

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-146155
(P2013-146155A)

(43) 公開日 平成25年7月25日(2013.7.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO2P 6/16 (2006.01)	HO2P 6/02 341N	5H505
HO2P 21/00 (2006.01)	HO2P 5/408 C	5H560
HO2P 27/04 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2012-6015 (P2012-6015)
(22) 出願日 平成24年1月16日 (2012.1.16)

(71) 出願人 000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町1番地
(74) 代理人 100103894
弁理士 冢入 健
(72) 発明者 奥松 美宏
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
Fターム(参考) 5H505 CC04 DD03 DD08 EE41 EE49
GG02 GG04 HA09 HB01 JJ04
LL01 LL22 LL41 LL45
5H560 BB04 BB12 DA00 DB20 DC05
DC12 EB01 SS02 UA05 XA02
XA04 XA12 XA13

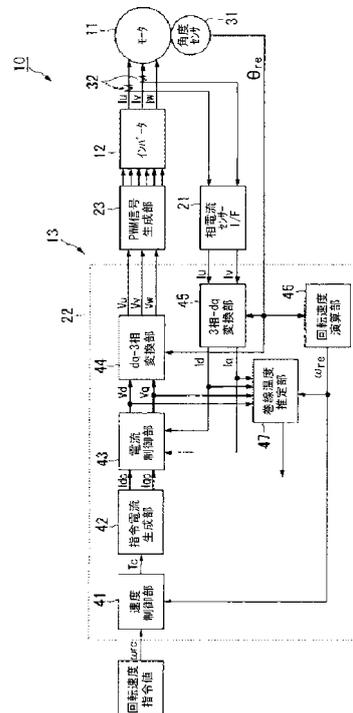
(54) 【発明の名称】 巻線温度推定装置及び巻線温度推定方法

(57) 【要約】

【課題】低い計算コストで電動機の温度を推定する技術を提供する。

【解決手段】モータ11の巻線温度Tを推定する温度推定装置10は、3相-dq変換部45と、電流制御部43と、回転速度演算部46と、巻線温度推定部47と、を備える。巻線温度推定部47は、巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の2つの特性を考慮すると共に微分項を無視した、モータ11のq軸電圧方程式と、d軸電流I_d及びq軸電流I_qと、q軸電圧指令値V_qと、回転速度r_eと、に基づいて巻線温度Tを演算する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電動機の巻線温度を推定する巻線温度推定装置であって、
前記巻線の電流値を取得して、d 軸電流値及び q 軸電流値を出力する d q 軸電流値出力手段と、

前記 d 軸電流値と、前記 q 軸電流値と、指令 d 軸電流値と、指令 q 軸電流値と、に基づくフィードバック制御を踏まえて前記巻線の指令 d 軸電圧値及び指令 q 軸電圧値を出力する指令 d q 軸電圧値出力手段と、

前記電動機の回転子の回転速度値を出力する回転速度値出力手段と、

前記巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、前記巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の 2 つの特性を考慮すると共に微分項を無視した前記電動機の q 軸電圧方程式と、
前記 d 軸電流値及び前記 q 軸電流値と、前記指令 q 軸電圧値と、前記回転速度値と、に基づいて前記巻線温度を演算する巻線温度演算手段と、

を備えた、

巻線温度推定装置。

【請求項 2】

電動機の巻線温度を推定する巻線温度推定方法であって、

前記巻線の電流値を取得して、d 軸電流値及び q 軸電流値を出力するステップと、

前記 d 軸電流値と、前記 q 軸電流値と、指令 d 軸電流値と、指令 q 軸電流値と、に基づくフィードバック制御を踏まえて前記巻線の指令 d 軸電圧値及び指令 q 軸電圧値を出力する
ステップと、

前記電動機の回転子の回転速度値を出力するステップと、

前記巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、前記巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の 2 つの特性を考慮すると共に微分項を無視した前記電動機の q 軸電圧方程式と、
前記 d 軸電流値及び前記 q 軸電流値と、前記指令 q 軸電圧値と、前記回転速度値と、に基づいて前記巻線の温度を演算するステップと、

を含む、

巻線温度推定方法。

【請求項 3】

電動機の巻線抵抗値の線形温度依存特性を測定する線形温度依存特性測定方法であって、
前記電動機の回転子の回転を止めると共に指令 d 軸電圧値を一定値に維持した状態で、前
記巻線の温度及び q 軸電流値を測定するステップと、

微分項を無視すると共に前記回転子の回転速度をゼロとした前記電動機の q 軸電圧方程式
と、測定した前記巻線の温度及び q 軸電流値と、に基づいて、前記巻線抵抗値の前記線形
温度依存特性を演算するステップと、

を含む、

巻線抵抗値の線形温度依存特性測定方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の線形温度依存特性測定方法であって、

前記回転子を機械的に拘束することで、前記回転子の前記回転速度をゼロにする、
巻線抵抗値の線形温度依存特性測定方法。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の線形温度依存特性測定方法であって、

前記回転子の出力トルクがゼロになるように d 軸電流値を制御することで、前記回転子の
前記回転速度をゼロにする、

巻線抵抗値の線形温度依存特性測定方法。

【請求項 6】

電動機の巻線抵抗値の線形温度依存特性が既知であることを前提とした、前記電動機の巻
線インダクタンス値の線形温度依存特性を測定する線形温度依存特性測定方法であって、
前記電動機の回転子の回転を止めると共に指令 q 軸電圧値に正弦波を重畳した状態で、前

10

20

30

40

50

記巻線の温度及び q 軸電流値を測定するステップと、
前記回転子の回転速度をゼロとした前記電動機の q 軸電圧方程式と、測定した前記巻線の温度及び q 軸電流値と、に基づいて、前記巻線インダクタンス値の前記線形温度依存特性を演算するステップと、
を含む、

巻線インダクタンス値の線形温度依存特性測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、巻線温度推定装置及び巻線温度推定方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

この種の技術として、特許文献 1 は、モータの温度を推定する温度推定装置を開示している。詳しくは、熱抵抗と熱時定数を用いた温度上昇演算式をモデルとしてシステム同定を行う。そして、システム同定により同定した熱抵抗及び熱時定数に基づき、巻線温度上昇を推定し、周囲温度と巻線温度上昇に基づいて巻線温度を演算する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2010 - 142046 号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記特許文献 1 の温度推定装置は、巻線温度を演算する際に複雑な演算を何回も必要とし、計算コストが高かった。

【0005】

本願発明の目的は、低い計算コストで電動機の温度を推定する技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

30

本願発明の第 1 の観点によれば、電動機の巻線温度を推定する巻線温度推定装置は、前記巻線の電流値を取得して、d 軸電流値及び q 軸電流値を出力する d q 軸電流値出力手段と、前記 d 軸電流値と、前記 q 軸電流値と、指令 d 軸電流値と、指令 q 軸電流値と、に基づくフィードバック制御を踏まえて前記巻線の指令 d 軸電圧値及び指令 q 軸電圧値を出力する指令 d q 軸電圧値出力手段と、前記電動機の回転子の回転速度値を出力する回転速度値出力手段と、前記巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、前記巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の 2 つの特性を考慮すると共に微分項を無視した前記電動機の q 軸電圧方程式と、前記 d 軸電流値及び前記 q 軸電流値と、前記指令 q 軸電圧値と、前記回転速度値と、に基づいて前記巻線温度を演算する巻線温度演算手段と、を備える。

本願発明の第 2 の観点によれば、電動機の巻線温度を推定する巻線温度推定方法は、前記巻線の電流値を取得して、d 軸電流値及び q 軸電流値を出力するステップと、前記 d 軸電流値と、前記 q 軸電流値と、指令 d 軸電流値と、指令 q 軸電流値と、に基づくフィードバック制御を踏まえて前記巻線の指令 d 軸電圧値及び指令 q 軸電圧値を出力するステップと、前記電動機の回転子の回転速度値を出力するステップと、前記巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、前記巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の 2 つの特性を考慮すると共に微分項を無視した前記電動機の q 軸電圧方程式と、前記 d 軸電流値及び前記 q 軸電流値と、前記指令 q 軸電圧値と、前記回転速度値と、に基づいて前記巻線の温度を演算するステップと、を含む。

40

本願発明の第 3 の観点によれば、電動機の巻線抵抗値の線形温度依存特性を測定する線形温度依存特性測定方法は、前記電動機の回転子の回転を止めると共に指令 d 軸電圧値を

50

一定値に維持した状態で、前記巻線の温度及びq軸電流値を測定するステップと、微分項を無視すると共に前記回転子の回転速度をゼロとした前記電動機のq軸電圧方程式と、測定した前記巻線の温度及びq軸電流値と、に基づいて、前記巻線抵抗値の前記線形温度依存特性を演算するステップと、を含む。

好ましくは、前記回転子を機械的に拘束することで、前記回転子の前記回転速度をゼロにする。

好ましくは、前記回転子の出力トルクがゼロになるようにd軸電流値を制御することで、前記回転子の前記回転速度をゼロにする。

本願発明の第4の観点によれば、電動機の巻線抵抗値の線形温度依存特性が既知であることを前提とした、前記電動機の巻線インダクタンス値の線形温度依存特性を測定する線形温度依存特性測定方法は、前記電動機の回転子の回転を止めると共に指令q軸電圧値に正弦波を重畳した状態で、前記巻線の温度及びq軸電流値を測定するステップと、前記回転子の回転速度をゼロとした前記電動機のq軸電圧方程式と、測定した前記巻線の温度及びq軸電流値と、に基づいて、前記巻線インダクタンス値の前記線形温度依存特性を演算するステップと、を含む。

【発明の効果】

【0007】

本願発明によれば、低い計算コストで電動機の温度を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、ブラシレスDCモータの機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、電動機の巻線の温度推定装置の実施形態について添付図面を参照しながら説明する。

【0010】

この実施形態による電動機の温度推定装置10（以下、単に、温度推定装置10と呼ぶ）は、例えば3相交流のブラシレスDCモータ11（以下、単に、モータ11と呼ぶ）のステータ巻線の巻線温度を推定する。このモータ11は、界磁に利用する永久磁石を有するロータ（図示略）と、このロータを回転させる回転磁界を発生するステータ（図示略）とを備えて構成されている。

【0011】

温度推定装置10は、例えば図1に示すように、バッテリー（図示略）を直流電源とするインバータ12と、モータ制御装置13とを備えて構成されている。

【0012】

この3相（例えば、U相、V相、W相の3相）交流のモータ11の駆動はモータ制御装置13から出力される制御指令を受けてインバータ12によりおこなわれる。

【0013】

インバータ12は、スイッチング素子（例えば、MOSFET：Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）を複数用いてブリッジ接続してなるブリッジ回路と平滑コンデンサとを具備し、このブリッジ回路がパルス幅変調（PWM）された信号によって駆動される。

【0014】

インバータ12は、例えばモータ11の駆動時等においてモータ制御装置13から出力されて各トランジスタのゲートに入力されるスイッチング指令であるゲート信号（つまり、PWM信号）に基づき、各相毎に対をなす各トランジスタのオン（導通）/オフ（遮断）状態を切り替えることによって、バッテリーから供給される直流電力を3相交流電力に変換し、3相のステータ巻線への通電を順次転流させることで、各相のステータ巻線に交流のU相電流 I_u およびV相電流 I_v およびW相電流 I_w を通電する。

【0015】

10

20

30

40

50

モータ制御装置 13 は、後述するように、回転直交座標をなす $d - q$ 座標上で電流のフィードバック制御（ベクトル制御）を行うものであり、指令 d 軸電流 I_{dc} （指令 d 軸電流値）及び指令 q 軸電流 I_{qc} （指令 q 軸電流値）を演算し、指令 d 軸電流 I_{dc} 及び指令 q 軸電流 I_{qc} に基づいて各相電圧指令 V_u, V_v, V_w を算出し、各相電圧指令 V_u, V_v, V_w に応じてインバータ 12 に対するゲート信号である PWM 信号を出力する。そして、実際にインバータ 12 からモータ 11 に供給される各相電流 I_u, I_v, I_w を $d - q$ 座標上に変換して得た d 軸電流 I_d （ d 軸電流値）及び q 軸電流 I_q （ q 軸電流値）と、指令 d 軸電流 I_{dc} 及び指令 q 軸電流 I_{qc} との各偏差がゼロとなるように制御をおこなう。

【0016】

モータ制御装置 13 は、例えば相電流センサ I/F（インターフェース）21 と、制御装置 22 と、PWM 信号生成部 23 とを備えて構成されている。

【0017】

相電流センサ I/F（インターフェース）21 は、インバータ 12 のブリッジ回路とモータ 11 との間において、3 相の各相電流のうち少なくとも何れか 2 相の各相電流（例えば、U 相電流および V 相電流）を検出する各相電流センサ 32 に接続され、各相電流センサ 32 から出力される検出信号を制御装置 22 に出力する。

【0018】

制御装置 22 は、角度センサ 31 から出力されるモータ 11 の回転角 r_e （所定の基準回転位置からのロータの磁極の回転角度）に基づき、モータ 11 の回転直交座標の $d - q$ 座標上で電流のフィードバック制御（ベクトル制御）をおこなう。

【0019】

制御装置 22 は、指令 d 軸電流 I_{dc} 及び指令 q 軸電流 I_{qc} を生成し、指令 d 軸電流 I_{dc} 及び指令 q 軸電流 I_{qc} に基づいて各相電圧指令 V_u, V_v, V_w を算出し、PWM 信号生成部 23 に出力する。

【0020】

また、制御装置 22 は、各相電流センサ 32 から出力される検出信号に応じた各相電流 I_u, I_v, I_w を $d - q$ 座標上に変換して得た d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q と、指令 d 軸電流 I_{dc} 及び指令 q 軸電流 I_{qc} との各偏差がゼロとなるように電流のフィードバック制御（ベクトル制御）をおこなう。なお、この制御装置 22 の動作の詳細は後述する。

【0021】

PWM 信号生成部 23 は、正弦波状の電流を 3 相のステータ巻線に通電するために、各相電圧指令 V_u, V_v, V_w と、三角波などのキャリア信号とを比較して、インバータ 12 の各トランジスタをオン/オフ駆動させるゲート信号（つまり、PWM 信号）を生成する。そして、インバータ 12 において 3 相の各相毎に対をなす各トランジスタのオン（導通）/オフ（遮断）状態を切り替えることによって、バッテリーから供給される直流電力を 3 相交流電力に変換し、3 相のモータ 11 の各ステータ巻線への通電を順次転流させることで、各ステータ巻線に交流の U 相電流 I_u および V 相電流 I_v および W 相電流 I_w を通電する。

【0022】

制御装置 22 は、例えば速度制御部 41 と、指令電流生成部 42 と、電流制御部 43（指令 dq 軸電圧値出力手段）と、 $dq - 3$ 相変換部 44 と、3 相 - dq 変換部 45（ dq 軸電流値出力手段）と、回転速度演算部 46（回転速度値出力手段）と、巻線温度推定部 47（巻線温度演算手段）とを備えて構成されている。

【0023】

速度制御部 41 は、外部から入力される回転速度指令値 r_c に基づき、例えば回転速度演算部 46 から出力される回転速度 r_e に応じたクローズループ制御により、トルク指令 T_c を演算する。そして、速度制御部 41 は、トルク指令 T_c を指令電流生成部 42 に出力する。なお、制御装置 22 は、この速度制御部 41 の代わりにトルク制御部を備え

10

20

30

40

50

、トルク制御部によりトルク制御を実行してもよい。

【0024】

指令電流生成部42は、速度制御部41から出力されるトルク指令 T_c に基づき指令 q 軸電流 I_{qc} および指令 d 軸電流 I_{dc} を演算する。指令電流生成部42は、指令 q 軸電流 I_{qc} 及び指令 d 軸電流 I_{dc} を電流制御部43に出力する。

【0025】

電流制御部43は、指令電流生成部42から出力される指令 d 軸電流 I_{dc} と3相- dq 変換部45から出力される d 軸電流 I_d との偏差 I_d を算出し、指令電流生成部42から出力される指令 q 軸電流 I_{qc} と3相- dq 変換部45から出力される q 軸電流 I_q との偏差 I_q を算出する。そして、電流制御部43は、例えば PI (比例・積分)動作(フィードバック制御)などにより、偏差 I_d を制御増幅して d 軸電圧指令値 V_d (指令 d 軸電圧値)を算出し、偏差 I_q を制御増幅して q 軸電圧指令値 V_q (指令 q 軸電圧値)を算出する。そして、電流制御部43は、 d 軸電圧指令値 V_d および q 軸電圧指令値 V_q を dq -3相変換部44及び巻線温度推定部47に出力する。

10

【0026】

dq -3相変換部44は、角度センサ31から出力されるモータ11の回転角 r_e により、 $d-q$ 座標上での d 軸電圧指令値 V_d および q 軸電圧指令値 V_q を、静止座標である3相交流座標上での電圧指令値である U 相電圧指令 V_u および V 相電圧指令 V_v および W 相電圧指令 V_w に変換する。 dq -3相変換部44は、 U 相電圧指令 V_u および V 相電圧指令 V_v および W 相電圧指令 V_w を、 PWM 信号生成部23に出力する。

20

【0027】

3相- dq 変換部45は、相電流センサ I/F (インターフェース)21から出力される各相電流 I_u, I_v の検出信号に基づき、同一タイミングでの各相電流の電流値の総和はゼロであることを用いて、2相の相電流(例えば、各相電流 I_u, I_v)の電流値から、他の1相の相電流(例えば、 W 相電流 I_w)の電流値を算出する。そして、角度センサ31から出力されるモータ11の回転角 r_e により、各相電流 I_u, I_v, I_w を、 $d-q$ 座標上での d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q に変換する。3相- dq 変換部45は、 d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q を、電流制御部43及び巻線温度推定部47に出力する。

【0028】

回転速度演算部46は、角度センサ31から出力されるモータ11の回転角 r_e に基づき、モータ11のロータ(回転子)の回転速度 r_e (回転速度値)を算出する。回転速度演算部46は、回転速度 r_e を、速度制御部41と巻線温度推定部47に出力する。

30

【0029】

巻線温度推定部47は、モータ11の巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、モータ11の巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の2つの特性を考慮すると共に微分項を無視したモータ11の q 軸電圧方程式と、 d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q と、 q 軸電圧指令値 V_q と、回転速度 r_e と、に基づいてモータ11の巻線温度を演算する。

【0030】

以下、巻線温度推定部47によるモータ11の巻線温度の演算について詳細に説明する。

40

【0031】

まず、モータ11の q 軸電圧方程式は、広く周知であって、下記式(1)で表される。

【0032】

【数1】

$$v_q = \omega_{re} L_d i_d + (R + pL_q) i_q + \omega_{re} \phi_0 \cdots (1)$$

【0033】

ただし、

50

V_q : q 軸電圧指令値 V_q 、

i_d : d 軸電流 i_d (瞬時値)、

i_q : q 軸電流 i_q (瞬時値)、

R : 巻線抵抗値、

L_d : d 軸インダクタンス値、

L_q : q 軸インダクタンス値、

: 巻線に鎖交する磁束の大きさ、

ω_{re} : 回転速度 ω_{re} 、

p : 微分演算子、

である。

10

【0034】

また、モータ 11 の巻線の抵抗値の線形温度依存特性を下記式 (2) で定義する。

【0035】

【数 2】

$$R = R_0 + k_r T \cdots (2)$$

【0036】

ただし、

R_0 : 25 [] における巻線抵抗値、

k_r : 巻線抵抗値の温度係数、

20

T : 巻線温度、

である。

【0037】

同様に、モータ 11 の巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性を下記式 (3) で定義する。

【0038】

【数 3】

$$L_d = L_0 + k_l T \cdots (3)$$

【0039】

ただし、

L_0 : 25 [] における巻線インダクタンス値、

k_l : 巻線インダクタンス値の温度係数、

30

である。

【0040】

また、巻線温度の変化は、巻線の電圧や電流の変化に対して非常に遅いので、上記式 (1) において、下記式 (4) のように、微分項を無視しても差し支えない。

【0041】

【数 4】

$$pL_q i_q = 0 \cdots (4)$$

40

【0042】

そして、上記式 (1) に上記式 (2) 及び式 (3) を代入し、上記式 (4) に従って微分項を無視すると、下記式 (5) となる。

【0043】

【数 5】

$$v_q = \omega_{re} (L_0 + k_l T) i_d + (R_0 + k_r T) i_q + \omega_{re} \phi_0 \cdots (5)$$

【0044】

50

上記式(5)を変形すると、巻線温度Tは、下記式(6)で表される。

【0045】

【数6】

$$T = \frac{v_q - \{\omega_{re}(L_0 i_d + \phi_0) + R_0 i_q\}}{\omega_{re} k_l i_d + k_r i_q} \dots (6)$$

【0046】

従って、巻線温度推定部47は、上記式(6)にq軸電圧指令値Vq等の変数を代入することで、巻線温度を演算する。巻線温度推定部47は、演算した巻線温度を例えば上位の制御装置などに出力する。

10

【0047】

以上に本願発明の第1実施形態を説明したが、上記第1実施形態の特長は以下の通りである。

【0048】

モータ11(電動機)の巻線温度Tを推定する温度推定装置10(巻線温度推定装置)は、3相-dq変換部45(dq軸電流値出力手段)と、電流制御部43(指令dq軸電圧値出力手段)と、回転速度演算部46(回転速度値出力手段)と、巻線温度推定部47(演算する巻線温度演算手段)と、を備える。3相-dq変換部45は、巻線の電流値を取得して、d軸電流Id(d軸電流値)及びq軸電流Iq(q軸電流値)を出力する。電流制御部43は、d軸電流Idと、q軸電流Iqと、指令d軸電流Idc(指令d軸電流値)と、指令q軸電流Iqc(指令q軸電流値)と、に基づくフィードバック制御を踏まえて巻線のd軸電圧指令値Vd(指令d軸電圧値)及びq軸電圧指令値Vq(指令q軸電圧値)を出力する。回転速度演算部46は、モータ11のロータの回転速度re(回転速度値)を出力する。巻線温度推定部47は、上記式(2)で示される巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、上記式(3)で示される巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の2つの特性を考慮すると共に微分項を無視した、上記式(5)で示されるモータ11のq軸電圧方程式と、d軸電流Id及びq軸電流Iqと、q軸電圧指令値Vqと、回転速度reと、に基づいて巻線温度Tを演算する。以上の構成によれば、低い計算コストでモータ11の巻線温度を推定することができる。

20

30

【0049】

なお、付言するならば、上記の温度推定装置10によれば、巻線の抵抗値やインダクタンス値の線形温度依存特性を十分考慮して巻線温度を推定しているので、巻線温度を従前より精度よく推定することができる。裏を返せば、従前は、巻線温度の推定精度が低かったため、永久磁石の減磁が発生しないよう、マージンを見込んで、減磁が現実に発生する巻線温度よりも相当低い巻線温度でモータを駆動する必要があった。つまり、上記の温度推定装置10によれば、巻線温度の推定精度が向上したことで、もはやマージンを見込む必要がなくなり、もって、モータ11の本来有する性能をフルに発揮させることができるようになる。

40

【0050】

上記実施形態の特長を別の観点から言えば、モータ11の巻線温度Tを推定する温度推定方法は、(A)巻線の電流値を取得して、d軸電流Id及びq軸電流Iqを出力するステップと、(B)d軸電流Idと、q軸電流Iqと、指令d軸電流Idcと、指令q軸電流Iqcと、に基づくフィードバック制御を踏まえて巻線のd軸電圧指令値Vd及びq軸電圧指令値Vqを出力するステップと、(C)モータ11のロータの回転速度reを出力するステップと、(D)上記式(2)で示される巻線の抵抗値の線形温度依存特性と、上記式(3)で示される巻線のインダクタンス値の線形温度依存特性と、の2つの特性を考慮すると共に微分項を無視した、上記式(5)で示されるモータ11のq軸電圧方程式と、d軸電流Id及びq軸電流Iqと、q軸電圧指令値Vqと、回転速度reと、に基

50

づいて巻線温度Tを演算するステップと、の(A)～(D)のステップを含んでいる。

【0051】

なお、上記実施形態では、巻線温度を推定するのにq軸電圧方程式を利用したが、これに代えて、d軸電圧方程式を利用してもよい。d軸電圧方程式もq軸電圧方程式と同様、広く周知の方程式であるから、その具体的な説明は割愛する。

【0052】

次に、巻線抵抗値の線形温度依存特性の測定方法について説明する。上記の実施形態では、巻線抵抗値の線形温度依存特性を示す上記式(2)において、定数R0及びkrが既知であるものとして説明したが、これらの定数R0及びkrはモータ11を実際に使用する前に予め測定しておく必要がある。本明細書では、これらの定数R0及びkrの効率のよい測定方法を紹介する。

10

【0053】

(X1) 先ず、モータ11のロータの回転を止めると共にd軸電圧指令値Vdを一定値に維持した状態で、巻線の温度T及びq軸電流Iqを測定する。このとき、予め、モータ11の巻線温度Tは室温状態に戻しておく。モータ11のロータの回転を止めることで、当然、回転速度reは下記式(7)の通り、ゼロとなる。

【0054】

【数7】

$$\omega_{re} = 0 \dots (7)$$

20

【0055】

d軸電圧指令値Vdを印加してモータ11のロータが回転し始めると、巻線の温度Tは次第に上昇していく反面、q軸電流Iqは徐々に小さくなっていく。そこで、上記式(6)について考察すると、上記式(6)に上記式(7)を代入することで、下記式(8)が導かれる。

【0056】

【数8】

$$T = \frac{v_q - R_0 i_q}{k_r i_q} \dots (8)$$

30

【0057】

上記式(8)は、更に下記式(9)のように変形できる。

【0058】

【数9】

$$k_r = \frac{v_q - R_0 i_q}{T i_q} \dots (9)$$

40

【0059】

(X2) 次に、微分項を無視すると共にロータの回転速度reをゼロとしたモータ11のq軸電圧方程式(上記式(6))と、測定した巻線温度T及びq軸電流Iqと、に基づいて、巻線抵抗値Rの線形温度依存特性を演算する。即ち、上記式(9)において、d軸電圧指令値Vdは既知であり、巻線温度Tとq軸電流Iqは測定により既知であるから、例えば最小二乗法などを用いることで、巻線抵抗値の温度係数krと、25[]における巻線抵抗値R0と、は直ちに求めることができる。

【0060】

もし、巻線抵抗値の温度係数krと、25[]における巻線抵抗値R0と、のうち後者

50

の巻線抵抗値 R_0 だけが予め既知であったとしたら、巻線温度 T が、巻線抵抗値 R_0 を規定している温度に到達した時点での q 軸電流 I_q を上記式(9)に代入しさえすれば、一層簡単に、巻線抵抗値の温度係数 k_r と、25 []における巻線抵抗値 R_0 と、を求めることができよう。

【0061】

次に、上記(X1)において、モータ11のローターの回転を止めておく方法を2つ説明する。

【0062】

第1の方法は、ローターを機械的に拘束することで、ローターの回転速度 r_e をゼロにする方法である。

【0063】

第2の方法は、ローターの出力トルクがゼロになるように d 軸電流 I_d を制御することで、ローターの回転速度 r_e をゼロにする方法である。

【0064】

最後に、巻線インダクタンス値の線形温度依存特性の測定方法について説明する。上記の実施形態では、巻線インダクタンス値の線形温度依存特性を示す上記式(3)において、定数 L_0 及び k_l が既知であるものとして説明したが、これらの定数 L_0 及び k_l はモータ11を実際に使用する前に予め測定しておく必要がある。本明細書では、これらの定数 L_0 及び k_l の効率のよい測定方法を紹介する。なお、以下の測定方法は、モータ11の巻線抵抗値の線形温度依存特性が既知であることを前提とするものである。

【0065】

(Y1) 先ず、モータ11のローターの回転を止めると共に q 軸電圧指令値 V_q に正弦波を重ねた状態で、巻線の温度及び q 軸電流 I_q を測定する。モータ11のローターの回転を止めておく方法は、上述した2つの方法の何れかを採用すればよい。

【0066】

q 軸電流 I_q を測定するに際しては、ハイパスフィルタなどを用いることで、 q 軸電流 I_q の直流成分を除去し、 q 軸電流 I_q の脈動成分のみを測定対象とする。

【0067】

(Y2) そして、ローターの回転速度 r_e をゼロとしたモータ11の q 軸電圧方程式と、測定した巻線の温度 T 及び q 軸電流 I_q と、に基づいて、巻線インダクタンス値の前記線形温度依存特性を演算する。具体的には、モータ11のローターの回転速度 r_e をゼロとすると、 q 軸電圧方程式である上記式(1)は、下記式(10)のように変形される。なお、下記式(10)では、微分項は無視しない。

【0068】

【数10】

$$v_q = \{(R_0 + k_r T) + p(L_0 + k_l T)\} i_q \cdots (10)$$

【0069】

次に、 q 軸電圧指令値 V_q に重ねた正弦波と、測定した q 軸電流 I_q と、を上記式(10)に代入することで、インピーダンスを計算する。そして、 q 軸電圧指令値 V_q を印加し続けて、巻線温度 T に対するインピーダンスの変化を記録する。ここで、上記式(10)内のインピーダンスのうち変数 R_0 、 k_r は既知であるから、上記のプロット結果により、巻線インダクタンス値の前記線形温度依存特性(変数 L_0 、 k_l)を演算することができる。

【符号の説明】

【0070】

- 10 温度推定装置
- 13 モータ制御装置
- 22 制御装置

10

20

30

40

50

