

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6986337号

(P6986337)

(45) 発行日 令和3年12月22日 (2021. 12. 22)

(24) 登録日 令和3年12月1日 (2021. 12. 1)

(51) Int. Cl. F I
H02K 21/14 (2006.01) H02K 21/14 M
H02K 1/27 (2006.01) H02K 1/27 501Z

請求項の数 1 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-140198 (P2016-140198)	(73) 特許権者	595181210
(22) 出願日	平成28年7月15日 (2016. 7. 15)		株式会社ダイドー電子
(65) 公開番号	特開2018-11473 (P2018-11473A)		岐阜県中津川市茄子川1642番地の144
(43) 公開日	平成30年1月18日 (2018. 1. 18)	(74) 代理人	100137589
審査請求日	平成31年1月31日 (2019. 1. 31)		弁理士 右田 俊介
審判番号	不服2020-5453 (P2020-5453/J1)	(74) 代理人	100160864
審判請求日	令和2年4月22日 (2020. 4. 22)		弁理士 高橋 政治
		(74) 代理人	100110227
			弁理士 島山 文夫
		(72) 発明者	藪見 崇生
			岐阜県中津川市茄子川1642-144
			株式会社ダイドー電子内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変磁束モータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

以下の構成を備えた可変磁束モータ。

(1) 前記可変磁束モータは、

2n個 ($n \geq 1$) の磁極を備えたインナーロータと、

前記インナーロータに対して回転磁界を作用させるためのコイルが内蔵されたアウターステータと、

前記アウターステータを前記インナーロータの軸方向に沿って相対移動させる相対移動手段と

を備えている。

(2) 前記インナーロータは、前記アウターステータの内周面に対向する表面に接合されたリング磁石を備え、

前記リング磁石は、前記インナーロータの円周方向に沿って交互にN極又はS極に着磁され、前記N極と前記S極の間の境界線の前記リング磁石における周方向の位置は、前記リング磁石の一端から他端に向かって連続的な単調変化となっており、

前記リング磁石の軸方向の長さは、前記アウターステータの軸方向の長さの2倍以上である。

(3) 前記相対移動により、スキュー角 θ は、 $0^\circ \leq \theta \leq 1^\circ$ である p 個 ($p \geq 1$) の領域 A p と、 $1^\circ < \theta \leq 180^\circ / n$ である q 個 ($q \geq 1$) の領域 B q との間で変化する。

10

20

但し、「前記スキュー角 θ 」とは、

(a) 前記アウターステータを前記インナーロータの軸方向の任意の位置（ただし、前記アウターステータの一端及び他端は、前記インナーロータの一端及び他端を超えない）に固定し、

(b) 前記アウターステータの一端を通り、かつ前記インナーロータの軸方向に対して垂直な平面と前記リング磁石の表面に形成された前記磁極間の1つの境界線との交点（A点）、並びに、前記アウターステータの他端を通り、かつ前記インナーロータの軸方向に対して垂直な平面と前記境界線との交点（B点）を求め、

(c) 前記A点及び前記B点を前記インナーロータの軸方向に対して垂直な断面に、前記インナーロータの上方から投影した場合において、

前記インナーロータの中心（C点）と投影された前記A点とを結ぶ線（AC線）と、前記C点と投影された前記B点とを結ぶ線（BC線）とのなす角をいう。

(4) 前記アウターステータの一端が軸方向において前記インナーロータの一端と同じ位置にある状態から、前記アウターステータの他端が軸方向において前記インナーロータの他端と同じ位置にある状態まで、前記相対移動させた際の前記スキュー角 θ の変化が、下記のいずれかである。

(a) 前記アウターステータの一端が、軸方向において前記インナーロータの一端と同じ位置にあるときのスキュー角 θ が領域A pであり、この位置からの前記相対移動により、スキュー角 θ が単調増加し、前記アウターステータの他端が、軸方向において前記インナーロータの他端と同じ位置にあるときのスキュー角 θ が領域B qとなる。

(b) 前記アウターステータの一端が、軸方向において前記インナーロータの一端と同じ位置にあるときのスキュー角 θ が領域A pであり、この位置からの前記相対移動により、スキュー角 θ が単調増加して領域B qとなり、その後、領域A pとなり、その後、領域B qとなった後、単調減少し、前記アウターステータの他端が、軸方向において前記インナーロータの他端と同じ位置にあるときのスキュー角 θ が領域A pとなる。

(c) 前記アウターステータの一端が、軸方向において前記インナーロータの一端と同じ位置にあるときのスキュー角 θ が領域B qであり、この位置からの前記相対移動により、スキュー角 θ が単調減少し領域A pとなった後、単調増加し、前記アウターステータの他端が、軸方向において前記インナーロータの他端と同じ位置にあるときのスキュー角 θ が領域B qとなる。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、可変磁束モータに関し、さらに詳しくは、ステータ／ロータ間に流れる磁束の大きさを可変制御することによって、モータの回転に伴って発生する誘起電圧（逆起電力）の大きさを可変制御することが可能な可変磁束モータに関する。

【背景技術】

【0002】

モータには、

(a) ロータに電気伝導体を用いるインダクションモータ（IM）、

(b) ロータの表面に永久磁石を貼り付けた表面磁石型（Surface Permanent Magnet; SPM）モータ、

(c) ロータの内部に永久磁石が埋め込まれた磁石埋込型（Interior Permanent Magnet; IPM）モータ

などの様々な構造を持つものが知られている。

【0003】

このようなモータを、例えば電気自動車の駆動源として用いるためには、車両発進時（低速回転時）から高速走行時（高速回転時）までの広い速度範囲（回転数範囲）で所定のトルクが得られることが要求される。しかしながら、いずれの構造を備えたモータであっても、ロータの回転数の増加と共に誘起電圧（逆起電力）が増大する。そのため、ある回

10

20

30

40

50

転数においてモータの電源電圧と誘起電圧が等しくなり、それ以上回転数を上げることができなくなる。この問題を解決するために、従来から、界磁コイルを通過する磁石磁束を低減させる大きさの電流を界磁コイルへ流し、界磁コイルを通過する磁束を低減することによって、逆起電力を小さくする方法（弱め界磁制御）が用いられている。

【0004】

例えば、特許文献1には、
内部に磁石が埋め込まれたロータと、
回転時にロータシャフトに $+z$ 軸方向の軸方向力が発生するように、スロットにスキューを設けたステータと、
ロータシャフトを $-z$ 軸方向に付勢するバネ機構と、
モータの回転数に応じて軸方向のロータシャフト保持位置を変えるガバナ機構とを備えたラジアルモータが開示されている。

10

【0005】

同文献には、
(a) 低速回転時には、ロータシャフトの軸方向力（ $+z$ 方向）がバネ機構のセット荷重（ $-z$ 方向）より大きくなるため、ロータシャフトが $+z$ 方向に変位し、ロータシャフトの圧力板がバネホルダに接触したところで変位が停止する点、
(b) 高速回転時には、ロータシャフトの軸方向力がバネ機構のセット荷重より小さくなり、かつ遠心力の増大によってガバナ機構が開くために、ロータシャフトが $-z$ 方向に変位する点、及び、
(c) 高速回転時にロータシャフトが $-z$ 方向に変位することによって、ギャップ磁束が減少し、弱め界磁を実現できる点が記載されている。

20

【0006】

また、特許文献2には、弱め界磁制御を目的とするものではないが、
(a) 円筒形を有する磁石面の外周面の円周方向に沿って、交互にN極とS極に着磁し、
(b) 磁石本体の下側の端面寄りの部分に急峻な傾斜（スキュー）を付し、
(c) 磁石本体の上側の端面寄りの部分及び中央の部分では穏やかな傾斜を設けたリング型永久磁石が開示されている。
同文献には、ステータ及びロータの双方に傾斜の異なる領域を設けることによって、コギングトルクを低減することができる点が記載されている。

30

【0007】

さらに、特許文献3には、弱め界磁制御を目的とするものではないが、
(a) 高保磁力部のスキュー角度を最適スキュー角度理論値もしくはそれ以上とし、
(b) 低保磁力部のスキュー角度を最適スキュー角度理論値よりも小さいスキュー角度でスキュー着磁をする円筒又はリング磁石の着磁方法が開示されている。
同文献には、
(A) 円筒又はリング磁石は、軸方向の磁石特性が一樣ではないため、一樣にスキュー着磁してしまうと、コギングトルクを十分に低減できない点、及び、
(B) 一樣でない磁石特性に合わせて、スキュー角度を理論値に対して増減させると、コギングトルクを十分に低減できる点が記載されている。

40

【0008】

上述したように、弱め界磁制御を用いると、広い回転数範囲でモータを使用することが可能となる。しかしながら、従来のモータは、いずれも最高効率が得られる回転数とトルクの組み合わせが1点のみであり、最適な組み合わせ以外の領域では効率が低下する。そのため、従来のモータでは、広い回転数域での使用と高効率とを両立させるのは難しい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

50

【特許文献1】特開2010-268571号公報

【特許文献2】特開2003-169452号公報

【特許文献3】特開2005-033879号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明が解決しようとする課題は、広い回転数域で使用することができ、しかも、広い回転数域に渡って高効率を示す可変磁束モータを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

10

上記課題を解決するために、本発明に係る可変磁束モータは、以下の構成を備えていることを要旨とする。

(1) 前記可変磁束モータは、

2n個 ($n \geq 1$) の磁極を備えたインナーロータと、

前記インナーロータに対して回転磁界を作用させるためのコイルが内蔵されたアウターステータと、

前記アウターステータを前記インナーロータの軸方向に沿って相対移動させる相対移動手段と

を備えている。

(2) 前記インナーロータは、前記アウターステータの内周面に対向する表面に接合されたリング磁石を備え、

20

前記リング磁石は、前記インナーロータの円周方向に沿って交互にN極又はS極に着磁されており、

前記リング磁石の軸方向の長さは、前記アウターステータの軸方向の長さの2倍以上である。

(3) 前記リング磁石は、

$0^\circ \leq \theta \leq 1^\circ$ (但し、 θ はスキュー角) であるp個 ($p \geq 1$) の高磁束領域 (A_p) と、

$1^\circ < \theta \leq 180^\circ / n$ であるq個 ($q \geq 1$) の中・低磁束領域 (B_q) と

30

を備えている。

但し、「前記スキュー角 θ 」とは、

(a) 前記アウターステータを前記インナーロータの軸方向の任意の位置に固定し、

(b) 前記アウターステータの上端を通り、かつ前記インナーロータの軸方向に対して垂直な平面と前記リング磁石の表面に形成された前記磁極間の1つの境界線との交点 (A点)、並びに、前記アウターステータの下端を通り、かつ前記インナーロータの軸方向に対して垂直な平面と前記境界線との交点 (B点) を求め、

(c) 前記A点及び前記B点を前記インナーロータの軸方向に対して垂直な断面に投影した場合において、

前記インナーロータの中心 (C点) と投影された前記A点とを結ぶ線 (AC線) と、前記C点と投影された前記B点とを結ぶ線 (BC線) とのなす角をいう。

40

【発明の効果】

【0012】

インナーロータ表面のリング磁石の軸方向長さをアウターステータの軸方向長さより長くし、かつ、リング磁石にスキュー角 θ の異なる複数の領域 (高磁束領域、中・低磁束領域) を形成すると、アウターステータの位置を制御することによってモータの機器定数 (すなわち、ギャップ磁束の大きさ) を可変制御することができる。

例えば、インナーロータの表面に、

(a) 低速域で最高効率を得られる領域 (第1高磁束領域 (A_1))、

(b) 中速域で最高効率を得られる領域 (第1中・低磁束領域 (B_1))、及び

(c) 高速域で最高効率を得られる領域 (第2中・低磁束領域 (B_2))

50

を設けた場合において、モータの回転数に応じてアウターステータの位置を制御すると、広い回転数域で使用することができ、かつ、広い回転数域に渡って高効率を得られる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】スキュー角 θ の定義を説明するための模式図である。

【図2】着磁方法の異なる種々のリング磁石の模式図である。

【図3】本発明の一実施の形態に係る可変磁束モータの断面模式図である。

【図4】可変磁束モータの制御方法を説明するためのブロック図である。

【0014】

【図5】従来のIPMモータの回転数(RPM)とトルク(Nm)との関係を示す図である(出展: Evaluation of the 2010 Toyota Prius hybrid synergy drive system. Technical report, Oak Ridge National Laboratory (2011))。

10

【図6】IPMモータの回転数と電圧の関係を示す模式図である。

【図7】SPMモータ、IPMモータ、及び可変磁束モータのモータ回転数とモータトルクとの関係を示す図である。

【図8】IMモータ、SPMモータ、IPMモータ、及び可変磁束モータの回転数と効率との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下に、本発明の一実施の形態について詳細に説明する。

20

[1. 可変磁束モータ]

本発明に係る可変磁束モータは、以下の構成を備えている。

(1) 前記可変磁束モータは、

2n個($n \geq 1$)の磁極を備えたインナーロータと、

前記インナーロータに対して回転磁界を作用させるためのコイルが内蔵されたアウターステータと、

前記アウターステータを前記インナーロータの軸方向に沿って相対移動させる相対移動手段と

を備えている。

(2) 前記インナーロータは、前記アウターステータの内周面に対向する表面に接合されたリング磁石を備え、

30

前記リング磁石は、前記インナーロータの円周方向に沿って交互にN極又はS極に着磁されており、

前記リング磁石の軸方向の長さは、前記アウターステータの軸方向の長さの2倍以上である。

(3) 前記リング磁石は、

$0^\circ \leq \theta \leq 1^\circ$ (但し、 θ はスキュー角)であるp個($p \geq 1$)の高磁束領域(A_p)と、

$1^\circ < \theta \leq 180^\circ / n$ であるq個($q \geq 1$)の中・低磁束領域(B_q)と

40

【0016】

[1. 1. インナーロータ]

[1. 1. 1. 磁極数]

インナーロータは、2n個($n \geq 1$)の磁極を備えている。磁極の数は、特に限定されるものではなく、目的に応じて最適な個数を選択することができる。一般に、磁極の数が多くなるほど、コイルに鎖交する磁束の切替回数が増える。各極における磁石量の減り分を考慮しても、同じ回転数では、磁極の数が多くなるほど、トルク、及び発電量が向上する。このような効果を得るためには、磁極の数は、4極以上が好ましい。磁極の数は、さらに好ましくは、8極以上である。

一方、磁極の数が多くなりすぎると、ステータ形状と巻線が複雑になり、モータ体格が

50

肥大化するという問題があり、特に小型モータで顕著になる。従って、磁極の数は、16極以下が好ましい。磁極の数は、さらに好ましくは、12極以下である。

【0017】

[1. 1. 2. リング磁石]

インナーロータは、アウターステータの内周面に対向する表面に接合されたリング磁石を備えている。また、リング磁石は、インナーロータの円周方向に沿って交互にN極又はS極に着磁されている。

【0018】

[A. リング磁石の長さ]

本発明において、リング磁石の軸方向の長さ (H_R) は、アウターステータの軸方向の長さ (H_S) の2倍以上である。この点が、従来とは異なる。一般に、 H_R が長くなるほど、スキュー角 θ の可変制御が容易となる。 H_R は、好ましくは、 H_S の3倍以上である。

一方、 H_R を必要以上に大きくしても、実益がない。従って、 H_R は、 H_S の20倍以下が好ましい。 H_R は、さらに好ましくは、 H_S の10倍以下である。

【0019】

[B. 高磁束領域、及び中・低磁束領域]

本発明において、リング磁石は、

(a) $0^\circ \leq \theta \leq 1^\circ$ (但し、 θ はスキュー角) である p 個 ($p \geq 1$) の高磁束領域 (A_p) と、

(b) $1^\circ < \theta \leq 180^\circ / n$ である q 個 ($q \geq 1$) の中・低磁束領域 (B_q) とを備えている。

【0020】

ここで、本発明において、「スキュー角 θ 」とは、以下の方法により算出される角度をいう。図1に、スキュー角 θ の定義を説明するための模式図を示す。

(a) アウターステータ40をインナーロータ20の軸方向の任意の位置に固定する。

(b) アウターステータ40の上端を通り、かつインナーロータ20の軸方向に対して垂直な平面とリング磁石26の表面に形成された磁極間の1つの境界線26aとの交点(A点)、並びに、アウターステータ40の下端を通り、かつインナーロータ20の軸方向に対して垂直な平面と境界線26aとの交点(B点)を求める。

(c) A点及びB点をインナーロータ20の軸方向に対して垂直な断面に投影する。

(d) インナーロータ20の中心(C点)と投影されたA点とを結ぶ線(AC線)と、C点と投影されたB点とを結ぶ線(BC線)とのなす角を、スキュー角 θ と定義する。

【0021】

高磁束領域 (A_p) は、ギャップ磁束が最大となる領域であり、主として高トルクが要求される低速回転域で用いられる。インナーロータは、1個の高磁束領域 (A_q) を備えているものでも良く、あるいは、2個以上備えているものでも良い。

最大のギャップ磁束を得るためには、スキュー角 θ は、 0° が好ましい。スキュー角 θ が 0° より大きい場合であっても、相対的に大きなギャップ磁束が得られる。しかしながら、スキュー角 θ が過度に大きくなると、低速回転域において高トルクが得られない。従って、高磁束領域 (A_p) のスキュー角 θ は、 1° 以下が好ましい。スキュー角 θ は、さらに好ましくは、 0.5° 以下である。

【0022】

中・低磁束領域 (B_q) は、ギャップ磁束が中～低となる領域であり、主として中～高速回転域で用いられる。インナーロータは、1個の中・低磁束領域 (B_q) を備えているものでも良く、あるいは、2個以上備えているものでも良い。

誘起電圧(逆起電力)を小さくするためには、中・低磁束領域 (B_q) のスキュー角 θ は大きいほど良い。具体的には、中・低磁束領域 (B_q) のスキュー角 θ は、 1° 超が好ましい。スキュー角 θ は、さらに好ましくは、 $45^\circ / n$ (= 方形波着磁の最大誘起電圧が25%となる角度) 以上である。

一方、スキュー角 θ が1個の磁極当たりの角度 ($= 360^\circ / 2n$) を超えると、ギャ

ップ磁束がかえって増大する。従って、中・低磁束領域 (B_q) のスキュー角 θ は、 $180^\circ/n$ 以下が好ましい。

【0023】

インナーロータの軸方向における高磁束領域 (A_p) 及び中・低磁束領域 (B_q) の配列順序は、特に限定されない。磁束の可変制御を円滑に行うためには、リング磁石は、インナーロータの一端から他端に向かって、

(a) 前記 θ が単調増加している単調増加領域、及び／又は、

(b) 前記 θ が単調減少している単調減少領域

を備えているのが好ましい。

【0024】

高磁束領域 (A_p) 及び中・低磁束領域 (B_q) の個数、並びに、中・低磁束領域 (B_q) のスキュー角 θ は、磁極の数及びモータの用途に応じて、最適な値を選択するのが好ましい。広い回転数域に渡って高効率を得るためには、リング磁石は、

$0^\circ \leq \theta \leq 1^\circ$ である第1高磁束領域 (A_1) と、

$1^\circ < \theta < 120^\circ/n$ である第1中・低磁束領域 (B_1) と、

$120^\circ/n \leq \theta \leq 180^\circ/n$ である第2中・低磁束領域 (B_2) と、

を備えているのが好ましい。

第1中・低磁束領域 (B_1) のスキュー角 θ は、さらに好ましくは、 $60^\circ/n \leq \theta < 120^\circ/n$ である。

【0025】

ここで、「 $60^\circ/n (= 360^\circ / (3 \times 2n))$ 」は、同一回転数で比較したときに、 A_1 領域で発生する誘起電圧の約 $2/3$ の誘起電圧となるスキュー角を表す。

また、「 $120^\circ/n (= 2 \times 360^\circ / (3 \times 2n))$ 」は、同一回転数で比較したときに、 A_1 領域で発生する誘起電圧の約 $1/3$ の誘起電圧となるスキュー角を表す。

【0026】

例えば、磁極の数が8個 ($n=4$) である場合、前記リング磁石は、

$0^\circ \leq \theta \leq 1^\circ$ である第1高磁束領域 (A_1) と、

$15^\circ \leq \theta < 30^\circ$ である第1中・低磁束領域 (B_1) と、

$30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ である第2中・低磁束領域 (B_2) と、

を備えているものが好ましい。

【0027】

図2に、着磁方法の異なる種々のリング磁石の模式図を示す。

図2(a)は、スキュー角 θ がリング磁石26の上端から下端に向かって単調増加している例であり、磁極間の境界線26aは、曲線状に変化している。リング磁石26の上端の領域は、スキュー角 θ が最小となる高磁束領域 (A_p) である。リング磁石26の下端の領域は、スキュー角 θ が最大となる中・低磁束領域 (B_q) である。さらに、リング磁石26の中央の領域は、スキュー角 θ が A_p と B_q の中間の値となる中・低磁束領域 (B_q) である。

【0028】

図2(b)は、スキュー角 θ がリング磁石26の上端から中央に向かって単調増加し、かつ、中央から下端に向かって単調減少している例であり、磁極間の境界線26aは、曲線状に変化している。リング磁石26の上端及び下端の領域は、それぞれ、スキュー角 θ が最小となる高磁束領域 (A_p) である。リング磁石26の中央から上の領域及び中央から下の領域は、スキュー角 θ が A_p より大きい中・低磁束領域 (B_q) である。さらに、リング磁石26のほぼ中央の領域は、スキュー角 θ が最小となる高磁束領域 (A_p) である。

【0029】

図2(c)は、スキュー角 θ がリング磁石26の上端から中央に向かって単調減少し、かつ、中央から下端に向かって単調増加している例であり、磁極間の境界線26aは、曲線状に変化している。リング磁石26の中央の領域は、スキュー角 θ が最小となる高磁束

10

20

30

40

50

領域 (A_p) である。リング磁石 26 の上端及び下端の領域は、スキュー角 θ が A_p より大きい中・低磁束領域 (B_q) である。

【0030】

図 2 (d) は、スキュー角 θ がリング磁石 26 の上端から下端に向かって単調増加している例であり、磁極間の境界線 26a は、階段状に変化している。リング磁石 26 の上端から中央までの領域は、スキュー角 θ が最小となる高磁束領域 (A_p) である。リング磁石 26 の中央から下端までの領域は、スキュー角 θ が A_p より大きい中・低磁束領域 (B_q) である。

【0031】

[1. 2. アウターステータ]

10

アウターステータは、中央にインナーロータを挿入するための貫通穴を備えており、貫通穴の内表面には、界磁コイルの鉄芯となるティースが放射状に配置されている。また、アウターステータは、インナーロータに対して回転磁界を作用させるためのコイルが内蔵されている。本発明において、アウターステータの構造（例えば、ティースの構造、コイルの巻き線方式など）は、特に限定されるものではなく、目的に応じて最適な構造を選択することができる。

【0032】

[1. 3. 相対移動手段]

本発明に係る可変磁束モータは、アウターステータをインナーロータの軸方向に沿って相対移動させる相対移動手段を備えている。相対移動手段の構造は、アウターステータを相対移動させることが可能な限りにおいて、特に限定されない。相対移動手段は、インナーロータの軸方向の移動を制限し、アウターロータをインナーロータの軸方向に沿って移動可能なものでも良い。あるいは、相対移動手段は、アウターロータの軸方向の移動を制限し、インナーロータを軸方向に移動させるものでも良い。インナーロータと負荷との接続を容易にするには、相対移動手段は、アウターステータをインナーロータの軸方向に沿って移動させるものが好ましい。

20

【0033】

[2. 可変磁束モータの具体例]

[2. 1. 構成]

図 3 に、本発明の一実施の形態に係る可変磁束モータの断面模式図を示す。図 3 において、可変磁束モータ 10 は、インナーロータ 20 と、アウターステータ 40 と、相対移動手段 50 とを備えている。インナーロータ 20 及びアウターステータ 40 は、可変磁束モータ 10 の主電動機を構成する。

30

【0034】

インナーロータ 20 は、シャフト（主電動機の出力回転軸）22 と、シャフト 22 の外周に接合されたロータヨーク 24 と、ロータヨーク 24 の表面に接合されたリング磁石 26 とを備えている。リング磁石 26 は、インナーロータ 20 の円周方向に沿って交互に N 極又は S 極に着磁されており、合計 $2n$ 個 ($n \geq 1$) の磁極を備えている。また、リング磁石 26 の軸方向長さは、アウターステータ 40 の軸方向長さの 2 倍以上になっている。さらに、リング磁石 26 は、スキュー角 θ の異なる少なくとも 1 つの高磁束領域 (A_p) と、少なくとも 1 つの中・低磁束領域 (B_q) を備えている。

40

【0035】

ロータヨーク 24 の左側には、軸受 28 を備えたブラケット 30 が配置され、軸受 28 にはシャフト 22 の左端が挿入されている。また、ロータヨーク 24 の右側には、軸受 32 を備えたブラケット 34 が配置され、軸受 32 にはシャフト 22 の右側部分が挿入されている。さらに、シャフト 22 の右端は、負荷（図示せず）に接続されている。

左右のブラケット 30、34 は、リニア移動ガイド 36、38 で連結されている。リニア移動ガイド 36、38 は、アウターステータ 40 を軸方向に移動させる相対移動手段 50 の一部を構成する。

【0036】

50

アウトーステータ４０は、電磁鋼板を積層したものからなる。アウトーステータ４０の内周面には、ティース（図示せず）が放射状に配置されており、ティースの周囲にはコイル（図示せず）が巻き付けられている。アウトーステータ４０には、リニア移動ガイド３６、３８を挿入するための貫通穴が設けられている。アウトーステータ４０は、リニア移動ガイド３６、３８に沿って左右方向に移動可能になっている。さらに、アウトーステータ４０の外周面には、雄ねじが形成されている。

【００３７】

相対移動手段５０は、補助電動機５２と、回転ブラケット５４とを備えている。補助電動機５２は、回転ブラケット５４を正回転及び逆回転させるためのものである。回転ブラケット５４は、円筒状になっており、底面が補助電動機５２の回転軸に接続されている。また、回転ブラケット５４の先端の内周面には、アウトーステータ４０の雄ねじ部と螺合する雌ねじ部が形成されている。

【００３８】

このような可変磁束モータ１０において、補助電動機５２を正回転又は逆回転させると、回転ブラケット５４が回転し、雌ねじ部を介して回転力がアウトーステータ４０の外周面に伝達される。アウトーステータ４０は、回転ブラケット５４の回転に伴って回転しようとするが、リニア移動ガイド３６、３８により回転が制限されている。そのため、アウトーステータ４０は、回転することなく、リニア移動ガイド３６、３８に沿って軸方向の任意の位置まで水平移動する。

【００３９】

[２． ２． 制御]

図４に、可変磁束モータの制御方法を説明するためのブロック図を示す。まず、図示しない各種センサーを用いて、主電動機の現在の情報（例えば、主電動機の回転情報、主電動機の出力トルク情報、主電動機の固定子（アウトーステータ４０）の位置情報など）を取得し、コントローラに入力する。また、別のセンサー（図示せず）を用いて、主電動機の出力先操作情報（例えば、電気自動車の場合は、アクセルやブレーキの操作情報）を取得し、コントローラに入力する。

【００４０】

コントローラは、取得した主電動機の現在の情報及び主電動機の出力先操作情報に基づいて、コイルに流す電流量、回転磁束の回転速度、最適な機器定数（スキュー角 θ ）等の制御パラメータを算出する。次いで、算出された制御パラメータを用いて主電動機インバータ及び補助電動機インバータを作動させる。補助電動機インバータに電力が供給されると、補助電動機５２が正回転又は逆回転し、アウトーステータ４０がインナーロータ２０の軸方向に沿って移動する。アウトーステータ４０が最適位置まで移動したところで、補助電動機５２を停止させる。これと同時に、主電動機インバータに必要な電力が供給されると、主電動機のインナーロータ２０が所定の回転速度で回転する。

【００４１】

[３． 作用]

図５に、従来のＩＰＭモータの回転数（ＲＰＭ）とトルク（Ｎｍ）との関係を示す（出展： Evaluation of the 2010 Toyota Prius hybrid synergy drive system. Thecnical report, Oak Ridge National Laboratory (2011)）。ＩＰＭモータは、広い回転数域で使用することができ、かつ、トルクも大きいことで知られている。しかしながら、従来のモータは、いずれも最高効率域が１箇所のみである。そのため、回転数及び／又はトルクが最高効率域を外れると、効率が低下するという問題がある。図５に示す例では、回転数が約５，０００ｒｐｍ、トルクが約６０Ｎｍである領域が最高効率域であり、ほぼ１００％に近い効率が得られる。しかしながら、この領域を外れると、効率は低下する。

【００４２】

図６に、ＩＰＭモータの回転数と電圧の関係を示す。広い回転数域で使用可能なＩＰＭモータは、磁石による界磁磁束により、ロータの回転数の増加と共に誘起電圧（逆起電力）が増大する。そのため、ある回転数においてモータの電源電圧と誘起電圧が等しくなり

、それ以上回転数を上げることができなくなる。この問題を解決するために、誘起電圧が電源電圧に近づいたところで弱め界磁制御を開始し、最大回転数を向上させることが行われている。I P Mモータの場合、弱め界磁制御は、一般に、界磁コイルを通過する磁石磁束を低減するように、界磁コイルを励磁し、発生する誘起電圧を低減することにより行われている。しかしながら、弱め界磁制御により誘起電圧を低減すること自体はトルクに寄与しないため、弱め界磁電流は損失となり、高い効率を得ることができない。さらに、I P Mモータは、最高効率域が1箇所のみであり、その領域から離れた回転数では、大きく低下する。

【0043】

図7に、S P Mモータ、I P Mモータ、及び本発明に係る可変磁束モータのモータ回転数とモータトルクとの関係を示す。S P Mモータは、磁石トルクのみを利用する。また、S P Mモータであっても最高効率域は、1箇所のみである。さらに、S P Mモータは、低速回転域ではI P Mモータと同等のトルクが得られる。しかしながら、S P Mモータは磁石トルクのみを利用するため、弱め界磁制御を行ったとしても、回転数は上がるが、トルクは減少する。

【0044】

一方、I P Mモータは、マグネットトルクとリラクタンストルクの双方を利用している。そのため、弱め界磁制御を行うと、S P Mモータと同様にマグネットトルクは減少するが、リラクタンストルクは逆に増大する。すなわち、I P Mモータは、弱め界磁制御時に減少したマグネットトルクの一部をリラクタンストルクの増大で補填することができる。その結果、I P Mモータは、S P Mモータに比べて高い回転域において使用でき、しかも、S P Mモータよりも大きなトルクが得られる。しかし、従来のI P Mモータもまた、最高効率域は1箇所のみであるため、全回転数域において高い効率は得られない。

【0045】

これに対し、本発明に係る可変磁束モータは、インナーロータ20の表面にあるリング磁石26にスキュー角 θ の異なる複数の領域が形成されており、かつ、アウターステータ40がインナーロータ20の軸方向に移動可能になっている。そのため、モータの回転数に応じてモータの機器定数を可変することができる。これは、1個のモータが複数の最高効率域を持つことに相当する。

【0046】

例えば、図7に示す可変磁束モータは、低速域と、中・高速域の2水準の機器定数を持つ例である。低速域においては、高トルクに特化した機器定数が選択されている。そのため、30 km/h以下の低速域におけるトルクは、従来のS P MモータやI P Mモータよりも高くなっている。

一方、中・高速域においては、高回転数に特化した機器定数が選択されている。そのため、30～70 km/h程度の中速域において、トルクはS P Mモータよりも低くなっている。しかしながら、70 km/h以上の高速域においては、従来のI P Mモータよりも高いトルクが得られている。

【0047】

図8に、I Mモータ、S P Mモータ、I P Mモータ、及び本発明に係る可変磁束モータの回転数と効率との関係を示す。リラクタンストルクのみを用いるI Mモータの効率は、全回転数域において他のモータよりも劣っている。また、S P Mモータは、マグネットトルクのみを使用しているため、その効率は、全回転数域においてI P Mモータより劣っている。

これに対し、本発明に係る可変磁束モータは、複数の機器定数を持ち、回転数域に応じて最適な機器定数を選択することができる。そのため、機器定数の設定及び選択を最適化すると、その効率は、全回転数域においてI P Mモータのそれを超える。

【0048】

以上のように、本発明に係る可変磁束モータは、インナーロータ表面のリング磁石の軸方向長さがアウターステータの軸方向長さより長く、かつ、リング磁石にスキュー角 θ の

10

20

30

40

50

異なる複数の領域（高磁束領域、中・低磁束領域）が形成されているので、アウターステータの位置を制御することによってモータの機器定数（すなわち、ギャップ磁束の大きさ）を可変制御することができる。

例えば、インナーロータの表面に、

- （a）低速域で最高効率が得られる領域（第1高磁束領域（ A_1 ））、
- （b）中速域で最高効率が得られる領域（第1中・低磁束領域（ B_1 ））、及び
- （c）高速域で最高効率が得られる領域（第2中・低磁束領域（ B_2 ））

を設けた場合において、モータの回転数に応じてアウターステータの位置を制御すると、広い回転数域で使用することができ、かつ、広い回転数域に渡って高効率が得られる。

【実施例】

10

【0049】

（実施例1、比較例1）

[1. 試験方法]

リング磁石26を着磁する際に部位によってスキュー角 θ を変化させ、リング磁石26の表面に以下の3つの磁束領域を形成した。これを図3に示す可変磁束モータ10に組み込んだ。

- （a）スキュー角 θ が 0° である第1高磁束領域（ A_1 ）。
- （b）スキュー角 θ が 15° である第1中・低磁束領域（ B_1 ）。
- （c）スキュー角 θ が 30° である第2中・低磁束領域（ B_2 ）。

【0050】

20

この可変磁束モータ10の最大トルク及び平均効率を評価した。評価手順は、以下の通りである。なお、評価の際には、弱め界磁制御を行わなかった。

（1）対応回転数域を4等分割し、低速側から数えて2、3、4番目に相当する回転数を選択する。例えば、対応回転数域が $0 \sim 5000 \text{ rpm}$ である場合、回転数として、 1250 rpm 、 2500 rpm 、及び 3750 rpm を選択する。以下、このようにして選択された回転数を「平均対象回転数」という。

（2）平均対象回転数におけるトルクの範囲（0トルクから最大トルクまで）を4等分割し、低トルク側から数えて2、3、4番目に相当するトルクを選択する。例えば、最大トルクが 400 Nm である場合（すなわち、平均対象回転数におけるトルクの範囲が $0 \sim 400 \text{ Nm}$ である場合）、トルクとして、 100 Nm 、 200 Nm 、及び 300 Nm を選択する。以下、このようにして選択したトルクを「平均対象トルク」という。

30

（3）平均対象回転数と平均対象トルクのマトリックス各9点の動作点における効率をそれぞれ求め、その平均値を「平均効率」とする。

【0051】

さらに、市販のIPMモータ（最大回転数： $10,000 \text{ rpm}$ 、最大トルク： 100 Nm ）を用いて、実施例1と同様の試験を行った（比較例1）。

【0052】

[2. 結果]

表1に、結果を示す。表1より、以下のことがわかる。

（1）実施例1では、回転数に応じてアウターステータ40の位置を移動させ、スキュー角 θ を変化させた。そのため、実施例1は、いずれの回転数域においても、比較例1に比べて、最大トルク及び平均効率が高くなった。

40

（2）比較例1の回転数は、 $10,000 \text{ rpm}$ が上限であった。一方、実施例1の回転数は、 $10,000 \text{ rpm}$ を超えた。

【0053】

【表 1】

実施例1				比較例1 最大回転数: 10,000rpm 最大トルク: 100Nm	
対応回転数 [rpm]	ステータと対向する スキュー角 [deg]	最大トルク [Nm]	平均効率 [%]	最大トルク [Nm]	平均効率 [%]
0-5,000	0	150	75	100	60
5,000-10,000	15	75	85	50	75
10,000-15,000	30	30	85	—	—

10

【0054】

以上、本発明の実施の形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の改変が可能である。

【産業上の利用可能性】

20

【0055】

本発明に係る可変磁束モータは、電気自動車やハイブリッドカーの駆動用モータとして使用することができる。

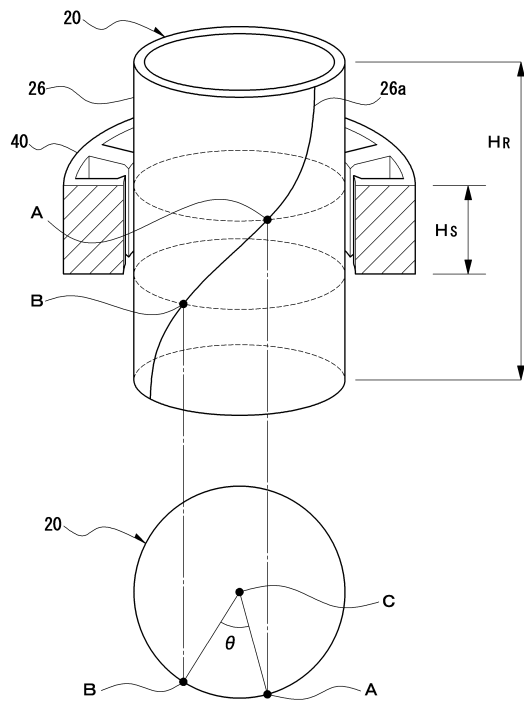
【符号の説明】

【0056】

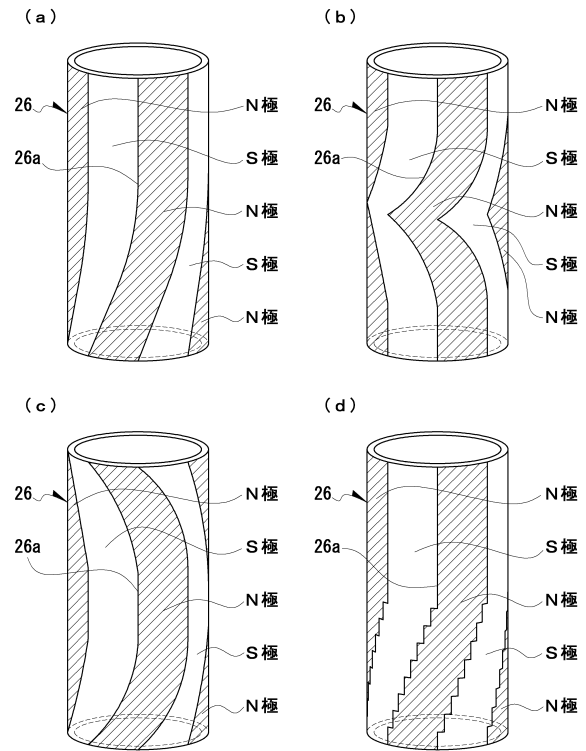
- 10 可変磁束モータ
- 20 インナーロータ
- 26 リング磁石
- 40 アウターステータ
- 50 相対移動手段

30

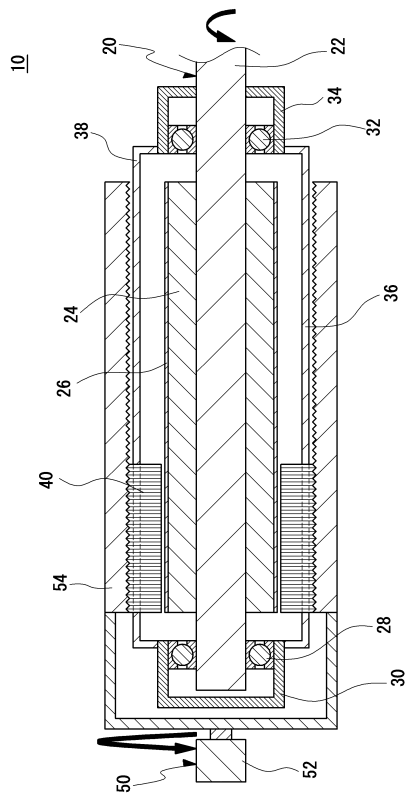
【図 1】



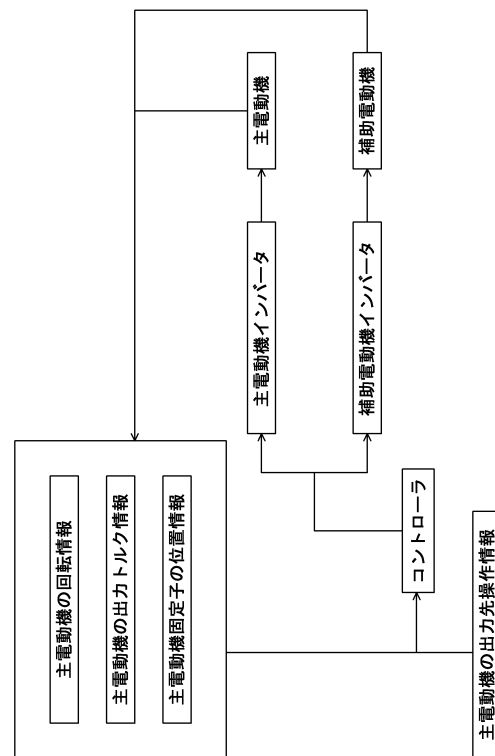
【図 2】



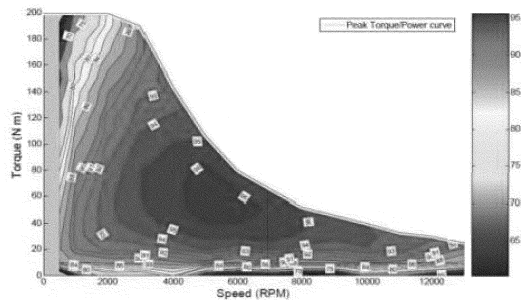
【図 3】



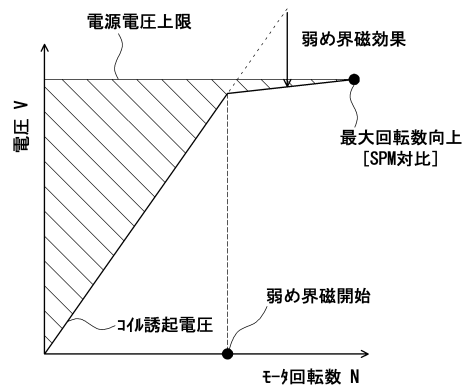
【図 4】



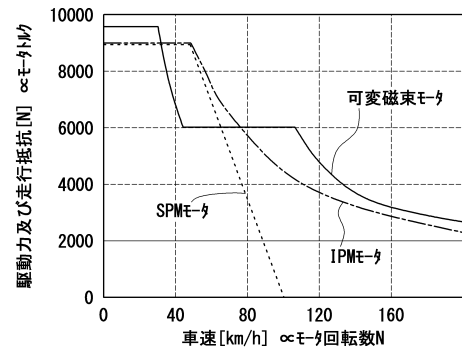
【図 5】



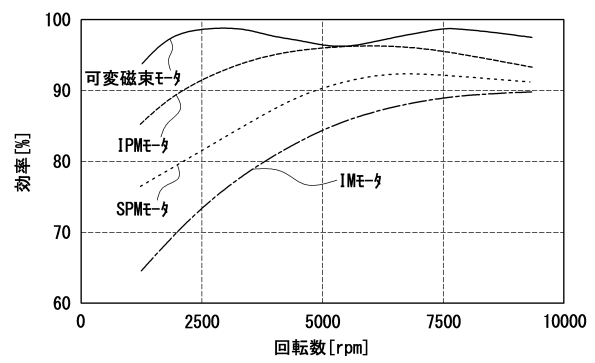
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

合議体

審判長 佐々木 芳枝

審判官 柿崎 拓

審判官 五十嵐 康弘

(56)参考文献 特開2007-129869 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K21/00-21/48