

(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2015-33245
(P2015-33245A)

(43) 公開日 平成27年2月16日(2015.2.16)

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

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2013-162123 (P2013-162123)	(71) 出願人	000006105 株式会社明電舎
(22) 出願日	平成25年8月5日(2013.8.5)		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 弁護士 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

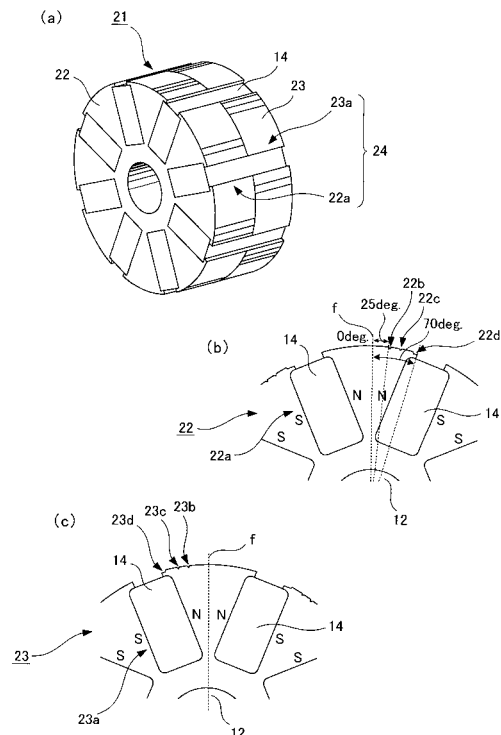
(54) 【発明の名称】 永久磁石モータの回転子

(57) 【要約】

【課題】生産性及び平均トルクを悪化させることなく、トルク脈動を低減する永久磁石モータの回転子を提供する。

【解決手段】極数に相当する数の、回転軸と平行な方向に貫通する永久磁石挿入穴片22aが配設され、各永久磁石挿入穴片22aの間にある各磁極の円周面に、d軸と回転軸中心とを通る仮想平面fを対称面としたときに非対称な配置となる複数の溝22b, 22c, 22dが設けられた第1回転子コア22と、第1回転子コア22を軸方向に表裏反転した形状であり、互いの永久磁石挿入穴片22a, 23aが、円周方向においてそれぞれ同じ位置にあり、回転軸と平行な方向に連通することで、永久磁石挿入穴24をそれぞれ形成するように、第1回転子コア22に対して積み重ねられた第2回転子コア23と、各永久磁石挿入穴24にそれぞれ配設された永久磁石14とを備えることで、トルク脈動を低減する永久磁石モータの回転子を提供することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円周方向に磁化された永久磁石が円周面に沿ってスポーク配置された、永久磁石モータの回転子であって、

少なくとも極数に相当する数の、回転軸と平行な方向に貫通する永久磁石挿入穴片が配設され、各前記永久磁石挿入穴片の間にある各磁極の円周面に、d 軸と回転軸中心とを通る仮想平面を対称面としたときに非対称な配置となる溝が設けられた第 1 回転子コアと、

前記第 1 回転子コアを軸方向に表裏反転した形状であり、互いの各前記永久磁石挿入穴片が、円周方向においてそれぞれ同じ位置にあり、前記回転軸と平行な方向に連通することで、前記永久磁石を埋め込むことが可能な永久磁石挿入穴をそれぞれ形成するように、前記第 1 回転子コアに対して積み重ねられた第 2 回転子コアと、

各前記永久磁石挿入穴にそれぞれ配設される前記永久磁石とを備える

ことを特徴とする永久磁石モータの回転子。

【請求項 2】

前記溝は、各前記磁極に対し、前記仮想平面から円周方向片側のみに 1 つ以上配設されるものであることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石モータの回転子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石モータの回転子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、小型・高出力モータの代表格として、永久磁石形同期回転電機（永久磁石モータ）の中でも、特に、埋込磁石式の永久磁石形同期回転電機（以下、IPMモータ）が広く知られている。この IPMモータは、回転子において、リラクタンストルクとマグネットトルクとを発生させる磁束を磁極に通すために、主として希土類磁石による永久磁石が挿入される。

【0003】

図 4 は、従来 IPMモータを説明する概略図であり、図 4 (a) は、従来 IPMモータに備わる回転子の斜視図を、図 4 (b) は、従来 IPMモータの正面図を、それぞれ表している。なお、図 4 (a) (b) では、一例として極数が 8 つである 8 極 IPMモータを表しており、当該図中の N, S は、それぞれ永久磁石の N 極、S 極を表している。また、当該図中に示すように、一般的に、d 軸は、それぞれの永久磁石 14 同士の間にある回転子コア 11 の磁極の円周方向の中心を通っており、q 軸は、d 軸に電気角で直交する軸となり、図 4 (b) では永久磁石と回転子コアのそれぞれが円周方向に等間隔に配置されている。

【0004】

図 4 (a) (b) に示すように、従来 IPMモータは、固定子コア 10、回転子 11 及びシャフト 12 を備える。

【0005】

上記固定子コア 10 は、回転子 11 の外周に、回転子 11 に対して所定のギャップを有して配設される。また、固定子コア 10 には固定子巻線（図示略）が配設される。

【0006】

上記回転子 11 は、回転子コア 13 及び永久磁石 14 を備え、シャフト 12 を回転軸として回転可能となっている。

【0007】

上記回転子コア 13 は中空円盤形の薄板を軸方向に積層したものであり、極数に相当する数（ここでは 8 つ）の、矩形の穴である永久磁石挿入穴 13 a が配設されている。

【0008】

10

20

30

40

50

上記永久磁石 14 は、回転子コア 13 の円周方向に磁化され、永久磁石挿入穴 13 a のそれぞれに挿入される矩形の磁石である。

【0009】

すなわち、従来の回転子 11 は、回転子コア 13 の円周面に沿って、少なくとも極数に相当する数の永久磁石挿入穴 13 a が配設され、各永久磁石挿入穴 13 a に、それぞれ回転子コア 13 の円周方向に磁化された永久磁石 14 を挿入したものである。

【0010】

なお、回転子コア 13 の円周方向に磁化された永久磁石 14 が、回転子コア 13 の円周面と回転軸中心とを結ぶ仮想直線上で放射状に配設される永久磁石挿入穴 13 a に挿入した配置構造のことを、スポーク配置という。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献 1】特許 4449035 号公報

【特許文献 2】特開 2011-83188 号公報

【特許文献 3】特開 2004-173491 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上述の図 4 (a) (b) に示すような、永久磁石 14 をスポーク配置した回転子 11 では、隣接する永久磁石 14 間のギャップの磁束密度が台形波となることから、高調波を多く含み、種々の永久磁石モータの中でもトルク脈動 (peak to peak) が比較的大きいという課題がある。そして、このトルク脈動は、永久磁石モータの運転時における騒音や振動の原因となる。

【0013】

そこで、トルク脈動やコギングトルクを低減するために、固定子コア 10 又は回転子コア 13 にスキューを施す対策が、一般的に採用されている。

【0014】

しかしながら、上述の対策では、トルク脈動を低減すると同時に、平均トルクを下げてしまう。さらに、固定子コア 10 にスキューを施した場合には、固定子巻線の挿入の自動化が困難となり、回転子コア 13 にスキューを施した場合には、永久磁石 14 の挿入が困難、又は、組み立て工程が増えるといった問題が生じる。

【0015】

そのため、上記特許文献 1 ~ 3 には、スキューを施さずにトルク脈動を低減する方法が提案されている。

【0016】

上記特許文献 1 には、径方向に磁化された永久磁石を極数に相当する数だけ回転子コア表面付近に配置する回転子において、回転子コアの表面に、1 極あたり対称となる円弧又は複数の溝を設け、トルク脈動を低減する方法が提案されている。しかしながら、当該方法には、トルク脈動が大きな永久磁石をスポーク配置した回転子については記載されておらず、永久磁石をスポーク配置した回転子に適用すると、回転子コアの円弧又は複数の溝により、q 軸の磁束が減少し、回転子コアに働くリラクタンストルクが大幅に減少してしまう課題がある。

【0017】

上記特許文献 2 では、上記特許文献 1 と略同等の回転子において、永久磁石の磁極の外側に、1 極あたり非対称な配置となる溝を設け、回転子コアのみを反転させて軸方向に複数積み重ねることで、トルク脈動を低減する方法が記載されている。しかしながら、特許文献 1 と同様に、永久磁石をスポーク配置した回転子については記載されておらず、永久磁石の磁極の円周方向外側に溝を設ける必要があるため、トルク脈動が大きな永久磁石をスポーク配置した回転子には適用できない。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

上記特許文献 3 では、永久磁石をスポーク配置した回転子において、回転子コアの磁石挿入スロットの外周近傍に、スロット幅を拡大した領域を有することで、コギングトルクを排除又は低減する方法が記載されている。しかしながら、固定子巻線に電流を流したときのトルク脈動については記載されておらず、スロット幅を拡大しすぎると、特許文献 1 と同様に、q 軸の磁束が減少し、回転子コアに働くリラクタンストルクが大幅に減少してしまう課題がある。

【 0 0 1 9 】

そこで本発明は、生産性及び平均トルクを悪化させることなく、トルク脈動を効果的に低減する永久磁石モータの回転子を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 0 】

上記課題を解決する第 1 の発明に係る永久磁石モータの回転子は、

円周方向に磁化された永久磁石が円周面に沿ってスポーク配置された、永久磁石モータの回転子であって、

少なくとも極数に相当する数の、回転軸と平行な方向に貫通する永久磁石挿入穴片が配設され、各前記永久磁石挿入穴片の間にある各磁極の円周面に、d 軸と回転軸中心とを通る仮想平面を対称面としたときに非対称な配置となる溝が設けられた第 1 回転子コアと、

前記第 1 回転子コアを軸方向に表裏反転した形状であり、互いの各前記永久磁石挿入穴片が、円周方向においてそれぞれ同じ位置にあり、前記回転軸と平行な方向に連通することで、前記永久磁石を埋め込むことが可能な永久磁石挿入穴をそれぞれ形成するように、前記第 1 回転子コアに対して積み重ねられた第 2 回転子コアと、

20

各前記永久磁石挿入穴にそれぞれ配設された前記永久磁石とを備える

ことを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

上記課題を解決する第 2 の発明に係る永久磁石モータの回転子は、

上記第 1 の発明に係る永久磁石モータの回転子において、

前記溝は、各前記磁極に対し、前記仮想平面から円周方向片側のみに 1 つ以上配設されるものであることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【 0 0 2 2 】

上記第 1 の発明に係る永久磁石モータの回転子によれば、少なくとも極数に相当する数の、回転軸と平行な方向に貫通する永久磁石挿入穴片が配設され、各永久磁石挿入穴片の間にある各磁極の円周面に、d 軸と回転軸中心とを通る仮想平面を対称面としたときに非対称な配置となる溝が設けられた第 1 回転子コアと、第 1 回転子コアを軸方向に表裏反転した形状であり、互いの各永久磁石挿入穴片が、円周方向においてそれぞれ同じ位置にあり、回転軸と平行な方向に連通することで、永久磁石挿入穴をそれぞれ形成するように、第 1 回転子コアに対して積み重ねられた第 2 回転子コアと、各永久磁石挿入穴にそれぞれ配設された永久磁石とを備えるので、生産性や平均トルクを悪化させることなく、トルク脈動を効果的に低減することができる。

40

【 0 0 2 3 】

上記第 2 の発明に係る永久磁石モータの回転子によれば、上述の溝が、各磁極に対し、上述の仮想平面から円周方向片側のみに 1 つ以上配設されるので、さらに、生産性や平均トルクを悪化させることなく、トルク脈動を効果的に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 4 】

【図 1】本発明の実施例 1 における IPM モータの回転子を説明する概略図である。(a) は、本発明の実施例 1 における IPM モータの回転子の斜視図を、(b) は、第 1 回転子コアの一部の正面図を、(c) は、第 2 回転子コアの一部の正面図を、それぞれ表して

50

いる。

【図2】有限要素法による磁界解析を用いて算出した、本発明の実施例1におけるIPMモータの回転子と従来のIPMモータの回転子の、電気角 $0\text{deg.} \sim 360\text{deg.}$ におけるトルクの波形を示すグラフである。

【図3】本発明の実施例1におけるIPMモータの回転子と従来のIPMモータの回転子の、電気角 $0\text{deg.} \sim 360\text{deg.}$ における平均トルクとトルク振幅の peak to peak を示すグラフである。

【図4】従来のIPMモータの一例を説明する概略図である。(a)は、従来のIPMモータの回転子の斜視図を、(b)は、従来のIPMモータの正面図を、それぞれ表している。

10

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明に係る永久磁石モータの回転子を、実施例により図面を用いて説明する。

【0026】

[実施例1]

図1は、本実施例におけるIPMモータの回転子を説明する概略図であり、図1(a)は、本実施例におけるIPMモータの回転子の斜視図を、図1(b)は、第1回転子コアの一部を拡大した正面図を、図1(c)は、第2回転子コアの一部を拡大した正面図を、それぞれ表している。なお、当該図では、一例として極数が8つである8極IPMモータを表しており、当該図中のN、Sは、それぞれ永久磁石のN極、S極を表している。

20

【0027】

図1(a)(b)(c)に示すように、本実施例における回転子21は、第1回転子コア22、第2回転子コア23及び永久磁石14を備える。以下、既に説明した従来のIPMモータと同様の構成部分についての説明は一部省略する。

【0028】

上記第1回転子コア22は、図1(a)(b)に示すように、中空円盤形の薄板を、従来の回転子コアの半分程度の厚みとなるように、軸方向に積層したものであり、永久磁石14をスポーク配置するため、極数に相当する数(ここでは8つ)の、回転軸と平行な方向に貫通する矩形の穴である永久磁石挿入穴片22aが配設される。

【0029】

また、第1回転子コア22は、円周面において、各永久磁石挿入穴片22aの間の各磁極に、非対称な配置となる複数の溝が配設されている。ここでの「非対称」とは、d軸と回転軸中心とを通る仮想平面fを対称面としたときに非対称、ということである。さらに、この溝は、各磁極に対し、仮想平面fから円周方向片側のみに1つ以上配設されることが望ましい。

30

【0030】

一例として、図1(a)(b)では、1極あたり、第1溝22b、第2溝22c及び第3溝22dの3つが配設された状態が示されている。そして、d軸を電気角 0deg. としたとき、電気角 $25\text{deg.} \sim 70\text{deg.}$ (8極IPMモータの場合は、機械角 $6.25\text{deg.} \sim 17.5\text{deg.}$)の範囲に3つの溝22b、22c、22dを設けている。

40

【0031】

上記第2回転子コア23は、第1回転子コア22を反転した形状である。すなわち、図1(a)(c)に示す第2回転子コア23の永久磁石挿入穴片23aは、図1(a)(c)に示す第1回転子コア22の永久磁石挿入穴片22aに相当し、同様に、第2回転子コア23の第1溝23bは、第1回転子コア22の第1溝22bに相当し、第2回転子コア23の第2溝23cは、第1回転子コア22の第2溝22cに相当し、第2回転子コア23の第3溝23dは、第1回転子コア22の第3溝22dに相当する。

【0032】

さらに、第2回転子コア23は、第1回転子コア22に対して、互いの各永久磁石挿入

50

穴片 2 2 a , 2 3 a が、円周方向においてそれぞれ同じ位置にあり、回転軸と平行な方向に連通することで、永久磁石挿入穴 2 4 をそれぞれ形成するように、積み重ねられる。

【 0 0 3 3 】

上記永久磁石 1 4 は、回転子 2 1 の円周方向に磁化され、各永久磁石挿入穴 2 4 にそれぞれ配設される。

【 0 0 3 4 】

トルク脈動は、固定子巻線に流す電流、及び、回転子 2 1 と固定子コア 1 0 のスロットの位置関係による回転子と固定子とのギャップ間の磁束により変化する。そして、回転子 2 1 の表面に溝（上述の溝 2 2 b , 2 2 c , 2 2 d、あるいは、溝 2 3 b , 2 3 c , 2 3 d）を設けることで、回転子と固定子とのギャップ間の距離を変えることと同等の効果が得られる。このギャップ間の距離を拡大することは、磁気的に見た場合非常に大きな抵抗である。よって、溝の位置や数を適切に選ぶことで、ギャップ間の磁気抵抗を所期の値に設定しトルク脈動の位相を任意に変更することが可能である。

10

【 0 0 3 5 】

また、上述において、溝（上述の溝 2 2 b , 2 2 c , 2 2 d、あるいは、溝 2 3 b , 2 3 c , 2 3 d）は、それぞれの磁極に対し、仮想平面 f から円周方向片側の部分のみに 1 つ以上配設されることが望ましいと説明したが、これは、上述のように配設することで、q 軸の磁束が通る磁路の磁気抵抗の（溝の配設による）増大を防ぐことができ、リラクタンストルクの減少を抑えることができるためである。これにより、リラクタンストルクの減少を略半分に抑えることができ、平均トルクの減少を抑えることができる。

20

【 0 0 3 6 】

本実施例では、回転子 2 1 全体のトルクが、第 1 回転子コア 2 2 のトルクと第 2 回転子コア 2 3 のトルクとを合算した値となる。上述のように、仮想平面 f から円周方向片側のみに複数の溝を配設した第 1 回転子コア 2 2 と、同構造を反転させた第 2 回転子コア 2 3 とを積み重ねることで、リラクタンストルクの減少を略半分に抑えることができ、平均トルクの減少を抑えることができる。

【 0 0 3 7 】

また、本実施例では、上述のように、第 1 回転子コア 2 2 において、d 軸を電気角 0 deg . としたとき、電気角 25 deg . ~ 70 deg .（8 極 IPM モータの場合は、機械角 6.25 deg . ~ 17.5 deg .）の範囲に 3 つの溝 2 2 b , 2 2 c , 2 2 d を設け、第 2 回転子コア 2 3 は、第 1 回転子コア 2 2 とを反転させたものとする。第 1 回転子コア 2 2 と第 2 回転子コア 2 3 に働くトルク脈動の波形の位相を略 180 deg . 反転させることができ、トルク脈動を第 1 回転子コア 2 2 と第 2 回転子コア 2 3 で打ち消して、回転子全体のトルク脈動を大幅に低減することを可能とする。

30

【 0 0 3 8 】

本実施例では、平均トルクは落とさずに、第 1 回転子コア 2 2 と第 2 回転子コア 2 3 のトルク脈動の位相が略 180 deg . 反転するように、電気角 25 deg . ~ 70 deg . の範囲に 3 つの溝を設けたが、IPM モータの大きさや極数、永久磁石の磁気特性に合わせて、溝の位置や数を適切に選ぶ必要がある。

【 0 0 3 9 】

図 2 は、有限要素法による磁界解析を用いて算出した、本実施例における回転子と従来の回転子の、電気角 0 deg . ~ 360 deg . におけるトルクの波形を示すグラフであり、横軸を電気角、縦軸をトルク（pu 単位系）としている。また、図 3 は、本実施例における回転子 2 1 と従来の回転子 1 1 の、電気角 0 deg . ~ 360 deg . における平均トルク及びトルク振幅の peak to peak を示すグラフであり、縦軸を平均トルクとトルク振幅の peak to peak の値（共に pu 単位系）としている。

40

【 0 0 4 0 】

図 2 に示すように、従来の回転子 1 1（図 4 参照）ではトルク脈動が顕著に表れている。対して、本実施例における回転子 2 1（図 1 参照）は、第 1 回転子コア 2 2 と第 2 回転子コア 2 3 に働くトルクの波形の位相が、略 180 deg . 反転しており、2 つのトルク

50

を合算した回転子全体のトルクとしては、トルク脈動が抑えられる。

【0041】

図2の結果から、図3に示すように、従来の回転子11のトルク脈動 (peak to peak) が0.37であるのに対し、本実施例における回転子21のトルク脈動 (peak to peak) は0.08であり、78.5%の低減を実現可能であることがわかる。一方、従来の回転子11の平均トルクは1.00であるのに対し、本実施例における回転子21の平均トルクは0.99であり、僅か1%の減少に留まっている。よって、本実施例における回転子21は、従来の回転子11と総合的に比較して、永久磁石をスポーク配置としながら平均トルクの減少を抑制しつつトルク脈動のみを低減できるので高性能であるといえる。

10

【0042】

また、本実施例における回転子21を、従来の回転子11の固定子コア10にスキューを施した場合と比較しても、平均トルクの減少は小さく、固定子巻線の自動挿入化が容易という利点がある。

【0043】

さらに、本実施例における回転子21を、従来の回転子11の回転子コア10にスキューを施した場合と比較しても、平均トルクの減少は小さく、永久磁石14を挿入する永久磁石挿入穴24 (永久磁石挿入穴片22a, 23a) が全て軸方向を向いているため、永久磁石14の挿入が容易という利点がある。

20

【0044】

また、本実施例では、第1回転子コア22と第2回転子コア23が、同一構造であるため、第1回転子コア22と第2回転子コア23を打ち抜き加工するための金型が、1種類のみで良く、生産性が良い。

【0045】

なお、上述では、第1回転子コア22と第2回転子コア23を1組で構成した回転子で説明したが、第1回転子コア22と第2回転子コア23を交互に複数組で構成した回転子の場合も同様の効果を得ることができる。

【0046】

以上、本発明の実施例1に係る回転子について説明したが、換言すれば本発明の実施例1に係る回転子は、円周方向に磁化された永久磁石14が円周面に沿ってスポーク配置された、永久磁石モータの回転子であって、少なくとも極数に相当する数の、回転軸と平行な方向に貫通する永久磁石挿入穴片22aが配設され、各永久磁石挿入穴片22aの間にある各磁極の円周面に、d軸と回転軸中心とを通る仮想平面fを対称面としたときに非対称な配置となる溝22b, 22c, 22dが設けられた第1回転子コア22と、第1回転子コア22を軸方向に表裏反転した形状であり、互いの永久磁石挿入穴片22a, 23aが、円周方向においてそれぞれ同じ位置にあり、回転軸と平行な方向に連通することで、永久磁石14を埋め込むことが可能な永久磁石挿入穴24をそれぞれ形成するように、第1回転子コア22に対して積み重ねられた第2回転子コア23と、各永久磁石挿入穴24にそれぞれ配設された永久磁石14とを備えるものである。

30

【0047】

これにより、本発明の実施例1に係る回転子は、トルク脈動が大きな永久磁石がスポーク配置された永久磁石モータの回転子であるが、生産性及び平均トルクを悪化させることなく、トルク脈動を効果的に低減することができる。

40

【0048】

また、本発明の実施例1に係る回転子は、溝 (上述の溝22b, 22c, 22d、あるいは、溝23b, 23c, 23d) が、各磁極に対し、仮想平面fから円周方向片側のみ1つ以上配設されるものとしてもよい。

【0049】

これにより、本発明の実施例1に係る回転子は、トルク脈動が大きな永久磁石がスポーク配置された永久磁石モータの回転子であるが、さらに、生産性及び平均トルクを悪化さ

50

せることなく、トルク脈動を効果的に低減することができる。

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明は、永久磁石モータの回転子として好適である。

【符号の説明】

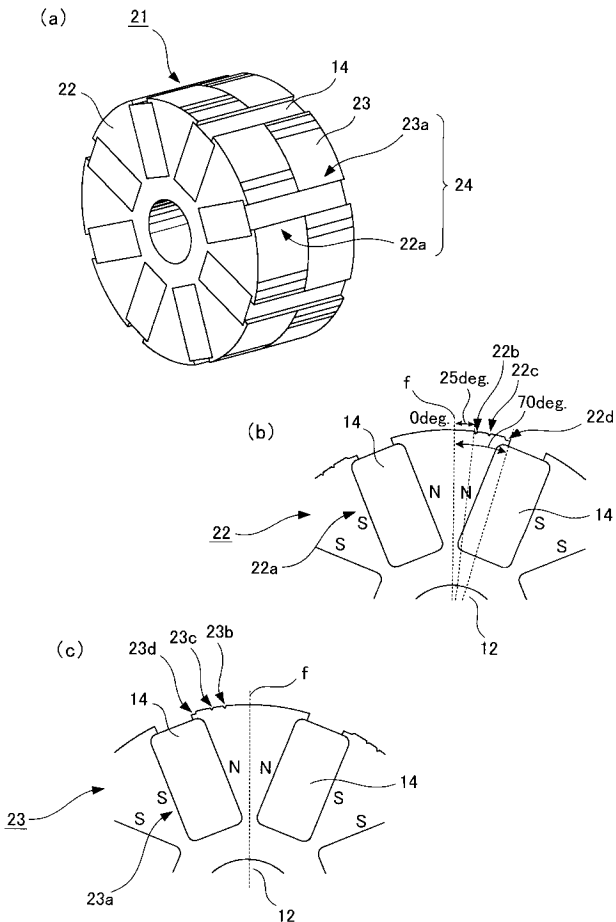
【0051】

- 10 固定子コア
- 11 (従来の)回転子
- 12 シャフト
- 13 (従来の)回転子コア
- 13a (従来の)永久磁石挿入穴
- 14 永久磁石
- 21 (本発明の実施例1に係る永久磁石モータの)回転子
- 22 第1回転子コア
- 22a (第1回転子コアの)永久磁石挿入穴片
- 22b (第1回転子コアの)第1溝
- 22c (第1回転子コアの)第2溝
- 22d (第1回転子コアの)第3溝
- 23 第2回転子コア
- 23a 第2回転子コアの永久磁石挿入穴片
- 23b (第2回転子コアの)第1溝
- 23c (第2回転子コアの)第2溝
- 23d (第2回転子コアの)第3溝
- 24 永久磁石挿入穴

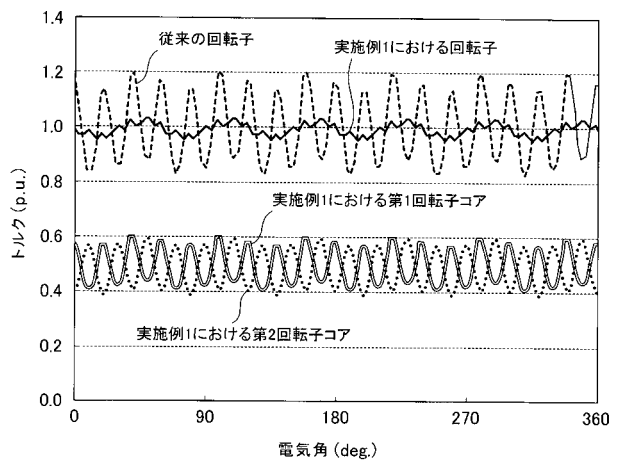
10

20

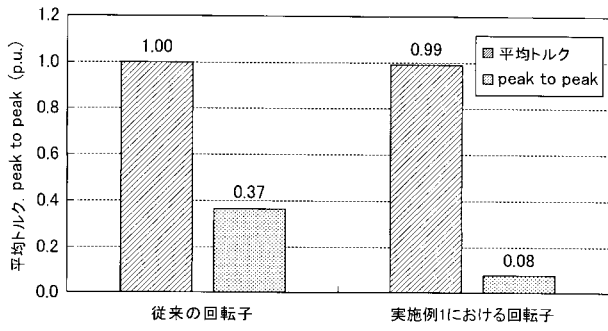
【図1】



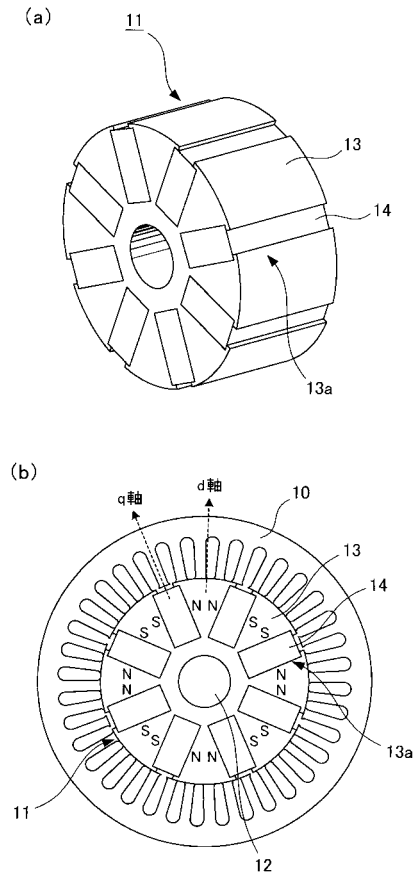
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



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
- Fターム(参考) 5H622 AA02 AA03 CA02 CA07 CB05