

(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2004-132537
(P2004-132537A)

(43) 公開日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int.Cl.⁷
F 1 6 C 32/04

F I
F 1 6 C 32/04

A

テーマコード (参考)
3 J 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2003-99494 (P2003-99494)	(71) 出願人	000000239
(22) 出願日	平成15年4月2日 (2003.4.2)		株式会社荏原製作所
(31) 優先権主張番号	特願2002-236061 (P2002-236061)		東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(32) 優先日	平成14年8月13日 (2002.8.13)	(71) 出願人	000140111
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		株式会社荏原電産
			東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
		(71) 出願人	800000068
			学校法人東京電機大学
			東京都千代田区神田錦町 2 - 2
		(74) 代理人	100091498
			弁理士 渡邊 勇
		(74) 代理人	100092406
			弁理士 堀田 信太郎
		(74) 代理人	100093942
			弁理士 小杉 良二

最終頁に続く

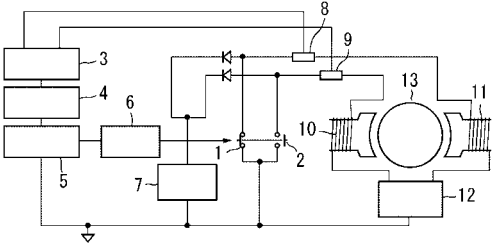
(54) 【発明の名称】 磁気軸受制御装置

(57) 【要約】

【課題】システム構造が簡素で特殊なデジタル演算処理を必要としないセンサレス磁気軸受制御装置を提供する。

【解決手段】磁気軸受を構成する電磁石 1 0 , 1 1 には、あらかじめ該電磁石の線型性を維持するために必要なバイアス電流を供給するためのバイアス電圧源 1 2 と、電磁石に対して、バイアス電圧源からのバイアス電流に重畳して回転体を所望の位置に浮上支持制御するために必要な励磁電流を供給するための制御電流源 7 が接続され、制御電流源から出力する励磁電流は磁気軸受制御電圧源をパルス幅変調制御によって、対向に配置された一対の電磁石それぞれに対して、相反するデューティ比で供給される。そのデューティ比は回転体 1 3 の位置により変化する該一対の電磁石各々のインピーダンスが等しくなるように制御される。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転体の位置変位を検出し、対向に配置された一对の電磁石の磁気吸引力または反発力により、該一对の電磁石間で回転体を所定の浮上位置に浮上制御を行うことで、回転体を回転自在に且つ非接触に浮上支持する磁気軸受において、

前記磁気軸受を構成する電磁石に供給する励磁電流を制御するために必要な回転体の位置情報を、該電磁石のインピーダンス変化により検出し、回転体の位置情報を検出するための別個の位置変位検出素子を必要としないことを特徴とする磁気軸受制御装置。

【請求項 2】

前記電磁石には、あらかじめその線型性を維持するために必要なバイアス電流を供給するためのバイアス電圧源と、該電磁石に対して、該バイアス電圧源からのバイアス電流に重畳して回転体を所望の位置に浮上支持制御するために必要な励磁電流を供給するための制御電流源とが接続され、該制御電流源から出力する励磁電流は磁気軸受制御電圧源を P W M 制御する電流供給手段によって、前記対向に配置された一对の電磁石それぞれに対して、相反するデューティ比で供給され、該デューティ比は回転体の位置により変化する該一对の電磁石各々のインピーダンスが等しくなるように制御されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気軸受制御装置。

10

【請求項 3】

前記対向に配置された一对の電磁石各々のインピーダンスを検出する手段として、前記磁気軸受制御電圧源から P W M 制御で電磁石に供給される際の電磁石両端間の入力電圧であって、P W M 制御で区切られたパルス電圧により発生する励磁電流を、該電磁石と P W M 制御の電源間に接続された電流電圧変換素子によって所望の電圧範囲に変換されたパルス信号として検出し、該パルス信号のピーク値は該電磁石と回転体との隙間長の変化により発生するインピーダンス変化によって変動し、あらかじめ設定した係数で演算することにより、回転体の位置変位情報を該パルス信号のピーク電圧変化から検出可能にしたことを特徴とする請求項 2 記載の磁気軸受制御装置。

20

【請求項 4】

前記パルス信号から得られた回転体の位置変位信号は、該回転体の機械的制御系の固有値に対して所要の補償特性を備えた制御回路を通過し、前記対向に配置された一对の電磁石に相反するデューティ比で P W M 制御された励磁電流として供給されることを特徴とする請求項 3 記載の磁気軸受制御装置。

30

【請求項 5】

回転体の位置変位を検出し、対向に配置された一对の電磁石の磁気吸引力または反発力により、該一对の電磁石間で回転体を所定の浮上位置に浮上制御を行うことで、回転体を回転自在に且つ非接触に浮上支持する磁気軸受において、

前記電磁石には、あらかじめその線型性を維持するために必要なバイアス電流を供給するためのバイアス電圧源と、該電磁石に対して、該バイアス電圧源からのバイアス電流に重畳して回転体を所望の位置に浮上支持制御するために必要な励磁電流を供給するための制御電流源とが接続され、該制御電流源から出力する励磁電流は磁気軸受制御電圧源を P W M 制御する電流供給手段によって、前記対向に配置された一对の電磁石それぞれに対して、相反するデューティ比で供給され、

40

前記一对の電磁石のそれぞれに電流を流す第 1 および第 2 の巻線と、第 3 の巻線を持つトランスを具備し、第 3 の巻線に誘起される電圧または電流より前記回転体の位置変位の検出を行うことを特徴とする磁気軸受制御装置。

【請求項 6】

前記第 3 の巻線の端子間に、コンデンサ、または、コンデンサおよび電気抵抗を並列に挿入し、該第 3 の巻線の自己インダクタンスと該コンデンサの静電容量で共振回路を構成することで、第 3 の巻線の端子間に該回転体の位置変位検出に必要な周波数成分の電圧が選択的に得られるようにしたことを特徴とする請求項 5 記載の磁気軸受制御装置。

【請求項 7】

50

回転体の位置変位を検出し、対向に配置された一対の電磁石の磁気吸引力または反発力により、該一対の電磁石間で回転体を所定の浮上位置に浮上制御を行うことで、回転体を回転自在に且つ非接触に浮上支持する磁気軸受において、

前記電磁石には、あらかじめその線型性を維持するために必要なバイアス電流を供給するためのバイアス電圧源と、該電磁石に対して、該バイアス電圧源からのバイアス電流に重畳して回転体を所望の位置に浮上支持制御するために必要な励磁電流を供給するための制御電流源とが接続され、該制御電流源から出力する励磁電流は磁気軸受制御電圧源をPWM制御する電流供給手段によって、前記対向に配置された一対の電磁石それぞれに対して、相反するデューティ比で供給され、

前記一対の電磁石のそれぞれの電流を検出する電流検出手段と、該電流検出手段から得られた該電磁石のそれぞれの電流の検出信号を加算する信号加算手段と、該加算手段から得られた加算信号を入力し操作信号を出力する制御手段と、該操作信号に応じて出力電圧が変化する前記バイアス電圧源を具備したことを特徴とする磁気軸受制御装置。 10

【請求項 8】

前記一対の電磁石のそれぞれの電流の検出信号の差である差信号に、あらかじめ設定した係数を乗じて、該電磁石のインピーダンス変化より検出された位置情報の信号に加算し、この演算結果を前記回転体の浮上制御に必要な位置変位信号として利用することを特徴とする請求項 7 記載の磁気軸受制御装置。

【請求項 9】

前記一対の電磁石を複数対備え、前記回転体の位置変位を検出すると共に、前記回転体の浮上位置を複数対の電磁石およびその制御装置により多軸制御する磁気軸受において、前記バイアス電圧源を共有し、バイアス電圧源の数をその制御軸数よりも少なくしたことを特徴とする請求項 5 乃至 8 のいずれかに記載の磁気軸受制御装置。 20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電磁石の発生する磁気吸引力あるいは磁気反発力を用いて、回転体を所定の位置に非接触支持する磁気軸受装置に係り、特に、回転体と電磁石間の隙間を、電磁石を構成する励磁コイルのインピーダンス変化から検出し、前記回転体を所定の位置に浮上支持制御するための信号として用いるセンサレス磁気軸受の制御装置に関する。 30

【0002】

【従来技術】

近年、ターボ分子ポンプなど高真空空間を形成するために使用される回転機械などでは、回転数が毎分数万回転以上の領域までに運転速度を上げることで、所望の性能を発揮するように設計されている回転機械が増加してきている。このような回転機械においては、高速回転を長期間維持するためには、低摩擦係数の軸受が必要である。電子回路を使ったフィードバック制御技術が進んだことにより、電磁石の磁気吸引力あるいは磁気反発力を使って、回転体を所望の位置に非接触で浮上支持制御が可能な、殆ど摩擦係数の存在しない磁気軸受が一般的に使われるようになり、高速回転機械の寿命が飛躍的にのびてきている。

【0003】

しかしながら、この磁気軸受装置は高速回転機械など、磁気軸受装置でなければ実現できない性能を要求される特殊な機械装置での普及は進んだものの、未だ、汎用的な工業製品にまで普及してきていない。すなわち磁気軸受装置は、回転体の位置変位情報を得るための変位検出素子と、浮上支持するための励磁磁束を発生させる電磁石が、従来の玉軸受などに変わって必要な構成部品になるのであるが、玉軸受に比べて構造的な形状が非常に大きく、体積を必要とする。このため、単純に玉軸受の交換部品として同様のスペースに入れ替えるといった作業が不可能であるため、磁気軸受を搭載した特殊な製品として製造されるにとどまっている。

【0004】

また、磁気軸受の構造そのものを見ても、回転体の位置変位情報を得るための変位検出素 40

子と、浮上支持力を発生させるための電磁石は異なる場所に取り付けられ、それぞれの機械的位置が異なる。このため、変位検出素子から得られた変位信号に対して電磁石に対する取付位置の補正を加え、更に浮上制御対象の機械的制御特性に関する補正を加えた信号を、電磁石に供給することで浮上制御を行っている。しかしながら、電磁石から見た浮上制御対象の位置と、変位検出素子から見た浮上制御対象の位置が著しく異なる場合、機械的制御特性に対する補正を加えることが困難になり、結果として磁気軸受装置で回転体の浮上支持に支障をきたす場合もあった。

【 0 0 0 5 】

【 発明が解決しようとする課題 】

磁気軸受制御に必要な、電磁石と浮上制御対象体間の位置情報を得るために、一般的に位置変位検出センサが必要である。従来方式では、位置変位検出センサと浮上制御対象体間の位置情報を擬似的に電磁石と制御対象間の距離として浮上制御に使用していたが、マクロ的には問題にならない位置変位センサと電磁石の軸方向位置の違いが、微細な位置制御を要求される磁気軸受制御装置では位置制御の誤差成分として発生するため、問題があった。 10

【 0 0 0 6 】

さらに、この様な問題を解消するため、従来から電磁石を位置変位検出センサとして用いて、電磁石から得られる何らかの情報によって制御を行うセンサレス磁気軸受制御方式もいくつか提唱されてきた。しかしながら、いずれの場合も、電気制御装置側を構成する電子回路が複雑で、装置毎の調整や磁気軸受としての運転条件変化に追従させるための制御をデジタル処理により行わなければならない等、システムとしての構成も煩雑になるため、実用性に問題が生じていた。 20

【 0 0 0 7 】

本発明は、係る問題点を解消するためになされたもので、システム構造が簡素で特殊なデジタル演算処理を必要としないセンサレス磁気軸受制御装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【 課題を解決するための手段 】

本発明の磁気軸受装置は、回転体の位置変位を検出し、対向に配置された一対の電磁石の磁気吸引力または反発力により、該一対の電磁石間で回転体を所定の浮上位置に浮上制御を行う磁気軸受において、前記磁気軸受を構成する電磁石には、あらかじめ該電磁石の線型性を維持するために必要なバイアス電流を供給するためのバイアス電圧源と、該電磁石に対して、該バイアス電圧源からのバイアス電流に重畳して回転体を所望の位置に浮上支持制御するために必要な励磁電流を供給するための制御電流源が接続され、該制御電流源から出力する励磁電流は磁気軸受制御電圧源をパルス幅変調制御によって、対向に配置された一対の電磁石それぞれに対して、相反するデューティ比で供給されることを特徴とする。そして、そのデューティ比は回転体の位置により変化する該一対の電磁石各々のインピーダンスが等しくなるように制御されることを特徴とする。 30

【 0 0 0 9 】

上記本発明によれば、制御対象（回転体）の一対の電磁石間における位置に対応して、それぞれの電磁石の励磁巻線のインダクタンスが変化するので、電磁石のインピーダンス変化により回転体の位置情報を検出することができる。そして、検出された位置情報に基づいて、電磁石の励磁電流をパルス幅変調制御することで、回転体を目標位置に浮上支持することができる。 40

一対の電磁石にはそれぞれ相反するデューティ比で励磁電流が供給され、そのデューティ比は回転体の位置により変化する一対の電磁石のそれぞれのインピーダンスが等しくなるように制御される。これにより、回転体が一対の電磁石間の中央位置に浮上支持されるように位置決め制御が行われる。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の磁気軸受装置の一態様は、前記一対の電磁石のそれぞれに電流を流す第 1 50

および第2の巻線と、第3の巻線を持つトランスを具備し、第3の巻線に誘起される電圧または電流より前記回転体の位置変位の検出を行うことを特徴とする。これにより、三つの巻線を持つトランスによる一对の電磁石の電流加算（減算）値の検出を行うことができ、別個に電流センサおよび加算（減算）回路を用いることが必要でなくなる。したがって、二つのセンサの検出感度を合わせるための調整等が不要となり、簡単な構成で安定した電流検出が行える。また、トランスの第3の巻線の端子間に、コンデンサまたはコンデンサと抵抗とを並列に挿入することで、トランスの第3の巻線の自己インダクタンスとコンデンサの静電容量で共振回路を構成することができる。これにより、回転体の位置変位検出に必要な周波数成分を選択的に高いゲインで得ることができる。

【0011】

また、本発明の磁気軸受制御装置の他の態様は、前記一对の電磁石のそれぞれの電流を検出する電流検出手段と、該電流検出手段から得られた該電磁石のそれぞれの電流の検出信号を加算する信号加算手段と、該加算手段から得られた加算信号を入力し操作信号を出力する制御手段と、該操作信号に応じて出力電圧が変化する前記バイアス電圧源を具備したことを特徴とする。ここで、電磁石電流の減算信号に、あらかじめ設定した係数を乗じて、インピーダンス変化により得られた回転体の位置情報の信号に加算し、この演算結果を前記回転体の浮上制御に必要な位置変位信号として利用することが好ましい。これにより、電磁石電流が変化すると、磁気的な動作点が変わるため透磁率が変化し、その結果として電磁石電流の変化が変位計測結果に干渉するという問題があるが、上記構成を採用することで、この変化をおよそ補償することが可能である。

【0012】

また、本発明の磁気軸受制御装置の他の態様は、前記一对の電磁石を複数対備え、前記回転体の位置変位を検出すると共に、前記回転体の浮上位置を複数対の電磁石およびその制御装置により多軸制御する磁気軸受において、前記バイアス電圧源を共有し、バイアス電圧源の数をその制御軸数よりも少なくしたことを特徴とするものである。これにより、上記本発明の磁気軸受制御装置を経済的に構成することが可能となる。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。図1は、本発明による磁気軸受制御装置の構成を示し、図2は、制御装置内部の回路構成を示す。浮上制御対象体である回転体13は、その両側に配置された電磁石10、11の発生する磁気吸引力または磁気反発力により、両電磁石の磁極間に非接触で浮上支持される。なお、図示の例では一对の電磁石10、11のみを示したが、実際にはこのような電磁石の対を複数対用い、これらの各電磁石の磁極間に回転体13を非接触で支持する。電磁石10、11の励磁巻線は、それぞれバイアス電源12に一端が接触されると共に、他端が電流検出素子8、9を介して、スイッチング素子1、2およびダイオード、軸受電源7からなる磁気軸受制御電圧源に接続されている。この構成により、両励磁巻線に励磁電流を供給し、スイッチング素子1、2の開閉を調整することで両励磁巻線の励磁電流を制御する。

【0014】

スイッチング素子1と2の開閉は互いに逆の関係（相反する関係）にあり、スイッチング素子1を開く時にはスイッチング素子2を閉じ、スイッチング素子1を閉じる時にはスイッチング素子2を開くように制御される。また、これらの開閉のタイミングは、パルス幅変調制御（PWM）回路6により与えられる。制御装置5は、回転体13が電磁石10、11の磁極間の所望の位置（例えば電磁石10、11の磁極間の中心位置）に非接触で支持されるように、パルス幅変調制御回路6に対し指令信号を発生する。制御装置5は、回転体13を位置決め制御するために必要な回転体13の位置の情報を検波回路4より得る。検波回路4には、電流検出素子8、9で得られる両励磁巻線の電流信号を演算回路3で加算した結果が入力される。

【0015】

次に、以上の磁気軸受制御装置の詳細について説明する。図2において、電磁石10の両

10

20

30

40

50

端子間の電圧 V_a は、スイッチング素子 1 が開状態では、バイアス電源 12 によって供給される電圧 V_b と、軸受電源 7 によって供給される電圧 V_c によって、 $V_c - V_b$ となる。スイッチング素子 1 が閉状態となると、スイッチング素子 1 を通じてバイアス電源 12 のアース側に電流の流路が替わるため、電圧 V_a は、バイアス電源 12 によって供給される電圧 $-V_b$ のみになる。

【0016】

電磁石 11 の両端にかかる電圧 $V_{a'}$ は、スイッチング素子 2 によって電磁石 10 にかかる電圧と同様、 $V_c - V_b$ 若しくは $-V_b$ になるが、上記のように、スイッチング素子 2 の開閉はスイッチング素子 1 と相反しているため、 $V_a = V_c - V_b$ のときは $V_{a'} = -V_b$ となり、 $V_a = -V_b$ のときは $V_{a'} = V_c - V_b$ となる。

10

【0017】

図 3 (a) (b) は、電磁石 10 に供給される電圧 V_a と、電磁石 11 に供給される電圧 $V_{a'}$ とを対比して示している。電磁石 10 について見た場合、図 3 (a) に示されるように電磁石 10 の励磁巻線の両端子間には、 $V_c / 2 - V_b$ を振幅の中心とした二値の電圧が印加される。電磁石 10 へ流れる電流は、電磁石 10 が持つインピーダンスにより平滑化された電流 (平均電流) I_{10} が発生する。この電流の大きさは、スイッチング素子 1 の開閉の時間比、すなわちデューティ比を操作することで制御できるので、その結果、電磁石 10 が発生する電磁力は、このデューティ比を操作することで制御できる。

【0018】

電磁石 11 について見た場合は、電磁石 10 と同様、電磁石 11 の励磁巻線の両端子間電圧 $V_{a'}$ は、 $V_c / 2 - V_b$ を振幅の中心とした二値をとるが、その波形は電磁石 10 の場合とは異なり、 $V_c / 2 - V_b$ を中心に反転した形となっている。このため、両電磁石の励磁巻線の電流変化は互いに反対の関係、つまり、一方が上昇する時には、他方が減少するといった関係になる。電磁石 11 へ流れる電流は、電磁石 10 の場合と同様に、励磁巻線のインピーダンスにより平滑化された電流 (平均電流) I_{11} が発生するが、スイッチング素子 1 とスイッチング素子 2 のデューティ比は 50 % を中心に対称、すなわち相反しているため、 I_{11} の変化も I_{10} とは反対の関係になる。よって、電磁石 11 が発生する電磁力の変化も、電磁石 10 とは反対となる。

20

【0019】

また、上述のように、電磁石 10, 11 の両励磁巻線の端子間電圧 $V_a, V_{a'}$ は $V_c / 2 - V_b$ を中心に変化していることから、電圧 $V_c / 2 - V_b$ が両励磁巻線に共に印加されていることになる。これにより、両励磁巻線には $V_c / 2 - V_b$ に起因した電流 (I_b) が重畳されている。これにより軸受電源の電圧 V_c とバイアス電源の電圧 V_b の一方を、若しくは両方を調整することで、回転体に作用する電磁力に直線性を持たせるためのバイアス電流成分を両励磁巻線に供給することができる。

30

【0020】

上述のように、本発明の磁気軸受装置では、一对の電磁石にそれぞれ電流を供給するためのスイッチング素子の動作が互いに反転しているため、両スイッチング素子の制御信号も互いに反転している。これにより、一方のスイッチング素子の制御信号が生成されれば、他方への制御信号は、単にこれを反転するだけでよく、両スイッチング素子に別個にパルス幅変調制御回路等を用意する必要がない。すなわち、磁気軸受内のスイッチング素子の制御のための回路を簡単化できる。また、両電磁石の吸引力に直線性を持たせるバイアス電流成分を両励磁巻線に供給した状態で、両励磁巻線の電流を対称的に変化させられるので、従来の磁気軸受と等価な制御特性が得られることは言うまでもない。

40

【0021】

また、上記のように、両励磁巻線の端子間電圧 $V_a, V_{a'}$ は $V_c / 2 - V_b$ を中心に反転の関係があることから、両者の交流電圧成分の大きさは等しく、互いに逆位相となっていることが明らかである。両励磁巻線のインピーダンスが等しければ、両励磁巻線の電流の交流成分も大きさは等しく互いに逆位相となる。すなわち、両励磁巻線の電流の交流成分の和は零となる。この状態は、両電磁石が等しい特性を有しているとすれば、回転体が

50

両電磁石の磁極間のちょうど中央にある場合である。回転体が両電磁石の磁極間の中央からずれた位置にある場合には、両励磁巻線のインピーダンスが異なるため、両励磁巻線の電流の交流成分の大きさは異なる。この場合、両励磁巻線の電流の交流成分の和は、零とはならない。すなわち、両巻線電流の交流成分の和は、両励磁巻線のインピーダンスの差に起因した信号となる。よって、図1のように、電流検出素子8, 9および演算回路3で両巻線電流の和信号を検出し、インピーダンスの差に応じた信号を検波回路4で抽出することで、回転体の変位に応じた両励磁巻線にインピーダンスの差を知ることができる。

【0022】

図4は、回転体を両電磁石の磁極間の中央に保持するための平均電流 I_{10} 、 I_{11} と回転体の位置の関係を示している。このように、両電磁石にバイアス電流を重畳した状態で、回転体が電磁石の磁極から遠ざかる程、励磁電流を強め、近づく程、弱めるようにすればよい。また、図5のように、回転体が電磁石の磁極に近づく、その励磁巻線のインダクタンスが上昇し、インピーダンスが上昇する。逆に遠ざかるとインダクタンスが減少し、インピーダンスが減少する。すなわち、回転体が両電磁石の磁極間のちょうど中央にある場合には、両励磁巻線のインダクタンスは等しく、両励磁巻線のインピーダンスも等しくなる。よって、両励磁巻線のインピーダンスが等しくなるように平均電流 I_{10} 、 I_{11} を制御すれば、回転体を両電磁石の磁極間の中央に保持できることになる。すなわち、両励磁巻線のインピーダンスが等しくなるようにスイッチング素子のデューティ比を制御すればよい。このことは、上で述べた図1の検波回路4の出力が零となるようにスイッチング素子のデューティ比を決定することと同義であり、検波回路4の出力を、制御装置5を介してパルス幅変調制御回路6にフィードバックすればよい。

【0023】

上述したように、両励磁巻線のインピーダンスの差を検出し、これが零となるように（両励磁巻線のインピーダンスが等しくなるように）デューティ比を制御することで、回転体の位置を検出するための変位検出素子を、別段、磁気軸受機構内に設ける必要がない。

【0024】

上記デューティ比を決めるキャリア周波数が一定（スイッチング周波数が一定）であるという条件では、両電磁石の励磁巻線に、 $V_c - V_b$ と $-V_b$ の2値をとる一定周波数のパルス電圧が互いに逆位相で印加される。図1における電流検出素子8, 9により、このパルス電圧に起因する両励磁巻線の電流を観測し、これらの和を観測することからも、回転体の変位に応じた両励磁巻線のインピーダンスの差を知ることができる。

【0025】

このように、パルス幅変調によって発生されたパルス電圧が両電磁石の励磁巻線に印加されることによって発生する電流成分を電流検出素子により検出し、これによって上記のインピーダンスを計測することで、上記デューティ比を制御すれば、回転体を両電磁石の磁極間の中央に保持することができる。また、パルス電圧に起因する励磁巻線の電流は、図6(a)(b)のように、パルス電圧によって励磁巻線にインピーダンスの変化が変調された波形となる。よって、このパルス電圧に同期して両励磁巻線の電流の和信号成分を検波した結果は、同図(c)のように回転体の変位を表す。パルス電圧の振幅および周波数は一定であるので、検波されて得られる変位信号の検出感度も安定する。

【0026】

更に前記パルス電圧に同期し、両励磁巻線の和信号を検波した結果得られる変位信号に、あらかじめ設定した係数を掛け合わせることで、回転体の現在位置を算出し、外部表示装置などに利用可能な位置変位情報を得ることが可能になる。しかも、本発明で得られる位置変位情報は、本質的に制御対象物に検出位置と、制御対象物に加えられる制御力の作用点が一致するため、従来では検出位置と作用点が一致しないことで必要となっていた位置検出信号の補正などを考慮する必要がなくなる。

【0027】

また、本実施例にあるような磁気浮上制御を実施する場合、制御上の安定を得るため、制御ループ内に制御対象固有の補償特性を持った制御装置が必要であるが、本実施例では前

10

20

30

40

50

記パルス電圧に同期し、両励磁巻線の和信号を検波した結果得られる変位信号が、従来の磁気浮上制御装置で用いられている位置変位検出素子で得られる変位情報と同等に使用することが可能であるため、前記制御対象固有の補償特性を持った制御装置5を経由してパルス幅変調制御回路6に対して変位信号を出力することによって、従来と同等に制御対象物の磁気浮上を安定に制御することが可能である。

【0028】

以上のように、本発明の制御装置によれば、本質的に磁気軸受として制御対象に対する浮上支持力を発生する電磁石の位置と、制御対象の位置変位情報を検出する変位検出箇所が一致している磁気浮上制御装置を、構造が簡単で且つ制御装置内部の回路構成も簡略化された構造で実現可能である。

10

【0029】

なお、励磁電流の検出素子としては、サーチコイル方式の電流センサやトランス構造の電流センサなどを用いることができる。電磁石に供給されている励磁電流を検出できるものであれば、基本的にどのような方式を選択しても良い。

【0030】

つぎに、3つの巻線を有するトランスを電流検出素子として用いた例について説明する。図7(a)に示すように、このトランス20は、3つの巻線 L_1 、 L_2 、 L_3 を有する。そして、第1の巻線 L_1 には、電磁石10に流れる電流 I_{10} が流れる。第2の巻線 L_2 には、電磁石11に流れる電流 I_{11} が流れる。そして、第1の巻線 L_1 と第2の巻線 L_2 とは巻数が等しく、且つ同じ方向の電流に対して同じ方向に磁束が形成されるようになっている。したがって、第3の巻線 L_3 には、第1の巻線および第2の巻線に流れる電流が加算され、その出力端子には加算された電圧または電流が誘起される。したがって、この出力端子に誘起された電圧 V_0 が第1の電磁石電流 I_{10} と第2の電磁石電流 I_{11} の加算結果に相当する電圧がその出力に取り出される。それゆえ、このトランス20は、図1における電流検出素子8、9と加算回路3とを兼ねたものであり、その出力を検波回路4に直接入力することができる。

20

【0031】

上述したように、3つの巻線を持つトランス20による電流検出では、絶縁した状態で二つの電磁石10、11に流れる電磁石電流 I_{10} 、 I_{11} の加算(減算)信号を出力することができる。個別に電流センサ8、9を設けた場合には、二つのセンサの検出感度を合わせるための調整が必要であり、また二つのセンサの検出特性に僅かな差(例えば、僅かな位相特性の差)により、正しい加算(減算)信号が得られない場合がある。すなわち、電流検出回路を個別にくむと、そのバラツキで位相差が生じやすく、これにより検出特性に位相差が生じる場合がある。上述した3つの巻線を持つトランスによる電流検出では、検出感度を合わせるための調整も不要であり、二つのセンサの検出特性に位相差が生じる等の問題も存在しない。したがって、二つの電磁石に流れる電流の加算(減算)信号を正確に且つ容易に検出することができる。また、このようなトランスによる電流検出では、検波対象の信号(一对の電磁石電流の加算信号の交流成分)のみを直接検出するため、別個に計測器を設けてこれを演算する場合に比べてS/N比が向上する。

30

【0032】

ここで、図7(b)に示すように、第3の巻線 L_3 の端子間にコンデンサC、またはコンデンサCおよび抵抗Rを並列に挿入し、第3の巻線の自己インダクタンスとコンデンサの静電容量で共振回路を構成することが好ましい。このような共振回路を構成することで、第3の巻線 L_3 の端子間に回転体の位置変位検出に必要な周波数成分の電圧が選択的に取り出される。このように共振回路を形成することで、検波対象の周波数成分以外のノイズを大幅に削減できる。電流検出素子8、9毎にそれぞれBPF(Band Pass Filter)を設けることも考えられるが、このようにトランスの出力側に共振回路を設けることで、単一の共振回路によりノイズを除去することが可能である。すなわち、上記共振回路を構成することで、簡単な回路構成で検波回路4への出力信号のノイズを低減することができる。

40

50

【 0 0 3 3 】

図 8 は、本発明の他の実施形態の磁気軸受制御装置の構成例を示す。この磁気軸受制御装置においても、両電磁石 10, 11 の線形性を維持するためのバイアス電流を供給するバイアス電圧源 12 と、そのバイアス電圧源からのバイアス電流に重畳して回転体を所望の位置に浮上して制御するために必要な励磁電流を供給するための制御電圧源 7 を含む制御電流源とが接続されている。そして、パルス幅変調 (P W M) された電流が両電磁石 11, 12 にそれぞれ相反するデューティ比で供給され、回転体の浮上位置が制御される。

【 0 0 3 4 】

この制御装置においては、一对の電磁石 10, 11 の電流を検出する電流検出素子 8, 9 と、ここで検出された電磁石電流の加算演算を行う演算回路 3 および減算演算を行う演算回路 16 を備えている。そして、演算回路 3 の交流出力は検波回路 4 により検波され、加算回路 14 に入力される。一方で、演算回路 16 では両電磁石電流の減算が行われ、その出力を係数倍する演算回路 15 で係数倍の演算処理がなされ、加算回路 14 に入力される。すなわち、両電磁石電流の演算回路 3 による加算結果に対して、演算回路 16 による減算結果に対して係数倍された出力が加算回路 14 で加算される。そして、この加算手段から得られた加算信号を制御回路 5 に入力し、目標位置となるようにパルス幅変調 (P W M) 回路 6 から操作信号を出力し、これによりスイッチング素子 1, 2 のスイッチングを行うことで、電磁石 10, 11 の励磁電流を制御することで、回転体 13 を所定の浮上位置に浮上制御する。したがって、図 8 に示す実施形態においては、あらかじめ設定した係数を乗じて電磁石のインピーダンス変化より検出された位置情報の信号に加算し、この演算結果を回転体 13 の浮上制御に必要な位置変位信号として利用する。

【 0 0 3 5 】

この磁気軸受制御装置においては、回転体の変位の計測は、ギャップ長の変化によるインダクタンス変化に基づいて計測している。しかしながら、電磁石電流が変化すると磁気的な動作点が変わる。このため、透磁率が変化し、結果としてギャップ長が変化しなくてもインダクタンスが変化し、電磁石電流の変化が変位計測結果に干渉する。両電磁石電流の減算信号に係数をかけ、両電磁石電流の加算信号 (変位信号) に加算することで、上記干渉の問題をおよそ補償することが可能である。

【 0 0 3 6 】

上記実施形態においては、一对の電磁石 10, 11 の制御についてのみ説明している。しかしながら、一对の電磁石を複数対備え、回転体の位置変位検出を行うと共に、回転体の浮上位置を複数の制御装置により多軸制御することがもちろん可能である。そのような多軸制御の磁気軸受において、バイアス電圧源を共有し、バイアス電圧源の数を複数の制御装置による制御軸数より少なくすることができる。すなわち、多軸制御において、電磁石と P W M 制御電流源間のそれぞれのケーブルは、通常その長さが等しい。巻線が同じで、バイアス電流が同じ回転軸を対象としたものであれば、バイアス電圧も同じものとなるはずである。したがって、電磁石の励磁巻線が同じで、バイアス電流が同じ回転軸を対象としたものの一つでバイアス電流を決めるフィードバック制御を行い、得られたバイアス電圧を同じ残りの回転軸のバイアス電圧として供給することで、バイアス電源回路を共用することが可能である。

【 0 0 3 7 】

また、上記実施形態は本発明の一態様を述べたもので、本発明の趣旨を逸脱することが無く種々の変形実施例が可能なのは勿論である。

【 0 0 3 8 】

【 発明の効果 】

本発明によれば、磁気軸受装置の構成上必要であった変位検出素子を物理的に不要とするため、磁気軸受け機構をより小型コンパクト化することが可能になる。且つ、制御装置側では特殊なデジタル演算素子などを使用する必要が無く、電磁石のインピーダンス変化を検出するための電子回路構成を簡略化させつつ、検出感度を向上させることが可能なセンサレス磁気軸受制御装置を提供することができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態の磁気軸受制御装置の概要を示す図である。

【図 2】図 1 の要部のバイアス電源と軸受電源とスイッチング素子と電磁石との接続関係を示す図である。

【図 3】電磁石の励磁コイルの両端にかかる電圧のタイムチャートであり、(a) は電磁石 1 0 に供給される電圧 V_a を示し、(b) は電磁石 1 1 に供給される電圧 $V_{a'}$ を示す。

【図 4】回転体の変位 (横軸) に伴う平均電流 (縦軸) の変化の関係を示す図である。

【図 5】磁気軸受電磁石磁極と回転体間の隙間 (横軸) とコイルのインダクタンス (縦軸) との関係を示す図であり、上記隙間が小さいとコイルのインダクタンスが低減することを示した図である。 10

【図 6】電磁石の励磁コイルの両端に供給される電圧と励磁コイルに流れる電流のタイムチャートであり、(a) は電磁石 1 0 に供給される電圧 V_a と電流 I_{10} を示し、(b) は電磁石 1 1 に供給される電圧 $V_{a'}$ と電流 I_{11} を示し、(c) は 2 つの電磁石電流の和 (交流分) と検波出力 (変位信号) を示す。

【図 7】(a) は電流検出素子として 3 つの巻線を有するトランスを用いたものとした回路図であり、(b) はその第 3 の巻線の出力端にコンデンサまたはコンデンサと抵抗との並列回路を接続し、共振回路を構成した場合を示す回路図である。

【図 8】本発明の他の実施形態の磁気軸受制御装置の概要を示す図である。

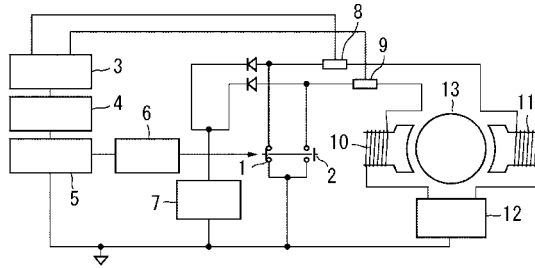
【符号の説明】

20

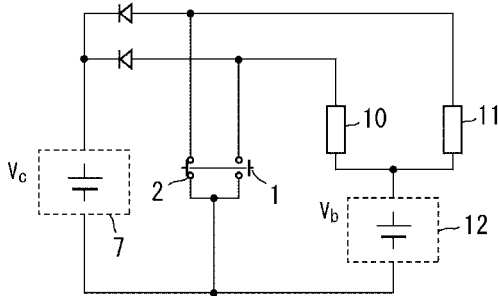
- 1 , 2 スwitching素子
- 3 演算回路
- 4 検波回路
- 5 制御装置
- 6 パルス幅変調制御装置
- 7 軸受電源
- 8 , 9 電流検出素子
- 10 , 11 電磁石
- 12 バイアス電源
- 13 回転体 (浮上制御対象体)
- 14 加算回路
- 15 係数倍する乗算回路
- 16 減算回路
- 20 トランス

30

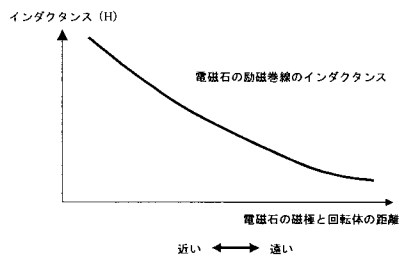
【図 1】



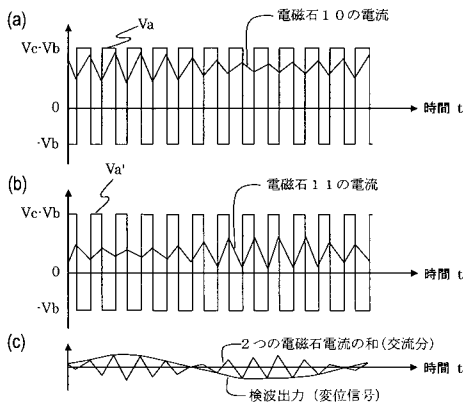
【図 2】



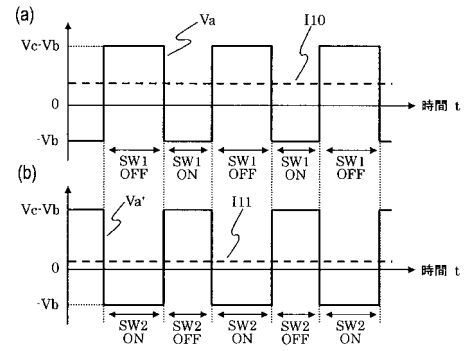
【図 5】



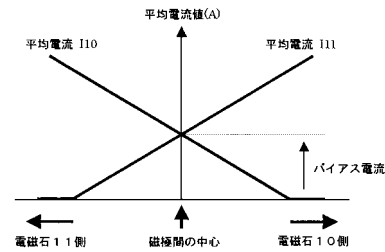
【図 6】



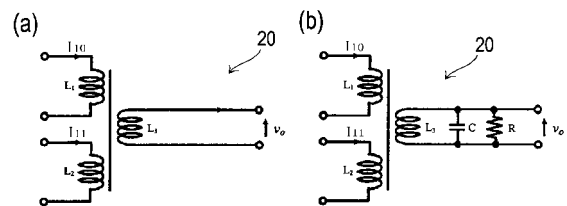
【図 3】



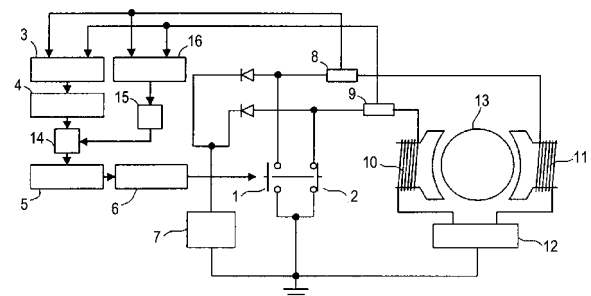
【図 4】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(74)代理人 100109896

弁理士 森 友宏

(72)発明者 大山 敦

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内

(72)発明者 中澤 敏治

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内

(72)発明者 吉田 俊哉

東京都千代田区神田錦町 2 - 2 学校法人 東京電機大学内

F ターム(参考) 3J102 AA01 BA03 BA17 BA20 DA03 DA09 DB05 DB26 DB38 GA06