

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4543793号  
(P4543793)

(45) 発行日 平成22年9月15日(2010.9.15)

(24) 登録日 平成22年7月9日(2010.7.9)

(51) Int.Cl.	F 1				
<b>HO2K 1/14</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	1/14	C	
<b>HO2K 1/27</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	1/27	501A	
<b>HO2K 3/28</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	1/27	501K	
<b>HO2K 21/14</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	3/28	J	
<b>HO2K 37/14</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	21/14	M	

請求項の数 7 (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2004-202579 (P2004-202579)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成16年7月9日(2004.7.9)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2006-25559 (P2006-25559A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43) 公開日	平成18年1月26日(2006.1.26)	(74) 代理人	100103171
審査請求日	平成18年9月8日(2006.9.8)		弁理士 雨貝 正彦
		(72) 発明者	梨木 政行
			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	河村 勝也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 交流モータおよびその制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロータ軸を中心に回転可能であり、周方向に交互に配置されたN極磁極およびS極磁極と、前記ロータ軸方向に沿って前記N極磁極および前記S極磁極に隣接した位置に配置されてこれらのバックヨークに磁氣的に接続されたロータ中性磁極とを有するロータと、

前記ロータ軸を中心としてループ状に巻回された巻線と、前記ロータ中性磁極に対向する位置に配置されたステータ中性磁極と、前記N極磁極および前記S極磁極のいずれかに対向する位置に配置されたステータ磁極と、前記巻線を周回するように前記ステータ中性磁極と前記ステータ磁極とを接続するバックヨークとによって構成される複数のモジュールが前記ロータ軸方向に隣接配置させたステータと、

を備えることを特徴とする交流モータ。

【請求項2】

請求項1において、

前記複数のモジュールのそれぞれについて、前記N極磁極によって生成される磁束F1と前記S極磁極によって生成される磁束F2のそれぞれが、前記ロータ中性磁極と前記ステータ中性磁極とを介して前記巻線に対して同一方向に鎖交する磁気回路を備えることを特徴とする交流モータ。

【請求項3】

請求項1において、

P相およびQ相のそれぞれに対応する2つの前記モジュールが備わっており、

P相の前記ステータ磁極は、前記ロータ軸を中心とする同一円周上に電気角でほぼ180度ピッチで配置され、

Q相の前記ステータ磁極は、前記ロータ軸を中心とする同一円周上に電気角でほぼ180度ピッチで、かつ、前記P相のステータ磁極に対して電気角でほぼ90度ずらした位置に配置されていることを特徴とする交流モータ。

【請求項4】

請求項3において、

P相に対応する前記巻線は、3相交流巻線L<sub>u</sub>、L<sub>v</sub>、L<sub>w</sub>の中のL<sub>u</sub>と逆向きに配置されたL<sub>w</sub>の一部が使用され、

Q相に対応する前記巻線は、前記3相交流巻線L<sub>u</sub>、L<sub>v</sub>、L<sub>w</sub>の中のL<sub>v</sub>と逆向きに配置されたL<sub>w</sub>の一部が使用されることを特徴とする交流モータ。

【請求項5】

請求項3に記載された交流モータの制御装置であって、

P相に対応する前記巻線に鎖交する鎖交磁束 $\phi_p$ の回転角度変化率を $E_p = d\phi_p / dt$ 、Q相に対応する前記巻線に鎖交する鎖交磁束 $\phi_q$ の回転角度変化率を $E_q = d\phi_q / dt$ 、P相に対応する前記巻線の巻き回数を $W_p$ 、Q相に対応する前記巻線の巻き回数を $W_q$ とし、

トルク指令 $T_a$ に対して、 $T_a = W_p \times E_p \times I_p + W_q \times E_q \times I_q$ となるようにP相の前記巻線に流す電流 $I_p$ とQ相の前記巻線に流す電流 $I_q$ を制御することを特徴とする交流モータの制御装置。

【請求項6】

請求項1において、

U相、V相、W相の3相に対応する2つの前記モジュールを備え、

前記2つのモジュールのそれぞれに含まれる前記ステータ磁極は互いに電気角で120度ずれた位置に配置されており、

一方の前記モジュールに含まれる前記巻線は、互いに巻回方向が反対となるU相巻線と第1のV相巻線を有し、

他方の前記モジュールに含まれる前記巻線は、互いに巻回方向が反対となる第2のV相巻線とW相巻線を有し、

前記第1および第2のV相巻線は、巻回方向が互いに反対であって直列に接続されていることを特徴とする交流モータ。

【請求項7】

請求項6において、

U相、V相、W相のそれぞれに対応する前記巻線の中で、電磁氣的に同一部位に巻回された前記U相巻線と前記第1のV相巻線、前記第2のV相巻線と前記W相巻線を一つに集約することを特徴とする交流モータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多相電流によって回転駆動されるステッピングモータ等の交流モータおよびその制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、P相およびQ相の2相電流を用いて回転駆動されるステッピングモータが知られている（例えば、特許文献1参照。）。図51は、8極の場合の従来の2相ステッピングモータの構成を示す断面図である。また、図52は図51に示した2相ステッピングモータのロータに備わった永久磁石を周方向に展開した図である。図53は、図51に示した2相ステッピングモータのステータ磁極を周方向に転回した図である。

【0003】

これらの図に示す従来構成の2相ステッピングモータでは、P相巻線128へ正の電流

10

20

30

40

50

が流され、そのときに永久磁石 1 2 1 からステータ磁極 1 2 4 の方向へ起磁力が発生するものと仮定すると、ステータ磁極 1 2 4 と永久磁石 1 2 1 の N 極とが対向する位置へロータが回転移動し、停止する。次に、P 相電流を零とし、Q 相巻線 1 2 9 へ正の電流を流し、そのときに永久磁石 1 2 2 からステータ磁極 1 2 6 の方向へ起磁力が発生するものと仮定すると、永久磁石 1 2 2 の N 極とステータ磁極 1 2 6 が対向する位置へロータが機械角で 22.5 度、電気角で 180 度回転し、移動する。次に、Q 相電流を零とし、P 相巻線 1 2 8 へ負の電流が流されると、ステータ磁極 1 2 4 と永久磁石 1 2 1 の S 極とが対向する位置へロータが機械角で 22.5 度回転し、移動する。次に、P 相電流を零とし、Q 相巻線 1 2 9 へ負の電流が流されると、ステータ磁極 1 2 6 と永久磁石 1 2 2 の S 極とが対向する位置へロータが機械角で 22.5 度回転し、移動する。次に、Q 相電流を零とし、P 相巻線 1 2 8 へ正の電流が流されると、ステータ磁極 1 2 4 と永久磁石 1 2 1 の N 極とが対向する位置へロータが機械角で 22.5 度回転して移動し、元の回転位置に戻り、ロータが 1 回転したことになる。以上の動作を連続的に行うことにより、モータを回転制御することができる。逆方向へ回転させる場合は、上述した各動作ステップの順番を反対にすればよい。また、前記の動作ステップの説明は、2 相の電流を断続する場合について説明したが、電気角で 90 度位相の異なる 2 相交流の正弦波電流制御を行うことにより、より滑らかな回転制御を行うことが可能である。

10

【特許文献 1】特開 2001-161055 号公報（第 7 - 12 頁、図 1 - 17）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

ところで、図 5 1 等に示されたモータは、各種の機器に組み込まれて使用されるため、より高性能化、小型化、低コスト化が求められている。このため、従来構成のモータに対してさらに磁気回路を改良して、ロータの永久磁石 1 2 1、1 2 2 によって生成される磁束を有効活用する必要があった。また、P 相と Q 相のステータ磁極相互間の漏れ磁束に伴ってトルクリップルや振動、騒音が過大になるという問題があった。さらに、2 相モータの電圧、電流をトランジスタインバータで制御する場合、3 相交流制御の場合にはトランジスタ 6 個で平衡 3 相制御を行うことができるのに対し、トランジスタ数が 8 個と多くなったり、トランジスタの駆動効率が悪くなる等の弊害があり、制御が複雑になるという問題があった。

30

【0005】

本発明は、このような点に鑑みて創作されたものであり、その目的は、発生トルクを増すことができ、小型化、低コスト化が可能な交流モータおよびその制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決するために、本発明の交流モータは、ロータ軸を中心に回転可能であり、周方向に交互に配置された N 極磁極および S 極磁極と、ロータ軸方向に沿って N 極磁極および S 極磁極に隣接した位置に配置されてこれらのバックヨークに磁氣的に接続されたロータ中性磁極とを有するロータと、ロータ軸を中心としてループ状に巻回された巻線と、ロータ中性磁極に対向する位置に配置されたステータ中性磁極と、N 極磁極および S 極磁極のいずれかに対向する位置に配置されたステータ磁極と、巻線を周回するようにステータ中性磁極とステータ磁極とを接続するバックヨークとによって構成される複数のモジュールがロータ軸方向に隣接配置させたステータとを備えている。これにより、N 極磁極によって発生する磁束と S 極磁極によって発生する磁束とを別々に活用することが可能になり、発生トルクを増すことができる。また、要求仕様としてのトルクが一定の場合を考えると、要求されるトルクを発生するため必要な交流モータの小型化、低コスト化を実現することができる。

40

【0007】

また、上述した複数のモジュールのそれぞれについて、N 極磁極によって生成される磁

50

束 F 1 と S 極磁極によって生成される磁束 F 2 のそれぞれが、ロータ中性磁極とステータ中性磁極とを介して巻線に対して同一方向に鎖交する磁気回路を備えることが望ましい。このような磁気回路を備えることにより、トルク発生に寄与する磁束の総量を増加させることが可能になる。

【 0 0 1 0 】

また、P相およびQ相のそれぞれに対応する2つのモジュールが備わっており、P相のステータ磁極は、ロータ軸を中心とする同一円周上に電気角でほぼ180度ピッチで配置され、Q相のステータ磁極は、ロータ軸を中心とする同一円周上に電気角でほぼ180度ピッチで、かつ、P相のステータ磁極に対して電気角でほぼ90度ずらした位置に配置されていることが望ましい。これにより、P相およびQ相からなる2相の交流モータを実現するとともに、各相に対応するロータのN極磁極およびS極磁極のそれぞれにおいて生成された磁束を有効活用して発生トルクを増すことができる。

10

【 0 0 1 4 】

また、P相に対応する巻線は、3相交流巻線 L u、L v、L w 中の L u と逆向きに配置された L w の一部が使用され、Q相に対応する巻線は、3相交流巻線 L u、L v、L w 中の L v と逆向きに配置された L w の一部が使用されることが望ましい。これにより、P相およびQ相の巻線に対して3相電流を流す制御を行うことが可能になり、制御に必要な構成の簡略化が可能になる。

【 0 0 1 6 】

また、U相、V相、W相の3相に対応する2つのモジュールを備え、2つのモジュールのそれぞれに含まれるステータ磁極は互いに電気角で120度ずれた位置に配置されており、一方のモジュールに含まれる巻線は、互いに巻回方向が反対となるU相巻線と第1のV相巻線を有し、他方のモジュールに含まれる巻線は、互いに巻回方向が反対となる第2のV相巻線とW相巻線を有し、第1および第2のV相巻線は、巻回方向が互いに反対であって直列に接続されていることが望ましい。このようにして3相交流モータを構成することにより、振動や騒音の小さな高効率モータを実現することができるとともに、大量に生産、使用されている安価な3相モータ用インバータを用いて駆動することが可能になり、コスト低減が可能になる。

20

【 0 0 1 7 】

また、U相、V相、W相のそれぞれに対応する巻線の中で、電磁氣的に同一部位に巻回されたU相巻線と第1のV相巻線、第2のV相巻線とW相巻線を一つに集約することが望ましい。これにより、巻線を簡素化することができるとともに、銅損の低減が可能になって出力向上を図ることが可能になる。

30

【 0 0 1 8 】

また、本発明の交流モータの制御装置は、P相に対応する巻線に鎖交する鎖交磁束  $p$  の回転角度変化率を  $E_p = d p / d t$ 、Q相に対応する巻線に鎖交する鎖交磁束  $q$  の回転角度変化率を  $E_q = d q / d t$ 、P相に対応する巻線の巻き回数を  $W_p$ 、Q相に対応する巻線の巻き回数を  $W_q$  とし、トルク指令  $T_a$  に対して、 $T_a = W_p \times E_p \times I_p + W_q \times E_q \times I_q$  となるようにP相の巻線に流す電流  $I_p$  とQ相の巻線に流す電流  $I_q$  を制御している。この制御装置を用いて各相の巻線に流す電流を制御することにより、所望のトルクを発生する交流モータを実現することが可能になる。

40

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 9 】

以下、本発明を適用した一実施形態の交流モータについて、図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 2 0 】

図1は、一実施形態の交流モータの縦断面図である。図1に示す本実施形態の交流モータ1は、P相およびQ相の2つのモジュール（各相に対応するモジュールを「アクチュエータ部」と称する）を備えた2相モータであり、ロータ100、ステータ200、モータケース12を含んで構成されている。ロータ100は、ロータ軸11、P相永久磁石13

50

、Q相永久磁石14、バックヨーク2を有する。

【0021】

図2は、8極のロータ100を回転方向に展開した図である。横軸に沿って付された角度は機械角を示しており、360度で1回転となる。一方のロータ磁極であるP相永久磁石13のN極とS極が回転方向に沿って交互に配置されており、他方のロータ磁極であるQ相永久磁石14のN極とS極が回転方向に沿って交互に配置されている。また、これらのP相永久磁石13とQ相永久磁石14はロータ軸11に沿って所定の距離隔たって配置されており、P相永久磁石13およびQ相永久磁石14のロータ軸11に沿った隣接位置にバックヨーク2の一部であるロータ中性磁極25、26、27が配置されている。

【0022】

ステータ200は、P相巻線23、Q相巻線24、P相ステータ磁極16、17、Q相ステータ磁極20、21、P相ステータ中性磁極15、18、Q相ステータ中性磁極19、22を有している。図3は、ロータ100に対向する各ステータ磁極の形状を回転方向に展開した図である。横軸に沿って付された角度は機械角を示しており、360度で1回転となる。順方向のP相ステータ磁極16は、ロータ100のP相永久磁石13に対向している。また、P相ステータ中性磁極18は、P相ステータ磁極16を通る磁束F1がP相巻線23を鎖交するように導くためのものであり、ロータ中性磁極26に対向している。これらのP相ステータ磁極16とP相ステータ中性磁極18は、P相巻線23を周回するようにステータ100のバックヨークを介して接続されている。同様に、破線で示す逆方向のP相ステータ磁極17は、ロータ100のP相永久磁石13に対向している。また、P相ステータ中性磁極15は、P相ステータ磁極17を通る磁束F2がP相巻線23を鎖交するように導くためのものであり、ロータ中性磁極25に対向している。これらのP相ステータ磁極17とP相ステータ中性磁極15は、P相巻線23を周回するようにステータ100のバックヨークを介して接続されている。磁束F1と磁束F2はP相巻線23に対して同一方向の鎖交磁束となるように構成されている。

【0023】

順方向のQ相ステータ磁極21は、ロータ100のQ相永久磁石14に対向している。また、Q相ステータ中性磁極19は、Q相ステータ磁極21を通る磁束F3がQ相巻線24を鎖交するように導くためのものであり、ロータ中性磁極26に対向している。これらのQ相ステータ磁極21とQ相ステータ中性磁極19は、Q相巻線24を周回するようにステータ100のバックヨークを介して接続されている。同様に、破線で示す逆方向のQ相ステータ磁極20は、ロータ100のQ相永久磁石14に対向している。Q相ステータ中性磁極22は、Q相ステータ磁極20を通る磁束F4がQ相巻線24を鎖交するように導くためのものであり、ロータ中性磁極27に対向している。これらのQ相ステータ磁極20とQ相ステータ中性磁極22は、Q相巻線24を周回するようにステータ100のバックヨークを介して接続されている。磁束F3と磁束F4はQ相巻線24に対して同一方向の鎖交磁束となるように構成されている。

【0024】

図4は、P相巻線23とQ相巻線24を回転方向に展開した図である。横軸に沿って付された角度は機械角を示しており、360度で1回転となる。図4に示すように、P相巻線23およびQ相巻線24のそれぞれはループ状の形状を有している。図4に示す破線は、それぞれの回転角に対応するロータ100の永久磁石13、14およびロータ中性磁極25、26、27の形状である。

【0025】

次に、ステータ200の詳細形状について説明する。図5は、本実施形態のステータ200の断面箇所を示す図である。図6は、図5のA-A線断面図であり、P相ステータ磁極16、17の断面形状が示されている。図7は、図5のAG-AG線断面図であり、P相ステータ中性磁極18の断面形状が示されている。図8は、図5のB-B線断面図であり、P相ステータ磁極16、17の断面形状が示されている。図9は、図5のBG-BG線断面図であり、P相ステータ中性磁極15の断面形状が示されている。図10は、図5

10

20

30

40

50

のC - C線断面図であり、Q相ステータ磁極20、21の断面形状が示されている。図11は、図5のCG - CG線断面図であり、Q相ステータ中性磁極19の断面形状が示されている。図12は、図5のD - D断面図であり、Q相ステータ磁極20、21の断面形状が示されている。図13は、図5のDG - DG線断面図であり、Q相ステータ中性磁極22の断面形状が示されている。

【0026】

各ステータ磁極とこれらに対してステータ200の外径側の磁路を介して磁氣的に接続された各ステータ中性磁極とが対になっている。具体的には、P相ステータ磁極16とP相ステータ中性磁極18とがステータ200の外径側の磁路を介して物理的につながった磁気回路を構成している。同様に、P相ステータ磁極17とP相ステータ中性磁極15とがステータ200の外径側の磁路を介して物理的につながった磁気回路を構成している。Q相ステータ磁極21とQ相ステータ中性磁極19とがステータ200の外径側の磁路を介して物理的につながった磁気回路を構成している。Q相ステータ磁極20とQ相ステータ中性磁極22とがステータ200の外径側の磁路を介して物理的につながった磁気回路を構成している。そして、これら4組の磁気回路は回転方向の磁極間の漏れ磁束が問題とならない程度に、各々のステータ磁極16、17、20、21が円周方向に磁氣的に分離して配置されている。

【0027】

なお、本実施形態の交流モータ1は8極モータであり、電気角で360度のピッチで同一相のステータ磁極が円周上に4個ずつ配置されている。これら同一相のステータ磁極は、磁氣的に接続されていても電磁氣的作用は変わらないので、物理的に結合しても良く、ステータ200の強度を向上させることができる。特に、ステータ中性磁極15、18、19、22は、図7、9、11、13に示すように内径側で円環状に接続することにより、ギャップ面での対向面積を増すことができ、ロータ中性磁極25、26、27との間の磁気抵抗を低減することが可能であって、電磁氣的にも良い効果が得られる。さらには、ステータ中性磁極18、19は、ロータ中性磁極26との間の磁気抵抗がモータ動作上十分小さければ、軸方向に隣接しているので磁氣的に接続して、ステータ200の構成を簡略化し、小型化することも可能である。

【0028】

次に、本実施形態の交流モータの電磁氣的動作を、図51に示した従来構成の交流モータと比較しながら説明する。図51に示した従来構成の交流モータのステータ磁極124、125と永久磁石121のN極、S極の一对だけについて、交流モータの1要素としてP相巻線128に鎖交する磁束を考えてみると、モデル的に図14に示すように表現することができる。永久磁石56、57は、図52に示す永久磁石121に含まれるN極とS極の一对に対応している。バックヨーク55は、図51に示すバックヨーク123に対応している。巻線58は、図51に示すP相巻線128に対応している。図51に示す交流モータの1要素における鎖交磁束は、図14の符号Aで示すように、N極の永久磁石56から出た磁束が巻線58を周回してS極の永久磁石57に戻るような磁束となる。

【0029】

一方、図1に示す本実施形態の交流モータのP相ステータ磁極16、17とP相ステータ中性磁極15、18の1組と永久磁石13の1対のN極、S極だけについて、交流モータの1要素としてP相巻線23に鎖交する磁束を考えてみると、モデル的に図15に示すように表現することができる。永久磁石56、57は、図2に示す永久磁石13に含まれるN極とS極の一对に対応している。図15に示すロータ中性磁極25、26は、図2に示すロータ中性磁極25、26と同じであり、永久磁石56、57のバックヨークに相当する。巻線29は、図1に示すP相巻線23に対応している。図15に示すように、本実施形態の交流モータの1要素における鎖交磁束は、N極の永久磁石56から出た磁束が巻線29を周回した後ロータ中性磁極25を経由してN極の永久磁石56に戻るような磁束(符号B1)と、ロータ中性磁極26から巻線29を周回してS極の永久磁石57へ戻る磁束(符号B2)の和となる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 0 】

結局、図 1 4 と図 1 5 とを比較すると、磁石表面積が同じでありながら、ロータ中性磁極を活用することにより、図 1 5 に示す本実施形態の交流モータの方が 2 倍近い鎖交磁束を得ることができることを意味している。但し、図 1 5 に示す交流モータの方が永久磁石の起磁力を 2 倍必要とするため、厚めの永久磁石を用いる必要がある。なお、近年、高性能な希土類永久磁石が多く実用化され、薄型の永久磁石で機能を達成できていることから、磁石を多少厚くしてもモータサイズが大きくなる等のモータ設計上の問題は少ない。

## 【 0 0 3 1 】

巻線 2 9 の鎖交磁束が 2 倍になれば、交流モータの電圧が 2 倍になり、同じ交流モータ電流で 2 倍のトルクを発生できることになる。したがって、交流モータの小型化、低コスト化が可能となる。結局、図 1 に示す本実施形態の交流モータ 1 は、ステータ中性磁極 1 5、1 8、1 9、2 2 およびロータ中性磁極 2 5、2 6、2 7 を追加することで、高トルク化、小型化、低コスト化を実現することができる。

## 【 0 0 3 2 】

なお、ロータ 1 0 0 に対向するエアギャップ側の面でもあるステータ磁極 1 6、1 7、2 0、2 1 のステータ磁極形状は、図 3 では原理的な説明のために長方形で図示しているが、形状を台形形状、スキュー形状、楕円形状、三角形形状等とすることができる。交流モータでは、技術的に大きな課題として、コギングトルクの低減とトルクリップルの低減が必要である。図 2 に示すロータ磁極形状や図 3 に示すステータ磁極形状では大きな平均トルクが得られるが、コギングトルクやトルクリップルの低減については何ら対策されていない。これについては、上述したようにステータ磁極形状を变形することにより改善することが可能となる。

## 【 0 0 3 3 】

次に、本実施形態の交流モータの磁束、電圧、電流、トルク、パワーの関係について説明する。図 1 6 は、本実施形態の交流モータの電圧、電流、パワーの関係を示すベクトル図である。図 1 6 において、X 軸が実軸を、Y 軸が虚軸を示しており、X 軸に対する反時計回り方向（CCW 方向）の角度をベクトルの位相角とする。ステータ 2 0 0 の P 相ステータ中性磁極 1 5、1 8 および Q 相ステータ中性磁極 1 9、2 2 を通り、P 相巻線 2 3 および Q 相巻線 2 4 に鎖交する磁束  $p$ 、 $q$  の回転角度変化率を単位電圧と称し、 $E_p = d p / d t$ 、 $E_q = d q / d t$  とする。は機械角で表現したロータ 1 0 0 の回転角である。各相ステータ磁極の永久磁石 1 3 あるいは 1 4 に対する相対位置は、図 3 に示したように電気角で 9 0 度ずつシフトされているので、各相巻線 2 3、2 4 の 1 ターンに誘起される単位電圧  $E_p$ 、 $E_q$  は、図 1 6 のベクトル図に示すような 2 相交流電圧となる。また、 $E_p$ 、 $E_q$  は、原理的に極数に比例するので、図 1 に示した 8 極構造よりも多極化することにより、出力トルクを大きくすることが可能である。

## 【 0 0 3 4 】

いま、一定回転  $d / d t = S 1$  で回転し、各相巻線 2 3、2 4 の巻き回数が  $W_p$ 、 $W_q$  で、その値は  $W_c$  と等しいものとする、各相巻線 2 3、2 4 のそれぞれの誘起電圧  $V_p$ 、 $V_q$  は次のように表される。

## 【 0 0 3 5 】

$$\begin{aligned} V_p &= W_p \times (d p / d t) \\ &= W_p \times d p / d t \times d / d t \\ &= W_p \times E_p \times S 1 \end{aligned} \quad \dots (1)$$

$$V_q = W_q \times E_q \times S 1 \quad \dots (2)$$

ここで、具体的な巻線と電圧に関し、P 相の単位電圧  $E_p$  は図 1、図 4 で示される P 相巻線 2 3 の 1 ターンに発生する電圧であり、Q 相の単位電圧  $E_q$  は、Q 相巻線 2 4 の 1 ターンに発生する電圧である。

## 【 0 0 3 6 】

交流モータ 1 のトルクを効率良く発生させようとする、力率が 1 となるように、各相電流  $I_p$ 、 $I_q$  は、各相巻線電圧  $E_p$ 、 $E_q$  と同一位相に通電すべきであり、図 1 6 では

例えば電流  $I_p$ 、 $I_q$  と単位電圧  $E_p$ 、 $E_q$  とがそれぞれ同一位相となる場合について示している。

【0037】

各相のパワー  $P_p$ 、 $P_q$  および交流モータの出力パワー  $P_a$  は以下のようになる。

【0038】

$$P_p = V_p \times I_p = W_p \times E_p \times S_1 \times I_p \quad \dots (3)$$

$$P_q = V_q \times I_q = W_q \times E_q \times S_1 \times I_q \quad \dots (4)$$

$$P_a = P_p + P_q = V_p \times I_p + V_q \times I_q \quad \dots (5)$$

各相のトルク  $T_p$ 、 $T_q$  および交流モータの出力トルク  $T_a$  は以下のようになる。

【0039】

$$T_p = P_p / S_1 = W_p \times E_p \times I_p \quad \dots (6)$$

$$T_q = P_q / S_1 = W_q \times E_q \times I_q \quad \dots (7)$$

$$\begin{aligned} T_a &= T_p + T_q = W_p \times E_p \times I_p + W_q \times E_q \times I_q \quad \dots (8) \\ &= W_c \times (E_p \times I_p + E_q \times I_q) \end{aligned}$$

いま、具体的な例として、交流モータの極数を8、ロータ100の磁束分布が理想的な正弦波分布であると仮定して、P相磁束  $p$ 、Q相磁束  $q$  は電気角で90度の位相差を持つ2相の磁束とし、 $p = \phi_0 \times \sin(8/2 \times \theta)$ 、 $q = -\phi_0 \times \cos(8/2 \times \theta)$  と仮定して、諸量について考えてみる。巻線電圧は、 $E_p = d p / d \theta = 4 \phi_0 \times \cos(4 \theta)$ 、 $E_q = d q / d \theta = 4 \phi_0 \times \sin(4 \theta)$  となる。(1)式および(2)式を用いて計算すると、

$$V_p = W_p \times E_p \times S_1 = W_p \times 4 \phi_0 \times \cos(4 \theta) \times S_1$$

$$V_q = W_q \times 4 \phi_0 \times \sin(4 \theta) \times S_1$$

となる。ここで、 $\phi_0$  は磁束の振幅とする。 $V_p$  と  $V_q$  とは、電気角で90度の位相差を持つ2相交流電圧となる。

【0040】

電流を  $I_p = I_0 \cos(4 \theta)$ 、 $I_q = I_0 \sin(4 \theta)$  としてパワーを(3)、(4)、(5)式を用いて計算すると、

$$\begin{aligned} P_p &= V_p \times I_p \\ &= W_p \times 4 \phi_0 \cos(4 \theta) \times S_1 \times I_0 \cos(4 \theta) \\ &= 4 W_p \cdot \phi_0 \cdot S_1 \cdot I_0 \cos^2(4 \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_q &= V_q \times I_q \\ &= 4 W_p \cdot \phi_0 \cdot S_1 \cdot I_0 \sin^2(4 \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_a &= P_p + P_q \\ &= V_p \times I_p + V_q \times I_q \\ &= 4 W_p \cdot \phi_0 \cdot S_1 \cdot I_0 \end{aligned}$$

となる。本実施形態の交流モータの出力トルク  $T_a$  は、(8)式より、 $T_a = 4 W_p \cdot \phi_0 \cdot I_0$  となる。したがって、出力トルク  $T_a$  は一定の値となり、出力  $P_a$  はトルク  $T_a$  と回転速度  $S_1$  に比例した一定の値となる。

【0041】

また、図1に示した本実施形態の交流モータでは、P相とQ相とでは電気角的に位相差が90度の場合について説明したが、トルク  $T_a$  は(8)式で表されるので、 $E_p$ 、 $E_q$  の振幅が異なるか、あるいは、位相差が90度でない場合においても、電流  $I_p$ 、 $I_q$  の振幅、位相および各相巻線23、24の巻き回数  $W_p$ 、 $W_q$  として適切な値を選択することにより、トルクリップルの小さいトルク  $T_a$  とすることができる。

【0042】

本実施形態の交流モータ1の特徴は、図14および図15を用いて説明したように、図51に示した従来構成の交流モータに比べて、各相巻線23、24の鎖交磁束  $p$ 、 $q$  を大きくできることから、上述した(1)式における  $d p / d \theta$  を大きくすることができる点にある。これにより、同一電流で大きなトルクを得ることができ、高トルク化、高効率化、小型化が可能となる。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 4 3 】

次に、上述した本実施形態の交流モータ 1 の形状、構造を改良する各種の変形例について説明する。

## 【 0 0 4 4 】

(変形例 1) 図 1 7 は、ステータ磁極およびステータ中性磁極の形状を改良した交流モータの変形例を示す縦断面図である。図 1 に示した交流モータ 1 では、各相ステータ磁極と各相ステータ中性磁極は、ステータ外周部からステータ 2 0 0 とロータ 1 0 0 との間のエアギャップ部までの磁気回路がそれぞれロータ軸 1 1 に沿った向きと異なる場所に配置されており、モータ長さがその分だけ長くなる。この構造に対し、図 1 7 に示す変形例の交流モータでは、P 相ステータ磁極 3 7 と P 相ステータ中性磁極 3 8 のステータ最外径側からエアギャップ部までの磁気回路がロータ軸方向の同じ位置に、即ち同一円周上に配置されており、ロータ軸 1 1 に沿った長さをその分だけ低減することができる。同様に、Q 相ステータ磁極 4 2 と Q 相ステータ中性磁極 4 3 のステータ最外径側からエアギャップ部までの磁気回路がロータ軸方向の同じ位置に、即ち同一円周上に配置されており、ロータ軸 1 1 に沿った方向の長さをその分だけ低減することができる。また、モータ中央部のステータ中性磁極 4 0 は、図 1 に示した構造と比較すると、2 個のステータ中性磁極 1 8、1 9 が 1 個に集約されており、かつ、ステータ磁極 3 9、4 1 と同じロータ軸方向の位置に配置されているため、ロータ軸 1 1 方向の長さをさらに低減することができる。

10

## 【 0 0 4 5 】

図 1 7 に示した交流モータの各部の基本的な機能や動作は図 1 に示した交流モータ 1 と同じであり、ステータの磁路構造のみが変更されている。図 1 8 は、図 1 7 の E - E 線断面図であり、順方向の P 相ステータ磁極 3 7 と逆方向の P 相ステータ中性磁極 3 8 の断面形状が示されている。また、図 1 9 は図 1 7 の F - F 線断面図であり、逆方向の P 相ステータ磁極 3 9 と順方向の P 相のステータ中性磁極 4 0 の断面形状が示されている。図 2 0 は、図 1 7 の G - G 線断面図であり、順方向の Q 相ステータ磁極 4 2 と逆方向の Q 相ステータ中性磁極 4 3 の断面形状が示されている。図 2 1 は、図 1 7 の H - H 線断面図であり、逆方向の Q 相ステータ磁極 4 1 と順方向の Q 相のステータ中性磁極 4 0 の断面形状が示されている。なお、順方向の P 相のステータ中性磁極 4 0 と順方向の Q 相のステータ中性磁極 4 0 は、ロータ中性磁極 3 6 との間の磁気抵抗が交流モータの磁気回路動作において問題とならない程度に小さいことを前提に共通化されている。また、図 1 8 ~ 図 2 1 のそれぞれに示す各ステータ中性磁極 3 8、4 0、4 3 は、破線で示すように内周側を円環状に相互に接続することにより、ロータ中性磁極との対向面積を増加させており、これにより、磁気抵抗を低下させることができる。

20

30

## 【 0 0 4 6 】

(変形例 2) 図 1 ~ 図 2 1 では P 相、Q 相からなる 2 相の交流モータについて説明したが、これらの各相のモジュール(アクチュエータ部)を N 個備えることにより、同様の考え方を 3 相以上の N 相に適用し、N 相の交流モータとすることもできる。

## 【 0 0 4 7 】

具体的には、図 1 に示した構造は 2 相の交流モータについて示したものであるため、90 度の位相差を持つアクチュエータ部を 2 個備えているが、このようなアクチュエータ部を軸方向に N 個備え、それぞれの相対位相を電気角で  $(360/N)$  度ずらすことにより N 相の交流モータを構成することができる。

40

## 【 0 0 4 8 】

また、図 1 7 に示すように、一部の構成要素を複合化した複合構成の場合には、その複合構成要素を軸方向に直列配置し、各相の相対位相は電気角で  $(360/N)$  度とすることにより、N 相の交流モータを構成することができる。但し、この場合には、図 1 7 の構成で生成される磁束成分以外の磁路が発生しないような構成とする必要がある。したがって、上述した複合構成要素の間の磁束を排除するため、複合要素のステータ間の磁路を接続しないか、あるいは、複合要素のロータ間の磁路を接続しないように磁氣的に分離する必要がある。

50

## 【 0 0 4 9 】

(変形例3) 図1等を用いて説明した交流モータは、多極化することにより、原理的なトルク定数の増加、即ち同一の巻線に同一の電流を通電したときに得られる出力トルクの増加を図ることができる。しかし、多極化すると各ステータ磁極間の距離が狭くなり、各ステータ磁極間の漏れ磁束が増加するという問題がある。このような異なる磁極間の漏れ磁束の増加は、トルク発生上有効な磁束を低減させ、発生トルクを低下させるとともに、力率の低下を招いて効率も低下する原因となる。また、トルクリップルや振動、騒音が過大になる原因にもなっている。

## 【 0 0 5 0 】

図22～図25は、異なるステータ磁極間の漏れ磁束を低減する交流モータの横断面図であり、磁極数を16に増加させた場合の構造が示されている。なお、図22～図25のそれぞれは、極数およびステータ構造が異なるが、図17に示した交流モータの断面箇所であるE-E線断面、F-F線断面、G-G線断面、H-H線断面に対応する形状が示されている。

10

## 【 0 0 5 1 】

図22において、16極の永久磁石30は断面部分には現れないので破線で示されている。また、順方向のP相ステータ磁極37は、ロータの永久磁石30に対向しており、その先端部44もこの断面部分に現れないので破線で示されている。ステータ磁極37の先端部44が2個集約されてバックヨークの磁気回路に接続されている。逆方向のP相ステータ中性磁極38は、ロータ中性磁極36に対向しており、ステータ内周部で円環状に結合されている。

20

## 【 0 0 5 2 】

図23において、ロータの永久磁石30に対向する逆方向のP相ステータ磁極39の先端部50はこの断面部分に現れないので破線で示されている。ステータ磁極39の先端部50が2個集約されてバックヨークの磁気回路に接続されている。ロータ中性磁極36に対向した順方向のP相のステータ中性磁極40は、ステータ内周部で円環状に結合されている。

## 【 0 0 5 3 】

ステータ磁極37を通る磁束について考えてみると、永久磁石30から出る磁束が磁極先端部44を通り、ステータ磁極37を通り、ステータ外周近傍の磁気回路46を通過してステータ中性磁極40を通り、ロータ中性磁極36へ戻る。磁気回路46が図22に示す断面部分から図23に示す断面部分までロータ軸方向に接続されている。また、ステータ中性磁極38を通る磁束について考えてみると、永久磁石30から出る磁束が磁極先端部50を通り、ステータ磁極39を通り、ステータ外周近傍の磁気回路45を通過してステータ中性磁極38を通り、ロータ中性磁極36へ戻る。磁気回路45が図22に示す断面部分から図23に示す断面部分までロータ軸方向に接続されている。

30

## 【 0 0 5 4 】

図24において、16極の永久磁石30は断面部分には現れないので破線で示されている。また、逆方向のQ相ステータ磁極42は、ロータの永久磁石30に対向しており、その先端部51もこの断面部分に現れないので破線で示されている。ステータ磁極42の先端部51が2個集約されてバックヨークの磁気回路に接続されている。ロータ中性磁極36に対向した逆方向のQ相ステータ中性磁極43は、ステータ内周部で円環状に結合されている。

40

## 【 0 0 5 5 】

図25において、ロータの永久磁石30に対向する逆方向のP相ステータ磁極41の先端部52はこの断面部分に現れないので破線で示されている。ステータ磁極41の先端部52が2個集約されてバックヨークの磁気回路に接続されている。ロータ中性磁極36に対向した順方向のQ相ステータ中性磁極40は、ステータ内周部で円環状に結合されている。このステータ中性磁極40は、P相とQ相の順方向ステータ中性磁極が結合され、一体となっている。

50

## 【 0 0 5 6 】

ステータ磁極 4 2 を通る磁束について考えてみると、永久磁石 3 0 から出る磁束が磁極先端部 5 1 を通り、ステータ磁極 4 2 を通り、ステータ外周近傍の磁気回路 4 9 を通ってステータ中性磁極 4 0 を通り、ロータ中性磁極 3 6 へ戻る。磁気回路 4 9 が図 2 4 に示す断面部分から図 2 5 に示す断面部分までロータ軸方向に接続されている。また、ステータ中性磁極 4 3 を通る磁束について考えてみると、永久磁石 3 0 から出る磁束が磁極先端部 5 2 を通り、ステータ磁極 4 1 を通り、ステータ外周近傍の磁気回路 4 8 を通ってステータ中性磁極 4 3 を通り、ロータ中性磁極 3 6 へ戻る。磁気回路 4 8 が図 2 4 に示す断面部分から図 2 5 に示す断面部分までロータ軸方向に接続されている。

## 【 0 0 5 7 】

図 2 2 ~ 図 2 5 に示した構造において特徴的なことは、ステータ磁極の 2 個の先端部 4 4 が共通のステータ磁極 3 7 および磁気回路 4 6 に集約されて一体化されている点である。このように集約すると磁気回路の数が減少し、その分だけ隣り合う磁気回路間の間隔を大きくすることができ、磁極間の漏れ磁束を少なくすることができるという効果がある。結果として、力率が改善されるため、トルクを増加することができるという効果がある。ステータ磁極の集約は、さらに、3 個以上を集約することも可能である。

## 【 0 0 5 8 】

ステータ中性磁極 3 8 はステータ内周部で円環状に結合されており、ロータ中性磁極とステータ中性磁極との間の対向面積を増加させ、そのギャップ部の磁気抵抗を低減する効果がある。図 2 2 に示す断面部分から図 2 3 に示す断面部分までの磁気回路については、これら断面部に対してロータ軸方向にずれた位置のスペースの活用、あるいは、モータケース 1 2 を磁気回路の一部として活用するなどの種々変形が可能である。また、ステータ磁極の集約の形態とステータ中性磁極の集約の形態は異なるが、両方式を混在させることもできる。

## 【 0 0 5 9 】

(変形例 4) 図 2 6 は、P 相と Q 相からなる 2 相 8 極の交流モータの変形例を示す縦断面図である。ロータ 1 0 0 A は、P 相永久磁石 6 5、Q 相永久磁石 6 6、バックヨーク 2 を有する。バックヨーク 2 の一部がロータ中性磁極 6 7 として作用する。ロータ表面を円周方向に直線展開した形状は、図 2 において、両サイドのロータ中性磁極 2 5、2 7 を除去した形状と同じである。

## 【 0 0 6 0 】

ステータ 2 0 0 A は、P 相巻線 7 3、Q 相巻線 7 4、P 相ステータ磁極 6 8、6 9、Q 相ステータ磁極 7 0、7 1、ステータ中性磁極 7 2 を有している。P 相巻線 7 3 および Q 相巻線 7 4 はともにループ状の形状を有しており、それらを円周方向に直線展開すると図 4 に示す形状となる。

## 【 0 0 6 1 】

順方向の P 相ステータ磁極 6 8 は、永久磁石 6 5 に対向している。P 相のステータ中性磁極 7 2 は、ステータ磁極 6 8 を通る磁束 F 1 が P 相巻線 7 3 を鎖交するように導くためのものであり、ロータ中性磁極 6 7 に対向している。

## 【 0 0 6 2 】

順方向のは Q 相ステータ磁極 7 0 は、永久磁石 6 6 に対向している。Q 相のステータ中性磁極 7 2 は、ステータ磁極 7 0 を通る磁束 F 3 が Q 相巻線 7 4 を鎖交するように導くためのものであり、ロータ中性磁極 6 7 に対向している。なお、ステータ中性磁極 7 2 は P 相ステータ中性磁極と Q 相ステータ中性磁極とを兼用している。また、ステータ中性磁極 7 2 のエアギャップ面の先端形状を、ロータ 1 0 0 A との対向面積が大きくなって磁気抵抗を小さくすることができるように、広げるなどの工夫を行うこともできる。図 2 6 に示す交流モータは、ステータ構造を簡素にすることができ、各ステータ磁極のロータ対向面積を大きくすることができることから、トルクを増加させることができる。

## 【 0 0 6 3 】

図 2 7 は、ステータ 2 0 0 A の内周面を回転方向に直線展開した図である。横軸は回転

10

20

30

40

50

角を機械角で示しており、360度で1回転となる。P相ステータ磁極68に対するQ相ステータ磁極70の位置は、機械角で22.5度、電気角で90度の位相差 $P_{ab}$ がある。同相のステータ磁極間の位相差は $P_1$ と $P_2$ の和であり機械角で90度、電気角で360度となっている。

【0064】

図26の破線で示すステータ磁極69、71は、P相ステータ磁極68とQ相ステータ磁極70の逆方向磁束を吸収する逆方向のステータ磁極であり、ステータ中性磁極72に磁氣的に接続されている。この逆方向のステータ磁極69、71は無くても交流モータとして機能するので、ステータ磁極69、71を排除することによりステータ構造を簡素化することも可能であり、これにより、P相巻線73やQ相巻線74の巻き回数を増加させたり、構造を簡素化することが容易となる。

10

【0065】

逆に、ロータ構造、ロータ磁気特性にもよるが、ステータ磁極69、71を付加することにより、ステータ磁極68、70を通過しないロータ表面上の不要な磁束成分を吸収させることができ、交流モータの発生トルクを増加させることができる。また、これらのステータ磁極69、71の主な機能は、ステータ磁極68、70に漏れる有害な磁束を吸収もしくは排除することであるから、ロータ表面に近接しなくても良く、ステータ磁極68、70のエアギャップ長に比較してステータ磁極69、71のエアギャップ長を大きくしてもモータ特性の低下は小さい。また、ステータ磁極69、71の形状は、棒状など簡素な形状にすることもでき、ステータ磁極68、70の近傍に配置することにより有害な磁束を吸収もしくは排除することができる。

20

【0066】

また、図26および図27に示す交流モータのステータ磁極形状とモータ特性の関係において、特にモータ特性をさらに改善する手法として、第1の条件として、永久磁石65からP相ステータ磁極68へはできるだけ多くの磁束 $N_1$ が通り、永久磁石66からQ相ステータ磁極70へはできるだけ多くの磁束 $N_3$ が通る方が、各巻線のトルク定数を大きくすることができる。一方、第2の条件として、P相ステータ磁極68から、永久磁石65を通らずに直接に、逆相ステータ中性磁極69もしくはステータ中性磁極72へ通る磁束は漏れ磁束であり、トルク発生に寄与せず、その意味では有害な磁束であって、力率の低下を招くため、この漏れ磁束はできるだけ低減することが望ましい。

30

【0067】

この第1、第2の条件より、図27に示す順方向のステータ磁極68の幅 $P_{ax}$ は、ロータ100Aの同極の永久磁石65からできるだけ多くの磁束が通過できる広めの幅とすべきである。一方、順方向のステータ磁極68と逆方向のステータ中性磁極69との間隔は、磁極間の漏れ磁束をできるだけ小さくするために大きくすべきである。その結果、順方向のステータ磁極68の幅 $P_{ax}$ は電気角で180度よりやや小さめで、逆方向のステータ中性磁極69の磁極幅 $P_{ay}$ は $P_{ax}$ より0~40%程度狭い幅の方が、総合的に大きなトルクを発生することができる。なお、これらの考え方は、交流モータの極数が大きくなったときにより顕著であり、また、永久磁石65、66の磁石厚みは、各部の通過磁束が対向する磁石面積にほぼ比例する程度に厚く、大きな起磁力の発生が可能であるときに顕著である。

40

【0068】

図28は、図26のJ-J線断面図である。図29は、図26のK-K線断面図である。図30は、図26のL-L線断面図である。

【0069】

次に、図26に示した交流モータの電磁氣的動作を、図51に示した従来構成の交流モータと比較しながら説明する。上述したように、図51に示す従来構成の交流モータのステータ磁極124、125の一組と永久磁石121のN極、S極一対だけについて、交流モータの1要素としてP相巻線128に鎖交する磁束を考えてみると、モデル的に図14に示すように表現することができる。図31は、同様にして図26に示す交流モータをモ

50

デル的に表現した図である。図 3 1 において、巻線 7 3 に鎖交する磁束 C 1 は、永久磁石 6 5 の N 極と S 極のうち片側しか使っておらず、残りの磁石磁束 C 2 は逆方向のステータ中性磁極 6 9 により巻線 7 3 とは鎖交しないようになっている。

【 0 0 7 0 】

ここで、図 1 4 に示す磁束 A と図 3 1 に示す磁束 C 1 の大きさについて比較する。まず、磁束密度については、N 極、S 極両方の磁石能力を有効に活用している磁束 A の方が有利（大）であるが、高性能希土類磁石を活用し、十分に厚みの厚い永久磁石を活用すれば、磁束 A と磁束 C 1 の磁束密度に大差の無い設計をすることが可能である。磁束の面積については、図 5 1 に示すステータ磁極 1 2 4、1 2 5 の磁石対向面積は、交流モータが多極になると、ステータ磁極 1 2 4 と 1 2 5 との間隔を磁極間漏れ磁束を低減するために大きくとる必要があるが、結果として、ステータ磁極 1 2 4、1 2 5 の磁石対向面積を小さくせざるを得なくなる。これに対し、図 2 6 に示すステータ磁極 6 8 の磁石対向面積は、隣接するステータ中性磁極 6 9 の形状を小さくして磁極間の間隔を大きくできるので、永久磁石 6 5 の大きさに合わせて最適な形状として、ステータ磁極 6 8 の磁石対向面積を大きくすることができる。結局、交流モータの極数にもよるが、図 2 6 に示す交流モータは、図 5 1 に示す従来構成の交流モータよりも大きなトルク定数を持たせることが可能であり、高トルク化、小型化、低コスト化を実現できることになる。

【 0 0 7 1 】

なお、図 2 7 に示したステータ磁極 6 8、7 0 および 6 9、7 1 のエアギャップ面形状は、原理を示す単純なモデルとして長方形で示したが、隣り合う磁極間の漏れ磁束の低減あるいはトルクリップルの低減などを目的とし、ステータ磁極形状にスキューを加えたり、楕円形状にしたり、磁極の一部の角を削除するなどの種々変形を行うこともでき、これにより、コギングトルクの低減やトルクリップルの低減が可能になる。

【 0 0 7 2 】

また、図 2 6 に示した交流モータでは、P 相、Q 相の 2 相モータについて説明したが、これら各相のモジュール（アクチュエータ部）を N 個備え、同様の考え方を 3 相以上の N 相に適用した N 相の交流モータとすることもできる。

【 0 0 7 3 】

（変形例 5）次に、図 1、図 1 7、図 2 6 等 に示した交流モータの磁気回路に関する構成技術について説明する。この交流モータでは各相のステータ磁極から他の相のステータ磁極へ向かう磁束が生成されるため、磁束の方向がロータ軸 1 1 の方向へも向く。このため、磁束の方向がロータ軸方向、ラジアル方向、円周方向と三次元方向へ向くことになる。従来、主に使われている電磁鋼板の積層構造の場合、二次元的な磁路方向に磁気回路設計を行うことが多く、電磁鋼板の積層方向への磁束は渦電流を低減するため極力少なくすることが多い。本実施形態の交流モータにおいては、ステータ、ロータの全てあるいは一部を、軟磁性粉末金属材料をプレス成型で成型した部材で構成すれば、過大な渦電流が発生することなく三次元方向の磁気回路を構成することができるため、損失の少ない三次元磁気回路を構成することができる。軟磁性粉末金属材料とは、強磁性体粉末の表面に電気抵抗の大きな皮膜を形成させ、金型等でプレス成型して固体化するものであり、特に金型で最終形状に近い形状にプレス成型することにより機械による切削加工を排除したあるいは切削加工を軽減して最終形状のステータ磁気回路、ロータ磁気回路を製作することができる。したがって、三次元形状の磁気回路が容易に構成でき、かつ、複雑形状の製作も比較的容易に製作可能となり、生産コストの低減が可能となる。

【 0 0 7 4 】

具体的なステータ構造の構成例としては、図 5 において、A - A 線断面と B - B 線断面との中間のスロットの開口部近傍でロータ軸 1 1 方向に直角な方向へステータ 2 0 0 を分割して製作すれば、ループ状の巻線 2 3 をモータ外部で巻回し製作して挿入することが容易であり、あるいは、分割されたステータコアへの巻線 2 3 の直巻きも可能である。分割されたステータコアは、精密な組み立てが容易となるようにあわせ面を作る、あるいは、ピン等の組み合わせ用の部材取り付けを容易とする穴、へこみ、突起などを設けることも

10

20

30

40

50

できる。D - D線断面とC - C線断面との間も巻線24を挿入する都合上、ステータコアを分割して製作して後に組み立てる手法が有効である。さらに、ステータおよびロータの分割面の位置や形状については、プレス成型の容易さや組み立ての容易さなどを考慮して適宜設定すればよい。

【0075】

また、ステータの磁気回路構成の方法として、各ステータ磁極およびステータバックヨークを板金を使用して、金型による板金のプレス打ち抜き加工で板金形状を作り、板金の折り曲げ加工により成型して行うこともできる。

【0076】

(変形例6)ステータ等を改良する他の方法として、上述した軟磁性粉末金属材料と電磁鋼板とを併用することにより、磁気特性と強度の点で両材料の特徴を発揮させる方法が有効である。軟磁性粉末金属材料を高圧プレスで成型し加熱した磁気部材は、磁束の方向性が自由であるという特徴を有するが、最大磁束密度が電磁鋼板に比較して低く、特に高磁束密度の領域では鉄損が大きいという問題がある。

【0077】

軟磁性粉末金属材料で製作した磁気部材と電磁鋼板で製作した磁気部材とを組み合わせて構成することもできるが、これよりも、軟磁性粉末金属材料と電磁鋼板とを同時に高圧プレスで成型して一体化する成型方法の方が、製作効率、両磁気部材の密着度向上、磁気部材の強度、磁気部材のプレス形状精度などの点で有利である。特に、電磁鋼板として交流モータの磁束が作用する方向に方向性珪素鋼板を用いると高い磁束密度と高い透磁率が得られるため、両部材の特徴を有効に活用して、両部材の問題点を補完することができる。

【0078】

また、強度的にも、軟磁性粉末金属材料をプレス成型して製作した磁気部材はもろいという問題もあり、ステータ磁極の先端部で細くなった部分等は電磁鋼板の方が有利であり、複合した磁気部材では、各部位に必要な特性に応じて両部材を使い分けるように配置することができる。

【0079】

(変形例7)2相の交流モータの巻線について考えると、2相交流巻線は、3相交流巻線に比べて相数が少ないので簡素であるが、制御装置のパワーインバータ部のトランジスタの数がむしろ多くなり、制御装置のスペースやコストの点で不利である。通常、3相交流インバータのトランジスタ数は6個である。これに対し、2相交流インバータは、2相の電流値の和が常に零にはならず、構成はやや複雑になる。例えば、2相交流インバータでは、4個のトランジスタで一つの正逆電流を制御し、トランジスタを8個使用して2相電流を制御している。そこで、3相電流をモータ巻線の工夫により擬似的に2相電流に変換することができれば、モータ巻線はやや複雑になるが、制御装置コストを下げることができ、トータルでのコストを下げる事ができる。

【0080】

図32は、3相交流電流をモータ巻線の工夫により擬似的に2相交流電流とする方法の説明図である。 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ は3相の巻線のそれぞれに流れる3相交流電流であり、各相の巻き回数を $W_3$ とする。2相巻線のP相巻線は、U相電流 $I_u$ の流れるU相巻線と、W相電流 $I_w$ の流れる $0.366 \times W_3$ 回の巻き回数の逆向きのW相巻線とで代替することができる。Q相巻線は、V相電流 $I_v$ の流れるV相巻線と、W相電流 $I_w$ の流れる $0.366 \times W_3$ 回の巻き回数の逆向きのW相巻線とで代替することができる。このとき、合成されたP相電流 $I_p$ とQ相電流 $I_q$ との位相は90度となる。

【0081】

図33は、擬似的に2相交流電流を流す具体的な巻線の説明図である。3相交流巻線の3相端子 $T_u$ 、 $T_v$ 、 $T_w$ には、3相電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ が通電されている。これらの巻線は、2相モータのP相巻線として、U相巻線( $L_u$ )と、逆向きで $0.366 \times W_3$ 回の巻き回数のW相巻線 $M_{w1}$ (W相巻線 $L_w$ の一部に対応する)とが使用されている。ま

10

20

30

40

50

た、Q相巻線として、V相巻線(L<sub>v</sub>)と、逆向きで0.366×W3回の巻き回数のW相巻線M<sub>w2</sub>(W相巻線L<sub>w</sub>の一部に対応する)とが使用されている。このような巻線の仕様を設定することにより、3相電流で2相モータの2相電流を合成することができる。なお、3相交流巻線を作り出す方法は、図32に示すように、振幅が同じで、位相差が90度であれば良いので、種々の変形が可能である。

#### 【0082】

また、2相モータのトルクは上述した(8)式で表すことができ、各相の発生トルクは巻き回数Wと鎖交磁束の回転変化率Eと電流Iとの3つの値の積として表現できる。例えば、巻き回数Wが所定回数より少なくても、電流Iあるいは鎖交磁束の回転変化率Eで補うことが可能であり、所定トルクT<sub>a</sub>を得ることが可能となる。したがって、巻き回数Wと磁気回路設計で決まる鎖交磁束の回転変化率Eと電流Iが2相交流モータの理想値に対して誤差が発生する場合に、他の値で補うように設計することが可能である。

10

#### 【0083】

(変形例8)次に、交流モータのトルクリップルの低減手法について説明する。このトルクリップルの低減手法は、RN1(=m)次のトルクリップルを低減する場合、ステータの複数のN×相磁極をN1(=n)組にグループ分けし、各グループの回転方向のステータ磁極位置を電気角で360/(RN1×N1)度の整数倍だけ相対的にシフトし、他の相のステータ磁極についてもN×相ステータ磁極と同様に、回転方向にステータ磁極位置のシフトを行うものである。

#### 【0084】

20

図34は、トルクリップル低減のために行われるステータ磁極位置のシフトの具体例を示す図である。図34では、図3に示したステータ磁極の内、P相ステータ磁極だけについて、トルクリップルを低減する配置構造が示されている。煩雑となるためQ相ステータ磁極については図示しないが、同様の配置構造を有しているものとする。図34の横軸に付された数字はステータの円周方向の電気角を示している。

#### 【0085】

例えば、6次のトルクリップル成分を除去することのできるステータ構成について説明する。図34に示す4個のステータ磁極をA-1、A-3とA-2、A-4の2組にグループ分けする。 $360/(RN1 \times N1) = 360/(6 \times 2) = 30$ 度となるので、ステータ磁極A-2、A-4の円周方向位置を、電気角で30度だけ図34で示したように円周方向にシフトすれば良い。この結果、2組に分けたステータ磁極が発生するトルクの内、6次高調波成分については、お互いに180度の位相差を持っているので、交流モータとして全体ではキャンセルされるわけである。

30

#### 【0086】

この状態からさらに、トルクリップルの5次高調波成分も除去したい場合は、例えば、ステータ磁極をA-1、A-2とA-3、A-4の2組にグループ分けする。 $360/(RN1 \times N1) = 360/(5 \times 2) = 36$ 度となるので、ステータ磁極A-3、A-4の円周方向位置を電気角で36度だけ図34で示す位置からさらに円周方向にシフトすれば良い。シフトの方向は、図34において右方向と左方向とが可能であるが、この場合にはすでに右方向にシフトした部分があるのでトルクの低減の少ない左方向へのシフトが有利である。この結果、A-1は図34に示す位置で、A-2は元の位置から30度右へシフトし、A-3の位置は元の位置から36度左へシフトし、A-4の位置は元の位置から、 $30 - 36 = -6$ 度なので左へ6度シフトしたことになる。このようにして5次と6次のトルクリップルを低減することができる。

40

#### 【0087】

なお、この手法でトルクリップルを低減する場合、極数の大きいモータの方がグループ分けが容易である。また、複数のトルクリップル高調波成分を低減する場合、グループ分けの方法によりその効果の優劣が発生するので、複数のシフトが効果として干渉し合わない方法のほうがより効果的である。例えば、G1～G8まで8グループに分類し、3種類のトルクリップル高調波成分を低減する場合、まず、RN1次の高調波成分を除去するた

50

めG5～G8をRN1次の所定角度だけシフトする。このとき、G1とG5とがRN1次の高調波成分をキャンセルし合っていると考えることができ、同様にG2とG6、G3とG7、G4とG8がRN1次の高調波成分をキャンセルし合っていると考えることができる。したがって、この状態で、G3とG7とG4とG8を同時にRN2次の高調波成分をキャンセルできるRN2次の所定角度だけシフトしてもRN1次の高調波成分のキャンセル効果が低減しないと考えることができる。この結果、RN1次とRN2次のトルクリップル高調波成分を低減できたことになる。さらに、RN3次の高調波成分を除去する場合は、同様に干渉の関係を考慮して、G2とG6とG4とG8をRN3次の所定角度だけシフトすれば良い。結果として、3種類の磁極シフトを行い、相互に干渉し難い組み合わせとしたので、3種類の高調波成分を効果的に低減することが可能である。

10

## 【0088】

また、磁極シフトの方法として、その高調波成分の電気角180度の位相差を作り、足し合わせるによりキャンセルする例について具体的に説明したが、3グループに分類し、相対的にその高調波成分の位相差を120度ずつに設定して、3グループを合成したときにその高調波成分をキャンセルすることもでき、複数グループへの展開も可能である。

## 【0089】

(変形例9)次に、交流モータのトルクリップルをロータ構造で低減する手法について説明する。具体的には、RN1(=m)次のトルクリップルを低減する場合、ロータの永久磁石の複数のN極とS極をN1(=n)組にグループ分けし、各グループの回転方向のロータ磁極位置を電気角で $360/(RN1 \times N1)$ 度の整数倍だけ相対的に円周方向にシフトするものである。図35は、トルクリップル低減のために行われる永久磁石位置のシフトの具体例を示す図である。

20

## 【0090】

なお、図35に示したような表面磁石型のロータの場合は、ロータに環状の磁石を取り付け、着磁パターンを最終形状の磁極位置に着磁しても、トルクリップル低減に関して同様な効果を得ることができる。また、各ステータ磁極の配置を円周方向にシフトしてトルクリップルを低減する方法と、ロータ磁極の配置を円周方向にシフトしてトルクリップルを低減する方法とを併用することにより、より効果的にトルクリップルを低減したり、トルクリップルの成分である高調波成分をより多く低減することが可能となる。

30

## 【0091】

(変形例10)次に、ロータ軸11に発生する起磁力を低減する方法について説明する。図1に示した交流モータの説明で明らかのように、P相巻線23とQ相巻線24の電流は2相の電流であり、それらの起磁力の合計値がロータ軸11へ現れる。ロータ軸11へ現れる起磁力が特に問題とならない用途も多いが、この起磁力が問題となる場合は、ロータ軸11の全て、あるいは一部をステンレスのような非磁性体とすれば良い。他の方法として、ステータ200に巻回された巻線23、24の電流総和が発生する軸方向起磁力を相殺する巻線をロータ軸11の近傍に配置すれば良い。

## 【0092】

図36は、ロータ軸11方向の起磁力を相殺する巻線を追加した交流モータの変形例を示す縦断面図である。図36に示すように、図1に示す交流モータのP相巻線23とQ相巻線24に流れる電流を、同一回数だけ逆方向に巻いた巻線90を追加することにより、ロータ軸11方向の起磁力を打ち消すことができる。これにより、ロータ軸11方向に起磁力が生成されて鉄粉が付着するなどの磁気的な弊害をなくすることができる。なお、ロータ軸11の直径は小さいため、巻線90の量は比較的小さい。

40

## 【0093】

(変形例11)次に、本実施形態の交流モータの制御装置について説明する。図1に示した交流モータの出力トルクは、上述した(8)式で表される。したがって、本実施形態の交流モータの制御装置は、所望のトルク指令に対して(8)式を満たすように各相巻線23、24に流す電流値を決定すればよい。

50



## 【0094】

図37は、交流モータの制御装置の具体例を示す図である。図37に示すように、制御装置300は、速度制御ブロック(VC)102、電流指令ブロック(CUR)104、電圧制御ブロック(VOL)106、電力増幅ブロック(PWM INV)108、検出回路114を含んで構成されている。

## 【0095】

検出回路114は、図1等に示す本実施形態の交流モータ1の回転位置を検出するエンコーダ(E)113の出力信号に基づいて交流モータ1の回転数を検出し、速度検出信号101を出力する。速度指令90からこの速度検出信号101を差し引いた速度偏差が速度制御ブロック102に入力される。速度制御ブロック102は、速度偏差から比例積分制御などを行ってトルク指令103を生成する。電流指令ブロック104は、トルク指令103と、交流モータ1の各種パラメータと、検出回路114から出力される交流モータ1の回転位置信号116とに基づいて、各相巻線23、24に対する電流指令105を生成する。電圧制御ブロック106は、電流指令105と、各相巻線23、24の電流検出信号117、118と、検出回路114から出力される交流モータ1の回転位置信号115とに基づいて電流制御誤差などを計算し、回転位置信号115によるコミュレーション制御を行い各相巻線23、24に対する電圧指令107を生成する。電力増幅ブロック108は、各相巻線23、24のそれぞれの電圧指令107を入力してPWM変調を行い、2相のトランジスタブリッジ等のインバータで各相巻線23、24の電圧、電流 $I_p$ 、 $I_q$ を交流モータ1へ出力する。

## 【0096】

ここで、電流指令ブロック104を(8)式に従って制御する方法について説明する。ステータ100のP相、Q相ステータ磁極に存在する磁束 $p$ 、 $q$ の回転角度変化率を $E_p = d p / d t$ 、 $E_q = d q / d t$ 、各相巻線のそれぞれの巻き回数を $W_p$ 、 $W_q$ 、各相巻線の各相電流を $I_p$ 、 $I_q$ とすると、電流指令ブロック104は、トルク指令 $T_a$ に対して、 $T_a = T_p + T_q = W_p \times E_p \times I_p + W_q \times E_q \times I_q$ となるように各相電流を $I_p$ 、 $I_q$ を制御する。

## 【0097】

具体的には、図1に示す交流モータの特性は、(1)式～(8)式で表現されており、この交流モータの回転位置を $\theta$ とする。各相の単位電圧 $E_p$ 、 $E_q$ は理想的な2相交流モータの特性を有し、次式で表される。なお、各相の係数は $E_1$ と同じ値であると仮定する。

## 【0098】

$$E_p = E_1 \times \sin(\theta) \quad \dots (9)$$

$$E_q = E_1 \times \sin(\theta + 90^\circ) \quad \dots (10)$$

そして、ロータ100の磁極の方向と制御される電流の位相の差を電流位相角 $\alpha$ とし、各相の電流 $I_p$ 、 $I_q$ が次式で表されるものと仮定する。

## 【0099】

$$I_p = I_a \times \sin(\theta + \alpha) \quad \dots (11)$$

$$I_q = I_a \times \sin(\theta + 90^\circ + \alpha) \quad \dots (12)$$

(8)式より、トルク $T_a$ は次式となる。

## 【0100】

$$\begin{aligned} T_a &= T_p + T_q = W_c \times (E_p \times I_p + E_q \times I_q) \\ &= W_c \times (E_1 \times \cos(\theta) \times I_a \times \cos(\theta + \alpha) \\ &\quad + E_1 \times \cos(\theta + 120^\circ) \times I_a \times \cos(\theta + 120^\circ + \alpha) \\ &\quad + E_1 \times \cos(\theta + 240^\circ) \times I_a \times \cos(\theta + 240^\circ + \alpha)) \\ &= W_c \times I_a \times E_1 \times \cos \alpha \quad \dots (13) \end{aligned}$$

ここで、 $W_c$ は各相巻線の巻き回数であり、 $E_1$ は各相巻線の鎖交磁束の回転角変化率の係数なので、モータパラメータとして既知の値であり、電流振幅 $I_a$ は次式として求められる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 0 1 】

$$I_a = T_a / (W_c \times E_1 \times \cos i) \quad \dots (14)$$

また、特に交流モータの界磁弱め制御などを行わないときには、通常電流位相角  $i = 0$  とするので、結局、上述した場合には、電流指令ブロック 104 の機能は単純に (13) 式の計算をするだけである。

## 【 0 1 0 2 】

しかし、交流モータの設計上の都合等により各相巻線の巻き回数が異なる場合、各相の単位電圧  $E_p$ 、 $E_q$  がバランスの良い平衡 2 相ではなく、位相あるいは振幅が異なる場合などにおいては、(8) 式にそれぞれの値を代入して電流振幅  $I_a$ 、電流位相  $i$  を決定することができる。複雑な場合として、各相の単位電圧  $E_p$ 、 $E_q$ 、 $E_w$  が平衡 2 相ではなく、高調波を持っている場合、言い換えるとトルクリップルの要因を含んでいる場合においても、正確な単位電圧  $E_p$ 、 $E_q$  の特性が解っていれば、(8) 式により交流モータの回転位置  $m$  に応じて適切な電流振幅  $I_a$ 、電流位相  $i$  を決定することができる。このとき、前記トルク  $T_a$  が得られるように電流振幅  $I_a$  や電流位相を決定したので、トルクリップルを低減する制御を行ったことにもなる。

## 【 0 1 0 3 】

このように、交流モータの磁気回路構造や巻線特性が理想的な形態が設計上の都合等で実現できない場合においても、交流モータのパラメータにより決まる所定式に従って各巻線の電流制御を行うことにより、トルクリップルの少ない交流モータの駆動制御を実現することができる。特に、交流モータ 1 等をステッピングモータとして活用する場合には、ステッピングモータにおけるディテントトルクを低減することができる。

## 【 0 1 0 4 】

なお、制御装置 300 の各ブロックは種々変形が可能である。例えば、エンコーダ 113、検出回路 114 はいわゆるセササレス位置検出により、交流モータの電圧、電流などから位置検出信号を得る手段に置き換えることが可能であり、各相の電流の検出方法、交流モータの電圧、電流の電力増幅等の方法についても、図 37 で示した以外の方法に置き換えることもできる。図 32 に示したような方法で、2 相電流を 3 相電流から擬似的に生成する場合は、電流値を変換して計算し、3 相の電力増幅器を使用して制御することもできる。また、3 相以上の多相交流モータについても、同じ考え方を適用することにより適切なモータ制御が可能である。

## 【 0 1 0 5 】

(変形例 11) 図 26 で示した交流モータでは、ステータ中性磁極 72 がロータ軸 11 のほぼ中央部に配置された構造を有していたが、次に、ステータ中性磁極の位置を変更した交流モータの変形例について説明する。

## 【 0 1 0 6 】

図 38 は、ステータ中性磁極の位置を変更した交流モータの変形例を示す縦断面図である。図 38 に示す交流モータでは、ステータ 200B に含まれるステータ中性磁極 152、155 がモータ軸 11 方向に沿った両端に配置されている。永久磁石 159 は、P 相、Q 相の両方の駆動に活用されており、永久磁石 159 の磁束がロータ 100B のバックヨーク 2 を通って他の部分へ通っている。ロータ 100B の中性磁極 25、27 のそれぞれは、P 相ステータ中性磁極 152、Q 相ステータ中性磁極 155 に対向しており、これら

## 【 0 1 0 7 】

の間で磁束が通っている。

図 39 は、図 38 に示す交流モータのロータ表面形状を回転方向に直線展開した図である。横軸に付された数字は回転角を機械角で示したものであり、360 度で 1 回転となる。図 39 に示すように、ロータ 100B は、表面に永久磁石 159 の N 極と S 極とが交互に並んだ 8 極構造を有している。また、ロータ 100B の軸方向両端には、ロータ 100B の中性磁極 25、27 が配置されている。

## 【 0 1 0 8 】

図 40 は、ステータ 200B の内周面を回転方向に直線展開した図である。横軸に付さ

れた数字は回転角を機械角で示したものであり、360度で1回転となる。P相ステータ磁極151に対するQ相ステータ磁極154の位置は、機械角で22.5度、電気角で90度の位相差 $P_{ab}$ がある。同相のステータ磁極間の位相差は $P_1$ と $P_2$ の和であり、機械角で90度、電気角で360度となっている。

【0109】

図38において、破線で示す逆方向のステータ磁極153、156は、P相とQ相のステータ磁極151、154の逆方向磁束を吸収するためのものであり、それぞれがステータ中性磁極152、155に磁氣的に接続されている。この逆方向のステータ磁極153、156は無くても交流モータとして機能するので、ステータ磁極153、156を省略することによりステータ構造を簡素化することが可能であり、これに伴ってP相巻線73とQ相巻線74のコイル量増加や構造の簡素化も可能となる。

10

【0110】

反対に、ロータ構造、ロータ磁気特性にもよるが、ステータ磁極153、156を付加することにより、ステータ磁極151、154を通過しないロータ表面上の不要な磁束成分を吸収させることができ、交流モータの発生トルクを増大させることができる。

【0111】

なお、P相ステータ磁極151とQ相ステータ磁極154は、磁氣的な干渉が少ない方が単純理論的なトルクの発生が容易であるため、磁氣的に分離して配置する必要がある。モータケース12は、両ステータコア間の漏れ磁束を低減するため、非磁性体材料での製作がより好ましい。他の方法として、薄板によるケースの製作、ステータ200Bとモータケース12の間に磁気抵抗の大きなものを配置することなども可能である。図38に示す交流モータは、図26に示す交流モータと比較して、P相ステータとQ相ステータとを磁氣的に分離することが容易ではない点が不利になる。

20

【0112】

(変形例12) 図41は、図26に示したP相、Q相からなる2相の交流モータをU相、V相、W相からなる3相の交流モータに変形した図である。ロータ100Cは、永久磁石136、138、ロータ中性磁極137を有している。ロータ表面の回転方向を直線展開した形状は、図2に示した形状からロータ中性磁極25、27を除去した形状を有している。

30

【0113】

また、ステータ200Cは、順方向のU相ステータ磁極130、W相ステータ磁極133、ステータ中性磁極131、補極132、134、巻線139、140、141、142を有している。V相ステータ磁極は無く、3相交流理論の考え方として $V = -U - W$ と考えることができるので、V相ステータ磁極の作用をU相ステータ磁極130とW相ステータ磁極133で代用する考え方である。ステータ中性磁極131は、ステータ200Cのバックヨーク135の磁束をロータ100Cのバックヨークへ導く。一方の補極132は、U相ステータ磁極130の逆相の位置に配置され、磁束をステータ中性磁極131へ導く。他方の補極134は、W相ステータ磁極133の逆相の位置に配置され、磁束をステータ中性磁極131へ導く。

【0114】

40

図42は、図41に示すステータ200Cのステータ内周面を回転方向に直線展開した図である。横軸に付された数字は回転角を機械角で示しており、360度で1回転となる。U相ステータ磁極130に対するW相ステータ磁極133の位置は、機械角で30度、電気角で120度の位相差 $P_{uw}$ がある。

【0115】

図43は、図41に示すロータ100Cの巻線139～142を回転方向に直線展開した図である。ロータ100Cに含まれる巻線139～142のそれぞれはほぼループ状の形状を有している。巻線139、140がU相に対応しており、この中で巻線139は逆相の電流が流れるように巻回されている。また、巻線141、142がW相に対応しており、この中で巻線141は逆相の電流が流れるように巻回されている。

50

## 【 0 1 1 6 】

図 4 4 は、図 4 1 に示す交流モータの動作を表すベクトル図である。図 4 4 において、 $I_u$  は U 相電流、 $I_v$  は V 相電流、 $I_w$  は W 相電流である。同様に、 $E_u$ 、 $E_v$ 、 $E_w$  は、各相の単位電圧であるが、各相の電流と同一位相の例について記述しており、図示するベクトル矢は  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  のベクトル矢と兼用されている。なお、 $E_u$ 、 $E_v$ 、 $E_w$  は単位電圧と称しており、2 相の例として ( 1 )、( 2 ) 式で示した関係と同様に、各相の鎖交磁束  $\psi_u$ 、 $\psi_v$ 、 $\psi_w$  の回転変化率は  $d\psi_u/dt$ 、 $d\psi_v/dt$ 、 $d\psi_w/dt$  である。同様に、電圧、電流、トルク、パワーは、2 相の例について記述した ( 1 ) ~ ( 9 ) を 3 相に書き変えた形となる。一定回転  $d\theta/dt = S1$  で回転し、U、V、W の各相巻線の巻き回数は  $W_u$ 、 $W_v$ 、 $W_w$  で、各相の巻線の各誘起電圧  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  は次のように表される。ただし、図 4 1 において紙面の下方から上方へ各ループ状巻線に鎖交する磁束を正とする。

10

## 【 0 1 1 7 】

$$V_u = W_u \times (d\psi_u/dt) = -W_u \times d\psi_u/dt \times S1$$

$$= -W_u \times E_u \times S1$$

ここで、上記  $V_u$  の式に負の符号がつくので、 $I_u$  として逆の電流を流すかあるいは U 巻線の巻き方向を逆にすると、次式のように表すことができる。

## 【 0 1 1 8 】

$$V_u = W_u \times E_u \times S1 \quad \dots (15)$$

U 相巻線 1 4 0 と W 相巻線 1 4 1 が V 相巻線に対応している。この U 相巻線 1 4 0 は正方向に巻回されており、W 相巻線 1 4 1 は逆方向に巻回されている。この 2 つの巻線 1 4 0、1 4 1 を直列に接続するものとする。U 相巻線 1 4 0 に誘起される電圧は U 相巻線 1 3 9 の電圧と同じであり、W 相巻線 1 4 1 に誘起される電圧は W 相巻線 1 4 2 と同じであるが逆方向に巻回しているので、結局、V 相電圧  $V_v$  は次式となる。

20

## 【 0 1 1 9 】

$$V_v = -V_u - V_w \quad \dots (16)$$

V 相巻線に鎖交する磁束は、具体的にはバックヨーク 1 3 5 から中性磁極 1 3 1 を通ってロータ 1 0 0 C を通過する磁束である。これは、V 相磁束  $\psi_v$  と V 相電流  $I_v$  とが直接電磁氣的に作用するわけではないが、U 相磁束と W 相磁束に作用させることになる。ただし、ステータ中性磁極 1 3 1 とロータ中性磁極 1 3 7 との間の磁気抵抗が交流モータ全体の磁気抵抗に比較して機能を阻害しない程度に小さいことを前提としている。また、( 1 6 ) 式は 3 相交流理論の一般論として、 $V_u + V_v + V_w = 0$  の関係をも満たした形にもなっている。

30

W 相巻線の電圧  $V_w$  は、次式となる。

## 【 0 1 2 0 】

$$V_w = W_w \times E_w \times S1 \quad \dots (17)$$

各相のパワー  $P_u$ 、 $P_v$ 、 $P_w$  および交流モータの出力パワー  $P_a$  は次式となる。

## 【 0 1 2 1 】

$$P_u = V_u \times I_u = W_u \times E_u \times S1 \times I_u \quad \dots (18)$$

$$P_v = V_v \times I_v = W_v \times E_v \times S1 \times I_v \quad \dots (19)$$

$$P_w = V_w \times I_w = W_w \times E_w \times S1 \times I_w \quad \dots (20)$$

$$P_a = P_u + P_v + P_w = V_u \times I_u + V_v \times I_v + V_w \times I_w \quad \dots (21)$$

40

各相のトルク  $T_u$ 、 $T_v$ 、 $T_w$  および交流モータの出力トルク  $T_a$  は次式となる。

## 【 0 1 2 2 】

$$T_u = P_u / S1 = W_u \times E_u \times I_u \quad \dots (22)$$

$$T_v = P_v / S1 = W_v \times E_v \times I_v \quad \dots (23)$$

$$T_w = P_w / S1 = W_w \times E_w \times I_w \quad \dots (24)$$

$$T_a = T_u + T_v + T_w$$

$$= W_u \times E_u \times I_u + W_v \times E_v \times I_v + W_w \times E_w \times I_w \quad \dots (25)$$

また、同じ現象を異なった視点で表現すると、巻線 1 3 9 の電流と巻線 1 4 0 の電流は

50

、電磁氣的にほぼ同一のスペースに流れる電流であり、 $-I_u$ と $I_v$ の和であることからその和は図44に示す $I_m$ であると見ることができる。この電流 $I_m$ は、電圧 $-E_u$ として作用するのでトルクは $T_m$ である。一方、巻線141と巻線142は、 $-I_v$ と $I_w$ の和であり、電流 $I_n$ であると言える。この電流 $I_n$ は電圧 $-E_w$ として作用するので、トルクは $T_n$ である。このとき、 $T_m$ と $T_n$ の成す角度 $K_{mn}$ は、電気角で90度である。これにより、交流モータ全体のトルク $T_a$ は、直交する同一振幅のトルク $T_m$ と $T_n$ の和として表現され、回転位置に関係なく一定のトルク出力が可能であることがわかる。したがって、図41に示す交流モータは、3相電流で作用するモータでありながら、作用的には2相モータと類似した特徴を持つモータであるといえる。なお、図44に示すベクトル図は、巻線の抵抗による電圧降下や漏れインダクタンスに起因する電圧成分については無視した簡略化したものである。

10

## 【0123】

また、巻線139、140に通電される電流は、図44に示す電流 $I_m$ であると言えるので、この2つの巻線139、140を1個の巻線に集約して電流 $I_m$ を通電すれば、作用的に全く等価である。同様に、巻線141、142も1個の巻線に集約して電流 $I_n$ を流すことができる。巻線を簡素にすることができるだけでなく、理論的に銅損を25%低減できることになり、出力の向上を図ることが可能になる。また、トルクは(25)式で表現されることから、上述した説明とは異なる磁束、電流の大きさ、位相を選択することにより、上述した説明例を変形して構成し、類似効果を得ることも可能である。

## 【0124】

20

なお、ロータ磁極形状およびステータ磁極形状については、原理的な説明をするため、長方形を図示して説明したが、種々変形が可能である。例えば、トルクリップルを低減するため、スキューしたり、楕円形状にするなどの変形が可能である。

## 【0125】

(変形例13) 上述した各種の交流モータでは、表面磁石型のロータを用いたが、種々の形式のロータを用いることが可能である。図45～図50は、ロータの横断面図である。図45に示すロータ100は、図1に示した基本形に対応した構造を有している。このロータ100は、その表面に円周方向に沿ってN極とS極とが交互に現れるように8個の永久磁石13(あるいは永久磁石14等)が配置されている。

## 【0126】

30

図46に示すロータ100Dは、円周方向に沿って着磁された永久磁石90がラジアル方向(径方向)に配置され、隣接する永久磁石90の間に強磁性体の磁極片91が配置された構造を有している。磁極片91は、永久磁石90の磁束を集める効果があり、ロータ100D表面の磁束密度を大きくすることができる。また、磁極片91の内部では、磁束がロータ軸11方向へも移動容易であるため、ステータ磁極のギャップ面形状が偏在していても、ロータ100Dからステータ磁極へ磁束を効率良く導くことができ、モータトルクを増大させる効果を得ることができる。ロータ100Dの内部構造は、磁極片92とロータ軸11を非磁性体とすることにより、永久磁石90の発生する磁束をステータに供給することができる。また、磁極片92を円周方向に1個おきに図示する方向の永久磁石とすることにより、隣接するロータ磁極への漏れ磁束を低減することができる。さらに、磁極片92を円周方向に8個の永久磁石極とし、図示するように着磁しておけば、ロータ表面でより大きな磁束密度を得ることができる。

40

## 【0127】

図47に示すロータ100Eは、永久磁石93を内部に配置した、いわゆるIPMSMと称される構造を有している。永久磁石93の円周方向両端から外周方向に沿って空間94が形成されている。あるいは、この空間には非磁性体を充填するようにしてもよい。このロータ100Eの特性としては、永久磁石93によるトルクと永久磁石でない部分の強磁性体が生成するリラクタンストルクの両方が得られる。同時に、ロータ回転位置とステータの電流位相とを制御することにより、界磁磁束の大きさを制御することが可能であり、いわゆる弱め界磁制御を行って高速回転で界磁の大きさが小さくなるように電流位相制

50

御を行うことにより、定パワー特性を得ることができる。また、空間 9 4 に永久磁石を充填することにより、ロータ表面の磁束密度をより大きくして大きなトルクを得ることもできる。

#### 【 0 1 2 8 】

図 4 8 に示すロータ 1 0 0 F は、永久磁石 9 5 がロータ内部に配置された構造を有している。ロータ磁極 8 5 の円周方向両端に円周方向の同一方向に着磁された 2 個の永久磁石 9 5 を 1 組として 8 組 ( 1 6 個 ) の永久磁石 9 5 が円周方向に沿って等間隔に配置されている。隣接する組の永久磁石 9 5 は互いに反対方向に着磁されている。ロータ磁極 8 5 には、ステータの電流により励磁されることにより界磁磁束が励起され、ステータの起磁力との相対関係でトルクを発生することができる。トルク発生については種々表現が可能であるが、d 軸電流成分によりロータ磁極 8 5 に界磁磁束が発生し、q 軸電流成分によりトルクが発生し、このとき、永久磁石 9 5 は q 軸電流によるロータ磁極 8 5 の界磁磁束が q 軸方向へ向かないように作用すると考えることができる。その結果、ロータ磁極 8 5 に存在する界磁磁束は q 軸電流の影響を受けにくくなるので、d 軸電流によりロータ磁束の大きさを制御する性能が向上し、特に高速回転において界磁の大きさを小さくして巻線に誘起する電圧を低減することによりいわゆる定パワー制御を効果的に実現することができる。

10

#### 【 0 1 2 9 】

図 4 9 に示すロータ 1 0 0 G は、突極構造を有しており、リラクタンスモータとして作用させることができる。従来のスイッチトリラクタンスモータの構造においては、ラジアル方向の吸引力が円周方向に偏在して大きく変化するため、ステータのラジアル方向の変形を招き、振動、騒音の原因となることが多かったが、図 4 9 に示すロータ 1 0 0 G を用いた交流モータの場合には、ほぼ全周からラジアル方向にバランス良く吸引力が発生し、ステータは円環状の形状を成しており全周からの均一な荷重に対しては高い剛性を示すので、振動、騒音が小さいという特徴を持たせることができる。また、ロータ 1 0 0 G は、磁性体を所定形状に整形するだけであって非常に簡素な構造で強固であるため、高速回転での遠心力に耐えることができる。また、ロータ磁極形状、ステータ磁極形状を工夫することによりトルクリップルを小さくすることができ、原理的にいわゆるコギングトルクリップルもなく、高価で組み立て等の製作コストのかかる永久磁石を使用していないので低コストであるなどの特徴を持っている。

20

30

#### 【 0 1 3 0 】

図 5 0 に示すロータ 1 0 0 H は、いわゆるフラックスバリア型構造を有しており、リラクタンスモータとして作用させることができる。ロータ 1 0 0 H は、空間あるいは非磁性体によって形成されるフラックスバリア 9 8 を有する。このフラックスバリア 9 8 は、周方向に隣接するロータ磁極 8 6 の間であってロータ 1 0 0 H の表面からほぼ同心状に配置されている。隣接するフラックスバリア 9 8 に囲まれた細い領域によって磁路 9 9 が形成されている。このロータ 1 0 0 H は、図 4 9 に示したロータ 1 0 0 G と類似した優れた特性を有している。

#### 【 0 1 3 1 】

また、ロータの各磁極表面形状をロータ外周の直径より小さな直径の円弧状としたり、あるいはロータ磁極の境界部を凹ませるなどの形状とするなどのロータ磁極形状の種々変形が可能である。その目的、効果は一般の交流モータと同じであり、コギングトルクの低減、トルクリップル低減、振動と騒音の低減、電圧波形の正弦波化などの効果がある。

40

#### 【 0 1 3 2 】

また、永久磁石を使用したロータの例を多く説明したが、電磁石界磁のロータや、ロータ軸方向側面のステータ側に界磁巻線あるいは永久磁石を配置したいわゆるクローポール構造界磁のロータでも同様の交流モータを実現することができる。

#### 【 0 1 3 3 】

なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内において種々の変形実施が可能である。例えば、上述した実施形態では、ステータが外径側で

50

ータが内径側に配置されているが、内外径を逆の配置として、いわゆるアウターロータロータを構成することもできる。また、内径側と外径側の両方に2個のロータを配置することも可能である。この場合には、2つのロータの中間に位置する一部のロータ部材、例えば磁路、永久磁石、強度を保持するための構造部材、カバーなどを一体化できるメリットもある。また、上述した実施形態の交流ロータを変形して、ステータとロータとをロータ軸方向に複数組配置してロータを構成することもできる。また、ステータとロータとの間のエアギャップ面形状が円錐形状、あるいは、多段の円筒形状とすることもでき、それらの組み合わせも可能である。また、ロータ電流は正弦波状の電流を想定して説明したが、矩形波状にしたり、間欠的に制御することも可能である。また、各相巻線に可変電流を逐次通電し、いわゆる、ステップングロータとして作用することも可能である。

10

## 【0134】

また、上述した実施形態では、ロータ極数が8の場合について説明したが、設計的な事項であり、極数を自由に選択することは可能である。相数については、2相および3相について説明したが、4相以上の多相構成とすることも可能である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0135】

【図1】一実施形態の交流ロータの縦断面図である。

【図2】8極のロータを回転方向に展開した図である。

【図3】ロータに対向する各ステータ磁極の形状を回転方向に展開した図である。

【図4】P相巻線とQ相巻線を回転方向に展開した図である。

20

【図5】本実施形態のステータの断面箇所を示す図である。

【図6】図5のA-A線断面図である。

【図7】図5のAG-AG線断面図である。

【図8】図5のB-B線断面図である。

【図9】図5のBG-BG線断面図である。

【図10】図5のC-C線断面図である。

【図11】図5のCG-CG線断面図である。

【図12】図5のD-D断面図である。

【図13】図5のDG-DG線断面図である。

【図14】従来の交流ロータの巻線の鎖交磁束をモデル的に示す図である。

30

【図15】本実施形態の交流ロータの巻線の鎖交磁束をモデル的に示す図である。

【図16】本実施形態の交流ロータの電圧、電流、パワーの関係を示すベクトル図である。

【図17】ステータ磁極およびステータ中性磁極の形状を改良した交流ロータの変形例を示す縦断面図である。

【図18】図17のE-E線断面図である。

【図19】図17のF-F線断面図である。

【図20】図17のG-G線断面図である。

【図21】図17のH-H線断面図である。

【図22】異なるステータ磁極間の漏れ磁束を低減するロータ構造の横断面図である。

40

【図23】異なるステータ磁極間の漏れ磁束を低減するロータ構造の横断面図である。

【図24】異なるステータ磁極間の漏れ磁束を低減するロータ構造の横断面図である。

【図25】異なるステータ磁極間の漏れ磁束を低減するロータ構造の横断面図である。

【図26】交流ロータの変形例を示す縦断面図である。

【図27】ステータの内周面を回転方向に直線展開した図である。

【図28】図26のJ-J線断面図である。

【図29】図26のK-K線断面図である。

【図30】図26のL-L線断面図である。

【図31】変形例の交流ロータの巻線の鎖交磁束をモデル的に示す図である。

【図32】3相交流電流をロータ巻線の工夫により擬似的に2相交流電流とする方法の説

50

明図である。

【図 3 3】擬似的に 2 相交流電流を流す具体的な巻線の説明図である。

【図 3 4】トルクリップル低減のために行われるステータ磁極位置のシフトの具体例を示す図である。

【図 3 5】トルクリップル低減のために行われる永久磁石位置のシフトの具体例を示す図である。

【図 3 6】ロータ軸方向の起磁力を相殺する巻線を追加した交流モータの変形例を示す縦断面図である。

【図 3 7】交流モータの制御装置の具体例を示す図である。

【図 3 8】ステータ中性磁極の位置を変更した交流モータの変形例を示す縦断面図である

10

【図 3 9】図 3 8 に示す交流モータのロータ表面形状を回転方向に直線展開した図である。

【図 4 0】図 3 8 に示すステータの内周面を回転方向に直線展開した図である。

【図 4 1】図 2 6 に示した P 相、Q 相からなる 2 相の交流モータを U 相、V 相、W 相からなる 3 相の交流モータに変形した図である。

【図 4 2】図 4 1 に示すステータのステータ内周面を回転方向に直線展開した図である。

【図 4 3】図 4 1 に示すロータの巻線を回転方向に直線展開した図である。

【図 4 4】図 4 1 に示す交流モータの動作を表すベクトル図である。

【図 4 5】基本形となるロータの横断面図である。

20

【図 4 6】変形例のロータの横断面図である。

【図 4 7】変形例のロータの横断面図である。

【図 4 8】変形例のロータの横断面図である。

【図 4 9】変形例のロータの横断面図である。

【図 5 0】変形例のロータの横断面図である。

【図 5 1】従来の 2 相ステッピングモータの構成を示す断面図である。

【図 5 2】図 5 1 に示した 2 相ステッピングモータのロータに備わった永久磁石を周方向に展開した図である。

【図 5 3】図 5 1 に示した 2 相ステッピングモータのステータ磁極を周方向に転回した図である。

30

【符号の説明】

【 0 1 3 6 】

1 交流モータ

2 バックヨーク

1 1 ロータ軸

1 3 P 相永久磁石

1 4 Q 相永久磁石

1 5、1 8 P 相ステータ中性磁極

1 6、1 7 P 相ステータ磁極

1 9、2 2 Q 相ステータ中性磁極

2 0、2 1 Q 相ステータ磁極

2 3 P 相巻線

2 4 Q 相巻線

2 5、2 6、2 7 ロータ中性磁極

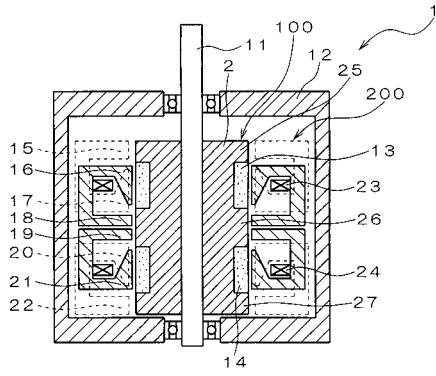
1 0 0 ロータ

2 0 0 ステータ

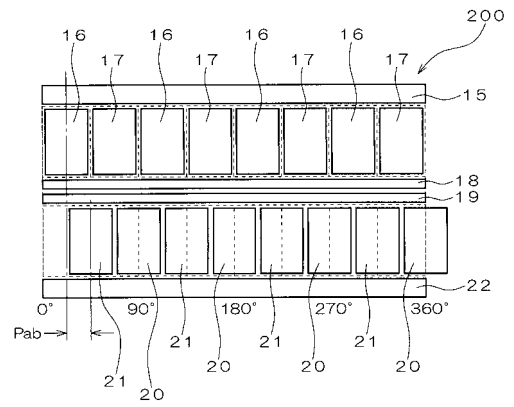
40



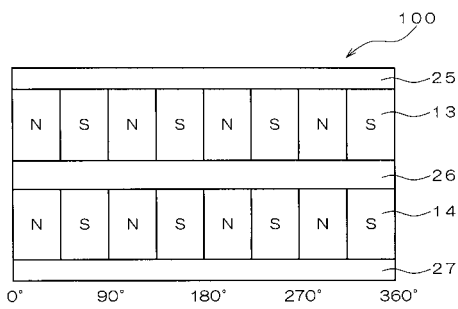
【図1】



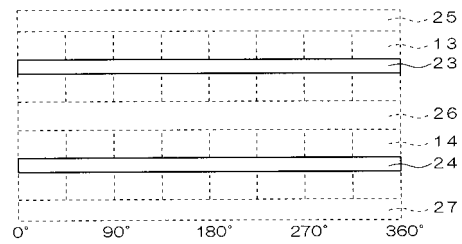
【図3】



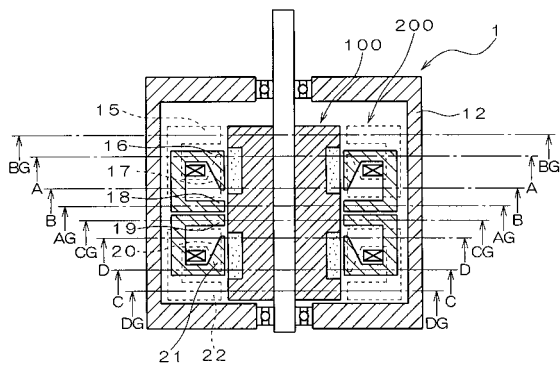
【図2】



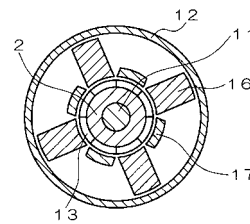
【図4】



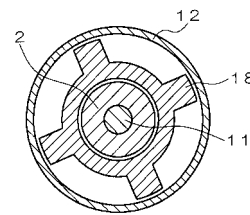
【図5】



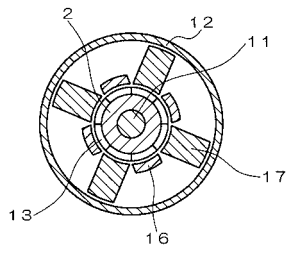
【図6】



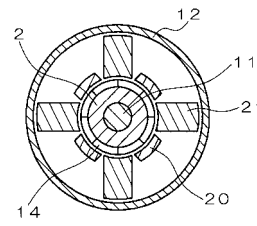
【図7】



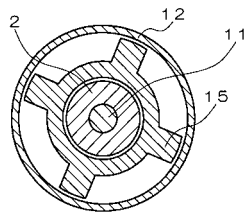
【図 8】



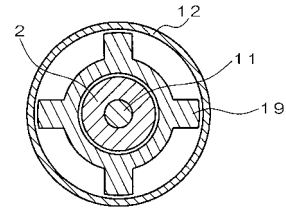
【図 10】



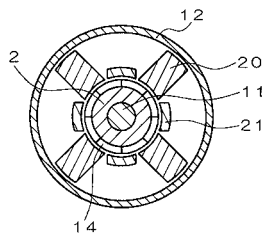
【図 9】



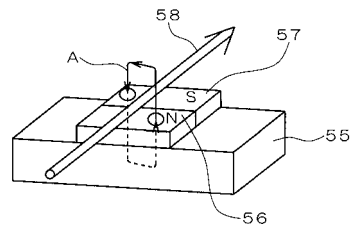
【図 11】



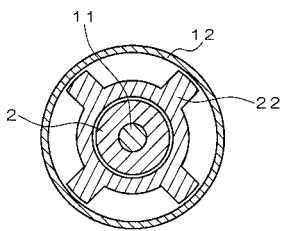
【図 12】



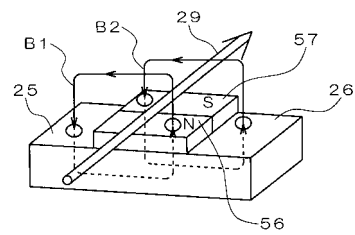
【図 14】



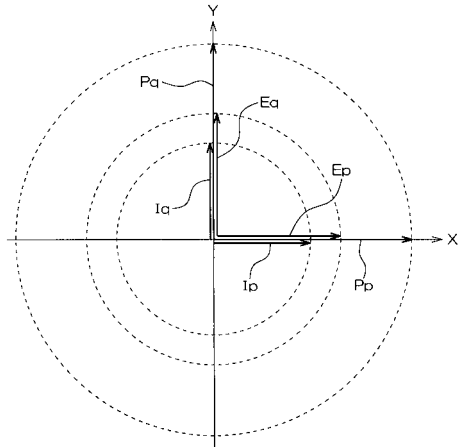
【図 13】



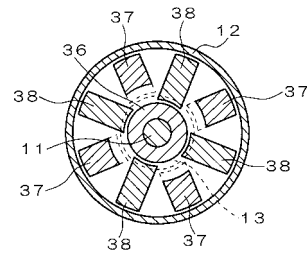
【図 15】



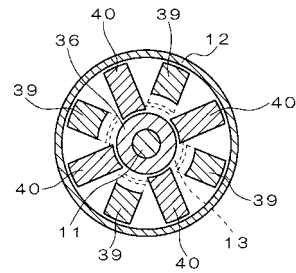
【図16】



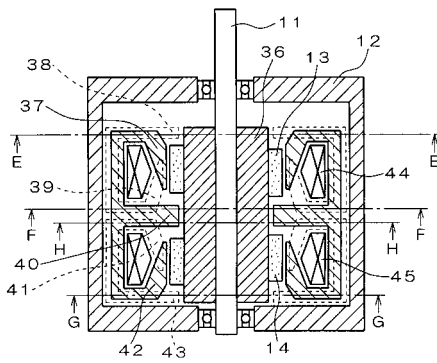
【図18】



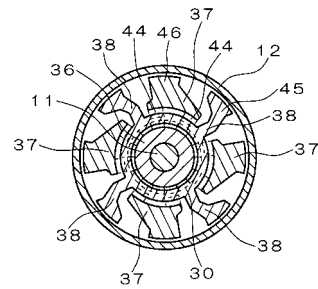
【図19】



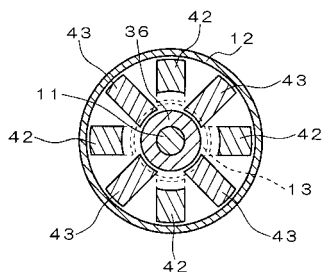
【図17】



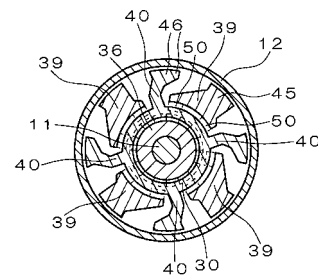
【図22】



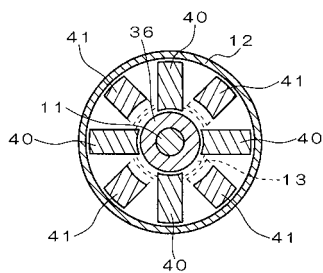
【図20】



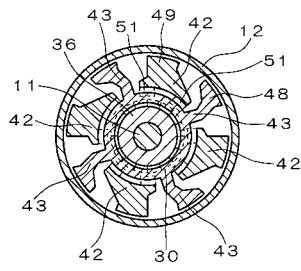
【図23】



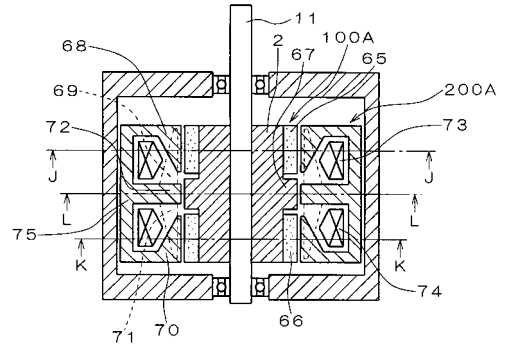
【図21】



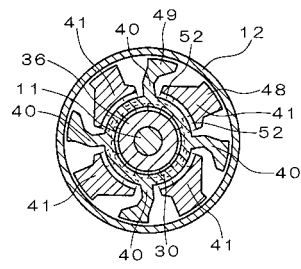
【図24】



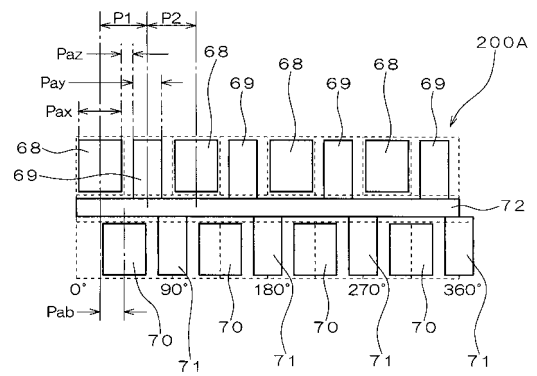
【図26】



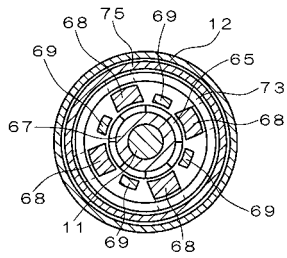
【図25】



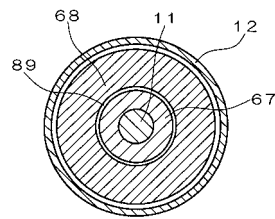
【図27】



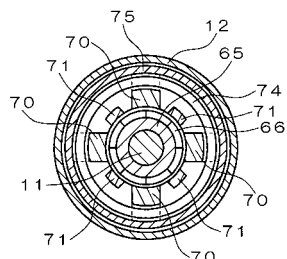
【図28】



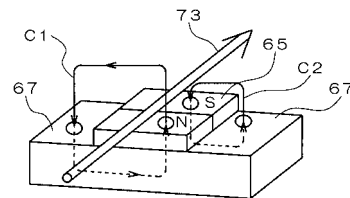
【図30】



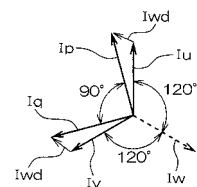
【図29】



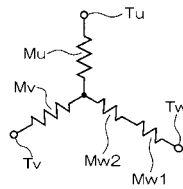
【図31】



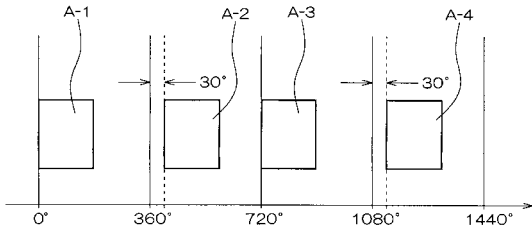
【図32】



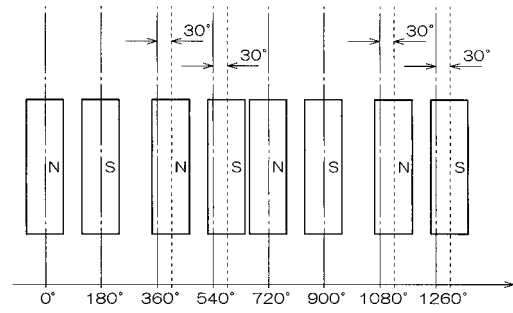
【図33】



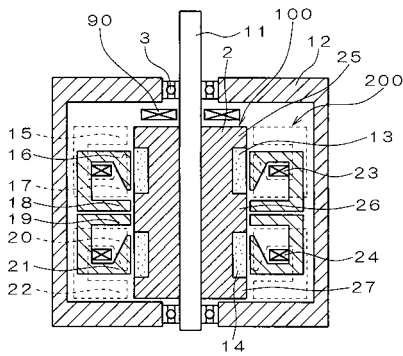
【図34】



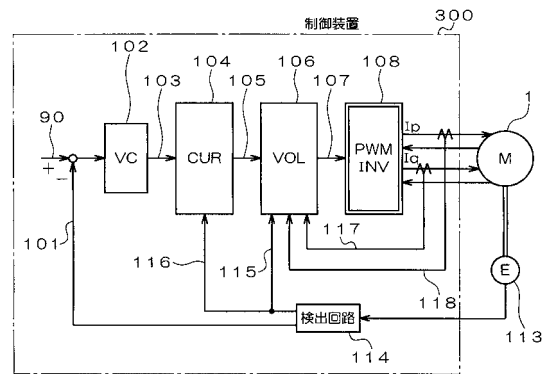
【図35】



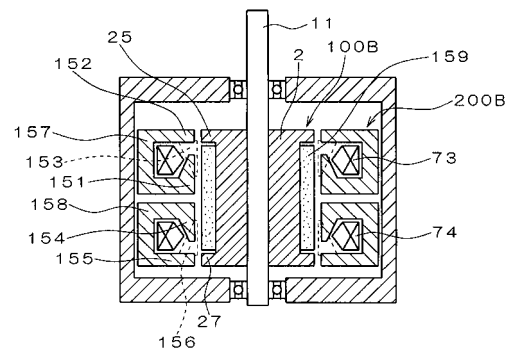
【図36】



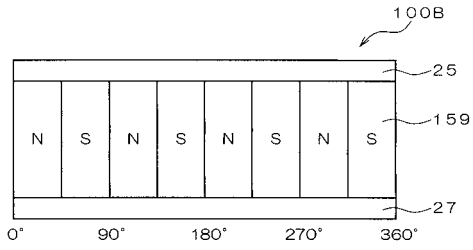
【図37】



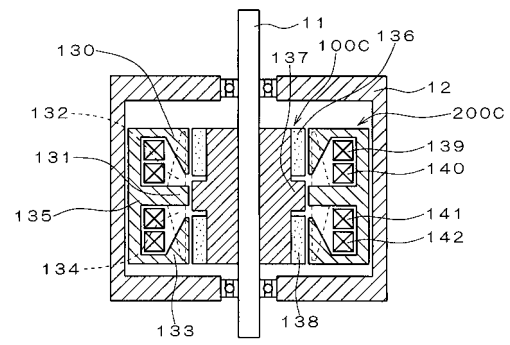
【図38】



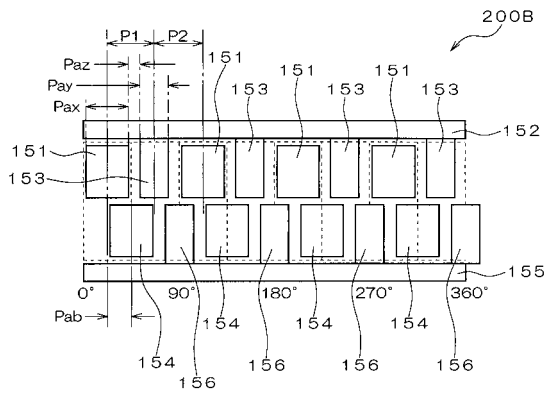
【 図 3 9 】



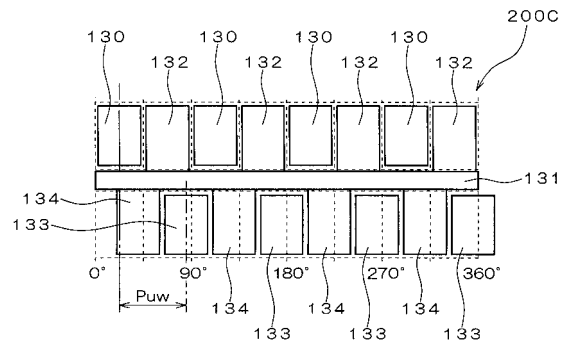
【 図 4 1 】



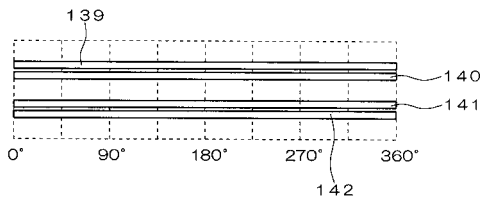
【 図 4 0 】



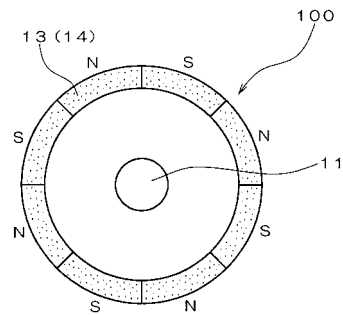
【 図 4 2 】



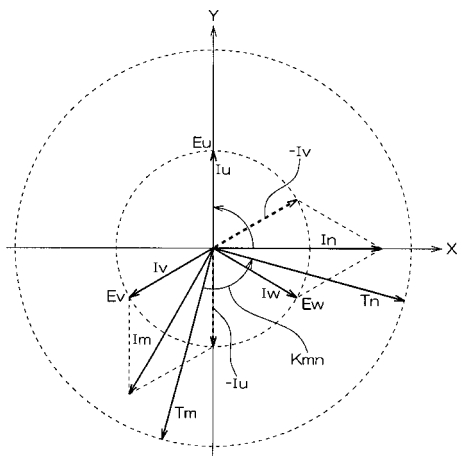
【 図 4 3 】



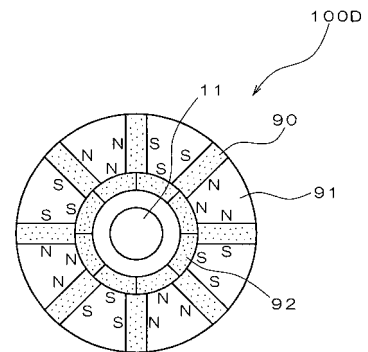
【 図 4 5 】



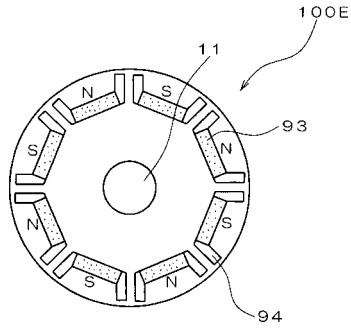
【 図 4 4 】



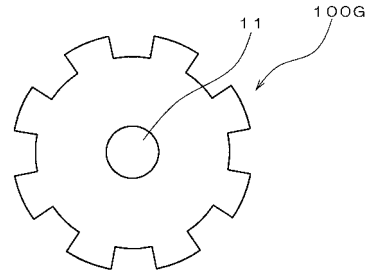
【 図 4 6 】



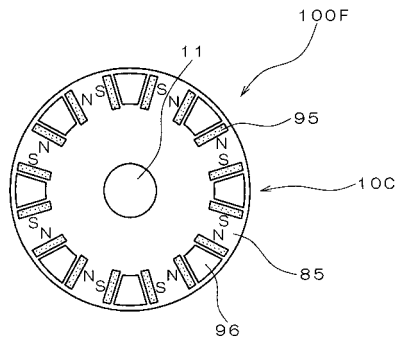
【図47】



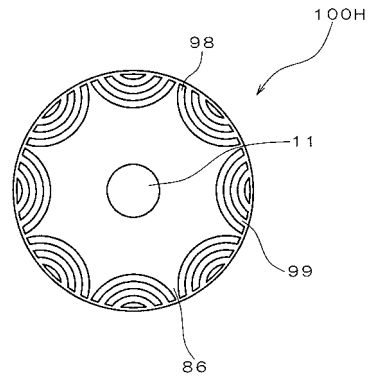
【図49】



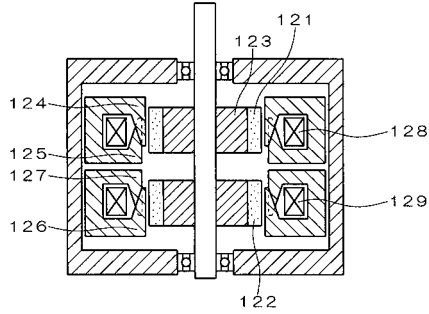
【図48】



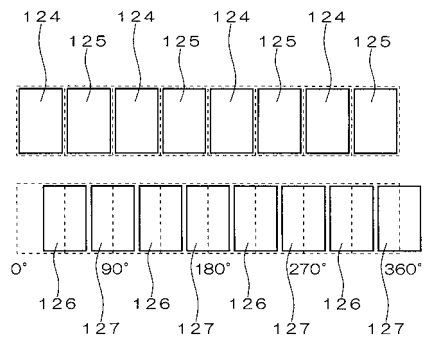
【図50】



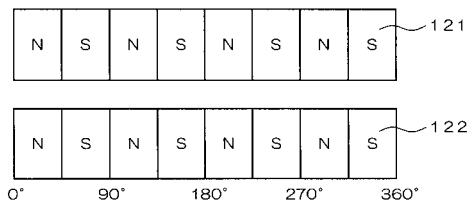
【図51】



【図53】



【図52】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
<b>H 0 2 P</b>	<b>8/12</b>	<b>(2006.01)</b>	H 0 2 K 37/14 E
			H 0 2 K 37/14 K
			H 0 2 P 8/00 B

(56)参考文献 特開昭63-198559(JP,A)  
 特開2002-354769(JP,A)  
 特開平05-308768(JP,A)  
 特開平11-150931(JP,A)  
 特開2002-252961(JP,A)  
 特開平08-275588(JP,A)  
 特開2001-292558(JP,A)  
 特開2001-161043(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 2 K	1 / 1 4
H 0 2 K	2 1 / 1 4
H 0 2 K	3 7 / 0 4
H 0 2 P	8 / 0 0