は感知されたターゲットとの相互作用から生じる、共振状態（共振器振動振幅及び周波数）における変化にตอบสนองして制御される負のインピーダンスを、共振センサに提示するように構成される。

【0024】

共振インピーダンス感知システム 10 は、例えば、並列又は直列のキャパシタ、或いは並列又は直列のインダクタ、或いはそれらの組み合わせなどの、追加の応答性構成要素を共振センサ（共振器 51）に接続することによって、特定された共振器周波数での動作のために構成／最適化され得る。本システム構成は、センサデータ変換器 100 が、共振センサ 50 の設計／構成とは無関係に設計／構成され得るようにすることができる。共振インピーダンス感知システム 10 は、その後、追加の応答性構成要素を組み込んだ後、センサデータ変換器を、共振インピーダンス及び周波数領域を調整するために用いられる追加の応答性構成要素を備える共振センサに結合することによって、既存の共振センサ 50 用に構成／最適化され得る。

【0025】

負のインピーダンスステージ 120 及び負のインピーダンス制御ステージ 130 は、センサデータ変換器 100 によって共振センサ 50 に提示される負のインピーダンス 55 を制御する負のインピーダンス制御ループを確立する。ターゲットにตอบสนองして、共振インピーダンス 53 は変化し、共振状態に対応する変化を生じさせる。本発明の態様に従い、負のインピーダンス制御ループは、共振インピーダンスを実質的に相殺するため及び定常状態振動に対応する共振状態を維持するために、負のインピーダンスステージ 120 によって提示される負のインピーダンスを制御することによってตอบสนองする。共振インピーダンス 53（共振状態）における変化は、負のインピーダンスステージ 120 の出力 121 における変化として表される。これにตอบสนองして、負のインピーダンス制御ステージ 130 は、定常状態振動を維持するように負のインピーダンスステージ 130 によって提示される負のインピーダンスを制御するために、負のインピーダンス制御信号 139 を生成する。この負のインピーダンス制御信号は、定常状態振動を維持するために必要な制御された負のインピーダンスを定量化し、センサの応答をターゲットに示す、センサ応答データに対応する。

【0026】

典型的に、負のインピーダンス制御ループの帯域幅は、共振周波数よりもかなり低くなる。閉じたインピーダンス制御ループは、任意の非ゼロ共振状態の制御を可能にし、また、低電圧印加にとって有利な一定の振動振幅を維持する。

【0027】

図 1 A における例示的な機能的実施形態の場合、負のインピーダンス制御ループは共振振動振幅を制御するものとして図示されている。具体的には、センサデータ変換器 100 は、共振器振動振幅における変化に基づいて共振センサ 50 に提示される負のインピーダンス 55 を制御するように構成され得る。すなわち、ターゲットにตอบสนองして共振インピーダンス 53 における変化によって発生する共振器 51 の共振状態における変化が、共振器振動振幅における変化に反映される。

【0028】

センサデータ変換器 100 及び負のインピーダンス制御ループは、共振器振動振幅（共振状態）における変化を、共振インピーダンスにおける変化の測定として検出するように動作する。負のインピーダンスステージ 120 は、共振器 51 に提示される負のインピーダンス 55 を調整するため、及びそれによって定常状態振動を維持するように共振器振動振幅を調整するために、共振器振動振幅における変化にตอบสนองして制御される。

【0029】

負のインピーダンス制御ステージ 130 は、共振器振幅検出 133 及び負のインピーダンス制御 135 を含む、共振器振幅検出及び制御ブロック 131 として機能的に実装され得る。共振器振幅検出 133 は、負のインピーダンスステージ 120 の出力 121 として

10

20

30

40

50

表される共振器振動振幅を検出する。負のインピーダンス制御 135 は、(a) 共振器振動振幅検出 133 によって検出されるような共振器振動振幅と、(b) 定常状態振動での共振器振動振幅に対応する基準振幅信号との間の差異に基づいて、負のインピーダンス制御信号 139 を生成する。

【0030】

共振器振動検出及び制御ブロック 131 の出力は、負のインピーダンスを制御するために負のインピーダンスステージ 120 にループバックされる負のインピーダンス制御信号 139 を提供し、負のインピーダンスは、センサ変換器 100 によって出力されるセンサデータに対応する。具体的に言えば、負のインピーダンスは、ターゲットにตอบสนองして変化すると共振インピーダンスを実質的に相殺するように制御され、それによって、定常状態振動に対応する共振状態を達成するために共振器振動振幅を実質的に一定に維持する。結果として、定常状態振動に関連付けられる制御された負のインピーダンスは、ターゲットに対するセンサのตอบสนองに表されるセンサ応答データとして定量化される。

【0031】

したがって、本発明の態様に従った共振インピーダンス感知は、(a) センサに提示される制御された負のインピーダンスを生成すること、(b) センサ共振状態が定常状態振動に対応するように、センサ共振インピーダンスを実質的に相殺するために、検出された共振状態に基づいて負のインピーダンスを制御することであって、負のインピーダンスが、ループフィルタとしてセンサ共振器を含む負のインピーダンス制御ループによって制御される、制御すること、及び、(c) センサ応答データがターゲットに対するセンサの応答を表すように、制御された負のインピーダンスに基づいてセンサ応答データを提供することを含む。

【0032】

図 2 は、LC 共振器 51 と、直列抵抗 R_s によって表される共振インピーダンス 53 とを備える誘導感知のために構成される共振センサ 50 に関連した、共振インピーダンス感知の例示的な機能的実施形態を図示する。共振センサ 50 に結合されたセンサデータ変換器 200 が、負のインピーダンスステージ 220 及び負のインピーダンス制御ステージ 230 を含む。

【0033】

負のインピーダンスステージ 220 は、共振センサ (共振器 51) に励磁電流駆動を提供する電流源 225 を制御するトランスアドミタンス増幅器 223 を備えて機能的に実装される。トランスアドミタンス増幅器 223 は、可変 (連続) 制御可能 g_m を用いて、及び、負のインピーダンス / 抵抗をつくるための正のフィードバックループを用いて実装される。インピーダンス制御ステージ 230 は、トランスアドミタンス g_m を変調 (調整) する g_m 制御信号として、負のインピーダンス制御信号 239 を提供し、それによって、図 1A に関連して上記で説明した方式で負のインピーダンスを制御するように構成される。 g_m 制御信号は、センサデータ変換器 200 によってキャプチャ / 変換されるセンサ応答を表す、センサ応答データに対応する。代替の機能的実装において、負のインピーダンスステージ 220 は、定数 g_m を備えるトランスアドミタンス増幅器、及び負のインピーダンス制御信号 (正のフィードバック) によって制御される可変制御可能電流源を用いて実装され得る。

【0034】

図 3 は、LC 共振器 51 と、直列抵抗 R_s によって表される共振インピーダンス 53 とを含む LC 共振センサに関連した、共振インピーダンス感知の例示的な機能的実施形態を図示する。共振センサ 50 に結合されたセンサデータ変換器 300 が、負のインピーダンスステージ 320 及び負のインピーダンス制御ステージ 330 を含む。

【0035】

負のインピーダンスステージ 320 は、トランスアドミタンス増幅器 323、及び共振センサ (共振器 51) に励磁電流駆動を提供する電流源 325 を備えて実装される。トランスアドミタンス増幅器 323 は、2 つの離散トランスアドミタンスレベル (g_{m_1} o

10

20

30

40

50

w及び g_{m_high})の間で切り替えるように、及び負のインピーダンスをつくるための正のフィードバックループを備えて、構成される。インピーダンス制御ステージ330は、トランスアドミタンスレベル間で切り替えることによってトランスアドミタンス g_m を変調(調整)する $g_{m_low}/high$ 制御信号として、負のインピーダンス制御信号339を提供ように構成され、それによって図1Aに関連して上記で説明した方式で負のインピーダンスを制御する。この例示的な実施形態において、 $g_{m_low}/high$ 制御信号の時間平均は、(定常状態振動を維持するために必要な制御された負のインピーダンスを定量化する)センサデータ変換器300によってキャプチャ/変換されるセンサ応答を表す、センサ応答データを構成する。

【0036】

負のインピーダンスステージ320が2レベル($g_{m_low}/high$)トランスアドミタンス増幅器として実装され、負のインピーダンス制御ループが図1Aに関連して説明された共振器振動振幅に基づく、この例示的な実施形態の場合、設計の目的は、センサ/ターゲット相互作用から生じる、共振器抵抗(インピーダンス) $R_p = L/(C \cdot R_s)$ における変化の尺度として、共振器振動振幅(共振状態)の変化を測定することである。負のインピーダンス(抵抗)を制御するための方法は、 $g_m \cdot R_s = 1$ に従って g_m を調整することであり、そのため、 $-1/g_m$ は、共振器振動振幅を定常状態振動で実質的に一定に維持するために必要な負の抵抗(インピーダンス)を表し、(a) $g_m = g_{m_high}$ のとき、共振器振動振幅は増加し、(b) $g_m = g_{m_low}$ のとき、共振器振動振幅は減少し、結果として、(c)定常状態振動で、 g_m は事実上 $1/R_p$ に等しく、共振器振動振幅は実質的に一定である(典型的には、負のインピーダンス制御ループ帯域幅は、共振周波数より実質的に小さくなることに留意されたい)。すなわち、この例示的な実施形態の場合、負のインピーダンス(共振器振動振幅)制御ループは、共振器振動振幅を定常状態振動で実質的に一定に維持するために、離散 $g_{m_low}/high$ 間で切り替える。

【0037】

代替の機能的実施形態において、負のインピーダンスステージ320は、定数 g_m を備えるトランスアドミタンス増幅器、及び、負のインピーダンス制御信号(正のフィードバック)によって制御される離散電流駆動レベル間で切り替わる2つ又はそれ以上の離散電流駆動レベルを提供する離散励磁電流源を用いて実装され得る。制御された負のインピーダンスが離散電流駆動に基づいて実装される例示的な実施形態が、図5及び図6に関連して説明される。

【0038】

離散 g_m 制御信号339は、離散 $g_{m_low}/high$ 制御ビットストリームのデジタルフィルタリングによるなど、センサ応答に対応するデジタルセンサ読み出しに変換され得る。すなわち、負のインピーダンス制御ループは、センサ応答データが、共振器センサ50に提示される時間平均負のインピーダンスに対応するように、負のインピーダンス($g_{m_low}/high$)制御信号139に基づいて、時間的に順次印加される所定数の離散の負のインピーダンスを生成することに基づく。

【0039】

図3における例示的な実施形態の場合、離散 g_m 制御は、図2に図示された実施形態における可変 g_m 制御とは対照的に、2つのレベルの g_m 制御、 $g_{m_low}/high$ で図示される。設計改変により、離散 g_m 制御は、例えば、精度を向上させるため及び量子化ノイズを減少させるために、2つより多くのレベル数で実装され得る。

【0040】

図4は、クラスA又はAB増幅器構成に基づいてトランスアドミタンス増幅器423として実装される負のインピーダンスステージ420の例示的な実施形態を図示する。トランスアドミタンス増幅器423は、離散 $g_{m_low}/high$ 制御を含む。負のインピーダンスステージに関するクラスA又はAB実装の利点は、より高い高調波の生成を回避する、その高い線形性である。トランスアドミタンス増幅器423において用いられる増

10

20

30

40

50

幅器が共振器周波数よりもかなり高い帯域幅を有さなければならないことを考えれば、線形増幅器を用いて負のインピーダンスステージを実装する際の設計考慮点は電力消費である。

【0041】

図5は、負のインピーダンスステージ520及び負のインピーダンス制御ステージ530を含む、センサデータ変換器500の例示的な機能的実施形態を図示する。負のインピーダンスステージ520は、接地基準HブリッジS1/S2によって共振センサ50にインターフェースされる、クラスDトランスアドミタンス増幅器521として実装される。クラスDトランスアドミタンス増幅器521は、コンパレータ523と、電流駆動を共振センサ50（共振器51）に提供する電流源525とを含む。

10

【0042】

この例示的な実施形態の場合、電流源525は、負のインピーダンス制御ステージ530からの離散 $g_{m_low/high}$ 制御信号539によって制御される離散電流駆動レベル（ I_{min}/I_{max} ）間の切り替えによって、接地基準HブリッジS1/S2を介して離散（ I_{min}/I_{max} ）励磁電流駆動を提供する。コンパレータ523は、センサ共振器51の正の側を励磁電流源525に接続し、共振器51の負の側を接地に接続する、Hブリッジを整流する。共振器51が極性を変えると、コンパレータはそれに応じて、共振器51の正の側を、コンパレータ523への非反転入力（正のフィードバック）として、反転入力を接地に維持するようにHブリッジのS1/S2の状態を変える。

【0043】

20

離散電流源525の電流パルス出力の時間平均は、コンパレータ523への入力（反転/非反転）に印加される場合の共振器51から出力される共振器振動振幅に対応する。電流源525が I_{max} 電流駆動を出力するとき、共振器振動振幅は増加し、電流源525が電流駆動 I_{min} を出力するとき、共振振動振幅は減少する。

【0044】

したがって、共振器極性を制御することで、正のフィードバック（コンパレータ523への非反転入力）が制御され、結果として制御された負のインピーダンスが共振器51に提示されることになる。この制御された負のインピーダンスは、定常状態振動を維持するために共振インピーダンス53（ R_s ）に対処する。基本的に、 I_{min}/I_{max} は、クラスDトランスアドミタンス増幅器の利得を表す。

30

【0045】

トランスアドミタンス増幅器に関するクラスD増幅器実装の利点には、低電力クラスD動作が含まれる。接地基準Hブリッジドライバの利点には、アクティブなコモンモードレギュレーションをなくすことによる節電が含まれる。

【0046】

図6は、インダクタンス-デジタル変換器（LDC）600にインターフェースされるLC共振センサ50を含む、誘導感知のために構成される共振センサシステム60の例示的な実施形態を図示する。LC共振センサは、LC共振器51と、 R_s によって表される共振インピーダンス53とを含む。

【0047】

40

LDC600は、ターゲットに対する共振センサ50の応答をセンサ応答データとしてキャプチャ/変換する、制御された負のインピーダンスを備える共振インピーダンス感知を実装する。LDC600は、負のインピーダンスステージ620及び負のインピーダンス制御ステージ630を含む。図1Aに関連して説明したように、負のインピーダンスステージ620、負のインピーダンス制御ステージ630、及び負のインピーダンス制御信号639は、共振センサ50（共振器51）に提示される負のインピーダンスを制御する負のインピーダンス制御ループを確立する。この負のインピーダンス制御ループは、共振センサ50（共振器51）を含む。

【0048】

LDC600は、共振状態（共振器振動振幅）における変化としてターゲット相互作用

50

から生じる共振インピーダンス (R_s) における変化を検出し、共振器振動振幅における変化を相殺するため及び定常状態振動を維持するために、共振センサに提示される負のインピーダンスを制御することによって共振インピーダンス感知を実施する。すなわち、制御された負のインピーダンスは、共振インピーダンス 53 を実質的に相殺し、定常状態振動に対応する共振状態 (共振器振動振幅及び共振周波数) を維持する。定常状態振動を維持するために共振インピーダンスを打ち消す制御された負のインピーダンスは、ターゲットに対するセンサ応答に対応するセンサ応答データとして定量化される。

【0049】

LDC600 は、共振センサ 50 のターゲットとの相互作用によって生じる共振状態の共振器振動振幅構成要素における変化を検出するように構成される。負のインピーダンスステージ 620 は、クラス D の Hブリッジ (接地基準) 増幅器構成として実装される。クラス D トランスアドミタンス増幅器 621 は、コンパレータ 623 及び離散 DAC 電流駆動 625 を含む。クラス D トランスアドミタンス増幅器 621 及び負のインピーダンス制御ループは、センサ抵抗 (インピーダンス) R_s を実質的に相殺するように制御された負の抵抗 $R_p = -L / (C R_s)$ を、センサ 50 に提示するように構成され、ターゲット相互作用に起因する共振器振動振幅における変更を打ち消すことによって、共振器振動振幅 (共振状態) を定常状態振動で維持する。

【0050】

図 6 及びそれに関連付けられる説明も参照すると、離散電流源 DAC 623 を含むクラス D トランスアドミタンス増幅器 621 は、LC 共振器 51 に離散 I_{min} / I_{max} 励磁電流駆動を提供するように制御される。DAC 電流源 625 は、負のインピーダンス制御ステージ 630 における量子化器 637 からの離散 $gm_low / high$ 制御信号 639 に応答して、接地基準 Hブリッジ S1 / S2 を介して離散 (I_{min} / I_{max}) 励磁電流駆動を提供する。コンパレータ 623 は、センサ共振器 51 の正側を DAC 電流源 625 に接続し、センサ共振器 51 の負側を接地に接続する、正のフィードバックを提供するように Hブリッジを整流する。

【0051】

DAC 電流源 625 からの離散 I_{max} / I_{min} 電流駆動は、負のインピーダンス制御ループにおいてループフィルタとして働く共振センサ 50 によって時間平均される。すなわち、DAC 電流源 625 の電流パルス出力の時間平均は、コンパレータ 623 への入力 (反転 / 非反転) に印加される場合の、共振器 51 からの出力の共振器振動振幅に対応する。

【0052】

R_{pmin} 及び R_{pmax} は、共振センサ 50 に関する動作の範囲を特定するために用いられ得る。例示の設計改変として、 gm 制御の量子化を、 gm 制御信号 639 の量子化における対応する増加と共に、2 より多いレベルまで増加させることが可能である。

【0053】

共振センサ 50 は加算ノードで負のインピーダンス制御ループに含められ、ここで、センサの正性共振インピーダンスが、LDC600 の制御ループの負のインピーダンスと比較される。この構成の利点には、(a) 相関されるパラメータの測定ではなく、共振インピーダンスの直接測定を可能にすること、(b) 例えば、センサの一定共振器振動振幅が、センサによって生成される磁束の一定振幅を暗示するため、磁気コアからの非線形性が実質的に除外されること、(c) 制御ループの遷移応答がセンサの遷移応答を追跡するため、LDC の遷移応答をセンサ用に最適化できること、及び、(d) LDC (クラス D) からの量子化ノイズがセンサによって減衰されることが含まれる。

【0054】

クラス D 増幅器 621 は、接地基準 Hブリッジ入力インターフェースを備える、クラス D OTA (演算トランスコンダクタンス増幅器) によって実装され得る。負のインピーダンスステージをトランスアドミタンス増幅器として実装することで、負のインピーダンスが、トランジスタと比べて低い温度係数を有するレジスタによって定義され得、それに

10

20

30

40

50

よって温度ドリフトが緩和される。

【0055】

負のインピーダンス制御ステージ630は、積分 R_{int}/C_{int} を含む積分器631を用いて実装される。積分器631は、DAC電流源625によって供給される共振器電流駆動に追加のフィルタリングを提供する。この追加のフィルタリングは、設計上の選択であるが、量子化ノイズを低減させるために有利である。

【0056】

共振器振動振幅電圧632は、共振器51のローディングを回避するために、バッファ633を介して、負のインピーダンス制御ステージ630及び積分器631に入力される。この検出された共振器振動振幅電圧は、 R_{int} によって電流に変換され、基準電流633（図1Aの V_{ref} に対応する）によって減算される。その結果の共振器振動振幅電流は、積分器631及び R_{int}/C_{int} によって積分される。

10

【0057】

共振センサキャパシタ及び積分キャパシタ C_{int} によって導入される極を補償するために用いられる、共振振幅電圧入力から積分器へのゼロを構成することによって安定性を強化するために、安定性制御回路635が含まれる。

【0058】

積分器631からの積分出力は、安定性制御回路635のフィードフォワード出力と加算636され、その結果が、量子化器637によって $gm_{low/high}$ （インピーダンス）制御信号639として量子化される。量子化された $gm_{low/high}$ 制御信号は、DAC電流駆動625に入力されて、共振センサ50に注入される励磁電流 I_{min}/I_{max} を生成する。

20

【0059】

量子化器637は、離散 $gm_{low/high}$ 制御信号639を出力する。量子化器637は、コンパレータ出力レベルが $gm_{low/high}$ アドミタンスレベルに対応するコンパレータとして実装され、トランスアドミタンス増幅器621は $gm_{low/high}$ アドミタンスレベルに対して、すなわち、 I_{min}/I_{max} 注入共振器電流に対して構成される。

【0060】

量子化器637から出力されるインピーダンス（ $gm_{low/high}$ ）制御信号639は、負のインピーダンスステージ620の制御された負のインピーダンスが、共振センサ50の共振インピーダンス（ R_p ）53を実質的に相殺し、また、出力共振器振動振幅を実質的に一定に維持するように、検出された共振器振動振幅に基づいて負のインピーダンス制御ステージ630によって生成される。結果として、インピーダンス制御信号639は、共振器振動振幅を実質的に一定（定常状態振動振幅）に維持するために必要な負のインピーダンスを表すという点において、ターゲットに対する共振センサ50の応答に対応する。

30

【0061】

HブリッジS1/S2を整流するために用いられる、クラスDトランスアドミタンス増幅器621内のコンパレータ623の出力624は、共振器周波数（定常状態振動での共振周波数）に対応する。すなわち、コンパレータ出力624は、共振器周波数の測定（開ループ）を提供する。また、上記で述べたように、センサ共振器の共振状態は、共振器振動振幅及び周波数によって特徴付けられる。

40

【0062】

センサ/ターゲット相互作用に起因する共振器振動振幅の変化から導出される、定常状態振動での共振状態を維持するために必要な制御された負のインピーダンスは、負のインピーダンス制御ループの出力としてLDC600から入手可能なセンサ応答データに対応する。すなわち、負のインピーダンスステージ620によって共振センサに提示される負のインピーダンスを制御する負のインピーダンス制御信号639は、制御された負のインピーダンスを定量化するセンサ応答データを構成する。

50

【 0 0 6 3 】

共振周波数 6 2 4 は、共振センサ応答（例えば、温度補償を実施すること）の処理及び決定において用いられ得る追加のセンサ応答データを提供する。

【 0 0 6 4 】

本発明に従った共振インピーダンス感知の実施形態に関する応用例は、（ a ）ターゲットに対するセンサの応答がセンサに対するターゲットの軸位置及び／又は方位に対応する、軸位置感知、（ b ）センサ応答が、センサによって生成される磁束に曝されるターゲット領域の小部分に依存する、横位置感知、及び、（ c ）センサ応答が磁気回路の磁気インピーダンスの変調に基づく、磁気インピーダンス変調を含み得る。

【 0 0 6 5 】

本発明に従った共振インピーダンス感知の利点には、（ a ）精度、即ち、センサ／共振器共振インピーダンスが、相関されるパラメータではなく、直接測定されるため、より高い精度が達成されること、（ b ）温度独立性、即ち、マッチングする負のインピーダンスが温度独立性であるため、共振センサのドリフトのみが残ること、及び（ c ）高密度 C M O S における統合、即ち、このセンサ／共振器インピーダンス感知方法が、低い一定の共振振幅を用いて適用され得、高密度 C M O S での実装が可能となり、また、誘導性（渦電流）感知応用例の場合に特に有利な、共振センサの高度な信号処理及び共振センサの温度補正が可能となることが含まれる。

【 0 0 6 6 】

図 7 A 及び 7 B は、特許請求される発明の態様に従った、共振インピーダンス感知のための例示的応用例を図示する。図 7 A は、ターゲット 7 0 1 に対する共振センサ 5 0 の応答がこのターゲットに対するこの共振センサの軸（ z 軸）位置に基づく、例示的な共振インピーダンス感知応用例を図示する。図 7 B は、1 つまたは複数のセンサ（コイル） 5 0 a 及び 5 0 b を備える共振センサ 5 0 の、1 つまたは複数のそれぞれのターゲット 7 0 3 a 及び 7 0 3 b に対する応答が、それぞれのターゲットに対する共振センサの横（ x y 軸）位置に基づく、例示的な共振インピーダンス感知応用例を図示する。各応用例において、ターゲットに対する共振センサの応答は、センサ - データ変換器（図 6 に図示された L D C 6 0 0 など）によりセンサ応答データとしてキャプチャ／変換され得、このセンサ応答データは、変換器によって生成される制御された負のインピーダンスに対応し、そのためターゲットに対するセンサ応答を表す。

【 0 0 6 7 】

当業者であれば、本発明の特許請求の範囲内で、説明された実施形態に対する改変が成され得ること、及び多くの他の実施形態が可能であることが理解されよう。

【図 1 A】

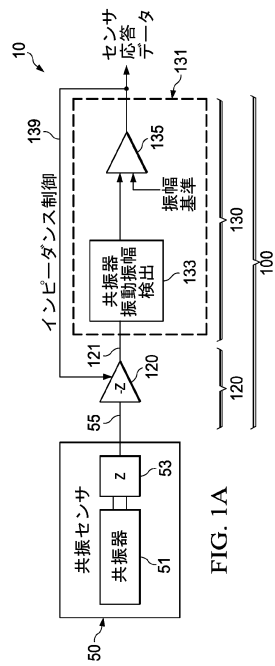


FIG. 1A

【図 1 B】

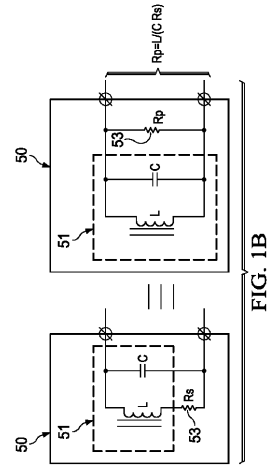


FIG. 1B

【図 1 C】

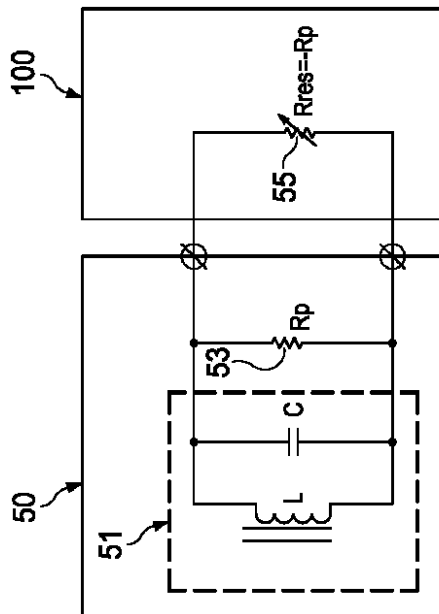


FIG. 1C

【図 2】

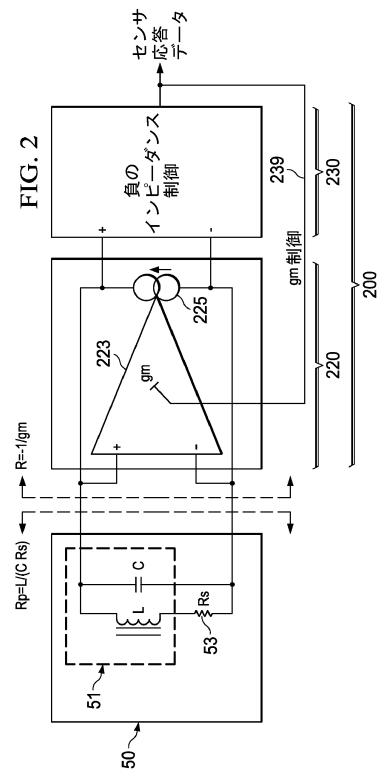
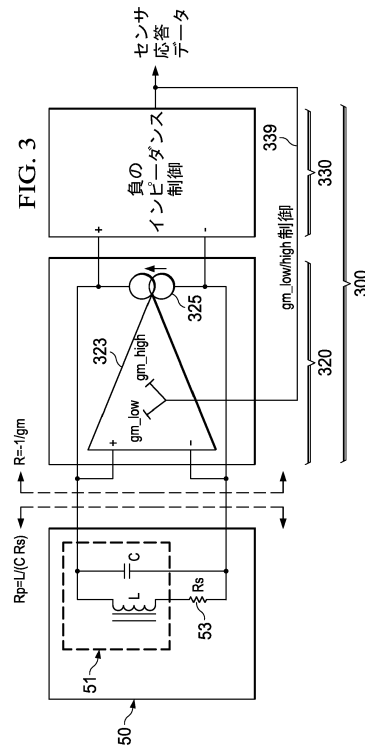
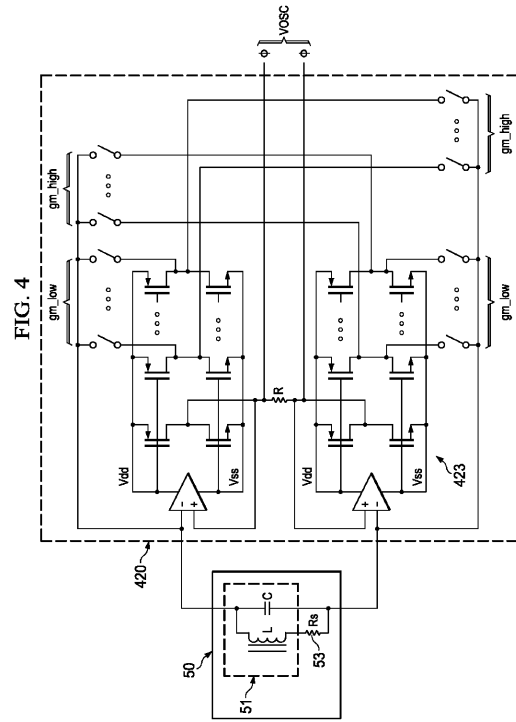


FIG. 2

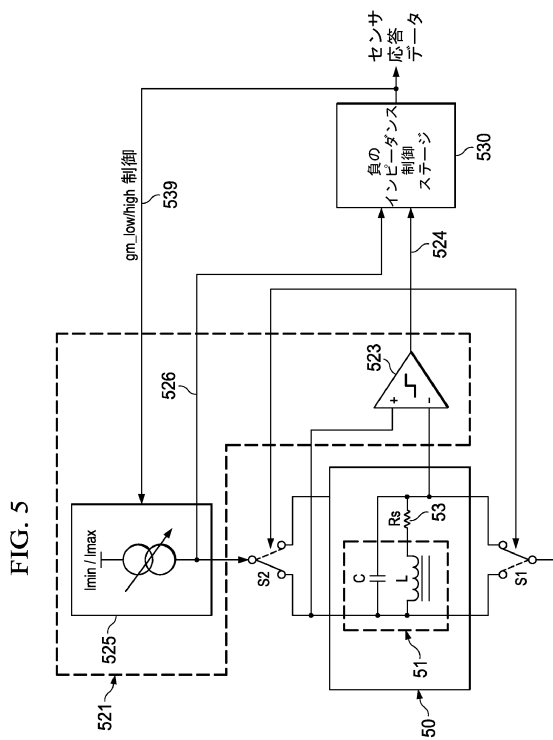
【図 3】



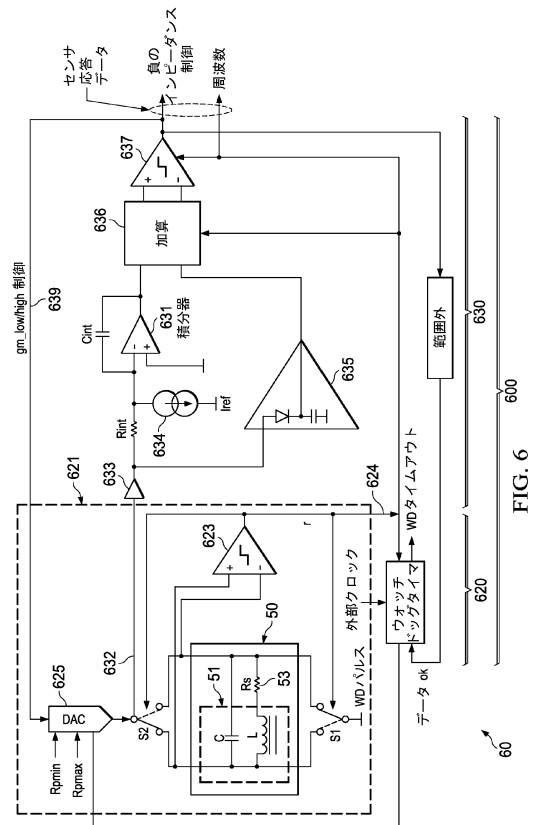
【図 4】



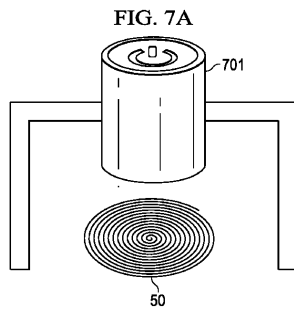
【図 5】



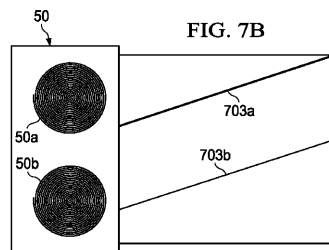
【図 6】



【 7 A 】



【 7 B 】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 61/772,324
(32)優先日 平成25年3月4日(2013.3.4)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/838,084
(32)優先日 平成25年6月21日(2013.6.21)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/877,759
(32)優先日 平成25年9月13日(2013.9.13)
(33)優先権主張国 米国(US)

- (72)発明者 ジョージ ピー リーツマ
アメリカ合衆国 94061 カリフォルニア州 レッドウッド シティ, ブエナビスタ 5
11

審査官 吉田 久

- (56)参考文献 特開2007-93573(JP,A)
特表2001-521703(JP,A)
特開2009-94994(JP,A)
特開2010-223962(JP,A)
特表2010-515048(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0316560(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01R 27/00-27/32
H03K 3/00-3/22