

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年5月27日(27.05.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/058576 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/006216
- (22) 国際出願日: 2009年11月19日(19.11.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-296080 2008年11月19日(19.11.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 堺和人 (SAKAI, Kazuto) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 橋場豊 (HASHIBA, Yutaka) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 高橋則雄 (TAKAHASHI, Norio) [JP/JP]; 〒1058001 東

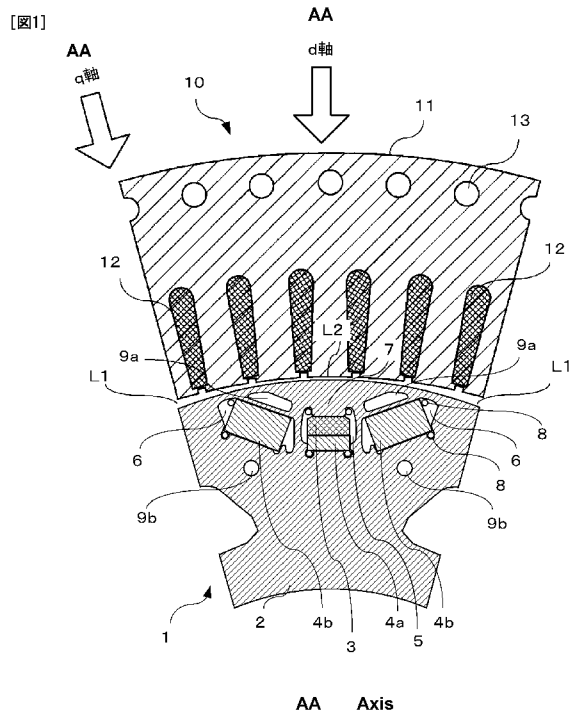
京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内 Tokyo (JP). 結城和明 (YUUKI, Kazuaki) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 木内光春 (KIUCHI, Mitsuharu); 〒1050003 東京都港区西新橋1丁目6番13号 虎ノ門吉荒ビルディング5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: PERMANENT MAGNET TYPE ROTATING ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 永久磁石式回転電機



(57) Abstract: This permanent magnet type rotating electric machine suppresses an increase in the magnetizing current during demagnetization and during magnetization, and enables variable speed operation over a wide range from low speed to high speed with high output. A rotor (1) is comprised of a rotor core (2), a variable magnetic force magnet (3), and a fixed magnetic force magnet (4). The variable magnetic force magnet (3) and a fixed magnetic force magnet (4a) overlap in the magnetization direction thereof to form a magnet series. This magnet series is disposed within the rotor core (2) at a position whereby the direction of magnetization is in the direction of axis d. On either side of the magnetic series of the variable magnetic force magnet (3) and the fixed magnetic force magnet (4a), fixed magnetic force magnets (4b, 4b) are disposed at a position whereby the direction of magnetization is in the direction of axis d. When the interlinkage magnetic flux of the variable magnetic force magnet (3) is reduced, a magnetic field is activated in the reverse direction of the magnetization direction of the variable magnetic force magnet (3) by means of the armature winding current. When the interlinkage magnetic flux of the variable magnetic force magnet (3) is increased, a magnetic field is activated in the same direction as the magnetization direction of the magnet by means of the armature winding current.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/058576 A1



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL,
NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

減磁時及び増磁時の磁化電流の増加を抑制し、高出力で低速から高速までの広範囲での可変速運転を可能とする。回転子 1 は、回転子鉄心 2、可変磁力磁石 3、固定磁力磁石 4 から構成する。可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a を各磁石の磁化方向に重ね合わせて磁石直列を構成する。この磁石直列は、磁化方向が d 軸方向となる位置で回転子鉄心 2 内に配置する。可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a の磁石直列の両側に、固定磁力磁石 4 b、4 b を磁化方向が d 軸方向となる位置で配置する。可変磁力磁石 3 の鎖交磁束を減少させる場合は、電機子巻線の電流により可変磁力磁石 3 の磁化方向と逆方向の磁界を作用させる。可変磁力磁石 3 の鎖交磁束を増加させる場合は、電機子巻線の電流により磁石磁化方向と同方向の磁界を作用させる。

明 細 書

発明の名称：永久磁石式回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、2種類以上の永久磁石を使用し、そのうちの少なくとも1つの永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させて、低速から高速までの広範囲での可変速運転を可能とした永久磁石式回転電機に関する。

背景技術

[0002] 一般に、永久磁石式回転電機は大きく分けて2種類のタイプがある。回転子鉄心の外周に永久磁石を貼り付けた表面磁石型永久磁石式回転電機と、永久磁石を回転子鉄心の中に埋め込んだ埋め込み型永久磁石式回転電機である。可変速駆動用モータとしては、埋め込み型永久磁石式回転電機が適している。

[0003] 永久磁石式回転電機では、永久磁石の鎖交磁束が常に一定の強さで発生しているため、永久磁石による誘導電圧は回転速度に比例して高くなる。そのため、低速から高速まで可変速運転する場合、高速回転では永久磁石による誘導電圧（逆起電圧）が極めて高くなる。永久磁石による誘導電圧がインバータの電子部品に印加されてその耐電圧以上になると、電子部品が絶縁破壊する。そのため、永久磁石の磁束量が耐電圧以下になるように削減された設計を行うことが考えられるが、その場合には永久磁石式回転電機の低速域での出力及び効率が低下する。

[0004] 低速から高速まで定出力に近い可変速運転を行う場合、永久磁石の鎖交磁束は一定であるため、高速回転域では回転電機の電圧が電源電圧上限に達して出力に必要な電流が流れなくなる。その結果、高速回転域では出力が大幅に低下し、さらには高速回転まで広範囲に可変速運転することができなくなる。

[0005] 最近では、可変速範囲を拡大する方法として、非特許文献1に記載されているような弱め磁束制御が適用され始めている。電機子巻線の総鎖交磁束量

はd軸電流による磁束と永久磁石による磁束とから成る。弱め磁束制御では、負のd軸電流による磁束を発生させることによって、この負のd軸電流による磁束で全鎖交磁束量を減少させる。また、弱め磁束制御においても高保磁力の永久磁石は磁気特性（B-H特性）の動作点が可逆の範囲で変化するようにする。このため、永久磁石は弱め磁束制御の減磁界により不可逆的に減磁しないように高保磁力のNdFeB磁石を適用する。

[0006] 弱め磁束制御を適用した運転では、負のd軸電流による磁束で鎖交磁束が減少するので、鎖交磁束の減少分が電圧上限値に対する電圧の余裕分を作る。そして、トルク成分となる電流を増加できるので高速域での出力が増加する。また、電圧余裕分だけ回転速度を上昇させることができ、可変速運転の範囲が拡大される。

[0007] しかし、出力には寄与しない負のd軸電流を常時流し続けるため銅損が増加して効率は悪化する。さらに、負のd軸電流による減磁界は高調波磁束を生じ、高調波磁束等で生じる電圧の増加は弱め磁束制御による電圧低減の限界を作る。これらより、埋め込み型永久磁石式回転電機に弱め磁束制御を適用しても基底速度の3倍以上の可変速運転は困難である。さらに、前述の高調波磁束により鉄損が増加し、中・高速域で大幅に効率が低下する問題がある。また、高調波磁束による電磁力で振動を発生する可能性もある。

[0008] ハイブリッド自動車用駆動電動機に埋め込み型永久磁石電動機を適用した場合、エンジンのみで駆動される状態では電動機は連れ回される。中・高速回転では電動機の永久磁石による誘導電圧が上昇するので、電源電圧以内に抑制するため、弱め磁束制御で負のd軸電流を流し続ける。この状態では、電動機は損失のみを発生するので総合運転効率が悪化する。

[0009] 電車で駆動電動機に埋め込み型永久磁石電動機を適用した場合、電車は惰行運転する状態があり、上記ハイブリッド自動車用駆動電動機と同様に永久磁石による誘導電圧を電源電圧以下にするために弱め磁束制御で負のd軸電流を流し続ける。その場合、電動機は損失のみを発生するので総合運転効率が悪化する。

- [0010] このような問題点を解決する技術として、特許文献1や特許文献2には、固定子巻線の電流で作る磁界により不可逆的に磁束密度が変化する程度の低保磁力の永久磁石（以下、可変磁力磁石という）と、可変磁力磁石の2倍以上の保磁力を有する高保磁力の永久磁石（以下、固定磁力磁石という）を配置し、電源電圧の最大電圧以上となる高速回転域では可変磁力磁石と固定磁力磁石による全鎖交磁束が減じるように、電流による磁界で可変磁力磁石を磁化させて全鎖交磁束量を調整する技術が記載されている。
- [0011] この特許文献1の永久磁石式回転電機は、図15に記載のような構成の回転子1を備えている。すなわち、回転子1は、回転子鉄心2、8個の可変磁力磁石3及び8個の固定磁力磁石4から構成されている。回転子鉄心2は珪素鋼板を積層して構成され、可変磁力磁石3はアルニコ磁石またはFeCrCo磁石であり、固定磁力磁石4はNdFeB磁石である。
- [0012] 可変磁力磁石3は回転子鉄心2の中に埋め込まれ、可変磁力磁石3の両端部には第1の空洞5が設けられている。可変磁力磁石3は磁極間の中心軸になるq軸と一致する回転子の半径方向に沿って配置され、半径方向に対して直角方向に磁化される。固定磁力磁石4は回転子鉄心2内に埋め込まれ、固定磁力磁石4の両端部には第2の空洞6が設けられている。固定磁力磁石4は、2個の可変磁力磁石3により回転子1内周側で挟まれるように回転子1のほぼ周方向に配置されている。固定磁力磁石4は回転子1の周方向に対してほぼ直角方向に磁化されている。
- [0013] 回転子鉄心2の磁極部7は2個の可変磁力磁石3と1個の固定磁力磁石4で取り囲まれるようにして形成されている。回転子鉄心2の磁極部7の中心軸方向がd軸、磁極間の中心軸方向がq軸となる。この回転子1を採用した特許文献1の永久磁石式回転電機では、固定子巻線に通電時間が極短時間（ $100\mu\text{s} \sim 1\text{ms}$ 程度）となるパルス的な電流を流して磁界を形成し、可変磁力磁石3に磁界を作用させる。着磁磁界を 250kA/m とすると、理想的には可変磁力磁石3には十分な着磁磁界が作用し、固定磁力磁石4には着磁による不可逆減磁はない。

[0014] その結果、特許文献1の永久磁石式回転電機では、回転子1のd軸電流により可変磁力磁石3の鎖交磁束量を最大から0まで大きく変化でき、また磁化方向も正逆の両方向にできる。すなわち、固定磁力磁石4の鎖交磁束を正方向とすると、可変磁力磁石3の鎖交磁束を正方向の最大値から0、さらには逆方向の最大値まで広範囲に調整することができる。従って、特許文献1の回転子では、可変磁力磁石3をd軸電流で着磁することにより可変磁力磁石3と固定磁力磁石4を合わせた全鎖交磁束量を広範囲に調整することができる。

[0015] 例えば、低速域では可変磁力磁石3は固定磁力磁石4の鎖交磁束と同方向（初期状態）で最大値になるようにd軸電流で磁化することにより、永久磁石によるトルクは最大値になるので、回転電機のトルク及び出力を最大にすることができる。中・高速域では、可変磁力磁石3の磁束量を低下させ、全鎖交磁束量を下げることにより、回転電機の電圧は下がるので、電源電圧の上限値に対して余裕ができ、回転速度（周波数）をさらに高くすることが可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0016] 特許文献1：特開2006-280195号公報

特許文献2：特開2008-48514号公報

非特許文献

[0017] 非特許文献1：埋込磁石同期モータの設計と制御、武田洋次・他共著、オーム社、2001年10月、ISBN：4-274-03567-0

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0018] 前記のような構成を有する特許文献1の永久磁石式回転電機は、回転子1のd軸電流により、可変磁力磁石3の鎖交磁束量を最大から0まで大きく変化でき、また磁化方向も正逆の両方向にできるという優れた特性を有する。

その反面、可変磁力磁石 3 を増磁させる場合に大きな磁化電流が必要となり、電動機を駆動するためのインバータの大型化を招くことになる。

[0019] 特に、永久磁石の特性上、減磁の場合よりも増磁の場合に大きな磁化電流が要求されるが、特許文献 1 の永久磁石式回転電機は、2 種類の磁石が磁氣的に並列に配置された構成のため、固定磁力磁石 4 の鎖交磁束の影響で、可変磁力磁石 3 の増磁に大きな磁界が必要となる。

[0020] 図 16 (A) から (D) は、そのことを説明する模式図である。特許文献 1 の永久磁石式回転電機では、図 16 (A) のように、2 つの可変磁力磁石 3 と 1 つの固定磁力磁石 4 とが、d 軸を中心として U 字形に配置されている。電動機の通常の運転状態では、可変磁力磁石 3 及び固定磁力磁石 4 の磁束の方向は、中心の磁極部 7 の方を向いている。この状態で、d 軸電流をパルス的に流して、減磁用の磁界を発生すると、その磁束は図 16 (B) のように、回転子 1 の外周側から可変磁力磁石 3 及び固定磁力磁石 4 を貫くように発生し、それによって、可変磁力磁石 3 は減磁される。このとき、固定磁力磁石 4 は、保磁力が高いため、減磁されることはない。

[0021] この減磁の場合、図 16 (B) のように、固定磁力磁石 4 の磁束は、d 軸方向と共に可変磁力磁石 3 の内側から外側に向かって、可変磁力磁石 3 の当初の磁束の向きとは逆に流れるので、d 軸電流の作る磁界による減磁作用を補助する。そのため、図 16 (C) のように、可変磁力磁石 3 の極性を反転させるまでの減磁が可能である。

[0022] 一方、増磁の場合には、d 軸電流を再びパルス的に印加することで、図 16 (D) に示すように、図 16 (B) とは逆方向の磁界を発生させ、その磁界を構成する逆方向の磁束によって、減磁した可変磁力磁石 3 の鎖交磁束を図 16 (A) の通常運転時の状態に戻す。しかし、本来、減磁に比較して増磁のためのエネルギーが大きく必要な上、図 16 (D) のように、可変磁力磁石 3 には固定磁力磁石 4 の磁束が減磁方向に加わっているため、これに打ち勝つだけの大きな磁界を生成することのできる磁化電流が必要となる。

[0023] このように、特許文献 1 の永久磁石式回転電機は、2 種類の磁石を磁氣的

に並列に配置したため、可変磁力磁石 3 の減磁量を大きくとることができ、磁力の変化幅を 0 ~ 100 % のように大きくすることができる利点はあるものの、増磁時に必要とする磁化電流が大きいという問題があった。

[0024] このような問題は、増磁時に限らず、可変磁力磁石 3 の減磁時においても少なからず発生するものであって、可変磁力磁石 3 の磁束量を効率よく行える永久磁石式回転電機の出現が望まれていた。

[0025] 本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、可変磁力磁石の増磁時における磁化電流を減少させることで、インバータの大型化を必要とすることなく、低速から高速までの広範囲で可変速運転を可能とし、低速回転域の高トルク化と中・高速回転域での高出力化、効率の向上を可能とした永久磁石式回転電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

[0026] 本発明は、保磁力と磁化方向厚の積が互いに異なる 2 種類以上の永久磁石を用いて、回転子鉄心内に複数個の磁極を形成して回転子を構成し、この回転子の外周に、エアギャップを介して電機子鉄心と電機子巻線からなる固定子を配置してなる永久磁石式回転電機において、次のような技術的特徴を有する。すなわち、前記 2 種類以上の永久磁石のうち、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて小さい永久磁石を積が小の永久磁石、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて大きい永久磁石を積が大の永久磁石と定義した場合に、前記 2 種類以上の永久磁石を含む 2 個以上の永久磁石を磁気回路上で直列に配置して磁石直列を形成し、この磁石直列に対して、前記積が大の永久磁石を磁気回路上で並列に配置し、前記電機子巻線の電流が作る磁界により、前記磁石直列を形成する永久磁石のうち、前記積が小の永久磁石を磁化させて、磁極を構成する永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させることを特徴とする。

[0027] 本発明において、回転子の各磁極に 2 種類以上の永久磁石を磁気回路上で直並列に配置すること、複数の磁極の間で 2 種類以上の永久磁石を磁気回路上で直並列に配置することも可能である。また、各磁極に、磁気障壁を設け

たり、短絡コイルを設けることも可能である。

発明の効果

[0028] 以上のような構成を有する本発明によれば、保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石の減磁時および増磁時の磁化電流の増加を抑止できるので、回転機の効率化を達成することができる。

図面の簡単な説明

- [0029] [図1]本発明の第1の実施の形態における回転子と固定子の断面図。
[図2]磁石の鎖交磁束が最大の状態を示す断面図。
[図3]コイルの電流で可変磁力磁石の磁力減少させる磁界を発生させた状態を示す断面図。
[図4]電流による逆磁界で可変磁力磁石の磁力が減少した状態を示す断面図。
[図5]電流による逆磁界で可変磁力磁石が逆方向に磁化し、磁石の鎖交磁束が最小の状態を示す断面図。
[図6]コイルの電流で極性反転した可変磁力磁石の磁力を減少させる磁界を発生させた状態を示す断面図。
[図7]電流による磁界で極性反転した可変磁力磁石の磁力を減少させた状態を示す断面図。
[図8]電流による逆磁界で可変磁力磁石が逆方向に磁化し、磁石の鎖交磁束が最大の状態を示す断面図。
[図9]低保磁力磁石の動作点変化と代表的磁石の磁気特性を示す図。
[図10]第1の実施の形態における減磁時の状態を示す断面図。
[図11]本発明における磁気障壁と q 軸磁束との関係を示す断面図。
[図12]本発明における短絡コイルの作用を示す断面図。
[図13]本発明の第2の実施の形態の構成を示す模式図。
[図14]本発明の第3の実施の形態の構成を示す模式図。
[図15]特許文献1に記載の回転子の断面図。
[図16]特許文献1に記載の回転子の作用を示す模式図。

発明を実施するための形態

- [0030] 以下、本発明に係る永久磁石式型回転電機の実施の形態について、図1～12を参照して説明する。なお、以下の実施の形態の回転電機は12極の場合で説明しているが、本発明は、他の極数でも同様に適用できる。
- [0031] (1. 第1の実施の形態)
(1-1. 構成)
本発明の第1の実施の形態について、図1を用いて説明する。
- [0032] 本発明の第1の実施の形態の回転子1は、図1に示すように回転子鉄心2、保磁力と磁化方向厚みの積が小となる永久磁石3（以下、可変磁力磁石という）、保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石（以下、固定磁力磁石という）4a、4bから構成する。ここで、4aは、可変磁力磁石3と磁気回路上で直列に配置される1個の固定磁力磁石を示しており、4bは、可変磁力磁石3と磁気回路上で並列に配置される2個の固定磁力磁石を示している。回転子鉄心2は珪素鋼板を積層して構成し、前記の可変磁力磁石3及び固定磁力磁石4a、4bは回転子鉄心2内に埋め込む。
- [0033] 回転子鉄心2内を通過する磁束が可変磁力磁石3及び固定磁力磁石4a、4bの部分を通る厚さ方向に通過するように、可変磁力磁石3及び固定磁力磁石4a、4bの端部に空洞5、6を設ける。回転子鉄心2の磁極部7は1個の可変磁力磁石3と3個の固定磁力磁石4a、4b、4bで取り囲まれるようにして形成する。回転子鉄心2の磁極部7の中心軸方向がd軸、磁極間の中心軸方向がq軸となる。
- [0034] 可変磁力磁石3はフェライト磁石またはアルニコ磁石を使用することができる。固定磁力磁石4a、4bは、NdFeB磁石とする。本実施の形態では、一例として、可変磁力磁石3に保磁力が280kA/mのフェライト磁石を使用し、固定磁力磁石4a、4bに保磁力が1000kA/mのNdFeB磁石を使用する場合について説明する。
- [0035] 可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aを各磁石の磁化方向に重ね合わせて1つの磁石を構成する。すなわち、可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aを同じ磁化方向として、磁氣的に直列に重ねて配置し、磁石直列を形成する。この

磁石直列は、磁化方向がd軸方向（ここでは、ほぼ回転子の半径方向）となる位置で回転子鉄心2内に配置する。一方、可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aの磁石直列の両側に、固定磁力磁石4b、4bを磁化方向がd軸方向となる位置で配置する。この横に配置した固定磁力磁石4b、4bは、前記磁石直列に対して、磁気回路上で並列回路を構成する。すなわち、磁気回路上では、可変磁力磁石3に対して、固定磁力磁石4aを直列に配置し、固定磁力磁石4b、4bを並列に配置する。また、回転子鉄心2の固定磁力磁石4b、4bの外周部と内周部には、空洞9a、9bが設けられている。このうち、固定磁力磁石4b、4b外周部の空洞9aは、固定磁力磁石4b、4bの配置方向に沿って伸びており、磁気障壁を形成している。

[0036] 前記回転子鉄心2内に埋め込まれた、可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aを積層した磁石直列と、両側の固定磁力磁石4b、4bとを取り囲むようにその上側（回転子の外周側）及び下側（回転子の内周側）に短絡コイル8を設ける。この時、短絡コイル8が固定磁力磁石4b、4bの磁化方向が中心軸となるようにする。この短絡コイル8は、リング状の導電性部材から構成し、回転子鉄心2内に設けた空洞5、6の縁の部分にはめ込むように装着する。なお、回転子鉄心2の穴に高温で溶けた導電性部材を流し込んで鑄造して製作することも可能である。この短絡コイル8は、可変磁力磁石3を除いた他の固定磁力磁石4b、4bの磁路部分に設ける。

[0037] この短絡コイル8は、電機子巻線にd軸電流を通電させた場合に発生する磁束で、短絡電流が発生するものである。短絡コイル8に流れる短絡電流は、不可逆変化させる永久磁石3の磁化が変化する程度の強さで1秒以内に流れ、その後1秒以内に50%以上減衰するものであることが好ましい。また、前記短絡コイル8のインダクタンス値と抵抗値を、可変磁力磁石3の磁化が変化する程度の短絡電流が流れるような値とすると、効率が良い。

[0038] 前記回転子2の外周には、エアギャップを介して固定子10を設ける。この固定子10は、電機子鉄心11と電機子巻線12とを有する。図中13は、電機子鉄心11の外周部に設けられた空洞である。この電機子巻線12に

流れる磁化電流により、前記短絡コイル 8 には誘導電流が誘起され、その誘導電流によって短絡コイル 8 を貫通する磁束が形成される。また、この電機子巻線 1 2 に流れる磁化電流により、可変磁力磁石 3 の磁化方向が不可逆的に変化する。

[0039] すなわち、可変磁力磁石 3 及び固定磁力磁石 4 a に対しては、永久磁石式回転電機の運転時において、d 軸電流による磁界で可変磁力磁石 3 を磁化させて、その磁束量を不可逆的に変化させる。その場合、可変磁力磁石 3 を磁化する d 軸電流を流すと同時に q 軸電流により回転電機のトルクを制御する。

[0040] また、d 軸電流で生じる磁束により、電流（q 軸電流と d 軸電流とを合成した全電流）と可変磁力磁石 3 及び固定磁力磁石 4 a, 4 b とで生じる電機子巻線の鎖交磁束量、すなわち、回転電機の全電流によって電機子巻線に生じる磁束と、回転子側の 2 種類以上の永久磁石 4 a, 4 b によって生じる磁束とから構成される電機子巻線全体の鎖交磁束量をほぼ可逆的に変化させる。

[0041] 特に、本実施の形態では、瞬時の大きな d 軸電流による磁界で可変磁力磁石 3 を不可逆変化させる。この状態で不可逆減磁がほとんど生じないか、僅かの不可逆減磁が生じる範囲の d 軸電流を連続的に流して運転する。このときの d 軸電流は電流位相を進めて端子電圧を調整するように作用する。

[0042] また、大きな d 軸電流で可変磁力磁石 3 の極性を反転させ、電流位相を進める運転制御方法を行う。このように d 軸電流で可変磁力磁石 3 の極性を反転させているので、端子電圧を低下させるような負の d 軸電流を流しても、可変磁力磁石 3 にとっては減磁界ではなく増磁界となる。すなわち、負の d 軸電流で可変磁力磁石 3 は減磁することなく、端子電圧の大きさを調整することができる。

[0043] 一般の磁石モータでは磁石の極性は反転していないので電流位相を進めることにより d 軸電流が増加すると、磁石が不可逆減磁する問題があるが、本実施の形態においては、可変磁力磁石 3 の極性を反転させて位相を進めるこ

とが可能である。

[0044] (1-2. 基本的な作用)

次に、第1の実施の形態において、作用を説明する。

本実施の形態では、固定子の電機子巻線に通電時間が極短時間(0.1ms~100ms程度)となるパルス的な電流を流して磁界を形成し、可変磁力磁石3に磁界を作用させる。可変磁力磁石3を磁化するための磁界を形成するパルス電流は固定子の電機子巻線のd軸電流成分とする。

[0045] 2種類の永久磁石4a, 4bの厚みはほぼ同等するとd軸電流による作用磁界による永久磁石の磁化状態変化は保磁力の大きさにより変わる。すなわち、作用磁界による永久磁石の磁化状態変化は、保磁力の大きさと永久磁石の厚みの積で概算する。本実施例では、フェライト磁石の保磁力は300kA/mとし、NdFeB磁石の保磁力は1000kA/mとする。また、磁化方向の磁石厚みは同一で5mmとする。磁化に要する起磁力は磁化に要する磁界と永久磁石の厚みの積で概算するので、フェライト磁石の90%の着磁磁界は約350kA/mなので、磁化に要する起磁力は350kA/m×5×10⁻³=1750Aとなる。一方、NdFeB磁石の90%の着磁磁界は約1500kA/mなので磁化に要する起磁力は1500kA/m×5×10⁻³=7500Aとなる。

[0046] 可変磁力磁石3であるフェライト磁石の磁力可変に必要な起磁力は、固定磁力磁石4a, 4bであるNdFeB磁石の約20%となる。従って、フェライト磁石の磁力を可変にできる電流では、NdFeB磁石の磁力は変わらずに維持できる。これより、これらの磁石を直列に組み合わせて磁石直列を構成すると、NdFeB磁石の磁力をベース分として維持して、フェライト磁石の磁力を変化させることにより、永久磁石の全鎖交磁束量を調整できる。

[0047] 初めに磁石の磁化方向とは逆方向の磁界を発生する負のd軸電流を電機子巻線にパルス的に通電させる。負のd軸電流によって変化した磁石内の磁界が175kA/mになったとすると、フェライト磁石の保磁力が175kA

／mなのでフェライト磁石の磁力は不可逆的に大幅に低下する。一方、NdFeB磁石の保磁力が1500kA／mなので磁力は不可逆的に低下しない。その結果、パルスのな d 軸電流が0になるとフェライト磁石のみが減磁した状態となり、全体の磁石による鎖交磁束量を減少することができる。

[0048] つぎに、永久磁石の磁化方向と同方向の磁界を発生する正の d 軸電流を電機子巻線に通電する。フェライト磁石が着磁するために必要な磁界を発生させる。正の d 軸電流によって変化した磁石内の磁界が350kA／mとすると、減磁していたフェライト磁石は着磁されて最大の磁力を発生する。一方、NdFeB磁石の保磁力が1500kA／mなので磁力は不可逆的に変化しない。その結果、パルスのな正の d 軸電流が0になるとフェライト磁石のみが増磁した状態となり、全体の磁石による鎖交磁束量を増加することができる。これにより元の最大の鎖交磁束量に戻すことが可能となる。

[0049] 以上のように d 軸電流による瞬時的な磁界をフェライト磁石とNdFeB磁石に作用させることにより、フェライト磁石の磁力を不可逆的に変化させて、永久磁石の全鎖交磁束量を任意に変化させることが可能となる。

[0050] この場合、永久磁石式回転電機の低速域での最大トルク時には磁極の永久磁石の磁束が加え合わせになるように可変磁力磁石3を磁化させ、トルクの小さな軽負荷時や、中速回転域と高速回転域では、前記可変磁力磁石3は、電流による磁界で磁化させて磁束を減少させる。また、磁極の磁石を不可逆変化させて鎖交磁束を最小にした状態で回転子が最高回転速度になったときに、永久磁石による誘導起電圧を、回転電機の電源であるインバータ電子部品の耐電圧以下とする。

[0051] (1-3. 直列配置の作用)

本実施の形態では、2種類の磁石を磁氣的に直列に配置して磁石直列を形成しているので、可変磁力磁石3の減磁及び増磁の際に、前記特許文献1の永久磁石式回転電機とは異なる作用を有する。この点を図2～8により説明する。

[0052] 図2は、減磁前の最大の鎖交磁束量を得ている場合の図である。この場合

、積層された2種類の永久磁石3, 4 aの磁化方向は同一であるため、両方の永久磁石3, 4 aの磁束が加え合わせになって、最大の磁束量が得られる。

[0053] 図3は、減磁時の状態を示すもので、電機子巻線によりd軸方向から両方の永久磁石3, 4 aの磁化方向とは逆方向の磁界を発生する負のd軸電流を電機子巻線にパルス的に通電させる。負のd軸電流によって変化した磁石内の磁界が175 kA/mになったとすると、可変磁力磁石3（フェライト磁石）の保磁力が175 kA/mなので可変磁力磁石3の磁力は不可逆的に大幅に低下する。この場合、可変磁力磁石3には、それに積層した固定磁力磁石4 aからの磁界が加わっており、これが減磁のためのd軸方向から加わる磁界と打ち消し合うことになるため、その分大きな磁化電流が必要となるが、減磁のための磁化電流は増磁時に比較して少なくて済むので、磁化電流の増加は少ない。

[0054] 図4は、負のd軸電流により逆磁界での可変磁力磁石3の磁力が減少した状態を示すものである。可変磁力磁石3の磁力は不可逆的に大幅に低下するが、固定磁力磁石4 a（NdFeB磁石）の保磁力が1500 kA/mなので磁力は不可逆的に低下しない。その結果、パルス的なd軸電流が0になると可変磁力磁石3のみが減磁した状態となり、全体の磁石による鎖交磁束量を減少することができる。

[0055] 図5は、負のd軸電流により逆磁界での可変磁力磁石3の磁力が逆方向に磁化（極性が反転）し、全体の磁石による鎖交磁束が最小になった状態を示すものである。負のd軸電流の大きさが可変磁力磁石3が着磁するために必要な350 kA/mの磁界を発生しているならば、減磁していた可変磁力磁石3は着磁されて磁力を発生する。この場合、2種類の永久磁石3, 4 aの磁化方向が逆であるため、両方の永久磁石の磁束が減算され、磁束が最小となる。

[0056] 図6は、負のd軸電流で極性が反転した可変磁力磁石3の磁力を減少させるために磁界を発生させた状態を示すものである。固定磁力磁石4 aの磁化

方向の磁界を発生する正の d 軸電流を電機子巻線にパルス的に通電させる。正の d 軸電流によって変化した磁石内の磁界が極性が反転した可変磁力磁石 3 の磁力を不可逆的に大幅に低下させる。この場合、可変磁力磁石 3 に積層されている固定磁力磁石 4 a からの磁界が磁化電流による磁界と加え合わせになる（固定磁力磁石 4 a からバイアス的な磁界が可変磁力磁石 3 に作用する）ため、可変磁力磁石 3 の減磁が容易に行われる。

[0057] 図 7 は、正の d 軸電流による磁界で極性反転した可変磁力磁石 3 の磁力が減少した状態を示すものである。可変磁力磁石 3 の磁力を不可逆的に低下させる正の d 軸電流による磁界には、固定磁力磁石 4 a による磁界も加わっている。そのため、通常は大きな磁化電流を必要とする時においても、固定磁力磁石 4 a の作用により、磁化電流の増大を抑止できる。

[0058] 図 8 は、正の d 軸電流により可変磁力磁石 3 が逆方向に磁化（極性が再度反転）し、全体の磁石による鎖交磁束が最大になった状態を示すものである。積層された 2 種類の永久磁石 3, 4 a の磁化方向は同一であるため、両方の永久磁石の磁束が加え合わせになって、最大の磁束量が得られる。

[0059] (1-4. 可変磁力磁石の作用)

次に、可変磁力磁石 3 の作用について述べる。図 9 は、代表的な磁石である NdFeB 磁石、フェライト磁石、アルニコ磁石、サマコバ磁石（サマリウムコバルト磁石）の磁気特性（保磁力と磁束密度との関係）を示したグラフである。この中で、本発明の固定磁力磁石 4 としては、前述した通り NdFeB 磁石を使用することができる。また、本実施の形態において、前述の「1-1. 構成」から「1-3. 直列配置の作用」の欄では、可変磁力磁石 3 として、フェライト磁石 3 を使用した場合について説明したが、本発明において、可変磁力磁石 3 としては、図 9 に示すように、前述したフェライト磁石やアルニコ磁石だけでなく、サマコバ磁石（サマリウムコバルト磁石）を使用することもできる。

[0060] 可変磁力磁石 3 は、低保磁力であっても、可変磁力磁石 3 のみの状態のときは高磁束密度であるが、固定磁力磁石 4 を並列に配置した状態では、その

作用で可変磁力磁石 3 の動作点は低下し、その磁束密度が低下する。これに対して、可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a を直列に積層した状態では、直列に積層した固定磁力磁石 4 a の作用で、可変磁力磁石 3 の磁石の動作点は上昇し、磁束密度が上昇する。

[0061] すなわち、低保磁力で高磁束密度の磁石であるアルニコ磁石またはサマコバ磁石の動作点は、可変磁力磁石 3 のみの状態では高磁束密度側（図 9 の A , B）にあるが、固定磁力磁石 4 b , 4 b を並列に配置した状態では低磁束密度側（図 9 の A' , B'）に低下する。しかし、本発明のように、可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a を直列に積層した状態では、並列に配置された固定磁力磁石 4 b , 4 b と、直列に配置された固定磁力磁石 4 a の磁界の向きが逆方向であるため、両者の磁界は相殺され、可変磁力磁石 3 の動作点は高磁束密度側（図 9 の A'' , B''）に移動する。

[0062] このグラフから分かるように、可変磁力磁石 3 として、アルニコ磁石やサマコバ磁石を単独で使用した場合には、動作点 A , B 点から磁束密度を下げるためには、その保磁力に打ち勝つだけの磁力を電機子巻線の d 軸電流による磁界で発生させる必要があり、大きな d 軸電流が必要となる。しかし、本実施の形態のように、並列に配置された固定磁力磁石 4 b , 4 b と、直列に配置された固定磁力磁石 4 a によって、可変磁力磁石 3 の動作点は図中 A'' に移動することになるので、磁界の強さをわずかに変化しただけでその磁束密度が急激に低下することになる。これにより、電機子巻線の d 軸電流により逆磁界で可変磁力磁石 3 の磁力が減少した場合に、その磁束密度の変化を大きくすることができるので、少ない d 軸電流によって、磁極内に配置された永久磁石全体による鎖交磁束量を大きく変化させることができる。

[0063] フェライト磁石は、アルニコ磁石と比較して保磁力が大きいいため、永久磁石の鎖交磁束を増加させる方向に極性を反転させた場合に要する磁化電流が大きくなる。しかし、本実施の形態では、直列に配置した固定磁力磁石の作用により少ない磁化電流で磁力を反転できる。

[0064] この点は、図 9 に示すフェライト磁石を可変磁力磁石 3 として使用した場

合も同様であって、アルニコ磁石やサマコバ磁石のような急激な変化は無いものの、フェライト磁石単独で使用した場合に比較すると、その動作点C”が低下するので、少ないd軸電流で磁束密度を低下させることができる。

[0065] (1-5. 磁気障壁の作用)

固定磁力磁石4a, 4bの外周部に設けられた磁気障壁の作用について、図10について述べる。磁気障壁となる空洞9aは、可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aを積層した磁石直列の外周部には設けられておらず、この磁石直列と並列に配置した固定磁力磁石4b, 4bの外周部のみに設けられている。固定磁力磁石4b, 4bは磁気障壁があるので、d軸電流による磁界は小さくなる。

[0066] 一方、可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aを積層した磁石直列の周りには磁気障壁がないのでd軸電流により生じる磁界は高くできる。これより、可変磁力磁石3と固定磁力磁石4aを積層した磁石直列に対してd軸電流による磁界Aを効果的に作用させることができる。また、d軸電流により増加する磁束に関しても、固定磁力磁石4b, 4bを通る磁束量の増加を抑制できるので、鉄心の磁気飽和を緩和でき、可変磁力磁石3の磁化を変化させるためのd軸電流も低減できる。

[0067] また、図11に示すように、q軸磁束Bが回転子鉄心2の磁極外周部を横切るように分布するが、磁気障壁となる空洞9aがあるので磁路断面積が狭くなって磁気抵抗が高くなる。従って、q軸インダクタンスを小さくすることができ、端子電圧を下げることができる。

[0068] (1-6. 短絡コイルの作用)

つぎに、図12により、短絡コイル8の作用について述べる。可変磁力磁石3と固定磁力磁石4a, 4bは、回転子鉄心2内に埋め込まれて磁気回路を構成しているので、前記d軸電流による磁界は可変磁力磁石3のみでなく、固定磁力磁石4a, 4bにも作用する。本来、前記d軸電流による磁界は可変磁力磁石3の磁化を変化させるために行う。

[0069] そこで、前記d軸電流による磁界が固定磁力磁石4b, 4bに作用しない

ようにし、可変磁力磁石 3 に集中するようにすればよい。本実施の形態では、固定磁力磁石 4 b, 4 b の上側（回転子の外周側）と下側（回転子の内周側）に短絡コイル 8 を配置する。短絡コイルは固定磁力磁石 4 b, 4 b の磁化方向を中心軸として配置する。前記 d 軸電流による磁界が固定磁力磁石 4 b, 4 b に作用すると、前記磁界を打ち消すような誘導電流が短絡コイル 8 に流れる。従って、固定磁力磁石 4 b, 4 b 中には前記 d 軸電流による磁界と短絡電流による磁界で、磁界の増減はほとんど生じない。さらに短絡電流による磁界は可変磁力磁石 3 にも作用し、d 軸電流による磁界と同方向になる。

[0070] 従って、可変磁力磁石 3 を磁化させる磁界が強まり、少ない d 軸電流で可変磁力磁石 3 を磁化できることになる。また、短絡コイルにより固定磁力磁石 4 b, 4 b は前記 d 軸電流の影響を受けず、磁束の増加はほとんど生じないので、前記 d 軸電流による電機子鉄心の 1 1 磁気飽和も緩和できる。

[0071] なお、固定磁力磁石 4 b, 4 b の下面（回転子の内周側）に、前記短絡コイル 8 に代えて導電性の板を設けることもできる。導電性の板として、銅板またはアルミ板を使用することが好ましい。また、導電性の板は、固定磁力磁石 4 b, 4 b の下面に限らず、上面（回転子の外周側）に配置しても良いが、上面に設けると、電流高調波やスロット高調波で導電性板に誘導電流が生じて前記高調波を低減できるメリットがある。

[0072] このような構成では、磁化電流によって発生した磁界が導電性の板に加わると、導電性の板の表面には誘導電流（渦電流）が発生し、それによって、前記短絡コイル 8 と同様な磁界が発生する。その磁界により、固定磁力磁石 4 b, 4 b 中には前記 d 軸電流による磁界と短絡電流による磁界で、磁界の増減はほとんど生じない。さらに短絡電流による磁界は可変磁力磁石 3 にも作用し、d 軸電流による磁界と同方向になる。同時に、電機子鉄心 1 1 の磁気飽和を緩和する作用も発揮される。

[0073] （1-7. エアギャップ長の作用）

第 1 の実施の形態では、図 1 に示すように、固定磁力磁石 4 b, 4 b が配

置された近傍のエアギャップ長 L_1 は、可変磁力磁石3が配置された近傍のエアギャップ長 L_2 よりも長くした構成とする。

[0074] 本実施の形態では、 d 軸電流による磁界は可変磁力磁石3及び固定磁力磁石4aに作用させることを目的としているが、漏れ磁界も生じる。そのため、本実施の形態では q 軸近傍のエアギャップ長 L_1 を d 軸近傍のエアギャップ長 L_2 よりも大きくしている。すなわち、エアギャップ長は可変磁力磁石3が配置された近傍で短くなっているため、エアギャップ部分の磁気抵抗が小さくなる。

[0075] 従って、磁石を磁化させるための d 軸電流による磁界は、 d 軸部に配置された可変磁力磁石3に集中させることができ、同時に高い磁界を作用させることができ、少ない d 軸電流で可変磁力磁石3を効果的に磁化できる。また、 q 軸側の磁気抵抗を大きくできるので、回転電機のインダクタンスを低減でき、力率を向上できる。他の実施例として、 q 軸方向の磁気抵抗を大きくするような非磁性部分を回転子鉄心内に設けてもよい。

[0076] (1-8. 効果)

以上のような構成並びに作用を有する本実施の形態においては、次の効果が得られる。(1) 増磁時の磁化電流の増加を抑止できるので、永久磁石式回転電機を駆動するためのインバータの大型化を必要とせず、現状のインバータをそのまま使用して、運転の効率化が可能となる。

(2) d 軸電流で可変磁力磁石3を不可逆的に変化させることにより、固定磁力磁石4aと固定磁力磁石4b、4bを合わせた全鎖交磁束量を広範囲に調整することができる。

[0077] (3) 永久磁石の全鎖交磁束量の調整は回転電機の電圧を広範囲に調整することを可能とし、また、着磁は極短時間のパルス的な電流で行うので常時弱め磁束電流を流し続ける必要もないので損失を大幅に低減できる。また、従来のように弱め磁束制御を行う必要がないので高調波磁束による高調波鉄損も発生しない。以上により、本実施の形態の回転電機は、高出力で低速から高速までの広範囲の可変速運転を可能とし、広い運転範囲において高効率も

可能となる。

[0078] (4) 永久磁石による誘導電圧に関しては、可変磁力磁石 3 を負の d 軸電流で着磁して永久磁石の全鎖交磁束量を小さくできるので、永久磁石の誘導電圧によるインバータ電子部品の破損がなくなり、信頼性が向上する。

[0079] (5) 回転電機が無負荷で連れ回される状態では、可変磁力磁石 3 を負の d 軸電流で着磁して永久磁石の全鎖交磁束量を小さくできる。これより、誘導電圧は著しく低くなり、誘導電圧を下げるための弱め磁束電流を常時通電する必要がほとんどなくなり、総合効率が向上する。特に惰行運転時間が長くなる通勤電車に本発明の回転電機を搭載して駆動すると、総合運転効率は大幅に向上する。

[0080] (2. 第 2 の実施の形態)

本発明の第 2 の実施の形態について、図 13 を用いて説明する。

本実施の形態は、図 13 のように、可変磁力磁石 3 の両側に固定磁力磁石 4 b, 4 b を並べて回転子の第 1 の磁極を構成する。一方、前記第 1 の磁極と隣接して、固定磁力磁石 4 a を配置して第 2 の磁極を構成する。これら隣接する第 1 と第 2 の磁極における固定磁力磁石 4 a, 4 b の極性は、回転子の外周側及び内周側でそれぞれ異なった極性となるように配置する。

[0081] すなわち、可変磁力磁石 3 の両側に固定磁力磁石 4 b, 4 b を配置した第 1 の磁極と、この第 1 の磁極の両側に配置され、第 1 の磁極の固定磁力磁石 4 b, 4 b とはその極性が異なる固定磁力磁石 4 a を用いて構成された第 2 の磁極とから、回転子の磁極が形成される。また、第 1 の磁極内では、可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 b, 4 b が磁気回路上で並列に配置され、第 1 の磁極の可変磁力磁石 3 と第 2 の磁極に配置された固定磁力磁石 4 a が磁気回路上で直列に配置され、磁石直列を形成している。

[0082] 以上のような構成を有する本実施の形態では、可変磁力磁石 3 は回転子の 1 つの極内では、固定磁力磁石と直列に配置されていない。しかし、可変磁力磁石 3 は、隣接する極の固定磁力磁石 4 a と直列に配置されており、この固定磁力磁石 4 a の磁界の影響を受けるので、前記第 1 の実施の形態のよう

に固定磁力磁石 4 a を積層した場合と同様の効果を得ることができる。すなわち、隣接する回転子の極の固定磁力磁石 4 a の磁界は、可変磁力磁石 3 内部では、可変磁力磁石 3 に対して並列に配置された固定磁力磁石 4 b, 4 b の磁界とは逆方向であり、互いに相殺するように作用する。これにより、可変磁力磁石 3 を不可逆減磁させた状態から増磁させて元の極性に戻す場合に、変化を妨げるような隣接する固定磁力磁石 4 b, 4 b による磁界を小さくできるので、可変磁力磁石 3 の磁力を変化させるときに要する磁化電流（d 軸電流）を低減できる。

[0083] （3. 第 3 の実施の形態）

本発明の第 3 の実施の形態について、図 14 を用いて説明する。

本実施の形態は、図 14 のように、1 つの固定磁力磁石 4 b を磁化方向が d 軸方向（ここでは、ほぼ回転子の半径方向）となる位置（固定子鉄心の中心部）となるように、回転子鉄心 2 内に配置する。一方、可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a を直列に重ねて形成した磁石直列を固定磁力磁石 4 b の両側に、磁化方向が d 軸方向となる位置で配置する。この両側に配置した可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a を積層した磁石直列は、前記磁極中心部の固定磁力磁石 4 b に対して、磁気回路上で並列回路を構成する。

[0084] なお、回転子鉄心 2 内を通過する磁束が可変磁力磁石 3 及び固定磁力磁石 4 a の部分をその厚さ方向に通過するように、可変磁力磁石 3 及び固定磁力磁石 4 a の端部に空洞 6 を設ける。

[0085] 以上のような構成を有する本実施の形態では、前記第 1 の実施の形態と同様な作用効果に加えて、磁極に対して左右に可変磁力磁石 3 と固定磁力磁石 4 a を積層した磁石直列が配置されるので、左右の片側ずつ 2 回に分けて可変磁力磁石 3 の磁化が可能になる。その結果、可変磁力磁石 3 の極性変化を妨げることになる固定磁力磁石 4 b は、並列に配置された 1 つだけになる。すなわち、固定磁力磁石 4 b が 2 つ配置された前記第 1 の実施の形態に比べ、可変磁力磁石 3 の極性変化を妨げる固定磁力磁石 4 b による磁界を小さくできるので、可変磁力磁石 3 の磁力を変化させるときに要する磁化電流（d

軸電流)を低減することができる。

[0086] (4. 他の実施の形態)

本発明は、前記の各実施の形態に限定されるものではなく、つぎのような他の実施の形態も包含する。

[0087] (1) 前記各実施の形態では12極の回転電機を示したが、4極、8極、16極等の他の極数の回転電機にも本発明を適用できるのは当然である。極数に応じて永久磁石の配置位置、形状が幾分変ることはもちろんであり、作用と効果は同様に得られる。

[0088] (2) 磁極を形成する永久磁石において、保磁力と磁化方向の厚みの積をもって永久磁石を区別する定義をしている。従って、磁極は同じ材質の永久磁石で形成し、磁化方向厚みを異なるように形成しても同様な作用と効果が得られる。

[0089] (3) 前記回転子鉄心2において、固定磁力磁石の外周側に磁気障壁を構成するために設ける空洞の形状や位置、また、固定磁力磁石の内周側にその磁路断面積を決定するために設ける空洞の位置などは、使用する永久磁石の保磁力や磁化電流によって生じる磁界の強さなどに応じて、適宜変更できる。

[0090] (4) 運転時に極短時間のパルス的なd軸電流による磁界で永久磁石を磁化させて永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させ、かつ、全磁石の誘起電圧に対して位相を進めた電流を連続的に通電させて、電流と永久磁石で生じる電機子巻線の鎖交磁束量を変化させる。

[0091] すなわち、パルス電流で永久磁石の磁束量を減少させ、さらに電流位相を進めると、磁石磁束に対して逆方向の電流で生じる磁束が発生するので、これを相殺して、全鎖交磁束を減少でき、端子電圧を低下させることができる。なお、電流位相を進めることは負のd軸電流成分を流していることと等価である。

[0092] このような電流位相進み制御においては、電流位相を進めるとd軸電流が流れて磁石は減磁して幾分磁束量は減る。しかし、パルス電流で大きく減磁させているので、磁束量の低下は比率的には小さい利点がある。

[0093] (5) 前記各実施の形態では、保磁力と磁化方向厚の積が大小2種類の永久磁石を用いた場合について説明したが、本発明は、保磁力と磁化方向厚の積が異なる3種類以上の永久磁石を用いる形態も包含する。例えば、保磁力と磁化方向厚の積が異なる3種類の永久磁石を磁気回路上で直列に配置し、この磁石直列に対して保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石より大きい永久磁石を磁気回路上で並列に配置する構成などが考えられ、この場合にも、前記各実施の形態と同様の作用と効果が得られる。

符号の説明

- [0094] 1…回転子
2…回転子鉄心
3…可変磁力磁石
4…固定磁力磁石
5, 6…永久磁石端の空洞
7…磁極部
8…短絡コイル
9 a, 9 b…空洞
10…固定子
11…電機子鉄心
12…電機子巻線

請求の範囲

[請求項1]

保磁力と磁化方向厚の積が互いに異なる2種類以上の永久磁石を用いて、回転子鉄心内に複数個の磁極を形成して回転子を構成し、この回転子の外周に、エアギャップを介して電機子鉄心と電機子巻線からなる固定子を配置してなる永久磁石式回転電機において、

前記2種類以上の永久磁石のうち、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて小さい永久磁石を積が小の永久磁石、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて大きい永久磁石を積が大の永久磁石と定義した場合に、

前記2種類以上の永久磁石を含む2個以上の永久磁石を磁気回路上で直列に配置して磁石直列を形成し、この磁石直列に対して、前記積が大の永久磁石を磁気回路上で並列に配置し、

前記電機子巻線の電流が作る磁界により、前記磁石直列を形成する永久磁石のうち、前記積が小の永久磁石を磁化させて、磁極を構成する永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項2]

保磁力と磁化方向厚の積が互いに異なる2種類以上の永久磁石を用いて、回転子鉄心内に複数個の磁極を形成して回転子を構成し、この回転子の外周に、エアギャップを介して電機子鉄心と電機子巻線からなる固定子を配置してなる永久磁石式回転電機において、

前記2種類以上の永久磁石のうち、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて小さい永久磁石を積が小の永久磁石、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて大きい永久磁石を積が大の永久磁石と定義した場合に、

前記複数個の磁極を構成する各磁極は、磁極の中心部に、前記2種類以上の永久磁石を含む2個以上の永久磁石を磁気回路上で直列に配置して磁石直列を形成し、磁極の両方の極間部側に、前記磁石直列に対して、前記積が大の永久磁石を磁気回路上で並列にそれぞれ配置し

て構成され、

前記電機子巻線の電流が作る磁界により、各磁極において、前記磁石直列を形成する永久磁石のうち、前記積が小の永久磁石を磁化させて、磁極を構成する永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項3]

保磁力と磁化方向厚の積が互いに異なる2種類以上の永久磁石を用いて、回転子鉄心内に複数個の磁極を形成して回転子を構成し、この回転子の外周に、エアギャップを介して電機子鉄心と電機子巻線からなる固定子を配置してなる永久磁石式回転電機において、

前記2種類以上の永久磁石のうち、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて小さい永久磁石を積が小の永久磁石、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて大きい永久磁石を積が大の永久磁石と定義した場合に、

前記複数個の磁極を、極性が異なる第1、第2の磁極を交互に配置して形成し、

前記第1の磁極は、磁極の中心部に、前記積が小の永久磁石を配置し、磁極の両方の極間部側に、前記中心部の積が小の永久磁石に対して、前記積が大の永久磁石を磁気回路上で並列にそれぞれ配置して構成され、

前記第2の磁極は、前記積が大の永久磁石を用いて構成され、この第2の磁極の積が大の永久磁石が、前記第1の磁極の中心部に配置された積が小の永久磁石と磁気回路上で直列に配置され、かつ、前記第1の磁極の極間部側に配置された積が大の永久磁石と磁気回路上で並列に配置され、

前記電機子巻線の電流が作る磁界により、前記第1の磁極の中心部に配置された積が小の永久磁石を磁化させて、磁極を構成する永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項4] 保磁力と磁化方向厚の積が互いに異なる2種類以上の永久磁石を用いて、回転子鉄心内に複数個の磁極を形成して回転子を構成し、この回転子の外周に、エアギャップを介して電機子鉄心と電機子巻線からなる固定子を配置してなる永久磁石式回転電機において、

前記2種類以上の永久磁石のうち、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて小さい永久磁石を積が小の永久磁石、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と比べて大きい永久磁石を積が大の永久磁石と定義した場合に、

前記複数個の磁極を構成する各磁極は、磁極の両方の極間部側に、前記2種類以上の永久磁石を含む2個以上の永久磁石を磁気回路上で直列に配置して磁石直列をそれぞれ形成し、磁極の中心部に、前記磁石直列に対して、前記積が大の永久磁石を磁気回路上で並列に配置して構成され、

前記電機子巻線の電流が作る磁界により、各磁極において、前記磁石直列を形成する永久磁石のうち、前記積が小の永久磁石を磁化させて、磁極を構成する永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項5] 請求項1、請求項2、または請求項4に記載の永久磁石式回転電機において、

前記磁石直列は、前記積が小の永久磁石と前記積が大の永久磁石の2種類の永久磁石から形成され、この2種類の永久磁石が回転子の磁心内に重ねて配置されることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項6] 請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の永久磁石式回転電機において、

他の永久磁石に対して磁気回路上で並列に配置される永久磁石は、当該他の永久磁石に対してほぼ一直線上に、あるいは、V字状に配置されることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項7] 請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の永久磁石式回転電機

において、

磁気回路上で並列に配置される永久磁石は、磁極の側面のほぼ q 軸上に配置される磁石と、磁極の中央部に配置される磁石から構成されることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項8] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

前記積が大の永久磁石の磁路中に磁気抵抗が大きくなる部分を設けることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項9] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

前記回転子に短絡コイルを設けることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項10] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

q 軸方向の磁気抵抗が磁石部を除く d 軸方向の磁気抵抗よりも大きいことを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項11] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

q 軸方向のエアギャップ長は d 軸方向のエアギャップ長よりも大きいことを特徴とする永久磁石式回転電機

[請求項12] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

前記電機子巻線の電流が作る所定方向の磁界により、前記積が小の永久磁石を磁化させて永久磁石による鎖交磁束を不可逆的に減少させ、

この鎖交磁束の減少後に電流が作る磁界を前記所定方向と逆方向に発生させることにより、前記積が小の永久磁石を磁化させて鎖交磁束量を不可逆的に増加させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項13] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

d 軸電流による磁界で永久磁石を磁化させて永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させ、永久磁石を磁化する d 軸電流を流すと同時に q 軸電流によりトルクを制御することを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項14] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

運転時に d 軸電流による磁界で永久磁石を磁化させて永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させ、d 軸電流で生じる磁束により電流と永久磁石で生じる電機子巻線の鎖交磁束量をほぼ可逆的に変化させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項15] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

最大トルク時には永久磁石の全鎖交磁束が大となるように前記積が小の永久磁石を磁化させ、トルクの小さな軽負荷時及び中速回転域と高速回転域では、前記積が小の永久磁石を電流による磁界で磁化させて、永久磁石の全鎖交磁束を減少させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項16] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

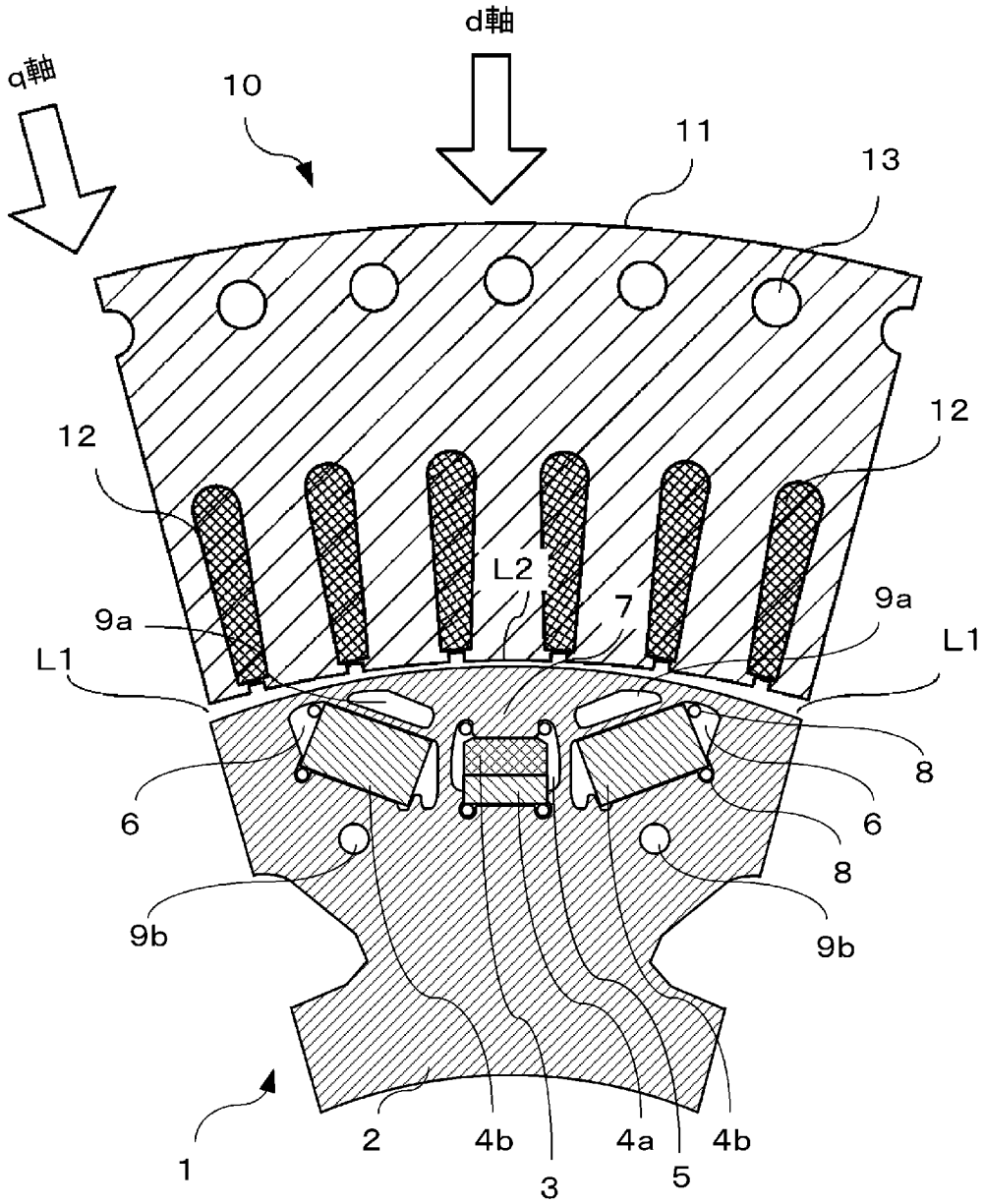
磁極の永久磁石を不可逆変化させて鎖交磁束を最小にした状態で回転子が最高回転速度になったときに、永久磁石による誘導起電圧を、回転電機の電源であるインバータ電子部品の耐電圧以下とすることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[請求項17] 請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

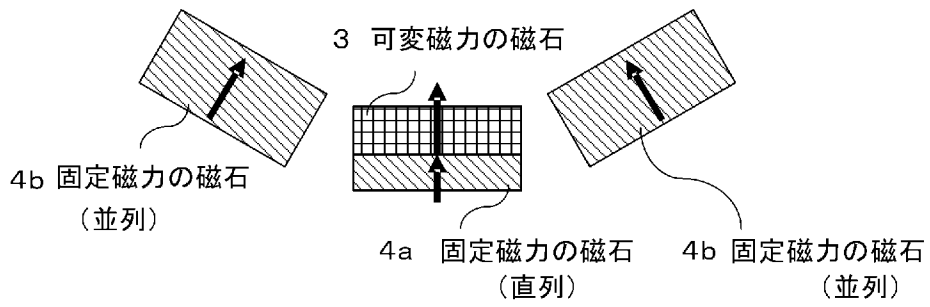
回転子を固定子に挿入して組み立てる時は、前記積が小の永久磁石を減磁するか、極性を反転させることにより永久磁石の鎖交磁束量を

減少させた状態とすることを特徴とする永久磁石式回転電機。

[図1]

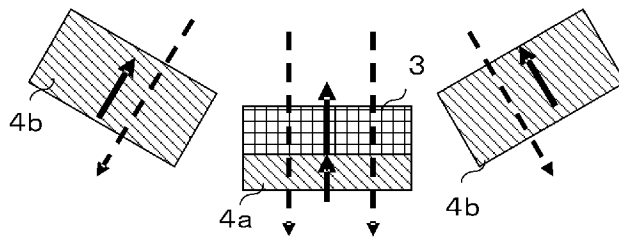


[図2]



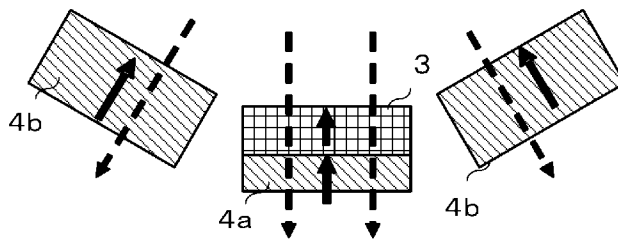
磁石の鎖交磁束が最大の状態(開始)

[図3]



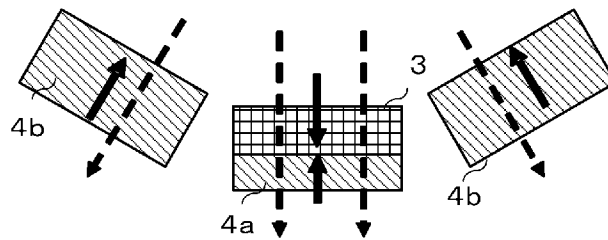
コイルの電流で可変磁石の磁力減少させる磁界を発生

[図4]



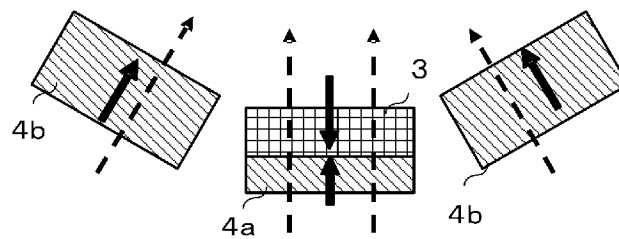
電流による逆磁界で可変磁石の磁力が減少

[図5]



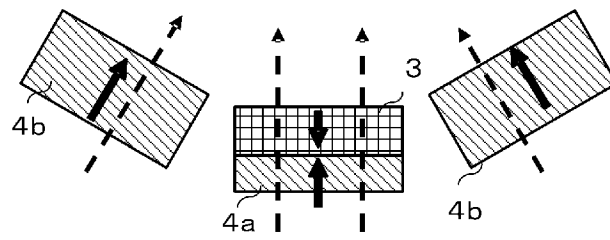
電流による逆磁界で可変磁石が逆方向に磁化
(極性が反転)し、磁石の鎖交磁束が最小

[図6]



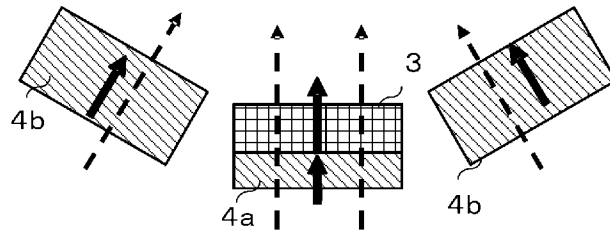
コイルの電流で極性反転した可変磁石の磁力
を減少させる磁界を発生

[図7]



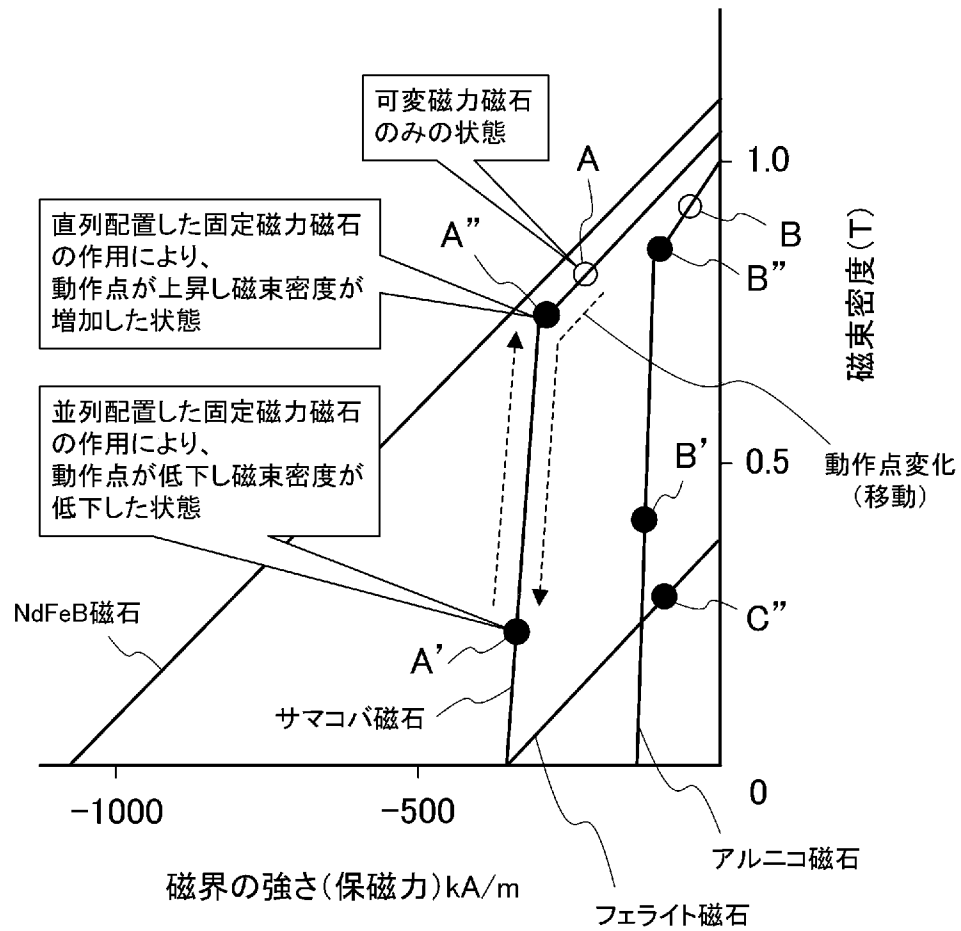
電流による磁界で極性反転した可変磁石の磁力を減少

[図8]



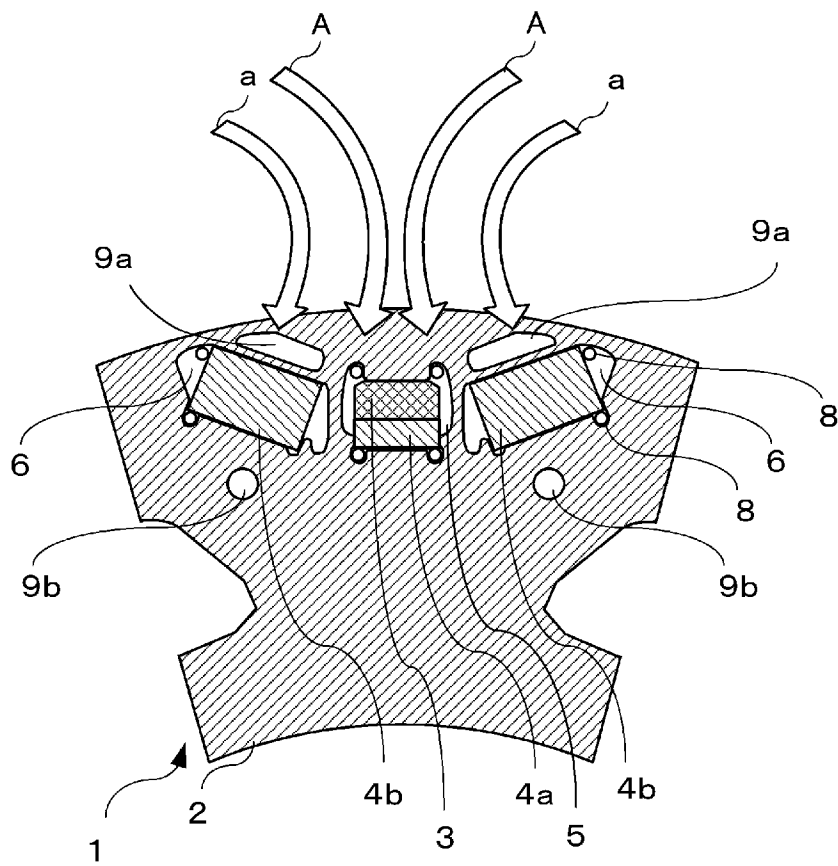
電流による逆磁界で可変磁石が逆方向に磁化
(極性が再度反転)し、磁石の鎖交磁束が最大

[図9]

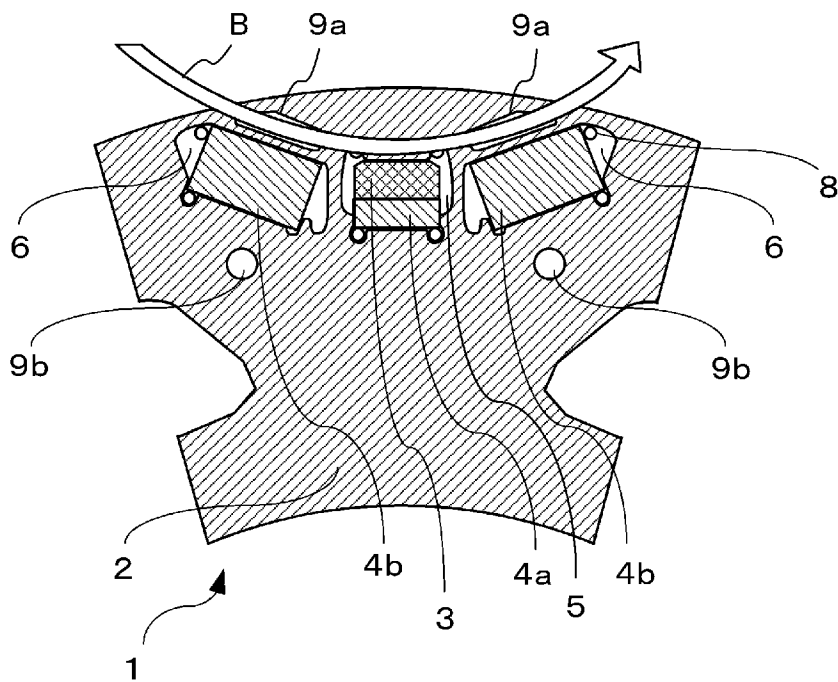


可変磁力磁石の動作点変化と代表的磁石の磁気特性

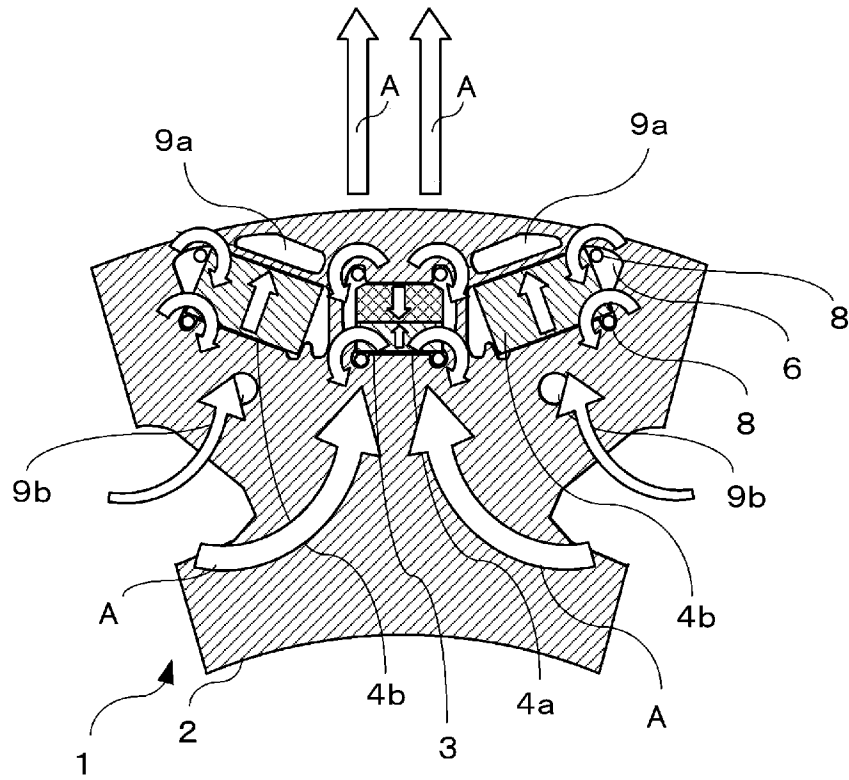
[図10]



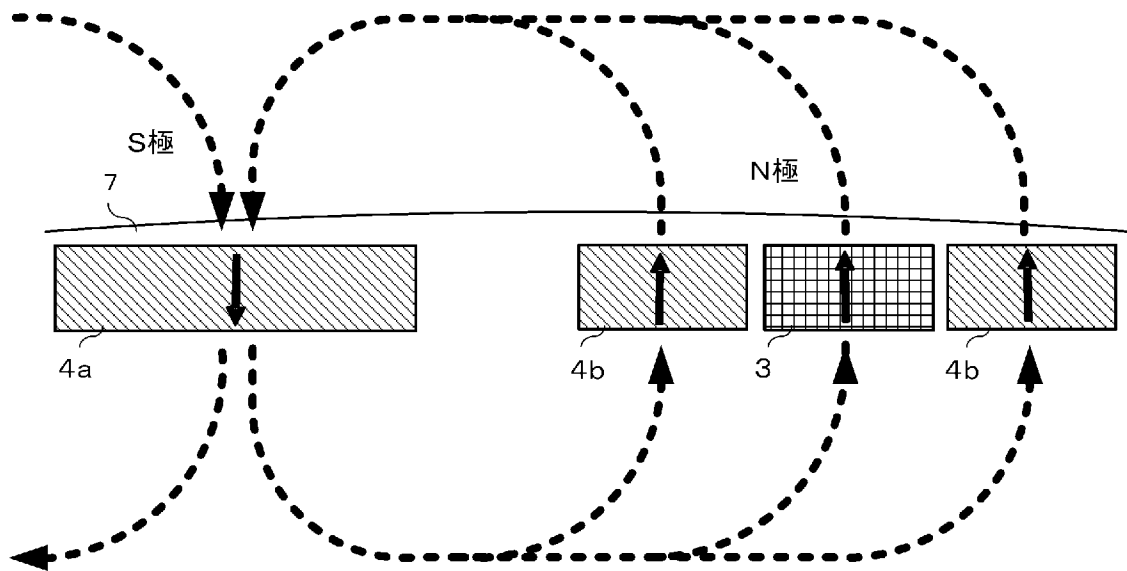
[図11]



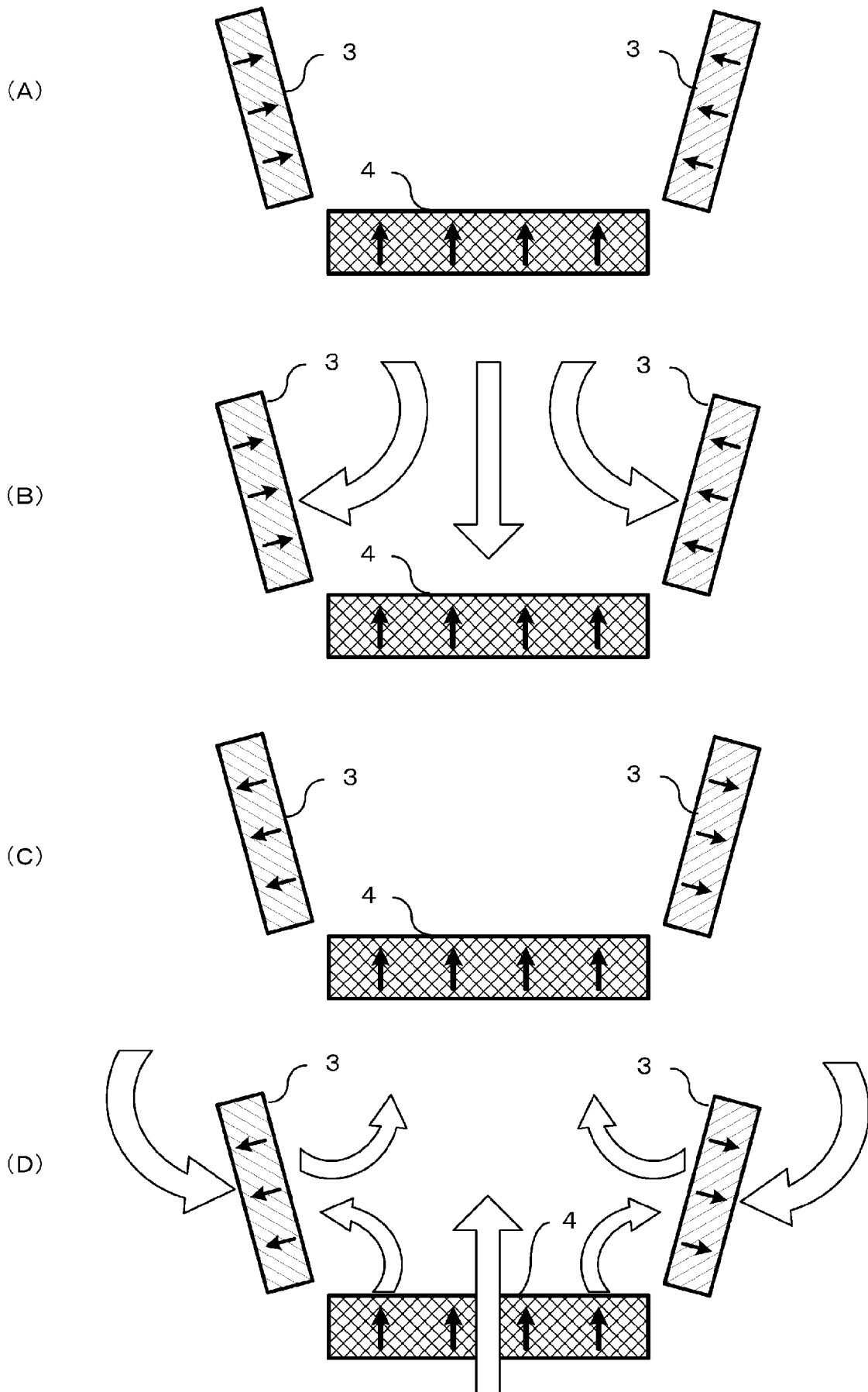
[圖12]



[圖13]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006216

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02K1/27(2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02K1/27		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-252939 A (Toshiba Corp.), 06 September 2002 (06.09.2002), paragraphs [0038] to [0041]; fig. 7 (Family: none)	1-17
A	WO 2008/013167 A1 (Toshiba Corp.), 31 January 2008 (31.01.2008), paragraphs [0159] to [0172]; fig. 22 to 26 & US 2009/0261774 A & EP 2048772 A1 & CA 2659088 A & CN 101490946 A	1-17
A	JP 2008-245368 A (Toshiba Corp.), 09 October 2008 (09.10.2008), all pages & WO 2008/117497 A1	1-17
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 28 January, 2010 (28.01.10)		Date of mailing of the international search report 09 February, 2010 (09.02.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02K1/27(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02K1/27		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2010年 日本国実用新案登録公報 1996-2010年 日本国登録実用新案公報 1994-2010年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2002-252939 A (株式会社東芝) 2002.09.06, 段落0038-0041, 第7図 (ファミリーなし)	1-17
A	WO 2008/013167 A1 (株式会社東芝) 2008.01.31, 段落0159-0172 第22-26図 & US 2009/0261774 A & EP 2048772 A1 & CA 2659088 A & CN 101490946 A	1-17
A	JP 2008-245368 A (株式会社東芝) 2008.10.09, 全頁 & WO 2008/117497 A1	1-17
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 28.01.2010	国際調査報告の発送日 09.02.2010	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 三島木 英宏 電話番号 03-3581-1101 内線 3358	3V 3018