

明 細 書

発明の名称：永久磁石式リラクタンス型回転電機

関連出願の引用

- [0001] 本出願は、2013年03月29日に出願した先行する日本国特許出願第2013-074958号による優先権の利益に基礎をおき、かつ、その利益を求めており、その内容全体が引用によりここに包含される。

技術分野

- [0002] 本実施形態は、永久磁石式リラクタンス型回転電機に関する。

背景技術

- [0003] 近年、鉄道、ハイブリット自動車向けのような車両用回転電機では、高効率化を強く求められている。それに伴い、永久磁石を使用した回転電機の小型・高出力化を開発が進められている。
- [0004] 車両用の回転電機は、搭載スペースが限られた空間の中で高トルク、高出力化が要求されるため、高磁気エネルギー積の永久磁石を用いて、リラクタンストルクを増加させることで回転の高速化を実現しなければならない。永久磁石を最適な配置とすることにより、高トルク、高出力、高速化が可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機が必要とされている。
- [0005] 永久磁石式リラクタンス型回転電機では、V字状に配置した永久磁石の外周側に空洞（磁極間空隙部）を配置し、その寸法形状を数値限定し、高トルクを得ることで高出力、且つ可変速運転が可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機が提案されている。（例えば特許文献1参照）。また、多層構造のスリットを回転子鉄心内部に設け、そのスリットに永久磁石を配置し高出力、高速化を図っている。（例えば特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2001-339922号公報
特許文献2：特開2000-270525号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上述した従来の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、磁石配置・磁気障壁配置・ブリッジの問題によりトルク特性が低下してしまうという課題があった。

[0008] 本発明は上述した課題を解決するためになされたものであり、磁石トルクおよびリラクタンストルクを向上させ、あるいは、小型化を実現することが可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供することを目的とする。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の全体構成（1極分）を示す図である。

[図2]図2は、第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機のベクトル図である。

[図3]図3は、第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の永久磁石の重なりがある場合と無い場合のトルクー回転数特性の一例を示す図である。

[図4]図4は、第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の全体構成（1極分）を示す図である。

[図5]図5は、第2の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の全体構成（1極分）を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機について図面を参照して説明する。

[0011] （第1の実施形態）

第1の実施形態について図を参照し、詳細に説明する。図1は、第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の全体図である。図1～図3を用いて実施例1を説明する。

[0012] (構成)

図1は、第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の径方向断面図である。図1において固定子1は、固定子スロット11、固定子電磁鋼板10、固定子鉄心7と電機子巻線3、固定子ティース2を有している。固定子1を主に構成する固定子鉄心7は、鉄にケイ素を添加することによって製造された薄板の固定子電磁鋼板10といわれる材料を積層して構成される。固定子鉄心7の内周側には電機子巻線3を収容する固定子スロット12と、回転子5に面する固定子ティース2が具備されている。

[0013] 回転子5は、固定子ティース2と間隙を介して固定子1の内周側に配置される。図1において回転子5は、回転子鉄心8、永久磁石4、回転子電磁鋼板6、磁気障壁12を有している。回転子5は主に回転子鉄心8によって構成される。回転子鉄心8は、鉄にケイ素を添加することによって製造された薄板の回転子電磁鋼板6といわれる材料を積層して構成される。回転子鉄心8には、複数個の永久磁石4が備えられている。

[0014] 本実施形態では永久磁石4は第一永久磁石4aと第2永久磁石4bとで構成される。

[0015] 第1永久磁石4aは、外側の磁気障壁12aaと内側の磁気障壁12aに挟まれて位置している。このとき、磁気障壁12aaは12aよりも外周側（固定子側）に位置しており、各磁気障壁の長さは $12a > 12aa$ となる。前述した第1永久磁石4aを2つ、d軸を中心線として対象となるように設けられている。この1対を第1永久磁石群とする。

[0016] 第2永久磁石4bは、外側の磁気障壁12bbと内側の磁気障壁12bに挟まれて、かつ第1永久磁石4aよりも外周側（固定子側）に位置している。このとき、磁気障壁12bbは、磁気障壁12bよりも外周側（固定子側）に位置しており、各磁気障壁の長さは $12b > 12bb$ となる。前述した第2永久磁石4bを2つ、d軸を中心線として対象となるように設けられている。この1対を第2永久磁石群とする。

[0017] さらに、第1永久磁石4aの磁石障壁12aa側の端部は、第2永久磁石

4 b の磁石障壁 1 2 a 側の端部とほぼ同等、または重ならないように位置している。言い換えると、回転子シャフト 9 方向に向かって、回転子 5 内に設けられている各永久磁石が重ならないように配置されている構成となっている。

[0018] また、第一ブリッジ部 1 3 a は d 軸と中心として対称となる磁気障壁 1 2 a にはさまれている。また第一ブリッジ部 1 3 a 近傍を第一磁路狭隘部とする。また、第二ブリッジ部 1 3 b は、d 軸と中心として対称となる磁気障壁 1 2 b にはさまれている。また第二ブリッジ部 1 3 a 近傍を第二磁路狭隘部とする。

[0019] 回転子 5 の内周側には回転子シャフト 9 が設けられる。回転子シャフト 9 はここでは図示しないコロ軸や玉軸などを有する軸受によって回転自在に支持されている。

[0020] また、この回転子シャフト 9 の外周面上の法線を、回転子 5 の外周面に向かって引いたとき、この線上に第一永久磁石 4 a と第 2 永久磁石 4 b が両方同時に存在しないように、配置してもよい。

[0021] このような構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機の固定子 1 の電機子巻線 3 には、電流が流れることによって回転磁界が発生する。発生した回転磁界によって、回転子 5 が吸引され、回転子シャフト 9 を中心に回転する。回転子鉄心 8 は、それぞれ回転子鉄心 8 の半径方向あるいは放射方向に延びる磁化容易軸（磁束の通りやすい部分）q、および磁化困難軸（磁束が通り難い部分）d を有し、これらの q 軸および d 軸は、永久磁石 4 の配置位置によって決定する。そのため、回転子鉄心 8 の円周方向に交互に、かつ、所定の位相で形成される。

[0022] 第 1 に実施形態の説明では、2 層磁石配置を例として説明したが 2 層に限るものではない。

[0023] （作用）

次に、この第 1 の実施形態の特性について説明する。永久磁石式リラクタンス型回転電機 1 0 0 が発生するトルク（T）は図 2 に示されるベクトル図

で表される。

[0024] 図2のq軸とd軸上には永久磁石式リラクタンス型回転電動機100から得られる各特性が示されている。永久磁石式リラクタンス型回転電動機100のトルク(T)は、 Φ_a (d-q軸上の鎖交磁束)と I_a (電機子電流)から算出される磁石トルク、d-q軸のインダクタンスの差から発生するリラクタンストルクで求められる。その式を数1で示す。

[数1]

$$T = P_n \{ \Psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \} = T_m + T_r$$

T_m : 磁石トルク、 T_r : リラクタンストルク、 P_n : 極対数

[数2]

$$V_a = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} = \sqrt{(Ri_d - \omega L_q i_q)^2 + (Ri_q + \omega L_d i_d + \omega \Psi_a)^2}$$

R: 固定子巻線抵抗、 $\Phi_a = \sqrt{3} \Phi_e$ 、 Φ_e : 永久磁石による固定子鎖交磁束の実効値

v_d 、 v_q : 固定子電圧のd、q軸成分、 i_d 、 i_q : 固定子電流のd、q軸成分

ω : 電気角速度

[0025] 数1から、 L_q/L_d の比を大きくすることで、リラクタンストルク(T_r)を高くでき、磁石トルク(T_m)と合わさるため、電流に対するトルク発生の高効率性が図れることが分かる。また、数2よりインダクタンスと永久磁石磁束の両影響により端子電圧が決定されることが分かる。与えられる電圧、電流内で最も良いモータの特性を引き出すためには、磁石磁束を適切に制御できるような磁石領域を回転子断面内に確保する構成が必要となる。

[0026] 上記のような構成を実現するため、リラクタンストルク(T_r)と磁石トルク(T_m)を適切にバランスさせる構成が必要となる。 L_q/L_d の比を最大化する形状は、q軸方向の磁束量が最大となるように鉄心に磁路が形成され、d軸方向の磁束量が最小となるように永久磁石4や磁気障壁12を設けた回転子形状である。また、電圧を適切に制御するためには、磁石磁束を固定子側からの電機子磁束により弱められる磁石配置としなければならない。

[0027] 永久磁石4の重なった配置を有する永久磁石式リラクタンス型回転電機と永久磁石4の重なっていない配置を有する永久磁石式リラクタンス型回転電機のトルク-回転数特性の比較を図3に示す。図3には永久磁石4の重なった配置を有するトルク-回転数特性81と永久磁石4の重なっていない配置を有するトルク-回転数特性80が示されている。図は、5,000～の回転速度間において、永久磁石4の重なり無しのトルク-回転数特性80は、永久磁石4の重なり有りのトルク-回転数特性81よりもより大きなトルクが出力可能であることを示している。つまり、永久磁石4の重なりを無くすることにより中～高速時のトルク出力が向上する。

[0028] (効果)

本実施形態によれば、回転子鉄心8に備えられた永久磁石4は、固定子ティース2と間隙を介した方向より見て重ならない磁石配置とすることにより、磁石トルクおよびリラクタンストルクおよび電圧を適切にバランスさせ、小型化を実現することが可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供することができる。

[0029] (第2の実施形態)

第2の実施形態について図4乃至図5を参照し、詳細に説明する。図4は、第2の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、第1回転子切断部を有する構成図である。図5は、第2の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機101において、磁石間のブリッジ部近傍にブリッジ部を飽和させるための磁石を配置した場合と配置しない場合のトルク-回転数特性の一例を示す図である。

[0030] 尚、図1乃至図3に示した同一の構成をとるものについては、同符号を付して説明を省略する。

[0031] (構成)

第2の実施形態を図4に示す回転子5には、第一永久磁石4aのd軸側に磁気障壁12cを介して第三永久磁石4cが設けられている。第三ブリッジ部13cはd軸と中心として対称となる第三永久磁石4cには含まれている

。また第三ブリッジ部 1 3 c 近傍を第三磁路狭隘部とする。

[0032] 第 2 に実施形態の説明では、第三ブリッジ部 1 3 c の両側に第三永久磁石 4 c を有するものを例として説明したが、磁石間の磁路狭隘部に同様の処置をすること含む。

[0033] (作用)

次に、本実施形態の特性について説明する。永久磁石式リラクタンス型回転電機では、前述したように磁石トルク (T_m) とリラクタンストルク (T_r) を活用している。磁石トルクを有効に活用するためには、ブリッジ部 1 3 における磁石磁束の漏れを防がなければならない。このため、ブリッジ部 1 3 の近傍（つまり、第三磁路狭隘部及び回転子外周側の第二磁路狭隘部）に磁石を配置することにより、この近傍のみを磁気飽和させて磁気抵抗を高め、漏れ磁束を防ぐことが可能となる。また、磁石の磁力を可変することにより所望の特性を得ることが可能となる。

[0034] 図 4 に示す第三ブリッジ部 1 3 c 近傍に第三永久磁石 4 c を配置した永久磁石式リラクタンス型回転電機と、第三ブリッジ部 1 3 c 近傍に第三永久磁石 4 c を配置しない永久磁石式リラクタンス型回転電機のトルクー回転数特性の比較を図 5 に示す。図 5 の 8 2 は、第三ブリッジ部 1 3 c 近傍に第三永久磁石 4 c を配置した場合のトルクー回転数特性である。8 3 は、第三ブリッジ部 1 3 c 近傍に第三永久磁石 4 c を配置しない場合のトルクー回転数特性である。図 5 より、全回転速度域において、第三ブリッジ部 1 3 c 近傍に第三永久磁石 4 c を配置した場合のトルクー回転数特性 8 2 は第三ブリッジ部 1 3 c 近傍に第三永久磁石 4 c を配置しない場合のトルクー回転数特性 8 3 よりもより大きなトルクが出力可能であることを示している。つまり、ブリッジ部 1 3 近傍に磁石を配置することによりトルク出力が向上する。

[0035] (効果)

本実施形態によれば、第三ブリッジ部 1 3 c の近傍（つまり、第三の磁路狭隘部近傍）に磁石を配置することにより、この近傍のみを磁気飽和させて磁気抵抗を高め、漏れ磁束を防ぐことにより、トルクを向上させ、小型化を実

現することが可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供することができる。

[0036] 上記で説明された全ての実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定するものではない。そのため、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

符号の説明

- [0037] 1 固定子
2 固定子ティース
3 電機子巻線
4 永久磁石
4 a 第一永久磁石
4 b 第二永久磁石
4 c 第三永久磁石
5 回転子
6 回転子電磁鋼板
7 固定子鉄心
8 回転子鉄心
9 回転子シャフト
10 固定子電磁鋼板
11 固定子スロット
12 磁気障壁
13 ブリッジ
R 固定子巻線抵抗
I a 電機子電流
 Φ_e 永久磁石による固定子錯興交磁束の実効値
v d 固定子電圧のd軸成分

- v_q 固定子電圧の q 軸成分
- i_d 固定子電流の d 軸成分
- i_q 固定子電流の q 軸成分
- ω 電気核速度（回転速度）
- P_n 極対数
- L_d インダクタンスの d 軸成分
- L_q インダクタンスの q 軸成分
- V_a 電圧
- β i_d と i_q の位相角
- δ i_q と V_a の位相角
- 80 永久磁石重なり無し
- 81 永久磁石重なり有り
- 82 ブリッジ部近傍に磁石の配置有り
- 83 ブリッジ部金部に磁石の配置無し

請求の範囲

- [請求項1] 固定子鉄心に電機子巻線を有する固定子と、
 前記固定子の内周側に位置し、回転子鉄心に永久磁石が設けられて
 いる回転子と、
 前記永久磁石が多層配置され、各永久磁石の端部がほぼ重ならない
 位置に配置されている永久磁石リラクタンス型回転電機。
- [請求項2] 前記永久磁石は、d軸を中心線する1対の第1永久磁石群と第2永
 久磁石群を有し、
 前記第1永久磁石群の内側端部は、前記第2永久磁石群の外側端部と
 ほぼ重ならない位置に配置されている請求項1記載の永久磁石リラク
 タンス型回転電機。
- [請求項3] 前記第1永久磁石群の永久磁石は、磁気障壁間に位置しており、内
 側の磁気障壁が外側の磁気障壁より長く、前記第2の永久磁石群の永
 久磁石は、磁気障壁間に位置しており、外側の磁気障壁が内側の磁気
 障壁よりも長い、請求項1記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。
- [請求項4] 前記永久磁石の磁力を可変する請求項1に記載の永久磁石式リラク
 タンス型
 回転電機。
- [請求項5] 前記固定子は、前記固定子鉄心の内周側に前記電機子巻線を収容す
 る固定子スロットを有することを特徴とする請求項1記載の永久磁石
 リラクタンス型回転電機。
- [請求項6] 前記固定子鉄心は、薄板の固定子電磁鋼板を積層して構成されてい
 ることを特徴とする請求項1記載の永久磁石リラクタンス型回転電機
 。
- [請求項7] 前記回転子は、前記固定子と間隙を介して前記固定子の内周側に配
 置され、前記回転子の内周側には回転子シャフトが設けられ、
 前記固定子との前記間隙を介した方向より見て、前記永久磁石が重
 ならない配置とされていることを特徴とする請求項1記載の永久磁石

リラクタンス型回転電機。

[請求項8] 前記回転子鉄心は、薄板の回転子電磁鋼板を積層して構成されることを特徴とする請求項1記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。

[請求項9] 前記永久磁石は第1永久磁石と第2永久磁石とで構成され、
前記第2永久磁石は、第1永久磁石よりも前記固定子側に配置されたことを特徴とする請求項1記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。

[請求項10] 前記第1永久磁石を挟むように配置され、磁気を障壁する第1外側磁気障壁と第1内側磁気障壁とを有し、さらに、前記第2永久磁石を挟むように配置され、磁気を障壁する第2外側磁気障壁と第2内側磁気障壁とを有することを特徴とする請求項9記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。

[請求項11] 前記第1内側磁気障壁と前記第2磁気障壁との近傍に、それぞれ磁路狭隘部を設けたことを特徴とする請求項10記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。

[請求項12] 前記第1永久磁石のd軸側に前記第1内側磁気障壁を介して、第3永久磁石を、さらに設けたことを特徴とする請求項10記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。

[請求項13] 前記第1内側磁気障壁と前記第3永久磁石との近傍に、それぞれ磁路狭隘部を設けたことを特徴とする請求項12記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。

[請求項14] 前記回転子シャフトの外周面上の法線を、前記回転子の外周面に向かって引いたとき、この法線上に前記第1永久磁石と前記第2永久磁石とが両方同時に存在しないように、配置したことを特徴とする請求項8記載の永久磁石リラクタンス型回転電機。