

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7615847号
(P7615847)

(45)発行日 令和7年1月17日(2025.1.17)

(24)登録日 令和7年1月8日(2025.1.8)

(51)国際特許分類

F I

H O 2 K 1/2706(2022.01)

H O 2 K 1/2706

請求項の数 7 (全13頁)

(21)出願番号	特願2021-64255(P2021-64255)	(73)特許権者	000004260
(22)出願日	令和3年4月5日(2021.4.5)		株式会社デンソー
(65)公開番号	特開2022-159829(P2022-159829 A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43)公開日	令和4年10月18日(2022.10.18)	(74)代理人	100105957
審査請求日	令和5年10月2日(2023.10.2)		弁理士 恩田 誠
		(74)代理人	100068755
			弁理士 恩田 博宣
		(72)発明者	内田 智裕
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式
			会社デンソー内
		(72)発明者	平松 律郎
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式
			会社デンソー内
		審査官	若林 治男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロータ及び回転電機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロータコア（22）と、
前記ロータコアに埋め込まれている永久磁石（23）と、
を備えるロータ（20）であって、
周方向において複数の磁極部（26）を備え、
前記複数の磁極部の各々は、前記永久磁石と、前記ロータコアにおける前記永久磁石よりも径方向外側の部位である外側コア部（25）と、を有し、
前記外側コア部の径方向の外側面（25a）は、軸方向から見て、前記磁極部の磁極中心（Ls）からその周方向両側に向かって前記ロータの回転軸線（L1）に近づく円弧状をなし、
前記ロータコアの径は、前記磁極中心において最大であり、前記回転軸線を中心とする前記ロータコアの最大径と同径の円を基準円（Ca）とし、
前記ロータコアの外周面は、周方向に隣り合う円弧状の前記外側面同士の交点において、前記基準円から内径側に最も変位する最大変位部（31）を有し、
前記最大変位部における前記基準円からの変位量（Lh）は、前記永久磁石を軸方向から見たときの前記永久磁石の最大厚さ（Wm）よりも小さくなり、
前記変位量と前記永久磁石の前記最大厚さとの比（Lh／Wm）が、
0.33 ≤（Lh／Wm） ≤ 0.47
を満たすように構成されている、ロータ。

【請求項 2】

前記永久磁石は、径方向内側に凸の折り返し形状をなしている、
請求項 1 に記載のロータ。

【請求項 3】

前記ロータコアの軸方向端面（22c，22d）は、平坦面をなしており、
前記永久磁石は、前記ロータコアの軸方向端面から少なくとも一部が突出する突出部（23x，23y）を有して構成された、
請求項 1 または請求項 2 に記載のロータ。

【請求項 4】

ステータ（10）と、
前記ステータの内径側に配置される、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のロータ（20）と、を備えている、回転電機。

10

【請求項 5】

前記変位量は、前記ステータの内径と前記基準円の径との差であるエアギャップ（Lg）以上に設定されている、
請求項 4 に記載の回転電機。

【請求項 6】

前記変位量と前記エアギャップとの比（Lh/Lg）が、
 $1.67 \leq (Lh/Lg) \leq 2.33$
を満たすように構成されている、
請求項 5 に記載の回転電機。

20

【請求項 7】

前記ロータにおける前記磁極部の数が 8 極であり、
前記ステータにおける巻線可能なスロット数が 12 個である、
請求項 4 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、埋込磁石型のロータ及び回転電機に関するものである。

【背景技術】

30

【0002】

例えば特許文献 1 には、埋込磁石型、いわゆる IPM 型のロータを用いる回転電機が記載されている。埋込磁石型のロータは、永久磁石がロータコアの内部に埋め込まれる態様をなしている。これにより、永久磁石によるマグネットトルクに加えて、永久磁石より径方向外側に位置する外側コア部にてリラクタンストルクを得ることが可能となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第 4898201 号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明者らは、上記のような埋込磁石型のロータにおいて、コギングトルクを低減可能にした構成を検討していた。本発明の目的は、埋込磁石型のロータ及び回転電機においてコギングトルクを低減することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するロータは、ロータコア（22）と、前記ロータコアに埋め込まれている永久磁石（23）と、を備えるロータ（20）であって、周方向において複数の磁極部（26）を備え、前記複数の磁極部の各々は、前記永久磁石と、前記ロータコアにおけ

50

る前記永久磁石よりも径方向外側の部位である外側コア部（２５）と、を有し、前記外側コア部の径方向の外側面（２５ａ）は、軸方向から見て、前記磁極部の磁極中心（Ｌｓ）からその周方向両側に向かって前記ロータの回転軸線（Ｌ１）に近づく円弧状をなし、前記ロータコアの径は、前記磁極中心において最大であり、前記回転軸線を中心とする前記ロータコアの最大径と同径の円を基準円（Ｃａ）とし、前記ロータコアの外周面は、周方向に隣り合う円弧状の前記外側面同士との交点において、前記基準円から内径側に最も変位する最大変位部（３１）を有し、前記最大変位部における前記基準円からの変位量（Ｌｈ）は、前記永久磁石を軸方向から見たときの前記永久磁石の最大厚さ（Ｗｍ）よりも小さい。

【０００６】

上記課題を解決する回転電機は、ステータ（１０）と、前記ステータの内径側に配置される上記のロータ（２０）と、を備えている。

上記のロータ及び回転電機によれば、外側コア部の径方向の外側面が、磁極部の磁極中心からその周方向両側に向かってロータの回転軸線に近づく円弧状をなすため、磁極の切り替わりを滑らかになる。これにより、コギングトルクを小さく抑えることが可能となる。さらに、この構成によれば、最大変位部における基準円からの変位量が永久磁石の最大厚さよりも大きい場合に比べて、コギングトルクを低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【０００７】

【図１】一実施形態における埋込磁石型のロータを有する回転電機の構成図。

【図２】同形態におけるロータの構成図。

【図３】同形態におけるロータの断面図。

【図４】同形態におけるロータの斜視図。

【図５】同形態におけるロータの特性を説明するための説明図。

【図６】同形態におけるロータの特性を説明するための説明図。

【図７】同形態におけるロータの特性を説明するための説明図。

【図８】同形態における回転電機の特性を説明するための説明図。

【発明を実施するための形態】

【０００８】

以下、ロータ及び回転電機の一実施形態について説明する。

図１に示す本実施形態の回転電機Ｍは、埋込磁石型のブラシレスモータである。回転電機Ｍは、略円環状のステータ１０と、ステータ１０の径方向内側空間にて回転可能に配置される略円柱状のロータ２０とを備えている。

【０００９】

（ステータ１０の構成）

ステータ１０は、略円環状のステータコア１１を備えている。ステータコア１１は、磁性金属材料にて構成されている。ステータコア１１は、例えば複数枚の電磁鋼板を軸方向に積層して構成されている。ステータコア１１は、径方向内側に向かって延び周方向等間隔に配置される本実施形態では１２個のティース１２を有している。すなわち、ステータ１０において、巻線可能なスロット数は１２個である。各ティース１２は、互いに同一形状をなしている。ティース１２は、例えば、先端部である径方向内側端部が略Ｔ型をなしている。ティース１２の先端面１２ａは、ロータ２０の外周面に倣った円弧状をなしている。

【００１０】

ティース１２には、巻線１３が集中巻きにて巻装されている。巻線１３は、例えば、３相結線がなされ、図１に一例を示すようにそれぞれＵ相、Ｖ相、Ｗ相として機能する。そして、巻線１３に対して電源供給がなされると、ロータ２０を回転駆動するための回転磁界がステータ１０にて生じるようになっている。このようなステータ１０は、ステータコア１１の外周面がハウジング１４の内周面に対して固定されている。

【００１１】

10

20

30

40

50

(ロータ 20 の構成)

ロータ 20 は、回転軸 21 と、回転軸 21 が中心部に嵌挿される略円柱状のロータコア 22 を備えている。また、ロータ 20 は、ロータコア 22 の内部に埋め込まれる態様をなす本実施形態では 8 個の永久磁石 23 を備えている。ロータコア 22 は、磁性金属材料にて構成されている。ロータコア 22 は、例えば複数枚の電磁鋼板を軸方向に積層して構成されている。ロータ 20 は、回転軸 21 がハウジング 14 に設けられる図示略の軸受に支持されることで、ステータ 10 に対して回転可能に配置されている。

【0012】

ロータコア 22 は、永久磁石 23 を収容するための磁石収容孔 24 を有している。磁石収容孔 24 は、ロータコア 22 の周方向等間隔に本実施形態では 8 個設けられている。各磁石収容孔 24 は、径方向内側に向かって凸の略 V 字の折返し形状をなしている。また、各磁石収容孔 24 は、互いに同一形状をなしている。また、磁石収容孔 24 は、ロータコア 22 の軸方向全体に亘り設けられている。

【0013】

本実施形態の永久磁石 23 は、例えば、磁石粉体を樹脂と混合した磁石材料を成型固化してなるボンド磁石よりなる。すなわち、永久磁石 23 は、ロータコア 22 の磁石収容孔 24 を成型型とし、固化前の磁石材料が射出成形により磁石収容孔 24 内に隙間なく充填され、充填後に磁石収容孔 24 内で固化されて構成されている。したがって、磁石収容孔 24 の孔形状は、永久磁石 23 の外形形状となる。なお、本実施形態の永久磁石 23 に用いられる磁石粉体としては、例えばサマリウム鉄窒素 (SmFeN) 系磁石が用いられるが、他の希土類磁石等を用いてもよい。

【0014】

図 1 に示すように、ロータコア 22 における永久磁石 23 より径方向外側部位、すなわちステータ 10 との対向部位は、リラクタンストルクを得るための外側コア部 25 として機能する。ロータ 20 は、永久磁石 23 及び外側コア部 25 を含んでなる磁極部 26 を複数有している。磁極部 26 の数は永久磁石 23 の数と同数であり、本実施形態では 8 個である。つまり、ロータ 20 の極数は 8 極である。複数の磁極部 26 は、互いに同一形状をなしている。また、複数の磁極部 26 は、周方向において等間隔に配置されている。各磁極部 26 は、図 1 に一例を示すように、それぞれ N 極、S 極として機能する。このような磁極部 26 にてマグネットトルク及びリラクタンストルクの両者が得られるロータ 20 として構成されている。

【0015】

(磁極部 26 の構成)

図 2 に示すように、各磁極部 26 は、周方向における磁極中心 L_s を有している。各磁極中心 L_s は、周方向において互いに等間隔に設定されている。本実施形態では、8 個の磁極部 26 における各磁極中心 L_s は、互いに周方向に 45° 間隔に設定されている。各磁極部 26 は、周方向において、磁極境界線 L_d を境として隣の磁極部 26 と隣り合っている。なお、各磁極境界線 L_d は、ロータ 20 の回転軸線 L_1 に直交する。また、8 個の磁極境界線 L_d は、周方向において 45° 間隔に設定されている。また、隣接の磁極境界線 L_d 間の角度、すなわち、磁極部 26 の磁極開角度 θ_m は、電気角で 180° である。

【0016】

ロータコア 22 の外径、すなわち、回転軸線 L_1 からロータコア 22 の外周面までの距離は、周方向において一様ではない。具体的には、ロータコア 22 の外径は、各磁極中心 L_s で最大であり、各磁極境界線 L_d で最小である。図 1 及び図 2 では、ロータコア 22 の最大径と同径の円を基準円 C_a として図示している。また、図 2 では、基準円 C_a の直径を D とし、基準円 C_a の半径を $D/2$ としている。

【0017】

各磁極部 26 において、外側コア部 25 は、径方向外側の面である外側面 25a を有している。外側面 25a は、ティース 12 の先端面 12a に対向する面である。外側面 25a は、軸方向から見て、中心軸 L_2 を中心とする円弧状をなしている。外側面 25a を規

10

20

30

40

50

定する円弧の中心軸 L 2 は、ロータ 20 の回転軸線 L 1 と平行、かつ、回転軸線 L 1 とは一致しない軸である。また、中心軸 L 2 は、基準円 C a で囲まれる範囲内に設定されている。また、外側面 25 a を規定する円弧の半径 D a は、基準円 C a の半径 ($D/2$) よりも小さい。

【0018】

ロータコア 22 の外周面において基準円 C a から最も離れるのは、周方向に隣り合う外側面 25 a 同士の交点であり、当該交点を最大変位部 31 とする。以下の説明では、基準円 C a から最大変位部 31 までの距離を、最大変位部 31 の変位量 L h と称する。

【0019】

(永久磁石 23 の構成)

永久磁石 23 は、例えば、径方向内側に向かって凸の略 V 字の折返し形状をなしている。詳述すると、永久磁石 23 は、図 2 に示すように、一対の直線部 23 a の径方向内側端部同士を屈曲部 23 b にて繋いだ形状をなしている。各直線部 23 a の径方向外側端部は、ロータコア 22 の外周面の近くに位置している。永久磁石 23 は、例えば、磁極中心 L s に対して線対称形状をなしている。また、各永久磁石 23 における各直線部 23 a は、磁極境界線 L d に近接している。

【0020】

永久磁石 23 を軸方向から見たときの直線部 23 a の厚さを W 1 とする。また、永久磁石 23 を軸方向から見たときの屈曲部 23 b の厚さを W 2 とする。直線部 23 a の厚さ W 1 は、軸方向から見たときの直線部 23 a の延在方向と直交する方向における厚さである。直線部 23 a の厚さ W 1 は、例えば、直線部 23 a の延在方向において一様である。また、例えば、厚さ W 1 は各直線部 23 a で同一である。屈曲部 23 b の厚さ W 2 は、磁極中心 L s における屈曲部 23 b の厚さである。本実施形態では、直線部 23 a の厚さ W 1 は、屈曲部 23 b の厚さ W 2 よりも厚い。すなわち、永久磁石 23 を軸方向から見たときの永久磁石 23 の最大厚さ W m は、直線部 23 a の厚さ W 1 となる。なお、各磁極部 26 において、外側面 25 a を規定する円弧の中心軸 L 2 の位置は、屈曲部 23 b に重なるように設定されている。

【0021】

V 字形状をなす永久磁石 23 の各直線部 23 a の内側面の延長線とロータコア 22 の外周面との交点間を磁極ピッチ L p とする。また、磁極中心 L s において、ロータコア 22 の外周面から屈曲部 23 b の内側面までを埋込深さ L m とする。本実施形態の永久磁石 23 は、磁極ピッチ L p より埋込深さ L m が大となるような深い折返し形状に設定されている。つまり、各直線部 23 a 及び屈曲部 23 b の各内側面でなす本実施形態の永久磁石 23 の磁石表面が、周知の表面磁石型の磁石表面 (図示略) よりも大きくなるような設定としている。また、埋込深さ L m が大きい設定としていることで、永久磁石 23 の屈曲部 23 b は、ロータコア 22 の中心部の回転軸 21 の嵌挿される軸嵌挿孔 22 b に近い径方向内側寄りに位置している。なお、永久磁石 23 のこの折返し形状は一例であり、埋込深さ L m が浅いものや屈曲部 23 b の大きい略 U 字の折返し形状のもの等、適宜変更可である。

【0022】

図 3 及び図 4 に示すように、永久磁石 23 は、例えば、ロータコア 22 の軸方向端面 22 c, 22 d から一部突出させて構成されている。永久磁石 23 は、磁石収容孔 24 内にある埋込磁石部 23 m と、ロータコア 22 の軸方向端面 22 c, 22 d からそれぞれ突出する突出部 23 x, 23 y とを有する。なお、ロータコア 22 の各軸方向端面 22 c, 22 d は、例えば平坦面をなしている。この永久磁石 23 の突出部 23 x, 23 y については、ロータコア 22 の軸方向端面 22 c, 22 d に開口する磁石収容孔 24 を閉塞するための図示略の成形型に、突出部 23 x, 23 y 形成用の凹部を設けるだけで容易に実現可能である。

【0023】

突出部 23 x, 23 y は、例えば、各直線部 23 a 及び屈曲部 23 b の各々に設けられている。すなわち、突出部 23 x, 23 y は、永久磁石 23 の各直線部 23 a 及び屈曲部

10

20

30

40

50

23bを含むV字経路で連続している。突出部23x, 23yは、ロータコア22の一方の軸方向端面22cと他方の軸方向端面22dとのそれぞれに設けられている。突出部23x, 23yは、ロータコア22の磁石収容孔24内に位置する永久磁石23の埋込磁石部23mと同種材料で連続して一体的に設けられている。

【0024】

このような永久磁石23の突出部23x, 23yは、ロータコア22の軸方向端面22c, 22dに位置する永久磁石23の端部であり、永久磁石23の端部で生じ易い図3に示す漏れ磁束 ϕ_b をこの部位にて生じさせるように機能する。換言すると、永久磁石23のロータコア22内に位置する埋込磁石部23mの磁束のより多くを軸方向端面22c, 22dから外部に漏らすことなく径方向に沿って流れるようにしている。そして、より多くの磁束が回転電機Mのトルクに寄与する有効磁束 ϕ_a となるようにしている。突出部23x, 23yは、有効磁束 ϕ_a の増加を図りつつ、ロータコア22の軸方向端面22c, 22dから適切な突出量D1となるように設定されている。なお、突出部23x, 23yの突出量D1については、図示の寸法と実際の寸法と異なる場合がある。

10

【0025】

ロータコア22の磁石収容孔24内に主として設けられる永久磁石23は、磁石素材が固化した後に、図示略の着磁装置を用いて本来の磁石として機能させるべくロータコア22の外部から着磁される。永久磁石23は、ロータコア22の周方向に交互に異極となるように着磁される。また、各永久磁石23は、自身の厚さ方向に磁化される。

20

【0026】

本実施形態の回転電機Mのロータ20の作用を説明する。

図5は、本形態である第1形態と、第2形態と、比較例との比較結果である。

第1形態は、上記実施形態である。つまり、第1形態は、ロータコア22の外周面が前述の構成、すなわち、各磁極部26において、外側コア部25の外側面25aが中心軸L2を中心とする円弧状をなす構成である。また、第1形態は、ロータコア22の両側の軸方向端面22c, 22dから永久磁石23の端部を突出部23x, 23yとしてそれぞれ突出させる構成である。

【0027】

第2形態は、上記実施形態において、各永久磁石23の各突出部23x, 23yを省略した構成、すなわち、各永久磁石23を磁石収容孔24から軸方向に突出させない構成である。第2形態において、軸方向から見たロータコア22の外周面の形状は第1形態と同様である。

30

【0028】

比較例は、軸方向から見たロータコア22の外周面の形状が基準円Caに沿った円形をなす構成である。また、比較例は、ロータコア22の軸方向端面22c, 22dから永久磁石23の端部を突出させていない構成である。

【0029】

図5は、比較例、第1形態及び第2形態の各々において、回転電機において生じるコギングトルクの大きさと、トルクと永久磁石23の体積との比（トルク／磁石体積）を示している。なお、同図の比較は、比較例を1.0としたときの第1形態及び第2形態の比較である。同図に示すように、コギングトルクについては、第1形態及び第2形態の方が比較例よりも十分に小さくなる。また、コギングトルクについて、第2形態の方が第1形態よりも若干小さくなる。

40

【0030】

図6は、変位量Lhと永久磁石23の最大厚さWmとの比（Lh／Wm）とコギングトルクの大きさとの関係を示している。なお、比（Lh／Wm）がゼロの構成は、変位量Lhがゼロ、すなわち、軸方向から見たロータコア22の外周面の形状が基準円Caに沿った円形をなす比較構成である。図6における縦軸は、比（Lh／Wm）がゼロのときのコギングトルク比を1.0としている。

【0031】

50

同図に示すように、比 (Lh/Wm) が 1.0 以上である場合に比べて、比 (Lh/Wm) が 1.0 未満の場合の方が、コギングトルク比は小さくなる。比 (Lh/Wm) が 1.0 からおよそ 0.4 まで小さくなるほど、コギングトルク比は二次関数的に小さくなり、比 (Lh/Wm) がおよそ 0.4 のとき、コギングトルク比が最小となる。そして、比 (Lh/Wm) がおよそ 0.4 からゼロに近づくほど、コギングトルク比は二次関数的に大きくなる。

【0032】

比 (Lh/Wm) が 0.8 のとき、コギングトルク比が 1.0 となる。すなわち、 $0 < (Lh/Wm) < 0.8$ の範囲では、コギングトルク比は 1.0 未満となる。したがって、比 (Lh/Wm) を、 $0 < (Lh/Wm) < 0.8$ の範囲内に設定することで、変位量 Lh がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを小さく抑えることが可能となる。

10

【0033】

また、比 (Lh/Wm) が $0.33 \leq (Lh/Wm) \leq 0.47$ の範囲内であれば、コギングトルク比がおよそ 0.3 以下となる。すなわち、比 (Lh/Wm) を、 $0.33 \leq (Lh/Wm) \leq 0.47$ の範囲内に設定することで、変位量 Lh がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを $1/3$ 程度にまで抑えることが可能となる。なお、比 (Lh/Wm) は、コギングトルク比が最小となる 0.4 に設定されることが好ましい。さらには、製造公差を考慮しても、比 (Lh/Wm) が $0.33 \leq (Lh/Wm) \leq 0.47$ の範囲内に収まるように設定されることが好ましい。

20

【0034】

図5に示すように、比 $(\text{トルク}/\text{磁石体積})$ については、第2形態は比較例よりもやや小さくなる。比 $(\text{トルク}/\text{磁石体積})$ について、第1形態は比較例とほぼ同等であり、第2形態よりも大きい。

【0035】

図7は、上記実施形態において、突出部 $23x$ 、 $23y$ の突出量 $D1$ と比 $(\text{トルク}/\text{磁石体積})$ との関係を示している。同図に示すように、突出部 $23x$ 、 $23y$ の突出量 $D1$ がゼロ以上、すなわち、突出部 $23x$ 、 $23y$ を設けることで有効磁束 ϕa が増加し、比 $(\text{トルク}/\text{磁石体積})$ が上昇することがわかる。また、突出量 $D1$ がゼロ以上となっても、比 $(\text{トルク}/\text{磁石体積})$ は暫く上昇し、次第に低下していく。これは、永久磁石 23 の埋込磁石部 $23m$ の磁束をロータコア 22 の軸方向端面 $22c$ 、 $22d$ から極力漏れ出ないようにしつつ、屈曲部 $23b$ の厚さ $W2$ を直線部 $23a$ の厚さ $W1$ よりも薄くすることで磁石体積を小さく抑えた結果と考えられる。突出量 $D1$ は、図7に示すような比 $(\text{トルク}/\text{磁石体積})$ との関係を考えて適切な値に設定される。突出量 $D1$ が大きくなることは、ロータ 20 の重量増及び永久磁石 23 の磁石材料増等にも繋がるため、突出量 $D1$ の設定に際し考慮することも好ましい。

30

【0036】

図8は、変位量 Lh とエアギャップ Lg との比 (Lh/Lg) とコギングトルクの大きさとの関係を示している。なお、比 (Lh/Lg) がゼロの構成は、変位量 Lh がゼロ、すなわち、軸方向から見たロータコア 22 の外周面の形状が基準円 Ca に沿った円形をなす比較構成である。図8における縦軸は、比 (Lh/Lg) がゼロのときのコギングトルク比を 1.0 としている。図1に示すエアギャップ Lg は、ステータ 10 の内径半径と基準円 Ca の半径 $D/2$ との差である。なお、ステータ 10 の内径半径は、回転軸線 $L1$ からティース 12 の先端面 $12a$ までの距離である。

40

【0037】

図8に示すように、比 (Lh/Lg) がゼロからおよそ 0.2 まで大きくなるほど、コギングトルク比は二次関数的に小さくなり、比 (Lh/Lg) がおよそ 0.2 付近のとき、コギングトルク比が最小となる。そして、比 (Lh/Lg) がおよそ 0.2 から大きくなるほど、コギングトルク比は二次関数的に大きくなる。比 (Lh/Lg) がゼロよりも大きいとき、コギングトルク比は 1.0 未満となる。したがって、変位量 Lh がゼロより大きい構成では、変位量 Lh がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを小さく抑

50

えることが可能となる。

【0038】

比 (L_h / L_g) が 1.0 未満である場合に比べて、比 (L_h / L_g) が 1.0 以上の場合の方が、コギングトルク比は小さくなる。比 (L_h / L_g) が $1.0 \leq (L_h / L_g)$ の範囲では、コギングトルク比は 0.5 以下となる。したがって、変位量 L_h をエアギャップ L_g 以上の大きさに設定することで、変位量 L_h がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを半減させることが可能となる。

【0039】

また、比 (L_h / L_g) が $1.67 \leq (L_h / L_g) \leq 2.33$ の範囲内であれば、コギングトルク比がおよそ 0.3 以下となる。すなわち、比 (L_h / L_g) を、 $1.67 \leq (L_h / L_g) \leq 2.33$ の範囲内に設定することで、変位量 L_h がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを 1/3 程度にまで抑えることが可能となる。なお、比 (L_h / L_g) は、コギングトルク比が最小となる 0.2 付近に設定されることが好ましい。さらには、製造公差を考慮しても、比 (L_h / L_g) が $1.67 \leq (L_h / L_g) \leq 2.33$ の範囲内に収まるように設定されることが好ましい。

【0040】

(基準円 C_a の半径と永久磁石 23 の最大厚さ W_m との関係)

また、本発明者らは、永久磁石 23 の最大厚さ W_m と基準円 C_a の半径 $D/2$ との比 $(W_m / (D/2))$ と、マグネットトルクとの相関関係を検討した。そして、発明者らは、好適なマグネットトルクが得られる比 $(W_m / (D/2))$ の範囲として、次式 (a) で示される範囲を得た。

【0041】

$$-0.0006D + 0.1626 - 0.5 / (D/2) \leq W_m / (D/2) \leq -0.0006D + 0.1626 + 0.5 / (D/2) \cdots (a)$$

したがって、回転電機 M の仕様等に応じて、上記式 (a) から、基準円 C_a の直径 D 、すなわち、ロータコア 22 の最大径に対する好適な永久磁石 23 の最大厚さ W_m が容易に設定可能である。

【0042】

本実施形態の効果について説明する。

(1) ロータ 20 において、最大変位部 31 における基準円 C_a からの変位量 L_h は、永久磁石 23 を軸方向から見たときの永久磁石 23 の最大厚さ W_m よりも小さい。この構成によれば、外側コア部 25 の径方向の外側面 25a が、磁極中心 L_s からその周方向両側に向かって回転軸線 L_1 に近づく円弧状をなすため、磁極の切り替わりを滑らかになる。これにより、コギングトルクを小さく抑えることが可能となる。さらに、この構成によれば、最大変位部 31 における基準円 C_a からの変位量 L_h が永久磁石 23 の最大厚さ W_m よりも大きい場合に比べて、コギングトルクを低減することが可能となる。なお、上記実施形態では、各磁極部 26 において、外側面 25a を規定する円弧の半径 D_a を変更することで、変位量 L_h が変化する。例えば、各磁極部 26 において、当該半径 D_a を大きくするほど、変位量 L_h が小さくなる。

【0043】

(2) 永久磁石 23 は、径方向内側に凸の折り返し形状をなしている。この構成によれば、外側コア部 25 に面する永久磁石 23 の表面積を大きく確保することが可能となる。これにより、マグネットトルクを向上させることが可能となる。

【0044】

(3) ロータコア 22 の軸方向端面 22c, 22d は、平坦面をなしている。そして、永久磁石 23 は、ロータコア 22 の軸方向端面 22c, 22d から少なくとも一部が突出する突出部 23x, 23y を有して構成されている。この構成によれば、永久磁石 23 の端部を突出部 23x, 23y としたことで、永久磁石 23 の端部に生じる漏れ磁束 ϕ_b がその突出部 23x, 23y に集中して生じるようになる。また、ロータコア 22 内に位置する永久磁石 23 の埋込磁石部 23m においては、ロータコア 22 の軸方向端面 22c,

22 dから漏れようとした場合の磁束の経路が突出部23 x, 23 yを越える態様となるため、磁束の経路長が長くなる。そのため、埋込磁石部23 mにおける磁束は、ロータコア22の軸方向端面22 c, 22 dから漏れ出ることが抑制され、埋込磁石部23 mで生じる磁束が軸方向全体にわたってロータコア22内を径方向に沿って流れるものとなる。こうして埋込磁石部23 mの軸方向全体にわたって生じる磁束の多くが回転電機Mのトルクに寄与する有効磁束 ϕ_a となり、有効磁束 ϕ_a の磁束量を増加させることが可能である。

【0045】

(4) 変位量 L_h と永久磁石23の最大厚さ W_m との比 (L_h/W_m) が、 $0 < (L_h/W_m) < 0.8$ を満たすように構成されている。この構成によれば、変位量 L_h がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを小さく抑えることが可能となる。

【0046】

(5) 変位量 L_h と永久磁石23の最大厚さ W_m との比 (L_h/W_m) が、 $0.33 \leq (L_h/W_m) \leq 0.47$ を満たすように構成されている。この構成によれば、変位量 L_h がゼロである比較構成に比べて、コギングトルクを1/3程度にまで抑えることが可能となる。また、製造ばらつきによって比 (L_h/W_m) が0.4からずれた場合であっても、 $0.33 \leq (L_h/W_m) \leq 0.47$ の範囲内に収まるように設定されることで、コギングトルクの低減効果を安定して得ることが可能となる。

【0047】

(6) 変位量 L_h は、ステータ10の内径と基準円 C_a の径との差であるエアギャップ L_g 以上に設定されている。この構成によれば、変位量 L_h がエアギャップ L_g よりも小さい構成に比べて、コギングトルクを低減することが可能となる。

【0048】

(7) 変位量 L_h とエアギャップ L_g との比 (L_h/L_g) が、 $1.67 \leq (L_h/L_g) \leq 2.33$ を満たすように構成されている。この構成によれば、変位量 L_h がゼロである構成に比べて、コギングトルクを1/3程度にまで抑えることが可能となる。また、製造ばらつきによって比 (L_h/L_g) が0.2付近からずれた場合であっても、 $1.67 \leq (L_h/L_g) \leq 2.33$ の範囲内に収まるように設定されることで、コギングトルクの低減効果を安定して得ることが可能となる。

【0049】

(8) ロータ20における磁極部26の数が8極であり、ステータ10における巻線可能なスロット数が12個である。この構成によれば、8極12スロットの回転電機Mにおいて、コギングトルクの低減を図ることが可能となる。

【0050】

本実施形態は、以下のように変更して実施することができる。本実施形態及び以下の変更例は、技術的に矛盾しない範囲で互いに組み合わせて実施することができる。

・上記実施形態では、直線部23 aの厚さ W_1 は屈曲部23 bの厚さ W_2 よりも大きい。これに限らず、直線部23 aの厚さ W_1 を屈曲部23 bの厚さ W_2 と等しくしてもよい。また、直線部23 aの厚さ W_1 を屈曲部23 bの厚さ W_2 よりも薄くしてもよい。この場合、屈曲部23 bの厚さ W_2 が、永久磁石23を軸方向から見たときの永久磁石23の最大厚さ W_m となる。

【0051】

・ロータコア22の軸方向端面22 c, 22 dから突出する永久磁石23の端部の突出部23 x, 23 yの構成を適宜変更してもよい。例えば、永久磁石23の直線部23 a及び屈曲部23 bを含むV字経路で突出部23 x, 23 yを部分的に設けてもよい。また、例えば、突出部23 x, 23 yのいずれか一方を省略した構成としてもよい。また、例えば、永久磁石23のV字経路の延びる方向と直交する厚さ方向で突出部を部分的に設けてもよい。また、例えば、突出部23 x, 23 yの突出量 D_1 は、永久磁石23のV字経路の延びる方向において一様でなくてもよい。また、例えば、永久磁石23の突出部23 x, 23 yを埋込磁石部23 mと別体としてもよい。この場合、互いの磁石材料を異ならせてもよい。また、例えば、ロータ20の周方向に配置される永久磁石23の全てにロータ

10

20

30

40

50

コア 22 の軸方向端面 22 c, 22 d から突出する突出部 23 x, 23 y を設けなくてもよい。

【0052】

・永久磁石 23 の形状等の構成は上記実施形態に限定されるものではなく、回転電機 M の構成に応じて適宜変更可能である。例えば、軸方向から見た永久磁石 23 の形状を、U 字状等、ロータ 20 の径方向内側に凸のその他の折返し形状であってもよい。また、例えば、軸方向から見た永久磁石 23 の形状を、ロータ 20 の径方向外側に凸となる湾曲形状としてもよい。また、例えば、永久磁石 23 を略直方体状とし、当該永久磁石 23 の一側面が回転軸線 L1 及び磁極中心 Ls を通る直線に対して直交するように永久磁石 23 を配置した構成であってもよい。

10

【0053】

また、1つの磁極部 26 が有する永久磁石 23 の数は 1 つに限らない。例えば、上記実施形態の永久磁石 23 から屈曲部 23 b を省略することで、一对の直線部 23 a を互いに分離した構成であってもよい。

【0054】

・ロータコア 22 の磁石収容孔 24 に磁石材料を射出成形して永久磁石 23 を構成したが、永久磁石 23 を予め作製しておき、ロータコア 22 の磁石収容孔 24 に挿入して固定する態様であってもよい。

【0055】

・永久磁石 23 について、サマリウム鉄窒素 (SmFeN) 系磁石を用いたが、他の希土類磁石、フェライト等を用いてもよい。また、永久磁石 23 について、ボンド磁石を用いたが、焼結磁石等を用いてもよい。

20

【0056】

・ロータコア 22 について、複数枚の電磁鋼板を軸方向に積層して構成するものであったが、磁性粉体を焼結する等、他の構成のものであってもよい。

・ステータコア 11 についても同様に、複数枚の電磁鋼板を軸方向に積層して構成するものであったが、磁性粉体を焼結する等、他の構成のものであってもよい。

【0057】

・ロータ 20 の極数、つまり磁極部 26 の数とステータ 10 のスロット数とは、上記実施形態に限定されるものではなく、それぞれ適宜変更してもよい。

30

・ロータ 20 の図 1 に示す N 極及び S 極、ステータ 10 の図 1 に示す U 相、V 相及び W 相は一例であり、適宜変更してもよい。

【0058】

・上記以外、ロータ 20 の構成及び回転電機 M の構成を適宜変更してもよい。

・今回開示された実施形態及び変更例はすべての点で例示であって、本発明はこれらの例示に限定されるものではない。すなわち、本発明の範囲は、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0059】

上記実施形態及び変更例から把握できる技術的思想について記載する。

40

(イ) 前記永久磁石の前記最大厚さ (Wm)、前記基準円 Ca の直径 D、及び前記基準円の半径 (D/2) を用いた次式、 $-0.0006D + 0.1626 - 0.5 / (D/2) \leq Wm / (D/2) \leq -0.0006D + 0.1626 + 0.5 / (D/2)$ を満たすように構成されているロータ。この構成によれば、基準円 Ca の径、すなわち、ロータコアの最大径に対し、好適なマグネットトルクが得られる永久磁石の最大厚さを設定することが可能となる。

【符号の説明】

【0060】

M 回転電機、10 ステータ、20 ロータ、22 ロータコア、22 c, 22 d 軸方向端面、23 永久磁石、23 x, 23 y 突出部、25 外側コア部、25 a 外側面

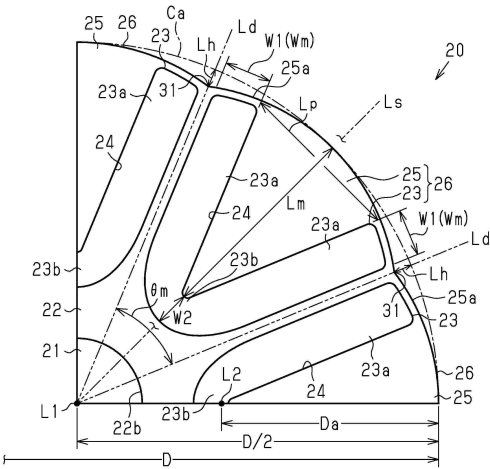
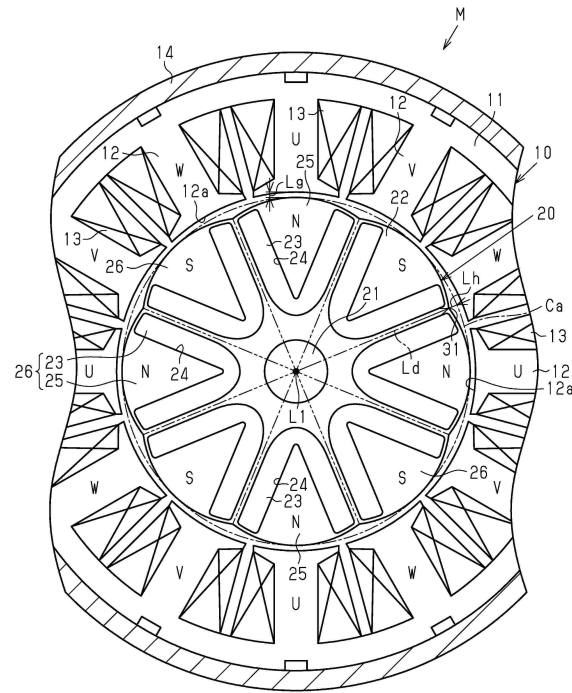
50

、 26 磁極部、 31 最大変位部、 C_a 基準円、 L_1 回転軸線、 L_g エアギャップ、
、 L_h 変位量、 L_s 磁極中心、 W_m 永久磁石の最大厚さ。

【図面】

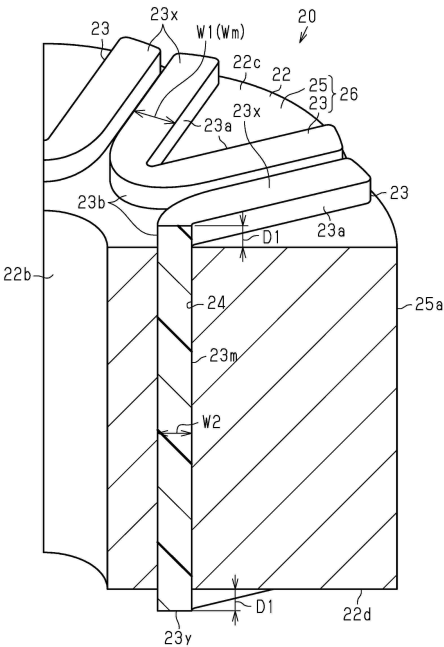
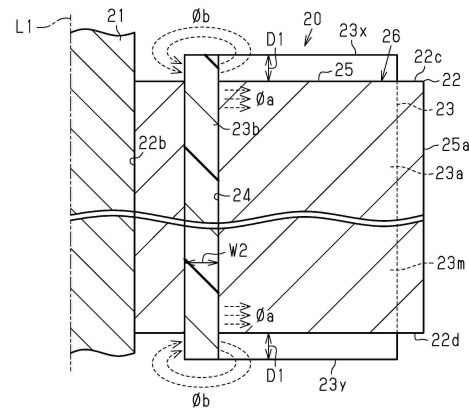
【図 1】

【図 2】

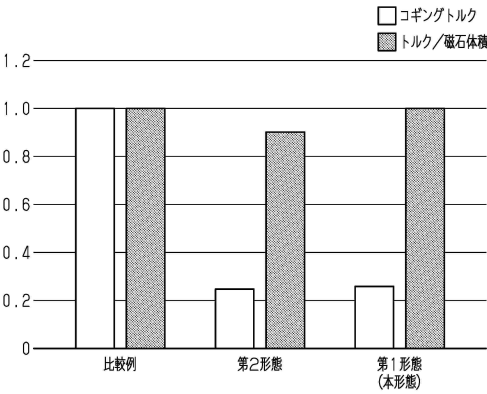


【図 3】

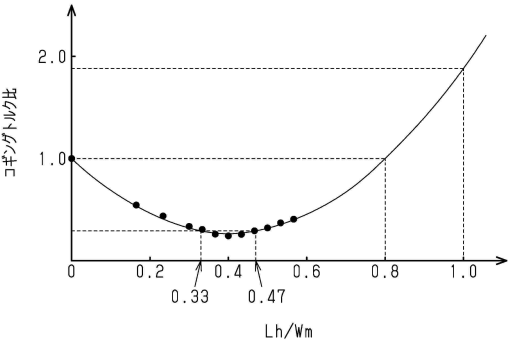
【図 4】



【図 5】

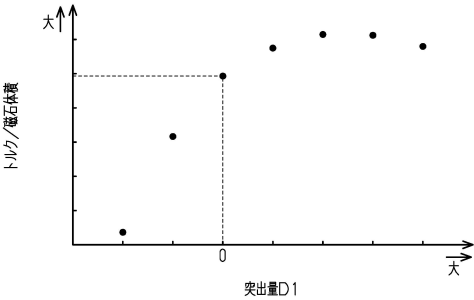


【図 6】

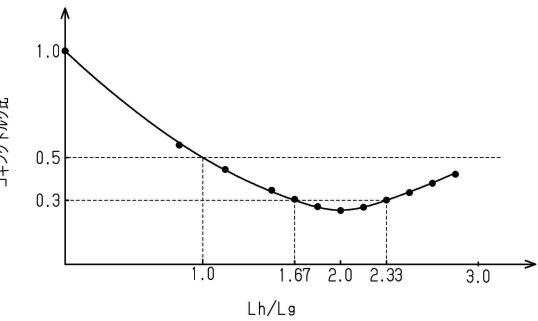


10

【図 7】



【図 8】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2007-159196 (JP, A)
特開 2013-051840 (JP, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02K 1/27