

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-296030

(P2005-296030A)

(43) 公開日 平成17年10月27日(2005.10.27)

(51) Int.Cl.⁷

A61B 5/05
G01R 33/035
G01V 3/40

F I

A61B 5/05 A
G01R 33/035 Z A A
G01V 3/40

テーマコード (参考)

2 G O 1 7
4 C O 2 7

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-111908 (P2004-111908)

(22) 出願日 平成16年4月6日(2004.4.6)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成15年度新エネルギー・産業技術総合開発機構(再)委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号

(71) 出願人 501387839

株式会社日立ハイテクノロジーズ
東京都港区西新橋一丁目24番14号

(74) 代理人 110000350

特許業務法人 日東国際特許事務所

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

(74) 代理人 100086656

弁理士 田中 恭助

(72) 発明者 神鳥 明彦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁場計測装置

(57) 【要約】

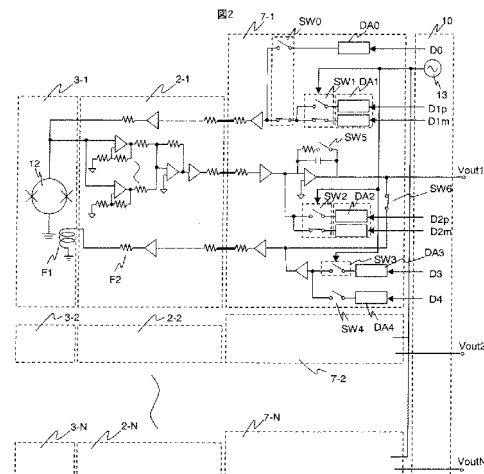
【課題】

複数SQUID磁束計を同時に安定に動作できる磁場計測装置を提供する。

【解決手段】

検出コイルを具備する複数SQUID磁束計12を有する磁場計測装置において、全CHに共通の単一の発振器13によりACバイアスを行う発振周波数を決定する。発振器からの信号を基準としてスイッチSW0、SW1、SW2、SW3、SW4、SW5を切り替え、ACバイアス信号、キャンセル電圧信号、オスセット磁束信号の印加を選択する。プラス側のバイアス電流の時のV-特性とマイナス側の電流バイアスの時のV-特性を用いて相互相関関数を用いる手法、又は、ACバイアスを行なっているV-特性をスペクトル解析する手法に基づいて、ACバイアス信号の自動調整を行なう。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数の S Q U I D 磁束計と、前記複数の S Q U I D 磁束計を A C バイアス動作させる発信周波数を決定するための単一の発信器と、前記単一の発振器から発生する信号を前記複数の S Q U I D 磁束計に共通に供給する手段とを有してなることを特徴とする磁場計測装置。

【請求項 2】

検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数の S Q U I D 磁束計と、前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加するための単一の発振器の信号を前記複数の S Q U I D 磁束計に共通に供給する手段と、前記発振器から発生される基準信号に基づいて、A C バイアス信号、キャンセル電圧信号、およびオフセット磁束信号を制御する手段とを有することを特徴とする磁場計測装置。

10

【請求項 3】

検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数の S Q U I D 磁束計と、前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加するための単一の発振器の信号を前記複数の S Q U I D 磁束計に共通に供給する手段と、前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加する手段とを有することを特徴とする磁場計測装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の磁場計測装置において、プラス側の A C バイアス電流の印加時に測定される V - 特性とマイナス側の A C バイアス電流の印加時に測定される V - 特性との間の相互相関関数を計算する手段を有し、前記相互相関関数の最大値に基づいて前記プラス側の A C バイアス電流の印加時と前記マイナス側の A C バイアス電流の印加時の磁束の位相差をキャンセルすることを特徴とする磁場計測装置。

20

【請求項 5】

請求項 3 に記載の磁場計測装置において、前記 A C バイアス電流の印加時に測定される V - 特性のパワースペクトラムの低周波成分が最大となる位相差を求める手段を有することを特徴とする磁場計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、心臓磁場、脳磁場等の生体磁場計測、地磁気計測、非破壊検査等の微弱磁場計測を行なう超伝導デバイスである S Q U I D (Superconducting Quantum Interference Device : 超伝導量子干渉素子) 磁束計を用いた磁場計測技術に関する。

【背景技術】

【0002】

高温超電導 S Q U I D を用いた磁場計測装置では、高温超電導部材内のトラップ磁束による揺らぎによるノイズ等を低減させるために、通常、電流バイアスを A C バイアス電流 (バイアス電流をプラス側とマイナス側に交互に変化させる方法) として印加する (例えば、非特許文献 1 を参照) 。この従来方法では、A C バイアス電流を加える発振周波数を上昇させると、高温超電導 S Q U I D の感度特性が向上することが提案されている。

40

【0003】

しかし、A C バイアス電流を使用してマルチチャンネルに適応した場合の回路構成に関する具体的方法、A C バイアス電流値、オフセット電圧量、キャンセル磁束量を自動で調整する具体的手法については言及がない。

【0004】

【非特許文献 1】Review of Scientific Instruments, Vol. 74, No. 12, pp.5189-5193 (2003)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

ＡＣバイアス電流をＳＱＵＩＤ磁束計に印加するために、発振器を各チャネル（以下、ＣＨと略記する）毎に配置すると、それぞれの発振器間に微妙な位相差が生じ、チャープ信号のようなノイズが発生する。チャープ信号は、各ＣＨ間で完全にクロストークがない理想的な回路構成であれば生じないが、実際の回路構成では、ＡＣバイアスの発振周波数の信号によるクロストークは無視できない。そのため、安定に複数の高温超電導ＳＱＵＩＤを安定に動作させるＡＣバイアス方式が望まれている。

【０００６】

また、ＡＣバイアス方式では、自動で高温超電導ＳＱＵＩＤ磁束計の調整を行なうことが困難であるという課題があった。なぜなら、ＡＣバイアス方式を行なう場合、プラスバイアス時とマイナスバイアス時の位相差の磁束量を各ＣＨ毎に調整しなければならないためである。また、妨害磁気雑音の多い環境下では、前述の位相差を検出することは困難であるという課題を有していた。

10

【０００７】

本発明の目的は、複数ＳＱＵＩＤ磁束計を同時に安定に動作できる磁場計測技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

上記目的を達成するために、本発明の磁場計測装置は、検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数のＳＱＵＩＤ磁束計を有し、ＡＣバイアスを行う発振周波数を決定するための発振器を全ＣＨ共通に１つだけを有する構成とする。発振器から発生する信号に基づいてスイッチを切り替えるスイッチ切り替え手段を有し、スイッチ切り替え手段によって、ＡＣバイアス信号、キャンセル電圧信号、オフセット磁束信号の印加を選択できる構成とする。この構成により、複数の発振器を使用する必要がないため、雑音となるチャープ信号を生じることはない。

20

【０００９】

また、複数のＳＱＵＩＤ磁束計に対する、ＡＣバイアス電流値の自動調整方法は、プラス側のバイアス電流の時のＶ－特性とマイナス側の電流バイアスの時のＶ－特性を用いて相互相関関数を用いる手法、又は、ＡＣバイアスを行なっているＶ－特性をスペクトル解析する手法に基づく構成とする。相互相関関数を用いる手法やスペクトル解析する手法を用いることによって、自動で簡易にＳＱＵＩＤ磁束計のＡＣバイアス電流動作を実現できる。

30

【発明の効果】

【００１０】

本発明によれば、複数ＳＱＵＩＤ磁束計を同時に安定に動作できる磁場計測装置を実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１１】

本発明の磁場計測装置は、検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数のＳＱＵＩＤ磁束計と、複数のＳＱＵＩＤ磁束計にＡＣバイアス電流を印加するための単一の発振器の信号を複数のＳＱＵＩＤに共通に供給する手段とを有し、この単一の発振器から発生される基準信号に基づいて、ＡＣバイアス信号、キャンセル電圧信号、オフセット磁束信号の印加を選択して制御する手段を有する。

40

【００１２】

検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数のＳＱＵＩＤ磁束計へのＡＣバイアス電流の印加は、単一の発振器から発生される基準信号に基づいて実行される。この基準信号は複数のＳＱＵＩＤに対して共通に供給され、複数のＳＱＵＩＤ磁束計にＡＣバイアス電流が印加される。プラス側のＡＣバイアス電流の印加時に測定されるＶ－特性とマイナス側のＡＣバイアス電流の印加時に測定されるＶ－特性との間の相互相関関数を計算する手段を有し、相互相関関数が最大値を与える時点で印加されている外部磁束を用いて、プラス側のＡＣバイアス電流の印加時とマイナス側のＡＣバイアス電流

50

の印加時の磁束の位相差をキャンセルできる。即ち、相互相関関数が最大値に基づいて、プラス側のＡＣバイアス電流の印加時とマイナス側のＡＣバイアス電流の印加時の磁束の位相差をキャンセルできる。

【００１３】

また、ＡＣバイアス電流の印加時に測定されるＶ－特性のパワースペクトラムの低周波成分が最大となる位相差を求めることにより、プラス側のＡＣバイアス電流の印加時とマイナス側のＡＣバイアス電流の印加時における磁束の位相差をキャンセルできる。

【００１４】

以下、本発明の実施例について、図面を参照して詳細に説明する。

【００１５】

10

図１は、本発明の実施例になる磁場計測装置の全体構成例を示す図である。

【００１６】

磁気シールドルーム１内にベッド６が配置され、ベッド６の上には被験者５が横たわる。被験者５の上部には、ガントリー４によって保持固定されているクライオスタット３が設置してある。クライオスタット３内部には検出コイルを具備するＳＱＵＩＤ磁束計が配置してあり、被験者５の心臓や脳等から発生する微弱な磁場を検出する。ＳＱＵＩＤは、クライオスタット３の上部に設置してあるプリアンプ２を介して、駆動回路７とアンプ・フィルター回路８を通った後、ＡＤコンバーター９に入力されデジタルデータとしてコンピューター１１に格納される。また、駆動回路７、アンプ・フィルター回路８、ＡＤコンバーター９はインターフェースボード１０を介してコンピューター１１によって制御される。デジタルデータとしてコンピューター１１に格納された検出された生体磁場データに対して、以下に説明する各種の演算処理が施される。

20

【００１７】

図２は、本発明の実施例の磁場計測装置の回路構成例を示す図である。

【００１８】

図２に示す磁場計測装置の回路は、１ＣＨからＮＣＨ（Ｎチャネル）から構成されており、インターフェースボード１０のみ１枚の構成で全ＣＨを同時にコントロールしている。低温部３－ｉ（ $i = 1, 2, \sim, N$ ）に配置される高温超電導ＳＱＵＩＤ１２とフィードバックコイルＦ１は、図１に示したクライオスタット３上部に配置されるプリアンプ部２－ｉ（ $i = 1, 2, \sim, N$ ）を通して駆動回路部７－ｉ（ $i = 1, 2, \sim, N$ ）でコントロールされ、磁束計としてＳＱＵＩＤ１２は動作する。プリアンプ部２－ｉ（ $i = 1, 2, \sim, N$ ）では、プリアンプ入力の電圧性雑音を低減させるため、プリアンプ（ＬＴ１０２８）を並列に１０個接続した構成としている。プリアンプを並列接続したことで、プリアンプの電圧性雑音を０．５ｎＶ／Ｈｚまで低減することが可能となっている。なお、図２において、低温部３－ｉ（ $i = 2, \sim, N$ ）の構成は低温部３－１の構成と同じであり、プリアンプ部２－ｉ（ $i = 2, \sim, N$ ）の構成はプリアンプ部２－１の構成と同じであり、駆動回路部７－ｉ（ $i = 2, \sim, N$ ）の構成は駆動回路部７－１と同じである。簡単のために図２では、検出コイルは省略している。

30

【００１９】

次に、図２に示す駆動回路部７－ｉ（ $i = 1, 2, \sim, N$ ）について説明を行なう。駆動回路部７－ｉ（ $i = 1, 2, \sim, N$ ）は、図の上段から、電流バイアス部（１段目）、信号検出部（２段目）、フィードバック部（３段目）の３つにより構成されている。以下、電流バイアス部（１段目）、信号検出部（２段目）、フィードバック部（３段目）の構成について、説明する。

40

【００２０】

電流バイアス部（１段目）は、ＤＣバイアス部とＡＣバイアス部とをスイッチＳＷ０によって切り替え使用する。ＤＣバイアスモードを選択した場合、スイッチＳＷ０の上段部のスイッチがＯＮになり、スイッチＳＷ０の下段のスイッチがＯＦＦになる。ＳＷ０の選択後、ＤＣバイアス電流を加えるための設定電圧値のデジタルデータＤ０を入力し、ＤＡコンバーターＤＡ０によってアナログ信号に変換される。一方、ＡＣバイアス部に切り替

50

える場合には、SW0の上段部スイッチをOFFにして、下段部スイッチをONにする。この状態で、ACバイアスを行なうプラス側のバイアス電流を加えるための設定電圧値のデジタルデータD1pと、マイナス側のバイアス電流を加えるための設定電圧値のデジタルデータD1mをインターフェースボード10からDAコンバーターDA1に入力されアナログ電圧へと変換される。アナログ変換された電圧をスイッチSW1によって、プラス側の電圧とマイナス側の電圧とを切り替えて矩形波状の電圧を発生させる。

【0021】

スイッチSW1の切り替えタイミングは、インターフェースボード10内に一つだけ設置してある発振器13によって制御される。この発振器13は、全CHに対する、ACバイアス制御、後述するキャンセル電圧制御、後述するオフセット磁束量制御のための共通の基準信号を発生する。これにより、各CH間のクロストークを避けることが可能となり、複数個配置した発振器によるチャープ信号ノイズの発生を抑止できる。

10

【0022】

信号検出部(2段目)では、積分器(スイッチSW5の回路)の前段にキャンセル電圧を入力する。キャンセル電圧はインターフェースボード10から、プラス側のキャンセル電圧(後述の図5に示すVmp)を加えるための設定電圧値のデジタルデータD2pと、マイナス側のキャンセル電圧(後述の図5に示すVmm)を加えるための設定電圧値のデジタルデータD2mを、DAコンバーターDA2に入力し、アナログ電圧に変換し発振器13によって制御されたスイッチSW2によって、キャンセル電圧を加えて積分器の前でのオフセット電圧をキャンセルすることが可能である。

20

【0023】

フィードバック部(3段目)では、フィードバック抵抗F2に行く前に、駆動回路部7-i(i=1、2、~、N)内で、磁束の位相差(後述の図5に示すb)を調整するための位相調整用電圧の印加を行なう構成と、SQUIDのV-特性をモニターするための磁束の印加を行なう構成の2種類のスイッチ(SW3とSW4)を有している。磁束の位相差を調整する電圧の印加を行なうため、インターフェースボード10から、プラス側のキャンセル電圧を加えるための設定電圧値のデジタルデータD3をDAコンバーターDA3に入力しアナログ電圧に変換し、発振器13によって制御されたスイッチSW3によってプラス側だけの矩形波を生じさせ、発生した矩形波をフィードバックループ内に入力する。フィードバックループ内に入力された矩形波の電圧によってバイアスのプラス側の時とマイナス側の時の磁束の位相差(b)をキャンセルすることが可能となる。

30

【0024】

また、SQUIDのV-特性をモニターするための磁束の印加は、設定電圧値のデジタルデータD4をDAコンバーターDA4に入力しアナログ電圧に変換し、図3に示すように、デジタルデータD4を順次変化させてV-特性をモニターすることが可能である。V-特性をモニターする場合は、スイッチSW4はONにし、スイッチSW3はOFFにする。反対に、磁束の位相差を調整する電圧の印加を行なう場合は、スイッチSW4はOFFし、スイッチSW3はONにする。

【0025】

上記したACバイアス、キャンセル電圧、磁束の位相差の調整が終わると、スイッチSW6をONにした後、スイッチSW5をOFFにすることによって、SQUID12は磁束計として動作が可能となる。磁束計動作後の出力信号Vouti(i=1、2、~、N)は各CHに生じる。

40

【0026】

以上の構成のように、本実施例の構成によれば、マルチチャネルの場合、発振器13を一つだけ持たせることによって、各CH間のクロストークをなくし、複数個の発振器を配置した場合に発生するチャープ雑音信号等の発生を避けることが可能である。

【0027】

図3は、本発明の実施例の磁場計測装置のV-特性モニター時の制御シーケンスを示す図である。

50

【0028】

図3に示すように、 V -特性をモニターする場合、電流バイアス I_b (D0) 131を段階的に変化させて、各段階の一定の値を有する電流バイアス 131の印加時に外部磁束 ext 信号 (D4) 121を三角波 (鋸歯状波) の形で入力する。外部磁束 ext 信号 121は、時間 T の間で0から最大値 max まで直線的に変化する。一定値を有する電流バイアスが印加された状態で外部磁束 ext 121が変化すると、出力信号 V_{out} の波形 132として正弦波に近い波形が得られる。

【0029】

図4は、本発明の実施例の磁場計測装置の $SQUID$ の制御手順 (ステップ 16 ~ 21) を示す図である。

10

【0030】

ステップ 16 : 各設定パラメーター (スイッチやデジタルデータ) を初期値に設定する。

【0031】

ステップ 17 : V -特性の変調電圧 V_p が最大になるプラス方向時のバイアス電流の最適値を求め、その時のキャンセル電圧 V_{mp} (後述の図5を参照) を計算する。同様に、 V -特性の変調電圧 V_m が最大になるマイナス方向時のバイアス電流の最適値を求め、その時のキャンセル電圧 V_{mm} (後述の図5を参照) を計算する (V_p 、 V_m 、 V_{mp} 、 V_{mm} の検出方法については、後述の図6を参照)。

【0032】

20

ステップ 18 : バイアス電流のプラス方向で V_p が最大になった V -特性と、バイアス電流のマイナス方向で V_m が最大になった V -特性との位相差 (b) を検出する (b の検出法については、後述の図7と図8を参照)。

【0033】

ステップ 19 : V_p 、 V_m 、 V_{mp} 、 V_{mm} 、位相差 (b) を設定する。

【0034】

ステップ 20 : $Feedback$ と $Lock$ の制御 (スイッチ SW_6 を ON にした後、スイッチ SW_5 を OFF にする) を行なう。

【0035】

ステップ 21 : 計測開始を行なう。

30

【0036】

図5は、本発明の実施例の磁場計測装置の V -特性を示す図である。

【0037】

図6は、本発明の実施例の磁場計測装置の最適なバイアス電流、 V_p 、 V_{mp} 、 V_m 、 V_{mm} を求める制御手順を示す図である。

【0038】

図5、図6を用いて、図4に示す V_p 、 V_m 、 V_{mp} 、 V_{mm} の検出方法について説明する。図5は、図3に示す外部磁束 ext (D4) を横軸、図3に示す V_{out} を縦軸として表示した2次元プロット図である。即ち、図5は、バイアス電流がプラスの状態 (I_{bp}) の時の V -特性 14と、バイアス電流がマイナスの状態 (I_{bm}) の時の V -特性 15とを示している。図2に示したデジタルデータ D_{2p} によって作成されるプラス側のキャンセル電圧は、図5に示す V_{mp} の電圧量と一致させる。同様に、図2に示したデジタルデータ D_{2m} によって作成されるマイナス側のキャンセル電圧は、図5に示す V_{mm} の電圧量と一致させる。キャンセル電圧 V_{mp} 、 V_{mm} は、バイアス電流がプラスの状態 (I_{bp}) の状態の時の V -特性 14 から計算する。

40

【0039】

V -特性 14 の上限値と下限値の差分量を V_p とし、この差分量 V_p の $1/2$ の量の0からの位置を V_{mp} とする。同様に、バイアス電流がマイナスの状態 (I_{bm}) の状態の時の V -特性 15 から計算する。 V -特性 15 の上限値と下限値の差分量を V_m とし、この差分量 V_m の $1/2$ の量の0からの位置を V_{mm} とする。

50

【 0 0 4 0 】

図 6 は、図 5 で示した V_p 、 V_m 、 V_{mp} 、 V_{mm} の検出法の詳細（ステップ 2 2 ~ 3 2）を示す。

【 0 0 4 1 】

ステップ 2 2：電流バイアス I_b を、 $D_0 = D$ にセットする。 D_0 のプラス側の初期値をセットする。

【 0 0 4 2 】

ステップ 2 3：外部磁束 e_{xt} として、 D_4 を 0 から max まで順次増加させる。

【 0 0 4 3 】

ステップ 2 4： V_p 、 V_{mp} の検出を行なう。

10

【 0 0 4 4 】

ステップ 2 5： D_0 が最大値 MAX を超えたかどうかの判定を行なう（判定処理 2 5）。この判定結果が、 Y (Yes) であればステップ 2 7 の処理へ、 N (No) であればステップ 2 6 の処理へ移る。

【 0 0 4 5 】

ステップ 2 6：電流バイアス I_b の D_0 をステップ D で増加させる処理を行なう（ $D_0 = D_0 + D$ ）。

【 0 0 4 6 】

ステップ 2 7：電流バイアス I_b を、 $D_0 = -D$ にセットする。 D_0 のマイナス側の初期値をセットする。

20

【 0 0 4 7 】

ステップ 2 8：外部磁束 e_{xt} として、 D_4 を 0 から max まで順次増加させる。

【 0 0 4 8 】

ステップ 2 9： V_m 、 V_{mm} の検出を行なう。

【 0 0 4 9 】

ステップ 3 0： D_0 が最小値 MIN を超えたかどうかの判定を行なう（判定処理 3 0）。この判定結果が、 Y (Yes) であればステップ 3 2 の処理へ、 N (No) であればステップ 3 1 の処理へ移る。

【 0 0 5 0 】

ステップ 3 1：電流バイアス I_b の D_0 をステップ D で減少させる処理を行なう（ $D_0 = D_0 - D$ ）。

30

【 0 0 5 1 】

ステップ 3 2：最適な I_{bp} と I_{bm} を決定し、 V_p 、 V_m 、 V_{mp} 、 V_{mm} の検出を行なって、終了する。

【 0 0 5 2 】

最初に、バイアス電流のプラス側での V_p の最大値の検出するルーチンがあり、次に、バイアス電流のマイナス側での V_m の最大値の検出するルーチンがある。最初のルーチンでは、バイアス電流を印加する電圧のデジタル値を変化量 D （順次 D で増加させる）とする。その後、外部磁束 e_{xt} (D_4) を時間 T の間で 0 から max まで順次増加させ（図 3 を参照）、各 D_4 の値の V_{out} を検出し、 V_p 、 V_{mp} の検出を行い、 D_0 が最大値になるまで（判定処理 2 5） D_0 を増加させながら（ステップ 2 6）繰り返していく。

40

【 0 0 5 3 】

同様に、バイアス電流のマイナス側での V_m の最大値の検出するルーチンでは、 D_0 の初期値を $-D$ として D_0 を順次減少させて（ステップ 3 1）、 V_m 、 V_{mm} を検出していく。 D_0 が最小値になるまで（判定処理 3 0）、 D_0 を減少させながら（ステップ 3 1）繰り返していく。以上のデータを全て記録しておき、最適な I_{bp} と I_{bm} を決定し、最適な I_{bp} の時の V_p 、 V_{mp} と、最適な I_{bm} の時の V_m 、 V_{mm} を決定する。

【 0 0 5 4 】

50

図 7 は、本発明の実施例の磁場計測装置において、相関法を用いた位相差の検出方法を示す図である。

【 0 0 5 5 】

図 8 は、本発明の実施例の磁場計測装置において、A C バイアス時の V_{out} 信号のスペクトル解析法を用いた位相差の検出方法を示す図である。

【 0 0 5 6 】

図 7、図 8 では、図 4 に示すステップ 1 8 (位相差 b の検出) における具体的な手法について説明している。

【 0 0 5 7 】

図 7 では、プラス側の $V -$ 特性とマイナス側の $V -$ 特性との相互相関を計算して、最適な磁束の位相差 b を決定する方法を示している。 10

【 0 0 5 8 】

図 7 において、3 3 は外部磁束 e_{xt} の変化直線、3 4 はバイアスプラス側の $V -$ 特性、3 5 はバイアスマイナス側の $V -$ 特性、3 6 はバイアスプラス側の $V -$ 特性とバイアスマイナス側の $V -$ 特性との間の相互相関関数、3 7 は外部磁束 e_{xt} の変化直線、3 8 は最大値、をそれぞれ示している。

【 0 0 5 9 】

図 7 に示すように、外部磁束 e_{xt} を直線 3 3 のように時間的に増加させて入力していくと、バイアス電流がプラス I_{bp} 側では曲線 3 4 が生じ、バイアス電流がマイナス側 I_{bm} では曲線 3 5 を生じる。曲線 3 4、曲線 3 5 は、オフセット電圧を除去した後の波形を示しているため、 V_{out} は 0 を基準とした波形となっている。これら曲線 3 4、曲線 3 5 を用いて相互相関関数を計算すると曲線 3 6 を得る。曲線 3 6 の最大値 3 8 を検出し、最大値 3 8 を示した時刻における b の値を直線 3 7 (直線 3 3 と同じ) から最下段の図のように求める。図 7 に示す手法は、S Q U I D への妨害磁気雑音が少ない場合は大変有効な手段である。 20

【 0 0 6 0 】

一方、妨害磁気雑音が多い場合は、図 7 に示すような鮮明な $V -$ 特性を得られるとは限らず、妨害磁気雑音が多少混入しても自動で S Q U I D の b を C H 毎に最適値にしていく必要がある。そこで妨害磁気雑音の影響を受けにくい調整法について図 8 を用いて説明する。 30

【 0 0 6 1 】

図 8 では、A C バイアス電流 (プラスとマイナスのバイアス電流) を印加した状態での $V -$ 特性からスペクトルを計算して、低周波のパワースペクトルが最大値を生じる位相差を最大値とする手法を示している。

【 0 0 6 2 】

図 8 において、3 9 はバイアスプラス側の $V -$ 特性、4 0 はバイアスマイナス側の $V -$ 特性、4 1 は A C バイアス時の出力電圧 V_{out} 、4 2 はバイアスプラス側の $V -$ 特性、4 3 はバイアスマイナス側の $V -$ 特性、4 4 は A C バイアス時の出力電圧 V_{out} 、4 5 はバイアスプラス側の $V -$ 特性、4 6 はバイアスマイナス側の $V -$ 特性、4 7 は A C バイアス時の出力電圧 V_{out} 、4 8 は位相差 1 8 0 度の時のパワースペクトラム、4 9 は位相差 9 0 度の時のパワースペクトラム、5 0 は位相差 0 度の時のパワースペクトラム、5 1、5 2 は高周波成分、5 3、5 4 は低周波成分、をそれぞれ示す。 40

【 0 0 6 3 】

図 8 (a) に示す曲線 3 9 は、バイアス電流がプラス I_{bp} 側でオフセット電圧除去後の時間波形を示し、曲線 4 0 は、バイアス電流がマイナス側 I_{bm} でオフセット電圧除去後の時間波形を示している。A C バイアスを行なうとこれらの曲線 3 9、4 0 の間を V_{out} は行き来するため曲線 4 1 に示すような波形となる。曲線 4 1 をスペクトル解析するとスペクトラム 4 8 を得ることが可能である。図 8 (a) では、曲線 3 9 と曲線 4 0 とは位相差が 1 8 0 度ずれているため、高周波のスペクトル 5 1 が生じる。

【 0 0 6 4 】

同様に、位相差が90度変化させた時の状態を図8(b)に示す。ACバイアス時のVout波形曲線44を見ると、まだ高周波成分が現れていることが分かる。曲線44をスペクトル解析行なうと、高周波成分52は減少し、低周波成分53が現れてきていることが分かる。

【0065】

図8(c)に示す曲線45と曲線46との位相差がほぼ揃った時(位相差0度の時)は、ACバイアス電流印加時の曲線47は高周波成分がないことが分かる。さらに、スペクトル解析を行なった結果(パワースペクトラム50)を見ると、低周波成分54のみであることが分かる。

【0066】

図8に示したように、低周波成分が最も大きくなるbの値を求めれば位相が合うことが分かる。図8に示したACバイアス時のスペクトル法は妨害磁気雑音が混入してもスペクトル解析を行なうことができ、誤差が少なくbの最適値を求めることが可能である。

【0067】

図9は、本発明の実施例の磁場計測装置を用いて測定された、ACバイアス時の磁場感度特性を示す図である。

【0068】

図9は、図8に示した方法を用いてACバイアス法を行い計測された磁場感度曲線91、91'のスペクトル特性を示している。図8では、2チャンネルの波形を示しており、図9中で矢印で示すように、お互いにクロストークなく20Hz近傍で50fT/Hzを実現していることが分かる。

【0069】

図10は、本発明の実施例の磁場計測装置を用いて、6×6のマトリックス状に配置した高温超電導SQUIDマグネットメーターによって測定された心臓磁場波形例を示す図である。

【0070】

図10では、高温超電導SQUIDのマグネットメーターを6×6配置して、測定した心磁図波形(101-1、101-2、～、101-36)を約100回平均して各測定CHの位置に配置して示している。1CHから36CHの全CHで心電図信号とほぼ同じ波形が検出されていることが分かる。なお、図10において、縦軸のフルスケールは4000pT、横軸のフルスケールは800msecである。

【0071】

図11は、図10の磁場分布から計算された電流分布図を示す図である。

【0072】

図11では、図10で測定された磁場分布を用いて電流分布表示を行なっている。図11では、1chの波形111のP波、QRS波、T波の最大点の時点における電流分布図112-p、112-QRS、112-Tを示している。図11の電流分布図は、測定された磁場Bzから、 $I_x = dB_z / dy$ 、 $I_y = -dB_z / dx$ により、電流Ix、Iyを計算して求めている。なお、xy面は生体の胸部面に平行な面であり、z軸方向はxy面に垂直である。

【0073】

以上のように、本発明の磁場計測装置によれば、複数のSQUID磁束計を安定にACバイアス動作させた状態で、自動で測定条件の調整が行なえ、各CH間のクロストーク無くSQUID磁束計を動作させることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】本発明の実施例の磁場計測装置の全体構成例を示す図。

【図2】本発明の実施例の磁場計測装置の回路構成例を示す図。

【図3】本発明の実施例の磁場計測装置のV-特性モニター時の制御シーケンスを示す図。

10

20

30

40

50

【図 4】本発明の実施例の磁場計測装置の S Q U I D の制御手順を示す図。

【図 5】本発明の実施例の磁場計測装置の $V -$ 特性を示す図。

【図 6】本発明の実施例の磁場計測装置の最適なバイアス電流、 V_p 、 V_{mp} 、 V_m 、 V_{mm} を求める制御手順を示す図。

【図 7】本発明の実施例の磁場計測装置において、相関法を用いた位相差の検出方法を示す図。

【図 8】本発明の実施例の磁場計測装置において、A C バイアス時の V_{out} 信号のスペクトル解析法を用いた位相差の検出方法を示す図。

【図 9】本発明の実施例の磁場計測装置を用いて測定された、A C バイアス時の磁場感度特性を示す図。

10

【図 10】本発明の実施例の磁場計測装置を用いて、 6×6 のマトリックス状に配置した高温超電導 S Q U D マグネットメーターによって測定された心臓磁場波形例を示す図。

【図 11】図 10 の磁場分布から計算された電流分布図を示す図。

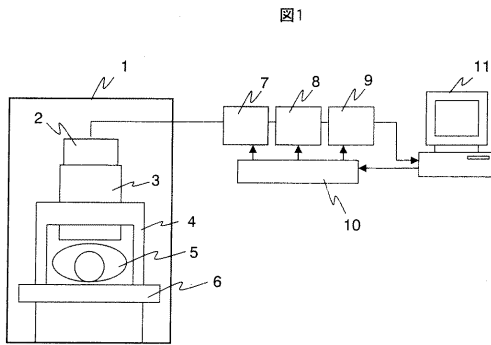
【符号の説明】

【0075】

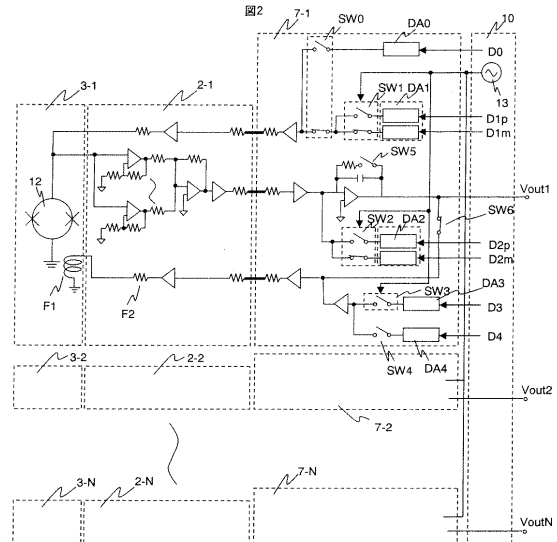
1 ... 磁気シールドルーム、2、2 - 1、2 - 2、～、2 - N ... プリアンプ部、3 ... クライオスタット、3 - 1、3 - 2、～、3 - N ... 低温部、4 ... ガントリー、5 ... 被験者、6 ... ベッド、7、7 - 1、7 - 2、～、7 - N ... 駆動回路、8 ... アンプ・フィルター回路、9 ... A D コンバーター、10 ... インターフェースボード、11 ... コンピューター、12 ... SQUID、13 ... 発振器、131 ... 電流バイアス、121 ... 外部 ext 信号、132 ... 出力電圧 V_{out} 、14 ... 電流バイアスプラス側の $V -$ 特性、15 ... 電流バイアスマイナス側の $V -$ 特性、91、91' ... 磁場感度曲線、101 - 1 ~ 101 - 36 ... 心臓磁場波形、111 ... 心臓磁場波形、112 - p ... P 波における電流分布図、112 - Q R S ... Q R S 波における電流分布図、112 - T ... T 波における電流分布図、S W 0、S W 1、S W 2、S W 3、S W 4、S W 5 ... スイッチ、D A 0、D A 1、D A 2、D A 3、D A 4 ... D A コンバーター、F 1 ... フィードバックコイル、F 2 ... フィードバック抵抗、 $V_{out1} \sim V_{outN}$... 出力信号、 V_p ... 電流バイアスプラス側の変調電圧、 V_m ... 電流バイアスマイナス側の変調電圧、 V_{mp} ... 電流バイアスプラス側のキャンセル電圧、 V_{mm} ... 電流バイアスマイナス側のキャンセル電圧、 b ... 磁束の位相差。

20

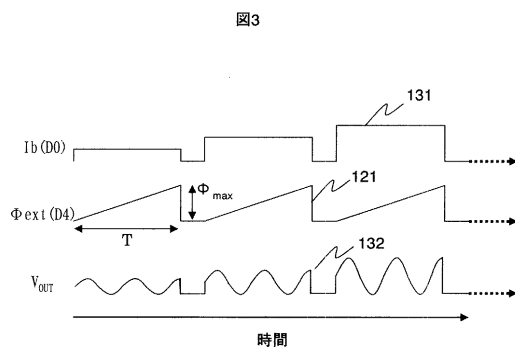
【図 1】



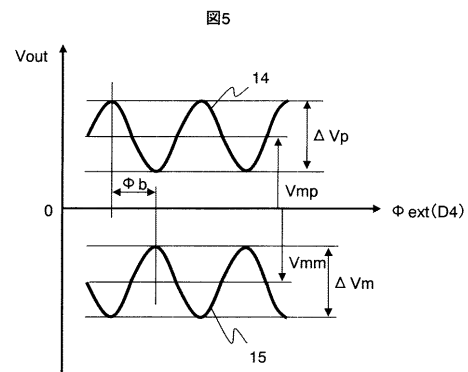
【図 2】



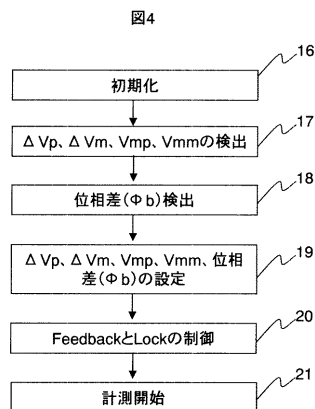
【図 3】



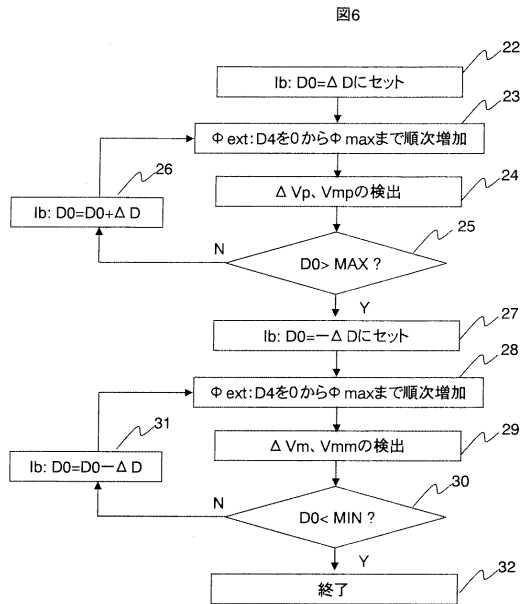
【図 5】



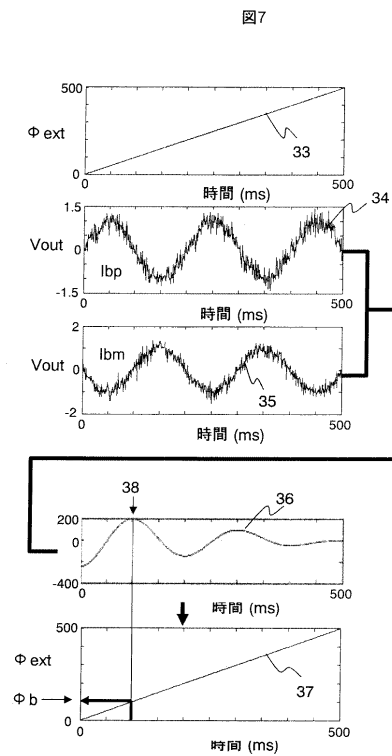
【図 4】



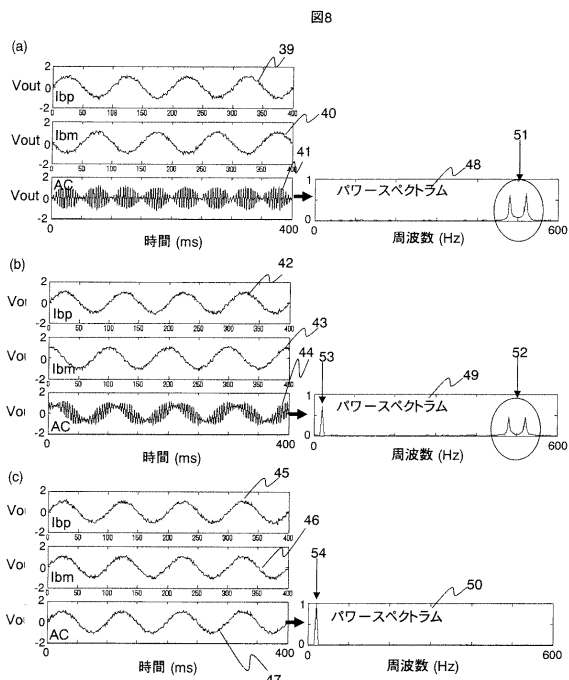
【 図 6 】



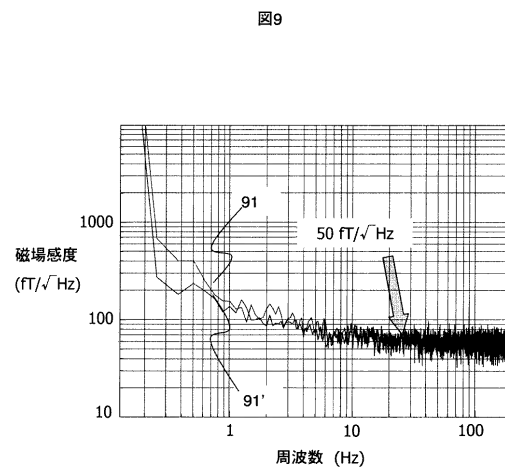
【 図 7 】



【 図 8 】

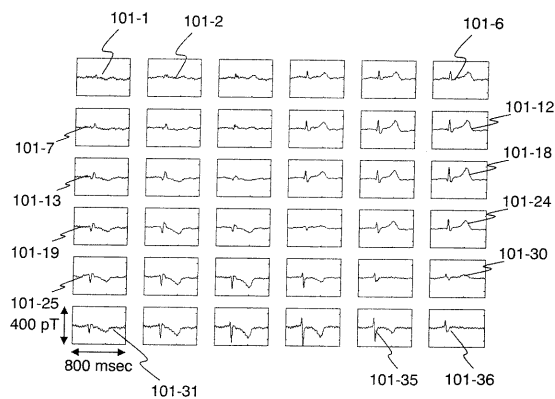


【 図 9 】



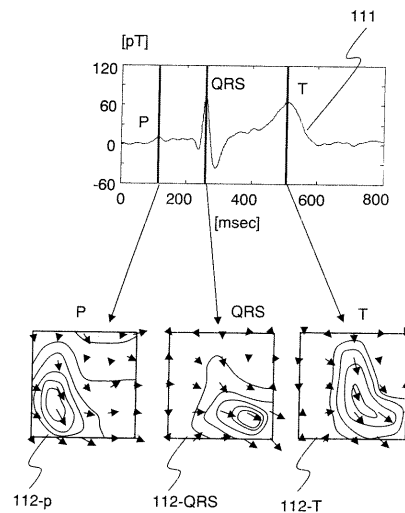
【図 10】

図10



【図 11】

図11



【手続補正書】

【提出日】平成17年7月6日(2005.7.6)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数の S Q U I D 磁束計と

、

前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加するための単一の発振器の信号を前記複数の S Q U I D 磁束計に共通に供給する手段と、

前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加する手段と、

プラス側の A C バイアス電流の印加時に測定される V - 特性とマイナス側の A C バイアス電流の印加時に測定される V - 特性との間の相互相関関数を計算する手段とを有し

、

前記相互相関関数の最大値に基づいて前記プラス側の A C バイアス電流の印加時と前記マイナス側の A C バイアス電流の印加時の磁束の位相差をキャンセルすることを特徴とする磁場計測装置。

【請求項 2】

検査対象から発生する磁場を検出する検出コイルを具備する複数の S Q U I D 磁束計と

、

前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加するための単一の発振器の信号を前記複数の S Q U I D 磁束計に共通に供給する手段と、

前記複数の S Q U I D 磁束計に A C バイアス電流を印加する手段と、
前記 A C バイアス電流の印加時に測定される V - 性のパワースペクトラムの低周波成分が最大となる位相差を求める手段とを有することを特徴とする磁場計測装置。

フロントページの続き

- (72)発明者 宮下 豪
埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地 株式会社日立製作所基礎研究所内
- (72)発明者 鈴木 大介
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 緒方 邦臣
埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地 株式会社日立製作所基礎研究所内
- (72)発明者 塚本 晃
埼玉県比企郡鳩山町赤沼 2 5 2 0 番地 株式会社日立製作所基礎研究所内
- (72)発明者 関 悠介
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- F ターム(参考) 2G017 AA04 AA13 AC09 AD32
4C027 AA10 CC01 KK07