

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3576397号

(P3576397)

(45) 発行日 平成16年10月13日(2004.10.13)

(24) 登録日 平成16年7月16日(2004.7.16)

(51) Int. Cl.⁷

F 1 6 C 32/04

F I

F 1 6 C 32/04

A

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願平10-280362	(73) 特許権者	000006208 三菱重工業株式会社 東京都港区港南二丁目16番5号
(22) 出願日	平成10年10月1日(1998.10.1)	(74) 代理人	100083024 弁理士 高橋 昌久
(65) 公開番号	特開2000-110835(P2000-110835A)	(74) 代理人	100103986 弁理士 花田 久丸
(43) 公開日	平成12年4月18日(2000.4.18)	(72) 発明者	外山 勝久 広島市西区観音新町四丁目6番22号 三 菱重工業株式会社広島製作所内
審査請求日	平成12年5月30日(2000.5.30)	審査官	鳥居 稔

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高速回転体に用いる磁気軸受の通電制御方法とその制御回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

負荷に連結された回転軸若しくは該回転軸と一体的に回転する磁性部材（以下回転軸部という）を挟んで、夫々対称位置に配置した各対毎の磁気軸受の通電制御により前記回転軸部を空中維持しながら、該回転軸部を高速回転させる高速回転体において、前記回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じて、前記磁気軸受を構成する電磁石磁極コイルに流す通電電流の制御を、スイッチング素子に印加されるON/OFFパルスにより行なうとともに、該夫々の磁極コイルの電流エネルギーを、前記一の磁極コイルへのパルスOFF毎に、回転軸部の対向位置にある他側磁極コイルへ転流させて行なうことを特徴とする高速回転体に用いる磁気軸受の通電制御方法。

10

【請求項2】

前記夫々の磁気軸受の静的剛性を上げるために夫々の磁極コイルに流すバイアス電流の通電系統を請求項1の通電系統と別系統にしたことを特徴とする請求項1記載の磁気軸受制御方法。

【請求項3】

負荷に連結された回転軸部を挟んで、夫々対称位置に配置した各対毎の磁気軸受の通電制御により前記回転軸部を空中維持しながら、該回転軸部を高速回転させる高速回転体において、

前記回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じて、前記磁気軸受を構成する電磁石磁極コイルに流す通電電流の制御を行なう第一の制御回路を具え、該第一の制御回路が、夫々の磁

20

極コイルに接続されたスイッチング素子のON/OFF制御を、空隙変動に応じて制御されるパルス印加により行なうとともに、前記スイッチング素子の上流側で回転軸部の対向位置にある一対の磁極コイル同士を接続させ、該夫々の磁極コイルの電流エネルギーを、一の磁極コイルへのパルスOFF毎に、対向位置にある他側磁極コイルへ転流させることを特徴とする高速回転体に用いる磁気軸受の通電制御回路。

【請求項4】

請求項3記載の第一の制御回路と、

前記夫々の磁気軸受の静的剛性を上げるために夫々の磁極コイルにバイアス電流を流す第二の制御回路とを具え、

前記二つの制御回路が夫々別系統で前記磁極コイルに電流印加可能に構成したことを特徴とする請求項3記載の高速回転体に用いる磁気軸受の通電制御回路。

10

【請求項5】

前記回転軸のラジアル方向の二座標軸（X軸、Y軸）の位置制御を行なう為に、回転軸に対向して少なくとも二対の磁極コイルを具えた一又は複数のラジアル磁気軸受と、

前記回転軸のスラスト方向の座標軸（Z軸）の位置制御を行なう為に、回転軸と直交する磁性板に対向して少なくとも一対の磁極コイルを具えたスラスト磁気軸受とを具えた請求項4記載の通電制御回路において、

前記ラジアル磁気軸受若しくはスラスト磁気軸受内の複数の磁極コイル群が、夫々対応する磁気軸受毎に共通する第二の制御回路によりバイアス電流が印加可能に構成されていることを特徴とする通電制御回路。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は負荷に連結された回転軸若しくは該回転軸と一体的に回転する磁性部材（以下回転軸部という）を挟んで、夫々対称位置に配置した各対毎の磁気軸受の通電制御により前記回転軸部を空中維持しながら、該回転軸部を高速回転させるターボ分子ポンプ等の高速回転体の磁気軸受の通電制御方法とその制御回路に係り、特に半導体製造装置等に装備され、上部ケーシング内に設けられた静翼と回転軸に設けられた動翼とで構成された動静翼段を備えたターボ分子ポンプに用いる磁気軸受の通電制御方法とその制御回路に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、球軸受や転がり軸受のように機械的に回転体や直線移動体を支持する機械的軸受の代りに、磁気の力により前記回転体や直線移動体を支持する磁気軸受は公知である。かかる磁気軸受は従来の流体潤滑軸受よりロスが小さく、軸受のドライ化、雰囲気クリーン化を図り得、特に真空状態では有用な軸受であるために、ターボ分子ポンプ等の直結モータにより高速駆動される高速回転体は回転部の軸受として多用されている。

このような磁気軸受を有するターボ分子ポンプの構成を図4に示す。

【0003】

図4は本発明に適用されるターボ分子ポンプの1例を示し、図4(A)において、1及び16は、ボルト21によりリング15を介して一体的に組付けられている上部ケーシング及び下部ケーシングである。

40

該上部ケーシング1の上部開口はガス吸気口2となすとともに、その内側にはリング状空隙を介して複数のスペーサ13が軸方向に連設されている。

該スペーサ13は上端を前記上部ケーシング1の内端面に当接され、下端を前記下部ケーシング16の上端部にインロー嵌合されており、各スペーサ13の間には静翼4がその外周部を挟持固定されて、多段状に設けられている。

【0004】

6はロータで、該ロータ6には動翼5が多段状に設けられ、各動翼5と静翼4とが交互に噛み合う如く設けられての翼段を構成している。前記ロータ6の下部にはねじ溝ポンプ段8が設けられている。

50

14は複数のボルト18により前記下部ケーシング16の上面に固定されたテーパ状のシールリングで、前記ねじ溝ポンプ段8の外周と微小間隙を介して対向配置され、圧縮効果を上げている。

【0005】

前記下部ケーシング16の下方側部には排気口3が開口され、前記ねじ溝ポンプ段8を通ってきた流体が該排気口3から外部に送出されるようになっている。

17は前記下部ケーシング16の中心域において上方に突設された円筒状の支持筒で、該支持筒17の内周には上部から順に、ラジアル玉軸受からなる上部保護軸受19、ラジアル軸受である上部磁気軸受9、モータ12のステータ部12a、ラジアル軸受である下部磁気軸受10、ラジアル玉軸受からなる下部保護軸受20、並びに後述する回転軸7の下端のスラストディスク7aを挟んで設けられたスラスト磁気軸受11が配設されている。

10

【0006】

7は前記ロータ6の上部中心に固定された回転軸で、該回転軸7は前記ロータ6への固定部から軸方向に垂下され、上部から順に、上部磁気軸受9及び下部磁気軸受10に、半径方向荷重をそれぞれ支承され、下端に設けられた円盤状の磁性板からなるスラストディスク7aが前記スラスト磁気軸受11に挟まれて、スラスト方向(軸心方向)の空中維持制御を行なっている。

【0007】

前記回転軸7には、前記上部磁気軸受9と下部磁気軸受10との間に設けられた前記モータ12のステータ12aに対向して回転子12bが固着されている。

20

【0008】

また、該回転軸7の前記上部磁気軸受9の上側は前記上部保護軸受19が設けられて該回転軸7と上部保護軸受19とのラジアル方向の間隔を所要の値に設定している。

さらに、該回転軸7の前記下部磁気軸受10の下側は前記下部保護軸受20が設けられて、該回転軸7と下部保護軸受20とのラジアル方向及びスラスト方向の間隔を所要値に設定している。

【0009】

次に上部磁気軸受9及び下部磁気軸受10の磁極は、図4(B)に示すように、回転軸7の軸心(Z軸)と直交する面内において、左右(X軸)及び前後(Y軸)方向に夫々対つづ配設され、前記回転軸7が倒れを生じることなく中心軸線上に空中維持可能に構成されている。

30

従って、該回転軸7は、該上部磁気軸受9及び下部磁気軸受10により左右(X軸)及び前後(Y軸)方向を、前記スラスト磁気軸受11により軸心(Z軸)方向を、つまり5軸方向を空中支持、かつ制御されて回転することとなる。

【0010】

上記のように構成されたターボ分子ポンプAの運転時において、

前記各磁気軸受9、10、11に通電し回転軸7、動翼5を有するロータ6等のポンプ回転部を空中維持した状態で、モータ12を駆動し、前記ポンプ回転部を例えば10,000~100,000r.p.mで高速回転させる。該ポンプ回転部の高速回転により動翼5が静翼4の間を回転し、かつねじ溝ポンプ段8がテーパ状のシールリング14の内周面と対面しながら回転することによって、真空排気されるガスが上方のガス吸気口2から動翼5と静翼4との間で第1段の圧縮がなされた後、ねじ溝ポンプ段8の螺旋状溝通路で第2段階圧縮がなされ、ポンプ内ガス通路を経て排気口3の方向に流れることによって、ガス吸気口2側が高真空に保持される。

40

【0011】

そして、前記上・下部磁気軸受9、10及びスラスト磁気軸受11の磁気制御に異常をきたし、前記回転軸7が片側に偏心した際には、前記上部保護軸受19と下部保護軸受20に該回転軸7の外周が当接(タッチダウン)することにより、該回転軸7及びロータ6の回転を保証する。

【0012】

50

かかるターボ分子ポンプに取り付けられる電源ユニットは、図3のような構成を有す。図3は、本発明の適用されるターボ分子ポンプユニットAと電源ユニットBの要部ブロック構成を示し、ポンプユニットA側には前記したようにロータ6及びこれに直結され回転軸7（以下これらを含めて回転体という）を浮上制御する磁気軸受9、10、11と、該磁気軸受9、10、11と回転体間の空隙を検知する位置センサ24、25、26を具えている。

【0013】

一方電源ユニットB側には前記ポンプユニットA側の回転軸7に直結されたモータ12を高速駆動するモータ駆動回路34（例えばインバータ回路を含む電源回路）が組込まれ、前記モータ12の回転制御を行なう。

10

一方、磁気軸受側の制御は、上部磁気軸受9については該上部磁気軸受9近傍の位置センサ24の信号を受けて、又下部磁気軸受10については該下部磁気軸受10近傍の位置センサ25の信号を受けて、更にスラスト磁気軸受11については該スラスト磁気軸受11近傍の位置センサ26の信号を受けて、夫々独立した制御手段により行なわれている。

【0014】

その一例を上部磁気軸受9の制御を代表して説明するに、該制御手段は、位置センサ24の信号を受けて、その偏差量に基づいて回転軸7のラジアル方向の浮上位置を中心に保持させる制御信号を送出する磁気軸受制御回路32と、前記制御信号に基づいてパルス幅変調されたパルス信号に基づいてスイッチング素子をON/OFF制御しながら上部磁気軸受9の駆動制御を行なう磁気軸受駆動回路33、及び磁気軸受駆動電源31が組み込まれている。

20

【0015】

そして前記磁気軸受制御回路32は、例えば実用新案登録第2522168号等に開示してあるように、位置センサ24よりの検知信号は偏差増幅器等の不図示の位置フィードバックゲインを介してその基準位置との偏差信号に変換した後、ローパスノッチフィルタに取込み、該ローパスノッチフィルタで中高周波数帯域のノイズ等の不安定化部分を広範囲に互って阻止する。

そして前記ローパスノッチフィルタ通過後のフィードバック信号は比例要素、積分要素、微分要素であるPID制御回路を通した後、回転軸7の構造による数次の固有振動数を安定化するための位相補償回路を通して制御電流を得る。

30

【0016】

そして前記位置センサ24、24Y及び磁気軸受制御回路32、32Yは、図4に示すように各座標軸（ X 、 Y ）毎に設けられ、一方磁気軸受9の磁極も座標軸（ X 、 Y ）毎に回転軸7を挟んで対向する位置に夫々対ずつ設けられている。

即ち、各座標軸（ X 、 Y ）毎の一の磁極と回転軸7を挟んで反対側に位置する対向磁極は基準位置よりの偏差量が正逆対称量であるために、各座標軸（ X 、 Y ）毎の磁気軸受制御回路32、32Yの制御信号を一の磁極についてはそのまま、又対向磁極については反転させて磁気軸受駆動制御回路33に送信すればよい。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

40

さて前記ターボ分子ポンプは高速回転が行なわれるために、該ポンプの安定回転を図るために前記磁気軸受駆動制御回路33には高速応答性が要求される。

この為、前記磁気軸受駆動制御回路33のスイッチング素子には、可変抵抗型のトランジスタを用いていたが、かかるスイッチング素子では、抵抗損失による発熱が大きい為に、ヒートシンク等の放熱手段を設けねばならず、回路構成が大型化する。

この為、前記スイッチング素子にFETトランジスタを用い、前記磁気軸受制御回路32、32Yの制御信号若しくは反転制御信号に対応させて変調させたパルス幅変調信号を前記トランジスタのベース側に印加させて前記スイッチング素子をON/OFF制御させて通電制御を行なっている。

【0018】

50

かかる磁気軸受駆動制御回路 3 3 を上部磁気軸受 9 について図 2 に基づいて説明するに、各座標軸 (X , Y) 毎に位置センサ 2 4 X 、 2 4 Y 及び磁気軸受制御回路 3 2 X 、 3 2 Y が設けられ、各磁気軸受制御回路 3 2 X 、 3 2 Y の制御信号をそのまま若しくは夫々反転回路 4 1 により反転させ、更に前記制御信号若しくは反転制御信号にバイアス回路 4 9 に生成されたバイアス重畳制御信号を夫々の磁極のパルス幅変調回路 4 2 に投入し、前記制御信号若しくは反転制御信号に対応する変調パルスを各座標軸 (X , Y) 毎に夫々一対づつ設けられた磁極夫々の下流側に接続されたスイッチング素子 4 3 Y L 、 4 3 Y R ... の F E T トランジスタ 4 4 のベース側に印加させ、該スイッチング素子 4 3 Y L 、 4 3 Y R ... を介して直流電源 3 1 と接続された前記夫々の磁極コイル 9 Y L 、 9 Y R ... の O N / O F F 通電制御を行なっている。図中 4 6 は逆流防止用ダイオードであり、又スイッチング素子 4 3 Y L 、 4 3 Y R ... の下流側は F E T トランジスタ 4 4 とダイオード 4 5 からなり、その下流側はアースされている。

10

【 0 0 1 9 】

かかるスイッチング素子 4 3 Y L 、 4 3 Y R ... に F E T トランジスタ 4 4 を用いている為に、熱抵抗損失は小さく、該ヒートシンク等の放熱手段を設ける必要がなく、例え設けても小さくて済むが、一方前記 F E T トランジスタ 4 4 は後記に詳説するように、応答性が落ちる欠点があり特にターボポンプ等の高速回転体においての高速応答性が確保できない。

この為、前記図 2 に示す磁気軸受駆動制御回路 3 3 において前記直流電源 3 1 (磁気軸受駆動電源 3 1) の印加電圧を上げるか、若しくは転流抵抗追加の方法で対処している。

20

【 0 0 2 0 】

しかしながら前者の方法では、電源容量が大きくなり大型化と高価格化につながる。又、後者の方法では、抵抗損失が大きくなり、抵抗の容量大及びヒートシンク等の冷却対策が必要となり大型化する。

【 0 0 2 1 】

本発明は、かかる技術的課題に鑑み、ターボ分子ポンプ等の高速回転体の磁気軸受において、ヒートシンク等の冷却対策を必要とすることなく、有効に高速応答性が確保できる通電制御方法とその制御回路を提供することを目的とする。

本発明の他の目的は、回路構成を簡単化しつつ高速応答性が確保できる通電制御方法とその制御回路を提供することを目的とする。

30

【 0 0 2 2 】

【 課題を解決するための手段 】

かかる課題を解決するために、請求項 1 記載の発明は、負荷に連結された回転軸若しくは該回転軸と一体的に回転する磁性部材 (以下回転軸部という) を挟んで、夫々対称位置に配置した各対毎の磁気軸受の通電制御により前記回転軸部を空中維持しながら、該回転軸部を高速回転させる高速回転体に用いる磁気軸受の通電制御方法において、

前記回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じて、前記磁気軸受を構成する電磁石磁極コイル 9 Y L 、 9 Y R ... に流す通電電流の制御を、スイッチング素子 4 3 Y L 、 4 3 Y R ... に印加される O N / O F F パルスにより行なうとともに、該夫々の磁極コイル 9 Y L 、 9 Y R ... の電流エネルギーを、前記一の磁極コイルへのパルス O F F 毎に、回転軸部の対向位置にある他側磁極コイル (以下対向磁極という) へ転流させて行なうことを特徴とする。

40

【 0 0 2 3 】

尚、スイッチング素子 4 3 Y L 、 4 3 Y R ... に印加される O N / O F F パルスはパルス幅変調パルス (P M W) のみならず、周波数変調パルスを用いてもよい。

【 0 0 2 4 】

かかる発明によれば、回転軸部を挟んで対称に配置した一対の磁極コイル 9 Y L 、 9 Y R ... の内、一の磁極コイル 9 Y R 、 9 Y R はパルス O N 時に、前記直流電源 3 1 より直接電流を流すが、一方該一の磁極コイル 9 Y R 、 9 Y R へのパルス O F F 時に対向磁極コイル 9 Y L 、 9 Y L には一の磁極コイル 9 Y R 、 9 Y R にダイオード 4 6 が接続されている為に、一の磁極コイル 9 Y R 、 9 Y R のエネルギーを対向磁極コイル 9 Y L 、 9 Y L 側に流

50

すことが出来る。

この結果一の磁極コイル 9 R、9 Y R のパルス OFF 時のエネルギーを対向磁極コイル 9 L、9 Y L 側に供給し、速やかに消費することが出来、次に対向磁極コイル 9 L、9 Y L のパルス OFF 時のエネルギーも一の磁極コイル 9 R、9 Y R 側に供給し、速やかに消費することが出来る。

【 0 0 2 5 】

従って、回転軸部を挟んで対称に配置した一对の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... はパルス OFF 毎に、他側磁極コイル側にエネルギーを供給し、速やかに消費することが出来る為に、抵抗損失が発生することなく又ヒートシンク等の冷却対策を必要とすることなく、有効に高速応答性が確保できる。

10

【 0 0 2 6 】

請求項 3 記載の発明は、前記請求項 1 記載の発明を効果的に実施するための回路構成に関する発明で、前記構成のターボ分子ポンプその他の高速回転体において、前記回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じて、前記磁気軸受を構成する電磁石磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... に流す通電電流の制御を行なう第一の制御回路 3 3 A を具え、該第一の制御回路 3 3 A が、夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... に接続されたスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R ... の ON / OFF 制御を、空隙変動に応じて制御されるパルス印加により行なうとともに、前記スイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R ... の上流側で回転軸部の対向位置にある一对の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... 同士を接続させ、該夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... の電流エネルギーを、一の磁極コイル 9 R、9 Y R へのパルス OFF 毎に、対向位置にある他側磁極コイル 9 L、9 Y L へ転流させることを特徴とする。

20

【 0 0 2 7 】

この場合、請求項 2 記載のように、前記夫々の磁気軸受の静的剛性を上げるために夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... に流すバイアス電流の通電系統を請求項 1 の通電系統と別系統にするのがよい。

【 0 0 2 8 】

例えば上部磁気軸受は - Y 二軸の座標軸に夫々一对づつ、計 4 個の磁極 9 Y L、9 Y R ... を必要とし、従来は個々の磁極 9 Y L、9 Y R ... 毎にバイアス電流を印加しなければならず、この為上記ターボポンプの回転軸 7 のように、上部磁気軸受 9 及び下部磁気軸受 1 0 により左右 (X 軸) 及び前後 (Y 軸) 方向に夫々一对づつ、又前記スラスト磁気軸受 1 1 により軸心 (Z 軸) 方向に一对の磁極を有して、いわゆる 5 軸で空中支持を行なう装置においては、バイアス回路は前記磁極の数だけ 1 0 回路設けるか、若しくは図 2 に示すように、前記磁気制御回路 3 2 よりの制御信号若しくは反転制御信号をパルス幅変調回路 4 2 に投入する際に、バイアス回路 4 9 に生成されたバイアス信号を前記制御信号に重畳して、該バイアスを重畳した制御信号若しくは反転制御信号夫々の磁極のパルス幅変調回路 4 2 に投入して制御しようとする、対向する二つの磁極 (例えば 9 X R , 9 X L) に同時に電流が流れ、前記制御信号若しくは反転制御信号による空中支持電流制御に対し、高精度な磁気軸受制御が出来ない。

30

また、同時に電流が流れることにより、他極へ電流を転流させることができなくなり、応答性の改善を図ることができない。

40

【 0 0 2 9 】

一方本発明によれば、上部磁気軸受 9 及び下部磁気軸受 1 0 スラスト磁気軸受 1 1 夫々の磁気軸受における磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... のインダクタンス及び抵抗が同一であるために、夫々の磁気軸受毎にバイアス電源を共通化して、バイアス電流の通電系統を請求項 1 の通電系統と別系統にすることにより、上部磁気軸受 9 及び下部磁気軸受 1 0 スラスト磁気軸受 1 1 夫々の磁気軸受毎に一回路、計 3 回路のバイアス回路で足りる。

又バイアス電流の通電系統を請求項 1 の通電系統と別系統にすることにより、バイアス電流の印加と回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じた通電電流の制御が夫々独立して高精度に行なわれ、高精度な磁気軸受制御が可能となる。

【 0 0 3 0 】

50

請求項 4 記載の発明は、請求項 3 記載の第一の制御回路 3 3 A と、前記夫々の磁気軸受の静的剛性を上げるために夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R... にバイアス電流を流す第二の制御回路 3 3 B とを具備し、前記二つの制御回路が夫々別系統で前記磁極コイル 9 Y L、9 Y R... に電流印加可能に構成したことを特徴とする。

【 0 0 3 1 】

請求項 5 記載の発明は請求項 4 記載の発明を具体化したもので、前記回転軸のラジアル方向の二座標軸（ X 軸、 Y 軸）の位置制御を行なう為に、回転軸に対向して少なくとも二対の磁極コイル 9 Y L、9 Y R... を具備し一又は複数のラジアル磁気軸受と、前記回転軸のスラスト方向の座標軸（ Z 軸）の位置制御を行なう為に、回転軸と直交する磁性板に対向して少なくとも一対の磁極コイル 9 Y L、9 Y R... を具備したスラスト磁気軸受とを具備した通電制御回路において、前記ラジアル磁気軸受若しくはスラスト磁気軸受内の複数の磁極コイル 9 Y L、9 Y R... 群が、夫々対応する磁気軸受毎に共通する一のバイアス電流通電回路（第二の制御回路 3 3 B）によりバイアス電流が印加可能に構成されていることを特徴とする。

【 0 0 3 2 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の好適な実施例を例示的に詳しく説明する。但しこの実施例に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は特に特定の記載がないかぎり、この発明の範囲をそれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

【 0 0 3 3 】

図 1 は本発明の実施形態に係る上部磁気軸受 9 の磁気軸受制御回路 3 3 で図 2 と同様な対応図を示すブロック図である。

即ち、本実施形態においても図 2 と同様に、各座標軸（ X、 Y）毎に位置センサ 2 4 X、2 4 Y 及び磁気軸受制御回路 3 2 X、3 2 Y が設けられ、各磁気軸受制御回路 3 2 X、3 2 Y の制御信号を夫々の磁極のパルス幅変調回路 4 2 に投入し、前記制御信号若しくは反転制御信号に対応する変調パルスそのまま若しくは夫々反転回路 4 1 により反転させて各座標軸（ X、 Y）毎に夫々一対づつ設けられた磁極のスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R... の F E T トランジスタ 4 4 のベース側に印加させ、該スイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R... を介して直流電源 3 1 と直接若しくは間接的に接続された前記夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R... の O N / O F F 通電制御を行なっている。

【 0 0 3 4 】

即ちより具体的に説明するに、前記一対の磁極コイル 9 Y L、9 Y R... の内、一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R のアノード（上流）側にはダイオード 4 7 を介して直流電源 3 1 を接続して該一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R 下流側に設けたスイッチング素子 4 3 Y R、4 3 Y R を接続するとともに、該スイッチング素子 4 3 Y R、4 3 Y R の上流側で分岐し、該分岐線路を逆流防止ダイオード 4 6 を介して回転軸 7 を挟んで対称位置にある対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L のアノード側に接続させ、該一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R へのスイッチング素子 4 3 Y R、4 3 Y R が O F F 毎に、言換えれば下流側に設けた対応磁極のスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y L の O N 毎に、一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R の電流エネルギーを対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L へ転流させるように構成している。

【 0 0 3 5 】

一方回転軸 7 を挟んで対称位置にある対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L も同様に、該磁極コイル 9 Y L、9 Y L の O N / O F F 通電制御を行なうスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y L の上流側で、逆流防止用ダイオード 4 6 を介して対称位置にある前記一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R に接続させるとともに、前記と同様に対向磁極のスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y L の O F F 毎に、該対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L の電流エネルギーを一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R へ転流させるように構成している。

【 0 0 3 6 】

10

20

30

40

50

一方磁気軸受 9 の静的剛性を上げるために夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... にバイアス電流を流すバイアス駆動制御回路 3 3 B は、前記位置センサ 2 4 により検知された回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じて、前記磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... に流す通電電流の制御を行なう前記第一の駆動制御回路 3 3 A と別系統で前記磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... に電流を印加可能に構成している。

【 0 0 3 7 】

かかるバイアス駆動制御回路 3 3 B は、前記第一の駆動制御回路 3 3 A の直流電源 3 1 を電圧変換器 (1 次側 - 2 次側が絶縁できるもの) 5 2 によりバイアス直流電源を設定した後、該電源 5 2 を夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... に順次接続した後、ダイオード 4 8 を介し、F E T トランジスタ 5 4 とダイオード 5 5 からなるバイアス用スイッチング素子 5 3 に接続させる。

10

そして前記 F E T トランジスタ 5 4 のベース側には、パルス幅変調回路 5 1 にてパルス幅変調されたバイアス制御信号が印加され、これにより前記夫々の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... にバイアス制御信号により制御された一定バイアス電流が、前記第一の駆動制御回路 3 3 A の制御電流に重畳されて通電されることになる。尚、5 0 はバイアス回路である。

【 0 0 3 8 】

かかる実施形態によれば、回転軸部を挟んで対称に配置した一对の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... 夫々に対応するスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R ... のベース側に正転パルス幅変調信号と反転された正転パルス幅変調信号が印加される訳であるが、前記一对の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... の内、一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R にバイアス駆動制御回路 3 3 B によりバイアス電流が通電された状態で、対応するスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R が前記変調信号により ON されると、前記直流電源 3 1 より一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R に電流がダイオード 4 7 を介して通電される。

20

【 0 0 3 9 】

一方対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L には対応するスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y L の上流側で逆流防止用ダイオード 4 6 を介して対称位置にある前記一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R に接続されているために、前記対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L にバイアス駆動制御回路 3 3 B によりバイアス電流が通電された状態で、対応するスイッチング素子 4 3 Y L、4 3 Y R ... が前記変調信号により ON されると、言換えれば一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R へのパルス OFF 時に一の磁極コイル 9 Y R、9 Y R の電気エネルギーが消費されるとともに、直流電源 3 1 を対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L 側に流して前記対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L の通電を行なうことが出来る。

30

【 0 0 4 0 】

従って、かかる実施形態によれば、回転軸部を挟んで対称に配置した一对の磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... はパルス OFF 毎に、該一の磁極コイル 9 Y R、9 Y の電流エネルギーを対向磁極コイル 9 Y L、9 Y L 側に供給し、速やかに消費しながら通電制御を行なうことが出来るために、抵抗損失が発生することなく又ヒートシンク等の冷却対策を必要とすることなく、有効に高速応答性が確保できる。

【 0 0 4 1 】

尚、前記上部磁気軸受 9 における磁極コイル 9 Y L、9 Y R ... のインダクタンス及び抵抗が同一であるために、バイアス電源を共通化して、バイアス電流の通電系統を別系統にすることにより、上部磁気軸受 9 のバイアス駆動制御回路 3 3 は一系統で足りる。

40

【 0 0 4 2 】

【 発明の効果 】

以上記載のごとく請求項 1 及び 3 記載の発明によれば、ターボ分子ポンプ等の高速回転体の磁気軸受において、ヒートシンク等の冷却対策を必要とすることなく、有効に高速応答性が確保できる。

【 0 0 4 3 】

又請求項 2 及び 4 記載の発明によれば、回路構成を単純化しつつ高速応答性が確保できる。又バイアス電流の通電系統を請求項 1 の通電系統と別系統にすることにより、バイアス

50

電流の印加と回転軸部と磁気軸受との空隙変動に応じた通電電流の制御が夫々独立して高精度に行なわれ、高精度な磁気軸受制御が可能となる。

【 0 0 4 4 】

更に請求項 5 記載の発明によれば、回転軸のラジアル方向の二座標軸（ X 軸、 Y 軸）の位置制御を行なう為に、上部軸受と下部磁気軸受からなるラジアル磁気軸受と、前記回転軸のスラスト方向の座標軸（ Z 軸）の位置制御を行なうスラスト磁気軸受とを具えたターボ分子ポンプに好適に適用させることが出来る。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】本発明の実施形態に係る上部磁気軸受の磁気軸受制御回路で図 2 と同様な対応図を示すブロック図である。

10

【 図 2 】従来技術に係る上部磁気軸受の磁気軸受制御回路を示すブロック図である。

【 図 3 】本発明が適用されるターボ分子ポンプのポンプユニット A と電源ユニット B の要部ブロック構成を示すブロック図である。

【 図 4 】本発明が適用されるターボ分子ポンプの全体断面図である。

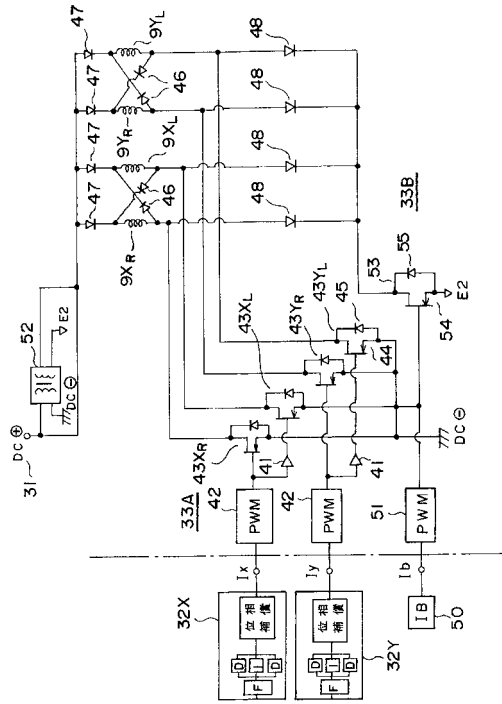
【 符号の説明 】

- A ポンプ本体
- B 電源ユニット
- 5 動翼
- 7 回転軸
- 9 上部磁気軸受
- 9 Y L、 9 Y R ... 磁極コイル
- 10 下部磁気軸受
- 11 スラスト磁気軸受
- 24 、 24 Y 位置センサ
- 31 磁気軸受駆動電源
- 32 、 32 Y 磁気軸受制御回路
- 33 A 第一の駆動制御回路
- 33 B バイアス駆動制御回路（第二の駆動制御回路）
- 41 反転回路
- 42 パルス幅変調回路
- 43 Y L、 43 Y R ... 磁極のスイッチング素子
- 44 F E T トランジスタ
- 46 逆流防止用ダイオード
- 52 電圧変換器（バイアス直流電源）
- 53 バイアス用スイッチング素子

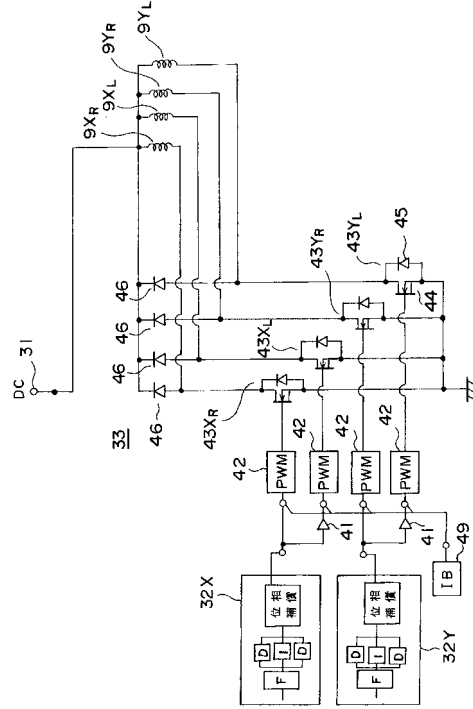
20

30

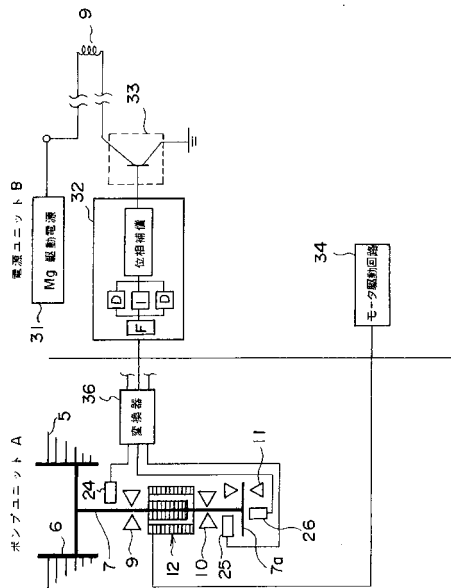
【 図 1 】



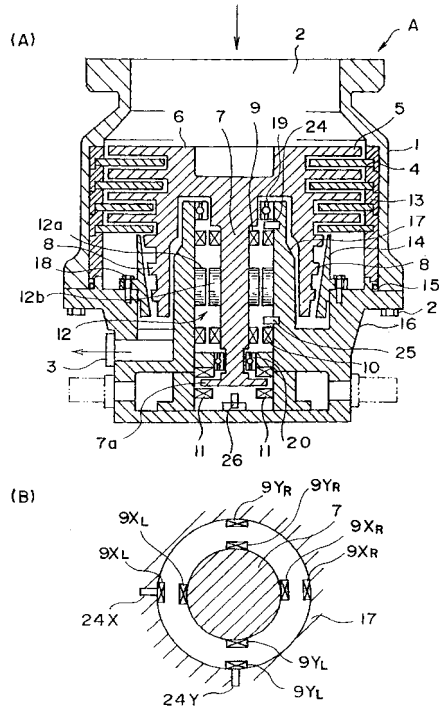
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 126238 (JP, A)
特開平10 - 141373 (JP, A)
特開昭63 - 200605 (JP, A)
特開平08 - 177855 (JP, A)
特開平10 - 159786 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
F16C 32/04