

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4984057号
(P4984057)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl. F I
 HO2P 21/00 (2006.01) HO2P 5/408 C
 HO2P 27/04 (2006.01) HO2P 6/02 371S
 HO2P 6/18 (2006.01)

請求項の数 4 (全 14 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2007-117211 (P2007-117211) | (73) 特許権者 | 000005234 富士電機株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成19年4月26日(2007.4.26) | | 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 |
| (65) 公開番号 | 特開2008-278594 (P2008-278594A) | (74) 代理人 | 100091281 弁理士 森田 雄一 |
| (43) 公開日 | 平成20年11月13日(2008.11.13) | | |
| 審査請求日 | 平成21年12月15日(2009.12.15) | (74) 代理人 | 100150441 弁理士 松本 洋一 |
| | | (72) 発明者 | 野村 尚史 東京都日野市富士町1番地 富士電機アド バンストテクノロジー株式会社内 |
| | | (72) 発明者 | 松本 康 東京都日野市富士町1番地 富士電機アド バンストテクノロジー株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石形同期電動機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁極位置検出器を用いずに演算により求めた回転子の磁極位置に基づいて、電力変換器により永久磁石形同期電動機の電機子電流を制御し、前記電動機のトルク及び速度を制御する制御装置において、

前記電動機の電機子電流、端子電圧及び磁束をベクトルとしてとらえ、

前記電動機の端子電圧相当値、電機子電流に比例する電機子抵抗電圧降下演算値及び電機子反作用磁束演算値、前記電機子電流の時間微分値に比例する過渡電圧演算値、並びに、前記電動機の速度演算値を用いて拡張誘起電圧を演算する拡張誘起電圧演算手段と、

前記拡張誘起電圧及び前記速度演算値を用いて、拡張磁束を演算する拡張磁束演算手段と、

前記拡張磁束から前記拡張磁束の角度を演算する角度演算手段と、

前記拡張磁束の角度を増幅して前記速度演算値を求める速度演算手段と、

前記速度演算値を増幅して磁極位置演算値を求める磁極位置演算手段と、

を備えたことを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

【請求項2】

請求項1に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、

前記拡張磁束演算手段は、

前記拡張誘起電圧を90度遅らせたベクトルを前記速度演算値により除算して前記拡張磁束を演算することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

10

20

【請求項 3】

請求項 1 に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、
前記拡張磁束演算手段は、
前記拡張誘起電圧を 90 度遅らせたベクトルと前記拡張磁束及び前記速度演算値を乗算してなるベクトルとの偏差を増幅して前記拡張磁束を演算することを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載した永久磁石形同期電動機の制御装置において、
前記磁極位置演算手段により演算した磁極位置を用いて、前記電機子電流の検出値を回転座標系の二軸成分に変換する電流座標変換手段と、
前記検出値の二軸成分を前記電機子電流の指令値の二軸成分に一致させるような電圧指令値を生成する電流調節手段と、
前記電圧指令値から前記電力変換器の半導体スイッチング素子に対する駆動信号を生成する手段と、
を備えたことを特徴とする永久磁石形同期電動機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転子の磁極位置を検出するための磁極位置検出器を持たずに、いわゆるセンサレス制御される永久磁石形同期電動機の制御装置に関し、詳しくは、回転子の速度及び磁極位置を高精度に演算して電動機の電機子電流を制御することにより、永久磁石形同期電動機を安定に制御可能とした制御装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

永久磁石形同期電動機のセンサレス制御は、制御装置の低価格化を目的として広く実用化されている。このセンサレス制御は、電動機の端子電圧や電機子電流の情報から回転子の速度及び磁極位置を演算し、これらに基づいて電流制御を行うことによりトルク制御や速度制御を実現するものである。

【0003】

従来センサレス制御の代表例として、特許文献 1 及び非特許文献 1 に記載されたセンサレス制御方式について説明する。

まず、永久磁石形同期電動機は、回転子の磁極方向を d 軸、d 軸から 90 度進んだ方向を q 軸と定義した回転座標系で電流制御を行うことで、高性能制御を実現することができる。しかしながら、磁極位置検出器を使用しない場合は、d q 軸の角度を直接検出することができないので、制御装置内部に d q 軸回転座標系に対応する 軸回転座標系を推定し、d q 軸成分の d 軸電流 i_d 、q 軸電流 i_q を 軸成分の 軸電流 i 、 軸電流 i に変換して電流制御を行っている。

【0004】

ここで、図 4 は、d q 軸と 軸との関係を示しており、 e_{rr} は d q 軸と 軸との角度差である。

d q 軸の電気角速度 ω_r と 軸の電気角速度 ω_1 とが等しい場合、 軸における永久磁石形同期電動機の電圧方程式は、数式 1 によって表される。

【0005】

10

20

30

40

【数 1】

$$\begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} = r_a \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + p L_d \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + \omega_1 L_q \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_{ex\gamma} \\ E_{ex\delta} \end{bmatrix}$$

ここで、

v_γ : γ 軸電圧, v_δ : δ 軸電圧, i_γ : γ 軸電流, i_δ : δ 軸電流,

$E_{ex\gamma}$: γ 軸拡張誘起電圧, $E_{ex\delta}$: δ 軸拡張誘起電圧,

ω_1 : γ δ 軸の電気角速度 (速度演算値), p : 微分演算子,

L_d : d 軸インダクタンス, L_q : q 軸インダクタンス,

r_a : 電機子抵抗, ϕ_m : 永久磁石の磁束

10

【0006】

数式 1 において、右辺第 1 項は電機子抵抗 r_a による電圧降下、右辺第 2 項は電流微分値に平行で d 軸インダクタンス L_d に比例する過渡電圧、右辺第 3 項は電機子反作用による電圧降下である。

20

右辺第 3 項の電機子反作用による電圧降下は、電機子電流 i_a と q 軸インダクタンス L_q との積である電機子反作用磁束によって誘導される電圧であり、電機子反作用磁束を 90 度進ませたベクトルと γ 軸の電気角速度 ω_1 との積に等しい。

また、右辺第 4 項が拡張誘起電圧と呼ばれる項 (γ 軸成分をそれぞれ γ 軸拡張誘起電圧 $E_{ex\gamma}$ 、 δ 軸拡張誘起電圧 $E_{ex\delta}$ という) であり、数式 2 によって表される。

【0007】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} E_{ex\gamma} \\ E_{ex\delta} \end{bmatrix} = E_{ex} \begin{bmatrix} \sin \theta_{err} \\ \cos \theta_{err} \end{bmatrix}$$

30

$$E_{ex} = \omega_1 \Psi_m + \omega_1 (L_d - L_q) i_d - (L_d - L_q)(p i_q)$$

$$\theta_{err} = \theta_1 - \theta_r$$

ここで、

E_{ex} : 拡張誘起電圧振幅,

θ_{err} : d q 軸と γ δ 軸との角度差 (磁極位置演算誤差),

θ_r : d q 軸位置 (磁極位置), θ_1 : γ δ 軸位置 (磁極位置演算値),

i_d : d 軸電流, i_q : q 軸電流

40

【0008】

なお、拡張誘起電圧は、永久磁石形同期電動機の永久磁石とインダクタンスとに分離した位置情報を一つに集約する作用を果しており、例えば、非特許文献 2 にも記載されている。

【0009】

数式 2 に示すように、 γ 軸拡張誘起電圧 $E_{ex\gamma}$ 及び δ 軸拡張誘起電圧 $E_{ex\delta}$ は d q

50

軸と 軸との角度差（以下、磁極位置演算誤差ともいう） θ_{err} の関数であり、磁極位置演算誤差 θ_{err} は 軸拡張誘起電圧ベクトル E_{ex} 及び 軸拡張誘起電圧 E_{ex} の角度から演算することができる。

【0010】

図5は、数式1、数式2による永久磁石形同期電動機の電圧方程式を示すベクトル図である。なお、図5のベクトル図は電動機正転時のものであり、拡張誘起電圧 E_{ex} 、 E_{ex} はq軸方向に発生する。

【0011】

次に、 軸回転座標系における速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 の演算方法について説明する。

10

まず、前述した数式1を変形することにより、 軸拡張誘起電圧 E_{ex} 及び 軸拡張誘起電圧 E_{ex} について数式3を得る。

【0012】

【数3】

$$\begin{bmatrix} E_{exy} \\ E_{ex\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} - \left\{ r_a \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + p L_d \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + \omega_1 L_q \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} \right\}$$

【0013】

また、数式2より、磁極位置演算誤差 θ_{err} を数式4により演算する。

20

【0014】

【数4】

$$\theta_{err} = \tan^{-1} \left(\frac{E_{exy}}{E_{ex\delta}} \right)$$

【0015】

速度演算値（= 軸電気角速度 ω_1 ）は、磁極位置演算誤差 θ_{err} を入力とするP I（比例積分）調節器により求めることができ、具体的には数式5により演算する。

30

【0016】

【数5】

$$\omega_1 = K_{p\theta} (-\theta_{err}) + K_{i\theta} \int (-\theta_{err}) dt$$

ここで、

$K_{p\theta}$ ：速度演算器比例ゲイン、 $K_{i\theta}$ ：速度演算器積分ゲイン

40

【0017】

磁極位置演算値 θ_1 は、数式6に示すように速度演算値 ω_1 を積分して求める。

【0018】

【数6】

$$\theta_1 = \int \omega_1 dt$$

【0019】

数式5、数式6を用いることにより、磁極位置演算誤差 θ_{err} を零に収束させて速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を正確に演算することができる。

50

このようにして演算した速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を用いて電流制御や速度制御を行えば、位置検出器を使わなくても高性能に永久磁石形同期電動機を制御することができる。

【0020】

次に、特許文献2に記載されたセンサレス制御方式について説明する。

前述したように、特許文献1及び非特許文献1に記載されたセンサレス制御方式は、数式4によって軸拡張誘起電圧 E_{e_x} 及び軸拡張誘起電圧 E_{e_x} から磁極位置演算誤差 e_{r_r} を演算している。ところで、拡張誘起電圧の振幅 E_{e_x} は、数式2に示した如く速度 ω_1 にほぼ比例するため、低速時には磁極位置演算誤差 e_{r_r} の演算精度が悪くなるのは明らかである。

そこで、特許文献2に係るセンサレス制御方式では、拡張誘起電圧を誘導する磁束を「拡張磁束」として新たに定義する。

10

【0021】

磁束によって永久磁石形同期電動機の端子に誘導される電圧が、磁束に対して90度進み、その振幅が速度と磁束との積になることから、拡張誘起電圧を誘導する拡張磁束のベクトル方向をd軸とし、振幅 e_x を数式7により定義する。

【0022】

【数7】

$$E_{ex} = \omega_1 \Psi_{ex}$$

20

【0023】

数式2及び数式7より、拡張磁束の振幅 e_x は数式8によって表される。

【0024】

【数8】

$$\Psi_{ex} = \Psi_m + (L_d - L_q) i_d - \frac{1}{\omega_1} (L_d - L_q) (p i_q)$$

【0025】

図6は、拡張誘起電圧と拡張磁束との関係を示すベクトル図である。この図6及び数式7より、軸拡張誘起電圧 E_{e_x} 、軸拡張誘起電圧 E_{e_x} と軸拡張磁束 e_x 、軸拡張磁束 e_x とは数式9の関係にある。

30

【0026】

【数9】

$$\begin{bmatrix} E_{ex\gamma} \\ E_{ex\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\omega_1 \Psi_{ex\delta} \\ \omega_1 \Psi_{ex\gamma} \end{bmatrix}$$

ここで、

$\Psi_{ex\gamma}$: γ 軸拡張磁束, $\Psi_{ex\delta}$: δ 軸拡張磁束

40

【0027】

軸拡張磁束 e_x 及び軸拡張磁束 e_x と磁極位置演算誤差 e_{r_r} との関係は、数式2及び数式9より、数式10のようになる。

【0028】

【数 10】

$$\begin{bmatrix} \Psi_{ex\gamma} \\ \Psi_{ex\delta} \end{bmatrix} = \Psi_{ex} \begin{bmatrix} \cos(-\theta_{err}) \\ \sin(-\theta_{err}) \end{bmatrix}$$

【0029】

数式 8 より、拡張磁束の振幅 e_x は、電流微分値が零になる定常状態では、速度 ω_1 によらず一定である。このため、数式 10 により 軸拡張磁束 e_x 及び 軸拡張磁束 e_x を用いて磁極位置演算誤差 e_{err} を演算すれば、低速時にも磁極位置演算誤差 e_{err} を高精度に演算することができる。

10

【0030】

次いで、特許文献 2 における磁極位置及び速度の具体的な演算方法について説明する。まず、拡張磁束の 軸成分 e_x を、数式 3、数式 9 より、数式 11 によって演算する。

【0031】

【数 11】

$$\Psi_{ex\delta} = - \left\{ \frac{v_\gamma - (r_a i_\gamma + p L_d i_\gamma)}{\omega_1} + L_q i_\delta \right\}$$

20

【0032】

数式 10 において、磁極位置演算誤差 e_{err} が零近傍の値である場合、 軸拡張磁束 e_x は数式 12 となる。

【0033】

【数 12】

$$\Psi_{ex\delta} \cong - \Psi_{ex} \theta_{err}$$

【0034】

拡張磁束振幅 e_x は、数式 8 より、d 軸電流 i_d 及び q 軸電流 i_q の関数であるため、 軸拡張磁束 e_x を数式 13 によって線形化した第 2 の 軸拡張磁束 e_x を導入する。

30

【0035】

【数 13】

$$\Psi_{ex\delta}' = K(i_\gamma) \Psi_{ex\delta}$$

ここで、

$$K(i_\gamma) = \frac{\Psi_m}{\Psi_m + (L_d - L_q) i_\gamma}$$

40

$\Psi_{ex\delta}'$: 第 2 の δ 軸拡張磁束

【0036】

速度演算値 ω_1 は、第 2 の拡張磁束 e_x を入力とする速度演算器としての P I 調節器を用いて、数式 14 により求められる。

【0037】

【数 1 4】

$$\omega_1 = K_{P\theta} (\Psi_{ex\delta}') + K_{I\theta} \int (\Psi_{ex\delta}') dt$$

ここで、

$K_{P\theta}$: 速度演算器比例ゲイン, $K_{I\theta}$: 速度演算器積分ゲイン

【0038】

なお、磁極位置演算値 θ_1 は、前述の数式 6 により、速度演算値 ω_1 を積分して求める 10

【0039】

【特許文献 1】特許第 3 4 1 1 8 7 8 号公報 (段落 [0 0 2 6] ~ [0 0 8 3]、図 1 等)

【特許文献 2】特開 2 0 0 6 - 6 7 6 5 6 号公報 (段落 [0 0 2 3] ~ [0 0 4 4]、図 1 等)

【非特許文献 1】田中康司, 三木一郎, 「拡張誘起電圧を用いた埋込磁石同期電動機の位置センサレス制御」, 電気学会論文誌 D, Vol.125, No.9, p.833-p.838, 2005年

【非特許文献 2】市川真士, 陳志謙, 富田睦雄, 道木慎二, 大熊繁, 「拡張誘起電圧モデルに基づく突極型永久磁石同期モータのセンサレス制御」, 電気学会論文誌 D, Vol.122, No.12, p.1088-p.1096, 2002年 20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0040】

特許文献 2 に示したセンサレス制御方式は、磁束に着目した方式であることから、低速運転時における速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を高精度に演算できる長所があり、その点では、特許文献 1 や非特許文献 1 に係る従来技術の問題点を克服している。

しかし、d q 軸と θ 軸との磁極位置演算誤差 e_{r_r} が零近傍である場合の近似式 (数式 1 2) に基づいて速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を演算しているため、磁極位置演算誤差 e_{r_r} が大きい場合には正確な演算を行うことができず、制御系が不安定になるという問題がある。 30

【0041】

そこで、本発明の解決課題は、磁極位置演算誤差が大きい場合にも回転子の速度及び磁極位置を正確に演算して、安定した制御を可能にした永久磁石形同期電動機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】

【0042】

上記課題を解決するため、請求項 1 に係る永久磁石形同期電動機の制御装置は、磁極位置検出器を用いずに演算により求めた回転子の磁極位置に基づいて永久磁石形同期電動機の電流を制御することにより、前記永久磁石形同期電動機のトルク及び速度を制御する制御装置において、 40

前記電動機の電機子電流、端子電圧及び磁束をベクトルとしてとらえ、

前記電動機の端子電圧相当値、電機子電流に比例する電機子抵抗電圧降下演算値及び電機子反作用磁束演算値、前記電機子電流の時間微分値に比例する過渡電圧演算値、並びに、前記電動機の速度演算値を用いて拡張誘起電圧を演算する拡張誘起電圧演算手段と、

前記拡張誘起電圧及び前記速度演算値を用いて、拡張磁束を演算する拡張磁束演算手段と、

前記拡張磁束から前記拡張磁束の角度を演算する角度演算手段と、

前記拡張磁束の角度を増幅して前記速度演算値を求める速度演算手段と、

前記速度演算値を増幅して磁極位置演算値を求める磁極位置演算手段と、 50

を備えたものである。

本発明では、速度等の演算に拡張磁束を用いているため、特許文献1や非特許文献1に係る従来技術に対して電動機の低速運転時にも速度及び磁極位置を高精度に演算することができる。また、特許文献2に係る従来技術と比べて、磁極位置演算誤差が大きい場合でも正確に演算可能である。

【0043】

請求項2に係る永久磁石形同期電動機の制御装置は、請求項1における拡張磁束演算手段の構成に特徴がある。

すなわち、請求項2に係る発明は、請求項1に記載した制御装置において、前記拡張磁束演算手段が、前記拡張誘起電圧を90度遅らせたベクトルを前記速度演算値により除算して前記拡張磁束を演算するものである。

10

【0044】

請求項3に係る永久磁石形同期電動機の制御装置は、請求項2記載の拡張磁束演算手段を改良したものであり、前記拡張磁束演算手段が、前記拡張誘起電圧を90度遅らせたベクトルと前記拡張磁束及び前記速度演算値を乗算してなるベクトルとの偏差を増幅して前記拡張磁束を演算するものである。

請求項2では、速度演算値による除算によって拡張磁束を演算しているが、請求項3に係る発明では、速度演算値による除算を行わずに拡張磁束を演算する。これにより、低速時における拡張磁束、ひいては電動機の速度及び磁極位置をより高精度に求めることができる。

20

【0045】

請求項4に係る制御装置は、請求項1～3の何れか1項に記載した制御装置において、前記磁極位置演算手段により演算した磁極位置を用いて、前記電機子電流の検出値を回転座標系の二軸成分に変換する電流座標変換手段と、前記検出値の二軸成分を前記電機子電流の指令値の二軸成分に一致させるような電圧指令値を生成する電流調節手段と、前記電圧指令値から前記電力変換器の半導体スイッチング素子に対する駆動信号を生成する手段と、を備えたものである。

【発明の効果】

【0046】

本発明に係る永久磁石同期電動機の制御装置によれば、永久磁石形同期電動機をセンサレス制御するための制御装置において、電動機の低速運転時における速度及び磁極位置を従来技術よりも高精度に演算することができ、低速運転時の安定性を改善することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0047】

以下、図に沿って本発明の実施形態を説明する。まず、図1はこの実施形態に係る制御装置を主回路と共に示したブロック図であり、請求項1, 4に係る発明に相当する。

図1に示す主回路において、50は三相交流電源、60は三相交流電圧を整流して直流電圧に変換する整流回路、70はインバータ等の電力変換器、80は永久磁石同期電動機である。

40

【0048】

以下、制御装置の構成及び動作を説明する。

まず、回転子の磁極位置演算値 θ_1 と速度演算値 v_1 とを用いて永久磁石形同期電動機80を速度制御する方法について説明する。

速度指令値 v^* と速度演算値 v_1 との偏差を減算器16により演算し、この偏差を速度調節器17により増幅してトルク指令値 T^* を演算する。電流指令演算器18は、トルク指令値 T^* から所望のトルクを出力する軸電流指令値 i^* , 軸電流指令値 i^* を演算する。

【0049】

50

一方、u相電流検出器11_u、w相電流検出器11_wによりそれぞれ検出した相電流検出値 i_u 、 i_w を、磁極位置演算値 θ_1 を用いて電流座標変換器14により軸電流検出値 i 、軸電流検出値 i に座標変換する。

前記軸電流指令値 i^* と軸電流検出値 i との偏差を減算器19aにより求め、この偏差を軸電流調節器20aにより増幅して軸電圧指令値 v^* を演算する。また、軸電流指令値 i^* と軸電流検出値 i との偏差を減算器19bにより求め、この偏差を軸電流調節器20bにより増幅して軸電圧指令値 v^* を演算する。

上記電圧指令値 v^* 、 v^* は、電圧座標変換器15によって相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に変換される。

【0050】

10

PWM回路13は、上記相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* と入力電圧検出回路12により検出した入力電圧検出値 E_{dc} とから、電力変換器70内部の半導体スイッチング素子をオン・オフ制御するためのゲート信号を生成する。電力変換器70は、上記ゲート信号に基づいて半導体スイッチング素子をオン・オフし、永久磁石形同期電動機80の端子電圧を相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に制御する。

【0051】

次に、この実施形態において、回転子の速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を演算するための構成及び動作を説明する。

前記拡張誘起電圧演算器30は、数式3の軸電圧 v 、軸電圧 v を軸電圧指令値 v^* 、軸電圧指令値 v^* に置き換えた数式により、軸電圧指令値 v^* 、軸電圧指令値 v^* 、軸電流検出値 i 、軸電流検出値 i 、速度 ω_1 及び電動機定数を用いて、軸拡張誘起電圧 E_{ex} 、軸拡張誘起電圧 E_{ex} を演算する。

20

【0052】

拡張磁束演算器31は、軸拡張誘起電圧 E_{ex} 、軸拡張誘起電圧 E_{ex} 及び速度 ω_1 を用いて、軸拡張磁束 Ψ_{ex} 、軸拡張磁束 Ψ_{ex} を演算する。なお、拡張磁束演算器31の具体的な構成については後述する。

角度演算器32は、拡張磁束 Ψ_{ex} の角度 $\delta_{\Psi_{ex}}$ を数式15により演算する。

【0053】

【数15】

$$\delta_{\Psi_{ex}} = \tan^{-1} \left(\frac{\Psi_{ex\delta}}{\Psi_{ex\gamma}} \right)$$

30

【0054】

前述した数式10より、拡張磁束の角度 $\delta_{\Psi_{ex}}$ と磁極位置演算誤差 θ_{err} とは、数式16の関係にある。

【0055】

【数16】

$$\delta_{\Psi_{ex}} = -\theta_{err}$$

40

【0056】

速度演算器33はPI調節器によって構成されており、数式17を用いて拡張磁束の角度 $\delta_{\Psi_{ex}}$ を増幅することにより速度演算値 ω_1 を求める。

【0057】

【数 17】

$$\omega_1 = K_{P\theta} (\delta_{\Psi_{ex}}) + K_{I\theta} \int (\delta_{\Psi_{ex}}) dt$$

ここで、

 $K_{P\theta}$: 速度演算器比例ゲイン, $K_{I\theta}$: 速度演算器積分ゲイン

【0058】

10

磁極位置演算器 34 は積分器によって構成されており、前述の数式 6 を用いて速度演算値 ω_1 を積分することにより磁極位置演算値 θ_1 を求める。

【0059】

次に、前記拡張磁束演算器 31 の具体的な構成を、図 2 及び図 3 を参照して説明する。

まず、図 2 は、拡張磁束演算器 31 の第 1 実施例を示すブロック図であり、請求項 2 に係る発明に相当する。

数式 9 に基づき、拡張磁束 e_x は、拡張誘起電圧 E_{e_x} を 90 度遅らせたベクトルを速度演算値 ω_1 により除算して数式 18 のように演算する。

【0060】

【数 18】

20

$$\begin{bmatrix} \Psi_{ex\gamma} \\ \Psi_{ex\delta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\omega_1} \begin{bmatrix} E_{ex\delta} \\ -E_{ex\gamma} \end{bmatrix}$$

【0061】

図 2 において、上記の数式 18 の演算は、ゲイン 31a 及び除算器 31b, 31c により実現される。更に、除算器 31b, 31c の出力をそれぞれローパスフィルタ 31d, 31e に通すことでノイズ成分を除去し、最終的な 軸拡張磁束 e_x , 軸拡張磁束 e_x を求める。これらの 軸拡張磁束 e_x , 軸拡張磁束 e_x は、前述したように角度演算器 32 に入力される。

30

【0062】

前述した特許文献 2 に係る従来技術では、磁極位置演算誤差 e_{rr} が零近傍であると近似し、数式 12 に示した如く 軸拡張磁束 e_x が磁極位置演算誤差 e_{rr} にほぼ比例することを利用して速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を演算している。

これに対し、本実施例では、特許文献 2 のような近似を行っていないため、磁極位置演算誤差 e_{rr} の大きさに関わらず、軸拡張磁束 e_x 及び 軸拡張磁束 e_x から求めた拡張磁束の角度 e_x に基づいて速度 ω_1 及び磁極位置 θ_1 を正確に検出することができる。

【0063】

40

次に、拡張磁束演算器 31 の第 2 実施例を図 3 に基づいて説明する。

この第 2 実施例を第 1 実施例と比較すると、拡張磁束の演算を、除算器を用いずに実現している点に特徴がある。なお、この実施例は、請求項 3 に係る発明に相当するものである。

【0064】

すなわち、図 3 において、拡張誘起電圧ベクトル E_{e_x} を 90 度遅らせたベクトルの各成分である E_{e_x} , $-E_{e_x}$ を減算器 31f, 31g にそれぞれ入力すると共に、軸拡張磁束 e_x と速度演算値 ω_1 との積、軸拡張磁束 e_x と速度演算値 ω_1 との積を乗算器 31j, 31k によりそれぞれ演算する。そして、減算器 31f により E_{e_x} と乗算器 31j の出力との偏差を求めて 軸拡張磁束演算部 31h に入力すると共に

50

、減算器 31g により $-E_{ex}$ と乗算器 31k の出力との偏差を求めて 軸拡張磁束演算部 31i に入力する。

【0065】

軸拡張磁束演算部 31h、軸拡張磁束演算部 31i では、それぞれの入力偏差を増幅することで 軸拡張磁束 e_x 、軸拡張磁束 e_x を演算する。ここで、軸拡張磁束演算部 31h、軸拡張磁束演算部 31i は、積分調節器により構成される。

図 3 のブロック図による拡張磁束演算器を数式により表現すると、数式 19 となる。

【0066】

【数 19】

$$\Psi_{exy} = K_{I\Psi_{ex}} \text{sign}(\omega_1) \int (E_{ex\delta} - \omega_1 \Psi_{exy}) dt$$

$$\Psi_{ex\delta} = K_{I\Psi_{ex}} \text{sign}(\omega_1) \int (-E_{exy} - \omega_1 \Psi_{ex\delta}) dt$$

10

ここで、

$K_{I\Psi_{ex}}$: 拡張磁束演算器積分ゲイン、

$\text{sign}(\omega_1)$: 符号関数、 $\omega_1 \geq 0$ で $\text{sign}(\omega_1) = 1$ 、

$\omega_1 < 0$ で $\text{sign}(\omega_1) = -1$

20

【0067】

この実施例によれば、第 1 実施例のように拡張誘起電圧 E_{ex} を速度演算値 ω_1 により直接除算して拡張磁束を演算する方法によらないため、軸拡張磁束演算部 31h 及び軸拡張磁束演算部 31i により 軸拡張磁束 e_x 、軸拡張磁束 e_x を真値に収束させて低速運転時にも拡張磁束を高精度に求めることができ、この拡張磁束の角度を用いて回転子の速度及び磁極位置を正確に演算することができる。

【図面の簡単な説明】

【0068】

【図 1】本発明の実施形態を示すブロック図である。

30

【図 2】拡張磁束演算器の第 1 実施例を示すブロック図である。

【図 3】拡張磁束演算器の第 2 実施例を示すブロック図である。

【図 4】d q 軸と 軸との関係を示す図である。

【図 5】数式 1、数式 2 による永久磁石形同期電動機の電圧方程式を示すベクトル図である。

【図 6】拡張誘起電圧と拡張磁束との関係を示すベクトル図である。

【符号の説明】

【0069】

50 : 三相交流電源

60 : 整流回路

40

70 : 電力変換器

80 : 永久磁石形同期電動機

11u : u 相電流検出回路

11w : w 相電流検出回路

12 : 入力電圧検出回路

13 : PWM 回路

14 : 電流座標変換器

15 : 電圧座標変換器

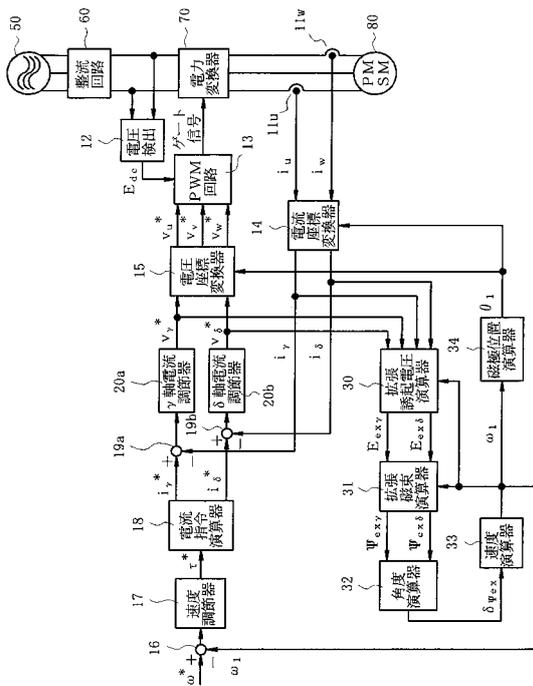
16, 19a, 19b : 減算器

17 : 速度調節器

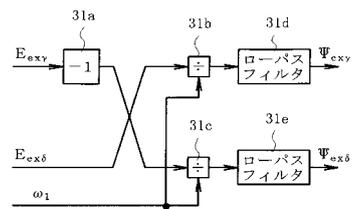
50

- 18 : 電流指令演算器
- 20 a : 軸電流調節器
- 20 b : 軸電流調節器
- 30 : 拡張誘起電圧演算器
- 31 a : ゲイン
- 31 b , 31 c : 除算器
- 31 d , 31 e : ローパスフィルタ
- 31 f , 31 g : 減算器
- 31 h : 軸拡張磁束演算部
- 31 i : 軸拡張磁束演算部
- 31 j , 31 k : 乗算器
- 31 : 拡張磁束演算器
- 32 : 角度演算器
- 33 : 速度演算器
- 34 : 磁極位置演算器

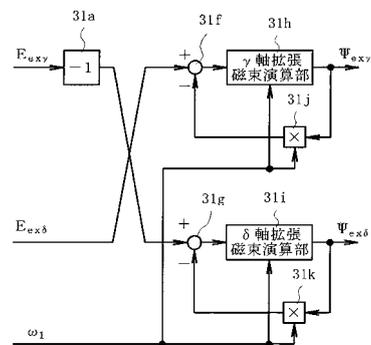
【図1】



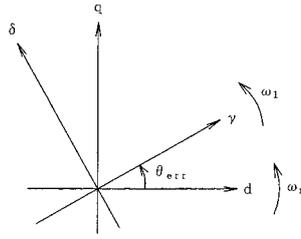
【図2】



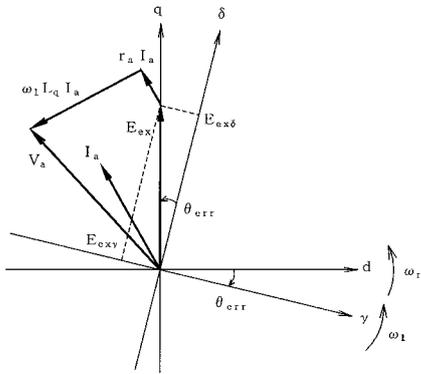
【図3】



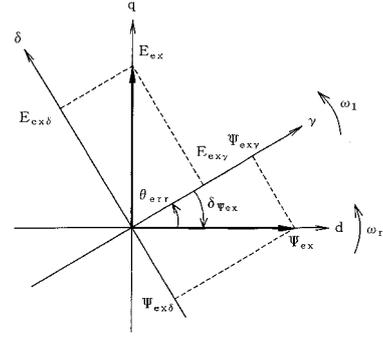
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 糸魚川 信夫
東京都品川区大崎一丁目11番2号 富士電機機器制御株式会社内

審査官 森山 拓哉

(56)参考文献 特開2006-191737(JP,A)
特開2005-110473(JP,A)
特開2003-219698(JP,A)
特開2004-32905(JP,A)
特開2005-261138(JP,A)
特開2001-251889(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 21/00
H02P 6/18
H02P 27/04