

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4680442号
(P4680442)

(45) 発行日 平成23年5月11日 (2011.5.11)

(24) 登録日 平成23年2月10日 (2011.2.10)

(51) Int.Cl.

F 1

H02K 1/27 (2006.01)

H02K 1/27 501A

H02K 1/22 (2006.01)

H02K 1/27 501K

H02K 21/22 (2006.01)

H02K 1/27 501M

H02K 1/22 A

H02K 21/22 M

請求項の数 1 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2001-244614 (P2001-244614)
 (22) 出願日 平成13年8月10日 (2001.8.10)
 (65) 公開番号 特開2003-61280 (P2003-61280A)
 (43) 公開日 平成15年2月28日 (2003.2.28)
 審査請求日 平成20年7月2日 (2008.7.2)

(73) 特許権者 000010076
 ヤマハ発動機株式会社
 静岡県磐田市新貝2500番地
 (74) 代理人 100066980
 弁理士 森 哲也
 (74) 代理人 100075579
 弁理士 内藤 嘉昭
 (74) 代理人 100103850
 弁理士 田中 秀▲てつ▼
 (72) 発明者 内藤 真也
 静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発
 動機株式会社内
 (72) 発明者 日野 陽至
 静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発
 動機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータの回転子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

永久磁石型同期モータに設けられた固定子に対応して使用される回転子であって、

前記回転子は強磁性体のコアを備え、前記コアの外周面の周方向に等間隔に所定個数の第1の永久磁石がそれぞれ取り付けられ、前記第1の永久磁石は、前記固定子側と対向する側の極性がS極とN極とが交互になるように配列され、前記第1の永久磁石の前記固定子と対向する部分は前記コアの外周面から外側に露出され、

前記コアは、前記第1の永久磁石の両端近傍から前記コアの内側に向かうとともに前記第1の永久磁石に沿って延びる円弧状の溝がそれぞれ形成され、前記各溝内には前記第1の永久磁石に対応する前記第2の永久磁石が収容され、前記第2の永久磁石は対応する前記第1の永久磁石の配列と同一に配列され、

前記溝の外端部と前記第1の永久磁石の端部との間の前記コアの周方向の距離は、前記回転子の回転方向の前側において後側よりも大きくし、その結果、前記溝に収容された前記第2の永久磁石は、前記回転子の回転方向において所定角度θだけ前記第1の永久磁石の配置位置からずらされており、

前記第2の永久磁石の両端は、前記コアの外周面から外側に露出されており、

さらに、前記第2の永久磁石は2つの永久磁石を含み、前記2つの永久磁石の双方は前記溝内に収容されるとともに、前記2つの永久磁石の対向する端部同士が隣接されていることを特徴とするモータの回転子。

【発明の詳細な説明】

10

20

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電気自動車などの移動体に使用される永久磁石型同期モータ（PMモータ）などのモータの回転子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、この種の永久磁石型同期モータとしては、回転子（ロータ）に磁気的な突極性を持たせ、これによりリラクタンストルクを有効利用するものが知られ、回転子の構造により埋込み磁石型と表面磁石型とがある。

埋込み磁石型は、回転子の内部に永久磁石を埋め込んだ構造で、リラクタンストルクを併用した永久磁石型同期モータとなる。

10

【0003】

一方、表面磁石型は、回転子1を例えば図10に示すように構成するものである。この回転子1は、強磁性体からなるコア2からなり、このコア2の外周表面に所定間隔をおいて永久磁石3をそれぞれ貼り付けるとともに、永久磁石3と永久磁石3との間に、突部4を設けるようにしたものである。表面磁石型は、その回転子1の突部4によって発生するリラクタンストルクを利用した永久磁石型同期モータである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、埋込み磁石型では、回転子のコアの内部に永久磁石を埋め込むため、永久磁石に磁束のコア内での短絡が発生する。

20

一方、表面磁石型では、短絡磁束は殆ど発生せず、永久磁石の磁束を有効に使用できるため、永久磁石の使用量を削減できる。

【0005】

しかし、表面磁石型では、その磁石と対向する固定子側の巻線の誘起電圧波形が高調波を多く含むため、モータのトルク変動（トルクリプル）が大きくなり、その結果、回転子の振動やその振動による騒音の原因になっていた。

そこで、本発明の第1目的は、上記の点に鑑み、リラクタンストルクを併用した永久磁石型同期モータにおいて、誘起電圧波形の改善によりトルク変動を改善するとともに、マグネットトルクの向上を図ることに貢献できる、モータの回転子を提供することにある。

30

【0006】

また、本発明の第2目的は、リラクタンストルクを併用した永久磁石型同期モータの力率の向上に貢献できる、モータの回転子を提供することにある。

【0007】

上記課題を解決し、本発明の目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、以下のよう構成した。

すなわち、本発明は、永久磁石型同期モータに設けられた固定子に対応して使用される回転子であって、前記回転子は強磁性体のコアを備え、前記コアの外周面の周方向に等間隔に所定個数の第1の永久磁石がそれぞれ取り付けられ、前記第1の永久磁石は、前記固定子側と対向する側の極性がS極とN極とが交互になるように配列され、前記第1の永久磁石の前記固定子と対向する部分は前記コアの外周面から外側に露出され、前記コアは、前記第1の永久磁石の両端近傍から前記コアの内側に向かうとともに前記第1の永久磁石に沿って延びる円弧状の溝がそれぞれ形成され、前記各溝内には前記第1の永久磁石に対応する前記第2の永久磁石が収容され、前記第2の永久磁石は対応する前記第1の永久磁石の配列と同一に配列され、前記溝の外端部と前記第1の永久磁石の端部との間の前記コアの周方向の距離は、前記回転子の回転方向の前側において後側よりも大きくし、その結果、前記溝に収容された前記第2の永久磁石は、前記回転子の回転方向において所定角度 θ だけ前記第1の永久磁石の配置位置からずらされており、前記第2の永久磁石の両端は、前記コアの外周面から外側に露出されており、さらに、前記第2の永久磁石は2つの永久磁石を含み、前記2つの永久磁石の双方は前記溝内に収容されるとともに、前記2つの

40

50

永久磁石の対向する端部同士が隣接されている。

【0008】

このように本発明では、回転子を構成する永久磁石を、コアの表面側に設けた第1の永久磁石と、そのコアの内部に埋め込んだ第2の永久磁石とに分散するようにした。

このため、本発明によれば、永久磁石の使用総量を従来の表面磁石型の回転子と同一にした場合に、固定子との間に発生する磁束分布密度が従来よりも改善されて誘起電圧波形が改善されるためにモータのトルク変動を改善でき、かつ電機子鎖交磁束が増加するためにマグネットトルクも向上する。

【0011】

また、このような構成からなる本発明の特徴について以下に説明する。

図10に示すような従来の回転子では、リラクタンストルクを利用するため、電機子磁束が大きくなる。このため、モータの力率が低下する。この力率を改善するためには電機子磁束を抑える必要があるが、トルクを低下させてしまう。

【0012】

そこで、このような不都合を解消するために、本発明では上記のような構造とした。

【0013】

このような構造にすると、マグネットトルクを殆ど変化させることがない上に、リラクタンストルクがわずかに低下するもののそのピーク位相（進角）を小さくできるので、その合成トルク（マグネットトルク＋リラクタンストルク）のピーク値を殆ど低下させることがない。

さらに、電機子磁束が低下する上にその位相も変化するので、誘起電圧と電流の位相差が小さくなり、モータの力率が向上する。そのため、モータの最大出力を増大させることができ、特に電源としてバッテリーを用いた低電圧のアプリケーションに有効である。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

本発明のモータの回転子の第1実施形態の構成について、図1を参照して説明する。

この第1実施形態に係る回転子は、永久磁石型同期モータに適用されるものであって、その永久磁石型同期モータの所定の固定子（図示せず）に対応して使用されるものである。

【0015】

回転子11は、図1に示すように、強磁性体のコア12からなり、このコア12は例えば薄い珪素鋼板からなる積層鋼板13を積層して所定の厚さを有するものである。このコア12の外周面の周方向には、所定個数（この例では4個）の永久磁石14が所定間隔を置いて取り付けられている。

さらに具体的には、コア12の外周面の周方向に例えば4個の凹部15が設けられ、この各凹部15内に永久磁石14がそれぞれ収容され固定されている。その各永久磁石14の配列は、図1に示すように、その表面側（図示しない固定子と対向する側）の極性がS極とN極とが交互に配置されるようになっている。

【0016】

コア12内であって、各永久磁石14とコア12の中心との間には、図1に示すように、各永久磁石14に対応する円弧状の永久磁石16、16がそれぞれ埋め込まれている。この円弧状の永久磁石16、16の各配列は、図1に示すように、対応する永久磁石14、14の配列と同一になるようにした。

さらに具体的には、コア12は、各永久磁石14の両端から等距離だけ離れた各位置から各永久磁石14にほぼ沿う方向に、円弧状の溝17、17がそれぞれ形成されている。その円弧状の各溝17、17内には、円弧状の永久磁石16、16がそれぞれ収容され固定されている。

【0017】

コア12の中心の厚さ方向には、図示しない回転軸を取り付けるための取り付け孔18が設けられている。

10

20

30

40

50

なお、図 1 に示す回転子 1 1 では、そのコア 1 2 内に埋め込まれる永久磁石 1 6、1 6 を 1 層として構成したものである。しかし、これに代えてそのコア 1 2 内に、永久磁石 1 6、1 6 に相当する永久磁石を 2 層また 3 層のように多層とするようにしても良い。

【0018】

次に、このように構成される第 1 実施形態の回転子を所定の永久磁石型同期モータに使用した場合には、そのモータのトルク T は、次の (1) 式により与えられる。

$$T = P_n \times \Phi_a \times i_q + P_n(L_d - L_q) \times i_d \times i_q \cdots (1)$$

ここで、(1) 式において、第 1 項がマグネットトルクを表し、第 2 項がリラクタンストルクを表す。

【0019】

また、(1) 式において、 P_n は永久磁石 1 4 の極対数である。また、 Φ_a は、 $\Phi_a = \sqrt{3/2} \times \Phi_f$ ($\sqrt{3/2}$ は、 $3/2$ の平方根を意味し、 Φ_f は永久磁石による電機子鎖交磁束の最大値である) である。さらに、 L_d 、 L_q は、 d 軸と q 軸の各インダクタンスである。また、 i_d 、 i_q は、電機子電流の d 軸と q 軸の各成分である。

【0020】

次に、第 1 実施形態の回転子と、図 1 0 に示す従来の回転子とを、所定の永久磁石型同期モータに適用して各種の比較試験を実施したので、その試験結果について説明する。なお、この試験では、第 1 実施形態の回転子 1 1 の永久磁石 1 4、1 6 の使用総量と、図 1 0 に示す従来の回転子 1 の永久磁石 3 の使用総量とを同一としている。

【0021】

図 2 は、電機子鎖交磁束の基本波形の比較例を示し、曲線 A が従来の回転子の場合であり、曲線 B が第 1 実施形態の回転子の場合である。

両者を比較すると、第 1 実施形態の回転子の方が従来の回転子よりも約 10% 大きくなっている。これは、(1) 式において Φ_a が約 10% 増加することになるので、(1) 式における第 1 項のマグネットトルクが約 10% 向上する。

【0022】

図 3 は、第 1 実施形態の回転子 1 1 の場合の他に、回転子内に埋め込む永久磁石を 2 層、3 層とした場合の電機子鎖交磁束の比較例を示す。この比較例によれば、回転子内に埋め込む永久磁石を 2 層、3 層と増加すると、その増加に伴って電機子鎖交磁束が増加し、よってマグネットトルクも増加することがわかる。

図 4 は、モータの固定子側の巻線に誘起される相誘起電圧の波形の比較例である。

【0023】

この比較例によれば、従来の表面磁石型の回転子の場合には、相誘起電圧は実線で示すように、高調波がのって階段状になっている。トルクの波形は、その誘起電圧とモータに供給される正弦波電流との積で表されるので、従来の回転子の場合には大きなトルク変動が発生する。

これに対して、第 1 実施形態の回転子の場合には、一点鎖線で示すように、相誘起電圧の波形が改善されるので、トルク変動も改善される。このトルク変動の改善度は、回転子における埋め込み磁石の層数が増加するほど改善され、その層数とトルク変動（トルクリプル）の減少の程度を図 5 に示す。

【0024】

なお、上記の第 1 実施形態の回転子 1 1 は、モータがインナーロータ型の場合である。しかし、その回転子 1 1 のように、コアの表面側に設けた永久磁石 1 4 と、そのコアの内部に埋め込んだ永久磁石 1 6 とに分散するという考え方を、モータがアウターロータ型の場合においてその回転子に適用するようにしても良い。

【0025】

次に、本発明のモータの回転子の第 2 実施形態の構成について、図 6 を参照して説明する。

図 1 0 に示す従来の回転子 1 では、突部 4 によって発生するリラクタンストルクを利用するため、電機子磁束が大きくなる。このため、モータの力率が低下する。この力率を改善

10

20

30

40

50

するためには電機子磁束を抑える必要があるが、トルクを低下させてしまうという不都合がある。

【0026】

そこで、このような不都合を解消するために、図6に示すような第2実施形態に係る回転子21を考案した。

すなわち、この回転子21は、強磁性体のコア22からなり、このコア22は例えば薄い珪素鋼板からなる積層鋼板23を積層して所定の厚さを有するものである。このコア22の外周面の周方向には、所定個数（この例では4個）の円弧状の永久磁石24が所定間隔を置いて取り付けられている。さらに、コア22の外周面の各永久磁石24の両隣には、リラクタンストルク発生用の突部25を設けるようにした。

10

【0027】

さらに具体的には、コア22の外周面の周方向に、所定個数（この例では4個）の凹部26が所定間隔を置いて形成されるとともに、その凹部26と凹部26との間に円弧状の突部25が形成されるようにした。その凹部26内に永久磁石24を収容されて固定されている。その各永久磁石24の配列は、図6に示すように、その表面側の極性がS極とN極とが交互に配置されるようにした。

【0028】

さらに、各突部25は、コア22の回転方向の各先端側を図6に示すように傾斜状に切り欠き、その各突部25が傾斜部と円弧部とから形成されるようにした。従って、各突部25は形状自体は同一であるが、図6に示すように、コア22上では左右で非対称に配置されたものとなる。

20

次に、以上の構成からなる第2実施形態の回転子と、図10に示す従来の回転子とを、所定の永久磁石型同期モータに適用して各種の比較試験を実施したので、その試験結果について説明する。なお、この試験では、第2実施形態の回転子21の永久磁石24の使用総量と、図10に示す従来の回転子1の永久磁石3の使用総量とを同一としている。

【0029】

図7は、モータの相誘起電圧のマグネット成分の基本波成分、その相誘起電圧の電機子成分の基本波成分、それらの合成相誘起電圧の基本波成分、およびモータに流れる相電流の比較例を示す。

これについて検討すると、まず相誘起電圧のマグネット成分は、第2実施形態の回転子と従来の回転子のいずれの場合であっても、図7の実線Aに示すようにほぼ同一となる。

30

【0030】

これに対して、相誘起電圧の電機子成分は、第2実施形態の回転子の場合には実線B1に示すようになり、点線B2で示す従来の回転子の場合に比べてその全体が図示のようにシフトする。従って、合成相誘起電圧は、第2実施形態の回転子の場合には実線C1に示すようになり、点線C2で示す従来の回転子の場合に比べてその全体が図示のようにシフトする。

【0031】

この結果、モータの合成相誘起電圧とモータに流れる相電流との位相差を比較すると、第2実施形態の回転子の場合には $\theta 1$ となり、 $\theta 2$ で示す従来の回転子の場合に比べて小さくなる。

40

図8は、モータのマグネットトルク、モータのリラクタンストルク、それらの合成トルク、およびモータの力率の比較例を示す。

【0032】

これについて検討すると、まずマグネットトルクは、第2実施形態の回転子と従来の回転子のいずれの場合も、図8の実線Aに示すようにほぼ同一となる。

これに対して、リラクタンストルクは、第2実施形態の回転子の場合には実線B1に示すようになり、点線B2で示す従来の回転子の場合と比べて、その全体が電流位相の負側にシフトする。

【0033】

50

従って、マグネットトルクとリラクタンストルクの合成トルクは、第2実施形態の回転子の場合には実線C1に示すようになり、従来の回転子の場合には点線C2に示すようになる。このため、その最大値は変わらないが、リラクタンストルクの場合と同様に、全体として電流位相の負側にシフトする。

しかし、上記のようにモータの合成相誘起電圧とモータに流れる相電流の位相差が従来よりも小さくなる。このため、モータの力率は、第2実施形態の回転子の場合には図8の実線D1に示すようになり、点線D2で示す従来の回転子の場合と比べて改善される。

【0034】

なお、上記の第2実施形態の回転子21は、モータがインナーロータ型の場合である。しかし、その回転子21のようにリラクタンストルクの発生にかかる突部25を切欠くとい

10

う考え方を、モータがアウターロータ型の場合においてその回転子に適用するようにしても良い。

次に、本発明のモータの回転子の第3実施形態の構成について、図9を参照して説明する。

【0035】

上記の第2実施形態の回転子11では、リラクタンストルクを利用するため、電機子磁束が大きくなる。このため、モータの力率が低下する。この力率を改善するためには電機子磁束を抑える必要があるが、トルクを低下させてしまうという不都合がある。

そこで、このような不都合を解消するために、図9に示すような第3実施形態に係る回転子31を考案した。

20

【0036】

この第3実施形態に係る回転子31は、図9に示すように、図1に示す回転子11の構成を基本とし、コア12内に埋め込む円弧状の各永久磁石36、36の埋め込み位置を、回転子31の回転方向に所定角度 θ だけずらすようにしたものである。

すなわち、回転子31は、コア12内であって、各永久磁石14とコア12の中心との間に、図9に示すように、各永久磁石14に対応する円弧状の永久磁石36、36をそれぞれ埋め込むようにし、その各永久磁石36、36の各埋め込み位置を、全体的に回転子31の回転方向に所定角度 θ だけずらすようにしたものである。

【0037】

さらに具体的には、コア12は、各永久磁石14の両端から各永久磁石14に沿う方向に、円弧状の溝37、37をそれぞれ形成している。しかし、その各溝37、37の各入り口の各位置が、各永久磁石14の両端から等距離ではなく、回転子31の回転方向の前側がその後方側よりも大きくするようにした。そして、その円弧状の各溝37、37内には、円弧状の永久磁石36、36がそれぞれ収容され固定されている。

30

【0038】

なお、他の部分の構成は、第1実施形態の回転子11と同様であるので、同一構成要素には同一符号を付してその説明は省略する。

以上のような構成による第3実施形態によれば、第2実施形態と同様にその特性を改善することができる。

すなわち、第3実施形態によれば、マグネットトルクを殆ど変化させることがない上に、リラクタンストルクがわずかに低下するもののそのピーク位相を小さくできるので、その合成トルクのピーク値を殆ど低下させることがない（図8参照）。

40

【0039】

さらに、電機子磁束が低下する上にその位相も変化するので、相誘起電圧と相電流の位相差が小さくなり、モータの力率を向上させることができる（図7および図8参照）。

なお、上記の第3実施形態の回転子31は、モータがインナーロータ型の場合である。しかし、その回転子31のように、各永久磁石36、36の埋め込み位置を、回転子31の回転方向に所定角度 θ だけずらすという考え方を、モータがアウターロータ型の場合においてその回転子に適用するようにしても良い。

【0040】

50

次に、本発明のモータの回転子の第4実施形態の構成について、図11を参照して説明する。

上記の第3実施形態では、図9に示すように、回転子31を、コア12の表面側に永久磁石14を設けるとともに、そのコア12に内部に埋め込んだ永久磁石36が一層の場合について説明したが、第4実施形態では以下のように構成するようにした。

【0041】

すなわち、第4実施形態の回転子41は、図11に示すように、コア12の表面側の永久磁石14を省略するとともに、コア12の内部に永久磁石36A、36Bを、それぞれ埋め込んで多層（この場合には2層）となるようにした。そして、その永久磁石36A、36Bのうち、内側の永久磁石36Bの埋め込み位置を、図示のように回転方向に対して角度 θ だけずらすようにした。

10

【0042】

以上述べたように、本発明によれば、永久磁石の使用総量を従来の表面磁石型の回転子と同一にした場合には、固定子との間に発生する磁束分布密度が従来よりも改善されて誘起電圧波形が改善されるためにモータのトルク変動を改善でき、かつ電機子鎖交磁束が増加するためにマグネットトルクも向上する、モータの回転子を提供できる。

【0043】

また、本発明によれば、リラクタンストルクを併用したPMモータの効率の向上に貢献できる、回転子を提供できる上に、トルク変動の改善、マグネットトルクの向上、力率の向上の効果がある。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のモータの回転子の第1実施形態の構成を示し、(A)はその平面図、(B)はその側面図である。

【図2】電機子鎖交磁束の比較例を示す図である。

【図3】埋め込み磁石の層数と電機子鎖交磁束の比較例を示す図である。

【図4】相誘起電圧の波形の比較例を示す図である。

【図5】埋め込み磁石の層数とトルクリプルの比較例を示す図である。

【図6】本発明のモータの回転子の第2実施形態の構成を示し、(A)はその平面図、(B)はその側面図である。

【図7】モータの誘起電圧のマグネット成分、その誘起電圧の電機子成分、それらの合成誘起電圧、およびモータに流れる電流の比較例を示す図である

30

【図8】モータのマグネットトルク、モータのリラクタンストルク、それらの合成トルク、およびモータの力率の比較例を示す図である。

【図9】本発明のモータの回転子の第3実施形態の構成を示し、(A)はその平面図、(B)はその側面図である。

【図10】従来のモータの回転子の構成を示し、(A)はその平面図、(B)はその側面図である。

【図11】本発明のモータの回転子の第4実施形態の構成を示す平面図である。

【符号の説明】

11、21、31 回転子

40

12、22 コア

14 永久磁石

15 凹部

16 円弧状の永久磁石

17 溝

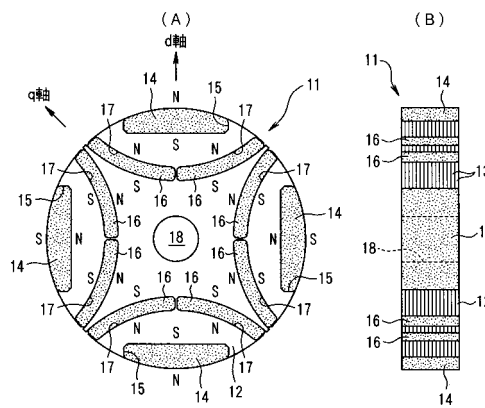
24 永久磁石

25 突部

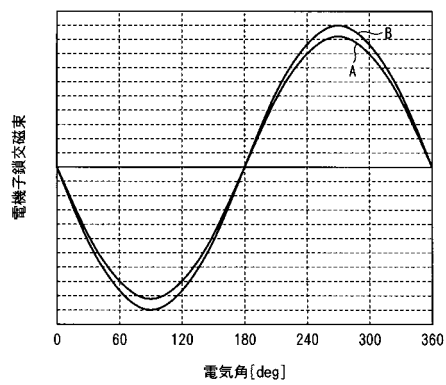
26 凹部

36 円弧状の永久磁石

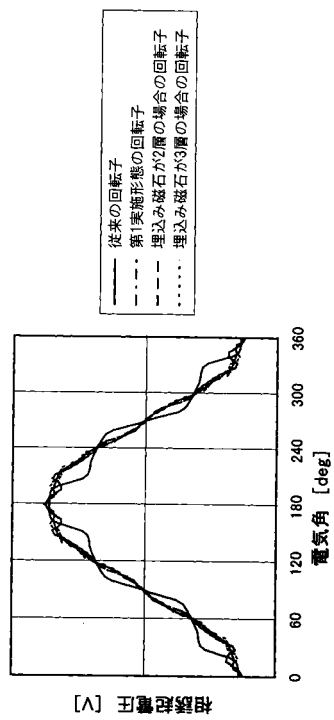
【図 1】



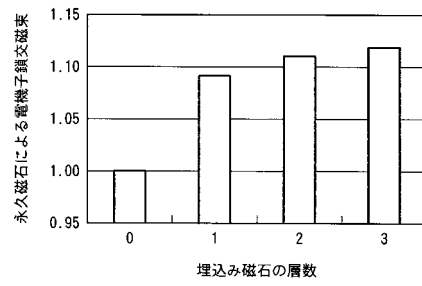
【図 2】



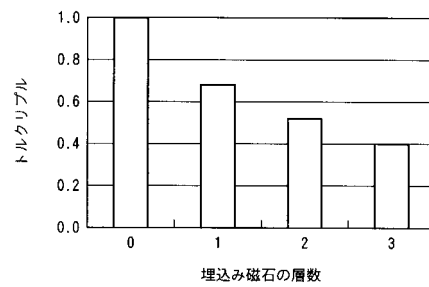
【図 4】



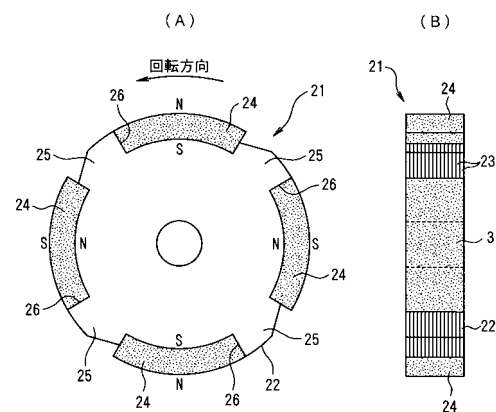
【図 3】



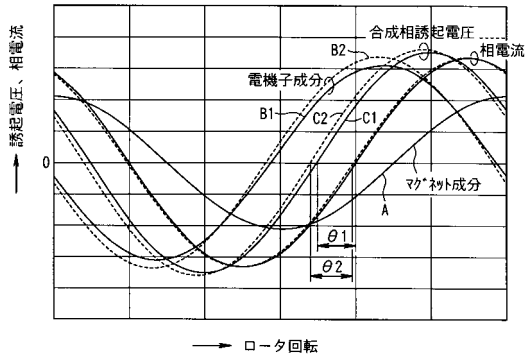
【図 5】



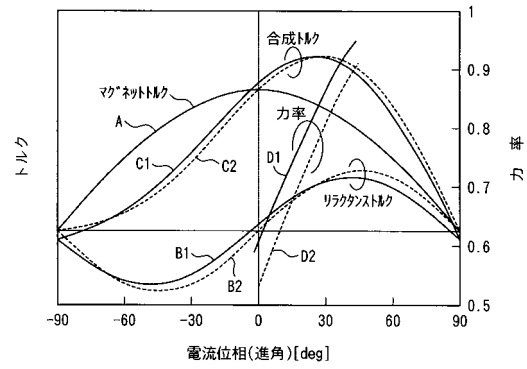
【図 6】



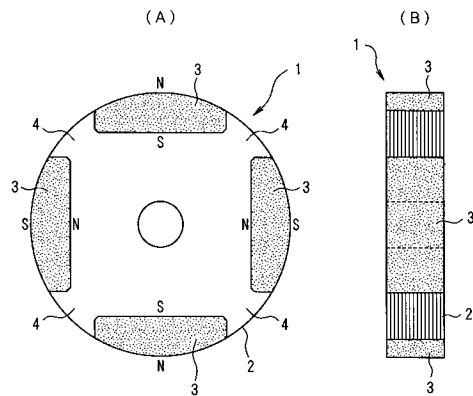
【図 7】



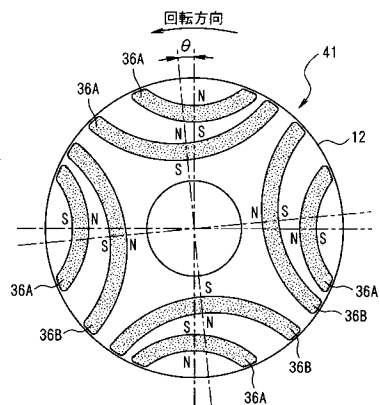
【図 8】



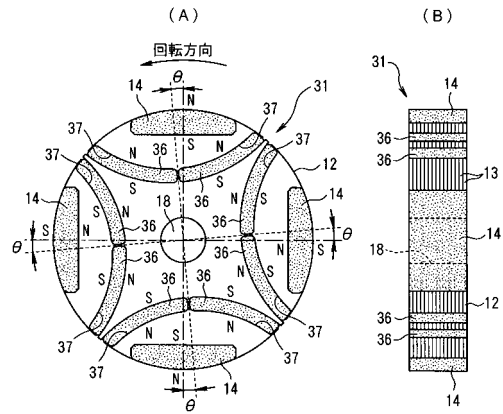
【図 10】



【図 11】



【図 9】



フロントページの続き

審査官 天坂 康種

- (56)参考文献 特開2000-253608 (JP, A)
特開平08-336269 (JP, A)
特開平07-143694 (JP, A)
特開平09-023598 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02K 1/27