(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6270876号
(P6270876)
(45)発行日　平成30年1月31日(2018.1.31)　(24)登録日　平成30年1月12日(2018.1.12)

(51)Int.Cl.　F I

H02P 27/08	(2006.01)	H02P	27/08	
H02P 6/10	(2006.01)	H02P	6/10	
H02K 21/16	(2006.01)	H02K	21/16	M

請求項の数 6　(全 19 頁)

(21)出願番号　特願2015-556679(P2015-556679)
(86)(22)出願日　平成26年1月9日(2014.1.9)
(86)国際出願番号　PCT/JP2014/050253
(87)国際公開番号　W02015/104821
(87)国際公開日　平成27年7月16日(2015.7.16)
審査請求日　平成28年5月13日(2016.5.13)

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　100089118
弁理士　酒井　宏明
(72)発明者　松岡　篤
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　馬場　和彦
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　石井　博幸
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】同期電動機の駆動回路および、その駆動回路により駆動される同期電動機および、その同期電動機を用いた送風機および、その送風機を用いた空気調和機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

永久磁石により構成される１０極の磁極を有する回転子と、前記回転子に対向する９つのティースに巻線が集中巻きで巻回された固定子と、を備え、前記永久磁石が前記回転子の表面に配置された同期電動機の駆動回路であって、

複数のスイッチング素子がブリッジ接続されて構成されるインバータと、

前記巻線に矩形波状の電流を通電するように前記インバータを制御する制御手段と、

を備え、

前記制御手段は、

前記電流の通電位相を、前記同期電動機の目標トルクを発生させせる際に最小電流となる通電位相に対して、電気角でー１０°から＋５°の範囲で運転する

同期電動機の駆動回路。

【請求項２】

前記制御手段は、

前記電流の通電位相を、前記同期電動機の目標トルクを発生させる際に最小電流となる通電位相に対して、電気角で０°から＋５°の範囲で運転する

請求項１に記載の同期電動機の駆動回路。

【請求項３】

請求項１から２のいずれか一項に記載の同期電動機の駆動回路により駆動される同期電動機。

【請求項４】
前記ティースは、前記回転子の軸心に向かって周方向に等角度間隔で形成され、隣り合う前記ティースの間に形成されるスロットの開口部の周方向幅が全周において均一である請求項３に記載の同期電動機。
【請求項５】
請求項３または４に記載の同期電動機を用いた送風機。
【請求項６】
請求項５に記載の送風機を用いた空気調和機。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、同期電動機の駆動回路および、その駆動回路により駆動される同期電動機および、その同期電動機を用いた送風機および、その送風機を用いた空気調和機ならびに、同期電動機の駆動方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
送風機や空気調和機等のファンを駆動する電動機としては、運転時の消費電力低減のため、回転子に永久磁石を用いた同期電動機を用いることが多くなってきている。このような永久磁石を用いた同期電動機の駆動方式としては、回転子の磁極位置を検出し、半導体素子や電子部品で構成されるインバータを用いて、回転子の磁極位置に同期した駆動電流を固定子巻線に通電する矩形波駆動方式や正弦波駆動方式が一般的である。例えば、三相同期電動機を駆動する際に用いられる１２０°矩形波駆動方式は、各相毎に６０°ずつずれたタイミングで、１２０°正方向通電→６０°非通電→１２０°逆方向通電→６０°非通電を繰り返すことにより、三相のうちの何れか二相の固定子巻線が通電することにより駆動するものであるが、このような矩形波駆動方式は、正弦波駆動方式に比べてシンプルな制御機構で実現可能であり、低コスト化に寄与することができる。
【０００３】
また、固定子巻線をティースに集中的に巻回する三相同期電動機では、回転子に用いる永久磁石の磁極数と固定子のスロット数（＝ティース数）との比率が２：３で構成されることが多い。これに対して、永久磁石が発生する磁束をより有効に固定子の巻線に鎖交させることのできる磁極数とスロット数との組み合わせを用いた同期電動機が存在することが知られている（例えば、特許文献１，２）。このような磁極数とスロット数の組み合わせを用いた同期電動機は、モータ内部の損失が少なく、高効率な同期電動機を実現することが可能である。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開昭６２－１１０４６８号公報
【特許文献２】特開平９－１７２７６２号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
同期電動機において、出力するトルクに脈動成分が含まれると、周方向の電磁加振力の変動によりファンが振動して騒音発生の原因となる。また、固定子巻線への通電電流が急激に変化すると、その通電電流の急激な変化に伴う電磁力の急激な変化によって回転子と固定子との間の磁気吸引力が変動してラジアル方向の電磁加振力が発生し、同期電動機本体が振動して騒音を発生させる場合がある。
【０００６】
ファンの振動により発生する騒音は、ファンと同期電動機の出力軸との間に、エラストマー等の弾性材料により形成された部材を設け、同期電動機の出力トルクリップルの伝達

を減衰させることで抑制可能であるが、同期電動機本体の振動・騒音を抑えるためには、ラジアル方向の電磁加振力を抑制する必要がある。

【０００７】

上記特許文献では、巻線利用率（巻線係数）の向上とコギングトルクの抑制とを実現可能な磁極数とスロット数との組み合わせが開示されているが、矩形波駆動方式により駆動する場合、回転子の回転軸に対して固定子巻線への通電電流により発生する回転磁界が通電電流の急激な変化により不均等に発生する組み合わせが存在し、このような場合、回転子の永久磁石と固定子との間で吸引、反発する力が回転軸に対してアンバランスに働き、ラジアル方向に大きな電磁加振力が発生して同期電動機本体の振動・騒音の発生要因となる場合がある、という問題があった。

【０００８】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、高効率、且つ、矩形波駆動方式により駆動する際のラジアル方向の電磁加振力による振動・騒音を抑制可能な同期電動機の駆動回路および、その駆動回路により駆動される同期電動機および、その同期電動機を用いた送風機および、その送風機を用いた空気調和機ならびに、同期電動機の駆動方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、本発明にかかる同期電動機の駆動回路は、永久磁石により構成される１０極の磁極を有する回転子と、前記回転子に対向する９つのティースに巻線が集中巻きで巻回された固定子と、を備える同期電動機の駆動回路であって、複数のスイッチング素子がブリッジ接続されて構成されるインバータと、前記巻線に矩形波状の電流を通電するように前記インバータを制御する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記電流の通電位相を、当該同期電動機の目標トルクを発生させる際に最小電流となる通電位相に対して、電気角で－１０°から＋５°の範囲で運転することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１０】

本発明によれば、高効率、且つ、矩形波駆動方式により駆動する際のラジアル方向の電磁加振力による振動・騒音が抑制可能になる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】図１は、実施の形態１にかかる同期電動機の横断面図である。

【図２】図２は、実施の形態１にかかる同期電動機とその駆動回路との接続例を示す図である。

【図３】図３は、回転子の極数と固定子のスロット数（巻線数）との組み合わせにより決まる巻線係数の一例を示す図である。

【図４】図４は、集中巻き構造の９スロットの同期電動機の横断面に対し、直交する２軸（Ｘ軸およびＹ軸）を定義した図である。

【図５】図５は、正弦波駆動方式により８極９スロットの同期電動機を駆動した場合における図４に示すＸ軸方向およびＹ軸方向の磁気吸引力の回転角に対する変化を示す図である。

【図６】図６は、図５に示す正弦波状の磁気吸引力の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形を示す図である。

【図７】図７は、集中巻き構造の１０極９スロットおよび８極９スロットの同期電動機における発生トルクと磁気吸引力との関係を示す図である。

【図８】図８は、１２０°矩形波駆動方式において各相の固定子巻線に流れる通電電流波形の１周期を示す図である。

【図９】図９は、８極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した際の通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形

を示す図である。
【図１０】図１０は、１０極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した際の通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形を示す図である。
【図１１】図１１は、１０極１２スロットの同期電動機の横断面図である。
【図１２】図１２は、８極１２スロットの同期電動機の横断面図である。
【図１３】図１３は、１２０°矩形波駆動方式における通電開始タイミングと発生トルクとの関係を示す図である。
【図１４】図１４は、１０極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式で駆動する際の通電開始タイミングと磁気吸引力との関係を示す図である。
【図１５】図１５は、最大トルク発生位相を基準として、通電開始タイミングを変化させた場合の微小時間における磁気吸引力の変化量を示す図である。
【図１６】図１６は、誘起電圧のゼロクロスに対する通電開始タイミングと実施の形態１にかかる同期電動機の固定子鉄心に発生する鉄損との関係を示す図である。
【図１７】図１７は、各相の中央のティースを軸心に向かって周方向に等角度間隔（機械角１２０°）とし、各相毎の３つのティースを軸心に向かって周方向に等角度間隔（機械角３６°）で形成した例を示す図である。
【図１８】図１８は、実施の形態１にかかる図１に示す同期電動機と図１７に示す同期電動機とを１２０°矩形波駆動方式により駆動した際の通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形の比較例を示す図である。
【図１９】図１９は、実施の形態２にかかる送風機の一例を示す図である。
【図２０】図２０は、実施の形態３にかかる送風機の一例を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
　以下に添付図面を参照し、本発明の実施の形態にかかる同期電動機の駆動回路および、その駆動回路により駆動される同期電動機および、その同期電動機を用いた送風機および、その送風機を用いた空気調和機ならびに、同期電動機の駆動方法について説明する。なお、以下に示す実施の形態により本発明が限定されるものではない。
【００１３】
実施の形態１．
　図１は、実施の形態１にかかる同期電動機の横断面図である。本実施の形態では、図１に示すように、固定子１の内周面に対向して永久磁石を配置した回転子４を用いた同期電動機である場合の例について説明する。
【００１４】
　固定子１は、軸心１０を中心とする円環状の鉄心に９個の突起状の鉄心（以下、「ティース」という）２が軸心１０に向かって周方向に等角度間隔（機械角４０°）で形成され、各ティース２間に各ティース２に巻回される固定子巻線３を収容する９個のスロット７が形成される。各ティース２は、隣り合う３個ずつの３相（Ｕ相、Ｖ相、Ｗ相；各１２０°）に区分され、各スロット７の矢示方向に各相の固定子巻線３が集中巻きで巻回されている。各ティース２への固定子巻線３の巻回方向は、各相の隣り合うティース２間で逆向きとなり、各相間で隣り合うティース２間で同じ向きとなっている。
【００１５】
　なお、本実施の形態では、上述したように回転子４に対向して固定子１に設けられるティース２を軸心１０に向かって周方向に等角度間隔（機械角４０°）で形成しているので、ティース２の回転子４に対向する先端部（以下、「ティース先端部」という）８の周方向幅、および、各ティース２間の各スロット７における開口部（以下、「スロット開口部」という）９の周方向幅を全周において均一としている。
【００１６】
　回転子４は、軸心１０を中心とする円柱状のバックヨーク５の外周面に、異なる極性の磁極を交互にして周方向に等角度間隔（機械角３６°）で１０極の永久磁石６が配置され

、各ティース２の内側に固定子１に対向して回転可能に配置されている。なお、図１に示す例では、送風機等に用いる比較的出力が小さい同期電動機の例を示しており、永久磁石６としては、例えば、フェライト磁石等の比較的安価で磁力が低い材料を用いている。また、図１に示す例では、永久磁石６として、瓦状の焼結磁石を磁性体のバックヨーク５の表面に配置した例を示しているが、樹脂と磁粉を混合した材料を用いて、リング状に成形したボンドマグネットを用いてもよい。

【００１７】

図２は、実施の形態１にかかる同期電動機とその駆動回路との接続例を示す図である。図２に示すように、本実施の形態にかかる同期電動機を駆動する駆動回路１００は、直流電源４００から直流電力を供給され、複数のスイッチング素子２０１ａ，２０１ｂ，２０１ｃ，２０１ｄ，２０１ｅ，２０１ｆがフルブリッジ接続されて構成されるインバータ２００と、そのインバータ２００を構成する各スイッチング素子２０１ａ，２０１ｂ，２０１ｃ，２０１ｄ，２０１ｅ，２０１ｆを制御する制御手段３００とを含み構成される。

【００１８】

制御手段３００は、回転子４の磁極位置に応じて、つまり、各相の固定子巻線３に発生する誘起電圧に同期して各相の固定子巻線３毎に一定の電圧を順次印加するようにインバータ２００を制御し、矩形波状の電流を通電する１２０°矩形波駆動方式により同期電動機を駆動する。ここで、同期電動機の各相の固定子巻線３に印加する電圧の調整手法により本発明が限定されるものではないことは言うまでもなく、例えば、各スイッチング素子２０１ａ，２０１ｂ，２０１ｃ，２０１ｄ，２０１ｅ，２０１ｆを高周波スイッチング制御し、通電／非通電の時間幅を調整するＰＷＭ（Ｐｕｌｓｅ　Ｗｉｄｔｈ　Ｍｏｄｕｌａｔｉｏｎ）と呼ばれる方式を用いてもよいし、直流電源４００から出力される直流母線電圧を調整する方式を用いてもよい。

【００１９】

つぎに、図１および図２を用いて説明した実施の形態１にかかる同期電動機の作用・効果について説明する。

【００２０】

集中巻き構造の永久磁石同期電動機では、その性能指標として、周方向において１つの磁極が占める角度と１つのティースが占める角度とから算出される「巻線係数」が用いられることが多い。

【００２１】

この巻線係数が大きいほど、より効率的に永久磁石から得られる磁束を固定子の巻線に鎖交させることができ、同一の電流で得られるトルクが大きくなり、同期電動機の高出力化、あるいは高効率化に有利となる。

【００２２】

図３は、回転子の極数と固定子のスロット数（巻線数）との組み合わせにより決まる巻線係数の一例を示す図である。図３に示す組み合わせ例では、８極あるいは１０極の回転子と９スロットの固定子との組み合わせが最も巻線係数が大きい。つまり、８極９スロットあるいは１０極９スロットの組み合わせの同期電動機を用いることで、図３に示す他の組み合わせ例の同期電動機を用いるよりも高効率化が可能である。

【００２３】

その一方で、集中巻き構造の１０極９スロットあるいは８極９スロットのような同期電動機では、回転子の永久磁石と固定子との間で吸引、反発する力が回転子の回転軸に対してアンバランスに働き、ラジアル方向の磁気吸引力が大きくなることが知られている。

【００２４】

つぎに、正弦波駆動方式により同期電動機を駆動する例について、図４から図７を参照して説明する。図４は、集中巻き構造の９スロットの同期電動機の横断面に対し、直交する２軸（Ｘ軸およびＹ軸）を定義した図である。また、図５は、正弦波駆動方式により８極９スロットの同期電動機を駆動した場合における図４に示すＸ軸方向およびＹ軸方向の磁気吸引力の回転角に対する変化を示す図である。図５に示す例では、図４中に示したＸ

軸方向およびＹ軸方向において、回転子４が回転する際に回転子１に発生する磁気吸引力を磁界解析により求めた例を示している。ここでは、８極９スロットの同期電動機の固定子巻線３に正弦波電流を通電し、図４中に実線矢示した反時計方向に回転子４が回転して、磁極位置に応じて各相の固定子巻線３に正弦波電流を通電することでトルクを発生し、図中に実線矢示した反時計方向に回転子が回転する例を示している。

【００２５】

図５に示すように、８極９スロットの同期電動機を正弦波駆動方式により駆動した場合には、回転子４と固定子１との間には、回転子４の回転と共に、４５°を１周期とする磁気吸引力、つまり、回転子４の１回転中に８周期分となる正弦波状の磁気吸引力が発生する。なお、図示はしていないが、図１に示した１０極９スロットの同期電動機を正弦波駆動方式により駆動した場合には、回転子４の１回転中に１０周期分となる正弦波状の磁気吸引力が発生する。

【００２６】

図６は、図５に示す正弦波状の磁気吸引力の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形を示す図である。図６に示すように、同期電動機を正弦波駆動方式により駆動する場合には、回転子４の回転にあわせて円状の軌跡を描くラジアル方向の磁気吸引力がほぼ一定の力で方向を変えながら発生する。つまり、同期電動機を正弦波駆動方式により駆動する場合には、ラジアル方向の磁気吸引力の変化は極めて小さい。

【００２７】

図７は、集中巻き構造の１０極９スロットおよび８極９スロットの同期電動機における発生トルクと磁気吸引力との関係を示す図である。図７に示す例では、１０極９スロットの同期電動機と８極９スロットの同期電動機とで固定子１を同一形状とし、同等の磁力を有する永久磁石６を用いて、磁気吸引力の相対値を比較した例を示している。

【００２８】

図７に示すように、発生トルクが大きくなるに従い磁気吸引力が大きくなるが、１０極９スロットの同期電動機と８極９スロットの同期電動機とを比較すると、１０極９スロットの同期電動機の磁気吸引力の方が８極９スロットの同期電動機の磁気吸引力よりも小さく、具体的には、８極９スロットの同期電動機の磁気吸引力の１／４以下となっている。

【００２９】

つぎに、１２０°矩形波駆動方式により同期電動機を駆動する例について、図８から図１２を参照して説明する。

【００３０】

比較的出力の小さい同期電動機では、磁極センサー等の固定子の位置検出が可能な位置検出センサーを具備し、この位置検出センサーから出力される信号に同期して各相の固定子巻線への通電を切り替えることにより駆動する、所謂、矩形波駆動方式を用いる場合が多い。この場合には、上述した正弦波駆動方式とは異なり、同期電動機に通電される電流は矩形波状となる。このような矩形波駆動方式では、正弦波駆動方式に比べてシンプルな制御機構で実現可能であり、低コスト化に寄与することができる。

【００３１】

上述したように、本実施の形態では、図１に示す構造の１０極９スロットの三相同期電動機において、各相の固定子巻線３に発生する誘起電圧に同期して各相の固定子巻線３毎に一定の電圧を順次印加し、矩形波状の電流を通電する１２０°矩形波駆動方式により同期電動機を駆動する。

【００３２】

図８は、１２０°矩形波駆動方式において各相の固定子巻線に流れる通電電流波形の１周期を示す図である。図８に示すように、１２０°矩形波駆動方式では、各相毎に６０°ずつずれたタイミングで、１２０°正方向通電（１２０°～２４０°）→６０°非通電（２４０°～３２０°）→１２０°逆方向通電（３２０°～６０°）→６０°非通電（６０°～１２０°）を１周期とする矩形波状の電流を通電する。この１２０°矩形波駆動方式により、三相のうちの何れか二相の固定子巻線３が通電することにより、回転子４が同期

回転する。このような矩形波駆動方式では、図８に示すように、通電／非通電の切り替わりにおいて通電電流が急激に変化する。

【００３３】

図９は、８極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した際の通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形を示す図である。また、図１０は、１０極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した際の通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形を示す図である。図９および図１０に示す例では、１２０°矩形波駆動方式における通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を磁界解析により求めた例を示している。

【００３４】

図９に示すように、８極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した場合には、通電電流波形の通電／非通電の切り替わりにおいてラジアル方向の磁気吸引力が急激に変化している。このラジアル方向の磁気吸引力の急激な変化は、インパルス的な加振力が同期電動機に加えられることと等価であり、通電電流波形の通電／非通電の切り替わりにおいて固有振動が発生し、その固有振動の周波数の騒音が発生することとなる。以下、ラジアル方向の磁気吸引力の変化により発生する加振力を「ラジアル方向の電磁加振力」という。

【００３５】

一方、１０極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した場合には、８極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動した場合とは異なり、図１０に示すように、通電電流波形の通電／非通電の切り替わりにおいてラジアル方向の磁気吸引力が急激に変化する現象が見られず、ラジアル方向の電磁加振力はほとんど発生していない。つまり、１０極９スロットの同期電動機では、１２０°矩形波駆動方式により駆動した場合でも、通電電流波形の通電／非通電の切り替わりにおけるラジアル方向の電磁加振力を抑制することができ、このラジアル方向の電磁加振力による振動・騒音を抑制することができる。

【００３６】

図１１は、１０極１２スロットの同期電動機の横断面図である。図１１に示す１０極１２スロットの同期電動機では、図３に示したように、１０極９スロットおよび８極９スロットの同期電動機に次いで巻線係数が高い。また、スロット数が多く巻線を分散させることでコイルエンドが小さくなるため、電動機形状が扁平になるほど高効率化に適している。

【００３７】

しかしながら、１０極１２スロットの同期電動機は、一般に、図１１に示すように、各相の固定子巻線３が回転子４の軸心１０に対して各相毎に対向する２カ所に集中して配置されるため、図中に矢示したように、各相毎に、回転子４の永久磁石６と各相の固定子巻線３が巻回されたティース２との間で吸引、反発する力（以下、「磁気吸引・反発力」という）が軸心１０に対して対向する２方向から加わることとなり、固定子１に対して楕円形状の磁気吸引・反発力が作用する。このため、固定子１が楕円形状に変形、振動しやすい。なお、図１１に示す例では、回転子４の永久磁石６とＵ相の固定子巻線３が巻回されたティース２との間に生じる磁気吸引・反発力を図示している。

【００３８】

このような１０極１２スロットの同期電動機を矩形波駆動方式により駆動した場合、通電電流波形の通電／非通電の切り替わりにおいて、固定子１に対して楕円形状に作用する磁気吸引・反発力が急激に変動するため、ラジアル方向の電磁加振力が大きくなり、このラジアル方向の電磁加振力による固有振動周波数の騒音が大きくなる。

【００３９】

このため、図１１に示す１０極１２スロットの同期電動機では、各相の固定子巻線３への通電電流の変化が緩やかな正弦波駆動方式を用いて駆動するのが望ましいが、正弦波駆

動方式は、各相の固定子巻線３に印加する電圧を正弦波状に変化させるために、例えばベクトル制御等の極めて高度な制御技術が必要となるため、制御機構が矩形波駆動方式よりも複雑化し、高度な波形生成処理が可能なマイコン等を用いて制御手段を構成する必要があり、また、制御手段を構成する回路構成も複雑化するため、制御手段の高コスト化や大型化を招くこととなる。

【００４０】

図１２は、８極１２スロットの同期電動機の横断面図である。図１２に示す例においても、回転子４の永久磁石６とＵ相の固定子巻線３が巻回されたティース２との間に生じる磁気吸引・反発力を図示している。図１２に示す８極１２スロットの同期電動機では、各相の固定子巻線３が各相毎に９０°間隔で４カ所に分散されて配置されており、固定子１に対して作用する磁気吸引・反発力も互いに直交する方向に発生するため（図中の矢示方向）、矩形波駆動方式により駆動した場合でも、通電電流波形の通電／非通電の切り替わりにおけるラジアル方向の電磁加振力も均等になり、ラジアル方向の電磁加振力による固有振動周波数の騒音も小さくなる。ただし、８極１２スロットの同期電動機は、図３にも示しているように、他の極数／スロット数の組み合わせの同期電動機よりも巻線係数が低いため、効率面では不利である。

【００４１】

つぎに、実施の形態１にかかる同期電動機における矩形波駆動方式について、図１３から図１６を参照して説明する。図１３は、１２０°矩形波駆動方式における通電開始タイミングと発生トルクとの関係を示す図である。

【００４２】

矩形波駆動方式では、上述したように、各相の固定子巻線３に発生する誘起電圧に同期して各相の固定子巻線３毎に一定の電圧を順次印加し、矩形波状の電流を通電することで、同期電動機を駆動する。この矩形波駆動方式においては、誘起電圧に対して、どのようなタイミング（位相）で電流を通電するかにより、発生トルクの大きさが変化する。一般に、同一の電流値で最も大きなトルクを発生させるためには、上述した１２０°矩形波駆動方式において、図１３に示すように、誘起電圧のゼロクロスから３０°進んだタイミングで通電を開始するのが望ましいが、例えば、通電開始タイミングが最大トルク発生位相から±１０°ずれていても、最大トルク発生位相における発生トルクに対して９８％以上となり、通電開始タイミングが最大トルク発生位相から±５°の範囲内では、最大トルク発生位相における発生トルクに対して９９．５％以上となるため、同期電動機の特性に大きな影響は与えない。

【００４３】

図１４は、１０極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式で駆動する際の通電開始タイミングと磁気吸引力との関係を示す図である。図１４において、縦軸は磁気吸引力を示し、横軸は電気角を示している。

【００４４】

図１４に示すように、上述した最大トルク発生位相、つまり、誘起電圧のゼロクロスから３０°進んだタイミングで通電を開始した場合（図１４中の実線）、および、最大トルク発生位相からさらに１０°進んだ位相、つまり、誘起電圧のゼロクロスから４０°進んだタイミングで通電を開始した場合には（図１４中の一点鎖線）、磁気吸引力は、電気角に対して正弦波状に変化しているが、最大トルク発生位相から１０°遅れた位相、つまり、誘起電圧のゼロクロスから２０°進んだタイミングで通電を開始した場合には（図１４中の破線）、磁気吸引力は、電気角６０°および電気角１２０°付近で大きく変動している。このような磁気吸引力の急激な変動が生じると、この変動分がラジアル方向の電磁加振力となり、同期電動機の振動・騒音の発生要因となる。

【００４５】

図１５は、最大トルク発生位相を基準として、通電開始タイミングを変化させた場合の微小時間における磁気吸引力の変化量を示す図である。図１５に示すように、最大トルク発生位相を基準として、通電開始タイミングが－１０°から＋５°までの範囲では、最大

トルク発生位相における磁気吸引力の変化量との差が極めて小さい。つまり、通電開始タイミングの許容範囲を、最大トルク発生位相を基準として、－１０°から＋５°までの範囲とすれば、磁気吸引力の変動を抑制することができ、同期電動機本体から発生する振動や騒音を抑えることができる。言い換えれば、目標とするトルクを発生させる際に、電流が最小となる通電位相に対して、通電位相を－１０°から＋５°までの範囲で運転することで、低振動・低騒音な同期電動機を実現できる。

【００４６】

図１６は、誘起電圧のゼロクロスに対する通電開始タイミングと実施の形態１にかかる同期電動機の固定子鉄心に発生する鉄損との関係を示す図である。図１６に示す例において、縦軸は、上述した最大トルク発生位相、つまり、誘起電圧のゼロクロスから３０°進んだタイミングで通電を開始した場合の鉄損を基準とした鉄損比率を示している。

【００４７】

図１６に示すように、固定子１の鉄心に発生する鉄損は、通電開始タイミングを進めることで、回転子４の永久磁石６から発生する磁束に対し、矩形波状の電流を通電することによって固定子巻線３に発生する磁束により打ち消すような効果（弱め界磁の効果）が得られるため、固定子１の鉄心の磁束密度が低くなり、発生する鉄損が小さくなる。一方、図１３を用いて説明したように、最大トルク発生位相に対して通電開始タイミングを進めると、発生トルクが低下するため、最大トルク発生位相と同様の発生トルクを得ようとすれば、各相の固定子巻線３への通電電流を増やす必要がある。この場合には、銅損が増加するが、固定子１の鉄心に発生する鉄損が低下することによって、同期電動機の効率を向上することができるか、もしくは、銅損と鉄損とのバランスにより、同期電動機の効率の低下を抑制することができる。

【００４８】

上述したように、最大トルク発生位相、つまり、１２０°矩形波駆動方式においては、各相の固定子巻線３に発生する誘起電圧のゼロクロスから３０°進んだ位相、言い換えれば、目標とするトルクを発生させる際に、電流が最小となる通電位相に対し、－１０°から＋５°までの範囲で運転することで、低振動・低騒音な同期電動機を実現でき、さらに、目標とするトルクを発生させる際に、電流が最小となる通電位相に対し、０°から＋５°までの範囲で運転することで、効率面でも有利な同期電動機が実現可能である。

【００４９】

なお、本実施の形態では、図１を用いて説明したように、回転子４に対向して固定子１に設けられるティース２を軸心１０に向かって周方向に等角度間隔（機械角４０°）で形成しているので、ティース先端部８の周方向幅が全周において均一であれば、各ティース２間の各スロット開口部９の周方向幅も全周において均一となる。

【００５０】

一方、１０極９スロットの同期電動機の高効率化のためには、各相毎の３つのティースの間隔（機械角３６°）と回転子４の永久磁石６により形成される磁極の間隔（機械角３６°）とを一致させ、理論的に巻線係数を１．０００とすることが考えられる。

【００５１】

図１７は、各相の中央のティースを軸心１０に向かって周方向に等角度間隔（機械角１２０°）とし、各相毎の３つのティースを軸心１０に向かって周方向に等角度間隔（機械角３６°）で形成した例を示す図である。

【００５２】

図１７に示すような構造とすれば、各相毎の３つのティースの間隔（機械角３６°）と回転子４の永久磁石６により形成される磁極の間隔（機械角３６°）とが一致するため、理論的には巻線係数を１．０００とすることができ、回転子４の永久磁石６により発生する磁束をより有効に固定子巻線３に鎖交させることができるため、より高効率な同期電動機を実現することができる。

【００５３】

しかしながら、図１７に示すように、ティース先端部８の周方向幅が均一であれば、各

相のティース２間のスロット開口部９の周方向幅は不均一となり、回転子４に生じる磁気吸引力のバランスが崩れて、ラジアル方向の電磁加振力が増加する。図１８は、実施の形態１にかかる図１に示す同期電動機と図１７に示す同期電動機とを１２０°矩形波駆動方式により駆動した際の通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を示すリサージュ波形の比較例を示す図である。図１８に示す例では、１２０°矩形波駆動方式における通電電流波形の１周期に亘るラジアル方向の磁気吸引力の軌跡を磁界解析により求めた例を示している。

【００５４】

図１８に示すように、図１７に示す構造の同期電動機のラジアル方向の磁気吸引力（図中の破線で示す軌跡）は、図９に示した８極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式で駆動したような急激な変化はないものの、本実施の形態にかかる同期電動機と比較すると、ラジアル方向の磁気吸引力の変化幅は大きく、大きな電磁加振力が発生することとなり、同期電動機本体から振動・騒音が発生する可能性が高くなる。したがって、回転子４に対向して固定子１に設けられるティース２を軸心に向かって周方向に等角度間隔（機械角４０°）で形成し、各ティース２間の各スロット開口部９の周方向幅は、全周において均一とするのが好ましい。

【００５５】

なお、上述した例では、１０極９スロットの同期電動機を１２０°矩形波駆動方式により駆動する例について説明したが、例えば、１８０°矩形波駆動方式や、他の矩形波駆動方式であっても同様の効果が得られる。この矩形波駆動方式により本発明が限定されるものではないことは言うまでもない。

【００５６】

以上説明したように、実施の形態１の同期電動機の駆動回路および、その駆動回路により駆動される同期電動機ならびに、同期電動機の駆動方法によれば、巻線係数が比較的高い１０極９スロットの同期電動機を矩形波駆動方式で駆動することにより、高効率、且つ、安価な制御手段で実現でき、矩形波状の電流の通電位相を、目標トルクを発生させる際に最小電流となる通電位相に対して、電気角で－１０°から＋５°の範囲内としたので、通電／非通電の切り替えの際、磁気吸引力が大きく変動することなく、ラジアル方向の電磁加振力の発生を抑制することができるので、同期電動機本体から発生する振動・騒音を抑制することができ、低騒音化が可能となる。

【００５７】

矩形波駆動方式では、例えばベクトル制御等の複雑な制御を要する正弦波駆動方式とは異なり、高性能なマイコン等を用いて制御手段を構成する必要がないため、制御手段の低コスト化が可能であり、また、回路構成も簡略化できるので、小型化も可能である。このため、同期電動機と制御手段とを含めたシステムのコスト上昇を抑えることができ、小型化も可能である。

【００５８】

実施の形態２.

図１９は、実施の形態２にかかる送風機の一例を示す図である。図１９に示す例では、空気調和機の室外機を、実施の形態１にかかる同期電動機を適用した送風機の一例として示し、この空気調和機の室外機の正面図（図１９（ａ））および横断面図（図１９（ｂ））を示している。

【００５９】

図１９に示す空気調和機の室外機５００は、プロペラ形態のファン５０１を駆動する同期電動機として、実施の形態１において説明した矩形波駆動方式により駆動される１０極９スロットの同期電動機５０２を用いている。また、ファン５０１と同期電動機５０２の出力軸との取り付け部、および、同期電動機５０２と室外機５００の筐体との取り付け部には、防振部材５０３を取り付けている。

【００６０】

実施の形態１において説明したように、１０極９スロットの同期電動機５０２は、巻線

係数が高く、高効率であるため、室外機５００の消費電力を低減することができ、延いては、空気調和機の消費電力を低減することができる。

【００６１】

この同期電動機５０２を矩形波駆動方式により駆動した場合、通電相が切り替わる瞬間にトルクの低下が生じる。このトルクの変動（トルクリップル）がファン５０１に伝達すると、ファン５０１が同期電動機５０２のトルクリップルにより振動しながら回転することとなり騒音が発生するが、本実施の形態では、ファン５０１と同期電動機５０２の出力軸との取り付け部に防振部材５０３を取り付け、振動を減衰させる防振構造としているので、ファン５０１から発生する騒音を抑制することができる。また、同期電動機５０２と室外機５００の筐体との取り付け部分にも防振部材５０３を取り付け、防振構造としているので、室外機５００の筐体に伝播する同期電動機５０２のトルクリップルに起因する振動を減衰させることができ、室外機５００の筐体から発生する騒音を抑制することができる。

【００６２】

また、１０極１２スロットや８極９スロットの同期電動機では、矩形波駆動方式で駆動した場合には、実施の形態１において説明したように、通電電流波形の通電／非通電の切り替えにおいて急激に磁気吸引力が変動することにより大きなラジアル方向の電磁加振力が生じて固有振動が発生し、その固有振動により同期電動機本体から発生する騒音が大きい。本実施の形態の室外機５００では、矩形波駆動方式で駆動した場合においても通電電流波形の通電／非通電の切り替えにおける磁気吸引力の変動が小さい１０極９スロットの同期電動機５０２を用いると共に、矩形波状の電流の通電位相を、目標トルクを発生させる際に最小電流となる通電位相に対して、電気角で－１０°から＋５°の範囲内とすることで、通電／非通電の切り替えにおいて発生するラジアル方向の電磁加振力を小さくすることができ、同期電動機５０２の本体から発生する騒音を抑制することができる。

【００６３】

また、１０極１２スロットや８極９スロットの同期電動機本体から発生する騒音を抑制するためには、正弦波駆動方式により駆動する必要があるが、上述したように、正弦波駆動方式を実現するためには、例えばベクトル制御等の極めて高度な制御技術が必要となるため、高度な波形生成処理が可能なマイコン等を用いて制御手段を構成する必要があり、制御手段の高コスト化や大型化を招くこととなる。本実施の形態の室外機５００では、１０極９スロットの同期電動機５０２を用いることにより、矩形波駆動方式で駆動した場合においても、同期電動機５０２の本体から発生する騒音を抑制することができるので、正弦波駆動方式により駆動する構成に比べて安価に制御手段を構成することができる。

【００６４】

以上説明したように、実施の形態２の送風機によれば、実施の形態１において説明した、高効率、且つ、矩形波駆動方式により駆動する際のラジアル方向の電磁加振力による振動・騒音を抑制可能な同期電動機を用いて空気調和機の室外機のプロペラ形態のファンを駆動する構成としたので、消費電力が少なく、且つ低騒音化が可能な室外機、延いては、この室外機を用いた空気調和機を実現可能であり、さらには、これら室外機や空気調和機の低コスト化、小型化が可能である。

【００６５】

また、空気調和機の室外機の振動や騒音は、一般に、冷媒の圧縮機から発生するものが支配的であるが、運転条件によっては、圧縮機の運転周波数を下げたり、あるいは停止させたりする場合もあり、この場合には、室外機として構成された送風機から発生する振動や騒音が目立ってしまうこともある。また、室内機と比較すると、送風機に要求される出力が大きいため、電磁加振力が発生する場合には、同期電動機の出力に応じて大きな電磁加振力が発生するため、同期電動機本体から振動や騒音が発生すると、室外機の振動や騒音としても問題となってしまう。

【００６６】

本実施の形態の送風機は、同期電動機本体から発生する振動や騒音を抑制できるため、

低コストでありながら、高効率、且つ、低振動、低騒音な空気調和機を実現できる。
【００６７】
実施の形態３．
図２０は、実施の形態３にかかる送風機の一例を示す図である。図２０に示す例では、空気調和機の室内機を、実施の形態１にかかる同期電動機を適用した送風機の一例として示し、この空気調和機の室内機の正面図を示している。
【００６８】
図２０に示す空気調和機の室内機６００は、ラインフロー形態のファン６０１を駆動する同期電動機として、実施の形態１において説明した矩形波駆動方式により駆動される１０極９スロットの同期電動機６０２を用いている。また、ファン６０１と同期電動機６０２の出力軸との取り付け部、および、同期電動機６０２と室内機６００の筐体との取り付け部には、防振部材６０３を取り付けている。
【００６９】
実施の形態１において説明したように、１０極９スロットの同期電動機６０２は、巻線係数が高く、高効率であるため、室内機６００の消費電力を低減することができ、延いては、空気調和機の消費電力を低減することができる。
【００７０】
この同期電動機６０２を矩形波駆動方式により駆動した場合、実施の形態２において説明したトルクリップルがファン６０１に伝達すると、ファン６０１が同期電動機６０２のトルクリップルにより振動しながら回転することとなり騒音が発生するが、本実施では、ファン６０１と同期電動機６０２の出力軸との取り付け部に防振部材６０３を取り付け、振動を減衰させる防振構造としているので、ファン６０１から発生する騒音を抑制することができる。また、同期電動機６０２と室内機６００の筐体との取り付け部分にも防振部材６０３を取り付け、防振構造としているので、室内機６００の筐体に伝播する同期電動機６０２のトルクリップルに起因する振動を減衰させることができ、室内機６００の筐体から発生する騒音を抑制することができる。
【００７１】
また、１０極１２スロットや８極９スロットの同期電動機では、矩形波駆動方式で駆動した場合には、実施の形態１において説明したように、通電電流波形の通電／非通電の切り替えにおいて急激に磁気吸引力が変動することにより大きなラジアル方向の電磁加振力が生じて固有振動が発生し、その固有振動により同期電動機本体から発生する騒音が大きい。本実施の形態の室内機６００では、矩形波駆動方式で駆動した場合においても通電電流波形の通電／非通電の切り替えにおける磁気吸引力の変動が小さい１０極９スロットの同期電動機６０２を用いると共に、矩形波状の電流の通電位相を、目標トルクを発生させる際に最小電流となる通電位相に対して、電気角で－１０°から＋５°の範囲内とすることで、通電電流波形の通電／非通電の切り替えにおいて発生するラジアル方向の電磁加振力を小さくすることができ、同期電動機６０２の本体から発生する騒音を抑制することができる。
【００７２】
また、１０極１２スロットや８極９スロットの同期電動機本体から発生する騒音を抑制するためには、正弦波駆動方式により駆動する必要があるが、上述したように、正弦波駆動方式を実現するためには、例えばベクトル制御等の極めて高度な制御技術が必要となるため、高度な波形生成処理が可能なマイコン等を用いて制御手段を構成する必要があり、制御手段の高コスト化や大型化を招くこととなる。本実施の形態の室内機６００では、１０極９スロットの同期電動機６０２を用いることにより、矩形波駆動方式で駆動した場合においても、同期電動機６０２の本体から発生する騒音を抑制することができるので、正弦波駆動方式により駆動する構成に比べて安価に制御手段を構成することができる。
【００７３】
以上説明したように、実施の形態３の送風機によれば、実施の形態１において説明した、高効率、且つ、矩形波駆動方式により駆動する際のラジアル方向の電磁加振力による振

動・騒音を抑制可能な同期電動機を用いて空気調和機の室内機のラインフロー形態のファンを駆動する構成としたので、消費電力が少なく、且つ低騒音化が可能な室内機、延いては、この室内機を用いた空気調和機を実現可能であり、さらには、これら室内機や空気調和機の低コスト化、小型化が可能である。

【００７４】

空気調和機の室内機の振動や騒音は、ファン、もしくは同期電動機より発生する振動や騒音が支配的であり、特に、室内に設置される空気調和機の室内機には静粛性が求められる。

【００７５】

本実施の形態の送風機は、同期電動機本体から発生する振動や騒音を抑制できるため、低コストでありながら、高効率、且つ、低振動、低騒音な空気調和機を実現できる。

【００７６】

また、空気調和機の室内機は、小型化に対する要求が大きく、室内機内の限られた空間の中に、空気調和機に必要な熱交換器、送風機、電動機、制御用の電気回路基板等を配置する必要があるため、電動機や回路基板を配置するためのスペースには制約が多く、省スペース化が求められる。このため、制御手段を含む駆動回路を同期電動機の筐体内部に内蔵することが多い。

【００７７】

一方で、空気調和機においては、省エネ性への要求も大きく、消費電力低減のため、巻線係数の高い１０極１２スロットあるいは８極９スロットの同期電動機を搭載することも考えられるが、この場合には、実施の形態１において説明したように、矩形波駆動方式では同期電動機本体からラジアル方向の電磁加振力による振動や騒音が発生しやすいため、正弦波駆動方式で駆動する必要があり、制御手段を含む駆動回路のコストアップや大型化が避けられなくなる。また、省エネ性よりも低コストであることが要求される廉価版の製品では、８極１２スロットの同期電動機を矩形波駆動方式で駆動することが多いため、このような製品群とは駆動回路の互換性がない。

【００７８】

実施の形態１において説明した同期電動機は、矩形波駆動方式で駆動する態様であるため、高効率化と低騒音化とを両立可能であり、省エネ性を要求される製品群と低コストであることが要求される廉価版の製品群とで、同期電動機の駆動回路の互換性を確保することができ、駆動回路の共用化が可能となり、さらには、安価な１チップＩＣ等を利用して制御手段を構成でき、小型化も可能であるので、同期電動機の筐体内部への内蔵が容易となる。

【００７９】

また、駆動回路を同期電動機の筐体内部に内蔵しない場合でも、制御手段やこの制御手段を含む駆動回路を搭載する回路基板の大型化を抑えることができる。

【００８０】

なお、以上の実施の形態に示した構成は、本発明の構成の一例であり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、一部を省略する等、変更して構成することも可能であることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【００８１】

以上のように、本発明は、回転子に永久磁石を用いた３相の同期電動機に有用であり、特に、１０極９スロットの同期電動機を矩形波方式により駆動する構成に適している。

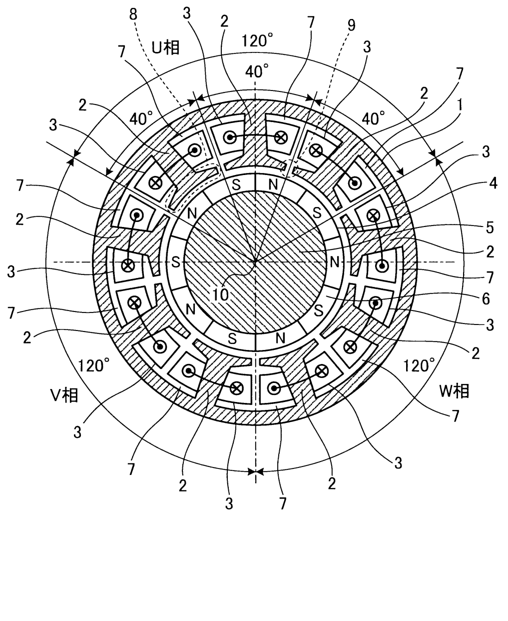
【符号の説明】

【００８２】

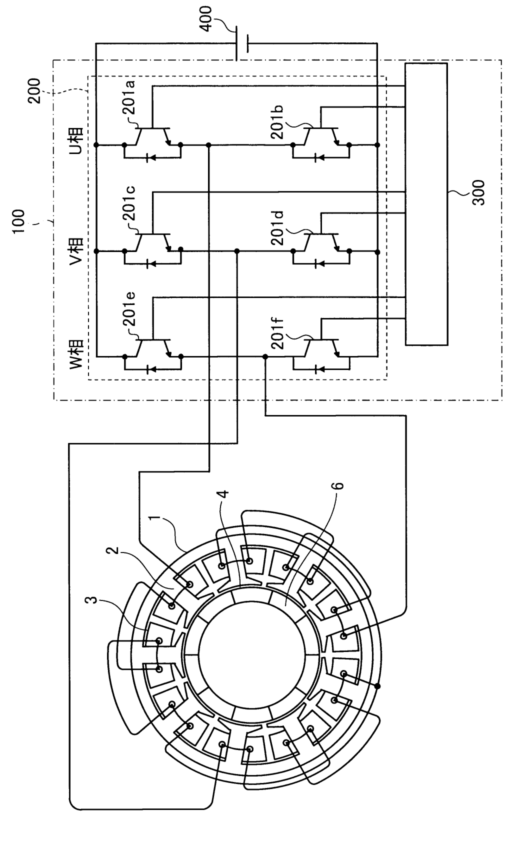
１　固定子、２　ティース、３　固定子巻線、４　回転子、５　バックヨーク、６　永久磁石、７　スロット、８　ティース先端部、９　スロット開口部、１０　軸心、１００　駆動回路、２００　インバータ、２０１ａ，２０１ｂ，２０１ｃ，２０１ｄ，２０１ｅ，２０１ｆ　スイッチング素子、３００　制御手段、５００　室外機、５０１　ファン（

プロペラ形態）、５０２　同期電動機、５０３　防振部材、６００　室内機、６０１　ファン（ラインフロー形態）、６０２　同期電動機、６０３　防振部材。

【図１】



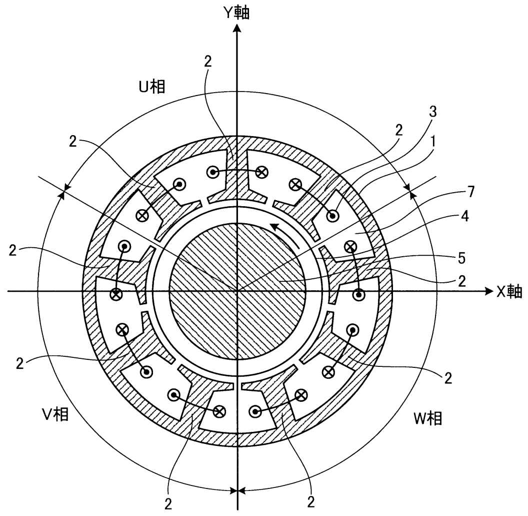
【図２】



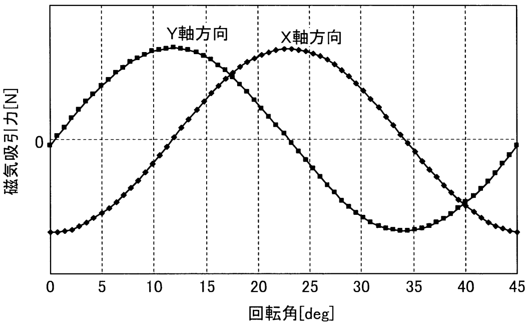
【図３】

極数	8	10	8	10
スロット数	12	12	9	9
巻線係数	0.866	0.933	0.945	0.945

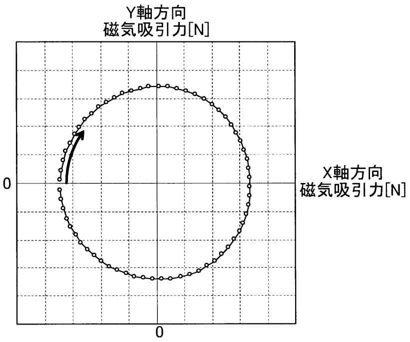
【図４】



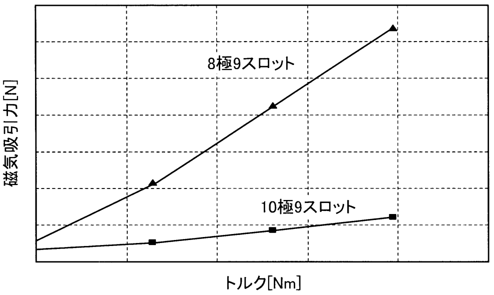
【図５】



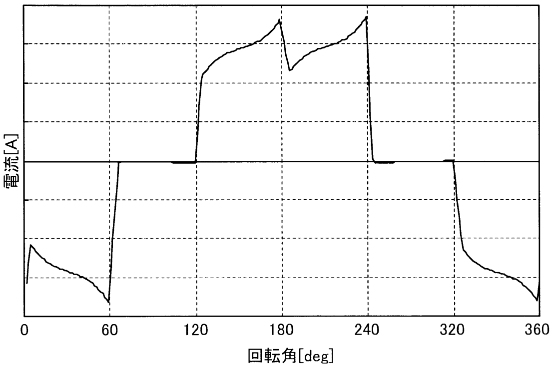
【図６】



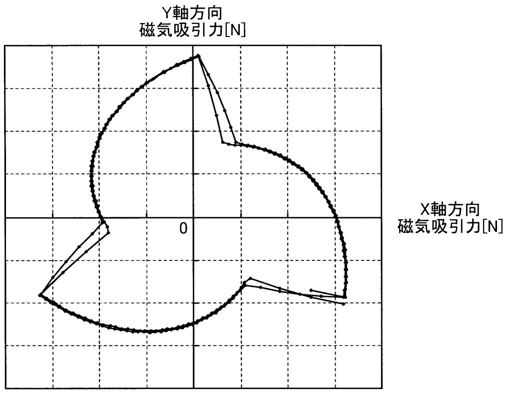
【図７】



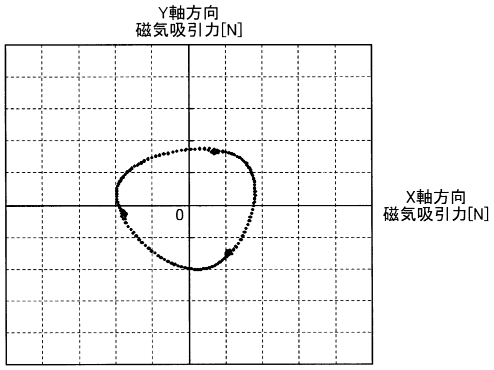
【図８】



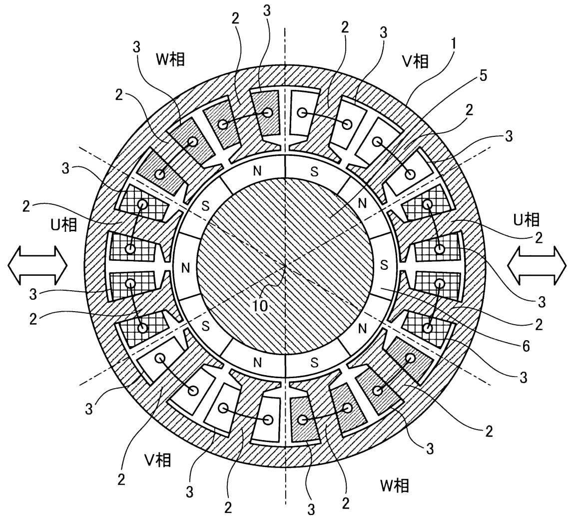
【図９】



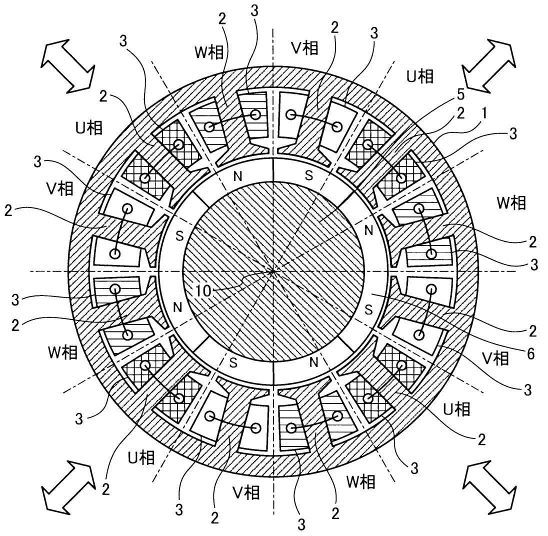
【図１０】



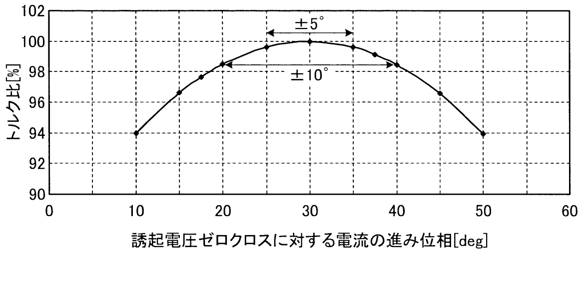
【図１１】



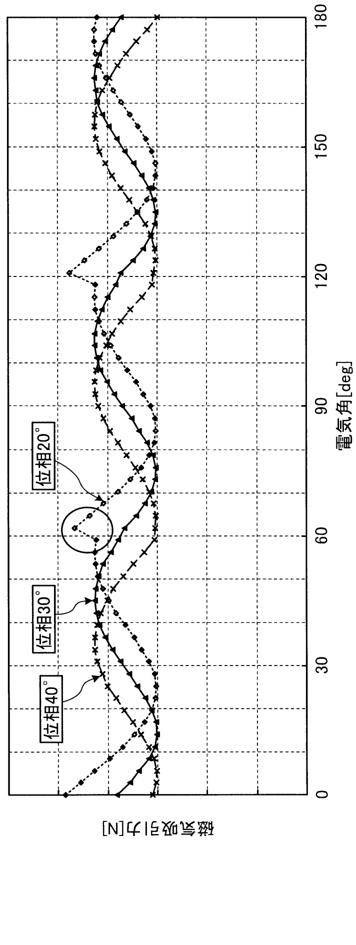
【図１２】



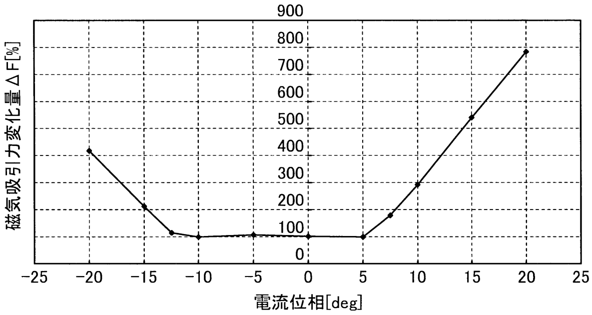
【図１３】



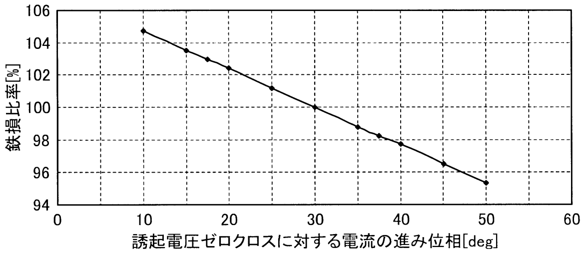
【図１４】



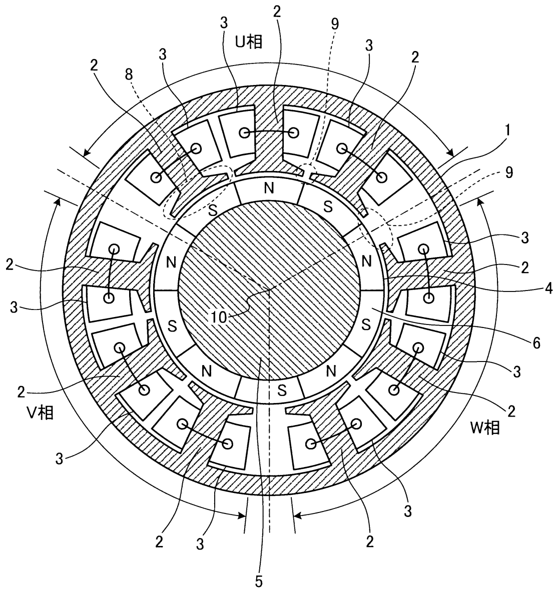
【図１５】



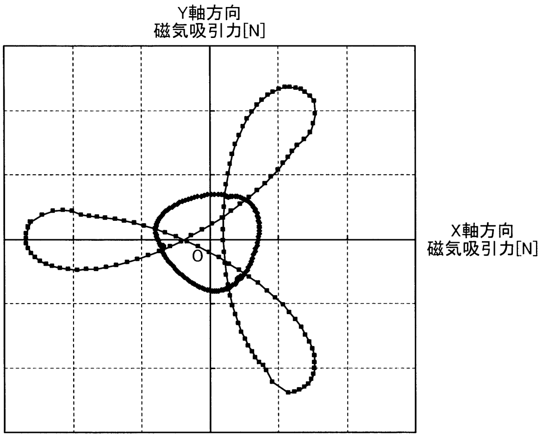
【図１６】



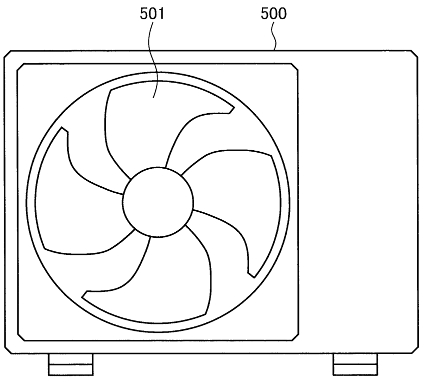
【図１７】



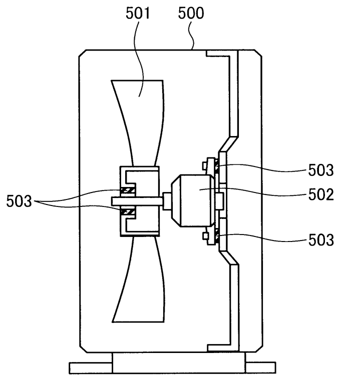
【図１８】



【図１９】

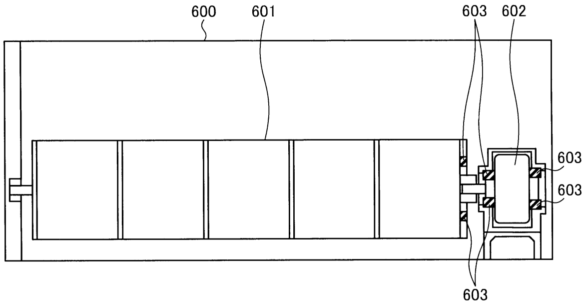


(a)



(b)

【図２０】



フロントページの続き

審査官　森山　拓哉

(56)参考文献　特開２００７－２５９５４１（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１８９８０８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－２３９７６７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｐ　２７／０８
Ｈ０２Ｋ　２１／１６
Ｈ０２Ｐ　６／１０