

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4419258号
(P4419258)

(45) 発行日 平成22年2月24日 (2010. 2. 24)

(24) 登録日 平成21年12月11日 (2009. 12. 11)

(51) Int. Cl.

F I

H O 2 K 29/00 (2006. 01)

H O 2 K 29/00

Z

F O 4 D 19/04 (2006. 01)

F O 4 D 19/04

H

請求項の数 2 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-62456 (P2000-62456)
 (22) 出願日 平成12年3月7日 (2000. 3. 7)
 (65) 公開番号 特開2001-251829 (P2001-251829A)
 (43) 公開日 平成13年9月14日 (2001. 9. 14)
 審査請求日 平成18年6月6日 (2006. 6. 6)

(73) 特許権者 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 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

審査官 大山 広人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ターボ分子ポンプ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

D C ブラシレスモータにより回転翼を固定翼に対して高速回転させるターボ分子ポンプにおいて、

前記 D C ブラシレスモータに流れる負荷電流を検出する負荷電流検出手段と、

前記ターボ分子ポンプが無負荷状態であって且つ所定の一定回転速度を維持しているときに外部から供給される最適位相検出指令に应答して、前記 D C ブラシレスモータの回転基準位置に対する励磁基準位置を相対的に変化させることにより、前記負荷電流が最小となる最適励磁位相を検出する最適位相検出手段と、

前記最適位相検出手段により検出された前記最適励磁位相を最適位相情報として記憶しておく位相情報記憶手段と、

前記ターボ分子ポンプの稼働時には、前記位相情報記憶手段に記憶されている前記最適位相情報に基づいて励磁パターンを形成することにより前記 D C ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備えることを特徴とするターボ分子ポンプ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のターボ分子ポンプにおいて、

前記 D C ブラシレスモータの回転基準位置は、前記 D C ブラシレスモータのロータに埋め込まれた永久磁石の磁気を検出する単一の磁気検出素子から出力される信号により決定されることを特徴とするターボ分子ポンプ。

【発明の詳細な説明】

10

20

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ターボ分子ポンプに関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

半導体製造装置などに用いられる真空ポンプの一つとしてターボ分子ポンプがあるが、ターボ分子ポンプでは回転翼が形成されたロータをモータで回転駆動し、この回転翼を固定翼に対して高速回転させることにより気体分子を排気している。ロータを回転駆動するモータとしては、DCブラシレスモータが知られている。DCブラシレスモータでは、ロータの磁極を検知してロータの回転位置を検出する複数のホールセンサがステータに設けられており、各ホールセンサの信号から論理回路によりステータコイルを励磁する際の励磁パターンを形成し、その励磁パターンによりモータ駆動回路を制御してモータの駆動を行う。

10

【 0 0 0 3 】

例えば、3相(U, V, W)のステータコイルに対応して3つのホールセンサH1, H2, H3を設け、これら3つのホールセンサからの信号に基づいてロータの回転周期に同期した励磁電圧を各コイルU, V, Wに印加する。図10の(a)は各ホールセンサH1~H3からのセンサ信号を示す図である。このセンサ信号から論理回路により励磁パターン信号が生成され、その信号によりモータ駆動回路が制御されて図10(b)に示すような励磁電圧がステータコイルU, V, Wに印加される。

20

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、次のような理由からステータコイルに印加される励磁電圧は必ずしも最適なものとはならないという問題があった。

(a) ホールセンサのセンサ信号が励磁パターン形成回路に取り込まれるまでに生じるセンサ信号の位相のずれによって、励磁パターンが最適なものからずれてしまう。特に、信号経路にフォトカプラを用いた場合には、フォトカプラの応答時間に起因する位相のずれが生じる。

(b) ホールセンサは磁力を検出して図10(a)のように信号を反転するアナログ的な素子なので、素子のばらつきにより位相のずれが生じる。

30

(c) また、磁石の磁化が不均一であった場合、信号が反転する立ち上がりおよび立ち下がりにはずれが生じる。

【 0 0 0 5 】

上述するような原因でセンサ信号に位相ずれが生じると、この位相ずれは励磁パターンの位相ずれとなり、モータ駆動状態が最適な状態からずれてしまうことになる。その結果、不要な電力を消費することになり、ポンプ本体の温度上昇の原因となる。特に、磁気軸受式のターボ分子ポンプの場合には、ロータは真空中に非接触で浮上しているため、熱の逃げ場が無く、僅かな消費電力アップでも温度が上昇しやすい。例えば、無負荷回転時に70~80Wの消費電力であったものが、上述したような原因で10Wアップした場合、5~10もロータ温度が上昇する。

40

【 0 0 0 6 】

ターボ分子ポンプではロータは非常に高速で回転しているため、一般的にアルミ合金からなるロータの温度が上昇すると、高温クリープによるロータの強度の低下を招くという問題があった。

【 0 0 0 7 】

本発明の目的は、消費電力の低減を図ることができるDCブラシレスモータを使用したターボ分子ポンプを提供することにある。

【 0 0 0 8 】

請求項1に係る発明は、DCブラシレスモータにより回転翼を固定翼に対して高速回転させるターボ分子ポンプにおいて、前記DCブラシレスモータに流れる負荷電流を検出す

50

る負荷電流検出手段と、前記ターボ分子ポンプが無負荷状態であって且つ所定の一定回転速度を維持しているときに外部から供給される最適位相検出指令にตอบสนองして、前記ＤＣブラシレスモータの回転基準位置に対する励磁基準位置を相対的に変化させることにより、前記負荷電流が最小となる最適励磁位相を検出する最適位相検出手段と、前記最適位相検出手段により検出された前記最適励磁位相を最適位相情報として記憶しておく位相情報記憶手段と、前記ターボ分子ポンプの稼働時には、前記位相情報記憶手段に記憶されている前記最適位相情報に基づいて励磁パターンを形成することにより前記ＤＣブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備えている。この請求項１に記載した発明は、図１１および図１２に対応している。

請求項２に係る発明は、請求項１に記載のターボ分子ポンプにおいて、前記ＤＣブラシレスモータの回転基準位置は、前記ＤＣブラシレスモータのロータに埋め込まれた永久磁石の磁気を検出する単一の磁気検出素子から出力される信号により決定される。

【０００９】

なお、本発明の構成を説明する上記課題を解決するための手段の項では、本発明を分かり易くするために発明の実施の形態の図を用いたが、これにより本発明が発明の実施の形態に限定されるものではない。

【００１０】

【発明の実施の形態】

以下、図１～図１２を参照して本発明の実施の形態を説明する。図１は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り、ターボ分子ポンプはターボ分子ポンプ本体１と電源装置２とから構成されている。ポンプ本体１に設けられたロータ４は磁気軸受５により非接触支持され、モータ部６により回転駆動される。モータ部６にはＤＣブラシレスモータが用いられる。一方、電源装置２には、ＤＣブラシレスモータを駆動するインバータ部７と、ロータ４が所定浮上位置に支持されるように磁気軸受５に供給される励磁電流を制御する磁気浮上制御部８とを備えている。

【００１１】

図２はターボ分子ポンプ本体１の詳細を示す断面図である。ポンプ本体１のケーシング２０の内部には、複数段のロータ翼２１およびネジ溝部２２が形成されたロータ４と、ロータ翼２１に対して交互に配設されるステータ翼２３と、上記ネジ溝部２２と対向するように配設される筒状部材２４とが設けられている。ロータ４を非接触支持する磁気軸受５は、ラジアル磁気軸受を構成する電磁石５１，５２とアキシャル磁気軸受を構成する電磁石５３とを有し、これらは５軸制御型磁気軸受を構成している。これらのラジアル電磁石５１，５２とアキシャル電磁石５３に対応して、ロータ４の位置を検出するためのラジアル変位センサ７１，７２およびアキシャル変位センサ７３が設けられている。

【００１２】

１０はＤＣブラシレスモータであり、このモータ１０によりロータ４は高速回転駆動される。このときのロータ４の回転位置は、回転センサ１１により検知される。回転センサ１１には、ホールセンサや渦電流センサ等が用いられる。ロータ４を電磁石５１，５２，５３により非接触支持しつつモータ１０により回転駆動すると、吸気口側のガスは矢印Ｇ１のように背圧側（空間Ｓ１）に排気され、背圧側に排気されたガスは排気口フランジ２６に接続された補助ポンプにより排気される。２７，２８は非常用のメカニカルベアリングである。

【００１３】

図３は、モータ部６およびインバータ部７を詳細に示す図である。モータ部６のステータ側には、回転センサ１１およびステータコイルＵ，Ｖ，Ｗが設けられており、回転センサ１１の信号は、インバータ部７の検出回路１２に入力される。検出回路１２は、回転センサ１１のセンサ信号に基づいてロータ４の回転基準位置および回転周期を算出し、それらの情報を励磁パターン作成回路１３に入力する。

【００１４】

図４は、回転センサ１１としてホールセンサＨＳを用いた場合の、ロータ位置検出を説明

10

20

30

40

50

する図である。図4(a)に示すように、DCブラシレスモータではロータ4に永久磁石30が設けられており、この永久磁石30の磁界をステータ側に設けられたホールセンサHSで検知することにより、ロータ4の回転位置を検出する。ロータ4が回転して、図4(a)の状態から角度 α だけ回転した図4(b)の状態になると、ホールセンサHSはS極を検出する。そして、図4(c)のように角度 β の状態になると、S極は検出されなくなる。さらに、図4(b)の状態から 180° 回転すると、ホールセンサHSはN極を検出する。検出回路12では、得られたセンサ信号に基づいて、ロータ4の回転基準位置および回転周期を算出する。

【0015】

図3に戻って、励磁パターン作成回路13はステータコイルU、V、Wに励磁電流を供給する際の励磁パターンを作成する。ここで作成される励磁パターンは、ステータコイルU、V、Wの各々を駆動するための3種類の駆動信号パターンから成り、それらの信号に基づいて図5に示すように励磁電圧パターンがドライブ回路14により形成される。図5の励磁電圧パターンは位相差が正確に 120° になっており、電圧切換間隔が一定な理想的な波形になっている。

【0016】

この励磁パターン作成回路13には、DSP(デジタルシグナルプロセッサ)等を用いて作成しても良いし、マイクロプロセッサにより作成しても良い。いずれにしても、回転センサ11の信号と独立して理想的な形状の励磁パターンを作成する。ただし、パターンの周期(図5の周期T)に関しては、ロータ4の回転周期と一致するように作成される。

【0017】

図6はドライブ回路14の一例を示す図であり、S1~S6はトランジスタ等のスイッチング素子であり、Eは電源である。これらのスイッチング素子S1~S6を励磁パターン作成回路13からの信号により制御して、図5に示すような電圧をステータコイルU、V、Wに印加する。図7は、図5の1~6の1周期分について、スイッチング素子S1~S6のオン・オフのタイミングを示したものであり、図8は各タイミングでのコイルU、V、Wの端子電圧を示したものである。

【0018】

1ではスイッチング素子S1がオフ(x印)でスイッチング素子S2がオン(印)なので、コイルUの端子電圧は0(V)となる。コイルVについてはスイッチング素子S3がオンでスイッチング素子S4がオフなので、端子電圧はE(V)となる。コイルWについてはスイッチング素子S5、S6の両方ともオフなので、コイルWの端子電圧はコイルU、Vの端子電圧の中間となり、 $E/2$ (V)である。図9は、永久磁石が設けられたロータ4、ステータコイルU、V、WおよびホールセンサHSを示す図である。図5、7、8の1のタイミングでは、電流IはコイルU、Vを図の矢印のように流れ、コイルVの側がN極、コイルUの側がS極となるような磁界が発生する。その結果、ロータ4は右回りに回転駆動される。なお、図9の場合には、ロータ4の回転基準位置は磁石30のS極の位置を指し、図9のようにS極が1の位置になったときに図5の励磁パターンの1とを一致させることにより、回転基準位置と励磁基準位置が一致する。

【0019】

また、2の場合には、スイッチング素子S3、S4の両方ともオフなのでコイルVの端子電圧は $E/2$ (V)、スイッチング素子S5がオンでスイッチング素子S6がオフなのでコイルWの端子電圧はE(V)、コイルUは1と同じなので0(V)となる。

3~6についても同様である。上述した励磁パターン作成回路13からの信号により、このようなスイッチング素子S1~S6のオン・オフ制御が行われ、ロータ4は右回りに連続的に回転駆動される。

【0020】

ところで、従来の装置では、図9のH1、H2、H3で示すようにホールセンサを複数設け、それらのセンサ信号(図10(a)を参照)から論理回路により励磁パターンを作成していた。例えば、図9に示す状態では図10(a)の1に示すようなセンサ信号が

10

20

30

40

50

得られ、論理回路はこのセンサ信号に基づいて、スイッチング素子 $S_1 \sim S_6$ を図 7 の 1 のように制御する。そのため、ホールセンサ $H_1 \sim H_2$ の取り付け位置や性能自体のばらつき等により図 10 (a) の各センサ信号間に位相ずれが生じると、図 10 (b) の励磁パターンが崩れて消費電力のロスが生じる。

【0021】

しかし、上述した実施の形態では、回転センサ 11 で検出された回転位置とは無関係に、励磁パターン作成回路 13 により理想的な励磁パターンを生成しているため、励磁パターンの崩れによる消費電力のロスを防止することができる。

【0022】

図 11 は上述したターボ分子ポンプの変形例を示す図であり、図 3 に対応するものである。上述した実施の形態では、励磁パターンが理想的なものであっても、例えば、永久磁石の磁化不均一により検出した回転位置と実際の回転位置との間にずれが生じることがある。その結果、ロータ 4 の実際の回転基準位置と励磁パターンの対応する励磁基準位置との間に位相のずれが生じ、すなわち、ロータ 4 の回転とコイル U, V, W による回転磁界とのタイミングがずれて消費電力が増加する。

【0023】

そこで、図 11 に示した変形例では、ターボ分子ポンプが一定の回転速度で回転しているときに、モータ 10 の消費電力が最小となるように励磁パターンの位相をずらして駆動する。ところで、モータ 10 の消費電力は同一回転速度ではモータ電流に比例しているので、モータ電流が最小となるときに消費電力も最小となる。図 11 において、コントローラ 15 から励磁パターン作成回路 13 に対して励磁パターンの位相が出力され、励磁パターン作成回路 13 は入力された位相の励磁パターンを生成する。

【0024】

ポンプ起動当初は、励磁パターン作成回路 13 は、検出回路 12 で算出されるロータ 4 の回転基準位置と励磁パターンの励磁基準位置とが一致するように励磁パターンを生成する。しかし、このように駆動した場合でも、上述したように実際のロータ回転に同期しているとは限らない。コントローラ 15 は、励磁パターン作成回路 13 に入力する位相を図 12 のように所定の範囲 H 内で変動させ、モータ電流 I が最小となる位相を探す。図 12 はモータ電流 I と励磁パターンの位相との関係を示す図であり、縦軸はモータ電流 I 、横軸は回転基準位置に対する励磁基準位置の位相を示したものである。回転基準位置に対する励磁基準位置の位相を θ とすると、モータ電流 I は最小値 I_{\min} となる。このような最適位相 θ_{\min} が求められたならば、コントローラ 15 は最適位相 θ_{\min} を励磁パターン作成回路 13 に入力するとともに、記憶部 16 に格納する。その後、ターボ分子ポンプが停止された後に再び起動されたときには、記憶部 16 から最適位相 θ_{\min} が呼び出され、励磁パターン作成回路 13 に入力される。

【0025】

上述したような最適位相 θ_{\min} の導出は、ターボ分子ポンプが無負荷状態で一定回転のときに行われる。一般的には、ターボ分子ポンプがこのような状態にあることをオペレータが確認し、最適位相 θ_{\min} を求めるための指令（チューニング指令）をコントローラ 15 に入力することにより、上述した動作（チューニング動作）が行われる。

【0026】

上述した変形例では、ターボ分子ポンプはモータ電流 I が最小となるように駆動されるため、モータ消費電力が最小となり、モータ 10 の発熱を抑えることができる。その結果、モータ発熱によるロータ 4 の温度上昇を抑えることができ、ターボ分子ポンプの信頼性を向上させることができる。また、従来のように、3 つのホールセンサ $H_1 \sim H_3$ の信号から励磁パターンを作成しているわけではないので、回転センサ 11 は複数設ける必要がなく、コスト低減が図れる。

【0027】

なお、上述した実施の形態では、ターボ分子ポンプを例に説明したが、これに限らず、DC ブラシレスモータを上述したように制御することにより、モータ消費電力を従来より低

10

20

30

40

50

減することができる。

【 0 0 2 8 】

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、負荷電流検出手段はドライブ回路 1 4 に対応し、最適位相検出指令はチューニング指令に対応し、最適位相検出手段はコントローラ 1 5 に対応し、位相情報記憶手段は記憶部 1 6 に対応し、駆動手段は励磁パターン作成回路 1 3 およびドライブ回路 1 4 に対応する。

【 0 0 2 9 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明を適用したターボ分子ポンプによれば、外部から供給される最適位相検出指令に応答して検出された最適励磁位相を位相情報として記憶し、その後のターボ分子ポンプの稼働時には、位相情報記憶手段に記憶されている最適位相情報に基づいて励磁パターンを形成することにより D C ブラシレスモータを駆動するため、モータ消費電力の低減を図ることができ、モータの不要な発熱を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による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。

【図 2】ターボ分子ポンプ本体 1 の詳細を示す断面図。

【図 3】モータ部 6 およびインバータ部 7 の詳細図。

【図 4】ロータ位置検出を説明する図であり、(a) はロータ 4 の永久磁石 3 0 とホールセンサ H S を示す断面図であり、(b) は (a) の状態から角度 a だけ回転した状態を示し、(c) は (a) の状態から角度 b だけ回転した状態を示す。

【図 5】ステータコイル U , V , W に印加される電圧パターンを示す図。

【図 6】ドライブ回路 1 4 の一例を示す図。

【図 7】スイッチング素子 S 1 ~ S 6 のオン・オフのタイミングを示す図。

【図 8】図 7 の各タイミングにおける、コイル U , V , W の端子電圧を示す図。

【図 9】ロータ 4 とコイル U , V , W との関係を示す図。

【図 1 0】従来の装置を説明する図であり、(a) はホールセンサ信号を、(b) は励磁パターンをそれぞれ示す。

【図 1 1】変形例を示す図。

【図 1 2】モータ電流 I と励磁パターンの位相との関係を示す図。

【符号の説明】

- 1 ポンプ本体
- 4 ロータ
- 6 モータ部
- 7 インバータ部
- 1 0 D C ブラシレスモータ
- 1 1 回転センサ
- 1 2 検出回路
- 1 3 励磁パターン作成回路
- 1 4 ドライブ回路
- U , V , W ステータコイル

10

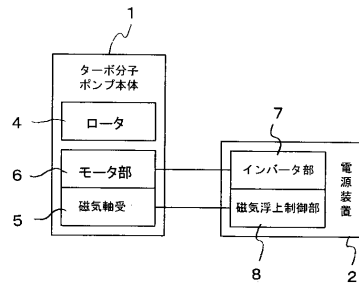
20

30

40

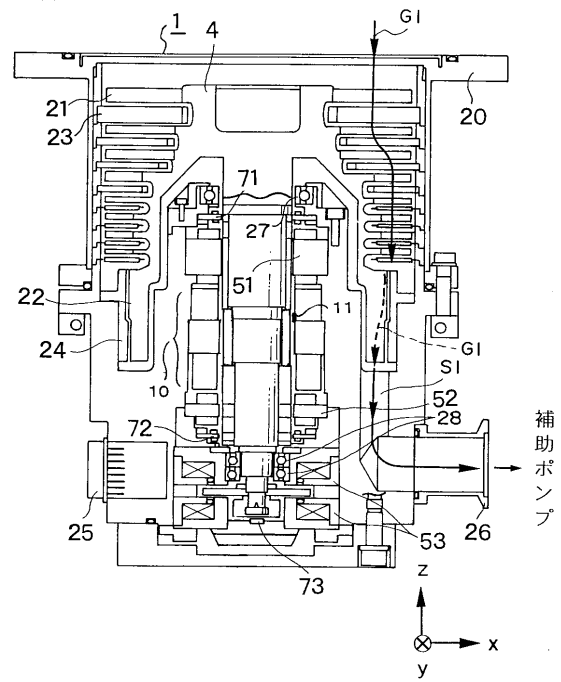
【図 1】

【図1】



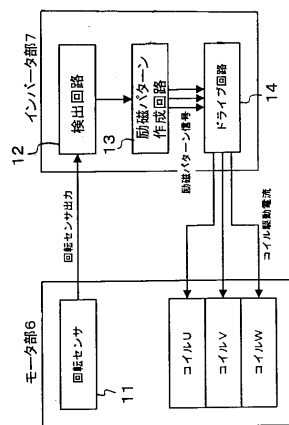
【図 2】

【図 2】



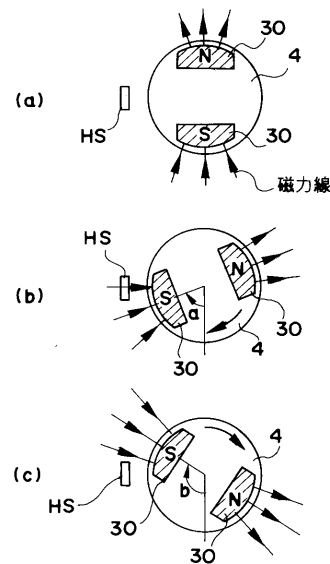
【図 3】

【図3】



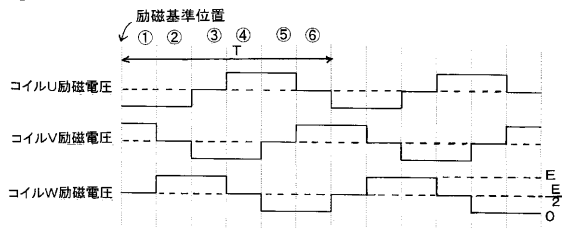
【図 4】

【図 4】



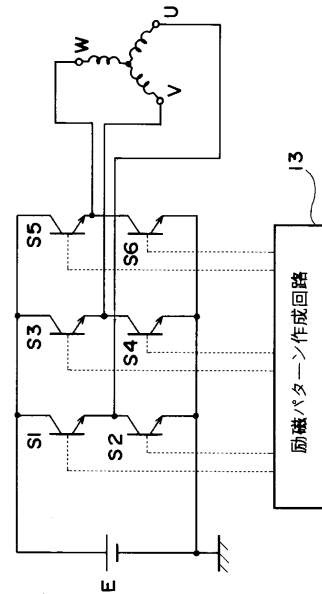
【図 5】

【図5】



【図 6】

【図 6】



【図 7】

【図7】

	①	②	③	④	⑤	⑥
S1	x	x	x	○	○	x
S2	○	○	x	x	x	x
S3	○	x	x	x	x	○
S4	x	x	○	○	x	x
S5	x	○	○	x	x	x
S6	x	x	x	x	○	○

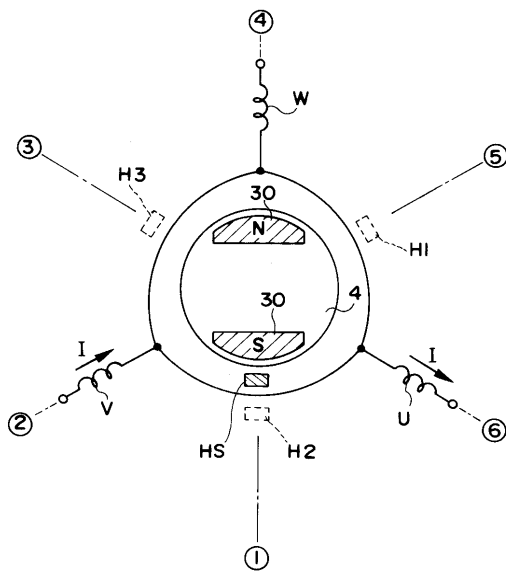
【図 8】

【図8】

	①	②	③	④	⑤	⑥
U	0	0	$\frac{E}{2}$	E	E	$\frac{E}{2}$
V	E	$\frac{E}{2}$	0	0	$\frac{E}{2}$	E
W	$\frac{E}{2}$	E	E	$\frac{E}{2}$	0	0

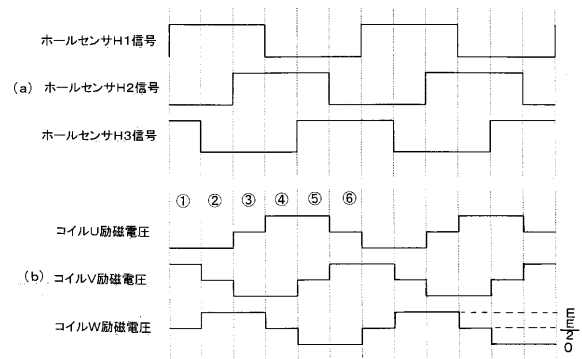
【図 9】

【図 9】



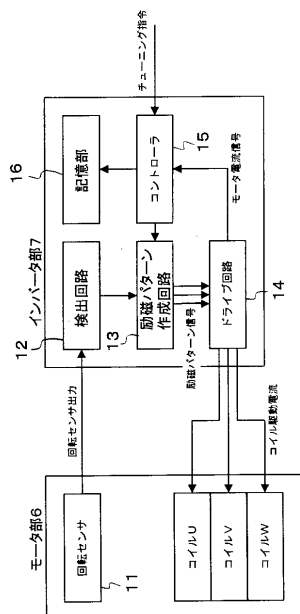
【図 10】

【図10】



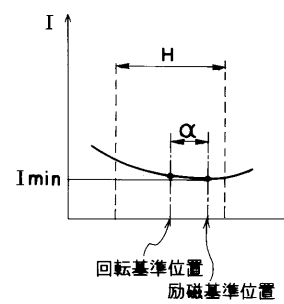
【図 11】

【図11】



【図 12】

【図 12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 0 8 - 0 4 7 2 8 5 (J P , A)
特開平 0 4 - 1 4 0 0 9 3 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 1 8 0 9 6 (J P , A)
特開平 0 7 - 1 7 7 7 8 5 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 4 9 6 8 3 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 6 3 7 8 7 (J P , A)
特開平 0 6 - 2 3 3 5 8 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H02K 29/00

F04D 19/04