

(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2010-4673

(P2010-4673A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

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

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-162208 (P2008-162208)	(71) 出願人	000003078
(22) 出願日	平成20年6月20日 (2008.6.20)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	100081961
			弁理士 木内 光春
		(72) 発明者	堺 和人
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内
		(72) 発明者	松岡 佑将
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内
		Fターム(参考)	5H622 AA03 CA02 CA07 CB02 PP01
			PP10

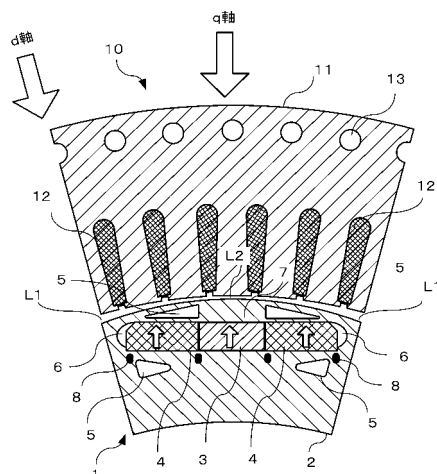
(54) 【発明の名称】 永久磁石式回転電機

(57) 【要約】

【課題】 減磁時及び増磁時の磁化電流の増加を抑止し、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。

【解決手段】 回転子1は、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、保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石4からなる。磁極の中心部に永久磁石3を配置し、磁極間側に永久磁石4を配置する。永久磁石4の外周には、磁気障壁となる空洞5を設け、内周側の磁路断面積Sを小さくする。永久磁石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永久磁石3の磁化方向と逆方向の磁界を作用させる。永久磁石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。磁気障壁5及び小さい磁路断面積Sにより、磁化電流による磁界Aや永久磁石4の磁界Cが永久磁石3増磁または減磁を妨げないようにする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と異なる 2 種類以上の永久磁石を用いて回転子の磁極を形成し、磁極の中心部に保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石を配置し、磁極間側に保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石を配置し、電機子巻線の電流が作る磁界により少なくとも 1 個の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他の永久磁石と異なる 2 種類以上の永久磁石を用いて回転子の磁極を形成し、前記永久磁石は半径方向位置では回転子のエアギャップ近傍部に配置し、周方向位置では回転子磁極の中心部に保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石を配置し、磁極間側に保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石を配置し、電機子巻線の電流が作る磁界により少なくとも 1 個の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ることを特徴とする永久磁石式回転電機。

10

【請求項 3】

保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と異なる 2 種類以上の永久磁石を用いて回転子の磁極を形成し、前記永久磁石は半径方向位置では回転子のエアギャップ近傍部に配置し、周方向位置では回転子磁極の中心部に保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石を配置し、磁極間側に保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石を配置し、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁束が通る磁路中に磁気抵抗の大きな磁気障壁を設け、電機子巻線の電流が作る磁界により少なくとも 1 個の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ることを特徴とする永久磁石式回転電機。

20

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石と回転子鉄心のエアギャップ側鉄心部との間に磁気障壁を設け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 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、

保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁束が流れる回転子鉄心部分の磁路断面積を永久磁石の磁路断面積より狭くすることを特徴とする永久磁石式回転電機。

30

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁束が流れる回転子鉄心部分の一部が無負荷時にほぼ磁気飽和する磁路断面積とす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 6 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石と保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石間に非磁性層を設け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 7 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石が配置された近傍のエアギャップ長は、保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石が配置された近傍のエアギャップ長よりも長くすることを特徴とする永久磁石式回転電機。

40

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 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 軸近傍のエアギャップ長は d 軸近傍のエアギャップ長よりも長くす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 9 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、

保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁化方向を中心軸として前記永久磁石の磁路

50

中に短絡コイルまたは導電性の板を設けることを特徴とする永久磁石式回転電機。

【請求項 1 1】

請求項 1 から請求項 1 0 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 1 2】

請求項 1 から請求項 1 1 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保磁力と磁化方向厚の積が小さな永久磁石を不可逆変化させて、永久磁石による鎖交磁束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。 10

【請求項 1 3】

請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の永久磁石式回転電機において、
保磁力と磁化方向厚の積が小さな永久磁石をその極性が反転するまで減磁した状態において、電流位相を進める運転を行うことを特徴とする永久磁石式回転電機。

【請求項 1 4】

請求項 1 から請求項 1 3 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ことを特徴とする永久磁石式回転電機。 20

【発明の詳細な説明】

【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。

【0002】

特に、本発明は、磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石を磁極の中心部に配置し、磁束量を固定（ほぼ固定も含む）とする永久磁石を磁極間側に配置すると共に、各永久磁石の周囲に磁気抵抗の大きな磁気障壁を設けるなどして、永久磁石の磁束量を効率良く変化させるようにしたものである。 30

【背景技術】

【0003】

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。

【0004】

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で発生しているので、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。 40

【0005】

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ので、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 50

に可変速運転できなくなる。

【0006】

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。

【0007】

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。

【0008】

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。

【0009】

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。

【0010】

電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、電車は惰行運転する状態があり、上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。

【0011】

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と、低保磁力の永久磁石の2倍以上の保磁力を有する高保磁力の永久磁石を配置し、電源電圧の最大電圧以上となる高速回転域では低保磁力の永久磁石と高保磁力の大久磁石による全鎖交磁束が減じるように、電流による磁界で低保磁力の永久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。

【0012】

この特許文献1の永久磁石式回転電機は、図7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個の低保磁力永久磁石3及び8個の高保磁力永久磁石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、低保磁力永久磁石3はアルニコ磁石またはFeCrCo磁石であり、高保磁力磁石4はNdFeB磁石である。

【0013】

低保磁力永久磁石3は回転子鉄心2の中に埋め込まれ、低保磁力永久磁石3の両端部には第1の空洞5が設けられている。低保磁力永久磁石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。高保磁力永久磁石4は回転子鉄心2内に埋め込まれ、高保磁力永久磁石4の両端部には第2

10

20

30

40

50

の空洞 6 が設けられている。高保磁力永久磁石 4 は、2 個の低保磁力永久磁石 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。高保磁力永久磁石 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。

【0014】

回転子鉄心 2 の磁極部 7 は 2 個の低保磁力永久磁石 3 と 1 個の高保磁力永久磁石 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）となるパルスの電流を流して磁界を形成し、低保磁力永久磁石 3 に磁界を作用させる。着磁磁界を $250\ \text{kA/m}$ とすると、理想的には低保磁力永久磁石 3 には十分な着磁磁界が作用し、高保磁力永久磁石 4 には着磁による不可逆減磁はない。

10

【0015】

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 軸電流により低保磁力永久磁石 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、高保磁力永久磁石 4 の鎖交磁束を正方向とすると、低保磁力永久磁石 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。したがって、本実施の形態の回転子では、低保磁力永久磁石 3 を d 軸電流で着磁することにより低保磁力永久磁石 3 と高保磁力永久磁石 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。

【0016】

例えば、低速域では低保磁力永久磁石 3 は高保磁力永久磁石 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は最大にすることができる。中・高速域では、低保磁力永久磁石 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。

20

【特許文献 1】特開 2006-280195 号公報

【特許文献 2】特開 2008-48514 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0017】

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、低保磁力永久磁石 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、低保磁力永久磁石 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。

【0018】

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、高保磁力永久磁石 4 の鎖交磁束の影響で、低保磁力永久磁石 3 の増磁に大きな磁界が必要となる。

40

【0019】

図 8 (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 8 (A) のように、2 つの低保磁力永久磁石 3 と 1 つの高保磁力永久磁石 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、各永久磁石 3, 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 軸電流をパルスのように流して、減磁用の磁界を発生すると、その磁束は図 8 (B) のように、回転子 1 の外周側から各永久磁石 3, 4 を貫くように発生し、それによって、低保磁力永久磁石 3 は減磁される。このとき、高保磁力永久磁石 4 は、保磁力が高いため、減磁されることはない。

50

【0020】

この減磁の場合、図8（C）のように、高保磁力永久磁石4の磁束は、d軸方向と共に低保磁力永久磁石3の内側から外側に向かって、低保磁力永久磁石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、低保磁力永久磁石3の極性を反転させるまでの減磁が可能である。

【0021】

一方、増磁の場合には、d軸電流を再びパルスの的に印加することで、前記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、減磁した低保磁力永久磁石3の鎖交磁束を前記（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8（C）のように、低保磁力永久磁石3には高保磁力永久磁石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。

10

【0022】

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、低保磁力永久磁石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。

【0023】

このような問題は、増磁時に限らず、低保磁力永久磁石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、低保磁力永久磁石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。

20

【0024】

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、低保磁力永久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】

【0025】

前記の目的を達成するため、本発明の永久磁石式回転電機は、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と異なる2種類以上の永久磁石を用いて回転子の磁極を形成し、磁極の中心部に保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石を配置し、磁極間側に保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石を配置し、電機子巻線の電流が作る磁界により少なくとも1個の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ることを特徴とする。

30

【0026】

本発明の永久磁石式回転電機の特徴は、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と異なる2種類以上の永久磁石を用いて回転子の磁極を形成し、前記永久磁石は半径方向位置では回転子のエアギャップ近傍部に配置し、周方向位置では回転子磁極の中心部に保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石を配置し、磁極間側に保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石を配置し、電機子巻線の電流が作る磁界により少なくとも1個の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ることにある。

40

【0027】

本発明の永久磁石式回転電機の特徴は、保磁力と磁化方向厚の積が他の永久磁石と異なる2種類以上の永久磁石を用いて回転子の磁極を形成し、前記永久磁石は半径方向位置では回転子のエアギャップ近傍部に配置し、周方向位置では回転子磁極の中心部に保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石を配置し、磁極間側に保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石を配置し、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁束が通る磁路中に磁気抵抗の大きな磁気障壁を設け、電機子巻線の電流が作る磁界により少なくとも1個の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ることにある。

【0028】

50

また、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石と回転子鉄心のエアギャップ側鉄心部との間に磁気障壁を設けること、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁束が流れる回転子鉄心部分の磁路断面積を永久磁石の磁路断面積より狭くすること、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁束が流れる回転子鉄心部分の一部が無負荷時にほぼ磁気飽和する磁路断面積とすること、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石と保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石間に非磁性層を設けることも、本発明の一態様である。

【0029】

更に、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石が配置された近傍のエアギャップ長は、保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石が配置された近傍のエアギャップ長よりも長くすること、q軸近傍のエアギャップ長はd軸近傍のエアギャップ長よりも長くすること、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の磁化方向を中心軸として前記永久磁石の磁路中に短絡コイルまたは導電性の板を設けることも、本発明の一態様である。

10

【発明の効果】

【0030】

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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

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、図面を参照して説明する。本実施の形態の回転電機は12極の場合で説明しており、他の極数でも同様に適用できる。

20

【0032】

(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。

【0033】

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、保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石4から構成する。回転子鉄心2は珪素鋼板を積層して構成し、前記の永久磁石3、4は回転子鉄心2内に埋め込む。保磁力と磁化方向厚みの積が小となる永久磁石3は、回転電機のd軸に対向して設けた磁極7の中央部に配置し、前記永久磁石3の両端（磁極間側）に保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石4、4を配置する。いずれの磁石も磁化方向はd軸方向である。また、これらの永久磁石3、4は回転子2の外周側に配置する。

30

【0034】

前記保磁力と磁化方向厚みの積が小となる永久磁石3はフェライト磁石またはアルニコ磁石とし、本実施の形態ではフェライト磁石3を使用する。保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石4は、NdFeB磁石4とする。本実施の形態では、フェライト磁石3の保磁力は280kA/mとし、NdFeB磁石4の保磁力は1000kA/mとする。

【0035】

40

前記永久磁石3、4と回転子1の外周間には回転子鉄心2があり、この回転子鉄心2におけるNdFeB磁石4の外周側鉄心部にのみ、磁気障壁となる空洞5を設ける。すなわち、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石4と、回転子鉄心2のエアギャップ側鉄心部との間に磁気障壁となる空洞5を設ける。

【0036】

また、NdFeB磁石4の磁束が流れる回転子鉄心2部分の磁路断面積Sを、NdFeB磁石4の磁路断面積より狭くする。すなわち、本実施の形態では、NdFeB磁石4の内周側にも空洞5を設けて、その部分の回転子鉄心2の断面積を小さくする。この場合、断面積の大きさとしては、NdFeB磁石4の磁束が流れる回転子鉄心2部分の一部が、回転電機の無負荷運転時にほぼ磁気飽和する磁路断面積とすることが好ましい。

50

【0037】

更に、回転子鉄心2内に埋め込まれたNdFeB磁石4の磁化方向を中心軸として、NdFeB磁石4を取り囲むように短絡コイル8を設ける。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。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内に設けたリング状の孔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物質を流し込んで鑄造して製作することも可能である。

【0038】

短絡コイル8は、フェライト磁石3の磁化が変化する程度の短絡電流が1秒以内に流れ、その後1秒以内にその短絡電流を50%以上減衰させ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フェライト磁石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。

10

【0039】

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。この場合、NdFeB磁石4が配置された近傍のエアギャップ長L1は、フェライト磁石3が配置された近傍のエアギャップ長L2よりも長くする、すなわち、q軸近傍のエアギャップ長L1をd軸近傍のエアギャップ長L2よりも長くする。

【0040】

固定子10は、電機子鉄心11と電機子巻線12とを有する。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前記短絡コイル8を貫通する磁束が形成される。また、この電機子巻線12に流れる磁化電流により、フェライト磁石3の磁化方向が可逆的に変化する。

20

【0041】

すなわち、前記永久磁石3、4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永久磁石3を磁化させて永久磁石3の磁束量を不可逆的に変化させる。その場合、永久磁石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。

【0042】

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)と永久磁石3、4とで生じる電機子巻線の鎖交磁束量、すなわち、回転電機的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。

30

【0043】

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用永久磁石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。

【0044】

また、大きなd軸電流でフェライト磁石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軸電流でフェライト磁石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、フェライト磁石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軸電流でフェライト磁石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。

40

【0045】

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、フェライト磁石3の極性を反転させて位相を進めることが可能である。

【0046】

(1-2. 基本的な作用)

つぎに、第1の実施の形態において、作用について説明する。

50

本発明では、固定子の電機子巻線に通電時間が極短時間（ $0.1\text{ ms} \sim 100\text{ ms}$ 程度）となるパルスの電流を流して磁界を形成し、フェライト磁石3に磁界を作用させる。に永久磁石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。

【0047】

2種類の永久磁石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る。また、磁力と磁化方向厚みの積が小となる永久磁石（フェライト磁石3）は、磁極の中心のd軸近傍部に配置されているので、d軸電流による磁界を強く受けることができる。

【0048】

はじめに永久磁石の全鎖交磁束を減少させる動作について、図2に従って述べる。磁極の永久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のに通電させる。負のd軸電流によって変化した磁石内の磁界が -280 kA/m になったとすると、フェライト磁石3の保磁力が 280 kA/m なのでフェライト磁石3の磁力は不可逆的に大幅に低下する。

【0049】

一方、NdFeB磁石4の保磁力が 1000 kA/m なので磁力は不可逆的に低下しない。その結果、パルスのd軸電流が0になるとフェライト磁石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。さらに -280 kA/m よりも大きな逆磁界をかけるとフェライト磁石3が逆方向に磁化して極性は反転する。この場合、フェライト磁石3の磁束とNdFeB磁石4の磁束は打ち消しあうので永久磁石の全鎖交磁束は最小になる。

【0050】

つぎに、永久磁石の全鎖交磁束を増加させて最大に復元させる過程を、図3に従って説明する。フェライト磁石3の極性は反転しており、反転した磁化とは逆方向（初期の磁化方向）の磁界を発生する正のd軸電流を電機子巻線に通電する。反転した逆極性のフェライト磁石3の磁力は前記磁界が増すに連れて減少し、0になる。

【0051】

さらに正のd軸電流による磁界を増加させると極性は反転して初期の極性の方向に磁化される。ほぼ完全な着磁に必要な磁界である 350 kA/m をかけると、フェライト磁石3は着磁されてほぼ最大に磁力を発生する。尚、d軸電流は連続通電で増加させる必要はなく、目標の磁力にする電流を瞬間的なパルス電流を流せばよい。

【0052】

一方、NdFeB磁石4の保磁力が 1000 kA/m なのでd軸電流による磁界が作用してもNdFeB磁石4の磁力は不可逆的に変化しない。その結果、パルスの正のd軸電流が0になるとフェライト磁石3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。

【0053】

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3とNdFeB磁石4に作用させることにより、フェライト磁石3の磁力が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。

【0054】

（1-3. 磁気障壁の作用）

前記NdFeB磁石4の外周部に設けられた磁気障壁の作用について、図2により、述べる。磁気障壁となる空洞5は、フェライト磁石3の外周部になく、NdFeB磁石4外周部のみに設けられている。NdFeB磁石4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。

【0055】

一方、フェライト磁石3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

10

20

30

40

50

。これより、d 軸電流による磁界 A を効果的にフェライト磁石 3 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、NdFeB 磁石 4 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、フェライト磁石 3 の磁化を変化させるための d 軸電流も低減できる。

【0056】

また、図 4 に示すように、q 軸磁束 B が磁石外周部の鉄心を横切るように分布するが、磁気障壁となる空洞 5 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。したがって、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。

【0057】

(1-4. 内周側の磁路断面積の作用)

つぎに、図 3 により、NdFeB 磁石 4 の内周側に設けられた空洞 5 の作用について述べる。本実施の形態で三角状の空洞 5 が設けられており、磁石による磁束の磁路断面積 S としては狭くなる。本実施の形態では、NdFeB 磁石 4 の下部の鉄心部では三角状の空洞 5 により磁路面積 S が狭くなっている。前記下部鉄心の磁路断面積は、NdFeB 磁石 4 の磁化方向面（下面）の断面積の 1/2 程度である。したがって、NdFeB 磁石 4 の残留磁束密度は 1.2 程度であり、断面積の狭い鉄心部分の磁束密度は 2 T 近傍になる。

【0058】

したがって、NdFeB 磁石 4 の磁束だけで磁気飽和近傍まで高くなっている。この状態でさらに d 軸電流による磁界 A が作用しても、磁路断面積の狭い部分 S の鉄心は磁気飽和しているので、磁束の増加がほとんどない。すなわち、d 軸電流による磁界 A は、NdFeB 磁石 4 よりもフェライト磁石 3 に強く作用させることができる。

【0059】

(1-5. 短絡コイルの作用)

つぎに、図 5 により、短絡コイル 8 の作用について述べる。フェライト磁石 3 と NdFeB 磁石 4 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フェライト磁石 3 のみでなく、NdFeB 磁石 4 にも作用する。本来、前記 d 軸電流による磁界はフェライト磁石 3 の磁化を変化させるために行う。

【0060】

そこで、前記 d 軸電流による磁界が NdFeB 磁石 4 に作用しないようにし、フェライト磁石 3 に集中するようにすればよい。本発明では NdFeB 磁石 4 の周囲に短絡コイルを配置する。短絡コイルは NdFeB 磁石 4 の磁化方向を中心軸とし配置する。前記 d 軸電流による磁界が NdFeB 磁石 4 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に流れる。したがって、NdFeB 磁石 4 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フェライト磁石 3 にも作用し、d 軸電流による磁界と同方向になる。

【0061】

したがって、フェライト磁石 3 を磁化させる磁界が強まり、少ない d 軸電流でフェライト磁石 3 を磁化できることになる。また、短絡コイルにより dFeB 磁石は前記 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 11 磁気飽和も緩和できる。

【0062】

なお、NdFeB 磁石 4 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、NdFeB 磁石 4 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。

【0063】

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 B が発生する。その磁界 B により、NdFeB 磁石 4 中には前記 d 軸電流による磁界

10

20

30

40

50

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フェライト磁石 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 11 の磁気飽和を緩和する作用も発揮される。

【0064】

(1-6. エアギャップ長の作用)

第 1 のに実施の形態では、図 1 に示すように、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石 (NdFeB 磁石 4) が配置された近傍のエアギャップ長 L1 は、保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石 (フェライト磁石 3) が配置された近傍のエアギャップ長 L2 よりも長くした構成とする。

【0065】

本実施の形態では、d 軸電流による磁界は永久磁石 3, 4 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 L2 を d 軸近傍のエアギャップ長 L1 よりも大きくしている。すなわち、エアギャップ長は保磁力とフェライト磁石 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。

【0066】

したがって、磁石を磁化させるための d 軸電流による磁界は、d 軸部に配置されたフェライト磁石 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 軸電流でフェライト磁石 3 を効果的に磁化できる。また、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。

【0067】

(2. 第 2 の実施の形態)

次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。本実施の形態は、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石 4 と保磁力と磁化方向厚の積が小の永久磁石 3 間に非磁性層を設けることを特徴とする。すなわち、図 6 に示すように、本実施の形態では、NdFeB 磁石 4, 4 とフェライト磁石 3 間に隙間 9 を空けることで、両永久磁石 3, 4 間に回転子鉄心 2 の一部が非磁性層として存在することになる。

【0068】

本発明のような構成の永久磁石式回転電機では、NdFeB 磁石 4 が形成する磁界はフェライト磁石 3 にも作用して、逆磁界がかかる。このためフェライト磁石 3 を NdFeB 磁石 4 と同方向に磁化させる場合、前記の逆磁界 C が作用する。その結果、前記フェライト磁石 3 を磁化させるため d 軸電流が大きくなる。

【0069】

本実施の形態では、NdFeB 磁石 4 とフェライト磁石 3 間に隙間 9 が設けられているので、NdFeB 磁石 4 による磁界 C はこの隙間 9 部分の流れ、フェライト磁石 3 中では小さくすることができる。これによりフェライト磁石 3 を磁化するための d 軸電流を小さくすることができる。

【0070】

(3. 各実施の形態の効果)

前記各実施の形態においては、次の効果が得られる。

本発明の実施の形態では、d 軸電流でフェライト磁石 3 を不可逆的に変化させることにより、フェライト磁石 3 と NdFeB 磁石 4 を合わせた永久磁石の全鎖交磁束量を広範囲に調整することができる。

【0071】

フェライト磁石 3 に関しては、前記磁石 3 を d 軸近傍に配置し、その近傍のエアギャップ長を狭くして磁界を高める。NdFeB 磁石 4 に関しては、エアギャップ側の鉄心 2 に磁気障壁である空洞 5 を設けること、及び、NdFeB 磁石 4 の磁路において磁路断面積の狭い部分を設けることにより、NdFeB 磁石 4 の d 軸電流による磁界は小さくなる。

【0072】

したがって、これらの技術により d 軸電流による磁界 A は、フェライト磁石 3 に集中し

10

20

30

40

50

て作用し、高くできる。すなわち、少ない d 軸電流で永久磁石の全鎖交磁束量 3, 4 を変化させることができる。これより、d 軸電流を供給するインバータ電源の電気容量も小さくできる。

【0073】

また、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の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。以上より、本発明の回転電機は、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。

【0074】

(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。

【0075】

(1) 前記各実施の形態では 4 極の回転電機を示したが、8 極等の多極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、形状が幾分変わることはもちろんであり、作用と効果は同様に得られる。

【0076】

(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。したがって、磁極は同じ種類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。

【0077】

(3) 前記回転子鉄心 2 において、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久磁石の外周側に、磁気障壁を構成するために設ける空洞の形状や位置、保磁力と磁化方向厚の積が大の永久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。

【0078】

(4) 運転時に極短時間のパルスの 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。

【0079】

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。

【0080】

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。

【図面の簡単な説明】

【0081】

【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】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 3】第 1 の実施の形態における増磁時の状態を示す断面図。

【図 4】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 5】本発明における短絡コイルの作用を示す断面図。

【図 6】本発明の第 2 の実施の形態を示す断面図。

【図 7】特許文献 1 に記載の回転子の断面図。

【図 8】特許文献 1 に記載の回転子の作用を示す模式図。

10

20

30

40

50

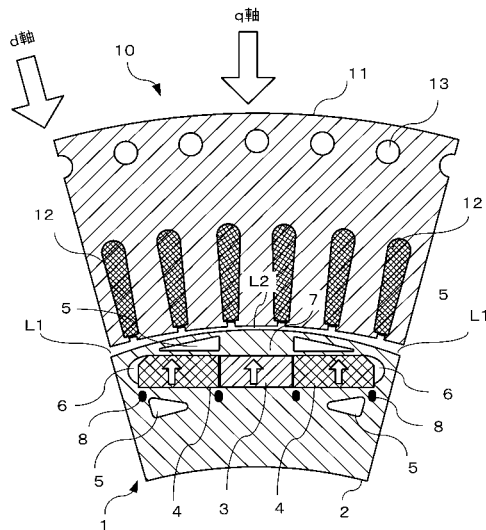
【符号の説明】

【0082】

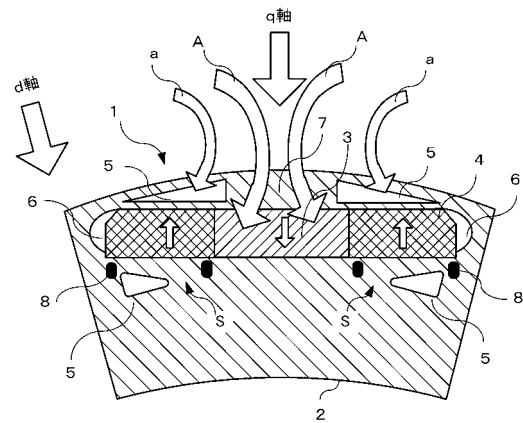
- 1 …回転子
- 2 …回転子鉄心
- 3 …保磁力と磁化方向厚の積が小となる永久磁石
- 4 …保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石
- 5 …空洞（磁気障壁）
- 6 …永久磁石端の空洞
- 7 …磁極部
- 8 …短絡コイル
- 9 …非磁性層

10

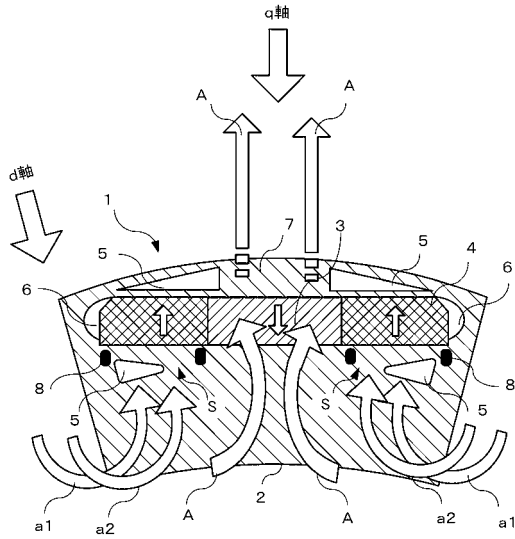
【図 1】



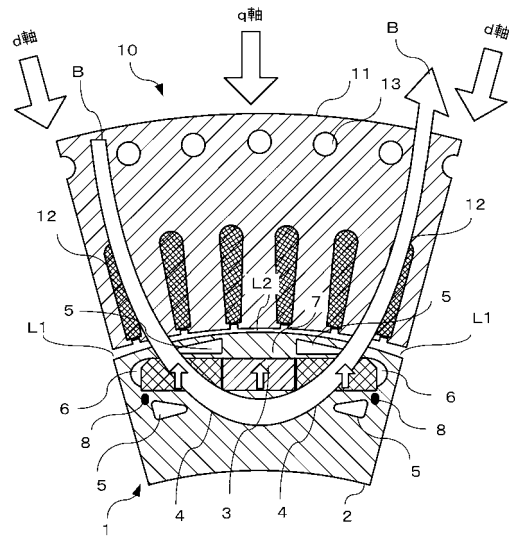
【図 2】



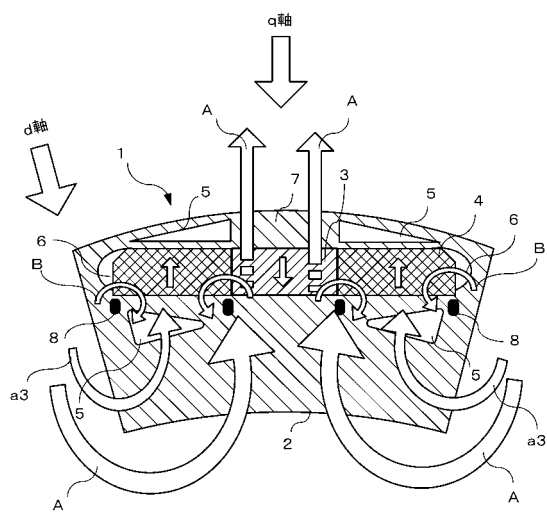
【図 3】



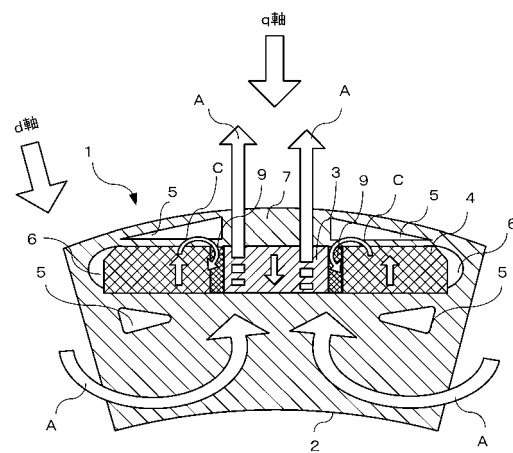
【図 4】



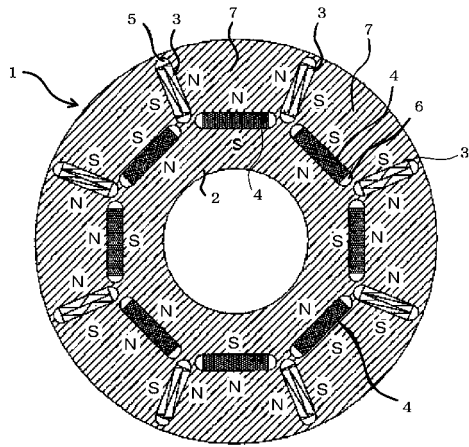
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

