

(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

F I

H 0 2 K 1/24 (2006.01)

H 0 2 K 1/24

A

H 0 2 K 19/12 (2006.01)

H 0 2 K 19/12

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
(22)出願日	平成30年9月27日(2018.9.27)		株式会社デンソー
(65)公開番号	特開2020-54157(P2020-54157A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43)公開日	令和2年4月2日(2020.4.2)	(74)代理人	100121821
審査請求日	令和2年8月27日(2020.8.27)		弁理士 山田 強
		(74)代理人	100139480
			弁理士 日野 京子
		(74)代理人	100125575
			弁理士 松田 洋
		(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  $\tau$  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  $n \tau$  とする場合、「 $1/3 \times \tau < n \tau < 2/3 \times \tau$ 」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】

「 $n \tau = \tau/2$ 」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ぞれを主極端部と称することとする。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ス

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することができる。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 】

## &lt; 第 1 実施形態 &gt;

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 S  
tarter 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  
巻線部 7 1 a 及び第 2 巻線部 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ていればよい。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 1 2 0 ° 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、I G B  
T 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  
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 O は、回転軸 3 2 の中心を示す。

【 0 0 1 9 】

ステータ 5 0 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 5 1 と、ステータコア 5 1 から径方向内側に向かって突出する複数のティース 5 2 とを有している。本実施形態において、各相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W は、ティース 5 2 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 4 8 個設けられている。このため、回転電機 3 0 は、4 8 スロットのものである。なお、本実施形態では、ティース 5 2 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 5 2 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

【 0 0 2 0 】

周方向に隣り合うティース 5 2 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  $\theta$  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 3 2 の中心 O を通る。

【 0 0 2 1 】

ロータ 6 0 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 6 1 と、ロータコア 6 1 から径方向外側に向かって突出する複数の主極部 6 2 とを有している。各主極部 6 2 の先端側の面は、ティース 5 2 の端面に対向している。本実施形態において、主極部 6 2 は、周方向において等間隔に 8 個設けられている。

20

【 0 0 2 2 】

各主極部 6 2 において、径方向外側に第 1 巻線部 7 1 a が巻回され、第 1 巻線部 7 1 a よりも径方向内側に第 2 巻線部 7 1 b が巻回されている。各主極部 6 2 において、第 1 巻線部 7 1 a 及び第 2 巻線部 7 1 b 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 6 2 のうち、一方に巻回された各巻線部 7 1 a , 7 1 b の巻方向と、他方に巻回された各巻線部 7 1 a , 7 1 b 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 6 2 同士で互いに磁化方向が逆になる。

【 0 0 2 3 】

図 2 に、共通の主極部 6 2 に巻回された各巻線部 7 1 a , 7 1 b を備えるロータ側の電気回路を示す。ロータ 6 0 には、ダイオード 8 0 と、コンデンサ 9 0 とが設けられている。ダイオード 8 0 のカソードには、第 1 巻線部 7 1 a の第 1 端が接続され、第 1 巻線部 7 1 a の第 2 端には、第 2 巻線部 7 1 b の第 1 端が接続されている。第 2 巻線部 7 1 b の第 2 端には、ダイオード 8 0 のアノードが接続されている。第 2 巻線部 7 1 b には、コンデンサ 9 0 が並列接続されている。図 2 において、L 1 は第 1 巻線部 7 1 a のインダクタンスを示し、L 2 は第 2 巻線部 7 1 b のインダクタンスを示し、C はコンデンサ 9 0 の静電容量を示す。

30

【 0 0 2 4 】

続いて、制御装置 4 0 について説明する。なお、制御装置 4 0 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 4 0 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

【 0 0 2 5 】

制御装置 4 0 は、角度検出部 4 1 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 2 0 を構成する各スイッチ  $S_{Up} \sim S_{Wn}$  をオンオフする駆動信号を生成する。詳しくは、制御装置 4 0 は、回転電機 3 0 を電動機として駆動させる場合、直流電源 1 0 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 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W に供給すべく、各アームスイッチ  $S_{Up} \sim S_{Wn}$  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  $S_{Up} \sim S_{Wn}$  のゲートに供給する。一方、制御装置 4 0 は、回転電機 3 0 を発電機として駆動させる場合、U , V , W 相巻線 3 1 U , 3 1 V , 3 1 W 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 1 0 に供給すべく、各アーム

50

ムスイッチ  $SUp \sim SWn$  をオンオフする駆動信号を生成する。

【 0 0 2 6 】

制御装置 40 は、各相巻線 31U, 31V, 31W 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  $SUp \sim SWn$  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 30 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 70 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 31U, 31V, 31W 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  $120^\circ$  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 40 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 31U, 31V, 31W に流れる相電流の最大値を低減でき、インバータ 20 の容量を増やさずに回転電機 30 のトルクを指令されたトルクにすることができる。

20

【 0 0 2 9 】

ちなみに、高調波電流としては、図 10 (b) に示すものであってもよい。図 10 (a), (c) は、先の図 8 (a), (c) に対応している。図 10 (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 10 (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 31U, 31V, 31W に流れる相電流  $I_U, I_V, I_W$  の推移を図 11 に示す。

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、第 1 巻線部 71a、コンデンサ 90 及びダイオード 80 からなる直列共振回路が構成され、第 2 巻線部 71b 及びコンデンサ 90 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 (eq1), (eq2) 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 31U, 31V, 31W 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 62、ロータコア 61、ティース 52 及びステータコア 51 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 71a, 71b それぞれに誘起電圧が発生し、第 1, 第 2 巻線部 71a, 71b 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。

#### 【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。

#### 【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  $f_1$  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  $f_1$  と第 2 共振周波数  $f_2$  とは、例えば、同じ値又は略同じ値に設定されればよい。

#### 【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 と称することとする。すなわち、各主極部 62 には、一对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。

#### 【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

10

20

30

40

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  $T_A$  とトルク  $T_B$  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 64 a において、第 1 切欠 65 a が形成されている部分が、第 1 切欠 65 a 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 65 a 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 65 a 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 64 b 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 71 a と第 2 巻線部 71 b 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、環状をなしており、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 71 a と第 2 巻線部 71 b 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 71 a と第 2 巻線部 71 b 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 71 a 及び第 2 巻線部 71 b 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 71 a , 71 b 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ていればよい。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。

【 0 0 5 7 】

仕切部 1 1 0 が設けられることにより、漏れ磁束の大部分は、界磁巻線 7 0 ではなく、仕切部 1 1 0 を流れるようになる。その結果、第 1 , 第 2 巻線部 7 1 a , 7 1 b 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 1 2 に示すパターン 1 ~ 4 それぞれにおいて第 1 , 第 2 巻線部 7 1 a , 7 1 b それぞれに誘起される電流を増加させることができる。

【 0 0 5 8 】

ここで、第 1 切欠 6 5 a が形成されている部分 ( 図 1 5 の Q の部分を参照 ) におけるロータ 6 0 の断面図を図 1 7 に示し、第 2 切欠 6 5 b が形成されている部分 ( 図 1 5 の P の部分を参照 ) におけるロータ 6 0 の断面図を図 1 8 に示す。

10

【 0 0 5 9 】

図 1 7 に示すように、第 1 主極端部 6 4 a のうち第 1 切欠 6 5 a 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 1 1 0 a が形成されている。一方、図 1 8 に示すように、第 2 主極端部 6 4 b のうち第 2 切欠 6 5 b 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 1 1 0 b が形成されている。周方向に隣り合う第 1 溝 1 1 0 a 及び第 2 溝 1 1 0 b に規制部材 1 0 0 の周方向端部を挿入することにより、各溝 1 1 0 a , 1 1 0 b に規制部材 1 0 0 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 1 0 0 がロータ 6 0 に取り付けられている。

20

【 0 0 6 0 】

以上説明した本実施形態によれば、第 1 溝 1 1 0 a 及び第 2 溝 1 1 0 b 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 6 4 a , 6 4 b 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 1 0 0 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 7 0 及び規制部材 1 0 0 を径方向から主極部 6 2 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。

【 0 0 6 1 】

< 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。

【 0 0 6 2 】

・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 1 9 に示すものであってもよい。なお、図 1 9 では、第 1 主極端部 6 4 a において、第 1 切欠 6 5 a が形成されている部分の軸方向における合計長さ (  $= L b + L b$  ) と、第 1 切欠 6 5 a が形成されていない部分の軸方向における合計長さ (  $= 2 \times L b$  ) とが等しくなっている。また、第 2 主極端部 6 4 b において、第 2 切欠 6 5 b が形成されている部分の軸方向における合計長さ (  $= 2 \times L b$  ) と、第 2 切欠 6 5 b が形成されていない部分の軸方向における合計長さ (  $= L b + L b$  ) とが等しくなっている。

30

【 0 0 6 3 】

・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

【 0 0 6 4 】

・第 1 主極端部 6 4 a 及び第 2 主極端部 6 4 b のうちいずれか一方のみに切欠が形成されていてもよい。

【 0 0 6 5 】

・切欠の輪郭形状は、軸方向において異なってもよい。

【 0 0 6 6 】

・上記各実施形態では、例えば図 7 に示すように、第 1 切欠 6 5 a が形成されている部分と第 2 切欠 6 5 b 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 6 5 a , 6 5 b 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。

【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、アウト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。

【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。

【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。

10

20

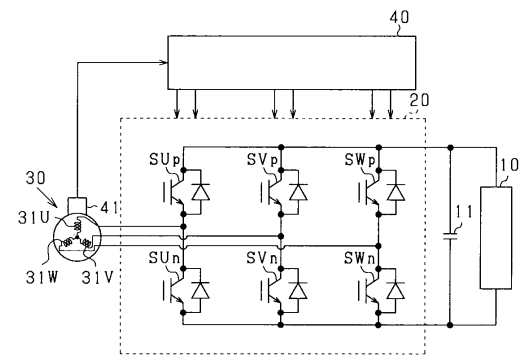
30

40

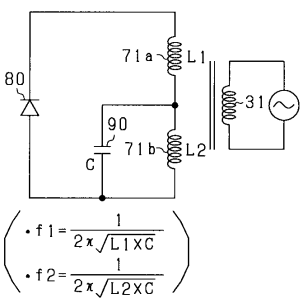
50

【図面】

【図 1】

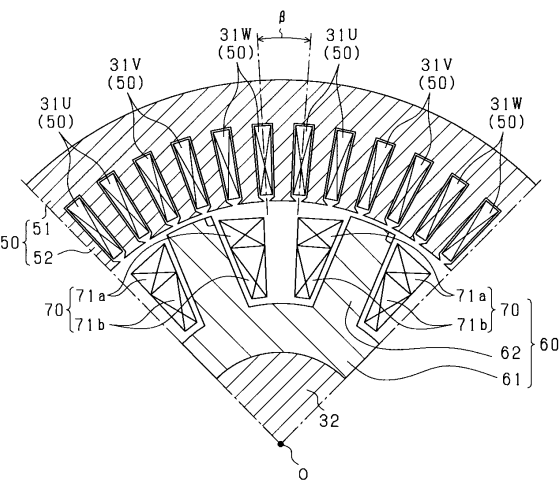


【図 2】

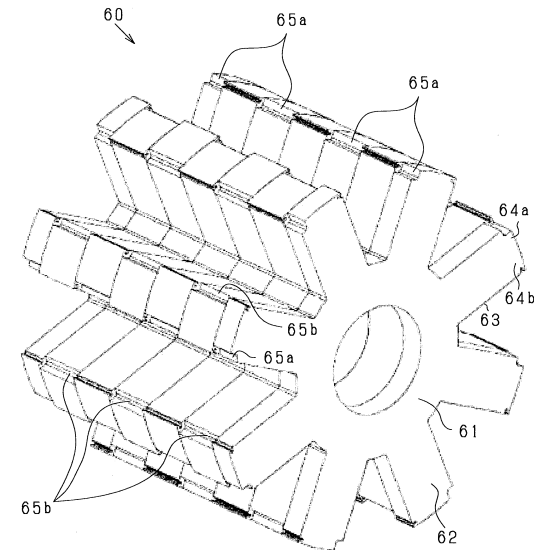


10

【図 3】



【図 4】



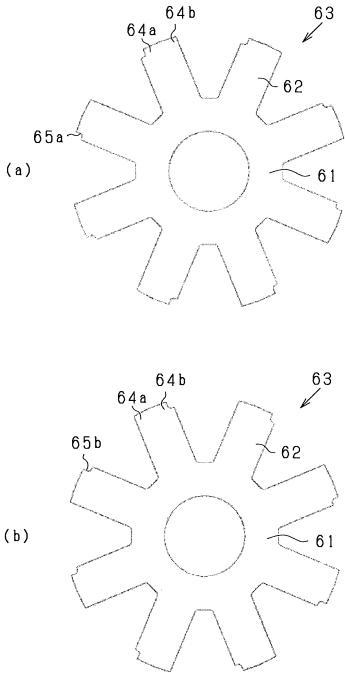
20

30

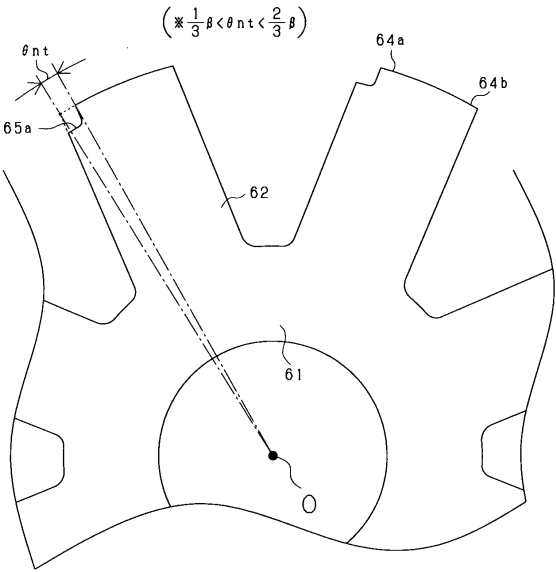
40

50

【図 5】



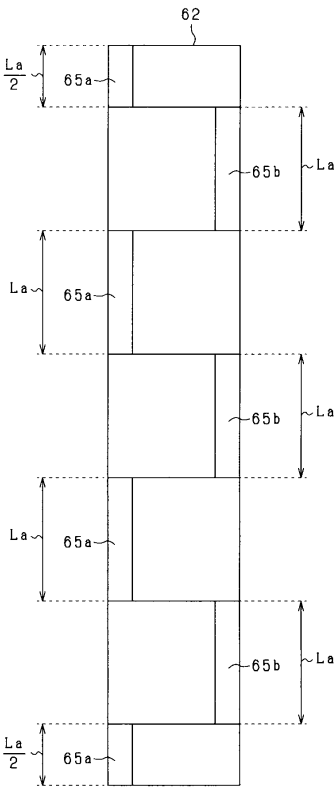
【図 6】



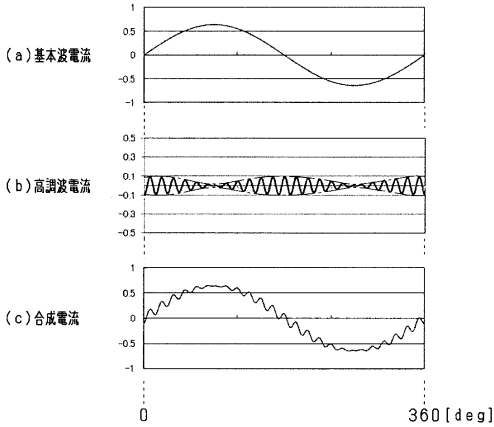
10

20

【図 7】



【図 8】

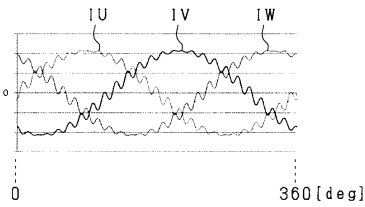


30

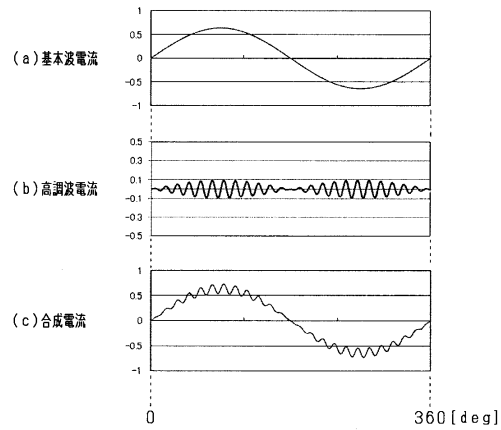
40

50

【図 9】

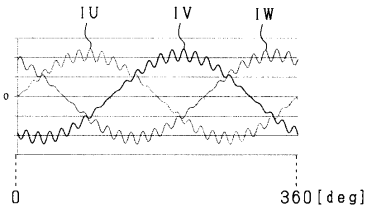


【図 10】



10

【図 11】



【図 12】

パターン		1	2	3	4
発生電圧 方向	e <sub>1</sub> (7) a	↑	↓	↑	↓
	e <sub>2</sub> (7) b	↑	↑	↓	↓

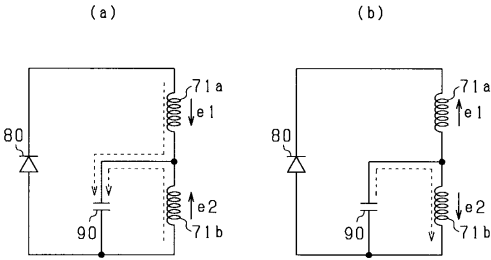
20

30

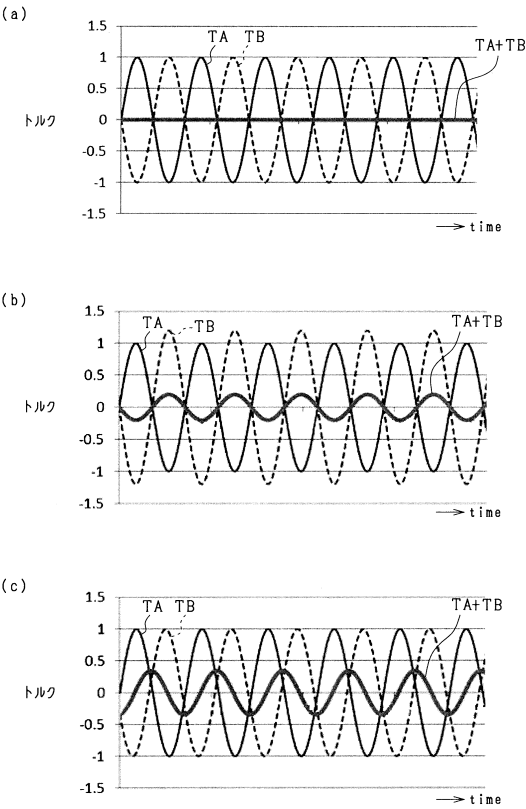
40

50

【図 13】



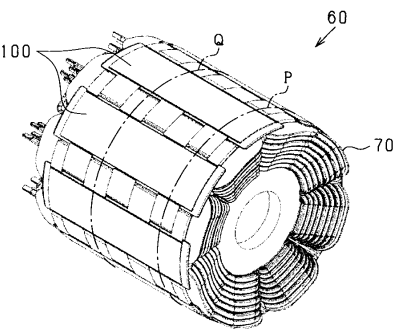
【図 14】



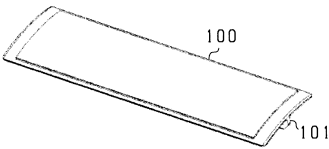
10

20

【図 15】



【図 16】

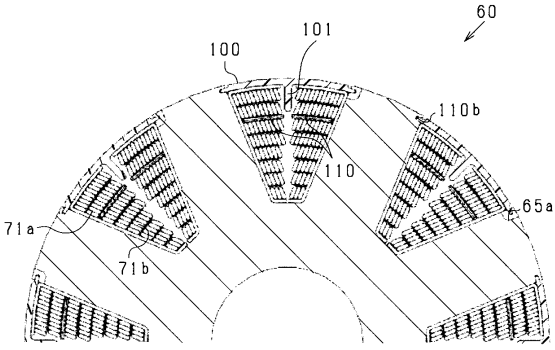


30

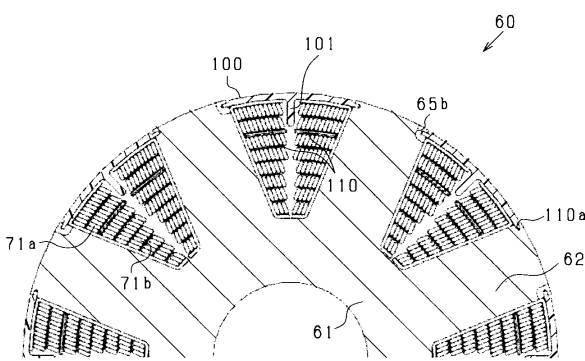
40

50

【図 17】

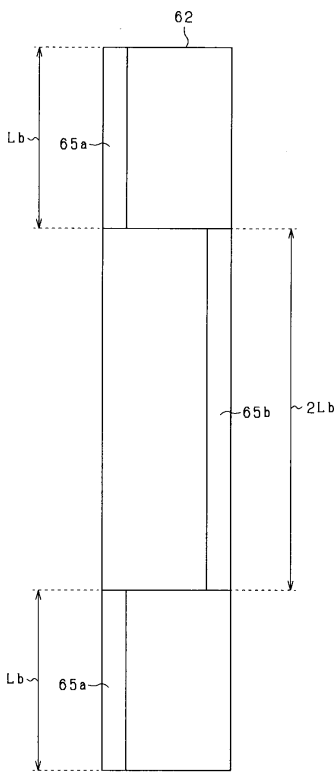


【図 18】

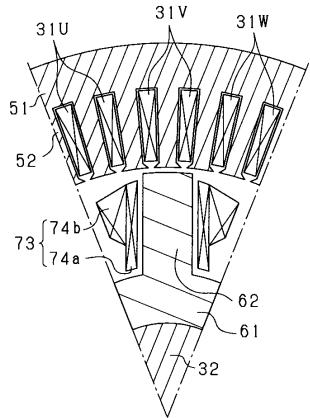


10

【図 19】



【図 20】



20

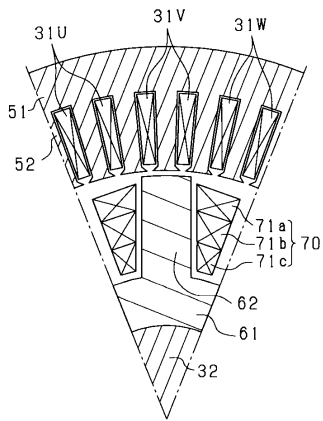
30

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 2 0 1 1 - 0 1 9 3 3 5 ( J P , A )  
                    実開平 0 5 - 0 0 9 1 7 7 ( J P , U )  
                    特開 2 0 0 0 - 1 6 6 1 9 8 ( J P , A )  
                    特開 2 0 0 3 - 3 2 4 8 7 2 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 4 - 0 3 6 4 4 8 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 6 - 2 0 8 7 8 0 ( J P , A )  
                    特開 2 0 0 5 - 1 8 4 9 1 8 ( J P , A )  
                    国際公開第 2 0 1 3 / 0 9 8 9 2 1 ( W O , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
- H 0 2 K      1 / 2 4  
                    H 0 2 K      1 9 / 1 2