

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5434415号
(P5434415)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月20日(2013.12.20)

(51) Int. Cl. F I
H02K 1/27 (2006.01)
 H02K 1/27 501A
 H02K 1/27 501M
 H02K 1/27 501K

請求項の数 7 (全 15 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2009-212352 (P2009-212352) | (73) 特許権者 | 000003218 |
| (22) 出願日 | 平成21年9月14日 (2009.9.14) | | 株式会社豊田自動織機 |
| (65) 公開番号 | 特開2011-62059 (P2011-62059A) | | 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 |
| (43) 公開日 | 平成23年3月24日 (2011.3.24) | (74) 代理人 | 100068755 |
| 審査請求日 | 平成23年12月2日 (2011.12.2) | | 弁理士 恩田 博宣 |
| | | (74) 代理人 | 100105957 |
| | | | 弁理士 恩田 誠 |
| | | (72) 発明者 | 安谷屋 拓 |
| | | | 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会 社 豊田自動織機 内 |
| | | (72) 発明者 | 米良 実 |
| | | | 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会 社 豊田自動織機 内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石埋設型回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

環状の固定子の内周に複数配列されたティース間のスロットに巻線が施されており、前記固定子の内側で回転する回転子の内部に複数の平板形状の永久磁石が回転対称に埋設されており、隣り合う一対の前記永久磁石の隣り合う磁極端部間に対応してブリッジが設けられている永久磁石埋設型回転電機において、

前記永久磁石の磁極中心部に対応する前記回転子の外周に形成されており、前記回転子の回転軸線と同心の円周形状である円周部と、

前記隣り合う一対の磁極端部にそれぞれ対応する前記回転子の外周に形成されており、隣り合う前記円周部の各端縁に連なる一対の凹状部と、

前記一対の凹状部の間かつ磁極間に位置する凸状部とを有し、

前記凸状部は、前記一対の凹状部のそれぞれの最深部よりも半径方向の外側にあり、

隣り合う前記一対の磁極端部の一方に対応する前記凹状部は、前記回転子の周方向において、前記ブリッジよりも前記一方の磁極端部を有する永久磁石の磁極中心部側にあり、

前記凸状部及び前記一対の凹状部は、前記円周部を含む仮想の円周よりも内側、かつ隣り合う前記円周部の各端縁を結ぶ仮想の直線よりも外側の範囲内にある永久磁石埋設型回転電機。

【請求項2】

環状の固定子の内周に複数配列されたティース間のスロットに巻線が施されており、前記固定子の内側で回転する回転子の内部に複数の平板形状の永久磁石が回転対称に埋設さ

れており、隣り合う一対の前記永久磁石の隣り合う磁極端部間に対応してブリッジが設けられている永久磁石埋設型回転電機において、

前記隣り合う一対の磁極端部にそれぞれ対応する前記回転子の外周が凹状部に形成されており、

隣り合う一対の前記凹状部は、前記回転子の周方向に離されており、

磁極間に位置する前記一対の凹状部間の凸状部は、前記一対の凹状部のそれぞれの最深部よりも半径方向の外側にあり、

隣り合う前記一対の磁極端部の一方に対応する前記凹状部は、前記回転子の周方向において、前記ブリッジよりも前記一方の磁極端部を有する永久磁石の磁極中心部側にあり、

前記永久磁石の磁極中心部に対応する前記回転子の外周は、前記回転子の回転軸線と同心の円周形状の円周部であり、前記永久磁石に対応する前記各円周部は、互いに離れており、隣り合う一対の前記円周部は、前記一対の凹状部と前記凸状部とによって結ばれており、

前記凹状部は、前記凸状部に連なる直線部と、前記最深部と前記円周部とに連なる凸曲線と、前記直線部と前記最深部とに連なる凹曲線とから形成されている永久磁石埋設型回転電機。

【請求項 3】

前記凸状部は、前記円周部を含む仮想の円周よりも内側にある請求項 2 に記載の永久磁石埋設型回転電機。

【請求項 4】

前記回転子の回転軸線を中心とする前記ブリッジの角度位置範囲は、前記回転子の回転軸線を中心とする前記凸状部の角度位置範囲内にある請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の永久磁石埋設型回転電機。

【請求項 5】

前記凸状部は、直線によって形成されている請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石埋設型回転電機。

【請求項 6】

前記回転子の回転軸線を中心とする前記凸状部の端の電気角度 θ_1 は、前記永久磁石の磁極中心部を通り、且つ前記端に最も近い半径直線を基点として $70^\circ \sim 80^\circ$ の範囲にあり、前記回転子の回転軸線を中心とする前記凹状部の前記最深部の電気角度 θ_2 は、前記半径直線を基点として $(\theta_1 - 10^\circ) \sim \theta_1$ の範囲にある請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の永久磁石埋設型回転電機。

【請求項 7】

前記一対の凹状部は、前記凸状部を 2 等分割する 2 等分割線に関して鏡映対称に設けられている請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の永久磁石埋設型回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、巻線を施された固定子の内側で回転する回転子の内部に複数の平板形状の永久磁石が磁極として埋設されている永久磁石埋設型回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の永久磁石埋設型回転電機では、回転子の内部に複数の永久磁石が回転子の周方向に隣り合うように埋設されており、回転子の周方向に隣り合う一対の永久磁石の磁極が互いに異なるようにしてある。隣り合う一対の永久磁石の間（磁極切り替わり部）付近には急激な磁束密度変動が発生するため、トルク脈動〔以下、トルクリップル（出力トルクの変動幅）と称する〕が生じ、これが振動、騒音をもたらす。

【0003】

特許文献 1 では、回転子鉄心は、永久磁石の空隙面に位置して永久磁石の磁路を構成する磁極片と、複数の永久磁石間に空隙面まで突起するリラクタンストルク発生用の補助磁

10

20

30

40

50

極と、永久磁石の反空隙面に位置して補助突極と永久磁石の磁路を形成する固定子ヨークとからなり、かつ、永久磁石の回転子鉄心の磁極片の空隙面に設けられて磁極中心部より端部にかけてなだらかな凹状部を備えている。トルクリップルを抑制するため、磁極中心部の両側に形成された凹状部は、固定子の毎極毎相当たりのスロット数を2とすると、磁極中心部より電気角度 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の範囲の位置に形成され、固定子の毎極毎相当たりのスロット数を1とすると、磁極中心部より電気角度 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲の位置に形成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-261024号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献1に開示の電気角度の範囲は、永久磁石をV字型に配置（永久磁石が回転対称に配置されていない）した回転子に関して望ましい範囲であり、平板形状の永久磁石をブロック型に配置（永久磁石が回転対称に配置されている）した回転子に当てはめることはできない。

【0006】

本発明は、平板形状の永久磁石を回転対称に配置した永久磁石埋設型回転電機におけるトルクリップルを抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、環状の固定子の内周に複数配列されたティース間のスロットに巻線が施されており、前記固定子の内側で回転する回転子の内部に複数の平板形状の永久磁石が回転対称に埋設されており、隣り合う一対の前記永久磁石の隣り合う磁極端部間に対応してブリッジが設けられている永久磁石埋設型回転電機において、前記永久磁石の磁極中心部に対応する前記回転子の外周に形成されており、前記回転子の回転軸線と同心の円周形状である円周部と、前記隣り合う一対の磁極端部にそれぞれ対応する前記回転子の外周に形成されており、隣り合う前記円周部の各端縁に連なる一対の凹状部と、前記一対の凹状部の間かつ磁極間に位置する凸状部とを有し、前記凸状部は、前記一対の凹状部のそれぞれの最深部よりも半径方向の外側にあり、隣り合う前記一対の磁極端部の一方に対応する前記凹状部は、前記回転子の周方向において、前記ブリッジよりも前記一方の磁極端部を有する永久磁石の磁極中心部側にあり、前記凸状部及び前記一対の凹状部は、前記円周部を含む仮想の円周よりも内側、かつ隣り合う前記円周部の各端縁を結ぶ仮想の直線よりも外側の範囲内にある。

また、本発明は、環状の固定子の内周に複数配列されたティース間のスロットに巻線が施されており、前記固定子の内側で回転する回転子の内部に複数の平板形状の永久磁石が回転対称に埋設されており、隣り合う一対の前記永久磁石の隣り合う磁極端部間に対応してブリッジが設けられている永久磁石埋設型回転電機において、前記隣り合う一対の磁極端部にそれぞれ対応する前記回転子の外周が凹状部に形成されており、隣り合う一対の前記凹状部は、前記回転子の周方向に離されており、磁極間に位置する前記一対の凹状部間の凸状部は、前記一対の凹状部のそれぞれの最深部よりも半径方向の外側にあり、隣り合う前記一対の磁極端部の一方に対応する前記凹状部は、前記回転子の周方向において、前記ブリッジよりも前記一方の磁極端部を有する永久磁石の磁極中心部側にあり、前記永久磁石の磁極中心部に対応する前記回転子の外周は、前記回転子の回転軸線と同心の円周形状の円周部であり、前記永久磁石に対応する前記各円周部は、互いに離れており、隣り合う一対の前記円周部は、前記一対の凹状部と前記凸状部とによって結ばれており、前記凹状部は、前記凸状部に連なる直線部と、前記最深部と前記円周部とに連なる凸曲線と、前記直線部と前記最深部とに連なる凹曲線とから形成されている。

10

20

30

40

50

【0008】

凸状部、凹状部及びブリッジのこのような配置は、平板形状の永久磁石を回転対称に配置した永久磁石埋設型回転電機におけるトルクリップルの抑制に寄与する。

好適な例では、前記凸状部は、前記円周部を含む仮想の円周よりも内側にある。

好適な例では、前記回転子の回転軸線を中心とする前記ブリッジの角度位置範囲は、前記回転子の回転軸線を中心とする前記凸状部の角度位置範囲内にある。

【0011】

好適な例では、前記凸状部は、直線によって形成されている。

好適な例では、前記回転子の回転軸線を中心とする前記凸状部の端の電気角度 θ_1 は、前記永久磁石の磁極中心部を通り、且つ前記端に最も近い半径直線を基点として $70^\circ \sim 80^\circ$ の範囲にあり、前記回転子の回転軸線を中心とする前記凹状部の前記最深部の電気角度 θ_2 は、前記半径直線を基点として $(\theta_1 - 10^\circ) \sim \theta_1$ の範囲にある。

10

【0012】

凸状部の端の電気角度 θ_1 及び凹状部の最深部の電気角度 θ_2 のこのような配置は、永久磁石埋設型回転電機におけるトルクリップルの抑制に特に効果的である。

好適な例では、前記一对の凹状部は、前記凸状部を2等分割する2等分割線に関して鏡映対称に設けられている。

【0013】

前記2等分割線に関して鏡映対称となるように一对の凹状部を設けた構成は、回転子をどちらに回転させてもトルクリップルの抑制に関して同じ効果をもたらす。

20

【発明の効果】

【0014】

本発明の永久磁石埋設型回転電機は、平板形状の永久磁石を回転対称に配置した永久磁石埋設型回転電機におけるトルクリップルを抑制することができるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1の実施形態を示す固定子及び回転子の断面図。

【図2】回転子の部分拡大断面図。

【図3】回転子の部分拡大断面図。

30

【図4】固定子及び回転子の側断面図。

【図5】固定子の斜視図。

【図6】波巻きを説明するための簡略図。

【図7】(a)、(b)は、従来の回転子を示す部分側断面図。(c)は、トルク変動を示すグラフ。(d)は、フーリエ級数展開して得られる特定の次数におけるトルクの次数成分の大きさを比較したグラフ。

【図8】(a)は、ティースに働く力を説明するためのグラフ。(b)は、トルク変動を説明するためのグラフ。

【図9】従来の回転子を示す部分断面図。

【図10】単一のティースに関するリラクタンストルクの変化を示すグラフ

40

【図11】(a)は、合成リラクタンストルクの変化を示すグラフ。(b)は、磁石トルクの変化を示すグラフ。(c)は、合成トルク波形を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明を具体化した一実施形態を図1～図11に基づいて説明する。

図1に示すように、永久磁石埋設型回転電機Mを構成する固定子11は、環状のステータコア12と、ステータコア12の内周に複数配列されたティース121間のスロット122に施されたコイル13(巻線)とからなる。本実施形態では、ティース121及びスロット122の個数は、18個である。スロット122は、環状の固定子11の周方向に等ピッチで配列されている。

50

【 0 0 1 7 】

図 4 に示すように、ステータコア 1 2 は、磁性体（鋼板）製の複数枚のコア板 1 4 を積層して構成されている。又、スロット 1 2 2 に施されたコイル 1 3 は、図 5 に示すように波巻きで巻かれている。

【 0 0 1 8 】

一般的に、極数を p （整数）、相数を m （整数）、毎極毎相あたりのスロット数を q （ $0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 \dots$ というように 0.5 飛び）、固定子のスロット数を K とした場合、下記の関係式が成立する。

【 0 0 1 9 】

$$K = q \times p \times m$$

例えば、3相、 $q = 1$ の場合には、スロット数 K と極数 p との関係は、4極 1 2 スロット、6極 1 8 スロット、8極 2 4 スロット等となる。又、例えば、3相、 $q = 1.5$ の場合には、スロット数 K と極数 p との関係は、4極 1 8 スロット、6極 2 7 スロット、8極 3 6 スロット等となる。本実施形態では、3相、スロット数 $K = 1 8$ 、極数 $p = 6$ 、 $q = 1$ である。

【 0 0 2 0 】

図 6 に示すように、固定子 1 1 における波巻きは、インバータ 1 0 0 の U 相の端子 1 0 1 に接続される U 相コイル線（符号 1 3 U で示す）は、第 1 のスロット（符号 1 2 2 U で示す）の群に通されている。インバータ 1 0 0 の V 相の端子 1 0 2 に接続される V 相コイル線（符号 1 3 V で示す）は、第 2 のスロット（符号 1 2 2 V で示す）の群に通されており、インバータ 1 0 0 の W 相の端子 1 0 3 に接続される W 相コイル線（符号 1 3 W で示す）は、第 3 のスロット（符号 1 2 2 W で示す）の群に通されている。各コイル線 1 3 U、1 3 V、1 3 W の実線部分は、固定子 1 1 の手前の端面側に配線された部分であり、各コイル線 1 3 U、1 3 V、1 3 W の破線部分は、固定子 1 1 の向こう側の端面側に配線された部分である。各コイル線 1 3 U、1 3 V、1 3 W の実線部分と破線部分との繋ぎ部分は、スロット 1 2 2 U、1 2 2 V、1 2 2 W を通っている部分である。符号 N は、各コイル線 1 3 U、1 3 V、1 3 W の終端を結線した中性点である。

【 0 0 2 1 】

図 1 に示すように、永久磁石埋設型回転電機 M を構成する回転子 1 5 は、ロータコア 1 6 と、ロータコア 1 6 内に埋設された複数（本実施形態では 6 個）の平板形状の永久磁石 1 7 A、1 7 B とからなる。複数の永久磁石 1 7 A、1 7 B は、全て同形同大である。複数の平板形状の永久磁石 1 7 A、1 7 B は、回転子 1 5 の回転軸線 C（図 4 参照）を中心とした回転対称に配置されている。

【 0 0 2 2 】

固定子 1 1 の周方向に等ピッチに配列された複数（1 8 個）のスロット 1 2 2 のピッチの角度幅（回転子 1 5 の回転軸線 C を中心とする角度幅）は、 20° である。以下においては、角度幅とは、回転子 1 5 の回転軸線 C を中心とする角度幅のことを言う。

【 0 0 2 3 】

図 2 に示すように、ロータコア 1 6 は、磁性体（鋼板）製の複数枚のコア板 1 8 を積層して構成されている。ロータコア 1 6 の中心部には軸孔 1 6 1 が貫設されている。軸孔 1 6 1 には出力軸（図示略）が通されて固定される。回転子 1 5 は、矢印 Y で示す方向に回転する。以下においては、回転子 1 5 の回転方向を回転方向 Y と記す。

【 0 0 2 4 】

図 2 及び図 4 に示すように、永久磁石 1 7 A、1 7 B は、軸孔 1 6 1 の方向にロータコア 1 6 に貫設された収容孔 1 6 2 に嵌入されており、永久磁石 1 7 A、1 7 B は、回転子 1 5 の周方向に隣り合うようにロータコア 1 6 内に磁極として埋設されている。回転子 1 5 の周方向に隣り合う一対の永久磁石 1 7 A、1 7 B の磁極は、互いに異なっている。つまり、複数の永久磁石 1 7 A、1 7 B は、周方向に交互に異なる極性となるように埋設されている。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

永久磁石 17A, 17B の一方の磁極端部 171 と他方の磁極端部 172 との間の中間位置にある磁極中心部 173 を通る回転子 15 の半径直線 151 [回転軸線 C と垂直な仮想平面 (図 2 の紙面は仮想平面となる) 上の直線] は、平板形状の永久磁石 17A, 17B の磁極面 170 に対して直交する。回転子 15 の回転軸線 C に連なる半径直線 151 は、回転軸線 C を中心とする等角度間隔 (60°) の位置にある。永久磁石 17A, 17B は、回転子 15 の回転軸線 C から等距離の位置にあり、永久磁石 17A, 17B は、回転子 15 の周方向に等ピッチに配列されている。

【 0026 】

収容孔 162 の両端 (磁極端部 171, 172 の近傍) には空隙 163A, 163B が設けられている。収容孔 162 に永久磁石 17A, 17B が収容された状態では、永久磁石 17A, 17B の両端側に磁束短絡防止用の空隙 163A, 163B が残される。

10

【 0027 】

半径直線 151 を含む角度幅 A における回転子 15 の外周は、回転軸線 C を中心とする半径 R の円周部 19A, 19B に形成されている。永久磁石 17A 側の半径直線 151 は、円周部 19A の中央 191 に繋がっており、永久磁石 17B 側の半径直線 151 は、円周部 19B の中央 191 に繋がっている。つまり、円周部 19A の一方の端縁 192 に至る半径直線 152 (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の直線) と円周部 19A の中央 191 に至る半径直線 151 との間の角度幅は、円周部 19A の他方の端縁 193 に至る半径直線 153 (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の直線) と円周部 19A の中央 191 に至る半径直線 151 との間の角度幅に等しい。又、円周部 19B の一方の端縁 192 に至る半径直線 152 と円周部 19B の中央 191 に至る半径直線 151 との間の角度幅は、円周部 19B の他方の端縁 193 に至る半径直線 153 と円周部 19B の中央 191 に至る半径直線 151 との間の角度幅に等しい。半径直線 151 は、円周部 19A, 19B を周方向において 2 等分割する 2 等分割線である。ここにおける 2 等分割とは、円周部 19A, 19B の角度幅を 2 等分割することを意味する。

20

【 0028 】

永久磁石 17A に対応する円周部 19A と、永久磁石 17B に対応する円周部 19B とは、離れている。例えば図 3 に示すように、隣り合う円周部 19A と円周部 19B とは、円周部 19A に連なる凹状部 20A と、円周部 19B に連なる凹状部 20B と、凹状部 20A と凹状部 20B とを繋ぐ凸状部 21 とによって結ばれている。本実施形態では、凹状部 20A は、凸状部 21 に対して回転方向 Y [図 2 参照] の後側にあり、凹状部 20B は、凸状部 21 に対して回転方向 Y [図 2 参照] の前側にある。一对の凹状部 20A, 20B を繋ぐ凸状部 21 は、直線 (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の直線) によって形成されている。回転子 15 の回転軸線 C を始点とする直線 157 は、凸状部 21 の一方の端 211 と交差し、回転子 15 の回転軸線 C を始点とする直線 158 は、凸状部 21 の他方の端 212 と交差する。

30

【 0029 】

図 3 に示すように、凹状部 20A は、凸状部 21 に連なる直線部 22A (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の曲線) と、円周部 19A に連なる凸曲線 24A (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の曲線) と、直線部 22A と凸曲線 24A とに連なる凹曲線 28A とから形成されている。凹状部 20B は、凸状部 21 に連なる直線部 22B (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の曲線) と、円周部 19B に連なる凸曲線 24B (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の曲線) と、直線部 22B と凸曲線 24B とに連なる凹曲線 28B とから形成されている。

40

【 0030 】

図 2 に示すように、直線 159A (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の直線) は、凹状部 20A の最深部 23A と、回転軸線 C とを結ぶ半径線である。直線 159B (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の直線) は、凹状部 20B の最深部 23B と、回転軸線 C とを結ぶ半径線である。半径線である直線 159A, 159B は、回転子 15 の最短の半径である。

【 0031 】

50

凸状部 2 1 の中央 2 1 0 は、永久磁石 1 7 A と永久磁石 1 7 B との間に位置する磁極切り替わり部 1 6 4 に対応する。つまり、ティース 1 2 1 と回転子 1 5 の外周との間の間隙の大きさは、円周部 1 9 A , 1 9 B を含む仮想の円周 E とティース 1 2 1 との間の間隙に対して、隣り合う一対の永久磁石 1 7 A , 1 7 B の間に位置する磁極切り替わり部 1 6 4 に対応する間隙の方が大きい。

【 0 0 3 2 】

図 3 に示す D h は、中央 2 1 0 と、端縁 1 9 2 , 1 9 3 との間における仮想の円周 E を 2 等分割する中間位置 1 9 0 との直線距離を表す。中間位置 1 9 0 は、2 等分割線 1 5 4 の延長線上にある。以下、D h を深さ D h と記す。

【 0 0 3 3 】

磁極切り替わり部 1 6 4 に形成される各凸状部 2 1 は、いずれも同形同大である。

図 2 に示すように、直線 1 5 4 (回転軸線 C と垂直な仮想平面上の直線) は、凸状部 2 1 の中央 2 1 0 と、回転軸線 C とを結ぶ線である。直線 1 5 4 は、凸状部 2 1 を周方向に 2 等分割する線である。ここにおける 2 等分割とは、凸状部 2 1 の角度幅を 2 等分割することを意味する。以下においては、直線 1 5 4 を 2 等分割線 1 5 4 と記すこともある。

【 0 0 3 4 】

回転軸線 C を中心とした凹状部 2 0 A の角度幅と、回転軸線 C を中心とした凹状部 2 0 B の角度幅とは、同じ角度幅 c となる。凹状部 2 0 A と凹状部 2 0 B とは、凸形状部 2 0 を周方向に 2 等分割する 2 等分割線 1 5 4 に関して鏡映対称 (左右対称) の関係にある。

【 0 0 3 5 】

図 3 に示すように、凸状部 2 1 は、円周部 1 9 A , 1 9 B を含む半径 R の仮想の円周 E よりも半径方向の内側、かつ円周部 1 9 B の端縁 1 9 2 と円周部 1 9 A の端縁 1 9 3 とを結ぶ仮想の直線 H (回転軸線 C (図 2 参照) と垂直な仮想平面上の直線) よりも半径方向の外側の範囲内で回転子 1 5 の半径方向の外側へ向けて突出している。つまり、凸状部 2 1 は、仮想の円周 E と仮想の直線 H との間の領域内 (仮想の円周 E 上及び仮想の直線 H 上を除く) で回転子 1 5 の半径方向の外側へ向けて突出している。又、凸状部 2 1 は、一対の凹状部 2 0 A , 2 0 B のそれぞれの最深部 2 3 A , 2 3 B よりも半径方向の外側にある。

【 0 0 3 6 】

図 2 に示すように、点 1 6 5 は、回転軸線 C から凸状部 2 1 に至る直線 1 5 5 と、空隙 1 6 3 A の形成壁面との交点である。点 1 6 6 は、回転軸線 C から凸状部 2 1 に至る直線 1 5 6 と、空隙 1 6 3 B の形成壁面との交点である。以下、点 1 6 5 を起点 1 6 5 と記し、点 1 6 6 を起点 1 6 6 と記す。

【 0 0 3 7 】

起点 1 6 5 , 1 6 6 は、以下のように規定される。図 2 に示す永久磁石 1 7 A 側の空隙 1 6 3 A に対応する起点 1 6 5 と、図 2 に示す永久磁石 1 7 B 側の空隙 1 6 3 B に対応する起点 1 6 6 とを例にとって説明する。起点 1 6 5 は、凸状部 2 1 を縮径方向に移動した際に、最初に永久磁石 1 7 A 側の空隙 1 6 3 A の形成壁面と接する点 (仮に、P 1 と記すが、図示しない) である。起点 1 6 6 は、凸状部 2 1 を縮径方向に移動した際に、最初に永久磁石 1 7 B 側の空隙 1 6 3 B の形成壁面と接する点 (仮に P 2 と記すが、図示しない) である。

【 0 0 3 8 】

なお、収容孔 1 6 2 (空隙 1 6 3 A , 1 6 3 B) の形状によっては、候補とされた点 P 1、点 P 2 が複数あるいは無数に存在する場合がある (例えば、凸状部 2 1 を平行移動して収容孔 1 6 2 (空隙 1 6 3 A , 1 6 3 B) の形成壁面と直線的に重なり合うような場合など) 。つまり、起点 1 6 5 の候補となる点 (仮に、候補点 X 1 と記す) が複数あるいは無数に存在する場合があり、起点 1 6 6 の候補となる点 (仮に、候補点 X 2 と記す) が複数あるいは無数に存在する場合がある。このような場合には、候補点 X 1 と候補点 X 2 とが回転子 1 5 の回転軸線 C を中心としてなす角度幅のうち、最大の角度幅をなす候補点 X

10

20

30

40

50

1が起点165として採用され、最大の角度幅をなす候補点X2が起点166として採用される。

【0039】

全ての起点165, 166は、このようにして規定されている。

図2に示す b は、回転軸線Cと起点165とを結ぶ直線155と、回転軸線Cと起点166とを結ぶ直線156との間の角度幅を表す。つまり、 b は、起点165と起点166とが回転子15の回転軸線Cを中心としてなす角度幅を表す。以下、 b をブリッジ間角度 b と記す。ブリッジ間角度 b で表される隣り合う永久磁石17A, 17B間、且つ磁極切り替わり部164を挟んで隣り合う空隙163A, 163Bよりも回転子15の半径方向の外側の部位をブリッジ25と記す。ブリッジ25は、磁極切り替わり部164を挟んで隣り合う一対の磁極端部171, 172間に対応する一対の空隙163A, 163Bを基準として形成されている。

10

【0040】

回転子15の回転軸線Cを中心とするブリッジ25の角度位置範囲〔直線155と直線156との間にある角度位置範囲〕は、回転子15の回転軸線Cを中心とする凸状部21の角度位置範囲〔直線157と直線158との間にある角度位置範囲〕内にある。例えば図3に示すように、磁極端部171に対応する凹状部20Aは、回転子15の周方向において、磁極切り替わり部164を挟んで隣り合う一対の磁極端部171, 172に対置する一対の空隙163A, 163Bを基準とするブリッジ25よりも、永久磁石17Aの磁極中心部173側にある。磁極端部172に対応する凹状部20Bは、回転子15の周方向において、磁極切り替わり部164を挟んで隣り合う一対の磁極端部171, 172間に対応するブリッジ25よりも、永久磁石17Bの磁極中心部173側にある。

20

【0041】

つまり、一対の磁極端部171, 172の一方に対応する凹状部(20A又は20B)は、回転子15の周方向において、一対の磁極端部171, 172に対応する一対の磁束短絡防止部である空隙163A, 163Bを基準とするブリッジ25よりも、前記一方の磁極端部(171又は172)を有する永久磁石(17A又は17B)の磁極中心部173側にある。

【0042】

図2及び図3に示す 1 , 2 , $a1$, $b1$, $a2$, $b2$ は、電気角度を表す。

30

6極18スロットの本実施形態では、電気角度は、機械角度の3倍である。

回転子15の回転軸線Cを中心とする凸状部21の端211の電気角度 $b1$ は、端211に最も近い半径直線151〔図示の例では円周部19Bを2等分割する半径直線151〕を基点として回転方向Yとは反対方向へ $70^\circ \sim 80^\circ$ の範囲にある。回転子15の回転軸線Cを中心とする凸状部21の端212の電気角度 $a1$ は、端212に最も近い半径直線151〔図示の例では円周部19Aを2等分割する半径直線151〕を基点として回転方向Yへ $70^\circ \sim 80^\circ$ の範囲にある。

【0043】

本実施形態では、 $a1 = b1 (= 1)$ である。つまり、6極18スロットの本実施形態では、電気角度 1 は、永久磁石17A, 17Bの磁極中心部173を通り、且つ端211, 212に最も近い半径直線151を基点として $70^\circ \sim 80^\circ$ の範囲にある。

40

【0044】

回転子15の回転軸線Cを中心とする凹状部20Aの最深部23Aの電気角度 $a2$ は、最深部23Aに最も近い半径直線151〔図示の例では円周部19Aを2等分割する半径直線151〕を基点として回転方向Yへ $(1 - 10^\circ) \sim 1$ の範囲にある。回転子15の回転軸線Cを中心とする凹状部20Bの最深部23Bの電気角度 $b2$ は、最深部23Bに最も近い半径直線151〔図示の例では円周部19Bを2等分割する半径直線151〕を基点として回転方向Yとは反対方向へ $(1 - 10^\circ) \sim 1$ の範囲にある。

【0045】

本実施形態では、 $a2 = b2 (= 2)$ である。つまり、6極18スロットの本実

50

施形態では、回転子 15 の回転軸線 C を中心とする凹状部 20 A, 20 B の最深部 23 A, 23 B の電気角度 2θ は、永久磁石 17 A, 17 B の磁極中心部 173 を通り、且つ端 211, 212 に最も近い半径直線 151 を基点として ($\theta - 10^\circ$) ~ θ の範囲にある。

【0046】

図 7 (a) における従来の回転子 15 A の外周は、半径 R の仮想の円周 E である。図 7 (b) における従来の回転子 15 B は、3 つの直線 H1, H2, H3 を繋いで凸形状部 26 を形成している。

【0047】

図 7 (c) における曲線 T1 は、図 7 (a) に示す回転子 15 A を用いた場合の全体トルクのトルク比率 (ある瞬間のトルクを平均トルクで割った値) の大きさを示し、図 7 (c) における曲線 T2 は、図 7 (b) に示す回転子 15 B を用いた場合の全体トルクのトルク比率 (ある瞬間のトルクを平均トルクで割った値) の大きさを示す。図 7 (c) における曲線 T0 は、本実施形態の回転子 15 を用いた場合の全体トルクのトルク比率 (ある瞬間のトルクを平均トルクで割った値) の大きさを示す。トルク変動幅 (トルクリップル) は、本実施形態の回転子 15 を用いた場合に最も小さい。

【0048】

図 7 (d) は、図 7 (a) に示す回転子 15 A、図 7 (b) に示す回転子 15 B、本実施形態の回転子 15 を用いた場合の全体トルクのトルクリップル比率、及び全体トルクのトルク比率の波形をフーリエ級数展開して得られる特定の次数におけるトルクリップル比率の次数成分の大きさを比較した棒グラフである。棒 L11, L12, L13, L14, L15 は、回転子 15 A を用いた場合のトルクリップル比率を示す。棒 L21, L22, L23, L24, L25 は、回転子 15 B を用いた場合のトルクリップル比率を示す。

【0049】

棒 L01, L02, L03, L04, L05 は、回転子 15 を用いた場合のトルクリップル比率を示す。棒 L11, L21, L01 は、全体トルクのトルクリップル比率を示し、棒 L12, L22, L02 は、基本次数 (= 18 次) におけるトルクリップル比率の次数成分比を示す。棒 L13, L23, L03 は、基本次数の 2 倍の次数 (= 36 次) におけるトルクリップル比率の次数成分比を示す。棒 L14, L24, L04 は、基本次数の 3 倍の次数 (= 54 次) におけるトルクリップル比率の次数成分比を示す。棒 L15, L25, L05 は、基本次数の 4 倍の次数 (= 72 次) におけるトルクリップル比率の次数成分比を示す。

【0050】

図 7 (c), (d) は、コンピュータを用いた FEM (有限要素法) 解析によって得た結果である。

回転子 15 B を用いた場合の全体トルクの変動 (トルクリップル) は、回転子 15 A を用いた場合の出力トルク (以下においては全体トルクという) のトルクリップルよりも大幅に低減しているが、回転子 15 を用いた場合の全体トルクのトルクリップルは、回転子 15 B を用いた場合の全体トルクのトルクリップルよりもさらに低減している。又、回転子 15 を用いた場合のトルクの次数成分のトルクリップルは、回転子 15 B を用いた場合のトルクの次数成分のトルクリップルよりも低減あるいは同等である。

【0051】

図 8 (a) のグラフは、回転子の回転位置と、1 つのティース 121 に働く力 (以下においては、ティーストルクと言うことにする) との関係を示す。波形 τ と横軸とは、横軸上の始端と終端との角度間隔が 40° の 2 等辺三角形を形成している。全てのティース 121 に関するこのような波形 τ を合成すると、図 8 (b) のグラフにおける直線 T が得られる。つまり、1 つのティース 121 に働くティーストルクが波形 τ で表される力であれば、全体トルクは、一定となり、トルクリップルは、零となる。以下においては、波形 τ を理想波形 τ と言うことにする。

【0052】

10

20

30

40

50

図8(a)のグラフにおける波形Eは、外周の全周が半径Rの円周からなる回転子(図示略)を用いた場合に、この回転子の回転位置と、1つのティース121に働くティーストルクとの関係を示す。全てのティース121に関するこのような波形Eを合成すると、図8(b)のグラフにおける合成波形Teが得られる。つまり、1つのティース121に働くティーストルクが波形Eで表される力であれば、トルクリップルが零ではない全体トルクがもたらされる。つまり、波形Eの形状を理想波形の形状に近づければ近づけるほど、トルクリップルを小さくすることができる。

【0053】

図8(a)のグラフにおける円C1で囲む領域及び円C2で囲む領域では、波形Eが理想波形から上側へずれる程度が大きい。円C1, C2で囲む領域でのずれ程度が大きいほど、トルクリップルが大きくなる。

10

【0054】

回転子15が回転方向Y〔図2参照〕に回転している場合には、本願発明者は、FEM解析によって、円C1, C2で囲む領域におけるティーストルクがロータコア16の凹状部20Aに集中して発生することを見いだしている。凹状部20Aは、このFEM解析結果に基づいて、ティーストルクが集中して発生する領域(凹状部20A付近)に設けられている。凹状部20Aは、凹状部20A付近の磁気抵抗を高めており、これにより、図8(a)に円C1, C2で囲む領域付近の波形Eは、理想波形に近づけられている。

【0055】

図10は、単一のティース121に関するリラクタンストルクの変化を示すグラフである。曲線Qr11は、図7(b)に示す回転子15Bを用いた場合のリラクタンストルクの変化を示し、曲線Qr21は、図9に示す従来の回転子15Cを用いた場合のリラクタンストルクの変化を示す。

20

【0056】

図9に示す回転子15Cの外周面は、隣り合う円周部19Aと円周部19Bとを凸形状部27によって結んで形成されている。凸形状部27は、回転子15Cの半径方向の外側へ凸の形状となっている。

【0057】

円周部19Aの端縁193と円周部19Bの端縁192とに繋がる凸形状部27は、円周部19A, 19Bの半径Rよりも大きい半径の円弧である。ロータコア16の外周の各凸形状部27は、いずれも同形同大である。従って、凸形状部27は、円周部19A, 19Bを含む半径Rの仮想の円周Eよりも内側、かつ端縁192と端縁193とを結ぶ仮想の直線Hよりも外側の範囲内で回転子15の半径方向の外側へ向けて突出している。

30

【0058】

図10のグラフにおける曲線Qr11, 曲線Qr21は、コンピュータを用いたFEM(有限要素法)解析によって求めた例である。この場合の解析は、角度幅A = 28°、角度幅c = 13°、ブリッジ間角度b = 5.2°、深さDh = 0.3mm、半径R = 25.5mmという条件のもとに行なっている。

【0059】

図11(a)のグラフにおける曲線Qr12は、個々のティース121(18個)に関する図10の曲線Qr11を合成して得られた合成リラクタンストルクの変化を示す。曲線Qr22は、個々のティース121(18個)に関する図10の曲線Qr21を合成して得られた合成リラクタンストルクの変化を示す。

40

【0060】

図11(b)のグラフにおける曲線Qm1は、回転子15Bを用いた場合の永久磁石17A, 17Bに関するトルク(以下、磁石トルクという)の変化を示すグラフである。曲線Qm2は、回転子15Cを用いた場合の永久磁石17A, 17Bに関する磁石トルクの変化を示すグラフである。

【0061】

図11(c)のグラフにおける曲線Q1rmは、図11(a)の曲線Qr12と、図1

50

1 (b) の曲線 Q_{m1} とを合成したトルク波形である。図 1 1 (c) のグラフにおける曲線 Q_{2rm} は、図 1 1 (a) の曲線 Q_{r22} と、図 1 1 (b) の曲線 Q_{m2} とを合成したトルク波形である。つまり、曲線 Q_{1rm} は、図 7 (b) の回転子 1 5 B を用いた場合に F E M 解析によって得られるトルク波形であり、曲線 Q_{2rm} は、図 9 の回転子 1 5 C を用いた場合に F E M 解析によって得られるトルク波形である。

【 0 0 6 2 】

曲線 Q_{1rm} , Q_{2rm} を比較してみると、曲線 Q_{1rm} によって表されるトルクリップルが曲線 Q_{2rm} によって表されるトルクリップルよりも小さいことがわかる。本実施形態の回転子 1 5 を用いた場合のトルクリップルは、曲線 Q_{1rm} によって表されるトルクリップルよりもさらに小さくなる。

10

【 0 0 6 3 】

本実施形態の回転子 1 5 を用いた場合には、全体トルクに対するリラクタンストルクの寄与度が小さく、本実施形態では、特許文献 1 に開示の補助磁極が実質的に存在しない。

第 1 の実施形態では以下の効果が得られる。

【 0 0 6 4 】

(1) 凸状部 2 1 の一側にある凹状部 2 0 A をブリッジ 2 5 よりも永久磁石 1 7 A の磁極中心部 1 7 3 側に設けると共に、凸状部 2 1 の他側にある凹状部 2 0 B をブリッジ 2 5 よりも永久磁石 1 7 B の磁極中心部 1 7 3 側に設けた配置は、平板形状の永久磁石 1 7 A , 1 7 B を回転対称に配置した永久磁石埋設型回転電機 M におけるトルクリップルの抑制に寄与する。

20

【 0 0 6 5 】

(2) 凸状部 2 1 の端 2 1 1 , 2 1 2 の電気角度 θ_1 を $70^\circ \sim 80^\circ$ の範囲とし、且つ凹状部 2 0 A , 2 0 B の最深部 2 3 A , 2 3 B の電気角度 θ_2 を $(\theta_1 - 10^\circ) \sim \theta_1$ の範囲とした構成は、永久磁石埋設型回転電機 M におけるトルクリップルの抑制に特に効果的である。

【 0 0 6 6 】

(3) 直線部 2 2 A と凸曲線 2 4 A との間に設けられた凹曲線 2 8 A 、及び直線部 2 2 B と凸曲線 2 4 B との間に設けられた凹曲線 2 8 B は、凹状部 2 0 A , 2 0 B の最深部 2 3 A , 2 3 B における応力集中の緩和に寄与する。

【 0 0 6 7 】

(4) 凸状部 2 1 を 2 等分割する 2 等分割線 1 5 4 に関して鏡映対称となるように一対の凹状部 2 0 A , 2 0 B を設けた構成は、回転子 1 5 をどちらに回転させてもトルクリップルの抑制に関して同じ効果をもたらす。

30

【 0 0 6 8 】

(5) 固定子 1 1 の巻線方式を三相の波巻きとした構成は、振動抑制に有利である。

本発明では以下のような実施形態も可能である。

凹状部 2 0 A , 2 0 B を形成する直線部 2 2 A , 2 2 B を無くして、凹曲線 2 8 A , 2 8 B のみとしてもよい。又、凹曲線あるいは凸曲線を採用してもよい。

【 0 0 6 9 】

凹状部 2 0 A , 2 0 B を形成する凸曲線 2 4 A , 2 4 B の代わりに、直線あるいは凹曲線を採用してもよい。又、それらの複合形状を採用してもよい。

40

凸状部 2 1 の端 2 1 1 , 2 1 2 に凹状部 2 0 A , 2 0 B の最深部があってもよい。

【 0 0 7 0 】

凹状部 2 0 A , 2 0 B が凸状部 2 1 を 2 等分割する 2 等分割線 1 5 4 に関して非鏡映対称であってもよい。

凸曲線 2 4 A と円周部 1 9 A とを直接接続する代わりに、凸曲線 2 4 A と円周部 1 9 A との間に、他の凸曲線、凹曲線あるいは直線を介在してもよい。

【 0 0 7 1 】

空隙 1 6 3 A , 1 6 3 B 内に非磁性体を入れて磁束短絡防止部としてもよい。

6 極 1 8 スロット以外 (例えば 4 極 1 2 スロット、 8 極 2 4 スロット等) の永久磁石

50

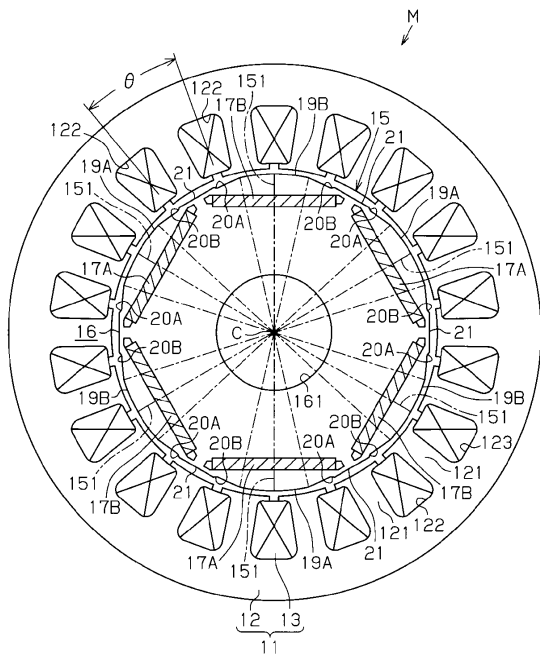
埋設型回転電機に本発明を適用してもよい。

【符号の説明】

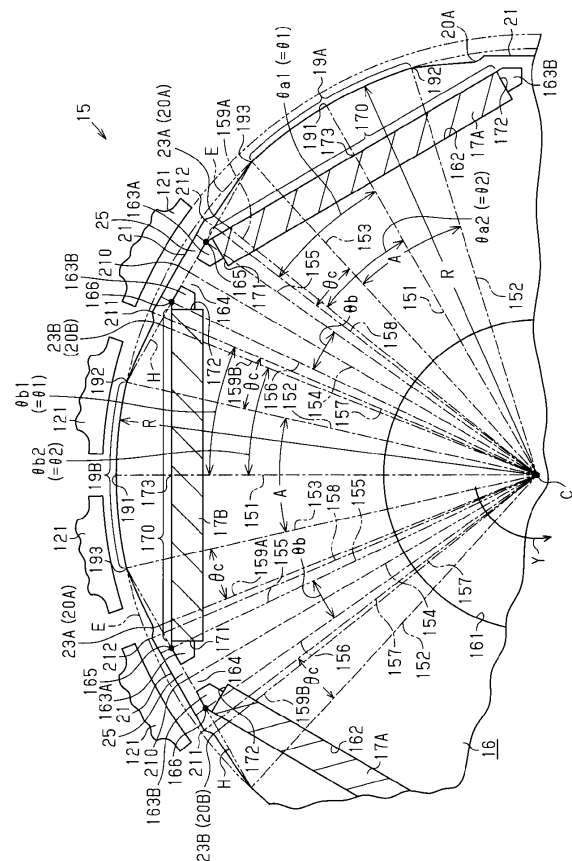
【0072】

11...固定子。121...ティース。122...スロット。13...コイル(巻線)。15...
 回転子。151...半径直線。154...2等分割線。163A, 163B...磁束短絡防止部
 である空隙。17A, 17B...永久磁石。171, 172...磁極端部。173...磁極中心
 部。19A, 19B...円周部。20A, 20B...凹状部。21...凸状部。211, 212
 ...端。22A, 22B...直線部。23A, 23B...最深部。24A, 24B...凸曲線。2
 5...ブリッジ。28A, 28B...凹曲線。M...永久磁石埋設型回転電機。C...回転軸線。
 E...円周。1, 2, a1, a2, b1, b2...電気角度。

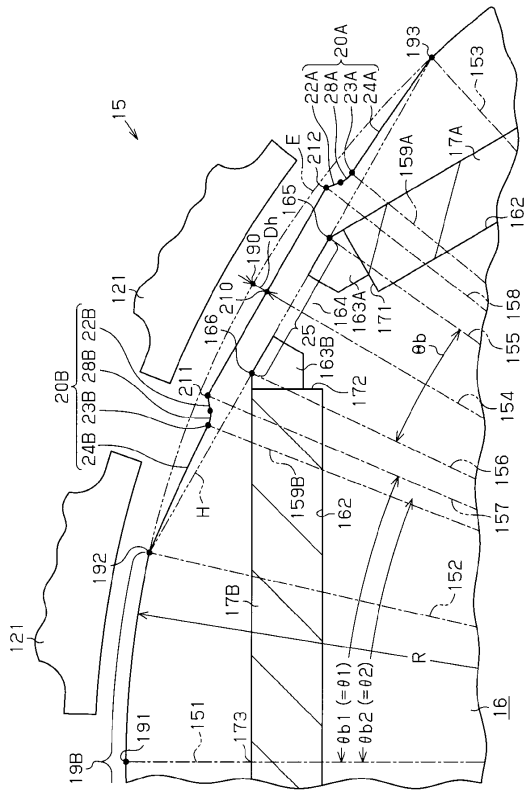
【図1】



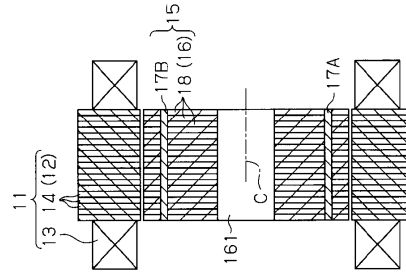
【図2】



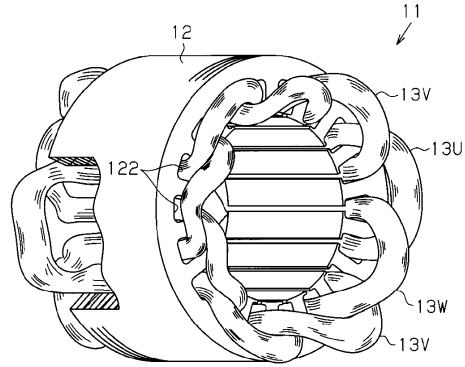
【図3】



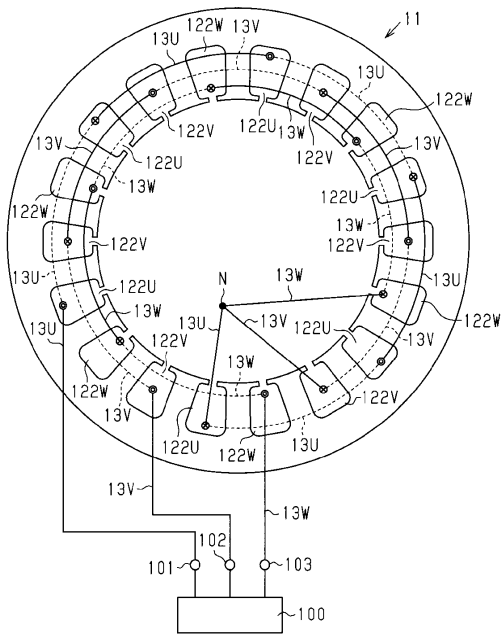
【図4】



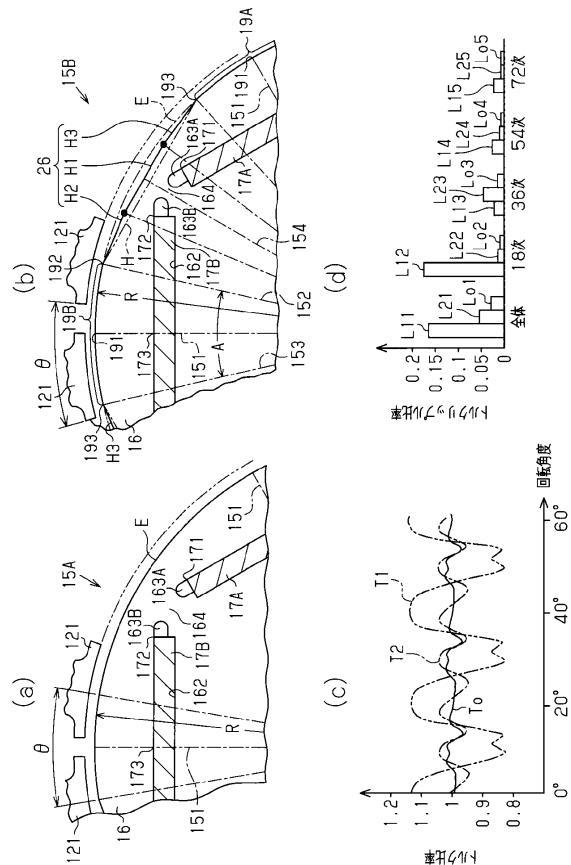
【図5】



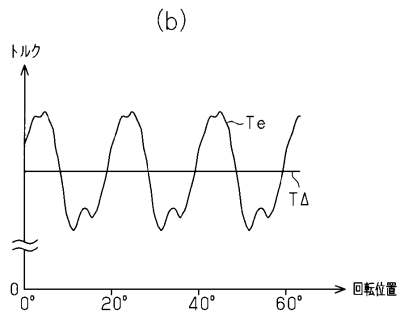
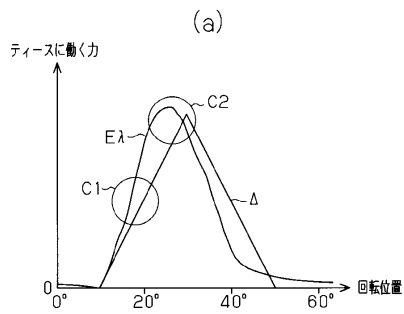
【図6】



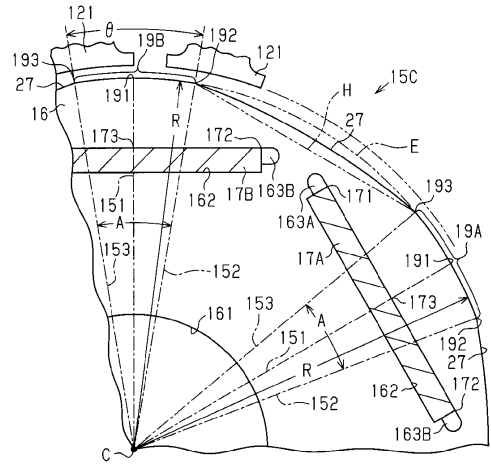
【図7】



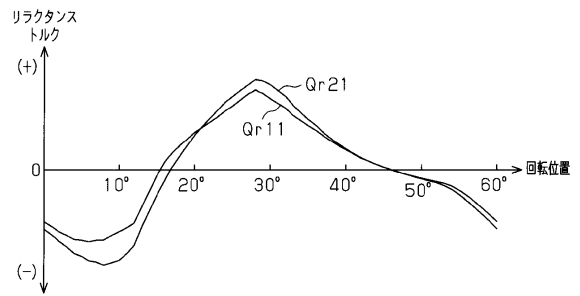
【図 8】



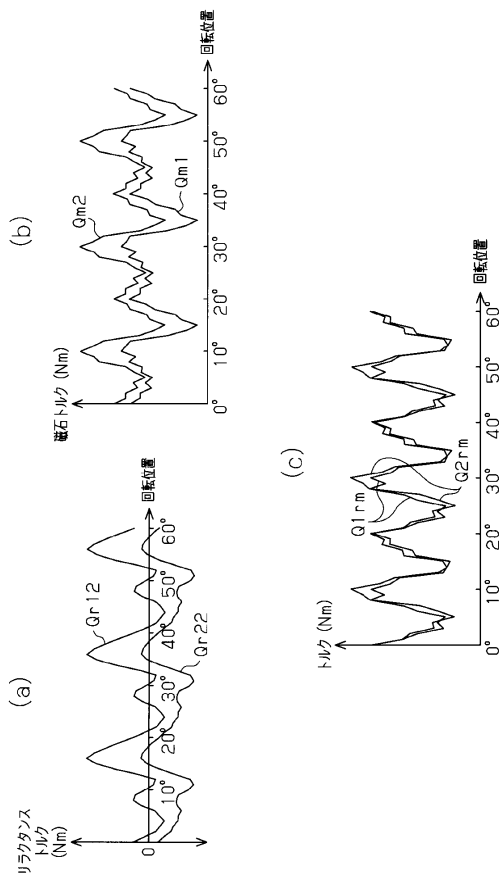
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 深作 博史

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社 豊田自動織機 内

審査官 森本 哲也

(56)参考文献 特開2007-159197(JP,A)

特開2007-300692(JP,A)

特開2005-124281(JP,A)

特開2004-141000(JP,A)

特開2007-159196(JP,A)

特開2007-295676(JP,A)

特開2007-312591(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 1/27