

(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2012-143128
(P2012-143128A)

(43) 公開日 平成24年7月26日 (2012.7.26)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
HO2K 1/28 (2006.01)	HO2K 1/28 A	5H601
HO2K 1/27 (2006.01)	HO2K 1/27 501Z	5H622

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2011-201993 (P2011-201993)	(71) 出願人	000005234
(22) 出願日	平成23年9月15日 (2011. 9. 15)		富士電機株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2010-278382 (P2010-278382)		神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号
(32) 優先日	平成22年12月14日 (2010. 12. 14)	(74) 代理人	100105854
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 廣瀬 一
		(74) 代理人	100103850
			弁理士 田中 秀▲てつ▼
		(72) 発明者	持田 敏治
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号
			富士電機株式会社内
		(72) 発明者	島田 大志
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1 番 1 号
			富士電機株式会社内
		F ターム (参考)	5H601 AA23 BB01 CC15 DD01 DD11
			DD21 GA24 GA33 JJ05
			5H622 CA02 CA07 CB05

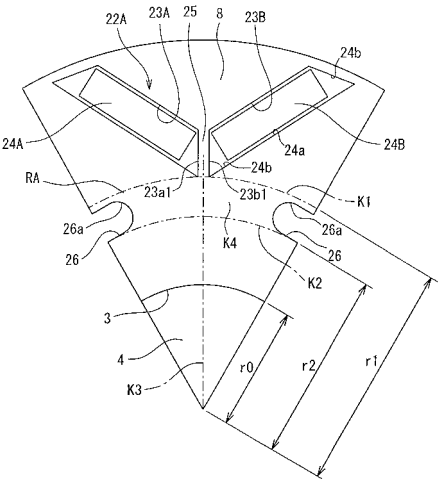
(54) 【発明の名称】 埋込磁石形回転電機のロータ

(57) 【要約】

【課題】 回転軸が軸穴に締めりばめにより嵌合しているロータコアに対してロータスロットの最内周側端部の応力集中を抑制することができる埋込磁石形回転電機のロータを提供する。

【解決手段】 回転軸4が軸穴3に締めりばめにより嵌合しているロータコア2に形成したロータスロット23A、23Bの最内周側端部に作用する引張応力は、一対のロータスロット23A、23Bの最も軸穴3側に近い位置（一端23a1、23b1の軸穴3側の端部）を通過する回転軸の中心から半径r2の第1の仮想円K1と、回転軸4の中心から半径r1の第2の仮想円K2で囲まれた領域で発生する。この第1の仮想円K1及び第2の仮想円K2に囲まれた円周方向の領域に一部がかかるように、複数の応力緩和スリット26が所定間隔をあけて形成されている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円板形状のロータコアと、このロータコアの中央部に設けた軸穴に締まりばめにより嵌合している回転軸と、前記ロータコアの周方向に設けた複数対のロータスロットと、周方向に隣り合う磁極が異極性となるように前記複数対のロータスロットに嵌合されている界磁用永久磁石と、これら界磁用永久磁石の上面に形成した突極部と、各対のロータスロットの間に前記突極部及び前記ロータコアを繋ぐように形成したブリッジと、を備えた埋込磁石形回転電機のロータにおいて、

前記複数対のロータスロットの最内周部より前記回転軸に寄った位置の前記ロータコアの円周上に、当該ロータスロットの最内周側端部に作用する応力集中を緩和する応力緩和スリットを複数形成したことを埋込磁石形回転電機のロータ。

10

【請求項 2】

前記応力緩和スリットは、前記回転軸の中心と前記各対のロータスロット間で前記突極部および当該ロータスロットより内側のロータコアとを繋ぐブリッジ部の円周方向中央位置とを結ぶ仮想線に対して円周方向にずれた位置に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の埋込磁石形回転電機のロータ。

【請求項 3】

前記応力緩和スリットは、前記回転軸の中心と前記ブリッジ部の円周方向中央部とを結ぶ仮想線の隣接する仮想線間の円周方向中央位置に形成されていることを特徴とする請求項 2 に記載の埋込磁石形回転電機のロータ。

20

【請求項 4】

前記各対のロータスロットは、前記ロータコアの径方向外方に向かって開形状が拡大するように前記ロータコアに形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の埋込磁石形回転電機のロータ。

【請求項 5】

前記各対のロータスロットは、前記回転軸の中心軸に向かって凸となる V 字形状に形成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の埋込磁石形回転電機のロータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、ロータコアに永久磁石を埋め込んだ埋込磁石形回転電機のロータに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の埋込磁石形回転電機の一例として埋込磁石形同期電動機が挙げられる。

埋込磁石形同期電動機は、ロータ内部に永久磁石を備えている。この永久磁石から発生する磁束を固定子に備える励磁コイルとの鎖交磁束量に応じて発生するマグネットトルクに加えて、ロータの磁気抵抗を利用したリラクタンストルクを利用した同期電動機である。

【0003】

図 4 に示すものは、埋込磁石形同期電動機のロータを示すものである（例えば特許文献 1）。

40

図 4 で示すロータ 1 の符号 2 は、中央部に軸穴 3 を形成した積層電磁鋼板からなるロータコアであり、軸穴 3 に締まりばめにより回転軸 4 が嵌合している。

ロータコア 2 には、4 つの磁極 5 A ～ 5 D が設けられている。各磁極（例えば磁極 5 A）は、互いに長手方向が一直線上に延在するようにロータコア 2 に形成した一对の矩形のロータスロット 6 A、6 B と、これらロータスロット 6 A、6 B に内嵌した界磁用永久磁石 7 A、7 B と、を備えており、界磁用永久磁石 7 A、7 B の上面が突極部 8 とされている。

【0004】

一对のロータスロット 6 A、6 B の間には、突極部 8 と一对のロータスロット 6 A、6

50

Bを繋ぐように形成され、界磁用永久磁石 7 A, 7 B の間を分割するブリッジ 9 が設けられている。

ロータコア 2 の両翼部には、隣接する磁極 5 A, 5 B 及び磁極 5 A, 5 D の間に、漏洩磁束を防止するための抜き穴 10 が形成されている。

抜き穴 10 の周縁には薄肉部 11 が設けられており、前述したブリッジ 9、薄肉部 11 の幅は、機械的な強度を保ち、かつ、電磁氣的に磁路が飽和するような値に設定されている。

そして、ロータコア 2 には、抜き穴 10 と軸穴 3 との間に、略円弧状のスリット 12 が形成されている。

【0005】

上記構成のロータ 1 によると、回転軸 4 に軸穴 3 が締めりばめで嵌合しているロータコア 2 の回転時には、抜き穴 10 と軸穴 3 との間に設けたスリット 12 が、抜き穴 10 周縁の薄肉部 11 への応力集中を軽減している。ここで、スリット 12 の内周と軸穴 3 との径方向厚みを、ロータスロット 6 A, 6 B 内周と軸穴 3 との間の径方向厚みと等しくしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2002-354726 号公報 (図 1)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、特許文献 1 のロータコア 2 は、回転時において、ブリッジ 9 を形成した部位 (一対のロータスロット 6 A, 6 B の長手方向の端部同士が対向している部位) と軸穴 3 とが近接している径方向厚みが小さい部位にも応力集中が発生し、強度的に弱い部分となる。このため、スリット 12 を設けることで薄肉部 11 の応力集中を軽減している特許文献 1 のロータコア 2 は、ブリッジ部のロータスロット 6 A, 6 B の互いに対向する端部での応力集中を軽減することはできない。

【0008】

また、各磁極の界磁用永久磁石を直線状に配置した特許文献 1 のロータコア 2 と異なり、各磁極の界磁用永久磁石を径方向外方に向かって開形状が拡大するように配置したロータコアも存在するが、この種のロータコアでも、回転軸に近い部分のロータスロットに最も応力が集中する。

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、回転軸が軸穴に締めりばめにより嵌合しているロータコアに対してロータスロットの回転軸に近い部位の応力集中を抑制することができる埋込磁石形回転電機のロータを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明に係る埋込磁石形回転電機のロータの第 1 の態様は、円板形状のロータコアと、このロータコアの中央部に設けた軸穴に締めりばめにより嵌合している回転軸と、前記ロータコアの周方向に設けた複数対のロータスロットと、周方向に隣り合う磁極が異極性となるように前記複数対のロータスロットに嵌合されている界磁用永久磁石と、これら界磁用永久磁石の上面に形成した突極部と、各対のロータスロットの間に前記突極部及び前記ロータコアを繋ぐように形成したブリッジと、を備えた埋込磁石形回転電機のロータにおいて、前記複数対のロータスロットの最内周部より前記回転軸に寄った位置の前記ロータコアの円周上に、当該ロータスロットの最内周側端部に作用する応力集中を緩和する応力緩和スリットを複数形成している。

【0010】

この構成によると、回転軸が締めりばめで嵌合しているロータコアに形成したロータスロットの最内周側端部に作用する周方向の引張応力は、各磁極の一対のロータスロットよ

10

20

30

40

50

り軸穴側に寄った領域で発生する。本発明のロータコアは、引張応力が発生する位置と同じ領域である複数対のロータスロットが周方向に設けられている領域より回転軸に寄った位置の円周上に複数の応力緩和スリットを設けているので、ロータスロットの最内周側端部の応力集中を抑制することができる。

【0011】

また、本発明に係る埋込磁石形回転電機のロータの第2の態様は、上記第1の態様の埋込磁石形回転電機のロータにおいて、前記応力緩和スリットは、前記回転軸の中心と前記各対のロータスロット間で前記突極部および当該ロータスロットより内側のロータコアとを繋ぐブリッジ部の円周方向中央位置とを結ぶ仮想線に対して円周方向にずれた位置に形成されている。

10

【0012】

この発明によると、応力緩和スリットが、各対のロータスロットの最も前記回転軸に近接する部位に対して周方向にずれた位置に形成されているので、各対のロータスロットの間に形成したブリッジ部と干渉せずに、応力緩和スリットの周方向両端部の丸みを大きく形成することができ、応力緩和スリットに発生する応力最大値を抑制することができる。

【0013】

さらに、本発明に係る埋込磁石形回転電機のロータの第3の態様は、上記第2の態様において、前記応力緩和スリットは、前記回転軸の中心と前記ブリッジ部の円周方向中央部とを結ぶ仮想線の隣接する仮想線間の円周方向中央位置に形成されている。

この構成によると、ブリッジ部の円周方向中心と回転軸の中心とを結ぶ仮想線とこの仮想線に隣接する仮想線との間の円周方向中央位置に応力緩和スロットを形成するので、ロータスロットとの干渉をより確実に避けることができる。

20

【0014】

なおさらに、本発明に係る埋込磁石形回転電機のロータの第4の態様は、前記各対のロータスロットは、前記ロータコアの径方向外方に向かって開形状が拡大するように前記ロータコアに形成されている。

この構成によると、ロータコアの径方向外方に向かって開形状が拡大するように形成したロータコアは、ロータスロットの最内周側端部に応力が集中するが、各磁極の一对のロータスロットと軸穴との間に形成した応力緩和スリットが、ロータスロットの最内周側端部の内側に発生する円周応力を確実に緩和する。

30

【0015】

また、本発明に係る埋込磁石形回転電機のロータの第5の態様は、前記各対のロータスロットが、前記回転軸の中心軸に向かって凸となるV字形状に形成されている。

この構成によると、上記第4の態様と同様に、ロータスロットの最内周側端部に応力が集中するが、各磁極の一对のロータスロットと軸穴との間に形成した応力緩和スリットが、ロータスロットの最内周側端部の内側に発生する円周応力を確実に緩和する。

【発明の効果】

【0016】

本発明に係る埋込磁石形回転電機のロータによると、回転軸が締めりばめで嵌合しているロータコアに、複数対のロータスロットの最内周側端部より前記回転軸に寄った位置の当該ロータコアの円周上に形成した複数の応力緩和スリットによって、各ロータスロットの最内周側端部に作用する応力集中を緩和することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態を示す埋込磁石形同期電動機のロータを構成するロータコアを示す図である。

【図2】図1で示したロータコアの要部を拡大して示した図である。

【図3】本発明に係るロータを埋込磁石形同期電動機に適用するに際して、FEM解析によりロータコアへの応力緩和スリットの配置半径と、ロータコアに発生する引張り応力最大値の解析を行った結果を示すグラフである。

50

【図 4】従来の埋込磁石形同期電動機のロータを構成するロータコアを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明を実施するための形態（以下、実施形態という。）を、図 1 及び図 2 を参照しながら詳細に説明する。なお、図 4 で示した構成と同一構成部分には、同一符号を付してその説明を省略する。

図 1 は、埋込磁石形回転電機の一実施形態である埋込磁石形同期電動機のロータ 20 を示すものである。

本実施形態のロータ 20 は、中央部に軸穴 3 を形成した円板形状の積層鋼板で構成されるロータコア 2 に、例えば 6 つの磁極 22 A～22 F が設けられている。

磁極 22 A は、図 2 にも示すように、回転軸 4 の中心軸に向かって凸となる V 字形状にロータコア 2 に形成した（径方向外方に向かって開形状が拡大するように形成した）一对のロータスロット 23 A、23 B と、これらロータスロット 23 A、23 B に内嵌された界磁用永久磁石 24 A、24 B と、を備えている。

【0019】

一对のロータスロット 23 A、23 B は、台形状（長四角形状）に開口したスロットであり、互いの長手方向の延長線が V 字状に交差し、V 字状の頂部が軸穴 3 に近接するようにロータコア 2 に形成されている。これら一对のロータスロット 23 A、23 B に嵌合された界磁用永久磁石 24 A、24 B は V 字状に配置されている。ここで、一对のロータスロット 23 A、23 B は、界磁用永久磁石 24 A、24 B を嵌合する磁石嵌合部 24 a と、この磁石嵌合部 24 a の図 1 で見て両端に形成された漏洩磁束を防止する開口部 24 b とを備えている。

【0020】

互いに対向している一对のロータスロット 23 A、23 B の一端 23 a 1、23 b 1 の間には、ロータコア 2 の突極部 8 側と軸穴 3 を形成している部位とを繋ぐブリッジ部 25 が設けられている。また、他の磁極 22 B～22 F も、上述した磁極 22 A と同一構成とされている。

【0021】

ここで、本実施形態のロータコア 2 には、図 1 及び図 2 に示すように、第 1 の仮想円 K 1 及び第 2 の仮想円 K 2 に囲まれた円周方向の領域に、複数の応力緩和スリット 26 が所定間隔をあけて形成されている。すなわち、複数の応力緩和スリット 26 は、各磁極 22 A～22 F のロータスロット 23 A、23 B にラップしないロータスロット 23 A、23 B より回転軸 4 に寄った位置の円周上に形成されている。ここで、第 1 の仮想円 K 1 は、ロータスロット 23 A、23 B の最内周側端部に接する内接円である。また、第 2 の仮想円 K 2 は、第 1 の仮想円 K 1 から応力緩和スリット 26 のスリット幅に略対応する半径方向距離分狭めた円である。

【0022】

各々の応力緩和スリット 26 は、周方向の両端部に応力集中を抑制可能な丸み 26 a を設けた円弧形状のスリットである。

図 2 に示すように、一对のロータスロット 23 A、23 B の最も軸穴 3 側に近い位置（一端 23 a 1、23 b 1 の軸穴 3 側の端部に接する位置）と、回転軸 4 の中心軸とを結ぶ線を仮想線 K 3 とすると、各々の応力緩和スリット 26 は、仮想線 K 3 に直接交差し位置に形成されている。すなわち、各々の応力緩和スリット 26 は、一对のロータスロット 23 A、23 B の最も軸穴 3 側に近い位置に対して周方向にずれた位置に形成されている。

【0023】

本実施形態のロータコア 2 の軸穴 3 には、焼きばめや圧入などの締まりばめにより回転軸 4 が嵌合している。

回転軸 4 が締まりばめで嵌合しているロータコア 2 には、回転軸 4 からの内圧のみを受けることになり、以下の式（1）で示す周方向の引張応力である円周応力 σ_θ が発生する

。

$$\sigma_{\theta} = \{ (p_0 \times r_0^2) / (r_1^2 - r_0^2) \} \times (1 + r_1^2 / r^2) \dots\dots\dots (1)$$

なお、 p_0 ：回転軸 4 と軸穴 3 との接触面に発生する面圧、 r_0 ：回転軸 4 の半径、 r_1 ：ロータスロット 2 3 A、2 3 B の半径方向最内側の内接円となる第 1 の仮想円 K 1 の半径、 r ：ロータコア 2 の回転軸 4 の中心からの距離すなわち半径である。

【0024】

式 (1) から明らかなように、ロータコア 2 に作用する円周応力 σ_{θ} は、各磁極 2 2 A ~ 2 2 F のロータスロット 2 3 A、2 3 B より内側で軸穴 3 に近い部位すなわち半径 r が半径 r_0 に一致したときに最大となる。また、半径 r が半径 r_0 より大きくなる部位すなわち軸穴 3 より外周側に向かうに従って減少する。

そして、6 組のロータスロット 2 3 A、2 3 B が設けられているロータコア 2 の外周側では、軸穴 3 に回転軸 4 を締めればめで嵌合することにより発生する円周応力は殆ど発生しない。

【0025】

ところが、ロータスロット 2 3 A、2 3 B の最内周側の端部すなわちブリッジ部 2 5 に対向する端部の最内周部には、比較的大きな応力集中が発生する。その理由は、ロータスロット 2 3 A、2 3 B の最内周側の端部を通る仮想円 K 1 より内側すなわち軸穴 3 側ではロータコアが円周方向に 360° 繋がっており、軸穴 3 の周縁部に比較して円周応力が小さいとはいえ、ロータコア 2 の外周側に比較して大きな円周応力が発生するためである。

【0026】

本発明者等は、ロータスロット 2 3 A、2 3 B の最内周側端部の応力集中を抑制する応力緩和スリット 2 6 の半径方向の設置位置とロータコア 2 のロータスロット 2 3 A、2 3 B の最内周側端部と接する部位すなわち前述した仮想円 K 1 上に発生する円周応力との関係を有限要素法解析（以下、FEM 解析と称す）で解析した。

この解析結果を図 3 に示す。この図 3 では、横軸が応力緩和スリット 2 6 の内周側縁と回転軸 4 の中心との半径 r を表し、縦軸がロータコア 2 に発生する円周応力最大値 σ を表している。

【0027】

この図 3 において、応力緩和スリット 2 6 の内側側縁の半径 r が前述した仮想円 K 1 の半径 r_1 と一致するときに、ロータコア 2 に発生する円周応力の最大値 σ が比較的大きい値となっている。そして、応力緩和スリット 2 6 の内側側縁の半径 r が仮想円 K 1 の半径 r_1 よりも長くなるすなわち応力緩和スリット 2 6 の内側側縁が仮想円 K 1 の外側となるとロータコア 2 に発生する円周応力の最大値 σ が増加していることが分かる。

【0028】

これに対して、応力緩和スリット 2 6 の内側側縁の半径 r が仮想円 K 1 の半径 r_1 より短くなるすなわち応力緩和スリット 2 6 の内側側縁が仮想円 K 1 の内側となるとロータコア 2 に発生する円周応力の最大値 σ が減少していることが分かる。

そして、応力緩和スリット 2 6 の内側側縁の半径 r が第 2 の仮想円 K 2 の半径 r_2 まで減少すると、ロータコア 2 に発生する円周応力の最大値 σ が最小値 σ_{min} となり、さらに応力緩和スリット 2 6 の内側側縁の半径 r が半径 r_s より減少すると、軸穴 3 に近づき締めればめによる円周応力自体が大きくなることから応力緩和スリット 2 6 による応力緩和効果が薄れロータコア 2 に発生する円周応力 σ が増加に転じることがわかる。

【0029】

この図 3 から明らかなように、前述した従来例のように応力緩和スリット 2 6 の内周側と軸穴 3 との間の径方向厚みを、ロータスロット 2 4 A、2 4 B 内周と軸穴 3 との間の径方向厚みに等しくした場合には、ロータコア 2 間に発生する円周応力の応力最大値 σ が最大値 σ_{MAX} に近い値となり、ロータスロット 2 3 A、2 3 B の最内周側端部に発生する応力集中を十分に抑制することはできない。

【0030】

このため、応力緩和スリット 2 6 の内側側縁の半径 r を仮想円 K 1 すなわちロータスロ

10

20

30

40

50

ット 2 3 A, 2 3 B の最内周側端部に接する内接円より小さく設定し、この半径 r 上に複数の応力緩和スリット 2 6 を形成すると、ロータコア 2 のロータスロット 2 3 A, 2 3 B の最内周側端部より内側に生じる円周応力の最大値 σ が減少する。このため、ロータスロット 2 3 A, 2 3 B の最内周側端部に対する応力緩和の効果を発揮することができる。

しかしながら、応力緩和スリット 2 6 の内周側縁の半径 r を仮想円 K 2 の半径 r_2 より短くすると、軸穴 3 に近づき締めりばめによる円周応力自体が大きくなることから、今度は r_0 部の応力が増大してしまう。

【0031】

したがって、本実施形態のロータ 2 0 によると、回転軸 4 が締めりばめで嵌合しているロータコア 2 に、周方向の引張応力すなわち円周応力が発生しても、ロータコア 2 には、各磁極 2 2 A ~ 2 2 F のロータスロット 2 3 A, 2 3 B の最内周側端より軸穴 3 寄り位置に形成した複数の応力緩和スリット 2 6 によってロータスロット 2 3 A, 2 3 B の最内周側端の円周応力を緩和することができる。このため、ロータスロット 2 3 A, 2 3 B の最内周側端部の応力集中を抑制することができる。

【0032】

また、各々の応力緩和スリット 2 6 は、一对のロータスロット 2 3 A, 2 3 B の最も軸穴 3 側に近い位置に対して周方向にずれた位置に形成されているので、一对のロータスロット 2 3 A, 2 3 B の間に形成したブリッジ部 2 5 と干渉せずに、各応力緩和スリット 2 6 の周方向両端部の丸み 2 6 a を大きく形成することができ、各応力緩和スリット 2 6 に発生する応力集中を抑制することができる。

【0033】

なお、本実施形態は、一对のロータスロット 2 3 A, 2 3 B に界磁用永久磁石 2 4 A, 2 4 B を V 字状に埋設した構造を示したが、一对の界磁用永久磁石をロータコアの径方向外方に向かって開形状が拡大するように一对のロータスロットに埋設した他の形状、例えば U 字状に埋設した形状であっても良い。また、前述した従来例を示す図 4 のように永久磁石 2 4 A, 2 4 B を接線方向に直線状に配置した場合でも、ロータスロットの最内周側の円周上に応力緩和スリットを形成することにより、ロータスロットの最内周側端部の応力集中を減少させることができる。

【0034】

また、本実施形態では、ロータコア 2 に 6 極を形成する場合について説明したが、これに限定されるものではなく、ロータコア 2 に形成する極数は任意の偶数極数を設定することができる。

また、本実施形態では、締めりばめによる円周応力について説明したが、ロータ 2 0 を高速回転させる場合には、遠心力による引張応力も加わることになるので、この遠心力による引張応力も考慮して応力緩和スリット 2 6 の形成位置を決定することが好ましい。

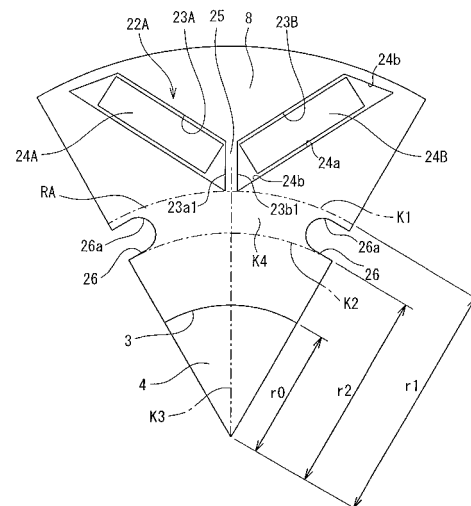
また、本実施形態は、埋込磁石形回転電機として埋込磁石形同期電動機を適用した場合について説明したが、これに限定されるものではなく、埋込磁石形発電機にも本発明を適用することができる。

【符号の説明】

【0035】

2 … ロータコア、3 … 軸穴、4 … 回転軸、8 … 突極部、2 0 … ロータ、2 2 A ~ 2 2 F … 磁極、2 3 A, 2 3 B … ロータスロット、2 3 a 1, 2 3 b 1 … ロータスロットの一端、2 4 A, 2 4 B … 界磁用永久磁石、2 5 … ブリッジ部、2 6 … 応力緩和スリット、K 1 … 第 1 の仮想円、K 2 … 第 2 の仮想円、K 3 … 仮想線

【図 2】



【图 4】

