

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3971741号
(P3971741)

(45) 発行日 平成19年9月5日(2007.9.5)

(24) 登録日 平成19年6月15日(2007.6.15)

(51) Int. Cl.	F I
HO2P 6/16 (2006.01)	HO2P 6/00 321U
HO2P 6/18 (2006.01)	HO2P 6/02 371T
HO2P 21/00 (2006.01)	HO2P 5/408 C
HO2P 27/04 (2006.01)	HO2P 7/00 501
HO2P 25/08 (2006.01)	

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2003-388384 (P2003-388384)	(73) 特許権者	390008235 ファナック株式会社
(22) 出願日	平成15年11月18日(2003.11.18)		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 〇番地
(65) 公開番号	特開2005-151752 (P2005-151752A)	(74) 代理人	100082304 弁理士 竹本 松司
(43) 公開日	平成17年6月9日(2005.6.9)		(74) 代理人 100088351 弁理士 杉山 秀雄
審査請求日	平成16年1月19日(2004.1.19)		(74) 代理人 100093425 弁理士 湯田 浩一
			(74) 代理人 100102495 弁理士 魚住 高博
		(72) 発明者	豊沢 雪雄 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 〇番地 ファナック株式会社 内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁極位置検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

同期電動機のロータの磁極位置を検出する検出装置であって、
 所定励磁位相に電流指令を印加する電流指令印加手段と、
 前記電流指令を与えたときの電動機の回転方向から磁極位置を推定する第1の磁極位置推定手段と、
 所定励磁位相に電圧指令を印加する電圧指令印加手段と、
 前記電圧指令を与えたときの電流フィードバックから磁極位置を推定する第2の磁極位置推定手段と、
 前記第1の磁極位置推定手段を実行し、電流指令を印加したにも拘わらず電動機が回転しない場合には、前記第2の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段と、
 を有することを特徴とする磁極位置検出装置。

【請求項2】

同期電動機のロータの磁極位置を検出する検出装置であって、
 所定励磁位相に電流指令を印加する電流指令印加手段と、
 前記電流指令を与えたときの電動機の回転方向と励磁位相から磁極位置の電気角領域を推定し、該領域を縮小することによって磁極位置を推定する第1の磁極位置推定手段と、
 所定励磁位相に電圧指令を印加する電圧指令印加手段と、
 励磁位相を順次変えて前記電圧指令を与えたときの電流フィードバック値から磁極方向位置を推定し、次に磁気飽和する電圧を印加して磁極向きを決定して磁極位置を推定する第

10

20

2の磁極位置推定手段と、
前記第1の磁極位置推定手段を実行し、電流指令を印加したにも拘わらず電動機が回転しない場合には、前記第2の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段と、
 を有することを特徴とする磁極位置検出装置。

【請求項3】

同期電動機のロータの磁極位置を検出する検出装置であって、
所定励磁位相に電流指令を印加する電流指令印加手段と、
前記電流指令を与えたときの電動機の回転方向から磁極位置を推定する第1の磁極位置推定手段と、
所定励磁位相に電圧指令を印加する電圧指令印加手段と、 10
前記電圧指令を与えたときの電流フィードバックから磁極位置を推定する第2の磁極位置推定手段と、
前記第2の磁極位置推定手段を実行し、推定した磁極位置のばらつきが所定範囲を越えている場合には、前記第1の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段と、
 を有することを特徴とする磁極位置検出装置。

【請求項4】

同期電動機のロータの磁極位置を検出する検出装置であって、
所定励磁位相に電流指令を印加する電流指令印加手段と、
前記電流指令を与えたときの電動機の回転方向と励磁位相から磁極位置の電気角領域を推定し、該領域を縮小することによって磁極位置を推定する第1の磁極位置推定手段と、 20
所定励磁位相に電圧指令を印加する電圧指令印加手段と、
励磁位相を順次変えて前記電圧指令を与えたときの電流フィードバック値から磁極方向位置を推定し、次に磁気飽和する電圧を印加して磁極向きを決定して磁極位置を推定する第2の磁極位置推定手段と、
前記第2の磁極位置推定手段を実行し、推定した磁極位置のばらつきが所定範囲を越えている場合には、前記第1の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段と、
 を有することを特徴とする磁極位置検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、同期電動機におけるロータの磁極位置検出に関する。

【背景技術】

【0002】

同期電動機においては、ロータの磁極位置に応じて各相巻線に電流を流し所望のトルクを発生させる必要があることから、ロータの磁極位置をエンコーダなどのセンサで検出し、適切な励磁位相に電流を流すように制御される。そのため、磁極位置を検出するための絶対値を持つセンサの使用や、センサを取り付ける際に磁極位置合わせの作業を必要とする。また、これらを不要にするために電動機の始動時等に磁極位置検出処理がなされている。

【0003】

センサをなくして磁極位置を検出する方法として、各種方法が提案されている。例えば、永久磁石動機電動機に一定間隔で角度を変えた正負の一定電圧の電圧ベクトルを印加してモータ電流値を検出し、この電流値の差が最も大きくなる電圧ベクトルの位置を磁極位置として検出する方法（特許文献1参照）。

又、同様に、突極性を有する電動機に微小電圧変化を与え、該微小電圧変化量と電動機に流れる電流の電流変化率成分に基づいて磁極位置を推定する方法（特許文献2参照）。

【0004】

突極性を有する電動機に高周波電圧を印加して、電機子電流から高周波電圧と同じ周波数の高周波電流を抽出して、この高周波電流に基づいて回転子位置を推定し、運転開始直後の高周波電流の極性に応じて、回転子位置推定値に正又は負のオフセットを加えて、回

10

20

30

40

50

転子位置推定値の初期値とする方法（特許文献3参照）。

同様に、突極性を有する電動機に高周波電圧を入力し、検出される高周波電流に基づいて磁極位置を検出する方法（特許文献4参照）。

又、所定のステータ励磁位相に短時間電流を流し、そのときのロータの動きの方向に基づいて、励磁位相を変更して同様に短時間電流を流し、これを繰り返すことによって磁極位置を検出する方法も知られている（特許文献5参照）。

【0005】

【特許文献1】特開2000-312493号公報

【特許文献2】特開2002-78391号公報

【特許文献3】特開2002-165483号公報

【特許文献4】特開2003-52193号公報

【特許文献5】特許3408468号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

永久磁石同期電動機のロータ構造としては、磁石をロータ表面に張り付けた表面張り付け構造（SPM）と、ロータ内部に埋め込んだ埋め込み磁石構造（IPM）に大別される。一般的にSPM電動機は電機子巻線のd軸インダクタンスとq軸インダクタンスが等しい非突極型となり、IPM電動機は、d、q軸のインダクタンスが異なる突極型となる。上述した電動機に電圧を印加して電動機に流れる電流を検出して磁極位置を検出する特許文献1～4に記載された方法は、この突極型の電動機に対してのみ適用できるものであり、非突極型のSPM電動機には適用できない。

【0007】

一方、特許文献5に記載された方法では、突極型、非突極型に関係なく、同期電動機に適用できるものである。しかし、この方法においては、ロータを僅かに動かす必要があり、機械の摩擦が大きくロータが動かないような場合には、磁極位置を正しく検出できない。

本願出願人は、ロータを動かさずに磁極位置を検出する方法を特願2003-362379号で提案した。しかし、この方法も電氣的突極性と磁気飽和を利用するものであり、非突極型のSPM電動機には適用できない。

【0008】

そこで、本発明の目的は、摩擦などの機械の特性や、突極性や磁気飽和などのモータの特性を事前に知る必要がなく磁極位置をより確実に検出できるようにした磁極位置検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本願請求項1、3に係る発明の同期電動機のロータの磁極位置を検出する磁極位置検出装置は、所定励磁位相に電流指令を印加する電流指令印加手段と、前記電流指令を与えたときの電動機の回転方向から磁極位置を推定する第1の磁極位置推定手段と、所定励磁位相に電圧指令を印加する電圧指令印加手段と、前記電圧指令を与えたときの電流フィードバックから磁極位置を推定する第2の磁極位置推定手段とを備え、請求項1に係る発明は、前記第1の磁極位置推定手段を実行し、電流指令を印加したにも拘わらず電動機が回転しない場合には、前記第2の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段を備える点を特徴とし、請求項3に係る発明は、前記第2の磁極位置推定手段を実行し、推定した磁極位置のばらつきが所定範囲を越えている場合には、前記第1の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段を備える点を特徴とするものである。

【0010】

本願請求項2、4に係る発明の同期電動機のロータの磁極位置を検出する磁極位置検出装置は、所定励磁位相に電流指令を印加する電流指令印加手段と、前記電流指令を与えたときの電動機の回転方向と励磁位相から磁極位置の電気角領域を推定し、該領域を縮小す

10

20

30

40

50

ることによって磁極位置を推定する第1の磁極位置推定手段と、所定励磁位相に電圧指令を印加する電圧指令印加手段と、励磁位相を順次変えて前記電圧指令を与えたときの電流フィードバック値から磁極方向位置を推定し、次に磁気飽和する電圧を印加して磁極向きを決定して磁極位置を推定する第2の磁極位置推定手段とを備え、請求項2に係る発明は

前記第1の磁極位置推定手段を実行し、電流指令を印加したにも拘わらず電動機が回転しない場合には、前記第2の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段を備える点に特徴を有し、請求項4に係る発明は、前記第2の磁極位置推定手段を実行し、推定した磁極位置のばらつきが所定範囲を越えている場合には、前記第1の磁極位置推定手段を自動的に選択し実行させる手段を有する点に特徴を有するものである。

10

本願各発明は、この特徴を有する構成によって、摩擦などの機械の特性による磁極位置検出不能を極力防止し、且つ、非突極型の同期電動機の磁極位置も検出できるようにしたものである。

【発明の効果】

【0011】

本発明は、第1の磁極位置推定手段によって、電動機を動かして磁極位置を自動的に検出するから、電氣的突極性の有無に関係なく同期電動機の磁極位置を自動的に検出できるものである。また、この第1の磁極位置推定手段によって電動機が機械の摩擦等によって動かない場合でも、電氣的突極性を有する同期電動機においては第2の磁極位置推定手段で自動的に求めることができるので、磁極位置を自動的に求めることができない同期電動機は非常に少なくなる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

図1は、本発明の磁極位置検出装置を構成する電動機制御装置の一実施形態のブロック図である。通常の電動機駆動制御の場合においては、スイッチSA, SBは共にa側に接続されており、d, q相に対する電流指令から、3相からd, q相に変換する変換器6によって3相のフィードバック電流から変換されたd, q相フィードバック電流をそれぞれ減じてd, q相の電流偏差が求められて電流制御器1によって電流のフィードバック制御がなされ、電圧指令が出力され、検出器5で検出された電動機のロータ位置に基づいて磁極位置推定器7が励磁位相を求め、該励磁位相に基づいてd, q相から3相に変換する変換器2によって3相の電圧指令に変換されてアンプ3を介して電動機4が駆動制御される。この電動機4の駆動制御は従来の電動機駆動制御方法と何ら変わるところはない。

30

【0013】

本発明では、上述した電動機駆動要素1, 2, 3, 5, 6に、スイッチSA, SB及び電流指令発生器8, 電圧指令発生器9を付加し、又、磁極位置推定器7の構成を異なるものとして磁極位置検出装置を構成するものである。

そして、本実施形態では、磁極位置検出手段として磁極位置推定器7に電動機のロータを動かして、磁極位置を検出する手段(以下この手段を第1の磁極位置推定手段、その方法を第1の磁極位置推定方法という)と、ロータは動かさずに、電圧を電動機に印加してフィードバック電流値によって電氣的突極性を有する電動機の磁極位置を検出する手段(以下この手段を第2の磁極位置推定手段、その方法を第2の磁極位置推定方法という)を備えるようにしたものである。

40

【0014】

本実施形態での第1の磁極位置推定手段は、前述した特許文献5に記載された手段を用いるもので、この手段の方法を実施するときには、スイッチSAはb側に、スイッチSBはa側に接続され、通常の制御系から切り離される。そして、電流指令発生器8よりd相には「0」をq相には所定の直流励磁電流を出力して電動機を駆動するものである。

この方法は、電流ベクトルをI、磁束ベクトルをとすると、同期電動機に発生するトルクTは、

$$T = a (I \times)$$

50

である。なお、 a は定数、 \times は外積を意味する。このトルクの大きさは、

$$|I| | \sin$$

である。その回転方向は、電流ベクトル I と磁束ベクトル Φ のなす角 θ で決まる。この角が $0 \sim 180$ 度の区間では、 $\sin \theta > 0$ で正方向にロータは回転する。また、 $\theta = 180 \sim 360$ 度では、 $\sin \theta < 0$ でロータは負方向に回転することになる。これを利用して本実施形態では、まず、ステータ励磁位相 180 度に直流電流を流しロータの回転方向を検出する。正方向に回転すれば、ロータ磁極位置（磁束 Φ の位置）はステータ励磁位相の $180 \sim 360$ 度の領域幅内にあり、負方向に回転すれば、ロータ磁極位置は $0 \sim 180$ 度の領域幅内にあることになる。次にロータ磁極位置がある領域（ $180 \sim 360$ 度の領域か、 $0 \sim 180$ 度の領域）の中間の励磁位相に直流電流を同様に流し、ロータの回転方向を検出し、ロータの磁極位置のある領域を検出する。以下これを繰り返し、このロータ磁極位置のある領域を順次小さな領域とすることによって、このロータ磁極位置を最終的に検出するものである。

10

【0015】

例えば、ロータ磁極位置がステータ励磁位相 350 度にあったと仮定する。まず、 180 度の励磁位相に電流を流すと、 $\theta = 350 - 180 = 170$ 度となり、 $\sin 170 > 0$ で、ロータは正方向に回転し、ロータ磁極位置は $180 \sim 360$ 度の領域にあることが判別される。次にこの領域を2分する 270 度の励磁位相に直流電流を流す。 $\theta = 350 - 270 = 80$ 度で、 $\sin 80 > 0$ でロータは正方向に回転する。これにより、ロータ磁極位置は $270 \sim 360$ 度の領域にあることが判別される。そこで、 $270 \sim 360$ 度の領域の中間の 315 度の励磁位相に直流電流を流す。この場合も $\theta = 350 - 315 = 35$ 度で、回転方向は正方向となり、 315 度と 360 度の中間の 337.5 度の励磁位相に直流電流を流す。この場合も $\theta = 350 - 337.5 = 12.5$ 度で、正方向に回転するから、 337.5 度と 360 度の中間の 348.75 度の励磁位相に電流を流す。この場合も正方向に回転するから、 348.75 度と 360 度の中間の 354.375 度の励磁位相に電流を流す。このとき、 $\theta = 350 - 354.375 = -4.375$ 度となり、 $\sin \theta < 0$ で、ロータは負方向に回転するので、次に励磁する位相は、 348.75 度と 354.375 度の領域の中間の 351.5625 度の励磁位相に直流電流を流し回転方向を検出する。以下、このようにロータ磁極位置が存在すると判断される領域を順次狭めて、ロータの回転がなくなるまで、もしくは所定回数だけの領域判断を行うことによってロータ磁極位置を求めるものである。

20

30

【0016】

また、本実施形態が用いる第2の磁極位置推定手段は、前述した特願 $2003 - 362379$ 号で提案した方法、手段を用いるものであり、このときは、スイッチ SB を b 側に切替、電圧指令発生器より d 相に対して高周波電圧又は矩形波電圧を指令して、ロータを動かさずに磁極位置を検出するものである。この方法、原理をまず説明する。

【0017】

2相巻線の突極性を持った dq 座標系での磁束 (Φ_d, Φ_q) を想定すると、図2に示すようにロータ（磁極）の d 軸からのずれ量を α とすると、磁束 (Φ_d, Φ_q) は次の (1-1) 式、(1-2) 式に示すように、ずれ量 α の関数となる。

40

【0018】

$$\Phi_d = (L_0 + L_2 \cos 2\alpha) \cdot i_d - L_2 \sin 2\alpha \cdot i_q + \cos \alpha \dots (1-1)$$

$$\Phi_q = -L_2 \sin 2\alpha \cdot i_d + (L_0 - L_2 \cos 2\alpha) \cdot i_q - \sin \alpha \dots (1-2)$$

なお、 L_0 は励磁位相に依存しない平均インダクタンス、 L_2 は励磁位相に依存した変動分インダクタンスであり、1相分の d 軸インダクタンスを L_d 、1相分の q 軸インダクタンスを L_q とすると、 $L_d = L_0 + L_2$ 、 $L_q = L_0 - L_2$ である。又、突極性を有する電動機の場合、 $L_2 < 0$ で、 $L_q > L_d$ である。また、(1-1) 式、(1-2) 式において、 Φ は磁石の磁束を表す。

dq 座標上で電圧 v_{dq} (d 軸電圧成分と q 軸電圧成分の合成電圧) は、次の2式で表される。

$$v_{dq} = R_s \cdot i_{dq} + d/dt (\Phi_{dq}) + \dots (2)$$

50

なお、 R_s は電動機巻線抵抗で、 ω は d q 軸合成磁束、 $i_{d q}$ は d q 軸合成電流、 ω は電動機角速度である。

(2) 式に (1-1) 式、(1-2) 式を代入してまとめると次の (3) 式となる。

【0019】

【数1】

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + p L_{dc} + \omega L_{dq} & -p L_{dq} - \omega L_{qc} \\ -p L_{dq} + \omega L_{dc} & R_s + p L_{qc} - \omega L_{dq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \omega \phi \begin{bmatrix} \sin \Delta \theta \\ \cos \Delta \theta \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

10

【0020】

但し、 $L_{dc} = L_0 + L_2 \cos 2\theta$

$L_{qc} = L_0 - L_2 \cos 2\theta$

$L_{dq} = L_2 \sin 2\theta$

$p = d/dt$

(3) 式より電流 $i_{d q}$ を求めると次の (4) 式となる。

【0021】

【数2】

$$p \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{1}{L_d \cdot L_q} \begin{bmatrix} L_{qc} & L_{dq} \\ L_{dq} & L_{dc} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s + \omega L_{dq} & -\omega L_{qc} \\ \omega L_{dc} & R_s - \omega L_{dq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} - \omega \phi \begin{bmatrix} \sin \Delta \theta \\ \cos \Delta \theta \end{bmatrix} \right\} \quad \dots (4)$$

20

【0022】

そこで、突極性のインダクタンスの差を検出するために、高調波を含む d 軸電圧指令 $v_d = V \sin \gamma t$ 、q 軸電圧指令 = 0 を指令する。そうすると、上記 (4) 式の右辺第 2 項は高調波に影響しないと仮定し、又、ロータは静止していることを前提とするものであるから電動機角速度 $\omega = 0$ であり、上記 (4) 式は次の (5) 式で表される。

【0023】

【数3】

$$p \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{1}{L_d \cdot L_q} \begin{bmatrix} L_{qc} & L_{dq} \\ L_{dq} & L_{dc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \sin \gamma t \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

30

【0024】

d q 座標系を回転させてずれ量 θ を変えることによって、即ち励磁位相を変えることにより、突極性によるインダクタンスが変化することから、高周波電圧指令に対するフィードバック電流 i_f の振幅が変化する。このフィードバック電流 i_f の d 軸電流成分 i_d の変化値 (微分値) $p i_d$ を求め、これに高周波指令電圧 $v_d = V \sin \gamma t$ を掛けて、その後ローパスフィルタで高周波成分取り除くことによって、電気角 360 度内でピーク値が 2 個所になるデータを得る。即ち、 $v_{dh} = V \sin \gamma t$ とする。

40

【0025】

$$\begin{aligned} p i_d \cdot v_{dh} &= (1 / (L_d \cdot L_q)) (L_0 - L_2 \cos 2\theta) \cdot V^2 \cdot (\sin \gamma t)^2 \\ &= (V^2 / (2 \cdot L_d \cdot L_q)) \cdot (L_0 - L_2 \cos 2\theta) \cdot (1 - \cos 2\gamma t) \quad \dots (6) \end{aligned}$$

ローパスフィルタを通して高周波成分 $\cos 2\gamma t$ を取り除くと

$$\begin{aligned} f_d &= p i_d \cdot v_{dh} \\ &= (V^2 / 4 \cdot L_d \cdot L_q) \cdot (L_d + L_q - (L_d - L_q) \cdot \cos 2\theta) \quad \dots (7) \end{aligned}$$

上記 (7) 式より、

$$= 0 \text{ 又は } \theta = 0 \text{ のとき、} \quad f_d = V^2 / (2 L_d)$$

50

$= \pi/2$ 又は $3\pi/2$ のとき、 $f_d = V^2 / (2L_q)$ となる。

【0026】

IPM電動機は逆突極性であり、 $L_q > L_d$ であることから、 $\theta = 0$ 又は $\theta = \pi$ のとき $f_d = p i_d \cdot v_{dh}$ がピーク値となる。即ち、d相のフィードバック電流微分値 $p i_d$ に高周波指令電圧を掛け、高周波成分を取り除くことによって、電気角 360 度内において2つのピーク値を得て、かつ、このピーク値は、ロータ位置（磁極位置）と dq 座標系の d 軸が一致したときの $\theta = 0$ 又は $\theta = \pi$ を示すものであるから、このピーク値となるとき励磁位相によって、磁束の方向を求めることができるものである。しかし、磁束の方向は求められても、磁石のN極とS極の区別がつかない。そこで $\theta = 0$ になる位置では、電流により発生する磁界が主磁束の方向と一致するので、磁気飽和が発生して磁束が減少し、 d 軸のインダクタンス L_d が減少し、フィードバック電流の d 軸成分 i_d が増大するのでこれを利用して磁石のN極とS極を判別する。

10

そこで、 d 相インダクタンス L_d を次の(8)式のように定義する。ここで k はインダクタンスの変化率で1より小さい正の値とする。

【0027】

$$L_d = L_{d0} \cdot (1 - k \cdot \cos \theta) \quad \dots (8)$$

上記(8)式を(7式)に代入すると、

$$\theta = 0 \text{ のとき} \quad f_d = V^2 / 2L_d \cdot (1 - k)$$

$$\theta = \pi/2 \text{ のとき} \quad f_d = V^2 / 2L_q$$

$$\theta = \pi \text{ のとき} \quad f_d = V^2 / 2L_d \cdot (1 + k)$$

$$\theta = 3\pi/2 \text{ のとき} \quad f_d = V^2 / 2L_q$$

20

となり、 $L_q > L_d$ より f_d は $\theta = 0$ で最大値となりここが真の磁極位置を示すことになる。

【0028】

そこで、電圧指令発生器9より d 相電圧指令として比較的振幅の小さい高周波（正弦波）電圧（ q 相電圧指令は0）を出力して電動機を駆動する。 d 相電圧指令が高周波で小さな電圧指令であるから流れる電流は小さいので、電動機4のロータは回転しない。この状態で、磁極位置推定器7は、電気角 360 度内を所定周期毎、所定の変化率で変化させ、ずれ量 θ_{err} と励磁位相 θ_m が一致する点を検出する。即ち上述とした dq 座標系を回転させて、ずれ量 θ_{err} と一致する電気角の検出を行う。そのために、所定周期で、 d 相フィードバック電流 i_d を求めてその微分値と電圧指令発生器から出力した電圧指令との積を求め振幅変調を行い、高周波成分を除去して最大値となる励磁位相 θ_m を求める。複数求められる最大値を平均して遅れ分を補正して、磁束の方向の励磁位相 θ_m を求める。即ち、位置検出器5で検出されるロータ位置における $\theta = 0$ となる励磁位相 θ_m を求める。

30

【0029】

次に、この磁束方向に励磁位相 θ_m を固定し、電圧指令発生器より磁気飽和する電流を $+$ 、 $-$ に流し、電流フィードバックの大きさの差より極性を決定する。これによって、磁極位置を求めるものである。

図3は、電動機を制御する制御装置のプロセッサが本発明の磁極位置検出器として一実施形態として作用するときの処理のアルゴリズムである。

40

【0030】

この電動機制御装置の上位制御装置である数値制御装置（CNC）等から磁極位置推定手段、方法を選択する指令が送られてくるとこの図3に示す処理を開始する。

まず送られてきた指令が、第1の磁極位置推定手段を指令するものか、第2の磁極位置推定手段を指令しているものか判断し（ステップS1）、第1の磁極位置推定手段が指令されている場合には、第1の磁極位置推定処理を開始し（ステップS2）、その処理途中で所定の大きさの直流の電流指令で電動機を駆動しても、機械の摩擦等が大きくてロータが動かない場合には（ステップS3）、第2の磁極位置推定処理では磁極位置を検出できないことを示すフラグF2が「1」か判断し（ステップS6）、「1」でなければ、第1

50

の磁極位置推定処理では磁極位置を検出できないことを示すフラグF1を「1」にセットし(ステップS7)、第2の磁極位置推定処理(ステップS8~S10の処理)に移行する。なお、フラグF1、F2は初期設定によって最初は「0」である。また、ロータが動いた場合には、そのまま第1の磁極位置推定処理を実行し(ステップS4)、磁極位置を確定する(ステップS5)。なお、図3において破線で囲んだステップS2~S4は第1の磁極位置推定処理でありその詳細は後述する。

【0031】

また、上位制御装置より第2の磁極位置推定手段の選択指令が入力されたとき、及び第1の磁極位置推定処理途中で、ロータが動かず、第1の磁極位置推定処理により磁極位置を検出できないときで、ステップ7でフラグF1を「1」にセットした後、ステップS8~S10で構成される第2の磁極位置推定処理を開始し(ステップS8)、この第2の磁極位置推定処理途中において、後述するように、磁極位置を示す励磁位相がばらつき設定所定値範囲内にはない場合は、電氣的突極性を有する電動機ではなく、この第2の磁極位置推定手段では磁極位置を推定することができないと判断された場合には(ステップS9)、フラグF1が「1」か判断し(ステップS11)、「1」であれば、すでに第1の磁極位置推定処理を実施して磁極位置を検出することができなかったものであるから、アラームを出し処理を終了する(ステップS13)。また、該フラグF1が「1」でなければ、まだ第1の磁極位置推定処理を実行していないものであるから、第2の磁極位置推定処理では磁極位置を検出できないことを示すフラグF2を「1」にセットして(ステップS12)、ステップS2に移行し、第1の磁極位置推定処理を実行する。

【0032】

一方、ステップS9で、磁極位置を示す励磁位相が所定範囲内で、磁極位置(磁極方向)が検出される場合には、そのまま第2の磁極位置推定方法を実施して、磁極位置(磁極の方向とN、Sの向き)を求め確定する(ステップS10、S5)。

なお、ステップS6で、フラグF2が「1」にセットされていることが判定されたときには、すでに第2の磁極位置推定処理がなされ、磁極位置が検出できない場合であるから、ステップS13に移行してアラームを出しこの処理を終了する。

【0033】

図4は、上述した第1の磁極位置推定方法処理(図3のステップS2~S4)のアルゴリズムである。

推定磁極位置 を記憶するレジスタに初期値「0」をセットし、ロータ移動量 を記憶するレジスタに初期ロータ移動量として「0」をセットし、励磁する直流電流Iを記憶するレジスタに初期励磁電流として設定された値I_rをセットする(ステップA1~A3)。検出器5からの信号に基づいてサーボモータ(同期電動機)4の位置(ロータの位置)を記憶する現在値レジスタの値を「0」にクリアし(ステップA4)、後述するステップA6~ステップA20の処理の繰り返し数を計数する試行カウンタnを「1」にセットする(ステップA5)。

【0034】

そして、試行カウンタnの値が設定されている繰り返し数Nを越えているか判断し(ステップA6)、越えてなければ360度を2ⁿで割って、ロータ磁極位置(磁束位置)が予想される領域の位相幅の1/2の位相量 を求める。最初は、ロータ磁極位置は電気角0~360度の全領域にあることが推定され、試行カウンタnは「1」にセットされているから、推定領域の位相幅の1/2の位相量 = 180度が求められる(ステップA7)。次に、現時点までに推定されている磁極位置(推定領域の一端であり、この実施形態では始点で位相角度が小さい方) に推定領域の位相幅の1/2の位相量 及びロータ移動量 を加算してステータ励磁位相 を求める(ステップA8)。最初は、 = 0、 = 180度、 = 0であるから、ステータ励磁位相 は「180度」として求まる。

【0035】

ロータが停止しているか否か判別し(検出器5からフィードバックパルスが帰還されたか否かにより判別する)(ステップA9)、ロータが停止していれば、ステップA8で求

10

20

30

40

50

めた励磁位相 にレジスタに記憶する直流の励磁電流 I (最初は設定値 I_r) を流す (図 1 における電流指令発生器 8 から該直流の励磁電流を指令電流として流す) と共にタイマをスタートさせる (ステップ A 1 0)。

【0036】

そしてロータが動いたか否かを検出器 5 からフィードバックパルスが帰還されたか否かにより判別する (ステップ A 1 1)。ロータが移動しないときには、励磁位相と磁極位置が合致し、移動しないことが想定されるので、励磁位相を 90 度進めて励磁する処理を行う。即ち、フラグ F_3 が「1」か判断し (ステップ A 2 1)、「1」でなければ、該フラグ F_3 を「1」にセットし (ステップ A 2 2)、試行カウンタ n を「1」インクリメントして (ステップ A 2 3)、推定磁極位置 に位相量 を加算して $= 180$ 度と更新し (ステップ A 2 4)、ステップ A 7 に戻る。試行カウンタ n が「1」インクリメントされ「2」となっているから、 の値は 90 度となり、励磁位相 は 270 度となり該励磁位相で電動機は励磁されることになる (ステップ A 7 ~ A 1 0)。

10

【0037】

こうして励磁位相を 90 度変えてもロータが動かない場合には機械の摩擦が大きく移動しないものと判断され、ステップ A 1 1 から A 2 1 に移行し、フラグ F_3 がすでに「1」にセットされていることから、このロータを移動させて磁極位置を検出する第 1 の磁極位置推定方法では検出できないとして図 3 のステップ S 6 に移行する。

一方、ステップ A 1 1 でロータが移動したことが判別されると励磁電流を停止し、かつタイマを停止させる (ステップ A 1 2)。そして、ロータの回転方向を判別しロータ磁極位置の領域を判別する (ステップ A 1 3)。

20

【0038】

前述したように、同期電動機で電流を流したとき発生するトルクの大きさは第 2 式で表され、そのトルクの向きは、磁束ベクトルと電流ベクトルとのなす角 が 0 度 ~ 180 度の間では正 ($\sin > 0$)、 180 度 ~ 360 度の間では負 ($\sin < 0$) であるから、励磁位相 $= 180$ 度に直流電流 I を流して、ロータが正方向に回転したときは、ロータの磁極位置は 180 度 ~ 360 度の領域にある。又、励磁位相 $= 270$ 度に直流電流 I を流して、ロータが正方向に回転したときは、ロータの磁極位置は 270 度 ~ 360 度の領域にある。そこで、この場合には、推定されていた磁極位置 ($= 0$ 又は 180 度) に磁極があると推定されていた領域の位相幅の $1/2$ の位相量 ($= 180$ 度又は 90 度) を加算し、新たな推定磁極位置 ($= 180$ 又は 270) を求める。すなわち、推定磁極位置 として磁極位置が存在すると推定される領域の始点の位相が記憶されることになる。この場合では、ステータ励磁位相 180 度 ~ 360 度 (又は 270 度 ~ 360 度) の領域にロータ磁極位置があるものと推定されたことから、新たな推定磁極位置 として 180 度 (又は 270 度) が記憶される (ステップ A 1 4)。

30

【0039】

又、ステップ A 1 3 で、負方向に回転したと判別された場合には、ロータの磁極位置は 0 度 ~ 180 度 (又は 180 度 ~ 270 度) の領域にあるものであり、このときは、推定磁極位置 は更新せず、ロータ磁極位置があると推定された領域の 0 度 ~ 180 度の始点「 0 度」 (又は 180 度 ~ 270 度の始点 180 度) がそのまま記憶される。

40

【0040】

ロータが回転したことから、ロータを元の位置に戻すため、ステップ A 1 0 で励磁した励磁位相 に今回は極性が逆の直流電流 $-I$ を流しタイマにステップ A 1 2 で測定した経過時間をセットしてスタートさせる (ステップ A 1 5)。そしてタイマがタイムアップすると (ステップ A 1 6)、励磁電流を停止する (ステップ A 1 7)。すなわち、同じ大きさで極性が逆の励磁電流を同一時間流すことにより、ロータが移動した分、逆方向に移動させロータを元の位置に戻すようにする。

【0041】

しかし、ロータを元の位置に戻したとしても、正確に元の位置に戻るとはいえないことから、現在位置レジスタの値を読み出し、その値をロータ移動量 としてレジスタに格納

50

する（ステップA18）。試行カウンタnを「1」インクリメントし（ステップA19）、次に励磁する直流電流Iの大きさを次の（9）式の演算を行い求める（ステップA20）。

【0042】

$$I = I_r \times (1 + n / N) \quad \dots (9)$$

本発明においては、直流電流Iを流す位相とロータ磁極位置が一致するように順次近づけるものである。すなわち、磁束ベクトルと電流ベクトルが一致するように両者を近づけるものである。上述したようにロータを回転させるトルクは、「 $|I| \sin$ 」であるから、直流電流値Iが一定であると、だんだん小さくなってゆく。そのため、本実施形態では、励磁する位相を変える（ロータ磁極位置に近づける）毎に、励磁直流電流値Iを大きくするようにしたものである。

10

【0043】

そして、ステップA6に戻り、ステップA6からステップA20までの処理を試行カウンタnが設定値Nを越えるまで、繰り返し実行する。

以上のようにして、ロータに直流電流を流してロータ磁極位置がある領域を推定し、かつその領域幅を順次小さくし（この実施形態では、この領域幅を1/2に減少させる）、推定磁極位置を求める。

【0044】

この実施形態において、 $n = 1$ で、ロータ磁極位置がある領域幅を360度の半分の180度に小さくすることができ、 $n = 2$ で $= 90$ 、 $n = 3$ で $= 45$ 、 $n = 4$ で $= 22.5 \dots n = 10$ で $= 0.3516$ 、 $n = 11$ で $= 0.1758$ とすることができる。そして、その領域の始点が推定磁極位置として求められる。そこで、必要とする精度が得られる程度の設定値Nを設定しておき、必要とする精度の推定磁極位置を求める。

20

かくして、ステップA6で試行カウンタnの値が設定値Nを越えた場合には、ステップA25に進み、推定磁極位置にロータの移動量を加算して最終的な推定磁極位置として、図3のステップS5に移行し、磁極位置を確定する。

以上が第1の磁極位置推定方法処理のアルゴリズムである。

【0045】

図5は、第2の磁極位置推定方法処理のアルゴリズムである。

30

この第2の磁極位置推定方法処理においては、図1のスイッチSBをb側に切替え、電動機のロータを移動させない程度の比較的振幅の小さい高周波（正弦波）電圧をd相電圧指令として入力し、q相電圧指令は0として電動機を駆動する（ステップB1）。高周波であり振幅が小さい電圧指令であることによりロータは移動しない。そして、励磁位相を所定周期で所定量変化させる（ステップB2）。この励磁位相の所定量の変化に同期してd相のフィードバック電流を読み取る（ステップB3）。読み取ったd相フィードバック電流 i_d と前周期で読み取ったd相フィードバック電流 i_d との差に基づいてこのd相フィードバック電流の微分値 $p i_d$ を求める。該微分値 $p i_d$ とステップB1で入力した高周波電圧指令との積 f_d を求める（（6）式参照）（ステップB4）。この積 f_d をローパスフィルタ処理して高周波成分を除去し（（7）式参照）（ステップB5）、この高周波成分を除去した積 f_d が最大値となる励磁位相を求める（ステップB6）。即ち、高周波成分を除去した前記積 f_d のピーク値を記憶するレジスタを設け、該レジスタに記憶する値と、ステップB4、B5で求めた積 f_d との大きさを比較し求めた f_d が大きければ、この求めた積 f_d の値を該レジスタに格納すると共に、積 f_d のピーク値を生じるそのときの励磁位相をレジスタに記憶する。以下、ステップB1からステップB6の処理を電気角180度分所定周期毎実行し、電気角180度分の処理が終了すれば、該電気角180度1周期内における最大の前記積 f_d が求まり、該最大の積 f_d に対応する励磁位相が求まる。

40

【0046】

電気角360を電気角180度毎に分け180度を1周期とする処理を設定偶数回数（

50

例えば180度を8回で電気角360度で4回)実施したか判断し(ステップB7)、設定回数に達してなければ、前述したステップS1からの処理を再度実行する。かくして設定回数の電気角180度における前記積 f_d が最大となる励磁位相が各電気角180度周期毎に求まると、電気角360度内で2つ求められた積 f_d が最大となる励磁位相のうちいずれかの電気角のものを選択し(例えば励磁位相の小さい方を選択)、その内の最大値と最小値の差が設定された所定範囲内にあるか判断する。即ちばらつきがないか判断する(ステップB8)。電氣的突極性がある電動機の場合には、ばらつきはなく、所定範囲内にあるが、電氣的突極性がない電動機の場合にはばらつきが発生し、この第2の磁極位置推定方法では、磁極位置を検出できないことから、この場合には、図3のステップS11に移行する。

10

【0047】

一方、ばらつきがなければ、その平均を求め、その平均値を積 f_d がピークとなる励磁位相とする(ステップB9)。そして、この平均値からフィードバックやフィルタの遅れ分を補正して、磁束方向を求める(ステップB10)。即ち、d軸と磁極のずれ量が0又はとなる励磁位相(磁束の方向)が求まる。つぎに、求められた励磁位相(磁束の方向)に対して磁極の向きを求める。

まず、ステップB10で求めた励磁位相に固定し(ステップB11)、磁気飽和が生じる程度の電流を電動機に流すため、d相電圧指令として比較的大きな電圧で所定幅のプラスの矩形波電圧をd相電圧指令し電動機を駆動する(ステップB12)。この場合、励磁位相がd軸方向であることから、大きな電流が流れても電動機のロータは動かない。このときのd相のフィードバック電流のピーク値(最大値)を求め記憶する(ステップB13)。次に、所定時間経過後(所定時間、電圧指令を0)に電圧の大きさは同一で、逆符号(マイナス)の矩形波電圧をd相電圧指令とし電動機を駆動する(ステップB14)。この場合も電動機のロータは回転しない。そしてd相のフィードバック電流のピーク値(最小値)を求め記憶する(ステップB15)。

20

【0048】

ステップB12、B14で求めたd相フィードバック電流のピーク値の最大値と最小値を加算しかつその加算値を積算する(ステップB16)。そして設定された回数実行したかを判断し、設定回数に達してなければステップB12に戻りステップB12以下の前述した処理を繰り返し実行する(ステップB17)。設定回数、d相フィードバック電流のピーク値(最大値、最小値)を求め、その加算積算値を求めた後、この積算値が正か否か判断する(ステップB18)。正であれば、励磁位相の向きと磁極の向きが一致し、現在の固定している励磁位相は $\theta = 0$ で主磁束の向きと一致しているものとして励磁位置を磁極位置として確定する(ステップB20)。一方積算値が負であれば、現在の固定している励磁位相は $\theta = \pi$ で主磁束の向きと逆向きであることから、固定している励磁位相に180度を加算し(ステップB19)、その位置を励磁位置として確定し手磁極位置とし(ステップB20)、図3のステップS5に戻る。

30

【0049】

以上が、本実施形態の磁極位置検出方法であり、これにより、機械の摩擦が大きくロータを動かして磁極位置を検出できない場合には、第2の磁極位置推定方法によって電氣的突極性を有する電動機であれば、その磁極位置をこの第2の磁極位置推定方法を実施することによって求めることができ、また、非突極型の電動機の場合には、ロータを移動させて検出する第1の磁極位置推定方法の実施で磁極位置を検出するものであり、しかも、第1の磁極位置推定方法で検出できなければ、第2の磁極位置推定方法で、又、第2の磁極位置推定方法で検出できなければ、第1の磁極位置推定方法で自動的に行われるものであり、第1、第2の磁極位置推定方法で磁極位置を検出できないときのみアラームが出されるものである。この場合は、非突極型の同期電動機で、この電動機に接続された機械の摩擦が大きいときに磁極位置が検出できないとなるだけで、検出できない場合が非常に限定されたものとなる。

40

【図面の簡単な説明】

50

【0050】

【図1】本発明の磁極位置検出装置を構成する電動機制御装置の一実施形態のブロック図である。

【図2】d q座標系におけるd軸と磁極位置のずれを説明する説明図である。

【図3】本発明の一実施形態の磁極位置検出処理の全体構成のアルゴリズムである。

【図4】同実施形態における第1の磁極位置推定処理のアルゴリズムである。

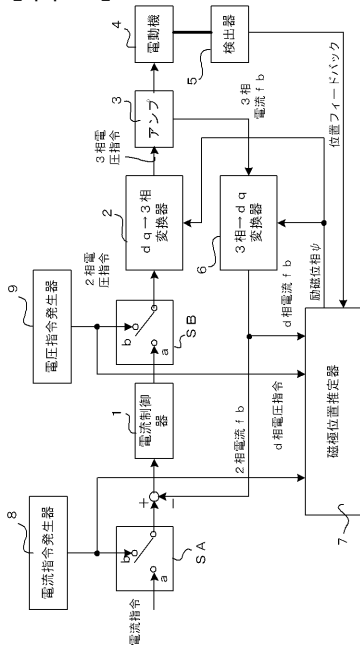
【図5】同実施形態における第2の磁極位置推定処理のアルゴリズムである。

【符号の説明】

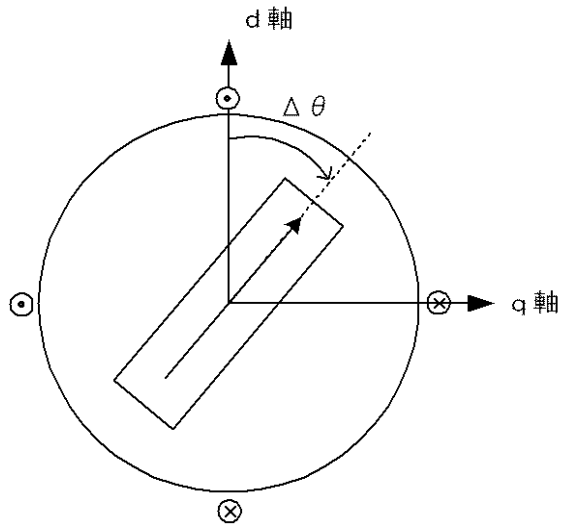
【0051】

- 1 電流制御器
- 2 d q相から3相への変換器
- 3 アンプ
- 4 電動機
- 5 検出器
- 6 3相からd q相への変換器
- 7 磁極位置推定器
- 8 電流指令発生器
- 9 電圧指令発生器

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 園田 直人

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社 内

審査官 尾家 英樹

(56)参考文献 特許第3408468(JP, B2)

特開2002-171798(JP, A)

特開2000-312493(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 6/00 - 6/24