

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6410827号
(P6410827)

(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.	F I
GO 1 B 7/00 (2006.01)	GO 1 B 7/00 I O 1 E
GO 1 R 27/02 (2006.01)	GO 1 R 27/02 A

請求項の数 20 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2016-544105 (P2016-544105)	(73) 特許権者	390020248
(86) (22) 出願日	平成26年12月31日 (2014.12.31)		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2017-502302 (P2017-502302A)		東京都新宿区西新宿六丁目24番1号
(43) 公表日	平成29年1月19日 (2017.1.19)	(73) 特許権者	507107291
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/073071		テキサス インスツルメンツ インコーポ
(87) 国際公開番号	W02015/103429		レイテッド
(87) 国際公開日	平成27年7月9日 (2015.7.9)		アメリカ合衆国 テキサス州 75265
審査請求日	平成29年12月28日 (2017.12.28)		-5474 ダラス メール ステーショ
(31) 優先権主張番号	61/922,716		ン 3999 ビーオーボックス 655
(32) 優先日	平成25年12月31日 (2013.12.31)		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	14/585,455		弁理士 片寄 恭三
(32) 優先日	平成26年12月30日 (2014.12.30)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 負インピーダンス制御ループを備えた共振インピーダンス感知

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

共振器発振振幅と周波数とにより特徴付けられ、共振において、感知された状態にตอบสนองして変化する共振インピーダンス（損失係数）により特徴付けられる共振器を備える共振誘導性感知に適したインダクタンス・デジタル変換（IDC）回路であって、前記IDC回路が、

負インピーダンス回路要素であって、

共振器発振電圧を受信し、前記共振器発振周波数に同期化される周波数を有するD級スイッチング出力D_{clk}を提供するD級コンパレータと、

制御された負のインピーダンスに対応するディスクリートループ制御信号に基づいてディスクリート電流レベルを有するディスクリート駆動電流を出力するディスクリート電流源と、

前記ディスクリート電流源を前記共振器にインターフェースするHブリッジ回路要素であって、前記ディスクリート駆動電流の時間平均が共振器発振振幅に対応するように、前記ディスクリート駆動電流を前記共振器発振電圧と同期化するようにD_{clk}により制御される、前記Hブリッジ回路要素と、

を含む、前記負インピーダンス回路要素と、

前記共振器をループフィルタとして組み込むループ制御回路要素であって、

D_{clk}クロックによりクロックされる振幅サンプリング回路要素であって、前記共振器発振振幅を振幅サンプルに変換する、前記振幅サンプリング回路要素と、

10

20

D__クロックによりクロックされる出力コンパレータであって、前記制御された負のインピーダンスが共振インピーダンスを実質的に相殺し、それにより、定常状態発振に対応する実質的に一定の共振器発振振幅を保つように、前記振幅サンプルと振幅基準との比較に基づいて前記ディスクリットループ制御信号を出力する、前記出力コンパレータと、を含む、前記ループ制御回路要素と、を含む、I D C 回路。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の I D C 回路であって、
前記出力コンパレータが、2 レベル g m__低 / 高ループ制御信号を出力するシングルビットコンパレータであり、
前記ディスクリット電流源が、前記 g m__低 / 高ループ制御信号に基づいて g m__低及び g m__高駆動電流レベルを出力する、回路。

10

【請求項 3】

請求項 1 に記載の I D C 回路であって、
前記ディスクリット電流源が電流 D A C である、回路。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の I D C 回路であって、
前記振幅サンプリング回路要素が、
前記共振器発振振幅に対応する検出された振幅信号を生成する振幅検出回路要素と、
前記検出された振幅信号をサンプリングし、前記振幅サンプルを提供するサンプル / ホールド回路要素と、
を含む、回路。

20

【請求項 5】

請求項 4 に記載の I D C 回路であって、
前記ループ制御回路要素が、前記振幅検出回路要素への入力のために前記共振器発振振幅をバッファするように構成されるバッファ回路を更に含む、回路。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の I D C 回路であって、
前記ディスクリットループ制御信号に対応するセンサ応答データを前記制御された負のインピーダンスを表すものとして出力するセンサ出力回路要素を更に含む、回路。

30

【請求項 7】

請求項 6 に記載の I D C 回路であって、
D__c l k を共振器発振周波数に対応する周波数信号に変換する周波数推定回路要素を更に含み、
前記センサ出力回路要素が、前記ディスクリットループ制御信号と前記周波数信号とに対応するセンサ応答データを出力する、回路。

【請求項 8】

共振器発振振幅と周波数とにより特徴付けられ、共振において、感知された状態にตอบสนองして変化する共振インピーダンス（損失係数）により特徴付けられる共振器を備える共振誘導性感知に適したインダクタンス・デジタル変換（I D C）回路であって、前記 I D C 回路が、

40

制御された負のインピーダンスに対応するディスクリットループ制御信号に基づくディスクリット電流レベルを備えるディスクリット駆動電流で前記共振器を駆動する負インピーダンス回路要素と、

前記共振器をループフィルタとして組み込むループ制御回路要素であって、前記制御された負のインピーダンスが共振インピーダンスを実質的に相殺し、それにより、定常状態発振に対応する実質的に一定の共振器発振振幅を維持するように、共振器発振振幅に基づいて前記ディスクリットループ制御信号を生成する、前記ループ制御回路要素と、を含む、

前記負インピーダンス回路要素が、

50

共振器発振電圧を受信し、前記共振器発振周波数に同期化される周波数を有するD級スイッチング出力D_c l kを提供するD級コンパレータと、

前記ディスクリートループ制御信号を前記ディスクリート駆動電流に変換するディスクリート電流源と、

前記ディスクリート電流源を前記共振器にインターフェースするHブリッジ回路要素であって、前記ディスクリート駆動電流の時間平均が前記共振器発振振幅に対応するように、前記ディスクリート駆動電流を前記共振器発振電圧と同期化するようにD_c l kにより制御される、前記Hブリッジ回路要素と、

を含み、

前記ループ制御回路要素が、

D__クロックによりクロックされ、前記共振器発振振幅を振幅サンプルに変換する振幅サンプリング回路要素と、

D__クロックによりクロックされ、前記振幅サンプルと振幅基準との比較に基づいて前記ディスクリートループ制御信号を出力する出力コンパレータと、

を含む、回路。

【請求項9】

請求項8に記載のIDC回路であって、

前記出力コンパレータが、2レベルgm__低/高ループ制御信号を出力するシングルビットコンパレータであり、

前記ディスクリート電流源が、前記gm__低/高ループ制御信号に基づいてgm__低及びgm__高駆動電流レベルを出力する、回路。

【請求項10】

請求項8に記載のIDC回路であって、

前記ディスクリート電流源が電流DACである、回路。

【請求項11】

請求項8に記載のIDC回路であって、

前記振幅サンプリング回路要素が、

前記共振器発振振幅から検出された振幅信号を生成する振幅検出回路要素と、

前記検出された振幅信号をサンプリングし、前記共振器発振振幅サンプルを提供するサンプル/ホールド回路要素と、

を含む、回路。

【請求項12】

請求項11に記載のIDC回路であって、

前記ループ制御回路要素が、前記振幅検出回路要素への入力のために前記共振器発振振幅をバッファするバッファ回路を更に含む、回路。

【請求項13】

請求項8に記載のIDC回路であって、

前記ディスクリートループ制御信号に対応するセンサ応答データを前記制御された負のインピーダンスを表すものとして出力するセンサ出力回路要素を更に含む、回路。

【請求項14】

請求項13に記載のIDC回路であって、

D__c l kを共振器発振周波数に対応する周波数信号に変換する周波数推定回路要素を更に含む、

前記センサ出力回路要素が、前記ディスクリートループ制御信号と前記周波数信号とに対応するセンサ応答データを出力する、回路。

【請求項15】

共振誘導性感知に適した誘導性感知システムであって、

共振器発振振幅と周波数とにより特徴付けられ、共振において、感知された状態にตอบสนองして変化する共振インピーダンス（損失係数）により特徴付けられる共振器と、

前記共振器に結合されるインダクタンス・デジタル変換ユニットと、

10

20

30

40

50

を含み、

前記インダクタンス・デジタル変換ユニットが、

負のインピーダンス回路要素であって、

共振器発振電圧を受信し、前記共振器発振周波数に同期化される周波数を有するD級スイッチング出力D_{clk}を提供するD級コンパレータと、

制御された負のインピーダンスに対応するディスクリートループ制御信号に基づいてディスクリート電流レベルを備えるディスクリート駆動電流を出力するディスクリート電流源と、

前記ディスクリート電流源を前記共振器にインターフェースするHブリッジ回路要素であって、前記ディスクリート駆動電流の時間平均が共振器発振振幅に対応するように、前記ディスクリート駆動電流を前記共振器発振電圧と同期化するようにD_{clk}により制御される、前記Hブリッジ回路要素と、

を含む、前記負のインピーダンス回路要素と、

前記共振器をループフィルタとして組み込むループ制御回路要素であって、

D_{clk}によりクロックされ、前記共振器発振振幅を振幅サンプルに変換する振幅サンプリング回路要素と、

D_{clk}によりクロックされる出力コンパレータであって、前記制御された負のインピーダンスが共振インピーダンスを実質的に相殺し、それにより、定常状態発振に対応する実質的に一定の共振器発振振幅を維持するように、前記振幅サンプルと振幅基準との比較に基づいて前記ディスクリートループ制御信号を出力する、前記出力コンパレータと

を含む、前記ループ制御回路要素と、

を含む、システム。

【請求項16】

請求項15に記載のシステムであって、

前記出力コンパレータが、2レベルg_m_低/高ループ制御信号を出力する単一ビットコンパレータであり、

前記ディスクリート電流源が、前記g_m_低/高ループ制御信号に基づいてg_m_低及びg_m_高駆動電流レベルを出力する電流DACを含む、システム。

【請求項17】

請求項15に記載のシステムであって、

前記振幅サンプリング回路要素が、

前記共振器発振振幅から検出された振幅信号を生成する振幅検出回路要素と、

前記検出された振幅信号をサンプリングし、前記共振器発振振幅サンプルを提供するサンプル/ホールド回路要素と、

を含む、システム。

【請求項18】

請求項17に記載のシステムであって、

前記ループ制御回路要素が、前記振幅検出回路要素への入力のために前記共振器発振振幅をバッファするバッファ回路を更に含む、システム。

【請求項19】

請求項15に記載のシステムであって、

前記制御された負のインピーダンスを表すものとして前記ディスクリートループ制御信号に対応するセンサ応答データを出力するセンサ出力回路要素を更に含む、システム。

【請求項20】

請求項19に記載のシステムであって、

D_{clk}を共振器発振周波数に対応する周波数信号に変換する周波数推定回路要素を更に含む、

前記センサ出力回路要素が、前記ディスクリートループ制御信号と前記周波数信号とに対応するセンサ応答データを出力する、システム。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本願は、概して誘導性センサに関し、特に、位置、近接度、又は物理的状态又は状況を感知する際において用いられ得るなどの、共振誘導センサ及び感知に関連する。

【0002】

共振センサは、共振状態（共振周波数及び振幅）におけるオペレーションのために構成される共振器を含む。センサ電子機器は、共振（定常状態発振）を保つために共振器発振電圧と同期化されたAC励起電流で共振器を駆動し、共振器インピーダンス（直列／並列抵抗 R_s / R_p など）によって表される共振器損失係数を克服する。例えば、誘導性感知の場合、共振器は、磁気感知フィールドに投じられる共振で動作される誘導性感知コイルを含む。

10

【0003】

共振感知は、例えば、導電性ターゲットに応答する共振器インピーダンスの変化に起因する共振器振幅及び周波数の変化により明示化される、共振状態の変化に基づく。例えば、誘導性感知の場合、共振は、導電性ターゲットに関連付けられる渦電流効果により生じるなど、誘導性感知コイルからの投じられた磁気フラックスエネルギー出力における蓄積又は損失により影響を受ける。このセンサ応答は、共振器インピーダンス（損失係数 R_s / R_p ）における変化として明示化される。

【発明の概要】

20

【0004】

説明される例は、位置、近接度、又は物理的状态又は状況を感知するためなど、共振センサを用いる感知の問題に向けられている。説明される例は、ループフィルタとして共振器を組み込み、D級コンパレータで実装されるD級負インピーダンス段と、D級コンパレータにより同期化される出力コンパレータで実装される制御ループ段とを含む、負インピーダンス制御ループを備えた共振インピーダンス感知のための装置及び方法を含む。

【0005】

例示の態様に従って、共振インピーダンス感知システムが、共振器とインダクタンス・デジタル変換（IDC）ユニットとを含む。共振器は、共振器発振振幅及び周波数により、及び感知された状態に応答して変化する共振インピーダンス（損失係数）による共振で、特徴付けられる。IDC回路は、負インピーダンス回路要素及びループ制御回路要素を含む。

30

【0006】

負のインピーダンス回路要素は、D級コンパレータと、Hブリッジ回路要素を介して共振器にインターフェースされるディスクリート電流源とを含む。D級コンパレータは、共振器発振電圧を受信するように、及び共振器発振周波数に同期化される周波数を備えたD級スイッチング出力 D_clk を提供するように構成される。ディスクリート電流源は、制御された負のインピーダンスに対応するディスクリートループ制御信号に基づくディスクリート電流レベルのディスクリート駆動電流を出力するように構成される。Hブリッジ回路要素は、ディスクリート駆動電流の時間平均が共振器発振振幅に対応するように、ディスクリート駆動電流を共振器発振電圧と同期化するように D_clk により制御される。

40

【0007】

ループ制御回路要素は、共振器をループフィルタとして組み込み、振幅サンプリング回路要素及び出力コンパレータを含み、振幅サンプリング回路要素及び出力コンパレータはいずれも D_clk によりクロックされる。振幅サンプリング回路要素は、共振器発振振幅を振幅サンプルに変換するように構成される。出力コンパレータは、制御された負のインピーダンスが共振インピーダンスを実質的に相殺し、それにより定常状態発振に対応する共振器発振振幅を実質的に一定に保つように、振幅サンプル及び振幅基準の比較に基づいてディスクリートループ制御信号を出力するように構成される。

50

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】負のインピーダンスで励起電流を駆動するD級負インピーダンス段を含むインダクタンス・デジタル（IDC）コンバータにより駆動され、共振器発振振幅に応答する同期化された制御ループを備え、ループフィルタとして共振器を含む、LC共振器を含む共振誘導センサシステムの例示の実施例を図示する。

【0009】

【図2】電流DACを備えるD級負インピーダンス段を含むインダクタンス・デジタルコンバータ（IDC）により駆動されるLC共振器（損失係数 R_s を有する）を含む共振誘導センサシステムの例示の実施例を図示し、電流DACが、共振器発振電圧に基づいてD級コンパレータにより制御される接地基準のHブリッジを介して共振器にインターフェースされ、共振誘導センサシステムが、D級コンパレータにより同期化される出力コンパレータを備え、検出された共振器発振振幅に基づいてディスクリートループ制御信号を提供するループ制御段を含み、共振器インピーダンス（損失係数 R_s ）を平衡化させるため及び一定の共振器発振振幅を維持するために負の抵抗を制御する。

【発明を実施するための形態】

【0010】

例示の実施例及び応用例は、負インピーダンス制御ループを備えた共振インピーダンス感知の種々の特徴及び利点を達成し、負インピーダンス制御ループは、ループフィルタとして共振器を組み込み、D級コンパレータで実装されるD級負インピーダンス段と、D級コンパレータによりクロックされる出力コンパレータで実装される制御ループ段とを含む。「D級コンパレータ」という用語は、D級機能性を実装する際に用いられるコンパレータを意味し、MOSFETスイッチを駆動するD級モードで動作するコンパレータを意味しない。

【0011】

概略を述べると、共振インピーダンス感知システムの例示の実施例が、D級負インピーダンス段とループ制御段とを含むインダクタンス・デジタル変換ユニットを含む。D級コンパレータは、共振器発振電圧を受信し、共振器発振周波数と同期化されるD級スイッチング出力を生成する。ディスクリート電流源（電流DACなど）が、D級スイッチング出力により切り替えられるHブリッジを介して共振器を駆動し、そのため、ディスクリート駆動電流の時間平均が共振器発振振幅に対応する。共振器発振振幅に基づいて、出力コンパレータは、ディスクリートループ制御信号をディスクリート電流源に提供し、共振インピーダンスを平衡させる負インピーダンスで共振器を駆動し、それにより、定常状態発振に対応する一定の共振器発振振幅を維持する。

【0012】

例示の実施例において、共振誘導性感知システムが、IDCユニットとセンサ/共振器とを含み、センサ/共振器は、共振器発振振幅及び周波数により、及び感知された状況に応答して共振インピーダンス（損失係数）を変更することによる共振で、特徴付けられる。IDCユニットは、負インピーダンス回路要素及びループ制御回路要素を含む。負のインピーダンス回路要素は、制御された負のインピーダンスに対応するディスクリートループ制御信号に基づいてディスクリート電流レベルを有するディスクリート駆動電流で共振器を駆動するように構成される。ループ制御回路要素は、共振器をループフィルタとして組み込み、共振器発振振幅に基づいてディスクリートループ制御信号を生成するように構成され、そのため、制御された負のインピーダンスが共振インピーダンスを実質的に相殺し、それにより、定常状態発振に対応する共振器発振振幅が実質的に一定に保たれる。

【0013】

例示の実施例において、負のインピーダンス回路要素は、D級コンパレータと、Hブリッジ回路要素を介して共振器にインターフェースされるディスクリート電流源とを含む。D級コンパレータは、共振器発振電圧を受信するように、及び共振器発振周波数に同期化される周波数を有するD級スイッチング出力 D_clk を提供するように構成される。デ

10

20

30

40

50

ィスクリート電流源は、ディスクリートループ制御信号をディスクリート駆動電流に変換するように構成される。Hブリッジ回路要素は、ディスクリート駆動電流を共振器発振電圧と同期化するようにD_{clk}により制御され、そのため、ディスクリート駆動電流の時間平均は共振器発振振幅に対応する。ループ制御回路要素は、振幅サンプリング回路要素及び出力コンパレータを含み、振幅サンプリング回路要素及び出力コンパレータはいずれもD_{clk}によりクロックされる。振幅サンプリング回路要素は、共振器発振振幅を振幅サンプルに変換するように構成される。出力コンパレータは、振幅サンプル及び振幅基準の比較に基づいてディスクリートループ制御信号を出力するように構成される。

【0014】

例示の実施例において、出力コンパレータは、2レベルg_m_低/高ループ制御信号を出力するシングルビットコンパレータであり得、ディスクリート電流源は、g_m_低/高制御信号に基づいてg_m_低及びg_m_高駆動電流レベルを出力する電流DACである。振幅サンプリング回路要素は、検出された振幅信号を共振器発振振幅から生成する振幅検出回路要素と、検出された振幅信号をサンプリングし共振器発振振幅サンプルを提供するサンプル/ホールド回路要素とで実装され得る。ループ制御回路要素は更に、振幅検出回路要素への入力のため共振器発振振幅をバッファするように構成されるバッファ回路を含み得る。

【0015】

例示の実施例において、IDCは、制御された負のインピーダンスを表すものとしてディスクリートループ制御信号に対応するセンサ応答データを出力するように構成されるセンサ出力回路要素を含み得る。また、IDCは更に、D_{clk}を共振器発振周波数に対応する周波数信号に変換するように構成される周波数推定回路要素を含み得、センサ出力回路要素は、ディスクリートループ制御信号及び周波数信号に対応するセンサ応答データを出力するように構成され得る。

【0016】

図1は、共振誘導センサ100の例示の実施例を図示する。センサ100は、R_sによって表される損失係数を有するLC共振器110と、インダクタンス・デジタル(IDC)コンバータ120とを含む。損失係数R_sは、等価並列抵抗/インピーダンスR_pと同等である。

【0017】

例示の応用例において、導電性ターゲットの近接度/位置感知のためにセンサ100を用いることができる。近接する導電性ターゲット(センサ100の感知範囲内)が、共振インピーダンス(損失係数R_s/R_p)における変化を引き起こし得、これはIDC120により検出される。

【0018】

IDC120は、共振器の発振周波数と同期化されたAC励起電流で共振器110を駆動する。IDC120は、負インピーダンス段121及びループ制御段123を含み、ローパスループフィルタとして共振器110を含む負インピーダンス制御ループを確立する。IDC負インピーダンス制御ループは、共振器発振振幅を一定(定常状態発振)に保つために共振器110を負インピーダンスで駆動する。

【0019】

負インピーダンス段121は、共振器発振電圧と同期化された、ループ制御された負のインピーダンスを有する共振器励起電流で駆動する。ループ制御段123は、共振器発振振幅(115)を監視し、共振器発振振幅を一定に保つために負インピーダンスを制御するフィードバックループ制御信号129を負インピーダンス段121に提供する。一定の共振器発振振幅が定常状態発振に対応し、負のインピーダンス/抵抗が、共振器インピーダンス/抵抗(R_s/R_p損失係数)を平衡化する。

【0020】

負インピーダンス段121は、制御されたトランスアドミッタンス(g_m)を有するトランスアドミッタンス増幅器122として実装され得る。トランスアドミッタンス増幅器

10

20

30

40

50

122は、共振器発振電圧（トランスアドミッタンス増幅器への入力）で同期化された励起／駆動電流で共振器110を駆動し、負インピーダンスが、ループ制御段123からのフィードバック g_m __アドミッタンスループ制御信号129により制御される。

【0021】

ループ制御段123は、増幅器124及び整流器126によって表され得る。増幅器124は、整流された共振器発振振幅115A及び振幅基準124Aに基づいて g_m __アドミッタンスループ制御信号129を提供する。つまり、ループ制御123は、共振器発振振幅115 / 115Aにตอบสนองして、増幅器122の g_m （アドミッタンス）を変調／調整するために g_m __振幅制御信号129を生成し、共振器振幅を一定に保つために負インピーダンスを制御する。

10

【0022】

IDC120は、負インピーダンス（ $1/R_p$ 、ここで、 $R_p = L / (C \times R_s)$ ）を制御する g_m __振幅ループ制御信号129に対応するセンサ応答データを出力する。センサ応答データは、近接導電性ターゲットなどに起因する、共振インピーダンス（ R_s / R_p ）の変化に対応する負インピーダンスの変化を定量化する。

【0023】

図2は、共振誘導センサ200の例示の実施例を図示する。センサ200は、 R_s によって表される損失係数を有するLC共振器210、及びインダクタンス・デジタル（IDC）コンバータ220を含む。損失係数 R_s は、等価並列抵抗／インピーダンス R_p と同等である。

20

【0024】

例示の応用例において、導電性ターゲットの近接度／位置感知のためにセンサ200を用いることができる。近接する導電性ターゲット（センサ100の感知範囲内）が、共振インピーダンス（損失係数 R_s / R_p ）における変化を起こし得、これはIDC220により検出される。

【0025】

IDC220は、共振器210を、共振器発振電圧と同期化される（即ち、共振状態で動作する共振器の発振周波数に同期化される）AC励起電流で駆動する。IDC220は、近接導電性ターゲットなどに起因する、共振インピーダンス（ R_s / R_p ）の変化により生じる共振器210の共振状態の変化を検出する、共振器210をローパスループフィルタとして含む負インピーダンス制御ループを確立する。

30

【0026】

IDC220は、D級負インピーダンス段221及びループ制御段223を含む。D級負インピーダンス段221は、D級コンパレータ232で実装される。ループ制御段223は、D級コンパレータ232からのD級スイッチング出力（ D_clk ）と同期化される（によりクロックされる）出力コンパレータ244で実装される。

【0027】

D級負インピーダンス段221は、D級コンパレータ232と接地基準のHブリッジS1 / S2を介して共振器210にインターフェースされる電流DAC233を含む、D級トランスアドミッタンス増幅器として実装される。共振器発振電圧はD級コンパレータ232に入力され、D級コンパレータ232は、HブリッジS1 / S2を整流するD級スイッチングパルスレインを出力し、電流DAC233（Hブリッジを介する入力）からの駆動／励起電流を共振器発振電圧（D級コンパレータへの入力）と同期化する。

40

【0028】

D級コンパレータ232及びHブリッジは、駆動電流を共振器発振電圧（共振器発振周波数）と同期化するために、D級スイッチングを提供する。D級コンパレータ232は、正のフィードバックを提供するためにHブリッジを整流し、共振器210の正側を電流DAC233に、及び共振器の負側を接地に接続する。

【0029】

D級コンパレータ232のスイッチング出力はまた、ループ制御段223（共振器発振

50

周波数と同期化される)を同期化するために用いられるD_{clk}として出力される。

【0030】

電流DAC233は、共振器210(Hブリッジを介して)をディスクリット駆動/励起電流レベル(g_m_低及びg_m_高)で駆動する。電流DAC233は、ループ制御段223からのディスクリット2レベルg_m_低/高フィードバック制御信号229により制御され、共振器210を、ループ制御段223(出力コンパレータ244)からのディスクリットg_m_低/高ループ制御信号229により制御される負インピーダンスで効果的に駆動する。電流DAC233からのディスクリット電流駆動は、共振器210により時間平均化され、これはIDC制御ループにおいてローパスループフィルタとして機能する。つまり、電流DAC233から共振器210(D級コンパレータ232により共振器発振周波数と同期化される)へのディスクリット電流レベルの時間平均は、ループ制御段223に入力される共振器発振振幅215Aに対応する。

10

【0031】

D級負インピーダンス段221は、接地基準のHブリッジインタフェースを備えた、D級OTA(オペレーショナルトランスアドミッタンス増幅器)により実装され得る。D級負インピーダンス段221をトランスアドミッタンス増幅器として実装することで、負インピーダンスが、トランジスタに関連して低温度係数を有するレジスタによって定義され得、それにより温度ドリフトが緩和される。また、D級機能性は、共振器210の電力消費を最小化する。

【0032】

20

ループ制御段223は、D級負インピーダンス段221から、共振器発振振幅215A、及びD級コンパレータ232のD_{clk}出力を受信する。共振器振幅215Aは、共振器210に負荷をかけることを避けるために1×バッファ245を介してループ制御段223に入力される。

【0033】

HブリッジS1/S2は、ループ制御段223(即ち、図1の126にあるように整流を提供すること)に入力される共振器電圧215Aを効果的に整流する。ループ制御段223をD級負インピーダンス段(いずれも、共振器発振周波数と同期化される)と同期化するためにD_{clk}が用いられる。

【0034】

30

ループ制御段223は、D_{clk}によりクロックされる出力コンパレータ244を含み、電流DAC233を制御するディスクリットフィードバック制御信号229を生成する。出力コンパレータ244は、シングル又はマルチビットの出力コンパレータであり得、シングル又はマルチビット電流DACを駆動する。例示の実施例では、出力コンパレータ244は、ディスクリットの2レベルg_m_低/高ループ(振幅)制御229信号を出力するシングルビットコンパレータであり、これは、2レベル電流DAC233を制御し、ディスクリットg_m_低及びg_m_高電流レベルを共振器210に(Hブリッジを介して)供給する。

【0035】

出力コンパレータ244は、共振器発振振幅215Aに基づいてディスクリット2レベルg_m_低/高制御信号229を生成する。振幅検出器246が、共振器振幅215Aを検出し、これは、サンプル/ホールド247によりサンプリングされ、D_{clk}によりクロックされる。D_{clk}クロック周波数での共振器振幅サンプルが出力コンパレータ244に入力される。振幅検出器246及びサンプル/ホールド247(及び1×バッファ245)は、積分及びダンプフィルタとして実装され得る。

40

【0036】

D_{clk}と同期化される出力コンパレータ244は、共振器振幅サンプル215Aを振幅電圧基準V_{ref}と比較し、ディスクリットの2レベルg_m_低/高ループ(振幅)制御信号229を生成し、これは、D級負インピーダンス段221において電流DAC233にフィードバックされる。つまり、出力コンパレータ244の出力レベルは、電流D

50

A C 2 3 3 によって共振器 2 1 0 のための駆動電流に変換される $g m_{\text{低}} / \text{高}$ アドミッタンスレベルに対応する。

【 0 0 3 7 】

$g m_{\text{低}} / \text{高}$ ループ (振幅) 制御信号 2 2 9 は、共振器インピーダンス (損失係数 R_s / R_p) を相殺するため及び共振器発振振幅を一定に保つために必要とされる負インピーダンスに対応する。つまり、ループ制御信号 2 2 9 は、それが、共振器発振振幅 (2 1 5 A) を実質的に一定に保つために必要とされる負インピーダンス ($1 / R_p$) を表すという点で、(例えば、ターゲット近接度 / 位置に対する) 共振センサ 2 1 0 の感知応答に対応する。このように、ループ制御信号 2 2 9 は、I D C 2 2 0 からセンサ応答データ出力を提供する。

10

【 0 0 3 8 】

I D C 2 2 0 は、共振器発振周波数に対応して、 D_{clk} を受信する周波数推定器 2 5 1 を含む。周波数推定器 2 5 1 は、 D_{clk} を I D C 2 2 0 からの周波数出力に変換する。

【 0 0 3 9 】

I D C 2 2 0 は、データ及び周波数を出力し、これらは、そのセンサ共振器についての定量化された情報を提供する。例えば、導電性ターゲット (渦電流感知) と共に用いられる共振誘導センサ 2 0 0 に対して、ターゲット近接度 / 位置を判定するためにこういったデータ及び / 又は周波数出力を用いることができる。

【 0 0 4 0 】

20

D 級及び出力コンパレータ 2 3 2 及び 2 4 4 を備えた、D 級負インピーダンス段 2 2 1 及びループ制御段 2 2 3 によって提供される I D C 制御ループは、積分又はその他のフィルタリングを必要としない。代わりに、それは、出力コンパレータのディスクリット出力を平均化するために共振器 2 1 0 を一次ローパスフィルタとして組み込む。D 級 / 出力コンパレータ 2 3 2 / 2 4 4 のみがアクティブ構成要素であり、センサ共振器において消失される電力への電力消費が低減される。

【 0 0 4 1 】

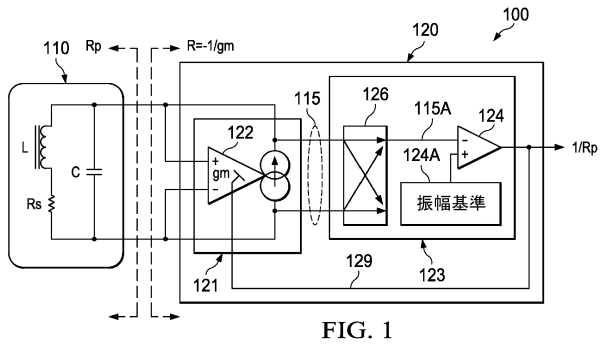
共振器 2 1 0 は、加算ノードにおいて I D C 制御ループに含まれ、ここで、共振器の正の共振インピーダンスが I D C 制御ループ (D 級負インピーダンス段 2 2 1) の負インピーダンスと比較される。この構成の利点には：(a) 共振インピーダンスを、それに相關されたパラメータを測定するのではなく、直接的に測定すること、(b) 例えば、センサの一定共振器発振の振幅が、センサにより生成される磁束の一定振幅を示唆するので、磁気コアからの非線形を抑制すること、(c) 制御ループの過渡応答がセンサの過渡応答を追跡するので、センサのための I D C 過渡応答を最適化すること、及び (d) センサによる I D C からの量子化ノイズを減衰すること、が含まれる。

30

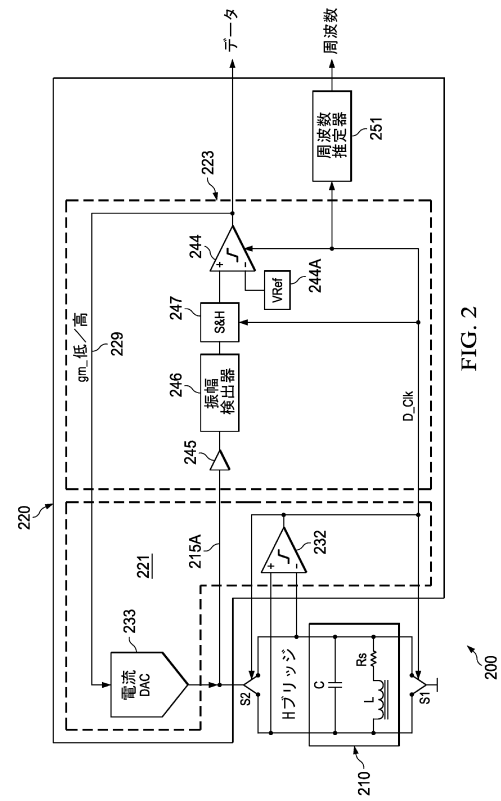
【 0 0 4 2 】

本発明の特許請求の範囲内で、説明した例示の実施例に変形が成され得、多くの他の実施例が可能である。

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(72)発明者 ジョージ ビー リーツマ

アメリカ合衆国 9 4 0 6 1 カリフォルニア州 レッドウッド シティ , ブエナヴィスタ
アヴェニュー 5 1 1

審査官 眞岩 久恵

(56)参考文献 米国特許出願公開第2 0 0 3 / 0 0 7 1 6 3 8 (U S , A 1)

特開昭5 1 - 8 2 6 5 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 B 7 / 0 0 - 7 / 3 4

G 0 1 R 2 7 / 0 0 - 2 7 / 3 2