

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5646092号
(P5646092)

(45) 発行日 平成26年12月24日 (2014. 12. 24)

(24) 登録日 平成26年11月14日 (2014. 11. 14)

(51) Int. Cl.	F I	
HO2K 1/27 (2006.01)	HO2K 1/27	501A
HO2K 21/14 (2006.01)	HO2K 1/27	501K
HO2K 1/22 (2006.01)	HO2K 1/27	501M
HO2K 1/16 (2006.01)	HO2K 21/14	M
HO2P 27/06 (2006.01)	HO2K 1/22	A

請求項の数 16 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-550046 (P2013-550046)
 (86) (22) 出願日 平成23年12月23日 (2011. 12. 23)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2011/079948
 (87) 国際公開番号 W02013/094075
 (87) 国際公開日 平成25年6月27日 (2013. 6. 27)
 審査請求日 平成25年10月11日 (2013. 10. 11)

(73) 特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100073759
 弁理士 大岩 増雄
 (74) 代理人 100088199
 弁理士 竹中 岑生
 (74) 代理人 100094916
 弁理士 村上 啓吾
 (74) 代理人 100127672
 弁理士 吉澤 憲治
 (72) 発明者 中野 正嗣
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石型モータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられた複数の永久磁石とを具備する回転子と、固定子鉄心と、この固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められた2組の3相の電機子巻線とを具備する固定子とを備え、一方の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、他方の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータにおいて、前記回転子の極数をMとし、前記固定子鉄心のスロット数をQとしたとき、MとQはM<Qなる関係をみたし、かつ、MとQの最大公約数が3以上となり、さらに、前記回転子は前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に前記回転子鉄心が設けられると共に、前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で20°~40°の間の値になるように制御され、前記永久磁石は、前記回転子の極数Mに対して前記回転子の周方向にM個並べられ、かつ、前記回転子鉄心の表面に備え付けられ、前記回転子の隣り合う永久磁石の間に磁性体の突出部が存在し、この突出部の径方向外側が前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に突出していることを特徴とする永久磁石型モータ。

10

【請求項2】

回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられた複数の永久磁石とを具備する回転子と、

20

固定子鉄心と、この固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められた2組の3相の電機子巻線とを具備する固定子とを備え、
 一方の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、他方の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータにおいて、
 前記回転子の極数をMとし、前記固定子鉄心のスロット数をQとしたとき、
 MとQは $M < Q$ なる関係をみたし、かつ、MとQの最大公約数が3以上となり、
 さらに、前記回転子は前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に前記回転子鉄心が設けられると共に、
 前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で $20^\circ \sim 40^\circ$ の間の値になるように制御され、
 前記永久磁石は、前記回転子の極数Mに対して前記回転子の周方向にM/2個並べられ、
 前記固定子鉄心は、開スロット構造であることを特徴とする電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータ。

10

【請求項3】

回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられた複数の永久磁石とを具備する回転子と、
 固定子鉄心と、この固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められた2組の3相の電機子巻線とを具備する固定子とを備え、
 一方の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、他方の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータにおいて、
 前記回転子の極数をMとし、前記固定子鉄心のスロット数をQとしたとき、
 MとQは $M < Q$ なる関係をみたし、かつ、MとQの最大公約数が3以上となり、
 さらに、前記回転子は前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に前記回転子鉄心が設けられると共に、
 前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で $20^\circ \sim 40^\circ$ の間の値になるように制御され、
 前記永久磁石は、前記回転子の極数Mに対して前記回転子の周方向にM/2個並べられ、かつ、
 前記回転子鉄心の表面に備え付けられており、
 前記永久磁石の磁極の極性と異なる極性の磁極に相当する前記回転子の突極の磁極中心に対して対称な形状のスリットを前記回転子鉄心に設けたことを特徴とする永久磁石型モータ。

20

30

【請求項4】

回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられた複数の永久磁石とを具備する回転子と、
 固定子鉄心と、この固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められた2組の3相の電機子巻線とを具備する固定子とを備え、
 一方の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、他方の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータにおいて、
 前記回転子の極数をMとし、前記固定子鉄心のスロット数をQとしたとき、
 MとQは $M < Q$ なる関係をみたし、かつ、MとQの最大公約数が3以上となり、
 さらに、前記回転子は前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に前記回転子鉄心が設けられると共に、
 前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で $20^\circ \sim 40^\circ$ の間の値になるように制御され、
 前記永久磁石は、前記回転子の極数Mに対して前記回転子の周方向にM/2個並べられ、かつ、
 前記回転子鉄心に埋め込まれており、
 前記永久磁石の磁極の極性と異なる極性の磁極に相当する前記回転子の突極の磁極中心に対して対称な形状のスリットを前記回転子鉄心に設けたことを特徴とする永久磁石型モータ。

40

【請求項5】

回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられた複数の永久磁石とを具備する回転子と、
 固定子鉄心と、この固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められた2組の3相の電

50

機子巻線とを具備する固定子とを備え、
 一方の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、他方の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータにおいて、
 前記回転子の極数をMとし、前記固定子鉄心のスロット数をQとしたとき、
 MとQは $M < Q$ なる関係をみたし、かつ、MとQの最大公約数が3以上となり、
 さらに、前記回転子は前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に前記回転子鉄心が設けられると共に、
 前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で $20^\circ \sim 40^\circ$ の間の値になるように制御され、
 前記永久磁石は、前記回転子の極数Mに対して前記回転子の周方向にM/2個並べられ、かつ、
 径方向長さが周方向長さに比べて長い長方形の断面形状を有し、前記回転子鉄心に埋め込まれ、
 前記回転子鉄心の形状は、前記永久磁石の着磁方向に従って形成される前記回転子鉄心のN極に相当する部分とS極に相当する部分との間にある第1の非磁性部の中心線に対して対称な形状であり、
 さらに、前記回転子鉄心の表面を前記永久磁石の中心線に対して対称な形状となる曲面を描く形状としたことを特徴とする永久磁石型モータ。

10

【請求項6】

請求項1から5のいずれか1項において、
 前記電機子巻線は分布巻であり、毎極毎相のスロット数 $Q/(3M)$ の値が整数であり、さらに $Q/(3M)$ が2以上の偶数であることを特徴とする永久磁石型モータ。

20

【請求項7】

請求項1から5のいずれか1項において、
 前記永久磁石の形状が平板状であることを特徴とする永久磁石型モータ。

【請求項8】

請求項2において、
 前記永久磁石は、前記回転子鉄心の表面に備え付けられていることを特徴とする永久磁石型モータ。

【請求項9】

請求項2において、
 前記永久磁石は、前記回転子鉄心に埋め込まれていることを特徴とする永久磁石型モータ。

30

【請求項10】

請求項5において、
 前記永久磁石の着磁方向は隣り合う永久磁石の向かい合う面が互いに同じ極になるような向きであり、
 前記隣り合う永久磁石の間には前記回転子鉄心が介在し、
 前記永久磁石の内径側の端面に接するように第2の非磁性部を設けていることを特徴とする永久磁石型モータ。

【請求項11】

請求項5において、
 前記永久磁石の中心線に対して対称な形状のスリットを前記回転子鉄心に設け、
 前記スリットは、前記回転子の径方向外側になるほど前記永久磁石の中心線から離れたところにスリットが存在する形状であることを特徴とする永久磁石型モータ。

40

【請求項12】

請求項1から5のいずれか1項において、
 前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角 30° になるように制御される永久磁石型モータ。

【請求項13】

請求項5において、

50

前記永久磁石の残留磁束密度を1 T以下としたことを特徴とする永久磁石型モータ。

【請求項14】

請求項1～13のいずれか1項に記載の永久磁石型モータを搭載した電動パワーステアリング装置。

【請求項15】

請求項1～13のいずれか1項に記載の永久磁石型モータの後方にECU(コントロールユニット)が一体に配置された電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータにおいて、前記モータの回転角度センサは軸倍角1Xのセンサを使い、かつ前記モータの極対数が3以上であることを特徴とする電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータ。

【請求項16】

請求項1～13のいずれか1項に記載の永久磁石型モータの後方にECU(コントロールユニット)が一体に配置された電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータにおいて、前記モータの回転角度センサは軸倍角NXのVR型レゾルバを使い、かつ前記モータの極対数Nが3以上であることを特徴とする電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、永久磁石型モータに関するもので、特に車両用の電動パワーステアリング装置に用いられるモータに関するものである。

【背景技術】

【0002】

この種のモータとして、特許文献1には、集中巻の表面磁石型で、10極12スロットの多相多重化された永久磁石型モータが開示されている。

また、特許文献2には、電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータで、集中巻突極数(スロット数)よりも多数の永久磁石が配置された磁石埋め込み型の例が開示されている。

また、特許文献3には、第1駆動回路と第2駆動回路で駆動される14極12スロットのコンシクエントポール型の永久磁石型モータが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平7-264822号公報

【特許文献2】特開2006-50709号公報

【特許文献3】特開2011-114941号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1の構造では表面磁石型モータであるため、リラクタンストルクが得られず高速回転でのトルクが小さいという課題があった。

特許文献2と特許文献3の構造では、低い空間次数の電磁加振力が発生するため、電動パワーステアリング装置において、振動・騒音が大きくなってしまいう課題があった。

【0005】

この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、空間次数の低い電磁加振力を低減すると共に、回転子の起磁力高調波の影響を小さくし低トルクリップルの永久磁石型モータを得ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明は、回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられた複数の永久磁石とを具備する回転子と、

10

20

30

40

50

固定子鉄心と、この固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められた2組の3相の電機子巻線とを具備する固定子とを備え、
 一方の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、他方の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータにおいて、
 前記回転子の極数をMとし、前記固定子鉄心のスロット数をQとしたとき、
 MとQは $M < Q$ なる関係をみたし、かつ、MとQの最大公約数が3以上となり、
 さらに、前記回転子は前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に前記回転子鉄心が設けられると共に、
 前記第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で $20^\circ \sim 40^\circ$ の間の値になるように制御され、
 前記永久磁石は、前記回転子の極数Mに対して前記回転子の周方向にM個並べられ、かつ、
 前記回転子鉄心の表面に備え付けられ、
 前記回転子の隣り合う永久磁石の間に磁性体の突出部が存在し、この突出部の径方向外側が前記永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも前記固定子に近い側に突出しているようにしたものである。

10

【発明の効果】

【0007】

この発明によれば、空間次数が2以下の電磁加振力を大幅に低減でき、振動騒音も大幅に小さくできると共に、回転子側起磁力に電気角で5次、7次の高調波調波があっても低トルクリプル低振動・低騒音の永久磁石型モータを得ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】この発明の実施の形態1の永久磁石型モータを示す断面図である。

【図2】実施の形態1の永久磁石型モータの駆動回路を示す回路構成図である。

【図3】実施の形態1の永久磁石型モータの他の例を示す断面図である。

【図4】実施の形態2の永久磁石型モータを示す断面図である。

【図5】実施の形態1の永久磁石型モータにおける電機子巻線の配置を模式化した説明図である。

【図6】この発明の実施の形態3の永久磁石型モータを示す断面図である。

【図7】実施の形態3の永久磁石型モータの他の例を示す断面図である。

30

【図8】通常のモータの回転子の起磁力波形とその周波数分析の結果を示す図である。

【図9】コンシクエントポール型モータの回転子の起磁力波形とその周波数分析を示す図である。

【図10】この発明の実施の形態4の永久磁石型モータを示す断面図である。

【図11】この発明の実施の形態5の永久磁石型モータを示す断面図である。

【図12】実施の形態5の永久磁石型モータの他の例を示す断面図である。

【図13】モータの回転速度とトルク特性を示す説明図である。

【図14】回転角度センサを具備した永久磁石型モータを示す説明図である。

【図15】レゾルバを具備した永久磁石型モータを示す説明図である。

【図16】この発明の実施の形態6の電動パワーステアリング装置を示す説明図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、この発明の電動パワーステアリング用永久磁石型モータの好適な実施の形態につき図面を用いて説明する。

実施の形態1

図1は実施の形態1の永久磁石型モータ10を示す断面図で、平板状の永久磁石13を用い、8極、48スロットに構成した例を示している。

回転子11は固定子21の内側に回転自在になるように設けられ、シャフト14と、その外側に設けられた回転子鉄心12と、回転子鉄心12に埋め込まれ、さらに8個等間隔に設けられた平板状の永久磁石13を有する。

50

図 1 における N と S は永久磁石 1 3 の極性をあらわす。すなわち図 1 では異なる極性の磁石が交互に並ぶように配置されている。永久磁石 1 3 から見て外周側の回転子鉄心 1 2 における固定子鉄心 2 2 に対向している表面は曲面を描くような形状となっている。

一方、固定子 2 1 はコアバック 2 3 とティース 2 4 とスロット 2 5 が設けられた固定子鉄心 2 2 と、スロット 2 5 に納められた分布巻の電機子巻線 3 0 を有する。

電機子巻線 3 0 の配置は、図 1 の 1 ~ 6 で示したスロット 2 5 の番号にそれぞれ、U1, U2, W1, W2, V1, V2 の電機子巻線 3 0 が納められている。以下 7 ~ 48 番目までのスロット 2 5 についても、同様に U1, U2, W1, W2, V1, V2 のパターンが 7 回繰り返す配置となっている。ただし、電流の流れる向きは 6 スロット離れた位置の巻線同士では反転するような配置となっている。

ところで、U1, U2, W1, W2, V1, V2 は 3 相の電機子巻線 3 0 が 2 組あることを示しており、第 1 の U 相巻線が U1, 第 2 の U 相巻線が U2, 第 1 の V 相巻線が V1, 第 2 の V 相巻線が V2, 第 1 の W 相巻線が W1, 第 2 の W 相巻線が W2 としている。

U1, V1, W1 が第 1 の電機子巻線 3 0 - 1 を構成し、第 1 のインバータに接続され、U2, V2, W2 が第 2 の電機子巻線 3 0 - 2 を構成し、第 2 のインバータに接続される。

【 0 0 1 0 】

図 1 では、回転子 1 1 は永久磁石 1 3 の最大外径 Rmax と最小内径 Rmin の中間の径よりも固定子 2 1 に近い側に回転子鉄心 1 2 が設けられている。

図 1 において Rmax は回転中心 O を中心とし、この回転中心と永久磁石 1 3 における回転中心から最も離れた点を結んだ直線の距離である。ただし、回転中心 O とこの回転中心から最も離れた点はシャフト 1 4 に垂直な平面上にある 2 点とする。この Rmax を永久磁石 1 3 の最大外径と定義する。

Rmin は回転中心 O を中心とし、この回転中心と永久磁石 1 3 における回転中心に最も近い点を結んだ直線の距離である。ただし、回転中心 O とこの回転中心に最も近い点はシャフト 1 4 に垂直な平面上にある 2 点とする。この Rmin を永久磁石 1 3 の最小外径と定義する。

永久磁石 1 3 の最大外径 Rmax と最小外径 Rmin の中間の径 Rc は

$$Rc = (Rmax + Rmin) / 2$$

で定義される。

このような構成では回転子鉄心 1 2 の磁気抵抗の変化を利用してリラクタンストルクを得ることができる。リラクタンストルクが出るモータでは d 軸インダクタンスが大きいと弱め磁束制御が効果的に作用し、高速回転でのトルクが向上する。

しかしながら、回転子鉄心 1 2 が固定子 2 1 に近いところに存在するために、磁気的なギャップ長が表面磁石型に比べて小さくなるため、電磁加振力やトルクリップルが大きくなる傾向がある。

また、磁石埋め込み型では回転子側が発生する起磁力高調波に 5 次、7 次（電気角 360 度周期の成分を 1 次とした）が表面磁石型に比べて多く含まれる傾向にあり、電磁加振力やトルクリップルが大きくなるという課題もある。

【 0 0 1 1 】

この発明はこの課題を解決し、トルクリップルも電磁加振力も低減する構成を提供するもので、回転子鉄心 1 2 と、この回転子鉄心 1 2 に設けられた複数の永久磁石 1 3 とを具備する回転子 1 1 と、固定子鉄心 2 2 と、この固定子鉄心 2 2 に形成された複数のスロット 2 5 に納められた 2 組の 3 相の電機子巻線 3 0 とを具備する固定子 2 1 とを備え、一方の電機子巻線 3 0 - 1 は第 1 のインバータから電流を供給され、他の一方の電機子巻線 3 0 - 2 は第 2 のインバータから電流を供給されるように構成した永久磁石型モータ 1 0 において、

回転子 1 1 の極数を M とし、固定子鉄心 2 2 のスロット 2 5 の数を Q としたとき、

M と Q は $M < Q$ なる関係をみたし、かつ、M と Q の最大公約数が 3 以上となり、

さらに、回転子 1 1 は永久磁石 1 3 の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子 2 1 に近い側に前記回転子鉄心 1 2 が設けられると共に、

10

20

30

40

50

第1のインバータと前記第2のインバータから供給される3相の電流の位相差が電気角で $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の間の値になるように制御されるようにしたものである。

【0012】

図2は実施の形態1におけるモータ10の駆動回路を示す回路構成図である。モータ10は図1で述べた極数が8、スロット数が48の分布巻の永久磁石型モータである。図2では簡単のため詳細省略し、モータ10の電機子巻線30のみを示している。モータ10の電機子巻線30は第1のU相巻線U1、第1のV相巻線V1、第1のW相巻線W1によって構成される第1の電機子巻線30-1と、第2のU相巻線U2、第2のV相巻線V2、第2のW相巻線W2によって構成される第2の電機子巻線30-2とから構成される。ECU(コントロールユニット)101も簡単のため詳細は省略し、インバータのパワー回路部のみを示す。

10

ECU101は2台のインバータ102から構成されていて、それぞれのインバータ102-1、2から第1及び第2の電機子巻線30-1、2に3相の電流を供給する。

ECU101にはバッテリーなどの電源103から直流電源が供給されており、ノイズ除去用のコイル104を介して、電源リレー105が接続されている。

図2では電源103がECU101の内部にあるかのように描かれているが、実際はバッテリー等の外部の電源からコネクタを介して電力が供給される。

電源リレー105は電源リレー105-1、2の2個あり、それぞれ2個のMOS-FETで構成され、故障時などは電源リレー105を開放して、過大な電流が流れないようにする。

なお、図2では、電源リレー105は電源103、コイル104、電源リレー105の順に接続されているが、コイル104よりも電源103に近い位置に設けられてもよいことは言うまでもない。

20

【0013】

インバータ102-1とインバータ102-2はそれぞれ6個のMOS-FETを用いたブリッジで構成され、インバータ102-1では、MOS-FET107-1、MOS-FET107-2が直列接続され、MOS-FET107-3、MOS-FET107-4が直列接続され、MOS-FET107-5、MOS-FET107-6が直列接続されて、さらにこの3組のMOS-FETが並列に接続されている。

さらに、下側の3つのMOS-FET107-2、4、6のGND(グランド)側にはそれぞれシャント抵抗が1つずつ接続されており、シャント109-1、シャント109-2、シャント109-3としている。これらシャント抵抗は電流値の検出に用いられる。

30

なお、シャントは3個の例を示したが、2個のシャントであってもよいし、1個のシャントであっても電流検出は可能であるため、そのような構成であってもよいことは言うまでもない。

【0014】

モータ10側への電流の供給は図2に示すようにMOS-FET107-1、2の間からバスバーなどを通じてモータ10のU1相へ、MOS-FET107-3、4の間からバスバーなどを通じてモータ10のV1相へ、MOS-FET107-5、6の間からバスバーなどを通じてモータ10のW1相へそれぞれ供給される。

インバータ102-2も同様の構成となっていて、インバータ102-2では、MOS-FET108-1、MOS-FET108-2が直列接続され、MOS-FET108-3、MOS-FET108-4が直列接続され、MOS-FET108-5、MOS-FET108-6が直列接続されて、さらにこの3組のMOS-FETが並列に接続されている。

40

さらに、下側の3つのMOS-FET108-2、4、6のGND(グランド)側にはそれぞれシャント抵抗が1つずつ接続されており、シャント110-1、シャント110-2、シャント110-3としている。

これらシャント抵抗は電流値の検出に用いられる。なお、シャントは3個の例を示したが、2個のシャントであってもよいし、1個のシャントであっても電流検出は可能であるため、そのような構成であってもよいことは言うまでもない。

【0015】

50

モータ10側への電流の供給は図2に示すようにMOS-FET108-1, 2の間からバスバーなどを通じてモータ10のU2相へ, MOS-FET108-3, 4の間からバスバーなどを通じてモータ10のV2相へ, MOS-FET108-5, 6の間からバスバーなどを通じてモータ10のW2相へそれぞれ供給される。

2台のインバータ102-1, 2はモータ10に備えられた回転角度センサ111によって検出した回転角度に応じて制御回路(図示しない)からMOS-FETに信号を送ることでスイッチングし, 第1及び第2の電機子巻線30-1, 2に所望の3相電流を供給する。

なお, 回転角度センサ111はレゾルバやGMRセンサやMRセンサなどが用いられる。

【0016】

第1のインバータ102-1と第2のインバータ102-2によって電機子巻線30-1と電機子巻線30-2に3相の電流が流れるが, 電機子巻線30-1と電機子巻線30-2の位相差を電気角 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$, 望ましくは電気角 30° とするとトルクリップルの6次成分(電気角360度周期の成分を1次とした)が大幅に低減される。

これは, 回転子11側が発生する起磁力高調波に5次, 7次(電気角360度周期の成分を1次とした)が含まれていたとしても, 電機子巻線30-1と電機子巻線30-2の電流の位相を変化させることで電機子側の起磁力波形の5次, 7次成分がなくなるか, あるいは非常に小さくできるためである。

この位相差はモータ10の駆動状態に応じて変化させてもよいし, たとえば電気角 30° で固定してもよい

また, 位相差を電気角 30° としたときは巻線係数が等価的に向上し, トルクも向上するために, 少ない永久磁石13で大きなトルクを得ることができ, モータ10の低コスト化に寄与できるという効果がある。

【0017】

特許文献1には極数10, スロット数12の例が開示されているが, これは空間2次の電磁加振力が発生する。特許文献2には極数10, スロット数9の例, 極数20, スロット数18の例, 極数22, スロット数21の例が開示されている。これらはそれぞれ, 空間2次, 空間1次, 空間2次の電磁加振力が発生する。

また, 特許文献3には極数14(磁石は7個), スロット数12のコンシクエントポール型が開示されているが, これは磁気回路が回転対称とならないため, 空間1次の電磁加振力が発生する。

このように, 従来例では空間1次や空間2次の電磁加振力が発生し, 電動パワーステアリング装置においては振動・騒音の課題があった。

空間1次の電磁加振力は回転子を常に径方向に振動させる電磁力となるため, 特に大きな振動・騒音となる。空間2次の電磁加振力は固定子21を楕円形状に変形させるため, 電磁加振力の値が同じでも空間次数が3次以上の場合に比べて, 固定子やフレームの変形量が大きくなり, 振動・騒音の原因となることがある。

さらに, 磁石埋め込み型のモータでは永久磁石の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子に近い側に回転子鉄心が設けられているため, この電磁加振力も大きくなる課題があった。

【0018】

しかし, 図1の構成では, 空間次数が2以下の電磁加振力が発生しない。図1は8極48スロットとなっており, 電機子巻線30の配置は前述したように6スロット毎すなわち機械角 45° 毎に対称性を持っている。回転子11については, 極性が逆にはなるが1極毎すなわち機械角 45° 毎に回転対称となっている。

したがって, 電磁力の空間的な分布が1極6スロット毎に対称性を持っていることとなり, 電磁加振力の空間次数が8と高い値となり, 振動・騒音を大幅に低減することができる。ここで, 電磁加振力の空間次数8は極数とスロット数の最大公約数である。

【0019】

従来例に開示されている極数10, スロット数9のモータの極数とスロット数の最大公約数は1であり, 電磁加振力の空間次数を3以上にするには3倍とした30極27スロ

10

20

30

40

50

トとなる。

同様に考えると、極数 20、スロット数 18 の例でも 30 極 27 スロット、極数 22、スロット数 21 の例では 44 極 42 スロット、極数 14 (磁石は 7 個)、スロット数 12 のコンシクエントポール型では極数とスロット数の最大公約数は 2 であるから、電磁加振力の空間次数を 3 以上にするには極数 28 (磁石は 14 個)、スロット数 24 のコンシクエントポール型とする必要がある。

これら従来例は永久磁石と回転子鉄心によって構成される回転子の極数を M とし、固定子鉄心において電機子巻線を納めるスロットの数を Q としたとき、 M と Q は $M > Q$ となるモータであり、この条件をみたまは極数とスロット数の最大公約数が小さくなるため、電

10

子加振力の空間次数を 3 以上とするには極数が大きくなりすぎる。

極数が多いと同じ回転数でも周波数が高くなり制御の演算 (マイコン) の負荷が高くなり高コストとなってしまう。

また、極数が大きいと回転角度センサの位置誤差を電気角換算したときの値が大きくなりトルクリップルや振動・騒音が大きくなるという課題があった。

【0020】

しかしながら、図 1 の構成であれば極数が小さくてもいいため制御の演算の負荷が小さくてすむという効果が得られる。

また、空間次数が 2 以下の電磁加振力を大幅に低減でき、振動騒音も大幅に小さくできるという効果がある。

さらに、回転子側起磁力に電気角で 5 次、7 次の高調波調波があっても低トルクリップル低振動・低騒音のモータを得ることができる。

20

従来では極数多い構成となり、同じ回転数でも周波数が高くなり制御の演算 (マイコン) の負荷が高く、高コストとなっていたが極数が小さくてもいいため制御の演算の負荷が小さくてすむ。

また、極数が小さくても構成できるので回転角度センサの位置誤差を電気角換算したときの値が小さくなりトルクリップルや振動・騒音が小さくできる。

さらに、リラクタンストルクが得られ、高速回転でのトルクを大きくできる。

【0021】

ここで、図 2 のようにインバータ 102 を 2 台設ける場合の効果を述べておく。

インバータを 2 台としたほうが、インバータの容量や放熱面積が増えて、電機子巻線に大電流を流すことができる。すなわちモータ 10 の定格電流を大きくできるので、同等トルクのモータ 10 を設計した場合には、巻線抵抗低減により定格回転数を向上することができる。

30

図 13 を使って説明する。

定格トルクが T_0 で 1 つのインバータで駆動されるモータの $N-T$ 曲線を C_1 で示す。定格回転数は N_{10} 、無負荷回転数は N_{11} となっている。

一方、定格トルクが同じく T_0 で 2 つのインバータで駆動され、かつ上記の 1 つのインバータで駆動されるモータよりも定格電流が大きいモータの $N-T$ 曲線は C_2 のようになる。

定格回転数 N_{20} は $N_{20} > N_{10}$ となり高出力化が実現できる。無負荷回転数 N_{21} も $N_{21} > N_{11}$ となり高回転域でも高トルクとなるモータを得ることができる。

40

インバータを 2 台設け放熱面積が増えると、運転者が操舵を長時間繰り返してもインバータの温度上昇が低減されるため、モータが操舵力を長時間アシストし続けることができる。したがって、電動パワーステアリング装置としての性能向上に寄与することができる。

【0022】

図 1 の永久磁石型モータ 10 においては、永久磁石 13 の形状が平板状であるため、永久磁石の材料歩留まりがよく低コストとなるという効果がある。通常のカマボコ形では磁石厚さが薄い部分ができるため、その部分で減磁しやすいという課題があったが、平板型では厚さが均一であるため減磁しにくいという効果がある。

また、永久磁石 13 を回転子鉄心 12 に埋め込んだ構造であるため SUS やアルミニウムなどの金属製カバーを設けるといった磁石飛散防止策が不要となり低コストとなるという効

50

果もある。

なお、図1では平板状の永久磁石13が回転子鉄心12に埋め込まれ、かつ、永久磁石13の周方向の幅が径方向の厚みよりも大きい場合を示したが、この発明はそれに限らない。

図3は永久磁石型モータ10の別の例で、断面形状が長方形であり、回転子鉄心12に径方向長さが周方向長さに比べて長い永久磁石13が埋め込まれている。永久磁石13の着磁方向は図3に示すNとSがそれぞれN極、S極になるような方向に着磁されている。すなわち、隣り合う永久磁石13の向かい合う面が互いに同じ極になるように着磁されている。このような着磁方向とすることで、磁束を回転子鉄心12に集中させて、磁束密度を高めるといった効果がある。

また、隣り合う永久磁石13の間には回転子鉄心12が介在する。この回転子鉄心12の固定子21側に対向する面は曲面部15を有し、その曲面の形状が隣り合う永久磁石13間の中間地点において固定子21との空隙長が短くなるような凸形状の曲面を形成している。

この曲面部15の径方向外側は、図1の場合と同様に定義される永久磁石13の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子21に近い側に突出している。

このような形状により、空隙に発生する磁束密度の波形を滑らかにできるため、コギングトルクやトルクリップルを小さくすることができる。

さらに、永久磁石13の内径側の端面に接するように非磁性部16aを設けている。ここは、空気としてもよいし、樹脂を充填してもよいし、ステンレスやアルミニウムのような非磁性の金属を挿入してもよい。

このようにすることで、永久磁石13の漏れ磁束を低減することができるためモータ10が高トルクとなる。

隣り合う永久磁石13の間の回転子鉄心12と、シャフト14の外周を囲うように設けられた回転子鉄心12との間に連結部17が設けられている。これは両者を機械的に連結する働きを持っている。

【0023】

上記の例では、永久磁石13の径方向長さが周方向長さに比べて長いので、磁束を回転子鉄心12に集中させることができ高トルクとなる。

回転子鉄心12に永久磁石13が埋め込まれた構造では、表面磁石型に比べてトルクリップルが大きくなり振動騒音が大きくなるという課題があったが、図2に示す2組の3相インバータで駆動し、電機子巻線30-1と電機子巻線30-2の位相差を電気角 20° ~ 40° 、望ましくは電気角 30° とすることによって6次のトルクリップルを低減することができる。

また、図1と同様に電磁加振力の空間次数が8と高い値となり、振動・騒音を大幅に低減することができる。

【0024】

図1と図3では毎極毎相のスロット数が2の例を示したが、これに限らない。

図5の(a)は毎極毎相2の例であるが、図5(b)に示す毎極毎相のスロット数が4の場合であってもよい。

図5(b)ではU11, U12, U21, U22, W11, W12, W21, W22, V11, V12, V21, V22の順に電機子巻線30が配置されている。このうちU11, U12, W11, W12, V11, V12が第1のインバータ102-1用の電機子巻線を示し、U21, U22, W21, W22, V21, V22が第2のインバータ102-2用の電機子巻線を示す。

毎極毎相のスロット数が4以上の偶数とすれば、電機子巻線起磁力の高調波が小さくなり、トルクリップルがより低減できるという効果がある。

ここで、偶数とするのは2台のインバータで駆動するための電機子巻線が2組必要であるためである。

一般化すると、毎極毎相のスロット数 $Q/(3M)$ の値が整数であり、さらに $Q/(3M)$ が2以上の偶数とすれば、電機子巻線が発生する起磁力高調波に偶数次(電気角360度周期を1

10

20

30

40

50

次とする)が含まれないので回転子11の起磁力に偶数次(電気角360度周期を1次とする)の高調波があってもトルクリップルにはならず,低トルクリップル低振動・低騒音のモータを得ることができる。

さらに, $Q/(3M)$ が2以上の偶数としたときの効果としては,スロットピッチが電気角30°以下となり,2組の3相の電機子巻線を構築しやすいという効果もある。

【0025】

実施の形態2.

図4は実施の形態2の永久磁石型モータ10の断面の説明図で,集中巻を採用し20極,24スロットに構成した例を示す。

回転子11は固定子21の内側に回転自在になるように設けられ,シャフト14とその外側に設けられた回転子鉄心12と回転子鉄心12の外周側に20個等間隔に設けられた永久磁石13を有する。

固定子21は,円環状のコアバック23とコアバック23から内径方向に伸びた計24個のティース24と隣合う2つティース24の間にスロット25が設けられた固定子鉄心22と各ティース24に集中的に巻き回された電機子巻線30を有す。

なお,図4では簡単のため,電機子巻線30と固定子鉄心22の間にもうけられるインシュレータや固定子鉄心22の外周に設けられるフレームを省略している。また,便宜的にティース24には1~24まで番号を割り振っている。さらに,各ティース24に集中的に巻き回されている電機子巻線(コイル)30について,U,V,Wの3相のいずれのコイルか分かるように,便宜的に番号を付けて表している。

UVW各相は,

U相はU11, U12, U21, U22, U31, U32, U41, U42の8個

V相はV11, V12, V21, V22, V31, V32, V41, V42の8個

W相はW11, W12, W21, W22, W31, W32, W41, W42の8個

からそれぞれ構成され,図4に示すように各コイルはティースそれぞれに対応して,U11, U12, V11, V12, W11, W12, U21, U22, V21, V22, W21, W22, U31, U32, V31, V32, W31, W32, U41, U42, V41, V42, W41, W42の順に並んでいる構成となっている。

また,巻線の巻き方向は

U11とU12とは互いに逆であり,U21とU22とは互いに逆であり,

U31とU32とは互いに逆であり,U41とU42とは互いに逆であり,以下V相,W相も同様となっている。これらをY結線あるいは結線して2組の3相の電機子巻線30を構成する。

2組の電機子巻線を構成する際,U11, U21, U31, U41, V11, V21, V31, V41, W11, W21, W31, W41から第1の電機子巻線30-1を構成し,U12, U22, U32, U42, V12, V22, V32, V42, W12, W22, W32, W42,から第2の電機子巻線30-2を構成する。

これら電機子巻線30-1と電機子巻線30-2は図2に示すように2台のインバータ1とインバータ2に接続される。

【0026】

回転子11の隣合う永久磁石13の間には突出部18が存在し,この突出部18は回転子鉄心12と同じく磁性体で構成される。また,この突出部18の径方向外側は,図1の場合と同様に定義される永久磁石13の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子21に近い側に突出している。

このような構成では回転子鉄心12の磁気抵抗の変化を利用してリラクタンストルクを得ることができる。リラクタンストルクが出るモータではd軸インダクタンスが大きいため弱め磁束制御が効果的に作用し,高速回転でのトルクが向上する。

しかしながら,回転子鉄心12が固定子21に近いところに存在するために,磁気的なギャップ長が表面磁石型に比べて小さくなるため,回転子11側が発生する起磁力高調波に5次,7次(電気角360度周期の成分を1次とした)が多く含まれ,電磁加振力やトルクリップルが大きくなる傾向がある。固定子鉄心22において電機子巻線30を納めるスロット25の数をQ

10

20

30

40

50

としたとき，MとQは

$M < Q$

なる関係のみたし，MとQの最大公約数が4となるため，電磁加振力の空間次数が4となり，低振動・低騒音となる。

【0027】

この実施の形態においても，第1のインバータ102-1と第2のインバータ102-2によって電機子巻線30-1と電機子巻線30-2に3相の電流が流れるが，電機子巻線30-1と電機子巻線30-2の位相差を電気角 $20^\circ \sim 40^\circ$ ，望ましくは電気角 30° とするとトルクリップルの6次成分（電気角360度周期の成分を1次とした）が大幅に低減される。

これは，回転子11側が発生する起磁力高調波に5次，7次（電気角360度周期の成分を1次とした）が含まれていたとしても，電機子巻線30-1と電機子巻線30-2の電流の位相を変化させることで電機子側の起磁力波形の5次，7次成分がなくなるか，あるいは非常に小さくできるためである。

この位相差はモータの駆動状態に応じて変化させてもよいし，たとえば電気角 30° で固定してもよい

【0028】

実施の形態3．

図6は固定子21が分布巻で8極48スロットの表面磁石型のコンシクエントポール型モータ10の例である。

固定子21は図1と同様で，固定子21はコアバック23とティース24とスロット25が設けられた固定子鉄心22とスロット25に納められた電機子巻線30を有する。電機子巻線30の配置は，図6の1～6で示したスロット25の番号にそれぞれ，U1，U2，W1，W2，V1，V2の電機子巻線30が納められている。以下7～48番目までのスロット25についても，同様にU1，U2，W1，W2，V1，V2のパターンが7回繰り返す配置となっている。ただし，電流の流れる向きは6スロット離れた位置の巻線同士では反転するような配置となっている。

ところで，U1，U2，W1，W2，V1，V2は3相の電機子巻線30が2組あることを示しており，第1のU相巻線がU1，第2のU相巻線がU2，第1のV相巻線がV1，第2のV相巻線がV2，第1のW相巻線がW1，第2のW相巻線がW2としている。U1，V1，W1が第1の電機子巻線30-1を構成し，第1のインバータ102-1に接続され，U2，V2，W2が第2の電機子巻線30-2を構成し，第2のインバータ102-2に接続される。

回転子11は図1とは異なり，永久磁石13が周方向に4個配置されていて，着磁方向については図6においてNで示したところがN極，Sで示したところがS極となるように着磁されている。

すなわち，4個の永久磁石13がすべて同じ向きに着磁された状態となっている。永久磁石13の間には回転子鉄心12が存在し，突極Scで示すところが通常のモータのS極に相当する部分となっている。

また，この突極Scの径方向外側は，図1の場合と同様に定義される永久磁石13の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子21に近い側に突出している。

【0029】

図7は10極60スロットの表面磁石型コンシクエントポール型モータ10の例である。図7の1～6で示したスロット25の番号にそれぞれ，U1，U2，W1，W2，V1，V2の電機子巻線30が納められている。以下7～60番目までのスロット25についても，同様にU1，U2，W1，W2，V1，V2のパターンが9回繰り返す配置となっている。ただし，電流の流れる向きは6スロット離れた位置の巻線同士では反転するような配置となっている。

ところで，U1，U2，W1，W2，V1，V2は3相の電機子巻線30が2組あることを示しており，第1のU相巻線がU1，第2のU相巻線がU2，第1のV相巻線がV1，第2のV相巻線がV2，第1のW相巻線がW1，第2のW相巻線がW2としている。U1，V1，W1が第1の電機子巻線30-1を構成し，第1のインバータ102-1に接続され，U2，V2，W2が第2の電機子巻線3

10

20

30

40

50

0 - 2を構成し、第2のインバータ102 - 2に接続される。

【0030】

特許文献3に開示されている極対数が奇数の例、極数14（磁石は7個）、スロット数12のコンシクエントポール型では磁気回路が回転対称とならないため、空間1次の電磁加振力が発生し、電動パワーステアリング装置においては振動騒音が大きくなるという課題があった。

しかしながら、図6、図7の構造ではコンシクエントポール型でも空間次数の低い電磁加振力が発生しない。その原理について説明しておく。

図6、図7の回転子11はコンシクエントポール型をしており、回転子11側は2極分（電気角360度分）で周期性を持った構造となっている。

一方、固定子21は先に説明したように6スロット分（電気角180度分）にて周期性を持った構造となっている。ただし、電気角180度離れた位置の電機子巻線30には逆方向の電流が流れるため、磁束密度の向きが反転する周期性となっている。

上記と電磁力は磁束密度の自乗に比例する量であることを考慮すると、電磁力は2極分すなわち電気角360度分で周期性を持った構造となっている。

したがって、図7の回転中心0と電気角360度ごとの計5つの点A、B、C、D、Eを結んだ直線OA、OB、OC、OD、OEで囲まれる領域R1、R2、R3、R4、R5の電磁力を合計すると釣り合うことから空間1次の電磁加振力は発生しないことになる。

さらに、電磁力は2極分すなわち電気角360度分で周期性を持つため、電磁加振力の空間次数は5となる。

このように、本実施の形態の構造とすれば、極対数が奇数のコンシクエントポール型でも空間次数の3以下の電磁加振力が発生しないため、低振動・低騒音のモータが得られる。また、図6、図7は永久磁石13を回転子鉄心12の表面に設けているので鉄心への漏れ磁束が少なく永久磁石13の磁束の利用効率が高いという効果もある。コンシクエントポール型は永久磁石13の部品点数が低減できるという効果がある。

【0031】

上記のように、実施の形態3においては、永久磁石13は回転子11の極数Mに対して回転子11の周方向にM/2個並べると共に、回転子鉄心12の表面に備え付けられた構造を有するもので、部品点数低減と漏れ磁束少なく磁石の利用効率アップ、回転子側の起磁力波形に偶数次が含まれていても低トルクリップル低振動・低騒音が実現できるという効果がある。

【0032】

実施の形態4

実施の形態3ではコンシクエントポール型で回転子鉄心12の表面に永久磁石を配置した例を示したが、回転子鉄心12に永久磁石を埋め込んだIPM（Interior Permanent Magnet）型でもよい。

図10は10極60スロットで固定子21が分布巻、回転子11がコンシクエントポール型のIPMの例を示す。図10の1～6で示したスロット25の番号にそれぞれ、U1、U2、W1、W2、V1、V2の電機子巻線30が納められている。以下7～60番目までのスロット25についても、同様にU1、U2、W1、W2、V1、V2のパターンが9回繰り返す配置となっている。ただし、電流の流れる向きは6スロット離れた位置の巻線同士では反転するような配置となっている。ところで、U1、U2、W1、W2、V1、V2は3相の電機子巻線30が2組あることを示しており、第1のU相巻線がU1、第2のU相巻線がU2、第1のV相巻線がV1、第2のV相巻線がV2、第1のW相巻線がW1、第2のW相巻線がW2としている。U1、V1、W1が第1の電機子巻線30 - 1を構成し、第1のインバータ102 - 1に接続され、U2、V2、W2が第2の電機子巻線30 - 2を構成し、第2のインバータ102 - 2に接続される。

【0033】

回転子11には平板状の永久磁石13が回転子11の極数Mに対して周方向にM/2個すなわち5つ配置され、回転子鉄心12に埋め込まれている。極性は図6のNで示す部分がN極、Sで示す部分がS極となるように着磁されている。永久磁石13の間に設けられた回

10

20

30

40

50

転子鉄心12の突極Scは通常のモータのS極と同じ働きをする部分である。

このように、コンシクエントポール型では永久磁石13によるN極と突極Scが磁氣的に非対称となる。この磁氣的な非対称性の理解を助けるために、図8、図9に起磁力波形とその周波数分析の結果を示す。次数については電気角360度周期の成分を1次とした。

図8の上図はN極とS極の両方が永久磁石13で構成される通常のモータの場合の回転子の起磁力波形である、図8の下図はその周波数分析結果である。電気角0~180度と180~360度で正負が反転した対称な波形となっている。この場合は、奇数次の高調波のみが含まれる(下図)。

一方、コンシクエントポール型の場合はN極と突極Sc(あるいはS極と通常のモータのN極に相当する突極Ncの場合もありうる)で波形が対称とはならない。図9の上図はコンシクエントポール型の回転子の起磁力波形を示し、下図はその周波数分析結果を示す。起磁力波形が非対称となるため、2次、4次など偶数次の高調波が含まれていることが判る。従来の構成では回転子の起磁力波形に偶数次の高調波があるとコギングトルクやトルクリップルが増大し、電動パワーステアリング装置用のモータには適さないという課題があった。

しかしながら、特許文献3にある集中巻とは異なり、本実施の形態の図10の構成では電機子巻線30が分布巻で、かつ1~6で示したスロット25の番号にそれぞれ、U1、U2、W1、W2、V1、V2の電機子巻線30が納められている。以下7~60番目までのスロット25についても、同様にU1、U2、W1、W2、V1、V2のパターンが9回繰り返す配置となっている。ただし、電流の流れる向きは6スロット離れた位置の巻線同士では反転するような配置となっている。このような構成にすると、偶数次の起磁力高調波が原理上現れない。したがって、実施の形態3と同様に、部品点数低減と漏れ磁束少なく磁石の利用効率アップ、回転子側の起磁力波形に偶数次が含まれていても低トルクリップル低振動・低騒音が実現できるという効果がある。

【0034】

さらに、図10の回転子鉄心12にスリット19a~19dが設けられている。また、その形状は点線で示した磁極中心に対して左右対称の形状であり、かつ、回転子11の外側側になるにつれて、スリットが磁極中心に近づく形状となっている。

このような形状とすることで、磁束を磁極中心に集中させて、トルク向上の効果が得られるのと同時に、図9で示した起磁力波形の非対称性を緩和して、突極部分の起磁力波形が永久磁石13による磁極の起磁力波形に近づける効果がある。

これはすなわち、図9の偶数次の高調波を低減する効果が得られるため、コギングトルク、トルクリップルの低減の効果が得られる。

図10では、スリットが各突極Scに4個設けられた例を示したが、これに限ったことではなく、4個以下でも6個以上でも同様の効果が得られることはいうまでもない。

【0035】

実施の形態5.

図11は図3の構成において永久磁石13の配置や回転子鉄心12の形状が異なる例である。回転子11は固定子21の内側に回転自在になるよう設けられている。回転子11は回転軸となるシャフト14とシャフト14の外側に回転子鉄心12が設けられている。永久磁石13はその径方向の長さが周方向の長さ比べて長い長方形の断面形状をしており、回転子11の極数Mに対してM/2個すなわち5個の永久磁石13が周方向に等間隔に並んでいる。

永久磁石13の着磁方向は図11に示すNとSがそれぞれN極、S極になるような方向に着磁されている。すなわち、隣り合う永久磁石13の向かい合う面が異なる極になるように着磁されている。

さらに、隣り合う永久磁石13の間には非磁性部16bが設けられている。この非磁性部16bは空気としてもよいし、樹脂を充填してもよいし、ステンレスやアルミニウムのような非磁性の金属を挿入してもよい。先に述べた着磁方向とし、さらにこの非磁性部16bを設けることで、磁束を回転子鉄心12に集中させて、磁束密度を高めるという効果が

10

20

30

40

50

ある。

また、永久磁石 1 3 の周方向の両側には回転子鉄心 1 2 が存在する。永久磁石 1 3 の着磁方向に従って、突極 N c は N 極、突極 S c は S 極に相当する磁極を構成することになる。したがって、この回転子 1 1 は 1 0 極の回転子として動作する。

なお、この突極 N c、S c の径方向外側は、図 1 の場合と同様に定義される永久磁石 1 3 の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子 2 1 に近い側に突出している。

【 0 0 3 6 】

さらに、永久磁石 1 3 と非磁性部 1 6 b の内径側の端面に接するように非磁性部 1 6 a を設けている。ここは、空気としてもよいし、樹脂を充填してもよいし、ステンレスやアルミニウムのような非磁性の金属を挿入してもよい。

このようにすることで、永久磁石 1 3 の漏れ磁束を低減することができ、モータ 1 0 を高トルクとできる。隣り合う永久磁石 1 3 の間の回転子鉄心 1 2 とシャフト 1 4 の外周を囲うように設けられた回転子鉄心 1 2 の間に連結部 1 7 が設けられている。これは両者を機械的に連結する働きを持っている。

【 0 0 3 7 】

このような回転子構造では、永久磁石 1 3 の数が半分となっていることから図 3 の回転子構造と比較して磁束密度の分布が不均一となり、結果としてトルクリップルが増大するという課題があった。

その上、固定子鉄心 2 2 が閉スロット構造となっていることから、ティース 2 4 間の漏れ磁束に起因する鉄心の磁気飽和によってもトルクリップルが増加するという課題があった。しかし、本実施の形態の構成によると図 2 のように 2 組の 3 相インバータで駆動し、電機子巻線 3 0 - 1 と電機子巻線 3 0 - 2 の位相差を電気角 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 、望ましくは電気角 30° としているため、トルクリップル 6 次成分が大幅に低減される。

【 0 0 3 8 】

さらに、回転子鉄心 1 2 にはスリット 1 9 e ~ 1 9 h が設けられている。これらのスリットはすべての磁極に設けられている。また、スリット 1 9 e ~ 1 9 h は図 1 1 の回転中心 0 を通る点線で示した永久磁石 1 3 の中心線に対して対称な位置に設けられている。

さらに、スリットの形状は、回転子 1 1 の径方向外側になるほど永久磁石 1 3 の中心線から離れたところにスリットが存在するような形状となっている。

このような形状とすることで、磁束を突極 N c と突極 S c 側に導き、磁束を突極 N c と突極 S c 付近に集中させモータ 1 0 のトルクを向上させるという効果が得られる。

さらに、このように突極 N c と突極 S c 付近の回転子鉄心 1 2 を回転対称ではない形状とすることによって、コンシクエントポール型で課題となる図 9 に示すような非対称性に起因する起磁力高調波の偶数次成分を低減させることができるので、コギングトルクやトルクリップルを低減できるという効果も得られる。

また、電機子巻線 3 0 は図 1 0 と同じである。この電機子巻線 3 0 の構成では実施の形態 4 で述べたように電機子巻線 3 0 の起磁力には偶数次の起磁力高調波が原理上現れない。したがって、回転子 1 1 側に偶数次の起磁力高調波が存在してもトルクリップルがほとんど増加することがないという効果も得られることは言うまでもない。

図 1 1 では、各永久磁石 1 3 の両側に計 4 個設けた例を示したが、これに限ったことではなく、4 個以下でも 6 個以上でも同様の効果が得られることは言うまでもない。

【 0 0 3 9 】

図 1 2 は図 3 の構成で永久磁石 1 3 の配置や回転子鉄心 1 2 の形状が異なる例である。回転子 1 1 は固定子 2 1 の内側に回転自在になるよう設けられている。回転子 1 1 は回転軸となるシャフト 1 4 とシャフト 1 4 の外側に回転子鉄心 1 2 が設けられている。永久磁石 1 3 はその径方向の長さが周方向の長さ比べて長い長方形の断面形状をしており、この永久磁石 1 3 が周方向に等間隔に 5 個並んでいる。

永久磁石 1 3 の着磁方向は図 1 2 に示す N と S がそれぞれ N 極、S 極になるような方向に着磁されている。すなわち、隣り合う永久磁石 1 3 の向かい合う面が異なる極になるように着磁されている。

10

20

30

40

50

さらに、隣り合う永久磁石 1 3 の間には非磁性部 1 6 b が設けられている。この非磁性部 1 6 b は空気としてもよいし、樹脂を充填してもよいし、ステンレスやアルミニウムのような非磁性の金属を挿入してもよい。先に述べた着磁方向とし、さらにこの非磁性部 1 6 b を設けることで、磁束を回転子鉄心 1 2 に集中させて、磁束密度を高めるといった効果がある。

また、永久磁石 1 3 の周方向の両側には回転子鉄心 1 2 が存在する。永久磁石 1 3 の着磁方向に従って、突極 N c は N 極、突極 S c は S 極に相当する磁極を構成することになる。したがって、この回転子 1 1 は 1 0 極の回転子として動作する。

なお、この突極 N c、S c の径方向外側は、図 1 の場合と同様に定義される永久磁石 1 3 の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子 2 1 に近い側に突出している。

10

【 0 0 4 0 】

さらに、永久磁石 1 3 と非磁性部 1 6 b の内径側の端面に接するように非磁性部 a を設けている。ここは、空気としてもよいし、樹脂を充填してもよいし、ステンレスやアルミニウムのような非磁性の金属を挿入してもよい。

このようにすることで、永久磁石 1 3 の漏れ磁束を低減することができ、モータ 1 0 を高トルクとできる。隣り合う永久磁石 1 3 の間の回転子鉄心 1 2 とシャフト 1 4 の外周を囲うように設けられた回転子鉄心 1 2 の間に連結部 1 7 が設けられている。これは両者を機械的に連結する働きを持っている。

【 0 0 4 1 】

このような回転子構造では、永久磁石 1 3 の数が半分となっていることから図 3 の回転子構造と比較して磁束密度の分布が不均一となり、結果としてトルクリップルが増大するという課題があった。

20

その上、固定子鉄心 2 2 が閉スロット構造となっていることから、ティース 2 4 間の漏れ磁束に起因する鉄心の磁気飽和によってもトルクリップルが増加するという課題があった。しかし、本実施の形態の構成によると図 2 のように 2 組の 3 相インバータで駆動し、電機子巻線 3 0 - 1 と電機子巻線 3 0 - 2 の位相差を電気角 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 、望ましくは電気角 30° としているため、トルクリップル 6 次成分が大幅に低減される。

【 0 0 4 2 】

さらに、回転子鉄心 1 2 にはスリット 1 9 i、1 9 j が設けられている。これらのスリットはすべての磁極に設けられている。また、スリット 1 9 i、1 9 j は図 1 2 の回転中心 0 を通る点線で示した永久磁石 1 3 の中心線に対して対称な位置に設けられている。さらに、スリットの形状は、回転子 1 1 の径方向外側になるほど永久磁石 1 3 の中心線から離れたところにスリットが存在するような形状となっている。

30

このような形状とすることで、磁束を突極 N c と突極 S c 側に導き、磁束を突極 N c と突極 S c 付近に集中させモータ 1 0 のトルクを向上させるという効果が得られる。

さらに、このように突極 N c と突極 S c 付近の回転子鉄心 1 2 を回転対称ではない形状とすることによって、コンシクエントポール型で課題となる図 9 に示すような非対称性に起因する起磁力高調波の偶数次成分を低減させることができるので、コギングトルクやトルクリップルを低減できるという効果も得られる。

【 0 0 4 3 】

40

さらに、回転子鉄心 1 2 の表面 2 0 a と表面 2 0 b では点線で示した永久磁石 1 3 の中心線に対して対称な形状となるような曲面を描いている。このような曲面を設けることで、起磁力波形の高調波を低減し、磁束密度波形を滑らかにすることでコギングトルクやトルクリップルを低減することができる。

【 0 0 4 4 】

また、電機子巻線 3 0 は図 1 0 と同じである。この電機子巻線 3 0 の構成では実施の形態 4 で述べたように電機子巻線 3 0 の起磁力には偶数次の起磁力高調波が原理上現れない。したがって、回転子 1 1 側に偶数次の起磁力高調波が存在してもトルクリップルがほとんど増加することがないという効果も得られることは言うまでもない。

図 1 2 では、各永久磁石 1 3 の両側に計 2 個設けた例を示したが、これに限ったことでは

50

なく、2個以上でも同様の効果が得られることはいうまでもない

【0045】

図11や図12のように永久磁石13はその径方向の長さが周方向の長さに比べて長い形状をしていると磁束を回転子鉄心12に集めることで、空隙磁束密度を高めることができる。したがって、残留磁束密度が小さい磁石でも高トルクのモータ10を構成できる。例えば、残留磁束密度が1T以下、例えば0.7T~0.9Tの安価な永久磁石13を使った場合でも、残留磁束密度が約1.2T~1.3Tのネオジウムの焼結磁石を使った場合と同体格で同等のトルクを得ることができ、永久磁石13のコストを低減できるという効果が得られる。

【0046】

実施の形態6.

図16は自動車の電動パワーステアリング装置の説明図である。運転者はステアリングホイール(図示しない)を操舵し、そのトルクがステアリングシャフト(図示しない)を介してシャフト201に伝達される。

このときトルクセンサ202が検出したトルクは電気信号に変換されケーブル(図示しない)を通じてコネクタ203を介してECU101に伝達される。

一方、車速などの自動車の情報が電気信号に変換されコネクタ204を介してECU101に伝達される。ECU101はこのトルクと車速などの自動車の情報から、必要なアシストトルクを演算し、図4に示すようにインバータ102-1,2を通じて永久磁石型モータ10に電流を供給する。モータ10はラック軸の移動方向(矢印で示す)に平行な向きに配置されている。

また、ECU101への電源供給はバッテリーやオルタネータから電源コネクタ205を介して送られる。永久磁石型モータ10が発生したトルクはベルト(図示せず)とボールネジ(図示せず)が内蔵されたギアボックス206によって減速されハウジング207の内部にあるラック軸(図示せず)を矢印の方向に動かす推力を発生させ、運転者の操舵力をアシストする。

これにより、タイロッド208が動き、タイヤが転舵して車両を旋回させることができる。永久磁石型モータ10のトルクによってアシストされ運転者は少ない操舵力で車両を旋回させることができる。

なお、ラックブーツ209は異物が装置内に侵入しないように設けられている。

【0047】

このような電動パワーステアリング装置においては、モータ10が発生するコギングトルクやトルクリップルはギヤを介して運転者に伝わるため、良好な操舵感覚を得るためにはコギングトルクやトルクリップルが小さい方が望ましい。

また、モータ10が動作するときの振動・騒音も小さい方が望ましい。

そこで、実施の形態1~5で述べたモータ10を適用すると、各々の実施の形態で述べた効果を得ることができる。

また、モータが大出力化しても振動・騒音を小さくできるため、実施の形態1~5で述べたモータを適用すれば、大型の車両にも電動パワーステアリング装置が適用でき、燃費を低減できるという効果がある。

また、図示しないがこの発明のモータはステアパイワイヤにも適用でき、同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0048】

図14はECUが永久磁石型モータの後方に一体となって配置された永久磁石型モータ10の例である。モータ10の回転角度センサ50はシャフト14の端部に永久磁石52を備えた。永久磁石52はシャフト14とともに回転する。

永久磁石52に対向する位置に磁界検出素子を配置している。この磁界検出素子で磁界を検出し、磁界の向きから回転角度を検出する。永久磁石52を2極に着磁しておけば、シャフト14すなわち回転子11が一回転するときに、磁界も一回転するので軸倍角1Xのセンサとして動作する。このように1Xのセンサとしておけば、モータ10の極対数が例

10

20

30

40

50

えば3以上に大きくなってもセンサ誤差の周波数が一定であるためセンサの角度誤差に起因する振動騒音の周波数が小さいままであり、聴感上低騒音となるという効果が得られる。

任意の極対数について駆動可能のためモータ10極数が変わっても回転角度センサを共通化できるというシステム上のメリットがある。

【0049】

図15はECUが永久磁石型モータの後方に一体となって配置された永久磁石型モータ10の例である。シャフト14の端部に軸倍角NXのVR(可変リラクタンス)型レゾルバ60の回転子61を設け、このレゾルバ60の回転子61の径方向外側にレゾルバ60の固定子62を設けている。

10

このように、NXのVR型レゾルバは、耐環境性の優れた安価な回転角度センサであるため耐環境性の優れた安価な電動パワーステアリングシステムが構築できるという効果がある。

なお、この発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することが可能である。

【符号の説明】

【0050】

- 10：モータ
- 11：回転子
- 12：回転子鉄心
- 13：永久磁石
- 14：シャフト
- 15：曲面部
- 16a, 16b：非磁性部
- 17：連結部
- 18：突出部
- 19a～19j：スリット
- 20a, 20b：表面
- 21：固定子
- 22：固定子鉄心
- 23：コアバック
- 24：ティース
- 25：スロット
- 30：電機子巻線30
- 30-1：第1の電機子巻線
- 30-2：第2の電機子巻線
- 40：フレーム
- 50：回転角度センサ
- 51：磁界検出素子
- 52：永久磁石
- 60：レゾルバ
- 61：レゾルバの回転子
- 62：レゾルバの固定子
- 101：ECU
- 102：インバータ
- 102-1：第1のインバータ
- 102-2：第2のインバータ
- 103：電源
- 104：コイル
- 105：電源リレー

20

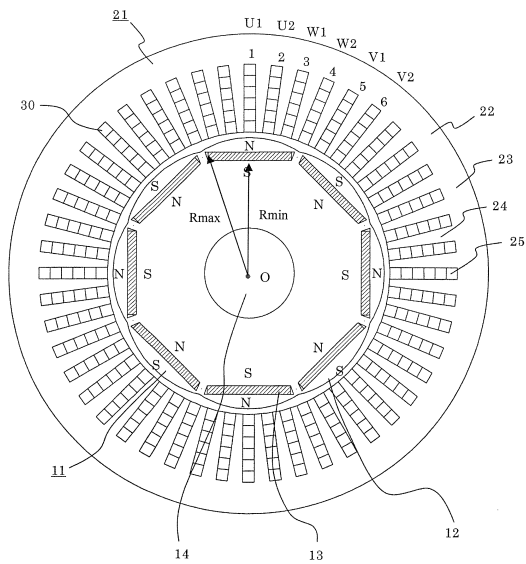
30

40

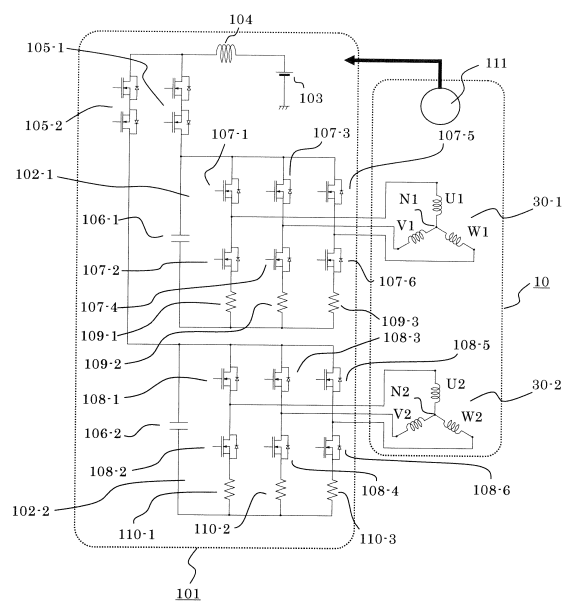
50

- 105 - 1 : 第1の電源リレー
- 105 - 2 : 第2の電源リレー
- 106 - 1 : コンデンサ
- 106 - 2 : コンデンサ
- 107 - 1 ~ 6 : MOS-FET
- 108 - 1 ~ 6 : MOS-FET
- 109 - 1 ~ 3 : シャント
- 110 - 1 ~ 3 : シャント
- 111 : 回転角度センサ
- 201 : シャフト
- 202 : トルクセンサ
- 203 : コネクタ
- 204 : コネクタ
- 205 : 電源コネクタ
- 206 : ギアボックス
- 207 : ハウジング
- 208 : タイロッド
- 209 : ラックブーツ

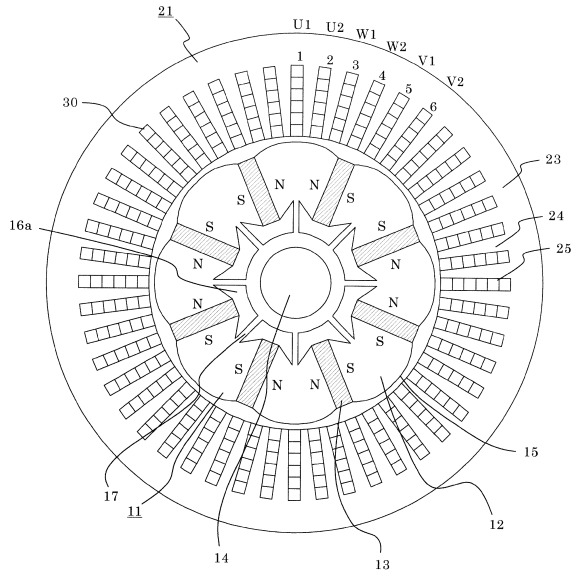
【図1】



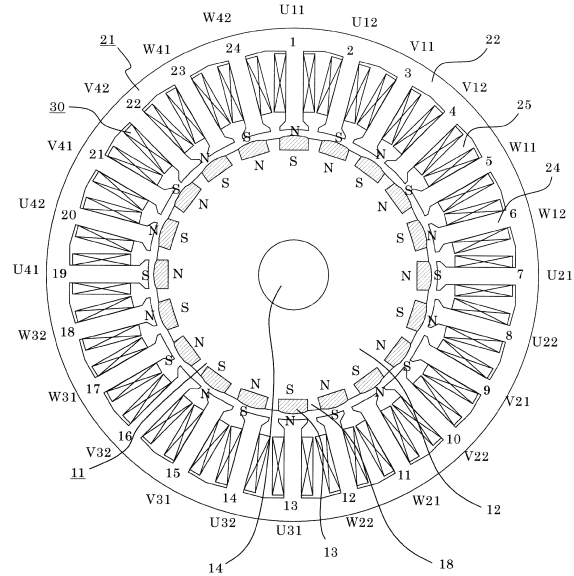
【図2】



【図3】

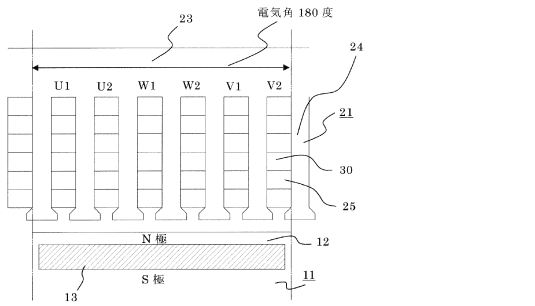


【図4】

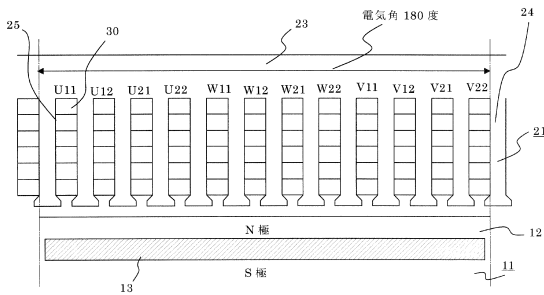


【図5】

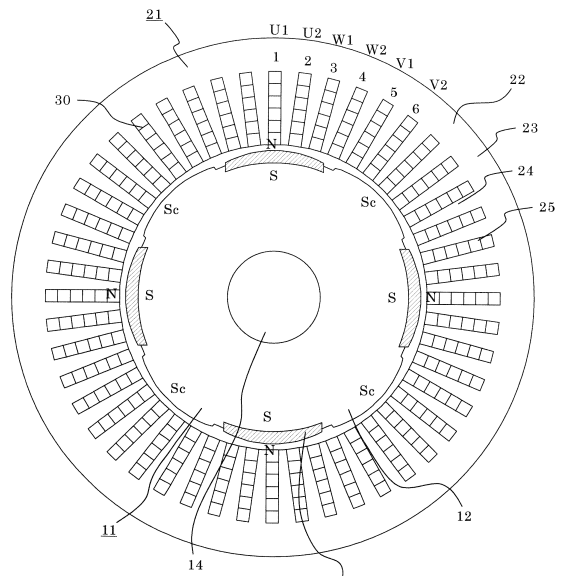
(a) 毎極毎相のスロット数が2の例



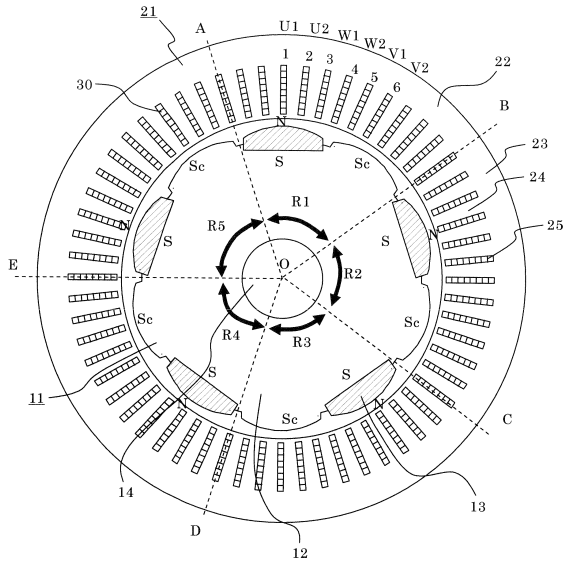
(b) 毎極毎相のスロット数が4の例



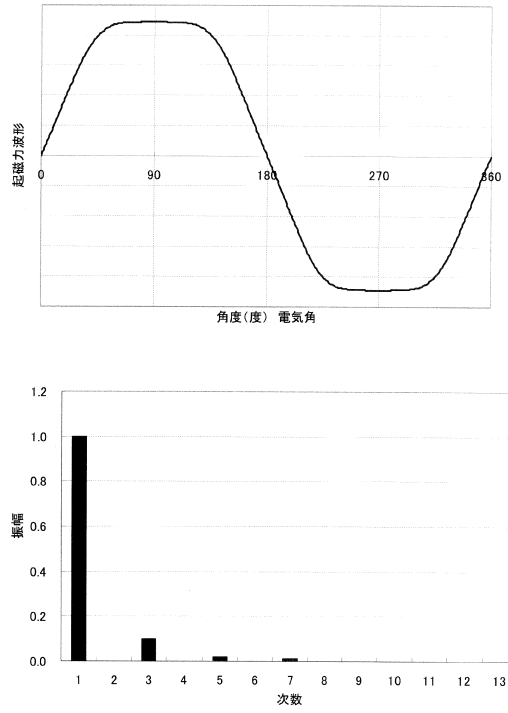
【図6】



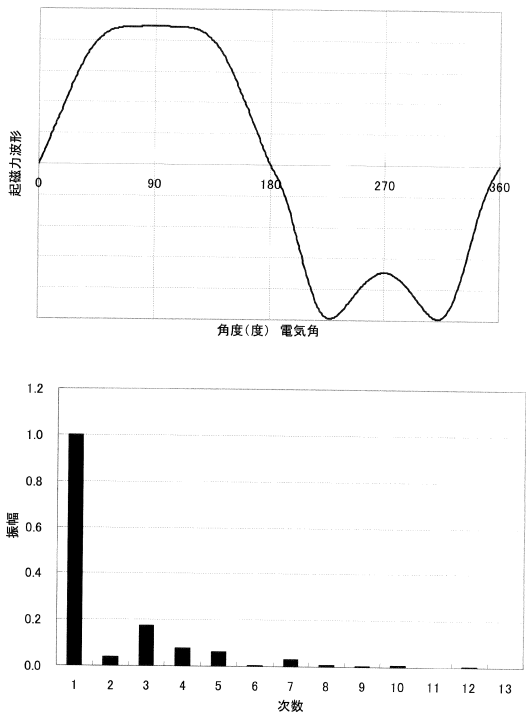
【 図 7 】



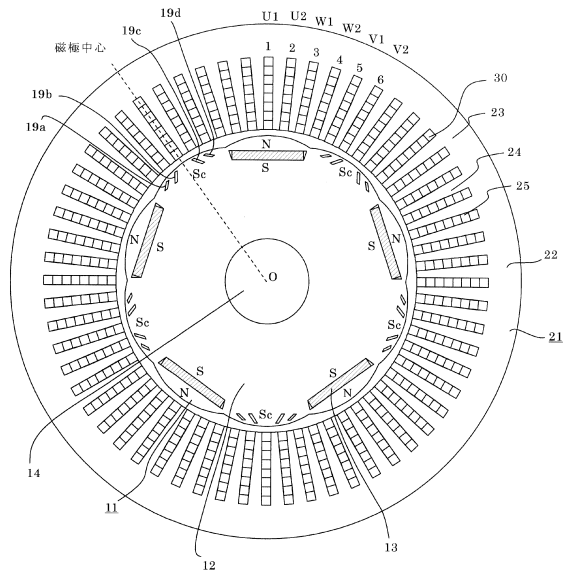
【 図 8 】



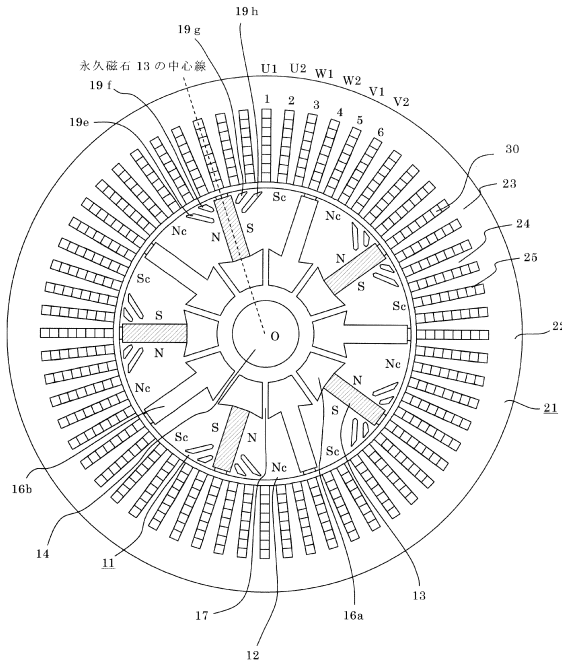
【 図 9 】



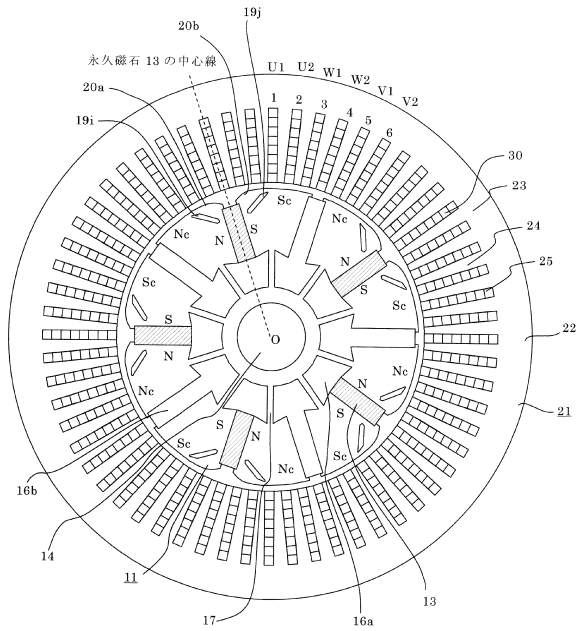
【 図 10 】



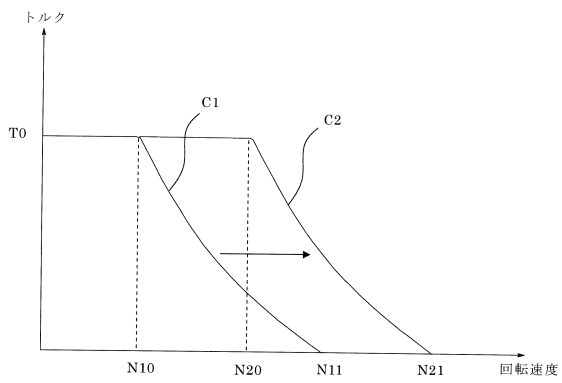
【図11】



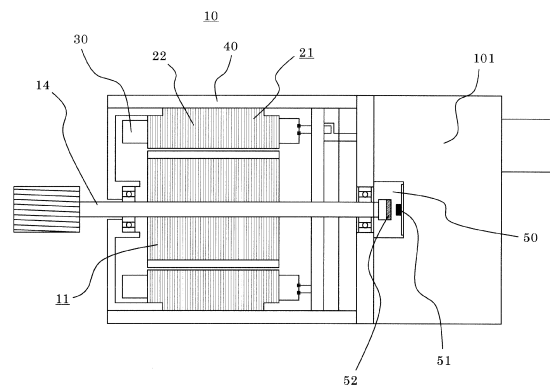
【図12】



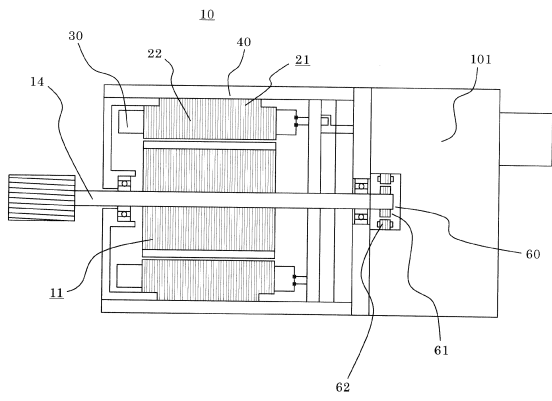
【図13】



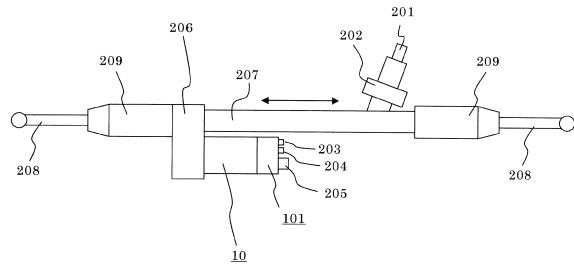
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 H 0 2 K 1/16 Z
 H 0 2 P 7/63 3 0 3 V

- (72)発明者 浅尾 淑人
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 阿久津 悟
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 瀧口 隆一
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 滝澤 勇二
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 廣谷 迪
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 池田 貴俊

- (56)参考文献 特開2006-101654(JP,A)
 特開2006-238667(JP,A)
 特開2010-226899(JP,A)
 特開2008-011692(JP,A)
 特開平09-327139(JP,A)
 特開平05-344668(JP,A)
 特表2002-534047(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
 H 0 2 K 1 / 2 7
 H 0 2 K 1 / 1 6
 H 0 2 K 1 / 2 2
 H 0 2 K 2 1 / 1 4
 H 0 2 P 2 7 / 0 6