

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4144672号
(P4144672)

(45) 発行日 平成20年9月3日(2008.9.3)

(24) 登録日 平成20年6月27日(2008.6.27)

(51) Int. Cl.	F 1	
HO2K 29/00 (2006.01)	HO2K 29/00	Z
HO2K 1/22 (2006.01)	HO2K 1/22	A
HO2K 5/16 (2006.01)	HO2K 5/16	Z
HO2K 7/09 (2006.01)	HO2K 7/09	
HO2K 21/14 (2006.01)	HO2K 21/14	M

請求項の数 13 (全 9 頁) 最終頁に続く

<p>(21) 出願番号 特願平10-531425</p> <p>(86) (22) 出願日 平成10年1月23日(1998.1.23)</p> <p>(65) 公表番号 特表2001-508997(P2001-508997A)</p> <p>(43) 公表日 平成13年7月3日(2001.7.3)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/AU1998/000035</p> <p>(87) 国際公開番号 W01998/033260</p> <p>(87) 国際公開日 平成10年7月30日(1998.7.30)</p> <p>審査請求日 平成16年11月10日(2004.11.10)</p> <p>(31) 優先権主張番号 P04782</p> <p>(32) 優先日 平成9年1月24日(1997.1.24)</p> <p>(33) 優先権主張国 オーストラリア(AU)</p>	<p>(73) 特許権者 コモンウェルス サイエンティフィック アンド インダストリアル リサーチ オ ーガニゼーション オーストラリア連邦 エーシーティー 2 612 キャンベル ライムストーン ア ヴェニュー</p> <p>(73) 特許権者 ユニバーシティー オブ テクノロジー シドニー オーストラリア連邦 ニューサウスウェ ルズ州 2007 ブロードウェイ プロ ードウェイ 1</p> <p>(74) 代理人 弁理士 川和 高穂</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 改良型高速度電気モータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

(a) 拘束性スリーブにより囲まれた中実な希土類マグネットコアからなる回転子と、
 (b) 予め決められた定格の電子インバータを備えた制御回路と
 を有する、高速度ブラシレス直流モータであって、
 前記制御回路は、前記モータの基底速度から最大速度に亘って一定の有効電力を維持する
 手段を備え、
 逆起電力に対応して供給される電機子電流の位相の進み角を変化させることにより、前記
 速度範囲に亘り弱め磁束制御を有効に作用させ、力率を1近くに維持することを特徴とす
 る、高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項2】

前記高速度ブラシレス直流モータは、前記電流および前記力率の大きさが、前記速度範囲
 の両端で、それぞれ等しい値となるように設計されていることを特徴とする、請求項1に
 記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項3】

設計された前記基底速度が約32,000rpmであり、設計された前記最大速度が約48,000rpmであることを特徴とする、請求項1または2に記載の高速度ブラシレス
 直流モータ。

【請求項4】

前記モータの基底速度における前記電流の位相は前記電圧の位相よりも遅れ、前記モータ

の最大速度における前記電流の位相は前記電圧の位相よりも進むことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項 5】

最大出力（パワー）における前記電流の進み角（最大トルクを発生するようにアライメントされた電機子電流からの）は、約 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ であることを特徴とする、請求項 4 に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の高速度ブラシレスの直流モータであって、直径方向に磁化された、中実な、希土類マグネットコアからなる回転子を備え、当該回転子は、前記マグネットコアを囲み高速回転時に前記コアを半径方向に拘束する前記スリーブを備えており、当該スリーブは前記コアの軸線の両方向に延びて前記回転子のために中空のシャフトを形成し、前記スリーブが非磁性、低電気伝導率の材料から形成されていることを特徴とする、高速度ブラシレス直流モータ。

10

【請求項 7】

前記希土類マグネットコアがネオジウム - 鉄 - ボロン（Nd - Fe - B）から形成されていることを特徴とする、請求項 6 に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項 8】

前記コアが前記スリーブ内に圧縮状態で保持されていることを特徴とする、請求項 6 または 7 に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項 9】

前記回転子の共振曲げ周波数が最大回転周波数を超えることを特徴とする、請求項 6 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

20

【請求項 10】

前記回転子は能動磁気ベアリング上に支持されており、前記ベアリングが回転子を軸方向および半径方向に位置決めすることを特徴とする、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項 11】

前記回転子スリーブがインコネル（INCONEL（登録商標））から形成されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【請求項 12】

前記コアは、予めスリーブに応力をかけることによって、（静止時に）圧縮負荷がかかった状態に維持されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

30

【請求項 13】

前記スリーブに予め応力をかけるために、前記コアと前記スリーブを温度差を与えた組み立てることにより、前記スリーブを前記コア上の半径方向及び軸方向に熱収縮させることを特徴とする、請求項 1 2 に記載の高速度ブラシレス直流モータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

（発明の属する技術分野）

この発明は、高速電気モータの改良に関し、特に、高速、ブラシレス直流モータに関する。この発明の原理はすべての領域のモータに適用することができるが、この発明においては、特に、冷媒、空気またはガスコンプレッサ用のモータとしての適用について以下に記述する。

40

【0002】

（発明の背景）

コンプレッサモータとして使用される高速、ブラシレス直流モータの設計および構造には、多くの問題が生じている。上述したモータは、所定の範囲の負荷にわたって、コンプレッサモータとして有効であるために十分な出力を生じる必要がある。モータおよびコンプレッサを組み合わせた容積を最小化するために、高性能の高速、低トルクモータを設計す

50

ることが望ましい。

【0003】

高速、ブラシレス直流モータが知られている。この点に関して、(ピットマンインターナショナル出版)セイおよびテイラー著、「直流機械」、第2版、特に、4.8、5.10および11.4章を引用する。このようなモータは通常、冷媒コンプレッサに要求される出力よりも低出力である。このようなモータの1つの形としては、希土類マグネット(特に、ネオジウム-鉄-ボロンのグレード)を使用する。しかし、この材料および他の希土類マグネットは一般に、引張り強度が低く、幾分脆い。このため、その使用が相対的に低出力高速電気モータに限定され、コンプレッサモータとして不適である。

【0004】

環境上安全であると考えられているR134Aおよび他のCFC冷媒等の新規な冷媒を使用する冷却コンプレッサの適用において、冷媒と化学的に不相溶性である潤滑剤を使用することは不可能である。このため、コンプレッサにおける従来のベアリングの使用は排斥される。従って、磁気またはフォイルベアリングのような非接触ベアリングの使用が望まれる。このようなベアリングは、駆動モータにおいても使用される。

【0005】

この発明の目的は、相対的に高出力、且つ、容積比に対して非常に出力が高い高速電気モータを設計することにある。

更に、この発明の目的は、冷媒コンプレッサ用に使用される電気モータを設計することであり、回転子は好ましくは、磁気ベアリング、フォイルベアリング等の無オイルまたは非接触ベアリングによって支持されている。但し、他の適用においては通常のベアリングとして使用することができる。

コンプレッサモータとして使用される電気モータおよび相対的に低コストの制御回路によって行うことができる制御を提供することが望ましい。

更に、所要の機械的強度を提供することができる構造において希土類マグネットを組み入れた回転子を備えた電気モータを提供することが望ましい。

【0006】

(発明の要旨)

この発明の第1の態様は、下記からなる、直径方向に磁化された、忠実な、希土類マグネットコアからなる回転子を備えた、高速度、ブラシレスの直流モータである。前記回転子は前記マグネットコアを囲み、高速回転時にコアを半径方向に拘束するスリーブを備えており、前記スリーブは前記コアから軸線の両方向に沿って延びて回転子のために中空のシャフトを形成し、前記スリーブは、非磁性、低電気伝導率の材料から形成されている。

【0007】

回転子スリーブを使用して中空の回転子シャフトを形成することによって、回転子の重量を少なくし、ベアリングにかかる負荷を少なくすると共に、一方で、所要のシャフト硬さを提供し、費用対効果に優れた構成方法を提供する。

この発明のモータは、最大効率および低損失のために、コアに関して中実な希土類マグネットコアを使用する。

【0008】

モータは、好ましくは、運転速度20,000rpmから50,000rpmの範囲内で運転するように設計される。これによって、モータおよびコンプレッサの容積を少なくする。しかしながら、上述したような高回転速度は、発生する高い遠心力に耐える過酷な機械的要求を回転子に課す。回転子は、更に、共振曲げ周波数が最大回転周波数を超えるに十分な剛性硬さを有している必要がある。回転子は、回転子ベアリングにかかる負荷を最小にするように軽いことが必要である。

【0009】

冷媒コンプレッサに使用されるこの発明の好ましい態様において、回転子は能動磁気ベアリング上に支持されており、そのベアリングが回転子を軸方向および半径方向に位置決めする。しかしながら、他の形状の通常の機械的ベアリングまたは他の型の非接触ベアリン

10

20

30

40

50

グを、この発明のモータに他の状況下で用いることができる。

回転子のスリーブは好ましくは、インコネル（登録商標）等の非磁性、高強度金属によって形成される。これら非磁性、高強度金属は相対的に高いヤング係数を有し、回転子シャフトに要求される所要の曲げ硬さを提供する。

【0010】

この発明の好ましい態様において、希土類マグネットコアは、予めスリーブに応力をかけることによって、（静止時に）圧縮負荷がかかった状態に維持する。このような予め応力をかけることは、スリーブを加熱する等、コアとスリーブを実質的に熱偏差が生じるように組み立てることによって行うことができる。マグネットコアの外径およびスリーブの内径は、精密な大きさで、相互に干渉してフィットするように形成する。

10

【0011】

スリーブがコア上で縮むと、軸方向および半径方向の両方向の相対的な大きさの変化によって、マグネットコアに軸方向および半径方向の圧縮が働く。回転子が回転すると、生じた遠心力は、スリーブの引張り力によって反発され、最大回転速度で、あるとすれば、最小の引張り力がマグネットコアに生じる。このように、スリーブによってもたらされるマグネットコア上の圧縮力によって、引張強度の低いコアの材料には、回転子に加わる回転力の結果としての亀裂、移動、歪み等が生じない。

【0012】

この発明の他の態様は、（a）拘束スリーブにより囲まれた中実な希土類マグネットコアからなる回転子と、（b）予め決められた定格の電子インバータを備えた制御回路とを有する、高速度ブラシレス直流モータであって、

20

前記制御回路は、前記モータの基底速度から最大速度に亘って一定の有効電力を維持する手段を備え、

逆起電力に対応して供給される電機子電流の位相の進み角を変化させることにより、前記速度範囲に亘り弱め磁束制御を有効に作用させ、力率を1近くに維持することを特徴とする、高速度ブラシレス直流モータである。

【0013】

即ち、前記のモータにおいては、前記電流および前記力率の大きさが、前記速度範囲に亘って、それぞれ等しい値となるように設計されていることを特徴とする。

モータのある与えられた速度およびトルクに対し、最適の前記電流の進み角は、モータの材料費やインバータの費用（あるいはインバータの定格に対し、それを超えるインバータ出力の許容度）、ならびに、モータの鉄損や銅損に起因する発熱量によって異なるものである。

30

【0014】

与えられた速度およびトルクにおける電流の進み角は、関連するモータの材質のコストおよびインバータのコスト（または与えられたインバータ規格に対する出力の増加能力）、ならびに、鉄損および銅損に関連して発生する熱の問題によってきまる。

基底速度における前記電流の進み角が、前記基底速度における力率角と等しく、または、概ね等しくなるように設定すると、弱め磁束制御を基底速度で取り入れないときよりも力率（およびインバータの利用率）は増大する。

40

【0015】

この発明の制御方法は、モータの設計をマグネット磁束の強度を考慮して、電機子に流れる界磁電流を最適化させ、低コスト部品を使用することによって、電子制御回路のコストを最小にする。このように、基底速度から最大速度に亘って、弱め磁束制御を取り入れたモータを設計することによって、銅損は増加するけれども、インバータの定格は低くでき、鉄損も減少できる。

【0016】

この発明のある一つの態様において、最大出力において、設計された基底速度、即ち、約32,000rpmで電機子電流の進み角は約15°~20°であり、設計された最高速度、即ち、約48,000rpmで電機子電流の進み角は約50°~55°である。ピー

50

ク出力で、電機子磁束のマグネット磁束に対する所定の比率（後述するマグネット磁束に直交する電機子磁束の部分の比率 S ）を得るようにモータは設計され、そして、鉄を含有していない回転子を使用することによって、インダクタンスを小さくし、所要の前記比率 S に対してモータのサイズを小さくする。

この発明をより容易に理解するために、この発明の特定の態様について図面を参照しながら説明する。

【0017】

（図面の詳細な説明）

図1は、この発明による、モータの概略部分断面図である。

図2は、基底速度および最大速度における各種磁束、電流、電圧のベクトル図である。

図3は、モータ制御器の説明図である。

【0018】

（発明の詳細な説明）

図1に示すように、図示されているモータ10は、冷媒用の（図示していない）遠心圧縮機を駆動するために特別に設計された、高速度、ブラシレス、スロット付の直流モータである。モータ/コンプレッサを組み合わせた全体のサイズを可能な限り小さくするため、できるだけコンパクトに設計される。

【0019】

しかしながら、モータ10は、使用できる交流電源11および制御回路14における電子インバータ12の定格に基づいて、十分な出力をコンプレッサに供給することが必要である。図示した態様においては、電子インバータ12のコストを最小にするために、その定格を200A（ピーク電流）に制限している。これにより、3相電源の公称電圧が415V（rms）の場合に、出力は70から85kWになる。

【0020】

回転子16は、ネオジウム-鉄-ボロン（NdFeB）のマグネットコア17からなっており、NdFeBは高磁気エネルギー密度、低引張強度の焼結磁性材料である。マグネットコア17は、非磁性、低電機伝導性金属合金であるインコネル（INCONEL（登録商標））718によって形成されたスリーブ18に収容されている。

スリーブは、回転子の高速回転時に発生する力に対抗して、マグネットコア17を拘束する。この発明の態様として、スリーブ18には予め応力がかけられており、回転子が停止しているときに、マグネットコア上に圧縮圧力が加かった状態を維持することが望ましい。

【0021】

このように予め応力をかけることは、マグネットコアの外径およびスリーブの内径を、締めりばめ効果が得られる寸法に製作し、その後、マグネットコアをスリーブ内に挿入できるように、スリーブを加熱して内径を拡張する。すなわち、前記の加熱されたスリーブを冷却すると、スリーブはその軸方向および半径方向の両方向に縮み、マグネットコアを半径方向に圧縮すると共に軸方向にも圧縮する。

理想的には、回転子の高速回転時に、マグネットコア17に張力が存在しないようにスリーブに予め応力をかけておくことが望ましい。現実には、幾分張力が存在してもかまわない。軸方向の圧縮は、高速回転時におけるマグネットの張力を低下させる働きがある。

スリーブ18は、マグネットコア17を拘束する他に、軸方向に沿ってマグネットコアから両方向に延伸して、回転子16のための中空シャフトとして機能する。

【0022】

中空シャフトは、回転子を支持する磁気ベアリングの近くまで延伸し、回転子に必要な曲げ強度を提供して、モータ運転時に、空気間隙を維持する。

磁気スタップシャフト22および23は、スリーブ18の外端部24および26内に取り付けられる。スタップシャフト22および23は、磁気ベアリング19によって要求されるシャフトの反作用成分を提供する。

【0023】

10

20

30

40

50

使用する電子インバータを低定格なものにするため、モータの設計において、相電流のピーク値に相線・中性線間電圧 (line to neutral voltage) のピーク値を乗じて得られる積 (product) を実現可能な範囲で出来るだけ小さくして、与えられた速度範囲にわたって一定出力運転をすることが好ましい。このように、速度範囲にわたって力率をほぼ一定にするだけでなく、電流および電圧も可能な限り変動しないようにすることが必要である。

【0024】

永久磁石モータのもっとも一般的な制御方法では、銅損を無視すれば、固定子電流からの磁束と、マグネットからの磁束とは、 90° の位相差があり、一定の出力範囲 (constant power range) において、最大電流は最低 (基底) 速度で生じ、最大電圧は最高速度で生じ、その際の上記積値は単一速度の場合の積値よりもはるかに大きい値となる。

10

【0025】

このことを改善するため、基底速度以下では (この場合インダクタンスが等価なので)、通常、電流とマグネット逆起電力 (誘起起電力) とは位相が一致しているが、限界電圧 (マグネットによる誘起起電力が上昇し、電機子電流を流せなくなる限界の電圧) に達したときに、弱め磁束制御を行うことにより、最高速度まで一定出力を維持する方法がとられている。

【0026】

弱め磁束制御において、マグネット磁束は、無トルク電流成分が付加された固定子 (電機子) 電流による磁束によって妨げられる。すなわち、この無トルク電流成分の固定子電流は最大トルクアラインメントの電機子電流より電流ベクトルの位相が 90° 進んでいるので、マグネット磁束を打ち消し、その結果マグネット誘起起電力を弱めるのである。

20

【0027】

この発明の第1の特徴は、モータの基底速度における電流の位相を電圧の位相よりも遅らせ、最大速度における電流の位相を電圧の位相よりも進ませることにより、電流および力率の大きさが、一定の出力範囲における両端の速度で、それぞれ等しい値となるように、設計されていることにある。

このことは、図2に示されている。

【0028】

この発明の第2の特徴は、弱め磁束制御を、基底速度を越えた速度に対してのみ、徐々に適用して行くのではなく、特に重要なことは、弱め磁束制御を基底速度においても適用していることにある。

30

弱め磁束制御の使い方は柔軟性に富んでおり、実際に、十分大きな電流が使用可能であれば、弱め磁束制御により、略力率1が達成できる。

【0029】

電流が増加すると熱量が増えるので、モータを冷却する必要があるが、この問題は、図2に示すように、基底速度における電流ベクトル (i_1 に比例) の進み角 α_1 が、基底速度の力率角 ϕ_1 と概ね等しくなるように制御することにより解決できる。

【0030】

図2に示すように、基底速度/最大速度によって求められる比率を s とすると、一定出力に対して、 s はマグネット磁束に直交する電機子磁束の部分の比率でもある。

40

基底速度において電流の進み角 α_1 と力率角 ϕ_1 とが等しいためには、 α_1 と ϕ_1 が共に等しく、

【数1】

$$\cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{3+s}{4}} \right)$$

でなければならない。

【0031】

図2において、

50

：負荷角

1：基底速度における電流の進み角（最大トルクを発生するようにアライメントされた電機子電流からの）

2：最大速度における電流の進み角（最大トルクを発生するようにアライメントされた電機子電流からの）

1：基底速度における力率角

2：最大速度における力率角

ライン v 1：基底速度における全磁束（電圧に比例）

ライン v 2：最大速度における全磁束（電圧に比例）

ライン i 1：基底速度における電機子磁束（電流に比例）

ライン i 2：最大速度における電機子磁束（電流に比例）

である。

【0032】

図示した態様において、要求される一定出力範囲は、基底速度の約32,000rpmから最大速度の約48,000rpm迄であり、基底速度を1とすれば、1から1.5の範囲である。

【0033】

この速度範囲では、電流の進み角 1および力率角 1は、17°のとき（最も近い値）、基底速度32,000で共に等しい。これは非常に優れた力率0.96に対応する。最大速度48,000における電流の進み角 2は50°である必要がある（力率角 2に等しくなるために）。

要求される負荷角、即ち、電圧ベクトル（V1, V2）のマグネット逆起電力（ベクトル）からの進み角は34°であり、基底速度および最大速度において同一である。

【0034】

もし、このモータにおいて、基底速度での弱め磁束制御を取り入れないとすると、電流の位相を進める（進み電流を流す）ということは、基底速度でトルクを提供できる最小の電流値の4%も電流が増大することを意味する。

このように電流を増加させれば、僅かに力率（および出力）を向上させることが出来るが、その反面、定格の大きな或は耐熱性の高い高価なモータが必要となる。

【0035】

本発明では、力率、電流および出力は、一定出力範囲の両端（基底速度と最大速度のそれぞれ）で等しいから、電圧vもまた等しくなければならない。しかしながら、中速度（基底速度と最大速度の間の速度）では、力率角がプラスからマイナスに変わるので、力率1を通過する（最大速度での力率角 2は、マイナス角であり、プラス角の 1からマイナス角の 2に移る間に力率角がゼロ、すなわち力率1を通過してマイナス角の 2となる）。

【0036】

一定出力に伴って一定電流が維持されるとき、これら中速度で、電圧vは少し低下しなければならない。代わりに、電圧vを一定にして、中速度で電流iを低下させる。または、vおよびiを一定にすることによって、少し高い出力が得られる。

【0037】

モータ制御器を図3に模式的に示す。制御器はマイクロコントローラ30、パワーステージ32、モータ10およびセンサ33からなっている。センサ33は、回転子の周りに120°の角度で配置された3個のセンサからなっており、計算機34に信号を送る。計算機は、コンパレータ36で指令速度'と比較することにより、回転子の速度およびその位置を検出する。

【0038】

コンパレータ36はスイッチを備えており、コントローラ/インバータ37に信号が送られ、その出力がパワーステージ32によって使用されて、適切な位相角でモータに出力を与え、力率を等しく維持する。モータの速度をモニターし、増加か減少かに従って、電圧

10

20

30

40

50

ベクトルを変化させて、実質的に一定の出力がモータ速度領域にわたって維持される。

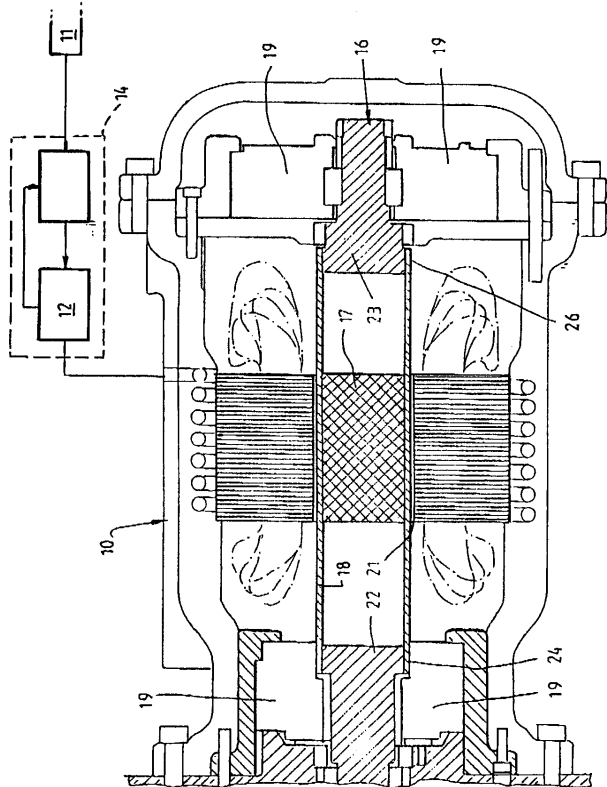
【0039】

この発明のモータは、特に、冷媒R134A等の最新の冷媒を用いた(コンプレッサ用のモータ)を念頭においているが、アンモニアを冷媒として用いるシステムにおけるコンプレッサ駆動用モータを製作することも可能である。この目的のために、モータの巻線およびそれともなう他のいかなる巻線も、銅を含有しない金属好ましくは、銀またはアルミニウムによって形成される。回転子のマグネットコアは密封され、アンモニア冷媒と接触しない構造に形成される。

【0040】

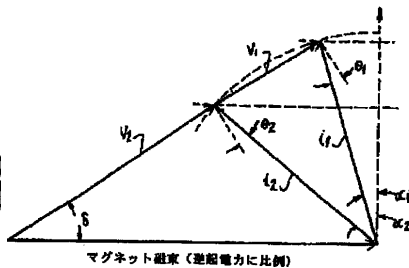
この発明のモータは、冷蔵システムにおいて使用されるとき、モータ内を循環する冷媒によって冷却される。

【図1】

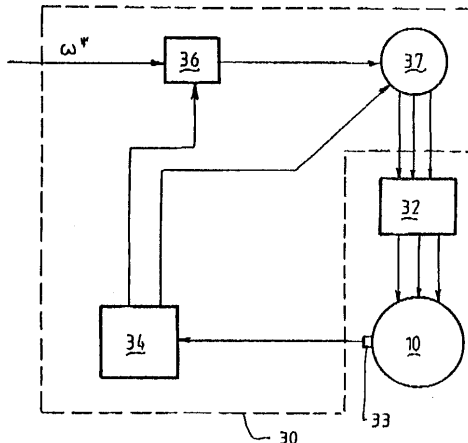


【図2】

最大トルクが出るようにアライメントされた電磁子磁束



【図3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 H 0 2 P 6/06 (2006.01) H 0 2 P 6/02 3 2 1 Z

(72)発明者 ハワード シー ロバット
 オーストラリア連邦 ニューサウスウェールズ州 2 0 4 1 バルメイン ジョンストン ストリ
 ート 1 5 ユニット 7

(72)発明者 ピーター アンドリュー ウォッターソン
 オーストラリア連邦 ニューサウスウェールズ州 2 1 1 4 デニストーン ドライバー ストリ
 ート 1 3

審査官 松本 泰典

(56)参考文献 特開平05-199686(JP,A)
 特開平06-260356(JP,A)
 特開平08-047228(JP,A)
 特開平04-004317(JP,A)
 特開平05-122895(JP,A)
 特開昭61-135443(JP,A)
 特開昭64-046016(JP,A)
 特開昭59-056838(JP,A)
 実開昭62-014974(JP,U)
 特開平02-299496(JP,A)
 特開昭58-006084(JP,A)
 特開平06-197507(JP,A)
 特開平08-047226(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 29/00

H02K 1/22

H02K 5/16

H02K 7/09

H02K 21/14

H02P 6/06