

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5580384号
(P5580384)

(45) 発行日 平成26年8月27日(2014.8.27)

(24) 登録日 平成26年7月18日(2014.7.18)

(51) Int. Cl. F I
 H O 2 P 21/00 (2006.01) H O 2 P 5/408 C
 H O 2 P 27/04 (2006.01)

請求項の数 12 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2012-223923 (P2012-223923)	(73) 特許権者	593121379 エルエス産電株式会社
(22) 出願日	平成24年10月9日 (2012.10.9)		LSIS CO., LTD
(65) 公開番号	特開2013-85461 (P2013-85461A)		大韓民国京畿道安養市東安区虎溪洞102
(43) 公開日	平成25年5月9日 (2013.5.9)		6-6
審査請求日	平成24年10月9日 (2012.10.9)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(31) 優先権主張番号	10-2011-0104297	(74) 代理人	100092624 弁理士 鶴田 準一
(32) 優先日	平成23年10月12日 (2011.10.12)	(74) 代理人	100114018 弁理士 南山 知広
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)	(74) 代理人	100165191 弁理士 河合 章
		(74) 代理人	100151459 弁理士 中村 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石同期電動機駆動システムのパラメータ推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

指令トルクから同期座標系上の電流指令を生成する電流指令生成部、前記電流指令から永久磁石誘導電動機(PMSM)の回転子位置を利用して同期座標系相電圧を生成する電流制御部、前記電流制御部の出力を静止座標系に変換する第1座標変換部、前記指令トルクを追従する電圧指令を前記PMSMに印加するインバータ部及び前記インバータ部から出力される相電流を同期座標系に変換する第2座標変換部を含むPMSM駆動システムでパラメータ推定装置において、

前記第1座標変換部の出力電圧、前記第2座標変換部から出力される相電流及び前記回転子位置を有し、前記電流制御部の出力電圧が前記PMSMの電圧方程式と同一であることを利用して、同期座標系上のd軸磁束及びq軸磁束を推定する第1推定部、

前記第1推定部が推定したq軸磁束を利用して、同期座標系上のq軸インダクタンスを推定する第2推定部、及び

前記第1推定部が推定したd軸磁束を利用して、同期座標系上のd軸インダクタンスを推定する第3推定部を含み、

前記電流指令生成部は、前記第2推定部及び前記第3推定部が推定したq軸インダクタンス及びd軸インダクタンスを利用して、指令トルクから電流指令を生成することを特徴とする、パラメータ推定装置。

【請求項2】

前記第2推定部は、

前記第 1 推定部が推定した q 軸磁束から q 軸インダクタンスを決める第 1 決定部、
 前記第 1 決定部と第 1 加算部との差を、比例ゲインまたは、比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第 1 補償部、
 前記第 1 補償部の出力を積分する第 1 積分部、及び
 前記第 1 積分部の出力と初期設定された q 軸インダクタンスを加算する前記第 1 加算部を含むことを特徴とする、請求項 1 に記載のパラメータ推定装置。

【請求項 3】

前記第 2 推定部は、
 前記第 1 加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第 1 制限部をさらに含むことを特徴とする、請求項 2 に記載のパラメータ推定装置。

10

【請求項 4】

前記第 3 推定部は、
 前記第 1 推定部が推定した d 軸磁束から d 軸インダクタンスを決める第 2 決定部、
 前記第 2 決定部と第 2 加算部との差を、比例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第 2 補償部、
 前記第 2 補償部の出力を積分する第 2 積分部、及び
 前記第 2 積分部の出力と初期設定された d 軸インダクタンスを加算する前記第 2 加算部を含むことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のパラメータ推定装置。

【請求項 5】

前記第 3 推定部は、
 前記第 2 加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第 2 制限部をさらに含むことを特徴とする、請求項 4 に記載のパラメータ推定装置。

20

【請求項 6】

前記第 2 決定部は、
 永久磁石による鎖交磁束は、定数で定義することを特徴とする、請求項 4 または 5 に記載のパラメータ推定装置。

【請求項 7】

指令トルクから同期座標系上の電流指令を生成する電流指令生成部、前記電流指令から P M S M の回転子位置を利用して同期座標系相電圧を生成する電流制御部、前記電流制御部の出力を静止座標系に変換する第 1 座標変換部、前記指令トルクを追従する電圧指令を前記 P M S M に印加するインバータ部及び前記インバータ部から出力される相電流を同期座標系に変換する第 2 座標変換部を含む P M S M 駆動システムでパラメータ推定装置において、

30

前記第 1 座標変換部の出力電圧、前記第 2 座標変換部から出力される同期座標系に変換された相電流及び前記回転子位置を有し、前記電流制御部の出力電圧が前記 P M S M の電圧方程式と同一であることを利用して、同期座標系上の d 軸磁束及び q 軸磁束を推定する第 1 推定部、

前記第 1 推定部が推定した q 軸磁束を利用して、同期座標系上の q 軸インダクタンスを推定する第 2 推定部、及び

前記第 1 推定部が推定した d 軸磁束を利用して、永久磁石による鎖交磁束を推定する第 3 推定部を含み、

40

前記電流指令生成部は、前記第 2 推定部及び前記第 3 推定部が推定した q 軸インダクタンス及び永久磁石による鎖交磁束を利用して、指令トルクから電流指令を生成することを特徴とする、パラメータ推定装置。

【請求項 8】

前記第 2 推定部は、
 前記第 1 推定部が推定した q 軸磁束から q 軸インダクタンスを決める第 1 決定部、
 前記第 1 決定部と第 1 加算部との差を、比例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第 1 補償部、
 前記第 1 補償部の出力を積分する第 1 積分部、及び

50

前記第 1 積分部の出力と初期設定された q 軸インダクタンスを加算する前記第 1 加算部を含むことを特徴とする、請求項 7 に記載のパラメータ推定装置。

【請求項 9】

前記第 2 推定部は、

前記第 1 加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第 1 制限部をさらに含むことを特徴とする、請求項 8 に記載のパラメータ推定装置。

【請求項 10】

前記第 3 推定部は、

前記第 1 推定部が推定した q 軸磁束から永久磁石による鎖交磁束を決める第 2 決定部、前記第 2 決定部と第 2 加算部との差を、比例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第 2 補償部、

前記第 2 補償部の出力を積分する第 2 積分部、及び

前記第 2 積分部の出力と初期設定された永久磁石による鎖交磁束を加算する前記第 2 加算部を含むことを特徴とする、請求項 7 ~ 9 のいずれか一項に記載のパラメータ推定装置

【請求項 11】

前記第 3 推定部は、

前記第 2 加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第 2 制限部をさらに含むことを特徴とする、請求項 10 に記載のパラメータ推定装置。

【請求項 12】

前記第 2 決定部は、

d 軸インダクタンスは、定数で定義することを特徴とする、請求項 10 または 11 に記載のパラメータ推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パラメータ推定に関し、より詳細には永久磁石同期電動機駆動システムにおいて用いるためのパラメータ推定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電圧型インバータで駆動される永久磁石同期電動機は、一般に速度制御モードやトルク制御モードで動作する。

【0003】

永久磁石同期電動機が速度制御モードで用いられる場合には、エレベータ (elevator)、クレーン (crane) 等の巻上 (hoist) 負荷分野と、ファン (fan)、ポンプ (pump) 等の可変速 (variable speed) 運転分野である。

【0004】

永久磁石同期電動機がトルク制御モードで使われる場合には、電気自動車の牽引用 (traction) 電動機等の分野である。

【0005】

永久磁石同期電動機は負荷状況により磁束 (flux) が飽和 (saturation) されて、インバータで出力しようとするトルクと実際出力されるトルクとの間に差が生じる。以下、従来の永久磁石同期電動機の駆動システムについて図面を参照して説明する。

【0006】

図 1 は、従来の永久磁石同期電動機の駆動システムの構成図であり、トルク指令から磁束電流とトルク電流を独立的に制御するベクトル制御 (vector control) が具現されたインバータで駆動される永久磁石同期電動機駆動システムを示した。

【0007】

図面に示したように、従来の永久磁石同期電動機の駆動システムは、インバータ 100

10

20

30

40

50

、永久磁石同期電動機 (Permanent Magnet Synchronous Motor、PMSM) 200 及び回転子位置検出部 210 で構成される。

【0008】

インバータ 100 は、指令トルク (reference torque、 T_{e_ref}) を入力として、PMSM 200 が指令トルクによって駆動できる電圧 V_{as} 、 V_{bs} 及び V_{cs} を出力する。

【0009】

PMSM 200 の回転子 (rotor) には、回転子位置検出部 210 が付着されて、回転子位置検出部 210 が回転子の位置と速度を計算または測定する。回転子位置検出部 210 で計算または測定された回転子位置は、座標変換部 130、170 の座標変換に用

10

【0010】

電流指令生成部 110 は、指令トルクにより同期座標系 (synchronous reference frame) 上の電流指令を出力する。電流制御部 (current controller) 120 は、電流指令を制御するもので、同期座標系上の d、q 軸電圧を出力する。

【0011】

座標変換部 130 は、回転子位置検出部 210 から受信した回転子位置情報を利用して、電流制御部 120 の出力電圧を静止座標系 (stationary reference frame) 上の電圧に変換する。

20

【0012】

過変調部 (over-modulator) 140 は、座標変換部 130 の出力電圧をインバータ部 150 が合成できる電圧に変換する。

【0013】

インバータ部 150 は、電力半導体を含む電圧型インバータであり、指令トルクを追従する電圧 V_{as} 、 V_{bs} 、 V_{cs} を PMSM 200 に印加する。

【0014】

電流センサ (current sensor) 161 ~ 163 は、PMSM 200 とインバータ部 150 との間の相電流 (phase current) を測定し、電流センサ 161 ~ 163 で測定された電流は、座標変換部 170 が座標変換して電流制御部 120 にフィードバック (feedback) される。

30

【0015】

図 1 の PMSM システムについて説明する。

【0016】

PMSM 200 のトルクは、下記式 1 の通りである。

【0017】

【数 1】

$$T_e = \frac{3P}{2} \lambda_{ds}^r i_{qs}^r - \lambda_{qs}^r i_{ds}^r \dots (1)$$

40

【0018】

この時、上付き添字 r は、同期座標系、下付き添字 s は、静止座標系の変数を示し、P は電動機の極 (pole) の数、 λ_{ds}^r 、 λ_{qs}^r は静止座標系上の同期座標系 d、q 軸回転子磁束、 i_{ds}^r 、 i_{qs}^r は同期座標系上の静止座標系 d、q 軸電流を示し、同期座標系上の d、q 軸回転子磁束は、下記のように定義される。

【0019】

【数 2】

$$\lambda_{ds}^r = L_{ds} i_{ds}^r + \lambda_f \dots (2)$$

【0020】

【数 3】

$$\lambda_{qs}^r = L_{qs} i_{qs}^r \dots (3)$$

10

【0021】

この時、 L_{ds} 及び L_{qs} は、各々同期座標系上のd、q軸インダクタンスを示し、 λ_f は永久磁石による鎖交磁束(magnet flux linkage)を示す。

【0022】

式2と式3を式1に代入すると、PMSM200のトルクは下記式の通りに表示できる

20

【0023】

【数 4】

$$T_e = \frac{3P}{2} [(L_{ds} - L_{qs}) i_{ds}^r + \lambda_f] i_{qs}^r \dots (4)$$

【0024】

式4から分かるように、PMSM200のトルクはd、q軸インダクタンスと永久磁石による鎖交磁束によって影響を受け、電流指令生成部110は指令トルクと式4との関係を利用して同期座標系上のd、q軸電流指令を生成する。

30

【0025】

PMSM200の同期座標系上の電圧方程式は、下記の通りである。

【0026】

【数 5】

$$V_{ds}^r = R_s i_{ds}^r + L_{ds} \frac{di_{ds}^r}{dt} - \omega_r \lambda_{qs}^r \dots (5)$$

40

【0027】

【数 6】

$$V_{qs}^r = R_s i_{qs}^r + L_{qs} \frac{di_{qs}^r}{dt} + \omega_r \lambda_{ds}^r \dots (6)$$

50

【 0 0 2 8 】

この時、 ω_r は回転子の電気角速度、 V_{ds}^* 及び V_{qs}^* は同期座標系上のd、q軸電圧、 R_s は同期座標系上の相抵抗を示す。

【 0 0 2 9 】

電流指令生成部110で生成された電流指令と座標変換部170のフィードバック電流は、電流制御部120に入力される。電流制御部120は、比例積分(Proportional and Integral)制御器であり、下記の通り出力電圧を合成する。

【 0 0 3 0 】

【数7】

$$V_{ds}^{r*} = \left(K_{pd} + \frac{K_{id}}{s} \right) (i_{ds_ref}^r - i_{ds}^r) - \omega_r \hat{\lambda}_{qs}^r \dots (7)$$

10

【 0 0 3 1 】

【数8】

$$V_{qs}^{r*} = \left(K_{pq} + \frac{K_{iq}}{s} \right) (i_{qs_ref}^r - i_{qs}^r) + \omega_r \hat{\lambda}_{ds}^r \dots (8)$$

20

この時、 $\hat{\lambda}_{ds}^r$ と $\hat{\lambda}_{qs}^r$ は同期座標系上で推定されたd、q軸磁束である。

【 0 0 3 2 】

座標変換部130は、電流制御部120の同期座標系上の出力電圧を静止座標系の電圧に変換する。変換された電圧は下記の通りである。

【 0 0 3 3 】

【数9】

$$V_{ds}^{s*} = V_{ds}^{r*} \cos\theta - V_{qs}^{r*} \sin\theta \dots (9)$$

30

【 0 0 3 4 】

【数10】

$$V_{qs}^{s*} = V_{ds}^{r*} \sin\theta + V_{qs}^{r*} \cos\theta \dots (10)$$

40

【 0 0 3 5 】

過変調部140は静止座標系上において六角形で表現される電圧制限条件の内接円内に電圧指令が存在するように座標変換部130の電圧を制限して出力し、インバータ部150は過変調部140の出力電圧から下記のように電圧を合成してPMSM200に電圧を印加する。

【 0 0 3 6 】

50

【数 1 1】

$$V_{as} = v_{ds}^s \dots (11)$$

【0037】

【数 1 2】

$$V_{bs} = -\frac{1}{2}V_{ds}^s + \frac{\sqrt{3}}{2}V_{qs}^s \dots (12)$$

10

【0038】

【数 1 3】

$$V_{cs} = -\frac{1}{2}V_{ds}^s - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{qs}^s \dots (13)$$

20

【0039】

電流センサ161～163は、インバータ部150とPMSM200との間の相電流を測定して、同期座標系上の電流に変換して、電流制御部120にフィードバックする。

【0040】

【数 1 4】

$$i_{ds}^s = \frac{2i_{as} - i_{bs} - i_{cs}}{3} \dots (14)$$

30

【0041】

【数 1 5】

$$i_{qs}^s = \frac{i_{bs} - i_{cs}}{2} \dots (15)$$

40

【0042】

【数 1 6】

$$i_{ds}^r = i_{ds}^s \cos\theta + i_{qs}^s \sin\theta \dots (16)$$

50

【 0 0 4 3 】

【 数 1 7 】

$$i_{qs}^r = -i_{ds}^s \sin \theta + i_{qs}^s \cos \theta \dots (17)$$

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

10

【 0 0 4 4 】

しかし、PMSM 200は、負荷状況により磁束が飽和されて、インバータ100で出力しようとするトルクと実際出力されるトルクとの間に差が生じることは、前記で説明した通りである。

【 0 0 4 5 】

即ち、図1のようなPMSM 200の駆動は、トルク指令から同期座標系上のd、q軸電流指令を計算するため、対象PMSM 200のインダクタンスや永久磁石による鎖交磁束が負荷状況により飽和される場合、トルク制御面では性能が低下する問題がある。

【 0 0 4 6 】

本発明の目的は、リアルタイム磁束推定 (flux estimation) をもってインダクタンスと永久磁石による鎖交磁束を推定して、PMSMの運転性能を向上することである。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 4 7 】

上述の技術的課題を解決するために、指令トルクから同期座標系上の電流指令を生成する電流指令生成部、前記電流指令から永久磁石誘導電動機 (PMSM) の回転子位置を利用して同期座標系相電圧を生成する電流制御部、前記電流制御部の出力を静止座標系に変換する第1座標変換部、前記第1座標変換部の出力を所定範囲内に制限して出力する過変調部、前記指令トルクを追従する電圧指令を前記PMSMに印加するインバータ部及び前記インバータ部から出力される相電流を同期座標系に変換する第2座標変換部を含むPMSM駆動システムにおいて、本発明のパラメータ推定装置は、前記過変調部の出力電圧、前記第2座標変換部から出力される同期座標系に変換された相電流及び前記回転子位置を利用して、同期座標系上のd軸磁束及びq軸磁束を推定する第1推定部、前記第1推定部が推定したq軸磁束を利用して、同期座標系上のq軸インダクタンスを推定する第2推定部、及び前記第1推定部が推定したd軸磁束を利用して、同期座標系上のd軸インダクタンスを推定する第3推定部を含み、前記第2推定部及び前記第3推定部が推定したq軸インダクタンス及びd軸インダクタンスを前記電流指令生成部が利用して電流指令を生成することが好ましい。

30

【 0 0 4 8 】

本発明の一実施形態において、前記第2推定部は、前記第1推定部が推定したq軸磁束からq軸インダクタンスを決める第1決定部、前記第1決定部と第1加算部との差を、比例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第1補償部、前記第1補償部の出力を積分する第1積分部、及び前記第1積分部の出力と初期設定されたq軸インダクタンスを加算する前記第1加算部を含むことが好ましい。

40

【 0 0 4 9 】

本発明の一実施形態において、前記第2推定部は、前記第1加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第1制限部をさらに含むことが好ましい。

【 0 0 5 0 】

本発明の一実施形態において、前記第3推定部は、前記第1推定部が推定したd軸磁束からd軸インダクタンスを決める第2決定部、前記第2決定部と第2加算部との差を、比

50

例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第2補償部、前記第2補償部の出力を積分する第2積分部、及び前記第2積分部の出力と初期設定されたd軸インダクタンスを加算する前記第2加算部を含むことが好ましい。

【0051】

本発明の一実施形態において、前記第3推定部は、前記第2加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第2制限部をさらに含むことが好ましい。

【0052】

本発明の一実施形態において、前記第2決定部は、永久磁石による鎖交磁束は定数で定義することが好ましい。

【0053】

また、前記の技術的課題を解決するために、指令トルクから同期座標系上の電流指令を生成する電流指令生成部、前記電流指令からPMSMの回転子位置を利用して同期座標系相電圧を生成する電流制御部、前記電流制御部の出力を静止座標系に変換する第1座標変換部、前記第1座標変換部の出力を所定範囲内に制限して出力する過変調部、前記指令トルクを追従する電圧指令を前記PMSMに印加するインバータ部及び前記インバータ部から出力される相電流を同期座標系に変換する第2座標変換部を含むPMSM駆動システムにおいて、本発明のパラメータ推定装置は、前記過変調部の出力電圧、前記第2座標変換部から出力される同期座標系に変換された相電流及び前記回転子位置を利用して、同期座標系上のd軸磁束及びq軸磁束を推定する第1推定部、前記第1推定部が推定したq軸磁束を利用して、同期座標系上のq軸インダクタンスを推定する第2推定部、及び前記第1推定部が推定したd軸磁束を利用して、永久磁石による鎖交磁束を推定する第3推定部を含み、前記第2推定部及び前記第3推定部が推定したq軸インダクタンス及び永久磁石による鎖交磁束を前記電流指令生成部が利用して電流指令を生成することが好ましい。

【0054】

本発明の一実施形態において、前記第2推定部は、前記第1推定部が推定したq軸磁束からq軸インダクタンスを決める第1決定部、前記第1決定部と第1加算部との差を、比例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第1補償部、前記第1補償部の出力を積分する第1積分部、及び前記第1積分部の出力と初期設定されたq軸インダクタンスを加算する前記第1加算部を含むことが好ましい。

【0055】

本発明の一実施形態において、前記第2推定部は、前記第1加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第1制限部をさらに含むことが好ましい。

【0056】

本発明の一実施形態において、前記第3推定部は、前記第1推定部が推定したq軸磁束から永久磁石による鎖交磁束を決める第2決定部、前記第2決定部と第2加算部との差を、比例ゲインまたは比例積分ゲインのうちいずれか一つを利用して補償する第2補償部、前記第2補償部の出力を積分する第2積分部、及び前記第2積分部の出力と初期設定された永久磁石による鎖交磁束を加算する前記第2加算部を含むことが好ましい。

【0057】

本発明の一実施形態において、前記第3推定部は、前記第2加算部の出力を最大値と最低値以内に制限する第2制限部をさらに含むことが好ましい。

【0058】

本発明の一実施形態において、前記第2決定部は、d軸インダクタンスは定数で定義することが好ましい。

【発明の効果】

【0059】

本発明により、リアルタイム磁束推定を行って、インダクタンスと永久磁石による鎖交磁束を推定して、永久磁石同期電動機(PMSM)の運転性能を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【0060】

10

20

30

40

50

【図1】従来の永久磁石同期電動機の駆動システムの構成図である。

【図2】本発明に係るPMSM駆動システムを説明するための一実施形態の構成図である。

【図3】図2のパラメータ推定部の一実施形態の詳細構成図である。

【図4】図3のd軸インダクタンス推定部の一実施形態の詳細構成図である。

【図5】図3のq軸インダクタンス推定部の一実施形態の詳細構成図である。

【図6】図2のパラメータ推定部の他の実施形態の詳細構成図である。

【図7】図6の永久磁石による鎖交磁束推定部の一実施形態の詳細構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0061】

本発明は、多様な変更を加えることができ、多様な実施形態を有し、特定実施形態を図面に例示して詳細に説明する。

【0062】

しかし、これは本発明を特定の実施形態に対して限定しようとするものではなく、本発明の思想及び技術範囲に含まれる全ての変更、均等物乃至代替物を含むものと理解しなければならない。

【0063】

第1、第2等の序数を含む用語は、多様な構成要素を説明するために用いられるが、前記構成要素は前記用語によって限定されない。

【0064】

前記用語は、一つの構成要素を他の構成要素から区別する目的にだけ使われる。例えば、本発明の権利範囲を逸脱しない限り、第2構成要素は第1構成要素に命名でき、同様に第1構成要素も第2構成要素に命名できる。

【0065】

ある構成要素が他の構成要素に「連結されて」いる、または「接続されて」いると記述する場合には、その他の構成要素に直接的に連結、または接続されていてもよいが、その中間に他の構成要素が存在してもよいことを理解しなければならない。一方、ある構成要素が、他の構成要素に「直接連結されて」いる、または「直接接続されて」いると記述する場合には、その中間に他の構成要素が存在しないことを理解しなければならない。

【0066】

本願に使われた用語は、単に特定の実施形態を説明するために使われたものであって、本発明を限定する意図はない。単数の表現は、文脈上明白に異なることを意味しない限り、複数の表現を含む。

【0067】

本願において、「含む」または「有する」等の用語は、明細書上に記載された特徴、数字、段階、動作、構成要素、部品またはこれらを組み合わせたものが存在することを指定するものであって、一つまたはそれ以上の他の特徴や数字、段階、動作、構成要素、部品またはこれらを組み合わせたもの等の存在または付加可能性を予め排除しないものと理解しなければならない。

【0068】

また、本願に添付された図面は、説明の便宜のために、拡大または縮小して示されたものと理解しなければならない。

【0069】

本発明について添付図を参照して詳細に説明し、図面の符号に関係なく同一または対応する構成要素は、同一参照符号を付け、これに関する重複説明は省略する。

【0070】

図2は、本発明に係るPMSM駆動システムを説明するための一実施形態の構成図であり、本発明に係るパラメータ推定装置を含むインバータとして駆動されるPMSMシステムを示した図である。

【0071】

10

20

30

40

50

図面に示したように、本発明が適用されるPMSM駆動システムは、インバータ10、PMSM20及び回転子位置検出部21を含む。

【0072】

インバータ10は、電流指令生成部11、電流制御部12、第1座標変換部13、過変調部14、インバータ部15、電流センサ16a~16c、第2座標変換部17及びパラメータ推定部18を含む。

【0073】

インバータ10は指令トルクを入力として、PMSM20が指令トルクにより駆動できる電圧 V_{as} 、 V_{bs} 及び V_{cs} を出力する。

【0074】

PMSM20の回転子には回転子位置検出部21が付着して、回転子位置と回転子速度を計算または測定する。回転子位置検出部21で測定された回転子位置は、第1及び第2座標変換部13、17の座標変換に使われる。

【0075】

電流指令生成部11は、指令トルクから同期座標系上のd、q軸電流指令を生成し、パラメータ推定部18からインダクタンスと永久磁石による鎖交磁束情報を更新(update)してd、q軸電流指令を生成する。

【0076】

電流制御部12は、電流指令生成部11から出力される電流指令を制御するものであって、同期座標系上のd、q軸電圧を出力する。

【0077】

第1座標変換部13は、回転子位置検出部21が求めた回転子位置情報を利用して電流制御部12の出力電圧を静止座標系上の電圧に変換する。

【0078】

過変調部14は、第1座標変換部13の出力電圧をインバータ部15が合成できる電圧に変換する。

【0079】

インバータ部15は、好ましくは絶縁ゲート両極性トランジスタ(Insulated Gate Bipolar Transistor、IGBT)または、電力(power)金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor、MOSFET)といった電力半導体を含む電圧型インバータであり、指令トルクを追従するための電圧指令、 V_{as} 、 V_{bs} 及び V_{cs} をPMSM20に印加する。

【0080】

電流センサ16a~16cは、PMSM20とインバータ部15との間のPMSM20の相電流を測定し、電流センサ16a~16cにより測定された電流は、第2座標変換部17によって電流制御部12にフィードバックされる。

【0081】

第2座標変換部17は、電流センサ16a~16cが測定した静止座標系上の電流を同期座標系に変換して電流制御部12に伝達する。

【0082】

パラメータ推定部18は、過変調部14の出力電圧、第2座標変換部17の相電流及び回転子位置検出部21の回転子位置を受信して、電流制御部12が使う磁束を推定し、これを利用して同期座標系上で推定されたd、q軸インダクタンス或いは推定された永久磁石による鎖交磁束とq軸インダクタンスを推定して電流指令生成部11に伝達する。

【0083】

図3は、図2のパラメータ推定部の一実施形態の詳細構成図である。

【0084】

図面に示したように、本発明のパラメータ推定部18は、磁束推定部31とd軸インダクタンス推定部32及びq軸インダクタンス推定部33を含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 5 】

磁束推定部 3 1 は、過変調部 1 4 の出力電圧、第 2 座標変換部 1 7 の相電流及び回転子位置検出部 2 1 の回転子位置を受信して、電流制御部 1 2 で使う磁束を推定する。これを説明すると下記の通りである。

【 0 0 8 6 】

定常状態で P M S M 2 0 の電圧方程式は下記の通り定義される。

【 0 0 8 7 】

【数 1 8】

$$V_{ds}^r = R_s i_{ds}^r - \omega_r \lambda_{qs}^r \dots (18)$$

10

【 0 0 8 8 】

【数 1 9】

$$V_{qs}^r = R_s i_{qs}^r + \omega_r \lambda_{ds}^r \dots (19)$$

20

【 0 0 8 9 】

また、電流制御部 1 2 は、好ましくは比例積分制御器であり、下記の通り出力電圧を合成する。

【 0 0 9 0 】

【数 2 0】

$$V_{ds}^{r*} = \left(K_{pd} + \frac{K_{id}}{s} \right) (i_{ds_ref}^r - i_{ds}^r) - \omega_r \hat{\lambda}_{qs}^r \dots (20)$$

30

【 0 0 9 1 】

【数 2 1】

$$V_{qs}^{r*} = \left(K_{pq} + \frac{K_{iq}}{s} \right) (i_{qs_ref}^r - i_{qs}^r) + \omega_r \hat{\lambda}_{ds}^r \dots (21)$$

40

【 0 0 9 2 】

式 2 0 及び式 2 1 は、図 2 の第 1 座標変換部 1 3 及び過変調部 1 4 を通って最終出力電圧として出力され、過変調が生じない状況においては、電流制御部 1 2 の出力電圧は、座標変換のみ生じるため、結果的にインバータ部 1 5 が合成する電圧を同期座標系に換算すると、式 2 0 及び式 2 1 に表示された電圧と同じである。

【 0 0 9 3 】

即ち、電流制御が行われる定常状態においては、電流制御部 1 2 の出力電圧と P M S M 2 0 の電圧方程式が同じになって、下記の関係が求められる。

【 0 0 9 4 】

50

【数 2 2】

$$\left(K_{pd} + \frac{K_{id}}{s} \right) (i_{ds_ref}^r - i_{ds}^r) - \omega_r \hat{\lambda}_{qs}^r = R_s i_{ds}^r - \omega_r \lambda_{qs}^r \dots (22)$$

【0095】

【数 2 3】

10

$$\left(K_{pd} + \frac{K_{iq}}{s} \right) (i_{qs_ref}^r - i_{qs}^r) + \omega_r \hat{\lambda}_{ds}^r = R_s i_{qs}^r + \omega_r \lambda_{ds}^r \dots (23)$$

【0096】

式 2 2 と式 2 3 を利用して、電流制御部 1 2 で使われる磁束の誤差を下記の通り求められる。

【0097】

【数 2 4】

20

$$\Delta \lambda_{ds}^r = \lambda_{ds}^r - \hat{\lambda}_{ds}^r = \frac{1}{\omega_r} \left[\left(K_{pq} + \frac{K_{iq}}{s} \right) (i_{qs_ref}^r - i_{qs}^r) - R_s i_{qs}^r \right] \dots (24)$$

【0098】

【数 2 5】

30

$$\Delta \lambda_{qs}^r = \lambda_{qs}^r - \hat{\lambda}_{qs}^r = \frac{1}{\omega_r} \left[\left(K_{pd} + \frac{K_{id}}{s} \right) (i_{ds_ref}^r - i_{ds}^r) - R_s i_{ds}^r \right] \dots (25)$$

【0099】

従って、パラメータ推定部 1 8 は、下記式 2 6 及び式 2 7 のように d 軸及び q 軸の磁束を推定することができる。

【0100】

【数 2 6】

40

$$\lambda_{ds_est}^r = \frac{s^2}{s^2 + K_1 s + K_2} \lambda_{ds_est_volt}^r + \frac{K_1 s + K_2}{s^2 + K_1 s + K_2} (\lambda_{ds_est_cur}^r + \Delta \lambda_{ds}^r) \dots (26)$$

【0101】

【数 27】

$$\lambda_{qs_est}^r = \frac{s^2}{s^2 + K_1 s + K_2} \lambda_{qs_est_volt}^r + \frac{K_1 s + K_2}{s^2 + K_1 s + K_2} (\lambda_{qs_est_cur}^r + \Delta \lambda_{qs}^r) \dots (27)$$

この時、 $\lambda_{ds_est_volt}^r$ 、 $\lambda_{qs_est_volt}^r$ 、 $\lambda_{ds_est_cur}^r$ 及び $\lambda_{qs_est_cur}^r$ は、各々下記のように定義される。

10

【0102】

【数 28】

$$\lambda_{ds_est_volt}^r = \frac{1}{s} (V_{ds}^s - R_s i_{ds}^s) \dots (28)$$

【0103】

【数 29】

$$\lambda_{qs_est_volt}^r = \frac{1}{s} (V_{qs}^s - R_s i_{qs}^s) \dots (29)$$

20

【0104】

【数 30】

$$\lambda_{ds_est_cur}^r = \hat{L}_{ds} i_{ds}^r + \hat{\lambda}_f \dots (30)$$

30

【0105】

【数 31】

$$\lambda_{qs_est_cur}^r = \hat{L}_{ds} i_{qs}^r \dots (31)$$

40

【0106】

式 26 及び式 27 によって推定された磁束を利用して、パラメータ推定部 18 の d 軸インダクタンス推定部 32 と q 軸インダクタンス推定部 33 は、各々 d 軸インダクタンス及び q 軸インダクタンスを推定する。この時、本発明のパラメータ推定部 18 の一実施形態においては、永久磁石による鎖交磁束は定数 (constant value) と仮定する。

【0107】

図 4 は、図 3 の d 軸インダクタンス推定部 32 の一実施形態の詳細構成図であり、図 5 は、図 3 の q 軸インダクタンス推定部 33 の一実施形態の詳細構成図である。

50

【0108】

d軸及びq軸インダクタンス推定部32、33は、磁束推定部31が推定した磁束を利用して各々d、q軸インダクタンスを推定する。

【0109】

図4及び図5に示したように、本発明のd軸インダクタンス推定部32は、Ld計算部41、補償部42、積分部43、加算部44及び制限部45を含み、q軸インダクタンス推定部33は、Lq計算部51、補償部52、積分部53、加算部54及び制限部55を含む。

【0110】

まず、d軸インダクタンス推定部32を説明すると下記の通りである。

10

【0111】

Ld計算部41は、磁束推定部31から推定されたd軸磁束(式26)からd軸インダクタンスを求める。この時、式2を利用してd軸インダクタンスが求められる。

【0112】

補償部42は、Ld計算部41と加算部44との差から比例ゲイン(proportional gain)または比例積分ゲイン(proportional and integral gain)を利用して補償する。

【0113】

積分部43は、補償部42の出力を積分し、加算部44は、初期設定インダクタンスと積分部43の出力を合算する。制限部45は、推定されたd軸インダクタンスを最大値と最低値以内に制限する。

20

【0114】

q軸インダクタンス推定部33を説明すると下記の通りである。

【0115】

Lq計算部51は、磁束推定部31から推定されたq軸磁束(式27)からq軸インダクタンスを求める。この時、式3を利用する。

【0116】

補償部52は、Lq計算部51と加算部54との差から比例ゲインまたは比例積分ゲインを利用して補償する。

【0117】

積分部53は、補償部52の出力を積分し、加算部54は、積分部53の出力と初期設定インダクタンスを合算する。制限部55は、推定されたq軸インダクタンスを最大値と最低値以内に制限する。

30

【0118】

このように、本発明のパラメータ推定部18により本発明のPMSM駆動システムは、過変調部14の出力電圧、第2座標変換部17の相電流及び回転子位置検出部21の回転子位置を利用して電流制御部12の磁束を推定し、これを通してインダクタンスを推定して、パラメータ変化に強い性能を有し、これに基づいてPMSMのトルク制御時にトルクの線形性を保障することができる。

【0119】

一方、PMSM20のd軸インダクタンス変化量が小さく、永久磁石による鎖交磁束の変化が大きい場合には、本発明のパラメータ推定部18は、d軸インダクタンスを定数として、永久磁石による鎖交磁束を推定することもできる。

40

【0120】

図6は、図2のパラメータ推定部の他の実施形態の詳細構成図である。

【0121】

図面に示したように、本発明のパラメータ推定部18は、磁束推定部31、永久磁石による鎖交磁束推定部(図面には、「鎖交磁束推定部」と図示する)34及びq軸インダクタンス推定部33を含む。磁束推定部31及びq軸インダクタンス推定部33の動作については既に前記で説明し、同じ機能を行うため、それに関する説明は省略する。

50

【 0 1 2 2 】

図 7 は、図 6 の永久磁石による鎖交磁束推定部 3 4 の一実施形態の詳細構成図である。

【 0 1 2 3 】

図面に示したように、本発明の永久磁石による鎖交磁束推定部 3 4 は、 i_f 計算部 7 1、補償部 7 2、積分部 7 3、加算部 7 4 及び制限部 7 5 を含む。

【 0 1 2 4 】

i_f 計算部 7 1 は、磁束推定部 3 1 から推定された d 軸磁束(式 2 6)から永久磁石による鎖交磁束 i_f を求める。この時、式 2 を利用する。

【 0 1 2 5 】

補償部 7 2 は、 i_f 計算部 7 1 と加算部 7 4 との差から比例ゲインまたは比例積分ゲインを利用して補償する。

10

【 0 1 2 6 】

積分部 7 3 は、補償部 7 2 の出力を積分し、加算部 7 4 は積分部 7 3 の出力と初期設定された永久磁石による鎖交磁束を合算する。制限部 7 5 は、推定された永久磁石による鎖交磁束を最大値と最低値内に制限する。

【 0 1 2 7 】

このように、本発明のパラメータ推定部 1 8 は、電流制御部 1 2 で用いる磁束を推定することによって、パラメータ変化に強い性能を有することが分かる。これに基づいて、本発明のシステムは、PMSMのトルク制御時トルクの線形性を保障できる。

【 0 1 2 8 】

20

以上から代表的な実施形態をもって本発明について詳細に説明したが、本発明が属する技術分野において通常の知識を有する者は、前述した実施形態に対して本発明の範疇から逸脱しない限り、多様な変形が可能であることを理解しなければならない。従って、本発明の権利範囲は、説明された実施形態に限って定まってはならず、後述する特許請求の範囲だけでなく、この特許請求範囲と均等物等によって定めるべきである。

【符号の説明】

【 0 1 2 9 】

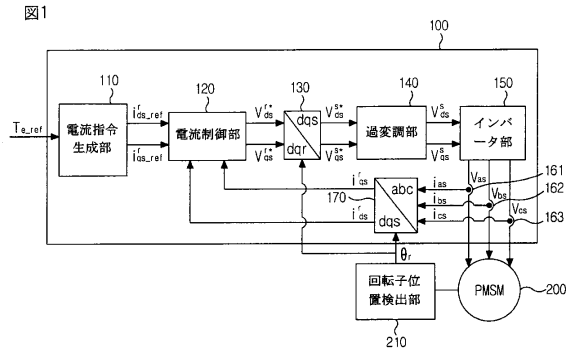
- 1 0、1 0 0 インバータ
- 1 1、1 1 0 電流指令生成部
- 1 2、1 2 0 電流制御部
- 1 3 第 1 座標変換部
- 1 4、1 4 0 過変調部
- 1 5、1 5 0 インバータ部
- 1 6 1 ~ 1 6 3、1 6 a ~ 1 6 c 電流センサ
- 1 7 第 2 座標変換部
- 1 8 パラメータ推定部
- 1 3 0、1 7 0 座標変換部
- 2 0、2 0 0 PMSM
- 2 1、2 1 0 回転子位置検出部
- 3 1 磁束推定部
- 3 2 d 軸インダクタンス推定部
- 3 3 q 軸インダクタンス推定部
- 3 4 鎖交磁束推定部
- 4 1 L d 計算部
- 4 2、5 2、7 2 補償部
- 4 3、5 3、7 3 積分部
- 4 4、5 4、7 4 加算部
- 4 5、5 5、7 5 制限部
- 5 1 L q 計算部
- 7 1 i_f 計算部

30

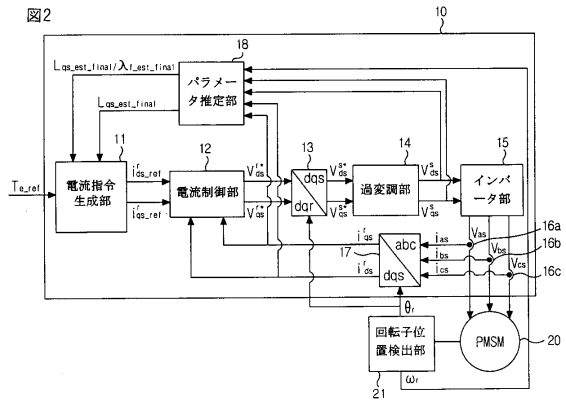
40

50

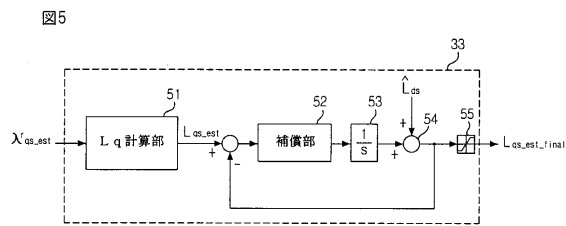
【図1】



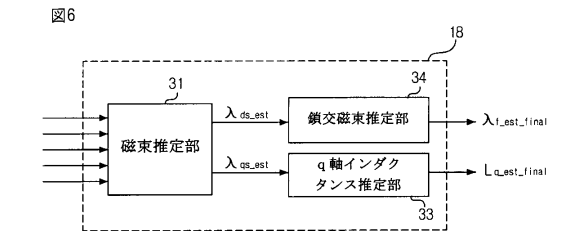
【図2】



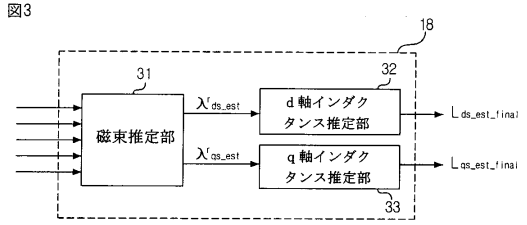
【図5】



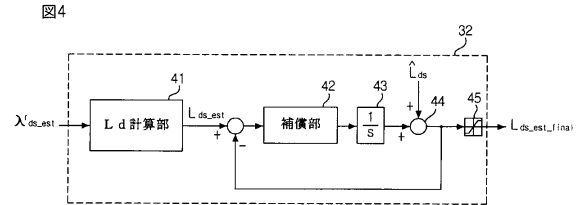
【図6】



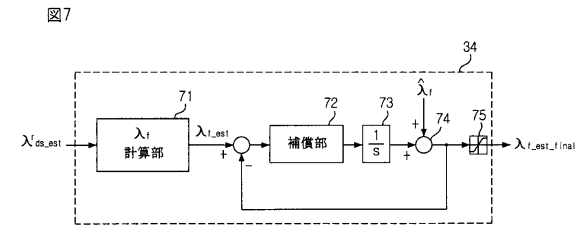
【図3】



【図4】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 ユ アン ノ

大韓民国, 157-708, ソウル, カンソ-ク, ファゴク 3-ドン, チョロク アパートメン
ト 108-708

審査官 池田 貴俊

(56)参考文献 特開2009-240125(JP, A)

特開2011-041343(JP, A)

特開2010-279220(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 21/00

H02P 27/04