

(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2005-325977

(P2005-325977A)

(43) 公開日 平成17年11月24日(2005.11.24)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F16C 32/04

F04D 19/04

F1

F16C 32/04

F16C 32/04

F04D 19/04

テーマコード (参考)

3H031

3J102

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2004-146776 (P2004-146776)

(22) 出願日 平成16年5月17日(2004.5.17)

(71) 出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(74) 代理人 100084412

弁理士 永井 冬紀

(72) 発明者 大藤 正幹

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

株式会社島津製作所内

(72) 発明者 小崎 純一郎

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

株式会社島津製作所内

(72) 発明者 太田 知男

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

株式会社島津製作所内

Fターム(参考) 3H031 DA02 DA07 EA09 EA11 FA13

最終頁に続く

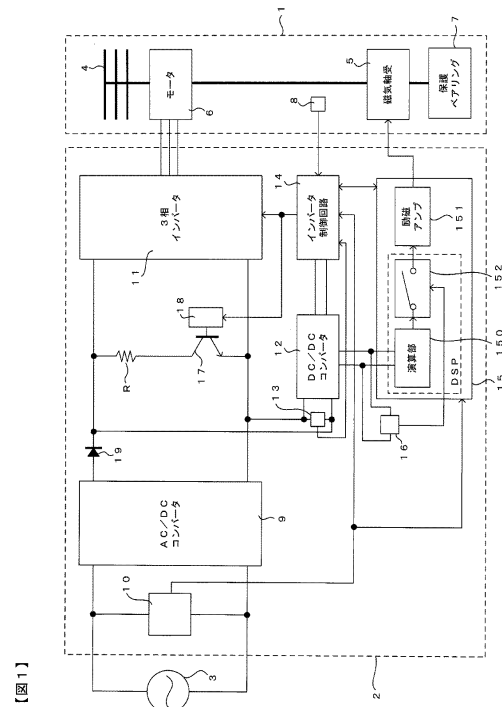
(54) 【発明の名称】 磁気軸受装置

(57) 【要約】

【課題】 停電時の回生運転モードにおいて、タッチダウンの繰り返しを防止することができる磁気軸受装置の提供。

【解決手段】 ロータ4は磁気軸受5によって磁気浮上されるが、停電時には回生運転モードに切り換えてモータ6を減速駆動する際の回生電力により磁気軸受5を駆動する。その回生運転モードの際に、軸受制御部15に供給される回生電力の電圧を電圧センサ16により検出する。軸受制御部15の切換部152は、電圧センサ16で検出された電圧値が所定電圧V<sub>L</sub>以下となったならば、演算部150から励磁アンプ151に磁気浮上停止制御信号が出力されるように制御を切り換える。所定電圧V<sub>L</sub>は回生電力で磁気浮上不能となる電圧値よりも大きく設定されており、タッチダウンの繰り返し現象の発生を確実に防止できる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

回転体を磁気浮上させる磁気軸受と、  
前記磁気軸受が動作していないときに前記回転体を支持する保護ベアリングと、  
外部電源から電力が供給されている場合には、前記外部電源の電力により前記磁気軸受を動作させる通常運転モードで前記回転体を磁気浮上させ、前記外部電源の電力供給停止時には、前記回転体の減速回転時における回生電力により前記磁気軸受を動作させる回生運転モードで前記回転体を磁気浮上させる軸受制御手段と、  
前記回生運転モード時の磁気軸受制御電源電圧の低下を検出する電圧センサと、  
前記電圧センサの検出電圧が磁気浮上不能となる限界電圧値よりも高い所定電圧値となったとき、前記磁気軸受への前記回生電力の供給を停止して停止状態を維持する停止手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。 10

## 【請求項 2】

回転体を磁気浮上させる磁気軸受と、  
前記磁気軸受が動作していないときに前記回転体を支持する保護ベアリングと、  
外部電源から電力が供給されている場合には、前記外部電源の電力により前記磁気軸受を動作させる通常運転モードで前記回転体を磁気浮上させ、前記外部電源の電力供給停止時には、前記回転体の減速回転時における回生電力により前記磁気軸受を動作させる回生運転モードで前記回転体を磁気浮上させる軸受制御手段と、  
前記回生運転モード時の前記回転体の回転数を検出する回転数センサと、 20  
前記回転数センサ検出された回転数が磁気浮上不能となる限界回転数よりも高い所定回転数となったとき、前記磁気軸受への前記回生電力の供給を停止して停止状態を維持する停止手段とを備えたことを特徴とする磁気軸受装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、例えば、ターボ分子ポンプや工作機械等に用いられる磁気軸受装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、磁気軸受式ターボ分子ポンプでは、磁気軸受による磁気浮上が行われていないときには、機械式の保護ベアリングで回転体を支持するようにしている。ところで、停電等により磁気浮上が停止すると、回転体が高速回転状態で保護ベアリングに落下することになるので、従来は、回転駆動用モータを減速駆動することにより得られる回生電力を用いて、回転体を磁気浮上させるようにしている。（例えば、特許文献 1 参照）。

## 【0003】

停電時に回生電力により磁気軸受を作動させてポンプ停止を行う場合には、回転体の回転速度が低下するに従って回生電力が減少し、低速回転では磁気浮上の維持に必要な回生電力が得られなくなる。そのため、一般的に数 1000 rpm となった時点で磁気浮上が維持できなくなり、保護ベアリングにタッチダウンすることになる。 40

## 【0004】

【特許文献 1】特開 2003 - 222096 号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

ところで、上述したタッチダウンは回生電力と磁気浮上に消費する電力とのバランスがぎりぎりのところで生じる。そのため、タッチダウンにより励磁アンプの出力電流が減少して磁気浮上消費電力が減少すると回生電力に余裕が生じ、磁気軸受制御電圧が上昇して再び磁気浮上させようとする。ここで、励磁アンプへの電流が増加すると再び磁気軸受制御電圧が低下し、再度タッチダウンすることになる。

## 【 0 0 0 6 】

このような回生電力不足により生じる磁気浮上制御電源電圧の不安定に起因するタッチダウンの繰り返しは、回転数が大幅に減少して完全に回生電力が得られなくなるまで数十回繰り返される。このような数 1 0 0 0 r p m におけるタッチダウンの繰り返しは保護ベアリングに大きなダメージを与えるため、タッチダウンが許容回数を超えた場合には保護ベアリングを交換するようにしている。そのため、停電が頻繁に起こるような使用環境では、保護ベアリング交換の間隔が短くなってオーバーホールの回数が増加するという不都合があった。特に、大型のターボ分子ポンプの場合には保護ベアリングの寿命が小型のものに比べて短くなるため、頻繁にオーバーホールを実施する必要があった。

## 【 課題を解決するための手段 】

10

## 【 0 0 0 7 】

請求項 1 の発明は、回転体を磁気浮上させる磁気軸受と、磁気軸受が動作していないときに回転体を支持する保護ベアリングと、外部電源から電力が供給されている場合には、外部電源の電力により磁気軸受を動作させる通常運転モードで回転体を磁気浮上させ、外部電源の電力供給停止時には、回転体の減速回転時における回生電力により磁気軸受を動作させる回生運転モードで回転体を磁気浮上させる軸受制御手段と、回生運転モード時の磁気軸受制御電源電圧の低下を検出する電圧センサと、電圧センサの検出電圧が磁気浮上不能となる限界電圧値よりも高い所定電圧値となったとき、磁気軸受への回生電力の供給を停止して停止状態を維持する停止手段とを備えたことを特徴とする。ここでいう外部電源の電力供給停止時とは、停電した時や、何らかの原因で電源ケーブルが引きちぎられた時などを含み、磁気軸受装置を使用している真空ポンプなどの通常操作としての駆動停止操作や電源オフ操作は含まない。

20

請求項 2 の発明は、回転体を磁気浮上させる磁気軸受と、磁気軸受が動作していないときに回転体を支持する保護ベアリングと、外部電源から電力が供給されている場合には、外部電源の電力により磁気軸受を動作させる通常運転モードで回転体を磁気浮上させ、外部電源の電力供給停止時には、回転体の減速回転時における回生電力により磁気軸受を動作させる回生運転モードで回転体を磁気浮上させる軸受制御手段と、回生運転モード時の回転体の回転数を検出する回転数センサと、回転数センサ検出された回転数が磁気浮上不能となる限界回転数よりも高い所定回転数となったとき、磁気軸受への回生電力の供給を停止して停止状態を維持する停止手段とを備えたことを特徴とする。

30

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 0 8 】

本発明によれば、回生運転モード時に、磁気浮上不能となる前に回転体の磁気浮上が停止されるので、タッチダウンの繰り返しを防止することができる。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 0 9 】

以下、図を参照して本発明を実施するための最良の形態について説明する。図 1 は本発明による磁気軸受装置を説明する図であり、磁気軸受式ターボ分子ポンプの概略構成を示すブロック図である。ターボ分子ポンプはポンプ本体 1 と電源装置 2 とで構成されている。ポンプ本体 1 には、ロータ 4 とそれを回転駆動するモータ 6 とが設けられている。ロータ 4 の回転数は回転数センサ 8 によって検出される。ロータ 4 はポンプ運転時には磁気軸受 5 により磁気浮上しており、磁気軸受 5 が動作していない場合には機械式の保護ベアリング 7 によって支持される。

40

## 【 0 0 1 0 】

図 2 はポンプ本体 1 を詳細に示す断面図であり、複数段のロータ翼 2 1 およびネジ溝部 2 2 が形成されたロータ 4 は、ケーシング 2 0 の内部に納められている。各ロータ翼 2 1 の間にはステータ翼 2 3 が各々配設され、ネジ溝部 2 2 に対してはそれに対向するように筒状部材 2 4 が配設されている。ロータ 4 を非接触支持する磁気軸受 5 ( 図 1 参照 ) は、ラジアル電磁石 5 1 , 5 2 およびアキシアル電磁石 5 3 を有する 5 軸制御型磁気軸受を構成している。磁気軸受 5 には、各電磁石 5 1 , 5 2 および 5 3 に対応してラジアル変位セ

50

ンサ 5 1 S , 5 2 S およびアキシャル変位センサ 5 3 S が設けられており、これらの変位センサ 5 1 S ~ 5 3 S によりロータ 4 の支持位置が検出される。

【 0 0 1 1 】

ロータ翼 2 1 およびネジ溝部 2 2 が形成されたロータ 4 を、電磁石 5 1 ~ 5 3 により非接触支持しつつモータ 6 により回転駆動すると、吸気口側のガスは矢印 G 1 のように背圧側（空間 S 1 ）に排気され、背圧側に排気されたガスは排気口フランジ 2 6 に接続された補助ポンプによりポンプ本体外へ排気される。図 1 の保護ベアリング 7 は、ロータ上部に設けられたボールベアリング 7 1 と、ロータ下部に設けられたボールベアリング 7 2 により構成されている。

【 0 0 1 2 】

図 1 に戻って、電源装置 2 には一次電源 3 から交流電力が供給され、A C / D C コンバータ 9 に入力される。入力される交流電力の電圧は電圧センサ 1 0 によって検出される。A C / D C コンバータ 9 は、一次電源 3 から供給された交流電力を直流電力に変換する。A C / D C コンバータ 9 から出力された直流電力は、モータ 6 を駆動する 3 相インバータ 1 1 と D C / D C コンバータ 1 2 に入力される。D C / D C コンバータ 1 2 に入力される直流電力の電圧は、電圧センサ 1 3 によって検出される。D C / D C コンバータ 1 2 の出力は、3 相インバータ 1 1 を P W M 制御等で制御するインバータ制御回路 1 4、および磁気軸受 5 による磁気浮上の制御を行う磁気軸受制御回路 1 5 のそれぞれに入力される。

【 0 0 1 3 】

軸受制御部 1 5 は、軸受制御の演算を行う演算部 1 5 0、演算部 1 5 0 で算出された制御信号に基づいて励磁電流を磁気軸受 5 に供給する励磁アンプ 1 5 1、および演算部 1 5 0 から励磁アンプ 1 5 1 への制御信号をオンオフする切換部 1 5 2 を備えている。演算部 1 5 0 および切換部 1 5 2 は D S P（デジタルシグナルプロセッサ）によって構成される。切換部 1 5 2 には、軸受制御部 1 5 に入力される直流電力の電圧を検出する電圧センサ 1 6 からの検出信号が入力される。

【 0 0 1 4 】

後述するように、切換部 1 5 2 は、電圧センサ 1 6 で検出された電圧値に基づいて演算部 1 5 0 から励磁アンプ 1 5 1 への制御信号をオンオフする。ここでは、概念的に制御信号をオンオフすると述べたが、オン状態とは通常の磁気浮上制御信号を D S P から励磁アンプ 1 5 1 へ出力することであり、オフ状態とは磁気浮上停止の制御信号を出力することである。すなわち、切換部 1 5 2 でオンオフの切換をすることは、実際に制御信号を遮断することではなく、磁気浮上制御信号から磁気浮上停止制御信号へと切り換えることを意味する。

【 0 0 1 5 】

インバータ制御回路 1 4 には回転数センサ 8 により検出されたロータ 4 の回転数が入力され、その回転数に基づいて 3 相インバータ 1 1 を制御する。また、R は回生余剰電力消費の抵抗であり、ロータ減速時の回生電力をこの抵抗 R で消費する。トランジスタ制御回路 1 8 でトランジスタ 1 7 のオンオフを制御することにより、抵抗 R に流れる電流のオンオフを制御する。1 9 は、回生時の電力逆流防止用のダイオードである。

【 0 0 1 6 】

次に、停電時の動作について説明する。図 3 は停電時動作の処理手順を示すフローチャートである。ステップ S 1 は停電が発生したか否かを判定するステップであり、具体的には、電圧センサ 1 0 で検出される電源電圧が所定電圧値よりも低い状態が所定時間継続されたならば停電と判定する。そして、ステップ S 1 で停電と判定されるとステップ S 2 に進んで回生制御に切り換え、回生電力を磁気軸受制御電源として用いた磁気浮上および回生ブレーキの動作を開始する。その結果、ロータ 4 は磁気浮上が維持される。

【 0 0 1 7 】

ステップ S 3 では、電圧センサ 1 6 で検出される電圧 V が所定電圧 V L 以下となったか否かを判定し V > V L と判定されるとステップ S 1 4 に進む。ここで、所定電圧値 V L は回生電力により磁気浮上が可能か否かを判定する基準値であり、基本的には前述したタッ

10

20

30

40

50

チダウンの繰り返しが発生するときの電圧値  $V_0$  であるが、タッチダウンの繰り返しの確実に防止するために  $V_L$  を  $V_0$  よりやや高めに設定する。

【0018】

ステップ S4 では、切換部 152 をオフして磁気軸受 5 への励磁電流を停止して、ロータ 4 の磁気浮上を停止する。その結果、ロータ 4 は回転しながら保護ベアリング 7 にタッチダウンする。本実施の形態では切換部 152 がオフされるため、従来のように回生電力によってロータ 4 が再び磁気浮上するようなことがなく、保護ベアリング 7 による支持が維持される。

【0019】

ステップ S5 では、電圧センサ 10 で検出される電圧値に基づいて、停電状態から復帰したか否かを判定する。ステップ S5 において停電状態から復帰したと判定されると、ステップ S6 に進んで、電源 3 の電力による磁気浮上を開始する。すなわち、停電が継続している場合にはロータ 4 は保護ベアリング 7 に支持された状態で停止し、停電状態から復帰した場合には磁気浮上状態で停止することになる。

【0020】

なお、停電状態から復帰した場合でも切換部 152 はオフ状態が維持され、例えば、オペレータにより手動リセットすることによりオフからオンへと切り換えられる。また、電圧センサ 16 の電圧値に代えて、電圧センサ 13 の電圧値に基づいて切換部 152 をオンからオフへと切り換えるようにしても良い。この場合、DC/DC コンバータ 12 の入力電圧値と、DC/DC コンバータ 12 から軸受制御部 15 に出力される電力の電圧値との割合から類推して、ステップ S3 における基準電圧を設定する。

【0021】

図 3 に示した動作例では電圧センサ 16 で検出される電圧に基づいて磁気浮上停止を決定したが、例えば図 4 に示すブロック図のように、回転数センサ 8 で検出された回転数に基づいて切換部 152 をオフするようにしてもよい。ロータ 4 の回転数と回生電力との間には相関があるので、上述した電圧値  $V_L$  に対応する回転数  $n_L$  をステップ S3 における判定に用いれば良い。すなわち、ステップ S3 の判定は、ロータ回転数  $n$  が  $n_L$  か否かによって判定を行い、 $n < n_L$  と判定されるとステップ S4 へと進む。例えば、タッチダウンの繰り返しが発生する回転数が 5000 rpm であったとすれば、 $n_L = 5500$  rpm のように高回転側に  $n_L$  を設定する。

【0022】

上述したように、本実施の形態の磁気軸受装置では、停電時の回生磁気浮上動作時に、磁気軸受制御部 15 に入力される電力の電圧が  $V_L$  以下となった場合、または、ロータ回転数が  $n_L$  以下となった場合に磁気浮上を停止するようにしたので、従来のようなタッチダウン繰り返し現象の発生を防止することができる。その結果、停電動作時における保護ベアリング 7 のダメージを軽減することができ、保護ベアリング 7 の寿命向上およびオーバーホールの回数低減を図ることができる。また、タッチダウン時に、ターボ分子ポンプが接続された装置等の周辺機器に伝わる振動の低減も図れる。

【0023】

以上説明した実施の形態と特許請求の範囲の要素との対応において、ロータ 4 は回転体を、演算部 150 は軸受制御手段を、切換部 152 は停止手段をそれぞれ構成する。上述した実施の形態では磁気軸受式ターボ分子ポンプを例に説明したが、本発明は磁気軸受式ターボ分子ポンプに限らず、回転体を支持する様々な磁気軸受装置に適用することができる。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図 1】本発明による磁気軸受装置を説明する図であり、磁気軸受式ターボ分子ポンプの概略構成を示すブロック図である。

【図 2】ポンプ本体 1 の詳細断面図である。

10

20

30

40

50

【図 3】 停電時動作の処理手順を示すフローチャートである。

【図 4】 変形例を示すブロック図である。

【符号の説明】

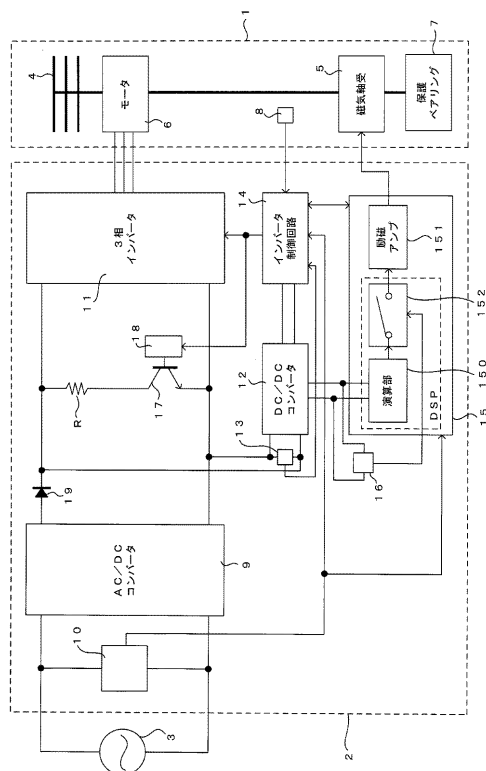
【 0 0 2 5 】

- 1 ポンプ本体
- 2 電源装置
- 3 一次電源
- 4 ロータ
- 5 磁気軸受
- 6 モータ
- 7, 71, 72 保護ベアリング
- 8 回転数センサ
- 9 AC/DCコンバータ
- 10, 13, 16 電圧センサ
- 11 3相インバータ
- 12 DC/DCコンバータ
- 14 インバータ制御回路
- 15 軸受制御部
- 17 トランジスタ
- 18 トランジスタ制御回路
- 150 演算部
- 151 励磁アンプ
- 152 切換部
- R 抵抗

10

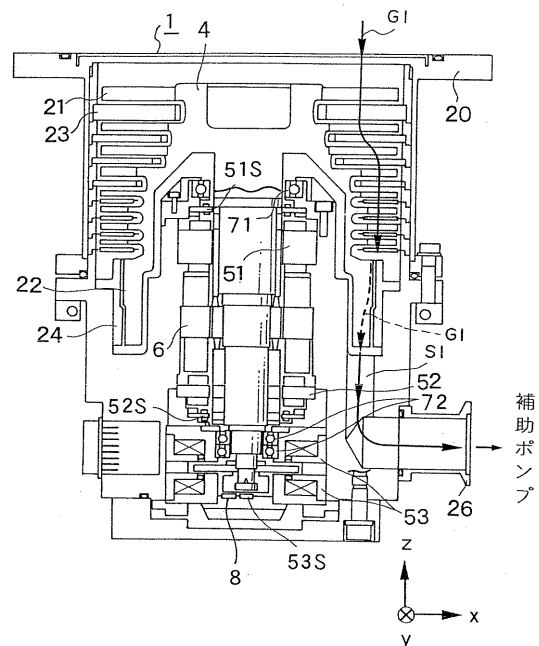
20

【図 1】

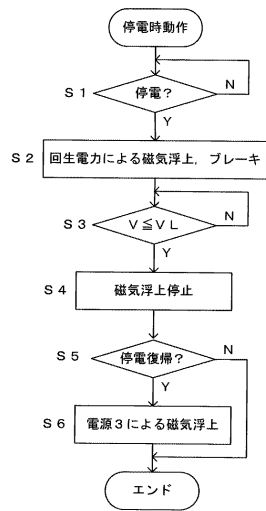


【図 2】

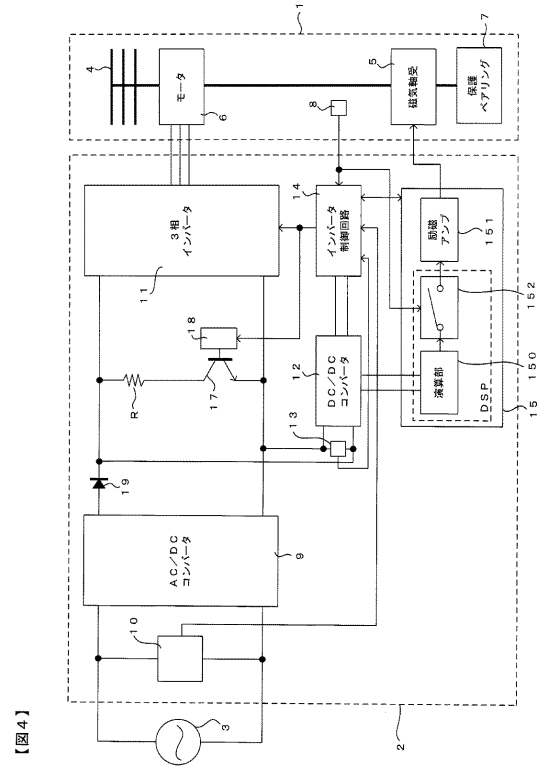
【図2】



【図3】



【 図 4 】



---

フロントページの続き

F ターム(参考) 3J102 AA01 BA02 BA19 CA03 CA04 CA12 CA27 DB20 GA06 GA07