

(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2014-192907

(P2014-192907A)

(43) 公開日 平成26年10月6日(2014.10.6)

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

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-63211 (P2013-63211)
 (22) 出願日 平成25年3月26日 (2013. 3. 26)

(71) 出願人 000006105
 株式会社明電舎
 東京都品川区大崎2丁目1番1号
 (74) 代理人 100078499
 弁理士 光石 俊郎
 (74) 代理人 230112449
 弁理士 光石 春平
 (74) 代理人 100102945
 弁理士 田中 康幸
 (74) 代理人 100120673
 弁理士 松元 洋
 (74) 代理人 100182224
 弁理士 山田 哲三

最終頁に続く

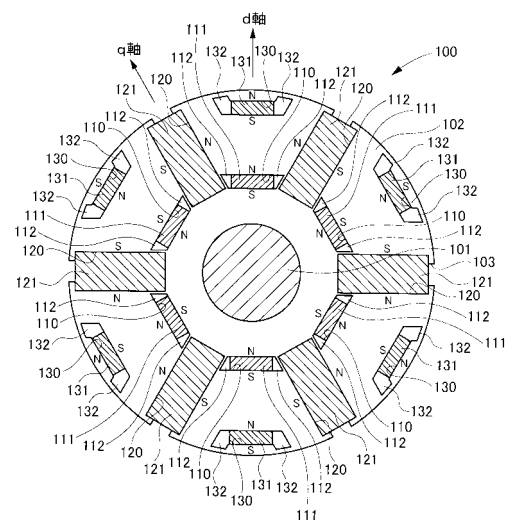
(54) 【発明の名称】 磁石埋込型電動機

(57) 【要約】

【課題】 I P Mモータにおいて、リラクタンストルクを大きくして、一定出力での可変速範囲を広くする。

【解決手段】 回転子鉄心 102 の内周側に配置された第1の永久磁石 111 と、回転子の周方向に関して隣接する第1永久磁石 111 の間の各位置に回転子の半径方向に伸びて q 軸上に配置された第2の永久磁石 121 とを備える他に、複数の第1永久磁石 111 よりも外周側の各位置に、回転子の半径方向に対して交差する方向に沿って伸びて配置された磁気的空隙となる永久磁石 131 を有する。このような磁気的空隙を有するため、d 軸インダクタンス L_d が小さくなり、リラクタンストルクが大きくなる。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転子鉄心に永久磁石を軸方向に沿い挿入して構成した回転子を備えた磁石埋込型電動機において、

前記回転子鉄心の外周縁よりも内周側の周縁に沿う複数箇所に、前記回転子の半径方向に対して交差する方向に沿い伸びて配置された第 1 の永久磁石と、

前記回転子の周方向に関して隣接する前記第 1 永久磁石の間の各位置に、前記回転子の半径方向に伸びて q 軸上に配置された第 2 の永久磁石と、

複数の前記第 1 永久磁石よりも外周側の各位置に、前記回転子の半径方向に対して交差する方向に沿い伸びて配置された磁氣的空隙と、

を有することを特徴とする磁石埋込型電動機。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記磁氣的空隙は第 3 の永久磁石であることを特徴とする磁石埋込型電動機。

【請求項 3】

請求項 2 において、

前記第 1 の永久磁石の磁化方向は、前記回転子の半径方向と平行であり、しかも、周方向に隣接する第 1 の永久磁石では磁化方向が互いに逆方向になっており、

前記第 2 の永久磁石の磁化方向は、前記回転子の半径方向と交差する方向になっており、しかも、周方向に隣接する第 2 の永久磁石では磁化方向が互いに逆方向になっており、

前記回転子の各磁極では、前記第 1 の永久磁石の外周側の面の極性と、前記第 2 の永久磁石のうち当該磁極側の面の極性が一致しており、

前記第 3 の永久磁石の外周側の面の極性は、当該第 3 の永久磁石よりも内周側に配置している前記第 1 の永久磁石の外周側の面の極性と一致している、

ことを特徴とする磁石埋込型電動機。

20

【請求項 4】

請求項 2 または請求項 3 において、

前記第 3 の永久磁石の周方向の両側面に隣接する部分に、空隙を配置したことを特徴とする磁石埋込型電動機。

30

【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 の何れか一項において、

前記回転子鉄心には、前記第 2 の永久磁石のうち半径方向の外周側の面から、回転子鉄心の外周面に至る、鉄心開放部が形成されていることを特徴とする磁石埋込型電動機。

【請求項 6】

請求項 4 または請求項 5 の何れか一項において、

前記回転子に形成される磁極の周方向角度の半分の角度を θ_1 とし、

前記第 3 の永久磁石の周方向の両側面に隣接する部分に配置した空隙と、前記第 2 の永久磁石との間で、磁束が通る磁路の角度を θ_2 としたときに、

角度比 θ_2 / θ_1 が $0.27 \sim 0.36$ となっていることを特徴とする磁石埋込型電動機。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は磁石埋込型電動機（IPMモータ：Interior Permanent Magnet Motor）に関し、出力トルクを増大させることができるように工夫したものである。

【背景技術】

【0002】

従来、高トルクモータの代表格として、磁石埋込型電動機（IPMモータ：Interior Permanent Magnet Motor）がある。IPMモータでは、回転子においてリラクタンストルクを発生させる磁束とマグネットトルクを発生させる磁束を磁極に通すように、磁極部に

50

永久磁石を挿入して構成されている。

【0003】

ここで、図9及び図10を参照して、6極IPMモータの回転子を説明する。なお、図9及び図10は、回転子を回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図である。

【0004】

図9は従来技術に係る、一般的なIPMモータの回転子10を示す。同図に示すように、回転子10のシャフト11には、多数枚の電磁鋼板を積層して構成された回転子鉄心12が取り付けられている。

【0005】

回転子鉄心12の外周縁に沿う複数箇所には、周方向に沿い一定ピッチで矩形の磁石挿入穴13が極数(6極)分だけ形成されている。各磁石挿入穴13は、回転子10の軸方向に沿い伸びて貫通している。

各磁石挿入穴13には矩形の永久磁石14が挿入されている。つまり、永久磁石14が回転子鉄心12に埋め込まれている。各永久磁石14は、回転子10の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子10の径方向と平行な方向になっている。しかも、周方向に隣接する永久磁石14では、磁化方向が互いに反対方向となっている。

【0006】

図10は、図9に示す従来技術を更に改良して出力トルクを増大させたIPMモータの回転子20を示すものであり、例えば特許文献1~3(特許第3832530、特開平8-275419、特開2011-78298)などに開示されているものと同等なものである。

【0007】

図10に示すように、回転子20のシャフト21には、多数枚の電磁鋼板を積層して構成された回転子鉄心22が取り付けられている。

【0008】

回転子鉄心22の外周縁よりも内周側の周縁(シャフト21の外周縁よりも外周側の周縁)に沿う複数箇所には、周方向に沿い一定ピッチで矩形の磁石挿入穴23が極数(6極)分だけ形成されている。この磁石挿入穴23は、回転子20の端面から見たときに(図10に示す状態で見たとときに)、回転子20の半径方向に対して直交する方向に沿い長い矩形形状になっている。各磁石挿入穴23は、回転子20の軸方向に沿い伸びて貫通している。

【0009】

各磁石挿入穴23には矩形の永久磁石24が挿入されている。つまり、永久磁石24が回転子鉄心22に埋め込まれており、回転子20の端面から見たときに(図10に示す状態で見たとときに)、永久磁石24は回転子20の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びて配置されている。各永久磁石24は、回転子20の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子20の径方向と平行な方向となっている。しかも、周方向に隣接する永久磁石24では、磁化方向が互いに反対方向となっている。

【0010】

回転子20の周方向に関して、隣接する磁石挿入穴23(永久磁石24)の間の各位置には、矩形の磁石挿入穴25が形成されている。この磁石挿入穴25は、回転子20の端面から見たときに(図10に示す状態で見たとときに)、回転子20の半径方向に沿い長い矩形形状になっている。各磁石挿入穴25は、回転子20の軸方向に沿い伸びて貫通している。

【0011】

各磁石挿入穴25には矩形の永久磁石26が挿入されている。つまり、永久磁石26が回転子鉄心22に埋め込まれており、回転子20の端面から見たときに(図10に示す状態で見たとときに)、永久磁石26は回転子20の半径方向に沿い伸びて配置されている。各永久磁石26は、回転子20の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子20の径方向と直交する方向になっている。しかも、周方向に隣接する永久磁石24では、磁

10

20

30

40

50

化方向が互いに反対方向となっている。

【0012】

この場合、回転子20に形成される各磁極は、1つの永久磁石24と2つの永久磁石26とで構成されており、各磁極において、永久磁石24の外周側の面の極性（S極、N極）と永久磁石26のうち当該磁極側の面の極性（S極、N極）とが一致している。

【0013】

各永久磁石24の両側面（周方向の両側面）に隣接する部分には、空隙27を配置している。つまり、磁石挿入穴23は永久磁石24よりも大きくなっており、磁石挿入穴23のうち永久磁石24で塞がれていない部分（各永久磁石24の両側面に隣接する部分）が、空隙27になっている。

空隙27は磁氣的抵抗が大きいため、空隙27を配置することにより、永久磁石24の一方の磁極面と他方の磁極面との間での磁束の短絡や、永久磁石26の一方の磁極面と他方の磁極面との間での磁束の短絡を、可能な限り防止している。

【0014】

図10に示す回転子20は、図9に示す回転子10に比べて、永久磁石の数を増やすことにより、マグネットトルクを増大させている。

また、回転子20においては、永久磁石の種類として、永久磁石24を希土類磁石とし、永久磁石26をフェライト磁石とすることも行われている（特許文献1参照）。このようにすると、全ての永久磁石を希土類磁石とするものに比べて、安価にすることができる。

そして、図10に示す構成を採用することにより、d軸インダクタンスとq軸インダクタンスの差を大きくして、リラクタンストルクを大きくしている。

【0015】

なお、IPMモータにおける出力トルクTは、次式（1）で示される。

$$T = P n \{ a \cdot I_a \cdot \cos - 0.5 (L_d - L_q) \cdot I^2 \cdot \sin 2 \} \cdots (1)$$

ここで、Tは出力トルク、aはd, q座標軸上の永久磁石による電機子鎖交磁束、L_d, L_qはd, q軸インダクタンス、I_aはd, q座標軸上の電機子電流の振幅、はd, q座標軸上の電機子電流のq軸からの進み角、Pnは極対数である。

式（1）において、第1項は永久磁石によるマグネットトルクであり、第2項はd軸インダクタンスとq軸インダクタンスとの差によって生じるリラクタンストルクである。

式（1）から分るように、d軸磁束を小さくしてd軸インダクタンスL_dを小さくし、d軸インダクタンスL_dとq軸インダクタンスL_qとの差を大きくすることにより、リラクタンストルクを増大させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0016】

【特許文献1】特許第3832530

【特許文献2】特開平8-275419

【特許文献3】特開2011-78298

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

しかし近年では、より大きなトルクで且つ一定出力での可変速範囲がより広いIPMモータが要望されるようになってきている。かかる要望からすると、図9, 図10に示す回転子10, 20を用いたIPMモータでは、リラクタンストルクが十分とは言えず、マグネットトルクの比率が高くなるため、高回転領域では永久磁石による誘起電圧によって出力電圧の低下を生じることで一定出力での可変速範囲が狭いという問題があった。

【0018】

本発明は、上記従来技術に鑑み、リラクタンストルクの増大を図ることができるとも

10

20

30

40

50

に、一定出力での可変速範囲を広くすることができる、磁石埋込型電動機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】

【0019】

上記課題を解決する本発明の構成は、

回転子鉄心に永久磁石を軸方向に沿い挿入して構成した回転子を備えた磁石埋込型電動機において、

前記回転子鉄心の外周縁よりも内周側の周縁に沿う複数箇所に、前記回転子の半径方向に対して交差する方向に沿い伸びて配置された第1の永久磁石と、

前記回転子の周方向に関して隣接する前記第1永久磁石の間の各位置に、前記回転子の半径方向に伸びてq軸上に配置された第2の永久磁石と、

複数の前記第1永久磁石よりも外周側の各位置に、前記回転子の半径方向に対して交差する方向に沿い伸びて配置された磁気的空隙と、を有することを特徴とする。

【0020】

また本発明の構成は、

前記磁気的空隙は第3の永久磁石であることを特徴とする。

【0021】

また本発明の構成は、

前記第1の永久磁石の磁化方向は、前記回転子の半径方向と平行であり、しかも、周方向に隣接する第1の永久磁石では磁化方向が互いに逆方向になっており、

前記第2の永久磁石の磁化方向は、前記回転子の半径方向と交差する方向になっており、しかも、周方向に隣接する第2の永久磁石では磁化方向が互いに逆方向になっており、

前記回転子の各磁極では、前記第1の永久磁石の外周側の面の極性と、前記第2の永久磁石のうち当該磁極側の面の極性が一致しており、

前記第3の永久磁石の外周側の面の極性は、当該第3の永久磁石よりも内周側に配置している前記第1の永久磁石の外周側の面の極性と一致している、ことを特徴とする。

【0022】

また本発明の構成は、

前記第3の永久磁石の周方向の両側面に隣接する部分に、空隙を配置したことを特徴とする。

【0023】

また本発明の構成は、

前記回転子鉄心には、前記第2の永久磁石のうち半径方向の外周側の面から、回転子鉄心の外周面に至る、鉄心開放部が形成されていることを特徴とする。

【0024】

また本発明の構成は、

前記回転子に形成される磁極の周方向角度の半分の角度を 1、

前記第3の永久磁石の周方向の両側面に隣接する部分に配置した空隙と、前記第2の永久磁石との間で、磁束が通る磁路の角度を 2としたときに、

角度比 $2 / 1$ が $0.27 \sim 0.36$ となっていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、回転子鉄心に永久磁石を軸方向に沿い挿入して構成した回転子を備えた磁石埋込型電動機において、

回転子鉄心の内周側に配置された第1の永久磁石と、回転子の周方向に関して隣接する第1永久磁石の間の各位置に回転子の半径方向に伸びてq軸上に配置された第2の永久磁石とを備える他に、複数の第1永久磁石よりも外周側の各位置に、回転子の半径方向に対して交差する方向に沿い伸びて配置された磁気的空隙を有する構成とした。

このような磁気的空隙を有するため、d軸インダクタンス L_d が小さくなり、d軸インダクタンスとq軸インダクタンスとの差が大きくなり、リラクタンストルクが大きくなり

10

20

30

40

50

、併せて高回転領域ではマグネットトルクによる出力低下をリラクタンストルクで補うことができるようになり一定出力での可変速範囲が広がる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の実施例1に係る磁石埋込型電動機の回転子を、回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図。

【図2】角度比を説明するための説明図。

【図3】角度比 $2/1$ と平均トルクとの関係を示す特性図。

【図4】本実施例1の回転子を備えたIPMモータと従来のIPMモータにおける、d軸インダクタンスとq軸インダクタンスとの差を対比して示す特性図。

10

【図5】本実施例1の回転子を備えたIPMモータと従来のIPMモータにおける、回転速度 - モータ出力特性を対比して示す特性図。

【図6】本実施例1の回転子を備えたIPMモータと従来のIPMモータにおける、100%負荷時のトルク波形の解析結果を対比して示す特性図。

【図7】本実施例1の回転子を備えたIPMモータと従来のIPMモータにおける、100%負荷時のトルク波形の解析結果を対比して示す特性図。

【図8】本発明の実施例2に係る磁石埋込型電動機の回転子を、回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図。

【図9】従来の磁石埋込型電動機の回転子を、回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図。

20

【図10】従来の磁石埋込型電動機の回転子を、回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明に係る磁石埋込型電動機を、実施例に基づき詳細に説明する。

【0028】

〔実施例1〕

本発明の実施例1に係る、磁石埋込型電動機の回転子を、回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図である図1を参照して説明する。なお、固定子は通常のものと同様であるため、図示は省略する。

30

【0029】

図1に示すように、回転子100のシャフト101には、多数枚の電磁鋼板を積層して構成された回転子鉄心102が取り付けられている。

【0030】

回転子鉄心102の外周縁よりも内周側の周縁（シャフト101の外周縁よりも外周側の周縁）に沿う複数箇所には、周方向に沿い一定ピッチで矩形の磁石挿入穴110が極数（6極）分だけ形成されている。

この磁石挿入穴110は、回転子100の端面から見たときに（図1に示す状態で見たときに）、回転子100の半径方向に対して直交する方向に沿い長い矩形状になっている。各磁石挿入穴110は、回転子100の軸方向に沿い伸びて貫通している。

40

【0031】

各磁石挿入穴110には矩形の永久磁石111が挿入されている。つまり、永久磁石111が回転子鉄心102に埋め込まれており、回転子100の端面から見たときに（図1に示す状態で見たときに）、永久磁石111は回転子100の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びて配置されている。

各永久磁石111は、回転子100の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子100の径方向と平行な方向となっている。しかも、周方向に隣接する永久磁石111では、磁化方向が互いに反対方向となっている。

【0032】

回転子100の周方向に関して、隣接する磁石挿入穴110（永久磁石111）の間の

50

各位置には、矩形の磁石挿入穴 1 2 0 が形成されている。

この磁石挿入穴 1 2 0 は、回転子 1 0 0 の端面から見たときに（図 1 に示す状態で見たときに）、回転子 1 0 0 の半径方向に沿い長い矩形状になっている。各磁石挿入穴 1 2 0 は、回転子 1 0 0 の軸方向に沿い伸びて貫通している。

【0 0 3 3】

各磁石挿入穴 1 2 0 には矩形の永久磁石 1 2 1 が挿入されている。つまり、永久磁石 1 2 1 が回転子鉄心 1 0 2 に埋め込まれており、回転子 1 0 0 の端面から見たときに（図 1 に示す状態で見たときに）、永久磁石 1 2 1 は回転子 1 0 0 の半径方向に沿い伸びて配置されている。つまり、永久磁石 1 2 1 は、回転子 1 0 0 の半径方向に伸びて q 軸上に配置されている。

10

各永久磁石 1 2 1 は、回転子 1 0 0 の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子 1 0 0 の径方向と直交する方向になっている。しかも、周方向に隣接する永久磁石 1 2 1 では、磁化方向が互いに反対方向となっている。

【0 0 3 4】

複数の各磁石挿入穴 1 1 0（永久磁石 1 1 1）よりも外周側の各位置には、矩形の磁石挿入穴 1 3 0 が形成されている。つまり、複数の各磁石挿入穴 1 1 0（永久磁石 1 1 1）よりも外周側の各位置において、周方向に沿い一定ピッチで矩形の磁石挿入穴 1 3 0 が極数（6 極）分だけ形成されている。この磁石挿入穴 1 3 0 は、回転子 1 0 0 の周方向に関して、隣接する磁石挿入穴 1 1 0（永久磁石 1 1 1）の間の各位置に形成されている。

この磁石挿入穴 1 3 0 は、回転子 1 0 0 の端面から見たときに（図 1 に示す状態で見たときに）、回転子 1 0 0 の半径方向に対して直交する方向に沿い長い矩形状になっている。各磁石挿入穴 1 3 0 は、回転子 1 0 0 の軸方向に沿い伸びて貫通している。

20

【0 0 3 5】

各磁石挿入穴 1 3 0 には矩形の永久磁石 1 3 1 が挿入されている。つまり、永久磁石 1 3 1 が回転子鉄心 1 0 2 に埋め込まれており、回転子 1 0 0 の端面から見たときに（図 1 に示す状態で見たときに）、永久磁石 1 3 1 は回転子 1 0 0 の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びて配置されている。

各永久磁石 1 3 1 は、回転子 1 0 0 の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子 1 3 0 の径方向と平行な方向となっている。しかも、周方向に隣接する永久磁石 1 3 1 では、磁化方向が互いに反対方向となっている。

30

【0 0 3 6】

この場合、回転子 1 0 0 に形成される各磁極は、回転子 1 0 0 の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びて配置された内周側の永久磁石 1 1 1 と、回転子 1 0 0 の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びて配置された外周側の永久磁石 1 3 1 と、回転子 1 0 0 の半径方向に伸びて隣接する q 軸上に配置された一対の永久磁石 1 2 1 , 1 2 1 とで構成されている。

また、永久磁石 1 1 1 , 1 3 1 は、回転子 1 0 0 の周方向に関して、隣接する q 軸（永久磁石 1 2 1）の間に位置している。つまり、永久磁石 1 1 1 , 1 3 1 は d 軸に交差する状態で配置されている。

【0 0 3 7】

40

各磁極において、永久磁石 1 1 1 の外周側の面の極性（S 極、N 極）と、一対の永久磁石 1 2 1 , 1 2 1 のうち当該磁極側の面の極性（S 極、N 極）とが一致している。

また、永久磁石 1 3 1 の磁化方向は、当該永久磁石 1 3 1 よりも内周側に位置している永久磁石 1 1 1 の磁化方向と一致しており、永久磁石 1 3 1 の外周側の面の極性（S 極、N 極）と永久磁石 1 1 1 の外周側の面の極性（S 極、N 極）が一致している。

【0 0 3 8】

なお本例では、回転子 1 0 0 の端面から見たときに（図 1 に示す状態で見たときに）、永久磁石 1 1 1 の長さと永久磁石 1 3 1 の長さを等しくしており、永久磁石 1 1 1 , 1 3 1 を同一寸法の永久磁石で賄うことができるようにしている。

【0 0 3 9】

50

また半径方向に関して、永久磁石 1 1 1 (磁石挿入溝 1 1 0) を、シャフト 1 0 1 から離れた位置に配置している。このため、永久磁石 1 1 1 (磁石挿入溝 1 1 0) とシャフト 1 0 1 との広い範囲に回転子鉄心 1 0 2 が存在することになる結果、回転子鉄心 1 0 2 からシャフト 1 0 1 に伝達する軸トルクに対する強度を増やすことができる。またシャフト 1 0 1 を回転子鉄心 1 0 2 に圧入する強度を高めることができる。

【0040】

また回転子 1 0 0 の周方向に関して、隣接する q 軸の間のすべての領域 (部分) が、1 つの磁極になっているため、1 磁極あたりに通す磁束量を多くすることができる。

ちなみに、1 つの磁極が、隣接する q 軸の間の一部の領域 (部分) で形成されている場合には、1 磁極あたりに通す磁束量が制限されてしまう。

10

【0041】

各永久磁石 1 1 1 の両側面 (周方向の両側面) に隣接する部分には、空隙 1 1 2, 1 1 2 を配置している。つまり、磁石挿入穴 1 1 0 は永久磁石 1 1 1 よりも大きくなっており、磁石挿入穴 1 1 0 のうち永久磁石 1 1 1 で塞がれていない部分 (各永久磁石 1 1 1 の両側面に隣接する部分) が、空隙 1 1 2, 1 1 2 になっている。

空隙 1 1 2, 1 1 2 は、永久磁石 1 2 1 の近くにまで伸びている。

【0042】

空隙 1 1 2, 1 1 2 は磁氣的抵抗が大きいため、空隙 1 1 2, 1 1 2 を配置することにより、永久磁石 1 1 1 の一方の磁極面と他方の磁極面との間での磁束の短絡や、永久磁石 1 2 1 の一方の磁極面と他方の磁極面との間での磁束の短絡を可能な限り防止している。

20

【0043】

各永久磁石 1 3 1 の両側面 (周方向の両側面) に隣接する部分には、空隙 1 3 2, 1 3 2 を配置している。つまり、磁石挿入穴 1 3 0 は永久磁石 1 3 1 よりも大きくなっており、磁石挿入穴 1 3 0 のうち永久磁石 1 3 1 で塞がれていない部分 (各永久磁石 1 3 1 の両側面に隣接する部分) が、空隙 1 3 2, 1 3 2 になっている。

空隙 1 3 2, 1 3 2 は、回転子鉄心 1 0 2 の外周面の近くにまで伸びている。

【0044】

空隙 1 3 2, 1 3 2 は磁氣的抵抗が大きいため、空隙 1 3 2, 1 3 2 を配置することにより、永久磁石 1 3 1 の一方の磁極面と他方の磁極面との間での磁束の短絡を可能な限り防止している。

30

【0045】

永久磁石 1 2 1 のうち空隙 1 3 2 側の辺 (半径方向に沿って伸びる辺) と、空隙 1 3 2 のうち永久磁石 1 2 1 側の辺は、本例では並行になっている。

そして、永久磁石 1 2 1 のうち空隙 1 3 2 側の辺 (半径方向に沿って伸びる辺) と、空隙 1 3 2 のうち永久磁石 1 2 1 側の辺との間隔 (つまり、両辺の間に存在する回転子鉄心 1 0 2 の寸法) は、d 軸磁束及び q 軸磁束を十分に通過させることができる間隔 (寸法) になっている。この間隔を規定する「角度比」については後述する。

【0046】

回転子鉄心 1 0 2 には、各永久磁石 1 2 1 のうち半径方向の外周側の面から、回転子鉄心 1 0 2 の外周面に至る、鉄心開放部 1 0 3 が形成されている。鉄心開放部 1 0 3 は、回転子 1 0 0 の軸方向に沿って伸びている。

40

この鉄心開放部 1 0 3 があるため、回転子鉄心 1 0 2 の外周側において、永久磁石 1 2 1 の一方の磁極面と他方の磁極面との間での磁束の短絡を防止している。

【0047】

ここで、図 2 を参照して「角度比」について説明する。

図 2 において、シャフト 1 0 1 の回転中心からみて、隣接する q 軸間の開き角度を、「磁極の周方向角度」と定義して規定する。そして、「磁極の周方向角度」の半分の角度を 1 とする。

また、d 軸磁束及び q 軸磁束が通る磁路、つまり、永久磁石 1 2 1 のうち空隙 1 3 2 側の辺 (半径方向に沿って伸びる辺) と空隙 1 3 2 のうち永久磁石 1 2 1 側の辺との間で回転

50

子鉄心 102 が存在する部分の角度を θ_2 と定義して規定する。角度 θ_2 について更に説明すると、シャフト 101 の回転中心からみて、永久磁石 121 の角部 P1 と空隙 132 の角部 P2 との間の開き角度を θ_2 と定義して規定する。

本実施例では、角度比 θ_2 / θ_1 を 0.27 ~ 0.36 としている。

【0048】

上記構成となっている回転子 100 を備えた IPM モータでは、次のような顕著な効果を奏することができる。

【0049】

(第1の効果)

回転子鉄心 102 において、内周側の永久磁石 111 よりもの外周側の部分に、永久磁石 131 と磁石挿入穴 110 及び空隙 112 が、d 軸に交差する状態で配置されている。これら永久磁石 131 と磁石挿入穴 110 及び空隙 112 は、磁気抵抗が大きいため、d 軸磁束が小さくなって d 軸インダクタンス L_d が小さくなり、d 軸インダクタンス L_d と q 軸インダクタンス L_q との差が大きくなり、リラクタンストルクが大きくなる。

またリラクタンストルクが大きくなるため、高回転領域ではマグネットトルクによる出力低下をリラクタンストルクで補うことができるようになり、一定出力での可変速範囲が広がる。

【0050】

(第2の効果)

図 10 に示す従来の回転子 20 の構成に対して、本実施例の回転子 100 では、永久磁石 131 が増えるため、マグネットトルクを増大させることができる。

【0051】

(第3の効果)

本実施例の回転子 100 では、空隙 112、空隙 132 及び鉄心開放部 103 を設けることにより、各永久磁石 111、121、131 の磁束の短絡（永久磁石の漏れ磁束）を抑えることができ、これによってもマグネットトルクを増大させることができる。

【0052】

(第4の効果)

本実施例の回転子 100 では、角度比 θ_2 / θ_1 を 0.27 ~ 0.36 としているため平均トルクが、この角度範囲で最大となる。

図 3 は角度比 θ_2 / θ_1 と平均トルクとの関係を示している。図 3 において、トータルトルクは、リラクタンストルクとマグネットトルクを合わせたトルクであり、トータルトルクは、角度比 θ_2 / θ_1 が 0.3 のときに最大となる。

この最大トータルトルクに対して、トータルトルクが最大で 1 パーセント小さい範囲が、角度比 θ_2 / θ_1 が 0.27 ~ 0.36 となっている範囲である。

【0053】

もちろん、角度比 θ_2 / θ_1 が 0.27 ~ 0.36 であれば、理想的に大きなトルクがえられるが、この角度比の範囲を外れた範囲であっても、上述した第 1 ~ 第 3 の効果を得ることができる。

【0054】

ここで、本実施例 1 の回転子 100 を備えた IPM モータの特性と、図 10 に示す回転子 20 を備えた IPM モータの特性を対比して示す。図 4 は d 軸インダクタンスと q 軸インダクタンスとの差を示しており、図 5 は回転速度 - モータ出力特性を示している。

なお、本実施例 1 の回転子 100 を備えた IPM モータと、図 10 に示す回転子 20 を備えた IPM モータを比較する際に、両者とも、固定子は 36 スロットで、巻線や寸法も同じとし、モータ特性は有限要素法による磁界解析により算定した。

【0055】

図 4 より、実施例 1 の回転子 100 を備えた IPM モータは、図 10 に示す回転子 20 を備えた IPM モータよりも、d 軸インダクタンス L_d と q 軸インダクタンス L_q の差が、30 パーセント以上大きいことがわかる。

また図5より、回転子20を備えたIPMモータは回転速度が大きくなると一定出力での可変速駆動はできないが、回転子100を備えたIPMモータでは、 1000 min^{-1} から 8000 min^{-1} までの広い範囲で一定出力の可変速駆動が可能であることがわかる。

【0056】

図6及び図7は、本実施例1の回転子100を備えたIPMモータと、図10に示す回転子20を備えたIPMモータの、100%負荷時のトルク波形の解析結果を示す。図6及び図7より、実施例1の回転子100を備えたIPMモータの方が、回転子20を備えたIPMモータに比べて、トルク脈動を約10パーセント小さくすることができることがわかる。

10

回転子100を備えたIPMモータにおいては、永久磁石131及び鉄心開放部103を設け、この永久磁石131及び鉄心開放部103の寸法を最適値に設定することにより、トルク脈動を小さくすることができたのである。

【0057】

〔実施例2〕

次に本発明の実施例2に係る回転子100Aを、回転軸心に対して直交する面で破断して示す断面図である図8を参照して説明する。なお、第1の実施例に係る回転子100と同一部分には同一符号を付し、重複する部分の説明は省略する。

【0058】

図8に示すように、回転子鉄心102の外周縁よりも内周側の周縁（シャフト101の外周縁よりも外周側の周縁）に沿う複数箇所には、周方向に沿い一定ピッチで、2個で一組となった矩形の磁石挿入穴110a, 110bが極数（6極）分だけ形成されている。

20

この磁石挿入穴110a, 110bは、回転子100の端面から見たときに（図8に示す状態で見たとときに）、相互に離間して両者間に回転子鉄心102が存在する状態で、回転子100の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びた矩形状になっている。

各磁石挿入穴110a, 110bは、回転子100の軸方向に沿い伸びて貫通していると共に、磁石挿入穴120に連通している。

【0059】

各磁石挿入穴110a, 110bには、矩形の永久磁石111a, 111bが挿入されている。つまり、永久磁石111a, 111bが回転子鉄心102に埋め込まれており、回転子100の端面から見たときに（図8に示す状態で見たとときに）、永久磁石111a, 111bは、相互に離間して両者間に回転子鉄心102が存在する状態で、回転子100の半径方向に対して直交する方向に沿い伸びて配置されている。

30

各永久磁石111a, 111bは、回転子100の軸方向に沿い伸びており、その磁化方向は、回転子100の径方向と平行な方向となっている。しかも、同じ磁極においては、永久磁石111a, 111bはその磁化方向が同一となると共に、隣接する磁極の永久磁石111a, 111bでは、その磁化方向が互いに反対方向となっている。

【0060】

各永久磁石111a, 111bのうち、永久磁石121側の面に隣接する部分には、空隙112a, 112bを配置している。つまり、磁石挿入穴110a, 110bは永久磁石111a, 111bよりも大きくなっており、磁石挿入穴110a, 110bのうち永久磁石111a, 111bで塞がれていない部分（各永久磁石111a, 111bのうち永久磁石121側の部分）が、空隙112a, 112bになっている。

40

空隙112a, 112bは、磁石挿入穴120に連通して永久磁石121に接している。

【0061】

他の部分は実施例1の回転子100と同様な構成になっている。

【0062】

この実施例2の回転子100Aでは、磁石挿入孔110Aと磁石挿入孔110bとの間に回転子鉄心102が存在するため、回転子100Aの機械的強度を上げることができる

50

。

【 0 0 6 3 】

〔 実施例 3 〕

上記の実施例 1 , 2 の変形例を、実施例 3 として以下に説明する。

【 0 0 6 4 】

上記の実施例 1 , 2 では永久磁石 1 3 1 を備えているが、永久磁石 1 3 1 を備えていない構成を採用することもできる。

つまり、磁石挿入穴 1 3 0 及び空隙 1 3 2 は形成するが、磁石挿入穴 1 3 0 内に永久磁石 1 3 1 を挿入・配置しない構成を採用するのである。

【 0 0 6 5 】

このようにすると、磁石挿入穴 1 3 0 及び空隙 1 3 2 は、磁束を通し難い「磁氣的空隙」となるため、d 軸磁束が小さくなって d 軸インダクタンス L_d が小さくなり、d 軸インダクタンス L_d と q 軸インダクタンス L_q との差が大きくなり、リラクタンストルクが大きくなる。またリラクタンストルクが大きくなるため、高回転領域ではマグネットトルクによる出力低下をリラクタンストルクで補うことができるようになり、一定出力での可変速範囲が広がる。

【 0 0 6 6 】

なお、磁氣的空隙となる磁石挿入穴 1 3 0 及び空隙 1 3 2 に、磁束を通し難い材料（アルミニウムや接着剤）などを挿入していてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 7 】

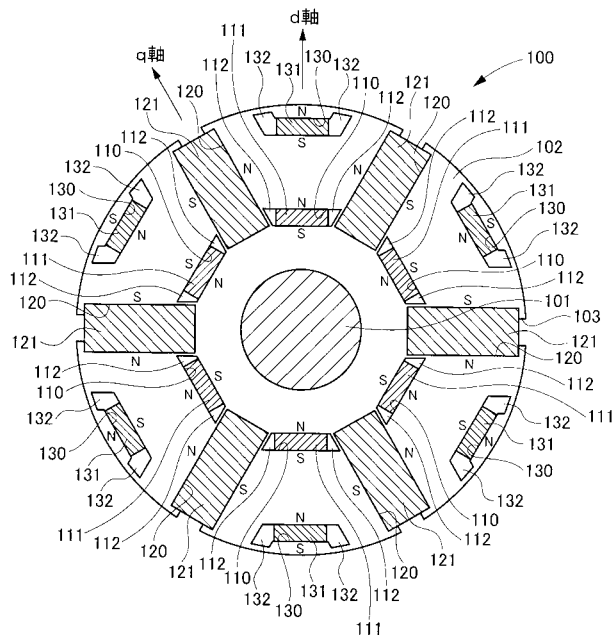
- 1 0 0 , 1 0 0 A 回転子
- 1 0 1 シャフト
- 1 0 2 回転子鉄心
- 1 0 3 鉄心開放部
- 1 1 0 , 1 1 0 a , 1 1 0 b 磁石挿入穴
- 1 1 1 , 1 1 1 a , 1 1 1 b 第 1 の永久磁石
- 1 1 2 , 1 1 2 a , 1 1 2 b 空隙
- 1 2 0 磁石挿入穴
- 1 2 1 第 2 の永久磁石
- 1 3 0 磁石挿入穴
- 1 3 1 第 3 の永久磁石
- 1 3 2 空隙

10

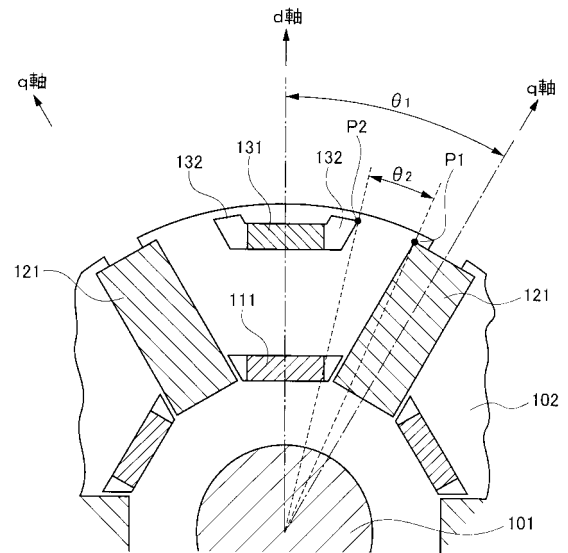
20

30

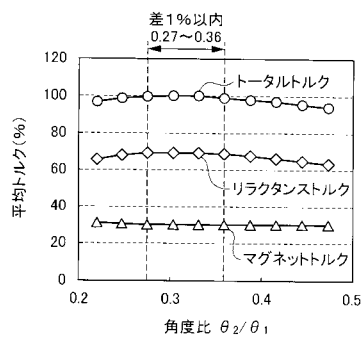
【図 1】



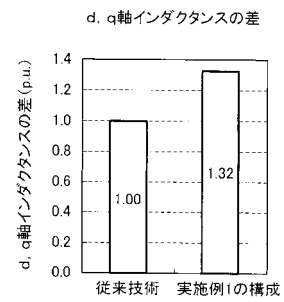
【図 2】



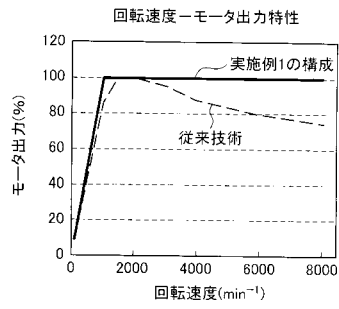
【図 3】



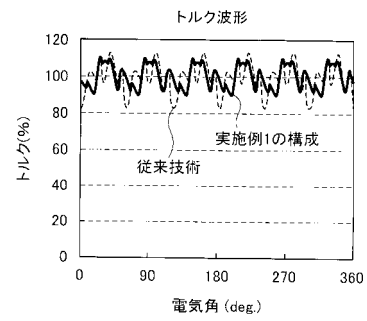
【図 4】



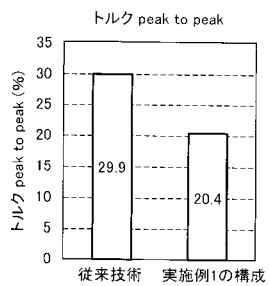
【図 5】



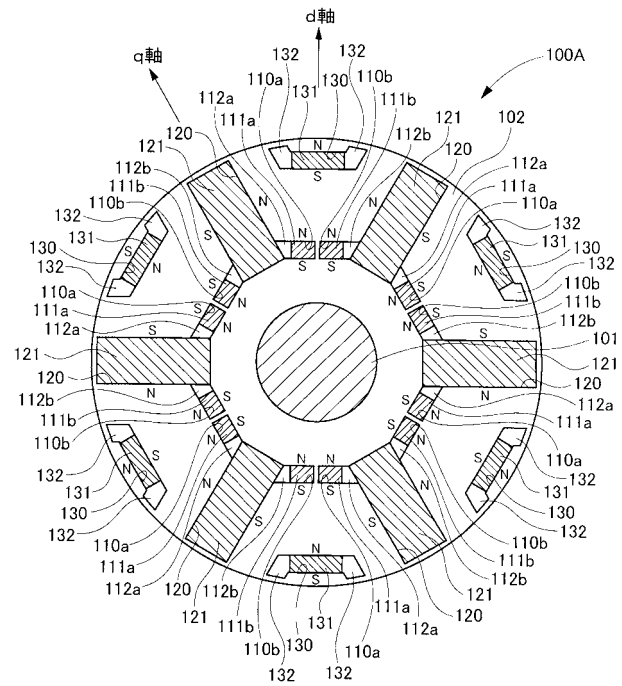
【図 6】



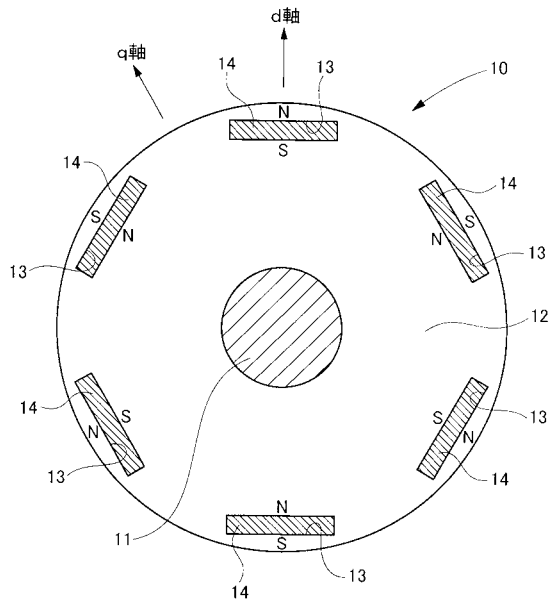
【図 7】



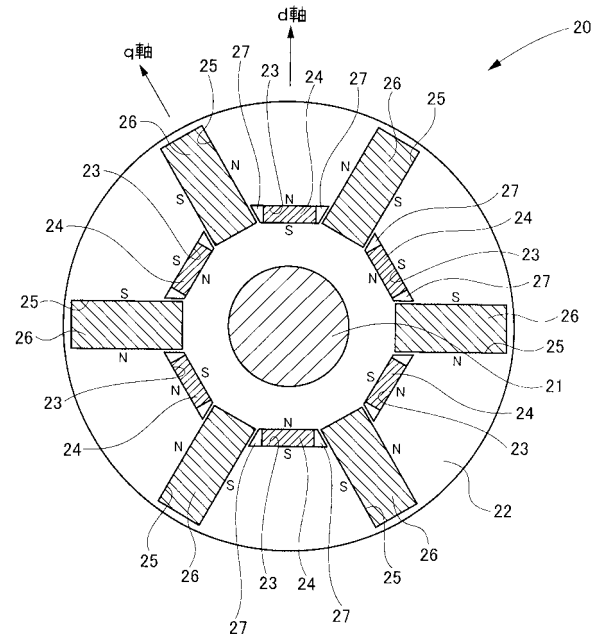
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 沖津 隆志
東京都品川区大崎二丁目1番1号 株式会社明電舎内
- (72)発明者 松橋 大器
東京都品川区大崎二丁目1番1号 株式会社明電舎内
- (72)発明者 太田 智
東京都品川区大崎二丁目1番1号 株式会社明電舎内
- (72)発明者 松尾 圭祐
東京都品川区大崎二丁目1番1号 株式会社明電舎内
- Fターム(参考) 5H622 AA03 CA02 CA07 CB03 CB05 PP03