

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6501507号  
(P6501507)

(45) 発行日 平成31年4月17日(2019.4.17)

(24) 登録日 平成31年3月29日(2019.3.29)

(51) Int.Cl.		F 1	
<b>HO2K</b>	<b>19/12</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K 19/12
<b>HO2P</b>	<b>25/16</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2P 25/16
<b>HO2K</b>	<b>16/02</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K 16/02

請求項の数 6 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2014-242388 (P2014-242388)	(73) 特許権者	000001236 株式会社小松製作所 東京都港区赤坂二丁目3番6号
(22) 出願日	平成26年11月28日(2014.11.28)	(73) 特許権者	504176911 国立大学法人大阪大学 大阪府吹田市山田丘1番1号
(65) 公開番号	特開2016-13050 (P2016-13050A)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(43) 公開日	平成28年1月21日(2016.1.21)	(72) 発明者	平田 勝弘 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法 人大阪大学内
審査請求日	平成29年10月2日(2017.10.2)	(72) 発明者	新口 昇 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法 人大阪大学内
(31) 優先権主張番号	特願2014-113771 (P2014-113771)		
(32) 優先日	平成26年6月2日(2014.6.2)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機及び回転電機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の突極を有するローターと、

前記ローターの径方向外側に配置されて前記ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び前記構造体の周方向に沿って設けられた  $6 \times n$  個の巻線を有し、かつ界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記ローターを3相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて前記巻線に入力されるステーターと、を含み、

前記突極の数を  $m$ 、前記界磁磁束の次数を  $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を  $p$  としたとき、 $m - k = p$  となる、回転電機。

$n$  は1以上の自然数であり、 $p$ 、 $m$ 及び $k$ は1以上の自然数である。

【請求項2】

前記界磁信号は、直流電圧又は所定の周期の交流電圧である、請求項1に記載の回転電機。

【請求項3】

回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の突極を有するローターと、前記ローターの径方向外側に配置されて前記ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び  $6 \times n$  個の巻線を前記構造体の周方向に沿って有し、かつ前記突極の数を  $m$ 、界磁磁束の次数を  $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に

10

20

与えたときに発生する電機子の磁束の次数を  $p$  としたとき、 $m - k = p$  となる回転電機を制御するにあたり、

前記回転電機に界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記回転電機を3相の回転電機として駆動するための駆動信号とを重畳して前記巻線に出力する、回転電機の制御装置。  
 $p$ 、 $m$  及び  $k$  は1以上の自然数である。

【請求項4】

回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の第1磁極を有する第1ローターと、

前記第1磁極よりも多い数の第2磁極を有し、かつ前記第1ローターの径方向外側に設けられて前記回転軸を中心として回転する第2ローターと、

前記第2ローターの径方向外側に配置されて前記第2ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び前記構造体の周方向に沿って設けられた  $6 \times n$  個の巻線を有し、かつ界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記第1ローターを3相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて前記巻線にされるステーターと、

を含み、前記第1磁極の数を  $m_1$ 、前記第2磁極の数を  $m_2$ 、前記界磁磁束の次数を  $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を  $p$  としたとき、 $m_1 = k + p$  かつ  $m_2 = 2 \times k + m_1$  となる、

回転電機。

$n$ 、 $p$ 、 $m_1$ 、 $m_2$  及び  $k$  は1以上の自然数である。

【請求項5】

前記界磁信号は、直流電圧又は所定の周期の交流電圧である、請求項4に記載の回転電機。

【請求項6】

回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の第1磁極を有する第1ローターと、前記第1磁極よりも多い数の第2磁極を有し、かつ前記第1ローターの径方向外側に設けられて前記回転軸を中心として回転する第2ローターと、前記第2ローターの径方向外側に配置されて前記第2ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び前記構造体の周方向に沿って設けられた  $6 \times n$  個の巻線を有するステーターと、を含み、前記第1磁極の数を  $m_1$ 、前記第2磁極の数を  $m_2$ 、界磁磁束の次数を  $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を  $p$  としたとき、 $m_1 = k + p$  かつ  $m_2 = 2 \times k + m_1$  となる、回転電機を制御するにあたり、

前記回転電機に界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記回転電機を3相の回転電機として駆動するための駆動信号とを重畳して前記巻線に出力する、回転電機の制御装置。

$n$ 、 $p$ 、 $m_1$ 、 $m_2$  及び  $k$  は1以上の自然数である。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機及び回転電機の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電機子巻線と界磁巻線とを備えた電動機がある（例えば、特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2013-201869号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に記載された発明は、電機子巻線と界磁巻線とを有しているため、特許文献

10

20

30

40

50

1に記載された回転機を制御するための制御装置は、界磁用の回路と駆動用の回路とが必要になり、制御装置が複雑になる。

【0005】

本発明は、簡易な機器で回転電機の界磁磁束及び電機子の磁束の両方を制御できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の突極を有するローターと、前記ローターの径方向外側に配置されて前記ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び前記構造体の周方向に沿って設けられた $6 \times n$ 個の巻線を有し、かつ界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記ローターを3相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて前記巻線に輸入されるステーターと、を含む、回転電機である。 $n$ は1以上の自然数である。回転電機とは、電力を生み出す発電機としての機能と、電力が供給されて動力を発生する電動機としての機能との少なくとも一方を備える機器である。

10

【0007】

前記突極の数を $m$ 、前記界磁磁束の次数を $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を $p$ としたとき、 $m - k = p$ となることが好ましい。 $p$ 、 $m$ 及び $k$ は1以上の自然数である。

【0008】

前記界磁信号は、直流電圧又は所定の周期の交流電圧であることが好ましい。

20

【0009】

本発明は、回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の突極を有するローターと、前記ローターの径方向外側に配置されて前記ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び $6 \times n$ 個の巻線を前記構造体の周方向に沿って有し、かつ前記突極の数を $m$ 、界磁磁束の次数を $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を $p$ としたとき、 $m - k = p$ となる回転電機を制御するにあたり、前記回転電機に界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記回転電機を3相の回転電機として駆動するための駆動信号とを重畳して前記巻線に出力する、回転電機の制御装置である。 $p$ 、 $m$ 及び $k$ は1以上の自然数である。

30

【0010】

本発明は、回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の第1磁極を有する第1ローターと、前記第1磁極よりも多い数の第2磁極を有し、かつ前記第1ローターの径方向外側に設けられて前記回転軸を中心として回転する第2ローターと、前記ローターの径方向外側に配置されて前記ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び前記構造体の周方向に沿って設けられた $6 \times n$ 個の巻線を有し、かつ界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記ローターを3相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて前記巻線に輸入されるステーターと、を含み、前記第1磁極の数を $m_1$ 、前記第2磁極の数を $m_2$ 、前記界磁磁束の次数を $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を $p$ としたとき、 $m_1 = k + p$ かつ $m_2 = 2 \times k + m_1$ となる、回転電機である。 $n$ 、 $p$ 、 $m_1$ 、 $m_2$ 及び $k$ は1以上の自然数である。

40

【0011】

前記界磁信号は、直流電圧又は所定の周期の交流電圧であることが好ましい。

【0012】

本発明は、回転軸を中心として回転し、かつ前記回転軸と直交する方向に突出する複数の第1磁極を有する第1ローターと、前記第1磁極よりも多い数の第2磁極を有し、かつ前記第1ローターの径方向外側に設けられて前記回転軸を中心として回転する第2ローターと、前記ローターの径方向外側に配置されて前記ローターの周囲を取り囲む環状の構造体及び前記構造体の周方向に沿って設けられた $6 \times n$ 個の巻線を有し、かつ界磁磁束を発

50

生させるための界磁信号と前記ローターを3相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて前記巻線に輸入されるステータと、を含み、前記第1磁極の数を $m_1$ 、前記第2磁極の数を $m_2$ 、前記界磁磁束の次数を $k$ 、3相の回転電機として駆動するための駆動信号を前記巻線に与えたときに発生する電機子の磁束の次数を $p$ としたとき、 $m_1 = k + p$ かつ $m_2 = 2 \times k + m_1$ となる、回転電機を制御するにあたり、前記回転電機に界磁磁束を発生させるための界磁信号と前記回転電機を3相の回転電機として駆動するための駆動信号とを重畳して前記巻線に出力する、回転電機の制御装置である。 $n$ 、 $p$ 、 $m_1$ 、 $m_2$ 及び $k$ は1以上の自然数である。

【発明の効果】

【0013】

10

本発明は、簡易な機器で回転電機の界磁磁束及び電機子の磁束の両方を制御できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、実施形態1に係る回転電機を、その回転軸を通りかつ回転軸を含む平面で切った断面図である。

【図2】図2は、実施形態1に係る回転電機が備える巻線の配線を示す図である。

【図3】図3は、実施形態1に係る回転電機及びこの回転電機を制御する回転電機の制御装置を示す図である。

【図4】図4は、制御装置の制御部を説明するための図である。

【図5】図5は、実施形態1に係る回転電機の相電流と時間との関係を示す図である。

20

【図6】図6は、実施形態1に係る回転電機の相電流と時間との関係を示す図である。

【図7】図7は、実施形態1に係る回転電機の回転速度とトルクとの関係の評価した結果を示す図である。

【図8】図8は、図7に示される例よりも界磁電圧を大きくしたときにおける、実施形態1に係る回転電機の回転速度とトルクとの関係の評価した結果を示す図である。

【図9】図9は、回転電機の電機子磁束と界磁磁束とを示す図である。

【図10】図10は、実施形態1の第1変形例に係る回転電機を、その回転軸を通りかつ回転軸を含む平面で切った断面図である。

【図11】図11は、実施形態1の第2変形例に係る回転電機を、その回転軸を通りかつ回転軸を含む平面で切った断面図である。

30

【図12】図12は、実施形態2に係る回転電機を、その回転軸を通りかつ回転軸 $Z_r$ を含む平面で切った断面図である。

【図13】図13は、実施形態2に係る回転電機を、その回転軸を通りかつ回転軸を含む平面で切った断面図である。

【図14】図14は、実施形態1に係る回転電機の誘起電圧と界磁電圧との関係を示す図である。

【図15】図15は、実施形態2に係る回転電機の誘起電圧と界磁電圧との関係を示す図である。

【図16】図16は、実施形態2に係る回転電機の誘起電圧と界磁電圧の関係を示す図である。

40

【図17】図17は、実施形態2に係る回転電機の界磁電圧を変化させたときのトルクと回転速度との関係を示す図である。

【図18】図18は、実施形態3に係る回転電機を、その回転軸を通りかつ回転軸を含む平面で切った断面図である。

【図19】図19は、第1ローターの回転原理を説明するための図である。

【図20】図20は、第1ローターの回転原理を説明するための図である。

【図21】図21は、第1ローター及び第2ローターの回転速度の時間変化を示す図である。

【図22】図22は、実施形態3に係る回転電機の界磁電圧を変化させたときにおける回転速度とトルクとの関係を示す図である。

50

【図 2 3】図 2 3 は、実施形態 3 に係る回転電機の界磁電圧と最大伝達トルクとの関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。

【0016】

< 回転電機の構造 >

図 1 は、実施形態 1 に係る回転電機 1 を、その回転軸  $Z_r$  を通りかつ回転軸  $Z_r$  を含む平面で切った断面図である。図 2 は、実施形態 1 に係る回転電機 1 が備える巻線 3 C の配線を示す図である。回転電機 1 は、ローター 2 と、ステーター 3 とを含む。ローター 2 は、回転軸  $Z_r$  を中心として回転する。ローター 2 は、本体部 2 B と、複数の突極 2 T とを有する。複数の突極 2 T は、本体部 2 B の表面 2 B S から、回転軸  $Z_r$  と直交する方向に突出する。本実施形態において、ローター 2 は、10 個の突極 2 T を備えるが、突極 2 T の数はこれに限定されない。ローター 2 は、例えば、電磁鋼板を積層して製造される。

10

【0017】

ステーター 3 は、ローター 2 の径方向外側に配置されてローター 2 の周囲を取り囲む環状の構造体としてのステーターコア 3 K と、この構造体に取り付けられた複数の巻線 3 C とを有する。ステーターコア 3 K は、環状のヨーク 3 Y と、ヨーク 3 Y の内側、すなわちローター 2 側に設けられた複数の突極 3 T とを有する。複数の突極 3 T は、ヨーク 3 Y の周方向に沿って設けられる。隣接する突極 3 T の間はスロット 3 S であり、ここに巻線 3 C が設けられる。本実施形態において、複数の巻線 3 C は突極 3 T 及びスロット 3 S に集中巻されている。ステーターコア 3 K は、例えば、電磁鋼板を積層して製造される。

20

【0018】

巻線 3 C を形成する電線は導体であり、例えば、銅線又はアルミニウム線等が用いられる。ステーター 3 は、巻線 3 C が突極 3 T に巻き回された構造体が樹脂でモールドされてもよい。このようにすることで、構造体と巻線とを一体にすることができるので、ステーター 3 の取り扱いが容易になる。

【0019】

巻線 3 C は、それぞれの突極 3 T に巻き回され、スロット 3 S に設けられる。本実施形態において、ステーター 3 は、12 個の巻線 3 C を備える。巻線 3 C の個数は 12 個に限定されるものではないが、6 の整数倍、すなわち  $6 \times n$  個（ $n$  は自然数）である。突極 3 T 及びスロット 3 S の数は巻線 3 C の数に等しく、 $6 \times n$  個（ $n$  は自然数）となる。複数の巻線 3 C は、環状の構造体、より具体的にはヨーク 3 Y の周方向に沿って設けられる。

30

【0020】

回転電機 1 の巻線 3 C は、電機子巻線と界磁巻線とが共通となっている。回転電機 1 は、界磁巻線としての巻線 3 C が作る磁界をローター 2 の磁極である突極 2 T で変調し、電機子巻線としての巻線 3 C が作る磁界と同期させてローター 2 を回転させる。このため、複数の巻線 3 C は、界磁磁束を発生させるための界磁信号とローター 2 を 3 相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて入力される。界磁信号と駆動信号とが重畳された信号を、適宜合成駆動信号と称する。

40

【0021】

図 1 及び図 2 中の符号 A、B、C、D、E、F 及び符号 U、V、W は、それぞれの巻線 3 C の相を表す。本実施形態において、A 相は巻線 3 C a 1、3 C a 2、B 相は巻線 3 C b 1、3 C b 2、C 相は巻線 3 C c 1、3 C c 2、D 相は巻線 3 C d 1、3 C d 2、E 相は巻線 3 C e 1、3 C e 2、F 相は巻線 3 C f 1、3 C f 2 である。本実施形態において、A 相～F 相の巻線 3 C は、それぞれ並列に接続されているが、直列に接続されていてもよい。

【0022】

A 相に対応する巻線 3 C a 1、3 C a 2 及び D 相に対応する巻線 3 C d 1、3 C d 2 には、回転電機 1 を 3 相の回転電機として駆動するための駆動信号の U 相が入力される。B

50

相に対応する巻線 3 C b 1、3 C b 2 及び E 相に対応する巻線 3 C e 1、3 C e 2 には、回転電機 1 に対する駆動信号の V 相が入力される。また、C 相に対応する巻線 3 C c 1、3 C c 2 及び F 相に対応する巻線 3 C f 1、3 C f 2 には、回転電機 1 に対する駆動信号の W 相が入力される。

#### 【 0 0 2 3 】

( 1 ) A 相及び U 相に対応する巻線 3 C a 1、3 C a 2 には、駆動信号の U 相に対応する駆動電圧  $V_u$  と、回転電機 1 に界磁磁束を発生させるための界磁信号として界磁電圧  $+V_f$  とが重畳された上で印加される。

( 2 ) B 相及び V 相に対応する巻線 3 C b 1、3 C b 2 には、駆動信号の V 相に対応する駆動電圧  $V_v$  と、回転電機 1 に界磁磁束を発生させるための界磁信号として界磁電圧  $-V_f$  とが重畳された上で印加される。

( 3 ) C 相及び W 相に対応する巻線 3 C c 1、3 C c 2 には、駆動信号の W 相に対応する駆動電圧  $V_w$  と、回転電機 1 に界磁磁束を発生させるための界磁信号として界磁電圧  $+V_f$  とが重畳された上で印加される。

( 4 ) D 相及び U 相に対応する巻線 3 C d 1、3 C d 2 には、駆動信号の U 相に対応する駆動電圧  $V_u$  と、回転電機 1 に界磁磁束を発生させるための界磁信号として界磁電圧  $-V_f$  とが重畳された上で印加される。

( 5 ) E 相及び V 相に対応する巻線 3 C e 1、3 C e 2 には、駆動信号の V 相に対応する駆動電圧  $V_v$  と、回転電機 1 に界磁磁束を発生させるための界磁信号として界磁電圧  $+V_f$  とが重畳された上で印加される。

( 6 ) F 相及び W 相に対応する巻線 3 C f 1、3 C f 2 には、駆動信号の W 相に対応する駆動電圧  $V_w$  と、回転電機 1 に界磁磁束を発生させるための界磁信号として界磁電圧  $-V_f$  とが重畳された上で印加される。

駆動電圧  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  は交流電圧であり、界磁電圧  $+V_f$ 、 $-V_f$  は直流電圧である。

#### 【 0 0 2 4 】

図 3 は、実施形態 1 に係る回転電機 1 及びこの回転電機 1 を制御する回転電機の制御装置 1 0 0 を示す図である。図 3 中の回転電機 1 は、図 1 に示した巻線 3 C を省略してある。回転電機 1 は、回転電機の制御装置 ( 以下、適宜制御装置と称する ) 1 0 0 によって制御される。制御装置 1 0 0 は、制御部 1 0 3 とインバーター 1 0 5 とを有する。制御部 1 0 3 は、回転電機 1 に界磁磁束を発生させて、回転電機 1 を 3 相の回転電機として駆動するための制御信号を生成する。インバーター 1 0 5 は、制御部 1 0 3 によって生成された制御信号によって動作し、直流電源 1 0 7 から供給された直流電力から合成駆動信号を生成する。

#### 【 0 0 2 5 】

インバーター 1 0 5 は、図 2 に示すそれぞれの巻線 3 C a 1 から 3 C e 2 に、界磁磁束を発生させるための界磁信号である界磁電圧  $+V_f$ 、 $-V_f$  と、ローター 2 を 3 相の回転電機として駆動するための駆動信号である駆動電圧  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  とが重畳された制御電圧を印加する。回転電機 1 を制御するインバーター 1 0 5 は、6 相のインバーターであり、1 2 個のスイッチング素子 1 0 6 によってフルブリッジが形成されている。スイッチング素子 1 0 6 の種類は問わないが、例えば、I G B T ( Insulated Gate Bipolar Transistor ) が用いられる。制御部 1 0 3 によって生成された制御信号は、インバーター 1 0 5 が備える各スイッチング素子 1 0 6 のゲートに入力される。

#### 【 0 0 2 6 】

図 4 は、制御装置 1 0 0 の制御部 1 0 3 を説明するための図である。制御部 1 0 3 は、P I ( 比例及び積分 ) 制御部 1 1 0 と、3 相逆 d q 変換部 1 1 1 と、3 相 d q 変換部 1 1 2 と、界磁電圧生成部 1 1 3 と、目標 d 軸電流生成部 1 1 4 と、目標 q 軸電流生成部 1 1 5 とを含む。P I 制御部 1 1 0 は、インバーター 1 0 5 によって回転電機 1 に供給される U 相、V 相及び W 相の電流が、目標 d 軸電流生成部 1 1 4 によって生成された目標 d 軸電流  $I_d^*$  及び目標 q 軸電流生成部 1 1 5 によって生成された目標 q 軸電流  $I_q^*$  となるよ

10

20

30

40

50

うに、d軸電流及びq軸電流の電流指令値を生成する。

【0027】

3相dq変換部112は、インバータ105から回転電機1に供給されるU相、V相及びW相の電流 $I_u$ 、 $I_v$ 及び $I_w$ を、d軸電流 $I_d$ 及びq軸電流 $I_q$ にdq変換する。回転電機1のU相の電流 $I_u$ は、同相となるA相の電流とD相の電流とを合成したものである。回転電機1のV相の電流 $I_v$ は、同相となるB相の電流とE相の電流とを合成したものである。回転電機1のW相の電流 $I_w$ は、同相となるC相の電流とF相の電流とを合成したものである。

【0028】

dq変換において、3相dq変換部112は、図1に示す回転電機1のローター2の回転角度 $r$ を用いる。出力シャフト4は、図1に示すローター2に連結されているので、出力シャフト4の回転角度は、ローター2の回転角度 $r$ となる。出力シャフト4の回転角度は、回転電機1の出力シャフト4の回転角度を検出する回転角度センサ5によって検出される。

【0029】

PI制御部110は、3相dq変換部112によって変換された、回転電機1のd軸電流 $I_d$ 及びq軸電流 $I_q$ を取得し、目標d軸電流 $I_{dt}$ とd軸電流 $I_d$ との偏差及び目標q軸電流 $I_{qt}$ とq軸電流 $I_q$ との偏差がそれぞれ0になるように、電圧指令値を生成する。3相逆dq変換部111は、PI制御部110によって生成された電圧指令値を逆dq変換してU相の電圧指令値 $v_u$ 、V相の電圧指令値 $v_v$ 及びW相の電圧指令値 $v_w$ を生成する。逆dq変換において、3相逆dq変換部111は、ローター2の回転角度 $r$ を用いる。界磁電圧生成部113は、回転電機1に界磁磁束を発生させるために必要な界磁電圧の指令値を生成する。界磁電圧の指令値は、前述したA相～F相までの6相に対応して、それぞれ $+v_f$ 、 $-v_f$ 、 $+v_f$ 、 $-v_f$ 、 $+v_f$ 、 $-v_f$ が生成される。

【0030】

制御部103は、3相逆dq変換部111によって生成された電圧指令値 $v_u$ 、 $v_v$ 、 $v_w$ と、界磁電圧生成部113が生成した界磁電圧の指令値 $+v_f$ 、 $-v_f$ 、 $+v_f$ 、 $-v_f$ 、 $+v_f$ 、 $-v_f$ とをそれぞれ重畳して、制御信号を生成する。制御部103は、生成された制御信号をインバータ105に出力する。図2に示す巻線3Ca1、3Ca2に対する制御信号は $v_u + v_f$ 、巻線3Cb1、3Cb2に対する制御信号は $v_v - v_f$ 、巻線3Cc1、3Cc2に対する制御信号は $v_w + v_f$ 、巻線3Cd1、3Cd2に対する制御信号は $v_u - v_f$ 、巻線3Ce1、3Ce2に対する制御信号は $v_v + v_f$ 、巻線3Cf1、3Cf2に対する制御信号は $v_w - v_f$ となる。これらの信号がインバータ105に入力されることにより、インバータ105は、巻線3Ca1、3Ca2に合成駆動電圧 $V_u + V_f$ を印加し、巻線3Cb1、3Cb2に合成駆動電圧 $V_v - V_f$ を印加し、巻線3Cc1、3Cc2に合成駆動電圧 $V_w + V_f$ を印加し、巻線3Cd1、3Cd2に合成駆動電圧 $V_u - V_f$ を印加し、巻線3Ce1、3Ce2に合成駆動電圧 $V_v + V_f$ を印加し、巻線3Cf1、3Cf2に合成駆動電圧 $V_w - V_f$ を印加する。

【0031】

図5及び図6は、実施形態1に係る回転電機1の相電流と時間 $t$ との関係を示す図である。図5は、図2に示すA相及びD相の相電流 $I_{fa}$ 、 $I_{fd}$ の時間 $t$ に対する変化を示し、図6は、図2に示すU相、V相及びW相の相電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ の時間 $t$ に対する変化を示している。A相の相電流 $I_{fa}$ 及びD相の相電流 $I_{fd}$ には界磁電流 $I_x$ が加えられているため、A相の相電流 $I_{fa}$ は0以上、D相の相電流 $I_{fd}$ は0以下となっている。A相及びD相はいずれもU相なので、これらを合成したU相の相電流 $I_u$ は、A相の相電流 $I_{fa}$ とD相の相電流 $I_{fd}$ とを合成したものになる。図6に示すように、U相の相電流 $I_u$ は、所定の周期で変動する電流となる。V相の相電流 $I_v$ 及びW相の相電流 $I_w$ もU相の相電流 $I_u$ と同様に求められる。このように、回転電機1のU相、V相及びW相には、3相の駆動電流が与えられるので、通常の3相のベクトル制御が可能になる。

【0032】

10

20

30

40

50

制御部 103 は、界磁電圧生成部 113 が、前述した A 相 ~ F 相までの 6 相に対応するそれぞれの界磁電圧の指令値  $+v_f$ 、 $-v_f$ 、 $+v_f$ 、 $-v_f$ 、 $+v_f$ 、 $-v_f$  を別個独立に生成することができる。このため、制御装置 100 は、回転電機 1 の各巻線 3C に印加される界磁電圧を別個独立に制御することができるので、回転電機 1 の制御の自由度を向上させることができる。また、制御装置 100 は、回転電機 1 の各巻線 3C に印加される界磁電圧を変更することにより、回転電機 1 が発生するトルク及びトルクの特性、具体的には回転速度に対するトルクの変化の仕方を変更することができる。さらに、1 つのインバーター 105 を含む 1 つの制御装置 100 が回転電機 1 を制御する。すなわち、回転電機 1 は、界磁磁束の制御と電機子の磁束の制御とに、それぞれ別個の機器は不要であるので、回転電機 1 は、簡易な機器で界磁磁束及び電機子の磁束の両方が制御できる。

10

#### 【0033】

図 7 は、実施形態 1 に係る回転電機 1 の回転速度  $N$  とトルク  $T$  との関係性を評価した結果を示す図である。図 7 には、回転電機 1 の回転速度  $N$  に対するトルク  $T$  の変化を、界磁電圧を異ならせて評価した結果を  $N - T$  曲線として示してある。この評価において、界磁電圧  $V_f$  は、 $V_{f1}$ 、 $V_{f2}$ 、 $V_{f3}$ 、 $V_{f4}$  の順に大きくなるように変化させた。界磁電圧を  $V_{f1}$ 、 $V_{f2}$ 、 $V_{f3}$ 、 $V_{f4}$  の順に変化させると、同じ回転速度  $N$  において、トルク  $T$  は上昇することが分かる。また、界磁電圧を変化させると、回転速度  $N$  に対するトルク  $T$  の変化の仕方も異なることが分かる。具体的には、回転電機 1 の界磁電圧を上昇させると、トルク定数が増加するので、無負荷回転速度、すなわちトルク  $T$  が 0 のときの回転速度が低下し、 $N - T$  曲線の傾きが急峻になる。このように、制御装置 100 は、回転電機 1 の各巻線 3C に印加される界磁電圧  $V_f$  を変更することにより、回転電機 1 が発生するトルク  $T$  及び  $N - T$  曲線の特性を変化させることができる。

20

#### 【0034】

図 8 は、図 7 に示される例よりも界磁電圧を大きくしたときにおける、実施形態 1 に係る回転電機 1 の回転速度  $N$  とトルク  $T$  との関係性を評価した結果を示す図である。界磁電圧  $V_f$  は、 $V_{f1}$ 、 $V_{f2}$ 、 $V_{f3}$ 、 $V_{f4}$ 、 $V_{f5}$ 、 $V_{f6}$  の順に大きくなっている。界磁電圧を  $V_{f4}$  よりもさらに大きくすると、回転電機 1 の回転速度  $N$  及びトルク  $T$  は大きくなる。すなわち、回転電機 1 の出力は大きくなる。また、界磁電圧を  $V_{f4}$  よりもさらに大きくすると、無負荷回転速度は上昇する。

#### 【0035】

界磁電圧を大きくしていくと電機子の磁束が増加するので、無負荷回転速度が低下する。さらに界磁電圧を大きくすると、界磁磁束によってローター 2 及びステーター 3 が磁気飽和し、電機子の磁束が低下する。すると、電機子の磁束の増加及び磁気飽和によるローター 2 及びステーター 3 の透磁率の低下が同時に発生する。界磁電圧が低いときは電機子の磁束の増加が支配的である。界磁電圧が高いときは、ローター 2 及びステーター 3 の磁気飽和による透磁率の低下が支配的となる。

30

#### 【0036】

図 9 は、回転電機の電機子磁束と界磁磁束とを示す図である。図 9 の実線の矢印が界磁磁束を示し、破線の矢印が電機子磁束を示す。回転電機 1 は、界磁磁束のみ又は電機子磁束のみでは正のトルクと負のトルクとが釣り合っているので、合成トルクは 0 になる。領域  $R_1$  及び領域  $R_2$  は、電機子磁束の方向と界磁磁束の方向とが反対なので、電機子電流、すなわち駆動電流が増加することにより磁束が減少し、負のトルクも減少する。領域  $R_3$  及び領域  $R_4$  は、電機子磁束の方向と界磁磁束の方向とが同じ方向なので、電機子電流が増加することにより磁束が増加し、正のトルクが増加する。このように、本実施形態の回転電機 1 は、界磁磁束による正のトルクと負のトルクとのバランスを崩すことで回転する。すなわち、電機子の磁束により界磁磁束による正のトルクを増加させ、負のトルクを減少させる。

40

#### 【0037】

界磁電圧が比較的小さい場合、例えば、図 8 に示される結果の  $V_{f3}$  である場合、回転電機 1 は、電機子電流がある程度の大きさまでは、電機子の磁束と界磁磁束とが相殺され

50



る。その結果、回転電機 1 は、負のトルクを発生させる磁束がほぼ 0 になる。電機子電流が、前述したある程度の大きさを超えると、電機子の磁束は界磁磁束よりも大きくなり、電機子の磁束は負のトルクを発生させる磁束を生成する。回転電機 1 に正のトルクを発生させる方、すなわち界磁磁束は磁気飽和するので、電機子電流を大きくすると、回転電機 1 のトルクが低下する。

#### 【0038】

界磁電圧が比較的大きい場合、例えば、図 8 に示される結果の  $V_f 5$  以上である場合、電機子電流を大きくしても、界磁磁束は 0 にはならず、界磁磁束による負のトルクが発生する。すなわち、電機子電流をさらに大きくしても、正のトルクは一定で負のトルクが減少し続ける結果、トータルのトルクは増加する。

10

#### 【0039】

回転電機 1 は、界磁磁束によって発生している正のトルクを増加し、負のトルクを減少させることによって回転する。すなわち、回転電機 1 は、界磁磁束だけで飽和していても、電機子電流が増加するほど負のトルクを低下させていく。この場合、電機子磁束による正のトルクはほとんど発生しない。界磁電圧をさらに大きくすると、ロータ 2 の磁気飽和とステータ 3 の磁気飽和とが進行するため、無負荷回転速度はある大きさに収束する。電機子電流が流れると、界磁磁束による負のトルクは低下していくが、正のトルクは磁気飽和のために変化しない。このため、回転電機 1 は、負のトルクが 0 になった場合に最大のトルクを発生する。回転電機 1 は、SR (Switched Reluctance) モータと比較した場合、SR モータでは出力が増加しない大きさを超えて界磁電圧を大きくしても、出力を増加させることができる。

20

#### 【0040】

本実施形態において、回転電機 1 は、巻線 3C が界磁巻線として機能したときに発生する磁界をロータ 2 の突極 2T で変調し、巻線 3C が電機子巻線として機能したときに発生する磁界と同期させてロータ 2 を回転させる。このため、突極 2T で変調された磁束の次数と、電機子の磁束の次数とが一致する。回転電機 1 は、巻線 3C が  $6 \times n$  個である。ロータ 2 の突極 2T の数を  $m$ 、界磁磁束の次数を  $k$  とすると、突極 2T で変調された磁束の次数は  $m - k$  で求められる。このため、電機子の磁束の次数を  $p$  とすると、 $m - k = p$  の関係が成立する。次数  $p$  は、回転電機 1 を 3 相の回転電機として駆動するための駆動信号を巻線 3C に与えたときに発生する電機子の磁束の次数である。 $k$ 、 $m$ 、 $n$  及び  $p$  は 1 以上の自然数である。回転電機 1 は、この関係が満たされることにより、合成駆動信号によって駆動され、かつトルク  $T$  の大きさ及びトルク  $T$  の特性が変更される。

30

#### 【0041】

図 1 に示す例において、 $p = 4$ 、 $m = 10$  なので、界磁磁束の次数  $k$  は 6 になる。また、電機子の磁束の次数  $p$  が 2、界磁磁束の次数  $k$  が 6 の場合、ロータ 2 の突極 2T の数  $m$  は 8 になり、電機子の磁束の次数  $p$  が 5、界磁磁束の次数  $k$  が 6 の場合、ロータ 2 の突極 2T の数  $m$  は 11 になる。

#### 【0042】

(第 1 変形例)

図 10 は、実施形態 1 の第 1 変形例に係る回転電機 1a を、その回転軸  $Z_r$  を通りかつ回転軸  $Z_r$  を含む平面で切った断面図である。回転電機 1a は、前述した図 1 に示す回転電機 1 と同様であるが、ロータ 2a が備える突極 2T の数  $m$  が 7 個、界磁磁束の次数  $k$  が 3 である点異なる。このため、電機子の磁束の次数  $p$  は 4 になる。回転電機 1a は、ロータ 2a が備える突極 2T の数が前述した回転電機 1 のロータ 2 よりも少ない。このため、回転電機 1a のロータ 2a が回転する際におけるある点の磁束の変化は、回転電機 1 のロータ 2 よりも少なくなる。その結果、ロータ 2a に発生する渦電流は、ロータ 2 に発生する渦電流よりも小さくなるので、回転電機 1a は、回転電機 1 よりも高速回転に好適である。

40

#### 【0043】

界磁磁束の次数  $k$  を 3 にするため、ステータ 3a の周方向に沿った巻線 3C の配置は

50

、A相、E相、F相、D相、E相、C相、D相、B相、C相、A相、B相、F相の順になる。ステータ3 aの周方向に沿った界磁電圧は、 $+V_f$ 、 $+V_f$ 、 $-V_f$ 、 $-V_f$ 、 $+V_f$ 、 $+V_f$ 、 $-V_f$ 、 $-V_f$ 、 $+V_f$ 、 $+V_f$ 、 $-V_f$ 、 $-V_f$ となる。このような配置により、界磁磁束の次数 $k$ が3になる。

【0044】

(第2変形例)

図11は、実施形態1の第2変形例に係る回転電機1cを、その回転軸 $Z_r$ を通りかつ回転軸 $Z_r$ を含む平面で切った断面図である。図11は、巻線は省略してある。この回転電機1cは、ロータ2の突極2Tの数 $m$ が10、ステータ3cのヨーク3Yに設けられた突極3Tの数が48、ステータ3cのスロット3Sの数が48である。巻線は、ステータ3cに分布巻で設けられている。この回転電機1cは、 $m=10$ 、界磁磁束の次数 $k$ は6であるので、電機子の磁束の次数 $p$ は4である。分布巻の回転電機1cにおいても、 $m-k=p$ の関係を成立させるようにすることで、合成駆動信号によって駆動され、かつトルク $T$ の大きさ及びトルク $T$ の特性が変更される。

10

【0045】

本実施形態及びその変形例の構成要素は、以下の実施形態でも、適宜組み合わせることが可能である。

【0046】

(実施形態2)

図12は、実施形態2に係る回転電機1dを、その回転軸 $Z_r$ を通りかつ回転軸 $Z_r$ を含む平面で切った断面図である。回転電機1dは、ステータ3d以外は実施形態1の回転電機1と同様である。回転電機1dは、ステータ3dのそれぞれの突極3Tdに、永久磁石8が設けられている。永久磁石8は、突極3Tdのロータ2側に設けられている。永久磁石8を備えるそれぞれの突極3Tdは、ステータ3dの周方向に沿って配列されている。N極の永久磁石8NとS極の永久磁石8Sとは、ステータ3dの周方向に沿って交互に並んでいる。回転電機1dは、永久磁石8によって生成される界磁磁束の次数が6、ロータ2の突極2Tの数が10なので、ロータ2の突極2Tで変調された磁束の次数は $10-6=4$ である。したがって、回転電機1dを3相の回転電機として駆動するための駆動信号を巻線3Cに与えたときに発生する電機子の磁束の次数は4である。すなわち、ロータ2を回転させるための回転磁界の次数は4である。回転電機1dは、永久磁石8による界磁磁束のみでロータ2が回転する。

20

30

【0047】

図13は、実施形態2に係る回転電機1eを、その回転軸 $Z_r$ を通りかつ回転軸 $Z_r$ を含む平面で切った断面図である。回転電機1eは、ロータ2e以外は実施形態1の回転電機1と同様である。回転電機1eは、ロータ2eの本体部2Beに、それぞれの突極2Tに対応して永久磁石9が埋め込まれている。N極の永久磁石9NとS極の永久磁石9Sとは、ロータ2eの周方向に沿って交互に並んでいる。回転電機1eは、永久磁石9によって生成される界磁磁束の次数が6、ロータ2eの突極2Tの数が10なので、ロータ2eの突極2Tで変調された磁束の次数は $10-6=4$ である。したがって、回転電機1eを3相の回転電機として駆動するための駆動信号を巻線3Cに与えたときに発生する電機子の磁束の次数は4である。すなわち、ロータ2を回転させるための回転磁界の次数は4である。回転電機1eは、永久磁石9による界磁磁束のみでロータ2が回転する。

40

【0048】

図14は、実施形態1に係る回転電機1の誘起電圧 $V_e$ と界磁電圧 $V_f$ との関係を示す図である。図15は、実施形態2に係る回転電機1d及び1eの誘起電圧 $V_e$ と界磁電圧 $V_f$ との関係を示す図である。図16は、実施形態2に係る回転電機1d及び1eの界磁電圧 $V_f$ の有無によるトルク $T$ と回転速度 $N$ との関係を示す図である。図17は、実施形態2に係る回転電機1d及び1eの界磁電圧 $V_f$ を変化させたときのトルク $T$ と回転速度 $N$ との関係を示す図である。

50

## 【 0 0 4 9 】

図 1 5 に示されるように、実施形態 2 に係る回転電機 1 d 及び 1 e は、界磁電圧  $V_f$  が低い場合は永久磁石 8 及び永久磁石 9 の磁束が支配的で、誘起電圧  $V_e$  は略一定である。回転電機 1 d 及び 1 e は、界磁電圧  $V_f$  を大きくすると、誘起電圧  $V_e$  がピーク値になった後、図 1 4 に示される実施形態 1 の回転電機 1 と同様に、界磁電圧  $V_f$  が大きくなるにしたがって誘起電圧  $V_e$  は小さくなる。実施形態 2 に係る回転電機 1 d 及び 1 e の方が、実施形態 1 に係る回転電機 1 よりも誘起電圧  $V_e$  のピークが低くなる。これは、ステータ 3 d の突極 3 T d 又はロータ 2 e の突極 2 T e に設けられた永久磁石 8 又は永久磁石 9 が、巻線 3 C によって生成された界磁磁束にとっての磁気抵抗になっているからである。

10

## 【 0 0 5 0 】

図 1 6 には、実施形態 2 に係る回転電機 1 d 及び 1 e の界磁電圧が  $V_{fa}$  の場合の N - T 曲線と  $V_{fb}$  の場合の N - T 曲線とが示されている。 $V_{fa}$  は 0 ボルトであり、 $V_{fb}$  は 0 ボルトよりも大きい。回転電機 1 d 及び 1 e は、いずれも同様の N - T 曲線となっている。すなわち、回転電機 1 d 及び 1 e は、永久磁石 8 及び永久磁石 9 による界磁磁束が発生するので、巻線 3 C による界磁による界磁磁束の有無に関わらず同様の N - T 特性となっている。図 1 7 に示されるように、実施形態 2 に係る回転電機 1 d 及び 1 e は、界磁電圧が  $V_{fc}$ 、 $V_{fd}$ 、 $V_{fe}$ 、 $V_{ff}$  の順に大きくなると、出力が増加する。このように、実施形態 2 に係る回転電機 1 d 及び 1 e は、実施形態 1 に係る回転電機 1 と同様の特性を示す。

20

## 【 0 0 5 1 】

本実施形態の構成要素は、以下の実施形態でも、適宜組み合わせることが可能である。

## 【 0 0 5 2 】

(実施形態 3)

図 1 8 は、実施形態 3 に係る回転電機 1 f を、その回転軸  $Z_r$  を通りかつ回転軸  $Z_r$  を含む平面で切った断面図である。回転電機 1 f は、実施形態 1 に係る回転電機 1 と同様であるが、第 1 ロータ 2 f と、第 2 ロータ 7 とを備える点が異なる。回転電機 1 f の他の構造は、実施形態 1 に係る回転電機 1 と同様である。

## 【 0 0 5 3 】

第 1 ロータ 2 f は、回転軸  $Z_r$  を中心として回転する。第 1 ロータ 2 f は、本体部 2 B f と、複数の第 1 磁極 2 T f とを有する。複数の第 1 磁極 2 T f は、本体部 2 B f の表面 2 B S f から、回転軸  $Z_r$  と直交する方向に突出する。本実施形態において、ロータ 2 は、10 個の第 1 磁極 2 T f を備えるが、第 1 磁極 2 T f の数は 10 個に限定されない。第 1 ロータ 2 f は、例えば、電磁鋼板を積層して製造される。

30

## 【 0 0 5 4 】

第 2 ロータ 7 は、複数の第 2 磁極 7 T が環状に配列された構造体である。第 2 ロータ 7 は、第 1 ロータ 2 f の径方向外側に設けられて、回転軸  $Z_r$  を中心として回転する。第 2 ロータ 7 が備える複数の第 2 磁極 7 T の数は第 1 ロータ 2 f が備える複数の第 1 磁極 2 T f の数よりも多く、本実施形態では 22 個である。本実施形態において、複数の第 2 磁極 7 T は、隣接する第 2 磁極 7 T 同士が連結部材 7 Y によって連結されて、環状の構造体である第 2 ロータ 7 を形成している。第 2 ロータ 7 は、例えば、電磁鋼板を積層して製造される。回転電機 1 f が電動機として用いられる場合、回転電機 1 f の出力は、第 2 ロータ 7 から取り出される。また、回転電機 1 f が発電機として用いられる場合、第 2 ロータ 7 から回転電機 1 f に電力を発生させるための動力が入力される。

40

## 【 0 0 5 5 】

ステータ 3 は、実施形態 1 に係る回転電機 1 と同様なので説明を省略する。ステータ 3 は、界磁磁束を発生させるための界磁信号と第 1 ロータ 2 f 及び第 2 ロータ 7 を 3 相の回転電機として駆動するための駆動信号とが重畳されて巻線 3 C に入力される。回転電機 1 f は、実施形態 1 に係る回転電機 1 を制御する制御装置 100 (図 2 参照) によって制御される。すなわち、回転電機 1 f は、6 相のインバータ 105 によって制御さ

50

れる。

【 0 0 5 6 】

直流電圧である界磁電圧と、3相の回転電機として回転電機1fを回転させるための電機子電圧とが重畳された上で、回転電機1fの各相に印加されることにより、回転電機1fの第1ローター2fは回転する。回転電機1fの第2ローター7は、回転電機1fの各相に与えられる界磁電圧による磁束を磁気ギアの磁力源として利用することで回転する。

【 0 0 5 7 】

回転電機1fは、実施形態1の制御装置100によって制御される。この場合、制御装置100は、実施形態1の回転電機1を制御する処理と同様の処理によって回転電機1fを制御する。すなわち、制御装置100は、回転電機1fに界磁磁束を発生させるための界磁信号と回転電機1fを3相の回転電機として駆動するための駆動信号とを重畳して回転電機1fの巻線3Cに出力する。

10

【 0 0 5 8 】

第1ローター2fの第1磁極2Tfの数を $m_1$ 、界磁磁束の次数を $k$ とすると、第1ローター2fの第1磁極2Tfが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束の次数は、 $m_1 \pm k$ で求めることができる。同様に、第2ローター7の第2磁極7Tの数を $m_2$ 、界磁磁束の次数を $k$ とすると、第2ローター7の第2磁極7Tが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束の次数は、 $m_2 \pm k$ で求めることができる。本実施形態では、 $m_1 = 10$ 、 $m_2 = 22$ 、 $k = 6$ なので、第1ローター2fの第1磁極2Tfが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束の次数は4又は10、第2ローター7の第2磁極7Tが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束の次数は16又は28になる。

20

【 0 0 5 9 】

図19は、第1ローター2fの回転原理を説明するための図である。本実施形態において、第1ローター2fは、10個の第1磁極2Tfを有するので、パーミアンス分布は10次になる(図19の曲線PD)。前述したように、ステーター3は、12個のスロット3Sと、12個の突極3Tと、それぞれのスロット3Sに設けられる、図18に示される巻線3Cとを備えている。ステーター3には、A相、B相、C相、D相、E相及びF相に界磁電圧が印加されるので、界磁磁束は、6次になる(図19の曲線LM)。第1ローター2fの第1磁極2Tfが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束の次数のうち小さい方は4次になる(図19の曲線HH1)。ステーター3の各巻線3Cには、図19の曲線RMで示される4次の回転磁束をステーター3に発生させるための駆動電圧 $V_v$ 、 $V_u$ 、 $V_w$ が印加される。このようにすることで、ステーター3が発生する4次の回転磁界と、第1磁極2Tfが界磁磁束を変調することによって発生する4次の高調波磁束とが同期して、第1ローター2fが回転する。

30

【 0 0 6 0 】

図20は、第2ローター7の回転原理を説明するための図である。本実施形態において、第2ローター7は、22個の第2磁極7Tを有する。このため、第2ローター7の第2磁極7Tが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束の次数のうち小さい方は16次になる(図20の曲線HL)。ステーター3による界磁磁束は6次になる(図20の曲線LM)。このようにすることで、第1ローター2fの第1磁極2Tfが界磁磁束を変調することによって発生する次数が大きい方の16次の高調波磁束と、第2磁極7Tが界磁磁束を変調することによって発生する16次の高調波磁束とが同期して、第2ローター7が回転する。

40

【 0 0 6 1 】

回転電機1fを3相の回転電機として駆動するための駆動信号をステーター3の巻線3Cに与えたときに発生する電機子の磁束の次数を $p$ とすると、 $m_1 = k + p$ かつ $m_2 = 2 \times k + m_1$ となる。 $n$ 、 $p$ 、 $m_1$ 、 $m_2$ 及び $k$ は1以上の自然数である。 $p$ は、第1ローター2fの第1磁極2Tfが界磁磁束を変調することによって発生する高調波磁束のうち、小さい方である。第2ローター7は、第1ローター2fよりも低い回転速度で回転する

50

。減速比を  $G_r$  とすると、 $G_r = m_2 / m_1$  となる。

【0062】

(評価)

本実施形態の回転電機 1 f を評価した。評価に供した回転電機 1 f の仕様は、ステータ 3 が 12 スロット、ステータ 3 の直径が 220 mm、厚みが 70 mm、第 1 ローター 2 f の第 1 磁極 2 T f の数が 10、第 2 ローター 7 の第 2 磁極 7 T の数が 22、巻線 3 C は 20 ターンで抵抗は 0.0155 とした。回転電機 1 f の界磁磁束は 6 次、電機子の磁束 (回転磁束) は 4 次とした。コンピュータによる電磁解析の数値シミュレーションにより、回転電機 1 f を評価した。回転電機 1 f の評価にあたり、まず、有限要素法に基づく回転電機 1 f の解析モデルを、例えばコンピュータを用いて作成した。次に、作成され

10

【0063】

図 21 は、第 1 ローター 2 f 及び第 2 ローター 7 の回転速度  $N$  の時間変化を示す図である。図 21 において、時間  $t = 0$  は回転電機 1 f が回転を開始したタイミングを示す。時間  $t$  が経過するにしたがって、第 1 ローター 2 f 及び第 2 ローター 7 の回転速度  $N$  は増加し、一定の値になる。第 1 ローター 2 f 及び第 2 ローター 7 の回転速度  $N$  が一定になったとき、第 1 ローター 2 f の回転速度  $N$  は毎分 5743 回転であり、第 2 ローター 7 の回転速度  $N$  は毎分 2610 回転であった。このときの速度比、すなわち第 1 ローター 2 f の回転速度と第 2 ローター 7 の回転速度との比  $G_r$  は 2.20 であり、回転電機 1 f の減速比

20

【0064】

図 22 は、実施形態 3 に係る回転電機 1 f の界磁電圧を変化させたときにおける回転速度  $N$  とトルク  $T$  との関係を示す図である。図 22 は、界磁電圧が  $V_{fg}$ 、 $V_{fh}$ 、 $V_{fi}$  の順に大きくなっている。図 22 示される結果から、回転電機 1 f は、界磁電圧を変化させることで、 $N - T$  特性が変化することが分かった。具体的には、界磁電圧を大きくすると、図 22 に示される  $N - T$  曲線の傾きが大きくなる、すなわち回転電機 1 f の出力が大きくなることが分かった。

【0065】

図 23 は、実施形態 3 に係る回転電機 1 f の界磁電圧  $V_f$  と最大伝達トルク  $T_t$  との関係を示す図である。図 23 に示されるように、回転電機 1 f は、界磁電圧  $V_f$  を変化させることで、最大伝達トルク  $T_t$  が変化することが分かった。具体的には、界磁電圧  $V_f$  を大きくすると、最大伝達トルク  $T_t$  が大きくなることが分かった。最大伝達トルク  $T_t$  は、第 1 ローター 2 f と第 2 ローター 7 との間で伝達される最大のトルクである。最大伝達トルク  $T_t$  を超える大きさのトルクを伝達しようとする、回転電機 1 f は、第 1 ローター 2 f と第 2 ローター 7 との間で滑りが発生する。このため、回転電機 1 f の巻線 3 C に過電流が流れたり、回転電機 1 f に過大な負荷が作用したりすることが低減される。このように、回転電機 1 f は、トルクリミッタ機能を有する。

30

【0066】

以上、実施形態 1、その変形例、実施形態 2 及び実施形態 3 について説明したが、前述した内容により実施形態 1、変形例、実施形態 2 及び実施形態 3 が限定されるものではない。また、前述した実施形態 1、その変形例、実施形態 2 及び実施形態 3 の構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、前述した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。また、実施形態 1、その変形例、実施形態 2 及び実施形態 3 の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換及び変更を行うことができる。

40

【符号の説明】

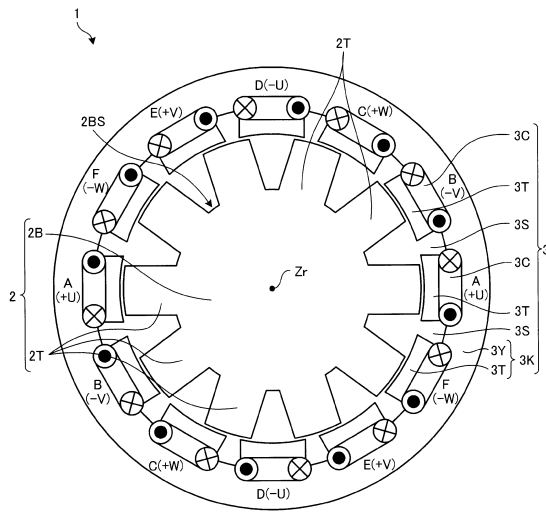
【0067】

1、1 a、1 c、1 d、1 e、1 f 回転電機

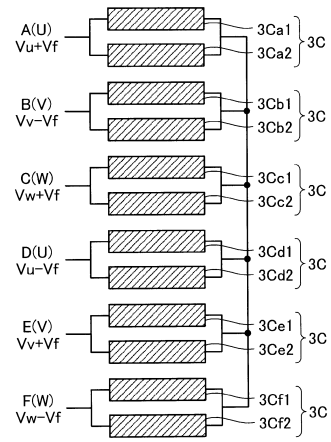
50

2、2 a、2 b	ローター	
2 f	第1ローター	
2 B	本体部	
2 B S	表面	
2 T	突極	
2 T f	第1磁極	
3、3 a	ステーター	
3 K	ステーターコア	
3 S	スロット	
3 T	突極	10
3 Y	ヨーク	
3 C	巻線	
3 C	巻線	
3 T	突極	
4	出力シャフト	
5	回転角度センサ	
7	第2ローター	
7 T	第2磁極	
1 0 0	制御装置	
1 0 3	制御部	20
1 0 5	インバーター	
1 0 6	スイッチング素子	
1 0 7	直流電源	
1 1 0	P I 制御部	
1 1 1	3相逆 d q 変換部	
1 1 2	3相 d q 変換部	
1 1 3	界磁電圧生成部	
1 1 4	d 軸電流生成部	
1 1 5	q 軸電流生成部	
		30

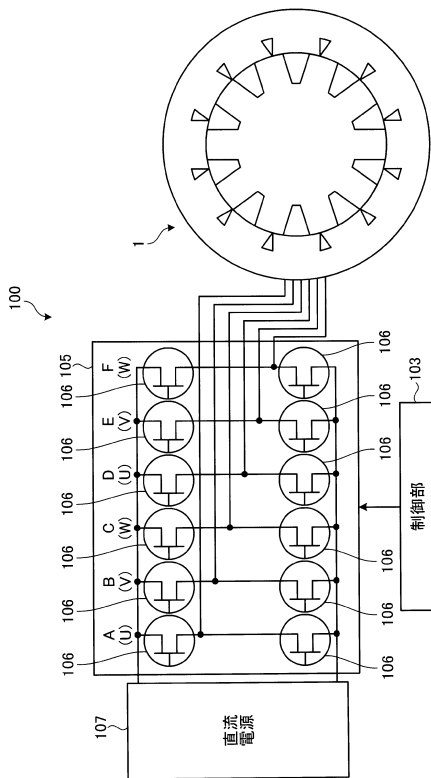
【図1】



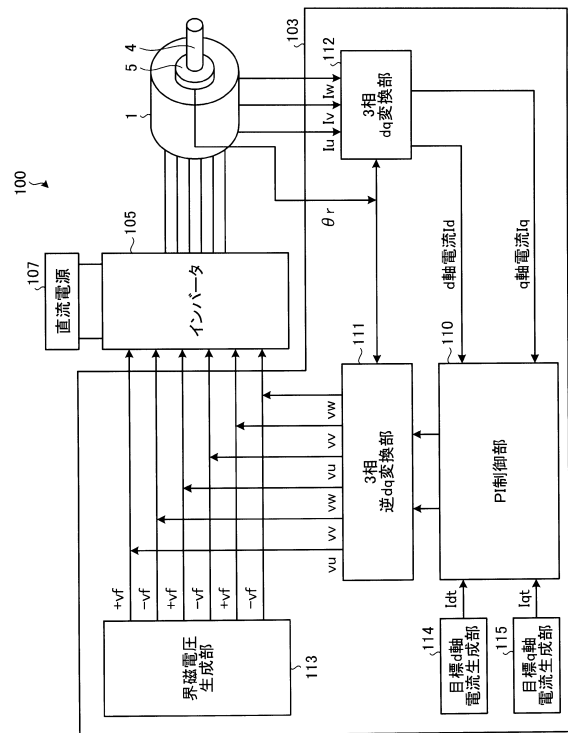
【図2】



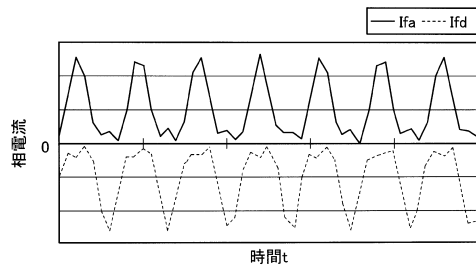
【図3】



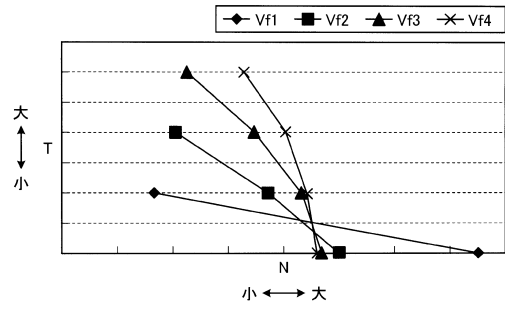
【図4】



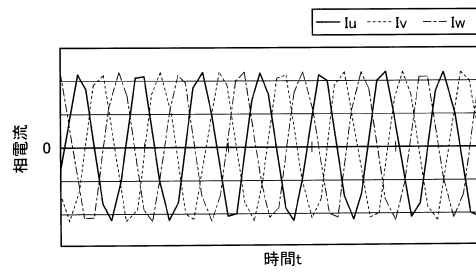
【図5】



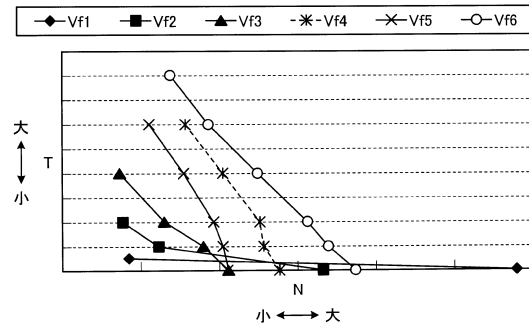
【図7】



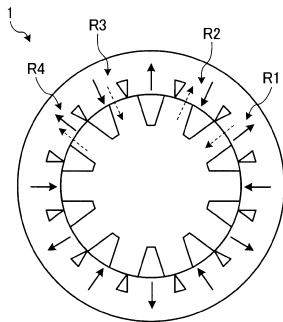
【図6】



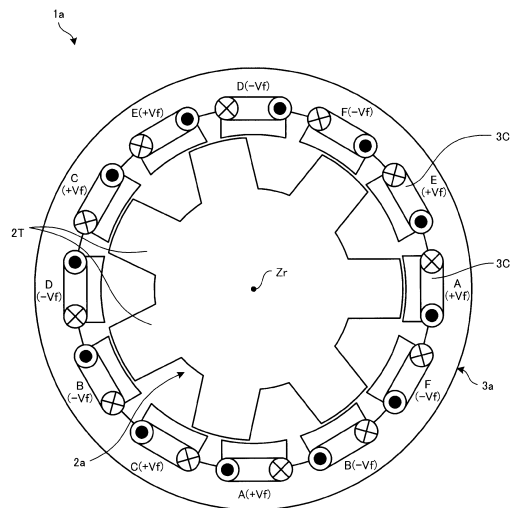
【図8】



【図9】

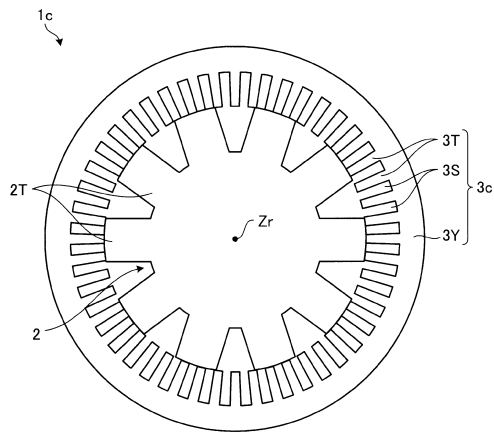


【図10】

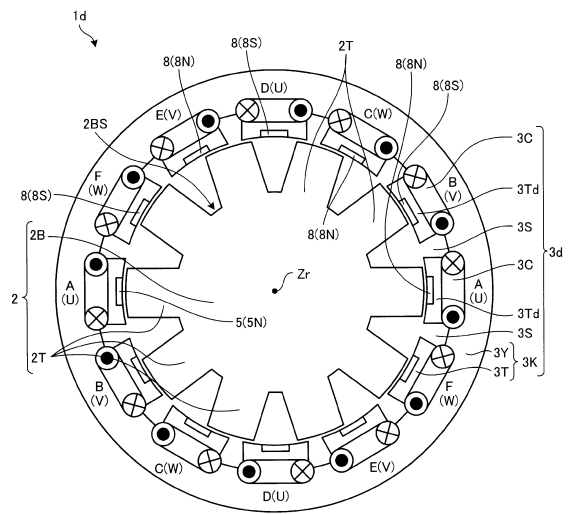




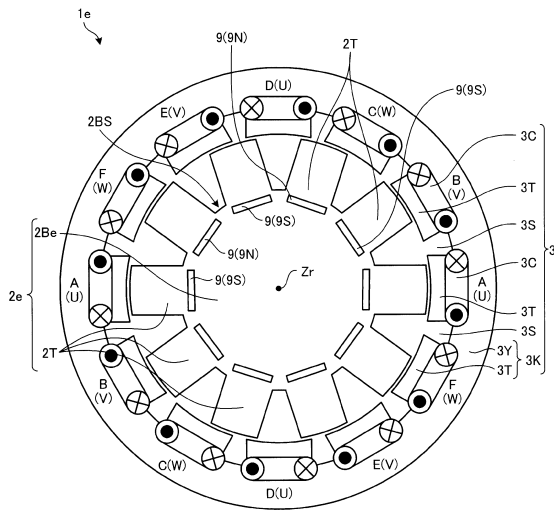
【 図 1 1 】



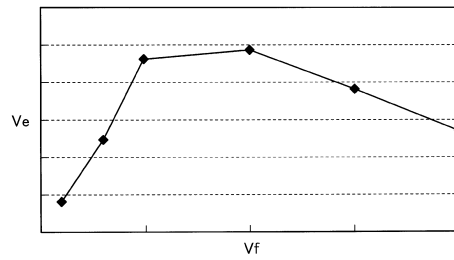
【 図 1 2 】



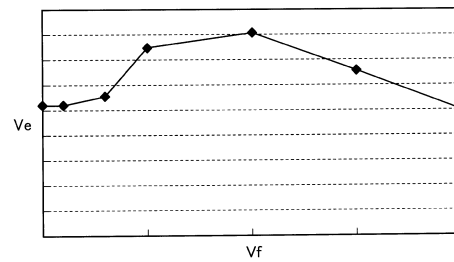
【 図 1 3 】



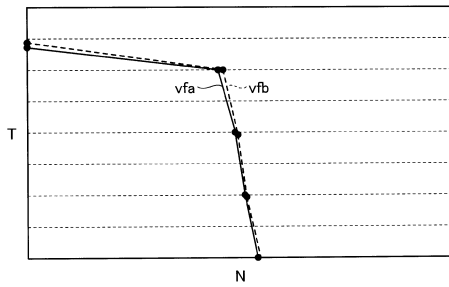
【 図 1 4 】



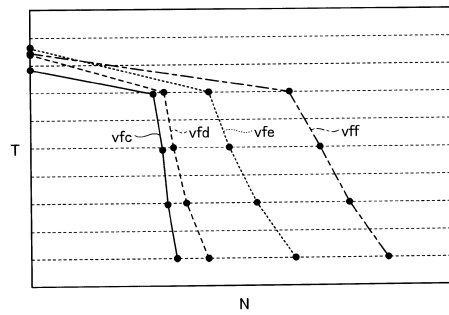
【 図 1 5 】



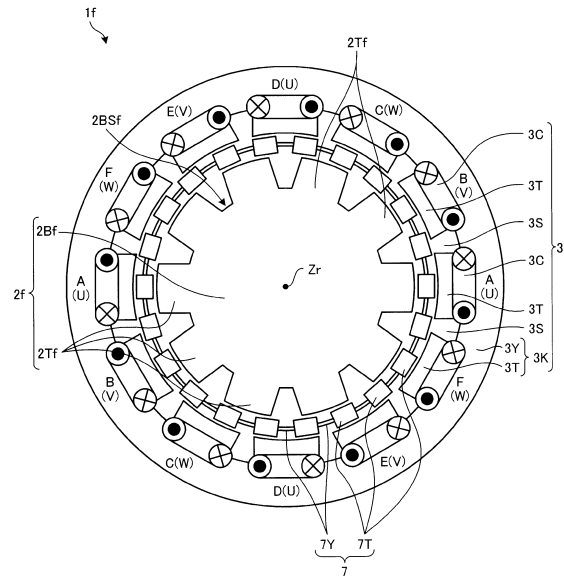
【 16 】



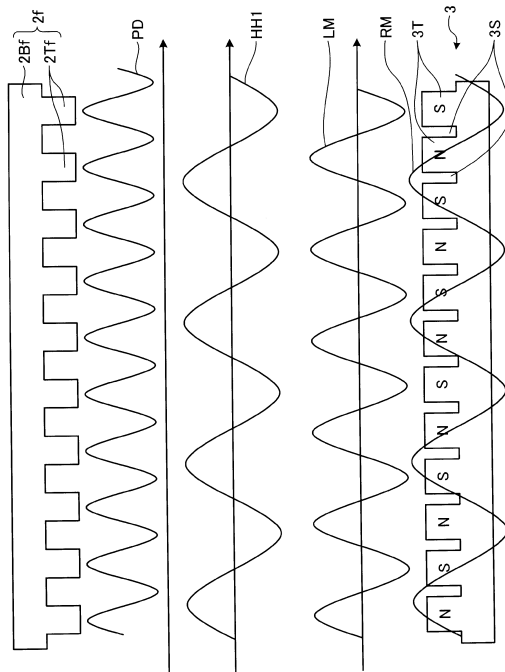
【 17 】



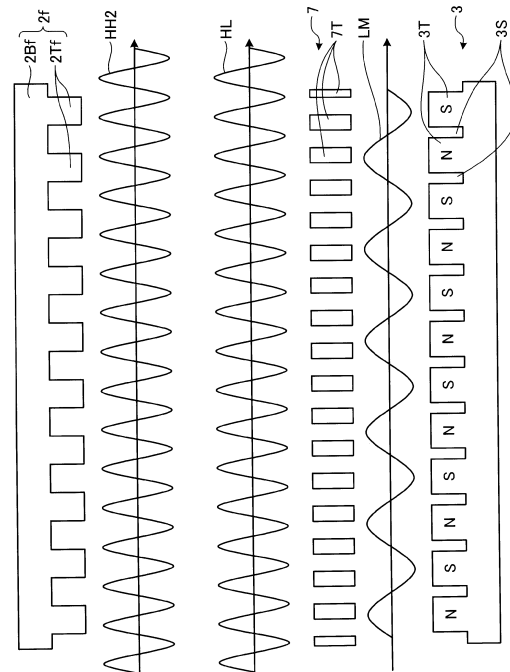
【 18 】



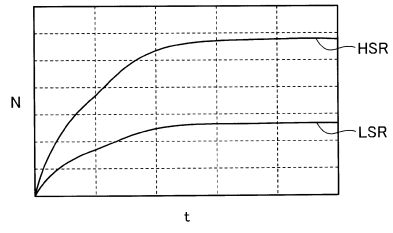
【 19 】



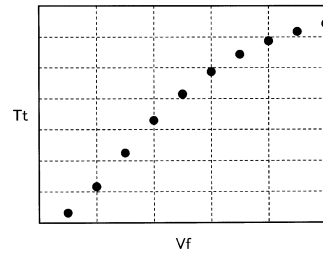
【 20 】



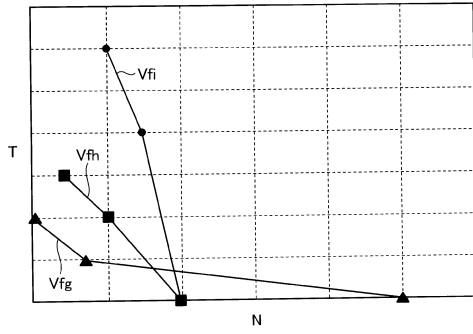
【 2 1 】



【 2 3 】



【 2 2 】



## フロントページの続き

- (72)発明者 大野 勇輝  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内
- (72)発明者 小原 章  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内
- (72)発明者 加藤 雅之  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内
- (72)発明者 宇賀治 元  
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内
- (72)発明者 千葉 貞一郎  
神奈川県平塚市四之宮3丁目25番1号 株式会社小松製作所 開発本部内

審査官 上野 力

- (56)参考文献 特開平06-178576(JP,A)  
特開2005-051954(JP,A)  
特開平09-327192(JP,A)  
特開2008-092701(JP,A)  
特開2012-114975(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 19/12  
H02K 16/02  
H02P 25/16