

(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2010-4672

(P2010-4672A)

(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 12 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-162203 (P2008-162203)	(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	橋場 豊
			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	大坪 洋輔
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内

最終頁に続く

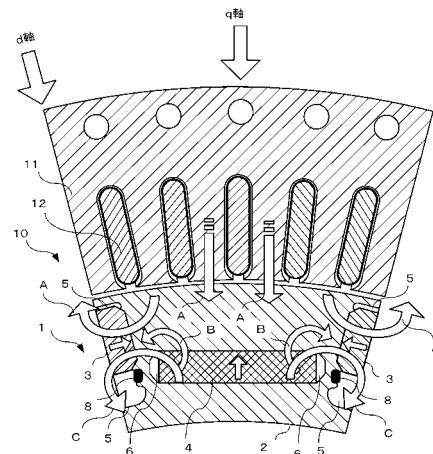
(54) 【発明の名称】 永久磁石式回転電機

(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。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。永久磁石3を除いた他の永久磁石4の磁路部分に短絡コイル8を設ける。磁化電流によって生じる磁界で短絡コイル8に誘導電流が誘起し、この誘導電流で短絡コイル8の周囲に磁界が発生する。この磁界と磁化電流によって生じる磁界により、永久磁石3を増磁する。

【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磁極を形成し、この磁極を回転子鉄心内に複数個配置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固定子を配置し、この固定子に電機子鉄心と電機子巻線を設け、この電機子巻線の電流が作る磁界により前記回転子の磁極を構成する永久磁石の少なくとも 1 個を磁化させて、永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石式回転電機において、

前記不可逆的に変化させる永久磁石を除いた他の永久磁石の磁路部分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。

10

【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磁極を形成し、この磁極を回転子鉄心内に複数個配置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固定子を配置し、この固定子に電機子鉄心と電機子巻線を設け、この電機子巻線の電流が作る磁界により前記回転子の磁極を構成する永久磁石の少なくとも 1 個を磁化させて、永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石式回転電機において、

前記不可逆的に変化させる永久磁石を除いた他の永久磁石の磁化方向を中心軸として前記他の永久磁石の周囲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。

20

【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磁極を形成し、この磁極を回転子鉄心内に複数個配置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固定子を配置し、この固定子に電機子鉄心と電機子巻線を設け、この電機子巻線の電流が作る磁界により前記回転子の磁極を構成する永久磁石の少なくとも 1 個を磁化させて、永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石式回転電機において、

前記回転子鉄心の前記不可逆的に変化させる磁石以外に磁束が漏れる磁路部分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 4】

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磁極を形成し、この磁極を回転子鉄心内に複数個配置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固定子を配置し、この固定子に電機子鉄心と電機子巻線を設け、この電機子巻線の電流が作る磁界により前記回転子の磁極を構成する永久磁石の少なくとも 1 個を磁化させて、永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石式回転電機において、

30

前記不可逆的に変化させる永久磁石を除いた他の永久磁石の磁化方向と対向する面に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 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、

電機子巻線に d 軸電流を通電させて、その磁束で前記短絡コイルまたは導電性の板に短絡電流を発生させることを特徴とする永久磁石式回転電機。

40

【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、

前記短絡コイルまたは導電性の板のインダクタンス値と抵抗値を、不可逆変化させる永久磁石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、

前記短絡コイルまたは導電性の板が、不可逆変化させる永久磁石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

50

のであ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、
前記短絡コイルまたは導電性の板が、高速回転時の遠心力に対して回転子鉄心で保持され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 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、
前記短絡コイルまたは導電性の板に発生する短絡電流は、永久磁石を不可逆変化させる方向とは逆方向の磁界を形成する電流を電機子巻線に流し、その後、永久磁石を不可逆変化させる方向に磁界を形成する電流を電機子巻線に流すことにより生成されることを特徴とする永久磁石式回転電機。

10

【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、
前記短絡コイルまたは導電性の板は、回転子の鉄心の穴に高温で溶けた導電性物質を流し込んで鋳造で造る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 10 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 12】

20

請求項 1 から請求項 11 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。

【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。特に、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るにあたり、他の永久磁石の磁束の影響で、前記少なくとも 1 つの磁石の磁束量の変化が抑制されることがないように、短絡コイルまたは導電性の板を回転子鉄心に配置した永久磁石式回転電機に関する。

30

【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 4 を回転子鉄心 2 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。

40

【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

50

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に可変速運転できなくなる。

【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。

10

【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。

20

【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】

30

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。

【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永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。

40

【0011】

この特許文献1の永久磁石式回転電機は、図9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。

【0012】

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

50

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 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。

【0013】

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）となるパルスのな

10

【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。

20

【0015】

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。

【特許文献 1】特開 2006-280195 号公報

【特許文献 2】特開 2008-48514 号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

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。

【0017】

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

【0018】

図 10 (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 10 (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 軸電流をパル的に流して、減磁用の磁界を発生すると、その磁束は図 10 (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

50

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。

【0019】

この減磁の場合、図 10 (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。

【0020】

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、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 10 (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。

【0021】

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。

【0022】

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】

【0023】

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磁極を形成し、この磁極を回転子鉄心内に複数個配置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固定子を配置し、この固定子に電機子鉄心と電機子巻線を設け、この電機子巻線の電流が作る磁界により前記回転子の磁極を構成する永久磁石の少なくとも 1 個を磁化させて、永久磁石の磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石式回転電機において、前記不可逆的に変化させる永久磁石を除いた他の永久磁石の磁路部分に短絡コイルを設けることを特徴とする。

【0024】

本発明において、前記短絡コイルを、前記不可逆的に変化させる永久磁石を除いた他の永久磁石の磁化方向を中心軸として前記他の永久磁石の周囲や、前記回転子鉄心の前記不可逆的に変化させる磁石以外に磁束が漏れる磁路部分に設けることもできる。前記短絡コイルに代えて、導電性の板を使用することも可能である。

【0025】

また、前記電機子巻線に d 軸電流を通電させて、その磁束で前記短絡コイルまたは導電性の板に短絡電流を発生させること、前記短絡コイルまたは導電性の板のインダクタンス値と抵抗値を、不可逆変化させる永久磁石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こと、前記短絡コイルまたは導電性の板が、不可逆変化させる永久磁石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も、本発明の一態様である。

【0026】

更に、前記短絡コイルまたは導電性の板が、高速回転時の遠心力に対して回転子鉄心で保持されること、前記短絡コイルまたは導電性の板に発生する短絡電流は、永久磁石を不可逆変化させる方向とは逆方向の磁界を形成する電流を電機子巻線に流し、その後、永久

10

20

30

40

50

磁石を不可逆変化させる方向に磁界を形成する電流を電機子巻線に流すことにより生成されること、あるいは、前記短絡コイルまたは導電性の板は、回転子の鉄心の穴に高温で溶けた導電性物質を流し込んで鋳造で造ることも、本発明の一態様である。

【発明の効果】

【0027】

以上のような構成を有する本発明によれば、磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石を増磁する際の磁化電流によって磁界が発生すると、この発生した磁界により短絡コイルや導電性の板に誘導電流が流れ、磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石に対して、この誘導電流によって発生した磁界により増磁方向の磁力が作用する。その結果、前記磁化電流による磁界と、この誘導電流による磁界とが加算されて、磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石の増磁が効果的に行われる。

10

【0028】

また、短絡コイルや導電性の板によって生じる磁界は、回転子のみならず、電機子鉄心においても、磁化電流によって発生する磁界を打ち消すように左右する。その結果、電機子鉄心における磁気飽和を緩和することにより、大きな磁化電流による強い磁界を磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石に加えることが可能となり、その増磁を容易に行うことが可能となる。

【0029】

このように、本発明によれば、少ない磁化電流で効果的に磁束量を不可逆的に変化させる永久磁石を増磁することができると共に、電機子鉄心の磁気飽和を抑止できるので、駆動用インバータの大型化を図ることなく、永久磁石式回転電機の効率化を達成することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

以下、本発明に係る永久磁石式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。

【0031】

(1. 第1の実施の形態)

(1-1. 構成)

30

本発明の第1の実施の形態について図1～図5を用いて説明する。なお、図1は回転子と固定子を示したが、図2以降においては、固定子部分は省略する。

【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、保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石4から構成される。回転子鉄心2は珪素鋼板を積層して構成し、前記の永久磁石は回転子鉄心2内に埋め込む。回転子鉄心2内を通過する磁束が永久磁石3、4の部分をその厚さ方向に通過するように、各永久磁石3、4の端部に空洞5を設ける。

【0033】

本実施の形態では、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3またはアルニコ磁石とし、この実施の形態ではフェライト磁石3を使用した。保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石4は、NdFeB磁石を使用した。このフェライト磁石3の保磁力は280kA/mとし、NdFeB磁石4の保磁力は1000kA/mとする。フェライト磁石3は磁極間のq軸に沿って回転子鉄心2内に配置し、その磁化方向はほぼ周方向である。NdFeB磁石4は磁化方向がd軸方向になるように回転子鉄心2内に配置する。

40

【0034】

前記回転子鉄心2内に埋め込まれた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、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の縁の部分にはめ込むように装着する。なお、回転子の鉄心の穴に高温で溶け

50

た導電性物質を流し込んで鋳造して製作することも可能である。

【0035】

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。そのため、この短絡コイル8は、前記不可逆的に変化させる永久磁石（フェライト磁石3）を除いた他の永久磁石（NdFeB磁石4）の磁路部分に設ける。その場合、NdFeB磁石4の磁化方向を中心軸として、NdFeB磁石4周囲に短絡コイル8を設ける。

【0036】

前記短絡コイルは、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、不可逆変化させる永久磁石（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。

【0037】

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。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。

【0038】

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。

【0039】

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。

【0040】

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。

【0041】

また、大きなd軸電流で可変用磁石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軸電流で可変用磁石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、可変用磁石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軸電流で可変用磁石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。

【0042】

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、可変用磁石3の極性を反転させて位相を進めることが可能である。

【0043】

（1-2. 減磁及び増磁作用）

つぎに、本実施の形態の作用について説明する。なお、各図中に、電機子巻線12や短絡コイル8によって発生した磁力の方向を矢印により示す。

【0044】

本実施の形態では、固定子10の電機子巻線12に通電時間が0.1ms～100ms

10

20

30

40

50

程度の極短時間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 A を作用させる（図 1 参照）。永久磁石を磁化するための磁界 A を形成するパルス電流は、固定子 10 の電機子巻線 12 の d 軸電流成分とする。

【0045】

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。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 12 にパルスの通電する。負の d 軸電流によって変化した磁石内の磁界 A 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。

【0046】

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 は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（図 2 参照）。

【0047】

なお、この場合、NdFeB 磁石 4 の磁力の方向は、図 1 の B に示すように、NdFeB 磁石 4 からフェライト磁石 3 の方向となるので、前記電機子巻線 12 による磁界の磁力の方向と一致するため、フェライト磁石 3 の減磁させる方向に強い磁力が作用する。同時に、短絡コイル 8 には、電機子巻線 12 の磁界 A を打ち消すような誘導電流が発生し、その誘導電流によって図 1 矢印 C で示すような磁力の方向を有する磁界が発生する。この短絡コイル 8 による磁力 C も、フェライト磁石 3 の磁化方向を逆方向に向けるように作用する。これらより、フェライト磁石 3 の減磁及び極性の反転が効率的に行われる。

【0048】

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（増磁過程）を説明する。減磁完了の状態では、図 2 に示すように、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（図 1 に示す初期の磁化方向）の磁界を発生する正の d 軸電流を電機子巻線 12 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。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（図 3 参照）。

【0049】

なお、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。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（図 5）。

【0050】

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。

【0051】

（1-3. 短絡コイルの作用）

つぎに、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。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

10

20

30

40

50

ばよい。

【0052】

本実施の形態では、NdFeB磁石4の周囲に短絡コイル8を配置している。この場合、短絡コイル8は、NdFeB磁石4の磁化方向を中心軸として配置する。図4に示す、不可逆的に変化させる磁石3の増磁方向の磁化を行う場合、前記d軸電流による磁界AがNdFeB磁石4に作用すると、前記磁界Aを打ち消すような誘導電流が短絡コイル8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Aと短絡電流による磁界Cが作用し両者が打ち消し合うために、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Cはフェライト磁石3にも作用し、d軸電流による磁界Aと同方向になる(図4)。

10

【0053】

したがって、フェライト磁石3を磁化させる磁界A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。この点は、前記図4に示した増磁方向に限らず、図1の減磁方向においても同様である。図1において説明したように、減磁方向の磁化電流により、図4の増磁方向とは逆の磁界Aが発生すると、この磁界Aによって短絡コイル8に誘起された誘導電流により磁界Cが発生し、不可逆的に変化させる磁石3を貫通する部分においては、この磁界Cの方向が磁化電流による磁界Aの方向と一致するので、減磁方向の磁化も効果的に行われる。

【0054】

また、短絡コイル8によりNdFeB磁石4は前記d軸電流の影響を受けなく、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11の磁気飽和も緩和できる。すなわち、電機子鉄心11は、d軸電流によって発生する磁界Aが電機子巻線12間に形成された磁路を通過することにより、その部分の磁気飽和が生じる可能性がある。しかし、本実施の形態では、短絡コイル8の磁界Cのうち、電機子鉄心11の磁路を通過する部分が、d軸電流による磁界Aと逆方向に作用するので、電機子鉄心11の磁路が磁気飽和することが緩和される。

20

【0055】

(1-4. 効果)

本実施の形態においては、次の効果が得られる。

【0056】

本実施の形態では、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。また、段落コイルを流れる誘導電流により、磁力を変化させる磁石(フェライト磁石3)へのd軸電流による磁界の影響を高めることができるので、少ないd軸電流でフェライト磁石3を磁化できる。これによりインバータの電気容量も低減できる。

30

【0057】

短絡コイル8により磁化をさせる磁界を高めることができるので、不可逆的に磁束量を変化させる永久磁石として、保磁力の大きな永久磁石を利用することが可能となる。例えば、本発明では、アルニコ磁石(保磁力120kA/m)よりも保磁力が大きなフェライト磁石3(保磁力280kA/m)を磁化させて磁力を可変できる。

40

【0058】

その結果、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く、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。

【0059】

以上より、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。

【0060】

50

(2. 第2の実施の形態)

図6は、本発明の第2の実施形態を示す回転子部分の断面図である。この第2の実施の形態では、前記短絡コイル8を、前記不可逆的に変化させる永久磁石（フェライト磁石3）を除いた他の永久磁石（NdFeB磁石4）の磁化方向を中心軸として、前記他の永久磁石（NdFeB磁石4）の周囲に設ける。

【0061】

このような構成の第2の実施の形態でも、前記第1の実施の形態と同様に、磁化電流によって生じる磁界によって短絡コイル8に誘導電流が誘起する。そして、この誘導電流によって発生する磁界Cと、磁化電流によって生じる磁界Aとによって、フェライト磁石3の増磁方向の磁化を行う。同時に、短絡コイル8の磁界Cによって、電機子鉄心11内に生じる磁化電流による磁界Aを打ち消すので、電機子鉄心11の磁気飽和を緩和できる。

10

【0062】

なお、第2の実施の形態は、図6中、符号8で示した短絡コイルをNdFeB磁石4の固定子側に配置したものであるが、短絡コイルの位置はそこに限るものではなく、符号(8)で示すように短絡コイルをNdFeB磁石4の回転子2の中心側に配置することもできる。また、NdFeB磁石4の周囲ではなく、NdFeB磁石4の外周側や内周側の鉄心に巻きつけても同じ効果が得られる。

【0063】

(3. 第3の実施の形態)

図7は、本発明の第3の実施の形態を示す回転子部分の断面図である。この第3の実施の形態は、不可逆的に変化させる磁石3を除いた他の永久磁石4の磁路部分に短絡コイルを設けたものであって、一例として、回転子鉄心2の前記不可逆的に変化させる磁石3以外に磁束が漏れる磁路部分に短絡コイルを設ける。すなわち、第3の実施の形態では、回転子鉄心2における不可逆的に変化させる磁石3の両端に設けた空洞5と、回転子鉄心2の内面または外面との間に形成した鉄心の狭い部分に、小径の短絡コイル8をそれぞれ設ける。

20

【0064】

このような構成の第3の実施の形態では、磁化電流によって生じる磁界Aに誘起されて誘導電流が短絡コイル8に流れると、短絡コイル8には、図7中符号Dで示す磁界が発生する。この磁界Dは、磁化電流によって生じる磁界Aと反対方向に作用するので、この部分の磁気飽和が緩和される。その結果、回転機の駆動に有効な磁束の減少による出力低下を防止できる。

30

【0065】

特に、図7に示すように、漏れ磁束が発生する部分は、不可逆的に変化させる磁石3に対して磁気回路としては並列回路になっている。したがって、短絡コイル8による漏れ磁束を打ち消すような磁界Dは、漏れ磁束部分と磁氣的につながった不可逆的に変化させる磁石3にも作用する。この磁界Dは、磁化電流による磁界の方向Aと同じであるので、不可逆的に変化させる磁石3の磁化が促進される効果を有する。。

【0066】

(4. 第4の実施の形態)

図8は、本発明の第4の実施の形態を示す回転子部分の断面図である。この第4の実施の形態では、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9を設けたものである。

40

【0067】

導電性の板9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9は、図7のような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。

【0068】

このような構成の第4の実施の形態では、磁化電流によって発生した磁界が導電性の板

50

9に加わると、導電性の板9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Cが発生する。その磁界Cにより、フェライト磁石3の増磁方向に磁力が加わり、増磁が効果的に実施される。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。

【0069】

（5．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。

【0070】

(1) 本実施の形態では極数を変えて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、形状が幾分変えることは勿論であり、作用と効果は同様に得られる。

10

【0071】

(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、磁極に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。

【0072】

(3) 前記第3の実施の形態と、前記第1、第2、第4の実施の形態とを組み合わせることも可能である。

【0073】

20

(4) 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。

【0074】

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。

【0075】

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。

30

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】本発明の第1の実施の形態において、磁化電流により減磁を開始した状態を示す回転子と固定子の部分断面図。

【図2】本発明の第1の実施の形態において、磁力が最小の状態を示す回転子の部分断面図。

【図3】本発明の第1の実施の形態において、磁化電流を流し始めた瞬間の状態を示す回転子の部分断面図。

40

【図4】本発明の第1の実施の形態において、磁化電流による磁界で短絡コイルに誘導電流が生じて新たな磁界が発生した状態を示す回転子の部分断面図。

【図5】本発明の第1の実施の形態において、磁化が終了して、磁化電流を0にした状態を示す回転子の部分断面図。

【図6】本発明の第2の実施の形態における磁力の方向を示す回転子の部分断面図。

【図7】本発明の第3の実施の形態における磁力の方向を示す回転子の部分断面図。

【図8】本発明の第4の実施の形態における磁力の方向を示す回転子の部分断面図。

【図9】特許文献1に記載の回転子の断面図。

【図10】特許文献1に記載の回転子の作用を示す模式図。

【符号の説明】

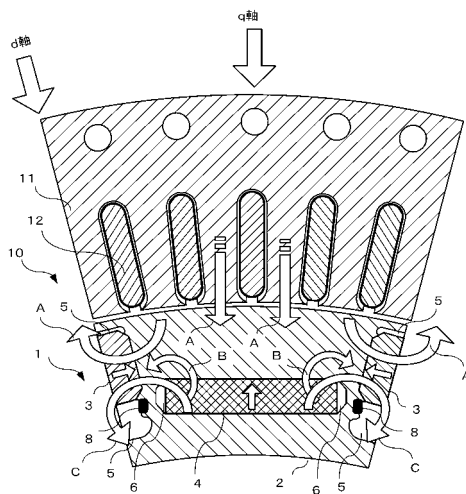
50

【 0 0 7 7 】

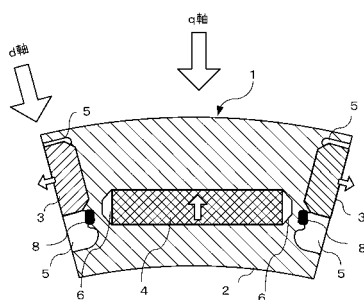
- 1 …回転子
- 2 …回転子鉄心
- 3 …保磁力と磁化方向厚の積が小となる永久磁石（フェライト磁石）
- 4 …保磁力と磁化方向厚の積が大となる永久磁石（NdFeB磁石）
- 5, 6 …永久磁石端の空洞
- 7 …磁極部
- 8 …短絡コイル
- 9 …導電性の板
- 10 …固定子
- 11 …電機子鉄心
- 12 …電機子巻線

10

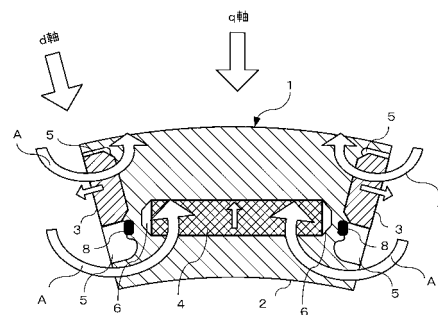
【 図 1 】



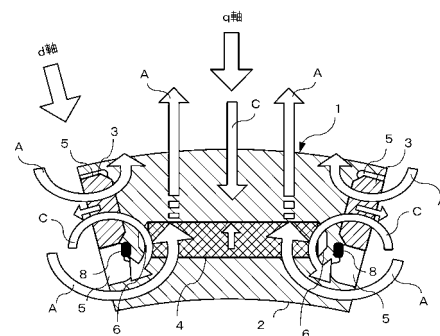
【 図 2 】



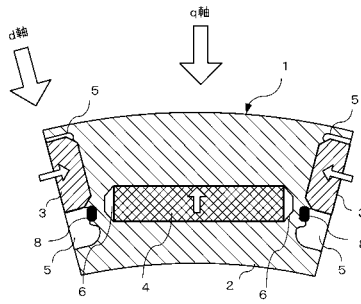
【 図 3 】



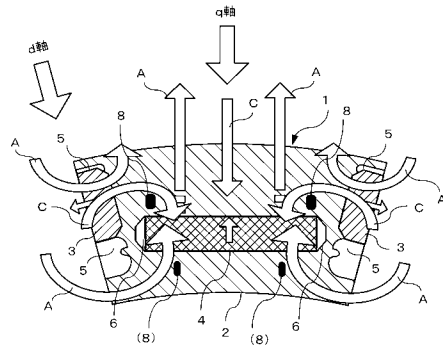
【 図 4 】



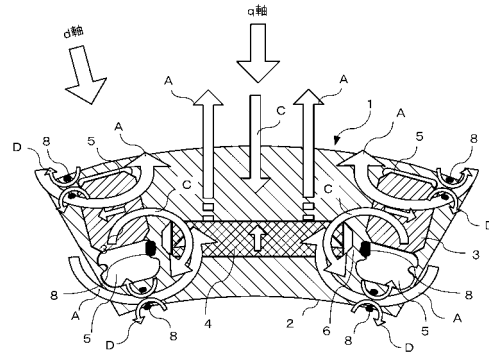
【図 5】



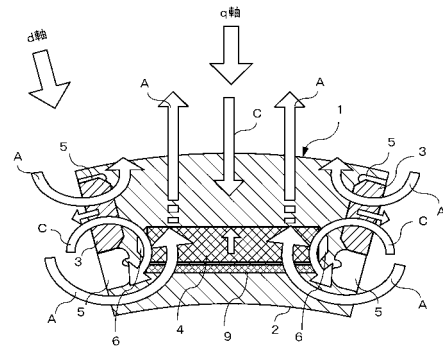
【図 6】



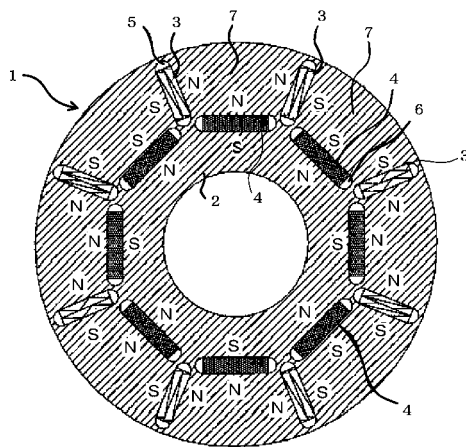
【図 7】



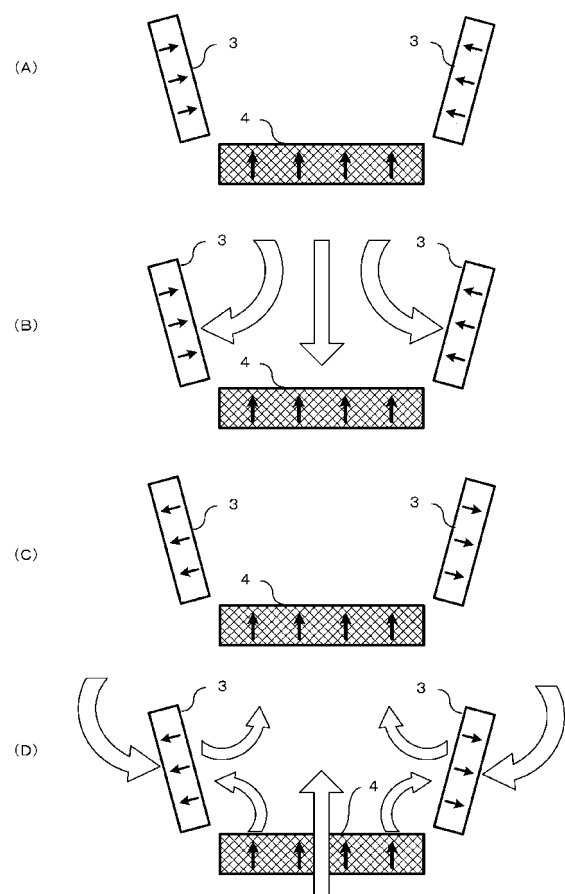
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(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

(72)発明者 高橋 則雄

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 徳増 正

神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目4番地 東芝テクノコンサルティング株式会社内

Fターム(参考) 5H622 AA03 CA02 CA07 CB02 PP01 PP10