

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6124999号
(P6124999)

(45) 発行日 平成29年5月10日(2017.5.10)

(24) 登録日 平成29年4月14日(2017.4.14)

(51) Int.Cl.	F I
HO2K 21/12 (2006.01)	HO2K 21/12 M
HO2K 21/14 (2006.01)	HO2K 21/14 M
HO2K 1/27 (2006.01)	HO2K 1/27 501A
HO2K 1/22 (2006.01)	HO2K 1/27 501M
	HO2K 1/27 501K
請求項の数 12 (全 25 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2015-513379 (P2015-513379)
 (86) (22) 出願日 平成25年4月22日(2013.4.22)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2013/061786
 (87) 国際公開番号 W02014/174572
 (87) 国際公開日 平成26年10月30日(2014.10.30)
 審査請求日 平成27年2月17日(2015.2.17)

前置審査

(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】 電動パワーステアリング用永久磁石型モータ

(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磁極を構成する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収納された第1及び第2の2組の3相巻線からなる電機子巻線とを具備する固定子と、

前記第1の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、

前記第2の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給され、

前記2組の3相巻線について、

前記第1の電機子巻線はU1相、V1相、W1相、

前記第2の電機子巻線はU2相、V2相、W2相

としたとき、

U1相とU2相の巻線は互いに隣り合うスロットに納められており、

V1相とV2相の巻線は互いに隣り合うスロットに納められており、

W1相とW2相の巻線は互いに隣り合うスロットに納められており、

前記2組の3相巻線に流れる電流の位相は互いに電気角20度以上40度以下の角度ずらして駆動され、

前記回転子は軸方向に並んだm段の回転子構成部から構成され、

前記m段の回転子構成部には前記永久磁石として希土類系の永久磁石が備えられ、

前記m段の回転子構成部は、それぞれスキューされた段スキューの構成であり、隣接する

ユニット間のスキュー角（単位：度）が電気角で、

$32.4 / m$ $36 / m$ （ m は2以上の整数）

前記固定子鉄心のスロット数を N 、前記回転子の極数を M としたとき（ N と M は整数）

$N = 6 M$

$6 M 1 4$

の関係をみたし、

さらに前記固定子鉄心の外径が直径80～90mm、前記固定子鉄心のコアバックの厚さが4mm以上7mm以下であり、

前記永久磁石として残留磁束密度が1.0T以上あるネオジ鉄ボロン系の希土類磁石を用い、
かつ、電動パワーステアリング装置のラック軸の移動方向と平行な向きに配置され、アシ
ストトルクを発生する

10

ことを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項2】

請求項1において、

前記2組の3相巻線に流れる電流の位相は互いに電気角 30° ずらされていることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項3】

請求項1または2において、

前記第1の電機子巻線のU1相、V1相、W1相、

前記第2の電機子巻線のU2相、V2相、W2相、

がすべて全節巻で構成されていることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

20

【請求項4】

請求項1から3のいずれか1項において、

前記電機子巻線における無負荷誘起電圧を線間電圧として見たときの波形が台形状であることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項5】

請求項1から4のいずれか1項において、

前記電機子巻線における無負荷誘起電圧を線間電圧として見たときの波形に電気角5次と7次高調波を含むこと特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

30

【請求項6】

請求項1から5のいずれか1項において、

前記回転子鉄心には突起部が設けられており、前記突起部と前記永久磁石との間には空隙が設けられていること特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項7】

請求項1から6のいずれか1項において、

前記永久磁石が前記回転子鉄心に設けられた穴部に設置されていることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項8】

請求項1において、

前記永久磁石の径方向長さが周方向長さに比べて長い形状となっており、

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、この回転子鉄心の前記固定子側に対向する面は曲面部を有し、その曲面の形状が隣り合う前記永久磁石間の中間地点において前記固定子との空隙長が短くなるような凸形状の曲面を形成しており、

かつ、前記永久磁石の内径側の端面に接するように非磁性部を設けていることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

40

【請求項9】

請求項7または8において、

50

前記永久磁石が平板形状であることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項において、

前記回転子鉄心の全ての永久磁石の内側に穴部が設けられていることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項において、

前記回転子構成部の回転軸方向の長さが同じ構成であることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

10

【請求項 12】

請求項 1 から 11 のいずれか 1 項において、

軸方向に並んで配置されている前記複数の回転子構成部の間に少なくとも 1 箇所以上に非磁性部が設けられていることを特徴とする電動パワーステアリング用永久磁石型モータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、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。

20

【背景技術】

【0002】

従来から電動パワーステアリング装置に用いられるモータの構造が考案されており、段スキューの構造として例えば、特許文献 1、2 が開示されている。

特許文献 1 には、ロータコアの磁極とステータの磁極との間で、電気角 60 度の磁気スキューが保たれているように、分割ロータコア間をそれぞれ回転軸の中心軸線を回転中心に 6 度だけ一方向にずらすように配置することによって、ブラシレスモータに発生する電気角 12 次成分のトルクリップル波を消失させることが示されている。

また、特許文献 2 には、2n 個の磁極を有するロータと 3n 個のスロットを有するステータとを備えたブラシレスモータにて、ロータの磁極が軸方向に沿って 3 列に配置されたセグメントマグネットにて形成されると共に、隣接列のマグネットが周方向にずれた位置に配置されたステップスキュー構造を有し、セグメントマグネットはそのスキュー角 skew が電気角 60 ~ 75 ° に設定されることにより、ロバスト性に優れ、従来のリングマグネットによるロータスキュー構造のモータよりも出力を向上させることが示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 157236 号公報

【特許文献 1】特開 2009 - 213284 号公報

【発明の概要】

40

【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 の構造ではスキュー角が電気角 60 度と大きい。

スキュー角が 60 度のときは誘起電圧が正弦波に近くなりトルクリップルが小さくなる一方、トルクが低下し、永久磁石量を多く使用するため高コストとなるという課題があった。また、特許文献 2 の構造では、スキュー角は 60 ~ 75 度と大きく、さらに、2n 個の磁極と 3n 個のスロットを有するモータのため巻線係数が低く、永久磁石量を多く使用するため高コストとなるという課題があった。

一方で、2n 個の磁極と 3n 個のスロットを有するモータはトルクリップルが大きいという課題もあった。

50

【0005】

本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、小さいスキュー角で電気角6次と12次のトルクリップルの両方を低減し、低トルクリップル化した電動パワーステアリング用永久磁石型モータ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】

【0006】

本発明の電動パワーステアリング用永久磁石型モータは、

回転子鉄心と、この回転子鉄心に設けられ磁極を構成する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収納された第1及び第2の2組の3相巻線からなる電機子巻線とを具備する固定子とを備え、

前記第1の電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され、

前記第2の電機子巻線は第2のインバータから電流を供給され、

前記2組の3相巻線について、

前記第1の電機子巻線はU1相、V1相、W1相、

前記第2の電機子巻線はU2相、V2相、W2相

としたとき、

U1相とU2相の巻線は互いに隣り合うスロットに納められており、

V1相とV2相の巻線は互いに隣り合うスロットに納められており、

W1相とW2相の巻線は互いに隣り合うスロットに納められており、

前記2組の3相巻線に流れる電流の位相は互いに電気角20度以上40度以下の角度ずらして駆動され、

前記回転子は軸方向に並んだm段の回転子構成部から構成され、

前記m段の回転子構成部には前記永久磁石として希土類系の永久磁石が備えられ、前記永久磁石の径方向長さが周方向長さに比べて長い形状となっており、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、この回転子鉄心の前記固定子側に対向する面は曲面部を有し、その曲面の形状が隣り合う前記永久磁石間の中間地点において前記固定子との空隙長が短くなるような凸形状の曲面を形成しており、

かつ、前記永久磁石の内径側の端面に接するように非磁性部を設けていると共に、

前記m段の回転子構成部は、それぞれスキューされた段スキューの構成であり、隣接するユニット間のスキュー角（単位：度）が電気角で、

$30/m$ $43.2/m$ (mは2以上の整数)

前記固定子鉄心のスロット数をN、前記回転子の極数をMとしたとき(NとMは整数)

$N = 6M$

$6M - 14$

の関係をみたし、

さらに前記固定子鉄心の外径が直径80～90mmで、前記固定子鉄心のコアバックの厚さが4mm以上7mm以下であり、

前記永久磁石として残留磁束密度が1.0T以上あるネオジ鉄ボロン系の希土類磁石を用い

、かつ、電動パワーステアリング装置のラック軸の移動方向と平行な向きに配置され、アシストトルクを発生する。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、電気角6次のトルクリップルと電気角12次のトルクリップルの両方を低減でき、さらに、スキューによるトルクの低下が小さいので永久磁石の量を少なくでき、小型高トルクの電動パワーステアリング用永久磁石型モータを得ることができるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の電動パワーステアリング用永久磁石型モータを含む電動駆動装置の構成

10

20

30

40

50

を示す断面図である。

【図 2】本発明の実施の形態 1 における電動パワーステアリング用モータと ECU を含む回路構成図である。

【図 3】本発明の実施の形態 1 に係わるパワーステアリング装置用永久磁石型モータを示す断面図である。

【図 4】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示す斜視図である。

【図 5】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子の他の例を示す斜視図である。

【図 6】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子の更に他の例を示す斜視図である。

【図 7】本発明の実施の形態 2 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータを示す断面図である。

【図 8】実施の形態 2 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示す斜視図である。

【図 9】実施の形態 3 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータを示す斜視図である。

【図 10】実施の形態 3 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示す斜視図である。

【図 11】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータのトルクリップル低減を説明するためのベクトル図である。

【図 12】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータのトルクリップル低減を説明するためのトルクリップルの波形図である。

【図 13】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの台形状の無負荷誘起電圧を示す波形図である。

【図 14】永久磁石型モータの正弦波の無負荷誘起電圧を示す波形図である。

【図 15】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータのスキュー角と係数の関係の一例を示す特性図である。

【図 16】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータのスキュー角と係数の関係の他の例を示す特性図である。

【図 17】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング装置用永久磁石型モータのスキュー角と係数の関係の更に他の例を示す特性図である。

【図 18】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータのスキュー角とトルクリップルの関係を示す特性図である。

【図 19】実施の形態 1 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータのスキュー角とコギングトルクの関係を示す特性図である。

【図 20】本発明の実施の形態 4 に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示す斜視図及び側面図である。

【図 21】本発明の電動パワーステアリング用永久磁石型モータが用いられた電動パワーステアリング装置の概略説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本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 21 は自動車の電動パワーステアリング装置を示す概略説明図である。

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を通じてコネクタ 203 を介して ECU (Electronic Control Unit) 101 に伝達される。

10

20

30

40

50

ECU101は制御基板とモータ10を駆動するためのインバータ回路を備えている。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、インバータ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とボールネジ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。

10

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。

また、モータ10とECU101は一体となっており、電動駆動装置を構成している。

【0010】

図1は本発明の電動パワーステアリング用永久磁石型モータを含む電動駆動装置の構成を示す断面図である。

電動駆動装置は本発明の電動パワーステアリング用永久磁石型モータ10とECU101が一体となった構造となっている。

20

まず、電動パワーステアリング用永久磁石型モータ10について説明する。

永久磁石型モータ10は電磁鋼板を積層して構成される固定子鉄心22と固定子鉄心22に納められた電機子巻線26と固定子鉄心を固定するフレーム27を有する。

さらにフレーム27はモータ10の前面部に設けられたハウジング28とボルト29によって固定されている。

ハウジング28には軸受け30が設けられ、軸受け30は軸受け31とともにシャフト14を支えるとともに回転自在となるようにしている。

軸受け31はフレーム27と一体あるいは別体に設けられた壁部32に支持されている。

シャフト14の一方の先端部すなわち出力軸側にはプリー33が圧入されていて、プリー33は電動パワーステアリング装置のベルトに駆動力を伝達する働きをする。

30

シャフト14の他方の先端部にはセンサ用永久磁石34が設けられている。

シャフト14には回転子鉄心12が圧入されていて、回転子鉄心12には永久磁石13が固定されている。

なお、図1では永久磁石13は回転子鉄心12の表面に固定されている例を示しているが、回転子鉄心12の中に埋め込まれた構造としてもよい。詳しくは後述する。

【0011】

次に、ECU101について説明する。

ECU101には、トルクセンサ202からの信号を受けるコネクタ203と、車速などの自動車の情報を受け取るコネクタ204と、電源供給用の電源コネクタ205が設けられている。

40

さらに、ECU101には後述するように、モータ10を駆動するためのインバータ102があり、インバータ102はMOS-FET等のスイッチング素子を有する。

このスイッチング素子は例えば、ベアチップをDBC(Direct Bonded Copper)基板に実装した構成や、ベアチップを樹脂でモールドしたモジュールとした構成などが考えられる。

スイッチング素子はモータ駆動のための電流が流れるため発熱する。

そこで、スイッチング素子は接着剤や絶縁シートなどを介してヒートシンク124と接触させ放熱する構造となっている。

インバータ102にはスイッチング素子の他に、平滑コンデンサやノイズ除去用コイル、

50

電源リレーやそれらを電氣的に接続するバスバーなどがあるが図1では省略している。

バスバーは樹脂と一体成形され中間部材121を形成している。

また、中間部材121に隣接して、制御基板122が設けられている。

この制御基板122はコネクタ203、204から受け取った情報に基づき、モータ10を適切に駆動するためにインバータ102に制御信号を送る。

制御信号は制御基板122とインバータ102間を電氣的に接続する接続部材によって伝達される。

この接続部材はワイヤボンディングやプレスフィット、はんだなどで固定される。

これらのインバータ102と制御基板122はケース123によって覆われている。

ケース123は樹脂であってもよいし、アルミ等の金属であっても、樹脂とアルミ等金属を組み合わせた構成でもよい。

制御基板122の配置はモータ10のシャフト14に垂直な面に沿う配置としている。

【0012】

ヒートシンク124のモータ10に近い側にはセンサ部125が配置されている。

センサ部125は磁気センサ126と基板127と接続部材128と支持部129を有し、磁気センサ126が実装された基板127がヒートシンク124にネジ(図示せず)で固定されている。

磁気センサ126はシャフト14と同軸上でかつ相対応する位置に配置されていて、センサ用永久磁石34の発生する磁界を検出し、その向きを知ることでモータ10の回転子11の回転角度を検出する。

ECU101はこの回転角度に応じて適切な駆動電流をモータ10に供給する。

さらに、接続部材128は支持部129によって支持され、センサ部125の基板127と制御基板122とを電氣的に接続している。この接続はプレスフィットでもよいし、はんだでもよい。

なお、接続部材128がヒートシンク124と中間部材121を貫通する必要があるため、ヒートシンク124と中間部材121には接続部材128が通る穴部(図示しない)が設けられている。

さらに、図示はしないが、中間部材121は接続部材128を位置決めできるようなガイドが設けられた構成となっている。

【0013】

図1では磁気センサ126が制御基板122とは別の基板に実装されている例を示したが、制御基板122に実装された構成とし、センサ用永久磁石34からヒートシンク124を介して漏れてくる磁束を検出する構成でもよい。

また、中間部材121と制御基板122の位置関係が図1と逆に配置された構成でもよい。

図1では回転センサとして磁気センサ126を適用した構成を示したが、レゾルバで構成されていてもよいことはいうまでもない。

図1ではヒートシンク124に凹部124aを設けており、センサ部125の基板127に実装された磁気センサ126とヒートシンク124の表面との間の距離を大きくしている。

ヒートシンク124はネジや焼き嵌めなどによってモータ10のフレーム27に固定される。

このようにモータ10のフレーム27に固定されることによってヒートシンク124の熱をモータ10のフレーム27に伝達させることができる。

【0014】

図2は本発明の実施の形態1における電動パワーステアリング用モータ10とECU101を含む回路構成図である。

図2では簡単のため電動パワーステアリング用モータ10の詳細を省略し、電機子巻線26のみを示している。

モータ10の電機子巻線26は2組の電機子巻線で構成され、第1の電機子巻線26-1

10

20

30

40

50

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、第2の電機子巻線26-2は、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。図2では電機子巻線26をY結線としているが、結線でもよい。

【0015】

ECU101も簡単のため詳細は省略し、インバータ102のパワー回路部のみを示す。ECU101は2台のインバータ102-1、2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26-1、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3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。

コンデンサ106-1、コンデンサ106-2は平滑コンデンサである。図2ではそれぞれ、1個のコンデンサで構成されているが、複数のコンデンサを並列に接続されて構成してもよいことは言うまでもない。

【0016】

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。

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。

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。

【0017】

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。

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。

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

20

30

40

50

タ 1 0 の W2 相へそれぞれ供給される。

【 0 0 1 8 】

図 2 では故障時にモータ 1 0 とインバータ 1 0 2 を電氣的に遮断するモータリレーを示していないが、モータリレーを設けるには中性点 N1, N2 に設ける場合とモータとインバータ間に設ける場合が考えられる。

2 台のインバータ 1 0 2 - 1, 2 はモータ 1 0 に備えられたセンサ部 1 2 5 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 2 6 - 1, 2 に所望の 3 相電流を供給する。

なお、回転角度センサ 1 1 1 はレゾルバや GMR センサや MR センサなどが用いられる。

【 0 0 1 9 】

図 3 は、本発明の実施の形態 1 に係わる 電動パワーステアリング用永久磁石型モータ を示す断面図である。

回転子 1 1 の外側を取り囲むように固定子 2 1 が設けられ、固定子 2 1 は電機子巻線 2 6 と固定子鉄心 2 2 を有する。

固定子鉄心 2 2 は電磁鋼板などの磁性体で構成される環状のコアバック 2 3 とコアバック 2 3 から周方向内側に延びるティース 2 4 から構成される。

隣り合うティース 2 4 の間に設けられたスロット 2 5 に電機子巻線 2 6 が納められている。

図示しないが、電機子巻線 2 6 と固定子鉄心 2 2 との間には絶縁紙などが挿入され電氣的絶縁を確保している。

ティース 2 4 は全部で 4 8 個設けられており、したがってスロット 2 5 も 4 8 個となっている。1 つのスロット 2 5 には電機子巻線 2 6 のコイルが 4 本ずつ納められている。

【 0 0 2 0 】

電機子巻線 2 6 は 2 組の電機子巻線で構成され、第 1 の電機子巻線 2 6 - 1 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、第 2 の電機子巻線 2 6 - 2 は、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。

巻線の配置は図 3 に示すように 1 番目のスロット 2 5 から順に U1, U2, W1, W2, V1, V2 となっており、7 番目以降も U1, U2, W1, W2, V1, V2 の順に配置されていて、48 番目まで同様の順に配置されている。

ただし、1 番目のスロット 2 5 の U1 と 7 番目のスロット 2 5 の U1 は電流の向きが互いに逆になるように電機子巻線 2 6 が配置されている。

すなわち、1 番目のスロット 2 5 から 7 番目のスロット 2 5 に巻かれた分布巻の構成となっている。従って、電機子巻線 2 6 は計 6 個のティース 2 4 を跨っていることになる。

これは電気角 180 度に相当し、短節巻係数が 1 となるため、永久磁石が発生する磁束を有効に利用でき、小型高トルクのモータが得られ、永久磁石の量を少なくできるため、巻線係数が小さいモータに比べて低コスト化が実現できるという効果がある。

【 0 0 2 1 】

固定子 2 1 の内側には回転子鉄心 1 2 の表面に永久磁石 1 3 を備えた回転子 1 1 が設けられている。

永久磁石 1 3 は周方向に 8 個並んでおり 8 極の構成となっている。隣り合う永久磁石 1 3 の極性は互いに逆となっている。

さらに、回転子鉄心 1 2 には突起部 1 2 a が設けられている。突起部 1 2 a と永久磁石 1 3 との間には漏れ磁束を低減するための空隙 1 2 c が設けられている。

この突起部 1 2 a はモータのエアギャップを小さくする効果があり、インダクタンスが大きくなる。

これによって弱め磁束制御が効果を発揮しやすくなり、高速回転時のトルク向上ができるという効果がある。

回転子鉄心 1 2 には穴部 1 2 b が設けられている。穴部 1 2 b を設けることで軽量化とイナーシャを低減できる。

回転子鉄心 1 2 は電磁鋼板などを積層して構成されており、電磁鋼板同士はカシメ部 1 2

10

20

30

40

50

dによって互いに連結されている。

回転子鉄心12中央にはシャフト14が貫通している。

【0022】

図4は実施の形態1に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示す斜視図である。

回転子11は軸方向に並んだ2つの回転子構成部11a1と回転子構成部11a2から構成されている。

回転子構成部11a1は突起を有する回転子鉄心12と永久磁石13を具備し、永久磁石13は周方向に8個並んで配置されている。

回転子鉄心12には穴部12bが設けられている。回転子鉄心12は電磁鋼板などの板材を積層して構成される。板材はカシメ部12dで連結されるが図4では省略している。

回転子構成部11a2は回転子構成部11a1と同じ設計で軸方向の長さも同じものとなっている。

さらに、回転子構成部11a1と回転子構成部11a2は互いに回転角度方向にずれた位置に配置されている。この角度をスキュー角とする。

【0023】

次に本実施の形態1の電動パワーステアリング用永久磁石型モータ10でトルクリップルが低減できる理由を説明する。

まず、電気角6次のトルクリップルについて説明する。

図3に示すように永久磁石型モータ10の固定子鉄心のスロットピッチは、スロット25の数48と極数8であることから電気角で $360度 / 48 \times 4 = 30度$ となっている。

さらに、隣り合うスロット25に電機子巻線26-1と電機子巻線26-2が納められているため、U1とU2は互いに電気角30度位相がずれている。V1とV2、W1とW2も互いに電気角30度位相がずれている。

したがって、電機子巻線26-1と電機子巻線26-2に互いに30度だけ位相がずれた3相交流電流が通電されている場合には電機子巻線26-1の起磁力によって発生する電気角6次のトルクリップルと電機子巻線26-2の起磁力によって発生する電気角6次のトルクリップルの位相が反転し、電気角6次のトルクリップルがキャンセルされる。

電機子巻線26-1と電機子巻線26-2で位相が異なる電流を流すのは、図2のようなインバータ102-1とインバータ102-2の2台のインバータを設け、それぞれ個別の制御を行う回路により実現できる。

なお、電機子巻線26-1と電機子巻線26-2の電流位相の差が25度～35度付近であれば同様の効果が得られる。

なお、ここでは電気角6次のトルクリップルがキャンセルされる効果について述べたが、それだけではない。電機子巻線26-1と電機子巻線26-2の電流の位相をずらすことで18次や30次といった6次の奇数倍のトルクリップルの低減効果も得られる。すなわち $6(2n+1)$ 次(nは正の整数)のトルクリップルの低減効果も得られる。

【0024】

次に、電気角12次のトルクリップルについて説明する。

電気角12次のトルクリップルは上記の電機子巻線26-1と電機子巻線26-2の電流の位相をずらすだけでは低減できないため、モータ構造により低減する。

電気角12次のトルクリップルは周期が電気角30度のトルクリップルであるため、位相が電気角15度だけずれた2つの電気角12次のトルクリップルを足し合わせるとキャンセルされる。

そこで、図4のように回転子11を回転子構成部11a1と回転子構成部11a2の2段に分け、さらにそれらを互いに角度(電気角)を設けて配置し、回転子構成部11a1でのトルクT1と回転子構成部11a2でのトルクT2を足し合わせると互いにトルクリップルをキャンセルすることを検討した。

= 15度(電気角)としたときのトルクリップルの波形を図12に示す。

T1とT2を足し合わせたT1+T2は電気角12次のトルクリップルが大幅に低減されているこ

10

20

30

40

50

とがわかる。

この原理は次のように理解できる。

図 1 1 (a) は 180 度位相がずれた 2 つのベクトルを描いた図である。

ベクトル v_{1a} とベクトル v_{2a} は大きさが同じで 180 度位相がずれている。

これらのベクトルを足し合わせるとゼロベクトルとなる。

電気角 12 次のトルクリップルをこのベクトルと同じように考えられ、2 つの 12 次成分の位相差が $360 / 2 = 180$ 度になるようにすればいいので、 180 を次数 12 で除した値、すなわち $180 / 12 = 15$ 度 (電気角) とすればよいことが分かる。

【 0 0 2 5 】

図 1 8 は横軸にスキュー角、縦軸にトルクリップル $p-p$ 値を平均トルクに対する % 値で示した図である。 10

EPS (電動パワーステアリングシステム) においては良好な操舵フィーリングを得るため、また低振動・低騒音の要求からモータの低トルクリップル化が要求される。

図 1 8 から、トルクリップルを低減するには上述したようにスキュー角 = 15 度 (電気角) 付近の値とすればよいことがわかる。

トルクリップル $p-p$ 値を 4% 以下にまで低減するには、スキュー角は 13 度 ~ 21.6 度 (電気角) の範囲にすればよく、トルクリップル $p-p$ 値を 1% 以下にまで低減するには 16.2 度 ~ 18 度 (電気角) とするのがよい。

= 15 度 (電気角) で最小とならないのはステータコアやロータコアの磁気飽和の影響などが考えられる。 20

スキュー角の 13 度 ~ 21.6 度 (電気角) は回転子構成部の数が 2 であることを考慮して $26 / 2 = 13$ 、 $43.2 / 2 = 21.6$

と書くことができる。

【 0 0 2 6 】

図 1 9 は横軸にスキュー角、縦軸にコギングトルク $p-p$ 値を平均トルクに対する % 値で示した図である。

トルクリップルを 4% 以下に低減できるスキュー角、すなわち 13 度 ~ 21.6 度 (電気角) に設定しておけばコギングトルク $p-p$ 値は 0.22% 以下に低減できていることがわかる。

すなわち、低トルクリップルと低コギングトルクの両立を実現することができる。

【 0 0 2 7 】

図 1 5 は 2 段スキューのスキューを設けたときに、スキューを設けなかった場合に比べてトルクがどの程度低下するかを示す係数 K_s を示したものである。 30

図 1 5 の縦軸の $m=2$ は回転子構成部の数が 2 であること、すなわち 2 段スキューであることを示している。

$m=2$ のときには K_s は

$$K_s = \cos(q/2) \quad (1)$$

と表される。

従来例では電気角 60 度のスキューであったため、図の矢印で示した値 0.866 となっているのに対し、 q を 16.2 度 ~ 18 度 (電気角) とすれば、式 (1) から K_s は 0.990 ~ 0.988 の値をとる。 40

したがって大幅にトルクが向上することが図 1 5 と式 (1) からわかる。

回転子構成部の数が 2 すなわち $m=2$ のときは m が 3 以上のときに比べて部品点数が少なくてすむため低コスト化できるという効果がある。

【 0 0 2 8 】

図 1 3 は実施の形態 1 に係わる 電動パワーステアリング用永久磁石型モータの電機子巻線 に発生する台形状の無負荷誘起電圧を示す波形図である。

横軸は回転角度を電気角で示し、縦軸は無負荷誘起電圧であり、モータの線間電圧を示している。

図 1 3 の V_{u1v1} 、 V_{u2v2} 、 V_{v1w1} 、 V_{v2w2} 、 V_{w1u1} 、 V_{w2u2} はそれぞれ、U1 相 V1 相間、U2 相 V2 相間、V1 相 W1 相間、V2 相 W2 相間、W1 相 U1 相間、W2 相 U2 相間の無負荷誘起電圧であることを示 50

している。

U1相，V1相，W1相は互いに電気角120度だけ位相がずれており，U2相，V2相，W2相も互いに電気角120度だけ位相がずれている。

また，U1相とU2相は電気角30度位相がずれており，V1相とV2相，W1相とW2相についても同様に電気角30度ずれている。

【0029】

このように無負荷誘起電圧を台形形状とすることによって，同じ基本波の正弦波（図14）に比べて，電圧のピーク値を低くすることができる。

これはすなわち電圧飽和が生じにくいいため，モータの回転数を大きくできるためモータの出力を大きくできるという効果がある。

モータの体格を小さくするためには永久磁石の極弧角を大きくし，誘起電圧の基本波を大きくする必要がある。また，スキュー角もできるだけ小さくする必要もある。

永久磁石の極弧角が大きい場合やスキュー角が小さい場合は，無負荷誘起電圧が台形波となる傾向がある。

【0030】

無負荷誘起電圧波形が台形波状のモータを正弦波駆動した場合，従来の3相モータの構成ではトルクリップルが非常に大きな値となって振動・騒音が大きくなることが課題となる。しかしながら，本実施の形態1のように，2組の3相の電機子巻線を有し，

第1電機子巻線は第1のインバータから電流を供給され，

第2電機子巻線は第2のインバータから電流を供給され，

2組の3相の電機子巻線について，

第1の電機子巻線はU1相，V1相，W1相

第2の電機子巻線はU2相，V2相，W2相

としたとき，

U1とU2の巻線は互いに隣り合うスロット25に納められており，

V1とV2の巻線は互いに隣り合うスロット25に納められており，

W1とW2の巻線は互いに隣り合うスロット25に納められており，

2組の3相の電機子巻線に流れる電流の位相は互いに電気角 20° ～ 40° ずらして駆動される構成の場合は，無負荷誘起電圧波形が台形波状であるにもかかわらず電気角6次と12次のトルクリップルが低減できるという効果が得られる。

また，永久磁石の極弧角が大きく構成できるので結果として誘起電圧の基本波を大きくでき，モータを小型化できるという効果も得られる。

【0031】

無負荷誘起電圧波形を台形波状にするには電気角3次，5次，7次高調波を含ませることによって実現できる。

Y結線の場合は線間電圧波形に3次高調波は現れないが，5次，7次を含ませることによって台形波状にすることができる。

また，5次，7次高調波が含まれている場合には通常の3相モータでは電気角6次のトルクリップルの原因となるが，本実施の形態1のように2組の3相の電機子巻線に流れる電流の位相を互いに電気角 20° ～ 40° ずらして駆動される構成の場合は，電気角6次のトルクリップルはほとんど発生しないという効果が得られる。

すなわち，同じ基本波の正弦波（図14）に比べて，電圧のピーク値が低くすることができる。

これはすなわち電圧飽和が生じにくいいため，モータの回転数を大きくできるためモータの出力を大きくできるという効果とトルクリップル低減の効果が得られる。

電気角5次，7次があるにもかかわらず電気角6次のトルクリップルを非常に小さくできるため，回転子側の起磁力高調波が大きくてもよい。

したがって，永久磁石の極弧角を大きくすることができるので，永久磁石の利用効率を向上できるという効果がある。

また，別の実施の形態で述べるように起磁力高調波が大きい平板形状の永久磁石を使うこ

10

20

30

40

50

ともできる。

このとき無負荷誘起電圧には5次，7次の高調波が含まれるが低トルクリプルが実現できる。

さらに平板形状の永久磁石は加工が容易であり，材料歩留まりもよいため永久磁石のコスト低減ができるという効果が得られる。

【0032】

これまで，回転子構成部の数が2の例について述べたが本発明はこれに限らない。

$m=3$ すなわち回転子構成部の数が3である場合について述べる。

図5は $m=3$ とした回転子11の斜視図である。

回転子構成部11a1と回転子構成部11a2と回転子構成部11a3が軸方向に並んで配置されている。また，回転子構成部11a1と回転子構成部11a2と回転子構成部11a3は互いにスキュー角 θ だけ周方向にずれて配置されている。

すなわち，回転子構成部11a1と回転子構成部11a2とのスキュー角は θ ，回転子構成部11a2と回転子構成部11a3とのスキュー角も θ である。

さらに，回転子構成部11a1，a2，a3の軸方向の長さは同じである。

【0033】

図11(b)は120度位相がずれた3つのベクトルを描いた図である。

ベクトル $v1b$ とベクトル $v2b$ とベクトル $v3b$ は大きさが同じで互いに120度位相がずれている。これらのベクトルを足し合わせるとゼロベクトルとなる。

電気角12次のトルクリプルもこのベクトルと同じように考えられ，3つの12次成分の位相差が $360/3 = 120$ 度になるようにすればいいので， θ は120を次数12で除した値，すなわち $120/12 = 10$ 度(電気角)とすればよいことが分かる。

トルクリプル p - p 値を4%以下にするには $\theta = 10$ 度(電気角)付近とすればよいが，図18の結果から，回転子構成部の数3を考慮して

$$26/3 \quad 43.2/3$$

すなわち

$$8.67 \quad 14.4$$

とすればよい。

【0034】

図16は3段スキューのスキューを設けたときに，スキューを設けなかった場合に比べてトルクがどの程度低下するかを示す係数 K_s を示したものである。

図16の縦軸の $m=3$ は回転子構成部の数が3であること，すなわち3段スキューであることを示している。

$m=3$ のときには K_s は

$$K_s = (1 + 2\cos(\theta)) / 3 \quad (2)$$

と表される。

従来例では電気角60度のスキューであったため，図の矢印で示した値0.667となっているのに対し， θ を8.67度~14.4度(電気角)とすれば，式(2)より K_s は0.992~0.979の値をとる。

したがって大幅にトルクが向上することが図16と式(2)からわかる。

【0035】

次に $m=4$ すなわち回転子構成部の数が4である場合について述べる。

図6は $m=4$ とした回転子11の斜視図である。

回転子構成部11a1と回転子構成部11a2と回転子構成部11a3と回転子構成部11a4が軸方向に並んで配置されている。

また，回転子構成部11a1と回転子構成部11a2と回転子構成部11a3と回転子構成部11a4は互いにスキュー角 θ だけ周方向にずれて配置されている。

すなわち，回転子構成部11a1と回転子構成部11a2とのスキュー角は θ ，回転子構成部11a2と回転子構成部11a3とのスキュー角も θ ，回転子構成部11a3と回転子構成部11a4とのスキュー角も θ である。

10

20

30

40

50

さらに、回転子構成部 1 1 a 1 , a 2 , a 3 , a 4 の軸方向の長さは同じである。

【 0 0 3 6 】

図 1 1 (c) は90度位相がずれた 4 つのベクトルを描いた図である。

ベクトルv1cとベクトルv2cとベクトルv3cとベクトルv4cは大きさが同じで互いに90度位相がずれている。これらのベクトルを足し合わせるとゼロベクトルとなる。

電気角12次のトルクリップルもこのベクトルと同じように考えられ、4つの12次成分の位相差が $360 / 4 = 90$ 度になるようにすればいいので、 90 を次数 12 で除した値、すなわち $90 / 12 = 7.5$ 度 (電気角) とすればよいことが分かる。

トルクリップル p - p 値を 4% 以下にするには 7.5 度 (電気角) 付近とすればよいが、図 1 8 の結果から、回転子構成部の数 4 を考慮して

$$26 / 4 \quad 43.2 / 4$$

すなわち

$$6.5 \quad 10.8$$

とすればよい。

【 0 0 3 7 】

図 1 7 は4段スキューのスキューを設けたときに、スキューを設けなかった場合に比べてトルクがどの程度低下するかを示す係数Ksを示したものである。

図 1 7 の縦軸のm=4は回転子構成部の数が4であること、すなわち4段スキューであることを示している。

m=4のときにはKsは

$$Ks = \{\cos(3q/2) + \cos(q/2)\} / 2 \quad (3)$$

と表される。

従来例では電気角 60 度のスキューであったため、図の矢印で示した値 0.433 となっているのに対し、 q を 6.7 度 ~ 10.8 度 (電気角) とすれば、式 (3) より Ks は 0.991 ~ 0.978 の値をとる。

したがって大幅にトルクが向上することが図 1 7 と式 (3) からわかる。

一般に回転子構成部を m 個とした場合、スキュー角 q (電気角) 同様に考えて

$$26 / m \quad 43.2 / m$$

とすればよい

【 0 0 3 8 】

なお、図 4 , 図 5 , 図 6 では回転子構成部の軸方向の長さは同じとしている。

これは回転子構成部が分担するトルクとトルクリップルを同じにして、スキュー構造によるトルクリップル低減効果をより有効に発揮するためである。

また各回転子構成部を同じとして、部品を共通化できるという効果もある。

【 0 0 3 9 】

以上のように本発明の実施の形態 1 に係わる 電動パワーステアリング用永久磁石モータは

、
回転子鉄心 1 2 と、この回転子鉄心 1 2 に設けられ磁極を構成する複数の永久磁石 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 に収納された第 1 及び第 2 の 2 組の 3 相巻線からなる電機子巻線 2 6 とを具備する固定子 2 1 と、

電機子巻線 2 6 は 2 組の 3 相の電機子巻線 2 6 - 1 , 2 を有し、

第 1 電機子巻線 2 6 - 1 は第 1 のインバータ 1 0 2 - 1 から電流を供給され、

第 2 電機子巻線 2 6 - 2 は第 2 のインバータ 1 0 2 - 2 から電流を供給され、

2 組の 3 相の電機子巻線 2 6 - 1 , 2 について、

第 1 の電機子巻線 2 6 - 1 は U1 相 , V1 相 , W1 相

第 2 の電機子巻線 2 6 - 2 は U2 相 , V2 相 , W2 相

としたとき、

U1 と U2 の巻線は互いに隣り合うスロット 2 5 に納められており、

V1 と V2 の巻線は互いに隣り合うスロット 2 5 に納められており、

10

20

30

40

50

W1とW2の巻線は互いに隣り合うスロット25に納められており、
2組の3相の電機子巻線26-1, 2に流れる電流の位相は互いに電気角 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ずらし
て駆動され、

回転子11は軸方向に並んだm段の回転子構成部から構成され、

前記m段の回転子構成部は、それぞれスキューされた段スキューの構成であり、隣接する
ユニット間のスキュー角（単位：度）が電気角で、

$26/m$ $43.2/m$ （mは2以上の整数）

をみたく構成としたので、トルク向上とモータの小型化、高出力化と電気角6次と12次の
トルクリップル低減が両立できるという効果が得られる。

なお、本実施の形態では周方向に隣り合う永久磁石13が互いに極性の異なるモータにつ
いて述べたが、N極のみあるいはS極のみで構成されるコンシクエントポール型でも同様の
効果が得られることは言うまでもない。

【0040】

実施の形態2。

実施の形態1では、回転子鉄心12の表面に永久磁石13を配置した構造について述べた
が、これに限らない。永久磁石埋め込み型であってもよい。

図7は、本発明の実施の形態2に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータを示
す断面図である。

固定子21は図3と同じ構造である。

回転子11は図3とは異なり、平板形状の永久磁石13が回転子鉄心12の永久磁石用穴
部12eに埋め込まれて配置されている。

周方向に互いに隣り合う永久磁石13は極性が異なる構造としている。

さらに、永久磁石13より固定子21に近い側の回転子鉄心12にはスリット12fが設
けられている。

図7では各磁極に対して、5個のスリット12fが配置されている。

スリット12fは空気あるいは樹脂などの非磁性体が充填されている。

スリット12fは磁束が磁極中心に向かうように斜めに配置されている。

これにより、モータのトルクが増加し、小型高出力のモータを得ることができる。

回転子鉄心12には穴部12bが設けられている。穴部12bを設けることで軽量化とイ
ナーシャを低減できる。

回転子鉄心12は電磁鋼板などを積層して構成されており、電磁鋼板同士はカシメ部12
dによって互いに連結されている。

回転子鉄心12の中央にはシャフト14が貫通している。

【0041】

図8は、実施の形態2に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示
す斜視図である。

回転子構成部11b1と回転子構成部11b2が軸方向に併設されている。

回転子構成部11b1と回転子構成部11b2の軸方向の長さは同じとしている。

さらに、回転子構成部11b1と回転子構成部11b2は互いに角度（電気角）でスキ
ューされている。

実施の形態1で述べたように、スキュー角は $13^{\circ} \sim 21.6^{\circ}$ （電気角）の範囲にすれば、
トルクリップルを4%以下とすることができる。

回転子11が軸方向に並んだm段の回転子構成部から構成された場合については実施の形
態1と同様に考えることができる。

m段の回転子構成部は、それぞれスキューされた段スキューの構成であり、隣接するユ
ニット間のスキュー角（単位：度）が電気角で、

$26/m$ $43.2/m$ （mは2以上の整数）

をみたく構成すれば、トルク向上とモータの小型化、高出力化と電気角6次と12次のトル
クリップル低減が両立できるという効果が得られる。

なお、本実施の形態2では周方向に隣り合う永久磁石13が互いに極性の異なるモータに

10

20

30

40

50

ついて述べたが、N極のみあるいはS極のみで構成されるコンシクエントポール型でも同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0042】

図7、図8では永久磁石13を平板形状としている。

平板形状の永久磁石13は曲面を有する形状と比べて加工コストが小さく、歩留まりが良好であるため安価であるという特徴があるが、一方で、回転子の起磁力高調波が大きくなる傾向があり、モータの無負荷誘起電圧に5次や7次などの高調波が含まれ台形形状となりやすい。

図7（固定子21は図1と同じ構成）のように1番目のスロット25から7番目に巻かれた分布巻の構成となっている場合には全節巻となるため、短節巻係数が1となり、図7の構成では分布巻係数も1であることから無負荷誘起電圧に高調波が含まれやすい。

10

無負荷誘起電圧波形が台形波状のモータ10を正弦波駆動した場合、従来の3相モータの構成ではトルクリップルが非常に大きな値となって振動騒音が課題となるが、本実施の形態2の構成であれば、無負荷誘起電圧波形が台形波状であるにもかかわらず電気角6次と12次のトルクリップルが低減できるという効果が得られる。

また、永久磁石13の極弧角が大きく構成できるので結果として誘起電圧の基本波を大きくでき、モータを小型化できるという効果も得られる。

平板形状の永久磁石が利用できるため、安価なモータを得ることができるという効果もある。

永久磁石埋め込み型では永久磁石の飛散防止のための保護管が不要となるため、低コスト化できるという効果がある。

20

【0043】

実施の形態3.

図9は実施の形態3に係わる電動パワーステアリング用永久磁石型モータを示す斜視図である。

固定子21は図3と同じ構造である。

回転子11は図3、図7とは異なる構造である。

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に対して長い形状をしており、この永久磁石13が周方向に等間隔に8個並んでいる。

30

永久磁石13の着磁方向は図9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12hを有し、その曲面の形状が隣り合う永久磁石13の間において固定子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。

40

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12g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。

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の間に連結部12i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。

隣り合う永久磁石13の間には穴部12bが設けられている。

50

穴部 1 2 b は空気とすることで、回転子の重量低減とイナーシャ低減という効果が得られる。

【 0 0 4 4 】

図 1 0 は実施の形態 3 に係わる 電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示す斜視図である。

回転子構成部 1 1 c 1 と回転子構成部 1 1 c 2 が軸方向に併設されている。

回転子構成部 1 1 c 1 と回転子構成部 1 1 c 2 の軸方向の長さは同じとしている。

さらに、回転子構成部 1 1 c 1 と回転子構成部 1 1 c 2 は互いに角度（電気角）でスキューされている。

実施の形態 1 で述べたように、スキュー角は 13 度～21.6 度（電気角）の範囲にすれば、トルクリップルを 4 % 以下とすることができる。

回転子 1 1 が軸方向に並んだ m 段の回転子構成部から構成された場合については実施の形態 1 と同様に考えることができる。

m 段の回転子構成部は、それぞれスキューされた段スキューの構成であり、隣接するユニット間のスキュー角（単位：度）が電気角で、
 $26 / m$ $43.2 / m$ （m は 2 以上の整数）

をみたく構成すればトルク向上とモータの小型化、高出力化と電気角 6 次と 12 次のトルクリップル低減が両立できるという効果が得られる。

なお、本実施の形態では周方向に隣り合う永久磁石が互いに極性の異なるモータについて述べたが、N 極のみあるいは S 極のみで構成されるコンシクエントポール型でも同様の効果が得られることは言うまでもない。

【 0 0 4 5 】

図 9、図 1 0 は永久磁石 1 3 を平板形状としている。

平板形状の永久磁石 1 3 は曲面を有する形状と比べて加工コストが小さく、歩留まりが良好であるため安価であるという特徴があるが、一方で、回転子の起磁力高調波が大きくなる傾向があり、モータの無負荷誘起電圧に高調波が含まれ台形形状となりやすい。

図 9（固定子 2 1 は図 3 と同じ構成）のように 1 番目のスロット 2 5 から 7 番目のスロット 2 5 に跨って巻かれた分布巻の構成となっている場合には、短節巻係数が 1 となり、分布巻係数も 1 であることから無負荷誘起電圧に 5 次や 7 次などの高調波が含まれやすい。

無負荷誘起電圧波形が台形波状のモータを正弦波駆動した場合、従来の 3 相モータの構成ではトルクリップルが非常に大きな値となって振動・騒音が大きくなることが課題となるが、本実施の形態 3 の構成であれば、無負荷誘起電圧波形が台形波状であるにもかかわらず電気角 6 次と 12 次のトルクリップルが低減できるという効果が得られる。

また、永久磁石の極弧角が大きく構成できるので結果として誘起電圧の基本波を大きくでき、モータを小型化できるという効果も得られる。

平板形状の永久磁石が利用できることで、安価なモータを得ることができるという効果もある。

【 0 0 4 6 】

実施の形態 4 .

図 2 0 は、本発明の実施の形態 4 に係わる 電動パワーステアリング用永久磁石型モータの回転子を示すもので、図 2 0 (a) は斜視図、図 2 0 (b) は側面図である。

軸方向に並んだ回転子構成部 1 1 a 1、1 1 a 2 は互いにスキューが設けられており、回転子構成部 1 1 a 1 と回転子構成部 1 1 a 2 との間には非磁性部 1 2 j が設けられている。

図 2 0 では隙間が空いている構成、すなわち非磁性部 1 2 j として空気を設けたが、樹脂やアルミや SUS などの非磁性金属で構成される部品を挟んでもよい。

このような構成とすることで、軸方向に並んだ回転子構成部の間に軸方向に渡る磁束が通りにくくなるため、漏れ磁束が低減できトルクが向上する。すなわちモータを小型化できるという効果が得られる。

図 2 0 では m=2 すなわち回転子構成部が 2 個の場合を示したが、これに限ったことはない。

mが3以上の回転子構成部を有する場合でも，軸方向に並んだ回転子構成部の間に少なくとも1箇所でも非磁性部12jを設ければ，漏れ磁束が低減できトルクが向上する効果が得られることは言うまでもない。

【0047】

実施の形態5．

実施の形態1～4で述べたモータをEPSに適用すると，各々の実施の形態で述べた効果に加え，高トルク化と低振動・低騒音化の両立が可能となるという効果が得られる。

図21のようにモータ10が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，電動パワーステアリング装置は，大型車に向いているシステムであるが，モータ10も高出力化が必要であり，高出力化と同時にモータ10に起因する振動・騒音も増加するという課題があった。

10

しかしながら，実施の形態1～4で述べたモータを適用すればこの課題が解決でき，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。

【0048】

EPSにおいてはモータの小型化が要求される。

特に図21のようなラック軸の移動方向（矢印で示す）に平行な向きにモータ10とECUが配置されているシステムでは，レイアウトの制約から軸方向長さの短縮よりもむしろモータ10の外径を小さくすることが重要である。

モータ10の外径を小さくするには，固定子鉄心のコアバック厚さ（図3参照）を小さくする必要がある。

20

しかしながら，固定子21をフレーム27へ固定する過程でコアバック部分を押さえる必要があり，その空間を確保するために所定の固定子鉄心のコアバック23の厚さが必要となる。

一方，コアバック厚さが大きすぎると，電機子巻線26のスペースが小さくなったり，回転子11の外径が小さくならざるを得ず，モータ発熱が大きくなったり出力が低下してしまう。

EPS用モータの固定子鉄心22の外径は直径80～90mm程度である。

コアバック厚さは上記理由で4mm以上7mm以下とするのが望ましい。

ただし，コアバック23を薄くしてコアバック部分における磁束密度が高くなりすぎると，磁気飽和が原因でトルク低下やトルクリップル増加につながる。

30

特に，回転子11の永久磁石13に残留磁束密度が1.0T以上あるネオジ鉄ボロン系の希土類磁石を用いるとその傾向は顕著となる。

そこで，コアバック23の磁束密度を低下させるためモータの極数Mを大きくするため，6極以上すなわち6 Mとすればよい。

しかしながら，高速回転時の周波数の関係から極数をあまり大きくできない。EPS用のモータでは14極までとするのがよい。

したがって，

$$6 \leq M \leq 14$$

とするのが望ましい。

40

【0049】

一方，スロット数Nは図3，7，9で示したスロット数48，極数8と同様に，

$$N = 6M$$

なる関係をみたせば，整数スロットとなるため第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の配置が単純化でき電機子巻線の製造が容易となるという効果があるとともに，実施の形態1～4で述べた効果が得られる。

6 M ≤ 14 とコアバック厚さ4mm以上7mm以下の条件ではコアバック部分の磁束密度が十分低くはならない。

例えば 1.5T以上あれば磁気飽和の影響が現れるため，トルクリップルへの影響が見られる。

50

図 18 は定格電流時のコアバック 23 の磁束密度が 1.5 T 以上となった場合の特性図である。

トルクリップルが最小となるスキュー角は電気角 15 度よりも大きい点にある。

これはコギングトルクが最小となるスキュー角（図 19 参照）とずれていることがわかる。したがって、スキュー角を電気角 15 度より大きくする必要がある。

以上の結果から、2 段スキュー ($m=2$) では、スキュー角を大きめとして、

15 21.6

としておけばよい。

m 個の回転子構成部を有する場合に一般化すると

$30/m$ $43.2/m$ (m は 2 以上の整数)

10

となる。

以上により、定格電流時のコアバック 23 の磁束密度が 1.5 T 以上となった場合であってもトルクリップルの低減とコギングトルクの低減を両立することができる。

【0050】

なお、本発明は、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】

【0051】

10 : モータ, 11 : 回転子, 11a1 ~ 11a4 : 回転子構成部,
 11b1, 11b2 : 回転子構成部, 11c1, 11c2 : 回転子構成部,
 12 : 回転子鉄心, 12a : 突起部, 12b : 穴部, 12c : 空隙,
 12d : カシメ部, 12e : 永久磁石用穴部, 12f : スリット,
 12g : 非磁性部, 12h : 曲面部, 12i : 連結部, 12j : 非磁性部,
 13 : 永久磁石, 14 : シャフト, 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, 26 : 電機子巻線,
 26-1 : 第 1 の電機子巻線, 26-2 : 第 2 の電機子巻線,
 27 : フレーム, 28 : ハウジング, 29 : ボルト, 30 : 軸受け,
 31 : 軸受け, 32 : 壁部, 33 : プーリー, 34 : センサ用永久磁石,
 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, 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 : シェント,
 110-1 ~ 3 : シェント, 111 : 回転角度センサ, 121 : 中間部材,
 122 : 制御基板, 123 : ケース, 124 : ヒートシンク,
 124a : 凹部, 125 : センサ部, 126 : 磁気センサ, 127 : 基板,
 128 : 接続部材, 129 : 支持部, 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。

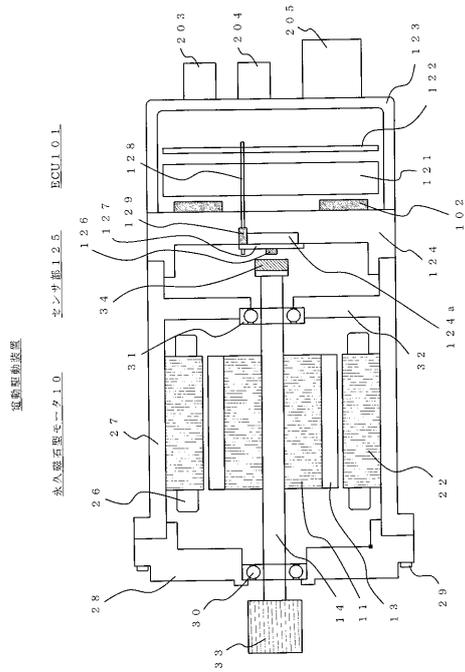
20

30

40

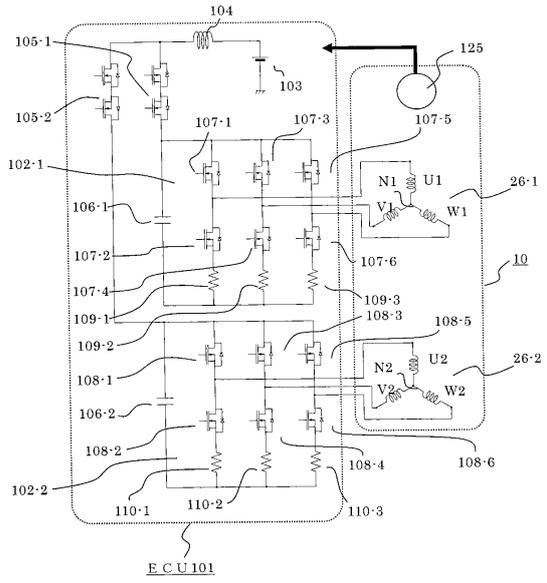
【図1】

図1



【図2】

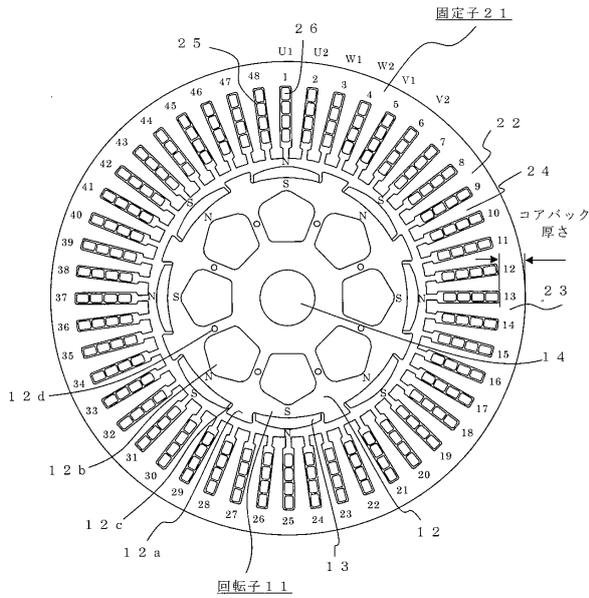
図2



【図3】

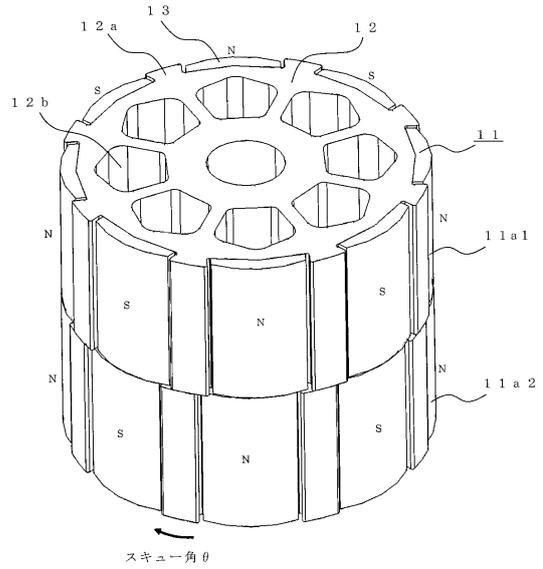
図3

永久磁石型モータ10



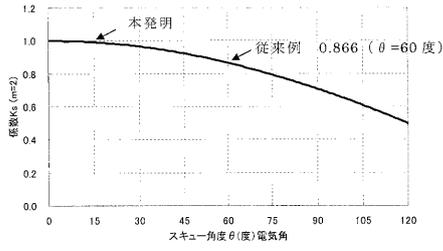
【図4】

図4



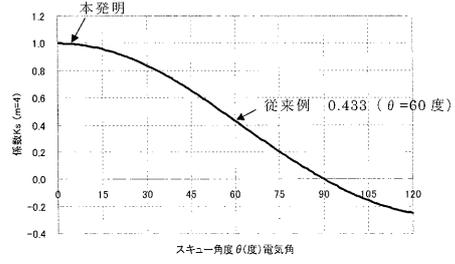
【図15】

図15



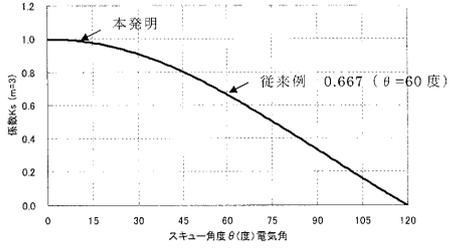
【図17】

図17



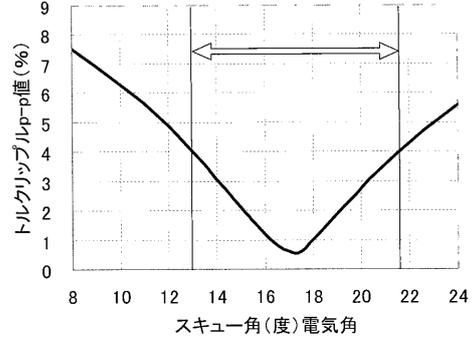
【図16】

図16



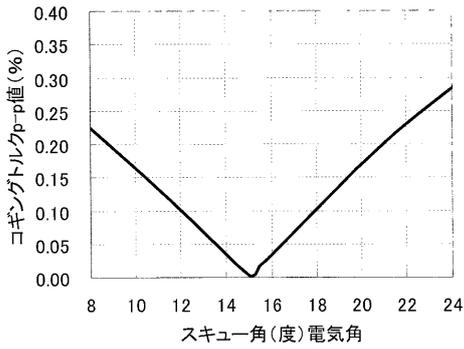
【図18】

図18



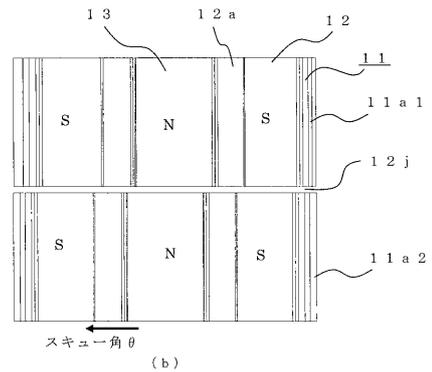
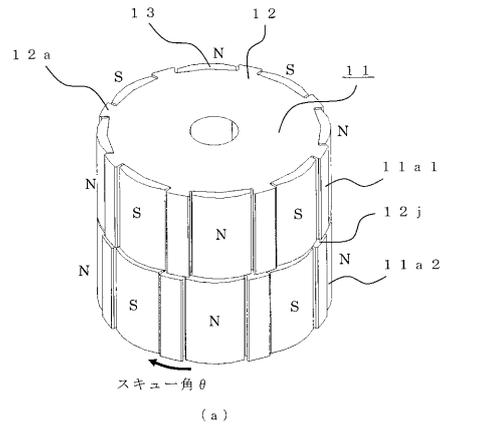
【図19】

図19



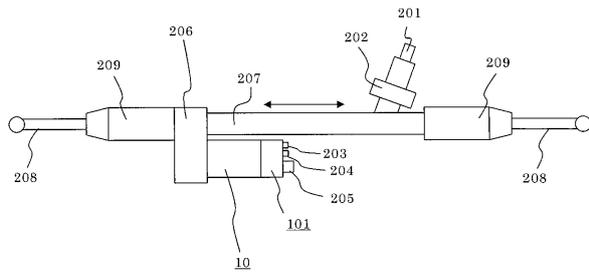
【図20】

図20



【 2 1】

图 2 1



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 2 K 1/22 A

(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

(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 有働 豊秋
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

審査官 田村 恵里加

(56)参考文献 国際公開第2013/054439(WO, A1)
特開2012-254001(JP, A)
特開2012-125006(JP, A)
特開2004-274963(JP, A)
特開2010-226935(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 2 K 1 / 2 2 , 1 / 2 7 , 2 1 / 0 0 - 2 1 / 4 8