

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5501580号  
(P5501580)

(45) 発行日 平成26年5月21日 (2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月20日 (2014.3.20)

(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 18 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2008-191634 (P2008-191634)	(73) 特許権者	503236555
(22) 出願日	平成20年7月25日 (2008.7.25)		バウミュラー ニュルンベルク ゲーエム ベーハー
(65) 公開番号	特開2009-33963 (P2009-33963A)		ドイツ国 90482 ニュルンベルク オステントシュトラッセ 80
(43) 公開日	平成21年2月12日 (2009.2.12)	(74) 代理人	100102842
審査請求日	平成23年7月14日 (2011.7.14)		弁理士 葛和 清司
(31) 優先権主張番号	07113231.0	(72) 発明者	フリッツ ライナー・ゲッツ
(32) 優先日	平成19年7月26日 (2007.7.26)		ドイツ連邦共和国 90522 オーバー アスバッハ、コンラット-アデナウアー- シュトラッセ 25
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(72) 発明者	ヴィクトール・バーリンベルク
			ドイツ連邦共和国 90491 ニュルン ベルク、ドクトル-カルロー-シュミット- シュトラッセ 42

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気モータの永久磁石ロータにおける位置および速度の推定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータにおける多相電流計測を使用する、特に駆動制御回路用の、ブラシレスの直線電気モータまたは回転電気モータの永久磁石ロータの電気的な駆動速度 ( $\omega_{em}$ ) および位置 ( $\theta_{em}$ ) を推定する方法において、前記電流計測の計測値 ( $i_1$ 、 $i_2$ ) は、推定位置 ( $\theta_{em}$ ) に応じて、ロータ関係の d、q 座標システムに、すなわち縦電流ベクトル成分 ( $i_d$ ) と横電流ベクトル成分 ( $i_q$ ) とに変換されて、電流の縦ベクトル成分および横ベクトル成分 ( $i_d$ 、 $i_q$ ) および電圧要求 ( $u_d$ 、 $u_q$ ) が、推定速度 ( $\omega_{em}$ ) と合わせて入力変数として、数学的モータモデル (9) に供給され、モータモデル (9) は、第1の出力変数 ( $u_d$ ) および第2の出力変数 ( $u_q$ ) を生成して、前記第1の出力変数 ( $u_d$ ) は、d、q 座標システム内で d ベクトル成分または縦ベクトル成分と、位置推定誤差にも対応し、第2の出力変数 ( $u_q$ ) は、d、q 座標システム内で q ベクトル成分または横ベクトル成分と、速度推定誤差とに対応し、前記2つの出力変数 ( $u_d$ 、 $u_q$ ) は、前記位置 ( $\theta_{em}$ ) および/または速度 ( $\omega_{em}$ ) を推定して出力するために、トラッキングコントローラ (6) に供給される、方法であって、

前記モータモデルから、第3の出力変数 ( $u_L$ ) が計算されること、

a) 前記電流の縦ベクトル成分および横ベクトル成分 ( $i_d$ 、 $i_q$ ) は、モータの縦インダクタンスおよび横インダクタンス ( $L_d$ 、 $L_q$ ) でそれぞれ重み付けされていること、および

b) 前記第3の出力変数 ( $u_L$ ) は、前記2つの重み付け結果の差から形成されるこ

とを特徴として、

前記第3の出力変数 ( $u_L$ ) は前記トラッキングコントローラ (6) に供給され、前記位置 ( $e_m$ ) および速度 ( $e_m$ ) を推定するために処理される、前記方法。

【請求項2】

縦インダクタンス ( $L_d$ ) で重み付けされた電流直線成分 ( $i_d$ ) が、推定速度 ( $e_m$ ) の符号または方向によって影響されることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

モータモデル (9) において、2つの重み付け結果から形成される差分が、モータ特有EMF定数 ( $K_E$ ) および時間定数 ( $T$ ) によって影響されることを特徴とする、請求項1また2に記載の方法。

【請求項4】

モータモデル (9) において、差分が、EMF定数 ( $K_E$ ) および時間定数 ( $T$ ) によって除算され、トラッキングコントローラ (5) において、同一のEMF定数 ( $K_E$ ) および同一の時間定数 ( $T$ ) が、比例 ( $k_p$ ) 増幅された位置推定誤差 ( $u_d$ ) と速度推定誤差 ( $u_q$ ) とから形成される差分を積分するためのパラメータとして使用されることを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

トラッキングコントローラ (6) において、それに供給される第3の出力変数 ( $u_L$ ) が、場合によっては比例的 ( $k_p$ ) に増幅された位置推定誤差 ( $u_d$ ) および速度推定誤差 ( $u_q$ ) から形成される、差分 (21) の積分 (22) の結果と合計される方法で組み合わせられ、この組合せ結果が、推定速度 ( $e_m$ ) として使用および送出されることを特徴とする、請求項1～4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】

差分 (21) が、トラッキングコントローラ (6) において形成され、および比例部分なしの積分 (22) に供されることを特徴とする、請求項5に記載の方法。

【請求項7】

モータモデル (9) において、電流縦ベクトル成分 ( $i_d$ ) は、トラッキングコントローラ (6) において位置推定誤差 ( $u_d$ ) を調節するのに使用される、比例係数 ( $k_p$ ) によって重み付けされることを特徴とする、請求項1～6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】

以下の機能構成要素：

a) 回路内への実装および/またはプログラミングの可能なモータモデリングモジュール (9)、但し以下を含む：

aa) ステータ電流 ( $i_1$ 、 $i_2$ ) および電圧要求の、モータ縦ベクトル成分および横ベクトル成分 ( $i_d$ 、 $i_q$ ； $u_d$ 、 $u_q$ )、ならびにロータ関係のd、q座標システムに変換された推定速度 ( $e_m$ ) のための入力インターフェイス (10、11、12)、

ab) d、q座標システムに変換された、内部的に計算された電圧偏差のベクトル成分 ( $u_d$ 、 $u_q$ ) のための少なくとも2つの出力インターフェイス (13、14)；および

b) 位置および速度の送出に対して、回路内および/またはプログラミングでの実装が可能なトラッキングコントローラ (6)、但し以下に接続されている：

ba) 入力側で、モデリングモジュール (9) の少なくとも2つの出力インターフェイス (13、14)、

bb) 出力側で、モデリングモジュール (9) の速度入力インターフェイス (1)、を備える、請求項1～7のいずれかに記載の推定方法を実行する駆動制御回路用の、ブラシレスの直線電気モータまたは回転電気モータの永久磁石ロータの電気的な駆動位置 ( $e_m$ ) および速度 ( $e_m$ ) を推定する装置であって、

前記モータモデリングモジュール (9) が、インダクタンス電圧偏差 ( $u_L$ ) 用の少なくとも第3の出力インターフェイス (27) を有して、比例要素 (A、D) を用いて、

10

20

30

40

50

ステータ(1)またはモータの縦インダクタンスまたは横インダクタンス( $L_d$ 、 $L_q$ )に対する固定値によって、電流縦ベクトル成分および電流横ベクトル成分( $i_d$ 、 $i_q$ )に対する入力値を評価し、インダクタンス積算要素(26)を用いて、インダクタンスで重み付けされた入力値から差分を生成し、これらを第3の出力インターフェイス(27)を經由して送出するように設計されており、トラッキングコントローラ(6)が、前記差分を入力側で受け取るように連結されて速度( $e_m$ )の推定のために前記差分を処理し、前記速度をモデリングモジュール(9)の速度入力インターフェイス(10)に送出するように具現化されている、ことを特徴とする前記推定装置。

【請求項9】

モータモデル(9)において、電流縦ベクトル成分( $i_d$ )のための入力インターフェイス(11)が、比例増幅( $k_p$ )を有する比例要素(A)に供給され、トラッキングコントローラ(6)において、比例要素(20)が、位置推定誤差( $u_d$ )の重み付けのために、同一の比例増幅( $k_p$ )を有して配置されていることを特徴とする、請求項8に記載の推定装置。

10

【請求項10】

モータモデルにおいて、比例増幅( $k_p$ )を有する比例要素が、縦インダクタンス固定値( $L_d$ )に対応するインダクタンス比例要素(A)と直列に接続されていることを特徴とする、請求項9に記載の推定装置。

【請求項11】

インダクタンス積算要素(26)の出力は、EMF定数( $K_E$ )および時間定数(T)に対応して大きさが決められた比例要素(C)を介して第3の出力インターフェイス(27)と接続されており、トラッキングコントローラ(6)内において、場合によっては重み付けされるか、またはその他の方法で処理された、前方に配置されたモデリングモジュール(9)によって供給される電圧偏差のd、qベクトル成分( $u_d$ 、 $u_q$ )の組合せを処理するために、同一または類似のEMF定数( $K_E$ )および時間定数(T)に対応して調節された、第1の積分要素(22)が配置されていることを特徴とする、請求項8、9または10に記載の推定装置。

20

【請求項12】

a) ロータ関係のd、q座標システムに変換された、電流のモータ縦ベクトル成分およびモータ横ベクトル成分と電圧要求( $i_d$ 、 $i_q$ ;  $u_d$ 、 $u_q$ )、ならびに外部的に推定された推定速度( $e_m$ )のための入力インターフェイス(11)

30

b) d、q座標システムに変換された、内部的に計算された電圧偏差の縦ベクトル成分および横ベクトル成分( $u_d$ 、 $u_q$ )のための少なくとも2つの出力インターフェイス(13、14)、および

c) オームステータまたはモータ抵抗( $r$ )ならびに1つまたは2つ以上のステータインダクタンスまたはモータインダクタンス( $L_d$ 、 $L_q$ )によって電流ベクトル成分( $i_d$ 、 $i_q$ )の重み付けをするための複数比例要素( $r$ 、A、D)、

を備える、請求項8または9に記載の推定装置での使用に適する、永久磁石ロータを備える、直線電気モータまたは回転電気モータ用のモータモデリングモジュールであって、

少なくとも第3の出力インターフェイス(27)が、インダクタンス電圧偏差( $u_L$ )のために配置されており、その偏差の生成のために、縦インダクタンスおよび横インダクタンス( $L_d$ 、 $L_q$ )に対応する増幅を有する1つの縦インダクタンス比例要素および1つの横インダクタンス比例要素(A、D)が配置され、これらは、入力側で電流縦ベクトル成分および横ベクトル成分( $i_d$ 、 $i_q$ )のための入力インターフェイス(11)と連結されており、2つの比例要素出力が、インダクタンス積算要素(26)と直接的または間接的に結合されており、前記インダクタンス積算要素(26)の出力が、前記第3の出力インターフェイス(27)と直接的または間接的に結合されていることを特徴とする、前記モータモデリングモジュール。

40

【請求項13】

符号要素(15)であって、その入力において、外部的に推定されたモータ速度( $e$ )

50

$m$ ) のための入力インターフェイス (10) と接続され、出力側において、乗算器要素 (B) を介して比例要素 (A、D) の出力と連結されており、この比例要素は、縦インダクタンスおよび横インダクタンス ( $L_d$ 、 $L_q$ ) によって縦ベクトル成分および横ベクトル成分 ( $i_d$ 、 $i_q$ ) の重み付けを実行する、符号要素 (15) であることを特徴とする、請求項 12 に記載のモータモデリングモジュール。

【請求項 14】

インダクタンス積算要素 (26) の出力が、その比例増幅がモータ特有 E M F 定数 ( $K_E$ ) および時間定数 ( $T$ ) に対する一定値を介して推定される、比例要素 (C) を介して、第 3 の出力インターフェイス (27) に供給されることを特徴とする、請求項 12 または 13 に記載のモータモデリングモジュール。

10

【請求項 15】

以下の特徴：

a)  $d$ 、 $q$  座標システムに変換された、外部的に計算され入力された電圧偏差の縦ベクトル成分および横ベクトル成分 ( $u_d$ 、 $u_q$ ) のための少なくとも 2 つの入力インターフェイス (18、19)、

b) 内部的に推定された駆動速度 ( $e_m$ ) のための少なくとも 1 つの出力インターフェイス (23)、

c) その入力が外部的に計算された電圧偏差または位置推定誤差 ( $u$ ) の縦ベクトル成分 ( $u_d$ ) のための入力インターフェイス (18) に接続されている、比例要素 (20、 $k_p$ )、

20

d) その第 1 の入力が比例要素 (20、 $k_p$ ) の出力と接続され、その第 2 の入力が、第 2 の入力インターフェイス (19) を介して電圧偏差または速度の推定における誤差の横ベクトル成分 ( $u_q$ ) と接続されている、第 1 のトラッキング積算要素 (21)、

を含む、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法を実行するため、または該方法による推定装置に使用する、トラッキングコントローラ (6) であって、

外部的に供給されるインダクタンス電圧偏差 ( $u_L$ ) のための少なくとも 1 つの第 3 の入力インターフェイス (28) であって、連結要素の第 1 の入力と接続されて、連結要素の第 2 の入力が、第 1 のトラッキング積算要素 (21) の出力を直接的または間接的に取り込み、連結要素の出力が、駆動速度 ( $e_m$ ) のための少なくとも 1 つの出力インターフェイス (23) によってアクセス可能である、前記第 3 の入力インターフェイス (28) を特徴とする、前記トラッキングコントローラ。

30

【請求項 16】

連結要素が、直接的または間接的に第 1 のトラッキング積算要素 (21) の後に配置される第 2 のトラッキング積算要素 (29) として具現化されていることを特徴とする、請求項 15 に記載のトラッキングコントローラ。

【請求項 17】

単一の積分要素 (22) が、第 1 のトラッキング積算要素 (21) と連結要素または第 2 のトラッキング積算要素 (29) との間に配置されていることを特徴とする、請求項 15 または 16 に記載のトラッキングコントローラ。

【請求項 18】

40

積分要素 (22) が、比例部分を含めず、かつ/または E M F 定数 ( $K_E$ ) および/または時間定数 ( $T$ ) に基づいて、大きさを決められていることを特徴とする、請求項 17 に記載のトラッキングコントローラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ブラシレス電気モータの永久磁石ロータの駆動速度および位置を推定する方法に関する。この方法は、駆動制御回路に使用するのに特に適している。この方法に対しては、モータについて多相電流計測が使用され、その計測値は、推定された位置に応じて、ロータ関連  $d$ 、 $q$  座標システム ( $d$ 、 $q$ -reference frame)、すなわち縦電流ベクトル成

50

分 (direct current vector component) と横電流ベクトル成分 (quadrature current vector component) に変換される。推定された (電氣的) rpm と合わせて、電流および電圧要求の縦ベクトル成分および横ベクトル成分が、入力変数として電気モータの数学モデルに適用される。このモータモデルは、第 1 の出力変数および第 2 の出力変数を生成し、この第 1 の出力変数は、d、q 座標システムにおいて、d - 成分または縦ベクトル成分、ならびに位置推定誤差に対応し、第 2 の出力変数は、d、q 座標システムにおいて、q 成分または横成分、ならびに速度推定誤算に対応する。これらの 2 つの出力変数は、速度または電氣的 rpm、および位置または電氣的角度を推定して出力する、トラッキングコントローラに適用される。本発明は、さらに、付帯的な独立請求項 8、12 および 15 のそれぞれの先頭部分またはブリアンブルに記載された、この方法を実施するための位置推定 / 速度推定装置、モータモデリングモジュール、および速度トラッカーに関する。

10

#### 【背景技術】

#### 【0002】

ブラシレス電気駆動モータにおける永久磁石ロータの位置および速度の推定に対して、オーストリアの専門雑誌「Elektrotechnik und Informationstechnik」の 2000 年第 2 号に M. Schroedl と E. Robeischl によるページ 103 ~ 112 の記事「Controlled Drives」が、高速度 (公称速度より約 10 ~ 20 % 上の領域) での電流量から、例えば、駆動制御に必要な位置および速度をリアルタイムで推定することのできる、永久磁石同期モータの EMF モデルまたは電圧モデルについての情報を提供している。ステータ巻線中に誘発された電圧に基づくロータ位置の推定は、電流制御に影響を与えない。その基本的なアイデアは、ステータ鎖交磁束空間ベクトル (stator flux linkage space vector) における変化を評価する計測方法を用いることである。電流信号の計測によって、永久磁石ロータの永久磁石鎖交磁束 (permanent magnet flux linkage) における変化が検出される。

20

#### 【0003】

最初の段落で言及したほぼ同種類の、永久磁石ロータを備える、ブラシレス電気モータ、特に同期モータにおける駆動位置および / または速度を推定するシステムが、S. M. Abu-Sharkh と V. Barinberg の文献、「A new approach to rotor position estimation for a PM brushless motor drive」、Mediterranean Electrotechnical Conference, 1998 年、p 1199 - 1203 において知られている。それによれば、ロータ位置および / または速度が、同様に電気モータの EMF - 電圧モデルを使用して同定される。それに対して必要であるが、実際には問題のある、電流信号の微分が、パラメータ敏感ローパスフィルタを使用することによって回避され、このフィルタの時間遅延の影響が、その後に入入される、比例積分 (proportional-plus-integral) トラッキングコントローラ (PI トラッキングフィルタ) によって補償される。ローパスフィルタの時間定数は、電気モータのステータ時間定数に対応する。ローパスフィルタを使用することによって、位置および速度の推定誤差が重み付けされる。

30

#### 【発明の開示】

#### 【0004】

本発明の基礎となる課題は、駆動位置および速度を推定するシステムを、構造的に簡略化することである。この課題の解決のために、我々は、請求項 1 に示す推定方法、請求 8 に示す推定装置、請求項 12 に示すモータモデリングモジュール、および請求項 15 に示すトラッキングコントローラに言及する。本発明の優位性がある任意選択のさらに別の態様を、従属請求項から収集することができる。

40

#### 【0005】

本発明によれば、モータモデルは、第 3 の偏差変数をトラッキングコントローラに出力するように、動作することは確かであるが、その第 3 の出力変数は、一定のインダクタンス値に等しい比例ゲインを介しての重み付け、ならびに加算および減算を含むだけの、実装が容易な計算ステップによって生成され、したがって、P 要素および積算 (summing) 要素のような、計算上簡潔で迅速な機能構成要素によって実現されるものである。したがって、特に、電流の微分も、最新技術を用いて上述のように使用されるローパスフィル

50

タなどの追加の位相遅延フィルタも必要ではないので、この発明によって、効率の向上という利点を得ることができる。

【0006】

モータモデルの一部として、2つの重み付け結果（縦インダクタンスにより重み付けされた電流縦成分、および横インダクタンスによって重み付けされた電流横成分）を、モータ専用EFM定数または時間定数に応じて、修正するのが適切である。次いで、特に利点があるのは、トラッキングコントローラにおいて、上記の定数を積分パラメータとして、位置および速度を推定する上での誤差（それぞれ「位置偏差」および「速度偏差」）間の差分、または電圧偏差のそれぞれの縦成分および横成分の間の差分の積分を実施することができる。

10

【0007】

本発明のさらに別の一態様においては、トラッキングコントローラに供給される第3の出力変数が、位置推定誤差と速度推定誤差の間の差の積分結果に加えられるか、またはその他の方法で関連づけられる。必要であれば、位置推定誤差は、事前に比例的に増幅することができる。次いで、この結果をトラッキングコントローラから推定速度として出力することができる。得られる利点は、トラッキングコントローラの構造が簡略化されて、純粹積分要素によって、より複雑な比例積分（PI）要素が回避される。

【0008】

本発明の一態様によれば、第3の出力変数をトラッキングコントローラに転送することによって、そこでの比例要素（「位置コントローラ」と解釈することができる）と、比例部分のない第2の純粹積分要素（「速度コントローラ」と解釈することができる）とが、これらの後に挿入される積算場所へとスキップされる。したがって、第3の出力変数を形成する際に、（スキップされた）比例増幅の効果を、モータモデルにおいて発揮させるのが適当である。これは、モータモデルへ挿入した後に、その中で電流縦ベクトル成分が、この比例増幅またはゲインによって重み付けされるようにして、実装することができる。

20

本発明に基づくさらなる詳細、特徴、特徴の組合せ、利点および効果は、本発明の好ましい態様の以下の説明に加えて、図面から収集することができる。

【0009】

図1によれば、永久磁石ロータを備える同期モータなどのブラシレス電気モータのステータ1は、3相交流によるパルス幅変調（PWM）に基づいて動作する、変換器2によって給電される。電流制御のために、ステータから、2相電流 $i_1$ 、 $i_2$ がアクセスされて計測され、これが、3相/2相変換ユニット3内で、ステータ関係の直交座標システムに変換される。この変換の過程で、ステータ電流 $i_1$ 、 $i_2$ を表わす2つのベクトル成分 $i_d$ 、 $i_q$ が生成されて、その後挿入される第2の座標変換ユニット4へと出力される。これは、ステータ関係の直交座標システムから、電流縦ベクトル成分 $i_d$ および電流横ベクトル成分 $i_q$ の出力を伴う、ロータ関係のd、q座標システムへの座標変換を実施するように具現化される。ステータ電流の縦ベクトル成分 $i_d$ および横ベクトル成分 $i_q$ は、対応する縦電流指令値 $i_{d\text{sol1}}$ および横電流指令値 $i_{q\text{sol1}}$ との比較のために、フィードバック値として、縦電流調整器 $I_d$ および横電流調整器 $I_q$ に伝えられる。

30

40

【0010】

専門分野での習慣であるように、縦電流指令値 $i_{d\text{sol1}}$ はゼロに事前設定され、これに対して横電流調整器は、前方に配置された速度コントローラ6から指令値 $I_{q\text{sol1}}$ を受け取る。これは、指令rpm値 $r_{\text{sol1}}$ と、電氣的rpm $r_{em}$ に対してトラッキングコントローラ6によって送出される計算値または推定値との比較を実施する。さらに、推定電氣的角度 $\theta_{em}$ が、トラッキングコントローラ6によって送り出されて、第2の変換ユニット4に供給されるとともに、それを補完する第3の変換ユニット7にも供給される。第3の変換ユニット7は、電流コントローラ $I_d$ 、 $I_q$ から、縦電圧要求ベクトル成分 $u_d$ および横電圧要求ベクトル成分 $u_q$ をさらに受け取り、それらを、電圧要求ベクトル成分 $u$ 、 $u$ を備えるステータ関係の直交座標システムに変換する。後者の電

50

圧ベクトル成分は、2 / 3 位相変換ユニット 8 が受け取り、この位相変換ユニット 8 は、その後配置される変換器 2 のために、電圧要求を 3 つの対応する位相  $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  に変換する。

#### 【0011】

図 1 によれば、モータモデリングモジュール 9 は、トラッキングコントローラ 6 の前方に配置されている。これは、推定  $rpm_{em}$  のための入力インターフェイス 10、計測されて  $d$ 、 $q$  座標システムに変換された縦電流  $i_d$  および横電流  $i_q$  のためのインターフェイス 11、および  $d$ 、 $q$  座標システム内の縦電圧要求  $u_d$  および横電圧要求  $u_q$  のためのインターフェイス 12 を有する。さらに、モデリングモジュール 9 は、縦電圧偏差  $u_d$  のための第 1 の出力インターフェイス 13、および横電圧偏差  $u_q$  のための第 2 の出力インターフェイス 14 を有する。

10

#### 【0012】

図 1 によれば、 $rpm$  入力インターフェイス 10 を介してモータモデル 9 に供給された推定  $rpm_{em}$  は、複数の個別比例要素によって重み付けされ、これらの要素の増幅は、EMF 定数  $K_E$ 、モータ縦インダクタンス  $L_d$ 、およびモータ横インダクタンス  $L_q$  に対応する。さらに、入力された  $rpm_{em}$  は、符号要素 15 によって重み付けされる。インダクタンス比例要素  $L_d$ 、 $L_q$  は、それぞれ、専用に割り当てられた乗算器  $M_d$ 、 $M_q$  に接続されている。

乗算器  $M_d$ 、 $M_q$  の第 2 の入力、それぞれ縦電流  $i_d$  および横電流  $i_q$  に対して、対応する 2 つの電流入力インターフェイス 11 にそれぞれ接続されている。乗算器要素  $M_d$ 、 $M_q$  のそれぞれの出力は、それぞれ縦電圧積算ユニット  $S_q$  および横電圧積算ユニット  $S_d$  に、それぞれ負符号および正符号で接続されている。縦電圧積算ユニット  $S_q$  および横電圧積算ユニット  $S_d$  の第 2 の入力のそれぞれは、電圧入力インターフェイス 12 を介して、縦電圧要求  $u_d$  および横電圧要求  $u_q$  に、正符号で接続されている。

20

#### 【0013】

2 つの電圧積算要素  $S_d$ 、 $S_q$  はそれぞれ、追加の負入力（それぞれ負符号を有する）を有し、この入力に、抵抗およびインダクタンスの縦電圧中間（intermediate）値および横電圧中間（intermediate）値の積算のための、2 つの電圧積算要素  $VS_d$ 、 $VS_q$  の特定の出力が割り当てられており、これらの値は、電流入力インターフェイス 11 を介して供給される縦電流および横電流を使用して生成される。この生成のために、一方では、比例要素が、抵抗に対応する増幅  $r$  で役割を果たす。他方で、モータ物理で要求されるように、電圧  $in\ element\ i\ a\ t\ e$  値の計算のために、誘導要素および縦誘導率  $L_d$  および横誘導率  $L_q$  が、微分器  $sL_d$ 、 $sL_q$ （ $s$  微分ラプラス演算子）を使用して実装される。比例要素  $r$  および微分器  $sL_d$ 、 $sL_q$  の入力、対応する電流入力インターフェイス 11 によって、それに連結されている。比例要素  $r$  および微分器  $sL_d$ 、 $sL_q$  の出力は、したがって、積算要素  $VS_d$ 、 $VS_q$  の正符号のそれぞれの入力に接続されている。

30

#### 【0014】

図 1 によれば、「符号」要素 15 は、入力側で、 $rpm$  入力インターフェイス 10 と連結されており、出力側で、符号付き乗算器  $SM_d$  の第 1 の入力と連結されている。その第 2 の入力は、縦電圧積算要素  $S_d$  の出力と接続されており、符号付き乗算器  $SM_d$  の出力は、電圧偏差の縦ベクトル成分  $u_d$  のための第 1 の出力インターフェイス 13 と連結されている。この手段によって、位置推定誤差の計算において、電気モータのロータ速度の方向を考慮することができる。

40

#### 【0015】

図 1 によれば、速度推定誤差を計算する際に、電圧偏差の横ベクトル成分  $u_q$  の形態で、EMF モータ定数が、対応する増幅ゲインに大きさを合わせられている比例要素 16 を介して入力される。このために、入力側で EMF 比例要素は、 $rpm$  入力インターフェイス 10 と連結されている。出力側で、EMF 比例要素 16 は、EMF 積算要素 17 の負入力に接続されており、その正入力は、横電圧積算要素  $S_q$  の出力に接続されている。E

50

M F 積算要素 17 の出力は、後に配置されたトラッキングコントローラ 6 へ速度推定誤差を送出するために、モデリングモジュールの第 2 の出力インターフェイスまたは横電圧偏差出力インターフェイス 14 に直接、供給される。

【 0 0 1 6 】

図 1 によれば、トラッキングコントローラは、モデリングモジュール 9 内で計算される電圧偏差の縦ベクトル成分  $u_d$  および横ベクトル成分  $u_q$  のための、2 つの入力インターフェイス 18、19 を有する。縦ベクトル成分は、位置推定誤差に対応し、横ベクトル成分は、速度推定誤差に対応する。縦電圧偏差  $u_d$  のための入力インターフェイス 18 は、比例要素 20 に直接、供給され、この比例要素 20 は、比例増幅  $k_p$  で大きさが決められて、出力側で、第 1 のトラッキング積算要素 21 の負入力に接続されている。その正入力は、内部的に、トラッキングコントローラ 6 内で横電圧偏差  $u_q$  のための入力インターフェイスと直接接続されている。積算結果は、出力側で、第 1 の積分要素 22 に送られて、この第 1 の積分要素 22 は、本発明によれば、比例部分が組み込まれておらず、E M F 定数  $K_E$  および時間定数  $T$  に基づいて大きさが決められている。

10

【 0 0 1 7 】

その出力において、縦電圧偏差および横電圧偏差の差分の時間軸での積分を介して、推定駆動角速度または  $r p m$ 、 $e_m$  が得られ、これが、第 1 のトラッキングコントローラ出力インターフェイス 23 を介して、モータモデリングモジュール 9 および速度調節器 5 の両方に、フィードバック値として、すなわち、速度目標値  $s_{o11}$  との比較のため、および横電流指令値  $i_{qsol1}$  の計算のために供給される。さらに、トラッキングコントローラ 6 内で内部的に、推定駆動速度  $e_m$  は、第 2 の積分要素 24 で処理され、この第 2 の積分要素 24 は、そこから、よく知られた方法で、駆動位置または角度位置を計算して、それを第 2 のトラッキングコントローラ出力インターフェイス 25 を介して、送出する。上記ですでに述べたように、第 2 のトラッキングコントローラ出力インターフェイスを介して送出された、電氣的駆動位置  $e_m$  が、2 つの  $d$ 、 $q$  変換ユニット 4 および  $d$ 、 $q$  /  $\omega$  変換ユニット 7 を制御する役割をする。本発明の特有のトラッキングコントローラは、互いに直接的に追従する、2 つの積分要素 23、24 を備える、簡略化された I (積分) 構造によって、すでに特徴づけられている。

20

【 0 0 1 8 】

図 2 は、図 1 のものから修正された、駆動制御システムを示す。主な修正は、A ~ D で示されているモデリングモジュール 9 のブロック、およびトラッキングコントローラ 6 の第 3 の入力インターフェイス 28 において明白である。

30

【 0 0 1 9 】

図 2 によれば、図 1 のモデリング配設インダクタンスと比較すると、そのインダクタンス微分器  $sL_d$ 、 $sL_q$  が、増幅ゲインとして縦インダクタンス  $L_d$  および横インダクタンス  $L_q$  を備える、インダクタンス比例要素 A、D によって置き換えられている。トラッキングコントローラ 6 と関係して上記に挙げた比例要素 20 と対応する、追加の比例要素 (「位置制御要素」と解釈することができる) は、インダクタンス比例要素 A の前方、または後方に直列に接続することができる。縦ベクトル成分の原因となる、インダクタンス比例要素 A の出力は、乗算器要素 B に接続されて、この乗算器要素 B の第 2 の入力が、すでに言及した符号要素 15 の出力に連結されており、ここでロータの回転方向または直線移動方向が、考慮に入れられる。乗算器要素 B の出力は、インダクタンス積算要素 26 の正入力に接続されており、その要素の第 2 の入力は、負符号が与えられており、横電流成分の原因となる、インダクタンス比例要素 D の出力に接続されている。インダクタンス積算要素 26 の出力において生じる差分値は、割り当てられた比例要素 C によって重み付けされ、この比例要素 C は、出力側において、インダクタンス電圧偏差  $u_L$  のための第 3 の出力インターフェイス 27 と連結されて、モータ特有の E M F 定数  $K_E$  および時間定数  $T$  に対して適切に大きさが決められている。

40

【 0 0 2 0 】

図 2 によれば、第 3 の出力インターフェイスにおいて、またはインダクタンス電圧偏差

50

$u_L$  のための比例要素 C の出力において送出される値は、トラッキングコントローラ 6 の第 3 の入力インターフェイス 28 に入力される。内部的に、トラッキングコントローラ内の電圧偏差  $u_L$  は、正符号を有する、第 2 のトラッキング積算要素 29 に加えられる。第 2 のトラッキング積算要素 29 の第 2 の入力に対して、第 1 の積分要素 22 の出力は、同様に、正符号で接続される。第 2 のトラッキング積算要素 29 の出力は、推定駆動速度  $e_m$  のフィードバックのための第 1 のトラッキング出力インターフェイス 23 と、それに加えて、駆動位置  $e_m$  を推定して、第 2 および第 3 の座標変換ユニット 4、7 へ出力するための、第 2 の積分要素 24 の入力とに、直接接続されている。

【0021】

図 1 および 2 による 2 つの態様例に共通することは、位置および速度が、ステータ電流  $I_1$ 、 $I_2$  の計測だけを通して「知覚的に」推定されている点である。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図 1】精神的な開始点として、本発明の理解を助けるために、不利な電流の直接微分を包含している、モータモデルと、その後挿入される本発明特有のトラッキングコントローラとを備える駆動制御回路を示す概略ブロック図である。

【図 2】本発明によって具現化されたモータモデルと、適切に適応されたトラッキングコントローラとを備える、駆動制御回路を示す概略ブロック図である。

【符号の説明】

【0023】

- 1 ステータ
- 2 電力変換器
- 3 3 / 2 位相変換ユニット
- 4 第 2 の座標変換ユニット
- $i_s$ 、 $i_q$  ステータ関係の、座標システム内の電流成分
- $i_{ds011}$ 、 $i_{qs011}$  縦電流目標値および横電流目標値
- 5 速度コントローラ
- 6 トラッキングコントローラ
- $s_{011}$  rpm 指令値
- $e_m$  推定電氣的 rpm
- $e_m$  推定電氣的角度位置

【0024】

- 7 第 3 の座標変換ユニット
- $u_d$ 、 $u_q$  事前設定された縦電圧および横電圧
- $u_s$ 、 $u_q$ 、座標システムにおけるステータ関係の電圧要求
- 8 2 / 3 位相変換ユニット
- $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$  3 位相に対する電圧要求
- 9 モータモデリングモジュール
- 10 rpm 入力インターフェイス
- 11 電流入力インターフェイス
- 12 電圧入力インターフェイス
- 13、14 内部的に計算された電圧偏差ベクトル成分のための第 1 および第 2 の出力インターフェイス

【0025】

- $K_E$  EMF 定数
- 15 符号要素
- $M_d$ 、 $M_q$  乗算器要素
- $S_d$ 、 $S_q$  電圧積算要素
- $V S_d$ 、 $V S_q$  積算要素
- $r$  モータ抵抗に対する比例要素

10

20

30

40

50

- s L<sub>d</sub>、s L<sub>q</sub> 縦電流微分器および横電流微分器
- S M<sub>d</sub> 符号付き乗算器要素
- u<sub>d</sub> 縦ベクトル成分
- u<sub>q</sub> 横ベクトル成分
- 16 E M F 比例要素
- 17 E M F 積算要素
- 18、19 縦電圧偏差および横電圧偏差のための入力インターフェイス
- 20 比例要素
- 【 0 0 2 6 】
- 21 第1のトラッキング積算要素
- 22 第1の積分要素
- 23 第1のトラッキングコントローラ出力インターフェイス
- 24 第2の積分要素
- 25 第2のトラッキングコントローラ出力インターフェイス
- A、D インダクタンス比例要素
- B 乗算器要素
- 26 インダクタンス積算要素
- C 比例要素
- 27 第3の出力インターフェイス
- 28 第3の入力インターフェイス
- 29 第2のトラッキング積算要素

10

20

【 図 1 】

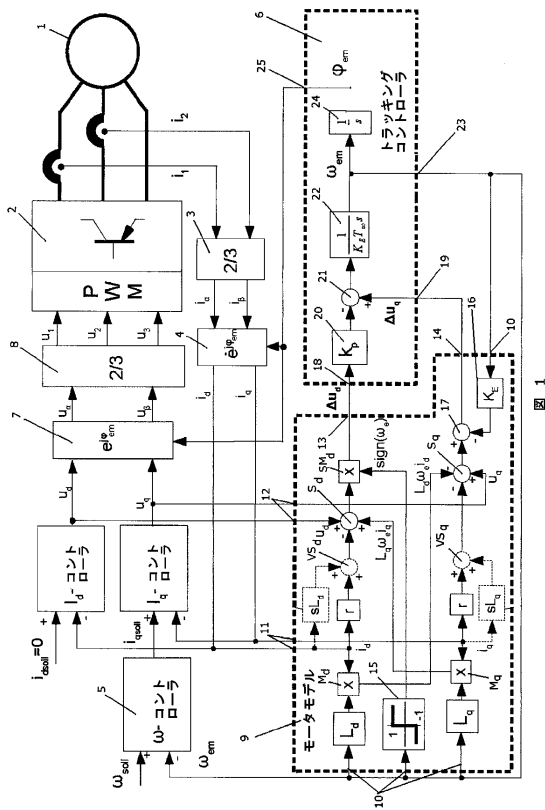


図 1

【 図 2 】

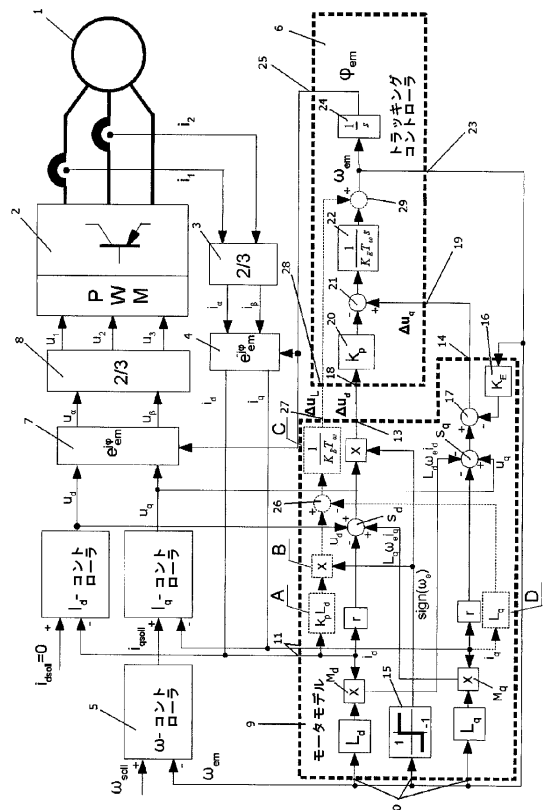


図 2

---

フロントページの続き

(72)発明者 フランツ・イエーガー

ドイツ連邦共和国 9 0 4 1 9 ニュルンベルク、アデルグンデンシュトラッセ 1 6

審査官 櫻田 正紀

(56)参考文献 特開2004 - 015858 (JP, A)

特開2001 - 251889 (JP, A)

特開2004 - 048868 (JP, A)

特開2001 - 339999 (JP, A)

Sharkh, S.M.A. et al., A new approach to rotor position estimation for a PM brushless motor drive, Electrotechnical Conference, 1998. MELECON 98., 9th Mediterranean, 1998年 5月18日, Vol.2, Pages.1199-1203

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 21/00

H02P 6/18

H02P 27/04