

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6517469号  
(P6517469)

(45) 発行日 令和1年5月22日(2019.5.22)

(24) 登録日 平成31年4月26日(2019.4.26)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>HO2K</b>	<b>1/27</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	1/27	501A
<b>HO2K</b>	<b>15/03</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	15/03	501M
<b>HO2K</b>	<b>21/14</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	21/14	G

HO2K 15/03 (2006.01) HO2K 15/03 G

HO2K 21/14 (2006.01) HO2K 21/14 M

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2014-34320 (P2014-34320)  
 (22) 出願日 平成26年2月25日 (2014.2.25)  
 (65) 公開番号 特開2015-159691 (P2015-159691A)  
 (43) 公開日 平成27年9月3日 (2015.9.3)  
 審査請求日 平成29年2月27日 (2017.2.27)

(73) 特許権者 598076591  
 東芝インフラシステムズ株式会社  
 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34  
 (73) 特許権者 513296958  
 東芝産業機器システム株式会社  
 神奈川県川崎市幸区堀川町580番地  
 (74) 代理人 100083806  
 弁理士 三好 秀和  
 (72) 発明者 堀 和人  
 埼玉県川越市鯉井2100 東洋大学理工  
 学部内

審査官 上野 力

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】永久磁石回転電機システム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

複数の極数の回転磁界を生じる電機子巻線を有する固定子と、永久磁石を有する回転子から構成された永久磁石回転電機と、

前記永久磁石回転電機の回転を制御する制御装置と  
を備え、

前記永久磁石は前記回転子が所定の回転位置になったタイミングで外部磁界により不可逆的に磁化することにより、各磁極における前記永久磁石の片側端部の磁化の度合いの増減又は極性の反転が可能であり、かつ前記磁化の度合いを増減し又は極性を反転する磁石の量を可変にしたことを特徴とする永久磁石回転電機システム。

10

## 【請求項2】

請求項1に記載の永久磁石回転電機システムの前記制御装置が、運転状況に応じて前記永久磁石の磁化状態を不可逆的に変化させる磁石の量を変化させることを特徴とする永久磁石回転電機システム。

## 【請求項3】

請求項1又は2に記載の永久磁石回転電機システムにおいて、

前記外部磁界が電機子電流で発生させる磁界であり、前記電機子巻線に通常運転時に流す電流よりも所定倍だけ大きい大電流を所定の短時間だけ流すことにより前記永久磁石の磁化状態を不可逆的に変化させ、

前記永久磁石の各磁極分について、一方の端部は所定以上の前記外部磁界により磁化状

20

態が不可逆的に変化する低保磁力の永久磁石、前記低保磁力の永久磁石の部分を除いた残りの部分は前記所定以上の前記外部磁界によつても磁化状態が不可逆的には変化しない高保磁力の永久磁石で構成し、前記永久磁石における少なくとも不可逆的に磁化状態を変化させる部分の保磁力が 500 kA / m 以下である

ことを特徴とする永久磁石回転電機システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、最大トルク位相可変の永久磁石回転電機及び永久磁石回転電機制御装置に関する。 10

【背景技術】

【0002】

近年、トルクが可変な回転電機として、埋め込み永久磁石（IPM）モータに対して弱め磁束制御を行うものが知られている。希土類元素の永久磁石は従来の数十倍の磁力を生じるため、高出力で高効率のモータが得られる。そのような永久磁石を用いたIPMモータでは、バッテリや架線電圧のような最大電源電圧が制限される条件下で、中～高速回転域でモータを駆動するため弱め磁束制御が適用される。弱め磁束制御はインバータ制御を用いてモータの電機子巻線に負のd軸電流を流して、永久磁石の鎖交磁束と逆方向の鎖交磁束を作ることにより、全鎖交磁束を減少させて高速時に過電圧が発生するのを抑制する。IPMモータはこの制御が効果的に作用する磁気的構造を持つ永久磁石回転電機である。  
20

【0003】

ところが、従来の永久磁石回転電機にも、次のような問題点があった。すなわち、埋め込み永久磁石（IPM）モータのトルクは永久磁石トルク（PMトルク）成分とリラクタンストルク（Reトルク）成分から成る。そしてトルクが最大となる電流位相角はPMトルク成分とReトルク成分とで異なる。PMトルクの電流位相に対してReトルクの電流位相は周波数が2倍であり、逆位相である。そのため、モータ全体としての総トルクは、2つのトルク成分の最大値の合計値よりも低下する。すなわち、モータとしての最大トルク点では永久磁石の磁束が有效地に活用されていない。むしろ、モータの最大トルク点では永久磁石の一部は負のトルクを生じている。 30

【0004】

そこで、PMトルク成分の波形とReトルク成分の波形の電流位相差が可変なモータが創出できれば、PMトルク成分とReトルク成分とを共に有效地に活用でき、モータ性能の向上が期待できる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】堺和人・結城和明・橋場豊・高橋則雄・安井和也・ゴーワッティクンランシー リリスト、「可変磁力メモリモータの原理と基本特性」電学論D, Vol.131, No.1, pp53-60(2011) 40

【非特許文献2】K.Sakai, N.Yuzawa and H.Hashimoto: "Permanent magnet motors capable of pole changing and three-production mode using magnetization", IEEJ Journal IA, No.2, No.6(2013)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、上記従来技術の課題に鑑みてなされたもので、回転子に埋め込まれている永久磁石それぞれの磁化分布状態を非対称に変化させることによってPMトルク成分の電流位相角特性を変化させ、PMトルク成分とReトルク成分とを共に有效地にモータトルクに変換できる最大トルク位相可変の永久磁石回転電機及び永久磁石回転電機制御装置を提供 50

することを目的とする。

**【課題を解決するための手段】**

**【0007】**

本発明は、複数の極数の回転磁界を生じる電機子巻線を有する固定子と、永久磁石を有する回転子から構成された永久磁石回転電機と、永久磁石回転電機の回転を制御する制御装置とを備え、永久磁石は回転子が所定の回転位置になったタイミングで外部磁界により不可逆的に磁化することにより、各磁極における久磁石の片側端部の磁化の度合いの増減又は極性の反転が可能であり、かつ磁化の度合いを増減し又は極性を反転する磁石の量を可変にした永久磁石回転電機システムを特徴とする。

**【発明の効果】**

10

**【0009】**

本発明の永久磁石回転電機及び永久磁石回転電機制御装置によれば、回転子の永久磁石それぞれの磁化分布状態を不可逆的に変化させることによって PM トルク成分の電流位相角特性を変化させて、PM トルク成分と Re トルク成分と共に有効にモータトルクに変換できる。

**【図面の簡単な説明】**

**【0010】**

**【図1】**本発明の1つの実施の形態のIPMモータの断面図。

**【図2】**上記実施の形態のIPMモータにおける回転子の断面図。

**【図3】**上記実施の形態のIPMモータの回転を制御する制御装置のブロック図。

20

**【図4】**上記制御装置によるIPMモータの永久磁石の磁化分布状態を不可逆的に変化させる制御のフローチャート。

**【図5】**上記実施の形態のIPMモータの回転子において、各磁極の永久磁石それぞれの一部の磁化状態を不可逆的に変化させた状態を示す断面図。

**【図6】**上記実施の形態のIPMモータの回転子において、第1象限、第2象限の磁極の永久磁石それぞれの一部の磁化状態を不可逆的に変化させた状態を示す断面図。

**【図7】**本発明の実施例のIPM同期モータモデルの諸元を示す図。

**【図8】**上記実施例のIPM同期モータにおいて、各磁極の磁化反転割合とそれに対する最大トルク点の電流位相角との測定結果を示す図。

**【図9】**上記実施例のIPM同期モータの各磁極の磁化反転割合ごとのトルク対電流位相特性を示すグラフ。

30

**【図10】**上記実施例のIPM同期モータの各磁極の磁化反転割合ごとのトルク・速度特性を示すグラフ。

**【図11】**本発明の第2の実施の形態の永久磁石回転電機に用いる回転子の永久磁石の断面図。

**【図12】**本発明の第3の実施の形態の永久磁石回転電機に用いる回転子の永久磁石の断面図。

**【発明を実施するための形態】**

**【0011】**

まず、本発明における最大トルク位相可変の永久磁石モータ(VTPS-PM)の原理について説明する。Reトルク成分は回転子鉄心形状で決まるため可変にするのは困難である。そこで、PMトルク成分の電流位相を可変にすることを考える。回転子における永久磁石の配置により d - q 軸が決まってしまう。そのため、VTPS-PMでは、各磁極の永久磁石の一部を不可逆的に減磁又は不可逆的に磁化反転させることによって永久磁石の位置を変えずに PM トルク波形の位相を可変にする。そして、所定の電流、電圧の電源によって低速回転域では高トルク回転でき、高速回転が必要な場合には弱め磁束制御により高速回転域まで回転速度を上昇させることができるようになるのである。

40

**【0012】**

尚、本願において「磁化状態を不可逆的に変化させる」ことの意味は、通常運転時に発生する磁界よりも数倍大きい磁界を短時間(瞬間的に)かけることによって永久磁石の一

50

部を他の部分とは異なる磁化状態を変化させ、外部磁界をかけない限りその変化した磁化状態を維持することをいう。しかしながら、いったん不可逆的に磁化状態を変化させた後でも、さらに別の磁界、例えば逆方向の磁界をかけたり、より大きな磁界をかけることによって磁化の度合いを小さく（減磁）したり、磁化方向を反転させたり、元の磁化状態に戻したり、さらには磁化の度合いを大きく（増磁）したりすることができる。

#### 【0013】

以下、本発明の実施の形態を図に基づいて詳説する。図1にVTPS-PMの原理を採用した埋め込み永久磁石(IPM)モータ1を示している。図1に示すIPMモータ1は4極同期モータ(IPMSM)である。このIPMモータ1は、4極の回転磁界を生じる電機子巻線11を有する固定子10と、4個の永久磁石21を回転子鉄心22中に周方向に等角度間隔で埋め込んだ構造の回転子20から構成されている。10

#### 【0014】

固定子10では、円筒形の固定子鉄心12の内周側にここでは24個のスロット13を放射状に形成し、3相の電機子巻線11を4極の回転磁界を形成するように巻き付けてある。

#### 【0015】

図2に示すように、回転子20では、回転子鉄心22を円柱状に形成し、その中心部に非磁性材の回転軸23を通してある。回転子鉄心22の中に板状の永久磁石21を4枚、周方向が幅方向となり、かつ周方向に当角度間隔の配置になるように埋め込んでいる。ここで4枚の永久磁石21は、磁化方向は半径方向（厚み方向）であり、かつ隣り合う永久磁石21同士が互いにN,S極が逆向きになるように配置してある。さらに、回転子20において、回転子鉄心22には磁気障壁のための空隙24が各永久磁石21の両端部それから外周近くまでほぼ半径方向に形成してある。20

#### 【0016】

この回転子20に用いる永久磁石21は、通常の回転運転時に電機子巻線11に流す電流よりも3倍～6倍程度大きい大電流を例えば0.03秒という短時間、ほぼ瞬間に流すことにより形成される外部磁界により不可逆的に増磁され、減磁され、無磁化され、あるいは極性反転する可変磁力特性を持っている。その材料としては、希土類磁石、特にサマリウムコバルト磁石が望ましい。サマリウムコバルト磁石は、ネオジム磁石に比べて残留磁束密度及び保磁力の温度係数が小さく、優れた熱安定性を有している。用途と定格により適切な保磁力のものが採用されるが、例えば、保磁力が500kA/m以下のものを採用することができる。30

#### 【0017】

また、回転子20において、減磁や磁極反転させない通常状態で永久磁石21の周方向（幅方向）の中心を半径方向に通る線がd軸方向であり、磁気障壁のための空隙24において半径方向を通る線がq軸方向である。そして、図示実施の形態では、4極の回転子20が構成されている。

#### 【0018】

そして、これらの永久磁石21は上述したような可変磁力特性を有しており、その幅方向の端部から任意の割合で減磁し、増磁し、磁化反転させ、また無磁化することができる。これにより、各永久磁石21は幅方向の中心における厚み方向を対称軸として、その幅方向において非対称な磁化分布状態に不可逆的に変化させることができる。そして磁化分布状態を不可逆的に変化させるには、回転子20の所定の回転位置になったタイミングで、電機子巻線11に通常の運転時よりも数倍大きな正又は負の大電流を極短時間通電し、その大電流によって生じる強い外部磁界をかけることによって行う。40

#### 【0019】

図3に上記構造のIPMモータ(IPMSM)1の制御装置50を示している。この制御装置50は、速度制御部51、電流ベクトル制御部52、電流フィードバック制御部53、PWMインバータ54、IPMモータ1の回転子20の回転位置を検出するためのパルスジェネレータ、レゾルバ等の位置センサ55、ロータ位置検出部56、速度検出部550

7で構成されている。そして実施の形態のIPMモータ1に対して、この制御装置50により電機子巻線11に負のd軸電流を流す制御を行うことでd軸方向の磁束を減少させる弱め磁束制御を行う。

#### 【0020】

制御装置50の制御動作は次の通りである。IPMモータ1の回転子20の回転に比例した周期のパルスを位置センサ55にて発生させ、これをロータ位置検出部56と速度検出部57に出力する。ロータ位置検出部56は位置センサ55の信号から回転子20の回転位置を検出して電流フィードバック制御部53に出力する。速度検出部57は回転子20の回転速度を検出し、速度制御部51と電流ベクトル制御部52に出力する。

#### 【0021】

速度制御部51は、例えばアクセルの踏み込み量、マイコンのノッチ指令等の速度指令 $i^*$ と速度検出部57からの速度検出値 $v$ とを比較し、速度偏差からq軸電流指令値 $i_q^*$ を算出する。速度制御部51は、このq軸電流指令値 $i_q^*$ を電流ベクトル制御部52、電流フィードバック制御部53に出力する。電流ベクトル制御部52は、速度検出部57からの速度検出値 $v$ と速度制御部51からのq軸電流指令値 $i_q^*$ とを用いて、電流ベクトル制御アルゴリズムによりd軸電流指令値 $i_d^*$ を算出し、電流フィードバック制御部53に出力する。

#### 【0022】

電流フィードバック制御部53は、d軸電流指令値 $i_d^*$ 、q軸電流指令値 $i_q^*$ 、回転子回転位置、さらにインバータ出力に対する電流検出器58からの電流検出値 $I_u$ 、 $I_v$ を入力し( $I_w$ は $I_u$ 、 $I_v$ から算出できるので入力しなくてもよい)、これらに基づいて電流ベクトル指令値 $I^*$ を決定する。さらに電流フィードバック制御部53は、電流ベクトル指令値 $I^*$ から電圧指令値 $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$ を求め、PWMインバータ54に出力する。PWMインバータ54は、電流フィードバック制御部53からの電圧指令値 $V_u^*$ 、 $V_v^*$ 、 $V_w^*$ に対してPWM(パルス幅変調)を行い、IPMモータ1の3相各相の電機子巻線11に必要な電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ を流し、このIPMモータ1の回転子20を速度指令 $v^*$ に一致する速度で回転させる。

#### 【0023】

本実施の形態の永久磁石回転電機1の制御装置50は、さらに、位相シフト制御部59を備えている。この位相シフト制御部59は、図4のフローチャートに示すように、速度指令 $v^*$ 、ロータ回転位置検出値 $\theta$ 、速度検出値 $v$ を入力する(ステップS1)。

#### 【0024】

そして、速度指令 $v^*$ が切り替えられた時に、自身の記憶している最大トルク指令規準テーブルを参照し、その速度指令 $v^*$ に対応する位相シフト最大トルクが基底最大トルクに対して何%であるかを判断する(ステップS2)。また、速度指令 $v^*$ と速度検出値との差から加速か減速かを判断する。現状速度維持の場合にはそのままリターンする(ステップS3)。

#### 【0025】

そして加速であり、かつ、位相シフト最大トルク(要求トルク)が基底最大トルクに対して例えば90%であれば、現状の位相での最大トルク状態から10%トルク抑制と判断し、次のように第一段階の磁化反転制御を行う(ステップS41、S411)。また基底最大トルクに対して80%、つまり20%トルク抑制と判断すれば第二段階の反転制御を行う(ステップS41、S412)。

#### 【0026】

逆にステップS3で減速、かつ、位相シフト最大トルク(要求トルク)が基底最大トルクに対して例えれば90%であり、現状のトルク状態が基底最大トルクに対して80%であれば一段トルク増加と判断し、次のように第一段階の磁化再反転制御を行う(ステップS42、S421)。また要求トルクが基底最大トルク(つまり、100%)であり、現状のトルク状態が基底最大トルクに対して80%であれば二段トルク増加と判断し、第二段階の磁化再反転制御を行う(ステップS42、S422)。

10

20

30

40

50

## 【0027】

この磁化反転、磁化再反転制御は、固定子 10 の電機子巻線 11 に瞬間的に通常よりも大きな電流を流すと共にその流すタイミングをも制御することによって行う。加速時の磁化反転制御を図 5、図 6 を用いて説明する。本来の d 軸位置よりも回転角  $\theta$  だけ位相をずらせたタイミングにて電機子巻線 11 に大電流を瞬間に流す。この位相差  $\theta$  は IPM モータ 1 の定格特性、永久磁石 21 の磁気特性、また反転磁化部の割合によって異なる。また電流値についても、用いられている永久磁石 21 の材質等により異なるが、通常のモータ駆動電流の 3 ~ 6 倍の大電流である。そして容量、最大電圧が限られているバッテリや架線の電源によってこのような大電流を継続的に流すのは無理ではあっても、1 秒以下の短時間、例えば 0.03 秒という瞬間に大電流を発生させる場合には、そのような電源に対してもダメージとはならない。さらに反転磁化部分を増加させるためには ( > ) だけより大きく位相をずらせたタイミングにて電機子巻線 11 に大電流を瞬間に流すことになる。

## 【0028】

尚、反転磁化部分を 20% から 10% に減らす場合には、 $\theta$  のタイミングにて磁化反転のために大電流を流すか、または、本来の d 軸位置のタイミングにて磁化再反転のための電流を流した後に  $\theta$  のタイミングにて再度磁化反転のための大電流を流す二段階の制御を行う。そして反転磁化部分を 10% から 0% に減らす場合には、本来の d 軸位置のタイミングにて磁化再反転のために上とは逆の大電流を流す。

## 【0029】

このような磁化反転電流を流すことにより、図 6 における第 1 象限に対応する位置の永久磁石 21-1 の一部、ここでは右端部が磁化反転させられる。また図 6 における第 2 象限に対応する位置の永久磁石 21-2 の一部、ここでも右端部が磁化反転させられる。これにより、永久磁石 21-1 は、例えば 90% の磁化非反転部 21A- と 10% の磁化反転部 21B+、永久磁石 21-2 には 90% の磁化非反転部 21A+ と 10% の磁化反転部 21B- が発生する。そして 20% の磁化反転の場合には、永久磁石 21-1 は、80% の磁化非反転部 21A- と 20% の磁化反転部 21B+、永久磁石 21-2 には 80% の磁化非反転部 21A+ と 20% の磁化反転部 21B- が発生する。尚、図 6 には示されていないが、回転軸 23 を介して点対称な第 3 象限に対応する位置の永久磁石 21-3 は第 1 象限に対応する位置の永久磁石 21-1 と同様に一部に磁化反転部 21B+ が発生し、第 4 象限に対応する位置の永久磁石 21-4 は第 2 象限に対応する位置の永久磁石 21-2 と同様に一部に磁化反転部 21B- が発生する。

## 【0030】

一方、減速時には磁化再反転制御により要求トルクの増加に対応する必要がある。いま 20% の磁化反転により低トルク、高速回転の運転状態にあってブレーキが踏まれる、ノッチが下げられる等により減速指令があれば、上述の制御により永久磁石 21 の磁化反転部を 10% だけ再反転させる、あるいは 20% 再反転させる。これにより、今までの磁化反転部の磁化方向が 10% だけ、あるいは 20% 全部、残りの磁化部と同じ向きに磁化方向が戻されることになる。

## 【0031】

モータでの発電(回生)動作するとき、又は、発電機として適用するときは、前記で説明した図では、磁石において前記と反対側の左端部を磁化反転して同様に行うことにより発電動作時にも同様な作用や効果を得る。

## 【実施例 1】

## 【0032】

次に、図 7 の諸元を持つモータモデルについて、可変磁化によるトルク位相とモータ特性について説明する。このモータモデルは、4 極永久磁石同期モータであり、固定子 10 の外径 120 mm、スロット数 24、回転子 20 の外径 60 mm、鉄心長さは 60 mm、磁気空隙は 0.5 mm である。電機子巻線の数 12、巻き数 35、定格電流 3.5 A/mm<sup>2</sup>、永久磁石 21 は 100 ~ 300 kA/m の低保磁力のサマリウムコバルト磁石であり

10

20

30

40

50

、幅 22 mm、厚み 3.5 mm を 4 個、図 1 に示すように断面がほぼ正方形状になるよう配置している。

#### 【0033】

上記モータモデルに対して、図 5 に示すように各磁極の永久磁石 21 をその一端部より部分的に磁化反転させ、磁化反転させた比率 % をパラメータとし、磁界解析を行った。得られたモータ特性は次の通りであった。

#### 【0034】

##### 1. トルク対電流位相特性

電流位相を変化させた時の最大トルク点の電流位相角を図 8 に示し、トルク特性を図 9 に示す。電流は 3.5 A である。

10

#### 【0035】

磁化反転が不可能な通常の IPM モータでは最大トルク点の電流位相角は 115° になる。これは、永久磁石トルク (PM トルク) 成分の最大トルク点は d 軸方向である 90° であるのに対して、リラクタンストルク (Re トルク) 成分が合成されるためである。

#### 【0036】

これに対して、9% (A1 の曲線)、18% (A2 の曲線)、27% (A3 の曲線)、36% (A4 の曲線)、45% (A5 の曲線) と永久磁石 21 の一部を非対称な磁化分布状態になるように磁化反転させると、最大トルク点の電流位相角が大きくなる方向 (進み位相) にシフトする。磁化反転部分の磁石割合が約 45% では、最大トルクとなる電流位相角は 157° までシフトする。

20

#### 【0037】

##### 2. 可变速特性

部分的に任意の範囲で磁化反転した場合の可变速特性を磁界解析した。磁化反転領域を 0 ~ 45% まで変化させた時のトルク対回転速度 (T - N) 特性を図 10 に示す。通常 IPM モードでは曲線 A1 に示すように最大トルクは 2.8 Nm、基底速度は 3200 rpm、弱め磁束制御による最高回転速度は 5600 rpm である。曲線 A2 に示す 9% 磁化反転では、最大トルクは 2.3 Nm、基底速度は 3800 rpm、弱め磁束制御による最高回転速度は 8800 rpm、曲線 A3 に示す 18% 磁化反転では、最大トルクは 1.7 Nm、基底速度は 4400 rpm、弱め磁束制御による最高回転速度は 15000 rpm となる。磁化反転して最大トルク位相角を進み方向にシフトすると、中 ~ 高速回転域の出力が向上し、最高回転速度が約 3 倍までに高くできることがわかった。

30

#### 【0038】

基底速度以上の中 ~ 高速域では、過電圧抑制のための弱め磁束制御や高力率化のための進み位相制御を行う。この中 ~ 高速域での出力性能向上の要因は、本実施例の IPM モータが電流進み位相に応じて最大トルク位相角をシフトできるので有効に磁束を利用できることにある。そのため、可变速運転に応じて最大トルク位相を可変すると中 ~ 高速域での出力が大幅に向上できることが確認できた。

#### 【0039】

尚、本発明の実施の形態では、永久磁石回転電機として IPM モータを例示して説明したが、モータでの発電 (回生) 動作や永久磁石回転電機として発電機に適用することもできる。また、永久磁石モータに特化して適用する場合には、図 1 に示したような瞬間的な大電流により磁極を不可逆的に反転させることができる可変磁力特性の永久磁石 21 ではなく、図 11 に示すように、幅方向の一部にそのような可変磁力特性を持つ永久磁石 212、残りの部分はそのような瞬間的な大電流によっても不可逆的に減磁も磁化反転もしない固定磁力特性を持つ永久磁石 211 で構成される永久磁石 21 を採用することができる。その場合、可変磁力特性を持つ永久磁石 212 に対して磁極反転制御をすることにより、本実施の形態の IPM モータ 1 と同様に、最大トルク位相可変の永久磁石モータ (VTPS - PM) を構成することができる。

40

#### 【0040】

また、図 12 に示すように、幅方向の両端部それぞれが可変磁力特性を持つ永久磁石 2

50

12, 212、中央の部分が瞬間的な大電流によっても不可逆的に減磁も磁化反転もしない固定磁力特性を持つ永久磁石211で構成される永久磁石21を採用することもできる。その場合、可変磁力特性を持つ永久磁石212に対して磁極反転制御をすることにより、本実施の形態のIPMモータ1と同様に、最大トルク位相可変の永久磁石モータ(VTPS-PM)を構成することができる。また同時に、発電機のような永久磁石回転電機に対しても適用できる。

#### 【0041】

加えて、上記実施の形態では永久磁石21の端部の磁化方向を不可逆的に反転させることによって高速回転域への対応を行うようにしたが、永久磁石21の端部だけその磁力を不可逆的に減磁させることによりPMトルク成分の最大トルクの電流位相角を変化させることもできる。また、永久磁石21の端部だけその磁力を不可逆的に0にすることによりPMトルク成分の最大トルクの電流位相角を変化させることもできる。さらには、永久磁石の端部の磁化方向の不可逆的な反転、無磁化、減磁を組み合わせることによってPMトルク成分の最大トルクの電流位相角を細かに変化させることも可能である。

10

#### 【0042】

さらに、上記実施の形態では、永久磁石4極同期モータ(IPMSM)について説明したが、極数、スロット数、電源の相数について限定されることはない。また直流、交流についても限定されることはない。さらに、可変磁力永久磁石の配置は、回転子鉄心内に正四角形状に配置するものにとどまらない。例えば、各一対の可変磁力磁石を回転子の外周側に開く逆八の字の配置にした構成でもよい。

20

#### 【0043】

こうして本発明の永久磁石回転電機によれば、PMトルク成分の波形とReトルク成分の波形の電流位相差を変化させることができ、PMトルク成分とReトルク成分とを共に有効に活用でき、回転性能を向上させることができる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0044】

本発明は、ハイブリッド自動車・電気自動車、鉄道等の交通システム、風力発電、海流発電等のエネルギー・システム、エレベータ、エアコン等の家電機器等の社会システム・家電機器分野に広く応用できる。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0045】

1 IPMモータ(永久磁石モータ)

10 固定子

11 電機子巻線

12 固定子鉄心

20 回転子

21 永久磁石

21A± 磁化非反転部

21B± 磁化反転部

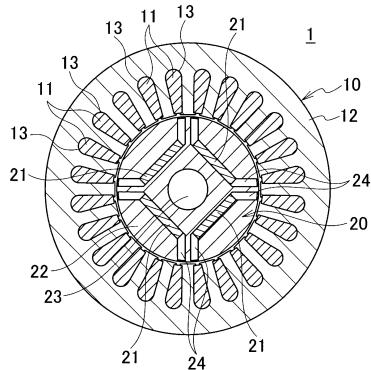
22 回転子鉄心

23 回転軸

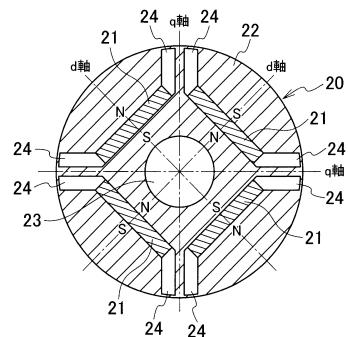
24 (磁気障壁としての)空隙

40

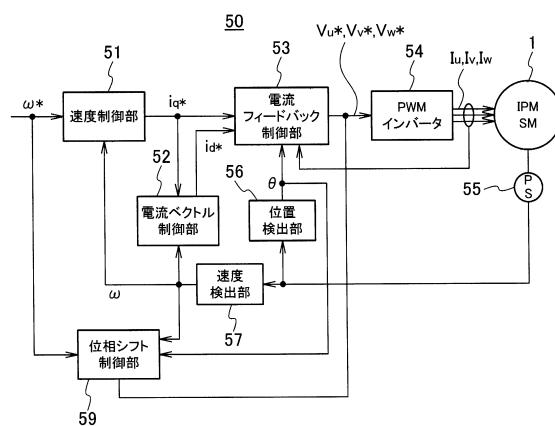
【図1】



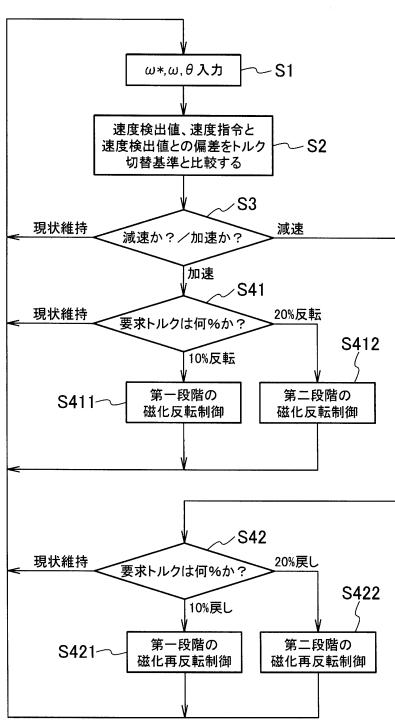
【図2】



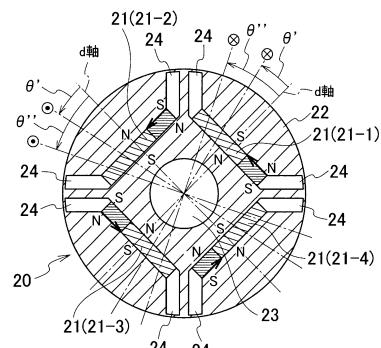
【図3】



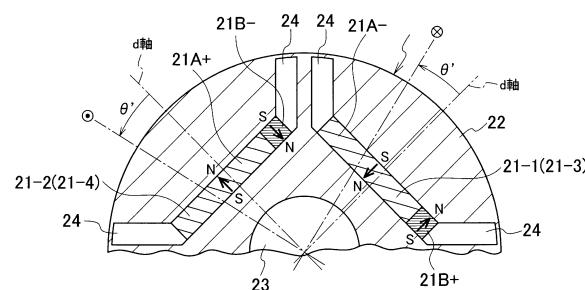
【図4】



【図5】



【図6】

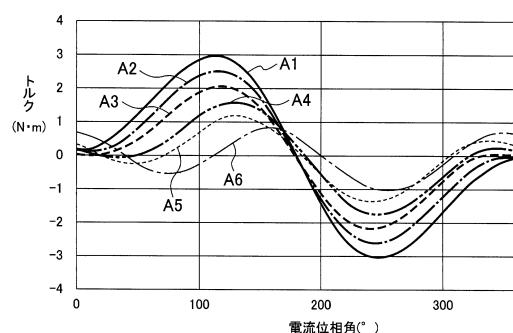


【図7】

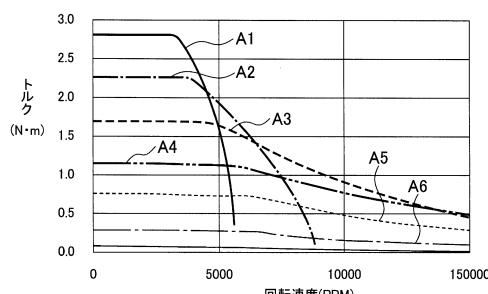
Number of poles	4
Number of slots	24
Stator outer diameter	120mm
Rotor outer diameter	60mm
Core length	60mm
Air gap length	0.5mm
Number of coils	12
Turn of coil	35
Rated current	3.5Arms
Thickness of permanent magnet	3.5mm
Width of permanent magnet	22mm
Magnetic steel	JFE-35JN300

【図8】

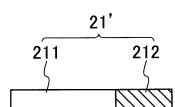
最大トルク点の電流位相角 $\alpha$ [deg]	
通常IPM(A1)	115
9%磁化反転(A2)	118
18%磁化反転(A3)	121
27%磁化反転(A4)	129
36%磁化反転(A5)	131
45%磁化反転(A6)	157



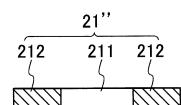
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2014-007852(JP,A)  
特開2011-223742(JP,A)  
特開2013-179757(JP,A)  
特開2013-051763(JP,A)  
特開2010-124608(JP,A)  
特開2009-100622(JP,A)  
特開2014-003845(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 1 / 27  
H02K 15 / 03  
H02K 21 / 14