

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-166710

(P2007-166710A)

(43) 公開日 平成19年6月28日(2007.6.28)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)
H02K	1/16	(2006.01)	H02K	1/16	C	5H601
H02K	1/06	(2006.01)	H02K	1/06	A	5H603
H02K	3/12	(2006.01)	H02K	3/12		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2005-356489 (P2005-356489)	(71) 出願人	000003207
(22) 出願日	平成17年12月9日 (2005.12.9)		トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74) 代理人	100064746
			弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100112852
			弁理士 武藤 正
		(72) 発明者	服部 宏之
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

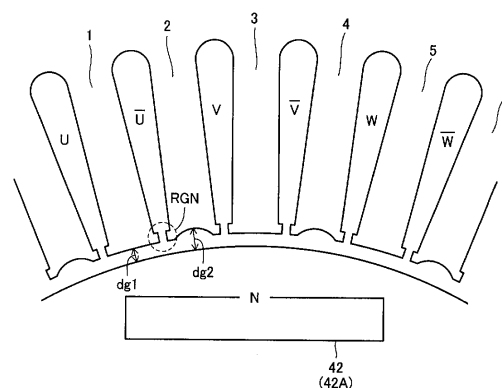
(54) 【発明の名称】 回転電機

(57) 【要約】

【課題】ステータの振動を抑制し、電磁騒音を低減可能な回転電機を提供する。

【解決手段】毎極毎相2スロットの分布巻モータからなる回転電機において、ステータコア52は、同相間ティース1, 3, 5の先端部とロータコア41の外周面との間に一定幅dg1のエアギャップを有し、かつ、異相間ティース2, 4, 6の先端部とロータコア41の外周面との間に、周方向に幅が不均一であって、幅dg2(>dg1)を最大値とするエアギャップを有する。異相間ティース2には、同相間ティース1よりも高い磁気抵抗をもつ磁気回路が形成される。このとき、磁気抵抗の増加によって減少した異相間ティース2の磁束数と、同相間ティース1の磁束数とが略同じとなるようにエアギャップの幅に差を設けることにより、両者に互いに逆方向に印加される電磁加振力が均衡して互いに相殺され、ステータコア52の振動が抑制される。

【選択図】図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

s (s は複数) 相の回転電機であって、

n (n は自然数) 個の磁極を有するロータと、

前記 n 個の磁極の各々について、前記 s 相の 2 倍となるように設けられた $2n \times s$ 個のティースと、各々が隣接する前記ティース間に形成される前記 $2n \times s$ 個のスロットとからなるステータコアと、前記 $2n \times s$ 個のティースに巻回された $n \times s$ 個のコイルとを有するステータとを備え、

前記 $n \times s$ 個のコイルは、各前記 n 個の磁極について、毎相あたり 1 スロットだけずれて巻回されたコイル群を形成し、

前記 $2n \times s$ 個のティースは、前記ロータの回転軸方向に沿って両脇に形成される 2 個のスロットに互いに同相のコイルがそれぞれ挿入されてなる同相間ティースと、前記ロータの回転軸方向に沿って両脇に形成される 2 個のスロットに互いに異相のコイルがそれぞれ挿入されてなる異相間ティースとからなり、

前記 $n \times s$ 個のコイルに交流電流が供給されたときに前記同相間ティースおよび前記異相間ティースにそれぞれ形成される磁気回路について、通過する磁束数が互いに均衡するように、前記磁気回路の磁気抵抗に差を設ける磁気抵抗調整手段をさらに備える、回転電機。

10

【請求項 2】

前記磁気抵抗調整手段は、前記異相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗を、前記同相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗よりも大きくなるように設定することを含む、請求項 1 に記載の回転電機。

20

【請求項 3】

前記磁気抵抗調整手段は、前記異相間ティースの先端部と前記ロータの外周面との間に形成される空隙の幅を、前記同相間ティースの先端部と前記ロータの外周面との間に形成される空隙の幅よりも大きくなるように設定することを含む、請求項 2 に記載の回転電機。

【請求項 4】

前記磁気抵抗調整手段は、前記同相間ティースの先端部と前記ロータの外周面との間に形成される空隙の幅と、前記異相間ティースの先端部と前記ロータの外周面との間に形成される空隙の幅とが、前記スロットの開口端部において連続するように設定することを含む、請求項 3 に記載の回転電機。

30

【請求項 5】

前記磁気抵抗調整手段は、前記異相間ティースの磁路断面積を、前記同相間ティースの磁路断面積よりも小さくするように設定することを含む、請求項 2 に記載の回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、回転電機に関し、特に、電磁騒音を低減可能な回転電機に関するものである。

40

【背景技術】

【0002】

最近、環境に配慮した自動車として、ハイブリッド自動車 (Hybrid Vehicle) および電気自動車 (Electric Vehicle) が注目されている。ハイブリッド自動車は、従来のエンジンに加え、直流電源とインバータとインバータによって駆動される回転電機 (モータ) とを動力源とする自動車である。つまり、エンジンを駆動することにより動力源を得るとともに、直流電源からの直流電圧をインバータによって交流電圧に変換し、その変換した交流電圧によりモータを回転することによって動力源を得るものである。

【0003】

また、電気自動車は、直流電源とインバータとインバータによって駆動されるモータと

50

を動力源とする自動車である。

【0004】

このようなハイブリッド自動車または電気自動車において、モータは低速から高速までの比較的広い回転域で駆動されることとなるが、駆動時に発生する電磁騒音が大きくなり、車両の搭乗者に不快感を与えてしまうという問題があった。特に、エンジン回転数が低いアイドル状態から常用域における高調波の電磁騒音は、エンジンや補機による暗騒音とは周波数が異なり、人間の聴覚的に不快な騒音として聞こえる。

【0005】

そして、最近では、この高調波の電磁騒音は、モータの運転時に発生する $6f$ の電磁加振力の影響が大きいことが明らかとなっている。なお、 $6f$ とは、モータに供給される交流電流の基本周波数 f の6倍を意味する。 10

【0006】

特許文献1は、かかるモータの $6f$ の電磁加振力を低減する方法として、スロットが每極每相当たり2個の割合で形成された固定子鉄心（ステータコア）と、上記ステータコアに巻着された3相固定子巻線（ステータコイル）とを有する固定子（ステータ）と、ステータの内側に回転自在に設けられた回転子（ロータ）とからなる車両用交流回転電機において、上記3相固定子巻線を構成するX相巻線、Y相巻線およびZ相巻線をそれぞれ隣り合うスロット群に巻装された第1および第2の固定子巻線を直列接続して構成し、かつ、スロットを電気角で θ と $(60 - \theta)$ とを交互に採る不等ピッチ（ 30° ）で形成する方法を開示する。 20

【0007】

これによれば、スロットが電気角 30° の等角ピッチで每極每相当たり2個の割合で形成されていた従来の回転電機において問題となっていた $6f$ の電磁加振力は、 θ を最適化することによって低減される。その結果、 $6f$ の電磁加振力に起因する電磁騒音および電磁振動が低減される。

【特許文献1】特開2003-348781号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、特許文献1の車両用交流回転電機によれば、巻回された3相固定子巻線に交流電流が供給されることによって、固定子鉄心に発生する磁束が複数の固定子歯（ティース）間で様でないことに起因して、 $6f$ の電磁加振力を確実に低減できないという問題がある。 30

【0009】

すなわち、特許文献1の車両用交流回転電機によれば、3相固定子巻線はそれぞれ、隣り合うスロット群に巻装された第1および第2の固定子巻線を直列接続して構成される。具体的には、回転子の磁極数が96の場合、4番、10番、16番、・・・94番のスロットが第1のスロット群を形成し、5番、11番、17番、・・・95番のスロットが第2のスロット群を形成する。そして、第1のスロット群と第2のスロット群とがX相巻線を収容する。 40

【0010】

そのため、第1のスロット群に対応し、第1の固定子巻線が巻回される固定子歯（ティース）と、第2のスロット群に対応し、第2の固定子巻線が巻回されるティースとでは、固定子巻線の巻回数が不均衡となる。そのため、固定子巻線に交流電流を供給することにより、ティースに印加される電磁加振力は、ティース間で不均衡となる。そして、この電磁加振力は、径方向にステータコアを振動させる成分と、周方向にステータコアを振動させる成分とに分解されるが、このうちの径方向の成分が不均衡となることによってステータコアに生じた径方向の振動が、ステータコアの外周面または内周面に接する空気を振動させ、大きな電磁騒音を生じさせることになる。

【0011】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、ステータの振動を抑制し、電磁騒音を低減可能な回転電機を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

この発明によれば、 s (s は複数) 相の回転電機は、 n (n は自然数) 個の磁極を有するロータと、 n 個の磁極の各々について、 s 相の 2 倍となるように設けられた $2n \times s$ 個のティースと、各々が隣接するティース間に形成される $2n \times s$ 個のスロットとからなるステータコアと、 $2n \times s$ 個のティースに巻回された $n \times s$ 個のコイルとを有するステータとを備える。 $n \times s$ 個のコイルは、各 n 個の磁極について、毎相あたり 1 スロットだけずれて巻回されたコイル群を形成する。 $2n \times s$ 個のティースは、ロータの回転軸方向に沿って両脇に形成される 2 個のスロットに互いに同相のコイルがそれぞれ挿入されてなる同相間ティースと、ロータの回転軸方向に沿って両脇に形成される 2 個のスロットに互いに異相のコイルがそれぞれ挿入されてなる異相間ティースとからなる。回転電機は、 $n \times s$ 個のコイルに交流電流が供給されたときに同相間ティースおよび異相間ティースにそれぞれ形成される磁気回路について、通過する磁束数が互いに均衡するように、磁気回路の磁気抵抗に差を設ける磁気抵抗調整手段をさらに備える。

10

【0013】

上記の回転電機によれば、従来、同相間ティースと異相間ティースとでは、磁気回路の磁気抵抗が等しいが故に通過する磁束数の差に起因してそれぞれに印加される電磁加振力に不均衡が生じていたところ、両者の磁気抵抗に差を設けることによって同相間ティースと異相間ティースとで磁束数が均衡することにより、径方向に沿って互いに逆方向に印加される同相間ティースの電磁加振力と異相間ティースの電磁加振力とが均等化される。これにより、同相間ティースの電磁加振力と異相間ティースの電磁加振力とが相殺し合うため、ステータ全体に印加される電磁加振力が略零となる。その結果、ステータの振動が抑制されるため、電磁騒音を低減することが可能となる。

20

【0014】

好ましくは、磁気抵抗調整手段は、異相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗を、同相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗よりも大きくなるように設定することを含む。

【0015】

上記の回転電機によれば、磁気抵抗の増加によって減少した異相間ティースの磁束数と、同相間ティースの磁束数とが均衡することにより、両者に印加される電磁加振力が均等化される。

30

【0016】

好ましくは、磁気抵抗調整手段は、異相間ティースの先端部とロータの外周面との間に形成される空隙の幅を、同相間ティースの先端部とロータの外周面との間に形成される空隙の幅よりも大きくなるように設定することを含む。

【0017】

上記の回転電機によれば、空隙部分の磁気抵抗を増加したことにより、異相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗が、同相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗よりも大きくなる。これにより、磁気抵抗の増加によって減少した異相間ティースの磁束数と、同相間ティースの磁束数とが均衡することにより、両者に印加される電磁加振力が均等化される。

40

【0018】

好ましくは、磁気抵抗調整手段は、同相間ティースの先端部とロータの外周面との間に形成される空隙の幅と、異相間ティースの先端部とロータの外周面との間に形成される空隙の幅とが、スロットの開口端部において連続するように設定することを含む。

【0019】

上記の回転電機によれば、スロットの開口端部の形状が従来の回転電機と同等に保たれることから、ステータの製造工程の設計変更が不要となる。

50

【 0 0 2 0 】

好ましくは、磁気抵抗調整手段は、異相間ティースの磁路断面積を、同相間ティースの磁路断面積よりも小さくするように設定することを含む。

【 0 0 2 1 】

上記の回転電機によれば、ティース部分の磁気抵抗を増加したことにより、異相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗が、同相間ティースに形成される磁気回路の磁気抵抗よりも大きくなる。これにより、磁気抵抗の増加によって減少した異相間ティースの磁束数と、同相間ティースの磁束数とが均衡することにより、両者に印加される電磁加振力が均等化される。

【 発明の効果 】

10

【 0 0 2 2 】

この発明によれば、同相間ティースと異相間ティースとで磁束数が均衡することにより、径方向に沿って互いに逆方向に印加される同相間ティースの電磁加振力と異相間ティースの電磁加振力とが均等化される。これにより、同相間ティースの電磁加振力と異相間ティースの電磁加振力とが相殺し合うため、ステータ全体に印加される電磁加振力が略零となる。その結果、ステータの振動が抑制されるため、電磁騒音を低減することが可能となる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 3 】

以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳しく説明する。なお、図中同一符号は同一または相当部分を示す。 20

【 0 0 2 4 】

[実施の形態 1]

図 1 は、この発明の実施の形態 1 による回転電機の断面図である。

【 0 0 2 5 】

図 1 を参照して、この発明による回転電機 1 0 0 は、制御装置 1 0 と、三相ケーブル 2 0 と、シャフト 3 0 と、ロータ 4 0 と、ステータ 5 0 とを備える。

【 0 0 2 6 】

ロータ 4 0 は、ロータコア 4 1 と、磁石 4 2 とを含む。ステータ 5 0 は、ステータコイル 5 1 と、ステータコア 5 2 とを含む。 30

【 0 0 2 7 】

制御装置 1 0 は、回転電機 1 0 0 が出力すべきトルク指令値 T_R を回転電機 1 0 0 の外部に設けられた E C U (Electrical Control Unit) から受け、その受けたトルク指令値 T_R に従ったトルクを出力するためのモータ制御電流 M C T L I を生成し、その生成したモータ制御電流 M C T L I を三相ケーブル 2 0 を介してステータ 5 0 のステータコイル 5 1 へ供給する。

【 0 0 2 8 】

三相ケーブル 2 0 は、制御装置 1 0 とステータコイル 5 1 とを接続する。三相ケーブル 2 0 は、U 相ケーブル 2 1 と、V 相ケーブル 2 2 と、W 相ケーブル 2 3 とからなる。シャフト 3 0 は、回転軸方向 D R 1 からロータ 4 0 のロータコア 4 1 に挿入され、ロータコア 4 1 と連結される。ロータコア 4 1 は、複数の電磁鋼板を回転軸方向 D R 1 に積層した構造からなる。磁石 4 2 は、回転軸方向 D R 1 からロータコア 4 1 に挿入される。 40

【 0 0 2 9 】

ステータ 5 0 のステータコア 5 2 は、複数の電磁鋼板を回転軸方向 D R 1 に積層した構造からなる。ステータコイル 5 1 は、ステータコア 5 2 に巻回される。そして、ステータコイル 5 1 は、U 相コイル群、V 相コイル群および W 相コイル群からなり、これら 3 つのコイル群の端子が三相ケーブル 2 0 に接続される。

【 0 0 3 0 】

図 2 は、図 1 に示す A 方向から見たステータ 5 0 の平面図である。

図 2 を参照して、ステータコア 5 2 は、中空円筒形状からなり、周方向に配列された 4 50

8 個のティース 1 を内周面に有する。ステータコア 5 2 には、1 磁極ピッチに相当する 6 スロット離れた 2 つのスロットに、コイルがそれぞれ収容される。6 スロット離れた 2 つのスロットに収容されたコイルを直列に接続して、ステータコア 5 2 を一周する単位コイルが形成される。そして、この単位コイルを、コイルを収容するスロットを 1 スロットだけずらしながら、合計 6 本ステータコア 5 2 に巻回してステータコイル 5 1 が形成される。このとき、U 相コイル群、V 相コイル群および W 相コイル群は、それぞれ、1 スロットだけずれた 2 個の単位コイルで構成される。

【0031】

詳細には、コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 は、第 1 の U 相コイルを構成し、コイル 5 2 0 ~ 5 2 7 は、第 2 の U 相コイルを構成する。コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 は、最外周に配置される。コイル 5 2 0 ~ 5 2 7 は、コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 の内側であって、それぞれ、コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 に対して、円周方向に 1 スロットだけずれた位置に配置される。コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 とコイル 5 2 0 ~ 5 2 7 とは、U 相コイル群を構成する。

【0032】

コイル 5 3 0 ~ 5 3 7 は、第 1 の V 相コイルを構成し、コイル 5 4 0 ~ 5 4 7 は、第 2 の V 相コイルを構成する。コイル 5 3 0 ~ 5 3 7 は、コイル 5 2 0 ~ 5 2 7 の内側であって、それぞれ、コイル 5 2 0 ~ 5 2 7 に対して、円周方向に 1 スロットだけずれた位置に配置される。コイル 5 4 0 ~ 5 4 7 は、コイル 5 3 0 ~ 5 3 7 の内側であって、それぞれ、コイル 5 3 0 ~ 5 3 7 に対して、円周方向に 1 スロットだけずれた位置に配置される。コイル 5 3 0 ~ 5 3 7 とコイル 5 4 0 ~ 5 4 7 とは、V 相コイル群を構成する。

【0033】

コイル 5 5 0 ~ 5 5 7 は、第 1 の W 相コイルを構成し、コイル 5 6 0 ~ 5 6 7 は、第 2 の W 相コイルを構成する。コイル 5 5 0 ~ 5 5 7 は、コイル 5 4 0 ~ 5 4 7 の内側であって、それぞれ、コイル 5 4 0 ~ 5 4 7 に対して、円周方向に 1 スロットだけずれた位置に配置される。コイル 5 6 0 ~ 5 6 7 は、コイル 5 5 0 ~ 5 5 7 の内側であって、それぞれ、コイル 5 5 0 ~ 5 5 7 に対して、円周方向に 1 スロットだけずれた位置に配置される。コイル 5 5 0 ~ 5 5 7 とコイル 5 6 0 ~ 5 6 7 とは、W 相コイル群を構成する。

【0034】

コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 , 5 2 0 ~ 5 2 7 , 5 3 0 ~ 5 3 7 , 5 4 0 ~ 5 4 7 , 5 5 0 ~ 5 5 7 , 5 6 0 ~ 5 6 7 の各々は、対応する複数のティースの各々に直列に巻回される、たとえば、コイル 5 1 0 は、連続する 5 個のティースの全体に外周から所定回数巻回されて形成される。他のコイルもそれぞれ対応する 5 個のティースに巻回され、コイル 5 1 0 と同じようにして形成される。

【0035】

コイル 5 1 0 ~ 5 1 7 は、直列に接続され、一方端が端子 U 1 であり、他方端が中性点 U N 1 である。コイル 5 2 0 ~ 5 2 7 は、直列に接続され、一方端が端子 U 2 であり、他方端が中性点 U N 2 である。

【0036】

コイル 5 3 0 ~ 5 3 7 は、直列に接続され、一方端が端子 V 1 であり、他方端が中性点 V N 1 である。コイル 5 4 0 ~ 5 4 7 は、直列に接続され、一方端が端子 V 2 であり、他方端が中性点 V N 2 である。

【0037】

コイル 5 5 0 ~ 5 5 7 は、直列に接続され、一方端が端子 W 1 であり、他方端が中性点 W N 1 である。コイル 5 6 0 ~ 5 6 7 は、直列に接続され、一方端が端子 W 2 であり、他方端が中性点 W N 2 である。

【0038】

中性点 U N 1 , U N 2 , V N 1 , V N 2 , W N 1 , W N 2 は、一点に共通接続され、端子 U 1 , U 2 は、三相ケーブル 2 0 の U 相ケーブル 2 1 に接続され、端子 V 1 , V 2 は、三相ケーブル 2 0 の V 相ケーブル 2 2 に接続され、端子 W 1 , W 2 は、三相ケーブル 2 0 の W 相ケーブル 2 3 に接続される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

図 3 は、図 1 に示す A 方向から見たロータ 4 0 およびステータ 5 0 の平面図である。

図 3 を参照して、ロータ 4 0 は、ステータ 5 0 の内周側に配置される。そして、磁石 4 2 は、周方向 D R 2 に沿って 8 個配置される。磁石 4 2 A , 4 2 C , 4 2 E , 4 2 G は、ロータコア 4 1 の外周側が N 極になるように配置され、磁石 4 2 B , 4 2 D , 4 2 F , 4 2 H は、ロータコア 4 1 の外周側が S 極になるように配置される。このように、8 個の磁石 4 2 (4 2 A ~ 4 2 H) は、ロータ 4 0 の径方向に着磁され、磁石の極性が隣接する磁石間で反転するように周方向 D R 2 に配置される。そして、図 2 に示すコイル 5 1 0 ~ 5 1 7 , 5 2 0 ~ 5 2 7 , 5 3 0 ~ 5 3 7 , 5 4 0 ~ 5 4 7 , 5 5 0 ~ 5 5 7 , 5 6 0 ~ 5 6 7 は、8 個の磁石 4 2 (4 2 A ~ 4 2 H) に対向して配置される。

10

【 0 0 4 0 】

ステータコア 5 2 は、4 8 個のティース 1 を含むが、ティース 1 の個数は、ロータ 4 0 に含まれる磁石 4 2 (4 2 A ~ 4 2 H) の磁極数の 6 倍 (整数倍) になるように決定される。

【 0 0 4 1 】

図 4 は、図 1 に示すロータ 4 0 の斜視図である。

図 4 を参照して、ロータ 4 0 のロータコア 4 1 は、略円筒形状からなり、円筒面 4 1 A を有する。そして、磁石 4 2 は、回転軸方向 D R 1 からロータコア 4 1 に埋め込まれる。

【 0 0 4 2 】

なお、以上のように、スロットが毎極毎相当たり 2 個の割合で設けられたステータコア 5 2 と、1 スロットだけずれたスロットに巻回された各相の第 1 および第 2 のコイルを接続して構成されたステータコイル 5 1 とを備えた回転電機は、一般的に、「毎極毎相 2 スロットの分布巻モータ」とも称される。

20

【 0 0 4 3 】

ここで、再び図 2 を参照して、ステータコア 5 2 において、周方向に配列された 4 8 個のティース 1 は、両脇に配された 2 個のスロットに互いに同じ相のコイルが収容されてなるティース (以下、同相間ティースとも称する) と、両脇に配された 2 個のスロットに互いに異なる相のコイルが収容されてなるティース (以下、異相間ティースとも称する) とに分別される。

【 0 0 4 4 】

具体的には、図 2 において、1 個の磁極に着目すると、周方向に連続的に配列された 6 個のティース 1 ~ 6 のうち、ティース 1 は、両脇のスロットに U 相コイル 5 1 1 , 5 2 1 がそれぞれ収容されることから、同相間ティースを構成する。同様に、ティース 3 は、V 相コイル 5 3 1 , 5 4 1 がそれぞれ収容された 2 個のスロットに挟まれることにより、同相間ティースを構成する。また、ティース 5 は、W 相コイル 5 5 1 , 5 6 1 がそれぞれ収容された 2 個のスロットに挟まれることにより、同相間ティースを構成する。

30

【 0 0 4 5 】

一方、ティース 2 は、両脇のスロットに U 相コイル 5 2 1 と V 相コイル 5 3 1 とがそれぞれ収容されていることから、異相間ティースを構成する。同様に、ティース 4 は、両脇のスロットに V 相コイル 5 4 1 と W 相コイル 5 5 1 とがそれぞれ収容されているため、異相間ティースを形成する。また、ティース 6 は、両脇のスロットに W 相コイル 5 6 1 と U 相コイル 5 1 0 とがそれぞれ収容されていることから、異相間ティースを構成する。

40

【 0 0 4 6 】

このように、図 2 の毎極毎相 2 スロットの分布巻モータにおいては、同相間ティースと異相間ティースとは、ステータコア 5 2 に周方向に沿って交互に配列されるように形成されることになる。そして、ステータコイル 5 1 に交流電流からなるモータ制御電流 M L T I が供給されると、ステータコア 5 2 の内部には磁束が発生する。その発生した磁束は、同相間ティース (たとえばティース 1 , 3 , 5) および異相間ティース (たとえばティース 2 , 4 , 6) をそれぞれ通過し、ステータコア 5 2 の内周面とロータコア (図示せず) の外周面との間に形成されるエアギャップを介して、ロータ 4 0 の内部へと流れ込む。

50

【 0 0 4 7 】

このとき、同相間ティースおよび異相間ティースにはそれぞれ、図 5 に示すような電磁加振力が発生する。なお、電磁加振力とは、ステータ 5 0 のステータコイル 5 1 に交流電流を供給することにより、ティース 1 に加えられるティース 1 を振動させようとする力である。

【 0 0 4 8 】

図 5 は、ティース 1 に印加される電磁加振力を説明するための図である。

図 5 を参照して、回転電機 1 0 0 においては、ロータ 4 0 は、8 個の磁石 4 2 を含み、4 対の N S 磁極対を形成するため、4 の整数倍の回転次数を有する電磁加振力が発生する。すなわち、4 次、8 次、1 2 次、1 6 次、2 0 次、2 4 次、・・・の回転次数を有する電磁加振力が生じる。このうち、6 f (f : モータ制御電流 M T L I の基本周波数) の電磁加振力に相当する 2 4 次の回転次数を有する電磁加振力 (以下、回転 2 4 次の電磁加振力とも称する) が、モータの電磁騒音および振動に最も影響の大きいことが知られている。

10

【 0 0 4 9 】

この回転 2 4 次の電磁加振力は、図 5 に示すように、ティース 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , ・・・・の 1 つ 1 つに印加される成分を有する。そして、各ティース 1 において、電磁加振力は、ティース 1 の先端部分に集中的に印加される。

【 0 0 5 0 】

さらに、ティース 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , ・・・・の各々に加えられる電磁加振力は、隣り合うティース間で互いに逆方向となる関係を有する。具体的には、ティース 1 , 3 , 5 の各々に印加される電磁加振力 F 1 は、図中の黒矢印で示すように、径方向外方に向かう成分と、周方向の一方方向に向かう成分とで表わされる。一方、ティース 2 , 4 , 6 の各々に印加される電磁加振力 F 2 は、図中の白矢印で示すように、径方向内方に向かう成分と、周方向の他方向に向かう成分とで表わされる。したがって、毎極毎相 2 スロットの分布巻モータにおいては、周方向に交互に配列される同相間ティース 1 , 3 , 5 , ・・・・と異相間ティース 2 , 4 , 6 , ・・・・とは、互いに逆方向の電磁加振力が印加されることとなる。

20

【 0 0 5 1 】

このように、電磁加振力は、ティース 1 の先端部分に径方向に印加される成分と、周方向に印加される成分とで表わされ、径方向の成分が周方向の成分に対して相対的に大きいという性質を持つ。すなわち、回転 2 4 次の電磁加振力によって、モータには径方向の振動と周方向の振動との合成振動が誘起される。このうち、電磁騒音の発生要因となるモータの振動については、径方向の振動が支配的とされる。したがって、この発明では、電磁騒音低減の観点から、ティース 1 の先端部分に径方向に印加される電磁加振力に着目する。

30

【 0 0 5 2 】

なお、各ティース 1 に印加される電磁加振力そのものは、交流電流であるモータ制御電流 M T L I に応じて時間とともに大きさおよび向きが遷移するが、隣り合うティース間で電磁加振力が互いに逆方向となる関係については常に保たれている。

40

【 0 0 5 3 】

図 6 は、ステータコア 5 2 のティース 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , ・・・・と、回転 2 4 次の電磁加振力との関係を示す図である。なお、図 6 において、ティースは展開図により表わされている。

【 0 0 5 4 】

図 6 を参照して、回転 2 4 次の電磁加振力は、同相間ティース 1 , 3 , 5 にプラス方向の電磁加振力 F 1 を加える。また、異相間ティース 2 , 4 , 6 にマイナス方向の電磁加振力 F 2 を加える。なお、各ティース 1 に加えられる電磁加振力の周方向成分については、上述したように電磁騒音への影響が小さいことから、図示およびその説明を省略する。

【 0 0 5 5 】

50

ここで、同相間ティース 1, 3, 5 と異相間ティース 2, 4, 6 とにおいて、印加される電磁加振力の大きさには差が生じる。すなわち、両者には、同相間ティース 1, 3, 5 に印加される電磁加振力よりも、異相間ティース 2, 4, 6 に印加される電磁加振力がより大きいという関係が成り立つ。このため、ステータコア 52 には、隣り合うティース 1 に互いに逆方向に印加される電磁加振力が不均衡となり、両者の電磁加振力の差に相当する成分がステータコア 52 全体に径方向に作用する。その結果、ステータコア 52 が径方向に振動して電磁騒音を発生させる。

【0056】

このように同相間ティースと異相間ティースとの間で電磁加振力の大きさに差が生じる要因としては、両者の間で、ティースを通過する磁束数が互いに異なることが挙げられる。したがって、同相間ティースと異相間ティースとで通過する磁束数を互いに等しくすれば、印加される電磁加振力の大きさを互いに等しくなるため、その差を解消することができる。そして、電磁加振力が互いに等しくなると、同相間ティースと異相間ティースとの間では、逆方向に印加される電磁加振力が相殺し合うため、ステータコア 52 全体に印加される回転 24 次の電磁加振力を略零とすることができる。その結果、ステータコア 52 の振動を抑制することができる。

【0057】

そこで、本実施の形態による回転電機 100 は、同相間ティースおよび異相間ティースを通過する磁束数を等しくする方法として、ティースごとに形成される磁気回路の磁気抵抗において、同相間ティースと異相間ティースとの間で差を設ける構成とする。これは、起磁力がモータ制御電流 MTLI とステータコイル 51 の巻数とに基づいて所定の値に固定されることから、2 つのティース間で磁気抵抗に差を設けることによって、磁束数を等しくしようとするものである。

【0058】

詳細には、モータ制御電流 MTLI によって形成される磁気回路において、磁気抵抗は、ティース部分の磁気抵抗とエアギャップ部分の磁気抵抗との和で表わされる。なお、磁気抵抗は、周知のように、 $\text{磁気抵抗} = \text{平均磁路長さ} / (\text{透磁率} \times \text{磁路断面積})$ で表わされる。本実施の形態では、以下に述べるように、同相間ティースと異相間ティースとでエアギャップの幅（上記平均磁路長さに相当）を異ならせることにより、両者の磁気抵抗に差を設けることとする。

【0059】

図 7 は、この発明の実施の形態 1 によるステータコア 52 を説明するための図である。

図 7 を参照して、ステータコア 52 は、同相間ティース 1（または 3, 5）の先端部とロータコア 41 の外周面との間に、幅（図中の矢印 dg1 に相当）が周方向に略均一となるように設定されたエアギャップを有する。

【0060】

さらに、ステータコア 52 は、異相間ティース 2（または 4, 6）の先端部とロータコア 41 の外周面との間に、幅が周方向に不均一となるように設定されたエアギャップをさらに有する。

【0061】

具体的には、異相間ティース 2 は、図 7 に示すように、先端部に径方向外方に凹となるように形成された円弧状の窪みを有する。なお、この窪みは、両隣に配される同相間ティース 1, 3 との間にそれぞれ形成されるスロットの開口端部（図中の領域 RGN に相当）を含まないように形成される。すなわち、円弧がティース 2 の先端部分の略中央部分に位置し、周方向の両端にかからないように窪みが設けられる。そして、この窪みの最も凹んだ部分において、エアギャップの幅は、上記の幅 dg1 よりも大きい幅 dg2 に設定される。

【0062】

このような構成としたことにより、同相間ティース 1 と異相間ティース 2 とでは、エアギャップの磁気抵抗に差が生じる。すなわち、エアギャップの磁気抵抗はその幅に比例す

10

20

30

40

50

るところ、異相間ティース 2 は、エアギャップの幅が相対的に大きいため、同相間ティース 1 と比較して、より高いエアギャップの磁気抵抗を有することになる。これにより、エアギャップ部の磁気抵抗が増加したことによって、異相間ティース 2 における磁気回路の磁気抵抗は、同相間ティース 1 における磁気回路の磁気抵抗よりも高くなる。

【0063】

そして、異相間ティース 2 においては、磁気抵抗の増加によって、通過する磁束数が減少する。この磁束の減少は、異相間ティース 2 に印加される電磁加振力を低下させる。このとき、減少後の異相間ティース 2 の磁束数が、同相間ティース 1 の磁束数と略同じとなるようにエアギャップの幅に差を設けることによって、異相間ティース 2 に印加される電磁加振力と同相間ティース 1 に印加される電磁加振力とは互いに等しい大きさとなる。これにより、図 8 に示すように、両者の間で互いに逆方向に印加される電磁加振力 F_1 , F_2 が相殺し合うことから、ステータコア 52 全体に印加される回転 24 次の電磁加振力は略零とされる。その結果、ステータコア 52 の振動が抑制されることとなり、回転電機 100 の電磁騒音を低減することができる。

10

【0064】

なお、本実施の形態では、図 7 で述べたように、異相間ティース 2 の窪みを、隣接する同相間ティース 1 , 3 との間でスロット開口端部のエアギャップの幅が連続するように設けたことによって、ステータ 50 の製造工程に設計変更が不要となる。例えばスロットの開口端部には、ステータコイル 51 とティース 1 との電氣的絶縁を確保するために、通常、絶縁紙などの電気絶縁部材が挿入される。この発明によれば、スロット開口端部の形状は従来どおりに維持されていることから、絶縁紙を設計変更する必要が生じない。

20

【0065】

図 9 は、この発明による回転電機 100 の駆動時に発生する電磁騒音を説明するための模式図である。

【0066】

図 9 を参照して、従来の回転電機では、モータ回転数が相対的に低い低周波数および中周波数において、音圧レベルが相対的に高くなり、電磁騒音が顕著となっていた。これは、上述したように回転 24 次の電磁加振力の影響による。

【0067】

これに対して、この発明による回転電機 100 によれば、回転 24 次の電磁加振力が略零に抑制されるため、この低周波数および中周波数における音圧レベルの増加が抑えられ、電磁騒音が著しく低減されていることが分かる。

30

【0068】

なお、この発明による回転電機 100 は、鉄損の低減という更なる効果を奏する。詳細には、鉄損は、磁束密度の増加に従って増加し、モータ効率を低下させる要因となる。従来の回転電機では、異相間ティースは、同相間ティースに対して相対的に磁束数が多く、高い磁束密度 (= 磁束数 / 断面積) を有するため、同相間ティースよりも鉄損が多く生じていた。

【0069】

これに対し、この発明による回転電機 100 は、異相間ティースと同相間ティースとで磁束数を等しくしたことによって、磁束密度についても略同一に調整される。したがって、異相間ティースに発生する鉄損は、同相間ティースにおける鉄損と略同等レベルまで低減される。これにより、ステータコア 52 全体で発生する鉄損が従来の回転電機に対して減少する。その結果、モータ効率が向上する。

40

【0070】

[変更例]

図 10 は、この発明の実施の形態 1 の変更例による回転電機のステータコアを説明するための図である。

【0071】

図 10 を参照して、ステータコア 52 A は、同相間ティース 1 (または 3 , 5) の先端

50

部とロータコア 4 1 の外周面との間に、幅（図中の矢印 $d_g 1$ に相当）が周方向に略均一となるように設定されたエアギャップを有する。なお、同相間ティース 1, 3, 5 の先端部は、回転電機の回転軸を中心として半径 $R 1$ の同一円周上に位置する。

【0072】

さらに、ステータコア 5 2 は、異相間ティース 2（または 4, 6）の先端部とロータコア 4 1 の外周面との間に、幅（図中の矢印 $d_g 2 A$ に相当）が周方向に略均一となるように設定されたエアギャップをさらに有する。なお、異相間ティース 2, 4, 6 の先端部は、回転電機の回転軸を中心として半径 $R 2$ （ $R 2 > R 1$ ）の同一円周上に位置する。

【0073】

すなわち、本変更例において、異相間ティース 2 は、エアギャップの幅 $d_g 2 A$ が、同相間ティース 1, 3, 5 のエアギャップの幅 $d_g 1$ よりも大きくなるように設定される。これにより、異相間ティース 2, 4, 6 に形成される磁気回路の磁気抵抗は、同相間ティース 1, 3, 5 の磁気回路の磁気抵抗よりも高い値を示す。このとき、異相間ティース 2 の磁束数と同相間ティース 1 の磁束数とが略同じとなるように、エアギャップの幅 $d_g 2 A$ を設定することによれば、異相間ティース 2 に印加される加振力と同相間ティース 1 に印加される加振力とを略等しい大きさとすることができる。そして、同相間ティース 1 および異相間ティース 2 に互いに逆方向に印加される電磁加振力 $F 1$, $F 2$ が相殺し合うことによって、ステータコア 5 2 全体に印加される回転 2 4 次の電磁加振力は略零とされる。その結果、ステータコア 5 2 の振動が抑制されることとなり、回転電機 100 の電磁騒音を低減することができる。

10

20

【0074】

以上のように、この発明の実施の形態 1 によれば、回転電機のステータコアに印加される 6 f の電磁加振力を略零とすることができる。その結果、ステータコアの振動を抑制でき、電磁騒音を低減することができる。

【0075】

[実施の形態 2]

図 1 1 は、この発明の実施の形態 2 による回転電機のステータコアを説明するための図である。

【0076】

図 1 1 を参照して、ステータコア 5 2 B は、同相間ティース 1（または 3, 5）と、異相間ティース 2（または 4, 6）とで、ティースの周方向長さが異なるように構成される。詳細には、異相間ティース 2 の周方向長さ（図中の $l 2$ に相当）が同相間ティース 1 の周方向長さ（図中の $l 1$ に相当）よりも長くなるように形成される。このとき、各ティースの回転軸方向の長さは等しいため、結果的に、異相間ティース 2 の断面積は、同相間ティース 1 の断面積よりも小さくなる。

30

【0077】

そして、ティース部分の磁気抵抗はティースの断面積に反比例することに従えば、異相間ティース 2 のティース部分の磁気抵抗は、同相間ティース 1 のティース部分の磁気抵抗に対して大きくなる。

【0078】

これにより、異相間ティース 2 には、ティース部分の磁気抵抗が同相間ティース 1 を上回ることに起因して、同相間ティース 1 よりも高い磁気抵抗を有する磁気回路が形成される。

40

【0079】

そして、異相間ティース 2 においては、磁気抵抗の増加によって、通過する磁束数が減少する。この磁束の減少は、異相間ティース 2 に印加される電磁加振力を低下させる。このとき、減少後の異相間ティース 2 の磁束数が、同相間ティース 1 の磁束数と略同じとなるようにティースの周方向長さに差を設けることによって、異相間ティース 2 に印加される電磁加振力と同相間ティース 1 に印加される電磁加振力とは互いに等しい大きさとなる。これにより、両者の間で互いに逆方向に印加される電磁加振力が相殺し合うことから、

50

ステータコア 5 2 全体に印加される回転 2 4 次の電磁加振力は略零とされる。その結果、ステータコア 5 2 の振動が抑制されることとなり、回転電機 1 0 0 の電磁騒音を低減することができる。

【 0 0 8 0 】

以上のように、この発明の実施の形態 2 によれば、回転電機のステータコアに印加される 6 f の電磁加振力を略零とすることができる。その結果、ステータコアの振動を抑制でき、電磁騒音を低減することができる。

【 0 0 8 1 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 8 2 】

この発明は、スロットが毎極每相当たり 2 個の割合で形成されたステータコアを有する回転電機に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 3 】

【図 1】この発明の実施の形態 1 による回転電機の断面図である。

【図 2】図 1 に示す A 方向から見たステータの平面図である。

20

【図 3】図 1 に示す A 方向から見たロータおよびステータの平面図である。

【図 4】図 1 に示すロータの斜視図である。

【図 5】ティースに印加される回転 2 4 次の電磁加振力を説明するための図である。

【図 6】ステータコアのティースと、電磁加振力との関係を示す図である。

【図 7】この発明の実施の形態 1 によるステータコアを説明するための図である。

【図 8】この発明の実施の形態 1 による回転電機のティースに印加される回転 2 4 次の電磁加振力を説明するための図である。

【図 9】この発明による回転電機の駆動時に発生する電磁騒音を説明するための模式図である。

【図 1 0】この発明の実施の形態 1 の変更例による回転電機のステータコアを説明するための図である。

30

【図 1 1】この発明の実施の形態 2 による回転電機のステータコアを説明するための図である。

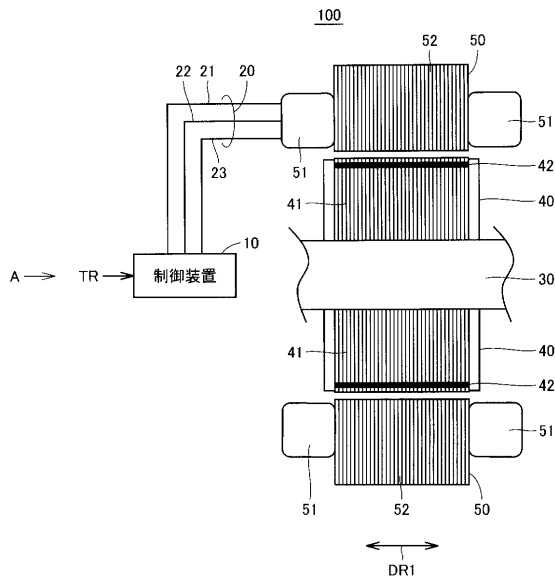
【符号の説明】

【 0 0 8 4 】

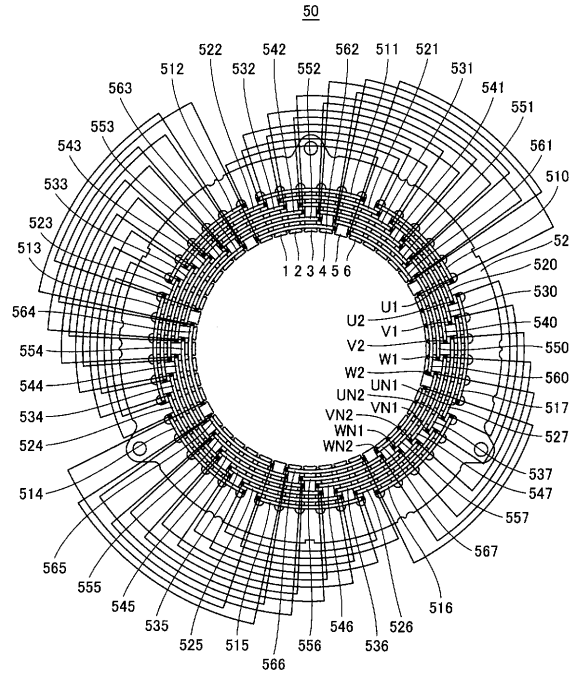
1 ~ 6 ティース、1 0 制御装置、2 0 三相ケーブル、2 1 U 相ケーブル、2 2 V 相ケーブル、2 3 W 相ケーブル、3 0 シャフト、4 0 ロータ、4 1 ロータコア、4 1 A 円筒面、4 2 , 4 2 A ~ 4 2 H 磁石、5 0 ステータ、5 1 ステータコイル、5 2 , 5 2 A , 5 2 B ステータコア、1 0 0 回転電機、5 1 0 ~ 5 1 7 , 5 2 0 ~ 5 2 7 , 5 3 0 ~ 5 3 7 , 5 4 0 ~ 5 4 7 , 5 5 0 ~ 5 5 7 , 5 6 0 ~ 5 6 7 コイル、U 1 , U 2 , V 1 , V 2 , W 1 , W 2 端子、U N 1 , U N 2 , V N 1 , V N 2 , W N 1 , W N 2 中性点。

40

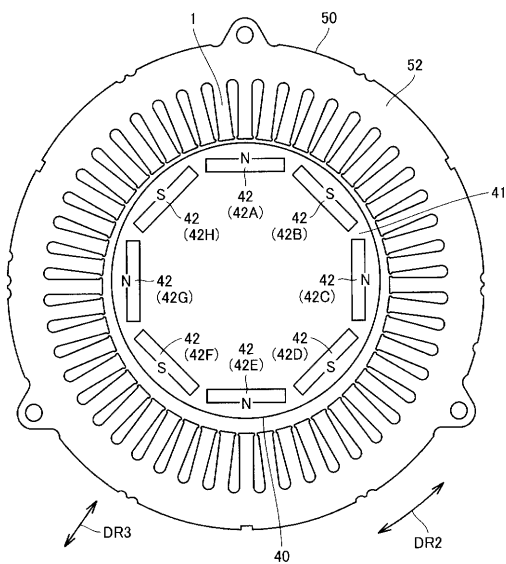
【図 1】



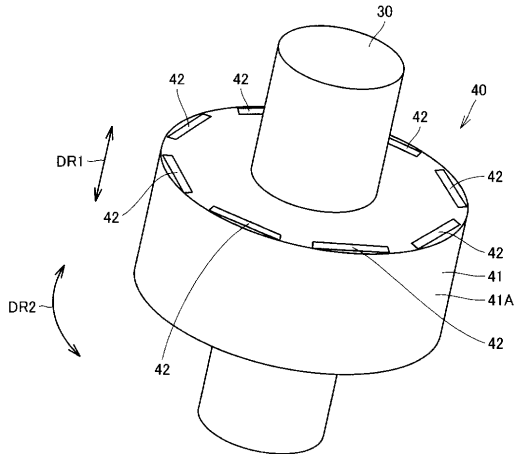
【図 2】



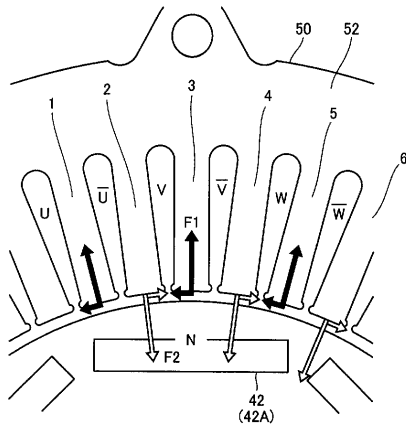
【図 3】



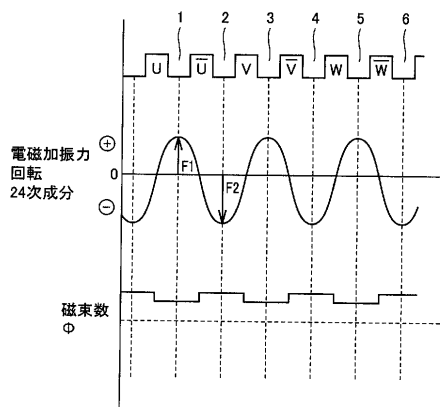
【図 4】



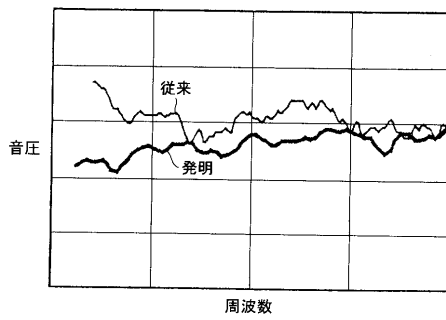
【図 5】



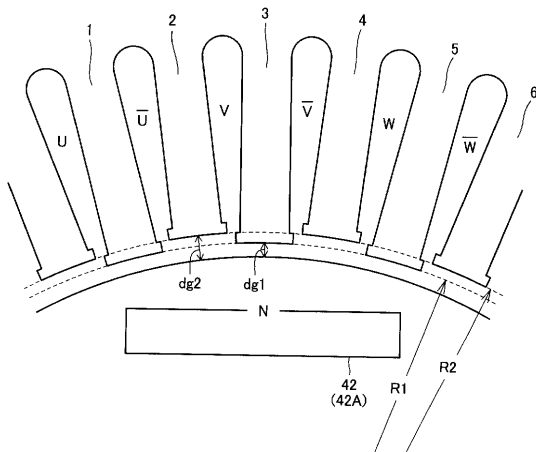
【図 6】



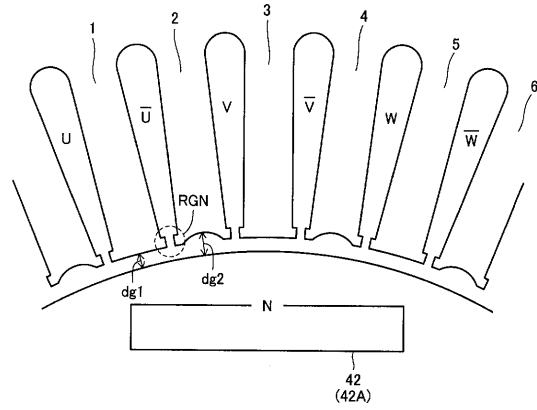
【図 9】



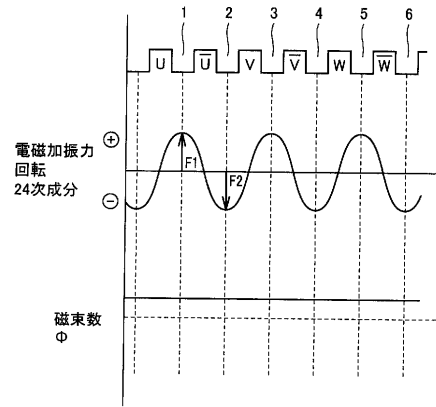
【図 10】



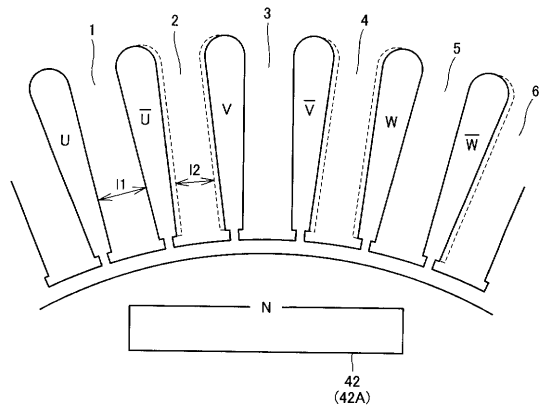
【図 7】



【図 8】



【図 11】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5H601 AA21 AA27 BB20 CC01 CC13 CC15 DD01 DD11 EE02 EE15
GA01 GA24 GB05 GB13 GB22 GB28 GB33 GC02 GC12
5H603 AA01 BB01 BB09 CA01 CB05 CC17 CD02 CD21