

明 細 書

発明の名称 : 制御システム

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、制御システムに関する。

背景技術

[0002] 永久磁石同期電動機の回転センサレス制御装置において、停止状態から起動する際の初期磁極位置推定には突極性を用いて行っているため（例えば、特許文献 1 参照）、磁極方向の推定が必要になる。

磁極方向の推定として、磁気飽和を利用した推定法が提案されている（例えば、特許文献 2，特許文献 3 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第 3 7 1 9 9 1 0 号公報

特許文献2：特許第 3 4 0 1 1 5 5 号公報

特許文献3：特開 2 0 0 8 - 0 7 9 4 8 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記従来の推定法は、N極方向の電流増加に対して磁石磁束方向のインダクタンスが単調減少することを利用して磁極方向を推定するものであった。

したがって、上記従来の技術は、N極方向の電流増加に対して磁石磁束方向のインダクタンスが単調減少ではなく、極大点を持つ場合には適用することはできなかった。

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、N極方向の電流増加に対して磁石磁束方向のインダクタンスが極大点を持つ電動機でも磁極方向推定を可能にする制御システムを実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 実施形態の制御システムは、回転子の内部に磁石を有する同期電動機を制

御する制御システムにおいて、同期電動機を駆動するための交流を出力するインバータと、インバータを駆動するためのゲート指令を生成するゲート指令生成部と、インバータから出力される交流の電流値を検出する電流検出部と、電流検出部が検出した電流値に基づいて磁極位置を推定する磁極位置推定部と、磁極極性の判定を行うとき、電流検出部が検出する電流値の d 軸成分が所定の値を示すための極性判定用ゲート指令を生成するよう前記ゲート指令生成部に指示する制御部と、極性判定用ゲート指令が生成されると、磁極位置推定部によって推定された磁極位置に基づき、正の d 軸電流によるインダクタンスを示す第 1 の情報と負の d 軸電流によるインダクタンスを示す第 2 の情報を求め、求めた第 1 の情報と第 2 の情報を比較し、大きい値を示す方を N 極と判定する磁極極性判定部と、を備えている。

そして、この制御システムは、正方向及び負方向に同一の所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンスを示す値が大きくなる側を N 極側と判定する。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図 1 は、第 1 実施形態の永久磁石同期電動機の回転制御装置の概要構成ブロック図である。

[図2]図 2 は、永久磁石同期電動機の概要構成縦断面図である。

[図3]図 3 は、永久磁石同期電動機における一般的に知られた d 軸インダクタンス特性を説明した図である。

[図4]図 4 は、第 1 実施形態の永久磁石同期電動機における d 軸インダクタンス特性の説明図である。

[図5]図 5 は、特性説明図である。

[図6]図 6 は、図 4 と同様の特性を有する他のロータの一例の説明図である。

[図7]図 7 は、磁束密度 (B) と磁界の強さ (H) との関係の説明図である。

[図8]図 8 は、第 1 実施形態の動作原理説明図である。

[図9]図 9 は、図 8 の状態における d 軸電流と d 軸インダクタンスとの関係説明図である。

[図10]図10は、磁路形成用鉄心部の幅を広くした場合におけるロータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

[図11]図11は、ステータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

[図12]図12は、縦孔部内に永久磁石を挿入した場合の、ロータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

[図13]図13は、縦孔部内に永久磁石を挿入した場合の、ステータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

[図14]図14は、第1実施形態におけるd軸インダクタンス増加量とd軸インダクタンス減少量の説明図である。

[図15]図15は、第1実施形態におけるd軸インダクタンスのスロット高調波による変化量の説明図である。

[図16]図16は、第1実施形態の磁極極性判定動作の説明図である。

[図17A]図17Aは、磁極極性判定動作の他の例におけるd軸電圧変化の説明図である。

[図17B]図17Bは、磁極極性判定動作の他の例におけるd軸電流変化の説明図である。

[図18]図18は、第2実施形態の磁極極性判定動作の説明図である。

[図19]図19は、第3実施形態の磁極極性判定部の概要構成ブロック図である。

[図20]図20は、 γ 軸電流指令と γ 軸電流との関係の説明図である。

発明を実施するための形態

[0007] 次に図面を参照して実施形態について詳細に説明する。

[1]第1実施形態

図1は、第1実施形態の永久磁石同期電動機の制御装置の概要構成ブロック図である。

[0008] 電動機駆動装置100は、大別すると、電流指令生成部10と、電流制御部11と、高周波電圧重畳部12と、第1座標変換部13と、三角波PWM

変調部 14 と、インバータ 15 と、電流検出部 16 と、第 2 座標変換部 17 と、磁極位置推定部 18 と、磁極極性判定部 19 と、を備えている。

[0009] 以上の構成において、電流指令生成部 10 と、電流制御部 11 と、高周波電圧重量部 12 と、第 1 座標変換部 13 と、三角波 PWM 変調部 14 と、電流検出部 16 と、第 2 座標変換部 17 と、磁極位置推定部 18 と、磁極極性判定部 19 と、は、全体としてインバータ制御部として機能している。

[0010] 電流指令生成部 10 は、磁束電流指令信号 i_{ref} 、及びトルク電流指令信号 i_{ref} を出力する。そして、磁極極性を判定するときにインバータ 15 が出力する電流も、電流指令生成部 10 が出力する磁束電流指令信号 i_{ref} とトルク電流指令信号 i_{ref} によって制御される。

電流制御部 11 は、電流指令生成部 10 から入力される磁束電流指令信号 i_{ref} 、及びトルク電流指令信号 i_{ref} 並びに磁束電流成分信号 i_{ref} 、及びトルク電流成分信号 i_{ref} に基づいて基本波電圧指令信号 v_{r0} 、 $v_{\delta 0}$ を出力する。

高周波電圧重量部 12 は、基本波電圧指令信号 v_{r0} 、 $v_{\delta 0}$ に高周波電圧指令信号 v_{rh} 、 $v_{\delta h}$ を重畳して、電圧指令信号 v_r 、 v_{δ} を生成し、

[0011] 第 1 座標変換部 13 は、極性付磁極位置 θ_{est} に基づいて電圧指令信号 v_r 、 v_{δ} の $\gamma\delta$ - UVW 変換を行って、電圧指令信号 v_u 、 v_v 、 v_w を生成し、三角波 PWM 変調部 14 に出力する。

三角波 PWM 変調部 14 は、入力された電圧指令信号 v_u 、 v_v 、 v_w に基づいて、インバータ 15 を構成している図示しないスイッチングトランジスタ (例えば、IGBT; Insulated Gate Bipolar Transistor) を駆動するためのゲート指令信号 (群) GC を生成してインバータ 15 に出力する。

[0012] インバータ 15 は、ゲート指令信号 GC に基づいて、永久磁石同期電動機 (PMSM) 20 を駆動するための U 相信号 u 、V 相信号 v 及び W 相信号 w を生成する。そして、インバータ 15 は、生成した U 相信号 u 、V 相信号 v

及びW相信号Wに基づいて内蔵されているスイッチング素子（例えば、IGBT）のオン／オフを切替えることによって交流／直流電力を相互に変換する。

[0013] 電流検出部16は、電流センサ16u及び電流センサ16wにより、U相信号uに対応して永久磁石同期電動機20に流れるU相電流 i_u 及びW相信号wに対応して永久磁石同期電動機20に流れるW相電流 i_w を検出して第2座標変換部17に出力する。なお、本実施形態では、U相及びW相の2相の電流値（電流応答値）を検出しているが、3相全ての電流値を検出する構成とすることも可能である。

[0014] 第2座標変換部17は、極性付磁極位置 θ_{est} に基づき、入力されたU相電流 i_u 及びW相電流 i_w に対してUVW- $\gamma\delta$ 変換を行う。そして、UVW- $\gamma\delta$ 変換によって生成された磁束電流成分信号 i_γ 及びトルク電流成分信号 i_δ を磁極位置推定部18及び電流制御部11に出力する。

磁極位置推定部18は、第2座標変換部17から入力された磁束電流成分信号 i_γ （電流応答値）及びトルク電流成分信号 i_δ （電流応答値）から、永久磁石同期電動機20の磁極位置を推定する。

[0015] 磁極位置推定の手法としては、例えば、特許文献1に示しているような手法を用いる。

すなわち、検出した電流をバンドパスフィルタに通して磁極位置誤差に相当する値を演算によって求める。そして、求めた値を磁極位置誤差をPI制御器に入力して角速度を推定する。続いて推定した角速度を積分して磁極位置を推定する。あるいは、高周波電流から直接、磁極位置を演算しても良い。

すなわち、磁極位置推定部18は、入力された磁束電流成分信号 i_γ 及びトルク電流成分信号 i_δ に基づいて磁極位置を推定して磁極位置推定信号 θ_{est0} を磁極極性判定部19に出力する。

[0016] この磁極位置の推定においては、ロータの突極性を用いている。このため、磁極の方向は推定できず、 180° （deg）ずれた方向が磁極位置とし

て求められる可能性がある。

したがって、磁極位置の推定においては、磁極方向を判定する必要がある。

[0017] 磁極極性判定部 19 は、入力された磁極位置推定信号 θ_{est0} に基づいて、極性付磁極位置 θ_{est} を生成し、第 1 座標変換部 13 及び第 2 座標変換部 17 に出力する。すなわち、磁極極性判定部 19 は、ロータ鉄心の磁気飽和を利用して N 極と S 極を判定し、磁極位置推定部 18 で推定した磁極位置が 180° (deg) ずれている場合には磁極極性に対応する極性付磁極位置 θ_{est} を磁極位置推定信号 θ_{est0} から 180° deg 反転させた値として出力する。

[0018] 次に具体的な電動機駆動装置 100 の動作説明に先立ち、本実施形態が適用される永久磁石同期電動機 20 の構成について説明する。

図 2 は、永久磁石同期電動機の概要構成縦断面図である。

永久磁石同期電動機 20 は、ステータ 21 及びロータ 22 を有し、各励磁相に流れる 3 相交流電流によって生じた磁界による磁氣的相互作用で、ロータ 22 を回転させるトルクを発生させる。

ステータ 21 は、ステータティース 23 及びステータスロット 24 が交互に配列されている。

[0019] ロータ 22 は、ロータ鉄心 25 の所定位置には磁極間を遮断するように複数の縦孔部（空隙部） 26 が配置され、各縦孔部 26 内には、少なくとも一つの永久磁石 27 が挿入固定されて、磁極を形成している。さらに永久磁石 27 の両側部には、ロータ鉄心 25 内をループする局部磁路を形成させるための磁路形成用鉄心部 28 が配置されている。

[0020] まず、永久磁石同期電動機 20 の特性について説明する。

以下の説明において、磁極の N 極方向を d 軸として、d 軸電流として正の電流を流すとは、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向に流れる電流を流すことを意味するものとする。

また、d 軸の磁路 MW は、図 2 に示すようになっており、d 軸インダクタ

ンス L_d とは、 d 軸の電流の変化 Δi_d と d 軸の磁束が変化 $\Delta \phi_d$ から次式にて定められるものとする。

[0021] [数1]

$$L_d = \frac{\Delta \phi_d}{\Delta i_d}$$

[0022] 図3は、永久磁石同期電動機における一般的に知られた d 軸インダクタンス特性を説明した図である。

また、図4は、第1実施形態の永久磁石同期電動機における d 軸インダクタンス特性の説明図である。

一般的に、埋込磁石永久磁石同期電動機（IPMSM；Interior Permanent Magnet Synchronous Motor）では、図3に示すように、 d 軸電流の増加に従い、 d 軸インダクタンス L_d が単調減少する。

[0023] これに対し、本実施形態の永久磁石同期電動機においては、図4に示すように、 d 軸インダクタンスが d 軸電流に対して正の方向に極大点 L_{dp} を持ち、極大点 L_{dp} よりも d 軸電流を大きくすると d 軸インダクタンス L_d が単調減少している。

[0024] 例えば、図5に示すように、永久磁石同期電動機のロータ22が磁極間を遮断するように空隙が形成されたロータ鉄心を有し、空隙の中に少なくとも1つの永久磁石が配置され、その永久磁石によって磁極が形成されているとき、ロータ鉄心内をループする局部磁路を形成させるための磁路形成用鉄心部が設けられているものであれば、図4のような特性を示す。

[0025] ここで、図4のような特性を示す理由について説明する。

図5は、特性説明図である。

図5に示すように、磁石磁束によって局部磁路MWLに沿ってロータ22内部をループする磁束が流れ、磁路形成用鉄心部28は磁石磁束によって磁気飽和が生じる。この時、 d 軸に正の電流を流すと、磁石磁束は、ステータ21をループする磁束が増え、ロータ22内部をループする磁束が減る。こ

のため、磁路形成用鉄心部 28 の磁気飽和が緩和されて、 d 軸インダクタンス L_d が徐々に大きくなる。

[0026] さらに d 軸電流を大きくしていくと、今度は、ステータ鉄心の磁路が磁気飽和していき、 d 軸インダクタンス L_d が減少していく。これらの結果、図 4 のような特性を示すこととなる。

[0027] 図 6 は、図 4 と同様の特性を有する他のロータの一例の説明図である。

図 6 に示すような永久磁石 27 の配置でも縦孔部（空隙部）26 を分断している磁路形成用鉄心部 28 が磁石磁束によって磁気飽和するため、同様に図 4 のような特性を示す。

[0028] 図 7 は、磁束密度（ B ）と磁界の強さ（ H ）との関係の説明図である。

ここで、磁気飽和しているとは、図 7 に示すように磁界の強さ H の増加に対して磁束密度 B が線形増加よりも減少することである。

[0029] すなわち、電流の増加にともなって増加する磁界強さ H の増加に対して、磁束密度 B の増加が線形増加の場合よりも減少するため、インダクタンスが小さくなる。

図 4 に示した極大点 L_{dp} における d 軸インダクタンス L_d の値は、次のようにして決まる。

[0030] 図 8 は、第 1 実施形態の動作原理説明図である。

図 9 は、図 8 の状態における d 軸電流と d 軸インダクタンスとの関係説明図である。

まず、図 8 に示すように、ロータ 22 として、ロータ鉄心 25 の所定位置には磁極間を遮断するように複数の縦孔部（空隙部）26 のみが配置され、磁石を設けない電動機を想定する。

[0031] この時、ロータ 22 側の d 軸インダクタンス L_d の特性は、磁束密度 B を増加させると縦孔部（空隙部）26 を分断している磁路形成用鉄心部 28 が磁気飽和していくので、図 9 に示すようになる。

すなわち、縦孔部（空隙部）26 を分断している磁路形成用鉄心部 28 が磁気飽和をしていき、ある程度以上、磁束が増えると、 d 軸インダクタンス

L_d は変化しなくなる。

[0032] 図10は、磁路形成用鉄心部28の幅を広くした場合におけるロータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

この時、縦孔部（空隙部）26を分断している磁路形成用鉄心部28の幅を広くすれば、磁気飽和が生じづらくなり、図10に示すようにd軸インダクタンス L_d が大きい領域が増える。

[0033] 図11は、ステータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

ステータ側は図11に示すように電流の増加に伴い、緩やかに磁気飽和が進み、d軸インダクタンス L_d が低下していく。なお、磁石が無い場合には、図9及び図11に示したように、正のd軸電流 i_d を流した場合と、負のd軸電流 i_d を流した場合とで、d軸インダクタンス L_d に差異は生じない。

[0034] 次に、図5に示したように永久磁石を入れた場合のd軸インダクタンス L_d の変化を考える。

図12は、縦孔部内に永久磁石を挿入した場合の、ロータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

[0035] 縦孔部26内に永久磁石27を挿入した場合、磁石磁束によって、局部磁路MWLに沿ってロータ22内部をループする磁束が流れ、縦孔部（空隙部）26を分断している磁路形成用鉄心部28が磁気飽和する。d軸に正のd軸電流 i_d を流すと、d軸電流 i_d によって磁気飽和が緩んでいく。

[0036] このため、特性としては、図12に示すように、図9に示した特性が、d軸電流 i_d の正の方向にシフトした形となる。ここで、d軸の磁路MWの鉄心が多少磁気飽和するので、極大点 L_{dp1} ($< L_{dp0}$) は下がることになる。

[0037] 図13は、縦孔部内に永久磁石を挿入した場合の、ステータ側のd軸電流とd軸インダクタンスとの関係説明図である。

縦孔部26内に永久磁石27を挿入した場合、磁石磁束によって磁気飽和

が進み、図 1 1 の d 軸インダクタンス L_d の特性を d 軸電流 i_d の負の方向にシフトさせた形になる。

[0038] また、図 1 2 における d 軸電流 i_d の正の方向へのシフト量及び図 1 3 における d 軸電流の負の方向へのシフト量は、d 軸の鎖交磁束量によって定まる。

図 1 2 において、永久磁石 2 7 による鎖交磁束量と d 軸電流 i_d によって発生する鎖交磁束量が等しくなったとき、磁石磁束のループはすべてステータ 2 1 を通るループとなる。したがって、ロータ内部をループする磁束、すなわち、縦孔部（空隙部）2 6 を分断している磁路形成用鉄心部 2 8 を通る磁束が無くなり、磁路形成用鉄心部 2 8 の磁気飽和が無くなるため d 軸インダクタンス L_d は、極大値をとることとなる。

[0039] また、図 1 3 において、電流が 0 の状態でステータ側をループする磁石磁束の分だけ負方向にシフトする。

すなわち、以上のロータ側とステータ側の両方を合わせた特性が全体の特性として表れることとなる。

[0040] 図 1 4 は、第 1 実施形態における d 軸インダクタンス増加量と d 軸インダクタンス減少量の説明図である。

図 1 5 は、第 1 実施形態における d 軸インダクタンスのスロット高調波による変化量の説明図である。

[0041] ところで、磁極の極性判定を安定して実現するためには d 軸インダクタンス L_d の差分を大きくする必要がある。d 軸インダクタンス L_d の差分を大きくするためには、ロータ 2 2 側の d 軸インダクタンス L_d が極大点となる d 軸電流 i_d を流した際に、d 軸インダクタンスが増加する量（図 1 4 の ΔL_{dr} ）が、ステータ 2 1 側の d 軸インダクタンス L_d が減少する量（図 1 4 の ΔL_{ds} ）に対して十分大きくなるように、ロータ 2 2 及びステータ 2 1 を設計すれば良い。

[0042] 特に、d 軸インダクタンス増加量 ΔL_{dr} と d 軸インダクタンス減少量 ΔL_{ds} の差分が、d 軸インダクタンスのスロット高調波による変化量（図 1

5の ΔL_d よりも大きくすれば、ロータの回転位置に関わらず、安定した磁極極性判定が可能となる。

[0043] また、磁極極性判定部19の動作で後述するが、d軸インダクタンス L_d を利用するためには、d軸電流の変化分を利用する。前述のように、d軸インダクタンスの極大点付近のd軸インダクタンスが大きい領域は図10で示した通り、空隙を分断する鉄心の幅で決まる。すなわち、磁極極性判定部19で変化させるd軸電流 i_d に対して、d軸インダクタンス L_d が大きく変化しないように磁路形成用鉄心部28の幅を決定すると良い。

[0044] つぎに、磁極極性判定部19の動作について説明する。

従来技術では、図3に示したように、d軸電流 i_d の増加に従い、d軸インダクタンス L_d が単調減少する特性を利用していた。例えば、特許文献2においては、d軸電流に正負のバイアスを与え、その時の高周波電流の変化量（d軸インダクタンスの逆数に相当）が大きい方向（d軸インダクタンスが小さい方向）をN極と判定していた。

これに対して、本実施形態の永久磁石同期電動機20は、図4に示したように、N極方向に極大点 L_{dp} を持つ。

[0045] 図16は、第1実施形態の磁極極性判定動作の説明図である。

ここで、図16のようにd軸にその絶対値が等しい正のd軸電流及び負のd軸電流を流した時にインダクタンスが等しくなる電流値（電流振幅）を I_0 とする。この時、 $I_1 < I_0$ となる電流を正負に流す。

これにより、図16に示すように、N極側の方がS極側よりもd軸インダクタンス L_d が大きくなるので、磁極極性判定部19は、d軸インダクタンス L_d が大きい方向をN極と判定する。これにより、図4に示したように、d軸インダクタンス L_d がd軸電流に対して、正の方向に極大点を持ち、極大点よりもd軸電流を大きくすると単調減少する永久磁石同期電動機でも磁極極性の判定が可能になる。

[0046] この場合、d軸インダクタンスが単調減少する従来技術を利用した場合には、d軸電流 i_d を電流値 I_0 以上とする必要があるので、従来技術と比較

して、少ない電流（ $I_1 < I_0$ ）で極性判別が可能となる。

したがって、起動時に極性判定を行う場合であっても、永久磁石同期電動機に流す電流を少なくできるため、騒音低減、極性判定時のトルクショックの低減を図ることができる。

[0047] 図20は、 γ 軸電流指令と γ 軸電流との関係の説明図である。

具体的には、例えば、図20(a)に示すように、電流指令生成部10でd軸に対応する γ 軸電流指令に正負のバイアス（ $I_1 \leq I_0$ ）を与える。 δ 軸電流指令は0とする。この時、 γ 軸電流指令に応じた電圧指令 $v_{\gamma 0}$ と $v_{\delta 0}$ に高周波重畳電圧重畳部12によって与えられた高周波電圧 $v_{\gamma h}$ 、 $v_{\delta h}$ が足しあわされて生成された電圧指令 v_{γ} 、 v_{δ} によって、 γ 軸電流は図20(b)に示すように流れる。その時の高周波電流の変化量はd軸インダクタンスの逆数に相当する。したがって、正側にバイアスを与えた際の高周波電流変化量 Δi_{hp} と負側にバイアスを与えた際の高周波電流変化量 Δi_{hm} を比較して、大きい方向（d軸インダクタンスが小さい方向）をS極と判定する（図20では $\Delta i_{hp} > \Delta i_{hm}$ なので、正側がS極となるため磁極極性を反転する）。特に、図16に示すように、極性判定時のd軸電流 i_d 、すなわち、電流 $I_1 = i_{dp}$ と設定すれば、正負のインダクタンスの差が最大となり極性判定におけるSN比を増加することができる。

[0048] つづいて、第1実施形態の変形例を説明する。

変形例では、図1の電動機駆動装置100のうち、電流制御部11と高周波電圧重畳部12を削除するとともに、電圧指令信号 v_{γ} 、 v_{δ} を生成する際に第2座標変換部17が出力する磁束電流成分信号 i_{γ} とトルク電流成分信号 i_{δ} を利用しないように構成し、そして電圧指令生成部10が電圧指令信号 v_{γ} 、 v_{δ} を出力するようにしている。

図17Aは、磁極極性判定動作の他の例におけるd軸に相当する γ 軸電圧変化の説明図である。

図17Bは、磁極極性判定動作の他の例におけるd軸に相当する γ 軸電流変化の説明図である。

極性判定の他の例としては、図 17A に示すように、 γ 軸軸方向に正負の一定電圧を与えた際に、図 17B に示すように、 γ 軸電流の振幅 (d 軸インダクタンスの逆数に相当) を見て、振幅が大きい方向を S 極と判定する。

この場合において、 S 極方向の電流振幅 I_1 が $I_1 < I_0$ を満たすように電圧振幅を決定すると、 d 軸電流 I_d の振幅の差が最大となり S/N 比を電圧振幅を決定する。特に、 S 極方向の電流振幅 I_1 が $I_1 \leq I_0$ を満たすように電圧振幅を決定すると、電流方向の電流振幅 I_1 が I_0 と等しくなるように電圧振幅を決定すると、電流の振幅が最大となり S/N 比を増加することができる。

[0049] あるいは、一定の電圧を与えた際の γ 軸電流 I_γ の振幅 (d 軸インダクタンスの逆数に相当) を見て、閾値以上であれば S 極と判定する。 S 極方向の電流振幅 I_1 が $I_1 \leq I_0$ を満たすように電圧振幅を決定する。特に、 S 極方向の電流振幅 I_1 が I_0 と等しくなるように電圧振幅を決定すると、電流の振幅が最大となり S/N 比を増加することができる。

[0050] あるいは、 γ 軸に正負対称とする交流交播電圧を重ねる交流交播電圧発生部を設け、交流交播電圧によって発生する γ 軸電流 I_γ の正方向の振幅と負方向の振幅をそれぞれ検出し、電流振幅 (d 軸インダクタンスの逆数に相当) が大きい方向を S 極方向と判定する。

この場合において、 S 極方向の電流振幅 I_1 が $I_1 \leq I_0$ を満たすように電圧振幅を決定する。特に、 S 極方向の電流振幅 I_1 が I_0 と等しくなるように電圧振幅を決定すると、電流の振幅の差が最大となり S/N 比を増加することができる。

[0051] さらにまた、 $I_d < I_0$ の領域で N 極側の d 軸インダクタンスが大きくなることを利用すれば、同様に磁極方向の判定が可能となる。

[0052] 以上の説明では、磁極位置推定部 18 と磁極極性判定部 19 を別構成としていたが、これらを一体の構成とすることも可能である。例えば、正負対称の d 軸電流を流した際に、磁気飽和の特性が d 軸方向のみ正負で異なることを利用して磁極位置を推定する手法によれば、磁極極性判定を含んだ磁極位置を推定できる。この時、電流振幅を $I_1 \leq I_0$ を満たすように設定し、 N 極側の d 軸インダクタンスが大きくなることを利用すれば、上述した実施形態

態と同様の効果が得られる。

[0053] 以上の説明においては、センサレス制御に関して説明したが、パルスジェネレータの初期磁極位置推定においても、同様に適用が可能である。

[0054] [2] 第2実施形態

本第2実施形態は、第1実施形態と異なり、図4に示した、d軸インダクタンスがd軸電流 i_d に対して、正の方向に極大点を持ち、極大点よりもd軸電流を大きくすると単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機において、 $I_1 > I_0$ となる電流を正負に流すことにより極性判定を行っている。

[0055] 図18は、第2実施形態の磁極極性判定動作の説明図である。

この時、図18に示すように、N極側の方がS極側よりもd軸インダクタンス L_d が小さくなるので、磁極極性判定部19は、d軸インダクタンス L_d が小さい方向をN極と判定する。

この場合には、第1実施形態の場合と異なり、d軸電流 i_d を大きくすればする程、d軸インダクタンス L_d のN極側と、S極側との差分が大きくなるので、調整が容易であり、SN比を確保しやすいというメリットがある。

[0056] 具体的には、例えば、d軸電流に正負のバイアス($I_1 > I_0$)を与え、その時の高周波電流の変化量(d軸インダクタンスの逆数に相当)が大きい方向(d軸インダクタンスが小さい方向)をN極と判定する。

[0057] また、 $i_d > I_0$ の領域でS極側のd軸インダクタンスが大きくなることを利用すれば、同様に磁極方向の判定が可能となる。

以上の説明では、磁極位置推定部18と磁極極性判定部19を別構成としていたが、これらを一体の構成とすることも可能である。例えば、正負対称のd軸電流を流した際に、磁気飽和の特性がd軸方向のみ正負で異なることを利用して磁極位置を推定する手法によれば、磁極極性判定を含んだ磁極位置を推定できる。

[0058] この時、前記電流振幅を $I_1 > I_0$ を満たすように設定し、S極側のd軸インダクタンスが大きくなることを利用すれば、本発明の効果が得られる。

なお、本第2実施形態においても、センサレス制御に限らず、パルスジェ

ネレータの初期磁極位置推定においても、同様に適用が可能である。

[0059] [3] 第3実施形態

以上の各実施形態においては、接続される制御対象の永久磁石同期電動機が図4に示した特性を有する場合のみである場合について説明したが、本第3実施形態は、接続される制御対象の永久磁石同期電動機が図3に示した特性を有する場合、あるいは、図4に示した特性を有する場合のいずれかを選択可能とした場合の実施形態である。

[0060] 以下の説明においては、第1実施形態と異なる磁極極性判定部についてのみ説明する。

図19は、第3実施形態の磁極極性判定部の概要構成ブロック図である。

第3実施形態の磁極極性判定部19Aは、第1実施形態の磁極極性判定部19に代えて用いられるものであり、図19に示すように、極性判定部41、判定法選択部42及び極性反転部43を備えている。

[0061] 磁極極性判定部19Aの極性判定部41では、d軸に正負の電流 I_1 を流した時にインダクタンスが大きい方向をS極と判定し、極性判定フラグ f_{dir} を設定する。具体的には、例えば、d軸電流に正負のバイアスを与え、その時の高周波電流の変化量（d軸インダクタンスの逆数に相当）が小さい方向（d軸インダクタンスが大きい方向）をS極と判定する。

[0062] 判定法選択部42では、接続しているモータが図4のようにd軸インダクタンスがd軸電流に対して、正の方向に極大点を持ち、極大点よりもd軸電流を大きくすると単調減少する永久磁石同期電動機であり、かつ $I_1 < I_0$ の時に極性判定フラグ f_{dir} を反転させる。

[0063] これらの結果、極性反転部43では、 f_{dir} に従って極性を反転するかどうかを判断し、反転するときには極性反転指令 θ_{dir} に 180° （deg）を出力して、推定磁極位置 θ_{est0} の極性を反転して、極性付磁極位置 θ_{est} として出力する。

[0064] 本第3実施形態によれば、図3に示したようにd軸電流の増加に従い、d軸インダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機あるいは

図4に示したようにd軸インダクタンスがd軸電流に対して、正の方向に極大点を持ち、極大点よりもd軸電流を大きくすると単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機のいずれであっても、ユーザは、判定法選択部42の設定を行うだけで、各永久磁石同期電動機に最適な、磁極極性判定が可能な磁極極性判定装置、ひいては、モータ制御装置を実現できる。

[0065] なお、本第3実施形態においても、センサレス制御に限らず、パルスジェネレータの初期磁極位置推定においても、同様に適用が可能である。

[0066] [4] 実施形態の他の態様

[4.1] 第1の他の態様

実施形態の第1の他の態様の磁極極性判定装置は、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向として、前記正方向の電流を流すとき、前記インダクタンスの極大点を持ち、前記極大点よりも前記正方向に大きな電流を流すと、前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機の磁極極性を判定する磁極極性判定装置であって、前記正方向及び前記負方向に同一の所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンス（d軸インダクタンス）が大きくなる側をN極側と判定する磁極極性判定部を備えている。

[0067] [4.2] 第2の他の態様

実施形態の第2の他の態様は、ロータが磁極間を遮断するように空隙が形成されたロータ鉄心を有し、空隙の中に少なくとも1つの永久磁石が配置され、その永久磁石によって磁極が形成されているとき、ロータ鉄心内をループする局部磁路を形成させるための磁路形成用鉄心部が設けられている永久磁石同期電動機の磁極極性を判定する磁極極性判定装置であって、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向とし、前記正方向及び前記負方向に同一の所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンス（d軸インダクタンス）が大きくなる側をN極側と判定する磁極極性判定部を備えて

いる。

[0068] [4. 3] 第3の他の態様

実施形態の第3の他の態様は、第1又は第2の他の態様において、前記所定電流値（ I_1 ）は、電流値が零の状態から前記正方向及び前記負方向に同一の電流を流しつつ、前記正方向において前記極大点に相当する電流値を超えて電流を増加させた場合に、前記正方向及び前記負方向において、再び前記磁極方向のインダクタンスが等しくなる電流値よりも少ない電流値に設定されるものである。

[0069] [4. 4] 第4の他の態様

実施形態の第4の他の態様は、第1の他の態様乃至第3の他の態様のいずれかにおいて、前記所定電流値は、前記極大点に相当する電流値、あるいは、前記極大点近傍に相当する電流値に設定されているものである。

[0070] [4. 5] 第5の他の態様

実施形態の第5の他の態様は、第1の他の態様乃至第4の他の態様のいずれかにおいて、前記所定電流値は、当該所定電流値における前記磁極方向のインダクタンスの差が所定の差以上となるように設定されているものである。

[0071] [4. 6] 第6の他の態様

実施形態の第6の他の態様は、第1の他の態様乃至第5の他の態様のいずれかにおいて、前記極大点よりも前記正方向に大きな電流を流すと、前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機及び前記正方向に電流を流すと、電流値が大きくなるにしたがって前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する他の永久磁石同期電動機のいずれかを接続可能であり、前記他の永久磁石同期電動機が接続された場合には、前記磁極極性判定部の出力を反転する極性反転部を備えたものである。

[0072] [4. 7] 第7の他の態様

実施形態の第7の他の態様は、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が

磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向として、前記正方向の電流を流すとき、前記インダクタンスの極大点を持ち、前記極大点よりも前記正方向に大きな電流を流すと、前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機の磁極極性を判定する磁極極性判定装置であって、電流値が零の状態から前記正方向及び前記負方向に同一の電流を流しつつ、前記正方向において前記極大点に相当する電流値を超えて電流を増加させた場合に、前記正方向及び前記負方向において、再び前記磁極方向のインダクタンスが等しくなる電流値よりも多い電流値を所定電流値とし、前記正方向及び前記負方向に同一の所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンスが小さくなる側をN極側と判定する磁極極性判定部を備えたものである。

[0073] [4. 8] 第8の他の態様

実施形態の第8の他の態様は、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向として、前記正方向の電流を流すとき、前記インダクタンスの極大点を持ち、前記極大点よりも前記正方向に大きな電流を流すと、前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機の磁極極性を判定する磁極極性判定装置であって、磁極方向に正負対称とする交流交播電圧を重畳する交流交播電圧発生部と、前記交流交播電圧によって発生する電流の正方向の振幅と負方向の振幅をそれぞれ検出し、電流振幅が大きい方向をS極側と判定する磁極極性判定部と、を備えたものである。

[0074] [4. 9] 第9の他の態様

実施形態の第9の他の態様は、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向として、前記正方向の電流を流すとき、前記インダクタンスの極大点を持ち、前記極大点よりも前記正方向に大きな電流を流すと、前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機を制御する永久磁石同期電動機制御装置であって、前記正方向及び前記負方向に同一

の所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンスが大きくなる側をN極側と判定する磁極極性判定部と、前記磁極極性判定部の判定結果に基づいてゲート指令信号を生成し、前記永久磁石同期電動機を駆動するインバータを制御するインバータ制御部と、を備えたものである。

[0075] [4. 10] 第10の他の態様

実施形態の第10の他の態様は、ロータが磁極間を遮断するように空隙が形成されたロータ鉄心を有し、空隙の中に少なくとも1つの永久磁石が配置され、その永久磁石によって磁極が形成されているとき、ロータ鉄心内をループする局部磁路を形成させるための磁路形成用鉄心部が設けられている永久磁石同期電動機を制御する永久磁石同期電動機制御装置であって、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向とし、前記正方向及び前記負方向に同一の所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンスが大きくなる側をN極側と判定する磁極極性判定部と、前記磁極極性判定部の判定結果に基づいてゲート指令信号を生成し、前記永久磁石同期電動機を駆動するインバータを制御するインバータ制御部と、を備えたものである。

[0076] [4. 11] 第11の他の態様

実施形態の第11の他の態様は、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向として、前記正方向の電流を流すとき、前記インダクタンスの極大点を持ち、前記極大点よりも前記正方向に大きな電流を流すと、前記磁極方向のインダクタンスが単調減少する特性を有する永久磁石同期電動機の磁極極性を判定する磁極極性判定装置で実行される磁極極性判定方法であって、前記正方向及び前記負方向に同一の所定電流値で電流を流す過程と、前記所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンスが大きくなる側をN極側と判定する磁極極性判定過程と、を備えたものである。

[0077] [4. 12] 第12の他の態様

実施形態の第12の他の態様は、ロータが磁極間を遮断するように空隙が

形成されたロータ鉄心を有し、空隙の中に少なくとも1つの永久磁石が配置され、その永久磁石によって磁極が形成されているとき、ロータ鉄心内をループする局部磁路を形成させるための磁路形成用鉄心部が設けられている永久磁石同期電動機の磁極極性を判定する磁極極性判定装置であって、磁極方向のインダクタンスと電流の関係が磁石磁束を強める電流方向を正方向とし、前記磁石磁束を弱める電流方向を負方向とし、前記正方向及び前記負方向に同一の所定電流値で電流を流す過程と、前記所定電流値で電流を流した場合に磁極方向のインダクタンスが大きくなる側をN極側と判定する磁極極性判定過程と、を備えたものである。

[0078] 以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 回転子の内部に磁石を有する同期電動機を制御する制御システムにおいて、
- 前記同期電動機を駆動するための交流電流を出力するインバータと、
- 、
- 前記インバータを駆動するためのゲート指令を生成するゲート指令生成部と、
- 前記インバータから出力される交流電流の電流値を検出する電流検出部と、
- 前記電流検出部が検出した電流値に基づいて磁極位置を推定する磁極位置推定部と、
- 磁極極性の判定を行うとき、前記電流検出部が検出する電流値の d 軸成分が所定の値を示すための極性判定用ゲート指令を生成するよう前記ゲート指令生成部に指示する制御部と、
- 前記極性判定用ゲート指令が生成されると、前記磁極位置推定部によって推定された磁極位置に基づき、正の d 軸電流によるインダクタンスを示す第 1 の情報と負の d 軸電流によるインダクタンスを示す第 2 の情報を求め、求めた第 1 の情報と第 2 の情報を比較し、大きい値を示す方を N 極と判定する磁極極性判定部と、
- を備えたことを特徴とする制御システム。
- [請求項2] 前記極性判定用ゲート指令は、電流値の d 軸成分によって得られるインダクタンスが極大値または極大値の近傍を示す指令であることを特徴とする請求項 1 に記載の制御システム。
- [請求項3] 前記回転子は、2つの磁石からなる複数の磁石部を有し、各磁石部の2つの磁石は回転子の中心に最も近い部分で両者の距離が最短となるように配置されたことを特徴とする請求項 1 に記載の制御システム。
- [請求項4] 前記磁石部を構成する2つの磁石は、d 軸を挟んで配置されている

ことを特徴とする請求項3に記載の制御システム。

[請求項5] 前記回転子は、3つの磁石からなる複数の磁石部を有し、各磁石部のうちの2つの磁石は回転子の中心に最も近い部分で両者の距離が最短となるように配置されたことを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

[請求項6] 回転子の内部に磁石を有する同期電動機を制御する制御システムにおいて、

前記同期電動機を駆動するための交流電流を出力するインバータと、

前記インバータを駆動するためのゲート指令を生成するゲート指令生成部と、

前記インバータから出力される交流電流の電流値を検出する電流検出部と、

前記電流検出部が検出した電流値に基づいて磁極位置を推定する磁極位置推定部と、

磁極極性の判定を行うとき、前記電流検出部が検出する電流値のd軸成分が所定の値を示すための極性判定用ゲート指令を生成するよう前記ゲート指令生成部に指示する制御部と、

前記極性判定用ゲート指令が生成されると、前記磁極位置推定部によって推定された磁極位置に基づき、正のd軸電流によるインダクタンスを示す第1の情報と負のd軸電流によるインダクタンスを示す第2の情報を求め、求めた第1の情報と第2の情報を比較し、小さい値を示す方をN極と判定する磁極極性判定部とを備え、

前記極性判定用ゲート指令は、インダクタンスが極大値となる電流値かつ、インダクタンスが等しくなる同一値で極性の異なる電流値よりも大きな電流値となる指令であることを特徴とする制御システム。

[請求項7] 回転子の内部に磁石を有する同期電動機を制御する制御システムにおいて、

前記同期電動機を駆動するための交流電流を出力するインバータと、

前記インバータを駆動するためのゲート指令を生成するゲート指令生成部と、

前記インバータから出力される交流電流の電流値を検出する電流検出部と、

前記電流検出部が検出した電流値に基づいて磁極位置を推定する磁極位置推定部と、

磁極極性の判定を行うとき、前記インバータが出力する交流電流の d 軸成分に重畳する交流交播電圧を生成する交流交播生成部と、

前記交流交播性成分によって生成された交流交播電圧が重畳されているとき、前記電流検出部が検出した電流値に基づいて、d 軸電流の振幅が大きい方を S 極と判定する磁極極性判定部と、

を備えたことを特徴とする制御システム。