(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5777288号
(P5777288)

(45)発行日　平成27年9月9日(2015.9.9)　(24)登録日　平成27年7月17日(2015.7.17)

(51)Int.Cl.　F I
G01R 23/07 (2006.01)　G01R 23/07
G01R 35/00 (2006.01)　G01R 35/00　G

請求項の数 9　(全 12 頁)

(21)出願番号　特願2010-65780(P2010-65780)
(22)出願日　平成22年3月23日(2010.3.23)
(65)公開番号　特開2010-223962(P2010-223962A)
(43)公開日　平成22年10月7日(2010.10.7)
審査請求日　平成25年3月25日(2013.3.25)
(31)優先権主張番号　10 2009 001 684.8
(32)優先日　平成21年3月20日(2009.3.20)
(33)優先権主張国　ドイツ(DE)

(73)特許権者　390023711
ローベルト　ボツシユ　ゲゼルシヤフト　ミツト　ベシユレンクテル　ハフツング
ROBERT　BOSCH　GMBH
ドイツ連邦共和国　シユツツトガルト　(番地なし)
Ｓｔｕｔｔｇａｒｔ，　Ｇｅｒｍａｎｙ
(74)代理人　100061815
弁理士　矢野　敏雄
(74)代理人　100112793
弁理士　高橋　佳大
(74)代理人　100135633
弁理士　二宮　浩康

最終頁に続く

(54)【発明の名称】評価回路を較正する方法および評価回路

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
電気的な発振回路（１００）の共振周波数（ｆ０）を検出する評価回路（２００）を較正する方法であって、
前記評価回路（２００）は評価コイル（２２０）と、トランスコンダクタンス増幅器（２１０）と、補償回路（２３０）と、電圧増幅器（２４０）とを有し、
前記評価コイル（２２０）は誘導的に前記電気的な発振回路（１００）と結合可能であり、
前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の出力側から前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側までフィードバック分岐（２６０）が延在しており、
前記フィードバック分岐（２６０）内に前記電圧増幅器（２４０）が配置されており、
前記評価コイル（２２０）は前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の前記フィードバック分岐（２６０）内に配置されており、
前記補償回路（２３０）は前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）に並列に配置されており、
ここで、前記補償回路（２３０）の出力側と前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の出力側の両方が、前記電圧増幅器（２４０）の入力側に接続されており、前記フィードバック分岐（２６０）が遮断されていないときには、前記電圧増幅器（２４０）の出力側は、前記補償回路（２３０）の入力側および前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側の両方に接続されており、前記フィードバック分岐（２６０）が遮断され

ているときには、前記電圧増幅器（２４０）の出力側は、電圧測定器（４１０）に接続されており、且つ、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側および前記補償回路（２３０）の入力側は交流電圧源（４２０）と接続されており、

前記フィードバック分岐（２６０）において、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の出力側と、前記電圧増幅器（２４０）の入力側との間に、前記評価コイル（２２０）の一端が接続されており、前記評価コイル（２２０）の他端がアースに接続されている、

評価回路（２００）を較正する方法において、

前記電圧増幅器（２４０）の出力側と前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側との間において前記フィードバック分岐（２６０）を遮断するステップ、

前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側に前記交流電圧源（４２０）を接続し、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側に交流電圧（４２５）を印加するステップであって、前記交流電圧（４２５）の周波数を、前記電気的な発振回路（１００）のQ値（Q）で除算された前記電気的な発振回路（１００）の前記共振周波数（ｆ０）の少なくとも3倍は前記電気的な発振回路（１００）の前記共振周波数（ｆ０）から偏差させるステップ、

前記電圧増幅器（２４０）の出力側を前記電圧測定器（４１０）に接続し、前記電圧増幅器（２４０）によって出力される出力電圧（４１５）を求めるステップ、

前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の増幅係数（G）を、前記電圧増幅器（２４０）の入力側に入力される入力電圧の振幅に基づいて、前記電圧増幅器（２４０）によって出力される出力電圧（４１５）が最小振幅を有するように選定された値に調整するステップ、

前記評価回路（２００）の前記フィードバック分岐（２６０）を閉じるステップ、

を有することを特徴とする、評価回路（２００）を較正する方法。

【請求項２】

請求項１に記載のステップの実施後に実施されるさらなるステップ、すなわち、

前記評価回路（２００）において時間的に一定の振幅を有する発振が生じるように選定された値に前記電圧増幅器（２４０）の増幅係数（ｇ）を調整するステップ、

を有する、請求項１記載の方法。

【請求項３】

前記電圧増幅器（２４０）の増幅係数（ｇ）を、前記評価回路（２００）において時間的に一定の振幅を有する発振が生じるように調整する、請求項２記載の方法。

【請求項４】

電気的な発振回路（１００）の共振周波数（ｆ０）を検出する評価回路（２００）であって、

前記評価回路（２００）は評価コイル（２２０）と、トランスコンダクタンス増幅器（２１０）と、補償回路（２３０）と、電圧増幅器（２４０）とを有し、

前記評価コイル（２２０）は誘導的に前記電気的な発振回路（１００）と結合可能であり、

前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の出力側から前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側までフィードバック分岐（２６０）が延在しており、

前記フィードバック分岐（２６０）内に前記電圧増幅器（２４０）が配置されており、

前記評価コイル（２２０）は前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の前記フィードバック分岐（２６０）内に配置されており、

前記補償回路（２３０）は前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）に並列に配置されており、

ここで、前記補償回路（２３０）の出力側と前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の出力側の両方が、前記電圧増幅器（２４０）の入力側に接続されており、前記フィードバック分岐（２６０）が遮断されていないときには、前記電圧増幅器（２４０）の出力側は、前記補償回路（２３０）の入力側および前記トランスコンダクタンス増幅器（２

１０）の入力側の両方に接続されており、前記フィードバック分岐（２６０）が遮断されているときには、前記電圧増幅器（２４０）の出力側は、電圧測定器（４１０）に接続されており、且つ、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側および前記補償回路（２３０）の入力側は交流電圧源（４２０）と接続されており、

前記フィードバック分岐（２６０）において、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の出力側と、前記電圧増幅器（２４０）の入力側との間に、前記評価コイル（２２０）の一端が接続されており、前記評価コイル（２２０）の他端がアースに接続されている、

評価回路（２００）において、

前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の前記フィードバック分岐（２６０）内に、前記電圧増幅器（２４０）の出力側と前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側との間において該フィードバック分岐（２６０）を遮断するスイッチが設けられており、

前記遮断時に、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側は前記交流電圧源（４２０）と接続され、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の入力側に交流電圧（４２５）が印加され、但し、前記交流電圧（４２５）の周波数は、前記電気的な発振回路（１００）のＱ値（Ｑ）で除算された前記電気的な発振回路（１００）の前記共振周波数（ｆ０）の少なくとも３倍は前記電気的な発振回路（１００）の前記共振周波数（ｆ０）から偏差されており、

前記遮断時に、前記電圧増幅器（２４０）の出力側は前記電圧測定器（４１０）と接続され、前記電圧増幅器（２４０）によって出力される出力電圧（４１５）が求められ、

前記電圧測定器（４１０）および前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）は制御装置と接続可能であり、該制御装置は、前記トランスコンダクタンス増幅器（２１０）の増幅係数（Ｇ）を、前記電圧増幅器（２４０）の入力側に入力される入力電圧の振幅に基づいて、前記電圧測定器（４１０）によって検出された出力電圧（４１５）が最小振幅を有するように調整するよう構成されていることを特徴とする、評価回路（２００）。

【請求項５】

前記補償回路（２３０）はオーム巻線抵抗を備えたコイルの逆周波数応答を有し、該逆周波数応答は前記評価コイル（２２０）に対する周波数応答である、請求項４記載の評価回路（２００）。

【請求項６】

前記補償回路（２３０）は、反転入力側（３１０）と非反転入力側（３２０）と前記補償回路（２３０）の出力側（３７０）と接続されている出力側とを備えた演算増幅器（３００）と、前記補償回路（２３０）の入力側（３６０）と前記演算増幅器（３００）の前記反転入力側（３１０）との間に配置されている補償抵抗（３３０）と、該補償抵抗（３３０）に並列に接続されている補償コンデンサ（３４０）と、前記補償回路（２３０）の前記出力側（３７０）と前記演算増幅器（３００）の前記反転入力側（３１０）との間に配置されているネガティブフィードバック抵抗（３５０）とを有する、請求項４または５項記載の評価回路（２００）。

【請求項７】

前記補償回路（２３０）は、反転入力側と非反転入力側と前記補償回路（２３０）の出力側と接続されている出力側とを備えた演算増幅器と、前記補償回路（２３０）の入力側と前記演算増幅器の反転入力側との間に配置されている補償抵抗とを有し、前記補償回路（２３０）の前記出力側と前記演算増幅器の前記反転入力側との間にはネガティブフィードバック抵抗およびネガティブフィードバックコイルが直列に配置されて設けられている、請求項４または５記載の評価回路（２００）。

【請求項８】

評価回路（２００）内の発振の振幅を求める手段が設けられている、請求項４から７までのいずれか１項記載の評価回路（２００）。

【請求項９】

評価回路（２００）内の発振の周波数を求めるディジタルカウンタが設けられている、請求項４から８までのいずれか１項記載の評価回路（２００）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、電気的な発振回路の共振周波数を検出する評価回路を較正する方法であって、評価回路は評価コイルと、トランスコンダクタンス増幅器と、補償回路とを有し、評価コイルは誘導的に電気的な発振回路と結合可能であり、トランスコンダクタンス増幅器の出力側はフィードバック分岐を介してトランスコンダクタンス増幅器の入力側と接続されており、評価コイルはトランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内に配置されており、補償回路はトランスコンダクタンス増幅器および評価コイルに並列に配置されている、評価回路を較正する方法に関する。

【０００２】

さらに本発明は、電気的な発振回路の共振周波数を検出する評価回路であって、評価回路は評価コイルと、トランスコンダクタンス増幅器と、補償回路と、電圧増幅器とを有し、評価コイルは誘導的に電気的な発振回路と結合可能であり、トランスコンダクタンス増幅器の出力側はフィードバック分岐を介してトランスコンダクタンス増幅器の入力側と接続されており、評価コイルはトランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内に配置されており、補償回路はトランスコンダクタンス増幅器および評価コイルに並列に配置されており、電圧増幅器はトランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐において評価コイルに直列に配置されている、評価回路に関する。

【背景技術】

【０００３】

圧力、力、湿度および温度のような物理的な測定量を検出するために、その都度の測定量に依存して共振周波数が変化するＬＣ発振回路を使用することが公知である。この種の受動的なセンサ発振回路は固有の給電部を必要とせず、また無接触の読み取りを実現する。共振周波数と物理的な測定量との関係は、例えば、物理的な測定量の影響下で電気キャパシタンス、電気インダクタンスまたは電気抵抗が変化する、ＬＣ発振回路内の容量性、誘導性または抵抗性の電子素子を使用することによって確立される。この種のセンサは例えばJ. C. Butler等によって（John C. Butler, Anthony J. Vigliotti, Fred W. VerdiおよびShawn M. Waish: Wireless, passive, resonant-circuit, inductively coupled, inductive strain sensor. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 102, Issues 1-2, pp. 61-66, 2002）またP. J. Chen等によって（Po-Jui Chen, Damien C. Rodger, Saloomeh Saati, Mark S. HumayunおよびYu-Chong Tai: Implantable Parylene-Based Wireless Intraocular Pressure Sensor. 21st IEEE Int. Conf. On MEMS 2008, pp. 58-61, 2008）説明されている。

【０００４】

その種のＬＣ発振回路を読み取るために、ＬＣ発振回路の共振周波数が求められなければならない。この共振周波数の変化から、対応する物理的な測定量の変化を推量することができる。ＬＣ発振回路の共振周波数をディップメータにより検出することが公知である。その種のディップメータは同調可能な発振器および外部から接近可能なコイルを有する。コイルは誘導結合を確立するために、読み取るべきＬＣ発振回路に近付けられる。コイルを駆動させる発振器の周波数は所定の値範囲にわたり変化する。ディップメータの発振周波数とセンサ発振回路の共振周波数が一致すると、センサ発振回路はディップメータの発振器の振動エネルギを吸収し、これによりディップメータの発振器の振動エネルギの測定可能な低下が生じ、このようにしてＬＣセンサ発振回路の共振周波数を決定することができる。その種のディップメータの欠点は周波数領域を一通り通過させなければならないことであり、これは最大限に考えられる測定速度を制限することになる。別の欠点は、ディップメータのコイルとＬＣ発振回路の誘導結合の結合が強いとＬＣ発振回路の固有周波数に誤差が生じてしまうため、結合は弱いものでなければならないことである。

【０００５】
M. Nowak等によって(M. Nowak, N. Delorme, F. Conseil, G. Jacquemod: A novel architecture for remote interrogation of wireless battery-free capacitive sensors. 13th IEEE Conf. on Electronics, Circuits and Systems 2006, pp. 1236-1239, 2006)、誘導結合されたＬＣセンサ発振回路を増幅器のフィードバックにおける周波数検出共振素子として使用する発振器回路の使用が提案されている。この回路の利点は測定量を電気的な振動の周波数に直接的に変換できる点にある。続いて、例えば水晶振動子の既知の共振振動により周波数を簡単且つ精確に検出することができる。もっともその種の評価系は、この評価系とＬＣ発振回路の強い誘導結合を前提としている。誘導結合が過度に弱い場合には、評価コイルの周波数応答によってフィードバック分岐の実効インピーダンスが支配的になり、発振は生じない。したがってNowak等は、評価コイルの周波数応答を補償する能動的な補償回路の使用を提案している。回路を正確に機能させるためには補償回路の精確な寸法設計が必要とされる。この結果、製造公差、また寿命および温度に起因するパラメータの変化が回路の機能を著しく損なわせることになる。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００６】
【非特許文献１】John C. Butler, Anthony J. Vigliotti, Fred W. VerdiおよびShawn M. Waish: Wireless, passive, resonant-circuit, inductively coupled, inductive strain sensor. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 102, Issues 1-2, pp. 61-66, 2002
【非特許文献２】Po-Jui Chen, Damien C. Rodger, Saloomeh Saati, Mark S. HumayunおよびYu-Chong Tai: Implantable Parylene-Based Wireless Intraocular Pressure Sensor. 21st IEEE Int. Conf. On MEMS 2008, pp. 58-61, 2008
【非特許文献３】M. Nowak, N. Delorme, F. Conseil, G. Jacquemod: A novel architecture for remote interrogation of wireless battery-free capacitive sensors. 13th IEEE Conf. on Electronics, Circuits and Systems 2006, pp. 1236-1239, 2006
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
本発明の課題は、評価回路を較正する方法を提供することである。本発明の別の課題は、電気的な発振回路の共振周波数を検出するための改善された評価回路を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
評価回路を較正する方法に関する課題は、方法が、評価回路のフィードバック分岐を遮断するステップ、トランスコンダクタンス増幅器の入力側に交流電圧を印加するステップ、電圧増幅器の出力側に印加される出力電圧を求めるステップ、トランスコンダクタンス増幅器の増幅係数を、電圧増幅器の出力側に印加される出力電圧が最小振幅を有するように選定された値に調整するステップ、評価回路のフィードバック分岐を閉じるステップを有することによって解決される。
【０００９】
評価回路に関する課題は、トランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内に該フィードバック分岐を切り離すスイッチが設けられており、トランスコンダクタンス増幅器の入力側は交流電圧源と接続可能であり、電圧増幅器の出力側は電圧測定器と接続可能であることによって解決される。
【００１０】
電気的な発振回路の共振周波数を検出するための評価回路を較正するための本発明による方法は、評価コイル、トランスコンダクタンス増幅器および補償回路を備えた評価回路に関する。評価コイルを電気的な発振回路と誘導結合させることができ、トランスコンダ

クタンス増幅器の出力側はフィードバック分岐を介してトランスコンダクタンス増幅器の入力側と接続されており、評価コイルはトランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内に配置されており、補償回路はトランスコンダクタンス増幅器および評価コイルに並列に配置されている。本方法は、評価回路のフィードバック分岐を遮断するステップと、交流電圧をトランスコンダクタンス増幅器の入力側に印加するステップと、電圧増幅器の出力側に印加された出力電圧を求めるステップと、電圧増幅器の出力側に印加された出力電圧が最小振幅を有するように選定された値にトランスコンダクタンス増幅器の増幅係数を調整するステップと、評価回路のフィードバック分岐を閉じるステップとを有する。有利にはこの方法により、評価回路の起動前の補償回路の煩雑な較正を省略することができる。別の利点は、温度および寿命に起因する構成素子の値の変化に関する評価系の十分な安定性が保証される点にある。

【００１１】

有利には、トランスコンダクタンス増幅器の増幅係数は制御ループによって、電圧増幅器の出力側に印加される出力電圧が所定の閾値を下回る値、殊に最小値を有するように調整される。有利には、増幅係数の調整を制御ループによって自動化することができる。さらには、制御ループの使用は提案される方法の高雑音余裕度を高める。

【００１２】

本方法の別の実施形態においては、評価回路がさらに、トランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内で評価コイルに直列に配置されている電圧増幅器を有し、本方法は前述のステップの後に実施される別のステップ、すなわち、評価回路において時間的に一定の振幅を有する発振が生じるように選定された値に電圧増幅器の増幅係数を調整するステップを有する。有利にはこの方法ステップによって、開かれた発振器ループのループ増幅率はセンサ共振周波数において同一でなくてはならないというバルクハウゼン条件を評価回路が満たしていることが保証される。これによって、評価回路内ではセンサ共振周波数における安定した発振が生じることが保証されている。

【００１３】

有利には、電圧増幅器の増幅係数が制御ループによって、評価回路内では時間的に一定の振幅を有する発振が生じるように調整される。制御ループの使用は増幅係数の調整を自動化でき、また妨害的な影響に対して鈍感になるという利点を有する。

【００１４】

好適には、交流電圧の周波数は、電気的な発振回路のＱ値によって除算された電気的な発振回路の共振周波数の少なくとも３倍は電気的な発振回路の共振周波数から偏差する。このことは、電気的な発振回路がトランスコンダクタンス増幅器の周波数応答に及ぼす影響を無視できるという利点を有する。

【００１５】

電気的な発振回路の共振周波数を検出するための本発明による評価回路は評価コイル、トランスコンダクタンス増幅器、補償回路および電圧増幅器を有する。評価コイルは誘導的に電気的な発振回路に結合可能であり、トランスコンダクタンス増幅器の出力側はフィードバック分岐を介してトランスコンダクタンス増幅器の入力側と接続されており、評価コイルはトランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内に配置されており、補償回路はトランスコンダクタンス増幅器および評価コイルに並列に配置されており、電圧増幅器はトランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐において評価コイルに直列に配置されており、トランスコンダクタンス増幅器のフィードバック分岐内にはフィードバック分岐を切り離すためのスイッチが設けられており、トランスコンダクタンス増幅器の入力側は交流電圧源と接続可能であり、電圧増幅器の出力側は電圧測定器と接続可能である。有利には、この評価回路は経年劣化に起因する影響および温度に依存する影響を補償するために較正される。

【００１６】

評価回路の有利な実施形態においては、電圧測定器およびトランスコンダクタンス増幅器が制御装置と接続され、この制御装置はトランスコンダクタンス増幅器の増幅係数を、

電圧測定器によって検出された出力電圧が所定の閾値を下回る振幅、殊に最小振幅を有するように調整するよう構成されている。その種の制御装置は、トランスコンダクタンス増幅器の増幅係数を自動的で妨害に対して鈍感になるように調整できるという利点を有する。

【００１７】

好適には、補償回路はオーム巻線抵抗を備えたコイルの負ないし否定（negated）の周波数応答を有する。有利には、補償回路は評価コイルの周波数応答を補償し、トランスコンダクタンス増幅器の実効負荷インピーダンスが電気的な発振回路の共振周波数において０°の位相位置および最大値を有するようにする。

【００１８】

評価回路の実施形態によれば、補償回路が、反転入力側と非反転入力側と補償回路の出力側と接続されている出力側とを備えた演算増幅器と、補償回路の入力側と演算増幅器の反転入力側との間に配置されている補償抵抗と、補償抵抗に並列に接続されている補償コンデンサと、補償回路の出力側と演算増幅器の反転入力側との間に配置されているネガティブフィードバック抵抗とを有する。

【００１９】

評価回路の別の実施形態によれば、補償回路が、反転入力側と非反転入力側と補償回路の出力側と接続されている出力側とを備えた演算増幅器と、補償回路の入力側と演算増幅器の反転入力側との間に配置されている補償抵抗とを有し、補償回路の出力側と演算増幅器の反転入力側との間にはネガティブフィードバック抵抗およびネガティブフィードバックコイルが直列に配置されて設けられている。

【００２０】

好適には、評価回路内にこの評価回路における発振の振幅を求める回路技術的な手段が設けられている。

【００２１】

有利には、評価回路がこの評価回路内の発振の周波数を求めるためのディジタルカウンタも有する。

【００２２】

以下では添付の図面を参照しながら本発明を詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】電気的な発振回路の概略図である。

【図２】評価回路の概略図である。

【図３】補償回路のブロック回路図である。

【図４】較正プロセス中の評価回路の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

図１は、発振回路１００のブロック回路図の概略図を示す。発振回路１００は圧力、力、湿度または温度のような物理的な測定量のための受動的なセンサとしての使用に適しており、以下ではＬＣ発振回路またはセンサ発振回路とも称する。

【００２５】

発振回路１００はセンサインダクタンス１１０、センサキャパシタンス１２０およびセンサ抵抗１３０を有し、これらは発振回路１００内で直列に配置されている。センサインダクタンス１１０はコイルでよい。センサキャパシタンス１２０はコンデンサでよい。センサ抵抗は、センサインダクタンス１１０を形成するコイルの電気的な抵抗でよく、抵抗は構成素子１１０，１２０，１３０を結ぶ線路である。センサインダクタンス１１０および／またはセンサキャパシタンス１２０は外部の物理的な測定量に依存して変化する。例えば、センサキャパシタンス１２０はコンデンサであり、その容量は外部圧力に依存して変化する。

【００２６】

発振回路１００は共振周波数ｆ０を有し、この共振周波数ｆ０はセンサインダクタンス１１０およびセンサキャパシタンス１２０の大きさに依存する。共振周波数ｆ０は固有周波数とも称される。センサインダクタンス１１０および／またはセンサキャパシタンス１２０が外部の物理的な測定量に依存する場合、共振周波数ｆ０も外部の物理的な測定量に依存する。

【００２７】

図２は、発振回路１００の共振周波数ｆ０を求めることに適している評価回路２００の概略的なブロック回路図を示す。評価回路２００はトランスコンダクタンス増幅器２１０、評価コイル２２０、補償回路２３０および電圧増幅器２４０を有する。トランスコンダクタンス増幅器２１０は電圧制御式の電流源でよい。トランスコンダクタンス増幅器２１０の出力側はフィードバック分岐２６０を介してトランスコンダクタンス増幅器２１０の入力側と接続されている。評価コイル２２０および電圧増幅器２４０は並んで直列にフィードバック分岐２６０内に配置されている。補償回路２３０はトランスコンダクタンス増幅器２１０および評価コイル２２０に並列に接続されている。補償回路２３０の入力側は電圧増幅器２４０の出力側と接続されており、一方、補償回路２３０の出力側は加算点２５０と接続されており、この接続点２５０はフィードバック分岐２６０において評価コイル２２０と電圧増幅器２４０との間に位置する。

【００２８】

評価コイル２２０を誘導的に、または変圧作用式にセンサ発振回路１００のセンサインダクタンス１１０と結合させることができる。このために、センサインダクタンス１１０および評価コイル２２０は、センサインダクタンス１１０が評価コイル２２０によって形成される電磁界の近接場内に存在するように相互に近付けられる。評価回路２００は発振器回路を形成し、この発振器回路は変圧作用式に結合されたセンサ発振回路１００をトランスコンダクタンス増幅器２１０のフィードバック分岐２６０内の周波数検出共振素子として使用する。この回路は、センサ発振回路１００によって検出された物理的な測定量を評価回路２００における振動の周波数に直接的に変換できるという利点を有する。続いて測定量を求めるために、この周波数を既知の共振振動により簡単且つ精確に検出することができる。

【００２９】

評価コイル２２０とセンサインダクタンス１１０の誘導結合によってフィードバック分岐２６０の実効インピーダンスが生じ、この実効インピーダンスの大きさはセンサインダクタンス１１０、センサキャパシタンス１２０およびセンサ抵抗１３０に依存する。しかしながら、評価コイル２２０とセンサインダクタンス１１０の誘導結合が弱いものに過ぎなければ、フィードバック分岐２６０の実効インピーダンスは評価コイル２２０の周波数応答によってのみ支配される。この場合には、トランスコンダクタンス増幅器２１０の入力電圧は全ての周波数についてトランスコンダクタンス増幅器２１０の出力電流よりもおよそ９０°先行するので、評価回路２００において発振は生じない。評価回路２００においてセンサ発振回路１００の固有周波数ｆ０を有する発振を生じさせるためには、フィードバック分岐２６０の実効インピーダンスが共振周波数ｆ０では０°の位相を有していなければならない。したがって評価回路２００は補償回路２３０を有する。この補償回路２３０は評価コイル２２０の周波数応答を補償するので、トランスコンダクタンス増幅器２１０の実効負荷インピーダンスは発振回路１００の共振周波数ｆ０では０°の位相位置および最大絶対値を有する。トランスコンダクタンス増幅器２１０の実効負荷インピーダンスは質的にＬＣ並列発振回路の周波数応答に対応する。補償回路２３０としては原則的に、コイルの逆周波数応答を有するあらゆる回路が適している。例えば、補償回路２３０を負のインピーダンス変換器として構成することができる。

【００３０】

図３には、補償回路の考えられる１つの実施形態が概略的に示されている。図３の補償回路２３０は、反転入力側３１０および非反転入力側３２０を備えた演算増幅器３００を有する。演算増幅器３００の出力側は補償回路２３０の出力側３７０と接続されている。

さらに演算増幅器３００の出力側はネガティブフィードバック抵抗３５０を介して演算増幅器３００の反転入力側３１０と接続されている。演算増幅器３００の非反転有力側３２０はアース端子と接続されている。演算増幅器３００の反転入力側３１０は補償抵抗３３０を介して補償回路２３０の入力側３６０と接続されている。補償抵抗３３０に並列に補償コンデンサ３４０が接続されている。

【００３１】

図示していない択一的な実施形態においては、補償回路２３０が、反転入力側と、非反転入力側と、補償回路２３０の出力側と接続されている出力側とを備えた演算増幅器を有する。さらにこの実施形態においては、補償回路２３０の入力側と演算増幅器の反転入力側との間に配置されている補償抵抗が設けられている。さらに補償回路２３０の出力側と演算増幅器の反転入力側との間に直列に配置されているネガティブフィードバック抵抗およびネガティブフィードバックコイルが設けられている。

【００３２】

補償回路２３０は評価コイル２２０の周波数応答を補償するタスクを有する。もっともそのためには補償回路２３０の精確な寸法設計が必要となる。図３に示されている補償回路２３０の実施形態においては、例えば、補償抵抗３３０、補償コンデンサ３４０およびネガティブフィードバック抵抗３５０の精確な寸法設計が必要であり、これらの構成素子は評価コイル２２０の電気的な特性値に依存して算定されなければならない。補償回路２３０の寸法設計が十分に精確でない場合には、評価回路２００および発振回路１００からなる結合系が付加的な直列共振周波数を有し、並列共振器の周波数が変化するか、それどころか完全に消失してしまう。補償回路２３０の精確な寸法設計は評価回路２００において使用される構成素子の製造公差ならびに寿命依存性および温度依存性によって困難になる。しかしながら、トランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇを変更することによっても補償回路２３０を較正できることが分かった。これを以下において説明する。

【００３３】

センサ発振回路１００が結合されている評価コイル２２０の周波数依存性インピーダンスの分析により、図３に示されている補償回路２３０の実施形態は、ネガティブフィードバック抵抗３５０と補償抵抗３３０の商がトランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇと評価コイル２２０の巻線抵抗の積に等しい場合に最適に適合されていることが分かった。さらに、ネガティブフィードバック抵抗３５０と補償コンデンサ２４０のキャパシタンスの積は、トランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇと評価コイル２２０のインダクタンスの積に等しくなければならない。補償回路２３０を正確に機能させるためには、後者の条件を満たしていることが殊に重要である。トランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇは、評価コイル２２０のインダクタンスで除算された補償コンデンサ３４０のキャパシタンスが乗算されたネガティブフィードバック抵抗３５０の値に調整されなければならない。増幅係数Ｇの適切な値を発見するための方法を以下では図４に基づき説明する。

【００３４】

評価コイル２２０の周波数応答を補償する以外にも、評価回路２００によって形成される発振器は、評価回路２００内で安定した発振を生じさせることができるようにするために、いわゆるバルクハウゼン条件を満たしていなければならない。バルクハウゼン条件は、開かれた発振器ループのループ増幅率が発振回路１００の共振周波数ｆ０において値１を有していなければならないというものである。ループ増幅率が過度に低い場合には減衰して次第に弱まる振動振幅しか生じないが、その一方でループ増幅率が過度に高い場合には上昇し続ける振動振幅が生じることになる。電圧増幅器２４０は可変の増幅係数Ｇを有し、バルクハウゼン条件が満たされているように評価回路２００の発振器ループのループ増幅率を調整するために使用される。

【００３５】

図４は、較正プロセス中の評価回路４００の概略図を示す。図２の評価回路２００とは異なり、図４においてはフィードバック分岐２６０が図示していないスイッチによって遮

断されている。これによって図４においては、図２とは異なり、電圧増幅器２４０の出力側はトランスコンダクタンス増幅器２１０の入力側とは接続されていない。その代わり、電圧増幅器２４０の出力側は電圧測定器４１０と接続されており、この電圧測定器４１０は電圧増幅器２４０によって出力される出力電圧４１５を測定する。トランスコンダクタンス増幅器２１０の入力側は交流電圧源４２０と接続されており、この交流電圧源４２０により交流電圧４２５をトランスコンダクタンス増幅器２１０の入力側に印加することができる。交流電圧４２５の周波数はセンサ発振回路１００の共振周波数ｆ０とは可能な限り大きく異なるように選定される。交流電圧４２５の周波数が、発振回路１００のＱ値Ｑで除算された発振回路１００の共振周波数ｆ０の少なくとも３倍は発振回路１００の共振周波数ｆ０から偏差している場合に有利であることが分かった。例えば、交流電圧４２５の周波数を発振回路１００の共振周波数ｆ０の半分の大きさになるように選定することができる。これによって、評価コイル２２０と結合された発振回路１００が評価回路２００の開かれた発振器ループの伝達関数の周波数応答に及ぼす影響を無視できることが保証されている。

【００３６】

後続のステップにおいてトランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇは、電圧増幅器２４０の出力側において測定された交流電圧４２５が所定の閾値を下回る振幅または可能な限り僅かな振幅、理想的には消失する振幅を有するように調整される。殊に有利には、増幅係数Ｇの調整が制御ループを用いて行われる。制御ループは増幅係数Ｇを、例えば、測定された交流電圧４２５の振幅が最小値を取るか、この振幅が最小値を中心とした閾値領域内にあるように調整される。このことは、人間による介入操作は必要ないという利点を有する。

【００３７】

トランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇの調整が行われた後に、評価回路２００の制御ループは再び閉じられる。このために、電圧測定器４１０は電圧増幅器２４０の出力側から切り離され、また交流電圧源４２０はトランスコンダクタンス増幅器２１０の入力側から切り離される。続いて、電圧増幅器２４０の出力側は図示していないスイッチによってトランスコンダクタンス増幅器２１０の入力側に再び接続される。

【００３８】

トランスコンダクタンス増幅器２１０の増幅係数Ｇおよび補償回路２３０は、補償回路２３０が評価コイル２２０の周波数応答を補償するように較正されている。バルクハウゼン条件が満たされていることも保証するために、電圧増幅器２４０の増幅係数ｇの適合をさらに行うこともできる。このために、電圧増幅器２４０の増幅係数ｇは、評価回路２００において時間的に一定の振幅を有する発振が生じるように調整される。このために、評価回路２００は発振器の振幅を求めるための図示していない手段を有することができる。殊に有利には、電圧増幅器２４０の増幅係数ｇの調整が制御ループを用いて行われる。このことは、電圧増幅器２４０の増幅係数ｇを調整するためにも人間による介入操作は必要されないという利点を有する。

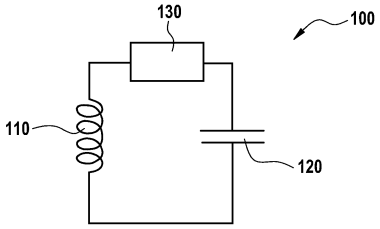
【００３９】

評価回路２００は、この評価回路２００内の発振の周波数を求めるための図示していない手段も有することができる。発振の周波数を求めるための手段は例えばディジタルカウンタでよい。この場合、基準時間または基準周波数（例えば振動結晶）が必要となる。

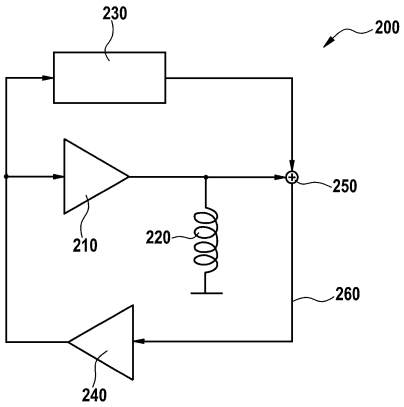
【００４０】

上述の評価回路２００によって求められた発振回路１００の共振周波数ｆ０は例えば数ｋＨｚ～数１０ＭＨｚの範囲にある。

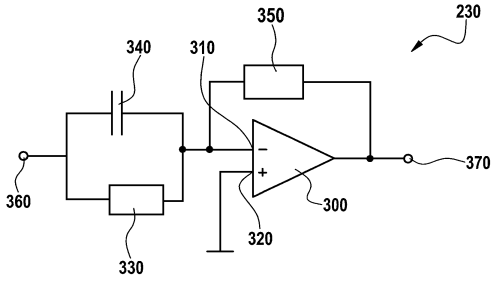
【図１】


130
100
110
120

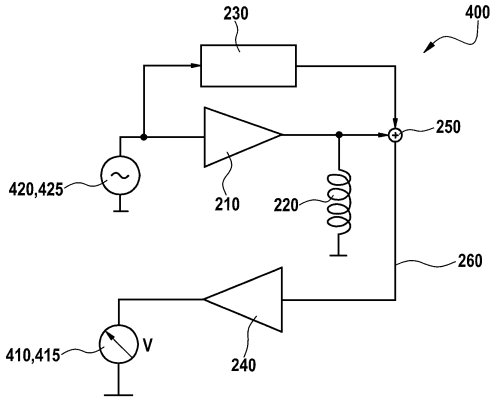
【図２】


230
200
250
210
220
260
240

【図３】


350
230
340
310
370
360
300
320
330

【図４】


230
400
250
420,425
210
220
260
410,415
V
240

フロントページの続き

(74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
(72)発明者 ラインハルト ノッパー
ドイツ連邦共和国 ディツィンゲン フォアホーフシュトラーセ １２
(72)発明者 レミギウス ニークラヴィエツ
ドイツ連邦共和国 シュツットガルト ベルクハイマー シュトラーセ １８

審査官 越川 康弘

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｇ０１Ｒ ２３／０７
Ｇ０１Ｒ ３５／００