

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年10月31日(31.10.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/207754 A1

(51) 国際特許分類:

H02P 6/16 (2016.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2018/017137

(22) 国際出願日:

2018年4月27日(27.04.2018)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 家 澤 雅 宏 (IEZAWA Masahiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 小川 泰文

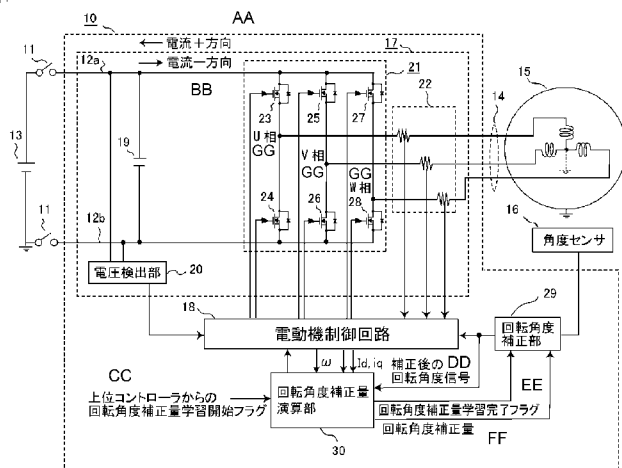
(OGAWA Yasufumi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 金原 義彦(KIMPARA Yoshihiko); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 松浦 大樹(MATSUURA Daiki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 北川 潤(KITAGAWA Jun); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 大 岩 増 雄, 外 (OIWA Masuo et al.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘3丁目35番8号 Hyogo (JP).

(54) Title: ELECTRIC MOTOR CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: 電動機制御装置

図1



- 16 Angle sensor
- 18 Electric motor control circuit
- 20 Voltage detection unit
- 29 Rotation angle correction unit
- 30 Rotation angle correction amount calculation unit
- AA Current + direction
- BB Current - direction
- CC Rotation angle correction amount learning start flag from higher-level controller
- DD Rotation angle signal after correction
- EE Rotation angle correction amount learning completion flag
- FF Rotation angle correction amount
- GG Phase

(57) Abstract: Provided is an electric motor control device capable of highly accurately calculating a rotation angle correction value used for correcting the phase of a rotation angle signal of an angle sensor. The electric motor control device is provided with a rotation angle correction amount calculation unit (30) for calculating, on the basis of a rotation angle signal of an AC electric motor (15) output from an angle sensor (16) and a current detection signal of the AC electric motor (15) output from a current detection unit (21), a rotation angle correction amount for correcting the rotation angle error between the rotation angle signal and the magnetic pole position of the AC electric motor (15). The rotation angle correction amount calculation unit (30) calculates at least either one of the rotation angle correction amount of a DC component and the rotation angle correction amount of an AC component on the basis of the current detection signal obtained when short-circuiting between the winding terminals of the AC electric motor (15).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 角度センサの回転角度信号の位相補正に用いる回転角度補正値を高精度に算出できる電動機制御装置を得る。角度センサ(16)から出力された交流電動機(15)の回転角度信号と電流検出部(21)から出力された交流電動機(15)の電流検出信号とをともに、前記回転角度信号と交流電動機(15)の磁極位置との回転角度誤差を補正する回転角度補正量を算出する回転角度補正量演算部(30)を備え、回転角度補正量演算部(30)は、交流電動機(15)の巻線端子間を短絡したときの電流検出信号にもとづいて、直流成分の回転角度補正量と交流成分の回転角度補正量の少なくとも何れか一方の回転角度補正量を算出する。

明 細 書

発明の名称：電動機制御装置

技術分野

[0001] 本願は、インバータにより交流電動機を駆動制御する電動機制御装置に関するものである。

背景技術

[0002] 交流電動機をインバータにより駆動制御する場合、交流電動機の回転子の磁極位置を正確に検出するために角度センサが使用されている。しかし、交流電動機の製造時には、この角度センサの取付け位置が厳密に管理されていないため、交流電動機の無通電時の誘導起電力の位相（後述のd軸方向に一致する位相であり、以下、磁極位置という。）と角度センサによる回転角度信号との間には回転角度誤差が存在するのが一般的である。

この回転角度誤差を放置したままでは、インバータから交流電動機に供給する電流ベクトルを交流電動機の回転に応じて意図したトルク、あるいは意図した効率で回転させることができないため、交流電動機の起動時あるいは初回起動時に、何らかの方法によって回転角度誤差を検出し、その検出値を回転角度補正量として回転角度信号の位相を補正する必要がある。

[0003] 前記の点に鑑み、例えば特許文献1には、交流電動機を空転させた状態でインバータの半導体スイッチング素子を制御し、交流電動機の固定子に設けられた電機子巻線を短絡させ、電機子巻線に発生する無負荷誘導起電力によって流れる巻線電流から、前記回転角度誤差を推定するようにした電動機制御装置が開示されている。

より詳細には、特許文献1において特許文献2に開示された方法、即ち、三相巻線のU相を基準とした $\alpha\beta$ 座標系を用いており、そこでは短い短絡時間における電流を検出し、このときの電流位相から回転角度補正量を算出している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 1 3 － 2 1 8 4 3 号公報

特許文献2：特開平 1 1 － 7 5 3 9 4 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] このような電動機制御装置にあっては、回転角周波数と、一定時間経過後の時間と、三相巻線のU相を基準とした $\alpha\beta$ 座標系での電流位相と、をもとにして磁極位置を推定計算し、前記回転角度信号と前記磁極位置との平均的な回転角度誤差（本明細書では「直流成分の回転角度誤差」という。）を算出している。このように、従来の電動機制御装置では、角度センサの回転角度信号に含まれる直流成分の回転角度誤差が考慮されているのみであり、主に、回転角度信号と磁極位置との角度誤差の交流成分（本明細書では「交流成分の回転角度誤差」という。）が回転角度誤差として残る課題があった。

[0006] また、直流成分の回転角度誤差の算出においては、三相巻線のU相を基準とした $\alpha\beta$ 座標系で電流位相を推定計算しているため、 $\alpha\beta$ 座標系での電流検出値を交流信号として処理しなければならなくなっている。このため、電流検出信号のノイズ除去のためのフィルタ処理による時間遅れによって、更に回転角度誤差が増加する課題があった。

[0007] また、回転角周波数で振動する電流の一定時間経過後の時間における電流を用いて回転角度誤差を算出しているため、時定数の大きいフィルタを通した電流検出信号を用いることができない。このため、電流センサのノイズが多く含まれる電流検出信号を用いなければならず、磁極位置の推定誤差が大きくなる課題があった。

[0008] 更に、交流電動機の低速回転時には、交流電動機のコイル抵抗値による電圧降下による電流変化の影響、あるいは交流電動機の回転数のふらつきによる速度変動が無視できないため、これらによっても回転角度の算出誤差が大きくなる課題もあった。

[0009] 本願は、前記のような課題を解決するための技術を開示するものであり、

角度センサの回転角度信号の位相補正に用いる回転角度補正値を高精度に算出できる電動機制御装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本願に開示される電動機制御装置は、交流電動機に給電するインバータを制御すると共に、角度センサから出力された前記交流電動機の回転角度信号と電流検出部から出力された前記交流電動機の電流検出信号とを入力する電動機制御回路と、前記回転角度信号と前記電流検出信号をもとに、前記回転角度信号と前記交流電動機の磁極位置との回転角度誤差を補正する回転角度補正量を算出する回転角度補正量演算部と、前記回転角度補正量演算部で算出された回転角度補正量を記憶し、前記記憶した回転角度補正量を読み出して前記回転角度信号を補正する回転角度補正部と、を備え、前記回転角度補正部で補正された回転角度信号をもとに前記交流電動機の制御を行う制御装置であって、

前記回転角度補正量演算部は、前記交流電動機の巻線端子間を短絡したときの電流検出信号にもとづいて、直流成分の回転角度補正量と交流成分の回転角度補正量の少なくとも何れか一方の回転角度補正量を算出することを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本願に開示される電動機制御装置によれば、交流電動機の巻線端子間の短絡時の電流検出信号の位相情報から、直流成分の回転角度補正量と交流成分の回転角度補正量、もしくは直流成分の回転角度補正量と交流成分の回転角度補正量の何れかを算出するようにしているので、角度センサの回転角度信号の位相補正に用いる回転角度補正量を高精度に算出することができる効果を有する。

本願の前記以外の目的、特徴、観点及び効果は、図面を参照する以下の詳細な説明から、更に明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]実施の形態1に係る電動機制御装置を含むシステムのブロック構成図で

ある。

[図2A]実施の形態１に係る電動機制御装置の回転角度補正量演算部における回転角度補正量を算出するフローチャートである。

[図2B]実施の形態１に係る電動機制御装置の回転角度補正量演算部における回転角度補正量を算出するフローチャートである。

[図3]実施の形態１に係る電動機制御装置の回転角度補正部における補正後の回転角度信号を算出するフローチャートである。

[図4]実施の形態１に係る電動機制御装置の回転角度補正部のハードウェア構成の一例を示す図である。

[図5]実施の形態１に係る電動機制御装置により制御される交流電動機の電流位相を示す図である。

[図6]実施の形態１に係る電動機制御装置により制御される交流電動機の巻線端子間の短絡時の電流を示す図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本願に係る電動機制御装置の好適な実施の形態について図面を用いて説明する。

実施の形態１．

図１は、実施の形態１に係る電動機制御装置を含むシステムのブロック構成図である。図１では、インバータ回路に直流電力を供給すると共に回生電力で充電されるバッテリー等の直流電源、及び制御対象の交流電動機をも含んで図示している。

[0014] 図１において、電動機制御装置１０は、電力開閉器１１を介して直流母線１２ａ、１２ｂにより直流電源１３と接続されており、駆動電力あるいは回生電力を直流電源１３と授受する。電動機制御装置１０は、交流母線１４により交流電動機１５と接続されており、駆動電力あるいは回生電力を交流電動機１５と授受する。

また、交流電動機１５には、交流電動機１５の回転角度を検出する角度センサ１６が設けられている。なお、交流電動機１５は、負荷を回転駆動する

と共に、負荷の回転エネルギーを電気エネルギーとして回生可能な交流電動機であり、例えば永久磁石三相交流同期モータ、あるいは三相ブラシレスモータが使用される。

[0015] 電動機制御装置 10 は、インバータ回路 17 と電動機制御回路 18 とにより構成されている。インバータ回路 17 は、電源入力側の直流母線 12 a、12 b 間に接続されたコンデンサ 19 と、インバータ回路 17 の直流母線電圧を検出する電圧検出部 20 と、後述する複数のスイッチング素子で構成され、直流／交流の電力変換を行う電力変換回路 21 と、交流母線 14 に流れる交流電動機 15 の電流を検出する電流検出部 22 とを備えている。

[0016] コンデンサ 19 は、直流母線電圧のリプルを抑制する機能、及びインバータ回路 17 の電源インピーダンスを低下させてインバータ回路 17 の交流電流駆動能力を向上させる機能、更にはサージ電圧を吸収する機能等を有している。また、電圧検出部 20 は、直流母線電圧を分圧抵抗等により電動機制御回路 18 で読み込める電圧に分圧し、電動機制御回路 18 に直流母線電圧情報を出力する。

[0017] 電力変換回路 21 は、一般的によく知られている 6 つのスイッチング素子をフルブリッジ接続したインバータである。即ち、図 1 に示されるように、スイッチング素子 23、24、スイッチング素子 25、26、スイッチング素子 27、28 は、それぞれ互いに直列に接続され、直流電源 13 に並列に接続されている。

また、スイッチング素子 23、24 の中点は交流電動機 15 の U 相の入力と接続され、スイッチング素子 25、26 の中点は交流電動機 15 の V 相の入力と接続され、スイッチング素子 27、28 の中点は交流電動機 15 の W 相の入力と接続されている。

ここで、直流電源 13 の正極側、即ち、直流母線 12 a に接続されるスイッチング素子 23、25、27 を上段側スイッチング素子と称し、直流電源の負極側、即ち、直流母線 12 b に接続されるスイッチング素子 24、26、28 を下段側スイッチング素子と称する。

- [0018] スwitching素子23から28は、例えば図1に示すようなMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)、あるいは、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等が用いられる。なお、スイッチング素子23から28の各MOSFETには、直流電源13の負極側から正極側へ向かう方向、即ち、下段側から上段側へ向かう方向を順方向として、並列にフリーホイールダイオードが設けられている。
- [0019] 電流検出部22は、交流母線14を流れるモータ電流を検出するものであり、電流を電圧に変換して交流電動機15の電流情報を電動機制御回路18に出力する。図1では、シャント抵抗により電流を検出する構成を示している。なお、電流検出部22は、ホール素子等を用いた電流センサとしてもよい。
- [0020] 電力開閉器11は、直流電源13と電動機制御装置10との電力授受を制御するものである。具体的には、電力開閉器11は、交流電動機15の回生運転時に直流電源13の電圧が設定値以上になった場合、あるいは直流電源13の消耗等により直流電源13の電圧が設定値以下になった場合、直流電源13に流れる電流が設定値以上になった場合、更には車両の故障または衝突が検出された場合等に、図示しない上位のシステムにより開放状態に制御される。
- [0021] また、角度センサ16は、レゾルバあるいはエンコーダ等により交流電動機15のロータ回転角 θ_m を検出するものである。角度センサ16で検出されたロータ回転角 θ_m は、回転角度補正部29を介して、電動機制御回路18に出力される。なお、ロータ回転角 θ_m は、交流電動機15の永久磁石の極対数をもとに電気角（磁極位置に相当する回転角度） θ に換算される。
- [0022] 電動機制御回路18は、電動機制御装置全体の制御を司るもので、マイクロコントローラ、及び駆動回路等から構成される。回転角度補正量演算部30は、上位コントローラからの回転角度補正学習開始フラグを受けて、回転角度補正部29からの出力である補正後の回転角度信号と電動機制御回路1

8で検出した交流電動機15の電流検出信号とから、回転角度補正量を算出し、回転角度補正部29へ新たな回転角度補正量を出力するものである。なお、図1では、回転角度補正部29と回転角度補正量演算部30のそれぞれを、電動機制御回路18から分離して図示しているが、回転角度補正部29と回転角度補正量演算部30は、電動機制御回路18に含まれるように構成してもよい。

[0023] 図2A及び図2Bは、回転角度補正量演算部30で実行される交流電動機15の回転角度補正量を算出するフローチャートであり、例えば、図示省略するマイクロコンピュータにおいて構成された電動機制御回路18で、一定の周期で呼び出されて一連の処理を繰り返すように実行される。図2A及び図2Bのフローチャートにおける処理について、以下に詳細に説明する。

[0024] まず、ステップS101において、回転角度補正量演算部30は、上位コントローラからの回転角度補正量学習開始フラグ、回転角度補正量学習完了フラグ、電流検出信号、電動機制御回路18により回転角度信号から演算した回転数 ω 、及び回転角度補正部29で算出した補正後の回転角度信号を読み込む。なお、補正後の回転角度信号は、図2A及び図2Bのフローチャートの処理の初回が完了する以前の場合は、前回もしくは初回に予め設定しておいた値を補正量として与えるようにしている。

[0025] 次に、ステップS102において、前記回転角度補正量学習開始フラグが有効、かつ前記回転角度補正量学習完了フラグが無効であるか否かを判定する。前記回転角度補正量学習開始フラグが有効、かつ前記回転角度補正量学習完了フラグが無効の場合にはステップS103に進み、それ以外はステップS111に進む。

[0026] 次に、ステップS103において、現在の回転数が予め設定した最低回転数より大きいかな否かを判定し、現在の回転数が予め設定した最低回転数より大きい場合にはステップS104に進み、それ以外はステップS111に進む。ここで、前記最低回転数は交流電動機15の特性と回転角度補正量の要求（必要）精度により決まる回転数であり、その決定方法は後述する。

- [0027] ステップS 1 0 4 では、交流電動機 1 5 に三相短絡指令（巻線端子間の三相すべてを短絡させるように、電動機制御回路 1 8 によりスイッチング素子 2 3 から 2 8 への信号を与える指令）を出力し、ステップS 1 0 5 に進む。
- [0028] 次に、ステップS 1 0 5 において、三相短絡指令開始からの時間を計測し、ステップS 1 0 6 に進む。ステップS 1 0 6 では、三相短絡指令を出力開始してからの時間が予め設定した回転角度補正量演算開始時間より大きいかなを判定し、三相短絡指令を出力開始してからの時間が予め設定した回転角度補正量演算開始時間より大きい場合にはステップS 1 0 7 に進み、それ以外の場合は今回の演算周期における演算処理を終了する。ステップS 1 0 7 では、後述の式 9 または式 1 0 により回転角度補正量を演算し、ステップS 1 0 8 に進む。ステップS 1 0 8 では、回転角度補正量の演算開始からの時間を計測し、ステップS 1 0 9 に進む。
- [0029] ステップS 1 0 9 では、回転角度補正量の演算開始からの時間が所定の時間以上かなを判定し、回転角度補正量の演算開始からの時間が所定の時間以上である場合にはステップS 1 1 0 に進み、それ以外の場合には今回の演算周期における演算処理を終了する。なお、ステップS 1 0 9 における所定の時間の決定方法は後述する。
- [0030] ステップS 1 1 0 では、回転角度補正量学習完了フラグを有効にして、回転角度補正量を回転角度補正部 2 9 に出力し、処理を終了する。ステップS 1 1 1 は、三相短絡指令を解除し、今回の演算周期における演算処理を終了する。
- [0031] 図 3 は、回転角度補正部 2 9 における補正後の回転角度信号を算出するフローチャートであり、例えば、図示省略するマイクロコンピュータにおいて構成された電動機制御回路 1 8 で、一定の周期で呼び出されて、処理を繰り返すような構成となっている。図 3 のフローチャートにおける処理について、以下に詳細に説明する。
- [0032] 回転角度補正部 2 9 は、回転角度補正量演算部 3 0 からの回転角度補正量学習完了フラグ、回転角度補正量、及び角度センサ 1 6 からの回転角度信号

を受けて、補正後の回転角度信号を出力する。

図3のフローチャートにおいて、まず、ステップS201において、回転角度補正部29は、回転角度補正量演算部30からの回転角度補正量学習完了フラグ、回転角度補正量、及び角度センサ16からの回転角度信号を読み込む。

[0033] 次に、ステップS202において、図3のフローチャートの演算が、電動機制御装置10の動作開始後2回目以降であればステップS203に進み、それ以外はステップS206に進む。ステップS206では、回転角度補正量に初期値をセットし、ステップS203に進む。ステップS203では、回転角度補正量学習完了フラグが有効か否かを判定し、回転角度補正量学習完了フラグが有効であればステップS204に進み、それ以外はステップS205に進む。ステップS204では、現在の回転角度補正量を記憶し、ステップS205に進む。ステップS205では、角度センサ16からの回転角度信号に、記憶された回転角度補正量を加算したものを補正後の回転角度信号として、電動機制御回路18、回転角度補正量演算部30に出力し、演算周期における演算処理を終了する。

[0034] なお、回転角度補正部29は、ハードウェアの一例を図4に示すように、プロセッサ31と記憶装置32から構成される。記憶装置32は、図示していないがランダムアクセスメモリ等の揮発性記憶装置と、フラッシュメモリ等の不揮発性の補助記憶装置とを具備する。また、フラッシュメモリの代わりにハードディスクの補助記憶装置を具備してもよい。プロセッサ31は、記憶装置32から入力されたプログラムを実行する。この場合、補助記憶装置から揮発性記憶装置を介してプロセッサ31にプログラムが入力される。また、プロセッサ31は、演算結果等のデータを記憶装置32の揮発性記憶装置に出力してもよいし、揮発性記憶装置を介して補助記憶装置にデータを保存してもよい。また、回転角度補正量演算部30も、回転角度補正部29と同様のハードウェアで構成される。

[0035] 次に、本実施の形態において、回転角度補正量を高精度に算出できる原理

を説明すると共に、前記ステップS 1 0 3における最低回転数の決定方法と、前記ステップS 1 0 9における所定の時間の決定方法について説明する。
 なお、以下では三相の永久磁石同期電動機について説明するが、三相以外の多相の電動機であってもよい。また、永久磁石以外の電動機であっても、交流電動機の巻線端子間を短絡させたときに電流が流れる電動機であればよい。

[0036] 電動機制御回路 1 8 では、交流電動機 1 5 の N 極の方向を d 軸、この d 軸に直交する方向を q 軸として、補正後の回転角度信号が交流電動機 1 5 の磁極位置に一致しているものとみなして、補正後の回転角度信号を用いて d q 座標系に変換し、交流電動機 1 5 の端子電圧 v_d 、 v_q 、交流電動機 1 5 の電機子電流 i_d 、 i_q を算出している。

以下、補正後の回転角度信号と交流電動機 1 5 の磁極位置とが完全に一致している状態として、d q 座標系に変換した交流電動機 1 5 の電圧方程式を用いて説明する。ここで式 1 は、d q 座標系に変換した交流電動機 1 5 の電圧方程式である。式 1 において、 v は電動機巻線の端子電圧、 i は電機子電流、 p は微分演算子、 ω は回転子の回転角速度（回転数）、 ϕ は逆起電力定数、 R は電動機巻線の抵抗、 L は電動機巻線のインダクタンス、添字 d、q は各量の d 軸、q 軸成分である。

[0037] [数1]

数1

$$\begin{Bmatrix} v_d \\ v_q \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R + pL_q \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} i_d \\ i_q \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ \omega\phi \end{Bmatrix} \cdots (1)$$

[0038] 交流電動機 1 5 の巻線端子間を短絡させたときには、交流電動機 1 5 の端子電圧 v_d 、 v_q が零になる。また、交流電動機 1 5 の巻線の時定数（例えば、電動機巻線のインダクタンス L / 電動機巻線の抵抗 R で計算される値）

以上、かつ、回転数が高い状態では、交流電動機 15 の巻線端子間を短絡させたときの d q 軸成分の電流はほぼ一定となることから、式 1 は式 2 のように表わすことができる。

[0039] [数2]

数2

$$\begin{bmatrix} -R & \omega L_q \\ -\omega L_d & -R \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} i_d \\ i_q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \omega\phi \end{Bmatrix} \cdots (2)$$

[0040] 式 2 から交流電動機 15 の巻線端子間を短絡させたときの電機子電流 i_d 、 i_q を求めたものが式 3 である。

[0041] [数3]

数3

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} i_d \\ i_q \end{Bmatrix} &= \frac{1}{R^2 + \omega^2 \cdot L_d \cdot L_q} \cdot \begin{bmatrix} -R & -\omega L_q \\ \omega L_d & -R \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ \omega\phi \end{Bmatrix} \\ &= \frac{-\omega \cdot L_d \cdot L_q}{R^2 + \omega^2 \cdot L_d \cdot L_q} \cdot \frac{\phi}{L_d} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\omega}{R} \\ \frac{1}{\omega \cdot L_q} \end{Bmatrix} = \frac{-\omega^2 \cdot L_d \cdot L_q}{R^2 + \omega^2 \cdot L_d \cdot L_q} \cdot \frac{\phi}{L_d} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{1}{R} \\ \frac{1}{\omega \cdot L_q} \end{Bmatrix} \\ &\cdots (3) \end{aligned}$$

[0042] 式 3 から、 $\omega \gg (R/L_q)$ とみなせるような交流電動機 15 の回転角速度（回転数） ω が十分高い回転数である場合には、 $i_d = -\phi/L_d$ 、 $i_q = 0$ とみなせるため、d q 座標系での電流位相は d 軸に漸近する。式 3 の電機子電流から磁極位置（d 軸方向）基準で電流位相を求めたものが式 4 である。交流電動機 15 の回転角速度（回転数） ω が R/L_q に対して十分高い場合には電機子電流の位相 θ_{cur} は d 軸方向に一致することがわかる（本実施の形態では、 ω が大きくなったときに、式 4 の角度が 0 度で d 軸と一致するように電機子電流 i_d 、 i_q に -1 を乗算している点で注意が必要と

なる)。なお、交流電動機 15 の巻線の抵抗 R とインダクタンス L_q と回転角速度（回転数） ω は測定、あるいは事前の解析等によりある程度の精度でわかっている場合には、回転角速度（回転数） ω が低い場合でも、式 4 の $R / (\omega \cdot L_q)$ を直接計算して、電流位相と d 軸との偏差が算出可能である。

[0043] [数4]

数4

$$\theta_{cur} = \text{atan2}(-i_d, -i_q) = \text{atan2}(-1, -R / (\omega \cdot L_q)) \cdots (4)$$

[0044] 電流検出部 22 で検出した電流検出信号 i_u , i_v , i_w は、角度センサ 16 からの回転角度信号 θ_c を用いて、式 5 の座標変換から電動機制御回路 18 における dq 軸電流 i_{dc} , i_{qc} として算出される。

[0045] [数5]

数5

$$\begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta_c & \cos \left(\theta_c - \frac{2}{3} \pi \right) & \cos \left(\theta_c + \frac{2}{3} \pi \right) \\ -\sin \theta_c & -\sin \left(\theta_c - \frac{2}{3} \pi \right) & -\sin \left(\theta_c + \frac{2}{3} \pi \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} \cdots (5)$$

[0046] 電動機制御回路 18 における dq 軸電流の位相 θ_{cur}' は、式 4 と同様の計算により、式 6 で算出するようにしている。

[0047] [数6]

数6

$$\theta_{cur}' = \text{atan2}(-i_{dc}, -i_{qc}) \cdots (6)$$

[0048] 角度センサ 16 からの回転角度信号 θ_c の原点が、磁極位置（ d 軸方向）から $\Delta \theta$ だけずれている場合には、 $\theta_{cur}' = \theta_{cur} + \Delta \theta$ となる。こ

のことから、式4と式6を用いて、式7により角度センサ16からの回転角度信号 θ_c の原点のずれ $\Delta\theta$ が求められることがわかる。

[0049] [数7]

数7

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= \theta_{cur'} - \theta_{cur} \\ &= \text{atan2}(-idc, -iqc) - \text{atan2}(-1, -R/(\omega \cdot Lq)) \cdots (7)\end{aligned}$$

[0050] 回転角度補正量 θ_{comp} を $-\Delta\theta$ として、電動機制御回路18におけるd-q軸電流の位相 $\theta_{cur'}$ を式8で補正すれば、交流電動機15の磁極位置が算出できることがわかる。

[0051] [数8]

数8

$$\theta_{cur} = \theta_{cur'} + \theta_{comp} = \theta_{cur'} - \Delta\theta \cdots (8)$$

[0052] なお、本実施の形態では、図2A及び図2BのフローチャートのステップS107において、上記の θ_{comp} ($\Delta\theta$ に相当するもの)を回転角度補正量として算出している。

[0053] 次に、前記ステップS103における最低回転数の決定方法と、前記ステップS109における所定の時間の決定方法について説明する。

交流電動機15において、式3から電機子電流 i_d 、 i_q を求めたものを図5(a)、式4から電流位相を求めたものを図5(b)に示す。図5(a)より、回転数が高くなるほど、電機子電流 i_q が小さくなり、電機子電流 i_d が一定値となることがわかる。また、図5(b)より、電流位相は、回転数が高くなるほど電流位相が零(d軸)に近づき、電流位相とd軸(図5(b)の縦軸0degがd軸に相当)との差が2度以下といった小さい値となる。このことから、電機子電流の電流位相とd軸方向との位相差が所定の値以下になるように回転数を定めることにより、式9、式10のように、交流電動機15の巻線の抵抗Rあるいはインダクタンス L_q の値によらず、所定

の角度精度で d 軸方向との偏差を求めることが可能である。

[0054] [数9]

数9

$$\begin{aligned}\theta_{\text{comp}} &= -\Delta\theta = -\theta_{\text{cur}'} + \theta_{\text{cur}} \\ &= -\text{atan2}(-i_{\text{dc}}, -i_{\text{qc}}) + \text{atan2}(-1, -R/(\omega \cdot L_q)) \cdots (9)\end{aligned}$$

回転数が十分高い場合には、

$$\theta_{\text{comp}} = -\Delta\theta \doteq -\text{atan2}(-i_{\text{dc}}, -i_{\text{qc}}) \cdots (10)$$

[0055] これにより、図2A及び図2BのフローチャートのステップS103における最低回転数を R/L_q より十分高い回転数となるように、より具体的には、式4で算出される角度誤差が所定値以下となるように最低回転数を設定することで、d軸方向の角度を高精度に求めることができ、これにより交流電動機15の角度センサ16の原点と磁極位置原点（d軸方向）との偏差を高精度に求めることができる。

[0056] 交流電動機15の回転中に巻線端子を短絡させた場合には、図6に示すように、電機子電流 i_d 、 i_q に電流振動が発生する。電機子電流 i_d 、 i_q が振動している場合には、前記回転角度補正量の算出精度が劣化する。図6からわかるように、電機子電流 i_d 、 i_q の振動は時間の経過と共に減衰するため、電機子電流 i_d 、 i_q の振動が十分減衰するのを待ってから、図2A及び図2Bのフローチャートによって電流位相を求めることで、回転角度補正量を高精度に求めることができる。

[0057] 図2A及び図2Bのフローチャートにおいては、ステップS106における回転角度補正量演算開始時間を電機子電流 i_d 、 i_q に電流振動が減衰するまでの時間に設定すればよいことがわかる。

前記式9においては、交流電動機15の抵抗 R の値が温度によって変化するため、抵抗 R の値を温度に応じて補正したものを用いれば、回転角度補正量の算出誤差を小さくすることができる。

[0058] また、交流電動機15のインダクタンスは、交流電動機15に流れる電流

による磁気飽和の影響で、その値が変化することが知られている。このため、交流電動機 15 に流れる電流に応じてインダクタンス L_q を変更したものを前記式 9 に用いることで、回転角度補正量の誤差を小さくすることができる。なお、交流電動機 15 に流れる電流値に応じたインダクタンス L_q は、テーブルデータとしてマイコンに記憶させたり、近似関数から算出してもよい。

[0059] さて、回転角度補正量の算出誤差が大きくなる要因として、電流検出部 22 に用いる回路を含めた電流センサの位相遅れ、電流センサのフィルタの位相遅れ、角度センサ信号の位相遅れ、角度センサ 16 のフィルタの位相遅れなどの要因がある。このため、これらの位相遅れを補償するように、図 2 A 及び図 2 B のフローチャートのステップ S 106 の回転角度補正量にこれらの遅れを補償する角度を加算することで、回転角度補正量の算出誤差を小さくすることができる。なお、前記電流センサの位相遅れ、電流センサのフィルタの位相遅れ、角度センサ信号の位相遅れ、角度センサ 16 のフィルタの位相遅れは、テーブルデータとしてマイコン上に記憶させたり、近似関数から算出してもよい。

[0060] 本実施の形態では、図 3 のフローチャートに記載したように、回転角度補正量学習完了フラグをもとに回転角度補正量を記憶するようにしている。これにより、所定の回転数以上における電流検出値の位相情報が記憶されているため、回転数が低いことによる回転角度補正量の算出誤差の増加を防止することができる。

本実施の形態の電動機制御装置 10 では、回転角度補正量を算出するために、所定の回転数以上に交流電動機 15 を回転させる必要がある。その一方方法として、例えば、交流電動機 15 を速度制御して所定の回転数以上にあげて、その後、巻線端子を短絡状態に切り替えることができる。

[0061] このとき、巻線端子を短絡状態に切り替えた後に、図 2 A 及び図 2 B のフローチャートを実行するために回転数が著しく低下しないように、交流電動機 15 の回転軸に作用する負荷トルクが回転数を著しく減少させる程度に大

きくかないかを判定する必要がある。

本実施の形態では、交流電動機 15 を一定回転数で速度制御したときのトルクまたは電流から、交流電動機 15 の回転軸に作用する負荷トルクを推定し、前記負荷トルクが所定値以下である場合には、巻線端子短絡後の回転数低下が少ないと判断して、図 2 A 及び図 2 B のフローチャートに示した角度ずれ量の算出を実施するようにする。このようにすることで、交流電動機 15 のモータパラメータとなる電動機巻線の抵抗 R 、インダクタンス L_q が精度よくわかっていない場合でも、回転角度補正量の増加を防止できる。

[0062] 本実施の形態の電動機制御装置 10 では、交流電動機 15 の巻線端子を短絡状態に切り替えた直後に、動作条件によっては過電流を発生する場合がある。交流電動機 15 の巻線端子を短絡させた瞬間における電流ピークの大きさは、式 1 より、短絡状態になる前の交流電動機 15 の端子電圧 v_d 、 v_q によって決まることがわかる。

このため、短絡前の交流電動機 15 の電機子電流 i_q をできるだけ零に近づけると共に、電機子電流 i_d を $-\phi/L_d$ に近づくように負方向に流すようにすることで、永久磁石磁束 ϕ による電圧 $\omega\phi$ を零に近づけることができ、短絡前の交流電動機 15 の端子電圧 v_d 、 v_q を零に近づけることができる。これにより、交流電動機 15 の巻線端子を短絡状態に切り替えた直後に発生する過電流を確実に防止することができる。また、交流電動機 15 の巻線端子の短絡前に、過電流検出の診断、停止機能を無効にしてから短絡状態に切り替えることによって、過電流による短絡をより確実に防止することができる。

[0063] なお、本実施の形態では、直流成分の回転角度補正量の算出について示したが、交流電動機 15 の電機子電流 i_d 、 i_q の電流位相を用いれば、角度センサ 16 からの回転角度信号に含まれる交流成分の回転角度補正量も算出可能である。これにより、角度センサ 16 の回転角度信号の位相補正に用いる回転角度補正量を高精度に算出可能になる。また、最終的に算出する補正後の回転角度信号に交流成分の回転角度補正量を加えることで、補正後の回

回転角度信号の精度を高めることができる。

[0064] 上述において、実施の形態1について詳述したが、他の実施の形態として、実施の形態1に示した交流電動機15の巻線端子短絡時の電流位相から回転角度補正量を算出する方式と、交流電動機15の電機子電流が $i_d = 0$ 、 $i_q = 0$ に維持されるようにインバータ回路17を制御し、このときの交流電動機15の制御に用いる電圧指令 v_d' 、 v_q' の位相から回転角度補正量を算出する方式と、を回転数に応じて切り替えるようにすれば（式1において、 $v_d = 0$ 、 $v_q = \omega \phi$ となり、 $\text{atan2}(v_d, v_q)$ から、角度センサと、電動機の無通電時の誘導起電力の位相と、磁極位置センサによる磁極位置検出信号の位相との間の位相差が求まるので）、短絡電流が小さい低回転においても、電圧指令 v_d' 、 v_q' を用いて、精度よく回転角度補正量を算出することが可能である。

[0065] 本願は、例示的な実施の形態が記載されているが、実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

従って、例示されていない無数の変形例が、本願に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0066] 10 電動機制御装置、11 電力開閉器、12a、12b 直流母線、13 直流電源、14 交流母線、15 交流電動機、16 角度センサ、17 インバータ回路、18 電動機制御回路、19 コンデンサ、20 電圧検出部、21 電力変換回路、22 電流検出部、23、24、25、26、27、28 スイッチング素子、29 回転角度補正部、30 回転角度補正量演算部、31 プロセッサ、32 記憶装置、 i 、 i_d 、 i_q 電機子電流、 i_u 、 i_v 、 i_w 電流検出信号、 i_{dc} 、 i_{qc} dq軸電流、 θ_m ロータ回転角、 θ_c 回転角度信号、 θ_{comp} 回転角度補正量、 θ_{cur} 電機子電流の位相、 θ_{cur}' dq軸電流の位相、 L 、 L_q

インダクタンス、 ω 回転角速度（回転数）、 R 電動機巻線の抵抗、 v 、 v_d 、 v_q 端子電圧、 $v_{d'}$ 、 $v_{q'}$ 電圧指令。

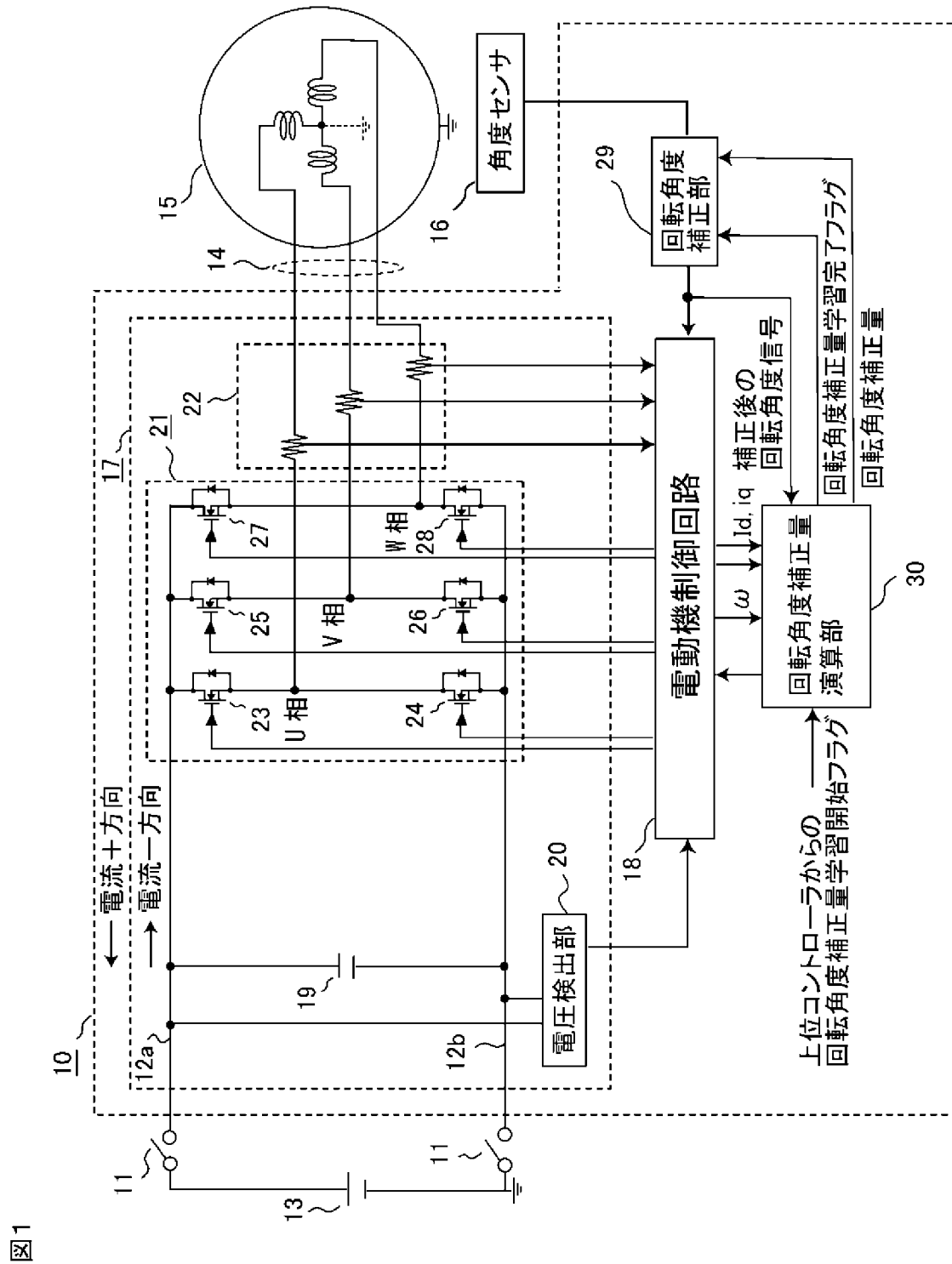
請求の範囲

- [請求項1] 交流電動機に給電するインバータを制御すると共に、角度センサから出力された前記交流電動機の回転角度信号と電流検出部から出力された前記交流電動機の電流検出信号とを入力する電動機制御回路と、
- 前記回転角度信号と前記電流検出信号をもとに、前記回転角度信号と前記交流電動機の磁極位置との回転角度誤差を補正する回転角度補正量を算出する回転角度補正量演算部と、
- 前記回転角度補正量演算部で算出された回転角度補正量を記憶し、前記記憶した回転角度補正量を読み出して前記回転角度信号を補正する回転角度補正部と、を備え、
- 前記回転角度補正部で補正された回転角度信号をもとに前記交流電動機の制御を行う制御装置であって、
- 前記回転角度補正量演算部は、前記交流電動機の巻線端子間を短絡したときの電流検出信号にもとづいて、直流成分の回転角度補正量と交流成分の回転角度補正量の少なくとも何れか一方の回転角度補正量を算出することを特徴とする電動機制御装置。
- [請求項2] 前記直流成分の回転角度補正量と交流成分の回転角度補正量の少なくとも何れか一方の回転角度補正量は、前記交流電動機の巻線端子間の短絡開始時から前記交流電動機で決まる時定数を経過した後の時間における電流検出信号の位相情報から算出されることを特徴とする請求項1に記載の電動機制御装置。
- [請求項3] 前記電流検出信号の位相情報に電流位相補正量を加算することを特徴とする請求項2に記載の電動機制御装置。
- [請求項4] 前記電流位相補正量は、前記交流電動機の抵抗値とインダクタンス値とを用いて算出されることを特徴とする請求項3に記載の電動機制御装置。
- [請求項5] 前記抵抗値を前記交流電動機の温度に応じて補正することを特徴とする請求項4に記載の電動機制御装置。

- [請求項6] 前記インダクタンス値を前記電流検出信号に応じて変更することを特徴とする請求項4または5に記載の電動機制御装置。
- [請求項7] 前記電流検出部を電流センサで構成し、前記位相情報は、前記電流検出信号の位相遅れと、前記電流センサのフィルタの位相遅れと、前記回転角度信号の位相遅れと、前記角度センサのフィルタの位相遅れと、を加算して補償されていることを特徴とする請求項2から6の何れか一項に記載の電動機制御装置。
- [請求項8] 前記回転角度補正量、前記電流検出信号の位相遅れ、前記電流センサのフィルタの位相遅れ、前記回転角度信号の位相遅れ、前記角度センサのフィルタの位相遅れ、の少なくとも1つを、テーブルデータを参照して補償することを特徴とする請求項7に記載の電動機制御装置。
- [請求項9] 前記回転角度補正量は、前記回転角度信号に同期する回転座標系に座標変換した電流から求めた電流位相を用いて算出されることを特徴とする請求項1から8の何れか一項に記載の電動機制御装置。
- [請求項10] 前記回転角度補正量は、所定の回転数以上における電流検出信号の位相情報を用いて算出されて記憶されていることを特徴とする請求項1から9の何れか一項に記載の電動機制御装置。
- [請求項11] 前記回転角度補正量は、一定回転数で速度制御したときのトルクまたは電流が所定の値以下の場合に、記憶されていることを特徴とする請求項1から10の何れか一項に記載の電動機制御装置。
- [請求項12] 前記交流電動機の巻線端子間の電圧が所定の値以下になってから、前記交流電動機の巻線端子間を短絡することを特徴とする請求項1から11の何れか一項に記載の電動機制御装置。
- [請求項13] 前記交流電動機の巻線端子間を短絡する前に、過電流検出による遮断動作を停止することを特徴とする請求項1から12の何れか一項に記載の電動機制御装置。
- [請求項14] 前記交流電動機の電圧情報から回転角度補正量を算出する方式と、

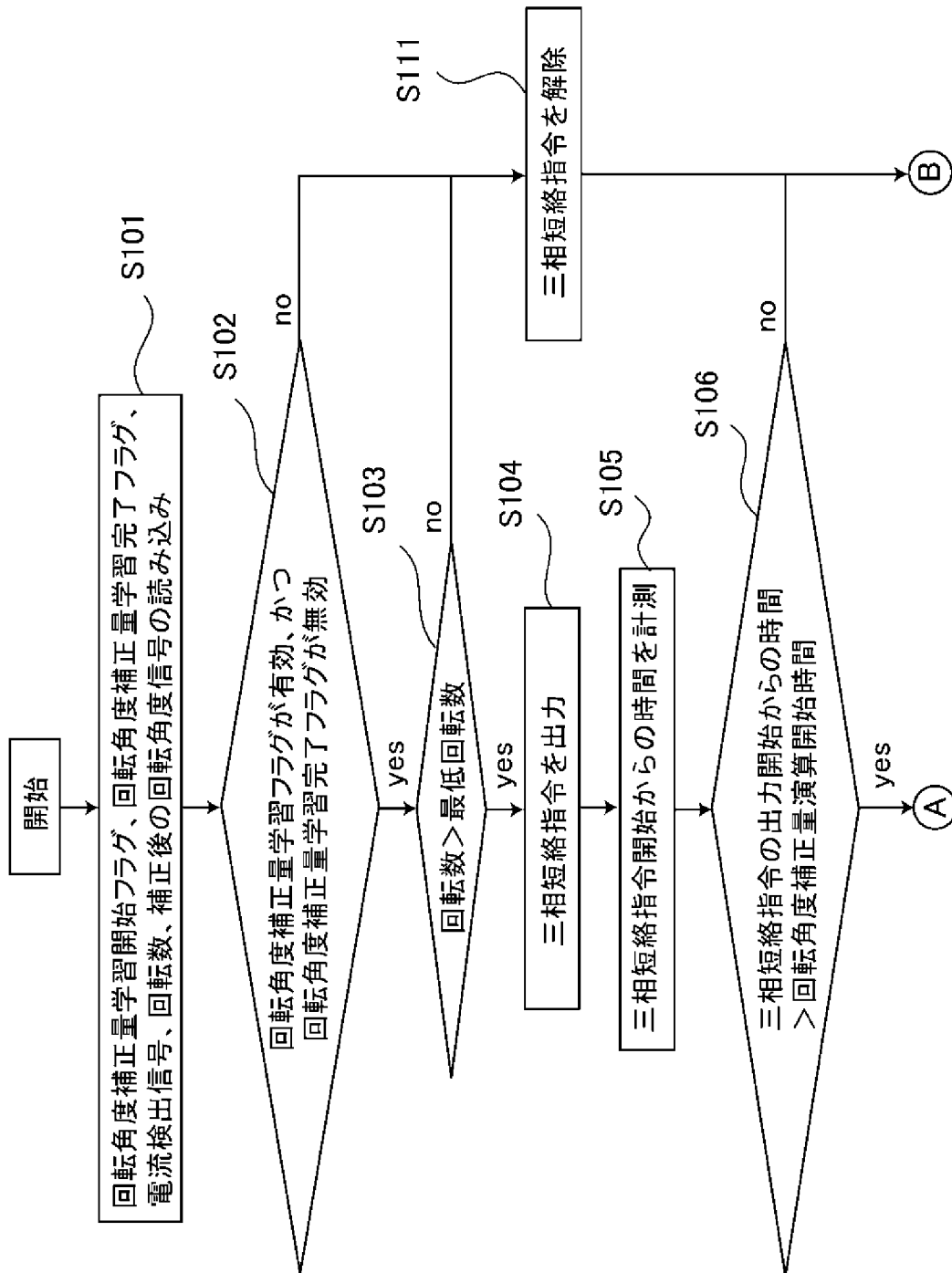
前記交流電動機の電流情報から回転角度補正量を算出する方式とを、
前記交流電動機の回転数に応じて切り替えることを特徴とする請求項
1 から 1 3 の何れか一項に記載の電動機制御装置。

[図1]



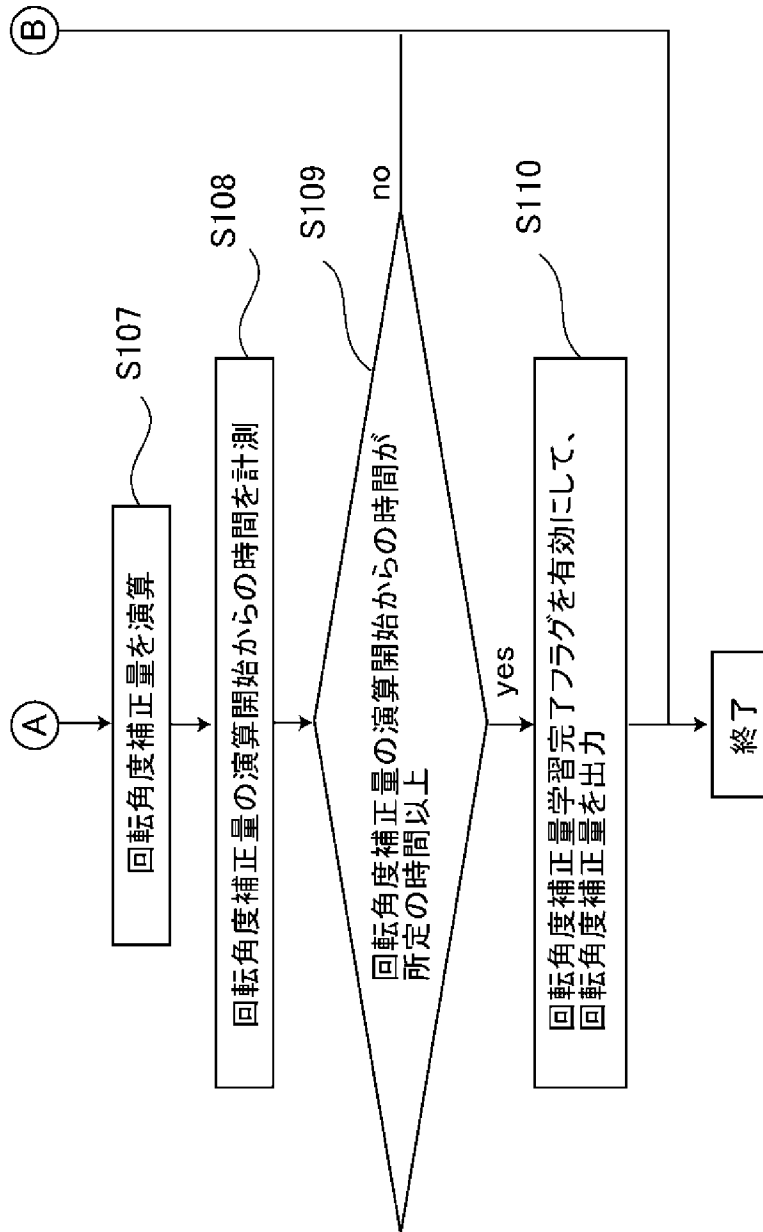
[図2A]

図2A



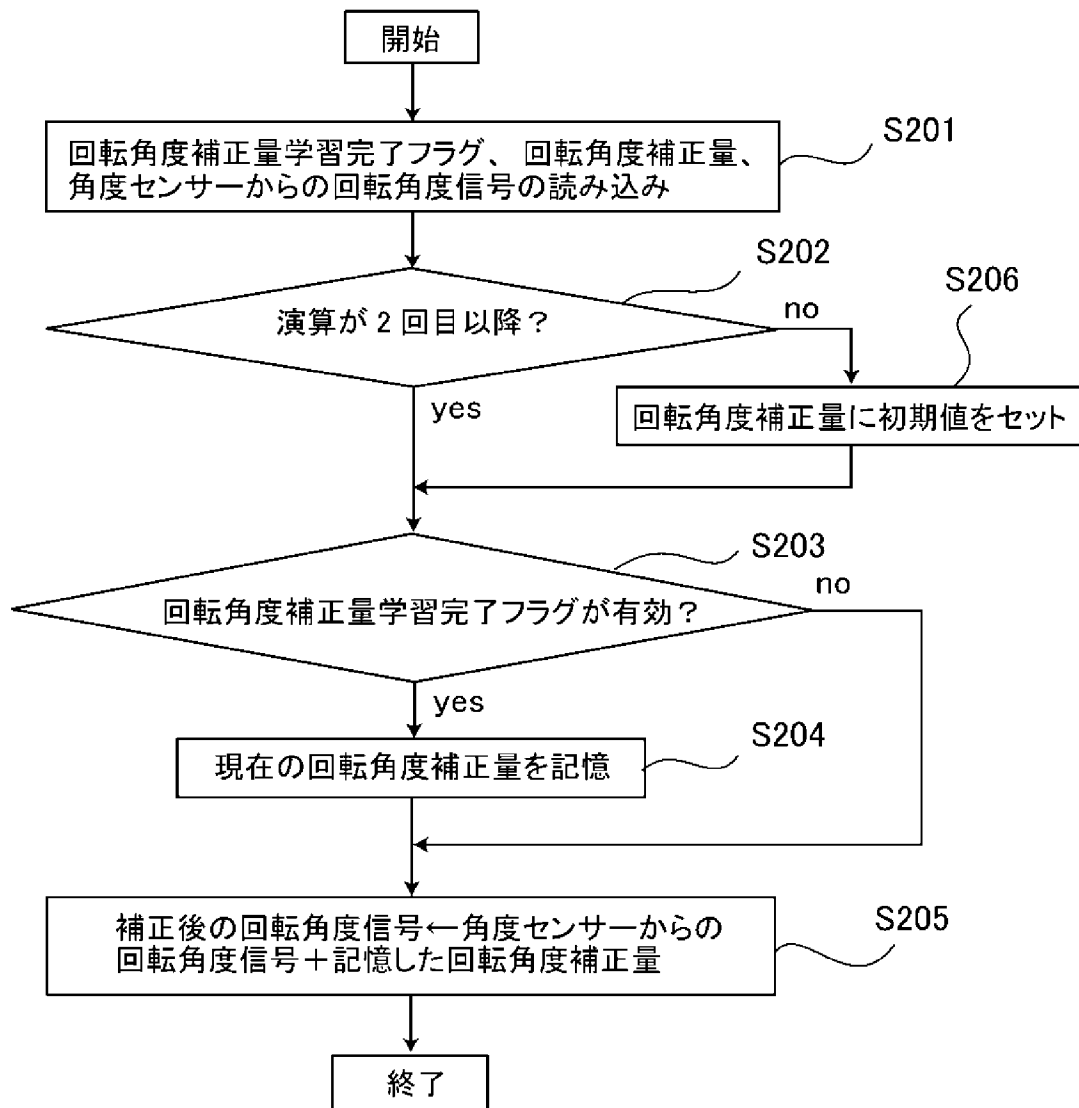
[図2B]

図2B



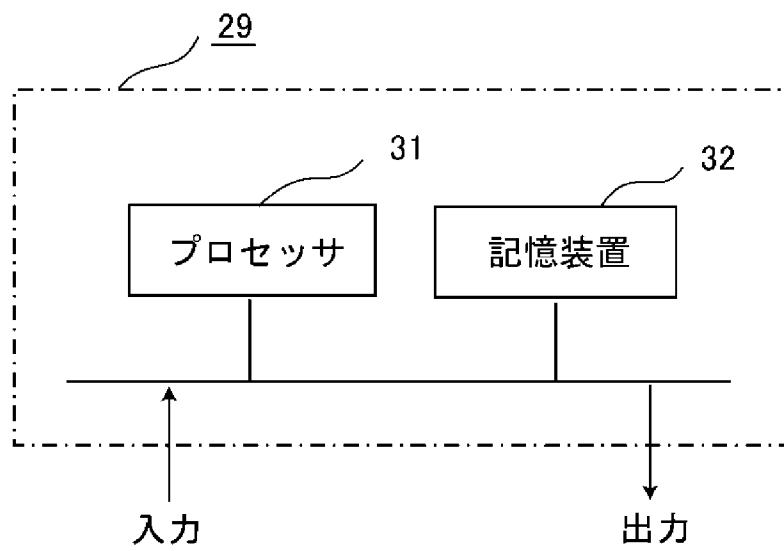
[図3]

図3



[図4]

図 4



[図5]

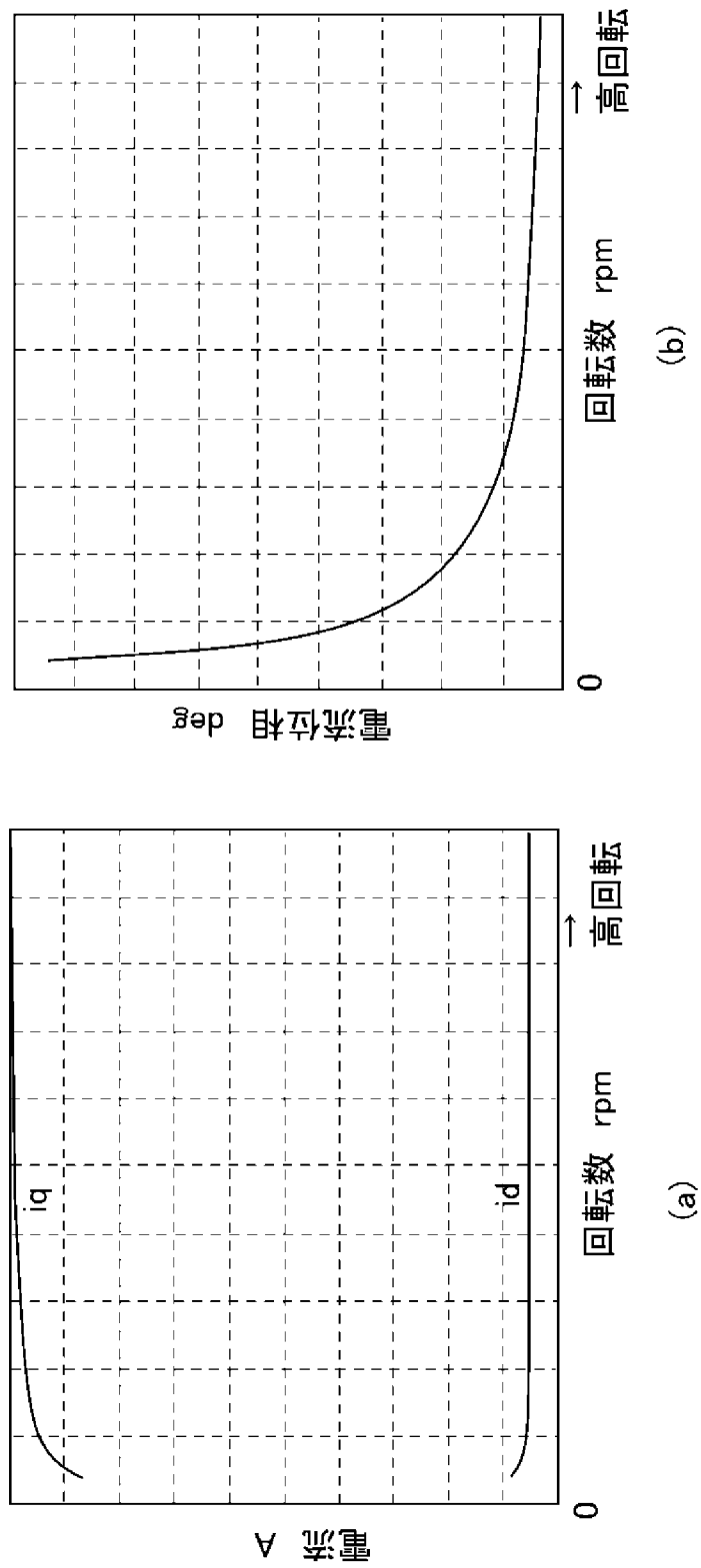
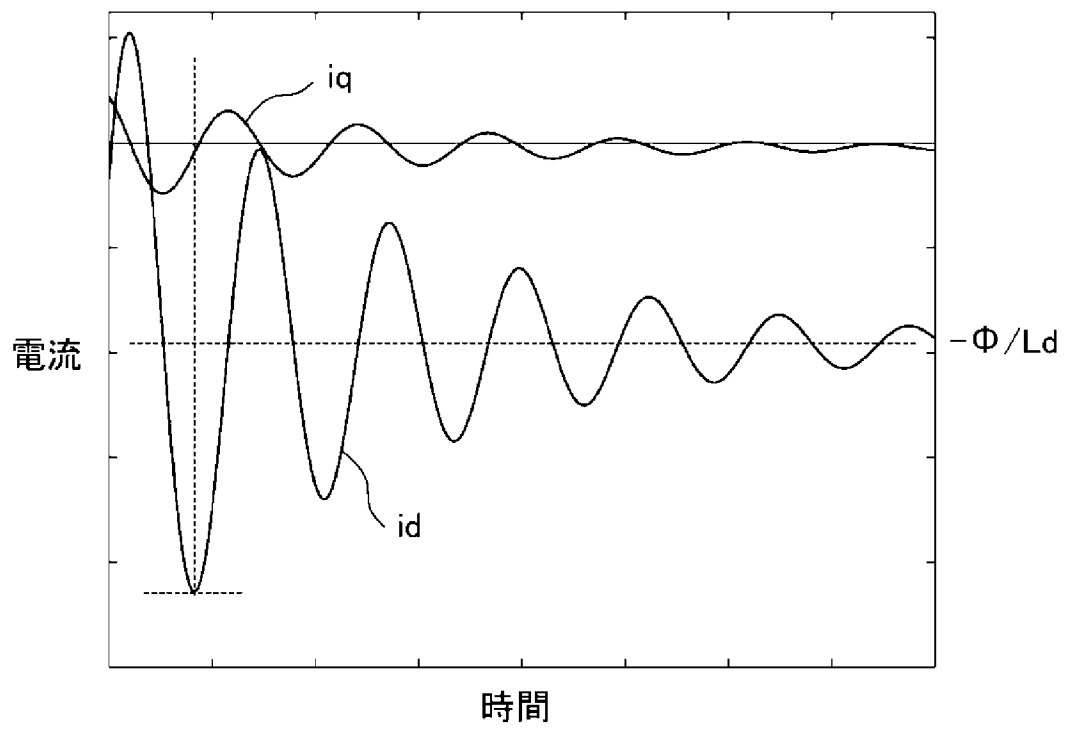


図 5

[図6]

図 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/017137

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02P6/16 (2016.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H02P6/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-21843 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 31	1
Y	January 2013, paragraphs [0013]-[0023], fig. 1, 2	9-12, 14
A	& CN 102882451 A	2-8, 13
Y	JP 11-75394 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 16 March 1999, paragraphs [0021]-[0042], fig. 1, 2 (Family: none)	9-12, 14
Y	JP 2016-49006 A (RICOH CO., LTD.) 07 April 2016, paragraphs [0086]-[0094] (Family: none)	14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26.07.2018

Date of mailing of the international search report
07.08.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02P6/16(2016.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02P6/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2013-21843 A（富士電機株式会社） 2013.01.31, 段落[0013]-[0023]、図1-2 & CN 102882451 A	1, 9-12, 14 2-8, 13
Y	JP 11-75394 A（富士電機株式会社） 1999.03.16, 段落[0021]-[0042]、図1-2 (ファミリーなし)	9-12, 14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26.07.2018

国際調査報告の発送日

07.08.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

▲桑▼原 恭雄

3 V

4484

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2016-49006 A (株式会社リコー) 2016.04.07, 段落[0086]－[0094] (ファミリーなし)	14