

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2015年1月29日(29.01.2015)



(10) 国際公開番号  
WO 2015/011747 A1

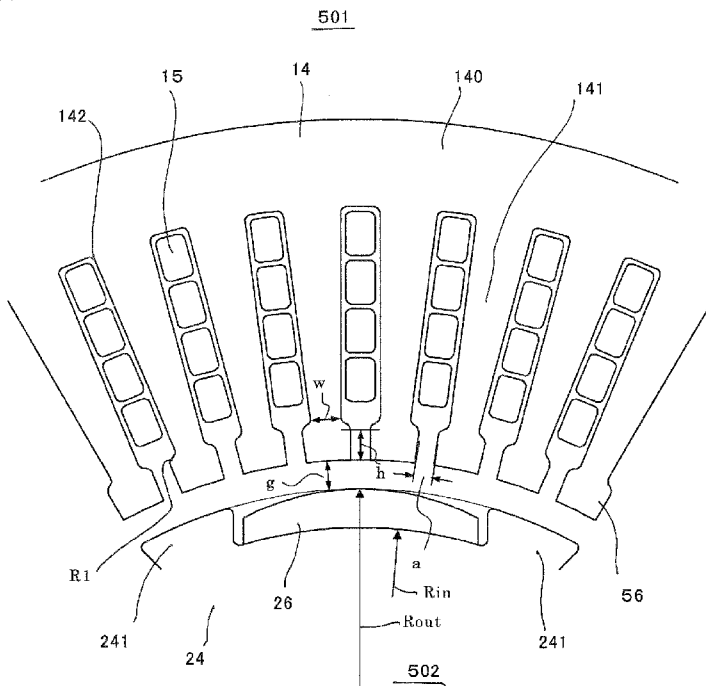
- (51) 国際特許分類:  
H02K 21/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/069737
- (22) 国際出願日: 2013年7月22日(22.07.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中野 正嗣(NAKANO Masatsugu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 廣谷 迪(HIROTANI Yu); 〒1008310 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 Tokyo (JP). 滝澤 勇二(TAKIZAWA Yuji); 〒1008310 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 Tokyo (JP). 阿久津 悟(AKUTSU Satoru); 〒1008310 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 Tokyo (JP). 有働 豊秋(UDO Toyoaki); 〒1008310 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大岩 増雄, 外(OIWA Masuo et al.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘3丁目3番5号 Hyogo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,

[続葉有]

(54) Title: PERMANENT MAGNET MOTOR AND ELECTRIC POWER STEERING DEVICE

(54) 発明の名称: 永久磁石型モータ、及び電動パワーステアリング装置

図 6



(57) Abstract: In a permanent magnet motor, a side portion of a flange portion provided on each of a plurality of teeth faces a side portion of a flange portion provided on a tooth that projects and is adjacent in a circumferential direction of a stator iron core. When the height of a side portion of a flange in a radial direction of the stator iron core is denoted by  $h$  and the length of a magnetic air gap is denoted by  $g$ , a relationship of  $1 \leq h/g \leq 2$  is satisfied. In addition, when the distance between the surfaces of adjacent flanges facing each other in a circumferential direction is denoted by  $a$ , a relationship of  $a/g \geq 0.2$  is satisfied.

(57) 要約: 複数のティース設けられた鏝部は、側面部が固定子鉄心の周方向に突出して隣接するティースに設けられた鏝部の側面部と対向し、鏝部の側面部に於ける固定子鉄心の径方向の高さを  $h$ 、磁気的エアギャップの長さを  $g$  としたとき、 $1 \leq h/g \leq 2$  なる関係が成立し、且つ、隣り合う鏝部が対向する面の周方向の距離を  $a$  としたとき、 $a/g \geq 0.2$  なる関係を満たすようにした。

WO 2015/011747 A1



PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,  
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),  
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,  
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ  
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッ  
パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称：

永久磁石型モータ、及び電動パワーステアリング装置

### 技術分野

[0001] この発明は、複数の巻線からなる多相固定子巻線を多重に備えた、所謂、多相多重化永久磁石型モータと称される永久磁石型モータ、及びこの永久磁石型モータを備えた車両用の電動パワーステアリング装置に関するものである。

### 背景技術

[0002] 多相多重化固定子巻線を備えた永久磁石型モータは周知であり、多相多重化された固定子巻線が異なる位相で駆動されることによりトルクの脈動が低減され、又、多相巻線の多重化によりフェールセーフ機能が高められるという特徴を有する。従って、このような永久磁石型モータは、例えば自動車等の車両の電動パワーステアリング装置に於けるモータとして使用される。

[0003] 特許文献1に開示された従来の多相多重化永久磁石型モータは、複数の巻線からなる多相固定子巻線を多重に備え、各巻線が、回転子と固定子との間隙で磁路を共用しない構成となっている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開平7-264822号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に開示された従来の多相多重化永久磁石型モータは、電機子巻線がティースに集中的に巻回された集中巻の構造であるため、短節巻となり巻線係数が低く、その結果、永久磁石の使用量が多くなり、高コストとなるという課題があった。

[0006] 一方、分布巻の構造で多相多重化されて、かつ多重化された巻線同士で磁

路が共用される多相多重化永久磁石型モータの場合には、巻線同士の磁気的カップリングが大きくなり、制御性が低下するという課題があった。特に永久磁石の最大外径と最小内径との中間の直径よりも固定子に近い側に回転子鉄心の一部が存在する構成に於いては、インダクタンスが大きくなるため弱め磁束制御の効果が効率よく発揮できるという反面、巻線同士の磁気的カップリングが大きくなるという課題が顕著であった。

[0007] この発明は、従来の多相多重化永久磁石型モータに於ける前述のような課題を解決するためになされたもので、異なる組の電機子巻線同士の磁気的カップリングが低減でき、制御性が向上する永久磁石型モータを提供することを目的とする。

[0008] 又、この発明は、多相多重化された固定子巻線に於ける異なる組の電機子巻線同士の磁気的カップリングが低減でき、制御性が向上する永久磁石型モータを備えた電動パワーステアリング装置を提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0009] この発明による永久磁石型モータは、  
モータシャフトに固定された回転子鉄心と、前記回転子鉄心に固定された永久磁石とを備えた回転子と、  
電機子巻線を収納する複数のスロットと複数のティースを有し内周面が磁気的エアギャップを介して前記回転子の外周面と対向する固定子鉄心を備えた固定子と、  
を備えた永久磁石型モータであって、  
前記電機子巻線は、複数組の多相巻線により構成され、  
前記複数組の多相巻線は、夫々の組毎に個別のインバータから給電され、  
前記回転子鉄心の一部は、前記永久磁石の最大外径と最小内径との中間の直径よりも前記固定子に近い側に存在し、  
前記複数のティースは、夫々鏝部を夫々備え、  
前記鏝部は、側面部が前記固定子鉄心の周方向に突出して隣接する前記ティースに設けられた鏝部の側面部と対向し、

前記鏢部の側面部に於ける前記固定子鉄心の径方向の高さを  $h$ 、前記磁気的エアギャップの長さを  $g$  としたとき、

$$1 \leq h / g \leq 2$$

なる関係が成立し、且つ、

隣り合う前記鏢部が対向する面の周方向の距離を  $a$  としたとき、

$$a / g \geq 0.2$$

なる関係を満たす、

ことを特徴とするものである。

[0010] 又、この発明による電動パワーステアリング装置は、前記永久磁石型モータが搭載され、前記永久磁石型モータにより運転者の操舵をアシストするトルクを発生させるようにした電動パワーステアリング装置であって、

前記永久磁石型モータは、その軸方向が車両の操舵輪を駆動するラック軸の延びる方向と平行に配置されている、

ことを特徴とするものである。

### 発明の効果

[0011] この発明による永久磁石型モータによれば、異なる組の電機子巻線同士の磁気的カップリングを低減でき、制御性が向上すると共に、弱め磁束制御の効果を効率よく発揮できる効果を奏することができる。

[0012] 又、この発明による電動パワーステアリング装置によれば、トルクリップの大幅な低減が可能となり、且つ磁気カップリングが低減できるので、大型の車両にも適用でき、車両の燃費を低減できるという効果がある。制御性が向上すると共に、装置をコンパクト化することができる効果を備えるものである。

### 図面の簡単な説明

[0013] [図1]この発明の実施の形態1による電動パワーステアリング装置に於ける、電動駆動装置の説明図である。

[図2]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータとECUの回路の説明図である。

[図3]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの横断面図である。

[図4]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの電機子巻線の等価回路の説明図である。

[図5]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータのq軸の回路構成の説明図である。

[図6]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの固定子鉄心を拡大して示す横断面図である。

[図7]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の磁気的カップリングを説明する説明図である。

[図8]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータのNT（速度ートルク）特性の説明図である。

[図9]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの変形例1の固定子鉄心を拡大して示す横断面図である。

[図10]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの変形例2の固定子鉄心を拡大して示す横断面図である。

[図11]この発明の実施の形態2による永久磁石型モータの横断面図である。

[図12]この発明の実施の形態3による永久磁石型モータの横断面図である。

[図13]この発明の実施の形態4による永久磁石型モータの横断面図である。

[図14]この発明の実施の形態1による永久磁石型モータを備えた電動パワーステアリング装置の説明図である。

### 発明を実施するための形態

#### [0014] 実施の形態1.

図14は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータを備えた電動パワーステアリング装置の説明図である。図14に於いて、自動車等の車両の運転者は、ステアリングホイール（図示せず）を操舵し、運転者による操舵トルクがステアリングシャフト（図示せず）を介して操舵シャフト1に伝達される。このときトルクセンサ2が検出した操舵トルクは、電気信号に変換されケーブル（図示せず）を通じてコネクタ3を介してECU（Electroni

c Control Unit) 4 に伝達される。ECU 4 は、制御基板と、後述するこの発明の実施の形態 1 による永久磁石型モータ 5 を駆動するためのインバータ回路（図示せず）を備えている。尚、以下の説明に於いて、永久磁石型モータ 5 を、単に、モータと称することもある。

[0015] 一方、車速等の車両の情報が電気信号に変換され、第 2 のコネクタ 6 を介して ECU 4 に伝達される。ECU 4 は、前述の操舵トルクと車速等の車両の情報から、必要なアシストトルクを演算し、インバータを通じてモータ 5 に電流を供給する。モータ 5 は、その軸方向が矢印 A で示すラック軸の移動方向に平行な向きに配置されている。又、ECU 4 への電源は、バッテリーやオルタネータから電源コネクタ 7 を介して供給される。

[0016] モータ 5 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）が内蔵されたギヤボックス 8 により減速され、ハウジング 9 の内部にあるラック軸（図示せず）を矢印 A の方向に移動させる推力を発生させ、運転者の操舵力をアシストする。ラック軸が矢印 A の方向に移動することにより、車両の左右のタイロッド 10、11 が移動し、タイヤが転舵して車両を旋回させることができる。運転者は、モータ 5 のトルクによりアシストされ少ない操舵力で車両を旋回させることができる。尚、車両の左右のラックブーツ 12、13 は、異物が電動パワーステアリング装置内に侵入しないように設けられている。又、モータ 5 と ECU 4 は一体に固定されており、電動駆動装置 100 を構成している。

[0017] 次に、前述の電動駆動装置 100 について説明する。図 1 は、この発明の実施の形態 1 による電動パワーステアリング装置に於ける、電動駆動装置の説明図である。図 1 に示す電動駆動装置 100 は、この発明の実施の形態 1 によるモータ 5 と ECU 4 とが一体に固定された構造となっている。図 1 に於いて、先ず、永久磁石型モータ 5 について説明する。モータ 5 は、電磁鋼板を積層して構成された固定子鉄心 14 と、固定子鉄心 14 の後述するスロットに収納された電機子巻線 15 と、固定子鉄心 14 を固定するフレーム 16 を有する。フレーム 16 の軸方向の一端部は、モータハウジング 17 にボ

ルト18、19により固定されている。

[0018] モータハウジング17には、第1の軸受20が固定されている。又、フレーム16の軸方向の他端部に形成されている壁部21の内周部には、第2の軸受22が固定されている。壁部21は、フレーム16と一体に形成されているが、別体に形成されていてもよい。モータシャフト23には、電磁鋼板を積層して構成された回転子鉄心24が圧入により固定されている。モータシャフト23は、第1の軸受20と第2の軸受22を介してモータハウジング17とフレーム16に回転自在に支持されている。

[0019] モータシャフト23の一方の軸方向端部、即ち出力軸側にはプーリー26が圧入されている。プーリー26は、電動パワーステアリング装置のベルト（図示せず）にモータ5の駆動力を伝達する働きをする。モータシャフト23の他方の軸方向端部には、センサ用永久磁石25が固定されている。前述の回転子鉄心24には、永久磁石26が固定されている。尚、図1では永久磁石26は、回転子鉄心24の表面に固定されている例を示しているが、回転子鉄心24の中に埋め込まれた構造としてもよい。これ等の構造については詳しくは後述する。

[0020] 次に、ECU4について説明する。ECU4には、前述のトルクセンサ2からの信号を受ける第1のコネクタ3と、車速等の車両の情報を受け取る第2のコネクタ6と、電源供給用の電源コネクタ7が設けられている。更に、ECU4には、モータを駆動するための後述する第1のインバータ回路と第2のインバータ回路が設けられている。第1のインバータ回路は、MOS-FET等からなる6個の第1のチング素子群281を有する。第2のインバータ回路は、MOS-FET等からなる6個の第2のチング素子群282を有する。

[0021] 第1及び第2のスイッチング素子群281、282に於ける夫々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。夫々の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、夫々のスイッチング素子は、接着剤や絶縁シート等を介してヒートシンク 29 と接触させ放熱する構造となっている。

[0022] 第 1 及び第 2 のインバータ回路には、前述の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、電源リレー、及びこれらを電氣的に接続するバスバー等設けられているが、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 30 を形成している。又、中間部材 30 に隣接して、制御基板 31 が設けられている。この制御基板 31 は、第 1 及び第 2 のコネクタ 3、6 から受けた情報に基づき、モータ 5 を適切に駆動するために第 1 及び第 2 のスイッチング素子群 281、282 に制御信号を送信する。

[0023] 制御信号は、制御基板 31 と第 1 及び第 2 のスイッチング素子群 281、282 の各スイッチング素子との間を電氣的に接続する接続部材（図示せず）により伝達される。この接続部材は、ワイヤボンディングやプレスフィット、半田等で半導体素子や制御基板 31 に固定される。これらの半導体素子で構成される第 1 及び第 2 のインバータ回路と制御基板 31 は、ECU ケース 32 により覆われている。ECU ケース 32 は、樹脂で形成されていてもよいし、アルミニウム等の金属で形成されていてもよいし、或いは、樹脂とアルミニウム等の金属を組み合わせて形成された構成であってもよい。制御基板 31 の配置は、モータ 5 のモータシャフト 23 の軸方向に対して直交する面に沿う配置とされている。

[0024] ヒートシンク 29 のモータ 5 に対向する側面には、センサ部 33 が配置されている。センサ部 33 は、磁気センサ 34 とセンサ基板 35 とセンサ接続部材 36 とセンサ支持部材 37 を有し、磁気センサ 34 が実装されたセンサ基板 35 がヒートシンク 29 にネジ（図示せず）で固定されている。

[0025] 磁気センサ 34 は、モータシャフト 23 の軸心と同軸上に配置され、且つセンサ用永久磁石 25 と相対応する位置に配置されていて、センサ用永久磁石 25 の発生する磁界を検出し、その磁界の向きを検出することで、モータ 5 の回転子の回転角度を検出する。センサ接続部材 36 はセンサ支持部材 3

7により支持され、センサ部33のセンサ基板35と制御基板31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、半田でもよい。尚、センサ接続部材36がヒートシンク29と中間部材30を貫通する必要があるため、ヒートシンク29と中間部材30にはセンサ接続部材36が貫通する貫通穴（図示せず）が設けられている。更に、図示していないが、中間部材30は、センサ接続部材36を位置決めするガイドが設けられた構成となっている。

[0026] 図1ではヒートシンク29に凹部38を設けており、センサ部33のセンサ基板35に実装された磁気センサ34とヒートシンク29の表面、つまり、凹部38の底面との間の距離を大きくしている。ヒートシンク29は、ネジや焼き嵌めなどによってモータ5のフレーム16に固定される。このように、ヒートシンク29がモータ5のフレーム16に固定されることによって、ヒートシンク29の熱をフレーム16に伝達させることができる。

[0027] ECU4は、センサ部33が検出したモータ5の回転子の回転角度に応じて適切な駆動電流をモータ5の電機子巻線15に供給する。

[0028] 尚、図1では磁気センサ34が制御基板31とは別のセンサ基板35に実装されている例を示したが、制御基板31に実装された構成とし、センサ用永久磁石25からヒートシンク29を介して漏れてくる磁束を検出する構造としてもよい。又、中間部材30と制御基板31の位置関係を図1と逆に配置した構成でもよい。又、図1では回転子の位置を検出するセンサ部の構成として磁気センサ34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。

[0029] 次に、ECU4に於けるインバータ部の回路構成について説明する。図2は、この発明の実施の形態1によるモータとECUの回路の説明図である。尚、図2ではモータ5について、簡単のため電機子巻線のみを示している。モータ5の電機子巻線15は、第1のU相巻線U1と、第1のV相巻線V1と、第1のW相巻線W1とによって構成された第1の電機子巻線39と、第2のU相巻線U2と、第2のV相巻線V2と、第2のW相巻線W2とによって構成さ

れる第2の電機子巻線40とから構成される。図2では第1及び第2の電機子巻線39、40はY結線として示しているが、△結線でもよい。

[0030] 図2に示すECU4は、簡単のためインバータのパワー回路部のみを示している。ECU4には、バッテリー等の電源43からノイズ除去用のコイル44を介して直流電圧が供給されている。ECU4は、第1のインバータ回路41と、第2のインバータ回路42の2組のインバータ回路を備えている。第1のインバータ回路41は、コイル44と第1の電源リレー45を介して電源43から直流電圧が供給され、第1の電機子巻線39に3相の電流を供給する。第2のインバータ回路42は、コイル44と第2の電源リレー46を介して電源43から直流電圧が供給され、第2の電機子巻線40に3相の電流を供給する。尚、図2では電源43がECU4の内部に存在するかのようによ示しているが、実際は電源43は車載バッテリー等のECU4の外部の電源からコネクタを介して、電力が供給される。

[0031] 第1及び第2の電源リレー45、46は、夫々2個のMOS-FETで構成され、故障時等はMOS-FETを開放して、過大な電流が夫々のインバータ回路41、42に流れないように動作する。尚、図2では、電源43、コイル44、第1の電源リレー45及び第2の電源リレー46の順に接続されているが、コイル44よりも電源43に近い位置に第1の電源リレー45及び第2の電源リレー46を接続してもよいことは言うまでもない。

[0032] 第1の平滑コンデンサ47は第1のインバータ回路41の入力端子間に接続され、第2の平滑コンデンサ48は第2のインバータ回路42の入力端子間に接続されている。尚、図2では、第1及び第2の平滑コンデンサ47、48は、夫々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。

[0033] 第1及び第2のインバータ回路41、42は、夫々6個のMOS-FETを用いた3相ブリッジ回路で構成されている。第1のインバータ回路41は、MOS-FET11とMOS-FET12とが直列接続された第1のアームと、MOS-FET13とMOS-FET14とが直列接続された第2のア

ームと、MOS-FET 15とMOS-FET 16とが直列接続された第3のアームを備え、これ等の第1～第3のアームが並列に接続されている。第1～第3のアームの下側に夫々位置するMOS-FET 12とMOS-FET 14とMOS-FET 16のGND（接地電位）側には、夫々、シャント抵抗49、50、51が1つずつ接続されている。

[0034] 同様に、第2のインバータ回路42は、MOS-FET 21とMOS-FET 22とが直列接続された第1のアームと、MOS-FET 23とMOS-FET 24とが直列接続された第2のアームと、MOS-FET 25とMOS-FET 26とが直列接続された第3のアームを備え、これ等の第1～第3のアームが並列に接続されている。第1～第3のアームの下側に夫々位置するMOS-FET 22とMOS-FET 24とMOS-FET 26のGND（接地電位）側には、夫々、シャント抵抗52、53、54が1つずつ接続されている。

[0035] 前述の夫々のシャント抵抗49～54は、電流値の検出に用いられる。尚、第1及び第2のインバータ回路41、42毎に3個設けられている例を示したが、第1及び第2のインバータ回路41、42毎に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。

[0036] 第1のインバータ回路41からモータ5側への電流の供給は、図2に示すように、MOS-FET 11とMOS-FET 12の直列接続部からバスバー等を介してモータ5の第1の電機子巻線39のU1相へ供給され、MOS-FET 13とMOS-FET 14との直列接続部からバスバー等を介してモータ5の第1の電機子巻線39のV1相へ供給され、MOS-FET 15とMOS-FET 16との直列接続部からバスバー等を介してモータ5の第1の電機子巻線39のW1相へ供給される。

[0037] 第2のインバータ回路42からモータ5側への電流の供給は、図2に示すように、MOS-FET 21とMOS-FET 22の直列接続部からバスバー等を介してモータ5の第2の電機子巻線40のU2相へ供給され、MOS

— F E T 23とM O S — F E T 24との直列接続部からバスバー等を介してモータ5の第2の電機子巻線40のV2相へ供給され、M O S — F E T 25とM O S — F E T 26との直列接続部からバスバー等を介してモータ5の第2の電機子巻線40のW2相へ供給される。

[0038] 図2ではE C U 4に何らかの故障が発生したときにモータ5と第1及び第2のインバータ回路41、42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、第1及び第2の電機子巻線39、40の中性点N1、N2に設ける場合と、モータ5と第1及び第2のインバータ回路41、42との間に設ける場合とが考えられる。

[0039] 第1及び第2のインバータ回路41、42は、モータ5に備えられた回転角度センサ55によって検出したモータ5の回転子の回転角度に応じて、制御回路(図示せず)から各M O S — F E Tに信号を送ることでこれ等をスイッチングし、第1及び第2の電機子巻線39、40に所望の3相電流を供給する。尚、回転角度センサ50には、例えば磁気センサが用いられる。具体的には永久磁石とG M R (Giant Magneto Resistive effect) センサやA M R (Anisotropic Magneto Resistance)センサを組み合わせた構成や、レゾルバ等が用いられる。

[0040] 次に、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータについて詳細に説明する。図3は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの横断面図である。図1～図3に於いて、回転子502の外周面に空隙を介して対向する内周面を有する固定子501が設けられている。固定子501は、前述の第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40とからなる電機子巻線15と、固定子鉄心14を有する。固定子鉄心14は、電磁鋼板等の磁性体で構成される環状のコアバック140とコアバック140から径方向内側に延びるティース141とから構成される。

[0041] 隣り合うティース141の間に設けられたスロット142に電機子巻線15が納められている。図示していないが、電機子巻線15と固定子鉄心14との間には絶縁紙等が挿入され電氣的絶縁を確保している。ティース141

は全部で48個設けられており、従ってスロット142も48個となっている。1つのスロット142には電機子巻線15のコイルが納められている。

[0042] 前述のように、第1の電機子巻線39は、U1相、V1相、W1相の3相から構成され、第2の電機子巻線40は、U2相、V2相、W2相の3相から構成されている。巻線の配置は、図5に示すように1番目のスロット(1)から順にU1、U2、W1、W2、V1、V2となっており、7番目のスロット(7)以降もU1、U2、W1、W2、V1、V2の順に配置されていて、48番目のスロット(48)まで同様の順に配置されている。即ち、第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40は、隣り合うスロット142に配置されている。

[0043] 但し、1番目のスロット(1)のU1相と7番目のスロット(7)のU1相は、電流の向きが互いに逆になるように電機子巻線が配置されている。即ち、1番目のスロット(1)から7番目のスロット(7)に巻かれた分布巻の構成となっている。従って、電機子巻線は計6個のティースを跨って配置されていることになる。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26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26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。

[0044] 固定子501の内側空間部には、回転子鉄心24の表面に永久磁石26を備えた回転子502が設けられている。永久磁石26は、回転子502の周方向に8個等間隔に並設されており、8極の構成となっている。隣り合う永久磁石26の極性は互いに逆となっている。更に、回転子鉄心24には、8個の突起部241が設けられている、突起部241と永久磁石26の間には漏れ磁束を低減するための非磁性のギャップが設けられている。この突起部241は、モータ5の固定子501と回転子502との間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。その結果、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。

- [0045] 回転子鉄心24は、電磁鋼板等を積層して構成されており、電磁鋼板同士はカシメ部243によって互いに連結されている。回転子鉄心24の中央部にはモータシャフト23が貫通している。又、回転子鉄心24には8個の穴部242が設けられている。これ等の穴部242を設けることにより、回転子鉄心24の軽量化、イナーシャ低減の効果がある。
- [0046] 次に、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータに於いて、トルクリップルが低減できる理由を説明する。図3に示すように、モータ5の固定子鉄心14の-slot142の数が「48」であり、極数は「8」であることから、slotピッチは、電気角で $[360度 / 48 \times 4 = 30度]$ となっている。更に、隣り合うslotに第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40が納められているため、U1相とU2相は互いに電気角30度だけ位相がずれている。V1相とV2相、W1相とW2相も互いに電気角30度だけ位相がずれている。
- [0047] 従って、第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40とに、互いに電気角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、第1の電機子巻線39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第2の電機子巻線40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。第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40とに位相が異なる電流を流すには、図2に示す前述の第1及び第2のインバータ回路41、42の2台のインバータ回路を設け、夫々個別の制御を行うことにより実現できる。尚、第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40の電流の位相差が20度～40度付近であれば、同様の効果が得られる。
- [0048] 図3では、回転子502は、回転子鉄心24に形成された突起部241を備えており、永久磁石26の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24の外周面、つまり突起部241の外周面、が位置するように、突起部241の高さが設定されている。このような構成では回転子鉄心24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を発生するモータでは、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。

[0049] しかしながら、図3のように第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40が互いに隣り合うスロットの中に納められているモータに於いて、永久磁石26の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24が設けられている場合には、そうでない場合と比べて第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40の磁気的なカップリングが顕著となる。これは、固定子501に近い回転子鉄心24が第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40との間の磁気抵抗を下げる作用があるからである。

[0050] 図4は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの電機子巻線の等価回路の説明図である。図4に於いて、 $v_u$ は電機子巻線の各端子電圧、 $i_u$ は電機子電流、 $R$ は抵抗、 $v_e$ は誘起電圧、 $l_m$ は漏れインダクタンス、 $M$ は相互インダクタンスを表しており、添え字の「1」は1次側、添え字の「2」は2次側を示している。又、 $n$ はトランスに於ける巻数比に相当する。尚、これらの値のうち、特に $l_m$ と $M$ は通常のモータ制御で用いる値とは異なり、並列して配置された多重の二相間のインダクタンスを示す。又、一般には、多重多相巻線交流モータでは並列する巻線の巻数は同じであるので $[n=1]$ である。 $V_1$ 相と $V_2$ 相、 $W_1$ 相と $W_2$ 相、 $U_1$ 相と $V_2$ 相、 $U_1$ 相と $W_2$ 相、 $V_1$ 相と $U_2$ 相、 $V_1$ 相と $W_2$ 相、 $W_1$ 相と $U_2$ 相、 $W_1$ 相と $V_2$ 相の等価回路も図4と同じであるので、三相平衡の場合、 $U$ 相、 $V$ 相、 $W$ 相を備えた三相から回転子の $d$   $q$ 軸に座標変換を行っても、この $d$   $q$ 軸での等価回路は図4に示した等価回路と同じとなる。

[0051] 図5は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの $q$ 軸の回路構成の説明図であって、回転子 $d$   $q$ 軸に座標変換したときの $q$ 軸の等価回路をブロック図形式で表している。図5に於いて、 $v_{q1}$ と $v_{q2}$ は夫々第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の $q$ 軸電圧、 $i_{q1}$ と $i_{q2}$ は夫々第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の $q$ 軸電流、 $L_{q1}$ と $L_{q2}$ は夫々第1の電機

子巻線と第2の電機子巻線の自己インダクタンスのq軸成分、 $R_{a1}$ と $R_{a2}$ は第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の抵抗成分、 $M_{q12}$ と $M_{q21}$ は第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の間の相互インダクタンスのq軸成分である。sはラプラス変換の微分演算子を表す。 $v_{q12}$ と $v_{q21}$ は夫々第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の間の相互インダクタンスにより、第1の電機子巻線と第2の電機子巻線に重畳する外乱電圧である。尚、図5は、回転子q軸上の等価回路を示したものであるが、回転子d軸上の等価回路も同様の構成である。

[0052] 外乱電圧は電流の制御応答周波数である微分値sに比例するため、モータ制御で電流を高速に制御しようとするほど大きくなるので、高い応答周波数でのトルクリップルを相殺するモータ制御が困難になる。

[0053] 次に、この発明の実施の形態1に於ける外乱電圧の影響について考える。ここで、図5から明らかなように、前述のように多重化された電機子巻線を有する多重多相巻線交流モータでは、外乱電圧が相互に作用して、電流制御系に対して外乱値 $i_{q1}'$ 、 $i_{q2}'$ として作用する。外乱値 $i_{q1}'$ 、 $i_{q2}'$ は、図5のq軸の等価回路のブロック図から、下記の式(1)、式(2)のように表される。

[数1]

数1

$$i_{q1}' = - \frac{sM_{q12}i_{q2}}{R_{a1} + sL_{q1}} \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

[数2]

数2

$$i_{q2}' = - \frac{sM_{q21}i_{q1}}{R_{a2} + sL_{q2}} \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

[0054] ここで、 $i_{q1}$ 、 $i_{q2}$ は第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の夫々のq軸電流であり、 $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$ は第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の夫々の抵抗値であり、 $L_{q1}$ 、 $L_{q2}$ は第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の夫々の自己インダクタンスのq軸成分であり、 $M_{q12}$ 、 $M_{q21}$ は第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の干渉を表す相互インダクタンスのq軸成分である。

[0055] 電流制御の周波数が高くなった場合、ラプラス変換の微分演算子sが大きくなり、又、式(1)、式(2)から、外乱値は、ほぼ磁気カップリング $M_{q12}/L_{q1}$ 若しくは磁気カップリング $M_{q21}/L_{q2}$ に依存することは明らかである。同磁気カップリングが大きくなった場合、外乱値が大きくなり、電流制御系の外乱が大きくなると電流制御系の応答を高くすることが出来ず、モータの制御性が低下する。尚、実施の形態1の場合の電機子は、第1の電機子巻線と第2の電機子巻線が対称構造であるのため、 $[M_{q12}/L_{q1} \doteq M_{q21}/L_{q2}]$ と考えてもよい。従って、以後、磁気カップリングについては $M_{q12}/L_{q1}$ として説明する。

[0056] 図3に示すように、第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40が互いに隣り合うスロット142の中に納められているモータに於いて、永久磁石26の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24の周面が設けられている場合には、そうでない場合と比べて第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40の磁気的なカップリング $M_{q12}/L_{q1}$ が大きくなり、モータの制御性が低下するという課題がある。

[0057] 図6は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの固定子鉄心を拡大して示す横断面図である。図6に於いて、固定子501は、コアバック140とティース141とスロット142を有する固定子鉄心14と、スロット142内に納められた電機子巻線15とを具備している。電機子巻線15と固定子鉄心14との間には電氣的絶縁を確保するために絶縁紙などが設けられるが図6では省略している。ティース141の先端には鏝部56が設けられている。図6では、ティース141が最も細い部分の幅をw、隣り合

う鏢部56の距離を $a$ 、固定子鉄心24の隣り合う鏢部56が対向する面の径方向高さを $h$ として表示している。隣り合う鏢部56が対向する面の径方向の内側に曲面部R1を設けている。高さ $h$ は曲面部R1を除いた領域の高さとしている。EPS用のモータであれば、曲面部R1は $0.2$  [mm] ~  $0.4$  [mm] 程度に設定される。

[0058] 回転子502は、回転子鉄心24とその表面に永久磁石26を配置した構成となっており、永久磁石26の両側には突起部241が設けられている。突起部241は、固定子501の内周面側に向かって突出しているが、その高さは、永久磁石26の最大外径 $R_{out}$ と最小内径 $R_{in}$ の中間の径よりも固定子501に近い側まで突出している。永久磁石26の飛散防止のために、回転子502の外周面全体をSUSやアルミニウム等の非磁性の金属製の管で覆う場合もあるが、図6では省略している。回転子502の外周面と固定子501の内周面との間の磁気的なエアギャップ長は $g$ である。金属製の管で回転子502の外周面を覆う場合は、磁気的なエアギャップ長 $g$ にはその金属製の管の厚さを含める。

[0059] 図6では、固定子鉄心14の隣り合う鏢部56が対向する面の径方向高さ $h$ と磁気的なエアギャップ長 $g$ は、 $[1 \leq h/g \leq 2]$ なる関係が成り立つ構成としている。更に、固定子鉄心の隣り合う鏢部56が対向する面の周方向の距離 $a$ と磁気的なエアギャップ長 $g$ が、 $[a/g \geq 0.2]$ なる関係を満たす構成としている。

[0060] このような構成とすることで、隣り合う鏢部56の間の漏れ磁束が増えるため、インダクタンス $L_{q1}$ が増加する。一方、異なる組の電機子巻線15に磁束が鎖交するためには隣り合う鏢部56が対向する面を2回通過しなければならないが $[a/g \geq 0.2]$ としているため鎖交磁束を小さくできる。これは $M_{q12}$ が小さくなる効果が得られる。その結果として $M_{q12}/L_{q1}$ を小さくすることができるため、モータの制御性を向上させることができる。これは、即ち、これまで両立が困難であったインダクタンス増による弱め磁束制御の効果と磁気カップリング低減の両立ができることになる。

[0061] 図7は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの第1の電機子巻線と第2の電機子巻線の磁気的カップリングを説明する説明図である。図7の(a)は、隣り合う鏝部56が対向する面の径方向高さ $h$ と磁気的なエアギャップ長 $g$ とモータのトルク、磁気カップリングの関係について示し、横軸は $h/g$ を示し、縦軸はトルクと磁気カップリングを示す。トルクについては $[h/g = 0.83]$ のときのトルクを100 [%]としたパーセント値で示し、磁気カップリングについては $M_{q12}/L_{q1}$  [%]を示す。 $[h/g \leq 2]$ とすることで隣合うティース141への漏れ磁束が低減できるため、トルクの低下がわずかに0.5 [%]以下となる。一方、 $[1 \leq h/g]$ とすることで、磁気カップリング $M_{q12}/L_{q1}$ が69 [%]以下の値となり、制御の周波数応答を高めることができ、電動パワーステアリング装置(EPS)のモータ制御に必要な周波数応答を得ることができるという効果がある。

[0062] 一方、図7の(b)は、固定子鉄心14のティース141に於ける隣り合う鏝部56が対向する面の周方向の距離 $a$ と回転子502と固定子501との間の磁気的エアギャップ長 $g$ と磁気カップリングの関係を示した図である。横軸は $a/g$ を示し、縦軸は磁気カップリング $M_{q12}/L_{q1}$ を示す。 $[a/g \geq 0.2]$ とすることで、磁気カップリング $M_{q12}/L_{q1}$ が69 [%]以下の値となり、制御の周波数応答を高めることができ電動パワーステアリングのモータ制御に必要な周波数応答を得ることができるという効果が得られる。

[0063] 図8は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータのNT(速度-トルク)特性の説明図であって、モータの回転速度 $N$ とトルク $T$ の関係を示し、横軸はモータの回転速度 $N$  [r/min]であり縦軸はトルク $T$  [Nm]を示す。定格トルクが同じ2種類のモータ(1)とモータ(2)について比較して示している。定格トルクは $T_1 = T_2$ となっている。添え字の「1」はモータ(1)、添え字の「2」はモータ(2)であることを示す。

[0064] 図8に於いて、曲線C1は、モータ(1)の特性であり、永久磁石26の

最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24が設けられていない表面磁石型のモータの例である。曲線C2は、モータ(2)の特性であり永久磁石26の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24が設けられている場合、つまりこの発明の実施の形態1による永久磁石型モータの場合である。

[0065] モータ(2)のように、永久磁石26の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24が設けられている場合は、インダクタンスが大きく弱め磁束制御の効果が発揮されるため、高速回転時のトルクが向上している(曲線C2)。無負荷回転数で比較すると $N01 < N02$ となっている。一方、定格回転数 $N1$ と $N2$ はほぼ一致している。従って、モータ(2)はモータ(1)と比べて定格出力はほぼ同等で大幅に高回転域のトルクが向上していることが分かる。従来の技術のように永久磁石26の最大外径と最小内径の中間の径よりも固定子501に近い側に回転子鉄心24が設けられている場合は、異なる電機子巻線の組同士の磁気的カップリングが大きく、制御性が低下していたが、この発明の実施の形態1の構成によって磁気的カップリングの低減が可能となる。

[0066] 実施の形態1の変形例1.

図9は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの変形例1の固定子鉄心を拡大して示す横断面図である。図9に示す永久磁石型モータでは、固定子鉄心14のティース141に於ける隣り合う鏝部56が対向する面の径方向高さ $h$ と磁気的なエアギャップ長 $g$ に $[1 \leq h/g \leq 2]$ なる関係が成り立つ構成としている。

[0067] 更に、固定子鉄心14のティース141に於ける隣り合う鏝部56が対向する面の周方向の距離 $a$ と磁気的エアギャップ長 $g$ が、 $[a/g \geq 0.2]$ なる関係を満たす構成としている。又、隣り合う鏝部56が対向する面の径方向の内側に曲面部R1を設けると共に径方向の外側に曲面部R2を設けている。高さ $h$ は曲面部R1、R2を除いた領域の高さとしている。

[0068] EPS用のモータであれば、曲面部R1、R2は0.2 [mm] ~ 0.4

[mm] 程度に設定される。このような構成とすることで図6の説明で述べた効果が得られることは言うまでもないが、更に、曲面部R1、R2を設けたことで隣り合う鏝部の曲面部R1、R2間の磁気抵抗が増加し、磁気的カップリングが低減できるという効果がある。更に、径方向内側と外側の両方に曲面部R1、R2を設けたことで金型での電磁鋼板の打ち抜きが容易となり金型の寿命が延びるといった効果もある。

[0069] 曲面部は、径方向の内側か外側のいずれか一方に設ける場合でも、隣り合う鏝部の曲面部間の磁気抵抗が増加し、磁気的カップリングが低減できるという効果が得られる。

[0070] 実施の形態1の変形例2。

図10は、この発明の実施の形態1による永久磁石型モータの変形例2に於ける、固定子鉄心を拡大して示す横断面図である。図8に示す変形例2では、鏝部56より径方向外側でティース141が最も細くなる部分に於けるティース141の幅をw、回転子鉄心24の最大外径をRout、スロット数をNs、としたとき、下記の式(3)が成り立つ構成とした。

$$0.4 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s \\ \leq w \leq 0.5 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s \dots \dots \text{式(3)}$$

[0071] 例えば、永久磁石26にネオジム鉄ボロン系の希土類磁石を用いたモータの空隙磁束密度を0.8Tとしたとき、式(3)が成り立つ条件下で磁束は全てティース141を通過する場合には、ティース141が最も細くなる部分の磁束密度の最大値がおおよそ1.6T~2.0T程度になる。これにより、ティース141の最も細くなる部分の磁気飽和を緩和できるため、定格トルクが向上する。更に磁気飽和を緩和により自己インダクタンスが大きくなるため、 $M_{q12} / L_{q1}$ が小さくなり制御性が向上するという効果が得られる。

[0072] 又、ティース141が最も細くなる部分に於けるスロット142の周方向の幅をS1としたとき、 $w \leq S1$ となる。これはスロット幅がティース幅以上ということになりスロット断面積が大きく確保できる。その結果、電機子

巻線の断面積も大きく確保でき銅損の低減とモータの出力を向上できるという効果もある。

[0073] 前述の式(3)と、 $S_{1+w} = 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s$ との関係から、 $S_1$ に対しては、

$$0.5 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s \leq S_1 \leq 0.6 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s \quad \dots \dots \text{式(4)}$$

と書くことができる。この構成であれば、前述のようにティース141が最も細くなる部分の磁束密度の最大値がおおよそ1.6T~2.0T程度になる。これにより、ティース141の最も細くなる部分の磁気飽和を緩和できるため、定格トルクが向上する。

[0074] 更に磁気飽和を緩和により自己インダクタンスが大きくなるため、 $M_{q1}^2 / L_{q1}$ が小さくなり制御性が向上するという効果が得られる。更に、図10に示すように、スロットの周方向の幅は径方向外側にいくにつれて大きくなり、コアバックの近傍においてスロット幅が最大値 $S_2$ となる構成としている。このような構成とすることで、隣り合うティース141間に漏れる漏れ磁束を低減することができ、モータのトルクが向上でき永久磁石の使用量を低減できるという効果がある。又、スロット142の幅が一定の構成に比べてスロット断面積を大きく確保できるため、電機子巻線15の断面積も大きく確保でき銅損が低減できモータの出力が向上できるという効果もある。

[0075] これまでは、第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40の合計2つの電機子巻線を有する例について述べたが、3つ以上の電機子巻線を持つ多重巻線でも同様の効果が得られる。

[0076] 前述の実施の形態1の永久磁石型モータを電動パワーステアリング装置に搭載すれば、トルクリップル6次の大幅な低減が可能となる。又、モータの高出力化と同時に磁気カップリングが増加し、モータの制御性が低下するという課題があったが、磁気カップリングが低減できるので、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

。特に、このようなモータは大出力でも低振動・低騒音となるため大出力の用途に用いられるラック軸の移動方向と平行な向きに配置される電動パワーステアリング装置に適している。

[0077] 実施の形態 2.

実施の形態 1 では、回転子鉄心の表面に永久磁石を配置した構造について述べたが、実施の形態 2 では永久磁石を回転子鉄心の中に埋め込んだ永久磁石型モータ (IPM) としたものである。図 11 は、この発明の実施の形態 2 による永久磁石型モータの横断面図である。図 11 に於いて、固定子 501 は図 3 の実施の形態 1 の場合と同じ構造である。

[0078] 回転子 502 は図 3 の場合とは異なり、平板形状の永久磁石 26 が回転子鉄心 24 に形成された永久磁石用穴部 57 に埋め込まれて配置されている。永久磁石用穴部 57 は回転子鉄心 24 の外周面の近傍に周方向に等間隔に 8 個形成され、夫々の永久磁石用穴部 57 に永久磁石 26 が 1 個ずつ埋め込まれている。周方向に互いに隣り合う永久磁石 26 は、極性が逆方向となるように配置されている。

[0079] 更に、永久磁石 26 より固定子 501 に近い側の回転子鉄心 24 にはスリット 58 が設けられている。図 11 では各磁極に対して、5 個のスリットが配置されている。スリット 58 は空気或いは樹脂等の非磁性体が充填されている。スリット 58 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 24 には穴部 242 が設けられている。穴部 242 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 24 は電磁鋼板等を積層して構成されており、電磁鋼板同士はカシメ部 243 によって互いに連結されている。回転子鉄心 24 の中央にはモータシャフト 23 が貫通している。

[0080] このように永久磁石埋め込み型の場合に回転子は鉄心 24 が固定子鉄心 14 の近くに存在するため、固定子鉄心 14 と回転子鉄心 24 との間の磁気抵抗が小さくなり、結果として第 1 の電機子巻線 39 と第 2 の電機子巻線 40

の磁気的カップリングが大きくなるという傾向があるが、実施の形態2で述べたような構造としたことで磁気的カップリングが小さくなり、制御性が向上するという効果が得られる。さらに、リラクタンストルクが使えるため永久磁石26の使用量を低減することができる。また、インダクタンスが大きいため弱め磁束制御の効果を発揮できるため高速回転時のトルクが向上するという効果も得られる。

[0081] 実施の形態3.

図12は、この発明の実施の形態3による永久磁石型モータの横断面図であって、スポーク (Spoke) 型IPMと称する。図12に於いて、固定子501は、図3の実施の形態1の場合と同じ構造である。図12に於いて、固定子501は図3の実施の形態1の場合と同じ構造である。回転子502は、前述の図3、図11の場合とは異なる構造である。回転子502は、回転軸となるモータシャフト23と、このモータシャフト23の外側に回転子鉄心24が設けられている。

[0082] 永久磁石26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おり、この永久磁石26が周方向に等間隔に8個並んで配置されている。永久磁石26の着磁方向は図12に示すNとSが夫々N極、S極になる方向に着磁されている。即ち、隣り合う永久磁石26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24に集中させて、磁束密度を高めるという効果がある。又、隣り合う永久磁石26の間には回転子鉄心24が介在する。この回転子鉄心24の固定子501の内周面に対向する面つまり外周面は曲面状に形成されている。そして、その曲面の形状は、隣り合う永久磁石26の間の中間地点に於いて固定子501との間の空隙長が短くなるように凸形状曲面61となっている。

[0083] このような形状により、固定子501の内周面と回転子502の外周面との間のエアギャップ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。更に、永久磁石2

6の内径側の端面に接するように非磁性部59を設けている。この非磁性部59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。このように非磁性部59を設けることで、永久磁石26の漏れ磁束を低減することができる。

[0084] 隣り合う永久磁石26の間の回転子鉄心24とモータシャフト23の外周を囲うように設けられた回転子鉄心24の間に連結部60が設けられている。この連結部60は、回転子鉄心24とモータシャフト23と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26の間の回転子鉄心24には穴部242が設けられている。穴部242は、空気とすることで、回転子502の重量低減とイナーシャ低減という効果が得られる。

[0085] 永久磁石埋め込み型の場合には回転子鉄心24が固定子鉄心14の近くに存在するため、固定子鉄心14と回転子鉄心24との間の磁気抵抗が小さくなり、結果として第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40の磁気的カップリングが大きくなるという傾向があるが、実施の形態3の構成としたことで第1の電機子巻線39と第2の電機子巻線40の磁気的カップリングが小さくなり、制御性が向上するという効果が得られる。更に、リラクタンストルクが使えるため永久磁石26の使用量を低減することができる。又、インダクタンスが大きく弱め磁束制御の効果を発揮できるため高速回転時のトルクが向上するという効果も得られる。

[0086] 実施の形態4.

図13は、この発明の実施の形態4による永久磁石型モータの横断面図であって、所謂、コンシクエントポール(consequent pole)型と称される永久磁石型モータである。図13に於いて、固定子501は図3の実施の形態1の場合と同じ構造である。回転子502は、図3、図11、図12とは異なる構造である。回転子502は、回転軸となるモータシャフト23と、このモータシャフト23の外側に回転子鉄心24が設けられている。回転子鉄心24の表面に永久磁石26が配置されており、周方向に等間隔に4個配置されている。

[0087] 永久磁石 26 の着磁の向きは、径方向外側が N 極、径方向内側が S 極となるように着磁されていて、隣り合う永久磁石 26 の間の回転子鉄心 24 の突極部 62 は仮想的に S 極として機能する。即ち、8 極と同等のモータとして動作する。このタイプのモータは一般にはコンシクエントポール型と呼ばれるモータである。回転子鉄心 24 の穴部 242 とカシメ部 243 は図 3、図 11 で述べたとおりである。

[0088] このようにコンシクエントポール型のモータでは、回転子鉄心 24 が固定子鉄心 14 の近くに存在するため、固定子鉄心 14 と回転子鉄心間の磁気抵抗が小さくなり、結果として第 1 の電機子巻線 39 と第 2 の電機子巻線 40 の磁気的カップリングが大きくなるという傾向があるが、実施の形態 4 で述べたような構造としたことで磁気的カップリングが小さくなり、制御性が向上するという効果が得られる。さらに、永久磁石 26 の部品点数低減によるコスト低減効果。インダクタンスが大きく弱め磁束制御の効果を発揮できるため高速回転時のトルクが向上するという効果も得られる。また、図 13 では永久磁石 26 が回転子鉄心 24 の表面に配置された例を示したが、図 11 に示すように永久磁石 26 が回転子鉄心 24 に埋め込まれた構造のコンシクエントポール型であっても同様の効果が得られることは言うまでもない。

[0089] 尚、この発明は、その発明の範囲内に於いて、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。

[0090] 以上述べたこの発明の各実施の形態による永久磁石型モータは下記の発明を具現化したものである。

[0091] (1) モータシャフトに固定された回転子鉄心と、前記回転子鉄心に固定された永久磁石とを備えた回転子と、

電機子巻線を収納する複数のスロットと複数のティースを有し内周面が磁気的エアギャップを介して前記回転子の外周面と対向する固定子鉄心を備えた固定子と、

を備えた永久磁石型モータであって、

前記電機子巻線は、複数組の多相巻線により構成され、

前記複数組の多相巻線は、夫々の組毎に個別のインバータから給電され、  
前記回転子鉄心の一部は、前記永久磁石の最大外径と最小内径との中間の直径よりも前記固定子に近い側に存在し、

前記複数のティースは、夫々鏝部を夫々備え、

前記鏝部は、側面部が前記固定子鉄心の周方向に突出して隣接する前記ティースに設けられた鏝部の側面部と対向し、

前記鏝部の側面部に於ける前記固定子鉄心の径方向の高さを  $h$ 、前記磁気的エアギャップの長さを  $g$  としたとき、

$$1 \leq h / g \leq 2$$

なる関係が成立し、且つ、

隣り合う前記鏝部が対向する面の周方向の距離を  $a$  としたとき、

$$a / g \geq 0.2$$

なる関係を満たす、

ことを特徴とする永久磁石型モータ。

[0092] 前記(1)に記載の永久磁石型モータによれば、異なる組の電機子巻線同士の磁気的カップリングが低減でき、モータの制御性が向上するという効果がある。同時に弱め磁束制御の効果を効率よく発揮できる。

[0093] (2) 前記電機子巻線は、第1の電機子巻線と第2の電機子巻線からなる2組の3相電機子巻線により構成され、

前記第1の電機子巻線は、第1のインバータ回路から電流が供給され、

前記第2の電機子巻線は、第2のインバータ回路から電流が供給され、

前記第1の電機子巻線は、U1相巻線と、V1相巻線と、W1相巻線と、を備え、

前記第2の電機子巻線は、U2相巻線と、V2相巻線と、W2相巻線と、を備え、

前記U1相巻線と前記U2相巻線は、互いに隣り合う前記スロットに収納され、

前記V1相巻線と前記V2相巻線は、互いに隣り合う前記スロットに収納

され、

前記W 1 相巻線と前記W 2 相巻線は、互いに隣り合う前記スロットに収納さ、

前記第 1 の電機子巻線と前記第 2 の電機子巻線とに流れる夫々の電流は、互いに電気角 20 度以上 40 度以下の位相差を備える、ことを特徴とする前記 (1) に記載の永久磁石型モータ。

[0094] 前記 (2) に記載の永久磁石型モータによれば、電気角 6 次のトルクリップルの大幅な低減と磁氣的カップリングの低減の両立ができるという効果がある。

[0095] (3) 前記鏝部の側面部は、前記固定子の径方向の内側に位置する部位と径方向の外側に位置する部位とのうちの何れか一方に曲面部を備えている、ことを特徴とする前記 (1) 又は (2) に記載の永久磁石型モータ。

[0096] 前記 (3) に記載の永久磁石型モータによれば、曲面部を設けたことで隣り合う鏝部の R 部間の磁気抵抗が増加し、磁氣的カップリングが低減できるという効果がある。

[0097] (4) 前記鏝部の側面部は、前記固定子の径方向の内側に位置する部位と径方向の外側に位置する部位の双方に曲面部を備えている、ことを特徴とする前記 (1) 又は (2) に記載の永久磁石型モータ。

[0098] 前記 (4) に記載の永久磁石型モータによれば、曲面部を設けたことで隣り合う鏝部の曲面部間の磁気抵抗が増加し、磁氣的カップリングが低減できるという効果がある。更に、径方向内側と外側の両方に曲面部を設けたことで金型の打ち抜きが容易となり金型の寿命が延びるという効果もある。

[0099] (5) 隣接するティースに夫々設けられ互いに対向する前記鏝部の前記側面部は、互いに平行となるように構成されている、ことを特徴とする前記 (4) に記載の永久磁石型モータ。

[0100] 前記 (5) に記載の永久磁石型モータによれば、曲面部を設けたことで隣り合う鏝部の曲面部間の磁気抵抗が増加し、磁氣的カップリングが低減できるという効果がある。更に、径方向内側と外側の両方に曲面部を設けたこと

で金型の打ち抜きが容易となり金型の寿命が延びるという効果もある。又、鏝部が対向する面は互いに平行であるため、この部分での磁気抵抗が均一となる。この面通じて磁束が隣のティースに漏れるため  $M_{q12}/L_{q1}$  が低減でき、結果としてモータの制御性が向上するという効果がある。

[0101] (6) 前記鏝部より前記固定子の径方向の外側に存在し且つ前記固定子の周方向の幅が最も小さくなる前記ティースの部位の幅を  $w$ 、前記回転子鉄心の最大外径を  $R_{out}$ 、スロット数を  $N_s$  としたとき、前記ティースの幅  $w$  は、

$$0.4 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s \leq w \leq 0.5 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s$$

の関係を満たす、

ことを特徴とする前記(1)乃至(5)のうちの何れかに記載の永久磁石型モータ。

[0102] 前記(6)に記載の永久磁石型モータによれば、ティースの最も細くなる部分の磁気飽和を緩和できるため、自己インダクタンスが大きくなることで  $M_{q12}/L_{q1}$  が小さくなり制御性が向上するという効果がある。

[0103] (7) 前記鏝部より前記固定子の径方向の外側に存在し且つ前記固定子の周方向の幅が最も小さくなる前記ティースの部位に対応する前記スロットの前記周方向の幅を  $S_1$ 、前記回転子鉄心の最大外径を  $R_{out}$ 、スロット数を  $N_s$  としたとき、前記スロットの幅  $S_1$  は、

$$0.5 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s \leq S_1 \leq 0.6 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s$$

の関係を満たし、且つ、

前記スロットの周方向の幅は、前記固定子の径方向の外側に位置するに伴って漸次大きくなり、前記スロットの底部若しくはその近傍に於いて最大となる、

ことを特徴とする前記(1)乃至(5)のうちの何れかに記載の永久磁石型モータ。

- [0104] 前記（７）に記載の永久磁石型モータによれば、スロット断面積が大きくなるため、電機子巻線の断面積も大きく確保でき銅損が低減できモータの出力が向上できるという効果もある。また、コアバックの近傍においてスロットの周方向の幅が大きいためスロット間の磁気抵抗が大きくなり漏れ磁束が小さくなるという効果があり、モータのトルクが向上でき永久磁石の使用量を低減できるという効果がある。
- [0105] （８）前記永久磁石は、前記固定子鉄心に対向する前記回転子鉄心の表面に配置されており、
- 前記回転子鉄心は、前記永久磁石が配置されていない部位に設けられた突起部を備え、
- 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、
- ことを特徴とする前記（１）乃至（７）のうちの何れかに記載の永久磁石型モータ。
- [0106] 前記（８）に記載の永久磁石型モータによれば、突起部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。一方、回転子鉄心の突起部があるがゆえに異なる組の電機子巻線同士の磁氣的カップリングが増加するという課題があったが、本発明の構成により磁氣的カップリングが低減できるという効果がある。
- [0107] （９）前記永久磁石は、前記回転子鉄心に設けられた穴部に設置されている、
- ことを特徴とする前記（１）乃至（７）のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータ。
- [0108] 前記（９）に記載の永久磁石型モータによれば、インダクタンスが増加することで弱め磁束制御が効果的に使えるため、高速回転でのトルクが向上するという効果が得られる。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。一方、回転子鉄心と固定子鉄心との間の磁氣的ギャップが小さいため異なる組の電機子巻線同士の磁氣的力

カップリングが増加するという課題があったが、本発明の構成により磁気的カップリングが低減できるという効果がある。

[0109] (10) 前記永久磁石は、前記回転子の径方向の長さが周方向の長さに比べて大きく形成されており、

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一極となるような向きであり、

隣り合う前記永久磁石の間には前記回転子鉄心が介在し、

前記回転子鉄心は、前記固定子鉄心に対向する面に曲面部を有し、且つ前記永久磁石の内径側の端面に接する位置に設けられた非磁性部を備え、

前記曲面部は、隣り合う前記永久磁石と間の中間部に於いて前記空隙の長が他の部分より短くなるように凸形状に形成されている、

ことを特徴とする前記(1)乃至(7)のうちの何れかに記載の永久磁石型モータ。

[0110] 前記(10)に記載の永久磁石型モータによれば、永久磁石の磁束を集中して磁束密度を高めることでトルク向上とモータの小型化ができるという効果がある。凸形状の曲面を形成してトルクリップルとコギングトルクの低減ができる。永久磁石の内径側に非磁性部を設けたことで漏れ磁束が小さくなり、トルク向上とモータの小型化ができるという効果がある。一方、回転子鉄心と固定子鉄心との間の磁気的ギャップが小さいため異なる組の電機子巻線同士の磁気的カップリングが増加するという課題があったが、本発明の構成により磁気的カップリングが低減できるという効果がある。

[0111] (11) 前記(1)乃至(10)のうちの何れかに記載の永久磁石型モータが搭載され、前記永久磁石型モータにより運転者の操舵をアシストするトルクを発生させるようにした電動パワーステアリング装置であって、

前記永久磁石型モータは、その軸方向が車両の操舵輪を駆動するラック軸の延びる方向と平行に配置されている、

ことを特徴とする電動パワーステアリング装置。

[0112] 前記(11)に記載の電動パワーステアリング装置によれば、トルクリッ

プル6次の大幅な低減が可能となる。又、モータの高出力化と同時に磁気カップリングが増加し、モータの制御性が低下するという課題があったが、磁気カップリングが低減できるので、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。

### 産業上の利用可能性

[0113] この発明は、永久磁石を備えたモータ、及びそのモータを用いた電動パワーステアリングの分野、ひいては自動車等の車両の分野に利用することができる。

### 符号の説明

[0114] 100 電動駆動装置、D1 シャフト、2 トルクセンサ、  
3 第1のコネクタ、4 ECU、5 永久磁石型モータ、  
6 第2のコネクタ、7 電源コネクタ、8 ギヤボックス、  
9 ハウジング、10、11 タイロッド、12、13 ラックブーツ、  
14 固定子鉄心、15 電機子巻線、16 フレーム、  
17 モータハウジング、18、19 ボルト、20 第1の軸受、  
21 壁部、22 第2の軸受、23 モータシャフト、  
24 回転子鉄心、242 穴部、243 カシメ部、  
25 センサ用永久磁石、26 永久磁石、27 プーリー、  
281 第1のスイッチング素子群、282 第2のスイッチング素子群、  
29 ヒートシンク、30 中間部材、31 制御基板、  
32 ECUケース、33 センサ部、34 磁気センサ、  
35 センサ基板、36 センサ接続部材、37 センサ支持部材、  
38 凹部、39 第1の電機子巻線、40 第2の電機子巻線、  
41 第1のインバータ回路、42 第2のインバータ回路、43 電源、  
44 コイル、45 第1の電源リレー、46 第2の電源リレー、  
47 第1の平滑コンデンサ、48 第2の平滑コンデンサ、  
49、50、51、52、53、54 シャント抵抗、  
55 回転角度センサ、501 固定子、502 回転子、

241 突起部、140 コアバック、141 ティース、  
142 スロット、56 鏑部、57 永久磁石用穴部、58 スリット、  
60 連結部、61 凸形状曲面、62 突極部。

## 請求の範囲

[請求項1]

モータシャフトに固定された回転子鉄心と、前記回転子鉄心に固定された永久磁石とを備えた回転子と、

電機子巻線を収納する複数のスロットと複数のティースを有し内周面が磁気的エアギャップを介して前記回転子の外周面と対向する固定子鉄心を備えた固定子と、

を備えた永久磁石型モータであって、

前記電機子巻線は、複数組の多相巻線により構成され、

前記複数組の多相巻線は、夫々の組毎に個別のインバータから給電され、

前記回転子鉄心の一部は、前記永久磁石の最大外径と最小内径との中間の直径よりも前記固定子に近い側に存在し、

前記複数のティースは、夫々鏢部を夫々備え、

前記鏢部は、側面部が前記固定子鉄心の周方向に突出して隣接する前記ティースに設けられた鏢部の側面部と対向し、

前記鏢部の側面部に於ける前記固定子鉄心の径方向の高さを  $h$ 、前記磁気的エアギャップの長さを  $g$  としたとき、

$$1 \leq h / g \leq 2$$

なる関係が成立し、且つ、

隣り合う前記鏢部が対向する面の周方向の距離を  $a$  としたとき、

$$a / g \geq 0.2$$

なる関係を満たす、

ことを特徴とする永久磁石型モータ。

[請求項2]

前記電機子巻線は、第1の電機子巻線と第2の電機子巻線からなる2組の3相電機子巻線により構成され、

前記第1の電機子巻線は、第1のインバータ回路から電流が供給され、

前記第2の電機子巻線は、第2のインバータ回路から電流が供給さ

れ、

前記第1の電機子巻線は、U1相巻線と、V1相巻線と、W1相巻線と、を備え、

前記第2の電機子巻線は、U2相巻線と、V2相巻線と、W2相巻線と、を備え、

前記U1相巻線と前記U2相巻線は、互いに隣り合う前記スロットに収納され、

前記V1相巻線と前記V2相巻線は、互いに隣り合う前記スロットに収納され、

前記W1相巻線と前記W2相巻線は、互いに隣り合う前記スロットに収納さ、

前記第1の電機子巻線と前記第2の電機子巻線とに流れる夫々の電流は、互いに電気角20度以上40度以下の位相差を備える、  
ことを特徴とする請求項1に記載の永久磁石型モータ。

[請求項3] 前記鏢部の側面部は、前記固定子の径方向の内側に位置する部位と径方向の外側に位置する部位とのうちの何れか一方に曲面部を備えている、

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の永久磁石型モータ。

[請求項4] 前記鏢部の側面部は、前記固定子の径方向の内側に位置する部位と径方向の外側に位置する部位の双方に曲面部を備えている、

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の永久磁石型モータ。

[請求項5] 隣接するティースに夫々設けられ互いに対向する前記鏢部の前記側面部は、互いに平行となるように構成されている、

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の永久磁石型モータ。

[請求項6] 前記鏢部より前記固定子の径方向の外側に存在し且つ前記固定子の周方向の幅が最も小さくなる前記ティースの部位の幅を $w$ 、前記回転子鉄心の最大外径を $R_{out}$ 、スロット数を $N_s$ としたとき、前記ティースの幅 $w$ は、

$$0.4 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s$$

$$\leq w \leq 0.5 \times 2\pi(R_{out} + g + h)$$

/ N<sub>s</sub>

の関係を満たす、

ことを特徴とする請求項1乃至5のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータ。

[請求項7]

前記鏝部より前記固定子の径方向の外側に存在し且つ前記固定子の周方向の幅が最も小さくなる前記ティースの部位に対応する前記スロットの前記周方向の幅をS<sub>1</sub>、前記回転子鉄心の最大外径をR<sub>out</sub>、スロット数をN<sub>s</sub>としたとき、前記スロットの幅S<sub>1</sub>は、

$$0.5 \times 2\pi(R_{out} + g + h) / N_s$$

$$\leq S_1 \leq 0.6 \times 2\pi(R_{out} + g + h) /$$

N<sub>s</sub>

の関係を満たし、且つ、

前記スロットの周方向の幅は、前記固定子の径方向の外側に位置するに伴って漸次大きくなり、前記スロットの底部若しくはその近傍に於いて最大となる、

ことを特徴とする請求項1乃至5のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータ。

[請求項8]

前記永久磁石は、前記固定子鉄心に対向する前記回転子鉄心の表面に配置されており、

前記回転子鉄心は、前記永久磁石が配置されていない部位に設けられた突起部を備え、

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、

ことを特徴とする請求項1乃至7のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータ。

[請求項9]

前記永久磁石は、前記回転子鉄心に設けられた穴部に設置されている、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータ。

[請求項10] 前記永久磁石は、前記回転子の径方向の長さが周方向の長さに比べて大きく形成されており、

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一極となるような向きであり、

隣り合う前記永久磁石の間には前記回転子鉄心が介在し、

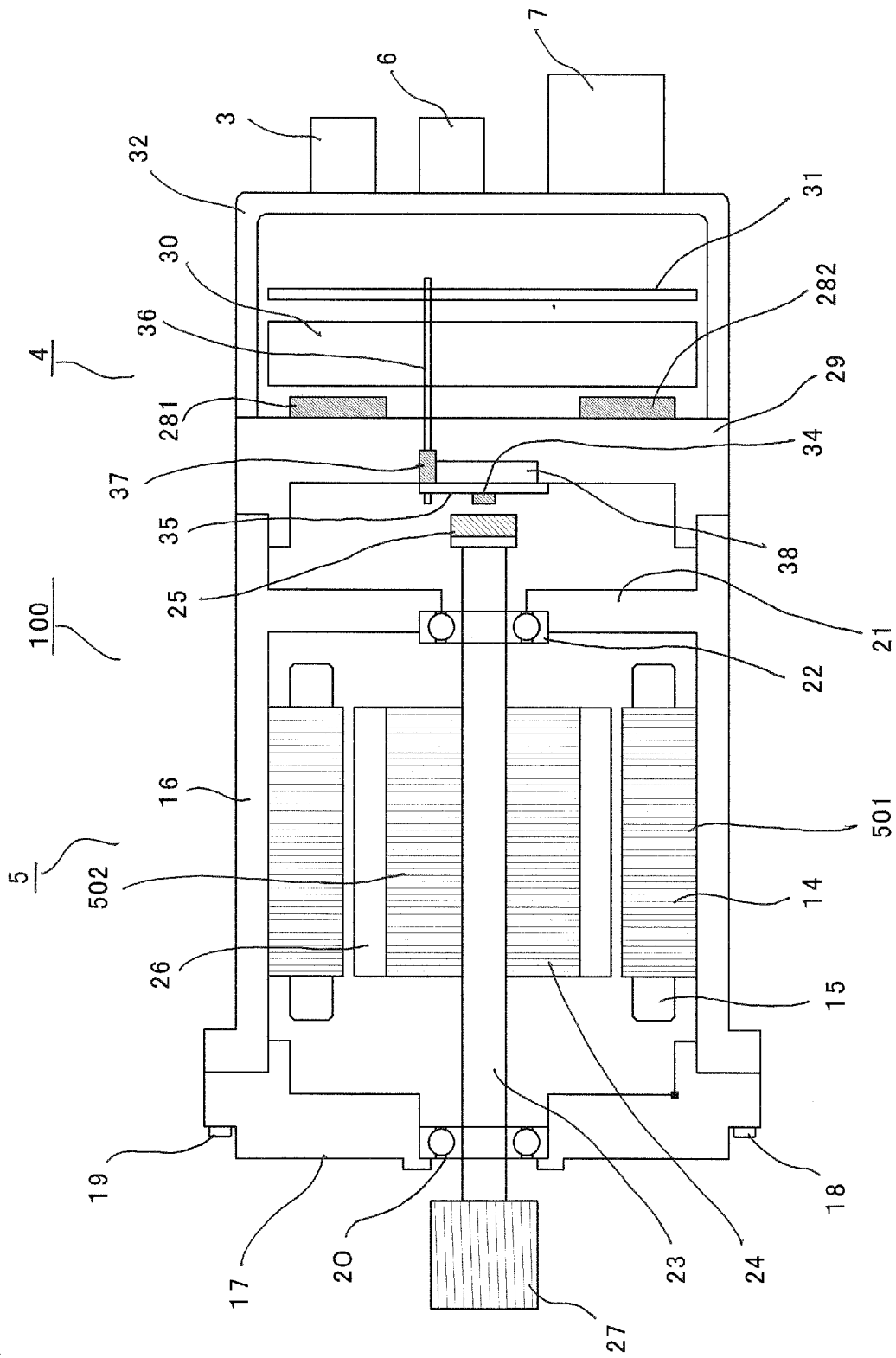
前記回転子鉄心は、前記固定子鉄心に対向する面に曲面部を有し、且つ前記永久磁石の内径側の端面に接する位置に設けられた非磁性部を備え、

前記曲面部は、隣り合う前記永久磁石との間の中間部に於いて前記空隙の長が他の部分より短くなるように凸形状に形成されている、ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータ。

[請求項11] 請求項 1 乃至 10 のうちの何れか一項に記載の永久磁石型モータが搭載され、前記永久磁石型モータにより運転者の操舵をアシストするトルクを発生させるようにした電動パワーステアリング装置であって、

前記永久磁石型モータは、その軸方向が車両の操舵輪を駆動するラック軸の延びる方向と平行に配置されている、ことを特徴とする電動パワーステアリング装置。

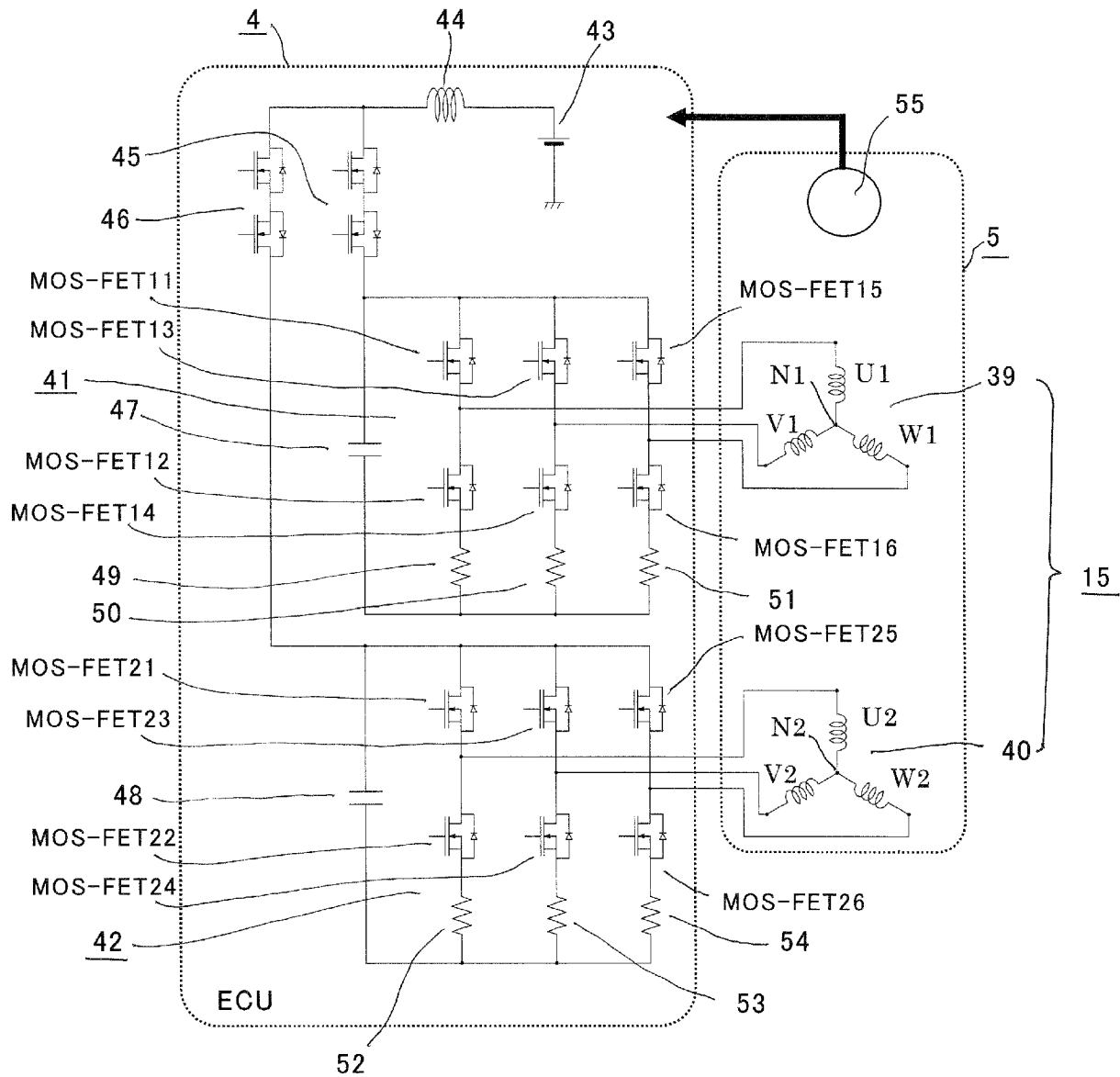
[図1]



[図1]

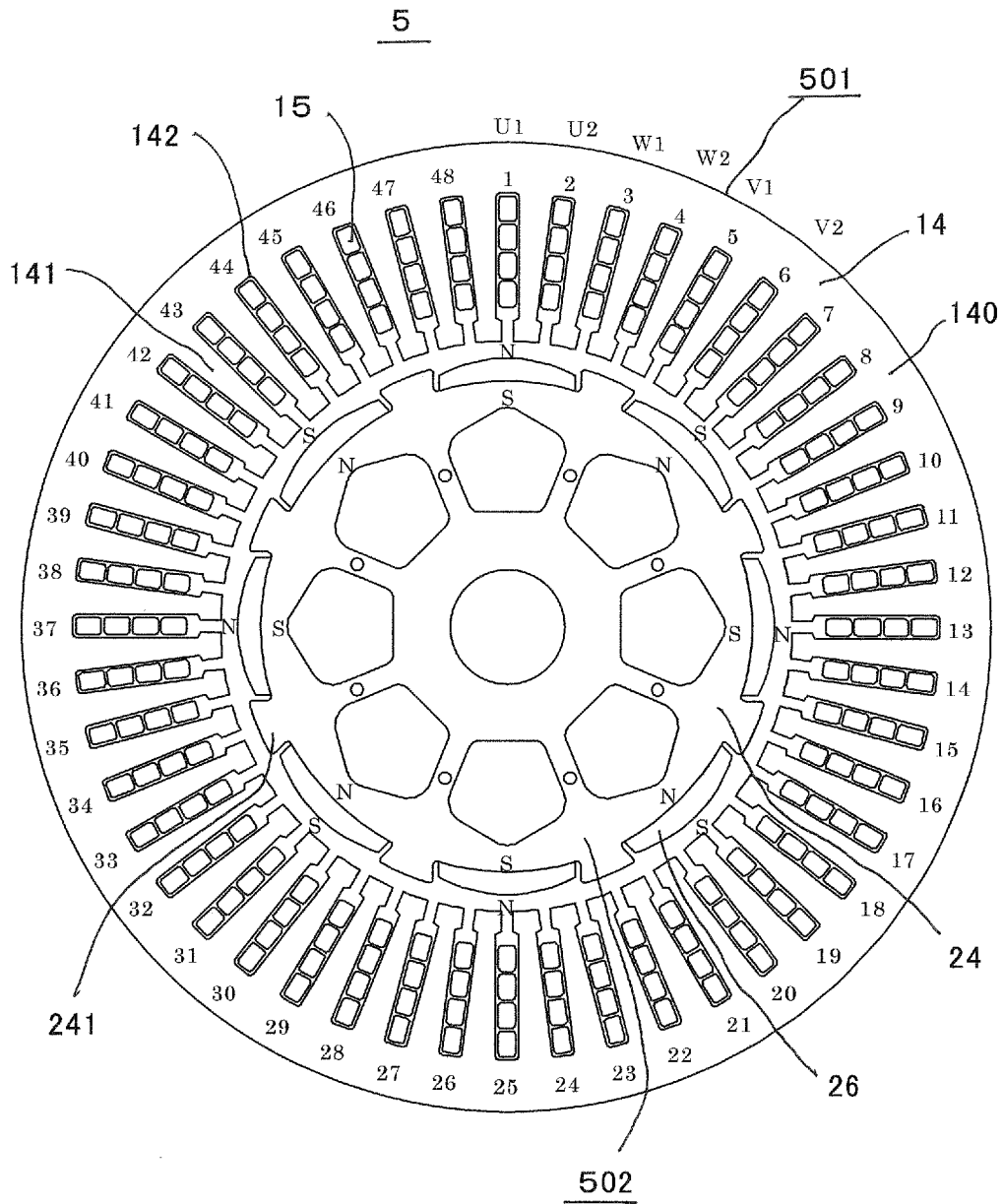
[図2]

図 2



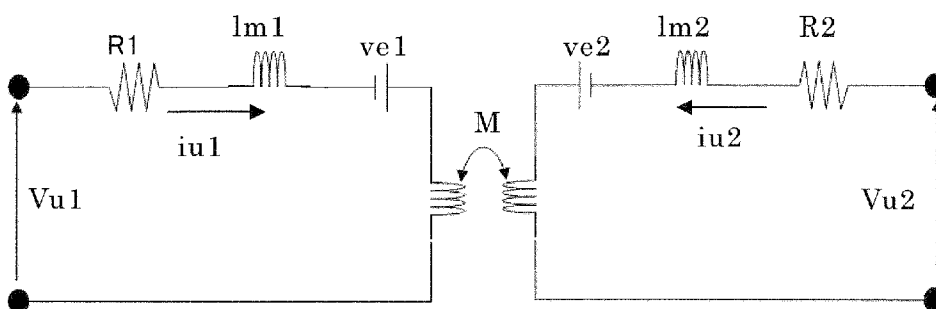
[図3]

図 3



[図4]

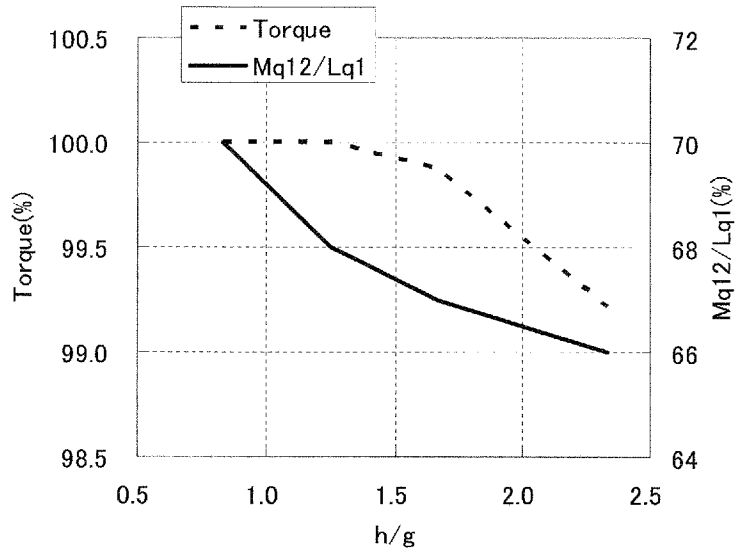
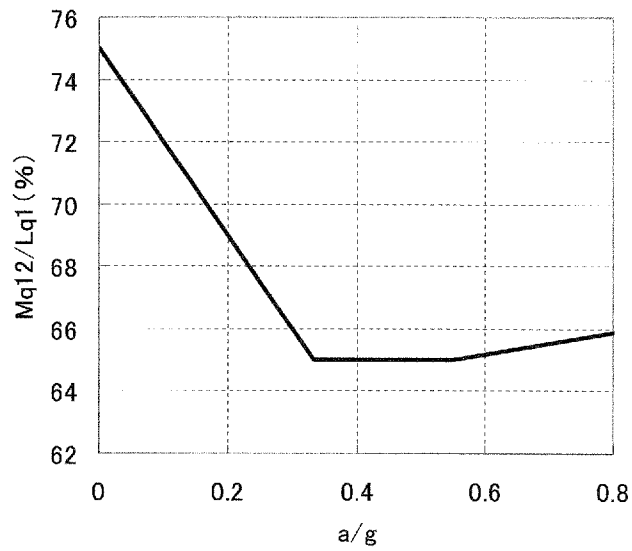
図 4





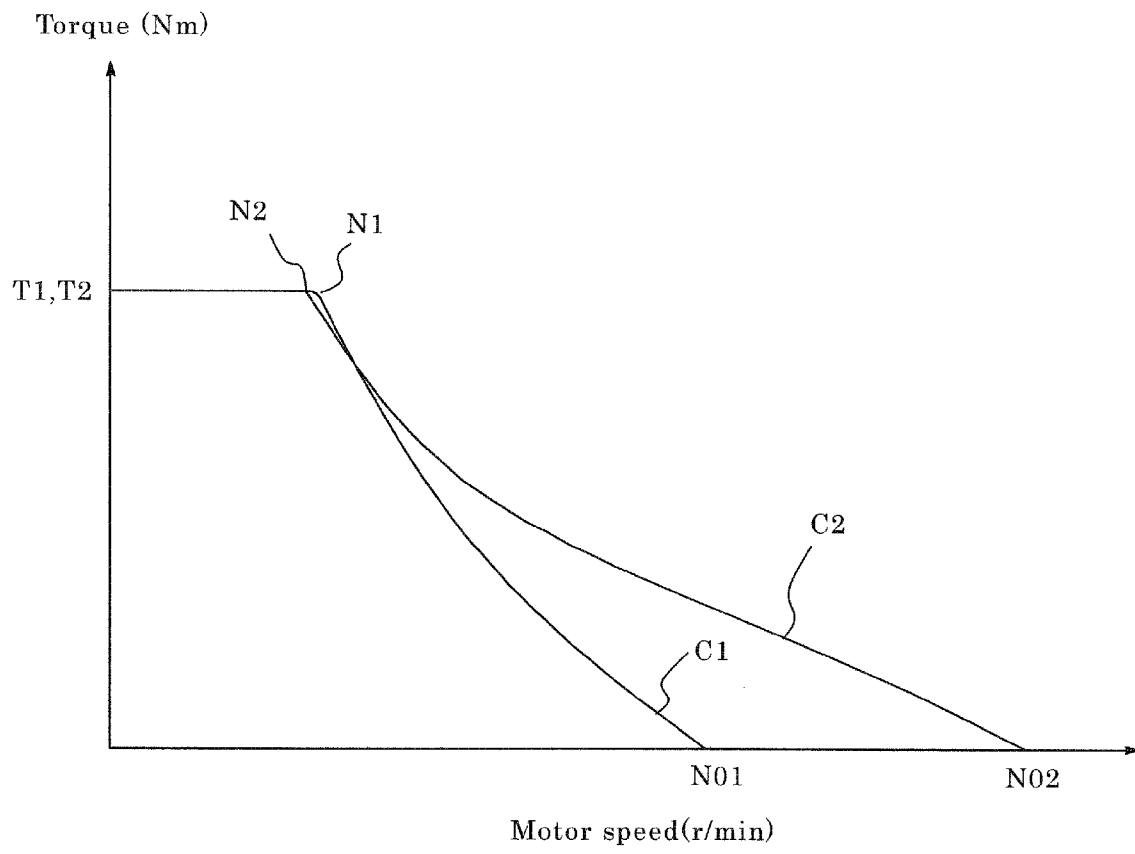
[図7]

図 7

(a)  $h/g$  とトルクおよび  $M_{q12}/L_{q1}$  の関係(b)  $a/g$  と  $M_{q12}/L_{q1}$  の関係

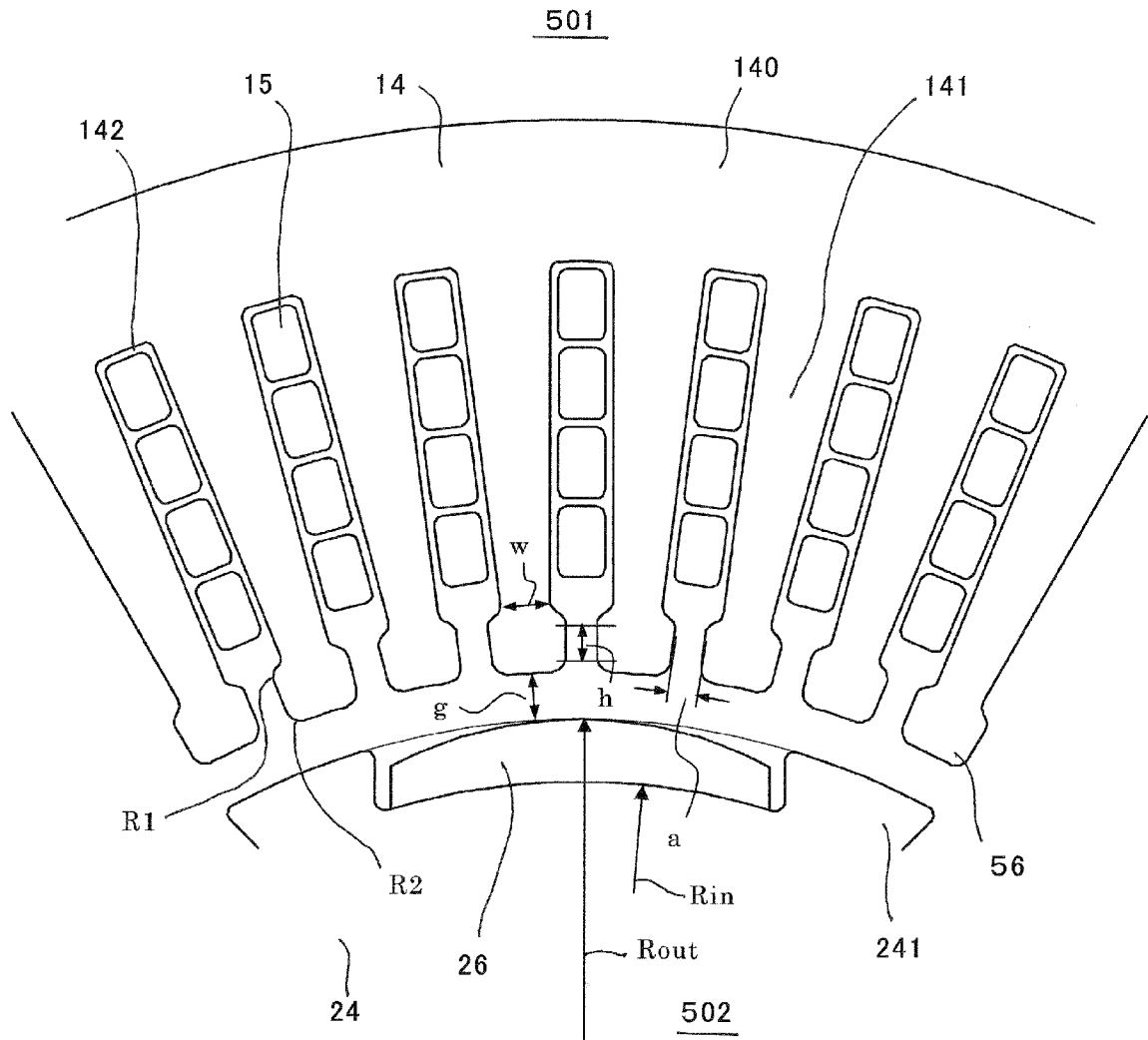
[図8]

図 8



[図9]

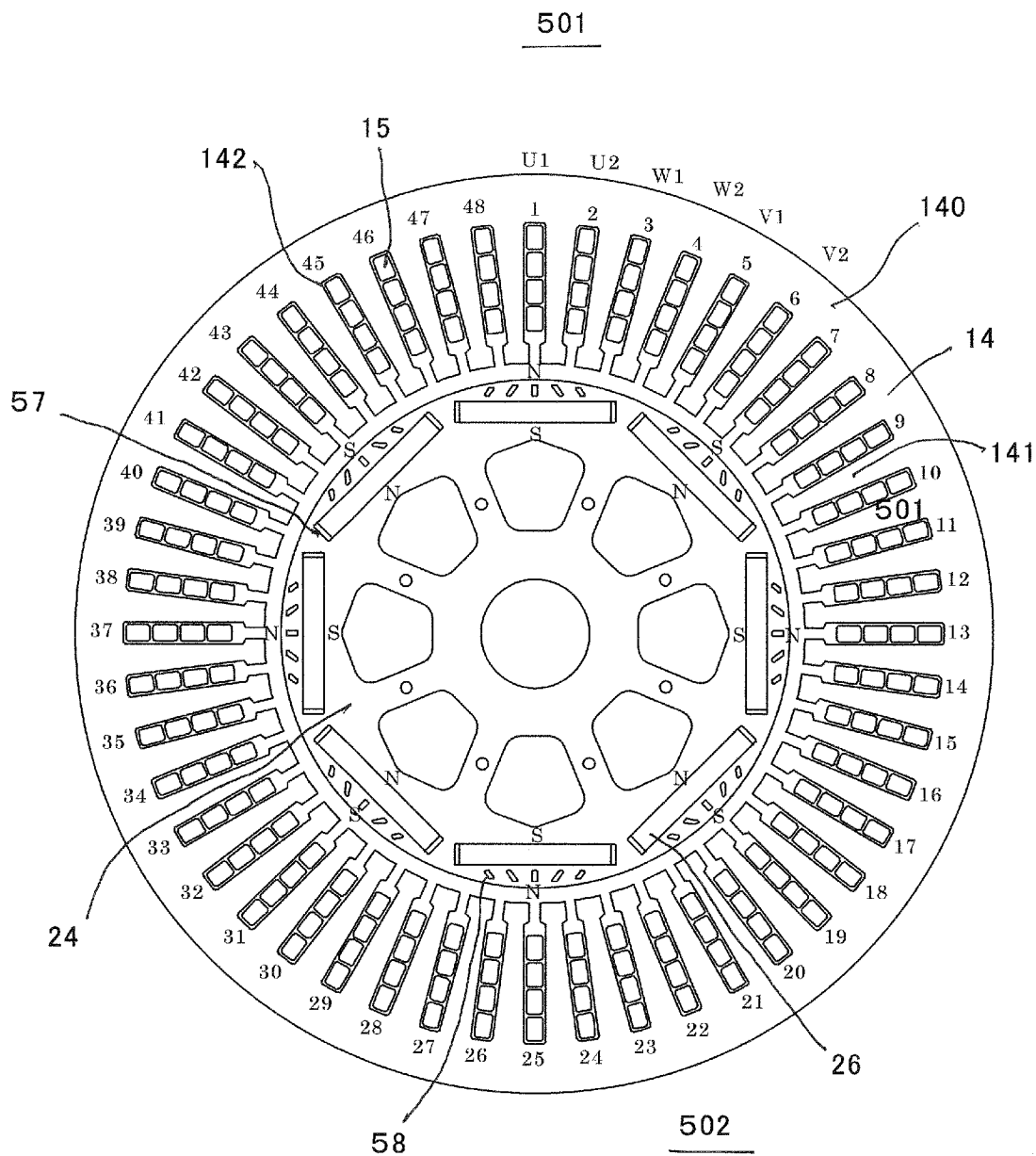
図 9





[図11]

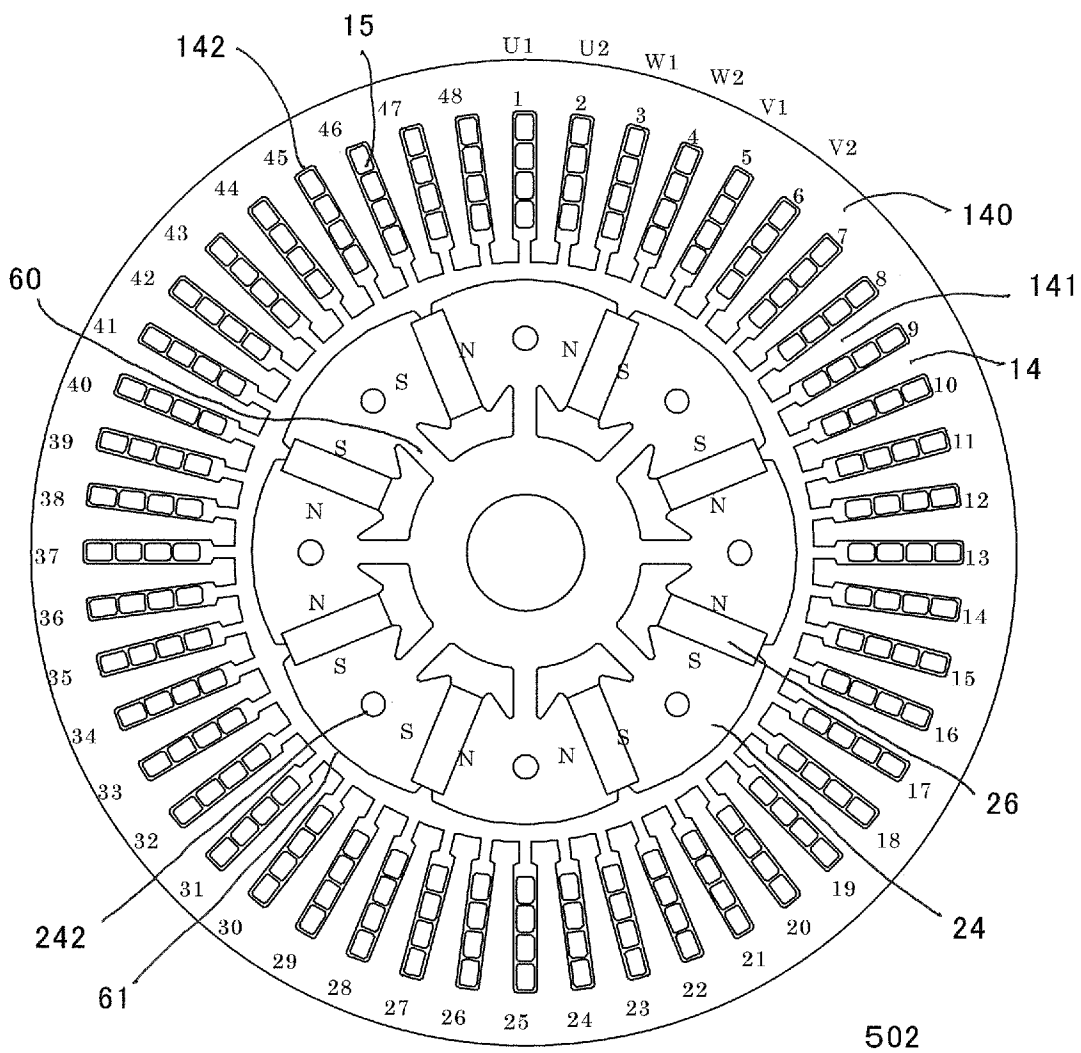
図 1 1



[図12]

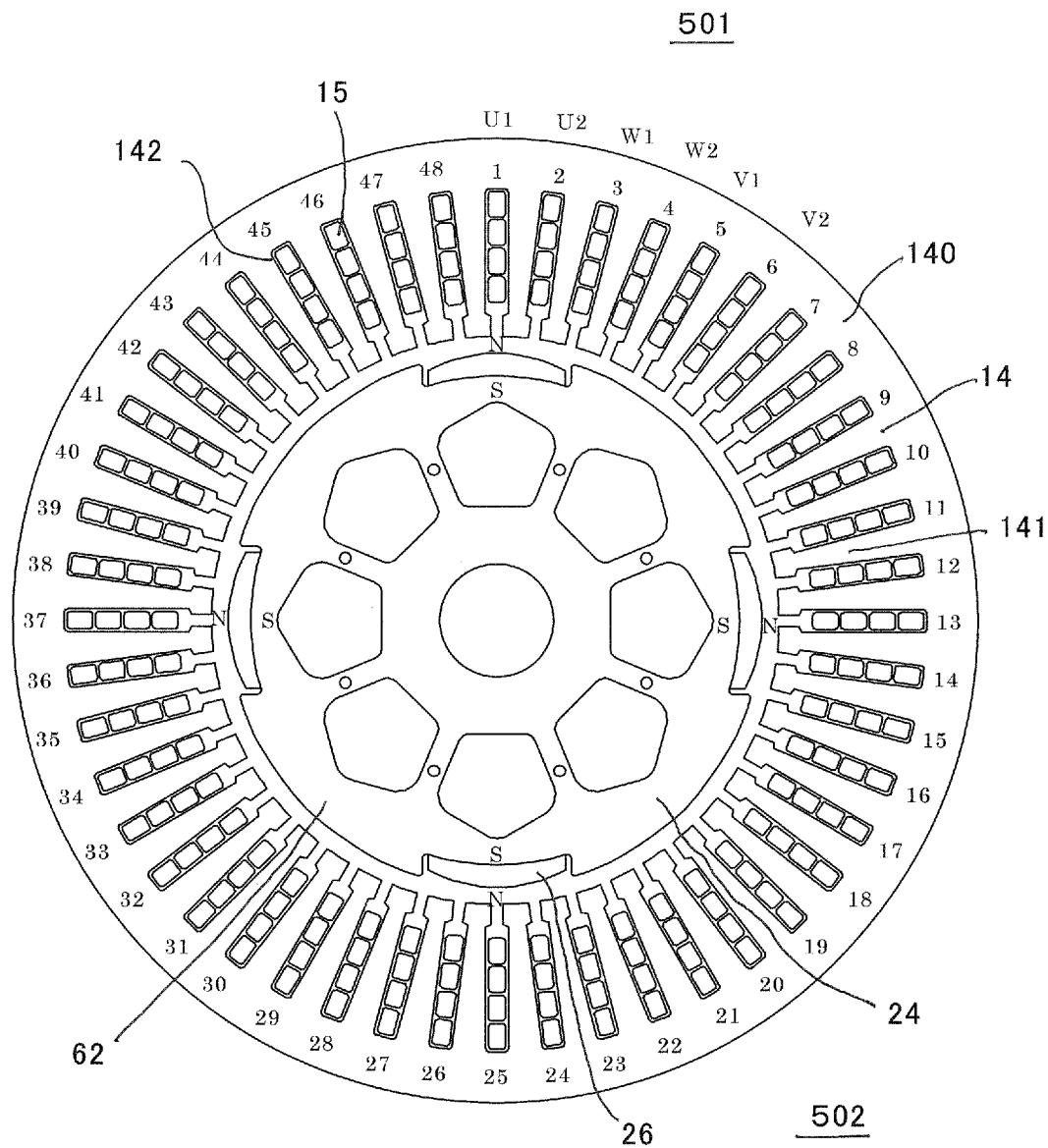
図 1 2

501



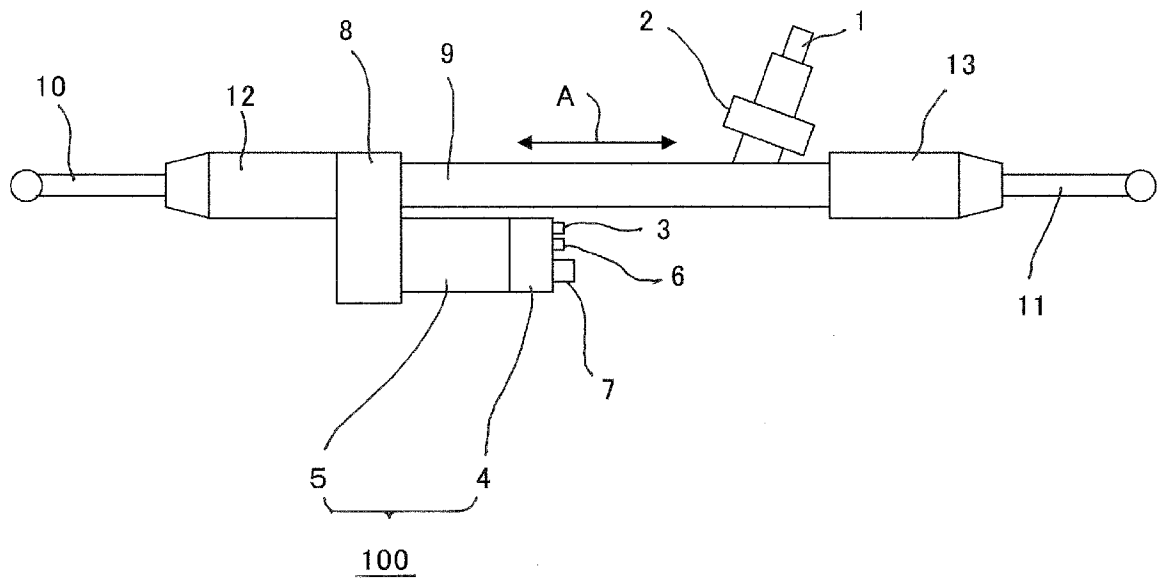
[図13]

図 1 3



[図14]

図 14



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/069737

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H02K21/14 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K21/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2012-157236 A (Asmo Co., Ltd.), 16 August 2012 (16.08.2012), paragraphs [0035] to [0158]; fig. 1 to 22 & US 2012/0169163 A1 & CN 102593976 A	1-2, 5, 8, 11 3-4, 9-10 6-7
Y	JP 2003-244884 A (Hitachi, Ltd.), 29 August 2003 (29.08.2003), paragraph [0020]; fig. 6 & US 2003/0155833 A1 & EP 1339157 A1 & CA 2405929 A	3-4, 9-10
Y	WO 2013/094075 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 27 June 2013 (27.06.2013), paragraph [0022]; fig. 3 (Family: none)	9-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
07 October, 2013 (07.10.13)

Date of mailing of the international search report  
15 October, 2013 (15.10.13)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/069737

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-210828 A (Toyota Motor Corp.), 04 August 2005 (04.08.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2010-166727 A (Denso Corp.), 29 July 2010 (29.07.2010), entire text; all drawings & US 2010/0181948 A1	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02K21/14(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02K21/14		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2012-157236 A（アスモ株式会社）2012.08.16, 段落【0035】 - 【0158】, 【図1】 - 【図22】 & US 2012/0169163 A1 & CN	1-2, 5, 8, 11
Y	102593976 A	3-4, 9- 10
A		6-7
Y	JP 2003-244884 A（株式会社日立製作所）2003.08.29, 段落【00 20】, 【図6】 & US 2003/0155833 A1 & EP 1339157 A1 & CA 2405929 A	3-4, 9- 10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 07.10.2013	国際調査報告の発送日 15.10.2013	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 田村 耕作 電話番号 03-3581-1101 内線 3358	3V 4757

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2013/094075 A1 (三菱電機株式会社) 2013.06.27, 段落 [0022], [図3] (ファミリーなし)	9-10
A	JP 2005-210828 A (トヨタ自動車株式会社) 2005.08.04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2010-166727 A (株式会社デンソー) 2010.07.29, 全文、全図 & US 2010/0181948 A1	1-11