

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6332011号
(P6332011)

(45) 発行日 平成30年5月30日 (2018.5.30)

(24) 登録日 平成30年5月11日 (2018.5.11)

(51) Int.Cl.

F I

H O 2 K 19/26 (2006.01)

H O 2 K 19/26 A

H O 2 K 16/02 (2006.01)

H O 2 K 16/02

H O 2 K 19/36 (2006.01)

H O 2 K 19/36 B

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2014-258759 (P2014-258759)
 (22) 出願日 平成26年12月22日 (2014.12.22)
 (65) 公開番号 特開2016-119791 (P2016-119791A)
 (43) 公開日 平成28年6月30日 (2016.6.30)
 審査請求日 平成29年5月31日 (2017.5.31)

(73) 特許権者 000002082
 スズキ株式会社
 静岡県浜松市南区高塚町300番地
 (74) 代理人 110001520
 特許業務法人日誠国際特許事務所
 (72) 発明者 青山 真大
 静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズ
 キ株式会社内

審査官 池田 貴俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アキシタルギャップ型の回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転軸を中心にして回転駆動する2つのロータと、前記回転軸の軸方向において前記ロータが両面に対面しているステータと、備えて、

前記ステータの前記回転軸の軸周りに配置される複数の電機子コイルと、

前記2つのロータのそれぞれの前記回転軸の軸周りに配置される複数の誘導コイルおよび複数の界磁コイルと、

前記誘導コイルで発生する誘導電流を整流して前記界磁コイルに供給する整流素子と、を有するアキシタルギャップ型の回転電機。

【請求項2】

前記電機子コイル、前記誘導コイルおよび前記界磁コイルは、前記回転軸の軸方向を中心として巻線が巻かれており、

前記巻線は、前記回転軸の周りにそれぞれ均等配置されている請求項1に記載のアキシタルギャップ型の回転電機。

【請求項3】

前記誘導コイルおよび前記界磁コイルの巻き付けで利用するスロット数 S / 前記電機子コイルを巻き付ける磁極数 P が $2/3$ の構成比となる請求項1または請求項2に記載のアキシタルギャップ型の回転電機。

【請求項4】

前記誘導コイルおよび前記界磁コイルは、前記回転軸と平行方向に延伸されているコア

材に巻き付けられており、

前記誘導コイルは、前記コア材の前記ステータに近接する位置に巻き付けられて、前記界磁コイルは、前記コア材の前記ステータから離隔する位置に巻き付けられている請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のアキシャルギャップ型の回転電機。

【請求項 5】

前記整流素子は、前記ロータと一体回転する前記誘導コイルおよび前記界磁コイルを含む閉回路内に組み込まれている請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載のアキシャルギャップ型の回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、巻線界磁を利用するダブルロータのアキシャルギャップ型の回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

回転電機は、ギャップを介してロータとステータとを対面させて、例えば、ステータ側に配置する電機子コイルで発生させる磁束をロータ側に鎖交させて磁気回路を形成することにより回転力（リラクタンストルク）を得るようになっており、その回転力を補助することを目的として、永久磁石や界磁巻線（電磁石）を配置してマグネットトルクを利用することも行われている。

20

【0003】

ところで、このような回転電機にあっては、電機子コイルで発生させる磁束に空間高調波成分が重畳していることから、その磁束を鎖交させる側に空間高調波磁束も鎖交することになる。

【0004】

しかしながら、永久磁石は、空間高調波磁束が鎖交すると、内部で発生する渦電流により発熱して保磁力が低下することによって磁力が不可逆に小さくなってしまい、という不都合がある。このため、例えば、特許文献 1 に記載のように空間高調波磁束が鎖交するロータ側に永久磁石を埋め込むタイプであると、その永久磁石の磁力が低下してしまう、という問題がある。

30

【0005】

この問題を解消するために、保磁力の高いジスプロシウム（Dy）やテルビウム（Tb）などの重希土類を多く添加した高価な磁石を用いる必要があってコスト高になってしまふ、という不都合がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2006 - 187091 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0007】

そこで、本発明は、永久磁石を用いることなく、電機子コイルで発生する空間高調波磁束を効果的に有効利用して、外部からの電力供給なく、大きなマグネットトルクを得ることのできる簡易な構造の回転電機を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決する回転電機の発明の一態様は、回転軸を中心にして回転駆動する 2 つのロータと、前記回転軸の軸方向において前記ロータが両面に対面しているステータと、備えるアキシャルギャップ型の回転電機であって、前記ステータの前記回転軸の軸周りに配置される複数の電機子コイルと、前記 2 つのロータのそれぞれの前記回転軸の軸周りに

50

配置される複数の誘導コイルおよび複数の界磁コイルと、前記誘導コイルで発生する誘導電流を整流して前記界磁コイルに供給する整流素子と、を有するものである。

【0009】

すなわち、回転軸の軸周りに電機子コイルを備えるステータのアキシャル方向の両面を2つのロータが挟み込むようにして対面し、その2つのロータのそれぞれが、回転軸周りに複数の誘導コイルおよび複数の界磁コイルを有して、誘導コイルで発生する誘導電流を整流素子で整流させて界磁コイルに供給する構造に構築されている。

【発明の効果】

【0010】

本発明の一態様によれば、ステータの両面側にアキシャル方向からロータを対面させるアキシャルギャップ型に構築されており、ステータの電機子コイルで発生する空間高調波磁束を両面側のロータに鎖交させることができる。

10

【0011】

したがって、ステータの両面側で、同様なマグネットトルクを発生させるように対称な構造のロータを簡易に構築することができる。また、永久磁石を用いることなく、空間高調波磁束を効果的に有効利用し、外部から電力を供給することなく、2つのロータの大きなマグネットトルクで回転軸を一体回転させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係るアキシャルギャップ型の回転電機を示す図であり、その概略全体構成を示す分解斜視図である。

20

【図2】図2は、ステータの構造を示す斜視図である。

【図3】図3は、ロータの構造を示す斜視図である。

【図4】図4は、誘導コイルと界磁コイルとをダイオードを介して接続する簡易な回路構成図である。

【図5A】図5Aは、電機子コイル、誘導コイルおよび界磁コイルのコア材への巻き付けを説明するモデル図である。

【図5B】図5Bは、電機子コイル、誘導コイルおよび界磁コイルで発生して鎖交する磁束を説明する磁力線図である。

【図6】図6は、回転座標系における3次の空間高調波磁束の磁束密度および磁束ベクトルを示す磁束特性図である。

30

【図7】図7は、補極のないラジアルギャップ型の場合における電機子コイル、誘導コイルおよび界磁コイルで発生して鎖交する磁束を説明する磁力線図である。

【図8】図8は、補極のあるラジアルギャップ型の場合における電機子コイル、誘導コイルおよび界磁コイルで発生して鎖交する磁束を説明する磁力線図である。

【図9】図9は、電機子コイルを集中巻きまたは分布巻きとして、ギャップを介して鎖交させた場合に回転角に応じて変化する磁束密度を示すグラフである。

【図10】図10は、図9に示す磁束に重畳されている空間高調波磁束の次数毎の磁束密度を示すグラフである。

【図11】図11は、IPMSMと、補極なしのラジアルギャップ型と、補極ありのラジアルギャップ型と、比較するために、それぞれで得られるトルク波形を示すグラフである。

40

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について詳細に説明する。図1～図11は本発明の一実施形態に係るアキシャルギャップ型の回転電機を示す図である。

【0014】

図1において、回転電機Mは、外形が概略円盤形状になるように形成されているステータ100と2つのロータ200、300とを備えており、後述するように、外部からロータ200、300にエネルギー入力する必要のない構造を有して、例えば、ハイブリッド

50

自動車や電気自動車に搭載するのに好適な性能を有している。

【0015】

この回転電機Mは、ステータ100の両面にギャップGを介して対面して挟み込む形態になるように、軸心を通るシャフト(回転軸)RSに2つのロータ200、300がそれぞれ取り付けられており、ステータ100がシャフトRSを回転自在に支持して、ロータ200、300がそのシャフトRSに固定されている。すなわち、回転電機Mは、シャフトRSの軸方向にステータ100を2つのロータ200、300で挟み込んで対面するアキシアルギャップダブルロータ型モータに構築されている。

【0016】

ステータ100は、図2に示すように、短尺な棒状で断面が概略台形となる複数のステータコア15を備えており、そのステータコア15に3相の交流電源(不図示)を接続される電機子コイル11がそれぞれ巻き付けられてシャフトRSの軸周りに位置するように配置されている。

10

【0017】

ステータコア15は、高透磁率の磁性材料で作製されており、シャフトRSと平行方向に延伸されて3相各相の電機子コイル11u、11v、11wがそれぞれ6極ずつ隙間なく並列状態になるように集中巻きされている。

【0018】

すなわち、電機子コイル11は、ステータコア15間の18箇所のステータスロット17を利用してシャフトRSと平行な中心線となる巻線コイルに形成することによりシャフトRS周りに18極(磁極数18)が均等配置されている。要するに、電機子コイル14は、回転軸の軸方向を中心として巻線が巻かれており、その回転軸の周りにそれぞれ均等配置されている。

20

【0019】

このステータコア15は、図1に示すように、ロータ200、300との間に介在するように挟み込まれている2枚の円盤形状の保持盤16に両端側を保持されており、保持盤16は、開口する保持穴16a内にステータコア15の両端部15aを差し込んで端面15bを露出させる状態で保持するようになっている。なお、保持盤16は、高品質な磁気回路の形成を妨げないように非磁性体材料で作製されており、中心部に取り付けられている不図示のベアリングによりシャフトRSを貫通させて回転自在に支持している。

30

【0020】

これにより、ステータコア15は、その端部15aの端面15bがロータ200、300の後述するロータコア(コア材)25の端部25aの端面25bにギャップGを介して対面するようにステータ100に配置されている。ステータ100は、電機子コイル11に交流電力を通电されることにより磁束を発生させ、その磁束をステータコア15の端面15bからロータ200、300のロータコア25の端面25bに鎖交させることができる。

【0021】

このため、回転電機Mでは、ステータコア15の両側に位置するロータコア25に鎖交させる磁束を後述のヨーク26で迂回させることにより閉じた磁気回路を形成することができ、その磁気回路を形成する磁束の磁路を最短にしようとするリラクタンストルク(主回転力)により、ステータ100を挟み込む2つのロータ200、300をそれぞれ相対回転させることができる。

40

【0022】

このことから、回転電機Mは、共通のシャフトRSに固定されているロータ200、300を同等の回転力で一体回転させる必要があり、そのロータ200、300はステータ100の両面側で対称となる構造に構築されている。

【0023】

この結果、回転電機Mは、ステータ100の両面側で相対回転するロータ200、300と軸心を一致させつつ一体回転するシャフトRSから通電入力する電氣的エネルギーを

50

機械的エネルギーとして出力することができる。

【 0 0 2 4 】

このとき、回転電機 M では、ステータコア 1 5 からロータコア 2 5 に鎖交させる磁束に空間高調波成分が重畳している。このため、ロータ 2 0 0、3 0 0 側でも、ステータ 1 0 0 側から鎖交される磁束の空間高調波成分の磁束密度の変化を利用して、内蔵するコイルに誘導電流を発生させ電磁力を得ることができる。

【 0 0 2 5 】

詳細には、ステータ 1 0 0 の電機子コイル 1 1 が生成する磁束は、通電する交流電力の基本周波数で変動する主磁束に空間高調波成分が重畳して、ロータ 2 0 0、3 0 0 (ロータコア 2 5) に鎖交するようになっている。

10

【 0 0 2 6 】

このため、ロータ 2 0 0、3 0 0 は、主磁束の基本周波数と異なる周期で時間的に変化する空間高調波磁束がロータコア 2 5 に鎖交することになり、ロータコア 2 5 にコイルを設置することにより、別途、外部電源等に接続して電力を入力することなく、効率よく誘導電流を発生させることができる。この結果、鉄損の原因となる空間高調波磁束は自己励磁するためのエネルギーとして回収することができる。

【 0 0 2 7 】

このことから、回転電機 M は、図 3 に示すように、ロータコア 2 5 の隣接する側面間に形成される空間をロータスロット 2 7 として利用して、そのロータコア 2 5 の長さ方向に 2 段の巻線を巻き付けることにより誘導コイル 2 1 と界磁コイル 2 2 とを配置している。

20

【 0 0 2 8 】

具体的に、ロータ 2 0 0、3 0 0 は、短尺な棒状で断面が概略台形となる複数のロータコア 2 5 を備えており、このロータコア 2 5 に外部電源に接続されることのない誘導コイル 2 1 と界磁コイル 2 2 とが一緒に巻き付けられてシャフト R S の軸周りに位置するように配置されている。

【 0 0 2 9 】

ロータコア 2 5 は、高透磁率の磁性材料で作製されており、シャフト R S と平行方向に延伸されて、共通のコア材として上下 2 段になるように誘導コイル 2 1 と界磁コイル 2 2 とがそれぞれ隙間なく集中巻きされて並列されている。

【 0 0 3 0 】

30

すなわち、誘導コイル 2 1 と界磁コイル 2 2 は、ロータコア 2 5 間の 1 2 箇所のロータスロット 2 7 を利用してシャフト R S と平行な中心線となる巻線コイルに形成することによりシャフト R S 周りに 1 2 極 (スロット数 1 2) が均等配置されている。要するに、誘導コイル 2 1 と界磁コイル 2 2 は、回転軸の軸方向を中心として巻線が巻かれており、その回転軸の周りにそれぞれ均等配置されている。

【 0 0 3 1 】

よって、回転電機 M は、ロータ 2 0 0、3 0 0 側の誘導コイル 2 1 および界磁コイル 2 2 のスロット数 $S (12)$ とステータ 1 0 0 側の電機子コイル 1 1 の磁極数 $P (18)$ との構成比 S / P が $2 / 3$ となるように形成されている。

【 0 0 3 2 】

40

また、ロータコア 2 5 は、ステータコア 1 5 の端面 1 5 b にギャップ G を介して端面 2 5 b を対面させる端部 2 5 a から離隔する側を円盤形状のヨーク 2 6 の一面側に一体形成されている。なお、ヨーク 2 6 は、中心部にシャフト R S を貫通させて一体になるように取り付けられている。

【 0 0 3 3 】

この構造により、ステータコア 1 5 の端面 1 5 b 側からロータコア 2 5 の端面 2 5 b に鎖交する磁束は、その端面 2 5 b の背面側のヨーク 2 6 を迂回して別個のロータコア 2 5 の端面 2 5 b に対面するステータコア 1 5 の端面 1 5 b に再度鎖交することにより閉じた磁気回路を形成することができる。

【 0 0 3 4 】

50

そして、誘導コイル 2 1 は、ロータコア 2 5 のヨーク 2 6 から離隔してステータコア 1 5 からの空間高調波磁束を効果的に鎖交させることのできる端部 2 5 a 側に配置されており、界磁コイル 2 2 は、ロータコア 2 5 のヨーク 2 6 に近接する接続部 2 5 c 側に配置されている。

【 0 0 3 5 】

これにより、回転電機 M は、小さなギャップ G を介してステータコア 1 5 の端面 1 5 b からロータコア 2 5 の端面 2 5 b に磁束を高密度に鎖交させることができ、その鎖交する磁束に含まれる空間高調波成分（磁束密度の変化）により誘導コイル 2 1 に誘導電流を発生させて界磁コイル 2 2 に供給することができる。

【 0 0 3 6 】

この界磁コイル 2 2 は、誘導コイル 2 1 から受け取った誘導電流を界磁電流として自己励磁することにより、磁束（電磁力）を発生することができ、その磁束をロータコア 2 5 の端面 2 5 b からステータコア 1 5 の端面 1 5 b に鎖交させることができる。

【 0 0 3 7 】

このため、回転電機 M は、主回転力を発生する電機子コイル 1 1 の磁束とは別にマグネットトルク（補助回転力）を得ることができ、ロータ 2 0 0、3 0 0 の回転駆動を補助することができる。

【 0 0 3 8 】

このとき、回転電機 M は、誘導コイル 2 1 で発生させる交流の誘導電流を直流の界磁電流にして界磁コイル 2 2 に供給することにより、ロータコア 2 5 を電磁石として機能させて電磁力を発生させることから、その交流の誘導電流を有効利用するために、図 4 に示す閉回路 2 9 内に誘導コイル 2 1 と界磁コイル 2 2 がそれぞれ組み込まれている。

【 0 0 3 9 】

具体的に、図 4 に示すように、誘導コイル 2 1 は、ロータコア 2 5 に同一方向に巻き付ける集中巻きにされて、同一の周回方向のまま 1 つ（1 極）おきに直列接続されている。回転電機 M では、それぞれ直列接続されている誘導コイル 2 1 a 1 ~ 2 1 a 6 および誘導コイル 2 1 b 1 ~ 2 1 b 6 の 2 組の誘導回路 2 1 A、2 1 B の一端側がダイオード（整流素子）2 3 A、2 3 B を介して接続されて並列接続されている。なお、誘導コイル 2 1 を 1 極おきに直列接続する場合を一例として説明するが、これに限らず、周方向に 2 分割してそれぞれを直列接続してもよい。

【 0 0 4 0 】

界磁コイル 2 2 は、ロータコア 2 5 に集中巻きされて、隣同士が逆向きの周回巻線になるようにロータコア 2 5 の端部 2 5 a 側と接続部 2 5 c 側とが交互に接続される全直列接続にされている。この回転電機 M では、全直列接続されている、界磁コイル 2 2 a 1 ~ 2 2 a 6 の界磁回路 2 2 N がロータコア 2 5 の端部 2 5 a 側を N 極として機能させるように、また、界磁コイル 2 2 b 1 ~ 2 2 b 6 の界磁回路 2 2 S がロータコア 2 5 の端部 2 5 a 側を S 極として機能させるように、誘導回路 2 1 A およびダイオード 2 3 A と、誘導回路 2 1 B およびダイオード 2 3 B とにそれぞれ並列接続されている。

【 0 0 4 1 】

すなわち、誘導コイル 2 1 および界磁コイル 2 2 は、界磁回路 2 2 N、2 2 S および誘導回路 2 1 A、2 1 B として、外部の電源等の回路に接続されることのない閉回路 2 9 内にダイオード 2 3 A、2 3 B と共に組み込まれている。

【 0 0 4 2 】

この回路構成により、回転電機 M は、誘導コイル 2 1 に発生させる交流の誘導電流を、ダイオード 2 3 A、2 3 B を介して半波整流させて直流界磁電流に調整した後に合流させて、それぞれで直列接続させている界磁コイル 2 2 に供給している。このため、この回転電機 M では、界磁コイル 2 2 毎に合流させた直流界磁電流により効果的に自己励磁させて大きな磁束（電磁力）を発生させることができ、界磁回路 2 2 N、2 2 S をそれぞれステータ 1 0 0 のステータコア 1 5 に N 極または S 極を対面させる電磁石として機能させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

また、ダイオード 2 3 A、2 3 B は、誘導コイル 2 1 や界磁コイル 2 2 を多極化させる場合でも、そのうちの界磁コイル 2 2 を全直列させることで使用数を抑えている。このダイオード 2 3 A、2 3 B は、大量使用を回避するために、一般的な Hブリッジ型の全波整流回路を形成するのではなく、それぞれ 1 8 0 度位相差になるように結線して、一方の誘導電流を反転させて半波整流出力する中性点クランプ型の半波整流回路（整流素子）を形成している。

【 0 0 4 4 】

なお、回転電機 M は、図 1 に示すように、それぞれロータ 2 0 0、3 0 0 のステータ 1 0 0 に対する背面側に固定されている絶縁材料からなるエンドプレート 3 0 と一体回転するようにケース 3 2 および回路基板 3 3 が取り付けられている。回路基板 3 3 は、誘導コイル 2 1 および界磁コイル 2 2 を接続する不図示の結線パターンがコンパクトに形成されており、ケース 3 2 内に収納されているダイオード 2 3 A、2 3 B のピン電極 2 3 c をその結線パターンに接続することにより閉回路 2 9（図 4 に図示）を形成してロータ 2 0 0、3 0 0 と一体回転するようになっている。

10

【 0 0 4 5 】

エンドプレート 3 0 は、ロータ 2 0 0、3 0 0 のヨーク 2 6 と同一径の円盤形状に形成されており、ヨーク 2 6 のロータコア 2 5 に対する背面側に対面接触させる状態でシャフト R S に固定されているとともに、そのヨーク 2 6 の背面側に形成されている切欠き 2 6 a に固定ツメ 3 0 a を嵌め込んで相対回転不能にしてロータ 2 0 0、3 0 0 と一体回転させるようになっている。

20

【 0 0 4 6 】

回路基板 3 3 は、エンドプレート 3 0 と略同一径の円盤形状に形成されてロータ 2 0 0、3 0 0 のヨーク 2 6 に対する背面側に密接する状態で固定されており、外部に引き出されているダイオード 2 3 A、2 3 B のピン電極 3 2 a を屈曲させる状態にしてケース 3 2 の一面側が密接する状態で固定されている。

【 0 0 4 7 】

ここで、誘導コイル 2 1 および界磁コイル 2 2 は、ステータコア 1 5 の端面 1 5 b からロータコア 2 5 の端面 2 5 b に鎖交する 3 次の空間高調波磁束を有効利用するように、磁界解析を行って空間高調波磁路を確認した上で、効率よく誘導電流を発生させることができるように設置されている。具体的には、上述するように、ロータ 2 0 0、3 0 0 のスロット数 S とステータ 1 0 0 の磁極数 P との構成比 S / P を $2 / 3$ とすることにより、回転座標系における 3 f 次の空間高調波磁束（ $f = 1、2、3 \cdots$ ）を効率よく利用可能な構造に形成されている。

30

【 0 0 4 8 】

詳細には、例えば、回転座標系における高次の空間高調波磁束では、ロータコア 2 5 の端面 2 5 b の表面付近でのみ振動する波形に過ぎないことから誘導コイル 2 1 に効率よく誘導電流を発生させることができない。これに対して、回転座標系における 3 次の空間高調波磁束を回収対象とすると、電機子コイル 1 1 に入力する基本周波数よりも周波数が高いために短周期で脈動して有効に誘導コイル 2 1 に誘導電流を発生させることができる。このため、基本周波数の磁束に重畳する空間高調波成分の損失エネルギーを効率よく回収して回転することができる。

40

【 0 0 4 9 】

加えて、上記と同様に磁束密度分布の磁界解析をすると分かるように、ロータティース突極数 P とステータスロット数 S の比に応じて、機械角 3 6 0 度内の周方向に磁束密度分布も分散化されるため、ステータ 1 0 0 に働く電磁力分布にも偏在が認められることになる。

【 0 0 5 0 】

このため、回転電機 M では、ロータ 2 0 0、3 0 0 のスロット数 S とステータ 1 0 0 の磁極数 P との構成比 S / P を $2 / 3$ とする構造を採用することにより、機械角 3 6 0 度の

50

全周に亘って均等な密度分布となる磁束を鎖交させることができ、ロータ 200、300 をステータ 100 に対面させつつ高品質に相对回転させることができる。

【0051】

これにより、回転電機 M では、空間高調波磁束を損失とすることなく有効利用して、損失エネルギーを効率よく回収することができ、電磁振動を大幅に低減して静寂性高く回転させることができる。

【0052】

また、誘導コイル 21 や界磁コイル 22 は、集中巻構造を採用することにより、複数スロットに亘って周方向に巻線をする必要がなく、全体的に小型化することができる。また、誘導コイル 21 では、回転座標系における 1 次側での銅損損失を低減しつつ、低次である 3 次の空間高調波磁束の鎖交による誘導電流を効率よく発生させて、回収可能な損失エネルギーを増加させることができる。

10

【0053】

さらに、誘導コイル 21 は、回転座標系における 3 次の空間高調波磁束を利用することにより、回転座標系における 2 次の空間高調波磁束を利用する場合よりも、効果的に誘導電流を発生させることができる。詳細には、誘導電流は 2 次よりも 3 次の空間高調波磁束を利用する方が磁束の時間変化を大きくして大電流にすることができ、効率よく回収することができる。

【0054】

このように、回転電機 M は、図 5 A に示すように、ステータ 100 の電機子コイル 11 を巻き付けるステータコア 15 の両端面 15b にギャップ G を介してロータ 200、300 のそれぞれのロータコア 25 の端面 25b を対面させており、それぞれのロータコア 25 の端部 25a 側に誘導コイル 21 を、また、それぞれのロータコア 25 のヨーク 26 (接続部 25c) 側に界磁コイル 22 を巻き付けている。

20

【0055】

これによって、回転電機 M は、図 5 B に示すように、電機子コイル 11 に通電して発生させる磁束 MF をステータコア 15 と両側のロータコア 25 との間を鎖交させてヨーク 26 を迂回させる磁気回路を形成することができ、ステータ 100 に対して 2 つのロータ 200、300 を相对回転させることができる。また、これに加えて、その磁束 MF に重畳する空間高調波磁束 HF もステータコア 15 から両側のロータコア 25 に鎖交させてそれぞれの端部 25a 側の誘導コイル 21 で効率よく回収させて誘導電流を発生させることができ、その誘導電流をダイオード 23A、23B で整流した界磁電流を界磁コイル 22 に供給することができる。このため、例えば、図 6 において、ステータコア 15 と両側の 2 つのロータコア 25 との間で鎖交させる 3 次の空間高調波磁束 HF の磁束密度を磁束ベクトル V で示すように、回転電機 M は、ステータコア 15 と両側の 2 つのロータコア 25 との間で空間高調波磁束 HF を高磁束密度に鎖交させて大きなマグネットトルクでシャフト RS を回転させることができる。

30

【0056】

これに対して、例えば、径方向にステータとロータとをギャップを介して対面させるラジアルギャップ型の回転電機の場合には、ステータを間に挟むように直径の異なるインナロータとアウトロータとを配置することになる。この構造の場合でも、ロータのそれぞれに対称構造となる巻線コイルを配置したいところであるが、ラジアル方向に対面させる面積がインナロータとアウトロータとで大きく異なってしまうと回転トルクに大きな差異が生じてしまう。

40

【0057】

このことから、ラジアルギャップ型の回転電機においては、構造上、アキシアルギャップ式よりも空間高調波磁束の鎖交する面積を大きく確保することができず、電機子コイル 11 を集中巻きにして空間高調波磁束の発生量を多くしても有効活用することができない、という不都合がある。反対に、アキシアルギャップ型の回転電機 M では、構造上、ラジアルギャップ型よりも漏れ磁束が多いが、その漏れを有効に回収可能な構造であるので、

50

空間高調波磁束を有効に鎖交させて活用することができる。

【 0 0 5 8 】

このため、1つのロータを用いるラジアルギャップ型の回転電機の場合には、図7に示すように、電機子コイル31を巻き付けるステータコア35の片側の端面35bにギャップGを介して1つのロータコア45の端面45bを対面させる構造になる。この結果、この構造では、電機子コイル31に通電して発生させる磁束MFに重畳する空間高調波磁束HFを効率よく回収することができず、大きなマグネットトルクを発生させることができないとともに、ヨーク46側での鉄損がアキシアルギャップダブルロータ型の回転電機Mよりも増加してしまう。

【 0 0 5 9 】

また、図8に示すように、ラジアルギャップ型の回転電機でも、より多くの空間高調波磁束HFを回収するために、ロータコア45間のロータスロット47内に回収用の補極コア48を配置して誘導コイル49を巻き付けることも考えられる。しかしながら、この構造でも、ステータコア35の片側に漏れる空間高調波磁束HFを回収できるだけであることから、得られるマグネットトルクは回転電機Mに及ばない。また、この構造では、ロータコア45間に磁束を鎖交させる補極コア48を配置することから、ロータ側の突極比が小さくなってしまい、という相反する不都合もある。

【 0 0 6 0 】

さらに、回転電機Mは、ステータ100やロータ200、300に、巻線コイルを集中巻きにした電機子コイル11、誘導コイル21および界磁コイル22をそれぞれ配置するが、集中巻きに代えて、分布巻きにすることもできる。しかしながら、ステータコア15の端面15bとロータコア25の端面25bとの間で鎖交する磁束密度は、電機子コイル11、誘導コイル21および界磁コイル22を集中巻きまたは分布巻きした場合で比較すると、図9に示すような磁束密度波形となる。この磁束密度波形を電磁界解析すると、図10に示すように、集中巻きの場合には静止座標系で2次の(回転座標系で3次となる)空間高調波磁束を分布巻きの場合よりも多く含んでいることが分かる。この結果、回転電機Mでは、集中巻きを採用することにより、分布巻きの場合よりもロータコア25の端面25bの深くに入り込む多くの空間高調波磁束を誘導コイル21に鎖交させて誘導電流(界磁電流)を界磁コイル22に供給することができ、集中巻きを選択する方が有利なことが分かる。

【 0 0 6 1 】

このことから、図11にトルク波形で示すように、回転電機Mは、2つのロータ200、300でアキシアル方向に挟まれているステータ100の電機子コイル11への交流電流の供給を開始すると、このアキシアルギャップダブルロータ型の場合には、図中に実線で示すように高トルクでシャフトRSを回転させることができる。これに対して、図11中に一点鎖線で示す図7のラジアルギャップ型で補極なしの構造や、図11中に二点鎖線で示す図8のラジアルギャップ型で補極ありの構造では、アキシアルギャップダブルロータ型の回転電機Mのように大きなトルクを得ることができていない。また、図11中に点線で示すように、高トルクを得ることを目的として、永久磁石をロータ内に埋め込んでマグネットトルクを利用するIPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)の構造でも、アキシアルギャップダブルロータ型の回転電機Mのように大きなトルクでシャフトRSを回転駆動させることができていないことが分かる。

【 0 0 6 2 】

このように、本実施形態においては、シャフトRS周りに巻き方向の平行な電機子コイル11、誘導コイル21および界磁コイル22を、アキシアルギャップ式のダブルロータ型に構築されるステータ100およびロータ200、300のそれぞれに配置するので、電機子コイル11で発生させる主磁束に重畳する空間高調波磁束を、両側の誘導コイル21に効果的に鎖交させることができる。そして、これにより誘導コイル21に発生した誘導電流を界磁電流として、界磁コイル22に効率よく供給することができる。

【 0 0 6 3 】

したがって、永久磁石を用いることなく（空間高調波磁束による磁力低下を発生させることなく）、かつ、外部から電力を供給することなく、空間高調波磁束を効果的に有効利用して、リラクタンストルクと共にマグネットトルクをロータ200、300のそれぞれに均等に作用させて大きな回転力で回転駆動させることができる。

【0064】

ここで、本実施形態の他の態様としては、ステータコア15やロータコア25を電磁鋼板の積層構造で形成すること限定されず、例えば、鉄粉などの磁性を有する粒子の表面を絶縁被覆処理した軟磁性複合粉材（Soft Magnetic Composites）をさらに鉄粉圧縮成形および熱処理製造した圧粉磁心、所謂、SMCコアを採用してもよく、また、アルミ導体を採用してもよい。

10

【0065】

また、回転電機Mは、ロータ200、300に永久磁石を追加して配置するハイブリッドタイプに構築してもよく、マグネットトルクをハイブリッド界磁型で得られるようにしてもよい。

さらに、整流素子としては、ダイオード23A、23Bだけでなく、他のスイッチング素子などの半導体素子を採用してもよく、ケース32内に収納するタイプに限らず、ロータ200、300の内部に実装するようにしてもよい。

この回転電機Mは、車載用に限定されるものではなく、例えば、風力発電や、工作機械などの駆動源として好適に採用することができる。

20

【0066】

本発明の実施形態を開示したが、当業者によっては本発明の範囲を逸脱することなく変更が加えられることは明白である。すべてのこのような修正及び等価物が次の請求項に含まれることが意図されている。

【符号の説明】

【0067】

11、11u～11w 電機子コイル（巻線コイル）

15 ステータコア

16 保持盤

17 ステータスロット

21、21a1～21a6、21b1～21b6

誘導コイル（巻線コイル）

30

22、22a1～22a6、22b1～22b6

界磁コイル（巻線コイル）

23A、23B ダイオード（整流素子）

25 ロータコア（コア材）

26 ヨーク

27 ロータスロット

29 閉回路

30 エンドプレート

33 回路基板

32 ケース

100 ステータ

40

200、300 ロータ

G ギャップ

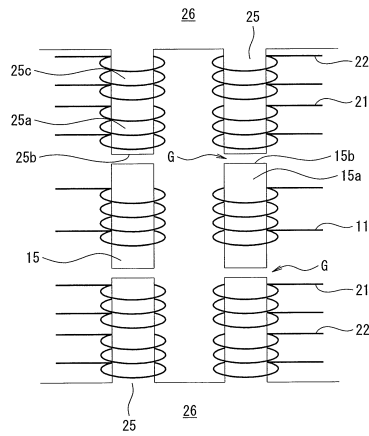
H F 空間高調波磁束

M 回転電機

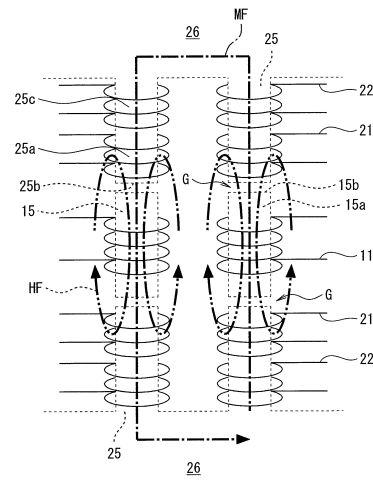
M F 磁束

R S シャフト（回転軸）

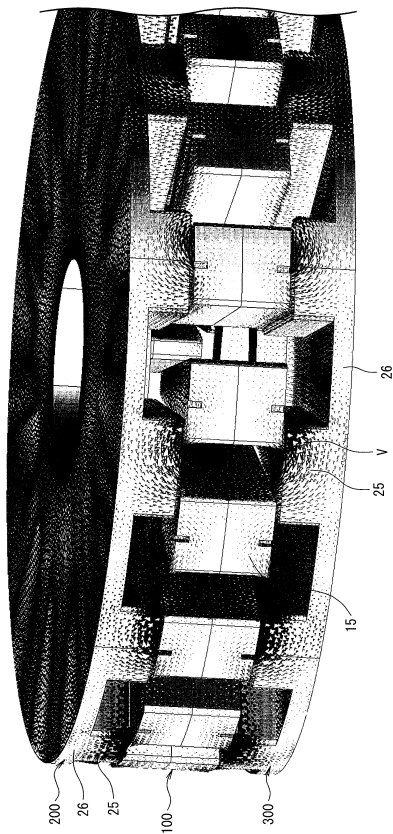
【図 5 A】



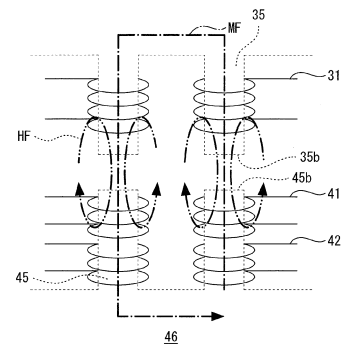
【図 5 B】



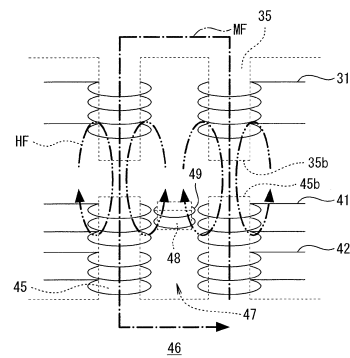
【図 6】



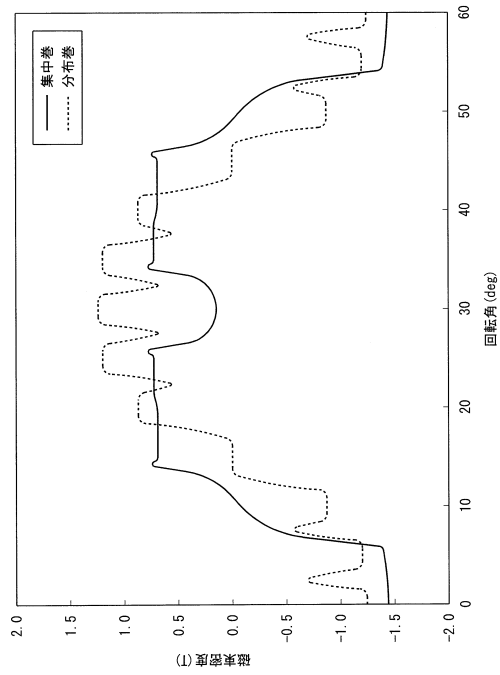
【図 7】



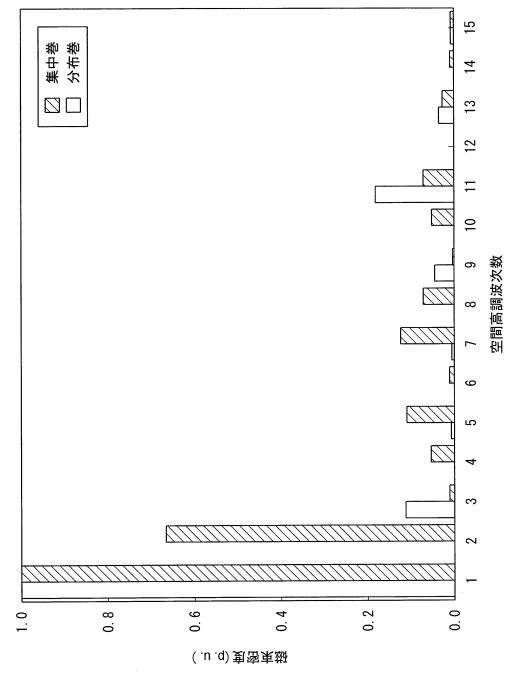
【図 8】



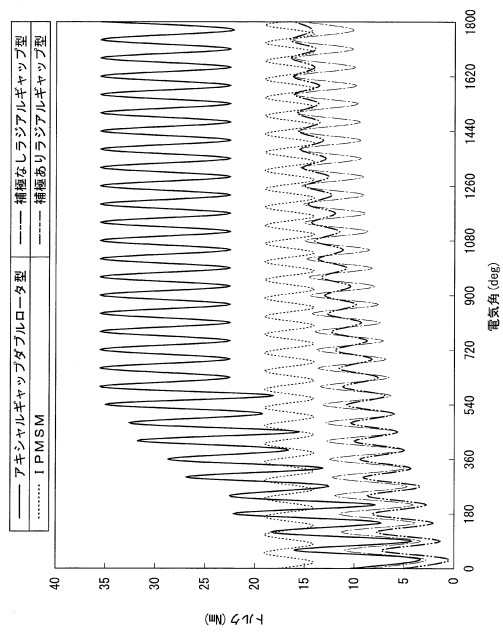
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 4 - 1 8 3 6 3 6 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 3 8 9 1 8 (J P , A)
中国実用新案第 2 0 3 9 6 7 9 3 9 (C N , U)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 K 1 9 / 2 6
H 0 2 K 1 6 / 0 2
H 0 2 K 1 9 / 3 6