

(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2017-99236

(P2017-99236A)

(43) 公開日 平成29年6月1日(2017.6.1)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
H02K 3/28 (2006.01)	H02K 3/28 J	5H603
H02K 21/14 (2006.01)	H02K 21/14 M	5H621

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-232277 (P2015-232277)
 (22) 出願日 平成27年11月27日 (2015.11.27)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 110001634
 特許業務法人 志賀国際特許事務所
 (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 松下 真琴
 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 三須 大輔
 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

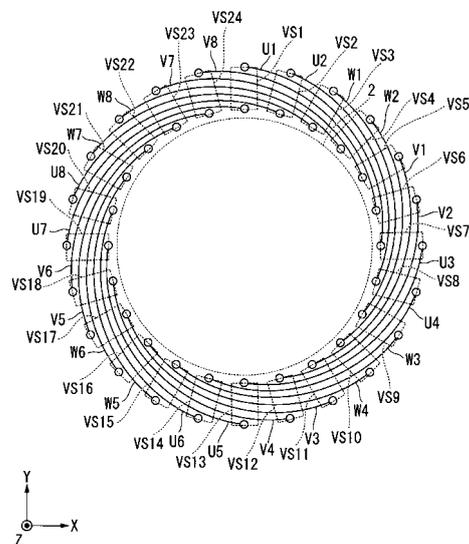
(54) 【発明の名称】 永久磁石回転電機、及び永久磁石回転電機の固定子

(57) 【要約】

【課題】 損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる永久磁石回転電機、及び永久磁石回転電機の固定子を提供することである。

【解決手段】 実施形態の永久磁石回転電機は、回転子と、固定子とを持つ。回転子は、永久磁石を備える。固定子は、第1空芯巻線と、第2空芯巻線との2種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に1以上有する多相の電機子巻線であって、それぞれの極において、第1空芯巻線と第2空芯巻線とが回転子の径方向に重なり合い、第1空芯巻線については第2空芯巻線よりも当該上流側に配置されている部分があり、第2空芯巻線については第1空芯巻線よりも当該下流側に配置されている部分がある電機子巻線を備え、各相の各極を形成する第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線のうちの1つとが直列にそれぞれ接続される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

永久磁石を備えた回転子と、

前記回転子の回転方向の上流側に配置される空芯巻線である第 1 空芯巻線と、前記第 1 空芯巻線よりも前記回転方向の下流側に配置される空芯巻線である第 2 空芯巻線との 2 種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に 1 以上有する多相の電機子巻線であって、それぞれの極において、前記第 1 空芯巻線と前記第 2 空芯巻線とが前記回転子の径方向に重なり合い、前記第 1 空芯巻線については前記第 2 空芯巻線よりも前記上流側に配置されている部分があり、前記第 2 空芯巻線については前記第 1 空芯巻線よりも前記下流側に配置されている部分がある前記電機子巻線を備え、各相の各極を形成する前記第 1 空芯巻線のそれぞれについて、前記第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相の極を形成する前記第 2 空芯巻線のうちの 1 つとが直列にそれぞれ接続される固定子と、

10

を備える永久磁石回転電機。

【請求項 2】

前記第 1 空芯巻線及び前記第 2 空芯巻線には、巻き線を構成する素線の一部と当該素線の他の一部とが並列に接続される並列回路を含まない、

請求項 1 に記載の永久磁石回転電機。

【請求項 3】

各相の各極を形成する前記第 1 空芯巻線のそれぞれについて、前記第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相であり同極の前記第 2 空芯巻線とが直列に接続される、

20

請求項 1 又は 2 に記載の永久磁石回転電機。

【請求項 4】

相毎に複数の極を有し、

各相の各極を形成する前記第 1 空芯巻線のそれぞれについて、前記第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相であり他極の前記第 2 空芯巻線のうちの 1 つとが直列に接続される、

請求項 1 又は 2 に記載の永久磁石回転電機。

【請求項 5】

相毎に偶数の極を有し、

各相の各極を形成する前記第 1 空芯巻線毎に、前記第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相であり他極のうちの自極と前記回転子を挟んで対向関係にある極における前記第 2 空芯巻線とが直列に接続される、

30

請求項 4 に記載の永久磁石回転電機。

【請求項 6】

前記直列に接続される前記第 1 空芯巻線及び前記第 2 空芯巻線の組は、互いに並列に接続される、

請求項 1 から 5 のうちいずれか一項に記載の永久磁石回転電機。

【請求項 7】

永久磁石を備えた回転子の回転方向の上流側に配置される空芯巻線である第 1 空芯巻線と、前記回転方向の下流側に配置される空芯巻線である第 2 空芯巻線との 2 種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に 1 以上有する多相の電機子巻線であって、それぞれの極において、前記第 1 空芯巻線と前記第 2 空芯巻線とが前記回転子の径方向に重なり合い、前記第 1 空芯巻線については前記第 2 空芯巻線よりも前記上流側に配置されている部分があり、前記第 2 空芯巻線については前記第 1 空芯巻線よりも前記下流側に配置されている部分がある前記電機子巻線を備え、各相の各極を形成する前記第 1 空芯巻線のそれぞれについて、前記第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相の極を形成する前記第 2 空芯巻線のうちの 1 つとが直列に接続される、

40

永久磁石回転電機の固定子。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

50

【0001】

本発明の実施形態は、永久磁石回転電機、及び永久磁石回転電機の固定子に関する。

【背景技術】

【0002】

高エネルギー密度の回転電機の研究や開発が行われている。

【0003】

これに関し、永久磁石の研究及び開発により、高磁気エネルギー積の永久磁石が開発され、回転電機の小型・高出力化が進められている。特に小型アクチュエーターや産業用ロボット等では、近年可搬重量の増加、移動速度の高速化のため、限られた空間の中で高トルク、高出力化が強く要求されており、従来に比べ高エネルギー密度の回転電機となっている。このような回転電機には、稼働時間の伸張、並びに搭載バッテリー容量（重量）の低減のため、高効率化も求められている。

10

【0004】

また、電気自動車、ハイブリッド自動車向けのような車両用を用途とする回転電機に対しては、排出ガスの抑制や燃費向上のため、高効率化が強く求められている。また、当該回転電機は、エンジンルームなどの搭載スペースが小さいことから、限られた空間の中で高トルク・高出力化が要求されており、高エネルギー密度の回転電機となっている。

【0005】

このような回転電機のうち、巻線を構成する素線を巻きつけるティースが形成されていない固定子に空芯巻線を配置した永久磁石回転電機は、トルクリップルが抑制され、その結果、振動及び騒音が抑制される。しかし、当該永久磁石回転電機では、ティースがないため、ティースがある場合と比較して巻線（すなわち、空芯巻線）を構成する素線を貫く磁束が増加してしまい、当該素線内部の渦電流や当該素線同士が並列に接続された並列回路を循環する循環電流が増大してしまう場合があった。このような渦電流や循環電流は、当該永久磁石回転電機におけるトルクの増加に寄与せず、ジュール熱に変換されてしまうため、消費電力量を増加させてしまう可能性があった。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2007-124892号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明が解決しようとする課題は、損失を低減するとともに高いトルクを発生させることのできる永久磁石回転電機、及び永久磁石回転電機の固定子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

実施形態の永久磁石回転電機は、回転子と、固定子とを持つ。回転子は、永久磁石を備える。固定子は、回転子の回転方向の上流側に配置される空芯巻線である第1空芯巻線と、第1空芯巻線よりも当該回転方向の下流側に配置される空芯巻線である第2空芯巻線との2種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に1以上有する多相の電機子巻線であって、それぞれの極において、第1空芯巻線と第2空芯巻線とが回転子の径方向に重なり合い、第1空芯巻線については第2空芯巻線よりも当該上流側に配置されている部分があり、第2空芯巻線については第1空芯巻線よりも当該下流側に配置されている部分がある電機子巻線を備え、各相の各極を形成する第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線のうちの1つとが直列にそれぞれ接続される。

40

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】回転子2の回転軸に直交する方向に永久磁石回転電機1を切った場合の断面図の

50

一例を示す図。

【図2】固定子3における空芯巻線の接続状態の一例を示す図。

【図3】各相の各極を形成する第1空芯巻線と、同相の極を形成する第2空芯巻線との接続状態の一例を示す図。

【図4】回転子2が備える永久磁石の磁束が空芯巻線を構成する素線を貫く様子の一例を示す図。

【図5】空芯巻線を構成する素線の内部において渦電流が発生した様子の一例を示す図。

【図6】循環電流の発生原理を説明するための図。

【図7】回転子2の永久磁石22から永久磁石21へ向かう方向が、回転子2の中心から第1空芯巻線U1の上流辺と第1空芯巻線U7の下流辺とが配置された仮想スロットVS1へ向かう方向と一致した状態の一例を示す図。

【図8】第1相Uの各極における第1空芯巻線及び第2空芯巻線の接続状態の他の例を示す図。

【図9】第1相Uの各極における第1空芯巻線及び第2空芯巻線の接続状態の更に他の例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、実施形態の永久磁石回転電機を、図面を参照して説明する。まず、実施形態の永久磁石回転電機1の概要について説明する。永久磁石回転電機1が備える固定子（例えば、後述する固定子3）にティースが形成されていないため、永久磁石回転電機1では、ティースが形成された固定子を備えた他の回転電機と比べて、トルクリップルが小さい。このため、永久磁石回転電機1は、低振動のモーターであるとともに低騒音のモーターである。

【0011】

永久磁石回転電機1は、永久磁石回転電機1と異なる他の永久磁石回転電機Xと比べて、損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる。例えば、従来技術による永久磁石回転電機Xは、永久磁石回転電機Xが備える空芯巻線に流れる電流を増大させることによって、永久磁石回転電機Xの発生可能なトルクを増大させることができる（当該空芯巻線の詳細については後述する）。

【0012】

永久磁石回転電機Xが備える空芯巻線が1本の素線によって構成される場合、空芯巻線に流れる電流は、空芯巻線を構成する素線の断面積を大きくすることによって増大させることができる。しかし、空芯巻線を構成する素線の断面積を大きくすると、永久磁石回転電機Xを駆動する際に当該素線の内部に発生する渦電流が増大する。当該渦電流は、永久磁石回転電機Xのトルクの増加に寄与せず、ジュール熱に変換されてしまうため、消費電力量を増加させる一因である。

【0013】

一方、永久磁石回転電機Xが備える空芯巻線が複数の素線によって構成される場合、永久磁石回転電機Xは、個々の素線の断面積を小さくすることによって渦電流の発生を抑制することができる。また、永久磁石回転電機Xは、素線の数を増やすことによって空芯巻線に流れる電流を増大させることができる。しかし、空芯巻線を構成する素線の数を複数にした場合、当該空芯巻線を構成する複数の素線同士が並列に接続された並列回路内において、永久磁石回転電機Xを駆動する際に当該並列回路を循環する電流である循環電流が発生する。このような循環電流は、渦電流と同様に、永久磁石回転電機Xのトルクの増加に寄与せず、ジュール熱に変換されてしまうため、消費電力量を増加させる一因である。

【0014】

このような永久磁石回転電機Xに対し、永久磁石回転電機1は、永久磁石を備える回転子と、回転子の回転方向の上流側に配置される空芯巻線である第1空芯巻線と、第1空芯巻線よりも当該回転方向の下流側に配置される空芯巻線である第2空芯巻線との2種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に1以上有する多相の電機子巻線であって、複数の

10

20

30

40

50

第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線の一部位と、当該第1空芯巻線以外の1の第1空芯巻線の一部位とが、回転子の中心軸の方向に2層に積層され、複数の第2空芯巻線のそれぞれについて、第2空芯巻線の一部位と、当該第2空芯巻線以外の1の第2空芯巻線の一部位とが、回転子の中心軸の方向に2層に積層された2層巻きの電機子巻線を備え、各相の各極を形成する第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線のうちの1つとが直列にそれぞれ接続される。

【0015】

換言すると、永久磁石回転電機1は、永久磁石を備える回転子と、回転子の回転方向の上流側に配置される空芯巻線である第1空芯巻線と、第1空芯巻線よりも当該回転方向の下流側に配置される空芯巻線である第2空芯巻線との2種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に1以上有する多相の電機子巻線であって、それぞれの極において、第1空芯巻線と第2空芯巻線とが回転子の径方向に重なり合い、第1空芯巻線については第2空芯巻線よりも当該上流側に配置されている部分があり、第2空芯巻線については第1空芯巻線よりも当該下流側に配置されている部分がある電機子巻線を備え、各相の各極を形成する第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線のうちの1つとが直列にそれぞれ接続される。

10

【0016】

この構成により、永久磁石回転電機1は、前述の渦電流や循環電流を抑制することにより、ジュール熱の発生による電力の損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる。この実施形態では、永久磁石回転電機1が備えるこれらの構成の具体例と、当該構成による渦電流や循環電流の抑制について詳しく説明する。図1を参照し、実施形態の永久磁石回転電機1の構成について説明する。

20

【0017】

図1は、回転子2の回転軸に直交する方向に永久磁石回転電機1を切った場合の断面図の一例を示す図である。永久磁石回転電機1は、回転子2と、固定子3とを備える。

【0018】

永久磁石回転電機1は、巻線(コイル)を構成する素線を巻きつける部位であるティースが固定子3に形成されていないスロットレスのM相N極のブラシレス交流モーターである。Mは、2以上の整数である。また、Nは、1以上の整数である。また、スロットは、複数のティースが形成された固定子におけるティース間の間隙のことである。以下では、一例として、永久磁石回転電機1がスロットレスの3相4極のブラシレス交流モーターである場合について説明する。

30

【0019】

回転子2は、図1に示したように、永久磁石21~永久磁石28の8個の永久磁石を備える。永久磁石21と永久磁石22とは、回転子2の回転中心から回転子2の径方向における外周側へと向かう方向に磁化配向されている。また、永久磁石23と永久磁石24とは、回転子2の径方向における外周側から回転子2の回転中心へと向かう方向に磁化配向されている。

【0020】

また、永久磁石25は、永久磁石24から永久磁石21へと向かう方向に磁化配向されている。また、永久磁石26は、永久磁石23から永久磁石22へと向かう方向に磁化配向されている。また、永久磁石27は、永久磁石23から永久磁石21へと向かう方向に磁化配向されている。また、永久磁石28は、永久磁石24から永久磁石22へと向かう方向に磁化配向されている。これらの永久磁石21~永久磁石28は、回転子2において4極の磁極を構成する。

40

【0021】

また、図1では、回転子2は、図示しない軸受によって支持されている。なお、図1では、回転子2の回転軸が延伸する方向と、図1に示した三次元座標系のZ軸方向とを一致させている。

50

【 0 0 2 2 】

固定子 3 は、回転子 2 を回転させる磁場を発生させる複数の巻線が設けられる。前述したように固定子 3 には、ティースが形成されていない。そのため、この一例において固定子 3 に設けられる巻線は、空芯巻線（空芯コイル）である。この一例における空芯巻線は、内径側に磁性体が存在しない巻線のことである。また、当該空芯巻線は、1本の素線によって構成されるコイルである。また、当該空芯巻線は、巻き線を構成する素線の一部と当該素線の他の一部とが並列に接続される並列回路を含まない。

【 0 0 2 3 】

固定子 3 の回転子 2 と対向する面である内径面の一部には、空芯巻線を設置する設置面が予め決められている。例えば、図 1 に示したように、当該座標軸の Z 軸の負方向に向かって固定子 3 を見た場合に、当該内径面のうちの図 1 に示した三次元座標系の Y 軸の正方向を含む面を設置面 VS 1 と決める。そして、当該場合に、回転子 2 の中心から設置面 VS 1 に向かう方向を基準として時計回りに所定の角度毎に設置面を決める。図 1 に示した例では、所定の角度は、15°である。すなわち、この一例において、固定子 3 には、設置面 VS 1 ~ 設置面 VS 2 4 の 2 4 個の設置面を予め決めることができる。これらの設置面 VS 1 ~ 設置面 VS 2 4 のそれぞれは、仮想的なスロットと見做すことができるため、以下では、設置面 VS 1 ~ 設置面 VS 2 4 を、仮想スロット VS 1 ~ 仮想スロット VS 2 4 と称して説明する。

10

【 0 0 2 4 】

この一例における固定子 3 には、これらの仮想スロット VS 1 ~ 仮想スロット VS 2 4 を用いて、2 4 の空芯巻線が設けられる。ここで、図 2 を参照し、固定子 3 に設けられた 2 4 の空芯巻線について説明する。

20

【 0 0 2 5 】

図 2 は、固定子 3 における空芯巻線の接続状態の一例を示す図である。固定子 3 は、回転子 2 の回転方向の上流側（回転の手前側）に配置される空芯巻線である第 1 空芯巻線と、当該回転方向の下流側（回転の先方側）に配置される空芯巻線である第 2 空芯巻線との 2 種類の空芯巻線によって 1 つの極が形成される 3 相 4 極の 2 層巻きの電機子巻線を備える。図 2 に示した例では、回転子 2 の回転方向は、図 1 に示した三次元座標系の Z 軸の負方向側に向かって回転子 2 を見た場合において回転子 2 が時計周りに回転する方向である。

30

【 0 0 2 6 】

具体的には、固定子 3 には、3 相 4 極のうちの 1 つ目の相である第 1 相 U の第 1 極が、第 1 空芯巻線 U 1 と第 2 空芯巻線 U 2 により形成されている。また、固定子 3 には、第 1 相 U の第 2 極が、第 1 空芯巻線 U 3 と第 2 空芯巻線 U 4 により形成されている。また、固定子 3 には、第 1 相 U の第 3 極が、第 1 空芯巻線 U 5 と第 2 空芯巻線 U 6 により形成されている。また、固定子 3 には、第 1 相 U の第 4 極が、第 1 空芯巻線 U 7 と第 2 空芯巻線 U 8 により形成されている。

【 0 0 2 7 】

また、固定子 3 には、3 相 4 極のうちの 2 つ目の相である第 2 相 W の第 1 極が、第 1 空芯巻線 W 1 と第 2 空芯巻線 W 2 により形成されている。また、固定子 3 には、第 2 相 W の第 2 極が、第 1 空芯巻線 W 3 と第 2 空芯巻線 W 4 により形成されている。また、固定子 3 には、第 2 相 W の第 3 極が、第 1 空芯巻線 W 5 と第 2 空芯巻線 W 6 により形成されている。また、固定子 3 には、第 2 相 W の第 4 極が、第 1 空芯巻線 W 7 と第 2 空芯巻線 W 8 により形成されている。

40

【 0 0 2 8 】

また、固定子 3 には、3 相 4 極のうちの 3 つ目の相である第 3 相 V の第 1 極が、第 1 空芯巻線 V 1 と第 2 空芯巻線 V 2 により形成されている。また、固定子 3 には、第 3 相 V の第 2 極が、第 1 空芯巻線 V 3 と第 2 空芯巻線 V 4 により形成されている。また、固定子 3 には、第 3 相 V の第 3 極が、第 1 空芯巻線 V 5 と第 2 空芯巻線 V 6 により形成されている。また、固定子 3 には、第 3 相 V の第 4 極が、第 1 空芯巻線 V 7 と第 2 空芯巻線 V 8 によ

50

り形成されている。

【0029】

また、図2に示した固定子3では、これらの各極が回転子2の回転方向において、第1相Uの第1極、第2相Wの第1極、第3相Vの第1極、第1相Uの第2極、第2相Wの第2極、第3相Vの第2極、第1相Uの第3極、第2相Wの第3極、第3相Vの第3極、第1相Uの第4極、第2相Wの第4極、第3相Vの第4極の順に配置されている。

【0030】

この一例における空芯巻線は、回転子2の回転方向における上流側（回転の手前側）の空芯巻線の1辺である上流辺と、当該回転方向における下流側（回転の先方側）の空芯巻線の1辺である下流辺とを、それぞれ異なる仮想スロットに配置することにより、固定子3に設けられる。また、当該空芯巻線は、当該上流辺と当該下流辺とによって、回転子2の回転方向に沿って1以上の仮想スロットを挟んで固定子3に設けられる。

10

【0031】

具体的には、図2に示した固定子3には、第1空芯巻線U1の上流辺が仮想スロットVS1に配置され、第1空芯巻線U1の下流辺が仮想スロットVS7に配置されている。すなわち、第1空芯巻線U1は、第1空芯巻線U1の上流辺と下流辺とによって、回転子2の回転方向に沿って5つの仮想スロットを挟んで固定子3に設けられている。

【0032】

また、図2に示した固定子3には、第2空芯巻線U2の上流辺が仮想スロットVS2に配置され、第2空芯巻線U2の下流辺が仮想スロットVS8に配置されている。すなわち、第2空芯巻線U2は、第2空芯巻線U2の上流辺と下流辺とによって、回転子2の回転方向に沿って5つの仮想スロットを挟んで固定子3に設けられている。

20

【0033】

また、この一例における固定子3には、複数の第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線の一部位と、当該第1空芯巻線以外の1の第1空芯巻線の一部位とが、回転子2の中心軸の方向に2層に積層され、複数の第2空芯巻線のそれぞれについて、第2空芯巻線の一部位と、当該第2空芯巻線以外の1の第2空芯巻線の一部位とが、回転子2の中心軸の方向に2層に積層される2層巻きによって、これらの第1空芯巻線及び第2空芯巻線が配置されている。具体的には、当該2層巻きでは、各相の各極を形成する第1空芯巻線毎に、当該第1空芯巻線の上流辺（前述の第1空芯巻線の一部位）と、他の第1空芯巻線の下流辺（前述の他の第1空芯巻線の一部位）とが回転子2の中心軸の方向に向かって当該上流辺から当該下流辺の順（又は当該下流辺から当該上流辺の順）に2層に積層される。例えば、図2に示した固定子3には、第1空芯巻線U1の上流辺と、第1空芯巻線U1の下流辺とが仮想スロットVS7において回転子2の中心軸の方向に向かって当該上流辺から当該下流辺の順に2層に積層されている。

30

【0034】

また、当該2層巻きでは、各相の各極を形成する第2空芯巻線毎に、当該第2空芯巻線の上流辺（前述の第2空芯巻線の一部位）と、他の第2空芯巻線の下流辺（前述の他の第2空芯巻線の一部位）とが回転子2の中心軸の方向に向かって当該上流辺から当該下流辺の順（又は当該下流辺から当該上流辺の順）に2層に積層される。例えば、図2に示した固定子3には、第2空芯巻線U2の上流辺と、第2空芯巻線U2の下流辺とが仮想スロットVS8において回転子2の中心軸の方向に向かって当該上流辺から当該下流辺の順に2層に積層されている。

40

【0035】

このように、固定子3は、第1空芯巻線と第2空芯巻線との2種類の空芯巻線によって1つの極が形成される3相4極の2層巻きの電機子巻線を備える。ここで、各相の各極を形成する第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線とは、図2において図示しない接続線によって直列に接続される。

【0036】

50

図3は、各相の各極を形成する第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線との接続状態の一例を示す図である。図3に示した例では、第1相Uの第1極を形成する第1空芯巻線U1と第2空芯巻線U2とが第1直列回路UC1として直列に接続される。また、当該例では、第1相Uの第2極を形成する第1空芯巻線U3と第2空芯巻線U4とが第2直列回路UC2として直列に接続される。また、当該例では、第1相Uの第3極を形成する第1空芯巻線U5と第2空芯巻線U6とが第3直列回路UC3として直列に接続される。また、当該例では、第1相Uの第4極を形成する第1空芯巻線U7と第2空芯巻線U8とが第4直列回路UC4として直列に接続される。

【0037】

また、当該例では、これら4つの直列回路である第1直列回路UC1～第4直列回路UC4が互いに並列に接続される。

10

【0038】

また、当該例では、3相4極のうちの2つ目の相である第2相Wの第1極を形成する第1空芯巻線W1と第2空芯巻線W2とが第1直列回路WC1として直列に接続される。また、当該例では、第2相Wの第2極を形成する第1空芯巻線W3と第2空芯巻線W4とが第2直列回路WC2として直列に接続される。また、当該例では、第2相Wの第3極を形成する第1空芯巻線W5と第2空芯巻線W6とが第3直列回路WC3として直列に接続される。また、当該例では、第2相Wの第4極を形成する第1空芯巻線W7と第2空芯巻線W8とが第4直列回路WC4として直列に接続される。

【0039】

また、当該例では、これら4つの直列回路である第1直列回路WC1～第4直列回路WC4が互いに並列に接続される。

20

【0040】

また、当該例では、3相4極のうちの3つ目の相である第3相Vの第1極を形成する第1空芯巻線V1と第2空芯巻線V2とが第1直列回路VC1として直列に接続される。また、当該例では、第3相Vの第2極を形成する第1空芯巻線V3と第2空芯巻線V4とが第2直列回路VC2として直列に接続される。また、当該例では、第3相Vの第3極を形成する第1空芯巻線V5と第2空芯巻線V6とが第3直列回路VC3として直列に接続される。また、当該例では、第3相Vの第4極を形成する第1空芯巻線V7と第2空芯巻線V8とが第4直列回路VC4として直列に接続される。

30

【0041】

また、当該例では、これら4つの直列回路である第1直列回路VC1～第4直列回路VC4が互いに並列に接続される。

【0042】

また、この一例において、第1空芯巻線及び第2空芯巻線は、それぞれを構成する素線を重ね巻きすることによって形成されているとする。なお、第1空芯巻線と第2空芯巻線のうちいずれか一方又は両方は、これに代えて、第1空芯巻線と第2空芯巻線のうちいずれか一方又は両方を構成する素線を波巻きすることによって形成されている構成であってもよい。

【0043】

このような構成により、前述したように、永久磁石回転電機1は、渦電流や循環電流を抑制することができる。以下、図4～図6を参照し、このような構成によって永久磁石回転電機1が抑制する渦電流及び循環電流の発生原理と抑制方法について説明する。

40

【0044】

図4は、回転子2が備える永久磁石の磁束が空芯巻線を構成する素線を貫く様子の一例を示す図である。図4に示した拡大図WD内には、永久磁石21と、永久磁石25と、永久磁石27とが作り出す磁束が第2空芯巻線W8の下流辺を構成する素線を貫いている様子を示す。図4では、第2空芯巻線W8の下流辺を構成する素線は、1本の素線が16巻きに巻かれているため、16本の素線のように見えている。なお、第2空芯巻線W8における素線の巻き数は、16巻きに代えて、他の巻き数であってもよい。

50

【 0 0 4 5 】

第2空芯巻線W8の下流辺を構成する素線を貫く磁束は、永久磁石21と、永久磁石25と、永久磁石27とによって構成される磁極から回転子2の径方向へと放射状に生成される。すなわち、当該素線を貫く磁束の方向及び大きさは、当該素線の内部における位置毎にばらつく。このため、当該素線の内部に存在する自由電子は、当該磁束（磁場）によるローレンツ力によって当該内部において渦を巻いて動き始める。前述の渦電流は、この渦を巻いて動いている自由電子の流れである。

【 0 0 4 6 】

図5は、空芯巻線を構成する素線の内部において渦電流が発生した様子の一例を示す図である。図5において矢印Bのそれぞれは、空芯巻線を構成する素線Lを貫く磁束Bを示している。また、素線Lの内部において楕円状に描かれている矢印CC1は、当該磁束によって発生した渦電流を示している。このような矢印CC1によって示した渦電流は、素線Lを貫く磁束Bの数を少なくするとともに、素線Lの内部における位置毎の磁束Bの方向及び大きさのばらつきを小さくすることによって抑制することができる。

10

【 0 0 4 7 】

図6は、循環電流の発生原理を説明するための図である。図6では、空芯巻線C1と、空芯巻線C2と、空芯巻線C3とが、空芯巻線C1、空芯巻線C2、空芯巻線C3の順に直列に接続されている。また、空芯巻線C4と、空芯巻線C5と、空芯巻線C6とが、空芯巻線C4、空芯巻線C5、空芯巻線C6の順に直列に接続されている。また、直列に接続された空芯巻線C1と、空芯巻線C2と、空芯巻線C3とを1つの空芯巻線C10と見立て、直列に接続された空芯巻線C4と、空芯巻線C5と、空芯巻線C6とを1つの空芯巻線C20と見立てた場合、空芯巻線C10と空芯巻線C20とが並列に接続されている。なお、ここでは、空芯巻線C1～空芯巻線C6のそれぞれは、それぞれを構成する素線の素材、当該素線の断面積、当該素線の巻き数が同じである場合について説明する。

20

【 0 0 4 8 】

ここで、空芯巻線C10と空芯巻線C20とのそれぞれに対して磁束を貫かせた場合を例に挙げて説明する。この場合、空芯巻線C10を貫く磁束の方向及び大きさと、空芯巻線C20を貫く磁束の方向及び大きさが異なると、空芯巻線C10に発生する誘導起電力の大きさと、空芯巻線C20に発生する誘導起電力の大きさに差異が生じる。並列に接続された空芯巻線C10と空芯巻線C20とのそれぞれに発生する誘導起電力の大きさが異なる場合、当該並列に接続された局所的な回路には、図5に示した矢印CC2の方向に電流が流れる。この電流が、前述の循環電流である。循環電流は、並列に接続された空芯巻線C10と空芯巻線C20とのそれぞれを貫く磁束の方向及び大きさのばらつきを小さくすることによって抑制することができる。

30

【 0 0 4 9 】

次に、図7を参照し、永久磁石回転電機1における渦電流及び循環電流の抑制について説明する。

【 0 0 5 0 】

図7は、回転子2の永久磁石22から永久磁石21へ向かう方向が、回転子2の中心から第1空芯巻線U1の上流辺と第1空芯巻線U7の下流辺とが配置された仮想スロットVS1へ向かう方向と一致した状態の一例を示す図である。図7に示した矢印B1～矢印B4のそれぞれは、当該状態における回転子2の各永久磁石によって発生した磁束の方向を表わしている。ここで、一例として、第1相Uの第1空芯巻線及び第2空芯巻線を例に挙げて説明する。

40

【 0 0 5 1 】

当該状態において、第1空芯巻線U1と、第1空芯巻線U3と、第1空芯巻線U5と、第1空芯巻線U7とのそれぞれに発生する誘導起電力の大きさは、回転子2の回転における回転軸のずれ等による誤差を除いて等しい。また、当該状態において、第2空芯巻線U2と、第2空芯巻線U4と、第2空芯巻線U6と、第2空芯巻線U8とのそれぞれに発生する誘導起電力の大きさは、回転子2の回転における回転軸のずれ等による誤差を除いて

50

等しい。

【0052】

また、当該状態において、第1空芯巻線U1と、第1空芯巻線U3と、第1空芯巻線U5と、第1空芯巻線U7とのそれぞれに発生する誘導起電力の大きさは、第2空芯巻線U2と、第2空芯巻線U4と、第2空芯巻線U6と、第2空芯巻線U8とのそれぞれに発生する誘導起電力の大きさと比べて大きい。

【0053】

ここで、図3において説明したように、永久磁石回転電機1では、第1直列回路UC1～第4直列回路UC4が互いに並列に接続されている。回転子2の各永久磁石によって発生した磁束によって、これらの直列回路に発生する誘導起電力に差異が生じた場合、当該並列に接続された並列回路には、循環電流が発生する。しかし、図7において説明したように、第1直列回路UC1～第4直列回路UC4のそれぞれには、回転子2の回転における回転軸のずれ等による誤差を除いて等しい誘導起電力が発生する。

10

【0054】

これはすなわち、永久磁石回転電機1において、第1相Uの各極を形成する第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相である第1相Uの同極を形成する第2空芯巻線とを直列にそれぞれ接続することにより、当該並列回路を構成する第1直列回路UC1～第4直列回路UC4のそれぞれを貫く磁束の方向及び大きさのばらつきが小さくなったことを示している。その結果、永久磁石回転電機1は、第1相Uにおいて、当該並列回路を循環する循環電流を抑制することができる。このような循環電流の抑制は、第1相Uと同様の構成を有する第2相W及び第3相Vのそれぞれについても同様に起こる。このため、ここでは、第2相W及び第3相Vのそれぞれにおける循環電流の抑制についての説明を省略する。

20

【0055】

また、この一例における永久磁石回転電機1では、図2に示したように、第1相Uの各極が第1空芯巻線と第2空芯巻線との2つの空芯巻線によって構成される。このため、永久磁石回転電機1は、空芯巻線を構成する素線を細くすることによって当該空芯巻線に発生する渦電流を抑制しつつ、第1相Uの各極を構成する空芯巻線に流れる電流の総量を増やすことができる。このような渦電流の抑制と、空芯巻線に流れる電流の総量の増大とは、第1相Uと同様の構成を有する第2相W及び第3相Vのそれぞれについても同様に起こる。このため、ここでは、第2相W及び第3相Vのそれぞれにおける渦電流の抑制と、空芯巻線に流れる電流の総量の増大とについての説明を省略する。以上のことにより、永久磁石回転電機1は、前述の永久磁石回転電機Xと比べて、損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる。

30

【0056】

なお、永久磁石回転電機1は、各相の各極を構成する第1空芯巻線と第2空芯巻線との接続状態として図3に示した接続状態を採用した場合、他の接続状態と比べて、空芯巻線間を直列に接続するための図示しない接続線（渡り線）を短くすることができる。このため、永久磁石回転電機1では、空芯巻線を構成する素線の終端部の長さを短縮することができ、且つコイル抵抗を低減することができる。その結果、永久磁石回転電機1は、当該コイル抵抗による損失（銅損）を抑制することができる。

40

【0057】

また、永久磁石回転電機1において、各相の各極を構成する第1空芯巻線と第2空芯巻線との接続状態は、図3に示した接続状態に代えて、各相の各極を形成する第1空芯巻線のそれぞれについて、第1空芯巻線と、当該第1空芯巻線と同相の極を形成する第2空芯巻線とが直列にそれぞれ接続される他の接続状態であってもよい。

【0058】

図8は、第1相Uの各極における第1空芯巻線及び第2空芯巻線の接続状態の他の例を示す図である。図8に示した例では、第1空芯巻線U1と第2空芯巻線U4とが直列に第1直列回路UC11として接続され、第1空芯巻線U3と第2空芯巻線U2とが直列に第2直列回路UC12として接続され、第1空芯巻線U5と第2空芯巻線U8とが直列に第

50

3 直列回路 UC 1 3 として接続され、第 1 空芯巻線 U 7 と第 2 空芯巻線 U 6 とが直列に第 4 直列回路 UC 1 4 として接続される。

【 0 0 5 9 】

すなわち、図 8 に示した例では、第 1 相 U の各極における第 1 空芯巻線のそれぞれについて、第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相（すなわち、第 1 相 U）の他極の第 2 空芯巻線とが直列にそれぞれ接続される。また、図 8 に示した例では、これら 4 つの直列回路である第 1 直列回路 UC 1 1 ~ 第 4 直列回路 UC 1 4 が互いに並列に接続される。なお、この一例において、第 2 相 W と第 3 相 V とのそれぞれにおける第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態は、第 1 相 U における第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態と同様の接続状態であるため、説明を省略する。

10

【 0 0 6 0 】

ここで、第 1 空芯巻線 U 1 と第 2 空芯巻線 U 4 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和と、第 1 空芯巻線 U 3 と第 2 空芯巻線 U 2 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和と、第 1 空芯巻線 U 5 と第 2 空芯巻線 U 8 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和と、第 1 空芯巻線 U 7 と第 2 空芯巻線 U 6 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和とは、回転子 2 の回転における回転軸のずれ等による誤差を除いて等しい。すなわち、永久磁石回転電機 1 は、各相の各極を構成する第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態を、図 8 に示した接続状態とした場合であっても、これらの第 1 空芯巻線及び第 2 空芯巻線によって構成される並列回路内を循環する循環電流を抑制することができる。

【 0 0 6 1 】

また、図 8 に示した例では、図 3 に示した例と同様に、各相の各極が第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との 2 つの空芯巻線によって構成されるため、永久磁石回転電機 1 は、空芯巻線を構成する素線を細くすることによって当該空芯巻線に発生する渦電流を抑制しつつ、各相の各極を構成する空芯巻線に流れる電流の総量を増やすことができる。すなわち、永久磁石回転電機 1 は、前述の永久磁石回転電機 X と比べて、損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる。

20

【 0 0 6 2 】

図 9 は、第 1 相 U の各極における第 1 空芯巻線及び第 2 空芯巻線の接続状態の更に他の例を示す図である。図 9 に示した例では、第 1 空芯巻線 U 1 と第 2 空芯巻線 U 6 とが直列に第 1 直列回路 UC 2 1 として接続され、第 1 空芯巻線 U 3 と第 2 空芯巻線 U 8 とが直列に第 2 直列回路 UC 2 2 として接続され、第 1 空芯巻線 U 5 と第 2 空芯巻線 U 2 とが直列に第 3 直列回路 UC 2 3 として接続され、第 1 空芯巻線 U 7 と第 2 空芯巻線 U 4 とが直列に第 4 直列回路 UC 2 4 として接続される。

30

【 0 0 6 3 】

すなわち、図 9 に示した例では、第 1 相 U の各極における第 1 空芯巻線のそれぞれについて、第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相（すなわち、第 1 相 U）の他極のうちの自極と対向する極の第 2 空芯巻線とが直列にそれぞれ接続される。また、図 9 に示した例では、これら 4 つの直列回路である第 1 直列回路 UC 2 1 ~ 第 4 直列回路 UC 2 4 が互いに並列に接続される。なお、この一例において、第 2 相 W と第 3 相 V とのそれぞれにおける第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態は、第 1 相 U における第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態と同様の接続状態であるため、説明を省略する。

40

【 0 0 6 4 】

ここで、第 1 空芯巻線 U 1 と第 2 空芯巻線 U 6 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和と、第 1 空芯巻線 U 3 と第 2 空芯巻線 U 8 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和と、第 1 空芯巻線 U 5 と第 2 空芯巻線 U 2 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和と、第 1 空芯巻線 U 7 と第 2 空芯巻線 U 4 とのそれぞれに生じる誘導起電力の和とは、回転子 2 の回転における回転軸のずれ等による誤差を除いて等しい。すなわち、永久磁石回転電機 1 は、各相の各極を構成する第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態を、図 9 に示した接続状態とした場合であっても、これらの第 1 空芯巻線及び第 2 空芯巻線によって構成される並列回路内を循環する循環電流を抑制することができる。

50

【 0 0 6 5 】

また、図 9 に示した例では、図 3 及び図 8 に示した例と同様に、第 1 相 U の各極が第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との 2 つの空芯巻線によって構成されるため、永久磁石回転電機 1 は、空芯巻線を構成する素線を細くすることによって当該空芯巻線に発生する渦電流を抑制しつつ、第 1 相 U の各極を構成する空芯巻線に流れる電流の総量を増やすことができる。すなわち、永久磁石回転電機 1 は、前述の永久磁石回転電機 X と比べて、損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる。

【 0 0 6 6 】

なお、永久磁石回転電機 1 は、各相の各極を構成する第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線との接続状態として図 3 に示した接続状態を採用した場合、他の接続状態と比べて、回転子 2 が偏心した場合であっても、循環電流を抑制することができる。何故なら、第 1 相 U の各極における第 1 空芯巻線のそれぞれについて、第 1 空芯巻線と、当該第 1 空芯巻線と同相の他極のうちの自極と対向する極の第 2 空芯巻線とが直列にそれぞれ接続されているためである。例えば、回転子 2 が仮想スロット V S 1 3 側に偏心した場合、第 1 空芯巻線 U 5 及び第 2 空芯巻線 U 6 のそれぞれに発生する誘導起電力は大きくなる。一方、第 1 空芯巻線 U 1 及び第 2 空芯巻線 U 2 のそれぞれに発生する誘導起電力は小さくなる。このため、永久磁石回転電機 1 は、回転子 2 の偏心によって第 1 直列回路 U C 2 1 ~ 第 4 直列回路 U C 2 4 のそれぞれに発生する誘導起電力の差異を抑制することができる。また、この場合、永久磁石回転電機 1 は、回転子 2 の偏心による電磁加振力を抑制するため、振動や騒音を低減することができる。

【 0 0 6 7 】

上記の永久磁石回転電機 1 の説明では、図 2 における第 1 空芯巻線及び第 2 空芯巻線の位置関係を、回転子 2 の回転方向によって定義した。当該回転方向は、この実施形態において、図 1 に示した三次元座標系の Z 軸の負方向に向かって図 1 に示した断面図を見た場合の時計回りである。このため、当該回転方向が、図 1 に示した三次元座標系の Z 軸の負方向に向かって図 1 に示した断面図を見た場合の反時計回りである場合、第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線とを入れ替えた説明は、上記において説明した永久磁石回転電機 1 の構成と同様の構成についての説明となる。ただし、この場合、上記の説明において、第 1 空芯巻線の上流辺と下流辺とが入れ替わり、第 2 空芯巻線の上流辺と下流辺とが入れ替わる。

【 0 0 6 8 】

以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、永久磁石回転電機 1 は、永久磁石を備えた回転子と、当該回転子の回転方向の上流側に配置される空芯巻線である第 1 空芯巻線と、第 1 空芯巻線よりも当該回転方向の下流側に配置される空芯巻線である第 2 空芯巻線との 2 種類の空芯巻線によって形成される極を相毎に 1 以上有する多相の電機子巻線であって、それぞれの極において、第 1 空芯巻線と第 2 空芯巻線とが回転子の径方向に重なり合い、第 1 空芯巻線については第 2 空芯巻線よりも当該上流側に配置されている部分があり、第 2 空芯巻線については第 1 空芯巻線よりも当該下流側に配置されている部分がある電機子巻線を備え、各相の各極を形成する第 1 空芯巻線毎に、当該第 1 空芯巻線と同相の極を形成する第 2 空芯巻線のうちの 1 つとが直列にそれぞれ接続される固定子と、を備える。これにより、永久磁石回転電機 1 は、損失を低減するとともに高いトルクを発生させることができる。

【 0 0 6 9 】

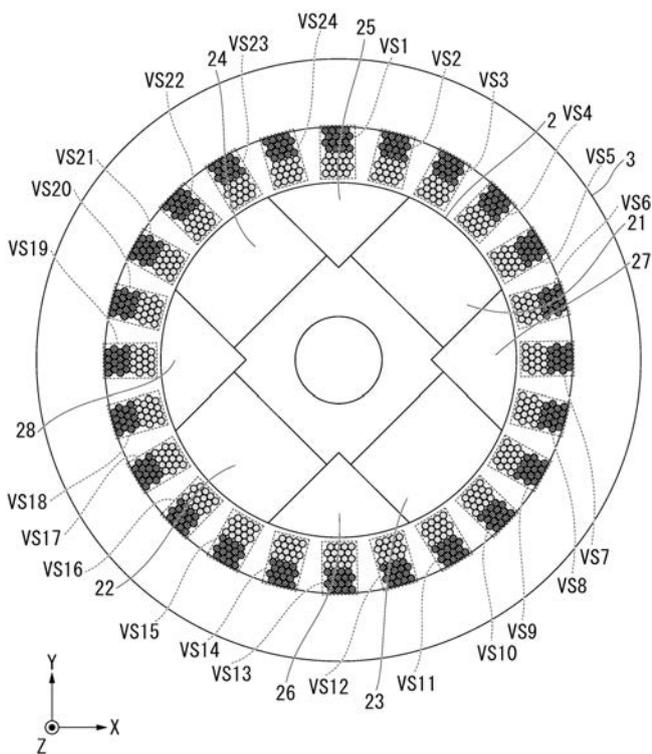
本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【 符号の説明 】

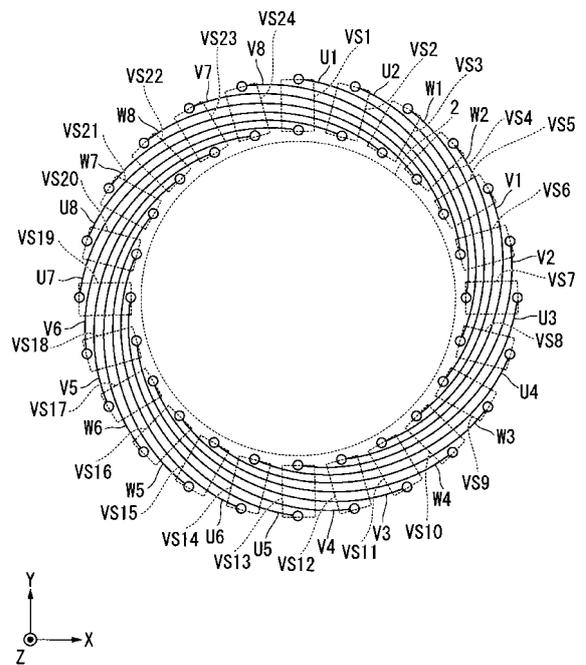
【 0 0 7 0 】

1 ... 永久磁石回転電機、 2 ... 回転子、 3 ... 固定子、 21 ~ 28 ... 永久磁石

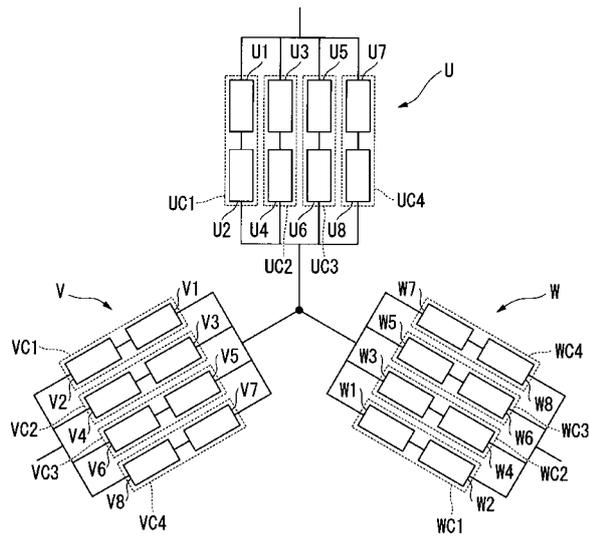
【 図 1 】



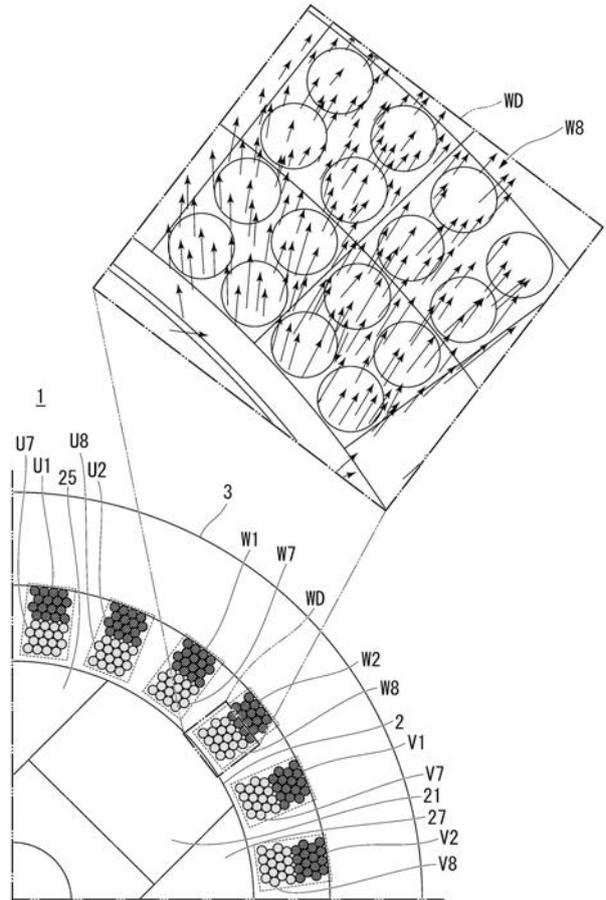
【 図 2 】



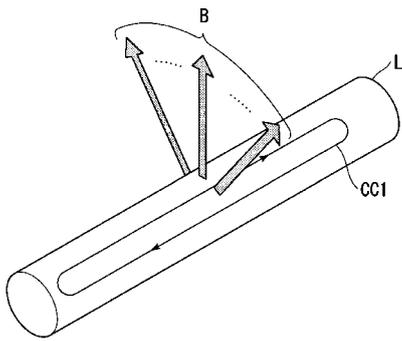
【 図 3 】



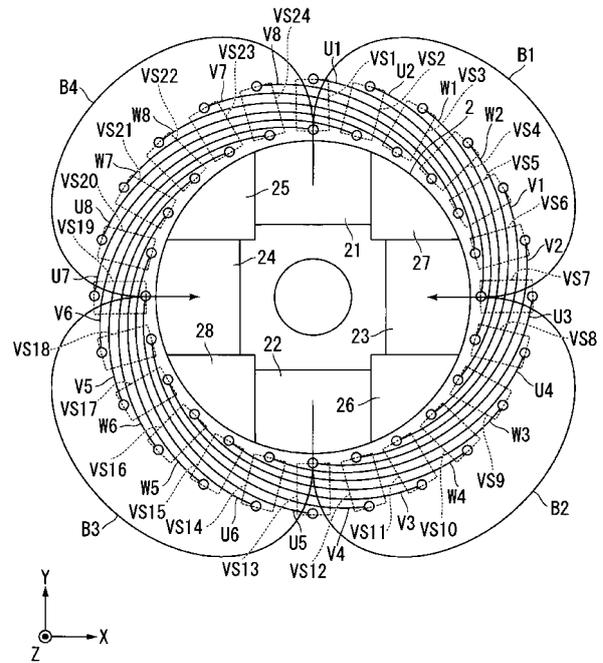
【 図 4 】



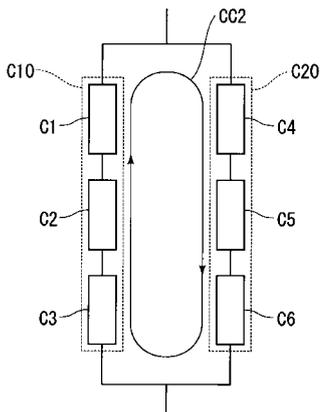
【 図 5 】



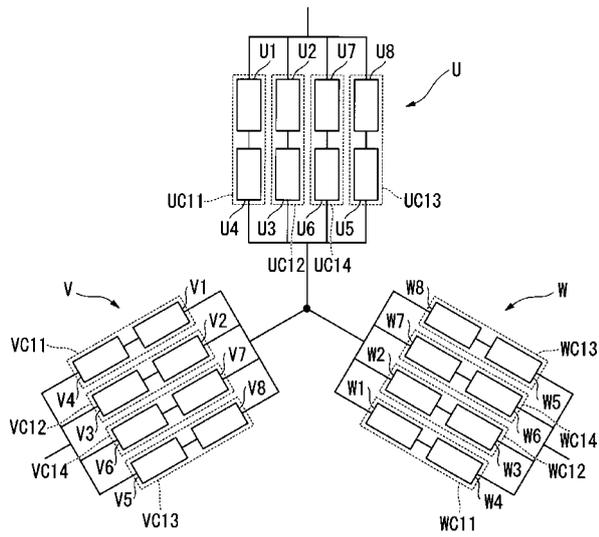
【 図 7 】



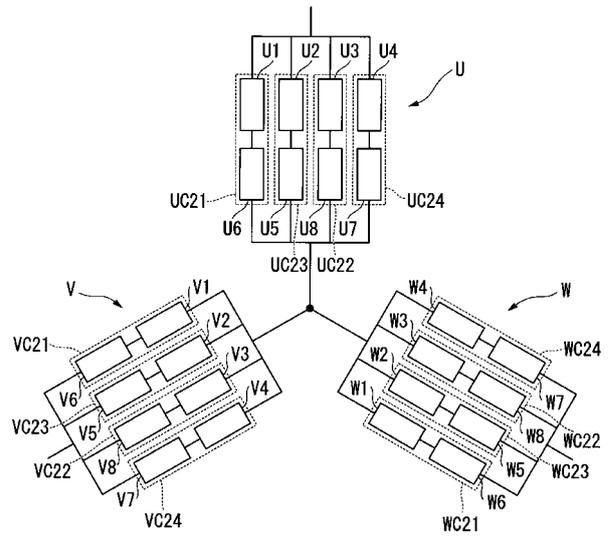
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 竹内 活徳

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 高畠 幹生

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

(72)発明者 徳増 正

神奈川県川崎市川崎区日進町7番地1 東芝ビジネスアンドライフサービス株式会社内

Fターム(参考) 5H603 AA01 BB01 BB07 BB12 CA01 CA05 CB05 CD02 CD28

5H621 AA03 BB10 GB00