

明 細 書

発明の名称：回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、回転電機に関する。

本願は、2022年3月29日に、日本に出願された特願2022-053600号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来から、例えば下記特許文献1に記載の回転電機が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2018-198534号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] この種の埋め込み型永久磁石同期モータ（IPMSM）において、トルクの向上に改善の余地があることを本願発明者は見出した。

[0005] 本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、トルクを向上させることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] <1>本発明の一態様に係る回転電機は、環状のステータと、前記ステータ内に配置されたロータと、を備え、前記ロータは、ロータコアと、前記ロータコアに埋め込まれるとともに1組で1つの磁極を構成し、前記ロータコアに、前記ロータコアの周方向に複数組配置された永久磁石と、を備える回転電機であって、前記ロータコアは、各組の前記永久磁石に対して、前記ロータの回転方向の両側に設けられた第1フラックスバリアと、前記第1フラックスバリアに対して、前記ロータコアの径方向の外側に設けられた第1ブリッジと、を備え、前記第1ブリッジは、前記ロータの回転方向の前方に設けられた前方ブリッジと、前記ロータの回転方向の後方に設けられた後方ブリ

ッジと、を含み、前記前方ブリッジの基準位置である前方基準位置を、前記ロータを軸方向から見た平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の前端と、を通過する前方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点とし、かつ、前記後方ブリッジの基準位置である後方基準位置を、前記平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の後端と、を通過する後方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点としたときに、複数組の前記永久磁石のうち、少なくとも1組の前記永久磁石において、前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $\theta_a/24$ （ラジアン）以上 $\theta_a/8$ （ラジアン）以下、後方に離れた位置に配置され前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で0（ラジアン）以上 $\theta_a/12$ （ラジアン）以下、前方に離れた位置に配置されている。

ただし、 θ_a は、以下の（1）式を満たす。

$$\theta_a = 2\pi / (N_{slot}) \cdots (1)$$

ここで、上記（1）式中の N_{slot} は、前記ステータの-slot数を意味する。また、一組の永久磁石は、1つ以上の永久磁石を含む。さらに、前方ブリッジの後端や後方ブリッジの前端は、各ブリッジのうち、各組の永久磁石によって発生する磁束の磁気飽和が生じる部分である。言い換えると、前方ブリッジの後端や後方ブリッジの前端は、各ブリッジのうち、磁束がロータからステータに渡り始める部分である。

[0007] <2>上記<1>に係る回転電機では、前記少なくとも1組の前記永久磁石において、前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $\theta_a/12$ （ラジアン）分、後方に離れた位置に配置され、前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に配置されている構成を採用してもよい。

[0008] <3>上記<1>または<2>に係る回転電機では、前記永久磁石は、2つで一組をなして1つの磁極を構成し、各組の前記永久磁石は、前方に位置する前方磁石と、後方に位置する後方磁石と、を含むとともに、前記平面視

において前記径方向の内側に向けて凸となるV字状に配置され、前記前方ブリッジは、前記前方磁石の前方に設けられ、前記後方ブリッジは、前記後方磁石の後方に設けられ、前記平面視において、前記前方仮想線は、前記中心軸と前記前方磁石の前端とを通過し、前記後方仮想線は、前記中心軸と前記後方磁石の後端とを通過する構成を採用してもよい。

[0009] 本願発明者は、前方ブリッジの後端の周方向の位置や後方ブリッジの前端の周方向の位置、言い換えると、第1ブリッジの開始位置が、トルクに影響を与えることを見出した。特に、前方ブリッジの後端の周方向の位置を、前方基準位置に対して回転方向の後方に配置することで、トルクが大きくなることを、本願発明者は見出した。

この現象は以下の原理に基づくと考えられる。

すなわち、1組の永久磁石が構成する磁極において生じる磁束がロータコア内で伝達される過程で、第1ブリッジの開始位置において磁気飽和が生じる。すると磁束が、ロータコア内から外部に向かい、ステータのティースに伝達される。そのため、第1ブリッジの開始位置は、磁束がステータに伝達される起点となる。ここで、前方ブリッジの後端が、前方基準位置に対して回転方向の後方に位置するほど、前方ブリッジからステータのティースに伝達される磁束線の向き（方向）は、ロータの径方向、言い換えるとティースの長手方向に対して傾斜し、その結果、磁束線が長くなる。このとき、磁束線が短くなるように力が発生し、この力によってロータが回転する結果、トルクが高まると考えられる。以上の知見に基づいて、本願発明者は、前方ブリッジの後端の周方向の位置や後方ブリッジの前端の周方向の位置を、ステータのティースのピッチに対応する中心角である θ_a （ラジアン）を単位として鋭意検討したところ、前述のように設定することで、高いトルクを出力できることを見出した。

なお、1つの磁極を構成する2つの第1フラックスバリアの配置・形状や2つの第1ブリッジの配置・形状は、一般に対称であることが多く、この種の回転電機において、2つの第1ブリッジの配置・形状を非対称に変化させ

たものは、一般には見られない。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、トルクを向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の一実施形態に係る回転電機を示す図であって、一部断面を含む平面図である。

[図2]図1に示す回転電機に含まれるステータおよびロータの拡大平面図である。

[図3]図1に示す回転電機に含まれるロータの拡大平面図である。

[図4]図3に示すI V部の拡大平面図である。

[図5]図3に示すV部の拡大平面図である。

[図6]図1に示す回転電機を説明するための図であって、ロータの前方ブリッジの後端および後方ブリッジの前端がそれぞれの基準位置に位置する状態を示す拡大平面図である。

[図7]図1に示す回転電機を説明するための図であって、ロータの前方ブリッジの後端が、図5に示す位置に比べて後方に移動し、かつ、後方ブリッジの前端が、図5に示す位置に比べて前方に移動している状態を示す拡大平面図である。

[図8]本発明の一実施形態に係る回転電機において、磁束の流れるイメージを示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図1から図8を参照し、本発明の一実施形態に係る回転電機を説明する。回転電機は、電動機、具体的には交流電動機、より具体的には同期電動機、より一層具体的には永久磁石界磁型電動機である。この種の電動機は、例えば、電気自動車などに好適に採用される。

[0013] 図1および図2に示すように、回転電機10は、ステータ20と、ロータ30と、ケース50と、回転軸60と、を備える。ステータ20およびロータ30は、ケース50に収容される。ステータ20は、ケース50に固定さ

れる。回転電機 10 は、ロータ 30 がステータ 20 の内側に位置するインナーロータ型である。

[0014] なお本実施形態では、回転電機 10 が、8 極 24 スロットの三相交流モータである。しかしながら、例えば極数やスロット数、相数などは適宜変更することができる。

また回転電機 10 において、ステータ 20 およびロータ 30 の軸線は共通軸上にある。以下では、この共通軸を中心軸線 O（ロータ 30 の中心軸）という。中心軸線 O 方向（後述するロータコア 31 の軸方向）を軸方向といい、中心軸線 O に直交する方向（後述するロータコア 31 の径方向）を径方向といい、中心軸線 O 周りに周回する方向（後述するロータコア 31 の周方向）を周方向という。

[0015] ステータ 20 は、ステータコア 21 と、図示しない巻線と、を備える。

ステータコア 21 は、筒状（円筒状）のコアバック 22（ヨーク）と、複数のティース 23 と、を備える。

[0016] コアバック 22 は、回転電機 10 を軸方向から見た平面視において円環状に形成されている。

複数のティース 23 は、コアバック 22 から径方向の内側に向けて（径方向に沿ってコアバック 22 の中心軸線 O に向けて）突出する。複数のティース 23 は、周方向に同等の間隔をあけて配置されている。本実施形態では、中心軸線 O を中心とする中心角 15 度おきに 24 個のティース 23 が設けられている。複数のティース 23 は、互いに同等の形状で、かつ同等の大きさに形成されている。周方向に隣り合うティース 23 の間は、スロット 24 である。

前記巻線は、ティース 23 に巻き回されている。前記巻線は、集中巻きされていてもよく、分布巻きされていてもよい。

[0017] 図 3 に示すように、ロータ 30 は、ステータ 20（ステータコア 21）に対して径方向の内側に配置されている。ロータ 30 は、ロータコア 31 と、複数の永久磁石 32 と、を備える。

ロータコア 31 は、ステータ 20 と同軸に配置される筒状（円筒状）に形成されている。ロータコア 31 内には、前記回転軸 60 が配置されている。回転軸 60 は、ロータコア 31 と一緒に回転するように、ロータコア 31 に固定されている。

複数の永久磁石 32 は、ロータコア 31 に固定されている。本実施形態では、2 つ 1 組の永久磁石 32 が 1 つの磁極 33 を形成している。複数組の永久磁石 32 は、周方向に同等の間隔をあけて配置されている。本実施形態では、中心軸線 O を中心とする中心角 45 度おきに 8 組（全体では 16 個）の永久磁石 32 が設けられている。

[0018] 回転電機 10 は、埋込磁石型モータである。ロータコア 31 には、ロータコア 31 を軸方向に貫通する複数の貫通孔 34 が形成されている。複数の貫通孔 34 は、複数の永久磁石 32 に対応して設けられている。各永久磁石 32 は、対応する貫通孔 34 内に配置された状態でロータコア 31 に固定されている。各永久磁石 32 のロータコア 31 への固定は、例えば永久磁石 32 の外面と貫通孔 34 の内面とを接着剤により接着すること等により、実現することができる。

[0019] なお、ステータコア 21 およびロータコア 31 としては、積層コアを採用することが可能である。積層コアは、複数の電磁鋼板が積層されることで形成されている。積層された電磁鋼板同士は、例えば、かしめや接着、溶接などにより固定されている。

ステータコア 21 およびロータコア 31 を形成する各電磁鋼板は、例えば、母材となる電磁鋼板を打ち抜き加工すること等により形成される。電磁鋼板としては、公知の電磁鋼板を用いることができる。電磁鋼板の化学組成は特に限定されない。本実施形態では、電磁鋼板として、無方向性電磁鋼板を採用している。無方向性電磁鋼板としては、例えば、J I S C 2552 : 2014 の無方向性電磁鋼帯を採用することができる。しかしながら、電磁鋼板として、無方向性電磁鋼板に代えて方向性電磁鋼板を採用することも可能である。方向性電磁鋼板としては、例えば、J I S C 2553 : 2

012の方向性電磁鋼帯を採用することができる。

[0020] 電磁鋼板の加工性や、積層コアの鉄損を改善するため、電磁鋼板の両面には、絶縁被膜が設けられている。絶縁被膜を構成する物質としては、例えば、(1)無機化合物、(2)有機樹脂、(3)無機化合物と有機樹脂との混合物、などが適用できる。無機化合物としては、例えば、(1)重クロム酸塩とホウ酸の複合物、(2)リン酸塩とシリカの複合物、などが挙げられる。有機樹脂としては、エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、アクリルスチレン系樹脂、ポリエステル系樹脂、シリコン系樹脂、フッ素系樹脂などが挙げられる。

[0021] 以下、ロータ30の詳細について説明する。

図3に示すように、永久磁石32は、前述したように、ロータコア31に埋め込まれるとともに2つで対をなして1つの磁極33を構成している。永久磁石32は、ロータコア31に、周方向に複数対(図示の例では8対)配置されている。図示の例では、永久磁石32は、直方体状である。永久磁石32は、平面視において矩形状である。

[0022] 一对の永久磁石32は、前記平面視において、径方向の内側に向けて凸となるV字状に配置されている。一对の永久磁石32は、前記平面視において、d軸Aを基準として線対称に配置されている。d軸Aは、前記平面視において、中心軸線Oと、各磁極33の周方向の中央と、を通過する。一对の永久磁石32が配置される貫通孔34も同様に、d軸Aを基準として概ね線対称に配置されている。

[0023] 貫通孔34は、前記平面視において、永久磁石32よりもq軸B側、および、d軸A側の両側に大きい。q軸Bは、前記平面視において、中心軸線Oと、周方向に隣り合う2つの磁極33の間と、を通過する。q軸Bは、前記平面視において、前記2つの磁極33の間における周方向の中央を通過する。q軸Bとd軸Aとは、磁氣的、電氣的に直交する。貫通孔34のうち、永久磁石32に対してq軸B側、および、d軸A側それぞれに位置する部分は、フラックスバリア35、36となっている。言い換えると、永久磁石32

のq軸B側、および、d軸A側の両端には、フラックスバリア35、36が設けられている。フラックスバリア35、36は、ロータコア31を軸方向に貫通する磁気的空隙部である。フラックスバリア35、36は、ロータ30内で還流する永久磁石32からの磁石磁束（以下、還流磁束ともいう）を低減したり、永久磁石32からステータ20へ向かう磁石磁束の流入経路を変化させたりする。これにより、永久磁石32の磁石磁束（以下、単に磁石磁束）がステータ20に効果的に伝達されて高いトルクが出力される。フラックスバリア35、36は、磁石磁束をステータ20に誘導するともいえる。

[0024] ロータ30は、フラックスバリア35、36として、第1フラックスバリア35と、第2フラックスバリア36と、を備えている。第1フラックスバリア35および第2フラックスバリア36は、永久磁石32を両端から挟む。これにより、磁石磁束がステータ20に効果的に伝達され易くなる。

第1フラックスバリア35は、一つの永久磁石32から最も近いq軸B側に位置する。第1フラックスバリア35は、一对の永久磁石32の周方向（回転方向）の両外側に位置する。第2フラックスバリア36は、一つの永久磁石32から最も近いd軸A側に位置する。一对の永久磁石32の周方向（回転方向）の中央に位置する。

[0025] 第1フラックスバリア35は、一つの永久磁石32から最も近いq軸B側の端面からロータコア31の径方向の外側に広がる。第1フラックスバリア35は、第1空間37と、第2空間38と、を備えている。第1空間37には、一つの永久磁石32から最も近いq軸B側の端面が露出する。第1空間37は、前記平面視において、一つの永久磁石32から最も近いq軸B側に延びる。第1空間37は、前記平面視において、q軸B側に凸となる三角形形状である。第1空間37の径方向の空間幅は、一つの永久磁石32から最も近いq軸B側に離れるに従い小さくなっている。第2空間38は、第1空間37に連通する。第2空間38の少なくとも一部は、第1空間37に対して径方向の外側に位置する。前記平面視において、第2空間38は矩形形状であ

る。前記平面視において、第2空間38の面積は第1空間37の面積よりも狭い。

[0026] 第1フラックスバリア35に対する径方向の外側には、第1ブリッジ39が設けられている。第1ブリッジ39は、ロータコア31の一部である。第1ブリッジ39は、ロータコア31のうち、第1フラックスバリア35に対して径方向の外側に位置する部分である。第1ブリッジ39があることで、第1ブリッジ39がない場合に比べて、ロータコア31に遠心耐力が向上する。第1ブリッジ39は、ロータコア31における外周に力学的な強度を担保する。第1ブリッジ39の径方向の幅が十分細いと、磁束が第1ブリッジ39を通過することが磁気飽和によって妨げられ、磁石磁束の還流が防がれる。

[0027] 第1ブリッジ39の幅（径方向の大きさ）は、ロータコア31のうち第1ブリッジ39に対して周方向に隣り合う両部分の幅よりも、局所的に小さくなっている。

なお第1ブリッジ39の長さ（周方向の大きさ）や幅は、回転電機10の回転速度や形により適切に設計される。例えば、第1ブリッジ39の幅が、ロータコア31のうち第1ブリッジ39に対して周方向に隣り合う両部分の幅に対して、小さくなっているものの、局所的に小さくなくてもよい。例えば、第1ブリッジ39の幅が、ロータコア31のうち第1ブリッジ39に対して周方向に隣り合う両部分の幅に対して連続的に小さくなっているてもよい。この場合、例えば、ロータコア31の外周部分において、径方向の大きさ（幅）が、ロータコア31の外径の1%以下となっている部分を、第1ブリッジ39としてもよい。また、第1フラックスバリア35の形状や大きさなども、本実施形態に示した態様に限られない。

[0028] 第2フラックスバリア36は、第1空間37を備え、一つの永久磁石32から最も近いd軸A側の端面が露出する。第1空間37は、前記平面視において、一つの永久磁石32から最も近いd軸A側に延びる。各磁極33において対をなす2つの第2フラックスバリア36の間には、第2ブリッジ40

が設けられている。第2ブリッジ40は、周方向よりも径方向に長い。第2ブリッジ40は、第2ブリッジ40において磁束飽和を起こさせ、磁気回路の形成を阻害させる。第2ブリッジ40は、d軸A上に位置する。

[0029] ここで、以下において回転電機10の回転方向（周方向）の前方を、単に前方Fとし、回転方向の後方を、単に後方Rとする。なお、中心軸線O回りの両方向に回転可能な回転電機10の場合、上記回転方向とは、回転電機10が主に回転する回転方向を意味する。また図示の例では、紙面を見たときにおける反時計回りを前方Fとし、時計回りを後方Rとする。

[0030] 一对の永久磁石32は、前方磁石32fと、後方磁石32rと、を含む。前方磁石32fは、後方磁石32rに対して前方F側に位置する。

1つの磁極33に含まれる2つの第1ブリッジ39は、前方ブリッジ39fと、後方ブリッジ39rと、を含む。前方ブリッジ39fは、前方磁石32fに対して設けられている。前方ブリッジ39fは、前方磁石32fに対して前方F側（q軸B側）、かつ、径方向の外側に位置する。前方ブリッジ39fは、一对の第1フラックスバリア35のうち、前方F側に位置する第1フラックスバリア35に対する径方向の外側に位置する。後方ブリッジ39rは、後方磁石32rに対して設けられている。後方ブリッジ39rは、後方磁石32rに対して後方R側（q軸B側）、かつ、径方向の外側に位置する。後方ブリッジ39rは、一对の第1フラックスバリア35のうち、後方R側に位置する第1フラックスバリア35に対する径方向の外側に位置する。

[0031] 前方ブリッジ39fに対する基準位置を前方基準位置Pfとし、後方ブリッジ39rに対する基準位置を後方基準位置Prとして、それぞれ以下のように定義する。前方基準位置Pfは、前記平面視において、中心軸線Oと、前方磁石32fの前方F側の周方向前端と、を通過する前方仮想線L1と前記ロータコア31の外周面との交点とする。後方基準位置Prは、前記平面視において、中心軸線Oと、後方磁石32rの後方R側の周方向後端と、を通過する後方仮想線L2とロータコア31の外周面との交点とする。

[0032] そして本実施形態では、図3および図4に示すように、最も後方R側に位置する前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で $\theta a/24$ （ラジアン）以上 $\theta a/8$ （ラジアン）以下、後方R側に離れた位置に配置されている。最も前方F側に位置する後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で0（ラジアン）以上 $\theta a/12$ （ラジアン）以下、前方F側に離れた位置に配置されている。

ただし、 θa は、以下の（1）式を満たす。

$$\theta a = 2\pi / (N_{slot}) \cdots (1)$$

ここで、上記（1）式中の N_{slot} は、ステータ20のスロット数を意味する。

最も後方R側に位置する前方ブリッジ39fの後端39f1は、好ましくは、前方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で $3\theta a/48$ （ラジアン）以上 $5\theta a/48$ （ラジアン）以下、後方R側に離れた位置に配置されている。

最も前方F側に位置する後方ブリッジ39rの前端39r1は、好ましくは、後方基準位置Prに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で0（ラジアン）以上 $\theta a/48$ （ラジアン）以下、前方F側に離れた位置に配置されている。

[0033] さらに本実施形態では、図4に示すように、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに対して、中心軸線Oを中心とする中心角で $\theta a/12$ （ラジアン）分、後方R側に離れた位置に配置されている。図5に示すように、後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに配置されている。

[0034] ここで、前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、各ブリッジ39のうち、各組の永久磁石32によって発生する磁束の磁気飽和が生じる部分である。言い換えると、前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、各ブリッジ39のう

ち、磁束がロータ30からステータ20に渡り始める部分である。前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、各ブリッジ39における磁気飽和開始位置である。前方ブリッジ39fにおける磁気飽和開始位置は、後端39f1の磁気飽和開始位置のうちの後方R側の周方向端部位置である。後方ブリッジ39rにおける磁気飽和開始位置は、前端39r1の磁気飽和開始位置のうちの前方F側の周方向端部位置である。磁気飽和開始位置は、前方ブリッジ39f及び後方ブリッジ39rとロータコア31の外周面との距離が最短となる位置である。ブリッジ39の磁気飽和開始位置は、例えば、電磁界解析などにより得られた磁束密度の絶対値について、ロータコアに使用されている磁性材料の飽和磁束密度を超過する位置として求めてもよい。電磁界解析に代えて、実物を使用した実験を採用してもよい。磁気飽和開始位置は、上記したいずれか1つの方法または2つ以上の方法によって特定することができる。

前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、第1ブリッジ39において、第1ブリッジ39ではない部分との境界となる。前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1は、ロータコア31のうち、第1フラックスバリア35と、ロータコア31の外周面と、を径方向に最短距離で結ぶ領域として規定される。後方ブリッジ39rの前端39r1及び前方ブリッジ39fの後端39f1は、第1フラックスバリア35と中心軸線Oとを通過する仮想線上の一部の領域である。

図8に、本実施形態に係る回転電機において、磁束の流れるイメージを示す。図8中の矢印A1、A2は、磁束の流れを意味する。矢印A1は、磁束の大まかな流れを示す。矢印A2は、各位置における磁束密度ベクトルを示す。図8に示すように、前方ブリッジ39fにおいては、前方ブリッジ39fの後端39f1でステータ20に磁束が渡る。後方ブリッジ39rにおいては、後方ブリッジ39rの前端39r1の位置により磁極33側に侵入する磁束量が変化する。

[0035] 例えば、ロータコア31のうち、前方F側の第1フラックスバリア35と、ロータコア31の外周面と、によって径方向に挟まれる部分（以下、第1部分という）における後方R側の端における幅（径方向の大きさ）が十分狭い場合、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前記後方R側の端とすることができる。この場合、第1部分が第1フラックスバリア35の全長（周方向の長さ）にわたって前方ブリッジ39fとなる。この場合において、前方ブリッジ39fにおける後端39f1よりも前方F側において、前方ブリッジ39fの幅が後端39f1よりも狭くなっているとしてもよいし、広がっているとしてもよい。言い換えると、前方ブリッジ39fの後端39f1が磁気飽和開始位置であれば、前方ブリッジ39fにおいて後端39f1よりも前方に位置する部分は、後端39f1よりも径方向に大きくても小さくてもよい。

また、ロータコア31のうち、後方R側の第1フラックスバリア35と、ロータコア31の外周面と、によって径方向に挟まれる部分（以下、第2部分という）における前方F側の端の幅が十分狭い場合、後方ブリッジ39rの前端39r1は、前記前方F側の端とすることができる。この場合、第2部分が第1フラックスバリア35の全長（周方向の長さ）にわたって後方ブリッジ39rとなる。この場合において、後方ブリッジ39rにおける前端39r1よりも後方R側において、後方ブリッジ39rの幅が前端39r1よりも狭くなっているとしてもよいし、広がっているとしてもよい。

[0036] さらに例えば、第1部分の後方R側の端の幅が十分狭くない場合、前方ブリッジ39fの後端39f1は、第1部分において前記幅が十分に狭い領域のうち、最も後方R側に位置する領域とすることができる。この場合、第1部分の一部が前方ブリッジ39fとなり、第1部分における周方向の後方R側の端よりも前方F側に、前方ブリッジ39fの後端39f1が位置する。

また、第2部分の前方F側の端の幅が十分狭くない場合、後方ブリッジ39rの前端39r1は、第2部分において前記幅が十分に狭い領域のうち、最も前方F側に位置する領域とすることができる。この場合、第2部分の一部が前方ブリッジ39fとなり、第2部分における周方向の前方F側の端より

りも後方R側に、後方ブリッジ39rの前端39r1が位置する。

[0037] なお、上記いずれの場合においても、第1部分や第2部分の幅が十分に狭いことは、例えば、幅が、ロータコア31の外径の1%以下であることを意味していてもよい。また、第1部分や第2部分の幅が十分に狭いことは、例えば、幅が、0.3mm以下あることを意味していてもよい。また、前方ブリッジ39fの後端39f1や後方ブリッジ39rの前端39r1を特定するため、回転電機10をソフトウェア上で再現し、電磁場解析を実施してもよい。

[0038] ここで、前方ブリッジ39fの後端39f1と前方基準位置Pfとについての中心角は、前方ブリッジ39fに関する仮想線L1aと、前方仮想線L1と、についての、中心軸線Oを中心とする中心角である。前記仮想線L1aとは、前方ブリッジ39fの後端39f1と、中心軸線Oと、を通過する仮想線である。なお、前方仮想線L1と仮想線L1aとのなす角を θ_t とすると、 $(\theta_a/24) \leq \theta_t \leq (\theta_a/8)$ となり、本実施形態では、 $\theta_t = (\theta_a/12)$ である。

[0039] また、後方ブリッジ39rの前端39r1と後方基準位置Prとについての中心角は、後方ブリッジ39rに関する仮想線L2aと、後方仮想線L2と、についての、中心軸線Oを中心とする中心角である。前記仮想線L2aとは、後方ブリッジ39rの前端39r1と、中心軸線Oと、を通過する仮想線である。また、後方ブリッジ39rの前端39r1と後方基準位置Prとについての中心角が0（ラジアン）であること、言い換えると、後方ブリッジ39rの前端39r1が、後方基準位置Prに配置されていることは、前述の仮想線L2aと後方仮想線L2とが一致していることを意味する。なお、後方仮想線L2と仮想線L2aとのなす角を θ_s とすると、 $0 \leq \theta_s \leq (\theta_a/12)$ となり、本実施形態では、 $\theta_s = 0$ である。

[0040] 本願発明者は、前方ブリッジ39fの後端39f1の周方向の位置や後方ブリッジ39rの前端39r1の周方向の位置（以下、これらの位置を総称して、第1ブリッジ39の開始位置という）が、トルクに影響を与えること

を見出した。特に、前方ブリッジ39fの後端39f1の周方向の位置を、前方基準位置Pfに対して回転方向の後方Rに配置することで、トルクが大きくなることを、本願発明者は見出した。

[0041] この知見は、以下の過程を経て得られた。

本願発明者は、ロータコア31の形状最適化の解析を実施した。この解析は、特開2021-114099号公報記載の内容に基づく。本願発明者は、解析を、異なる複数の進角を前提として複数回実施した。各解析の結果となるロータコア31の形状は、前提となった進角に応じて最適な形状であると言える。本願発明者は、複数種類の進角についての最適な形状を解析した結果のうち、最もトルクが高くなる結果（形状）について分析した。なおこのときの進角は50度であった。

[0042] この結果に係るロータコア31では、前方ブリッジ39fの後端39f1は前方基準位置Pfに対して後方R側、後方ブリッジ39rの前端39r1は後方基準位置Prに対して前方F側に移動していた。

よって、この解析結果においてトルクが最大となる最適形状と同様の傾向で、前方ブリッジ39fの位置を周方向に変化させることでトルクを向上できると考えた。

[0043] なお、この現象は以下の原理に基づくと考えられる。

すなわち、一対の永久磁石32が構成する磁極33において生じる磁束がロータコア31内で伝達される過程で、第1ブリッジ39の開始位置において磁気飽和が生じる。すると磁束が、ロータコア31内から外部に向かい、ステータ20のティースに伝達される。そのため、第1ブリッジ39の開始位置は、磁束がステータ20に伝達される起点となる。ここで、前方ブリッジ39fの後端39f1が、前方基準位置Pfに対して回転方向の後方Rに位置するほど、前方ブリッジ39fからステータ20のティース23に伝達される磁束線の向き（方向）は、ロータ30の径方向、言い換えるとティース23の長手方向に対して傾斜し、その結果、磁束線が長くなる。このとき、磁束線が短くなるように力が発生してこの力によってロータ30が回転す

る結果、トルクが高まると考えられる。

[0044] 以上の知見に基づいて、本願発明者は、前方ブリッジ39fの後端39f1の周方向の位置や後方ブリッジ39rの前端39r1の周方向の位置を、ステータ20のティースのピッチに対応する中心角である θa （ラジアン）を単位として鋭意検討したところ、前述のように設定することで、高いトルクを出力できることを見出した。

[0045] この知見は、以下の過程を経て得られた。

本願発明者は、新たな解析を実施した。対象とする回転電機10は、図3、図6および図7に示すロータ30、30A、30Bを含む回転電機10である。この回転電機10では、前述したようにスロット数が24スロットであるため、 $\theta a = 15$ 度である。この回転電機10において、前方ブリッジ39fの後端39f1の位置を0.625度ずつ（すなわち、 $(\theta a / 24)$ 度ずつ）、後方R側に移動させ、かつ、後方ブリッジ39rの前端39r1の位置を0.625度ずつ、前方F側に移動させた形状を前提として解析を実施し、トルクの値を評価した。なお図3に示すロータ30では、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに対して後方R側に1.25°移動し、後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに位置する。図6に示すロータ30Aでは、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに位置し、後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに位置する。図7に示すロータ30Bでは、前方ブリッジ39fの後端39f1は、前方基準位置Pfに対して後方Rに0.625°移動し、後方ブリッジ39rの前端39r1は、後方基準位置Prに対して前方Fに0.625°移動している。なお図7において、仮想線L1a、L2aは省略している。

[0046] 解析条件は表1の通りである。解析結果は、表2の通りである。なお表2では、前方ブリッジ39f、後方ブリッジ39rとも、移動角度が0度を基準の100として、結果を正規化している。

[0047]

[表1]

電流	20Apeak
進角	50°
周波数	50Hz
磁石残留磁束密度	0.4T
ロータ径	27mm

[0048] [表2]

		回転前方ブリッジ				
		0°	-0.625°	-1.25°	-1.875°	-2.5
回転後方ブリッジ	-0.625	99.9	99.5	100.0	99.4	-
	0°	100.0	100.6	100.9	100.6	99.8
	+0.625°	99.9	100.6	100.6	100.6	99.9
	+1.25°	99.6	100.4	100.4	100.3	99.1
	+1.875°	-	99.2	99.2	99.3	-

[0049] 表2に太枠（ハッチング内）で示すように、前方ブリッジ39fの後端39f1を後方R側に0.625度以上1.875度以下（すなわち、 $(\theta a/24)$ 度以上 $(\theta a/8)$ 度以下）、後方ブリッジ39rの前端39r1を0度以上1.25度以下（すなわち、0度以上 $(\theta a/12)$ 度以下）、前方F側の範囲で移動させることで、基準形状よりトルクが向上することが確認された。また、前方ブリッジ39fの後端39f1を後方R側に1.25度（すなわち、 $(\theta a/12)$ 度以下）移動し、かつ、後方ブリッジ39rの前端39r1の移動角度が0度である場合、トルクが最大となることが確認できた。

なお、移動角度は、シミュレーションモデルで測定した。具体的には、シミュレーションモデル上のブリッジ部に含まれる節点の座標から測定した。

[0050] なお、1つの磁極33を構成する2つの第1フラックスバリア35の配置・形状や2つの第1ブリッジ39の配置・形状は、一般に対称であることが多く、この種の回転電機10において、2つの第1ブリッジ39の配置・形状を非対称に変化させたものは、一般には見られない。

[0051] なお、本発明の技術的範囲は前記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

[0052] ステータ20の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ステータコア21の外径および内径の寸法、積厚、スロット数、ティース23の周方向と径方向の寸法比率、ティース23とコアバック22との径方向の寸法比率、などは所望の回転電機10の特性に応じて任意に設計可能である。

[0053] ロータ30の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ロータコア31の外径および内径の寸法、積厚、極数などは所望の回転電機10の特性に応じて任意に設計可能である。

[0054] 前記実施形態では、ステータコア21およびロータコア31がいずれも積層コアであるとしたが、積層コアでなくてもよい。

第2フラックスバリア36がなくてもよい。

[0055] 前記実施形態では、1つの磁極33が2つの永久磁石32で構成されている。しかしながら、本発明はこれに限られない。例えば、1つの磁極33が、1つの永久磁石32や3つの永久磁石32、4つ以上の永久磁石32によって構成されていてもよい。1組の永久磁石32として、1つ以上の永久磁石32を含む他の形態が適宜採用される。

例えば、1組の永久磁石32が1つの永久磁石32である場合、この1つの永久磁石32が、前記平面視において、d軸Aに直交する方向に長い長方形形状であってもよい。

例えば、1組の永久磁石32が3つの永久磁石32である場合であって、3つの永久磁石32が周方向に並んでいる場合には、以下のような配置であってもよい。この場合、周方向の中央に位置する永久磁石32が、前記平面視において、d軸Aに直交する方向に長い長方形形状であってもよい。さらにこの場合、周方向の両側に位置する2つの永久磁石32が、前記平面視において、d軸A側からq軸B側に向かうに従い、径方向の外側に延びていても

よい。

[0056] その他、本発明の趣旨に逸脱しない範囲で、前記実施形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能であり、また、前記した変形例を適宜組み合わせてもよい。

産業上の利用可能性

[0057] 本発明によれば、トルクを向上させることができる。よって、産業上の利用可能性は大である。

符号の説明

[0058] 10 回転電機
20 ステータ
21 ステータコア
22 コアバック
23 ティース
24 スロット
30 ロータ
30A ロータ
30B ロータ
31 ロータコア
32 永久磁石
32f 前方磁石
32r 後方磁石
33 磁極
34 貫通孔
35 第1フラックスバリア
36 第2フラックスバリア
37 第1空間
38 第2空間
39 第1ブリッジ

3 9 f 前方ブリッジ
3 9 f 1 後端
3 9 r 後方ブリッジ
3 9 r 1 前端
4 0 第2ブリッジ
4 5 中心角
5 0 ケース
6 0 回転軸
F 前方
L 1 前方仮想線
L 1 a 仮想線
L 2 後方仮想線
L 2 a 仮想線
O 中心軸線（中心軸）
P f 前方基準位置
P r 後方基準位置
R 後方

請求の範囲

[請求項1]

環状のステータと、

前記ステータ内に配置されたロータと、を備え、

前記ロータは、

ロータコアと、

前記ロータコアに埋め込まれるとともに1組で1つの磁極を構成し、前記ロータコアに、前記ロータコアの周方向に複数組配置された永久磁石と、を備える回転電機であって、

前記ロータコアは、

各組の前記永久磁石に対して、前記ロータの回転方向の両側に設けられた第1フラックスバリアと、

前記第1フラックスバリアに対して、前記ロータコアの径方向の外側に設けられた第1ブリッジと、を備え、

前記第1ブリッジは、前記ロータの回転方向の前方に設けられた前方ブリッジと、前記ロータの回転方向の後方に設けられた後方ブリッジと、を含み、

前記前方ブリッジの基準位置である前方基準位置を、前記ロータを軸方向から見た平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の前端と、を通過する前方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点とし、かつ、前記後方ブリッジの基準位置である後方基準位置を、前記平面視において、前記ロータコアの中心軸と、各組の前記永久磁石の後端と、を通過する後方仮想線と前記ロータコアの外周面との交点としたときに、

複数組の前記永久磁石のうち、少なくとも1組の前記永久磁石において、

前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $\theta a/24$ （ラジアン）以上 $\theta a/8$ （ラジアン）以下、後方に離れた位置に配置され

前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で0（ラジアン）以上 $\theta a/12$ （ラジアン）以下、前方に離れた位置に配置されている、回転電機。

ただし、 θa は、以下の（1）式を満たす。

$$\theta a = 2\pi / (N_{slot}) \cdots (1)$$

ここで、上記（1）式中の N_{slot} は、前記ステータのスロット数を意味する。

[請求項2]

前記少なくとも1組の前記永久磁石において、

前記前方ブリッジの後端は、前記前方基準位置に対して、前記中心軸を中心とする中心角で $\theta a/12$ （ラジアン）分、後方に離れた位置に配置され、

前記後方ブリッジの前端は、前記後方基準位置に配置されている、請求項1に記載の回転電機。

[請求項3]

前記永久磁石は、2つで一組をなして1つの磁極を構成し、

各組の前記永久磁石は、前方に位置する前方磁石と、後方に位置する後方磁石と、を含むとともに、前記平面視において前記径方向の内側に向けて凸となるV字状に配置され、前記前方ブリッジは、前記前方磁石の前方に設けられ、

前記後方ブリッジは、前記後方磁石の後方に設けられ、

前記平面視において、前記前方仮想線は、前記中心軸と前記前方磁石の前端とを通過し、前記後方仮想線は、前記中心軸と前記後方磁石の後端とを通過する、請求項1または2に記載の回転電機。