

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

モータの実角度と角度推定値との差である角度誤差の関数である誤差パラメータの位相を、所定の補正量だけ補正することにより、補正誤差パラメータを計算する補正部と、前記補正誤差パラメータに基づいて、前記モータの速度推定値及び前記角度推定値を計算する推定部と、を備える角度推定装置。

【請求項 2】

前記補正部は、前記補正誤差パラメータのゼロクロス点が、前記誤差パラメータのゼロクロス点より、角度誤差 0 に近くなるように、前記誤差パラメータを補正する請求項 1 に記載の角度推定装置。

10

【請求項 3】

前記補正誤差パラメータは、ゼロ近傍で前記角度誤差に比例する請求項 1 又は請求項 2 に記載の角度推定装置。

【請求項 4】

前記誤差パラメータは、前記角度誤差の正弦関数である請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の角度推定装置。

【請求項 5】

前記モータに供給された電流の電流値に基づいて、前記誤差パラメータを計算する誤差パラメータ計算部を更に備える請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の角度推定装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の前記角度推定装置と、前記速度推定値が速度指令値に一致するように、電圧指令値を計算する制御部と、を備えるモータ制御装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の前記モータ制御装置と、前記電圧指令値に応じた電流を前記モータに供給するインバータと、前記モータに供給された電流の電流値を検出する電流検出器と、を備えるモータ駆動装置。

30

【請求項 8】

請求項 7 に記載の前記モータ駆動装置と、前記モータと、を備えるモータ駆動システム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の前記モータ駆動システムを備える画像形成装置。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の前記モータ駆動システムを備える搬送装置。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】**【0001】**

本発明は、角度推定装置、モータ制御装置、モータ駆動装置、モータ駆動システム、画像形成装置、及び搬送装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

モータをセンサレス制御するモータ制御装置は、回転子の角度（位置）を推定し、推定した角度に基づいて、モータを制御する。角度の推定方法として、高速駆動時に利用される誘起電圧を利用した方法や、低速駆動時に利用される高調波信号を利用した方法が知られている。いずれの推定方法を利用する場合であっても、モータを精度よく制御するためには、回転子の実角度 r_e を精度よく推定することが重要である。

50

【0003】

このような推定方法として、従来、P (Proportional) 制御やPI (Proportional Integral) 制御により、角度推定値 e_{st} と実角度 r_e との差である角度誤差 e_{rr} が0に近づくように角度推定値 e_{st} を計算する方法が利用されている。角度誤差 e_{rr} を直接的に得ることはできないため、上記の推定方法では、角度誤差 e_{rr} の代わりに、誤差パラメータ X_{err} が利用される。誤差パラメータ X_{err} は、ゼロ近傍で角度誤差 e_{rr} と比例関係とみなせる何らかのパラメータである。誤差パラメータ X_{err} が0に近づくように角度推定値 e_{st} を計算することにより、実角度 r_e を精度よく推定することができる。

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、モータの特性や駆動条件によっては、誤差パラメータ X_{err} が変動し、ゼロ近傍で角度誤差 e_{rr} と比例関係であるとみなせなくなることがあった。誤差パラメータ X_{err} が変動すると、この変動に起因した誤差が角度推定値 e_{st} に生じ、実角度 r_e の推定精度が低下するという問題があった。

【0005】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、回転子の角度を精度よく推定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0006】

一実施形態に係る角度推定装置は、モータの実角度と角度推定値との差である角度誤差の関数である誤差パラメータの位相を、所定の補正量だけ補正することにより、補正誤差パラメータを計算する補正部と、前記補正誤差パラメータに基づいて、前記モータの速度推定値及び前記角度推定値を計算する推定部と、を備える。

【発明の効果】

【0007】

本発明の各実施形態によれば、回転子の角度を精度よく推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

30

【図1】第1実施形態に係るモータ駆動システムの構成の一例を示す図。

【図2】インバータの一例を示す図。

【図3】電流検出器の一例を示す図。

【図4】高調波重畳部の一例を示す図。

【図5】モータ制御に利用される座標系を模式的に示す図。

【図6】誤差パラメータ計算部の一例を示す図。

【図7】誤差電流値の一例を示す図。

【図8】誤差パラメータ及び補正誤差パラメータの一例を示す図。

【図9】推定部の一例を示す図。

【図10】第1実施形態に係るモータ駆動システムの動作の一例を示すフローチャート。

40

【図11】従来の補正方法を説明する図。

【図12】画像形成装置の一例を示す図。

【図13】搬送装置の一例を示す図。

【図14】第2実施形態に係るモータ駆動システムの構成の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本発明の各実施形態について、添付の図面を参照しながら説明する。なお、各実施形態に係る明細書及び図面の記載に関して、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重畳した説明を省略する。

【0010】

50

< 第 1 実施形態 >

第 1 実施形態に係るモータ駆動システムについて、図 1 ~ 図 1 3 を参照して説明する。本実施形態では、ブラシレス DC モータを駆動するモータ駆動システムについて説明する。

【 0 0 1 1 】

(モータ駆動システムの構成)

図 1 は、本実施形態に係るモータ駆動システムの構成の一例を示す図である。図 1 のモータ駆動システムは、モータ 1 と、インバータ 2 と、電流検出器 3 と、モータ制御装置 4 と、を備える。インバータ 2、電流検出器 3、及びモータ制御装置 4 は、モータ 1 を駆動するモータ駆動装置を構成する。

10

【 0 0 1 2 】

モータ 1 は、3 相のブラシレス DC モータである。モータ 1 の各相を、U 相、V 相、及び W 相と称する。モータ 1 は、3 相のコイル 1 1 (固定子) と、回転子 1 2 と、を備える。回転子 1 2 は S 極及び N 極が交互に並んだ永久磁石により構成され、p 個の極ペア (S 極及び N 極のペア) を有する。

【 0 0 1 3 】

以下では、回転子 1 2 の 1 回転を 1 周期とする角度を機械角と称し、回転子 1 2 の 1 回転を p 周期とする角度を電気角と称する。電気角は、機械角の p 倍に相当する。以降、断りのない限り、回転子 1 2 の角度 (位置) 及び速度 (角速度) を電気角で表す。

【 0 0 1 4 】

モータ 1 は、インバータ 2 から供給された電流によって駆動される。具体的には、モータ 1 は、インバータ 2 から U 相、V 相、及び W 相のコイル 1 1 にそれぞれ電流 I_u 、 I_v 、 I_w を供給される。モータ 1 の回転子 1 2 は、電流 I_u 、 I_v 、 I_w に応じて U 相、V 相、及び W 相のコイル 1 1 が発生させた磁界に従って回転する。

20

【 0 0 1 5 】

インバータ 2 は、モータ制御装置 4 が出力した電圧指令値 V_{u^*} 、 V_{v^*} 、 V_{w^*} に応じた電流 I_u 、 I_v 、 I_w をモータ 1 に供給し、モータ 1 を駆動する。以下、* を付された値は、指令値 (制御値) を示すものとする。電圧指令値 V_{u^*} 、 V_{v^*} 、 V_{w^*} は、U 相、V 相、及び W 相のコイル 1 1 にそれぞれ印加する電圧の指令値である。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、インバータ 2 の一例を示す図である。図 2 のインバータ 2 は、PWM (Pulse Width Modulation) 回路 2 1 と、駆動回路 2 2 と、を備える。

30

【 0 0 1 7 】

PWM 回路 2 1 は、電圧指令値 V_{u^*} をパルス幅変調して、U 相のゲート信号 (U_H 、 U_L) を生成し、出力する。また、PWM 回路 2 1 は、電圧指令値 V_{v^*} をパルス幅変調して、V 相のゲート信号 (V_H 、 V_L) を生成し、出力する。また、PWM 回路 2 1 は、電圧指令値 V_{w^*} をパルス幅変調して、W 相のゲート信号 (W_H 、 W_L) を生成し、出力する。図 2 の例では、ゲート信号は、High 又は Low の電圧信号である。PWM 回路 2 1 が出力したゲート信号は、駆動回路 2 2 に入力される。

【 0 0 1 8 】

駆動回路 2 2 は、U 相の駆動回路 2 2 U と、V 相の駆動回路 2 2 V と、W 相の駆動回路 2 2 W と、を備える。駆動回路 2 2 U は、電源 (V_{cc}) と出力端子との間に接続されたスイッチング素子と、出力端子と接地線 (GND) との間に接続されたスイッチング素子と、各スイッチング素子に並列に接続されたダイオードと、により構成される。図 2 の例では、スイッチング素子は、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) であるが、バイポーラトランジスタでもよい。

40

【 0 0 1 9 】

駆動回路 2 2 U の出力端子は、U 相のコイルに接続される。また、駆動回路 2 2 U の各スイッチング素子は、PWM 回路 2 1 が出力した U 相のゲート信号を入力される。入力されたゲート信号に従って各スイッチング素子がオンオフすることにより、電圧指令値 V_u

50

* に応じた電流 I_u が、U相のコイルに供給される。

【0020】

なお、駆動回路 22V, 22Wの構成は、駆動回路 22Uと同様であるため、説明を省略する。また、インバータ 2は、図 2に限られない。インバータ 2として、電圧指令値 V_{u^*} , V_{v^*} , V_{w^*} に応じた電流 I_u , I_v , I_w を供給可能な任意の回路を利用できる。

【0021】

電流検出器 3は、モータ 1に供給された電流 I_u , I_v , I_w の電流値 I_u , I_v , I_w のうち少なくとも2つを検出し、出力する。以下では、電流検出器 3は、電流値 I_u , I_v を検出するものとする。電流検出器 3が出力した電流値 I_u , I_v は、モータ制御装置 4に入力される。

10

【0022】

図 3は、電流検出器 3の一例を示す図である。図 3の電流検出器 3は、U相の電流検出器 3Uと、V相の電流検出器 3Vと、を備える。電流検出器 3Uは、シャント抵抗 31uと、差動アンプ 32uと、AD変換器 33uと、を備える。

【0023】

シャント抵抗 31uは、駆動回路 22Uの出力端子と、U相のコイル 11と、の間に接続される。駆動回路 22Uが電流 I_u をコイル 11に供給すると、電流 I_u がシャント抵抗 31uに流れ、シャント抵抗 31uの抵抗値に応じた電圧降下が生じる。

【0024】

差動アンプ 32uは、シャント抵抗 31uの両端に差動入力端子を接続され、シャント抵抗 31uで生じた電圧降下(シャント抵抗 31uの両端子間の電位差)を、所定の利得で増幅し、出力する。

20

【0025】

AD変換器 33uは、差動アンプ 32uの出力信号をAD(Analog to Digital)変換し、得られたデジタル値を出力する。このデジタル値は、電流値 I_u としてモータ制御装置 4に入力される。

【0026】

なお、電流検出器 3Vの構成は、電流検出器 3Uと同様であるため、説明を省略する。また、電流検出器 3は図 3の構成に限られない。電流検出器 3として、電流値 I_u , I_v を検出可能な任意の回路を利用できる。

30

【0027】

モータ制御装置 4は、プロセッサと、メモリと、により構成される。プロセッサは、例えば、CPU(Central Processing Unit)、MPU(Micro Processing Unit)、DSP(Digital Signal Processor)などである。プロセッサは、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)、FPGA(Field Programmable Gate Array)、PLD(Programmable Logic Device)などであってもよい。プロセッサは、メモリに格納されたプログラムを実行する。

【0028】

メモリは、DRAM(Dynamic Random Access Memory)、SRAM(Static RAM)、MRAM(Magnetic RAM)、フラッシュメモリなどである。メモリは、プロセッサが実行するプログラムを格納する。

40

【0029】

モータ制御装置 4は、プロセッサ及びメモリを、それぞれ1つ備えてもよいし、複数備えてもよい。モータ制御装置 4は、例えば、ICチップにより実現される。この場合、ICチップには、インバータ 2及び電流検出器 3の少なくとも一方が含まれてもよい。

【0030】

モータ制御装置 4は、速度指令値 m^* に基づいて、電圧指令値 V_{u^*} , V_{v^*} , V_{w^*} を計算し、出力する。速度指令値 m^* は、回転子 12の速度(角速度)の指令値である。速度指令値 m^* は、機械角で表され、外部(例えば、上位のアプリケーション)か

50

ら入力される。速度指令値 m^* は、予め設定されていてもよい。モータ制御装置 4 が出力した電圧指令値 V_u^* , V_v^* , V_w^* は、インバータ 2 に入力される。

【0031】

図 1 に示すように、モータ制御装置 4 は、機能構成として、速度制御部 4 1 と、電流制御部 4 2 と、高調波重畳部 4 3 と、第 1 座標変換部 4 4 と、第 2 座標変換部 4 5 と、誤差パラメータ計算部 4 6 と、補正部 4 7 と、推定部 4 8 と、を備える。これらの機能構成は、プロセッサがプログラムを実行することにより実現される。本実施形態において、高調波重畳部 4 3、誤差パラメータ計算部 4 6、補正部 4 7、及び推定部 4 8 は、モータ 1 の角度を推定する角度推定装置を構成する。

【0032】

速度制御部 4 1 は、速度指令値 m^* と、速度推定値 m_{est} と、に基づいて、トルク指令値 T_e^* を計算し、出力する。速度推定値 m_{est} は、機械角で表された回転子 1 2 の速度の推定値であり、推定部 4 8 から入力される。トルク指令値 T_e^* は、モータ 1 に発生させるべきトルクの指令値である。速度制御部 4 1 は、P 制御や PI 制御により、速度推定値 m_{est} が速度指令値 m^* に一致するように、トルク指令値 T_e^* を出力する。速度制御部 4 1 が出力したトルク指令値 T_e^* は、電流制御部 4 2 に入力される。

【0033】

電流制御部 4 2 は、トルク指令値 T_e^* と、電流値 I_u , I_v と、に基づいて、電圧指令値 V_u^* , V_v^* を計算し、出力する。電流値 I_u は、モータ 1 に供給された電流の軸成分（軸電流）の計測値である。電流値 I_v は、モータ 1 に供給された電流の軸成分（軸電流）の計測値である。電圧指令値 V_u^* は、モータ 1 に印加する電圧の軸成分（軸電圧）の指令値である。電圧指令値 V_v^* は、モータ 1 に印加する電圧の軸成分（軸電圧）の指令値である。座標系について、詳しくは後述する。電流制御部 4 2 が出力した電圧指令値 V_u^* , V_v^* は、高調波重畳部 4 3 に入力される。電流制御部 4 2 は、電流指令値計算部と、比例積分制御部と、を備える。

【0034】

電流指令値計算部は、トルク指令値 T_e^* に基づいて、電流指令値 I_u^* , I_v^* を計算する。電流指令値 I_u^* は、モータ 1 に供給する電流の軸成分（軸電流）の指令値である。電流指令値 I_v^* は、モータ 1 に供給する電流の軸成分（軸電流）の指令値である。電流指令値計算部は、モータ 1 に与えるトルク値がトルク指令値 T_e^* と一致するように、電流指令値 I_u^* , I_v^* を計算する。

【0035】

比例積分制御部は、電流指令値計算部が計算した電流指令値 I_u^* , I_v^* と、電流値 I_u , I_v と、に基づいて、電圧指令値 V_u^* , V_v^* を計算し、出力する。比例積分制御部は、P 制御や PI 制御により、電流値 I_u , I_v が電流指令値 I_u^* , I_v^* と一致するように、電圧指令値 V_u^* , V_v^* を計算する。

【0036】

高調波重畳部 4 3 は、回転子 1 2 の角度誤差を推定するために、モータ 1 に印加する電圧に高調波電圧を重畳する。図 4 は、高調波重畳部 4 3 の一例を示す図である。図 4 の高調波重畳部 4 3 は、高調波生成部 4 3 1 と、加算部 4 3 2 と、を備える。

【0037】

高調波生成部 4 3 1 は、高調波電圧を生成する。すなわち、高調波生成部 4 3 1 は、高調波指令値 V_{h^*} , V_{h^*} を計算し、出力する。高調波指令値 V_{h^*} は、モータ 1 に印加する電圧に重畳する高調波電圧の軸成分の指令値である。高調波指令値 V_{h^*} は、モータ 1 に印加する電圧に重畳する高調波電圧の軸成分の指令値である。高調波電圧が正弦波である場合、高調波指令値 V_{h^*} , V_{h^*} は、例えば、以下の式で表される。

【0038】

10

20

30

40

【数 1】

$$\begin{bmatrix} V_{\gamma h^*} \\ V_{\delta h^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{hf} \cdot \cos \omega ct \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(1)$$

【0039】

式(1)において、 V_{hf} は高調波電圧の振幅、 c は高調波電圧の角速度、 t は時間である。高調波指令値 V_{h^*} は、時間 t における高調波電圧の振幅に相当する。また、高調波指令値 $V_{\delta h^*}$ は、0である。 10

【0040】

振幅 V_{hf} 及び角速度 c は、予め設定される。角速度 c は、回転子12の速度(角速度)より、十分に大きく設定される。回転子12の速度は、コイル11に印加する電圧の基本波成分の角速度に相当する。また、高調波生成部431は、角速度 c に時間 t を乗じた位相 ct を計算し、出力する。高調波生成部431が出力した位相 ct は、誤差パラメータ計算部46に入力される。

【0041】

加算部432は、高調波指令値 V_{h^*} を電圧指令値 V^* に加算した電圧指令値 V_{m^*} を計算し、出力する。また、加算部432は、高調波指令値 V_{h^*} を電圧指令値 V^* に加算した電圧指令値 V_{m^*} を計算し、出力する。加算部432が出力した電圧指令値 V_{m^*} 、 V_{m^*} は、第1座標変換部44に入力される。 20

【0042】

第1座標変換部44は、角度推定値 est に基づいて、座標系からUVW座標系への座標変換を行う。角度推定値 est とは、回転子12の角度の推定値である。第1座標変換部44は、電圧指令値 V_{m^*} 、 V_{m^*} を座標変換することにより、電圧指令値 V_{u^*} 、 V_{v^*} 、 V_{w^*} を計算し、出力する。第1座標変換部44が出力した電圧指令値 V_{u^*} 、 V_{v^*} 、 V_{w^*} は、インバータ2に入力される。 30

【0043】

第2座標変換部45は、角度推定値 est に基づいて、UVW座標系から座標系への座標変換を行う。第2座標変換部45は、電流値 I_u 、 I_v 、 I_w を座標変換することにより、電流値 I 、 I を計算し、出力する。第2座標変換部45が出力した電流値 I 、 I は、電流制御部42及び誤差パラメータ計算部46に入力される。

【0044】

図5は、モータ1の制御に利用される座標系を模式的に示す図である。図5の実線はAB座標系、点線はUVW座標系、太線はdq座標系、破線は座標系を示している。これらの各座標系の原点は共通である。

【0045】

AB座標系は、直行するA軸及びB軸からなる固定座標系である。AB座標系は、第2実施形態で利用される。 40

【0046】

UVW座標系は、互いに120度の位相差を有する、U軸、V軸、及びW軸からなる固定座標系である。図5の例では、U軸とA軸とは同位相である。U軸、V軸、及びW軸は、モータ1のU相、V相、及びW相にそれぞれ対応する。

【0047】

dq座標系は、直行するd軸及びq軸からなる回転座標系である。U軸(A軸)に対するd軸の角度は、回転子12の実際の角度である実角度 re に相当する。すなわち、dq座標系は、回転子12の実際の位置を基準とした座標系に相当する。

【0048】

50

回転子 1 2 の角度を計測するセンサを備えるモータ駆動システムでは、センサにより計測された実角度 $r e$ に基づいて、モータ 1 を制御する。しかしながら、本実施形態のように、モータ 1 をセンサレス制御する場合には、実角度 $r e$ を直接的に計測することができない。そこで、本実施形態では、モータ制御装置 4 は、実角度 $r e$ を推定し、得られた角度推定値 $e s t$ に基づいて、モータ 1 を制御する。

【 0 0 4 9 】

座標系は、直行する u 軸及び v 軸からなる回転座標系である。U 軸 (A 軸) に対する u 軸の角度は、回転子 1 2 の角度推定値 $e s t$ に相当する。すなわち、 u 座標系は、回転子 1 2 の推定された位置を基準とした座標系に相当する。実角度 $r e$ と角度推定値 $e s t$ との差が角度誤差 $e r r$ である。

10

【 0 0 5 0 】

角度推定値 $e s t$ を用いると、U V W 座標系から $u v w$ 座標系へ座標変換する変換行列 C は、以下の式で表される。

【 0 0 5 1 】

【 数 2 】

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{est}) & \cos\left(\theta_{est} - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_{est} + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_{est}) & -\sin\left(\theta_{est} - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_{est} + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

20

【 0 0 5 2 】

第 1 座標変換部 4 4 は、変換行列 C を用いて、以下の式により、電圧指令値 $V u *$, $V v *$, $V w *$ を計算する。

【 0 0 5 3 】

【 数 3 】

$$\begin{bmatrix} V u * \\ V v * \\ V w * \end{bmatrix} = C^T \begin{bmatrix} V m \gamma * \\ V m \delta * \end{bmatrix} \quad \dots(3)$$

30

【 0 0 5 4 】

また、第 2 座標変換部 4 5 は、電流値 $I u$, $I v$ に基づいて電流値 $I w$ を計算し ($I w = - I u - I v$)、変換行列 C を用いて、以下の式により、電流値 $I \gamma$, $I \delta$ を計算する。

40

【 0 0 5 5 】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} I\gamma \\ I\delta \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} Iu \\ Iv \\ Iw \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

【0056】

10

誤差パラメータ計算部46は、コイル11に流れる電流から高調波電流を抽出し、高調波電流に含まれる誤差成分を、誤差パラメータXerrとして出力する。高調波電流は、高調波電圧に対応する電流成分（高調波成分）である。

【0057】

図6は、誤差パラメータ計算部46の一例を示す図である。図6の誤差パラメータ計算部46は、BPF（Band Pass Filter）461と、乗算部462と、LPF（Low Pass Filter）463と、減算部464と、を備える。

【0058】

BPF461は、角速度 ω に対応する周波数を含む所定の帯域を通過させ、他の帯域を減衰させるフィルタである。BPF461は、電流値 I_u , I_v から基本波成分を除去し、高調波成分を抽出し、高調波電流値 I_{uh} , I_{vh} を出力する。高調波電流値 I_{uh} は、高調波電流の u 軸成分の電流値である。高調波電流値 I_{vh} は、高調波電流の v 軸成分の電流値である。BPF461が出力した高調波電流値 I_{uh} , I_{vh} は、乗算部462に入力される。一般に、モータ1における高調波電流による電圧降下は小さいため、高調波電流値 I_{uh} , I_{vh} は以下の式で近似できる。

20

【0059】

【数 5】

$$\begin{bmatrix} I\gamma_h \\ I\delta_h \end{bmatrix} = kc \cdot \sin(\omega ct) \cdot \left\{ L0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + L1 \begin{bmatrix} -\cos(2\theta_{err} + \Delta\theta_{err}) \\ \sin(2\theta_{err} + \Delta\theta_{err}) \end{bmatrix} \right\} \quad \dots(5)$$

30

【0060】

式(5)において、 kc はモータ特性やシステムの仕様で決まる定数、 $L0$, $L1$ はコイル11のインダクタンスで決まる定数である。 θ_{err} は、上述の通り、実角度 θ_{re} と角度推定値 θ_{est} との差に相当する角度誤差である。これに対して、 $\Delta\theta_{err}$ は、モータ1の特性や駆動条件によって生じる角度誤差である。

【0061】

40

乗算部462は、高調波電流に正弦波 $\sin(\omega ct)$ を乗算するミキサである。乗算部462は、高調波電流値 I_{uh} , I_{vh} に、 $\sin(\omega ct)$ を乗算した値を出力する。高調波電流に位相 ωct を有する正弦波を乗算すると、低域に誤差成分に応じたオフセットが生じる。誤差成分とは、高調波電流に含まれる、角度誤差 θ_{err} , $\Delta\theta_{err}$ に対応する電流成分のことである。乗算部462が出力した値は、LPF463に入力される。

【0062】

LPF463は、低域を通過させ、角速度 ω に対応する周波数を含む高域を減衰させるフィルタである。LPF463は、高調波電流に含まれる低域成分、すなわち、上記の誤差成分を抽出し、低域電流値 I_{uhL} , I_{vhL} を出力する。LPF463が出力した

50

低域電流値 $I_{\gamma hL}$, $I_{\delta hL}$ は、減算部 464 に入力される。低域電流値 $I_{\gamma hL}$, $I_{\delta hL}$ は、以下の式で表される。

【0063】

【数6】

$$\begin{bmatrix} I_{\gamma hL} \\ I_{\delta hL} \end{bmatrix} = kc \cdot \left\{ L0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + L1 \begin{bmatrix} -\cos(2\theta_{err} + \Delta\theta_{err}) \\ \sin(2\theta_{err} + \Delta\theta_{err}) \end{bmatrix} \right\} \quad \dots(6)$$

10

【0064】

減算部 464 は、低域電流値 $I_{\gamma hL}$, $I_{\delta hL}$ からオフセット成分 $ofsd$ を減算することにより、誤差電流値 I_{err} , I_{err} を計算する。オフセット成分 $ofsd$ は、モータ特性、システムの仕様、コイル 11 のインダクタンスなどに応じて生じるオフセット成分である。誤差電流値 I_{err} は、角度誤差 err , err によって生じた電流の誤差成分（誤差電流）の θ 軸成分の電流値である。誤差電流値 I_{err} は、角度誤差 err , err によって生じた電流の誤差成分（誤差電流）の δ 軸成分の電流値である。オフセット成分 $ofsd$ は、以下の式で表される。

【0065】

【数7】

$$ofsd = \frac{kc \cdot L0}{2} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(7)$$

20

【0066】

式(7)のオフセット成分 $ofsd$ を用いると、誤差電流値 I_{err} , I_{err} は、以下の式で計算される。

【0067】

【数8】

$$\begin{bmatrix} I_{\gamma err} \\ I_{\delta err} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{\gamma hL} \\ I_{\delta hL} \end{bmatrix} - ofsd \cong \frac{kc \cdot L1}{2} \begin{bmatrix} -\cos(2\theta_{err} + \Delta\theta_{err}) \\ \sin(2\theta_{err} + \Delta\theta_{err}) \end{bmatrix} \quad \dots(8)$$

30

40

【0068】

減算部 464 は、こうして得られた誤差電流値 I_{err} , I_{err} を出力する。本実施形態において、誤差電流値 I_{err} が誤差パラメータ X_{err} に相当する。出力された誤差電流値 I_{err} , I_{err} (X_{err}) は、補正部 47 に入力される。

【0069】

図7は、誤差電流値 I_{err} の一例を示す図である。図7において、実線は角度誤差 err が0の場合の誤差電流値 I_{err} を示し、破線は角度誤差 err が0でない場合の誤差電流値 I_{err} を示している。

【0070】

図7に示すように、角度誤差 err が0の場合、誤差電流値 I_{err} は、ゼロク

50

ロス点（誤差電流値 I_{err} が 0 となる角度誤差 err の値）が 0 の正弦関数となる。したがって、誤差電流値 I_{err} は、ゼロ近傍（角度誤差 err が 0 に近い所定の範囲）で、角度誤差 err に比例するとみなされる。

【0071】

角度誤差 err が 0 の場合、誤差電流値 I_{err} を 0 に近づけることは、角度誤差 err を 0 に近づけることに相当する。したがって、誤差電流値 I_{err} が 0 に近づくとともに角度推定値 est を計算することにより、角度推定値 est を実角度 re に近づけることができる。このため、誤差電流値 I_{err} は、誤差パラメータ X_{err} として利用される。

【0072】

しかしながら、角度誤差 err が 0 でない場合、図 7 に示すように、誤差電流値 I_{err} の位相が角度誤差 err だけ変動し、ゼロクロス点が 0 から離れる。この場合、誤差電流値 I_{err} は、ゼロ近傍で角度誤差 err に比例するとみなせなくなる。

10

【0073】

角度誤差 err が 0 でない場合、図 7 からわかるように、誤差電流値 I_{err} を 0 に近づけても、角度誤差 err が 0 に近づくととは限らない。このような誤差電流値 I_{err} を誤差パラメータ X_{err} として利用すると、実角度 re の推定精度が低下する。そこで、本実施形態では、角度誤差 err に応じて、誤差電流値 I_{err} （誤差パラメータ X_{err} ）の位相を補正する。

20

【0074】

補正部 47 は、誤差パラメータ X_{err} の位相を、所定の位相補正量 ph だけ補正する。位相を補正された誤差パラメータ X_{err} を、補正誤差パラメータ X_{ec} という。補正部 47 は、得られた補正誤差パラメータ X_{ec} を出力する。出力された補正誤差パラメータ X_{ec} は、推定部 48 に入力される。

【0075】

位相補正量 ph は、角度誤差 err と一致するように選択されるのが好ましい。このような位相補正量 ph の選択は、電流値 I 、 I_y や角度推定値 est と、角度誤差 err と、の関係を示すテーブルや関数を利用することにより可能となる。上記のテーブルや関数は、角度センサを利用した実験により得られた角度誤差 err のデータや、磁気シミュレーションを利用して得られた角度誤差 err のデータに基づいて、用意することができる。

30

【0076】

例えば、角度誤差 err と、角度推定値 est と、の関係を示すテーブルが予め用意されている場合について考える。この場合、補正部 47 は、推定部 48 から角度推定値 est を取得し、取得した角度推定値 est に対応する角度誤差 err を、位相補正量 ph として選択すればよい。

【0077】

本実施形態では、誤差パラメータ X_{err} は、誤差電流値 I_{err} である。したがって、位相補正量 ph が角度誤差 err に十分近い場合、補正誤差パラメータ X_{ec} は、以下の式で表される。

40

【0078】

【数 9】

$$X_{ec} = \begin{bmatrix} \sin(\Delta\theta_{ph}) \\ \cos(\Delta\theta_{ph}) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_{yerr} \\ I_{\delta err} \end{bmatrix} \cong \frac{kc \cdot L1}{2} \sin(2\theta_{err}) \quad \dots(9)$$

【0079】

10

式(8)及び式(9)からわかるように、補正誤差パラメータ X_{ec} は、位相を角度誤差 θ_{err} (位相補正量 θ_{ph})だけ変化させた誤差パラメータ X_{err} に相当する。

【0080】

図8は、誤差パラメータ X_{err} 及び補正誤差パラメータ X_{ec} の一例を示す図である。図8において、実線は補正誤差パラメータ X_{ec} を示し、破線は誤差パラメータ X_{err} を示している。

【0081】

図8の例では、誤差パラメータ X_{err} は、ゼロクロス点が角度誤差 θ_{err} だけずれている。この誤差パラメータ X_{err} の位相を、角度誤差 θ_{err} だけ補正することにより、ゼロクロス点が0に一致した補正誤差パラメータ X_{ec} を生成することができる。

20

【0082】

推定部48は、補正誤差パラメータ X_{ec} に基づいて、回転子12の実角度 θ_{re} 及び実速度 ω_{re} を推定する。実速度 ω_{re} は、機械角で表された回転子12の実際の速度である。すなわち、推定部48は、角度推定値 θ_{est} 及び速度推定値 ω_{mest} を計算する。図9は、推定部48の一例を示す図である。図9の推定部48は、誤差収束部481と、積分部482と、を備える。

【0083】

誤差収束部481は、PI制御により、補正誤差パラメータ X_{ec} が0に近づくように、速度推定値 ω_{mest} を計算し、出力する。具体的には、誤差収束部481は、補正誤差パラメータ X_{ec} に比例ゲイン K_p を乗じた値と、補正誤差パラメータ X_{ec} を積分($1/s$)して積分ゲイン K_i を乗じた値と、の和を速度推定値 ω_{mest} として出力する。出力された速度推定値 ω_{mest} は、速度制御部41及び積分部482に入力される。

30

【0084】

積分部482は、速度推定値 ω_{mest} に基づいて、角度推定値 θ_{est} を計算する。具体的には、積分部482は、速度推定値 ω_{mest} に極ペア数 p を乗じた値を積分($1/s$)した値を、角度推定値 θ_{est} として出力する。これは、速度推定値 ω_{mest} が機械角で表されるのに対して、角度推定値 θ_{est} は電気角で表されるためである。角度推定値 θ_{est} は、以下の式で表される。

【0085】

40

【数10】

$$\theta_{est} = p \cdot \int (\omega_{mest}) dt \quad \dots(10)$$

【0086】

50

積分部 482 は、式 (10) により得られた角度推定値 e_{st} を出力する。出力された角度推定値 e_{st} は、第 1 座標変換部 44 及び第 2 座標変換部 45 に入力される。

【0087】

(モータ駆動システムの動作)

次に、本実施形態に係るモータ駆動システムの動作について説明する。図 10 は、本実施形態に係るモータ駆動システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【0088】

モータ 1 の駆動を開始すると、速度制御部 41 は、速度指令値 m^* と、速度推定値 m_{est} との差が 0 になるようにトルク指令値 T_e^* を計算し、出力する (ステップ S101)。速度制御部 41 が出力したトルク指令値 T_e^* は、電流制御部 42 に入力される。

10

【0089】

電流制御部 42 は、トルク指令値 T_e^* に基づいて電流指令値 I^* 、 I^* を計算する。電流制御部 42 は、電流指令値 I^* 、 I^* と、電流値 I 、 I と、の差が 0 になるように電圧指令値 V^* 、 V^* を計算し、出力する (ステップ S102)。電流制御部 42 が出力した電圧指令値 V^* 、 V^* は、高調波重畳部 43 に入力される。

【0090】

高調波重畳部 43 は、電圧指令値 V^* 、 V^* に高調波指令値 V_{h^*} 、 V_{h^*} を加算し、得られた電圧指令値 V_{m^*} 、 V_{m^*} を出力する (ステップ S103)。これは、コイル 11 に印加する電圧に、高調波電圧を重畳することに相当する。高調波重畳部 43 が出力した電圧指令値 V_{m^*} 、 V_{m^*} は、第 1 座標変換部 44 に入力される。また、電圧指令値 V_{m^*} 、 V_{m^*} の計算に利用された位相 c_t は、誤差パラメータ計算部 46 に入力される。

20

【0091】

第 1 座標変換部 44 は、電圧指令値 V_{m^*} 、 V_{m^*} の座標系を、座標系から UVW 座標系に変換することにより、電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を計算し、出力する (ステップ S104)。第 1 座標変換部 44 が出力した電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* は、インバータ 2 に入力される。

【0092】

インバータ 2 は、電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* をパルス幅変調することにより、ゲート信号を生成する。インバータ 2 は、このゲート信号により駆動回路 22 のスイッチング素子をオンオフすることにより、電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に応じた電流 I_u 、 I_v 、 I_w を 3 相のコイル 11 に供給する (ステップ S105)。こうして供給された電流 I_u 、 I_v 、 I_w により、回転子 12 が回転する。すなわち、モータ 1 が駆動される。

30

【0093】

電流検出器 3 は、U 相及び V 相のコイル 11 に流れる電流 I_u 、 I_v の電流値 I_u 、 I_v を検出し、出力する (ステップ S106)。電流検出器 3 が出力した電流値 I_u 、 I_v は、第 2 座標変換部 45 に入力される。

【0094】

第 2 座標変換部 45 は、電流値 I_u 、 I_v から電流値 I_w を計算する。そして、第 2 座標変換部 45 は、電流値 I_u 、 I_v 、 I_w の座標系を、UVW 座標系から座標系に変換することにより、電流値 I 、 I を計算し、出力する (ステップ S107)。第 2 座標変換部 45 が出力した電流値 I 、 I は、電流制御部 42 及び誤差パラメータ計算部 46 に入力される。

40

【0095】

誤差パラメータ計算部 46 は、電流値 I 、 I と、位相 c_t と、に基づいて、誤差電流値 I_{err} 、 I_{err} を計算し、出力する (ステップ S108)。上述の通り、誤差電流値 I_{err} は、誤差パラメータ X_{err} に相当する。誤差パラメータ計算部 46 が出力した誤差電流値 I_{err} 、 I_{err} は、補正部 47 に入力される。

50

【0096】

補正部47は、誤差パラメータ X_{err} の位相を、位相補正量 ph だけ補正する。すなわち、補正部47は、誤差電流値 I_{err} 、 I_{err} に基づいて、補正誤差パラメータ X_{ec} を計算する(ステップS109)。補正部47が計算した補正誤差パラメータ X_{ec} は、推定部48に入力される。

【0097】

推定部48は、補正誤差パラメータ X_{ec} が0に近づくように、速度推定値 mes_t を計算し、出力する。推定部48が出力した速度推定値 mes_t は、速度制御部41に入力される。また、推定部48は、速度推定値 mes_t に基づいて、角度推定値 es_t を計算し、出力する(ステップS110)。推定部48が出力した角度推定値 es_t は、第1座標変換部44及び第2座標変換部45に入力される。

10

【0098】

モータ駆動システムは、モータ1の駆動を終了するまで(ステップS111のNO)、ステップS101~S110の処理を繰り返し実行する。

【0099】

以上説明した通り、本実施形態によれば、誤差パラメータ X_{err} の位相を補正することができる。このため、本実施形態によれば、モータ1の特性や駆動条件に起因して、誤差パラメータ X_{err} に角度誤差 err が生じた場合であっても、誤差パラメータ X_{err} の位相を補正し、ゼロクロス点を角度誤差0(= err)に近づけることができる。これにより、角度誤差 err による影響を抑制し、回転子12の角度及び速度を精度よく推定することができる。また、精度よく推定された角度や速度を利用することにより、モータ1を精度よく制御することができる。

20

【0100】

従来、誤差パラメータ X_{err} の補正方法として、誤差パラメータ X_{err} を振幅方向に補正する方法が知られている。図11は、従来の補正方法を説明する図である。図11の破線は誤差パラメータ X_{err} を示し、実線は従来の補正方法により補正された誤差パラメータ X_{err} を示す。

【0101】

図11に示すように、従来の補正方法では、誤差パラメータ X_{err} のゼロクロス点が0から離れている場合、誤差パラメータ X_{err} が振幅方向に振幅補正量 X だけ補正された。この補正方法によれば、本実施形態と同様に、誤差パラメータ X_{err} のゼロクロス点を0に近づけることができる。

30

【0102】

しかしながら、誤差パラメータ X_{err} を振幅方向に補正した場合、図11に示すように、ゼロ近傍における誤差パラメータ X_{err} の傾きが緩やかになった。この結果、角度及び速度を推定するためのPI制御のループゲインが低下するという問題があった。

【0103】

これに対して、本実施形態によれば、誤差パラメータ X_{err} を補正しても、図8に示すように、ゼロ近傍における誤差パラメータ X_{err} の傾きは緩やかにはならない。したがって、本実施形態によれば、上記従来の補正方法に比べて、PI制御のループゲインを向上させ、応答速度を向上させることができる。

40

【0104】

また、上記従来の補正方法では、誤差パラメータ X_{err} のピークの偏りを抑制できないため、適切なゼロクロス点到追従可能な、正又は負の角度誤差 err の範囲(以下、「制御可能範囲」という)Rが狭くなった。例えば、図11の例では、誤差パラメータ X_{err} のゼロクロス点が0である場合に比べて、正の制御可能範囲Rが狭くなっている。この結果、外乱などの影響により、角度誤差 err が制御可能範囲Rを超えやすくなり、モータ1の制御が不安定になるという問題があった。

【0105】

これに対して、本実施形態によれば、図8に示すように、誤差パラメータ X_{err} のピ

50

ークの偏りを抑制し、制御可能範囲Rを広くすることができる。この結果、上記従来の補正方法に比べて、モータ1の制御を安定させることができる。

【0106】

なお、本実施形態に係る補正方法（位相の補正）と、上記従来の補正方法（振幅方向の補正）と、を併用して、誤差パラメータ X_{err} を補正することも可能である。

【0107】

また、誤差パラメータ X_{err} は、誤差電流値 I_{err} に限られない。誤差パラメータ X_{err} として、角度誤差 θ_{err} が0である場合にゼロ近傍で角度誤差 θ_{err} に比例する任意のパラメータを利用できる。また、誤差パラメータ X_{err} は、誤差電流 I_{err} のような正弦波に限られず、のこぎり波などであってもよい。

10

【0108】

図12は、画像形成装置の一例を示す図である。図12の画像形成装置5は、プリンタ機能を備える。画像形成装置5は、スキャナ機能やFAX機能などを備えてもよい。画像形成装置5は、給紙ローラ51や紙搬送ローラ52などのローラを備える。本実施形態に係るモータ駆動システムは、これらのローラを駆動するためのモータの駆動システムとして利用できる。

【0109】

図13は、搬送装置の一例を示す図である。図13の搬送装置6は、紙、紙幣、プリプレグなどのシート状の対象物を搬送する任意の装置である。搬送装置6は、画像形成装置5に搭載されていてもよい。搬送装置6は、対象物を搬送するための搬送ローラ61を備える。本実施形態に係るモータ駆動システムは、これらのローラを駆動するためのモータの駆動システムとして利用できる。

20

【0110】

なお、本実施形態に係るモータ駆動システムは、画像形成装置5や搬送装置6に限られず、自動車、ロボット、アミューズメント機器など、ステッピングモータを搭載した任意の装置に適用可能である。

【0111】

<第2実施形態>

第2実施形態に係るモータ駆動システムについて、図14を参照して説明する。本実施形態では、ステッピングモータを駆動するモータ駆動システムについて説明する。

30

【0112】

（モータ駆動システムの構成）

図14は、本実施形態に係るモータ駆動システムの構成の一例を示す図である。図14のモータ駆動システムは、モータ1と、インバータ2と、電流検出器3と、モータ制御装置4と、を備える。以下、第1実施形態との相違点を中心に説明する。

【0113】

モータ1は、2相のステッピングモータである。モータ1の各相を、A相及びB相と称する。モータ1は、2相のコイル11（固定子）と、回転子12と、を備える。モータ1は、インバータ2からA相及びB相のコイル11にそれぞれ電流 I_a 、 I_b を供給される。モータ1の回転子12は、電流 I_a 、 I_b に応じてA相及びB相のコイル11が発生させた磁界に従って回転する。

40

【0114】

インバータ2は、モータ制御装置4が出力した電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* に応じた電流 I_a 、 I_b をモータ1に供給し、モータ1を駆動する。電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* 、A相及びB相のコイル11にそれぞれ印加する電圧の指令値である。インバータ2の構成は、2相構成であることを除き、第1実施形態と同様である。

【0115】

電流検出器3は、A相及びB相のコイル11に流れる電流 I_a 、 I_b の電流値 I_a 、 I_b を検出し、出力する。電流検出器3が出力した電流値 I_a 、 I_b は、第2座標変換部45に入力される。電流検出器3の構成は、第1実施形態と同様である。

50

【 0 1 1 6 】

本実施形態において、モータ制御装置 4 は、回転子 1 2 の回転により生じる誘起電圧を利用して、回転子 1 2 の角度及び速度を推定する。このため、モータ制御装置 4 は、高調波重畳部 4 3 を備えない。電流制御部 4 2 が出力した電圧指令値 V^* 、 V^* は、第 1 座標変換部 4 4 に入力される。また、モータ 1 が 2 相のステップモータであるため、第 1 座標変換部 4 4 及び第 2 座標変換部 4 5 は、座標系と A B 座標系との間の座標変換を行う。また、誤差パラメータ X_{err} 及び補正誤差パラメータ X_{ec} が第 1 実施形態とは異なる。

【 0 1 1 7 】

以下では、第 1 座標変換部 4 4、第 2 座標変換部 4 5、誤差パラメータ計算部 4 6、及び補正部 4 7 について、説明する。他の構成は、第 1 実施形態と同様である。

10

【 0 1 1 8 】

第 1 座標変換部 4 4 は、角度推定値 θ_{est} に基づいて、座標系から A B 座標系への座標変換を行う。第 1 座標変換部 4 4 は、電圧指令値 V^* 、 V^* を座標変換することにより、電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* を計算し、出力する。第 1 座標変換部 4 4 が出力した電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* は、インバータ 2 に入力される。

【 0 1 1 9 】

第 2 座標変換部 4 5 は、角度推定値 θ_{est} に基づいて、A B 座標系から座標系への座標変換を行う。第 2 座標変換部 4 5 は、電流値 I_a 、 I_b を座標変換することにより、電流値 I 、 I を計算し、出力する。第 2 座標変換部 4 5 が出力した電流値 I 、 I は、電流制御部 4 2 及び誤差パラメータ計算部 4 6 に入力される。

20

【 0 1 2 0 】

角度推定値 θ_{est} を用いると、A B 座標系から座標系へ座標変換する変換行列 R は、以下の式で表される。

【 0 1 2 1 】

【 数 1 1 】

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta_{est} & -\sin \theta_{est} \\ \sin \theta_{est} & \cos \theta_{est} \end{bmatrix} \quad \dots (11)$$

30

【 0 1 2 2 】

第 1 座標変換部 4 4 は、変換行列 R を用いて、以下の式により、電圧指令値 V_a^* 、 V_b^* を計算する。

【 0 1 2 3 】

【 数 1 2 】

$$\begin{bmatrix} V_a^* \\ V_b^* \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} V_\gamma^* \\ V_\delta^* \end{bmatrix} \quad \dots (12)$$

40

【 0 1 2 4 】

また、第 2 座標変換部 4 5 は、変換行列 R を用いて、以下の式により、電流値 I 、 I を計算する。

【 0 1 2 5 】

【数 1 3】

$$\begin{bmatrix} I\gamma \\ I\delta \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} Ia \\ Ib \end{bmatrix} \quad \dots(13)$$

【0 1 2 6】

誤差パラメータ計算部 4 6 は、回転子 1 2 の回転により生じる誘起電圧を利用して、角度誤差を推定する。誘起電圧を利用した推定方法は、モータ 1 の中速～高速駆動時に好適に利用できる。誘起電圧を利用した角度誤差の推定方法として、例えば、拡張誘起電圧を利用する方法が知られている。この推定方法では、以下の拡張誘起電圧モデルが利用される。

【0 1 2 7】

【数 1 4】

$$\begin{bmatrix} V\gamma^* \\ V\delta^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + \rho \cdot Ld & -p \cdot \omega mre \cdot Lq \\ \omega mre \cdot Lq & R + \rho \cdot Ld \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I\gamma \\ I\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e\gamma \\ e\delta \end{bmatrix} \quad \dots(14)$$

$$\begin{bmatrix} e\gamma \\ e\delta \end{bmatrix} = Eex \cdot \begin{bmatrix} -\sin(\thetaerr + \Delta\thetaerr) \\ \cos(\thetaerr + \Delta\thetaerr) \end{bmatrix} + p(\omega mest - \omega mre)Ld \begin{bmatrix} -I\gamma \\ I\delta \end{bmatrix} \quad \dots(15)$$

$$Eex = p \cdot \omega mre \{ (Ld - Lq)Id + \Psi a \} - (Ld - Lq)\rho \cdot Iq \quad \dots(16)$$

【0 1 2 8】

式(14)～(16)において、Rはコイル抵抗、Ldはインダクタンスのd軸成分、Lqはインダクタンスのq軸成分、aは回転子12による鎖交磁束である。これらのパラメータは、モータ1の特性により決まる。また、 $\frac{d}{dt}$ は微分演算子、pは極ペア数、eは誘起電圧の軸成分、eは誘起電圧の軸成分、Eexは拡張誘起電圧である。

【0 1 2 9】

ここで、モータ1が定速で回転し、速度推定値 $\omega mest$ と実速度 ωmre とがほぼ等しく、電流値 I , I がほぼ一定とし、式(15)の正弦関数及び余弦関数について整理すると、以下の式が得られる。

【0 1 3 0】

【数 1 5】

$$\begin{bmatrix} \sin(\thetaerr + \Delta\thetaerr) \\ -\cos(\thetaerr + \Delta\thetaerr) \end{bmatrix} \cong \frac{1}{\omega mre \Psi a} \begin{bmatrix} V\delta^* - R \cdot I\delta + \omega mre \cdot Lq \cdot I\gamma \\ V\gamma^* - R \cdot I\gamma + \omega mre \cdot Lq \cdot I\delta \end{bmatrix} \quad \dots(17)$$

【0 1 3 1】

本実施形態では、式(17)の正弦関数 $\sin(\thetaerr + \Delta\thetaerr)$ が、誤差パラメータ $Xerr$ に相当する。すなわち、誤差パラメータ計算部 4 6 は、式(17)を計算することにより、誤差パラメータ $Xerr$ を計算できる。なお、式(17)における実速

度 $m r e$ は得られないため、誤差パラメータ計算部 46 は、実速度 $m r e$ の代わりに、速度指令値 $m *$ 又は速度推定値 $m e s t *$ を用いて式 (17) は計算すればよい。

【0132】

誤差パラメータ計算部 46 は、こうして得られた上記の正弦関数の値 (誤差パラメータ $e r r$) 及び余弦関数の値を出力する。誤差パラメータ計算部 46 が出力した値は、補正部 47 に入力される。

【0133】

補正部 47 は、誤差パラメータ $X e r r$ の位相を、所定の位相補正量 $p h$ だけ補正する。位相補正量 $p h$ が角度誤差 $e r r$ に十分近い場合、補正誤差パラメータ $X e c$ は、以下の式で表される。

10

【0134】

【数16】

$$X e c = \begin{bmatrix} \sin(\Delta\theta p h) \\ \cos(\Delta\theta p h) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \sin(\theta e r r + \Delta\theta e r r) \\ -\cos(\theta e r r + \Delta\theta e r r) \end{bmatrix} \cong \sin(\theta e r r) \quad \dots(18)$$

20

【0135】

式 (17) 及び式 (18) からわかるように、補正誤差パラメータ $X e c$ は、位相を角度誤差 $e r r$ (位相補正量 $p h$) だけ変化させた誤差補正パラメータ $X e r r$ に相当する。補正部 47 は、こうして得られた補正誤差パラメータ $X e c$ を出力する。補正部 47 が出力した補正誤差パラメータ $X e c$ は、推定部 48 に入力される。

【0136】

以上のような構成により、本実施形態によれば、モータ 1 が 2 相のステップモータの場合であっても、第 1 実施形態と同様に、モータ 1 を制御することができる。したがって、第 1 実施形態と同様の効果が得られる。

【0137】

なお、上記実施形態に挙げた構成等に、その他の要素との組み合わせなど、ここで示した構成に本発明が限定されるものではない。これらの点に関しては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で変更することが可能であり、その応用形態に応じて適切に定めることができる。

30

【符号の説明】

【0138】

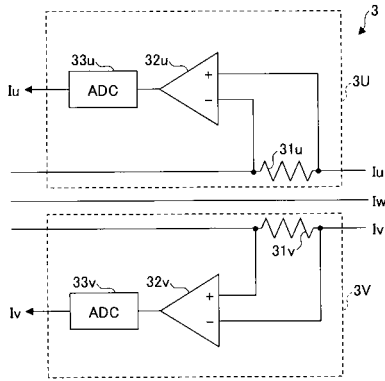
- 1 : モータ
- 2 : インバータ
- 3 : 電流検出器
- 4 : モータ制御装置
- 5 : 画像形成装置
- 6 : 搬送装置
- 41 : 速度制御部
- 42 : 電流制御部
- 43 : 高調波重畳部
- 44 : 第 1 座標変換部
- 45 : 第 2 座標変換部
- 46 : 誤差パラメータ計算部
- 47 : 補正部
- 48 : 推定部

40

50

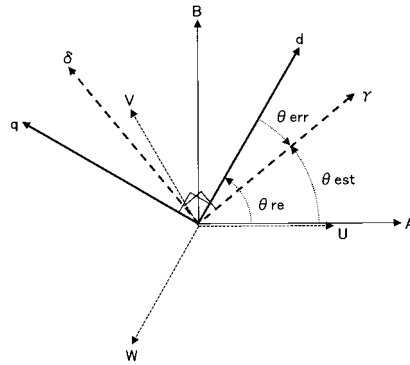
【 図 3 】

電流検出器の一例を示す図



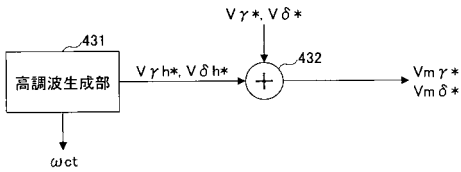
【 図 5 】

モータ制御に利用される座標系を模式的に示す図



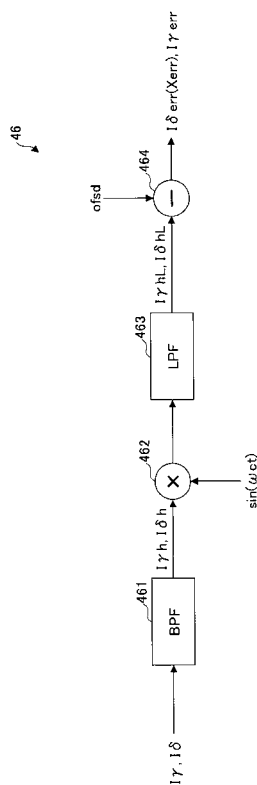
【 図 4 】

高調波重畳部の一例を示す図



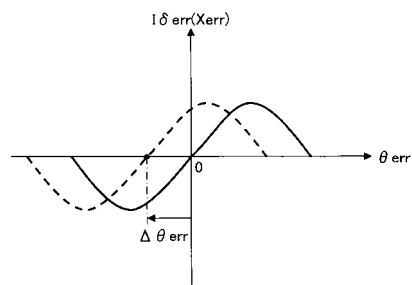
【 図 6 】

誤差パラメータ計算部の一例を示す図



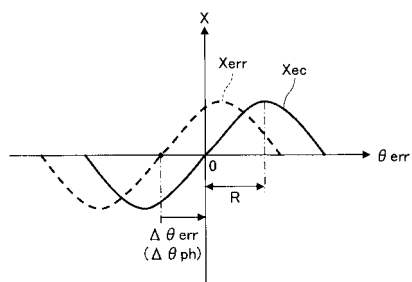
【 図 7 】

誤差電流値の一例を示す図



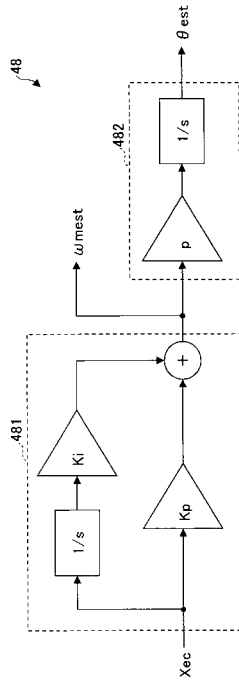
【 図 8 】

誤差パラメータ及び補正誤差パラメータの一例を示す図



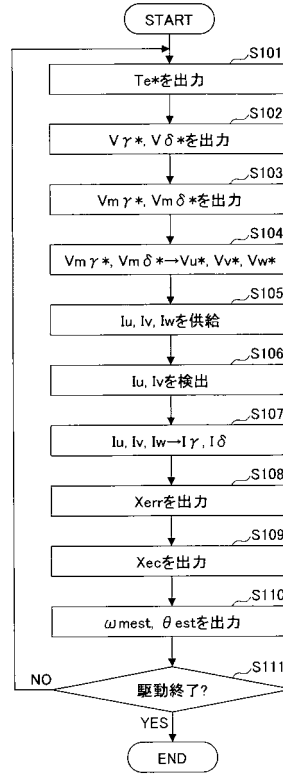
【 図 9 】

推定部の一例を示す図



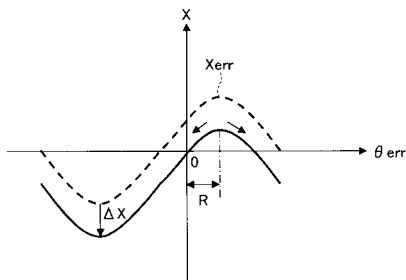
【 図 10 】

第1実施形態に係るモータ駆動システムの動作の一例を示すフローチャート



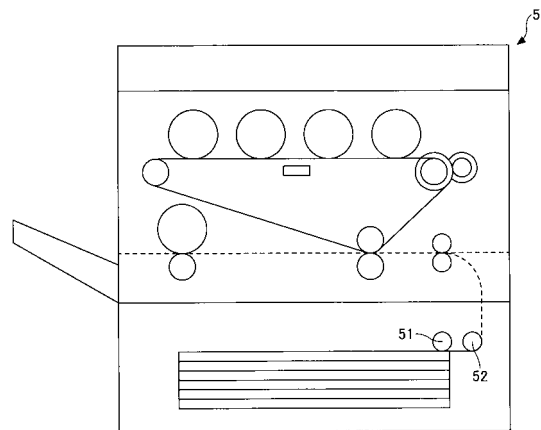
【 図 11 】

従来の補正方法を説明する図



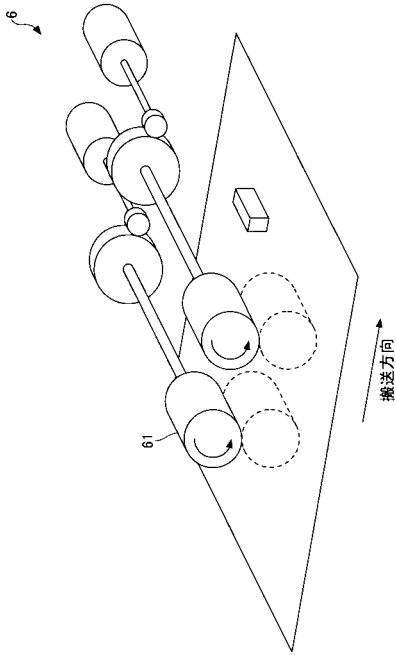
【 図 12 】

画像形成装置の一例を示す図



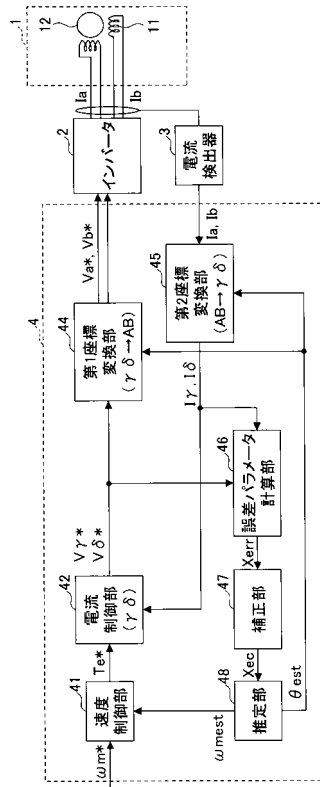
【 図 1 3 】

搬送装置の一例を示す図



【 図 1 4 】

第2実施形態に係るモータ駆動システムの構成の一例を示す図



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H560 AA03 AA10 BB04 BB07 BB12 DA14 DB20 DC12 EB01 RR10
TT08 TT11 TT15 UA05 XA02 XA12 XA13
5H580 AA02 BB09 CA12 CB03 EE03 FA02 FA14 HH14 HH22