

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2025-15046
(P2025-15046A)

(43)公開日 令和7年1月30日(2025.1.30)

(51)国際特許分類

H 02 K 19/36 (2006.01)
H 02 K 19/26 (2006.01)

F I

H 02 K 19/36
H 02 K 19/26Z
Zテーマコード(参考)
5 H 6 1 9

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全18頁)

(21)出願番号 特願2023-118125(P2023-118125)
(22)出願日 令和5年7月20日(2023.7.20)

(71)出願人 000004260
株式会社デンソー
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(74)代理人 100121821
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
(74)代理人 100207859
弁理士 塩谷 尚人
(72)発明者 吉村 雅貴
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式
最終頁に続く

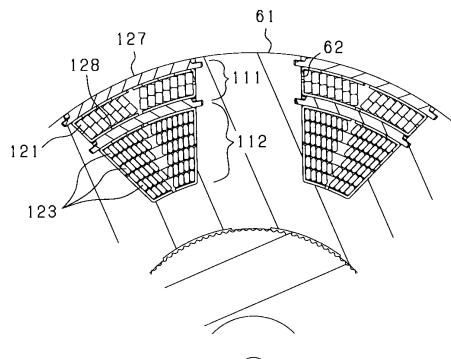
(54)【発明の名称】巻線界磁型回転電機

(57)【要約】

【課題】界磁巻線を構成する第1巻線部及び第2巻線部のうちステータ側となる第1巻線部での渦電流損を低減する。

【解決手段】巻線界磁型回転電機において、ロータ60は、磁極ごとに設けられた主極部62を有するロータコア61と、主極部62に巻回された界磁巻線70とを有する。界磁巻線70は、第1巻線部71a及び第2巻線部71bの直列接続体を有し、第1巻線部71aを径方向外側、第2巻線部71bを径方向内側にして、これら各巻線部71a, 71bが各主極部62に巻回されている。第1巻線部71aは、コンデンサに直列接続されることにより直列共振回路を構成し、第2巻線部71bは、コンデンサに並列接続されることにより並列共振回路を構成する。第1巻線部71aの導体材料の体積抵抗率は、第2巻線部71bの導体材料の体積抵抗率よりも大きくなっている。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステータ巻線(52)を有するステータ(50)と、
周方向に並ぶ磁極ごとに設けられ径方向に突出する主極部(62)を有するロータコア
(61)と、前記主極部に巻回された界磁巻線(70)とを有するロータ(60)と、を
備え、

前記界磁巻線に界磁電流を誘起させるための高周波電流が前記ステータ巻線に流れる巻
線界磁型回転電機(40)であって、

前記界磁巻線は、第1巻線部(71a)及び第2巻線部(71b)の直列接続体を有し
、径方向において前記第1巻線部を前記ステータに近い側、前記第2巻線部を前記ステ
ータから遠い側にして、これら各巻線部が前記各主極部に巻回されており、

前記第1巻線部は、コンデンサ(91)に直列接続されることにより直列共振回路を構
成し、前記第2巻線部は、前記コンデンサに並列接続されることにより並列共振回路を構
成するものであり、

前記第1巻線部の導体材料の体積抵抗率が、前記第2巻線部の導体材料の体積抵抗率よ
りも大きい、巻線界磁型回転電機。

【請求項 2】

前記ステータを径方向外側、前記ロータを径方向内側に配置したインナロータ構造の巻
線界磁型回転電機であり、

前記第1巻線部の導体材料は、前記第2巻線部の導体材料よりも比重が小さい、請求項
1に記載の巻線界磁型回転電機。

【請求項 3】

前記第1巻線部及び前記第2巻線部の少なくともいずれかの導線材は、複数の素線を束
ねた束線である、請求項1又は2に記載の巻線界磁型回転電機。

【請求項 4】

前記ステータを径方向外側、前記ロータを径方向内側に配置したインナロータ構造の巻
線界磁型回転電機であり、

前記第1巻線部の導線材は、複数の素線を束ねた束線であり、前記第2巻線部の導線材
は前記束線でない、請求項1又2に記載の巻線界磁型回転電機。

【請求項 5】

前記第1巻線部及び前記第2巻線部は、各々の導線材が互いに接合されることで電気的
に接続されるものであり、

前記第1巻線部及び前記第2巻線部における導線材どうしの接合部分は絶縁材により覆
われている、請求項1又は2に記載の巻線界磁型回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この明細書における開示は、巻線界磁型回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の巻線界磁型回転電機として、例えば特許文献1に記載の回転電機が知られてい
る。この回転電機では、ロータにおいて、周方向に並ぶ磁極ごとの主極部(磁気突極部)
に界磁巻線が巻回されており、ロータに対向配置されたステータの巻線(ステータ巻線)
に流れる高調波電流により、界磁巻線に界磁電流が誘起されるものとなっている。また、
界磁巻線は、第1巻線部及び第2巻線部の直列接続体を有し、径方向において第1巻線部
をステータに近い側、第2巻線部をステータから遠い側にしてこれら各巻線部が主極部に
巻回されるとともに、第1巻線部とコンデンサとにより直列共振回路が構成され、第2巻
線部とコンデンサとにより並列共振回路が構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献1】特開2020-54064号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【 0 0 0 4 】**

上記構成の巻線界磁型回転電機では、第1巻線部がステータに近い側、第2巻線部がステータから遠い側に配置されているため、第1巻線部において、ステータからの高周波励磁磁束の漏れ磁束が鎖交することで渦電流損が発生することが懸念される。第1巻線部で渦電流損が生じると、第1巻線部の温度が相対的に高くなる。そのため、第1巻線部に流れる通電電流が制限される等の不都合が生じることが懸念される。

10

【 0 0 0 5 】

本開示は、上記事情に鑑みてなされたものであり、界磁巻線を構成する第1巻線部及び第2巻線部のうちステータ側となる第1巻線部での渦電流損を低減することができる巻線界磁型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】**【 0 0 0 6 】**

本開示は、

ステータ巻線を有するステータと、

周方向に並ぶ磁極ごとに設けられ径方向に突出する主極部を有するロータコアと、前記主極部に巻回された界磁巻線とを有するロータと、を備え、

20

前記界磁巻線に界磁電流を誘起させるための高周波電流が前記ステータ巻線に流れる巻線界磁型回転電機であって、

前記界磁巻線は、第1巻線部及び第2巻線部の直列接続体を有し、径方向において前記第1巻線部を前記ステータに近い側、前記第2巻線部を前記ステータから遠い側にして、これら各巻線部が前記各主極部に巻回されており、

前記第1巻線部は、コンデンサに直列接続されることにより直列共振回路を構成し、前記第2巻線部は、前記コンデンサに並列接続されることにより並列共振回路を構成するものであり、

前記第1巻線部の導体材料の体積抵抗率が、前記第2巻線部の導体材料の体積抵抗率よりも大きい。

30

【 0 0 0 7 】

巻線界磁型回転電機のロータにおいて、界磁巻線として第1巻線部及び第2巻線部の直列接続体を有し、これら各巻線部とコンデンサとにより直列共振回路と並列共振回路とを形成するとともに、径方向において第1巻線部をステータに近い側、第2巻線部をステータから遠い側に配置する構成が考えられる。この場合、ステータに近い側である第1巻線部では、ステータからの高周波励磁磁束の漏れ磁束が鎖交することで渦電流損が発生することが懸念される。この点を鑑み、第1巻線部の導体材料の体積抵抗率を、第2巻線部の導体材料の体積抵抗率よりも大きくした。これにより、第1巻線部において漏れ磁束の影響を軽減できる。その結果、界磁巻線を構成する第1巻線部及び第2巻線部のうちステータ側となる第1巻線部での渦電流損を低減することができる。

40

【図面の簡単な説明】**【 0 0 0 8 】**

【図1】回転電機の制御システムの全体構成図。

【図2】インバータ及びその周辺構成を示す図。

【図3】ロータ及びステータの横断面図。

【図4】ロータが備える電気回路を示す図。

【図5】ロータの全体の構成を示す斜視図。

【図6】ロータの分解斜視図。

【図7】ロータの縦断面図。

【図8】ロータ主部において、巻線ユニットを分解して示す斜視図。

50

【図9】ロータ主部の横断面図。

【図10】第1巻線部及び第2巻線部の各導線材を模式的に示す断面図。

【図11】ロータコアの各主極部に巻線部が巻装された状態を示す概略図。

【図12】各巻線部におけるコイル体の接続に関する構成を示す斜視図。

【図13】ロータの電気回路図。

【図14】導線材の断面図。

【図15】部品ホルダにおいてコイル体の導線端部どうしが接合された状態を示す縦断面図。

【図16】第1巻線部及び第2巻線部の各導線材を模式的に示す断面図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本開示に係る回転電機を具体化した一実施形態について、図面を参照しつつ説明する。回転電機は、例えば、電気自動車やハイブリッド自動車等の電動車両において走行動力源として用いられる。

【0010】

まず、図1を用いて、回転電機を備える制御システムについて説明する。制御システムは、直流電源10、インバータ20、制御装置30及び回転電機40を備えている。回転電機40は、巻線界磁型の同期機である。例えば、回転電機40、インバータ20及び制御装置30は機電一体型駆動装置として構成されていてもよいし、回転電機40、インバータ20及び制御装置30それぞれが各コンポーネントで構成されていてもよい。

【0011】

回転電機40は、ハウジング41と、ハウジング41内に収容されるステータ50及びロータ60とを備えている。本実施形態の回転電機40は、ロータ60がステータ50の径方向内側に配置されたインナロータ型の回転電機である。ステータ50は、ステータコア51と、ステータ巻線52とを備えている。ステータ巻線52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52U, 52V, 52Wを含む。ロータ60は、ロータコア61と、界磁巻線70とを備えている。ロータコア61の中心孔には、回転軸32が組み付けられている。回転軸32は、軸受42, 43によりハウジング41に回転可能に支持されている。

【0012】

図2に示すように、インバータ20は、U, V, W相の上アームスイッチSUP, SVP, SWPと、U, V, W相の下アームスイッチSUN, SVN, SWNとの直列接続体を備えている。各相において上アームスイッチSUP, SVP, SWPと下アームスイッチSUN, SVN, SWNとの接続点には、U, V, W相巻線52U, 52V, 52Wの第1端が接続されている。U, V, W相巻線52U, 52V, 52W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、ステータ巻線52は星形結線されている。ただし、ステータ巻線52は、結線されていてもよい。本実施形態において、各スイッチSUP～SWNは、IGBTである。各スイッチSUP～SWN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。

【0013】

各相の上アームスイッチSUP, SVP, SWPのコレクタには、直流電源10の正極端子が接続されている。各相の下アームスイッチSUN, SVN, SWNのエミッタには、直流電源10の負極端子が接続されている。なお、直流電源10には、平滑コンデンサ11が並列接続されている。

【0014】

続いて、図3を用いて、ステータ50及びロータ60について説明する。

【0015】

ステータ50及びロータ60は、いずれも回転軸32と共に同軸上に配置されている。以下の記載では、回転軸32が延びる方向を軸方向とし、回転軸32の中心から放射状に延びる方向を径方向とし、回転軸32を中心として円周状に延びる方向を周方向としている。

10

20

30

40

50

る。

【0016】

ステータコア51は、軟磁性体からなる積層鋼板により構成されており、円環状のバックヨーク51aと、バックヨーク51aから径方向内側に向かって突出する複数のティース51bとを有している。隣り合うティース51bの間に、周方向並ぶ複数のスロット54が形成されている。これら各スロット54に各相の相巻線が所定順序で収容されることにより、ステータ巻線52が構成されている。例えば、ステータ50において、複数の導体セグメントを用いたセグメントコイル構造が採用されているとよい。ただし、ステータ巻線52の構造は任意である。

【0017】

ロータコア61は、軟磁性体からなり、例えば積層鋼板により構成されている。ロータコア61は、円筒状の円筒部61aと、円筒部61a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。主極部62には集中巻により界磁巻線70が巻回されている。本実施形態において、主極部62は、周方向に等間隔で8個設けられている。

【0018】

界磁巻線70は、第1巻線部71a及び第2巻線部71bを備えている。各主極部62には、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。ステータ50との関係で言えば、径方向において第1巻線部71aはステータ50に近い側に、第2巻線部71bはステータ50から遠い側に巻回されている。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の巻方向とは逆になっている。このため、周方向に隣り合う主極部62どうして互いに磁化方向が逆になる。ロータ60では、ロータコア61における各主極部62と、その各主極部62に巻装された界磁巻線70とにより、周方向に並ぶ複数の磁極（界磁極）が形成されている。

【0019】

図4に、主極部62に巻回された各巻線部71a, 71bを備えるロータ60側の電気回路を示す。第1巻線部71a及び第2巻線部71bは直列接続されており、第2巻線部71bには、複数の第1コンデンサ91により構成されるコンデンサ部CCが並列接続されている。コンデンサ部CCは、複数の第1コンデンサ91の並列接続体として構成されている。また、第1巻線部71a及び第2巻線部71bの直列接続体には、第2コンデンサ92が並列接続されている。第2コンデンサ92は、ノイズ抑制用に設けられている。第1コンデンサ91及び第2コンデンサ92は、例えば積層セラミックコンデンサであり、互いに同じ構成のものとしている。

【0020】

各巻線部71a, 71bからなる直列接続体の両端間には整流素子としてのダイオード93が接続されている。つまり、ダイオード93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93のアノードが接続されている。

【0021】

本実施形態では、第1巻線部71a、第1コンデンサ91及びダイオード93により直列共振回路が構成され、第2巻線部71b及び第1コンデンサ91により並列共振回路が構成されている。この場合、第1巻線部71aは第1コンデンサ91に直列接続され、第2巻線部71bは第1コンデンサ91に並列接続されている。直列共振回路の共振周波数である第1共振周波数をf1、並列共振回路の共振周波数である第2共振周波数をf2とすると、これら各共振周波数f1, f2は、下式(1), (2)で表される。L1は第1巻線部71aのインダクタンスであり、L2は第2巻線部71bのインダクタンスであり、Cは第1コンデンサ91の静電容量である。

$$f_1 = 1 / (2 \pi (L_1 \times C)) \quad \dots (1)$$

10

20

30

40

50

$$f_2 = 1 / (2 \times (L_2 \times C)) \dots (2)$$

ステータ巻線 52 に高周波励磁電流が流れると、ステータコア 51 及びロータコア 61 を含む磁気回路に主磁束の高周波成分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、各巻線部 71a, 71b にそれぞれ誘起電圧が発生し、各巻線部 71a, 71b に電流が誘起される。この際、各巻線部 71a, 71b にそれぞれ極性の同じ誘起電圧が発生する場合、各巻線部 71a, 71b 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 93 により、各巻線部 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 93 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 70 が励磁される。

【0022】

10

図 2 の説明に戻り、制御装置 30 は、マイコン（コンピュータに相当）を主体として構成され、マイコンは CPU を備えている。制御装置 30 は、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 30 は、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 52U, 52V, 52W に供給すべく、各スイッチ 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スイッチ SUP ~ SWn のゲートに供給する。

【0023】

制御装置 30 は、各相巻線 52U, 52V, 52W に基本波電流及び高周波励磁電流の合成電流を流すように各スイッチ SUP ~ SWn をオンオフする。基本波電流は、回転電機 40 にトルクを発生させることを主とする電流である。高周波励磁電流は、基本波電流よりも周波数の高い高周波電流であり、界磁巻線 70 を励磁することを主とする電流である。高周波電流として高調波電流を用いることも可能である。各相巻線 52U, 52V, 52W に流れる相電流は、電気角で 120° ずつずれている。

20

【0024】

次に、ロータ 60 の構成をより詳細に説明する。図 5 は、ロータ 60 の全体の構成を示す斜視図であり、図 6 は、ロータ 60 の分解斜視図であり、図 7 は、ロータ 60 の縦断面図である。

【0025】

30

ロータ 60 は大別して、ロータ主部 101 と、ロータ主部 101 の軸方向両側のうち一端側に設けられた回路モジュール 102 と、ロータ主部 101 の軸方向一端側及び他端側に取り付けられた円環部材としてのコイルエンドカバー 103, 104 とを有している。ロータ主部 101 は、図 3 で説明したとおりロータコア 61 と界磁巻線 70 とを備えており、ロータコア 61 の中心孔には回転軸 32 が組み付けられている。界磁巻線 70 は、周方向に並べて配置された複数の巻線ユニット 110 よりなる。

【0026】

回路モジュール 102 は、中空部に回転軸 32 が挿通された状態で、回転軸 32 に固定されている。回路モジュール 102 は、界磁巻線 70 のコイルエンド部に軸方向に対向する位置に設けられている。回路モジュール 102 は、図 4 で説明した各コンデンサ 91, 92、ダイオード 93 や、これら各素子を電気的に接続するバスバー等を備える電気回路部である。

40

【0027】

図 8 は、ロータ主部 101 において、巻線ユニット 110 を分解して示す斜視図であり、図 9 は、ロータ主部 101 の一部について断面構造を示す横断面図である。ロータ主部 101 は、ロータ 60 の磁極ごとに設けられた複数の巻線ユニット 110 を有している。各巻線ユニット 110 は、軸方向を長手方向とする環状に形成され、その中空部分にロータコア 61 の主極部 62 が挿通された状態でロータコア 61 に組み付けられている。

【0028】

巻線ユニット 110 は、主極部 62 への装着状態で径方向外側となる第 1 コイルモジュール 111 と、径方向内側となる第 2 コイルモジュール 112 を有している。第 1 コイルモジュール 111 は、第 1 巾線部 71a に相当するコイルモジュールであり、第 2 コイ

50

ルモジュール 112 は、第 2 卷線部 71b に相当するコイルモジュールである。

【0029】

第 1 コイルモジュール 111 は、平角線からなる導線材がロータ 60 の周方向及び径方向に多重に巻回されてなる環状のコイル体 121 と、そのコイル体 121 に一体に設けられた薄板状の絶縁体 122 を有している。絶縁体 122 は、周方向に延びかつコイル体 121 の径方向外側及び径方向内側を覆う部分と、径方向に延びかつコイル体 121 の中空部を覆う部分とを有している。つまり、コイル体 121 は、径方向内外になる部位と、主極部 62 に対向する内周側の部位とが絶縁体 122 により絶縁被覆されている。

【0030】

第 2 コイルモジュール 112 は、平角線からなる導線材がロータ 60 の周方向及び径方向に多重に巻回されてなる環状のコイル体 123 と、そのコイル体 123 に一体に設けられた薄板状の絶縁体 124 を有している。絶縁体 124 は、周方向に延びかつコイル体 123 の径方向外側及び径方向内側を覆う部分と、径方向に延びかつコイル体 123 の中空部を覆う部分とを有している。つまり、コイル体 123 は、径方向内外になる部位と、主極部 62 に対向する内周側の部位とが絶縁体 124 により絶縁被覆されている。

【0031】

コイル体 121, 123 は、例えば 巻きコイルとして構成され、周回の重なり方向（ロータ周方向）に多重となり、かつ中空部の延びる方向（ロータ径方向）に 2 層となるように導線材が巻回された空芯コイルである。本実施形態では、コイル体 121, 123 の導線材として、導体断面が長辺及び短辺を有する矩形状の平角導線を用いることとしている。コイル体 121, 123 は、導線材の周回により長辺部が多重に重なる向きで巻回されている。平角線は、アルミニウム等からなる導体と、導体を覆う絶縁層とからなる。

【0032】

第 1 コイルモジュール 111 では、1 つのコイル体 121 から軸方向に 2 本の導線端部 125 が引き出されている。第 2 コイルモジュール 112 では、径方向に並ぶ 3 つのコイル体 123 から軸方向に計 6 本の導線端部 126 が引き出されている。

【0033】

図 9 に示すように、第 1 コイルモジュール 111 では、導線材が径方向に 2 層に巻装され、第 2 コイルモジュール 112 では、導線材が径方向に 6 層に巻装されている。コイル体 121, 123 で言えば、第 1 コイルモジュール 111 では、コイル体 121 が径方向に 1 つ設けられ、第 2 コイルモジュール 112 では、コイル体 123 が径方向に 3 つ並べて設けられている。この場合、各主極部 62 における第 2 卷線部 71b の巻き数が、第 1 卷線部 71a の巻き数よりも多くなっている。なお、各コイルモジュール 111, 112 では、周方向の巻き線数（換言すれば周方向の導線材の並び数）が相違しており、径方向外側では径方向内側に比べて巻き線数が多くなっている。これにより、界磁巻線 70 における占積率の向上が図られている。

【0034】

また、ロータ主部 101 においてロータコア 61 の主極部 62 どうしの間には、各主極部 62 に第 1 コイルモジュール 111 及び第 2 コイルモジュール 112 を組み付けた状態で、これら各コイルモジュール 111, 112 の組み付け状態を保持する保持板 127, 128 が設けられている。保持板 127 は、第 1 コイルモジュール 111 の径方向外側に取り付けられ、保持板 128 は、第 1 コイルモジュール 111 と第 2 コイルモジュール 112 との間に取り付けられている。

【0035】

なお、図 6 に示すように、ロータ 60 は、巻線ユニット 110 の軸方向端部に組み付けられるコイルエンドリング 81 を有している。コイルエンドリング 81 は、図 7 に示すように、径方向において第 1 コイルモジュール 111 のコイルエンド部と第 2 コイルモジュール 112 のコイルエンド部との間であって、かつ軸方向において保持板 128 とコイルエンドカバー 103 との間に挟まれた状態で設けられている。

【0036】

10

20

30

40

50

ところで、本実施形態では、巻線界磁型のロータ60において、界磁巻線70である各巻線部71a, 71bと第1コンデンサ91とにより直列共振回路と並列共振回路とを形成するとともに、径方向内側の第2巻線部71bの巻き数を、径方向外側の第1巻線部71aの巻き数よりも多くした構成としている。この場合、第2巻線部71bの巻き数を第1巻線部71aよりも多くすることで、第2巻線部71bのインダクタンスが大きくなり界磁電流の増加が可能となる。ここで、第2巻線部71bの巻き数を第1巻線部71aよりも多くした構成では、第2巻線部71bの電流値（電流実効値）が第1巻線部71aの電流値よりも小さくなり、換言すれば、第2巻線部71bで通電可能とする電流は第1巻線部71aよりも小電流であればよいこととなる。

【0037】

10

この点を鑑み、本実施形態では、第2巻線部71bに用いられる導線材の導体断面積を、第1巻線部71aに用いられる導線材の導体断面積よりも小さくしている。以下に、界磁巻線70の巻線構造に関する特徴点を説明する。

【0038】

図10は、第1巻線部71a及び第2巻線部71bの各導線材C1, C2を模式的に示す断面図である。図10では、主極部62に巻回された状態で第1巻線部71aのコイル体121と第2巻線部71bのコイル体123とが1つずつ示されており、図の上下方向が径方向、図の左右方向が周方向である。

【0039】

20

図10に示すように、コイル体121（第1巻線部71a）の導線材C1と、コイル体123（第2巻線部71b）の導線材C2とは横断面の面積、すなわち導体断面積が相違しており、導線材C2では、導線材C1に比べて導体断面積が小さくなっている。より具体的には、導線材C1の長辺及び短辺の長さ寸法をD1, D2、導線材C2の長辺及び短辺の長さ寸法をD3, D4とする場合に、これら各長さ寸法は、 $D_1 = D_3$ 、 $D_2 > D_4$ の関係になっている。つまり、導線材C2は、導線材C1と比べて長辺の長さ寸法が同じであり、かつ短辺の長さ寸法が小さいものとなっている。この場合、第1巻線部71a及び第2巻線部71bにおいて同じ導体断面積の導線材を用いる場合と比べて、第2巻線部71bにおける巻き数を増やすことが可能になっている。

【0040】

30

また、図9に示すように、ロータコア61では、周方向に隣り合う主極部62の間が導線材の巻回スペースとなっており、径方向で見ると、径方向内側では相対的に巻回スペースが狭くなっている。この点、第2巻線部71bの導線材C2の導体断面積が、第1巻線部71aの導線材C1の導体断面積よりも小さいため、相対的に狭小な巻回スペースであっても導線材C2の巻き数を確保できるものとなっている。

【0041】

図11は、ロータコア61の各主極部62に各巻線部71a, 71bが巻装された状態を示す概略図である。図11では、径方向外側の導体2層分を第1巻線部71aとし、その径方向内側の導体4層分を第2巻線部71bとしている。第1巻線部71aは、周方向に並ぶ各主極部62にコイル体121が各々組み付けられ、かつそのコイル体121が直列接続されることにより構成されている。ここでは、第1巻線部71aを構成する各コイル体121を、時計回り方向で順にC11, C12, C13, ... C18としており、それら各コイル体C11 ~ C18が周方向に隣り合うものどうしで直列に接続されることにより、第1巻線部71aが構成されている。

40

【0042】

また、第2巻線部71bは、周方向に並ぶ各主極部62にコイル体123が各々2つずつ組み付けられ、かつそのコイル体123が直列接続されることにより構成されている。ここでは、第2巻線部71bのうち第1巻線部71aの隣の各コイル体123を、順にC21, C22, C23, ... C28とし、その径方向内側の各コイル体123を、順にC31, C32, C33, ... C38としている。第2巻線部71bは、各コイル体C21 ~ C28の直列接続体の一端と、各コイル体C31 ~ C38の直列接続体の一端とが接続され

50

ることにより構成されている。図11では、説明の便宜上、各主極部62に組み付けられるコイル体123を2個ずつとしたが、これを3個以上とする場合も同様である。

【0043】

図12は、ロータ60において、各巻線部71a, 71bにおけるコイル体121, 123の接続に関する構成を示す斜視図である。図12には、ロータ主部101の軸方向片側に回路モジュール102が組み付けられた状態が示されている。

【0044】

回路モジュール102は、上述した各コンデンサ91, 92やダイオード93を保持する部品ホルダ130を備えている。部品ホルダ130は、合成樹脂等の電気的絶縁性を有する材料にて構成されている。部品ホルダ130は、円環状をなす本体部131と、本体部131から径方向外側に向けて放射状に延びる複数の導線固定部132とを備えている。図12では樹脂モールド部105により覆われて不図示となっているが、本体部131には、回転軸32を囲む円環状となる位置に、各コンデンサ91, 92やダイオード93が並べて設けられている。

【0045】

部品ホルダ130には、主極部62と同数(8つ)の導線固定部132が設けられている。各導線固定部132には、軸方向に貫通する複数の挿通孔133が形成されている。これら各挿通孔133には、各巻線部71a, 71bのコイル体121, 123から延びる導線端部125, 126が挿通され、導線端部125, 126に挿通された導線端部125, 126どうしが溶接等により接合されている。

【0046】

8つの導線固定部132のうち、図12に示した3つの導線固定部132A, 132B, 132Cについて詳しく説明する。

【0047】

導線固定部132Aでは、径方向に4列に並ぶ各コイル体121, 123について同列のコイル体どうしが接続されている。具体的には、導線固定部132Aにおいて、接続部X1では、周方向に隣り合う各コイル体121の導線端部125が1つずつ挿通孔133に挿通され、その導線端部125どうしが接続されている。また、接続部X2～X4ではそれぞれ、周方向に隣り合う各コイル体123の導線端部126が1つずつ挿通孔133に挿通され、その導線端部126どうしが接続されている。接続部X5では、第1コンデンサ91との接続のためのバスバー141, 142が接続されている。

【0048】

接続部X1～X4、すなわち各コイル体121, 123の導線端部125どうし又は導線端部126どうしが接続される部位では、平角線である導線材の長辺どうしが互いに接合された状態で溶接等により各コイル体121, 123が接続されている。この場合、導線材の短辺どうしが互いに接合される構成に比べて大きい接合面が確保できる。そのため、強度面及び導通性のいずれにおいても適正な接続が可能となっている。

【0049】

導線固定部132Aでは、3箇所の接続部X2～X4においてコイル体123の導線端部126どうしが接続されている。つまり、第2巻線部71bでは、周方向に並ぶコイル体123と同数の箇所で導線端部126どうしが接続されている。ここで、コイル体123の導線材C2の導体断面積をコイル体121の導線材C1よりも小さくする構成として、仮に第2巻線部71bにおいて導線材C2の径方向の幅寸法を導線材C1よりも小さくすると、径方向に並ぶコイル体123の数が増え、コイル体123どうしを接続する接続箇所が増える。この点、本実施形態では、導線材C2の断面積縮小のための構成として、導線材C2の周方向の幅寸法を導線材C1よりも小さくしたため、径方向に並ぶコイル体123の数が増えることはない。これにより、コイル体123どうしの接続箇所の増えることによる作業性の低下が抑制されている。

【0050】

一方、導線固定部132Bでは、各列のコイル体121, 123において異なる列のも

10

20

30

40

50

のどうしの接続（レーンチェンジ接続）や、バスバーを介しての各コンデンサ 9 1 , 9 2 やダイオード 9 3 との接続が行われている。具体的には、導線固定部 1 3 2 B において、接続部 Y 1 では、第 1 卷線部 7 1 a のコイル体 1 2 1 の導線端部 1 2 5 と、第 2 コンデンサ 9 2 用のバスバー 1 4 3 の一方の端部と、ダイオード 9 3 のカソード接続用のバスバー 1 4 4 の端部とが接続されている。この接続部 Y 1 の接続は、図 1 3 の回路図において接続点 A 1 の接続に相当する。また、接続部 Y 2 では、第 1 卷線部 7 1 a のコイル体 1 2 1 の導線端部 1 2 5 と、第 2 卷線部 7 1 b のコイル体 1 2 3 の導線端部 1 2 6 と、第 1 コンデンサ 9 1 用のバスバー 1 4 2 の端部とが接続されている。この接続部 Y 2 の接続は、図 1 3 の回路図において接続点 A 2 の接続に相当する。

【 0 0 5 1 】

10

接続部 Y 2 においてコイル体 1 2 1 , 1 2 3 の導線端部 1 2 5 , 1 2 6 の接続は、導体断面積が相違する導線材 C 1 , C 2 (図 1 0 参照) が接合された状態で行われる。具体的には、コイル体 1 2 1 , 1 2 3 の導線材 C 1 , C 2 は、長辺どうしが互いに接合された状態で溶接等により接続されている。この場合、コイル体 1 2 1 , 1 2 3 の各導線材 C 1 , C 2 は、導体断面積が相違しているものの、コイル体 1 2 3 の導線材 C 2 は、コイル体 1 2 1 の導線材 C 1 と比べて長辺の長さ寸法が同じであるため、互いの接合面が十分に確保できるものとなっている。

【 0 0 5 2 】

接続部 Y 3 , Y 4 ではそれぞれ、異なる列の各コイル体 1 2 3 の導線端部 1 2 6 どうしが接続されている。接続部 Y 5 では、第 2 コンデンサ 9 2 との接続のためのバスバー 1 4 3 , 1 4 5 が接続されている。

20

【 0 0 5 3 】

また、導線固定部 1 3 2 C において、接続部 Z 1 では、第 2 卷線部 7 1 b のコイル体 1 2 3 の導線端部 1 2 6 と、各コンデンサ 9 1 , 9 2 共通のバスバー 1 4 6 の端部と、ダイオード 9 3 のアノード接続用のバスバー 1 4 7 の端部とが接続されている。この接続部 Z 1 の接続は、図 1 3 の回路図において接続点 A 3 の接続に相当する。

【 0 0 5 4 】

第 1 卷線部 7 1 a 及び第 2 卷線部 7 1 b の少なくともいずれかの導線材 C 1 , C 2 は、複数の素線を束ねた束線（分割線）であるとよい。

30

【 0 0 5 5 】

具体的には、図 1 4 (a) に示すように、導線材 C 1 は、複数の素線 1 5 1 とそれら各素線 1 5 1 を外周側から覆う外周被覆部 1 5 2 とにより構成されている。また、図 1 4 (b) に示すように、導線材 C 2 は、同じく複数の素線 1 5 1 とそれら各素線 1 5 1 を外周側から覆う外周被覆部 1 5 2 とにより構成されている。導線材 C 1 , C 2 は、いずれも同じ素線 1 5 1 を用いて構成されているが、素線 1 5 1 の数の違いにより横断面が異なるものとなっている。素線 1 5 1 は、導体とその導体を覆う絶縁被膜とを有する被覆導線であるとよい。なお、各導線材 C 1 , C 2 において互いに異なる素線 1 5 1 を用いる構成としてもよく、例えば導線材 C 1 の素線 1 5 1 の断面積を、導線材 C 2 の素線 1 5 1 の断面積よりも大きくしてもよい。素線 1 5 1 は、横断面が矩形状の角線としているが、丸線であってもよい。導線材 C 1 , C 2 は、複数の素線 1 5 1 が撲られている撲り線であってよい。

40

【 0 0 5 6 】

回転電機 4 0 において、ロータ 6 0 の界磁巻線 7 0 には励磁周波数に対応した高周波電流が流れるため、各巻線部 7 1 a , 7 1 b では表皮効果の影響を受けることが考えられる。この点、各巻線部 7 1 a , 7 1 b の導線材 C 1 , C 2 を、複数の素線 1 5 1 を束ねた束線、すなわち導体断面を複数に分割した分割線とすることにより、各巻線部 7 1 a , 7 1 b における表皮効果の影響が低減される。

【 0 0 5 7 】

また、界磁巻線 7 0 では、径方向外側の第 1 卷線部 7 1 a がステータ 5 0 に近い側、径方向内側の第 2 卷線部 7 1 b がステータ 5 0 から遠い側となっており、第 1 卷線部 7 1 a

50

では、ステータ 50 からの高周波励磁磁束の漏れ磁束が鎖交することで渦電流損が発生することが懸念される。その対策として、第 1 巻線部 71a の導体材料の体積抵抗率を、第 2 巻線部 71b の導体材料の体積抵抗率よりも大きくするとよい。

【0058】

具体的には、例えば第 1 巻線部 71a (コイル体 121) の導体材料をアルミニウムとし、第 2 巻線部 71b (コイル体 123) の導体材料を銅とする。第 1 巻線部 71a の導体材料を CNT (カーボンナノチューブ) とし、第 2 巻線部 71b の導体材料を銅とすることも可能である。これにより、第 1 巻線部 71a において漏れ磁束の影響が軽減され、渦電流損の低減が可能となる。また、各巻線部 71a, 71b の線材を互いに異なるものとし、漏れ磁束の影響が比較的小さい第 2 巻線部 71b については電気抵抗の小さい材質にしたため、第 2 巻線部 71b での電流減少が抑制されるものとなっている。10

【0059】

第 1 巻線部 71a をアルミ線、第 2 巻線部 71b を銅線とする場合、第 1 巻線部 71a の導体材料が、第 2 巻線部 71b の導体材料に比べて体積抵抗率が大きくかつ比重が小さいものとなる。これにより、径方向外側 (ステータ 50 側) の第 1 巻線部 71a において、ステータ 50 からの漏れ磁束に起因する渦電流損の低減に加え、ロータ回転時の遠心力の低減が可能となっている。

【0060】

第 1 巻線部 71a と第 2 巻線部 71b とが互いに異なる材料である場合には、その接合部分への水分の付着によりガルバニック腐食が発生することが懸念される。この点を鑑み、第 1 巻線部 71a 及び第 2 巻線部 71b における導線材どうしの接合部分が絶縁材により覆われているとよい。20

【0061】

図 15 は、回路モジュール 102 の部品ホルダ 130 において、コイル体 121 の導線端部 125 とコイル体 123 の導線端部 126 とが接合された状態を示す縦断面図である。図 15 では、コイル体 121, 123 の導線端部 125, 126 が、部品ホルダ 130 の導線固定部 132 において挿通孔 133 に挿通され、その先端側において溶接等により接合されている。そして、導線端部 125, 126 の接合部分を覆うようにして、エポキシ樹脂等の樹脂材よりなる樹脂被覆部 161 が形成されている。樹脂被覆部 161 は、導線端部 125, 126 の接合部分の全体を覆い、かつその一部が導線固定部 132 の挿通孔 133 内に入り込む状態で設けられているとよい。樹脂被覆部 161 により、第 1 巻線部 71a と第 2 巻線部 71b とを異なる材料としてもその接合部分のガルバニック腐食が抑制される。30

【0062】

なお、樹脂被覆部 161 は、コイル体 121 の導線端部 125 とコイル体 123 の導線端部 126 との接合部分だけでなく、他の接合部分、すなわちコイル体 121 の導線端部 125 どうしの接合部分や、コイル体 123 の導線端部 126 どうしの接合部分にも設けられているとよい。

【0063】

以上詳述した本実施形態によれば、以下の優れた効果が得られる。

【0064】

界磁巻線 70 において、第 1 巻線部 71a の導体材料の体積抵抗率を、第 2 巻線部 71b の導体材料の体積抵抗率よりも大きくした。これにより、第 1 巻線部 71a において漏れ磁束の影響を軽減できる。その結果、界磁巻線 70 を構成する各巻線部 71a, 71b のうちステータ 50 側となる第 1 巻線部 71a での渦電流損を低減することができる。40

【0065】

また、界磁巻線 70 において、第 1 巻線部 71a の導体材料を、第 2 巻線部 71b の導体材料に比べて、体積抵抗率が大きく、かつ比重が小さいものとした。つまり、径方向外側の第 1 巻線部 71a の導線材として、相対的に高抵抗かつ軽量となる高抵抗軽量材を用いる構成とした。これにより、第 1 巻線部 71a において渦電流損の低減に加え、ロータ

10

20

30

40

50

回転時の遠心力の低減を図ることができる。

【0066】

回転電機40では、ロータ60の界磁巻線70に励磁周波数に対応した高周波電流が流れるため、各巻線部71a, 71bにおいて表皮効果の影響を受けることが考えられる。この点、各巻線部71a, 71bの導線材として束線を用いることで、各巻線部71a, 71bにおける表皮効果の影響を低減し、更なる損失抑制を図ることができる。

【0067】

界磁巻線70の第1巻線部71aと第2巻線部71bとが互いに異なる材料である場合には、その接合部分への水分の付着によりガルバニック腐食が発生することが懸念される。この点を鑑み、第1巻線部71a及び第2巻線部71bにおける導線材どうしの接合部分を絶縁材により覆う構成とした。これにより、第1巻線部71aと第2巻線部71bとを異なる材料としてもその接合部分のガルバニック腐食を抑制することができる。10

【0068】

(他の実施形態)

上記実施形態を例えれば次のように変更してもよい。

【0069】

- ・各巻線部71a, 71bの導線材C1, C2は、いずれか一方のみが束線である構成、又は導線材C1, C2の両方が束線でない構成であってもよい。

【0070】

図16には、第1巻線部71aの導線材C1を束線とし、第2巻線部71bの導線材C2を束線でなく単線とした構成を示す。この場合、ステータ50からの高周波励磁磁束の漏れ磁束を受けやすい第1巻線部71aにおいて過電流損の低減効果を高めることができる。一方、束線は単線に比べて外径寸法のばらつきが生じやすく、主極部62の径方向内側となる部位に巻回される第2巻線部71bを束線にすると、相対的に狭小となるスペースにおいて寸法ばらつきに起因して導線材の巻回に支障が生じることが懸念される。この点、第2巻線部71bを束線とせず単線にすることで、導線材の巻回に支障が生じることを抑制できる。20

【0071】

- ・上記実施形態では、第2巻線部71bの導線材C2の導体断面積を第1巻線部71aの導線材C1の導体断面積よりも小さくする構成として、導線材C2において導線材C1と比べて長辺の長さ寸法を同じとし、かつ短辺の長さ寸法を小さくしたが(図10参照)、これを変更してもよい。例えば、導線材C2は、導線材C1と比べて短辺の長さ寸法が同じであり、かつ長辺の長さ寸法が小さい構成であってもよい。又は、導線材C2は、導線材C1と比べて長辺及び短辺の長さ寸法が小さい構成であってもよい。30

【0072】

- ・上記実施形態では、各巻線部71a, 71bの導線材をいずれも平角線としたが、これを変更してもよい。例えば、各巻線部71a, 71bのうち一方の導線材を平角線とし、他方の導線材を丸線としてもよい。又は、両方の導線材を丸線とすることも可能である。

【0073】

- ・上記実施形態では、各巻線部71a, 71bにおいてコイル体121, 123の導線端部どうしを溶接により接合する構成としたが、これを変更し、導線端部どうしをカシメやボルト締結などにより接合する構成としてもよい。40

【0074】

- ・各巻線部71a, 71bの導体材料を同じものにすることも可能である。具体的には、各巻線部71a, 71bの導体材料を、例えばアルミニウム、銅、CNTのいずれかにすることが可能である。

【0075】

- ・回転電機は、インナロータ型の回転電機に限らず、アウタロータ型の回転電機であってもよい。アウタロータ型の回転電機では、ステータ50が径方向内側、ロータ60が径

方向外側に配置される。この場合、主極部 6 2 は、ロータコアの環状ヨーク部から径方向内側に突出している。界磁巻線 7 0 において、第 1 巾線部 7 1 a は、径方向内側（ステータ 5 0 側）に配置され、第 2 巾線部 7 1 b は、径方向外側（反ステータ側）に配置されるといい。

【 0 0 7 6 】

・ステータ 5 0 において、ステータコアは、ティースが設けられていないティースレスコアであってもよい。

【 0 0 7 7 】

・回転電機としては、車載主機として用いられる回転電機に限らず、例えば、電動機兼発電機である I S G (Integrated Starter Generator) として用いられる回転電機であってもよい。10

【 0 0 7 8 】

・回転電機システムが搭載される移動体としては、車両に限らず、例えば、航空機又は船舶であってもよい。また、回転電機システムは、移動体に搭載されるシステムに限らず、定置式のシステムであってもよい。

【 0 0 7 9 】

上述の実施形態から抽出される技術思想を以下に記載する。

[構成 1]

ステータ巻線（ 5 2 ）を有するステータ（ 5 0 ）と、

周方向に並ぶ磁極ごとに設けられ径方向に突出する主極部（ 6 2 ）を有するロータコア（ 6 1 ）と、前記主極部に巻回された界磁巻線（ 7 0 ）とを有するロータ（ 6 0 ）と、を備え。20

前記界磁巻線に界磁電流を誘起させるための高周波電流が前記ステータ巻線に流れる巻線界磁型回転電機（ 4 0 ）であって、

前記界磁巻線は、第 1 巾線部（ 7 1 a ）及び第 2 巾線部（ 7 1 b ）の直列接続体を有し、径方向において前記第 1 巾線部を前記ステータに近い側、前記第 2 巾線部を前記ステータから遠い側にして、これら各巾線部が前記各主極部に巻回されており、

前記第 1 巾線部は、コンデンサ（ 9 1 ）に直列接続されることにより直列共振回路を構成し、前記第 2 巾線部は、前記コンデンサに並列接続されることにより並列共振回路を構成するものであり。30

前記第 1 巾線部の導体材料の体積抵抗率が、前記第 2 巾線部の導体材料の体積抵抗率よりも大きい、巻線界磁型回転電機。

[構成 2]

前記ステータを径方向外側、前記ロータを径方向内側に配置したインナロータ構造の巻線界磁型回転電機であり、

前記第 1 巾線部の導体材料は、前記第 2 巾線部の導体材料よりも比重が小さい、構成 1 に記載の巻線界磁型回転電機。40

[構成 3]

前記第 1 巾線部及び前記第 2 巾線部の少なくともいずれかの導線材は、複数の素線を束ねた束線である、構成 1 又は 2 に記載の巻線界磁型回転電機。

[構成 4]

前記ステータを径方向外側、前記ロータを径方向内側に配置したインナロータ構造の巻線界磁型回転電機であり、

前記第 1 巾線部の導線材は、複数の素線を束ねた束線であり、前記第 2 巾線部の導線材は前記束線でない、構成 1 又 2 に記載の巻線界磁型回転電機。

[構成 5]

前記第 1 巾線部及び前記第 2 巾線部は、各々の導線材が互いに接合されることで電気的に接続されるものであり、

前記第 1 巾線部及び前記第 2 巾線部における導線材どうしの接合部分は絶縁材により覆われている、構成 1 ~ 4 のいずれかに記載の巻線界磁型回転電機。50

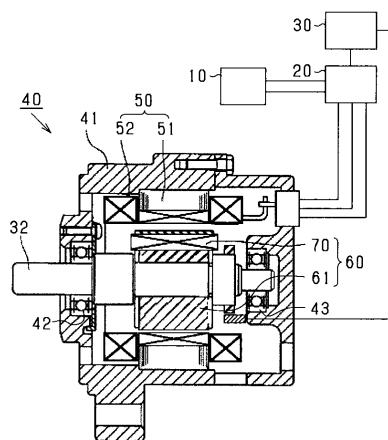
【符号の説明】

【0080】

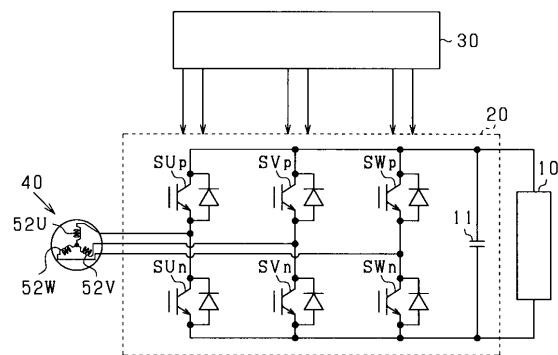
40...回転電機、50...ステータ、52...ステータ巻線、60...ロータ、61...ロータコア、62...主極部、70...界磁巻線、71a...第1巻線部、71b...第2巻線部。

【図面】

【図1】



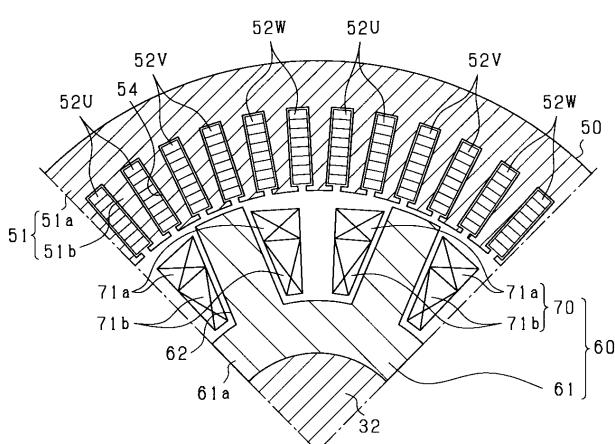
【図2】



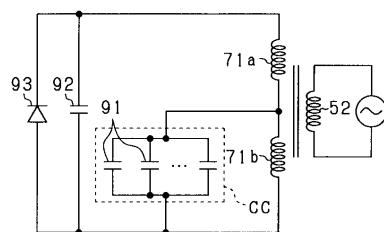
10

20

【図3】



【図4】

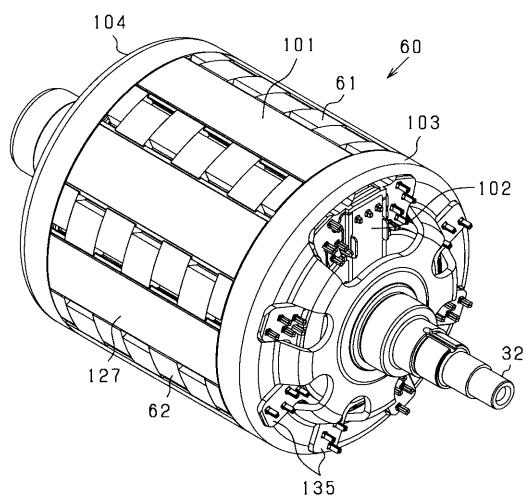


30

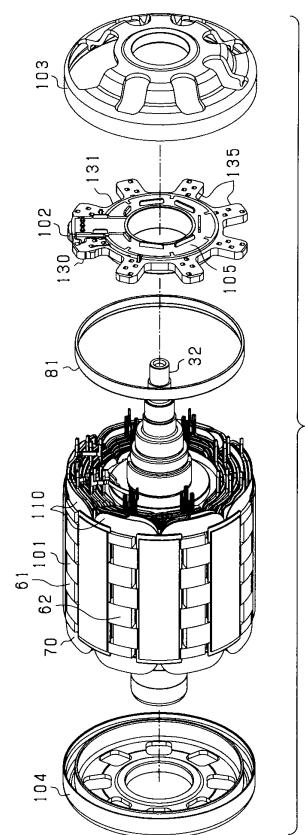
40

50

【図5】



【図6】



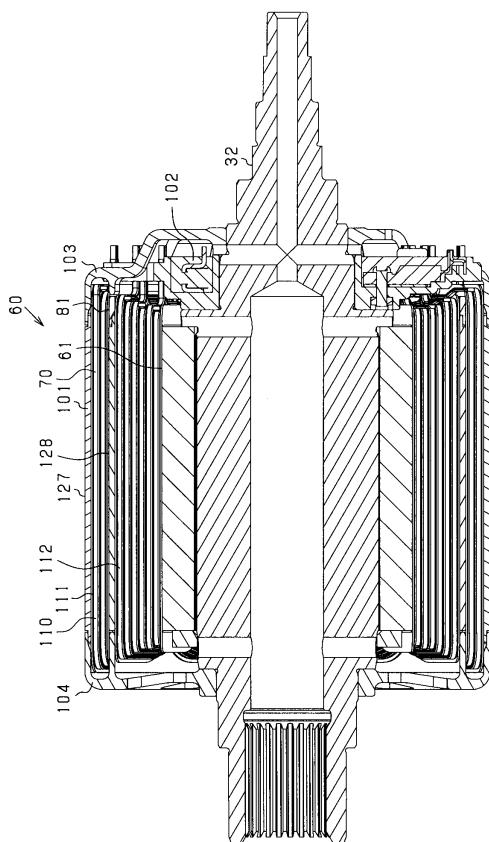
10

20

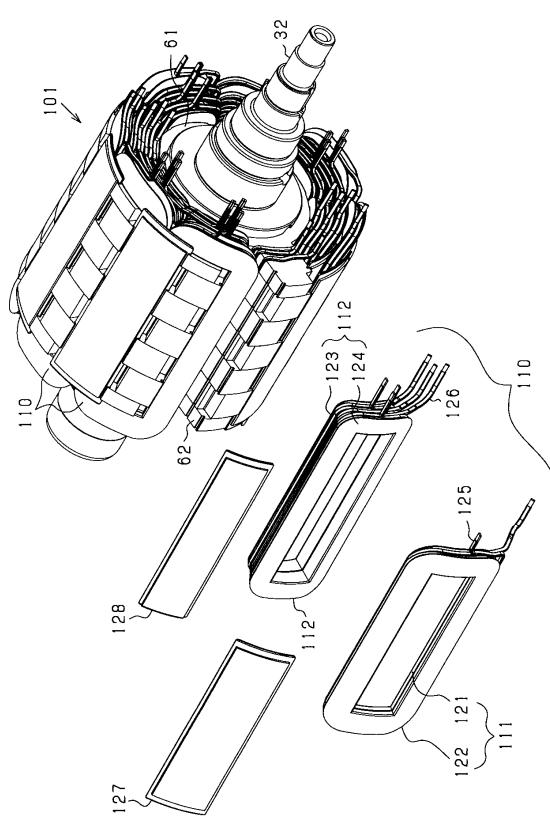
30

40

【図7】

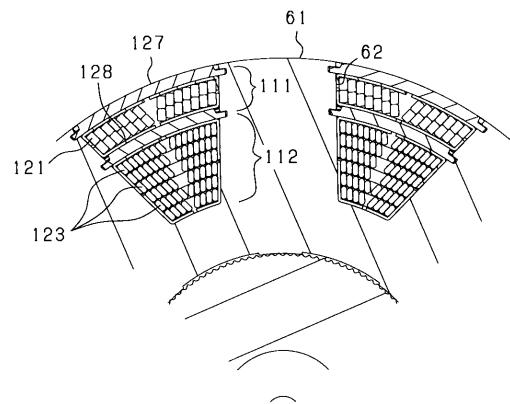


【図8】

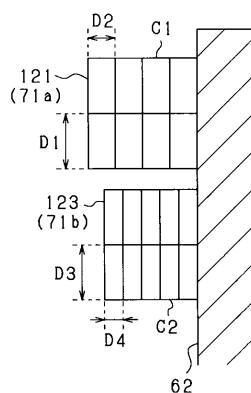


50

【図 9】

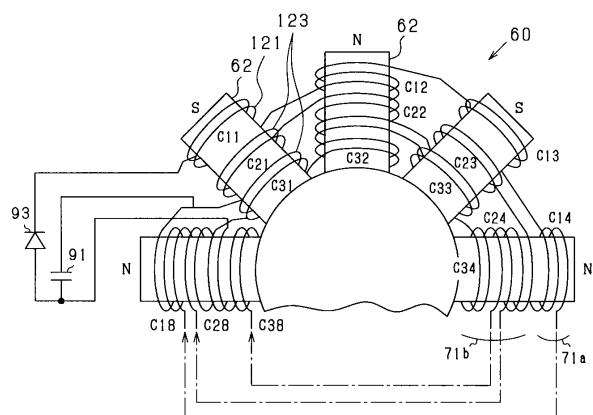


【図 10】

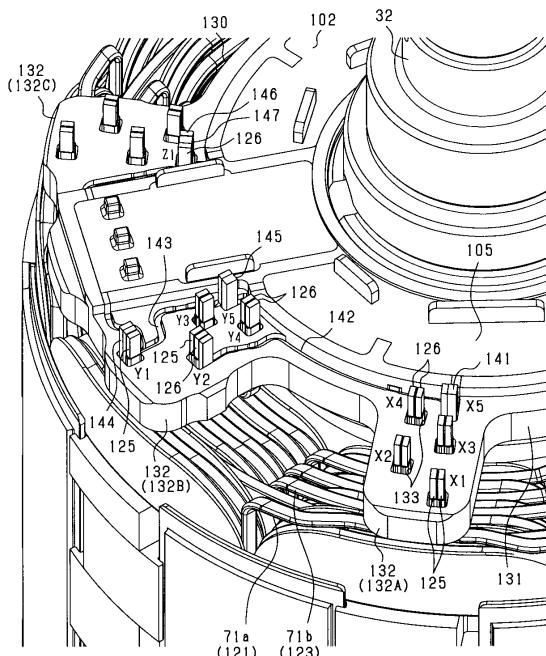


10

【図 11】



【図 12】



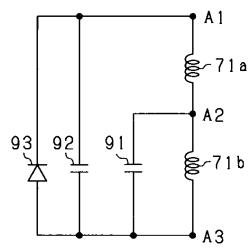
20

30

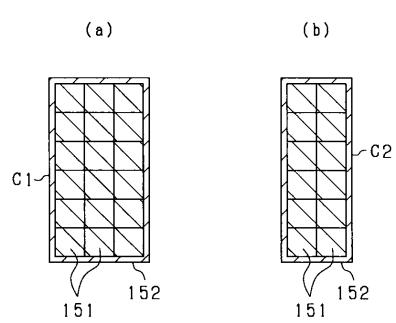
40

50

【図13】

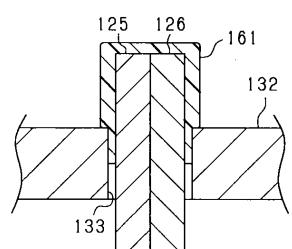


【図14】

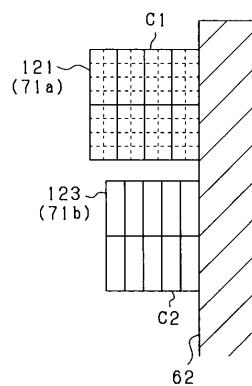


10

【図15】



【図16】



20

30

40

50

フロントページの続き

会社デンソー内

(72)発明者 松田 匡史

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 金田 吉正

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 土屋 裕之

愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内

F ターム（参考） 5H619 BB01 BB02 BB06 BB13 PP12 PP13 PP33