

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5488625号
(P5488625)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int.Cl.	F I
HO2K 21/12 (2006.01)	HO2K 21/12 M
HO2K 1/27 (2006.01)	HO2K 1/27 501A
HO2K 16/04 (2006.01)	HO2K 1/27 501M
	HO2K 1/27 502A
	HO2K 16/04

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-27910 (P2012-27910)
 (22) 出願日 平成24年2月13日(2012.2.13)
 (65) 公開番号 特開2013-165595 (P2013-165595A)
 (43) 公開日 平成25年8月22日(2013.8.22)
 審査請求日 平成25年8月29日(2013.8.29)

(73) 特許権者 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 (74) 代理人 100080045
 弁理士 石黒 健二
 (74) 代理人 100124752
 弁理士 長谷 真司
 (72) 発明者 草瀬 新
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内
 (72) 発明者 近藤 啓次
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内

審査官 森山 拓哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ダブルステータ型同期モータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軟磁性体から成るセグメント磁極(50)を円環状に複数配列して構成され、且つ、前記セグメント磁極(50)の内外表面に前記軟磁性体より透磁率の低い磁氣的凹みを設けたロータ(5)と、

このロータ(5)の径方向外側に空隙を有して配置され、周方向に複数のスロット(30)が等間隔に形成されると共に、周方向に隣り合う前記スロット(30)同士の間にはティース(31)が設けられ、このティース(31)に多相の外ステータ巻線(33)を巻装して構成される外側ステータ(3)と、

前記ロータ(5)の径方向内側に空隙を有して配置され、周方向に複数のスロット(40)が等間隔に形成されると共に、周方向に隣り合う前記スロット(40)同士の間にはティース(41)が設けられ、このティース(41)に多相の内ステータ巻線(43)を巻装して構成される内側ステータ(4)とを備え、

前記外側ステータ(3)と前記内側ステータ(4)は、それぞれ前記セグメント磁極(50)と同数の極数を持ち、且つ、円周方向の同一位置で前記ロータ(5)を挟んで径方向に対向する互いの磁極同士が同一極性となるように起磁力を生成し、前記外ステータ巻線(33)と前記内ステータ巻線(43)の各相が直列に結線されているダブルステータ型同期モータ(1)であって、

毎極毎相のスロット数をq個とした時に、前記qは2以上の整数であり、

前記セグメント磁極(50)の外径側に設けられる前記磁氣的凹みと内径側に設けられ

10

20

る前記磁氣的凹みとの間の径方向寸法である前記セグメント磁極(50)の径方向最小幅(Wr)を、前記外側ステータ(3)に設けられる前記ティース(31)の最小幅(Wt)の $1.3q \sim 2.3q$ 倍の範囲とし、

前記磁氣的凹みの径方向の深さを、前記内側ステータ(4)に形成される前記スロット(40)の平均幅(Ws)以上としたことを特徴とするダブルステータ型同期モータ。

【請求項2】

請求項1に記載したダブルステータ型同期モータ(1)において、

周方向に隣り合う二つの前記セグメント磁極(50)を一方のセグメント磁極(50A)と他方のセグメント磁極(50B)と呼び、前記一方のセグメント磁極(50A)と前記他方のセグメント磁極(50B)とが周方向に対向する互いの対向面を極間対向面(50a)と呼ぶときに、

前記ロータ(5)は、

前記一方のセグメント磁極(50A)と前記他方のセグメント磁極(50B)との最外径面同士を周方向に接続する極間外側ブリッジ(51)と、前記一方のセグメント磁極(50)と前記他方のセグメント磁極(50)との最内径面同士を周方向に接続する極間内側ブリッジ(52)とを有すると共に、前記極間外側ブリッジ(51)と前記極間内側ブリッジ(52)との間で前記一方のセグメント磁極(50)と前記他方のセグメント磁極(50)との間に極間空間部(58)が形成され、この極間空間部(58)に配置される永久磁石を備え、

前記永久磁石を極間磁石(10)と呼ぶときに、前記極間対向面(50a)と前記極間磁石(10)には、前記極間磁石(10)の径方向の移動を規制する移動規制部が形成され、且つ、前記極間磁石(10)と前記極間外側ブリッジ(51)との間および前記極間磁石(10)と前記極間内側ブリッジ(52)との間には、それぞれ前記ロータ(5)の回転方向に対する少なくとも後方側に空洞部(53)が設けられていることを特徴とするダブルステータ型同期モータ。

【請求項3】

請求項1または2に記載したダブルステータ型同期モータ(1)において、

前記ロータ(5)は、前記セグメント磁極(50)の外径側に設けられる前記磁氣的凹みと内径側に設けられる前記磁氣的凹みとのどちらか一方または両方に配置される永久磁石(12、13)を備えることを特徴とするダブルステータ型同期モータ。

【請求項4】

請求項3に記載したダブルステータ型同期モータ(1)において、

前記ロータ(5)は、

前記セグメント磁極(50)の外径側に設けられる前記磁氣的凹みの径方向外側を周方向に延設されて前記セグメント磁極(50)の最外径面同士を接続する極中央外側ブリッジ(54)と、

前記セグメント磁極(50)の内径側に設けられる前記磁氣的凹みの径方向内側を周方向に延設されて前記セグメント磁極(50)の最内径面同士を接続する極中央内側ブリッジ(56)との少なくとも一方を有し、その一方のブリッジを極中央ブリッジと呼ぶときに、

前記磁氣的凹みに配置される前記永久磁石(12、13)はフェライト磁石であり、このフェライト磁石と前記極中央ブリッジとの間には、前記ロータ(5)の回転方向に対する少なくとも後方側に空洞部(55、57)が設けられていることを特徴とするダブルステータ型同期モータ。

【請求項5】

請求項3または4に記載したダブルステータ型同期モータ(1)において、

前記セグメント磁極(50)の内径側に設けられる前記磁氣的凹みにのみ前記永久磁石(13)が配置され、

前記セグメント磁極(50)の外径側に設けられる前記磁氣的凹みは、前記セグメント磁極(50)の最外径より内径側へ凹む凹空間(59)によって形成されることを特徴と

10

20

30

40

50

するダブルステータ型同期モータ。

【請求項 6】

請求項 2 ~ 5 に記載した何れか一つのダブルステータ型同期モータ (1) において、前記極間磁石 (1 0) は希土類磁石であり、且つ、前記極間空間部 (5 8) の径方向外側と径方向内側とに分離して配置され、

前記極間空間部 (5 8) の径方向外側に配置される前記極間磁石 (1 0) を外側極間磁石 (1 0 a) と呼び、前記極間空間部 (5 8) の径方向内側に配置される前記極間磁石 (1 0) を内側極間磁石 (1 0 b) と呼ぶときに、

前記極間外側ブリッジ (5 1) と前記外側極間磁石 (1 0 a) との間および前記極間内側ブリッジ (5 2) と前記内側極間磁石 (1 0 b) との間には、それぞれ前記ロータ (5) の回転方向に対する少なくとも後方側に空洞部 (5 5 、 5 7) が設けられていることを特徴とするダブルステータ型同期モータ。

10

【請求項 7】

請求項 2 ~ 5 に記載した何れか一つのダブルステータ型同期モータ (1) において、前記極間空間部 (5 8) には、前記一方のセグメント磁極 (5 0 A) および前記他方のセグメント磁極 (5 0 B) からそれぞれ離間した位置に磁氣的に中性な中間磁性部材 (1 4) が配置され、

この中間磁性部材 (1 4) と前記一方のセグメント磁極 (5 0 A) および前記他方のセグメント磁極 (5 0 B) との間にそれぞれ希土類磁石を用いた前記極間磁石 (1 0) が配置され、且つ、前記中間磁性部材 (1 4) と前記極間外側ブリッジ (5 1) および前記極間内側ブリッジ (5 2) との間には、それぞれ前記ロータ (5) の回転方向に対する少なくとも後方側に空洞部 (5 3) が設けられていることを特徴とするダブルステータ型同期モータ。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、産業用、自動車用などの様々な用途に適用可能であり、とりわけハイブリッド自動車の走行用モータなど、現在大量のレアアース磁石を消費している大型モータにおいて、そのレアアース磁石の節減、あるいはフェライト磁石への置き換えによるレアアースフリー化を図ることができるダブルステータ型同期モータに関する。

30

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

従来、ロータの外径側と内径側とにそれぞれ外側ステータと内側ステータとを配置したダブルステータ型モータが知られている。

例えば、特許文献 1 に開示されたモータは、軟磁性体から成るセグメント磁極を周方向に等間隔に配置すると共に、周方向に隣り合うセグメント磁極同士の間にはネオジム磁石を配置して構成されるロータと、セグメント磁極と同数の極数を有する外側ステータと内側ステータとを備え、この外側ステータと内側ステータの互いの起磁力が等しく、且つ、セグメント磁極を挟んで対向関係となる様に構成されている。

【 0 0 0 3 】

40

上記モータの構成によれば、磁気回路の磁気抵抗が小さく、且つ、漏れ磁束も少なくなること、鉄心飽和が緩和されて鉄損が低減されるため、高速回転での効率が向上する。

また、セグメント磁極を周方向に磁束が通ること、リラクタンストルクを発生する作用が生まれるため、強力な磁石を大量に使用することなく、高い発生トルクを得ることができる。これにより、モータの小型化およびレアアース磁石の節減に一定の効果がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 1 - 2 4 4 6 4 3 号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、レアアース磁石を使用した埋め込み磁石型同期モータ（IPMSM）においては、昨今のレアアース資源の窮乏・高騰のおり、レアアース磁石の節減やフェライト磁石への置き換えが望まれる今日、さらなる技術開発が望まれている。

しかし、特許文献1に開示された従来技術では、二つのセグメント磁極間に配置されるネオジム磁石をフェライト磁石に置き換えると、ネオジム磁石に比べてフェライト磁石の磁束密度が低いため、トルクが低下する。また、フェライト磁石は、減磁特性に現れる屈曲点の磁界が低く、特に自動車の走行用モータのような大型で巻線の起磁力が大きいモータにおいては減磁が生じやすい。すなわち、フェライト磁石は残留磁束密度、抗磁力が低い
10

【0006】

従来技術に対する第一の課題は、フェライト磁石で対応するには大きな磁石容積を確保する方法を見出すことである。また、屈曲点の低いフェライト磁石をいかに減磁させないで使うかの方法を見出すことが第二の課題である。一方、ネオジム磁石を使用する場合でも、その節減を図るには、その用い方を効果的にすることが第三の課題となる。

本発明は、上記事情に基づいて成されたものであり、その目的は、現在、レアアース磁石を使用した埋め込み磁石型同期モータ（IPMSM）の分野、とりわけ自動車の走行用モータにおいて、上記三つの課題を解決することにより、レアアース磁石を使用せず、あるいは、レアアース磁石の使用量を少なくしても高出力を得ることが出来るダブルステータ型同期モータを提供することにある。
20

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1に係るダブルステータ型同期モータは、軟磁性体から成るセグメント磁極を円環状に複数配列して構成され、且つ、セグメント磁極の内外表面に軟磁性体より透磁率の低い磁氣的凹みを設けたロータと、このロータの径方向外側に空隙を有して配置され、周方向に複数のスロットが等間隔に形成されると共に、周方向に隣り合うスロット同士の間
30

【0008】

外側ステータと内側ステータは、それぞれセグメント磁極と同数の極数を持ち、且つ、円周方向の同一位置でロータを挟んで径方向に対向する互いの磁極同士が同一極性となるように起磁力を生成し、外ステータ巻線と内ステータ巻線の各相が直列に結線されている。このダブルステータ型同期モータにおいて、毎極毎相のスロット数を q 個とした時に、 q は2以上の整数であり、セグメント磁極の外径側に設けられる磁氣的凹みと内径側に設けられる磁氣的凹みとの間の径方向寸法であるセグメント磁極の径方向最小幅を、外側ステータに設けられるティースの最小幅の $1.3q \sim 2.3q$ 倍の範囲とし、磁氣的凹みの
40

【0009】

上記の構成によれば、外側ステータおよび内側ステータの起磁力が分布分散するため、外側ステータおよび内側ステータの個々のティースとロータとの間の磁束の集中が低減する。その結果、空隙での起磁力損失が低下して、特にリラクタンストルクとなる横軸磁束が増加するため、トルクの向上に繋がる要因となる。ここで、横軸磁束がセグメント磁極を通過する際の通路、すなわちセグメント磁極の径方向最小幅を最適に確保することが必要であり、大きくするほど良いわけではない。セグメント磁極の径方向最小幅に最適値があるのは、この通路幅を大きく取り過ぎると、内側ステータの外径が小さくなり、トルク
50

への寄与が小さくなってしまいうため、また、セグメント磁極に設けられる磁氣的凹みの深さが浅くなり、セグメント磁極全体に印加される大きな逆磁界により、各セグメント磁極間の磁気ポテンシャルの差が大きくなって、漏れ磁束が増加してしまうからである。

【0010】

このため、外側ステータおよび内側ステータに発生する磁界を極力遮るように磁氣的凹みを有効に設定することが必要であり、本発明では、磁氣的凹みの径方向の深さを内側ステータに形成されるスロットの平均幅以上の寸法とし、セグメント磁極の径方向最小幅を外側ステータに設けられるティースの最小幅の $1.3q \sim 2.3q$ 倍の範囲に設定している。これにより、前記磁界の起磁力源である外ステータ巻線および内ステータ巻線が巻装されるティースで磁界が遮られるのと同様に遮ることができる。

10

上記のように、本発明によれば、通すべき磁束を通し、遮るべき磁束は遮るという二つの効果の相乗作用により高出力が達成できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施例1に係る本モータの構成の一部を示す断面図である。

【図2】本モータの縦断面図である。

【図3】外ステータ巻線と内ステータ巻線の結線図および両巻線への通電方法に係る説明図である。

【図4】本モータの作動説明図である。

【図5】本モータの効果を出力トルク比率で表した図である。

20

【図6】実施例2に係る本モータの構成の一部を示す断面図である。

【図7】実施例3に係る本モータの構成の一部を示す断面図である。

【図8】実施例4に係る本モータの構成の一部を示す断面図である。

【図9】実施例5に係る本モータの構成の一部を示す断面図である。

【図10】実施例6に係る本モータの構成の一部を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明を実施するための最良の形態を以下の実施例により詳細に説明する。

【実施例】

【0013】

30

(実施例1)

実施例1では、本発明のダブルステータ型同期モータを、ハイブリッド自動車のエンジンクランク軸に直結される走行用モータ(以下、本モータ1と呼ぶ)に適用した一例として説明する。

まず、本モータ1の構成を説明する。

本モータ1は、図2に示す様に、ハウジングケース2に外周を固定された外側ステータ3と、同ケース2に内周を固定された内側ステータ4と、外側ステータ3と内側ステータ4との間にそれぞれ空隙を有して回転自在に対向配置されるロータ5とを備え、このロータ5がロータディスク6を介してモータ回転軸7に連結されている。

【0014】

40

外側ステータ3は、図1に示す様に、周方向に複数(実施例1では96個)の外スロット30が等間隔に形成され、周方向に隣り合う外スロット30同士の間を外ティース31が設けられた外ステータ鉄心32と、外スロット30を通して外ティース31に巻装される外ステータ巻線33(図2参照)とで構成される。

外ステータ鉄心32は、径方向の内周側に外スロット30が打ち抜かれた円環状の電磁鋼板を複数枚積層して構成され、外径265mm、内径221.4mm、積層厚50mmの形状寸法を有する。また、外ティース31の最小幅 W_t は3.8mmである。

外ステータ巻線33は、図3に示す様に、位相が120度ずつ異なる三相(X相、Y相、Z相)の相巻線を星型結線して形成され、毎極毎相のスロット数 $q = 2$ 、極数 = 16となる巻線ピッチで分布巻されている。なお、各相巻線は、図1に示す様に、断面形状が矩

50

形状の平角導体 3 3 a が用いられ、外スロット 3 0 に 4 本ずつ収納されている。

【 0 0 1 5 】

内側ステータ 4 は、図 1 に示す様に、周方向に複数（実施例 1 では 9 6 個）の内スロット 4 0 が等間隔に形成され、周方向に隣り合う内スロット 4 0 同士の間内ティース 4 1 が設けられた内ステータ鉄心 4 2 と、内スロット 4 0 を通って内ティース 4 1 に巻装される内ステータ巻線 4 3（図 2 参照）とで構成される。

内ステータ鉄心 4 2 は、径方向の外周側に内スロット 4 0 が打ち抜かれた円環状の電磁鋼板を複数枚積層して構成され、外径 1 7 3 mm、内径 1 1 2 . 6 mm、積層厚 5 0 mm の形状寸法を有する。また、内スロット 4 0 の平均幅 W_s は 2 . 5 mm である。

内ステータ巻線 4 3 は、図 3 に示す様に、位相が 1 2 0 度ずつ異なる三相（U 相、V 相、W 相）の相巻線を星型結線して形成され、毎極毎相のスロット数 $q = 2$ 、極数 = 1 6 となる巻線ピッチで分布巻されている。なお、各相巻線は、図 1 に示す様に、断面形状が矩形形状の平角導体 4 3 a が用いられ、内スロット 4 0 に 4 本ずつ収納されている。

【 0 0 1 6 】

外ステータ巻線 3 3 と内ステータ巻線 4 3 は、図 3 に示す様に、互いの相巻線同士が直列に接続され、図示 I e なる相電流が流れる時に、両ステータ巻線 3 3、4 3 の生成する起磁力の大きさが拮抗し、且つ、外側ステータ 3 および内側ステータ 4 の円周方向の同一位置で同一極性が対向し合うように巻線される。この両ステータ巻線 3 3、4 3 は、直列に接続された各相の端部（中性点と反対側の端部）がインバータ 8 を介して直流電源である電池 9 に接続されている。

【 0 0 1 7 】

インバータ 8 は、直流電力を交流電力に変換する周知の電力変換装置であり、複数のトランジスタ 8 0 と、このトランジスタ 8 0 に対し逆並列に接続される複数のダイオード 8 1 とで構成される。このインバータ 8 は、ロータ 5 の回転位置を検出するロータ位置検出センサ（図示せず）と、このロータ位置検出センサの検出情報を基に各トランジスタ 8 0 の作動を制御する制御 ECU（図示せず）とが接続され、電池 9 の直流電力をロータ 5 の回転位置に応じて外ステータ巻線 3 3 および内ステータ巻線 4 3 に交流電力として供給できるように構成されている。

【 0 0 1 8 】

ロータ 5 は、複数（実施例 1 では 1 6 個）のセグメント磁極 5 0 を円環状に配列して構成されるロータ鉄心と、周方向に隣り合うセグメント磁極 5 0 同士の間配置される永久磁石（以下、極間磁石 1 0 と呼ぶ）とを有し、セグメント磁極 5 0 の内外表面にそれぞれ磁氣的凹み（後述する）が設けられている。

ロータ鉄心は、セグメント磁極 5 0 の形状に打ち抜かれた円環状の電磁鋼板を複数枚積層して構成され、外径 2 2 0 . 2 mm、内径 1 7 4 . 2 mm、積層厚 5 0 mm の形状寸法を有する。このロータ鉄心は、軟磁性材から成る締結ピン 1 1（図 1 参照）によって各セグメント磁極 5 0 が積層方向に保持され、且つ、ロータディスク 6（図 2 参照）に固定されている。複数のセグメント磁極 5 0 は、ロータ 5 の周方向に等間隔に配置され、それぞれ周方向に隣り合う二つのセグメント磁極 5 0 同士が極間外側ブリッジ 5 1 と極間内側ブリッジ 5 2 とを介して円環状に接続されている。

【 0 0 1 9 】

以下、周方向に隣り合う二つのセグメント磁極 5 0 を一方のセグメント磁極 5 0 A（図 1 に示す左側のセグメント磁極 5 0）と他方のセグメント磁極 5 0 B（図 1 に示す右側のセグメント磁極 5 0）と呼び、一方のセグメント磁極 5 0 A と他方のセグメント磁極 5 0 B とが周方向に対向する互いの対向面をそれぞれ極間対向面 5 0 a と呼ぶ。

極間外側ブリッジ 5 1 は、一方のセグメント磁極 5 0 A と他方のセグメント磁極 5 0 B との最外径面同士を周方向に接続している。この極間外側ブリッジ 5 1 は、径方向の寸法であるブリッジ厚が 1 . 5 mm、周方向の長さが外側ステータ 3 の約 1 スロットピッチ分の寸法に形成される。

極間内側ブリッジ 5 2 は、一方のセグメント磁極 5 0 A と他方のセグメント磁極 5 0 B

10

20

30

40

50

との最内径面同士を周方向に接続している。この極間内側ブリッジ52は、径方向の寸法であるブリッジ厚が1.0mm、周方向の長さが内側ステータ4の約1スロットピッチ分の寸法に形成される。

【0020】

極間外側ブリッジ51と極間内側ブリッジ52との間には、一方のセグメント磁極50Aの極間対向面50aと他方のセグメント磁極50Bの極間対向面50aとの間に極間空間部が形成される。この極間空間部は、径方向の両端から中央部に向かって周方向の開口幅が次第に大きくなる多角形状に形成される。言い換えると、一方のセグメント磁極50Aの極間対向面50aと、他方のセグメント磁極50Bの極間対向面50aとは、それぞれ、極間外側ブリッジ51および極間内側ブリッジ52に繋がる径方向の両端から径方向の中央部に向かって、セグメント磁極50の周方向長さが次第に短くなる様にテーパ状に傾斜して形成されている。

10

【0021】

極間空間部の周方向の開口幅、つまり、一方のセグメント磁極50Aの極間対向面50aと他方のセグメント磁極50Bの極間対向面50aとの間の周方向距離は、外径端が極間外側ブリッジ51の周方向長さ（外側ステータ3の約1スロットピッチ分の寸法）であり、内径端が極間内側ブリッジ52の周方向長さ（内側ステータ4の約1スロットピッチ分の寸法）である。また、極間空間部の最大開口幅となる径方向の中央部では、外側ステータ3および内側ステータ4の約3スロットピッチ分の寸法を有し、実施例1では19.3mmである。

20

さらに、極間空間部の径方向の最大開口幅、つまり、極間外側ブリッジ51と極間内側ブリッジ52との間の径方向寸法は20.5mmである。

【0022】

極間磁石10は、上記の極間空間部に挿入され、図示矢印で示す方向（周方向）に着磁されている。但し、セグメント磁極50を挟んで周方向に隣り合う一方の極間磁石10と他方の極間磁石10は、周方向に対向する互いの磁極が異なる極性に着磁される。この極間磁石10は、一方のセグメント磁極50Aの極間対向面50aと他方のセグメント磁極50Bの極間対向面50aとの間で径方向および周方向の移動が規制されている。すなわち、極間磁石10の周方向の両側面は、一方のセグメント磁極50Aの極間対向面50aおよび他方のセグメント磁極50Bの極間対向面50aに対応したテーパ形状に形成され、極間磁石10とセグメント磁極50のテーパ形状同士が当接することで、極間空間部での極間磁石10の移動が規制される。よって、請求項2に記載した本発明の移動規制部は、極間磁石10のテーパ形状と極間対向面50aのテーパ形状とで構成される。

30

【0023】

また、極間磁石10は、一方のセグメント磁極50Aの極間対向面50aに接触する径方向幅より他方のセグメント磁極50Bの極間対向面50aに接触する径方向幅の方が小さく形成され、いわゆる矢じり型に形成されている。つまり、極間磁石10と極間外側ブリッジ51、および、極間磁石10と極間内側ブリッジ52との間には、それぞれ、ロータ5の回転方向（図1に矢印で示す反時計回り）に対して後方側（以下、回転後方側と言う）に空洞部53が形成されている。この極間磁石10は、着磁方向（周方向）の最大厚さが19.3mm、回転後方側の最小幅が14.5mm、軸方向の長さ（奥行き）が50mmを有する。従って、極間磁石10の回転後方側で極間外側ブリッジ51および極間内側ブリッジ52との間に形成される空洞部53の径方向寸法は3mmとなる。

40

【0024】

セグメント磁極50の周方向中央部には、径方向の外周側および内周側にそれぞれ外側磁氣的凹みと内側磁氣的凹みとが設けられている。

外側磁氣的凹みは、セグメント磁極50に形成される外側フラックスバリアと、この外側フラックスバリアに挿入される永久磁石（以下、極中央磁石12と呼ぶ）とで形成される。外側フラックスバリアは、セグメント磁極50の最外径に近接して形成され、外径側が極中央外側ブリッジ54によって閉じられている、すなわち、周囲が閉じたスリット状

50

の空間として形成されている。この外側フラックスバリアは、径方向の開口寸法が3.5 mm、周方向の最大開口幅が14.3 mm、周方向の最小開口幅が8.8 mmを有し、周方向の両側面が傾斜している。

【0025】

極中央磁石12は、外側フラックスバリアに挿入され、図示矢印で示す方向（径方向）に着磁されている。但し、周方向に隣り合う一方の極中央磁石12と他方の極中央磁石12は、内径側の磁極同士および外径側の磁極同士が互いに異なる極性に着磁される。

この極中央磁石12は、着磁方向の寸法、つまり径方向厚さが外側フラックスバリアの開口寸法と同じく3.5 mm、周方向の開口幅が、外側フラックスバリアの最小開口幅と同じく8.8 mm、軸方向の長さ（奥行き）が50 mmである。

この極中央磁石12が挿入された外側フラックスバリアには、極中央磁石12の周方向両外側に最大2.75 mmの周方向長さを有する三角形形状の空洞部55が形成される。

【0026】

極中央外側ブリッジ54は、径方向のブリッジ厚が1.0 mmに形成され、外側フラックスバリアの周方向両側に形成されるセグメント磁極50の最外径面同士を周方向に接続している。この極中央外側ブリッジ54は、外側フラックスバリアに挿入される極中央磁石12と接触し、且つ、磁気飽和するので、極中央磁石12の磁気ポテンシャルと空気に近い透磁率とを持ったものと見做すことができる。よって、外側磁氣的凹みの径方向深さは、極中央外側ブリッジ54のブリッジ厚1.0 mm + 外側フラックスバリアに挿入される極中央磁石12の径方向厚さ3.5 mm = 4.5 mmとなる。

【0027】

内側磁氣的凹みは、セグメント磁極50に形成される内側フラックスバリアと、この内側フラックスバリアに挿入される永久磁石（以下、極中央磁石13と呼ぶ）とで形成される。内側フラックスバリアは、セグメント磁極50の最内径に近接して形成され、内径側が極中央内側ブリッジ56によって閉じられている、すなわち、周囲が閉じたスリット状の空間として形成されている。この内側フラックスバリアは、径方向の開口寸法が3.5 mm、周方向の最大開口幅が11.5 mm、周方向の最小開口幅が7.4 mmを有し、周方向の両側面が傾斜している。

【0028】

極中央磁石13は、内側フラックスバリアに挿入され、図示矢印で示す方向（径方向）に着磁されている。但し、周方向に隣り合う一方の極中央磁石13と他方の極中央磁石13は、内径側の磁極同士および外径側の磁極同士が互いに異なる極性に着磁される。また、外側の極中央磁石13と内側の極中央磁石13とは、径方向に対向する互いの磁極同士が同一極性となるように着磁される。

この極中央磁石13は、着磁方向の寸法、つまり径方向厚さが内側フラックスバリアの開口寸法と同じく3.5 mm、周方向の開口長さが、内側フラックスバリアの最小開口幅と同じく7.4 mm、軸方向の長さ（奥行き）が50 mmである。

この極中央磁石13が挿入された内側フラックスバリアには、極中央磁石13の周方向両外側に最大2.05 mmの周方向長さを有する三角形形状の空洞部57が形成される。

【0029】

極中央内側ブリッジ56は、径方向のブリッジ厚が0.8 mmに形成され、内側フラックスバリアの周方向両側に形成されるセグメント磁極50の最内径面同士を周方向に接続している。この極中央内側ブリッジ56は、内側フラックスバリアに挿入される極中央磁石13と接触し、且つ、磁気飽和するので、極中央磁石13の磁気ポテンシャルと空気に近い透磁率とを持ったものと見做すことができる。よって、内側磁氣的凹みの径方向深さは、極中央内側ブリッジ56のブリッジ厚0.8 mm + 内側フラックスバリアに挿入される極中央磁石13の径方向厚さ3.5 mm = 4.3 mmとなる。

なお、前述の極間磁石10および極中央磁石12、13は、それぞれフェライト磁石であり、（株）TDKのFB12Hを使用している。

【0030】

10

20

30

40

50

上記の様に、セグメント磁極 50 は、周方向の中央部に外側フラックスバリアと内側フラックスバリアとが形成され、その外側フラックスバリアと内側フラックスバリアとの間の径方向寸法がセグメント磁極 50 の径方向最小幅 W_r (図 1 参照) となり、実施例 1 では $W_r = 14.2 \text{ mm}$ である。この径方向最小幅 W_r は、外ステータ鉄心 32 に設けられる外ティース 31 の最小幅 $W_t = 3.8 \text{ mm}$ に対して約 3.7 倍であり、毎極毎相のスロット数 $q (= 2)$ に対して $1.8q$ 倍となっている。

また、外側磁氣的凹みの径方向深さ 4.5 mm は、内ステータ鉄心 42 に形成される内スロット 40 の平均幅 $W_s = 2.5 \text{ mm}$ に対して 80% 大きい値に設定され、内側磁氣的凹みの径方向深さ 4.3 mm は、内スロット 40 の平均幅 $W_s = 2.5 \text{ mm}$ に対して約 70% 大きい値に設定されている。

10

【0031】

続いて、図 4 を参照しながら外ステータ巻線 33 および内ステータ巻線 43 への電流の流し方を説明する。図 4 に示すセグメント磁極 50 の周方向中央を d 軸 (直軸) とし、その d 軸からロータ 5 の回転方向に電気角 90 度の位置、すなわち周方向に隣り合うセグメント磁極 50 との間の位置を q 軸 (横軸) とする。この q 軸を基準として回転方向に位相角 θ だけ離れた位置に、外ステータ巻線 33 と電流の形成する外側起磁力ベクトル F_o と、内ステータ巻線 43 と電流の形成する内側起磁力ベクトル F_i とが生成され、且つ、外側起磁力ベクトル F_o と内側起磁力ベクトル F_i とがロータ 5 の回転方向に同期して回転するように、外ステータ巻線 33 および内ステータ巻線 43 に交流電流を通電する。

なお、外ステータ巻線 33 と内ステータ巻線 43、ロータ位置検出センサ、制御 ECU、およびインバータ 8 は、位相角 θ を変更できるように、適宜に構成されている。

20

【0032】

次に、本モータ 1 の作動を説明する。

代表例として、最も大きな出力トルクを発揮している際の一般的な作動を説明する。

上記の位相角 $\theta = 60^\circ$ として、ロータ 5 の回転に同期した回転磁界を生成するように正弦波電流を相電流実効値で 170 A を通電する駆動を行う。この際、両ステータ巻線 33、43 に流れる電流とロータ 5 との位置関係、および、磁束の流れとの関係は、磁場解析の結果を下にして考察したものとして図 4 が示される。すなわち、巨視的にみると、磁石起源の磁束も両ステータ巻線 33、43 に流れる電流起源の磁束も、ともにそれぞれのロータ 5 における磁束の周回と、両ステータ 3、4 に渡ってからの周回位置とは、斜向かいの位置関係となり、この斜向かいとなる位相差異がロータ 5 を回転方向に駆動しようとするトルクとなっている。

30

【0033】

モータ作動をするときに要する斜向かい関係の要件の下で、次に磁束の流れと集中のしやすさについて考察すると、セグメント磁極 50 の回転前方側、すなわち、極間磁石 10 の回転後方側でもある箇所において磁束集中が生じることと、極間磁石 10 および極中央磁石 12、13 の回転後方側にステータ起磁力の逆磁界が大きく加わること、また、この逆磁界すなわち磁気ポテンシャルは、セグメント磁極 50 の径方向最小幅 W_r の部分の周方向の磁気抵抗により影響を受けている関係になっていることが了解される。すなわち、極間磁石 10 および極中央磁石 12、13 に関して、各ブリッジ 51、52、54、56 の磁気飽和とステータ逆磁界との二つの条件が揃う箇所、つまり回転後方部位で極間磁石 10 および極中央磁石 12、13 の減磁が生じやすい作動になる。

40

【0034】

しかし、前述のように、外ステータ巻線 33 および内ステータ巻線 43 を $q = 2$ として起磁力を分散することや、セグメント磁極 50 の内外表面に磁氣的凹みを設けているので、セグメント磁極 50 に印加されるステータ逆磁界が弱まり、極間磁石 10 および極中央磁石 12、13 が減磁しにくくなる。その上、ステータ磁界による誘導磁界を帯びた極間外側ブリッジ 51 および極間内側ブリッジ 52 と極間磁石 10 との間に空洞部 53 を設け、極中央外側ブリッジ 54 と極中央磁石 12 との間に空洞部 55 を設け、極中央内側ブリッジ 56 と極中央磁石 13 との間に空洞部 57 を設けて遠ざけると共に、セグメント磁極

50

50の径方向最小幅 W_r を最適に大きく、すなわち磁気抵抗を最適に小さくしているのも、極間磁石10および極中央磁石12、13はフェライト磁石であるにも関わらず、その許容不可逆減磁磁界 350 kA/m 以下の減磁磁界におさまって、減磁せずに正常に作動できるようになる。

【0035】

このように、セグメント磁極50の径方向最小幅 W_r を大きくする程、その箇所の磁気抵抗は減り、極間磁石10および極中央磁石12、13が外側ステータ3および内側ステータ4の減磁磁界の影響を受けにくくなる。しかし、セグメント磁極50の径方向最小幅 W_r を大きくすることは、内側ステータ4の外径を小さくすることとなり、そのトルクとしての駆動力は減ってしまうデメリットもある。

10

そこで、さまざまな q 値の最適値を検討した。まず、外側ステータ3の外径や通電電流、巻線許容電流密度は、搭載や冷却要件および制御要件上、制約されているので、外側ステータ3の外径と内径および積層厚は固定して、毎極毎相のスロット数 q を変化させる設計試算を行った。変化するのは、ロータ5の内径と、それに伴い内側ステータ4の外径であり、外側ステータ3および内側ステータ4の q 値は同数で変化するものとした。

【0036】

外側ステータ3の磁気抵抗を支配している外ティース31の最小幅 W_t を基準として、セグメント磁極50の径方向最小幅 W_r の寸法比率を変化させて設計試算を行ったところ、図5に示すような関係があることが分かった。なお、図5は、特許文献1の図1に示されるモータでの $W_r/W_t = 1.16q$ 倍のときのトルクを基準(100%)としている。

上記の設計試算によれば、さまざまな q 値の外側ステータ3および内側ステータ4に対して、ほぼ共通して $W_r/W_t = 1.8q$ 倍とする時に最高のトルクを発揮できること、 $1.3q \sim 2.3q$ 倍とする時に明確な効果(特許文献1の従来モータに対して10%以上の効果)が現れることが分かった。

20

【0037】

実施例1に記載した本モータ1は、上記の知見に基づいて構成されたものである。よって、前述のように、極間磁石10および極中央磁石12、13にフェライト磁石を使用した場合でも減磁することはなく、特許文献1に開示された従来モータと概ね同じ形状で極間磁石10をフェライト磁石に置き換えたものに対してトルクが約20%以上の向上が期待できるという顕著な効果がある。なお、特許文献1の従来モータも $q = 2$ であるが、 W_r/W_t は約 $1q$ 倍であり、本発明が開示する特許請求の範囲の外にある。

30

極間磁石10および極中央磁石12、13にフェライト磁石を用いた本モータ1は、現在ハイブリッド車両の走行用モータとして最も一般的に用いられている希土類ネオジム磁石をロータ鉄心に埋め込んだ磁石埋め込み型同期モータ(以下、IPMSMと呼ぶ)と外側ステータ3の体格を合わせて設計したものである。

【0038】

以下、本モータ1とIPMSMとの対比をFEA(J SOL社製JMAG-ver.10.0)にて解析した結果を以下に述べる。

なお、IPMSMの諸元は以下の通りである。

ステータは、外径 265 mm 、内径 195.2 mm 、鉄心積層厚さ 50 mm 、16極である。ロータは、外径 194 mm 、極毎に2枚のネオジム磁石をV字配置した埋め込み磁石ロータである。使用するネオジム磁石は、総数32枚、磁石総質量 680 g 、埋め込み最大深さ 12 mm 、V字配置された2枚の磁石が成す角 122° であり、材質は(株)信越化学のN36Zである。

40

【0039】

モータの温度は共に 60° とし、通電電流は実施例1と同じく実効値 170 A の正弦波電流である。巻線の電流密度も同一 25 A/mm^2 、最大線間電圧は 500 V の制約があるものとした。この両者の特性解析を行ったところ、実施例1の本モータ1は、低速 1000 rpm での出力トルク 291 Nm 、高速 5000 rpm での出力トルク 128.1 Nm となり、IPMSMは、低速 1000 rpm での出力トルク 290.9 Nm 、高速 50

50

00rpmでの出力トルク128.0Nmとなり、ほとんど同じ出力トルクとなった。この時、フェライト磁石の最大減磁磁界は300kA/m未満で、許容限界350kA/mの範囲内であり、減磁させずに活用することができることが検証された。

また、本モータ1に使用されるフェライト磁石の使用量は1080gとなり、IPMSMの680gに対して増えてはいるが、ロータ5の中に有効に納まっており、且つ、ネオジム磁石に対して磁石コストが1/10以下であること、および、ネオジム磁石と異なり無尽蔵の供給安定性があることなどから、本モータ1の構成による効果は著しいことが分かった。

【0040】

(実施例2)

この実施例2は、図6に示す様に、極間磁石10の回転前方側と後方側との両方、すなわち回転方向の全幅で極間外側ブリッジ51および極間内側ブリッジ52との間に空洞部53を設けた一例である。

回転方向が一方方向である単方向モータの作動しかならない場合や、両回転でも逆回転のときは最大電流を抑制制御する場合は、実施例1のように片側方向(実施例1では回転後方側)のみ空洞部53を設けることで減磁を無くすることができるが、現実には、両回転を制約電流一杯に活用してモータ駆動したり、制約電流一杯までの回生発電作動を行う場合がある。この場合でも、極間磁石10を極間外側ブリッジ51および極間内側ブリッジ52から離れた配置にする、つまり、回転方向の全幅に空洞部53を設けることで、極間磁石10の減磁を防ぐことができる。

【0041】

(実施例3)

この実施例3は、図7に示す様に、セグメント磁極50の内径側にのみ極中央磁石13を配置した一例である。

セグメント磁極50の外径側に設けられる外側磁氣的凹みは、セグメント磁極50の最外径より内径側へ凹む凹空間59として形成される。

この構成によれば、極中央磁石13を一つにまとめることができるので、セグメント磁極50の径方向最小幅Wrの下で極中央磁石13の径方向寸法を厚くできる。これにより、極中央磁石13が減磁しにくくなると共に、セグメント磁極50の内径側にのみ極中央磁石13を配置することで、径小の内側ステータ4の駆動力を高めることができる。

【0042】

また、セグメント磁極50の外径側に極中央磁石12を配置するよりも、内径側に配置した方が遠心力に対する保持のためのブリッジ厚も薄くて済み、極中央磁石13の発生する磁束のうち、極中央内側ブリッジ56で失われる分が少なく済むという効果がある。また、外側ステータ3は、その磁気回路の断面積を確保しやすいことから、大きな起磁力を発生できるため、リラクタンストルク作用が大きい。このリラクタンストルクとなるq軸成分磁束の通路にその流通の障害となる磁石を置いていないため、外側でのリラクタンストルクを大いに高めることができる。このように、セグメント磁極50の内径側においては、磁石トルクでのサポート、外径側ではリラクタンストルクを高めることができるので、全体として効果的なトルク向上を図ることが出来る。

【0043】

(実施例4)

上述の実施例1では極中央磁石12、13にフェライト磁石を使用しているが、この実施例4では、極中央磁石12、13にネオジム磁石を使用し、且つ、実施例1に記載したフェライト製の極間磁石10を廃止した一例である。すなわち、実施例4に係る本モータ1は、図8に示す様に、極間外側ブリッジ51と極間内側ブリッジ52との間で一方のセグメント磁極50Aと他方のセグメント磁極50Bとの間に形成される極間空間部58に極間磁石10を配置しない構成である。

ネオジム磁石は、小さくても強力な磁気作用を有するため、極中央磁石12、13にネオジム磁石を用いることで、実施例1に記載したフェライト製の極間磁石10を廃止する

10

20

30

40

50

ことができる。これにより、大きくて重い極間磁石 10 が無くなるため、遠心力に対する耐久性が向上する効果がある。

【 0044 】

なお、図 8 に示す極間空間部 58 は、実施例 1 と同じく、一方のセグメント磁極 50A の極間対向面 50a と他方のセグメント磁極 50B の極間対向面 50a とがテーパ状に形成されているが、極間空間部 58 に極間磁石 10 を配置しないので、極間磁石 10 を径方向および周方向に移動規制する必要がなくなる。従って、極間空間部 58 の形状は適宜に変更できる。言い換えると、必ずしもセグメント磁極 50 の極間対向面 50a をテーパ状に形成する必要はない。

【 0045 】

(実施例 5)

この実施例 5 は、極間磁石 10 にネオジム磁石を使用し、且つ、図 9 に示す様に、極間磁石 10 を極間空間部 58 の径方向外側と径方向内側とに分離して配置した一例である。

ここで、極間空間部 58 の径方向外側に配置される極間磁石 10 を外側極間磁石 10a と呼び、極間空間部 58 の径方向内側に配置される極間磁石 10 を内側極間磁石 10b と呼ぶときに、極間外側ブリッジ 51 と外側極間磁石 10a との間および極間内側ブリッジ 52 と内側極間磁石 10b との間には、少なくとも回転後方側にそれぞれ空洞部 53 が設けられている。なお、図 9 に示す例では、回転後方側と前方側の両方、すなわち回転方向の全幅に渡って空洞部 53 が設けられている。

【 0046 】

ネオジム磁石は減磁耐力が大きいいため、もっとも逆磁界の強い位置に配置することができる。その逆磁界の強いところとは、直軸インダクタンスとなる直軸磁束を遮る部位であることから、リラクタンストルクとなる横軸インダクタンスと直軸インダクタンスとの差分を大きくできる。これにより、リラクタンストルクの向上を図ることができ、ネオジム磁石の節減効果がある。

また、外側極間磁石 10a と内側極間磁石 10b との間、つまり極間空間部 58 の中央部が空いため、この中央部のスペースに、例えばロータ 5 の保持および固定用の非磁性部材（例えばボルト）を配置することができる。その結果、より高回転に耐えることができる様になり、延いては高性能化およびネオジム磁石の節減効果にも繋がる。

【 0047 】

(実施例 6)

この実施例 6 は、図 10 に示す様に、極間空間部において一方のセグメント磁極 50A および他方のセグメント磁極 50B からそれぞれ離間した位置に磁性部材 14 を配置した一例である。

磁性部材 14 は、例えば、ロータ 5 の保持および固定用のボルトであり、この磁性部材 14 と一方のセグメント磁極 50A および他方のセグメント磁極 50B との間にそれぞれ極間磁石 10 が配置される。この極間磁石 10 は、ネオジム磁石であり、着磁方向は図示矢印で示す通りである。また、磁性部材 14 と極間外側ブリッジ 51 および極間内側ブリッジ 52 との間には、少なくとも回転後方側にそれぞれ空洞部 53 が設けられている。なお、図 10 に示す例では、回転後方側と前方側の両方、すなわち回転方向の全幅に渡って空洞部 53 が設けられている。

【 0048 】

ネオジム磁石は減磁耐力が大きいいため、薄くても減磁しにくいことから、上記のように極間空間部の周縁から離間した位置に磁性部材 14 を配置し、その磁性部材 14 と一方のセグメント磁極 50A および他方のセグメント磁極 50B との間にそれぞれネオジム磁石（極間磁石 10）を配置することができる。この様に、磁性部材 14 の周方向両側にそれぞれ極間磁石 10 を配置している、言い換えると、一方の極間磁石 10 と他方の極間磁石 10 との間に磁性部材 14 を挟み込む様に配置していることから、磁性部材 14 を磁氣的に中性にすることができる。これにより、ロータ 5 を支持するロータディスク 6（図 2 参照）を磁性材にすることもできる。

10

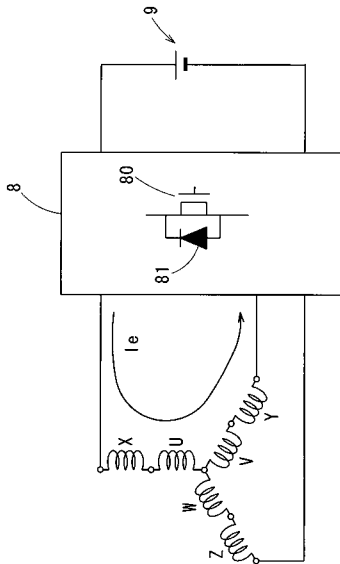
20

30

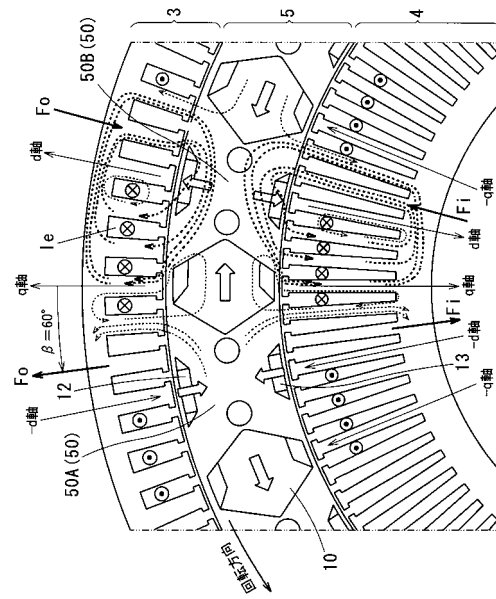
40

50

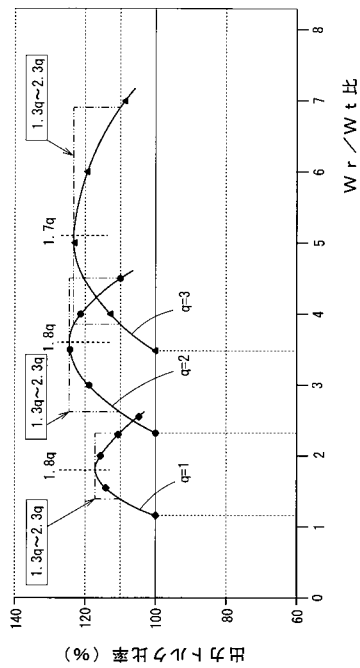
【図3】



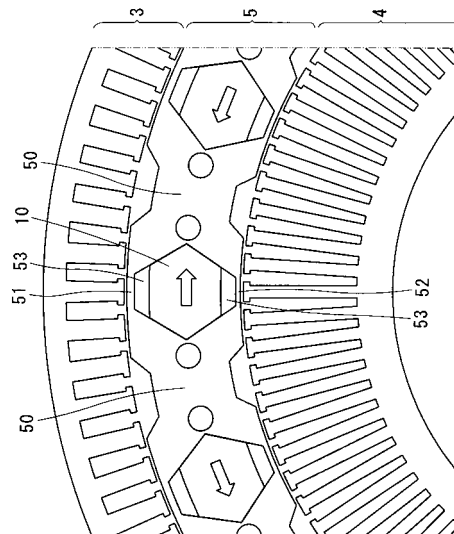
【図4】



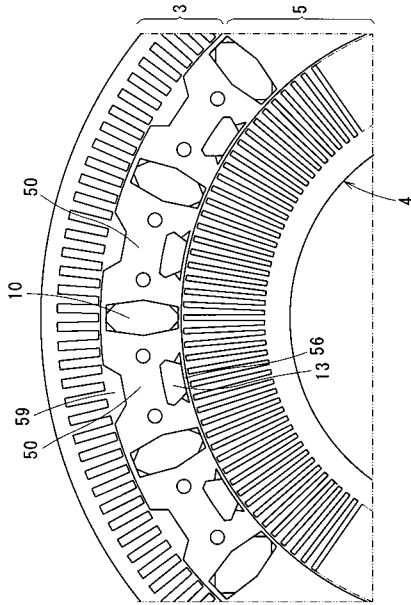
【図5】



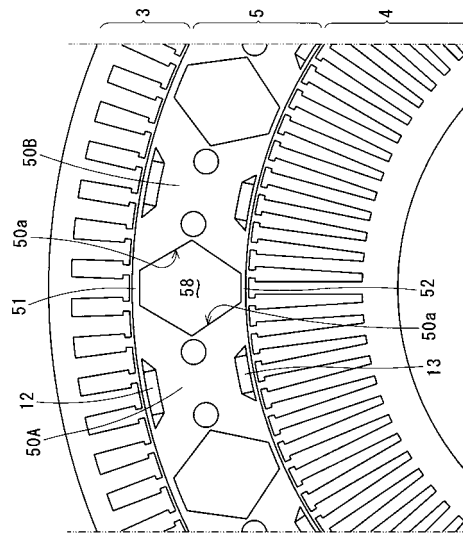
【図6】



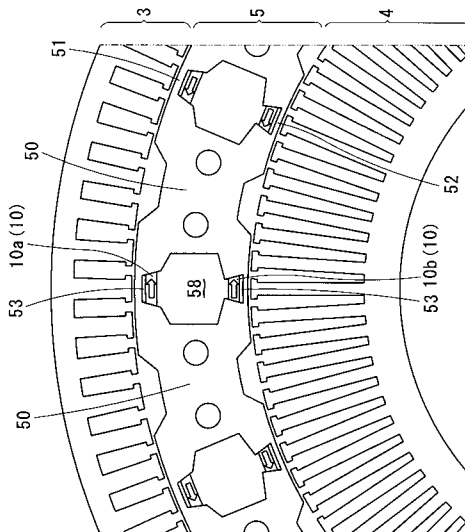
【 図 7 】



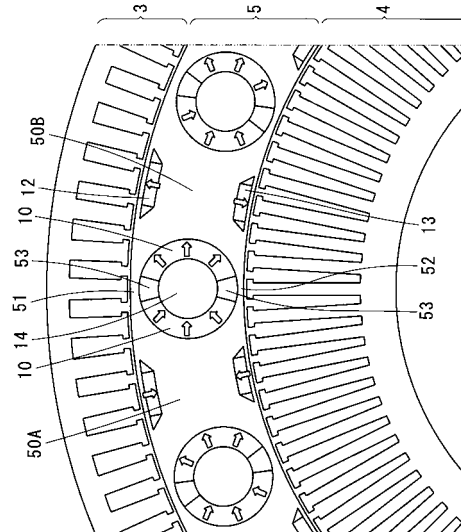
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-244643(JP,A)
特開平05-344698(JP,A)
特開平11-164536(JP,A)
米国特許第06459185(US,B1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02K 21/12
H02K 16/04