

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7095532号
(P7095532)

(45)発行日 令和4年7月5日(2022.7.5)

(24)登録日 令和4年6月27日(2022.6.27)

(51)国際特許分類

H 0 2 K 1/24 (2006.01)
H 0 2 K 19/12 (2006.01)

F I

H 0 2 K 1/24
H 0 2 K 19/12

A

請求項の数 6 (全18頁)

| | | | |
|----------|-----------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2018-182965(P2018-182965) | (73)特許権者 | 000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 |
| (22)出願日 | 平成30年9月27日(2018.9.27) | (74)代理人 | 100121821 弁理士 山田 強 |
| (65)公開番号 | 特開2020-54157(P2020-54157A) | (74)代理人 | 100139480 弁理士 日野 京子 |
| (43)公開日 | 令和2年4月2日(2020.4.2) | (74)代理人 | 100125575 弁理士 松田 洋 |
| 審査請求日 | 令和2年8月27日(2020.8.27) | (74)代理人 | 100175134 弁理士 北 裕介 |
| | | (72)発明者 | 瀬口 正弘 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 |
| | | 審査官 | 小林 紀和 |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 界磁巻線型回転電機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ステータコア(51)、周方向に並んで複数設けられてかつ前記ステータコアから径方向に突出するティース(52)、及び前記ティースに巻回されたステータ巻線(31)を有するステータ(50)と、

ロータコア(61)、周方向に複数並んで設けられてかつ径方向において前記ロータコアから前記ステータ側に突出する主極部(62)、及び前記主極部に巻回された界磁巻線(70, 73)を有するロータ(60)と、を備える界磁巻線型回転電機(30)において、前記各ティース及び前記各主極部は、軸方向に延びており、

前記主極部のうち、径方向において前記ステータと対向して、かつ、周方向における両端部の一方を第1主極端部(64a)とし、前記両端部の他方を第2主極端部(64b)とする場合、前記各主極部において、前記第1主極端部には軸方向に互いに離間した複数の第1切欠(65a)が形成されており、

前記各主極部において、前記第2主極端部には軸方向に互いに離間した複数の第2切欠(65b)が形成されており、

前記各主極部において、前記各第1切欠は、周方向において前記各第2切欠と重複しない位置に形成されており、

前記各主極部において、前記第1切欠と前記第2切欠とは軸方向において交互に形成されている界磁巻線型回転電機。

【請求項2】

前記各主極部において、前記各第2切欠の1つは、前記第2主極端部の軸方向における中央に形成されており、

前記各主極部において、前記第1切欠及び前記第2切欠の形成位置は、前記主極部の軸方向における中央に対して線対称の位置になっている請求項1に記載の界磁巻線型回転電機。

【請求項3】

前記各主極部において、前記第1切欠及び前記第2切欠が形成されている部分の軸方向における合計長さと、前記第1切欠及び前記第2切欠が形成されていない部分の軸方向における合計長さとが等しい又は略等しくされている請求項1又は2に記載の界磁巻線型回転電機。

【請求項4】

前記ステータの1スロットピッチを n_t とし、前記第1切欠及び前記第2切欠の周方向における幅を n_t とする場合、「 $1/3 < n_t < 2/3$ 」とされている請求項1～3のいずれか1項に記載の界磁巻線型回転電機。

【請求項5】

「 $n_t = 1/2$ 」とされている請求項4に記載の界磁巻線型回転電機。

【請求項6】

前記主極部のうち径方向において前記ステータと対向する側から前記主極部に前記界磁巻線が組み付けられる構造の界磁巻線型回転電機において、

前記各主極部は、周方向に並んで等間隔で設けられており、

前記各主極部は、自身に巻回された前記界磁巻線の周方向内側に配置されている請求項1～5のいずれか1項に記載の界磁巻線型回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、界磁巻線型回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の回転電機としては、特許文献1に見られるように、ステータ及びロータを備えるものが知られている。ステータは、ステータコア、周方向に並んで複数設けられてかつステータコアから径方向に突出するティース、及びティースに巻回されたステータ巻線を有している。ロータは、ロータコア、周方向に並んで複数設けられてかつ径方向においてロータコアからステータ側に突出する主極部、及び主極部に巻回された界磁巻線を有している。各ティース及び各主極部は、軸方向に延びている。

【0003】

界磁巻線に界磁電流が流れると、界磁巻線が励磁され、磁束が発生する。発生した磁束は、ロータコア、主極部、ティース及びステータコアを含む磁気回路を流れる。この磁気回路に磁束が流れ、かつ、ステータ巻線に電流が流れることにより、回転電機のトルクが発生する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2008-178211号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

主極部のうち、径方向においてステータと対向して、かつ、周方向における両端部のそれを主極端部と称すこととする。周方向に隣り合うティースの間には、径方向においてロータ側に開口するスロットが形成されている。ロータが回転し、径方向において主極端部がスロットと対向する位置にくると、主極部及びティースを流れる磁束が一旦途切れ、磁気回路を流れる磁束量が減少する。その後、ロータがさらに回転して主極端部がティー

10

20

30

40

50

スと対向する位置にくると、一旦途切れた磁束が主極部及びティースを流れるようになり、磁気回路を流れる磁束量が増加する。このような磁束量の増減が繰り返されることにより、回転電機のトルクの増減量が大きくなり、回転電機のトルクリップルが増加してしまう。その結果、回転電機のNV特性が悪化し得る。このように、突極構造を有する回転電機においては、トルクリップルを低減することについて未だ改善の余地がある。

【0006】

本発明は、トルクリップルを低減することができる界磁巻線型回転電機を提供することを主たる目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、ステータコア、周方向に並んで複数設けられてかつ前記ステータコアから径方向に突出するティース、及び前記ティースに巻回されたステータ巻線を有するステータと、ロータコア、周方向に複数並んで設けられてかつ径方向において前記ロータコアから前記ステータ側に突出する主極部、及び前記主極部に巻回された界磁巻線を有するロータと、を備える界磁巻線型回転電機において、

前記各ティース及び前記各主極部は、軸方向に延びており、

前記主極部のうち、径方向において前記ステータと対向して、かつ、周方向における両端部のそれぞれを主極端部とする場合、前記主極部を構成する一対の前記主極端部のうち少なくとも一方において、軸方向における一部に切欠が形成されている。

【0008】

本発明では、主極部を構成する一対の主極端部のうち少なくとも一方において、軸方向における一部に切欠が形成されている。これにより、同一の主極端部において、切欠が形成されている部分と形成されていない部分とで、径方向においてスロットと対向するタイミングをずらすことができる。その結果、切欠が形成されている部分に起因したトルクリップルと、切欠が形成されていない部分に起因したトルクリップルとを打ち消し合うようになることができる。これにより、回転電機のトルクリップルを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1実施形態に係る回転電機の制御システムの全体構成図。

【図2】ロータに備えられる電気回路を示す図。

【図3】ロータ及びステータの横断面図。

【図4】ロータの斜視図。

【図5】ロータを構成する界磁板部の平面図。

【図6】切欠の幅寸法を説明するための図。

【図7】軸方向に延びる主極部を示す図。

【図8】基本波電流及び高調波電流等の推移を示す図。

【図9】3相電流の推移を示す図。

【図10】基本波電流及び高調波電流等の推移を示す図。

【図11】3相電流の推移を示す図。

【図12】誘起電圧の発生パターンを示す図。

【図13】パターン2,3に対応する電気回路を示す図。

【図14】トルクリップルの低減効果を説明するためのタイムチャート。

【図15】第2実施形態に係るロータの斜視図。

【図16】規制部材の斜視図。

【図17】ロータの断面の部分拡大図。

【図18】ロータの断面の部分拡大図。

【図19】その他の実施形態に係る軸方向に延びる主極部を示す図。

【図20】その他の実施形態に係るロータ及びステータの横断面図。

【図21】その他の実施形態に係るロータ及びステータの横断面図。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

以下、実施形態を図面に基づいて説明する。本実施形態における回転電機は、例えば車両に搭載される。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一又は均等である部分には、図中、同一符号を付しており、同一符号の部分についてはその説明を援用する。

【 0 0 1 1 】**< 第 1 実施形態 >**

本実施形態に係る回転電機について、図 1 ~ 図 7 を用いて説明する。制御システムは、直流電源 1 0 、インバータ 2 0 、回転電機 3 0 及び制御装置 4 0 を備えている。本実施形態では、回転電機 3 0 として、界磁巻線型の同期機が用いられている。また、本実施形態において、制御装置 4 0 は、回転電機 3 0 が、電動機兼発電機である I S G (Integrated Starter Generator) や M G (Motor Generator) として機能するように、回転電機 3 0 を制御する。例えば、回転電機 3 0 、インバータ 2 0 及び制御装置 4 0 を備えて機電一体型駆動装置が構成されたり、回転電機 3 0 、インバータ 2 0 及び制御装置 4 0 それぞれが各コンポーネントで構成されたりしている。

10

【 0 0 1 2 】

回転電機 3 0 は、界磁巻線 7 0 を有するロータ 6 0 を備えている。界磁巻線 7 0 は、第 1 巷線部 7 1 a 及び第 2 巷線部 7 1 b の直列接続体からなる。界磁巻線 7 0 は、例えば圧縮成形にて構成されている。これにより、占積率が向上し、界磁巻線の組付性が向上する。なお、界磁巻線 7 0 は、例えばアルミ線で構成されればよい。アルミ線は、比重が小さく、ロータ 6 0 が回転する場合における遠心力を低減できる。また、アルミ線は、銅線に比べて強度及び硬さが低く、圧縮成形する場合に好適である。

20

【 0 0 1 3 】

回転電機 3 0 は、ステータ巻線 3 1 を有するステータ 5 0 を備えている。ステータ巻線 3 1 は、例えば銅線で構成されており、電気角で互いに 120° ずれた状態で配置された U , V , W 相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W を含む。

【 0 0 1 4 】

インバータ 2 0 は、U , V , W 相上アームスイッチ S U p , S V p , S W p と、U , V , W 相下アームスイッチ S U n , S V n , S W n との直列接続体を備えている。U , V , W 相上アームスイッチ S U p , S V p , S W p と、U , V , W 相下アームスイッチ S U n , S V n , S W n との接続点には、U , V , W 相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W の第 1 端が接続されている。U , V , W 相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W の第 2 端は、中性点で接続されている。すなわち、本実施形態において、U , V , W 相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W は、星形結線されている。なお、本実施形態において、各スイッチ S U p ~ S W n は、IGBT である。各スイッチ S U p , S V p , S W p , S U n , S V n , S W n には、フリーホイールダイオードが逆並列に接続されている。

30

【 0 0 1 5 】

U , V , W 相上アームスイッチ S U p , S V p , S W p のコレクタには、直流電源 1 0 の正極端子が接続されている。U , V , W 相下アームスイッチ S U n , S V n , S W n のエミッタには、直流電源 1 0 の負極端子が接続されている。なお、直流電源 1 0 には、平滑コンデンサ 1 1 が並列接続されている。

40

【 0 0 1 6 】

制御システムは、角度検出部 4 1 を備えている。角度検出部 4 1 は、ロータ 6 0 の回転角に応じた信号である角度信号を出力する。角度検出部 4 1 の出力信号は、制御装置 4 0 に入力される。

【 0 0 1 7 】

続いて、ステータ 5 0 及びロータ 6 0 について説明する。

【 0 0 1 8 】

ステータ 5 0 及びロータ 6 0 は、いずれも回転軸 3 2 と共に同軸上に配置されている。以下の記載では、回転軸 3 2 が延びる方向を軸方向とし、回転軸 3 2 の中心から放射状に延びる方向を径方向とし、回転軸 3 2 を中心として円周状に延びる方向を周方向としている

50

。また、図3等に記載の○は、回転軸32の中心を示す。

【0019】

ステータ50は、軟磁性体からなる積層鋼板により構成されており、円環状のステータコア51と、ステータコア51から径方向内側に向かって突出する複数のティース52とを有している。本実施形態において、各相巻線31U, 31V, 31Wは、ティース52に分布巻き又は集中巻きされている。本実施形態では、図3に示すように、ティースは周方向において等間隔に48個設けられている。このため、回転電機30は、48スロットのものである。なお、本実施形態では、ティース52の径方向内側の先端部が周方向に延びる形状をなしている。ただし、この形状に限らず、ティース52の径方向内側の先端部が周方向に延びていなくてもよい。

10

【0020】

周方向に隣り合うティース52の間には、径方向内側に開口するスロットが形成されている。図3に、周方向に隣り合うスロットの角度間隔である1スロットピッチを にて示す。本実施形態において、各スロットの径方向に延びる中心線（図3の一点鎖線）は、回転軸32の中心○を通る。

【0021】

ロータ60は、軟磁性体からなる積層鋼板により構成されており、円筒形状のロータコア61と、ロータコア61から径方向外側に向かって突出する複数の主極部62とを有している。各主極部62の先端側の面は、ティース52の端面に対向している。本実施形態において、主極部62は、周方向において等間隔に8個設けられている。

20

【0022】

各主極部62において、径方向外側に第1巻線部71aが巻回され、第1巻線部71aよりも径方向内側に第2巻線部71bが巻回されている。各主極部62において、第1巻線部71a及び第2巻線部71bの巻方向は互いに同じになっている。また、周方向に隣り合う主極部62のうち、一方に巻回された各巻線部71a, 71bの巻方向と、他方に巻回された各巻線部71a, 71bの巻方向とが逆になっている。このため、周方向に隣り合う主極部62同士で互いに磁化方向が逆になる。

【0023】

図2に、共通の主極部62に巻回された各巻線部71a, 71bを備えるロータ側の電気回路を示す。ロータ60には、ダイオード80と、コンデンサ90とが設けられている。ダイオード80のカソードには、第1巻線部71aの第1端が接続され、第1巻線部71aの第2端には、第2巻線部71bの第1端が接続されている。第2巻線部71bの第2端には、ダイオード80のアノードが接続されている。第2巻線部71bには、コンデンサ90が並列接続されている。図2において、L1は第1巻線部71aのインダクタンスを示し、L2は第2巻線部71bのインダクタンスを示し、Cはコンデンサ90の静電容量を示す。

30

【0024】

続いて、制御装置40について説明する。なお、制御装置40の各機能の一部又は全部は、例えば、1つ又は複数の集積回路等によりハードウェア的に構成されていてもよい。また、制御装置40の各機能は、例えば、非遷移的実体的記録媒体に記録されたソフトウェア及びそれを実行するコンピュータによって構成されていてもよい。

40

【0025】

制御装置40は、角度検出部41の角度信号を取得し、取得した角度信号に基づいて、インバータ20を構成する各スイッチSUP~SWnをオンオフする駆動信号を生成する。詳しくは、制御装置40は、回転電機30を電動機として駆動させる場合、直流電源10から出力された直流電力を交流電力に変換してU, V, W相巻線31U, 31V, 31Wに供給すべく、各アームスイッチSUP~SWnをオンオフする駆動信号を生成し、生成した駆動信号を各アームスイッチSUP~SWnのゲートに供給する。一方、制御装置40は、回転電機30を発電機として駆動させる場合、U, V, W相巻線31U, 31V, 31Wから出力された交流電力を直流電力に変換して直流電源10に供給すべく、各アームスイッチSUP~SWnをオンオフする駆動信号を生成し、生成した駆動信号を各アームスイッチSUP~SWnのゲートに供給する。

50

ムスイッチ S U p ~ S W n をオンオフする駆動信号を生成する。

【 0 0 2 6 】

制御装置 4 0 は、各相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W に基本波電流及び高調波電流の合成電流を流すように各スイッチ S U p ~ S W n をオンオフする。基本波電流は、図 8 (a) に示すように、回転電機 3 0 にトルクを発生させることを主とする電流である。高調波電流は、図 8 (b) に示すように、界磁巻線 7 0 を励磁することを主とする電流である。図 8 (c) は、基本波電流と高調波電流との合成電流としての相電流を示す。図 8 に示す縦軸の値は、図 8 (a) ~ 図 8 (c) それぞれに示す波形の大きさの相対関係を示す。各相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W に流れる相電流 I U , I V , I W は、図 9 に示すように、電気角で 120° ずつずれている。

10

【 0 0 2 7 】

なお、本実施形態では、図 8 (a) , (b) に示すように、高調波電流の包絡線が、基本波電流の 1 / 2 の周期を有している。包絡線を、図 8 (b) に一点鎖線にて示す。そして、包絡線がそのピーク値となるタイミングが、基本波電流がそのピーク値となるタイミングからずれている。具体的には、包絡線がそのピーク値となるタイミングが、基本波電流がその変動中心 (0) となるタイミングとされている。制御装置 4 0 は、基本波電流及び高調波電流それぞれの振幅及び周期を独立に制御する。

【 0 0 2 8 】

図 8 (b) に示す高調波電流を流すことにより、各相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W に流れる相電流の最大値を低減でき、インバータ 2 0 の容量を増やすずに回転電機 3 0 のトルクを指令されたトルクにことができる。

20

【 0 0 2 9 】

ちなみに、高調波電流としては、図 1 0 (b) に示すものであってもよい。図 1 0 (a) , (c) は、先の図 8 (a) , (c) に対応している。図 1 0 (a) , (b) に示すように、高調波電流の包絡線がそのピーク値となるタイミングが、基本波電流がそのピーク値となるタイミングとされている。図 1 0 (b) に示す高調波電流は、図 8 (b) に示す高調波電流の位相を、基本波電流の周期の 1 / 4 だけずらしたものである。この場合に各相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W に流れる相電流 I U , I V , I W の推移を図 1 1 に示す。

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、第 1 巻線部 7 1 a 、コンデンサ 9 0 及びダイオード 8 0 からなる直列共振回路が構成され、第 2 巻線部 7 1 b 及びコンデンサ 9 0 からなる並列共振回路が構成されている。直列共振回路の共振周波数である第 1 共振周波数を f_1 とし、並列共振回路の共振周波数である第 2 共振周波数を f_2 とする。各共振周波数 f_1 , f_2 は、下式 (eq 1) , (eq 2) で表される。

30

【 0 0 3 1 】

【 数 1 】

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C}} \quad \dots \quad (eq1)$$

40

【 0 0 3 2 】

【 数 2 】

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C}} \quad \dots \quad (eq2)$$

各相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W に高調波電流が流れると、周方向において隣り合う主極部 6 2 、ロータコア 6 1 、ティース 5 2 及びステータコア 5 1 を含む磁気回路に主磁束の高調波による変動が発生する。主磁束の変動が起きることにより、第 1 , 第 2 巻線部 7 1 a , 7 1 b それに誘起電圧が発生し、第 1 , 第 2 巻線部 7 1 a , 7 1 b に電流が誘起

50

される。この際、図12のパターン1，4に示すように、第1，第2巻線部71a，71bそれぞれに極性の同じ誘起電圧が発生する場合、第1，第2巻線部71a，71bそれぞれの誘起電流が相殺されないため、誘起電流が増加する。ダイオード80により、第1，第2巻線部71a，71bに流れる電流が一方向に整流される。これにより、ダイオード80により整流された方向に界磁巻線70に界磁電流が流れ、界磁巻線が励磁される。なお、図12において、e1は第1巻線部71aに発生する誘起電圧を示し、e2は第2巻線部71bに発生する誘起電圧を示す。

【0033】

一方、高調波電流が流れると、主磁束の変動の他に、漏れ磁束が発生し易くなる。漏れ磁束は、周方向に隣り合う主極部62の一方から他方へとロータコア61を介さずに横切るように流れ、界磁巻線70に鎖交する。この際、各巻線部71a，71bに鎖交する漏れ磁束も発生する。漏れ磁束が界磁巻線70に鎖交すると、第1巻線部71a内において、ある方向の誘起電圧が発生し、また、第2巻線部71b内においては異なる方向の誘起電圧が発生する場合がある。その結果、第1，第2巻線部71a，71bそれぞれに誘起される電流の合計値が減少し、ひいては界磁巻線70に流れる界磁電流が減少する。

10

【0034】

そこで、本実施形態では、第2巻線部71bにコンデンサ90が並列接続されている。このため、図12のパターン2，3に示すように、第1，第2巻線部71a，71bそれぞれに発生する誘起電圧が逆極性となる場合であっても、コンデンサ90を介して誘起電流が流れるため、第1，第2巻線部71a，71bに流れる誘起電流は、互いに相殺されることがない。このため、図13(a)に示すように、第1巻線部71aで誘起された電流と、第2巻線部71bで誘起された電流とがコンデンサ90を介してダイオード80のアノード側へと流れたり、図13(b)に示すように、コンデンサ90から第2巻線部71bを介してダイオード80のアノード側へと電流が流れたりする。その結果、界磁巻線70に流れる界磁電流を増加させることができる。

20

【0035】

本実施形態において、ステータ巻線31に流す高調波電流の周波数は、第1共振周波数f1と同じ周波数又はその近傍の周波数に設定されている。このため、第1，第2巻線部71a，71bに誘起される電流をより増加でき、界磁電流をより増加させることができる。なお、第1共振周波数f1と第2共振周波数f2とは、例えば、同じ値又は略同じ値に設定されればよい。

30

【0036】

続いて、図3～図7を用いて、ロータ60についてさらに説明する。

【0037】

ロータ60の主極部62において、ステータ50と対向してかつ周方向における両端部のうち、一方を第1主極端部64aと称し、他方を第2主極端部64bと称すこととする。すなわち、各主極部62には、一対の主極端部が存在している。本実施形態では、第1主極端部64aの一部には、軸方向に延びる第1切欠65aが形成され、第2主極端部64bの一部には、軸方向に延びる第2切欠65bが形成されている。主極部62において、周方向の端から切り欠かれて各切欠65a，65bが形成されている。各切欠65a，65bは、径方向外側(ステータ側)及び周方向それぞれに開口する切欠である。

40

【0038】

第1切欠65aは、第1主極端部64aにおいて、互いに離間して複数(4つ)形成されている。各第1切欠65aのうち、軸方向において最も端に位置するものは、第1主極端部64aの軸方向における最も端の部分に形成されている。第2切欠65bは、軸方向において第1切欠65aに挟まれるように複数(3つ)形成されている。このため、本実施形態では、第2切欠65bの数が、第1切欠65aの数よりも1つ少ない。

【0039】

各第1切欠65aの輪郭形状は、軸方向から見た場合において同じ形状になっている。また、各第2切欠65bの輪郭形状は、軸方向から見た場合において同じ形状になっている

50

。第1切欠65aの輪郭形状と第2切欠65bの輪郭形状とは、主極部62の径方向に延びる中心軸線に対して線対称になっている。

【0040】

本実施形態において、ロータ60は、軟磁性体からなる板状の界磁板部63が複数積層されて構成されている。界磁板部63は、ロータコア61になる部分と主極部62になる部分とが一体形成された部材である。界磁板部63をその第1面から見た図を図5(a)に示し、界磁板部63を、第1面の裏面である第2面から見た図を図5(b)に示す。本実施形態では、1種類の界磁板部63によりロータ60が構成されている。つまり、第1面を特定方向に向けて複数重ねられた界磁板部63と、第2面を上記特定方向に向けて複数重ねられた界磁板部63とが交互に積層されることにより、ロータ60が構成されている。

10

【0041】

界磁板部63において、主極部62になる部分の径方向先端部には、1つの切欠が形成されている。この切欠は、図5(a)に示す場合には第1切欠65aとなり、図5(b)に示す場合には第2切欠65bとなる。

【0042】

本実施形態では、図6に示すように、第1切欠65aの周方向における幅寸法を n_t とする場合、「 $1/3 \times < n_t < 2/3 \times$ 」とされている。 n_t は、ロータ60を回転軸32の軸方向から見た場合において、主極部62におけるステータ50との対向面のうち第1切欠65aの縁と、回転軸32の中心Oとを通る基準線からの切欠き部の機械角である。第2切欠65bの周方向における幅寸法 n_t も、同様に「 $1/3 \times < n_t < 2/3 \times$ 」とされている。これは、回転電機30のトルクリップルを低減するための設定である。特に本実施形態では、第1切欠65a及び第2切欠65bそれぞれの幅寸法が $/2$ とされている。これにより、トルクリップルの低減効果を高めている。

20

【0043】

なお、 n_t は、「 $1/3 \times < n_t < 2/3 \times$ 」のうち $/2$ 以外の値であってもよい。 n_t が $\times 180^\circ / 360^\circ \pm \times 60^\circ / 360^\circ$ の範囲にあれば、トルクリップルを低減することはできる。

【0044】

本実施形態では、図7に示すように、第1主極端部64aにおいて、第1切欠65aが形成されている部分の軸方向における合計長さ($= L_a / 2 + L_a + L_a + L_a / 2$)と、第1切欠65aが形成されていない部分の軸方向における合計長さ($= L_a + L_a + L_a$)とが等しくなっている。また、第2主極端部64bにおいて、第2切欠65bが形成されている部分の軸方向における合計長さ($= L_a + L_a + L_a$)と、第2切欠65bが形成されていない部分の軸方向における合計長さ($= L_a / 2 + L_a + L_a + L_a / 2$)とが等しくなっている。この構成は、トルクリップルを低減するためのものである。

30

【0045】

図14(a)を用いて、本実施形態の効果について説明する。図14(a)のTA, TBは、回転電機30のトルクの推移を示す。TAは、第1主極端部64aにおいて、第1切欠65aが形成されていない部分に対応するトルクの推移を示し、TBは、第1主極端部64aにおいて、第1切欠65aが形成されている部分に対応するトルクの推移を示す。「TA + TB」は、トルクTAとトルクTBとの合計値の推移を示す。

40

【0046】

本実施形態では、「 $n_t = /2$ 」とされている。このため、トルクTAとトルクTBとを1スロットピッチの半分だけずらすことができる。その結果、トルクTAとトルクTBとを相殺することができ、トルクリップルを低減することができる。

【0047】

なお、実際には、トルクTA, TBのうち、いずれかの振幅が大きくなり得る。図14(b)には、トルクTBの振幅がトルクTAの振幅よりも大きくなる例を示す。この場合であっても、トルクリップルを低減することはできる。

【0048】

50

また、実際には、図14(c)に示すように、トルクTAとトルクTBとの位相が $\pi/2$ からずれ得る。この場合であっても、位相のずれが $\pi/3$ よりも大きくて、かつ、 $2\pi/3$ よりも小さければ、トルクリップルを低減することはできる。

【0049】

以上説明した本実施形態によれば、以下の効果が得られる。

【0050】

主極部62を構成する一対の主極端部それぞれに切欠が形成されている。これにより、同一の主極端部において、切欠が形成されている部分と形成されていない部分とで、径方向においてスロットと対向するタイミングをずらすことができる。その結果、切欠が形成されている部分に起因したトルクリップルと、切欠が形成されていない部分に起因したトルクリップルとを打ち消し合うようにすることができる。これにより、回転電機30のトルクリップルを低減することができる。

10

【0051】

特に本実施形態では、一対の主極端部それぞれに切欠が形成されていることと、主極端部において、切欠が形成されている部分の軸方向における合計長さと、切欠が形成されていない部分の軸方向における合計長さとが等しくされていることとが、トルクリップルの低減効果をより高めている。

【0052】

第1主極端部64aにおいて、第1切欠65aが形成されている部分が、第1切欠65aが形成されていない部分に軸方向において挟まれている。これにより、第1切欠65aが形成されている部分に起因して発生するトルクリップルと、第1切欠65aが形成されていない部分に起因して発生するトルクリップルとをより好適に打ち消し合うようにすることができる。その結果、回転電機30のトルクリップルの低減効果を高めることができる。なお、第2主極端部64bについても同様である。

20

【0053】

<第2実施形態>

本実施形態では、図15～図18に示すように、回転電機30は、規制部材100を備えている。規制部材100は、非磁性材からなる部材であり、界磁巻線70が遠心力で径方向外側に移動することを防止する。なお、図15には、界磁巻線70も合わせて記載している。

30

【0054】

規制部材100は、周方向に隣り合う主極部62の間に配置されるとともに、軸方向に延びている。規制部材100は、図16に示すように、長尺板状の部材であり、その断面が弧状とされている。これにより、規制部材100は、ロータ60の外周面よりも径方向外側に飛び出さないようになっている。規制部材100には、その板面の中央部から交差するように延びるリブ101が形成されている。

【0055】

なお、本実施形態では、図17及び図18に示すように、ロータ60において、第1巻線部71aと第2巻線部71bとの間に、軟磁性体からなる仕切部110が設けられている。仕切部110は、例えば、環状をしており、仕切部110の中心孔が主極部62に挿し込まれた状態とされている。仕切部110は、軸方向から見た場合において、周方向に延びる扁平形状をなしている。仕切部110が第1巻線部71aと第2巻線部71bとの間に介在することにより、径方向において第1巻線部71aと第2巻線部71bとが仕切部110により遮断されている。仕切部110の径方向厚さは、第1巻線部71a及び第2巻線部71bそれぞれの径方向厚さよりも小さい。また、仕切部110の周方向長さは、例えば、各巻線部71a, 71bの周方向長さ以上とされている。

40

【0056】

仕切部110は、軟磁性体が径方向に積層されることにより構成されなければよい。これにより、渦電流損失の低減を図ることができる。また、積層方向を径方向とすることにより、仕切部110の周方向長さを確保しつつ、径方向厚さを鋼板板厚寸法に合わせて薄く

50

設定できる。

【0057】

仕切部110が設けられることにより、漏れ磁束の大部分は、界磁巻線70ではなく、仕切部110を流れるようになる。その結果、第1，第2巻線部71a，71bそれぞれにおいて、さらにその内部の部分コイルで互いに逆極性となる誘起電圧が発生しにくくなり、誘起される電流が増加する。これにより、図12に示すパターン1～4それぞれにおいて第1，第2巻線部71a，71bそれぞれに誘起される電流を増加させることができる。

【0058】

ここで、第1切欠65aが形成されている部分（図15のQの部分を参照）におけるロータ60の断面図を図17に示し、第2切欠65bが形成されている部分（図15のPの部分を参照）におけるロータ60の断面図を図18に示す。

10

【0059】

図17に示すように、第1主極端部64aのうち第1切欠65aが形成されていない部分における周方向の側面には、軸方向に延びる第1溝110aが形成されている。一方、図18に示すように、第2主極端部64bのうち第2切欠65bが形成されていない部分における周方向の側面には、軸方向に延びる第2溝110bが形成されている。周方向に隣り合う第1溝110a及び第2溝110bに規制部材100の周方向端部を挿入することにより、各溝110a，110bに規制部材100の周方向端部が嵌め合わされている。これにより、規制部材100がロータ60に取り付けられている。

【0060】

以上説明した本実施形態によれば、第1溝110a及び第2溝110bを軸方向において互い違いに配置することができる。このため、第1，第2主極端部64a，64bそれぞれに互いに違いに切欠が形成されている場合であっても、規制部材100を取り付けるための構成を備えることができる。これにより、界磁巻線70及び規制部材100を径方向から主極部62に組み付けることが可能な構造において、トルクリップルを低減することができる。

20

【0061】

<その他の実施形態>

なお、上記各実施形態は、以下のように変更して実施してもよい。

【0062】

30

・切欠の形成態様としては、先の図7に示したものに限らず、例えば図19に示すものであってもよい。なお、図19では、第1主極端部64aにおいて、第1切欠65aが形成されている部分の軸方向における合計長さ（=Lb+Lb）と、第1切欠65aが形成されていない部分の軸方向における合計長さ（=2×Lb）とが等しくなっている。また、第2主極端部64bにおいて、第2切欠65bが形成されている部分の軸方向における合計長さ（=2×Lb）と、第2切欠65bが形成されていない部分の軸方向における合計長さ（=Lb+Lb）とが等しくなっている。

【0063】

・主極端部において、切欠が形成されている部分の軸方向における合計長さと、切欠が形成されていない部分の軸方向における合計長さとが等しい構成に限らず、略等しくされている構成又は合計長さが互いに異なる構成であってもよい。

40

【0064】

・第1主極端部64a及び第2主極端部64bのうちいずれか一方のみに切欠が形成されてもよい。

【0065】

・切欠の輪郭形状は、軸方向において異なっていてもよい。

【0066】

・上記各実施形態では、例えば図7に示すように、第1切欠65aが形成されている部分と第2切欠65bが形成されている部分とが、軸方向において重複していない構成とされていた。ただし、この構成に限らず、第1，第2切欠65a，65bが形成されている部

50

分が、軸方向において重複する構成とされていてもよい。

【0067】

・図20に示すような界磁巻線73が用いられてもよい。詳しくは、主極部62に第1巻線部74aが巻回され、第1巻線部74aの外側に第2巻線部74bが巻回されている。

【0068】

・界磁巻線としては、3つ以上の巻線部の直列接続体から構成されていてもよい。図21には、界磁巻線70が第1巻線部71a、第2巻線部71b及び第3巻線部71cの直列接続体から構成されている例を示す。

【0069】

・界磁巻線の各巻線部のそれぞれが、平角線にて構成されていてもよい。平角線が用いられることにより、界磁巻線の占積率を高めることができ、損失を低減できる。また、平角線によれば、巻線部に遠心力が作用した場合に、巻線間にかかる荷重を面で受けることができるため、巻線の被膜の損傷を防止できる。また、平角線によれば、アンペアターン(AT)を大きくすることができ、界磁巻線の励磁範囲を拡大できる。その結果、トルク制御性が向上する。

10

【0070】

なお、各巻線部のそれぞれが、平角線を使用した巻にて構成されていてもよい。平角線を使用した巻の巻線部としては、例えば、特開2008-178211号公報の図5(A)に示すものを用いることができる。

【0071】

・第1実施形態において、回転電機としては、インナロータ型のものに限らず、アウタロータ型のものであってもよい。この場合、主極部は、ロータコアから径方向内側に突出している。

20

【0072】

・回転電機としては、ステータ巻線に高調波電流を流すことにより、界磁巻線に界磁電流を流すものに限らない。例えば、回転電機として、ブラシを介して界磁巻線に界磁電流を流すものであってもよい。

【0073】

・ロータの界磁巻線としては、アルミ線に限らず、例えば、銅線又はCNT(カーボンナノチューブ)等であってもよい。また、界磁巻線は、圧縮成形で無くてもよい。

30

【符号の説明】

【0074】

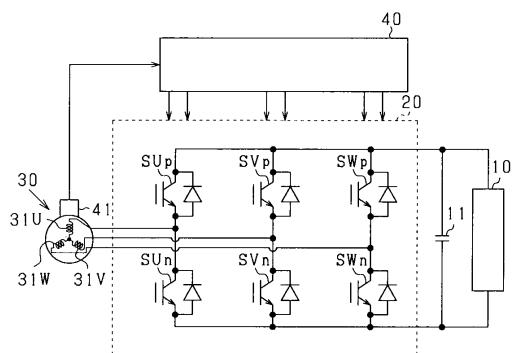
30…回転電機、50…ステータ、60…ロータ、65a, 65b…第1, 第2切欠、70…界磁巻線。

40

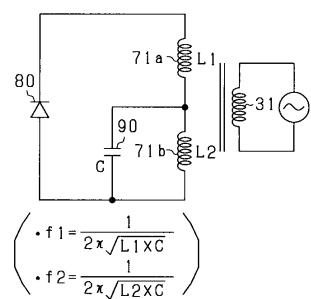
50

【図面】

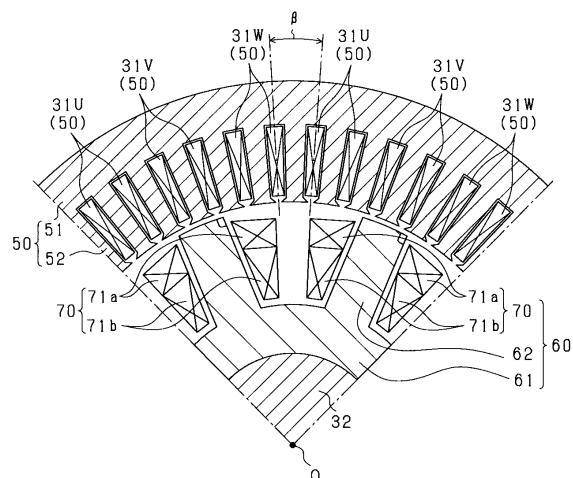
【図 1】



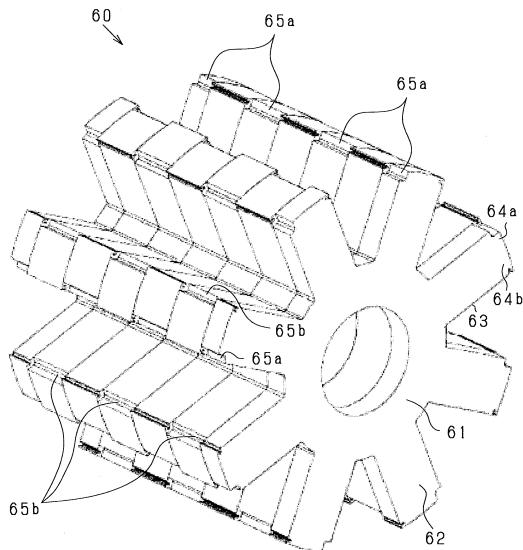
【図 2】



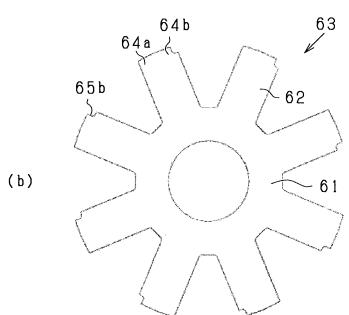
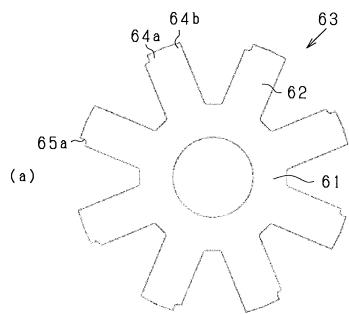
【図 3】



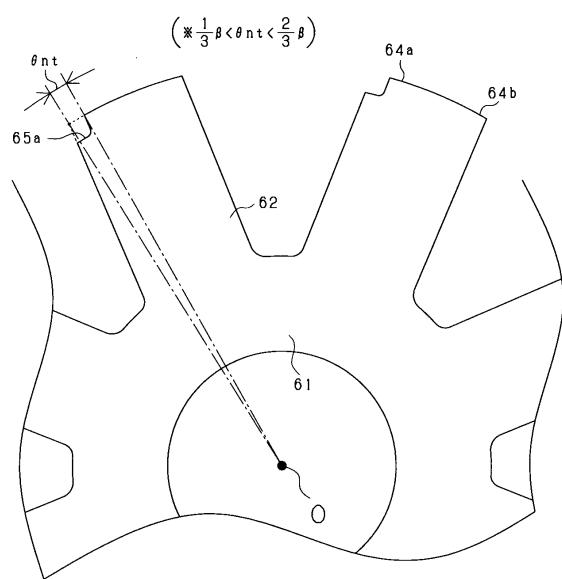
【図 4】



【図 5】



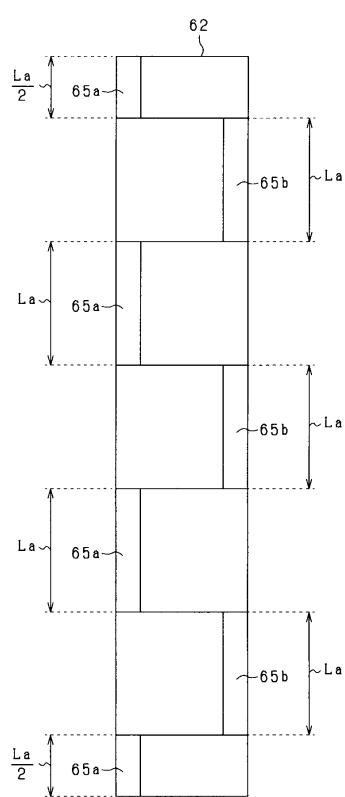
【図 6】



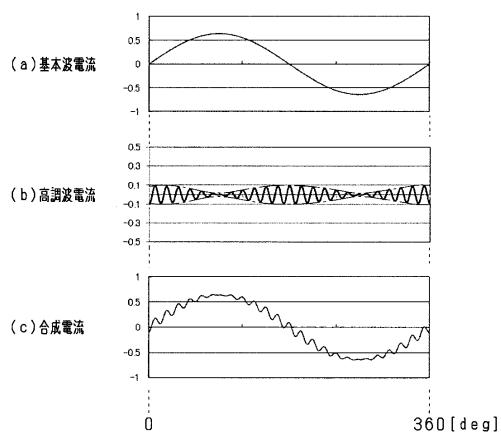
10

20

【図 7】



【図 8】

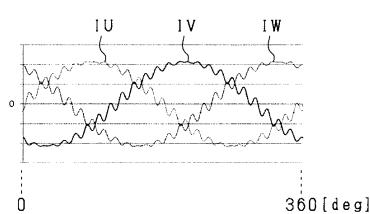


30

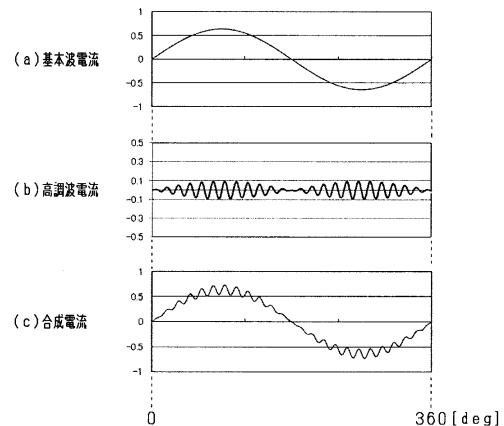
40

50

【図 9】

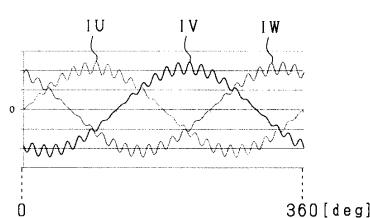


【図 10】



10

【図 11】



【図 12】

| パターン | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|--|---|---|---|---|
| 発生電圧 方向 | e1  | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ |
| | e2  | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ |

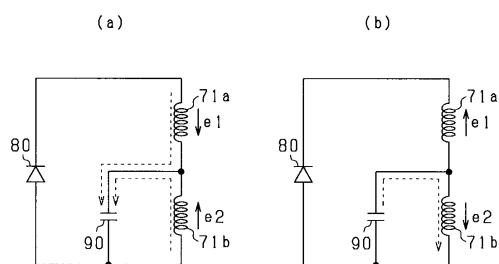
20

30

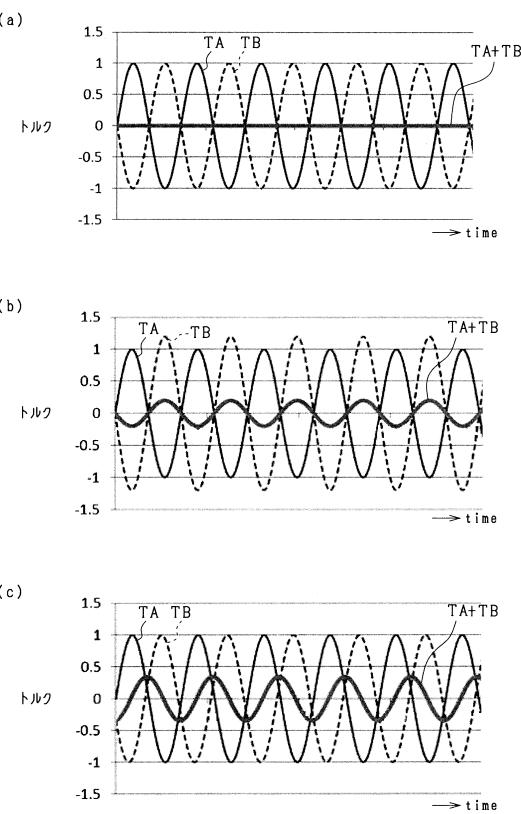
40

50

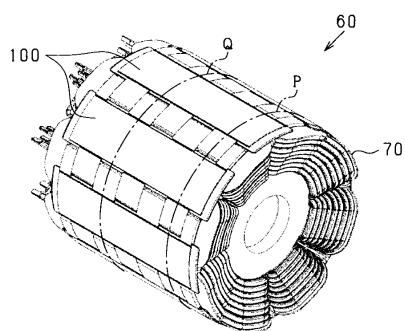
【図 1 3】



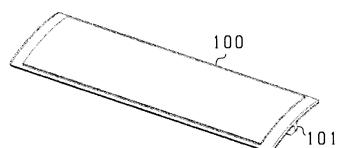
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

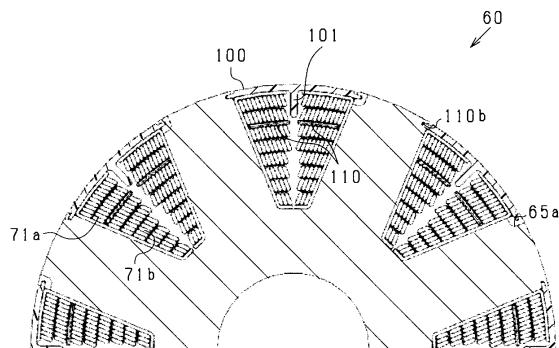
20

30

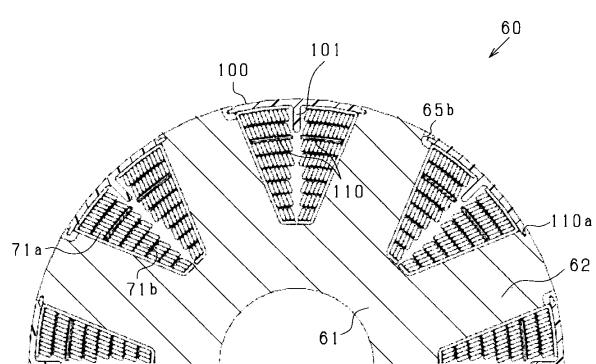
40

50

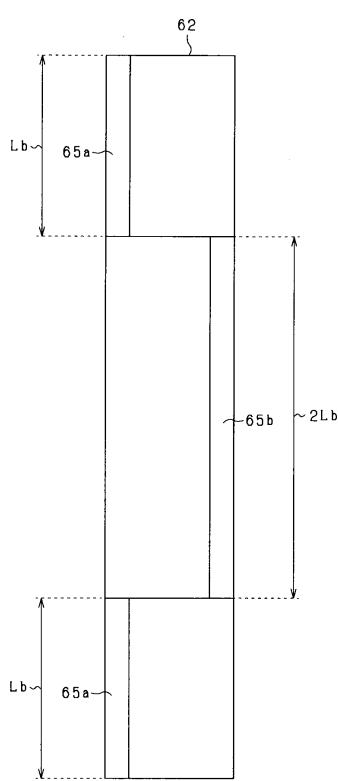
【図17】



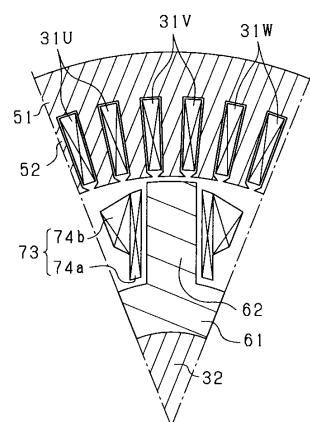
【図18】



【図19】



【図20】



10

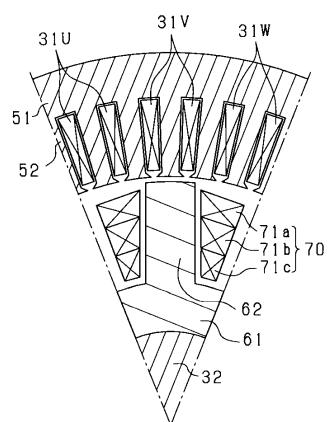
20

30

40

50

【図21】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-019335 (JP, A)

実開平05-009177 (JP, U)

特開2000-166198 (JP, A)

特開2003-324872 (JP, A)

特開2014-036448 (JP, A)

特開2016-208780 (JP, A)

特開2005-184918 (JP, A)

国際公開第2013/098921 (WO, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H02K 1/24

H02K 19/12