

(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2019-186972

(P2019-186972A)

(43) 公開日 令和1年10月24日(2019.10.24)

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

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2018-70432 (P2018-70432)	(71) 出願人	000100872
(22) 出願日	平成30年3月30日 (2018. 3. 30)		アイチエレクトリック株式会社
			愛知県春日井市愛知町2番地
		(74) 代理人	100106725
			弁理士 池田 敏行
		(74) 代理人	100105120
			弁理士 岩田 哲幸
		(72) 発明者	佐藤 光彦
			愛知県春日井市愛知町2番地 アイチエレクトリック株式会社内
		(72) 発明者	金子 清一
			愛知県春日井市愛知町2番地 アイチエレクトリック株式会社内
		Fターム(参考)	5H622 AA03 CA02 CA05 CA10 CA13 CB03 CB05 DD02

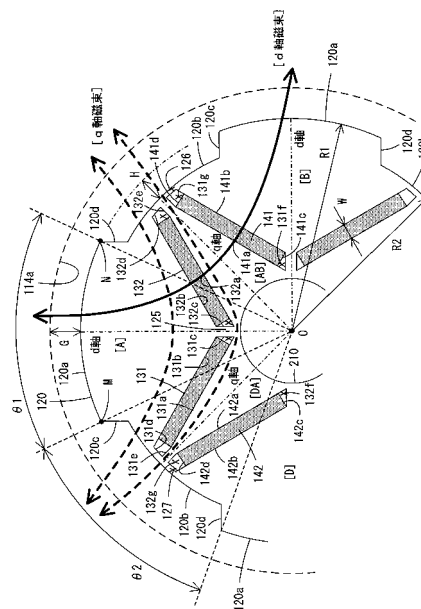
(54) 【発明の名称】 永久磁石電動機

(57) 【要約】

【課題】リラクタンストルクの低下を許容しながら、効率を向上させることができる技術を提供する。

【解決手段】固定子巻線は、集中巻き方式でティースに巻き付けられている。回転子120は、周方向に沿って主磁極[A]～[D]と補助磁極[AB]～[DA]が交互に配置されているとともに、主磁極[A]～[D]に形成されている磁石挿入孔131、132に挿入されている永久磁石141、142を有している。回転子120の外周面は、主磁極[A]～[D]のd軸と交差する第1外周面部分120aと、補助磁極[AB]～[DA]のq軸と交差する第2外周面部分120bを有している。磁石挿入孔131、132の幅Wと、第1外周面部分120aと第2外周面部分120bとの間のq軸上の間隔(第2外周面部分120bの深さ)Hは、d軸インダクタンスLdとq軸インダクタンスLqが、 $0.9 \leq (Lq/Ld) \leq 1.1$ を満足するように設定される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定子と回転子を備え、前記固定子は、周方向に隣接して配置されている複数のティースに巻き付けられている固定子巻線と、固定子内側空間を形成する固定子内周面を有し、前記回転子は、前記固定子内側空間内に回転可能に配置され、周方向に沿って主磁極と補助磁極が交互に配置されているとともに、前記主磁極に磁石挿入孔が形成されており、前記磁石挿入孔に永久磁石が挿入されている永久磁石電動機であって、

前記固定子巻線は、前記複数のティースに集中巻き方式で巻き付けられており、

前記回転子の外周面は、前記主磁極の d 軸と交差する第 1 外周面部分と、前記補助磁極の q 軸と交差し、前記第 1 の外周面部分より径方向内側に形成されている第 2 外周面部分を有し、

前記回転子の直径 D は、 $[45\text{ mm} \leq D \leq 90\text{ mm}]$ を満足するように設定され、

前記第 1 外周面部分と前記固定子内周面との間の距離 G は、 $[0.45\text{ mm} \leq G \leq 0.65\text{ mm}]$ を満足するように設定され、

前記回転子の中心に対する前記第 1 外周面部分の開角度 θ_1 は、 $[(50/P)\text{ 度} \leq \theta_1 \leq (60/P)\text{ 度}]$ (P: 回転子の極対数) を満足するように設定され、

前記距離 G、前記磁石挿入孔の幅 W および前記第 1 外周面部分と前記第 2 外周面部分との間の q 軸上の距離 H は、d 軸インダクタンス L_d と q 軸インダクタンス L_q が、 $[0.9 \leq (L_q/L_d) \leq 1.1]$ を満足するように設定されていることを特徴とする永久磁石電動機。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の永久磁石電動機であって、

前記回転子の外周面は、前記第 1 外周面部分と前記第 2 外周面部分との間に、直線状に延在する接続部分を有することを特徴とする永久磁石電動機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転子に形成された磁石挿入孔に永久磁石が挿入されている永久磁石電動機に関する。

【背景技術】

【0002】

圧縮機、空調器、車載機器等の駆動装置として永久磁石電動機が用いられている。例えば、特許文献 1 (特開 2001-211582 号公報) に開示されている永久磁石電動機が知られている。特許文献 1 に開示されている永久磁石電動機は、固定子と回転子を備え、回転子は、磁石挿入孔に挿入されている永久磁石を有している。永久磁石としては、安価なフェライト磁石や、フェライト磁石より高価であるが、残留磁束密度や保持力が大きい希土類磁石、例えば、ネオジウム (Nd) と鉄 (Fe) を含むネオジウム磁石が用いられる。

永久磁石電動機のトルク T は、永久磁石による磁束量を Φ 、q 軸電流を I_q 、d 軸電流を I_d 、q 軸インダクタンスを L_q 、d 軸インダクタンスを L_d 、回転子の極対数を P とすると、以下の式で表される。

$$T = P [\Phi \cdot I_q + (L_d - L_q) I_d \cdot I_q]$$

上式の右辺の第 1 項は、永久磁石の磁束によるマグネットトルクを示し、第 2 項は、回転子の突極性 (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) によるリラクタンストルクを示している。

ここで、 $(L_q > L_d)$ に設定するとともに、固定子巻線の電流を進角制御することによってリラクタンストルクが正となり、マグネットトルクとリラクタンストルクの和であるトルク T が増加する。

このため、従来の永久磁石電動機では、リラクタンストルクを有効に利用して永久磁石電動機のトルク T を増加させるために、q 軸インダクタンス L_q が d 軸インダクタンス L

10

20

30

40

50

dより大きくなるように構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2001-211582号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の永久磁石電動機では、リラクタンストルクを利用して、永久磁石の使用量を低減するために、q軸インダクタンス L_q がd軸インダクタンス L_d より大きくなるように構成されている。

ここで、本発明者は、d軸インダクタンス L_d に対するq軸インダクタンス L_q の比(L_q/L_d)と永久磁石電動機の効率(鉄損や銅損)との関係について検討した。その結果、比(L_q/L_d)が大きくなると、すなわち、q軸インダクタンス L_q がd軸インダクタンス L_d に比べて大きくなると、鉄損が増加して、効率が低下することが分かった。なお、比(L_q/L_d)を小さくすると、リラクタンストルクが小さくなる。

また、近年、希土類磁石の性能を高める技術が開発されている。例えば、特開2008-263179号公報や特開2009-289994号公報に、ネオジウム磁石の外周面からディスプロシウム(Dy)やテルビウム(Tb)を拡散させることによってネオジウム磁石の保持力を高める技術が開示されている。

このような高性能の永久磁石を用いることにより、マグネットトルクによって所望のトルク全部あるいは大部分を確保することができるようになった。一方、このような場合において、比(L_q/L_d)が大きいと、鉄損が増加して効率を向上させることができない。

本発明は、このような点に鑑みて創案されたものであり、効率の向上に重点をおき、リラクタンストルクの低下を許容しながら、効率を向上させることができる技術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】

【0005】

本発明の永久磁石電動機は、固定子と回転子を備えている。

固定子は、周方向に隣接して配置されている複数のティースと、複数のティースに巻き付けられている固定子巻線と、固定子内側空間を形成する固定子内周面を有している。好適には、固定子は、周方向に沿って延在するヨークと、ヨークから径方向に沿って径方向内側に延在する複数のティースを有し、各ティースの先端側のティース先端面によって固定子内側空間が形成される。また、本発明の永久磁石電動機では、固定子巻線が集中巻き方式で各ティースに巻き付けられている集中巻き永久磁石電動機として構成されている。固定子巻線を集中巻方式で巻き付けることにより、分布巻方式で巻き付ける場合に比べて巻線作業が容易であり、銅損が少なく、また、小型に製造することができる。

回転子は、固定子内側空間内に回転可能に配置されている。また、回転子は、周方向に沿って主磁極と補助磁極が交互に配置されているとともに、主磁極に、軸方向に沿って延在する磁石挿入孔が形成されている。そして、磁石挿入孔に永久磁石が挿入されている。永久磁石としては、好適には、性能が高められた希土類磁石、例えば、ディスプロシウム(Dy)やテルビウム(Tb)が拡散されたネオジウム磁石が用いられる。もちろん、ネオジウム磁石等の高性能の希土類磁石を用いることもできる。磁石挿入孔に挿入された永久磁石によって、主磁極と補助磁極が規定され、また、主磁極のd軸と補助磁極のq軸が規定される。なお、d軸は、回転子の中心と主磁極の周方向中央を結ぶ線として規定され、q軸は、回転子の中心と補助磁極の周方向中央を結ぶ線として規定される。

回転子の外周面は、主磁極のd軸と交差する第1外周面部分と、補助磁極のq軸と交差する第2外周面部分を有している。第2外周面部分は、第1の外周面部分より径方向内側に配置されている。第1外周面部分と第2外周面部分は、好適には、回転子の中心を中心

10

20

30

40

50

点とする、異なる半径の円弧形状を有している。もちろん、第1外周面部分や第2外周面部分の形状は、これに限定されない。

本発明は、直径Dが $[45\text{ mm} \leq D \leq 90\text{ mm}]$ の範囲内に設定されている回転子を備える永久磁石電動機として構成される。

また、第1外周面部分と固定子内周面との間の距離（エアギャップ）Gが、 $[0.45\text{ mm} \leq G \leq 0.65\text{ mm}]$ の範囲内に設定されている。距離Gが0.45 mmより短い場合には、エアギャップ中の空間高調波が増加する。このため、鉄損が増加する。距離Gが0.65 mmより長い場合には、エアギャップの磁気抵抗が増大する。このため、固定子巻線に流す電流を増大させる必要があり、銅損が増大する。

また、回転子の中心に対する第1外周面部分の開角度 θ_1 が、 $[(50/P)\text{度} \leq \theta_1 \leq (60/P)\text{度}]$ （P：回転子の極対数）の範囲内に設定されている。回転子の直径Dが $[45\text{ mm} \leq D \leq 90\text{ mm}]$ の範囲内に設定されている集中巻き方式の永久磁石電動機では、第1外周面部分の開角度 θ_1 が、 $(50/P)\text{度}$ より小さい場合、あるいは、 $(60/P)\text{度}$ より大きい場合には、コギングトルクが増加し、騒音や振動が増大する。

そして、距離G、磁石挿入孔の幅Wおよび第1外周面部分と第2外周面部分との間のq軸上の距離（第2外周面部分の、q軸上の深さ）Hは、d軸インダクタンス L_d に対するq軸インダクタンス L_q の比 (L_q/L_d) が、 $[0.9 \leq (L_q/L_d) \leq 1.1]$ の範囲内となるように設定されている。 (L_q/L_d) が0.9より小さい場合には、鉄損および銅損が増加して効率が低下する。 (L_q/L_d) が1.1より大きい場合には、鉄損が増大して効率が低下する。すなわち、 (L_q/L_d) が、0.9と1.1の範囲内に

設定されていることにより、永久磁石電動機の効率を向上させることができる。

本発明では、リラクタンストルクの低下を許容しながら、効率を向上させることができる。

本発明の他の形態では、回転子の外周面は、第1外周面部分と第2外周面部分との間に、直線状に延在する接続部分を有する。接続部分は、好適には、d軸に平行（「略平行」を含む）に直線状に延在するように形成されるが、径方向に平行（「略平行」を含む）に直線状に延在するように形成することもできる。接続部分が直線状に延在していると、第1外周面部分と第2外周面部分との間の磁気抵抗が大きく変化する。これにより、磁束が第1外周面部分に集中し、効率が向上する。

本形態では、第2外周面部分を容易に形成することができる。

【発明の効果】

【0006】

本発明の永久磁石電動機では、リラクタンストルクの低下を許容しながら、効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1実施形態の永久磁石電動機の断面図である。

【図2】図1の要部拡大図である。

【図3】第2外周面部分の深さHと、d軸インダクタンス L_d 、q軸インダクタンス L_q および効率との関係を示すグラフである。

【図4】第2実施形態の永久磁石電動機の回転子の断面図である。

【図5】第3実施形態の永久磁石電動機の回転子の断面図である。

【図6】第4実施形態の永久磁石電動機の回転子の断面図である。

【図7】第5実施形態の永久磁石電動機の回転子の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下に、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。

なお、本明細書中では、「軸方向」という記載は、回転子が固定子に対して回転可能に配置されている状態において、回転子の中心（回転中心）を通る回転中心線の延在方向を示す。「周方向」という記載は、回転子が固定子に対して回転可能に配置されている状態

10

20

30

40

50

において、軸方向に直交する方向から見て、回転子の中心を中心点とする円周方向を示す。「径方向」という記載は、回転子が固定子に対して回転可能に配置されている状態において、軸方向に直交する方向から見て、回転子の中心を通る方向を示す。

【0009】

本発明の永久磁石電動機の第1実施形態100を、図1、図2を参照して説明する。図1は、第1実施形態の永久磁石電動機100の断面図であり、図2は、図1の要部拡大図である。

永久磁石電動機100は、固定子110と、固定子110に対して回転可能に支持されている回転子120により構成されている。

固定子110は、板状の電磁鋼板を複数枚積層して形成された固定子コアにより構成されている。固定子110は、周方向に沿って延在するヨーク111と、ヨーク111から径方向に沿って回転中心O側（径方向内側）に延在するティース112を有している。ティース112は、径方向に沿って延在するティース基部113と、ティース基部113の径方向内側に連設され、周方向に沿って延在するティース先端部114により形成されている。ティース先端部114の径方向内側には、ティース先端面114aが形成されている。ティース先端面114aは、回転中心Oを中心点とする円弧形状に形成されている。各ティース112のティース先端面114aによって、固定子110の内側に固定子内側空間が形成される。ティース先端面114aが、本発明の「固定子内周面」に対応する。

周方向に隣接するティース112によりスロット115が形成されている。

本実施形態の永久磁石電動機100では、ティース112（スロット115）が6個設けられている（6スロット）。そして、固定子巻線（図示省略）は、集中巻き方式で各ティース112（詳しくは、ティース基部113）に巻き付けられている。

固定子巻線を集中巻き方式で巻き付ける方法としては、種々の方法を用いることができる。例えば、固定子110の軸方向両側に、絶縁特性を有する樹脂により形成された樹脂ボbinを配置する。樹脂ボbinは、周方向および軸方向に沿って延在する外壁部、外壁部より径方向内側に配置され、周方向および軸方向に沿って延在する複数の内壁部、外壁部と各内壁部を連結するように径方向に沿って延在する複数の連結部、外壁部、内壁部および連結部により形成される凹部を有する。樹脂ボbinは、外壁部、連結部および内壁部が、それぞれ固定子110のヨーク111、ティース基部113およびティース先端部114に対向する位置に配置される。そして、樹脂ボbinを固定子110の軸方向両側に配置した状態で、樹脂ボbinの各連結部を介して固定子110の各ティース112（ティース基部113）に固定子巻線を巻き付ける。

固定子巻線を集中巻方式で巻き付けることにより、分布巻方式で巻き付ける場合に比べて、巻線作業が容易であり、銅損が少なく、また、小型に製造することができる。

【0010】

回転子120は、板状の電磁鋼板を複数枚積層して形成された回転子コアにより構成されている。回転子120は、内周面210により形成される回転軸挿入孔に回転軸（図示省略）が挿入され、固定子110の固定子内側空間内に回転可能に配置されている。本実施形態では、回転子120は、第1外周面部分120a（後述する）とティース先端面114a（固定子内周面）との間に空隙（エアギャップ）Gが保持されるように配置されている。

回転子120は、周方向に沿って主磁極[A]～[D]と補助磁極[AB]～[DA]が交互に配置されている。本実施形態では、回転子120の主磁極の数（極数）が4に設定されている。すなわち、4極構造の回転子120を有している。

各主磁極には磁石挿入孔131、132が形成され、磁石挿入孔131、132には永久磁石141、142が挿入されている。永久磁石141、142としては、好適には、性能が高められた希土類磁石、例えば、ディスプロシウム(Dy)やテルビウム(Tb)が拡散されたネオジウム磁石が用いられる。もちろん、所望のトルクに応じて、ネオジウム磁石等の希土類磁石を用いることもできる。

永久磁石141、142によって、主磁極[A]～[D]と補助磁極[AB]～[DA]

10

20

30

40

50

」が規定され、また、主磁極 [A] ～ [D] の d 軸と補助磁極 [AB] ～ [DA] の q 軸が規定される。

d 軸は、回転中心 O と主磁極 [A] ～ [D] の周方向中心を結ぶ線として規定され、q 軸は、回転中心 O と補助磁極 [AB] ～ [DA] の周方向中心を結ぶ線として規定される。

【0011】

回転子 120 の外周面は、d 軸と交差する第 1 外周面部分 120 a、q 軸と交差し、第 1 外周面部分 120 a より径方向内側に配置されている第 2 外周面部分 120 b、第 1 外周面部分 120 a と第 2 外周面部分 120 b を接続する接続部分 120 c および 120 d を有している。

本実施形態では、第 1 外周面部分 120 a は、回転中心 O を中心点とする半径 R1 の円弧形状を有し、第 2 外周面部分 120 b は、回転中心 O を中心点とする半径 R2 (< R1) の円弧形状を有している。また、接続部分 120 c、120 d は、d 軸に平行（「略平行」を含む）に直線状に延在している。接続部分 120 c、120 d は、回転中心 O を通る径方向に平行（「略平行」を含む）に直線状に延在するように形成することもできる。なお、第 1 外周面部分 120 a、第 2 外周面部分 120 b、接続部分 120 c、120 d の形状は、これに限定されない。

【0012】

本実施形態では、主磁極 [A] ～ [D] には、直線状に延在する第 1 磁石挿入孔 131 と第 2 磁石挿入孔 132 が、d 軸を挟んで両側に、回転中心 O 側に飛び出ている V 字を構成するように形成されている。

第 1 磁石挿入孔 131 は、内周側壁部 131 a、外周側壁部 131 b、内周側端壁部 131 c、外周側端壁部 131 d、連結用端壁部 131 e を有している。第 2 磁石挿入孔 132 は、内周側壁部 132 a、外周側壁部 132 b、内周側端壁部 132 c、外周側端壁部 132 d、連結用端壁部 132 e を有している。

第 1 磁石挿入孔 131 と第 2 磁石挿入孔 132 の間には、d 軸に平行（「略平行」を含む）に延在する内周側端壁部 131 c と 132 c によって中央ブリッジ部 125 が形成されている。また、第 1 磁石挿入孔 131 と第 2 外周面部分 120 b の間には、外周ブリッジ部 126 が形成され、第 2 磁石挿入孔 132 と第 2 外周面部分 120 b の間には、外周ブリッジ部 127 が形成されている。また、q 軸に平行（「略平行」を含む）に延在する第 1 磁石挿入孔 131 の連結用端壁部 131 e と第 2 磁石挿入孔 132 の連結用端壁部 132 e によって、第 1 磁石挿入孔 131 と第 2 磁石挿入孔 132 の間に通路が形成されている。

第 1 磁石挿入孔 131 と第 2 磁石挿入孔 132 には、第 1 永久磁石 141 と第 2 永久磁石 142 が挿入されている。

第 1 永久磁石 141 は、内周壁 141 a、外周壁 141 b、内周側端壁 141 c、外周側端壁 141 d により、断面が四角形状に形成されている。第 1 永久磁石 141 の内周側端壁 141 c と第 1 磁石挿入孔 131 の内周側端壁部 131 c との間に空隙部 131 f が形成され、第 1 永久磁石 141 の外周側端壁 141 d と第 1 磁石挿入孔 131 の外周側端壁部 131 d との間に空隙部 131 g が形成されている。第 2 永久磁石 142 は、内周壁 142 a、外周壁 142 b、内周側端壁 142 c、外周側端壁 142 d により、断面が四角形状に形成されている。第 2 永久磁石 142 の内周側端壁 142 c と第 2 磁石挿入孔 132 の内周側端壁部 132 c との間に空隙部 132 f が形成され、第 2 永久磁石 142 の外周側端壁 142 d と第 2 磁石挿入孔 132 の外周側端壁部 132 d との間に空隙部 132 g が形成されている。

【0013】

本実施形態の永久磁石電動機 100 の回転子 120 は、直径 D が、 $[45\text{ mm} \leq D \leq 90\text{ mm}]$ の範囲内に設定されている。

また、第 1 外周面部分 120 a とティース先端面 114 a（固定子内周面）との間の距離（エアギャップ）G が、 $[0.45\text{ mm} \leq G \leq 0.65\text{ mm}]$ の範囲内に設定されてい

10

20

30

40

50

る。距離 G が 0.45 mm より短い場合には、エアギャップ中の空間高調波が増加する。このため、鉄損が増加する。距離 G が 0.65 mm より長い場合には、エアギャップの磁気抵抗が増大する。このため、固定子巻線に流す電流を増大させる必要があり、銅損が増大する。

また、回転中心 O に対する第 1 外周面部分 120a の開角度 θ_1 が、 $[(50/P)\text{度}] \leq \theta_1 \leq [(60/P)\text{度}]$ の範囲内に設定されている。なお、 P は、回転子 120 の極対数（本実施形態では「2」）である。第 1 外周面部分 120a の開角度 θ_1 は、第 1 外周面部分 120a と周方向一方側の接続部分 120c との接続点 M と、第 1 外周面部分 120a と周方向他方側の接続部分 120d との接続点 N の間の角度である。回転中心 O に対する第 2 外周面部分 120b の開角度 θ_2 は、回転子 120 の極対数 P と第 1 外周面部分 120a の開角度 θ_1 によって定まる。回転子の直径 D が $[45\text{ mm} \leq D \leq 90\text{ mm}]$ の範囲内に設定されている集中巻き方式の永久磁石電動機では、第 1 外周面部分 120a の開角度 θ_1 が、 $(50/P)\text{度}$ より小さい場合、あるいは、 $(60/P)\text{度}$ より大きい場合には、コギングトルクが増加し、騒音や振動が増大する。

【0014】

ここで、回転子 120 における d 軸磁束および q 軸磁束の流れについて、図 2 を参照して説明する。

なお、図 2 において、 G は、回転子 120 の第 1 外周面部分 120a とティース先端面 114a（固定子内周面）との間の距離、すなわち、回転子 120 と固定子 110 との間のエアギャップを示している。また、 W は、第 1 磁石挿入孔 131 および第 2 磁石挿入孔 132 の幅（内周側壁部と外周側壁部との間の間隔）を示している。磁石挿入孔の幅は、磁石挿入孔の内周側壁部と外周側壁部との間の距離で表される。また、 H は、第 1 外周面部分 120a と第 2 外周面部分 120b との間の、 q 軸上の距離、すなわち、第 2 外周面部分 120b の、 q 軸上の深さを示している。

回転子 120 では、図 2 に太い実線矢印で示されている経路で d 軸磁束が流れ、太い破線矢印で示されている経路で q 軸磁束が流れる。

d 軸磁束が流れる通路の d 軸インダクタンス L_d は、 $[\text{エアギャップ } G + \text{第 1 磁石挿入孔 } 131 \text{ の幅 } W + \text{第 2 磁石挿入孔 } 132 \text{ の幅 } W + \text{エアギャップ } G]$ によって、すなわち、 $[2G + 2W]$ によって規定される。

また、 q 軸磁束が流れる通路の q 軸インダクタンス L_q は、 $[\text{エアギャップ } G + \text{第 2 外周面部分 } 120b \text{ の深さ } H + \text{第 2 外周面部分 } 120b \text{ の深さ } H + \text{エアギャップ } G]$ によって、すなわち、 $[2G + 2H]$ によって規定される。

以上のことから、 d 軸インダクタンス L_d に対する q 軸インダクタンス L_q の比 (L_q/L_d) は、 $[\text{エアギャップ } G + \text{磁石挿入孔 (第 1 の磁石挿入孔 } 131 \text{、第 2 の磁石挿入孔 } 132 \text{) の幅 } W]$ に対する $[\text{エアギャップ } G + \text{第 2 外周面部分 } 120b \text{ の深さ } H]$ の比によって、すなわち、エアギャップ G 、磁石挿入孔の幅 W および第 2 外周面部分の深さ H によって規定されることが分かる。

【0015】

次に、第 2 外周面部分の深さ H と、 d 軸インダクタンス L_d 、 q 軸インダクタンス L_q 、鉄損、銅損、効率の関係を、図 3 のグラフを参照して説明する。図 3 において、横軸は深さ H (mm) を示し、縦軸は、インダクタンス (H)、鉄損 (W)、銅損 (W) および効率 (%) が示されている。

図 3 から、 d 軸インダクタンス L_d は、第 2 外周面部分 120b の深さ H に関係なくほぼ一定である。また、 q 軸インダクタンス L_q は、深さ H が深くなるに従って非線形に減少していく。また、銅損は、深さ H が浅い領域では少ないが、深い領域において急激に増大する。また、鉄損は、中間領域において減少し、中間領域に前後において増大する。

ここで、 d 軸インダクタンス L_d に対する q 軸インダクタンス L_q の比 (L_q/L_d) と、銅損、鉄損および損失との関係を把握することができる。すなわち、比 (L_q/L_d) が 1.1 より大きい領域では、鉄損が多いため、効率はよくない。そして、比 (L_q/L_d) が 1.1 以下になると、銅損はほぼ同じであるが、鉄損が減少するため、効率が良

くなっている。さらに、比 (L_q / L_d) が、 0.9 より小さくなると、鉄損が増加するとともに、銅損も増加するため、効率が悪くなっている。

以上のことから、比 (L_q / L_d) が、 $[0.9 \leq (L_q / L_d) \leq 1.1]$ の範囲内となるように設定することによって、効率を向上させることができることが理解できる。

【0016】

以上のように、 d 軸インダクタンス L_d に対する q 軸インダクタンス L_q の比 (L_q / L_d) は、[エアギャップ G]、[磁石挿入孔（第1の磁石挿入孔131、第2の磁石挿入孔132）の幅 W] および [第2外周面部分120bの深さ H] によって規定されることが分かった。

また、 d 軸インダクタンス L_d に対する q 軸インダクタンス L_q の比 (L_q / L_d) が、 $[0.9 \leq (L_q / L_d) \leq 1.1]$ の範囲内となるように設定することによって、効率を向上させることができることが分かった。

したがって、[エアギャップ G]、[磁石挿入孔（第1の磁石挿入孔131、第2の磁石挿入孔132）の幅 W] と [第2外周面部分120bの深さ H] を、 d 軸インダクタンス L_d に対する q 軸インダクタンス L_q の比 (L_q / L_d) が、 $[0.9 \leq (L_q / L_d) \leq 1.1]$ の範囲内となるよう設定することによって、効率を向上させることができる。

[エアギャップ G]、[磁石挿入孔の幅 W] と [第2外周面部分120bの深さ H] を、 (L_q / L_d) が $[0.9 \leq (L_q / L_d) \leq 1.1]$ の範囲内となるように設定する方法としては、適宜の方法を用いることができる。例えば、先ず、エアギャップ G を設定し、その後、 (L_q / L_d) が $[0.9 \leq (L_q / L_d) \leq 1.1]$ の範囲内となるように [磁石挿入孔の幅 W] と [第2外周面部分120bの深さ H] を設定する方法を用いることができる。

【0017】

なお、永久磁石電動機の d 軸インダクタンス L_d や q 軸インダクタンス L_q を測定する方法としては、公知の種々の測定方法を用いることができる。例えば、「電気学会誌・論文誌D、第113巻、第11号、頁1330-1331、1993年」に記載されている測定方法を用いることができる。

【0018】

第1実施形態の永久磁石電動機100では、4極構造（極対数 $P=2$ ）で、主磁極に、回転中心側に飛び出ているV字を構成するように磁石挿入孔を形成した回転子120を用いたが、回転子の極数や、主磁極に形成する磁石挿入孔の配置形状は種々変更可能である。

【0019】

第2実施形態の永久磁石電動機の回転子220が、図4に示されている。

図4に示されている回転子220は、6極構造（極対数 $P=3$ ）で、主磁極に、回転中心側に飛び出ているV字を構成するように磁石挿入孔が形成されている。

回転子220の外周面は、 d 軸と交差する第1外周面部分220a、 q 軸と交差する第2外周面部分220b、接続部分220c、220dを有している。

回転子220には、第1実施形態の回転子120と同様に、直線状に延在する第1磁石挿入孔231と第2磁石挿入孔232が、 d 軸を挟んで両側に、回転中心O側に飛び出ているV字を構成するように形成されている。また、第1磁石挿入孔231と第2磁石挿入孔232に、断面が四角形状を有する第1永久磁石241と第2永久磁石242が挿入されている。また、第1実施形態の回転子120と同様に、中央に中央ブリッジ部が形成され、外周側に外周ブリッジ部が形成され、磁石挿入孔の両端部に空隙が形成されている。

【0020】

第3実施形態の永久磁石電動機の回転子320が、図5に示されている。

図5に示されている回転子320は、4極構造（極対数 $P=2$ ）で、主磁極に、 d 軸と交差する方向に直線状に延在するように磁石挿入孔が形成されている。

回転子320の外周面は、 d 軸と交差する第1外周面部分320a、 q 軸と交差する第

10

20

30

40

50

2 外周面部分 3 2 0 b、接続部分 3 2 0 c、3 2 0 d を有している。

回転子 3 2 0 には、d 軸と交差する方向、好適には、d 軸と直交（「略直交」を含む）する方向に直線状に延在するように磁石挿入孔 3 3 1 が形成されている。また、磁石挿入孔 3 3 1 に、断面が四角形状を有する永久磁石 3 4 1 が挿入されている。また、外周側に外周ブリッジ部が形成され、磁石挿入孔の両端部に空隙が形成されている。

【0 0 2 1】

第 4 実施形態の永久磁石電動機の回転子 4 2 0 が、図 6 に示されている。

図 6 に示されている回転子 4 2 0 は、4 極構造（極対数 $P = 2$ ）で、主磁極に、d 軸と交差し、回転中心側に飛び出ている円弧形状に沿って延在するように磁石挿入孔が形成されている。

10

回転子 4 2 0 の外周面は、d 軸と交差する第 1 外周面部分 4 2 0 a、q 軸と交差する第 2 外周面部分 4 2 0 b、接続部分 4 2 0 c、4 2 0 d を有している。

回転子 4 2 0 には、d 軸と交差し、d 軸上に中心点を有するとともに、回転中心側に飛び出ている円弧形状に沿って延在するように磁石挿入孔 4 3 1 が形成されている。また、磁石挿入孔 4 3 1 に、断面が円弧形状を有する永久磁石 4 4 1 が挿入されている。また、外周側に外周ブリッジ部が形成され、磁石挿入孔の両端部に空隙が形成されている。

【0 0 2 2】

第 5 実施形態の永久磁石電動機の回転子 5 2 0 が、図 7 に示されている。

図 7 に示されている回転子 5 2 0 は、4 極構造（極対数 $P = 2$ ）で、主磁極に、d 軸と交差し、回転中心側に飛び出ている台形形状を構成するように磁石挿入孔が形成されている。

20

回転子 5 2 0 の外周面は、d 軸と交差する第 1 外周面部分 5 2 0 a、q 軸と交差する第 2 外周面部分 3 5 0 b、接続部分 5 2 0 c、5 2 0 d を有している。

回転子 5 2 0 には、直線状に延在する第 1～第 3 磁石挿入孔 5 4 1～5 4 3 が、d 軸と交差し、回転中心側の飛び出ている台形形状を構成するように形成されている。また、第 1～第 3 磁石挿入孔 5 3 1～5 3 3 に、断面が四角形状を有する第 1～第 3 永久磁石 5 4 1～5 4 3 が挿入されている。また、第 2 磁石挿入孔 5 4 2 と第 1 磁石挿入孔 5 4 1 および第 3 磁石挿入孔 5 4 3 の間に中央ブリッジ部が形成され、外周側に外周ブリッジ部が形成され、第 1 磁石挿入孔 5 3 1 および第 3 磁石挿入孔 5 3 3 の両端部に空隙が形成されている。

30

【0 0 2 3】

本発明は、実施形態で説明した構成に限定されず、種々の変更、追加、削除が可能である、

固定子のスロット数や回転子の極対数（極数）は、適宜変更可能である。

回転子の主磁極に形成される磁石挿入孔の形状、数や配置位置、磁石挿入孔に挿入される永久磁石の形状、数や挿入位置等は適宜変更可能である。

実施形態で説明した各構成は、単独で用いることもできるし、適宜選択した複数の構成を組み合わせ用いることもできる、

【符号の説明】

【0 0 2 4】

40

1 0 0 電動機

1 1 0 固定子

1 1 1 ヨーク

1 1 2 ティース

1 1 3 ティース基部

1 1 4 ティース先端部

1 1 4 a ティース先端面（固定子内周面）

1 1 5 スロット

1 2 0、2 2 0、3 2 0、4 2 0、5 2 0 回転子

1 2 0 a、2 2 0 a、3 2 0 a、4 2 0 a、5 2 0 a 第 1 外周面部分

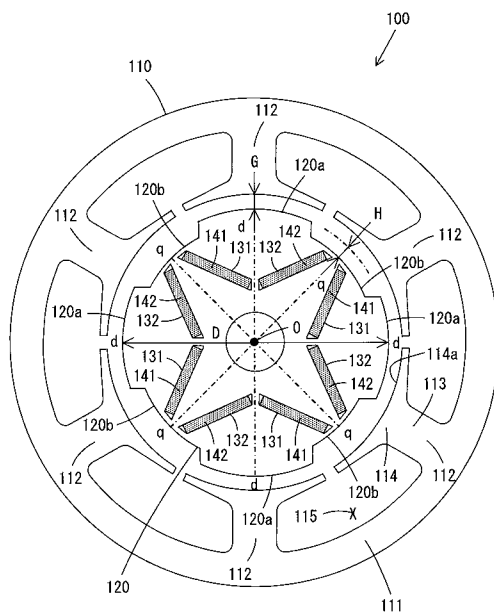
50

- 120b、220b、320b、420b、520b 第2外周面部分
 120c、120d、220c、220d、320c、320d、420c、420d、
 520c、520d 接続部分
 125 中央ブリッジ部
 126、127 外周ブリッジ部
 131、132、231、232、331、431、531、532、533 磁石挿入
 孔
 131a、132a 内周側壁部
 131b、132b 外周側壁部
 131c、132c 内周側端壁部
 131d、132d 外周側端壁部
 131e、132e 連結用端壁部
 131f、131g、132f、132g 空隙
 141、142、241、242、341、441、541、542、543 永久磁石
 141a、142a 内周壁
 141b、142b 外周壁
 141c、142c 内周側端壁
 141d、142d 外周側端壁
 210 内周面（回転子内周面）
 D 回転子の直径
 G 空隙（エアギャップ）
 H 第2外周面部分のq軸上の深さ
 W 磁石挿入孔の幅

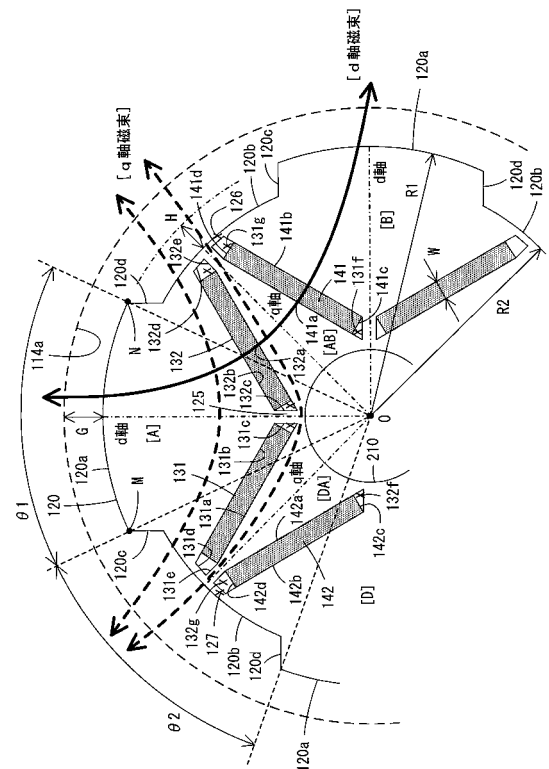
10

20

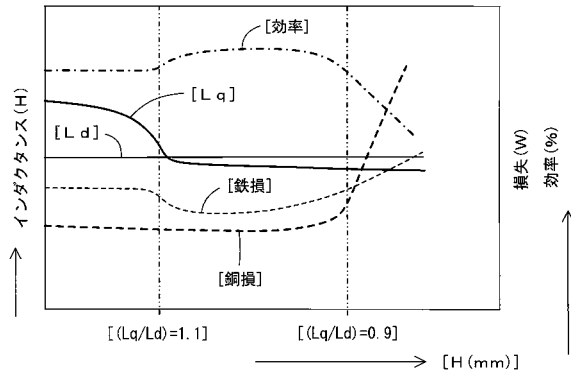
【図1】



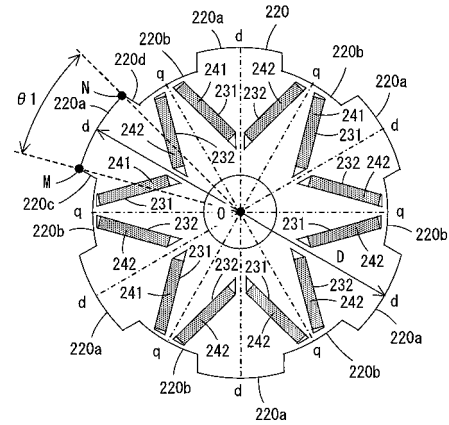
【図2】



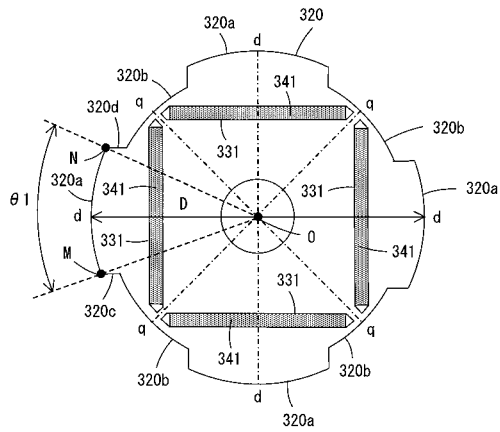
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

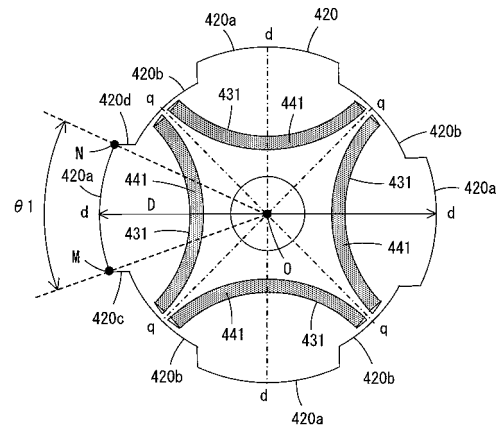


FIG. 1 is a schematic diagram of a circular structure 520, such as a turbine or compressor, showing internal components and various reference numerals. The structure 520 is circular with a central hub 532. Radial vanes or blades are arranged around the hub, with labels 541, 542, 543, and 544 indicating different parts of the blades. The outer casing is labeled 520a, 520b, and 520c. A dashed line indicates a radial direction 'd'. A curved arrow indicates a rotational direction 'θ 1'. Other labels include 520d, 531, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.