

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-7796
(P2014-7796A)

(43) 公開日 平成26年1月16日(2014.1.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02K 1/27 (2006.01)	H02K 1/27 501A	5H622
	H02K 1/27 501M	
	H02K 1/27 501K	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2012-140069 (P2012-140069)
(22) 出願日 平成24年6月21日 (2012.6.21)

(71) 出願人 000003137
マツダ株式会社
広島県安芸郡府中町新地3番1号
(74) 代理人 110001427
特許業務法人前田特許事務所
(72) 発明者 梶原 寿行
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ
株式会社内
(72) 発明者 板坂 直樹
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ
株式会社内
Fターム(参考) 5H622 AA03 CA02 CA07 CA10 PP10

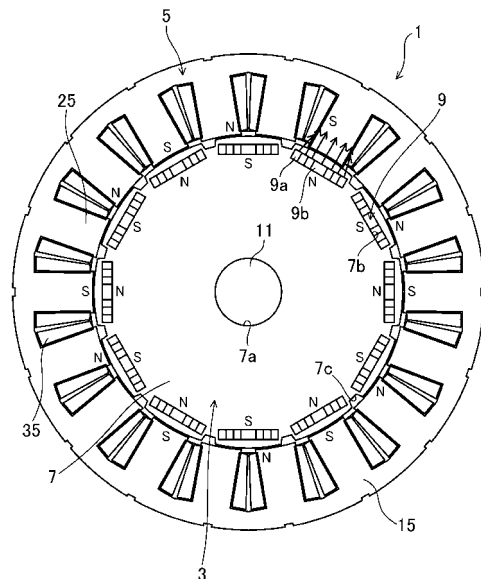
(54) 【発明の名称】 回転電機のロータ構造

(57) 【要約】

【課題】埋込磁石型同期モータのロータ構造において、簡単な構造で、製造コストの上昇を抑えつつ、同じ入力電流に対する発生トルクを増大させる。

【解決手段】ステータ5の内方に設けられ、ロータ軸方向とロータ径方向とに直交する方向が長手方向となるように長形状のスロット7bが形成され且つ7個のネオジム磁石9を各スロット7b内で長手方向に直列状に配置した回転電機1のロータ構造である。中央部ネオジム磁石9bの磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向に設定されている一方、両端部ネオジム磁石9aの磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向から所定角度だけ各スロット7bにおける長手方向内側に傾斜する方向に設定されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転電機のステータの内方に設けられ、ロータ軸方向とロータ径方向とに直交する方向が長手方向となるように複数のスロットが形成されるとともに、複数の永久磁石を当該各スロット内で長手方向に直列状に配置した回転電機のロータ構造であって、

上記複数の永久磁石のうち、各スロット内における両端の永久磁石以外の永久磁石の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向に設定され、

上記複数の永久磁石のうち、各スロット内における両端の永久磁石の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向から所定角度だけ各スロットにおける長手方向内側に傾斜する方向に設定されていることを特徴とする回転電機のロータ構造。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の回転電機のロータ構造において、

上記所定角度は、0 度を越え 80 度以下であることを特徴とする回転電機のロータ構造。

【請求項 3】

請求項 2 記載の回転電機のロータ構造において、

上記所定角度は、30 度以上 60 度以下であることを特徴とする回転電機のロータ構造。

【請求項 4】

請求項 1～3 のいずれか 1 つに記載の回転電機のロータ構造において、

上記複数の永久磁石は、同材種であることを特徴とする回転電機のロータ構造。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機のロータ構造に関し、特に、埋込磁石型同期モータのロータ構造に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、埋込磁石型同期モータ (IPMSM) は、自動車の走行用モータやポンプ類駆動用モータ、パワステ駆動用モータ、さらには冷蔵庫や洗濯機、乾燥機といった家電製品の駆動用モータに用いられており、その高出力化が求められている。

30

【0003】

例えば、特許文献 1 には、モータの高出力化に伴う渦電流の増大による、モータの効率低下を抑えるべく、ロータに複数の穴 (スロット) を設け、当該穴内の永久磁石を円周方向において複数の永久磁石に分割した永久磁石モータが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 228838 号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献 1 のものでは、モータの高効率化を図ることは可能であるものの、トルクを増大させてモータの高出力化を図ることは困難である。のみならず、特許文献 1 のものでは、分割された磁石間で、磁束成分の一部が打消し合う現象が起こるため、鎖交磁束量の減少によりトルクが減少するおそれすらある。

【0006】

そこで、特許文献 1 のものにおいて、分割された複数の永久磁石に、例えば Halbach 配列を施して、トルクを増大を図ることも考えられるが、Halbach 配列は複雑であることから、製造コストの上昇を招くという問題がある。

50

【0007】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、埋込磁石型同期モータのロータ構造において、簡単な構造で、製造コストの上昇を抑えつつ、同じ入力電流に対する発生トルクを増大させる技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明に係るロータ構造では、ロータに形成された各スロットに複数の永久磁石を配置するとともに、当該各スロットに配置された一群の永久磁石の漏れ磁束成分を低減させるように、各永久磁石の磁化方向を設定するようにしている。

【0009】

具体的には、第1の発明は、回転電機のステータの内方に設けられ、ロータ軸方向とロータ径方向とに直交する方向が長手方向となるように複数のスロットが形成されるとともに、複数の永久磁石を当該各スロット内で長手方向に直列状に配置した回転電機のロータ構造を対象とする。

【0010】

そして、上記複数の永久磁石のうち、各スロット内における両端の永久磁石以外の永久磁石の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向に設定され、上記複数の永久磁石のうち、各スロット内における両端の永久磁石の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向から所定角度だけ各スロットにおける長手方向内側に傾斜する方向に設定されていることを特徴とするものである。

【0011】

第1の発明によれば、ロータ軸方向とロータ径方向とに直交する方向が長手方向であるスロットに、複数の永久磁石が長手方向に直列状に配置されているとともに、各スロット内における両端の永久磁石以外の永久磁石（以下、「中央部永久磁石」ともいう）の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向に設定されていることから、かかる中央部永久磁石からステータ側またはロータ中心側に、一方向且つ集中的に磁束を発生することができる。

【0012】

加えて、各スロット内における両端の永久磁石（以下、「両端部永久磁石」ともいう）の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向から所定角度だけ各スロットにおける長手方向内側に傾斜する方向に設定されていることから、かかる両端部永久磁石から出る磁束が、あたかも障壁のように作用して、中央部永久磁石から一方向且つ集中的に発生する磁束から漏れようとする磁束成分を、両側から長手方向内側に押し込んで、1つの極を構成する永久磁石群全体としての漏れ磁束成分を低減することができる。

【0013】

このように、両端部永久磁石の磁化方向を、中央部永久磁石の磁化方向から長手方向内側に所定角度傾斜させるという簡単な構造で、ステータとロータとの間のギャップを介して形成される磁路から磁束が漏れるのを抑えて、ギャップの磁束密度を向上させることができ、これにより、同じ入力電流に対する発生トルクを増大させることが可能となる。

【0014】

第2の発明は、上記第1の発明において、上記所定角度は、0度を越え80度以下であることを特徴とするものである。

【0015】

第2の発明によれば、中央部永久磁石から出る磁束を抑えるように、両端部永久磁石の磁化方向を傾斜させることから、漏れ磁束成分を確実に低減して、同じ入力電流に対する発生トルクを確実に増大させることができる。

【0016】

第3の発明は、上記第2の発明において、上記所定角度は、30度以上60度以下であることを特徴とするものである。

【0017】

10

20

30

40

50

第3の発明によれば、漏れ磁束成分をより一層確実に低減して、同じ入力電流に対する発生トルクをより確実に増大させることができる。

【0018】

第4の発明は、上記第1～第3のいずれか1つの発明において、上記複数個の永久磁石は、同材種であることを特徴とするものである。

【0019】

第4の発明によれば、複数個の永久磁石として、同材種の永久磁石を用いることから、製造コストの上昇を抑えることができる。

【発明の効果】

【0020】

本発明に係る回転電機のロータ構造によれば、各スロット内における両端部永久磁石の磁化方向は、ロータ軸方向と長手方向とに直交する方向から所定角度だけ各スロットにおける長手方向内側に傾斜する方向に設定されていることから、かかる両端部永久磁石から出る磁束によって、中央部永久磁石から一方向且つ集中的に発生する磁束から漏れようとする磁束成分を長手方向内側に押し込んで、漏れ磁束成分の低減を図ることができる。

【0021】

このように、両端部永久磁石の磁化方向を、中央部永久磁石の磁化方向から長手方向内側に所定角度傾斜させるという簡単な構造で、ステータとロータとの間のギャップの磁束密度を向上させることができ、これにより、同じ入力電流に対する発生トルクを増大させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施形態に係る回転電機を示す平面図である。

【図2】スロットの長手方向を説明するためのロータコアの斜視図である。

【図3】一群のネオジウム磁石の磁化方向を模式的に説明する図である。

【図4】回転電機のトルク向上のメカニズムを概念的に説明する模式図である。

【図5】回転電機内部の磁束の流れを視覚化した解析図であり、同図(a)は、比較例2であり、同図(b)は、本発明例である。

【図6】本発明例及び比較例1～3の算出された平均トルクを示すグラフ図である。

【図7】本発明例における、平均トルクと傾斜角度との関係を示すグラフ図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0024】

回転電機の構造

図1は、本実施形態に係る回転電機を示す平面図である。回転電機1は、例えば自動車の走行用モータ等、10kW程度の出力が要求されるモータに好適に用いられるものである。この回転電機1は、図1に示すように、ステータ5と、当該ステータ5の内方に設けられる、ネオジウム磁石(永久磁石)9が埋め込まれたロータ3とを備える、所謂埋込磁石型同期モータとなっている。

【0025】

ステータ5は、略円筒状に形成されたステータコア15と、円周方向に等間隔で設けられた、当該ステータコア15よりも径方向内方に突出する18個のティース25を有して、これら18個のティース25にはコイル35がそれぞれ巻回されている。

【0026】

一方、ロータ3は、回転中心となる金属製のロータシャフト11と、当該ロータシャフト11の外側に設けられた略円筒形状のロータコア7と、当該ロータコア7に埋め込まれるネオジウム磁石9と、を備えている。ロータコア7は、例えばプレスで打ち抜いた薄い磁性鋼板をロータシャフト11の軸方向に連なるように積層一体化することにより形成されていて、その中央部に断面円形の中央貫通孔7aが形成されているとともに、その外周部

10

20

30

40

50

に当該ロータコア 7 の円周方向に等間隔で並ぶ（ロータ軸対称に形成された）12個の断面長方形形状のスロット 7 b が形成されている。なお、図中の符号 7 c は、漏れ磁束低減を目的とした切欠部である。

【0027】

ロータコア 7 に形成された各スロット 7 b は、図 2 に示すように、ロータ軸方向 Z とロータ径方向 R とに直交する方向 L が長手方向となるような断面長方形形状に形成されている。換言すると、各スロット 7 b は、当該スロット 7 b を区画する長手方向 L の辺の垂直二等分線がロータコア 7 の中心を通るような断面長方形形状に形成されている。なお、図 2 では、図を見易くするために、12個のスロット 7 b のうち1つのスロット 7 b だけを表示しているが、他のスロット 7 b についても、同様に長手方向が決定される。

10

【0028】

そうして、中央貫通孔 7 a には、ロータシャフト 11 が挿通固定されている一方、各スロット 7 b には、ロータ軸方向 Z に延びる、7つの断面矩形形状のネオジム磁石 9 が、当該各スロット 7 b 内で長手方向 L に直列状に配置されるようにそれぞれ挿通固定されている。換言すると、ネオジム磁石 9 は、その配列方向がスロット 7 b の長手方向 L と一致するように、当該スロット 7 b に収容されている。これら7つのネオジム磁石 9 は全て同材種のネオジム磁石であり、7つのネオジム磁石 9 によって構成される一群のネオジム磁石 9 は、ロータコア中心側とステータ側とに N 極と S 極とが交互に並ぶように磁化方向が設定されていて、12個の磁極を形成するようになっている。つまり、本実施形態の回転電機 1 は、12極 18スロットの埋込磁石型同期モータとなっている。なお、「同材種」とは、例えばネオジム磁石といった大きな括りではなく、同じネオジム磁石でも、磁石のグレードまで同じことを意味する。

20

【0029】

さらに、これら一群のネオジム磁石 9 は、N 極と S 極とが交互に並ぶように配列されているのみならず、入力電流に対する発生トルクを増大させるべく、その磁化方向が、以下のように設定されている。すなわち、図 1 および図 3 に示すように、7個のネオジム磁石 9 のうち、各スロット 7 b 内における両端のネオジム磁石 9 a 以外のネオジム磁石 9 b（以下、「中央部ネオジム磁石」ともいう）の磁化方向は、ラジアル配向とは異なり、ロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向に設定されている。これにより、ステータ側が N 極の場合は、中央部ネオジム磁石 9 b からステータ側へ、一方向且つ集中的に磁束 19 b を発生することができる一方、ロータコア中心側が N 極の場合は、中央部ネオジム磁石 9 b からロータコア中心側へ、一方向且つ集中的に磁束 19 b を発生することができるようになっている。

30

【0030】

一方、7個のネオジム磁石 9 のうち、各スロット 7 b 内における両端のネオジム磁石 9 a（以下、「両端部ネオジム磁石」ともいう）の磁化方向は、ロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向から所定角度 だけ各スロット 7 b における長手方向内側に傾斜する方向に設定されている。ここで、所定角度（傾斜角度） は、図 3 に示すように、両端のネオジム磁石 9 a の磁化方向が、ロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向、すなわち中央部ネオジム磁石 9 b の磁化方向からどれだけ長手方向内側に傾斜しているかを示す値であり、仮に、両端部ネオジム磁石 9 a の磁化方向と中央部ネオジム磁石 9 b の磁化方向とが同じであれば、 $\theta = 0$ 度である一方、両端部ネオジム磁石 9 a の磁化方向が完全に長手方向内側を向いていれば、 $\theta = 90$ 度である。なお、所定角度 の範囲は、0 度を超え 90 度以下であるが、後述するように、0 度を超え 80 度以下であることが好ましく、30 度以上 60 度以下であることがより好ましい。

40

【0031】

このように、中央部ネオジム磁石 9 b の磁化方向を、ロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向に設定するとともに、両端部ネオジム磁石 9 a の磁化方向を、中央部ネオジム磁石 9 b の磁化方向よりも長手方向内側に向かって所定角度 傾斜させることにより、この回転電機 1 では、両端部ネオジム磁石 9 a から出る磁束 19 a が、中央部ネオジム磁

50

石 9 b からステータ側に流入しようとする磁束 1 9 b から漏れようとする磁束成分を、両側から長手方向内側に押し込んで、1 つの極を構成するネオジム磁石群全体としての漏れ磁束成分を低減するようになっている。

【 0 0 3 2 】

そうして、回転電機 1 におけるトルクは、図 4 に示すように、ステータ 5 とロータ 3 との間のギャップを介して形成される磁路 2 9 (磁束 1 9 b の流れる通路) が最短になるように働く磁気吸引力・反発力に基づく回転力であるところ、この回転電機 1 では、両端部ネオジム磁石 9 a から出る磁束 1 9 a があたかも障壁のように作用して、磁束が磁路 2 9 から外れるのを抑えることができる。これにより、ギャップの磁束密度が向上して鎖交磁束量が増大することから、同じ入力電流に対する発生トルクを増大させることが可能となる。

10

【 0 0 3 3 】

解析結果

次に、本実施形態に係る回転電機 1 のロータ構造による、トルク改善効果を確認するために行った所定条件の下で C A E 解析の解析結果について詳述する。

【 0 0 3 4 】

先ず、磁場解析プログラムとして、株式会社 J S O L 製の「 J M A G 」を用いて、所定条件 (例えば、モータ形式 : 埋め込み磁石式三相交流同期モータ、モータ出力 : 1 0 k W 級、磁石グレード : 残留磁束密度 1 . 1 6 (T) 且つ保磁力 2 . 7 (M A / m)、極数 : 1 2 極 1 8 スロット、温度条件 : 2 5 ()、電流値 (三相ピーク値) : 1 7 0 (A)、電流周波数 (基本波) : 3 0 0 (H z)、電流位相 : 0 (d e g)、回転数 : 3 0 0 0 (r p m) 等) で C A E 解析を行った。

20

【 0 0 3 5 】

具体的には、スロット内の永久磁石を 7 分割するとともに、5 つの中央部永久磁石の磁化方向を、ロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向に設定 (固定) するとともに、2 つの両端部永久磁石の磁化方向を、中央部永久磁石の磁化方向から所定角度 だけ長手方向内側に傾斜する方向に設定したものを本発明例とした。そうして、同じ波高値の正弦波電流源を設定して、傾斜角度 を 0 度から 9 0 度まで 1 0 度刻みで変化させながら、各角度における平均トルクを算出した。

【 0 0 3 6 】

一方、永久磁石の分割数及び磁化方向を変えたこと以外は、本発明例と全く同じロータ構造に設定したものを比較例 1 ~ 3 とした。より詳しくは、スロット内の永久磁石を 3 分割するとともに各永久磁石の磁化方向をロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向としたものを比較例 1 とし、スロット内の永久磁石を 7 分割するとともに各永久磁石の磁化方向をロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向としたものを比較例 2 とし、スロット内の永久磁石を分割しなかったものを比較例 3 とした。そして、これらについても本発明例と同じ波高値の正弦波電流源を設定して、平均トルクを算出した。

30

【 0 0 3 7 】

図 5 は、回転電機内部の磁束の流れを視覚化した解析図であり、同図 (a) は、比較例 2 であり、同図 (b) は、両端部永久磁石の磁化方向を、中央部永久磁石の磁化方向よりも長手方向内側に 4 0 度傾斜させた本発明例である。各磁石の磁化方向をロータ軸方向 Z と長手方向 L とに直交する方向とした比較例 2 では、図 5 (a) に示すように、極間 (図中の白丸で囲んだ部分) に漏れ磁束成分が大量に発生しているのに対し、本発明例では、図 5 (b) に示すように、極間 (図中の白丸で囲んだ部分) における漏れ磁束成分が明らかに低減されているのが分かる。また、数値上も、比較例 2 では無負荷鎖交磁束量が 0 . 2 6 5 (W b) であったのに対し、本発明例では無負荷鎖交磁束量が 0 . 3 0 2 (W b) であり、約 1 4 % 鎖交磁束量が増加することが確認された。

40

【 0 0 3 8 】

次いで、図 6 は、入力電流に対する本発明例及び比較例 1 ~ 3 の算出された平均トルクを示すグラフ図である。図 6 から、スロット内の磁石を分割するとともに各磁石の磁化方

50

向をロータ軸方向Zと長手方向Lとに直交する方向とした比較例1及び2は、スロット内の磁石を分割しなかった比較例3よりも平均トルクが減少しているのみならず、分割数が多くなるに従って、平均トルクが減少していることが分かる。これは、分割することにより、それぞれの磁石の磁束成分の一部が、打消し合う現象が起こり、これにより、主磁束（鎖交磁束）が減少したためであると考えられる。これに対し、本発明例では、スロット内の磁石を分割しなかった比較例3よりも平均トルクが増大しているとともに、同じ分割数の比較例2と比べると、約11%も平均トルクが増大している。これは、両端部永久磁石の磁化方向を、中央部永久磁石の磁化方向よりも長手方向内側に40度傾斜させたことにより、図5(b)に示したように、極間の漏れ磁束量が減少した結果、鎖交磁束量が増加したためと考えられる。

10

【0039】

次いで、図7は、本発明例における、平均トルクと傾斜角度との関係を示すグラフ図である。図7から、傾斜角度が0度を越え80度以下の範囲では、スロット7b内の磁石を分割しなかった比較例3よりも平均トルクが大きくなり、特に、所定角度が30度以上60度以下の範囲では、平均トルクが72(Nm)を超えて大幅に増大していることが分かる。これらにより、所定角度は、0度を越え80度以下であることが好ましく、30度以上60度以下であることがより好ましいことが解析上確認できた。

【0040】

- 効果 -

本実施形態によれば、ロータ軸方向Zとロータ径方向Rとに直交する方向が長手方向Lである断面長方形のスロット7bに、7個のネオジム磁石9が長手方向Lに直列状に配置されているとともに、各スロット7b内における中央部ネオジム磁石9bの磁化方向が、ロータ軸方向Zと長手方向Lとに直交する方向に設定されていることから、かかる中央部ネオジム磁石9bから一方向且つ集中的に磁束19bを発生することができる。

20

【0041】

加えて、各スロット7b内における両端部ネオジム磁石9aの磁化方向は、ロータ軸方向Zと長手方向Lとに直交する方向から所定角度だけ各スロット7bにおける長手方向内側に傾斜する方向に設定されていることから、かかる両端部ネオジム磁石9aから出る磁束19aが、あたかも障壁のように作用して、中央部ネオジム磁石9bから一方向且つ集中的に発生する磁束19bから漏れようとする磁束成分を長手方向内側に押し込んで、1つの極を構成するネオジム磁石9全体としての漏れ磁束成分を低減することができる。

30

【0042】

このように、両端部ネオジム磁石9aの磁化方向を、中央部ネオジム磁石9bの磁化方向に対して長手方向内側に所定角度傾斜させるという簡単な構造で、ステータ5とロータ3との間のギャップを介して形成される磁路29から磁束が漏れるのを抑えて、ギャップの磁束密度を向上させることができ、これにより、同じ入力電流に対する発生トルクを増大させることが可能となる。

【0043】

また、複数個の永久磁石として、同材種の永久磁石を用いることから、製造コストの上昇を抑えることができる。

40

【0044】

(その他の実施形態)

本発明は、実施形態に限定されず、その精神又は主要な特徴から逸脱することなく他の色々な形で実施することができる。

【0045】

上記実施形態では、各スロット7b内の永久磁石を7分割したが、3分割以上であり、且つ、両端部ネオジム磁石9aの磁化方向を、中央部ネオジム磁石9bの磁化方向に対して長手方向内側に所定角度傾斜させるのであれば、これに限らず、どのような分割数としてもよい。

【0046】

50

また、上記実施形態では、複数個の永久磁石として、同材種のネオジム磁石を用いたが、これに限らず、異材種の永久磁石を用いてもよい。なお、この場合の異材種とは、ネオジム磁石、フェライト磁石、サマリウムコバルト磁石等の組合せのみならず、例えば、同じネオジム磁石同士の組合せでも、磁石のグレードが異なるネオジム磁石を組み合わせることも含む。

【0047】

さらに、上記実施形態では、本発明のロータ構造を、12極18スロット7bの埋込磁石型同期モータに適用したが、これに限らず、全ての永久磁石式同期モータに適用可能である。

【0048】

このように、上述の実施形態はあらゆる点で単なる例示に過ぎず、限定的に解釈してはならない。さらに、特許請求の範囲の均等範囲に属する変形や変更は、全て本発明の範囲内のものである。

【産業上の利用可能性】

【0049】

以上説明したように、本発明は、ロータ軸方向とロータ径方向とに直交する方向が長手方向となるように、複数のスロットが形成され、複数個の永久磁石を当該各スロット内で長手方向に直列状に配置した回転電機のロータ構造等について有用である。

【符号の説明】

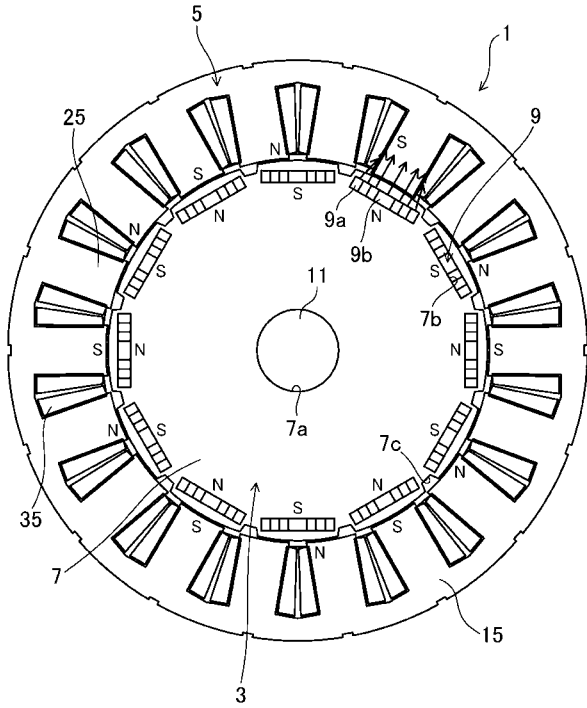
【0050】

- 1 回転電機
- 3 ロータ
- 5 ステータ
- 7b スロット
- 9 ネオジム磁石（永久磁石）
- L 長手方向
- R ロータ径方向
- Z ロータ軸方向
- 所定角度

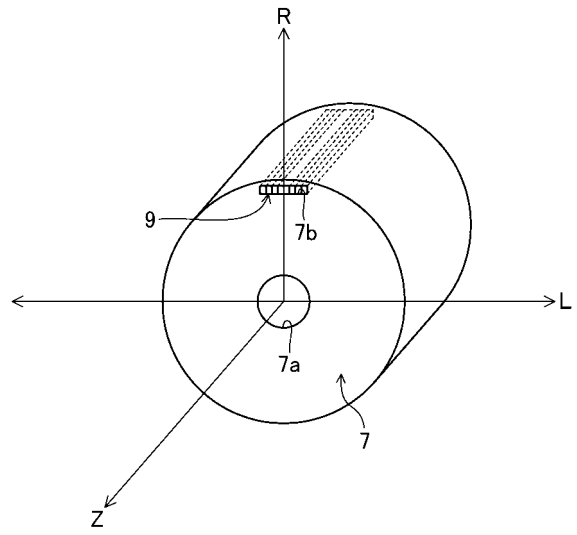
10

20

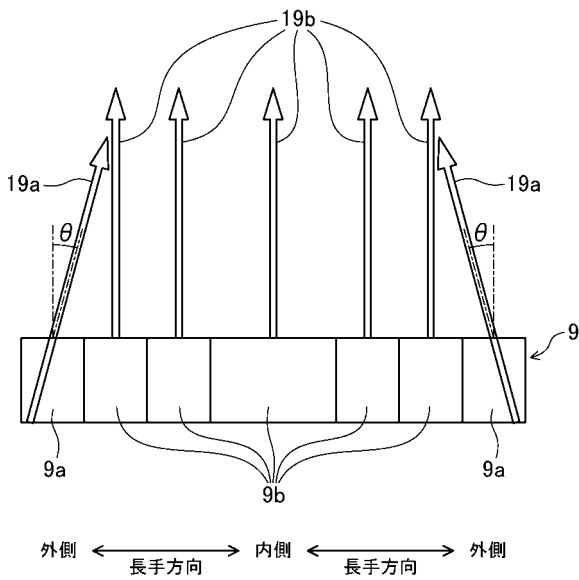
【 図 1 】



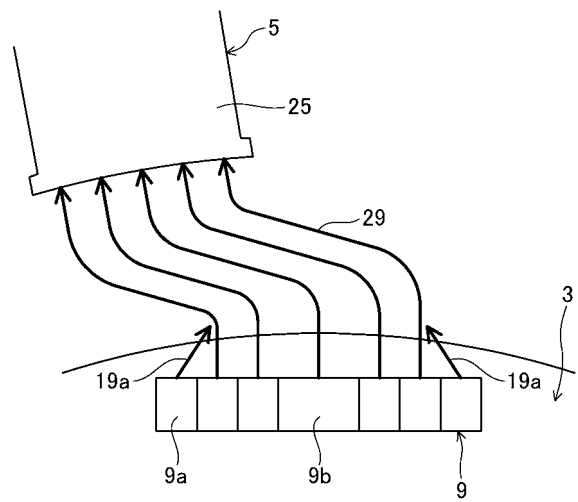
【 図 2 】



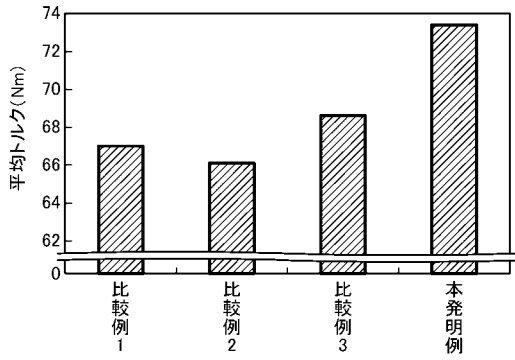
【 図 3 】



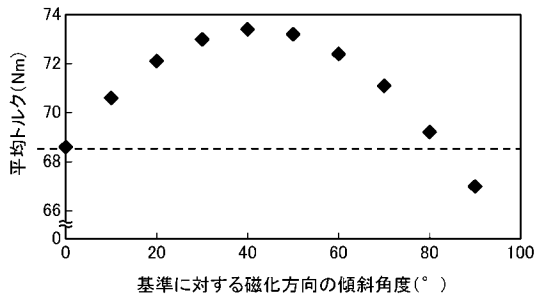
【 図 4 】



【 図 6 】

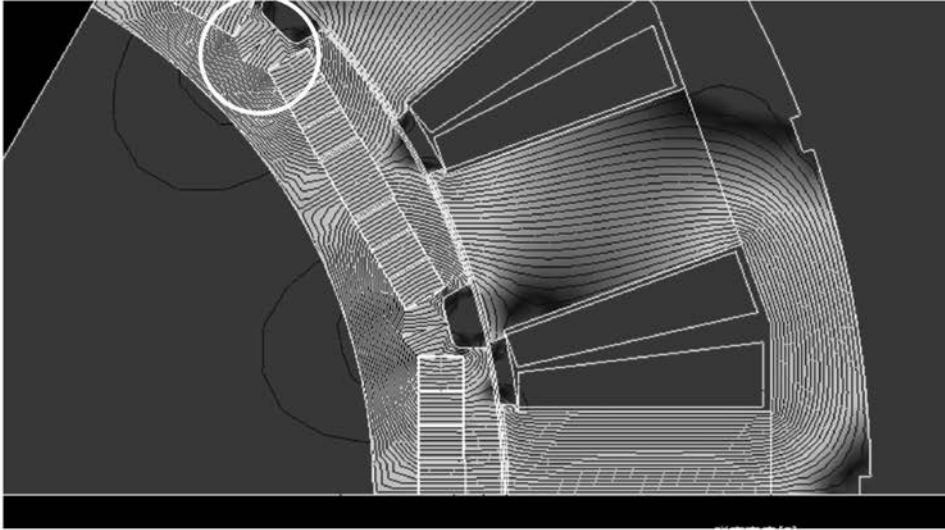


【 図 7 】



【 図 5 】

(a)



(b)

