

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3548757号

(P3548757)

(45) 発行日 平成16年7月28日(2004.7.28)

(24) 登録日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int. Cl.⁷

G 0 1 R 33/02

F I

G 0 1 R 33/02

B

請求項の数 2 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願平11-317339	(73) 特許権者	593165487
(22) 出願日	平成11年11月8日(1999.11.8)		学校法人金沢工業大学
(65) 公開番号	特開2001-133528(P2001-133528A)		石川県石川郡野々市町扇が丘7番1号
(43) 公開日	平成13年5月18日(2001.5.18)	(74) 代理人	100095511
審査請求日	平成14年10月21日(2002.10.21)		弁理士 有近 紳志郎
		(72) 発明者	足立 善昭
			千葉県柏市柏4丁目11番6サンハウス202
		審査官	飯野 茂
		(56) 参考文献	特開平10-107588(JP,A)
			特開平7-312555(JP,A)
			特開平7-84018(JP,A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物理量測定装置および磁気測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象の物理量に対して非線形の検出特性を有する非線形検出手段と、その非線形検出手段から取り出された検出信号を多段接続された複数の積分器により多重に積分して該多重度の違いによって異なる複数の帯域の信号成分を同時に得る多重積分手段と、前記信号成分の全部または一部に基づくフィードバック信号を前記非線形検出手段側へフィードバックして前記検出特性を線形化するフィードバック手段とを具備したことを特徴とする物理量測定装置。

【請求項2】

磁気に対して非線形の検出特性を有する非線形磁気検出手段と、その非線形磁気検出手段から取り出された磁気検出信号を多段接続された複数の積分器により多重に積分して該多重度の違いによって異なる複数の帯域の信号成分を同時に得る多重積分手段と、前記信号成分の全部または一部に基づくフィードバック信号を前記非線形磁気検出手段側へフィードバックして前記検出特性を線形化するフィードバック手段とを具備したことを特徴とする磁気測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、物理量測定装置および磁気測定装置に関し、さらに詳しくは、検出信号の通過域利得と帯域幅の両方を大きくできると共に異なる複数の帯域の信号成分を同時に得るこ

10

20

とができる物理量測定装置および磁気測定装置に関する。特に、地磁気の交流成分などの微弱な磁気を測定するのに有用である。

【0002】

【従来の技術】

図9は、従来の磁気測定装置の一例を示す構成図である。

この磁気測定装置500は、磁気に対して非線形の検出特性を有する磁気センサ1と、プリアンプ2と、積分器53と、フィードバック抵抗Rと、フィードバックコイル4とを具備して構成されている。

前記磁気センサ1から取り出された磁気検出電流 I_{sensor} は、前記プリアンプ2で増幅されて、前記積分器53へ送られる。前記積分器53の出力信号は、磁気測定信号 O_{ut} として取り出されると共に、前記フィードバック抵抗Rによりフィードバック電流 I_{fb} となって前記フィードバックコイル4へフィードバックされる。これにより、測定対象磁気 B_{ext} とは逆向きのフィードバック磁気 B_{fb} が前記フィードバックコイル4から発生して磁束固定ループ (FLL; Flux Locked Loop) の制御が行われ、前記磁気センサ1の検出特性が線形化される。

10

【0003】

図10は、上記磁気測定装置500の通過域利得 - 周波数特性を示すグラフである。

遮断周波数 F_c は、利得が最大利得 G から 3 dB 低下する周波数である。

一般に、積分器の出力の利得帯域幅積 GBW (Gain Band-Width product; 最大利得 G から 3 dB 低下した利得と、その利得以上の利得を有する帯域幅 BW との積) は、該積分器の出力電圧のダイナミックレンジ (振れ幅) により制限される。前記ダイナミックレンジは、例えば $\pm 15\text{ V}$ である。

20

したがって、前記積分器53の時定数や前記フィードバック抵抗Rを調整して、利得 G を上げると帯域幅 BW が狭くなり (その周波数特性を一点鎖線で示す)、帯域幅 BW を上げると利得 G が下がる (その周波数特性を破線で示す)。

【0004】

図11は、磁気測定装置の他例を示す構成図である。

この磁気測定装置600において、プリアンプ2の入力端子には、測定対象磁気 B_{ext} が前記磁気センサ1に加わることにより発生する原検出電流 I_{ext} と、フィードバック抵抗Rを介して積分器53から送られるフィードバック電流 I_{fb} とを共通接続点で合成した磁気検出電流 I_{sensor} が入力される。これにより、前記磁気センサ1の検出特性が線形化される。

30

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来の磁気測定装置500, 600では、先に図10を参照して説明したように、利得帯域幅積が積分器53の出力電圧のダイナミックレンジにより制限されるので、利得 G と帯域幅 BW の両方を十分に大きくすることが難しい問題点がある。

また、磁気測定信号 O_{ut} として、単一の帯域の信号成分のみしか出力できず、複数の帯域の信号成分が必要な場合に対応し難い問題点がある。

【0006】

40

そこで、本発明の目的は、検出信号の通過域利得と帯域幅の両方を大きくできると共に異なる複数の帯域の信号成分を測定信号として同時に得ることができる物理量測定装置および磁気測定装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

第1の観点では、本発明は、測定対象の物理量に対して非線形の検出特性を有する非線形検出手段と、その非線形検出手段から取り出された検出信号を多段接続された複数の積分器により多重に積分して該多重度の違いによって異なる複数の帯域の信号成分を同時に得る多重積分手段と、前記信号成分の全部または一部に基づくフィードバック信号を前記非線形検出手段側へフィードバックして前記検出特性を線形化するフィードバック手段とを

50

具備したことを特徴とする物理量測定装置を提供する。

上記第1の観点による物理量測定装置では、各段における利得帯域幅積は各積分器の出力電圧のダイナミックレンジにより規定されるので、広帯域を複数の帯域に分割したときの各帯域の信号成分の抽出を別々の積分器に分担させることで、全体としてダイナミックレンジの大きい広帯域フィルタ特性を実現することが出来る。すなわち、検出信号から信号成分を抽出する際の通過域利得と帯域幅の両方を十分に大きくすることが出来る。

また、各積分器の時定数やフィードバック特性を調整することで、検出信号から抽出される信号成分の帯域を積分器ごとに変えることが可能となり、異なる複数の帯域の信号成分を測定信号として同時に得ることが出来る。

【0008】

第2の観点では、本発明は、磁気に対して非線形の検出特性を有する非線形磁気検出手段と、その非線形磁気検出手段から取り出された磁気検出信号を多段接続された複数の積分器により多重に積分して該多重度の違いによって異なる複数の帯域の信号成分を同時に得る多重積分手段と、前記信号成分の全部または一部に基づくフィードバック信号を前記非線形磁気検出手段側へフィードバックして前記検出特性を線形化するフィードバック手段とを具備したことを特徴とする磁気測定装置を提供する。

上記第2の観点による磁気測定装置は、上記第1の観点にかかる物理量測定装置の物理量として磁気を測定するものなので、磁気検出信号から信号成分を抽出する際の通過域利得と帯域幅の両方を十分に大きくすることが出来る。また、異なる複数の帯域の信号成分を磁気測定信号として同時に得ることが出来る。

【0009】

【発明の実施の形態】

以下、図に示す実施の形態により本発明をさらに詳細に説明する。なお、これにより本発明が限定されるものではない。

【0010】

- 第1の実施形態 -

図1は、本発明の第1の実施形態にかかる磁気測定装置を示す構成図である。この磁気測定装置100は、磁気に対して非線形の検出特性を有する磁気センサ(磁気検出コイル)1と、プリアンプ2と、多段接続された積分器3-1, 3-2, 3-3と、フィードバック抵抗R1, R2, R3と、フィードバックコイル4とを具備して構成されている。前記積分器3-1の時定数 τ_1 、前記積分器3-2の時定数 τ_2 、前記積分器3-3の時定数 τ_3 は、 $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ の関係を満たす。

前記磁気センサ1から取り出された磁気検出電流 I_{sensor} は、前記プリアンプ2で増幅された後、前記積分器3-1に入力され、積分される。そして、前記積分器3-2, 3-3により多重に積分される。前記磁気センサ1の磁気検出感度は、例えば $1 \mu V / 1 fT$ (fT ; femto-tesla)程度である。

【0011】

1段目の積分器3-1の出力信号は、磁気測定信号 Out_1 として取り出されると共に、フィードバック抵抗R1を介してフィードバックコイル4へフィードバックされる。

2段目の積分器3-2の出力信号は、磁気測定信号 Out_2 として取り出されると共に、フィードバック抵抗R2を介してフィードバックコイル4へフィードバックされる。

3段目の積分器3-3の出力信号は、磁気測定信号 Out_3 として取り出されると共に、フィードバック抵抗R3を介してフィードバックコイル4へフィードバックされる。

この結果、フィードバック電流 I_{fb} がフィードバックコイル4に送られて、測定対象磁気 B_{ext} とは逆向きのフィードバック磁気 B_{fb} が発生する。これにより、磁束固定ループの制御が行われ、前記磁気センサ1の検出特性が線形化される。

【0012】

次に、この磁気測定装置100の動作原理を説明する。

まず、図2に示すように、前記磁気センサ1と、前記プリアンプ2と、1段目の積分器3-1と、前記フィードバック抵抗R1のみを抽出した回路を想定する。

10

20

30

40

50

前記磁気センサ 1 と、前記プリアンプ 2 と、前記積分器 3 - 1 と、前記フィードバックコイル 4 は、全体として、1 つの仮想オペアンプ (operational amplifier) A 1 と見なせる。そして、前記仮想オペアンプ A 1 の非反転入力端子に測定対象磁気 B_{ext} を入力し、反転入力端子にフィードバック電流 I_{fb} を入力するものとして取り扱う。

【 0 0 1 3 】

図 3 は、図 2 の回路の通過域利得 - 周波数特性を示すグラフである。

破線で示すように、前記仮想オペアンプ A 1 の開ループゲインは、積分器 3 - 1 の周波数特性に依存するので、低域となるにつれて大きくなる。

前記仮想オペアンプ A 1 の出力端子と反転入力端子の間にフィードバック抵抗 R_1 を接続することで、前記仮想オペアンプ A 1 の入出力特性が線形化される。このとき、前記積分器 3 - 1 から出力される磁気測定信号 O_{ut1} の周波数特性 C_{1L} は、最大利得を G_a とし、遮断周波数を F_{c1} とするローパスフィルタ (LPF; Low-Pass Filter) の特性となる。前記最大利得 G_a および前記遮断周波数 F_{c1} は、前記積分器 3 - 1 の時定数およびフィードバック抵抗 R_1 により決まる。ちなみに、フィードバック磁気 B_{fb} により前記磁気センサ 1 に発生する検出電圧とフィードバック電流 I_{fb} との比 (= 検出電圧 / フィードバック電流 I_{fb}) が、一般のオペアンプで非反転増幅回路を構成する場合の入力抵抗に相当する。

【 0 0 1 4 】

次に、図 4 に示すように、図 2 の回路部分と、積分器 3 - 2 と、フィードバック抵抗 R_2 のみを抽出した回路を想定する。

前記プリアンプ 2 と、前記積分器 3 - 1 と、前記フィードバック抵抗 R_1 は、全体として、1 つの仮想アンプ P と見なせる。

前記磁気センサ 1 と、前記仮想アンプ P と、前記積分器 3 - 2 と、フィードバックコイル 4 は、全体として、1 つの仮想オペアンプ A 2 と見なせる。

【 0 0 1 5 】

図 5 は、図 4 の回路の通過域利得 - 周波数特性を示すグラフである。

前記仮想オペアンプ A 2 の出力端子と反転入力端子の間にフィードバック抵抗 R_2 を接続することで、前記仮想オペアンプ A 2 の入出力特性が線形化される。このとき、前記積分器 3 - 2 から出力される磁気測定信号 O_{ut2} の周波数特性 C_{2L} は、遮断周波数を F_{c2} ($F_{c2} < F_{c1}$) とするローパスフィルタの特性となる。前記積分器 3 - 1 にかかる周波数特性 C_{1L} は、フィードバック成分 (前記遮断周波数 F_{c2} 以下の低域成分) を通過域としない特性、すなわち上側遮断周波数を F_{c1} とし下側遮断周波数を F_{c2} とするバンドパスフィルタ (BPF; Band-Pass Filter) の特性となる。

【 0 0 1 6 】

結局のところ、図 6 に示すように、前記磁気測定装置 100 は、周波数特性 C_{1L} に対応する帯域成分を有する磁気測定信号 O_{ut1} と、周波数特性 C_{2L} に対応する帯域成分を有する磁気測定信号 O_{ut2} と、周波数特性 C_{3L} に対応する帯域成分を有する磁気測定信号 O_{ut3} とを同時に出力する。すなわち、積分器 3 - 1, 3 - 2, 3 - 3 の全体として、遮断周波数 F_{c1} 以下の全帯域で実質的に平坦な利得 G_a を維持するローパスフィルタ特性を実現できる。なお、「実質的に平坦」とは、前記周波数特性 C_{1L} , C_{2L} , C_{3L} のそれぞれの端境で、利得がいったん 3 dB 程度落ち込むことがあっても、ローパスフィルタとしての特性に支障がないことを意味する。

【 0 0 1 7 】

図 7 は、前記積分器 3 - 1, 3 - 2, 3 - 3 の通過域利得 - 周波数特性の他例を示すグラフである。

前記積分器 3 - 1 にかかる周波数特性 $C_{1'}$ は、最大利得を G_1 とし、帯域幅を BW_1 (上側遮断周波数は $F_{c1'}$, 下側遮断周波数は $F_{c2'}$) とするバンドパスフィルタ特性である。

前記積分器 3 - 2 にかかる周波数特性 $C_{2'}$ は、最大利得を G_2 ($G_2 > G_1$) とし、帯域幅を BW_2 (上側遮断周波数は前記 $F_{c2'}$, 下側遮断周波数は $F_{c3'}$) とするバン

10

20

30

40

50

ドパスフィルタ特性である。

前記積分器 3 - 3 にかかる周波数特性 $C_{3'}$ は、最大利得を G_3 ($G_2 > G_3 > G_1$) とし、帯域幅を BW_3 (遮断周波数は前記 $F_{c3'}$) とするローパスフィルタ特性である。数値例を示せば、前記最大利得 G_1 は例えば 20 dB であり、前記最大利得 G_2 は例えば 40 dB であり、前記最大利得 G_3 は例えば 30 dB である。また、前記遮断周波数 $F_{c1'}$ は例えば 200 Hz であり、前記遮断周波数 $F_{c2'}$ は例えば 30 Hz であり、前記遮断周波数 $F_{c3'}$ は例えば 0.1 Hz である。

なお、各周波数特性における利得帯域幅積は、各積分器 3 - 1, 3 - 2, 3 - 3 の出力電圧のダイナミックレンジにより規定される。

【0018】

以上の磁気測定装置 100 によれば、図 6 に示したように、磁気測定信号 Out_1 , Out_2 , Out_3 の全体として、遮断周波数 F_{c1} 以下の広帯域の信号成分を高利得で得ることが出来る。

また、図 7 に示したように、磁気検出電流 I_{sensor} から高域の信号成分を抽出した磁気測定信号 Out_1 と、中域の信号成分を抽出した磁気測定信号 Out_2 と、低域の信号成分を抽出した磁気測定信号 Out_3 とを同時に取り出すことが可能となる。

【0019】

- 第 2 の実施形態 -

図 8 は、本発明の第 2 の実施形態にかかる磁気測定装置を示す構成図である。この磁気測定装置 200 は、磁気に対して非線形の検出特性を有する磁気センサ 1 と、プリアンプ 2 と、多段接続された積分器 3 - 1, 3 - 2, 3 - 3 と、フィードバック抵抗 R_1 , R_2 , R_3 とを具備して構成されている。

前記プリアンプ 2 の入力端子には、測定対象磁気 B_{ext} が前記磁気センサ 1 に加わることにより発生する原検出電流 I_{ext} と、フィードバック抵抗 R_1 , R_2 , R_3 を介して各積分器 3 - 1, 3 - 2, 3 - 3 から送られるフィードバック電流 I_{fb} とを共通接続点で合成した磁気検出電流 I_{sensor} が入力される。これにより、前記磁気センサ 1 の検出特性が線形化される。

以上の磁気測定装置 200 によれば、フィードバックコイル (図 1 の 4) が不要となるので、構成をさらに簡単にして、いっそう低コスト化できる。

【0020】

なお、上記の実施形態では、3 つの積分器 3 - 1, 3 - 2, 3 - 3 を多段接続したが、積分器の個数を 2 つに減らしてもよいし、4 以上に増やしてもよい。個数を減らした場合には、構成を簡略化して、さらに低コスト化できる。個数を増やした場合には、総合的なダイナミックレンジをさらに大きくすると共に、より多数の帯域の信号成分をきめ細かく抽出することが出来る。

【0021】

【発明の効果】

本発明の物理量測定装置および磁気測定装置によれば、実質的な利得帯域幅積の大きいフィルタ特性を得ることができ、測定信号のダイナミックレンジや測定感度を向上することが出来る。また、多段接続された各積分器の時定数やフィードバック特性を変化させることで、各積分器から所望の帯域の信号成分を同時に出力することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態にかかる磁気測定装置を示す構成図である。

【図 2】1 段目の積分器までを抽出した回路を示す説明図である。

【図 3】図 2 の回路の利得 - 周波数特性を示すグラフである。

【図 4】2 段目の積分器までを抽出した回路を示す説明図である。

【図 5】図 4 の回路の利得 - 周波数特性を示すグラフである。

【図 6】図 1 の磁気測定装置の各積分器の利得 - 周波数特性を示すグラフである。

【図 7】図 1 の磁気測定装置の各積分器の利得 - 周波数特性の他例を示すグラフである。

【図 8】本発明の第 2 の実施形態にかかる磁気測定装置を示す構成図である。

10

20

30

40

50

【図9】従来の磁気測定装置の一例を示す構成図である。

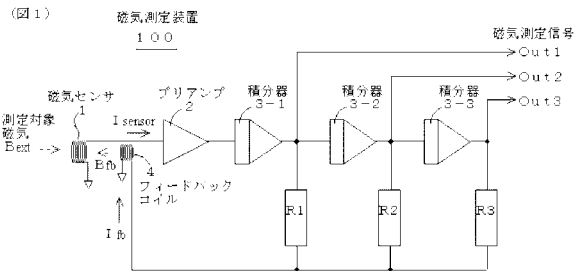
【図10】図9の磁気測定装置の積分器の利得 - 周波数特性を示すグラフである。

【図11】従来の磁気測定装置の他例を示す構成図である。

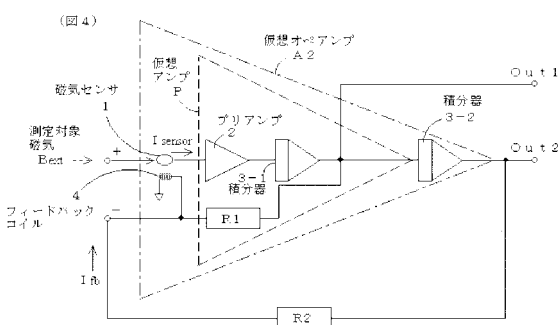
【符号の説明】

- 1 0 0 , 2 0 0 磁気測定装置
- 1 磁気センサ
- 2 プリアンプ
- 3 - 1 , 3 - 2 , 3 - 3 積分器
- 4 フィードバックコイル
- B e x t 測定対象磁気
- B f b フィードバック磁気
- I e x t 原検出電流
- I f b フィードバック電流
- I s e n s o r 磁気検出電流
- O u t 1 , O u t 2 , O u t 3 磁気測定信号
- R 1 , R 2 , R 3 フィードバック抵抗

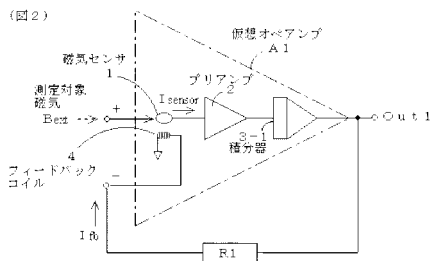
【図1】



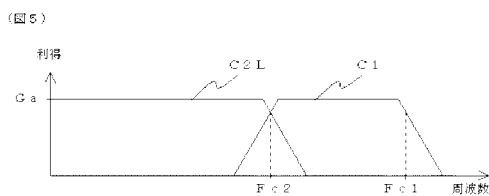
【図4】



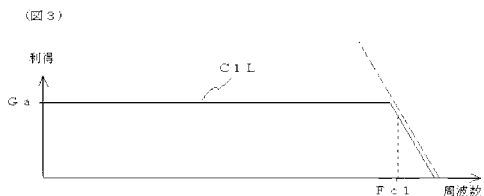
【図2】



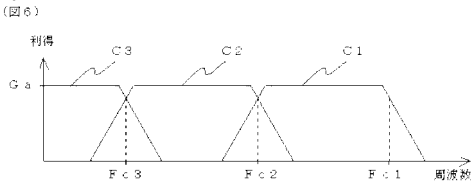
【図5】



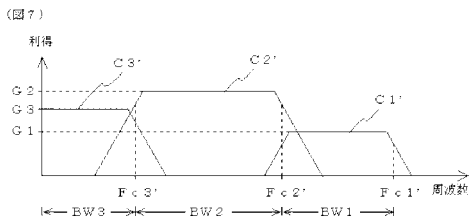
【図3】



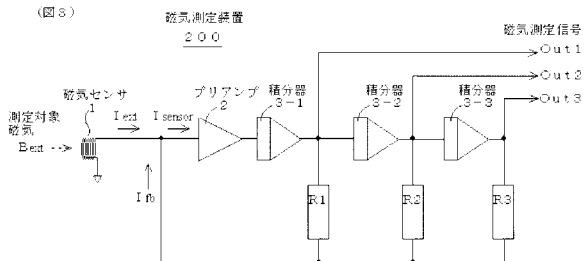
【図6】



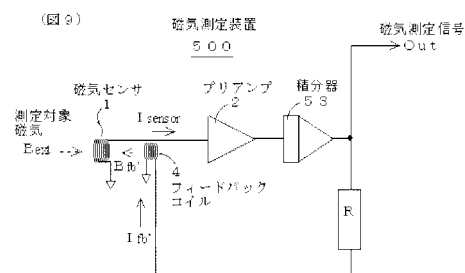
【 図 7 】



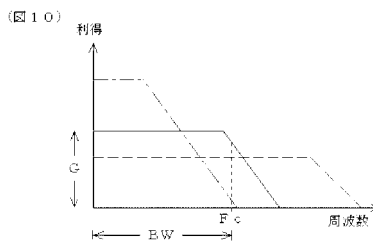
【 図 8 】



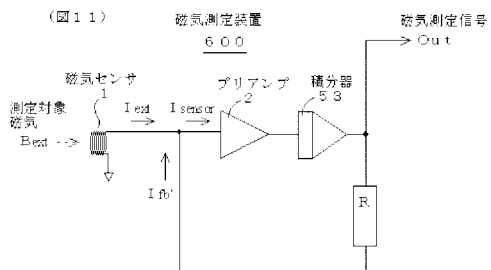
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01R 33/02-10

G01D 3/02-024

H03G 3/30