

(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
2018年3月8日(08.03.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/042672 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 21/22 (2016.01) H02P 29/024 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/076037
- (22) 国際出願日: 2016年9月5日(05.09.2016)
- (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: 東野 慎 (HIGASHINO, Makoto); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7

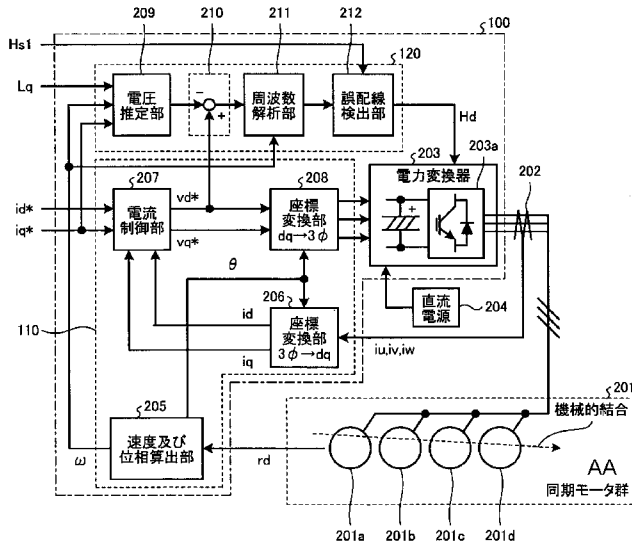
番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 寺島 覚(TERASHIMA, Satoru); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:高村 順(TAKAMURA, Jun); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: モータ制御装置



- 201 Synchronous motor group
- 203 Power converter
- 204 DC power supply
- 205 Speed and phase calculation unit
- 206, 208 Coordinate transformation unit
- 207 Current control unit
- 209 Voltage estimation unit
- 211 Frequency analysis unit
- 212 Erroneous wiring detection unit
- AA Mechanical connection

(57) Abstract: A motor control device of the present invention is applied in a configuration in which a plurality of synchronous motors mechanically connected in parallel with each other are driven by means of a single power converter, and is provided with a vector control unit 110 and an abnormality detection unit 120. The vector control unit 110 divides currents flowing in and out of a plurality of synchronous motors 201a, 201b, 201c, 201d into a q-axis current and a d-axis current and controls the q-axis current and the d-axis current on the basis of a q-axis current command value iq* and a d-axis current command value id*, respectively. The abnormality detection unit 120 detects, on the basis of a q-axis inductance Lq, the q-axis current command value iq*, a synchronous motor rotation speed ω, and a d-axis voltage command value vd*, whether or not erroneous wiring or a disconnection is present in at least one synchronous motor among the plurality of synchronous motors 201a, 201b, 201c, 201d.



WO 2018/042672 A1

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 : 本発明は、互いに並列に接続されて機械的に結合された複数台の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用されるモータ制御装置であり、ベクトル制御部110及び異常検出部120を備える。ベクトル制御部110は、複数台の同期モータ201a, 201b, 201c, 201dに流出入する電流をq軸電流とd軸電流とに分けてそれぞれをq軸電流指令値 i_{q*} とd軸電流指令値 i_{d*} とに基づいて制御する。異常検出部120は、q軸インダクタンス L_q と、q軸電流指令値 i_{q*} と、同期モータの回転速度 ω と、d軸電圧指令値 v_{d*} とに基づいて、複数台の同期モータ201a, 201b, 201c, 201dのうちの少なくとも1台の同期モータに誤配線又は断線が生じているか否かを検出する。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、複数台の同期モータ、又は3つの巻線部がY型に結線された巻線群が電氣的に複数並列に接続された巻線構造の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用されるモータ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 互いに並列に接続され、かつ機械的に結合された複数台の同期モータを1台の電力変換器により駆動する場合、複数台の同期モータのうちの一部の同期モータの相順が誤配線される場合があり得る。ここで、1台の同期モータの相順が誤配線されていたと仮定する。この場合、誤配線状態の同期モータは、正常に配線された同期モータの出力トルクに牽引されて駆動される。このため、複数台の同期モータの速度は、指令値どおりに調整可能となってしまう。一方、誤配線状態の同期モータには過大な電流が流れる。同期モータに過大な電流が流れると、モータが焼損する場合がある。このため、複数台の同期モータの誤配線状態を的確に検出する技術が求められている。

[0003] また、3つの巻線部がY型に結線された巻線群が電氣的に複数並列に接続された巻線構造の同期モータを駆動する場合において、少なくとも1つの巻線群のうち少なくとも1相が断線したと仮定する。この場合、同期モータは、断線していない相に牽引されて駆動されるため、同期モータの速度は、指令値どおりに調整可能となってしまう。一方、同期モータの断線していない相には、過大な電流が流れる。同期モータに過大な電流が流れると、同期モータが焼損する場合がある。このため、複数群の巻線構造を有する同期モータの断線を的確に検出する技術が求められている。

[0004] 下記特許文献1には、誤配線検出機能を備えた三相電動誘導機の制御装置が開示されている。特許文献1の制御装置では、電圧指令値の振幅の増加分を一次周波数の増加分で除算した値を演算し、演算結果が基準値を下回ると

きに、相順が誤配線された誘導電動機が少なくとも1台存在すると判定する手法を開示している。

- [0005] また、下記特許文献2には、断線検出機能を備えた電気車制御装置が開示されている。特許文献1の制御装置では、q軸電流、d軸電流、q軸電圧指令、d軸電圧指令及びインバータ角周波数に基づいて誘導電動機のトルクを演算し、演算したトルクの最大値と最小値との差がトルク変動幅基準値を超えたときに断線検知信号を出力するようにしている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2015-119600号公報
特許文献2：特開2005-176571号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、特許文献1及び2は、誘導電動機を対象としたものであり、同期モータの誤配線及び同期モータの断線検知については言及されていない。また、特許文献1の技術は、一次周波数の差分と電圧指令の差分とを用いる手法であり、また、特許文献2の技術は、誘導電動機のトルク演算式を用いる手法であるため、同期モータには適用できないという問題点があった。

- [0008] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、複数台の同期モータ又は複数群の巻線構造の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用して、当該同期モータの誤配線又は断線を的確に検出することができるモータ制御装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0009] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、互いに並列に接続されて機械的に結合された複数台の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用されるモータ制御装置であり、ベクトル制御部及び異

常検出部を備える。ベクトル制御部は、複数台の同期モータに流出入する電流を q 軸電流と d 軸電流とに分けてそれぞれを q 軸電流指令値と d 軸電流指令値とに基づいて制御する。異常検出部は、q 軸インダクタンスと、q 軸電流指令値と、同期モータの回転速度と、d 軸電圧指令値とに基づいて、複数台の同期モータのうちの少なくとも 1 台の同期モータに誤配線又は断線が生じているか否かを検出する。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、複数台の同期モータ又は複数群の巻線構造の同期モータを 1 台の電力変換器により駆動する構成に適用して、当該同期モータの誤配線又は断線を的確に検出することができる、という効果を奏する。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]実施の形態 1 に係るモータ制御装置の一構成例を示すブロック図
[図2]実施の形態 1 における異常検出部の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れを示すフローチャート
[図3]実施の形態 2 に係るモータ制御装置の一構成例を示すブロック図
[図4]実施の形態 2 における異常検出部の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れを示すフローチャート
[図5]実施の形態 3 に係るモータ制御装置の一構成例を示すブロック図
[図6]実施の形態 3 における異常検出部の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れを示すフローチャート
[図7]実施の形態 4 に係るインダクタンス補正部の一構成例を示すブロック図
[図8]実施の形態 1、2、3、4、5 及び 6 における異常検出部の機能を実現するハードウェア構成の一例を示すブロック図
[図9]実施の形態 1、2、3、4、5 及び 6 における異常検出部の機能を実現するハードウェア構成の他の例を示すブロック図

発明を実施するための形態

[0012] 以下に、本発明の実施の形態に係るモータ制御装置を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施の形態により、本発明が限定されるものでは

ない。

[0013] 実施の形態 1.

図 1 は、実施の形態 1 に係るモータ制御装置の一構成例を示すブロック図である。実施の形態 1 に係るモータ制御装置 100 は、同期モータ群 201 に流出入する電流をトルク電流である q 軸電流と、励磁電流である d 軸電流とに分けてそれぞれをトルク電流指令値である q 軸電流指令値と、励磁電流指令値である d 軸電流指令値とに基づいて制御するベクトル制御方式による制御装置である。モータ制御装置 100 は、大別すると、図示のように、ベクトル制御部 110 と、異常検出部 120 と、電力変換器 203 に区分することができる。

[0014] ベクトル制御部 110 は、速度及び位相算出部 205、座標変換部 206、電流制御部 207、並びに、座標変換部 208 を備えている。また、異常検出部 120 は、電圧推定部 209、交流成分抽出部 210、周波数解析部 211 及び誤配線検出部 212 を備えている。

[0015] 同期モータ群 201 は、互いに並列に接続され、かつ機械的に結合された 4 台の同期モータ 201 a, 201 b, 201 c, 201 d によって構成されている。なお、図 1 では、4 台の同期モータを例示しているが、2 台以上であれば何台でもよい。すなわち、実施の形態 1 に係るモータ制御装置は、互いに並列に接続されて機械的に結合された複数台の同期モータを 1 台の電力変換器により駆動する構成に適用され、複数台の前記同期モータに流出入する電流をトルク電流と励磁電流とに分けてそれぞれを個別に制御するベクトル制御方式によるモータ制御装置である。

[0016] 電力変換器 203 には、直流電源 204 が接続されている。電力変換器 203 に具備される半導体スイッチング素子 203 a のスイッチング動作により、直流電源 204 の直流電圧が三相交流電圧に変換されて同期モータ 201 a, 201 b, 201 c, 201 d に印加される。

[0017] 実施の形態 1 において、同期モータ 201 a, 201 b, 201 c, 201 d のそれぞれは、永久磁石同期モータを想定する。永久磁石同期モータは

、永久磁石を回転子に、電機子巻線を固定子に設けた回転界磁形の構成となっているモータであり、界磁電流が不要であるため界磁損失がなく、誘導モータと比べても、本質的に低損失及び高効率のモータである。永久磁石同期モータは、永久磁石の配置から、回転子の表面に永久磁石を張り付けた表面磁石構造の同期モータ (Surface Permanent Magnet Synchronous Motor: SPMSM) と、回転子の内部に永久磁石を埋め込んだ埋込磁石構造の同期モータ (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor: IPMSM) と、に大別される。後述する実施の形態を含め、本実施の形態では、SPMSMを想定して説明するが、IPMSMを使用してもよい。なお、SPMSMでは、d軸インダクタンス L_d とq軸インダクタンス L_q とが同じ値である。

[0018] 次に、実施の形態1に係るモータ制御装置100の動作を説明する。まず、ベクトル制御部110において、速度及び位相算出部205には、同期モータ群201における同期モータ201a, 201b, 201c, 201dの回転検出値 r_d が入力される。速度及び位相算出部205は、回転検出値 r_d を用いて、回転速度 ω 、及び、ベクトル制御に必要な角度 θ を生成する。速度及び位相算出部205が生成した回転速度 ω は、電圧推定部209及び周波数解析部211に入力される。また、速度及び位相算出部205が生成した角度 θ は、第1の座標変換部である座標変換部206と、第2の座標変換部である座標変換部208とに入力される。なお、後述する実施の形態を含め、本実施の形態では、回転検出値 r_d に図示しないエンコーダから得られた回転検出値を使用するが、エンコーダに限定されるものではない。また、回転検出値は、センサレスで推定したものを使用してもよい。

[0019] また、電力変換器203の出力側には、電流検出器202が設けられている。電流検出器202は、同期モータ群201に流出入する電流を検出する。電流検出器202が検出した電流値すなわち三相の電流検出値 i_u , i_v , i_w は、座標変換部206に入力される。座標変換部206は、電流検出

値 i_u , i_v , i_w を、角度 θ に基づいて二相量の d 軸電流検出値 i_d 及び q 軸電流検出値 i_q に変換する。座標変換部 206 によって変換された d 軸電流検出値 i_d 及び q 軸電流検出値 i_q は、電流制御部 207 に入力される。なお、図 1 では 3 相の電流を検出するとしているが、任意の 2 相の電流のみを検出し、残りの相の電流はモータ電流が 3 相平衡であることを利用して演算で求めてもよい。

[0020] 電流制御部 207 には、更に、図示しない上位コントローラからの d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* が与えられている。電流制御部 207 は、d 軸電流検出値 i_d を d 軸電流指令値 i_d^* に一致させ、また、q 軸電流検出値 i_q を q 軸電流指令値 i_q^* に一致させるような d 軸電圧指令値 v_d^* 及び q 軸電圧指令値 v_q^* を生成する。電流制御部 207 が生成した d 軸電圧指令値 v_d^* 及び q 軸電圧指令値 v_q^* は、座標変換部 208 に入力される。また、電流制御部 207 が生成した d 軸電圧指令値 v_d^* は、交流成分抽出部 210 にも入力される。

[0021] 座標変換部 208 は、d 軸電圧指令値 v_d^* 及び q 軸電圧指令値 v_q^* を角度 θ に基づいて三相の電圧指令値に変換し、変換した三相の電圧指令値を電力変換器 203 に付与する。

[0022] 電力変換器 203 は、半導体スイッチング素子 203a のスイッチング動作により、上記電圧指令値に従った三相交流電圧を生成して同期モータ群 201 に印加する。

[0023] 次に、異常検出部 120 について説明する。まず、電圧推定部 209 には、速度及び位相算出部 205 が生成した回転速度 ω と、図示しない上位コントローラからの、q 軸インダクタンス L_q 及び q 軸電流指令値 i_q^* とが入力される。電圧推定部 209 は、以下の (1) 式に示されるように、q 軸インダクタンス L_q と、回転速度 ω と、q 軸電流指令値 i_q^* との積から、d 軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出する。

$$[0024] \quad v_{d_hat} = -\omega \times L_q \times i_q^* \quad \dots\dots (1)$$

[0025] 電圧推定部 209 が算出した d 軸電圧指令推定値 v_{d_hat} は、交流成

分抽出部210に入力される。なお、上記(1)式は、d軸電流指令値 i_d^* がゼロで制御されているときの状態を表している。

[0026] 前述したように、交流成分抽出部210には、電流制御部207が生成したd軸電圧指令値 v_d^* も入力されている。交流成分抽出部210は、以下の(2)式に示されるように、d軸電圧指令値 v_d^* とd軸電圧指令推定値 \hat{v}_d との差分値であるd軸交流成分電圧 v_{d_ac} を算出する。

$$[0027] \quad v_{d_ac} = v_d^* - \hat{v}_d \quad \dots\dots (2)$$

[0028] 周波数解析部211には、速度及び位相算出部205が生成した回転速度 ω と交流成分抽出部210が生成したd軸交流成分電圧 v_{d_ac} とが入力される。周波数解析部211は、まず、入力されたd軸交流成分電圧 v_{d_ac} を周波数解析することで、d軸交流成分電圧 v_{d_ac} の周波数成分を算出する。次いで、周波数解析の結果に対し、回転速度 ω の大きさ成分(振幅)であるd軸電圧第1速度成分値 $v_{d_ac}\omega$ を抽出する。なお、周波数解析部211が行う周波数解析処理としては、フーリエ解析を想定しているが、フーリエ解析に限定されるものではない。

[0029] ここで、同期モータが誤配線されていない場合、d軸交流成分電圧 v_{d_ac} は理想的にはゼロになる。一方、同期モータが誤配線されている場合、d軸交流成分電圧 v_{d_ac} がゼロより大きくなる。つまり、d軸交流成分電圧 v_{d_ac} を算出することにより、同期モータの誤配線を検出することが可能となる。

[0030] 誤配線検出部212には、周波数解析部211が生成したd軸電圧第1速度成分値 $v_{d_ac}\omega$ と、判定のための基準値 H_{s1} とが入力される。誤配線検出部212は、d軸電圧第1速度成分値 $v_{d_ac}\omega$ と基準値 H_{s1} とを比較し、以下の(3)式が成立する場合に、誤配線検出信号を出力する。誤配線検出部212は、コンパレータで構成することができる。ここでは、コンパレータを例示するが、コンパレータに限定する趣旨ではない。

$$[0031] \quad v_{d_ac}\omega \geq H_{s1} \quad \dots\dots (3)$$

[0032] ここで、 H_{s1} は、ノイズなどによる誤検出を防ぐための基準値として設

定される。つまり、 $H_s 1$ は誤配線検出の精度を向上するために設けられる基準値である。

[0033] 誤配線検出部212が検出した誤配線検出信号は、異常検出信号 H_d として、電力変換器203に入力される。実施の形態1において、異常検出信号 H_d は、同期モータ群201を構成する同期モータ201a, 201b, 201c, 201dのうちの少なくとも一つの同期モータの配線が誤配線されていた場合に出力される。

[0034] 前述したように、複数の同期モータが互いに並列に接続され、かつ機械的に結合されている場合、誤配線状態の同期モータは、正常に配線された同期モータの出力トルクに牽引されて駆動される。その結果、誤配線状態の同期モータには過大な電流が流れ、同期モータが焼損する場合がある。そこで、実施の形態1のモータ制御装置では、異常検出信号 H_d が入力された場合には、電力変換器203の動作を停止することで同期モータ群201の動作を停止する。なお、電力変換器203の動作を停止する制御は一例であり、他の手法を用いてもよい。他の手法の一つとして、電力変換器203の内部に設けられる図示しない開閉器を開閉する制御を行ってもよいし、異常検出信号 H_d を同期モータ群201に出し、同期モータ群201に具備される非常停止装置を動作させてもよいし、異常検出信号 H_d の出力をトリガに、直流電源204から電力変換器203への直流電力の供給を停止してもよい。

[0035] 次に、実施の形態1における異常検出部120の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れについて説明する。図2は、異常検出部120の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れを示すフローチャートである。

[0036] 異常検出部120は、速度及び位相算出部205が生成した回転速度 ω と、図示しない上位コントローラからのq軸インダクタンス L_q 及びq軸電流指令値 i_{q*} とに基づいて、上記(1)式に従って、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出する(ステップS101)。

[0037] また、異常検出部120は、d軸電圧指令値 v_{d*} と、d軸電圧指令推定

値 v_{d_hat} とに基づいて、上記 (2) 式に従って、 d 軸電圧指令値 v_{d*} と d 軸電圧指令推定値 v_{d_hat} との差分値である d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} を算出する (ステップ S102)。

[0038] さらに、異常検出部 120 は、ステップ S102 で算出された d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} に対して周波数解析を行い、周波数解析の結果に基づいて d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} における回転速度 ω の大きさ成分 (振幅) である d 軸電圧第 1 速度成分値 $v_{d_ac\omega}$ を抽出する (ステップ S103)。

[0039] また、異常検出部 120 は、 d 軸電圧第 1 速度成分値 $v_{d_ac\omega}$ と基準値 H_{s1} とを比較し (ステップ S104)、上記 (3) 式が成立するか否かを判定する (ステップ S105)。

[0040] ここで、上記 (3) 式が成立する場合 (ステップ S105, Yes)、異常検出部 120 は、「誤配線有り」と判定し (ステップ S106)、処理を終了する。一方、上記 (3) 式が成立しない場合 (ステップ S105, No)、異常検出部 120 は、「誤配線無し」と判定し (ステップ S107)、処理を終了する。

[0041] なお、上記のステップ S105 の判定処理では、 d 軸電圧第 1 速度成分値 $v_{d_ac\omega}$ と基準値 H_{s1} とが等しい場合を “Yes” と判定してステップ S106 に移行しているが、 d 軸電圧第 1 速度成分値 $v_{d_ac\omega}$ と基準値 H_{s1} とが等しい場合を “No” と判定してステップ S107 に移行してもよい。すなわち、 d 軸電圧第 1 速度成分値 $v_{d_ac\omega}$ と基準値 H_{s1} とが等しい場合を “Yes” 又は “No” の何れで判定してもよい。

[0042] 以上説明したように、実施の形態 1 に係るモータ制御装置によれば、トルク電流指令と、同期モータの回転速度と、インダクタンスと、励磁電圧指令とに基づいて、複数台の同期モータのうちの少なくとも 1 台の同期モータに誤配線が生じているか否かを的確に検出することが可能となる。

[0043] また、実施の形態 1 に係るモータ制御装置によれば、同期モータ群を構成する複数台の同期モータのうちの少なくとも 1 台の同期モータに誤配線が生じているか否かを的確に検出することができるので、誤配線状態の同期モ-

タに流れ得る過大な電流を検出して早期に同期モータ群を停止もしくは低速に制御する異常制御を行うことができる。これにより、誤配線状態の同期モータが損傷するのを抑止することが可能となる。

[0044] 実施の形態 2.

図 3 は、実施の形態 2 に係るモータ制御装置の一構成例を示すブロック図である。実施の形態 2 に係るモータ制御装置 100 は、図 1 に示す実施の形態 1 の異常検出部 120 において、周波数解析部 211 を周波数解析部 311 に変更し、誤配線検出部 212 を断線検出部 312 に変更した異常検出部 120A を備えている。また、実施の形態 1 では、誤配線検出部 212 に基準値 $Hs1$ を入力しているが、実施の形態 2 では、断線検出部 312 に基準値 $Hs2$ を入力している。なお、その他の構成については、実施の形態 1 の構成と同一又は同等であり、同一又は同等の構成部については同一の符号を付して重複する説明は省略する。

[0045] 次に、実施の形態 2 に係るモータ制御装置 100 の動作について説明する。まず、実施の形態 1 では、同期モータ群 201 を構成する同期モータ 201a, 201b, 201c, 201d の誤配線を検出するため、周波数解析部 211 は、d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} における回転速度 ω の大きさ成分（振幅）である d 軸電圧第 1 速度成分値 $v_{d_ac\omega}$ を抽出している。これに対し、実施の形態 2 では、同期モータ群 201 を構成する同期モータの断線を検出するため、周波数解析部 311 は、d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} における回転速度 ω の 2 倍の速度成分の大きさ（振幅）である d 軸電圧第 2 速度成分値 $v_{d_ac2\omega}$ を抽出するようにしている。

[0046] ここで、同期モータ群 201 を構成する同期モータに断線が生じていない場合、d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} は理想的にはゼロになる。一方、同期モータ群 201 を構成する同期モータの少なくとも 1 台に断線が生じている場合、d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} がゼロより大きくなる。つまり、d 軸交流成分電圧 v_{d_ac} を算出することにより、同期モータ群 201 を構成する同期モータの断線を検出することが可能となる。

[0047] 断線検出部 312 には、周波数解析部 311 が生成した d 軸電圧第 2 速度成分値 $v_{d_ac2\omega}$ と、判定のための基準値 H_{s2} とが入力される。断線検出部 312 は、d 軸電圧第 2 速度成分値 $v_{d_ac2\omega}$ と基準値 H_{s2} とを比較し、以下の (4) 式が成立する場合に、断線検出信号を出力する。断線検出部 312 は、コンパレータで構成することができる。ここでは、コンパレータを例示するが、コンパレータに限定する趣旨ではない。

$$[0048] \quad v_{d_ac2\omega} \geq H_{s2} \quad \dots\dots (4)$$

[0049] ここで、 H_{s2} は、ノイズなどによる誤検出を防ぐための基準値として設定される。つまり、 H_{s2} は誤配線検出の精度を向上するために設けられる基準値である。

[0050] 断線検出部 312 が検出した断線検出信号は、異常検出信号 H_d として、電力変換器 203 に入力される。実施の形態 2 において、異常検出信号 H_d は、同期モータ 201a, 201b, 201c, 201d のうちの少なくとも一つの同期モータにおける配線又は巻線が断線していた場合に出力される。

[0051] 複数の同期モータが互いに並列に接続され、かつ機械的に結合されている場合、少なくとも一つの同期モータが断線している場合、正常な状態の同期モータに過大な電流が流れ、モータが焼損するおそれがある。このため、実施の形態 2 のモータ制御装置では、断線が検出された旨の異常検出信号 H_d が入力された場合には、実施の形態 1 と同様に、電力変換器 203 の動作を停止することで同期モータ群 201 の動作を停止する。なお、電力変換器 203 の動作を停止する制御は一例であり、実施の形態 1 と同様な手法を用いればよい。

[0052] 次に、実施の形態 2 における異常検出部 120A の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れについて説明する。図 4 は、異常検出部 120A の機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れを示すフローチャートである。

[0053] 異常検出部 120A は、速度及び位相算出部 205 が生成した回転速度 ω

と、図示しない上位コントローラからのq軸インダクタンス L_q 及びq軸電流指令値 i_q^* とに基づいて、上記(1)式に従って、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出する(ステップS201)。

[0054] また、異常検出部120Aは、d軸電圧指令値 v_d^* と、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} とに基づいて、上記(2)式に従って、d軸電圧指令値 v_d^* とd軸電圧指令推定値 v_{d_hat} との差分値であるd軸交流成分電圧 v_{d_ac} を算出する(ステップS202)。

[0055] さらに、異常検出部120Aは、ステップS202で算出されたd軸交流成分電圧 v_{d_ac} に対して周波数解析を行い、周波数解析の結果に基づいてd軸交流成分電圧 v_{d_ac} における回転速度 ω の2倍の速度成分の大きさ(振幅)であるd軸電圧第2速度成分値 $v_{d_ac\ 2\omega}$ を抽出する(ステップS203)。

[0056] また、異常検出部120Aは、d軸電圧第2速度成分値 $v_{d_ac\ 2\omega}$ と基準値 H_{s2} とを比較し(ステップS204)、上記(4)式が成立するかどうかを判定する(ステップS205)。

[0057] ここで、上記(4)式が成立する場合(ステップS205, Yes)、異常検出部120Aは、「断線有り」と判定し(ステップS206)、処理を終了する。一方、上記(4)式が成立しない場合(ステップS205, No)、異常検出部120Aは、「断線無し」と判定し(ステップS207)、処理を終了する。

[0058] なお、上記のステップS205の判定処理では、d軸電圧第2速度成分値 $v_{d_ac\ 2\omega}$ と基準値 H_{s2} とが等しい場合を“Yes”と判定してステップS206に移行しているが、d軸電圧第2速度成分値 $v_{d_ac\ 2\omega}$ と基準値 H_{s2} とが等しい場合を“No”と判定してステップS207に移行してもよい。すなわち、d軸電圧第2速度成分値 $v_{d_ac\ 2\omega}$ と基準値 H_{s2} とが等しい場合を“Yes”又は“No”の何れで判定してもよい。

[0059] 実施の形態2に係るモータ制御装置によれば、同期モータ群を構成する複数台の同期モータのうちの少なくとも1台の同期モータに断線が生じている

か否かを検出することができるので、断線していない正常な状態の同期モータに流れ得る過大な電流を検出して早期に同期モータ群を停止もしくは低速に制御する異常制御を行うことができる。これにより、断線していない正常な状態の同期モータが損傷するのを抑止することが可能となる。

[0060] 実施の形態3.

実施の形態3では、複数群の巻線構造の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用されるモータ制御装置について説明する。図5は、実施の形態3に係るモータ制御装置の一構成例を示すブロック図である。実施の形態3に係るモータ制御装置100は、同期モータ320に流出入する電流をトルク電流であるq軸電流と、励磁電流であるd軸電流とに分けてそれぞれをトルク電流指令値であるq軸電流指令値と、励磁電流指令値であるd軸電流指令値とに基づいて制御するベクトル制御方式による制御装置である。モータ制御装置100は、大別すると、図示のように、ベクトル制御部110と、異常検出部120Bと、電力変換器203に区分することができる。

[0061] ベクトル制御部110は、速度及び位相算出部205、座標変換部206、電流制御部207、並びに、座標変換部208を備えている。また、異常検出部120Bは、電圧推定部209、偏差抽出部322、及び断線検出部324を備えている。

[0062] 同期モータ320は、図5に示すように、1つ以上のコイルが巻回されたU相巻線部6U、1つ以上のコイルが巻回されたV相巻線部6V及び1つ以上のコイルが巻回されたW相巻線部6Wからなる第1巻線群6、並びに、1つ以上のコイルが巻回されたU相巻線部7U、1つ以上のコイルが巻回されたV相巻線部7V及び1つ以上のコイルが巻回されたW相巻線部7Wからなる第2巻線群7を備えた2群三相構造のモータである。U相巻線部6U、V相巻線部6V及びW相巻線部6WはY型に結線され、U相巻線部7U、V相巻線部7V及びW相巻線部7WもY型に結線されている。また、第1巻線群6と第2巻線群7とは、同期モータ320の内部で並列に結線されている。

- [0063] なお、図5では、第1巻線群6及び第2巻線群7からなる2つの巻線群を例示しているが、巻線群が2つ以上すなわち複数であればよい。すなわち、実施の形態3に係るモータ制御装置100は、3つの巻線部がY型に結線された巻線群が電氣的に複数並列に接続された巻線構造の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用され、複数の巻線群に流出入する電流をトルク電流と励磁電流とに分けてそれぞれを個別に制御するベクトル制御方式によるモータ制御装置である。
- [0064] また、以下の説明において、U相巻線部、V相巻線部及びW相巻線部からなる3つの巻線部がY型に結線された巻線群の2つが電氣的に並列に接続された巻線構造を「2Y結線」と呼ぶ。図5では、2Y結線をされた巻線構造を例示しているが、これに限定されず、本発明は、巻線群が3つ以上の場合にも適用可能である。nを2以上の整数として一般化すると、本発明は、U相巻線部、V相巻線部及びW相巻線部からなる3つの巻線部がY型に結線された巻線群のn組が電氣的に並列に接続された「nY結線」の巻線構造の同期モータに適用することができる。
- [0065] 電力変換器203には、直流電源204が接続されている。電力変換器203に具備される半導体スイッチング素子203aのスイッチング動作により、直流電源204の直流電圧が三相交流電圧に変換されて同期モータ320に印加される。
- [0066] 実施の形態3において、同期モータ320は、永久磁石同期モータを想定する。前述した実施の形態と同様に、本実施の形態では、SPMSMを想定して説明するが、IPMSMを使用してもよい。
- [0067] 次に、実施の形態3に係るモータ制御装置100の動作を説明する。まず、ベクトル制御部110において、速度及び位相算出部205には、同期モータ320の回転検出値rdが入力される。速度及び位相算出部205は、回転検出値rdを用いて、回転速度 ω 、及び、ベクトル制御に必要な角度 θ を生成する。速度及び位相算出部205が生成した回転速度 ω は、電圧推定部209に入力される。また、速度及び位相算出部205が生成した角度 θ

は、第1の座標変換部である座標変換部206と、第2の座標変換部である座標変換部208とに入力される。

[0068] また、電力変換器203の出力側には、電流検出器202が設けられている。電流検出器202は、同期モータ320に流出入する電流を検出する。電流検出器202が検出した電流値すなわち三相の電流検出値 i_u 、 i_v 、 i_w は、座標変換部206に入力される。座標変換部206は、電流検出値 i_u 、 i_v 、 i_w を、角度 θ に基づいて二相量のd軸電流検出値 i_d 及びq軸電流検出値 i_q に変換する。座標変換部206によって変換されたd軸電流検出値 i_d 及びq軸電流検出値 i_q は、電流制御部207に入力される。なお、図5では3相の電流を検出しているが、任意の2相の電流のみを検出し、残りの相の電流はモータ電流が3相平衡であることを利用して演算で求めてもよい。

[0069] 電流制御部207には、更に、図示しない上位コントローラからのd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* が与えられている。電流制御部207は、d軸電流検出値 i_d をd軸電流指令値 i_d^* に一致させ、また、q軸電流検出値 i_q をq軸電流指令値 i_q^* に一致させるようなd軸電圧指令値 v_d^* 及びq軸電圧指令値 v_q^* を生成する。電流制御部207が生成したd軸電圧指令値 v_d^* 及びq軸電圧指令値 v_q^* は、座標変換部208に入力される。また、電流制御部207が生成したd軸電圧指令値 v_d^* は、偏差抽出部210にも入力される。

[0070] 座標変換部208は、d軸電圧指令値 v_d^* 及びq軸電圧指令値 v_q^* を角度 θ に基づいて三相の電圧指令値に変換し、変換した三相の電圧指令値を電力変換器203に付与する。

[0071] 電力変換器203は、半導体スイッチング素子203aのスイッチング動作により、上記電圧指令値に従った三相交流電圧を生成して同期モータ320に印加する。

[0072] 次に、異常検出部120Bについて説明する。まず、電圧推定部209には、速度及び位相算出部205が生成した回転速度 ω と、図示しない上位コ

ントローラからの、q軸インダクタンス L_q 及びq軸電流指令値 i_{q*} とが入力される。電圧推定部209は、以下の(5)式に示されるように、q軸インダクタンス L_q と、回転速度 ω と、q軸電流指令値 i_{q*} との積から、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出する。

$$[0073] \quad v_{d_hat} = -\omega \times L_q \times i_{q*} \quad \dots\dots (5)$$

[0074] 電圧推定部209が算出したd軸電圧指令推定値 v_{d_hat} は、偏差抽出部302に入力される。なお、上記(5)式は、d軸電流指令値 i_{d*} がゼロで制御されているときの状態を表している。

[0075] 前述したように、偏差抽出部302には、電流制御部207が生成したd軸電圧指令値 v_{d*} も入力されている。偏差抽出部302は、以下の(6)式に示されるように、d軸電圧指令値 v_{d*} とd軸電圧指令推定値 v_{d_hat} との差分値すなわち偏差であるd軸電圧指令偏差 v_{d_dev} を算出する。

$$[0076] \quad v_{d_dev} = v_{d*} - v_{d_hat} \quad \dots\dots (6)$$

[0077] ここで、同期モータ320に断線が生じていない場合、d軸電圧指令偏差 v_{d_dev} は理想的にはゼロになる。一方、同期モータ320に断線が生じている場合、d軸電圧指令偏差 v_{d_dev} がゼロより大きくなる。つまり、d軸電圧指令偏差 v_{d_dev} を算出することにより、同期モータ320の断線を検出することが可能となる。

[0078] 断線検出部324には、偏差抽出部302が生成したd軸電圧指令偏差 v_{d_dev} と、判定のための基準値 B_s とが入力される。断線検出部324は、d軸電圧指令偏差 v_{d_dev} と基準値 B_s とを比較し、以下の(7)式が成立する場合に、同期モータ320に断線が発生した可能性があるとして、断線検出信号を出力する。断線検出部324は、コンパレータで構成することができる。ここでは、コンパレータを例示するが、コンパレータに限定する趣旨ではない。

$$[0079] \quad v_{d_dev} \geq B_s \quad \dots\dots (7)$$

[0080] ここで、 B_s は、ノイズなどによる誤検出を防ぐための基準値として設定

される。つまり、 B_s は断線検出の精度を向上するために設けられる基準値である。

[0081] 断線検出部324が検出した断線検出信号は、異常検出信号 B_d として、電力変換器203に入力される。実施の形態3において、異常検出信号 B_d は、2Y結線された同期モータ320の巻線群のうちの少なくとも1つの相に断線が生じていると判定した場合に出力される。

[0082] 前述したように、Y型に結線された巻線群のうちの少なくとも1相が断線している場合、同期モータの断線していない相には過大な電流が流れ、同期モータが焼損する場合がある。そこで、実施の形態3のモータ制御装置では、異常検出信号 B_d が入力された場合には、電力変換器203の動作を停止することで同期モータ320の動作を停止する。なお、電力変換器203の動作を停止する制御は一例であり、他の手法を用いてもよい。他の手法の一つとして、電力変換器203の内部に設けられる図示しない開閉器を開閉する制御を行ってもよいし、異常検出信号 B_d を同期モータ320に出力し、同期モータ320に具備される非常停止装置を動作させてもよいし、異常検出信号 B_d の出力をトリガに、直流電源204から電力変換器203への直流電力の供給を停止してもよい。

[0083] 次に、実施の形態3における異常検出部120Bの機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れについて説明する。図6は、異常検出部120Bの機能をソフトウェアで実現する場合の処理の流れを示すフローチャートである。

[0084] 異常検出部120Bは、速度及び位相算出部205が生成した回転速度 ω と、図示しない上位コントローラからのq軸インダクタンス L_q 及びq軸電流指令値 i_{q*} とに基づいて、上記(5)式に従って、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出する(ステップS301)。

[0085] また、異常検出部120Bは、d軸電圧指令値 v_{d*} と、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} とに基づいて、上記(6)式に従って、d軸電圧指令値 v_{d*} とd軸電圧指令推定値 v_{d_hat} との偏差であるd軸電圧指令偏差 v

d_dev を算出する（ステップS302）。

[0086] ここで、異常検出部120Bは、ステップS302で算出したd軸電圧指令偏差 v_d_dev と基準値 B_s とを比較し（ステップS303）、上記（7）式が成立するか否かを判定する（ステップS304）。

[0087] ここで、上記（7）式が成立する場合（ステップS304, Yes）、異常検出部120Bは、「断線有り」と判定し（ステップS305）、処理を終了する。一方、上記（7）式が成立しない場合（ステップS304, No）、異常検出部120Bは、「断線無し」と判定し（ステップS306）、処理を終了する。

[0088] なお、上記のステップS304の判定処理では、d軸電圧指令偏差 v_d_dev と基準値 B_s とが等しい場合を“Yes”と判定してステップS305に移行しているが、d軸電圧指令偏差 v_d_dev と基準値 B_s とが等しい場合を“No”と判定してステップS306に移行してもよい。すなわち、d軸電圧指令偏差 v_d_dev と基準値 B_s とが等しい場合を“Yes”又は“No”の何れで判定してもよい。

[0089] 以上説明したように、実施の形態3に係るモータ制御装置によれば、トルク電流指令と、同期モータの回転速度と、インダクタンスと、励磁電圧指令とに基づいて、Y型に結線された巻線群が電氣的に複数並列に接続された巻線構造の同期モータにおける少なくとも1つの巻線群のうちの少なくとも1相に断線が生じているか否かを的確に検出することが可能となる。

[0090] また、実施の形態3に係るモータ制御装置によれば、Y型に結線された複数の巻線群における少なくとも1つの巻線群のうちの少なくとも1相に断線が生じているか否かを的確に検出することができるので、同期モータの断線していない相に流れ得る過大な電流を検出して早期に同期モータを停止もしくは低速に制御する異常制御を行うことができる。これにより、同期モータが損傷するのを抑止することが可能となる。

[0091] 実施の形態4.

実施の形態1、2及び3に係るモータ制御装置の処理では、電圧推定部2

09に入力されるq軸インダクタンス L_q は、飽和特性が考慮されていない。一方、実施の形態4に係るモータ制御装置では、q軸インダクタンス L_q の飽和特性を考慮した処理を行う。具体的には、電圧推定部209の前段すなわち入力側に図7に示すようなインダクタンス補正部313を設けることとする。

[0092] q軸インダクタンス L_q の飽和特性は、図7に示すように、インダクタンス成分が電流 I に反比例する特性を有する。インダクタンス補正部313には、上位コントローラからの、q軸インダクタンス L_q 及びq電流指令値 i_q^* が入力されており、q軸インダクタンス L_q をq軸電流指令値 i_q^* に基づいて補正して出力する。すなわち、インダクタンス補正部313は、補正前のq軸インダクタンス L_q をq軸電流指令値 i_q^* に基づいて補正し、補正後のq軸インダクタンス L_{qh} を電圧推定部209に出力する。なお、以後の動作は、実施の形態1、2又は3と同様であり、ここでの説明は省略する。また、図7に示す構成は一例であり、他の手法を用いてもよい。

[0093] 実施の形態4に係るモータ制御装置によれば、飽和特性を考慮して補正した、補正後のq軸インダクタンス L_{qh} を使用してd軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出するようにしているので、実施の形態1、2又は3におけるそれぞれの効果に加え、誤配線又は断線を検出する際の検出精度の向上を図ることが可能となる。

[0094] 実施の形態5.

実施の形態1、2、3及び4に係るモータ制御装置では、d軸電流指令値 i_d^* がゼロで制御されていることが前提である。一方、同期モータ201a、201b、201c、201d又は同期モータ302を高速で駆動する場合であって、q軸電圧指令 V_q^* が飽和するような場合には、弱め界磁制御が行われることがあり、d軸電流指令値 i_d^* が制御される。そこで、実施の形態5では、d軸電流指令値 i_d^* がゼロに制御されないことを考慮した制御を行う。具体的に、電圧推定部209は、以下の(8)式に従って、d軸電圧指令推定値 v_{d_hat} を算出する。

$$\begin{aligned}
 [0095] \quad & v_{d_hat} [N] \\
 & = R \times i_{d*} [N] \\
 & + L_{dh} \times (i_{d*} [N] - i_{d*} [N-1]) \\
 & - \omega \times L_q \times i_{q*} [N] \quad \dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

[0096] 上記(8)式において、“[N]”は時刻Nの値もしくは処理値であることを意味し、“[N-1]”は時刻Nよりも1時刻前の値もしくは処理値であることを意味する。第3式は、上記(1)式に対応する。第1式における“R”は、固定子の巻線抵抗を表している。第2式における括弧内の式は、d軸電流指令値*i_{d*}*の時間変化成分を表している。そして、第2式における“L_{dh}”は、d軸インダクタンスL_dに対し、実施の形態4と同様に、飽和特性を考慮して補正した値を意味している。

[0097] 実施の形態5に係るモータ制御装置によれば、d軸電流指令値*i_{d*}*がゼロに制御されないことを考慮して、換言すればd軸電流指令値*i_{d*}*の時間変化を考慮してd軸電圧指令推定値*v_{d_hat}*を算出するようにしているので、実施の形態1、2、3及び4におけるそれぞれの効果に加え、誤配線又は断線を検出する際の更なる検出精度の向上を図ることが可能となる。

[0098] 実施の形態6.

実施の形態1、2、3、4及び5に係るモータ制御装置の処理では、交流成分抽出部210から出力されるd軸交流成分電圧*v_{d_ac}*、又は偏差抽出部322から出力されるd軸電圧指令偏差*v_{d_dev}*には出力電圧誤差成分*v_{d_dc}*が直流オフセットとして乗ってしまう。

[0099] このため、同期モータ群201に適用されるモータ制御装置100では、d軸交流成分電圧*v_{d_ac}*をローパスフィルタに通して、直流オフセット成分である出力電圧誤差成分*v_{d_dc}*を算出すると共に、以下の(9)式に示されるように、d軸交流成分電圧*v_{d_ac}*から出力電圧誤差成分*v_{d_dc}*を除去することで、直流オフセット除去後のd軸交流成分電圧*v_{d_ac2}*を算出する。

$$[0100] \quad v_{d_ac2} = v_{d_ac} - v_{d_dc} \quad \dots (9)$$

[0101] また、同期モータ320に適用されるモータ制御装置100では、d軸電圧指令偏差 v_{d_dev} をローパスフィルタに通して、直流オフセット成分である出力電圧誤差成分 v_{d_dc} を算出すると共に、以下の(10)式に示されるように、d軸電圧指令偏差 v_{d_dev} から出力電圧誤差成分 v_{d_dc} を除去することで、直流オフセット除去後のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev2} を算出する。

$$[0102] \quad v_{d_dev2} = v_{d_dev} - v_{d_dc} \quad \dots (10)$$

[0103] 以下、直流オフセット除去前のd軸交流成分電圧 v_{d_ac} を「第1のd軸交流成分電圧 v_{d_ac} 」と称し、直流オフセット除去後のd軸交流成分電圧 v_{d_ac2} を「第2のd軸交流成分電圧 v_{d_ac2} 」と称する。

[0104] また、直流オフセット除去前のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev} を「第1のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev} 」と称し、直流オフセット除去後のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev2} を「第2のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev2} 」と称する。

[0105] 実施の形態6に係るモータ制御装置によれば、第1のd軸交流成分電圧 v_{d_ac} から直流オフセット成分を除去した後の第2のd軸交流成分電圧 v_{d_ac2} を算出し、算出した第2のd軸交流成分電圧 v_{d_ac2} に対して周波数解析を行うので、実施の形態1、2、4及び5の効果に加え、誤配線又は断線を検出する際の更なる検出精度の向上を図ることが可能となる。

[0106] また、実施の形態6に係るモータ制御装置によれば、第1のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev} から直流オフセット成分を除去した後の第2のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev2} を算出し、算出した第2のd軸電圧指令偏差 v_{d_dev2} に基づいて断線検出を行うので、実施の形態3、4及び5の効果に加え、断線を検出する際の更なる検出精度の向上を図ることが可能となる。

[0107] 最後に、実施の形態1、4、5及び6における異常検出部120の機能、実施の形態2、4、5及び6における異常検出部120Aの機能、並びに、実施の形態3、4、5及び6における異常検出部120Bの機能を実現するハードウェア構成について、図8を参照して説明する。異常検出部120、

異常検出部120A又は異常検出部120Bの各機能を実現する場合には、図8に示すように、演算を行うCPU (Central Processing Unit: 中央処理装置) 400、CPU400によって読みとられるプログラムが保存されるメモリ402及び信号の入出力を行うインタフェース404を含む構成とすることができる。なお、CPU400は、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、又はDSP (Digital Signal Processor) などと称されるものであってもよい。また、メモリ402とは、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable ROM)、EEPROM (Electrically EPROM) といった不揮発性又は揮発性の半導体メモリが該当する。

[0108] 具体的に、メモリ402には、異常検出部120、異常検出部120A又は異常検出部120Bの各機能を実行するプログラムが格納されている。CPU400は、インタフェース404を介して、必要な情報の授受を行うことにより、実施の形態1、2、3、4、5及び6で説明された各種の演算処理を実行する。

[0109] なお、図8に示すCPU400及びメモリ402は、図9のように処理回路403に置き換えてもよい。処理回路403は、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

[0110] なお、以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

符号の説明

[0111] 6 第1巻線群、7 第2巻線群、6U、7U U相巻線部、6V、7V

V相巻線部、6W, 7W W相巻線部、100 モータ制御装置、110
ベクトル制御部、120, 120A, 120B 異常検出部、201 同
期モータ群、201a, 201b, 201c, 201d, 320 同期モー
タ、202 電流検出器、203 電力変換器、203a 半導体スイッ
チング素子、204 直流電源、205 速度及び位相算出部、206, 20
8 座標変換部、207 電流制御部、209 電圧推定部、210 交流
成分抽出部、211, 311 周波数解析部、212 誤配線検出部、31
2, 324 断線検出部、313 インダクタンス補正部、322 偏差抽
出部、400 CPU、402 メモリ、403 処理回路、404 イン
タフェース。

請求の範囲

[請求項1] 互いに並列に接続されて機械的に結合された複数台の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用されるモータ制御装置であって、

複数台の前記同期モータに流出入する電流をq軸電流とd軸電流とに分けてそれぞれをq軸電流指令値とd軸電流指令値とに基づいて制御するベクトル制御部と、

q軸インダクタンスと、q軸電流指令値と、前記同期モータの回転速度と、d軸電圧指令値とに基づいて、複数台の前記同期モータのうちの少なくとも1台の同期モータに誤配線又は断線が生じているか否かを検出する異常検出部と、

を備えたことを特徴とするモータ制御装置。

[請求項2] 前記異常検出部は、

q軸インダクタンスと、前記回転速度と、前記q軸電流指令値とに基づいて、d軸電圧指令推定値を算出する電圧推定部と、

前記d軸電圧指令値と、前記d軸電圧指令推定値との差分値である第1のd軸交流成分電圧を算出する交流成分抽出部と、

前記第1のd軸交流成分電圧の周波数成分を算出し、前記回転速度の振幅であるd軸電圧第1速度成分値を抽出する周波数解析部と、
を備え、

前記異常検出部は、前記d軸電圧第1速度成分値が基準値よりも大きい場合に、複数台の前記同期モータのうちの少なくとも1台の同期モータに誤配線が生じていると判定して誤配線検出信号を出力することを特徴とする請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項3] 前記異常検出部は、

q軸インダクタンスと、前記回転速度と、前記q軸電流指令値とに基づいて、d軸電圧指令推定値を算出する電圧推定部と、

前記d軸電圧指令値と、前記d軸電圧指令推定値との差分値である

第1のd軸交流成分電圧を算出する交流成分抽出部と、

前記第1のd軸交流成分電圧の周波数成分を算出し、前記回転速度の2倍の速度成分の振幅であるd軸電圧第2速度成分値を抽出する周波数解析部と、

を備え、

前記異常検出部は、

前記d軸電圧第2速度成分値が基準値よりも大きい場合に、複数台の前記同期モータのうちの少なくとも1台の同期モータに断線が生じていると判定して断線検出信号を出力する

ことを特徴とする請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項4]

3つの巻線部がY型に結線された巻線群が電氣的に複数並列に接続された巻線構造の同期モータを1台の電力変換器により駆動する構成に適用されるモータ制御装置であって、

前記同期モータに流出入する電流をq軸電流とd軸電流とに分けてそれぞれをq軸電流指令値とd軸電流指令値とに基づいて制御するベクトル制御部と、

q軸インダクタンスと、q軸電流指令値と、前記同期モータの回転速度と、d軸電圧指令値とに基づいて、Y型に結線された巻線群のうちの少なくとも1相が断線しているか否かを検出する異常検出部と、

を備えたことを特徴とするモータ制御装置。

[請求項5]

前記異常検出部は、

q軸インダクタンスと、前記回転速度と、前記q軸電流指令値とに基づいて、d軸電圧指令推定値を算出する電圧推定部と、

前記d軸電圧指令値と、前記d軸電圧指令推定値との差分値である第1のd軸電圧指令偏差を算出する偏差抽出部と、

を備え、

前記異常検出部は、前記第1のd軸電圧指令偏差が基準値よりも大きい場合に、前記同期モータの巻線群のうちの少なくとも1つの相に

断線が生じていると判定して断線検出信号を出力する

ことを特徴とする請求項4に記載のモータ制御装置。

[請求項6] 前記電圧推定部は、飽和特性を考慮して前記q軸インダクタンスを補正し、補正後の前記q軸インダクタンスを用いて前記d軸電圧指令推定値を算出することを特徴とする請求項2、3又は5に記載のモータ制御装置。

[請求項7] 前記電圧推定部は、前記d軸電流指令値の時間変化を考慮して前記d軸電圧指令推定値を算出することを特徴とする請求項2、3、5又は6に記載のモータ制御装置。

[請求項8] 前記交流成分抽出部は、前記第1のd軸交流成分電圧から直流オフセット成分を除去した第2のd軸交流成分電圧を算出し、算出した前記第2のd軸交流成分電圧を前記異常検出部に出力することを特徴とする請求項2又は3に記載のモータ制御装置。

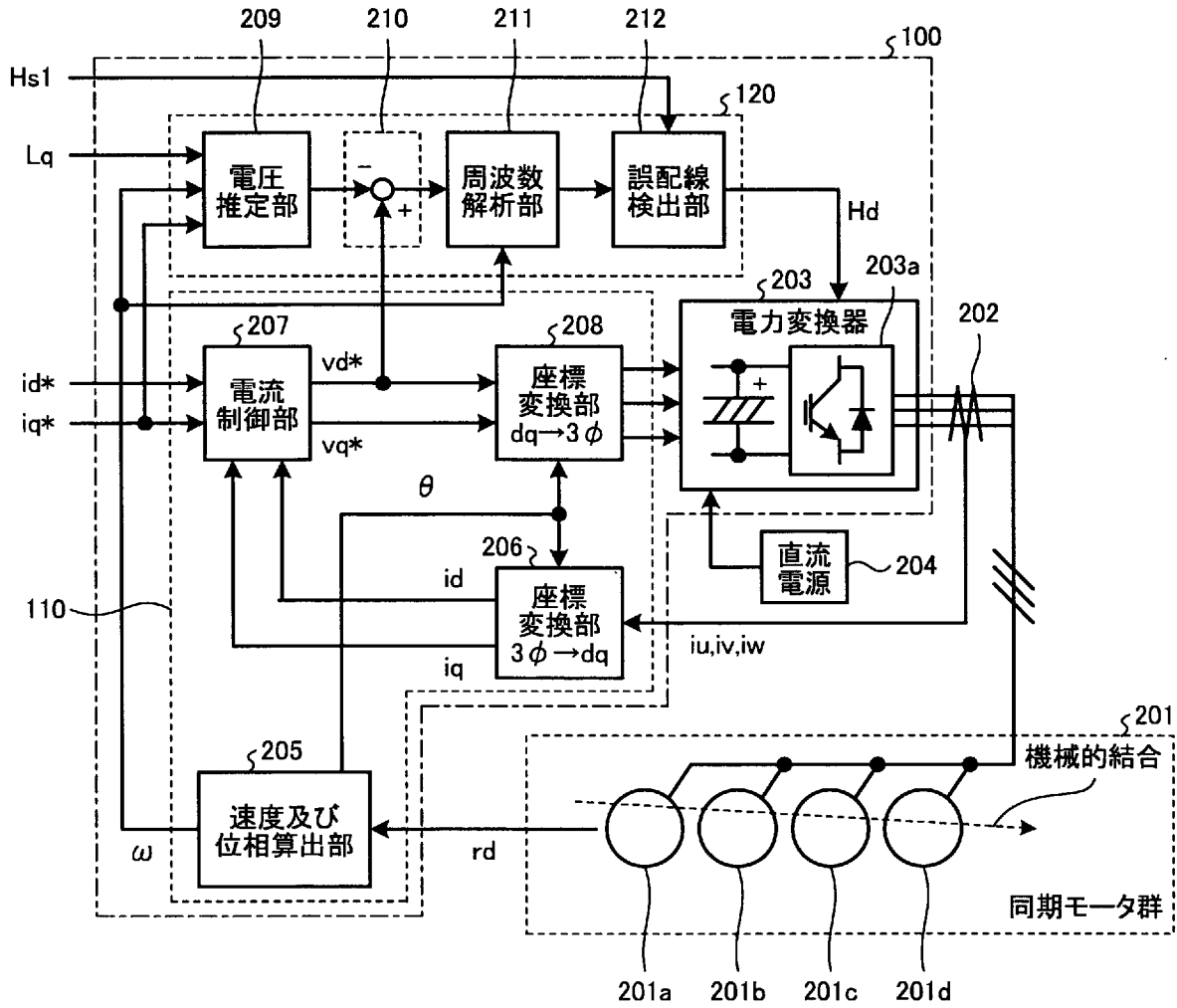
[請求項9] 前記偏差抽出部は、前記第1のd軸電圧指令偏差から直流オフセット成分を除去した第2のd軸電圧指令偏差を算出し、算出した前記第2のd軸電圧指令偏差を前記異常検出部に出力することを特徴とする請求項5に記載のモータ制御装置。

[請求項10] 同期モータを駆動するモータ制御装置であって、
前記同期モータに流出入する電流をq軸電流とd軸電流とに分けてそれぞれをq軸電流指令値とd軸電流指令値とに基づいて制御するベクトル制御部と、

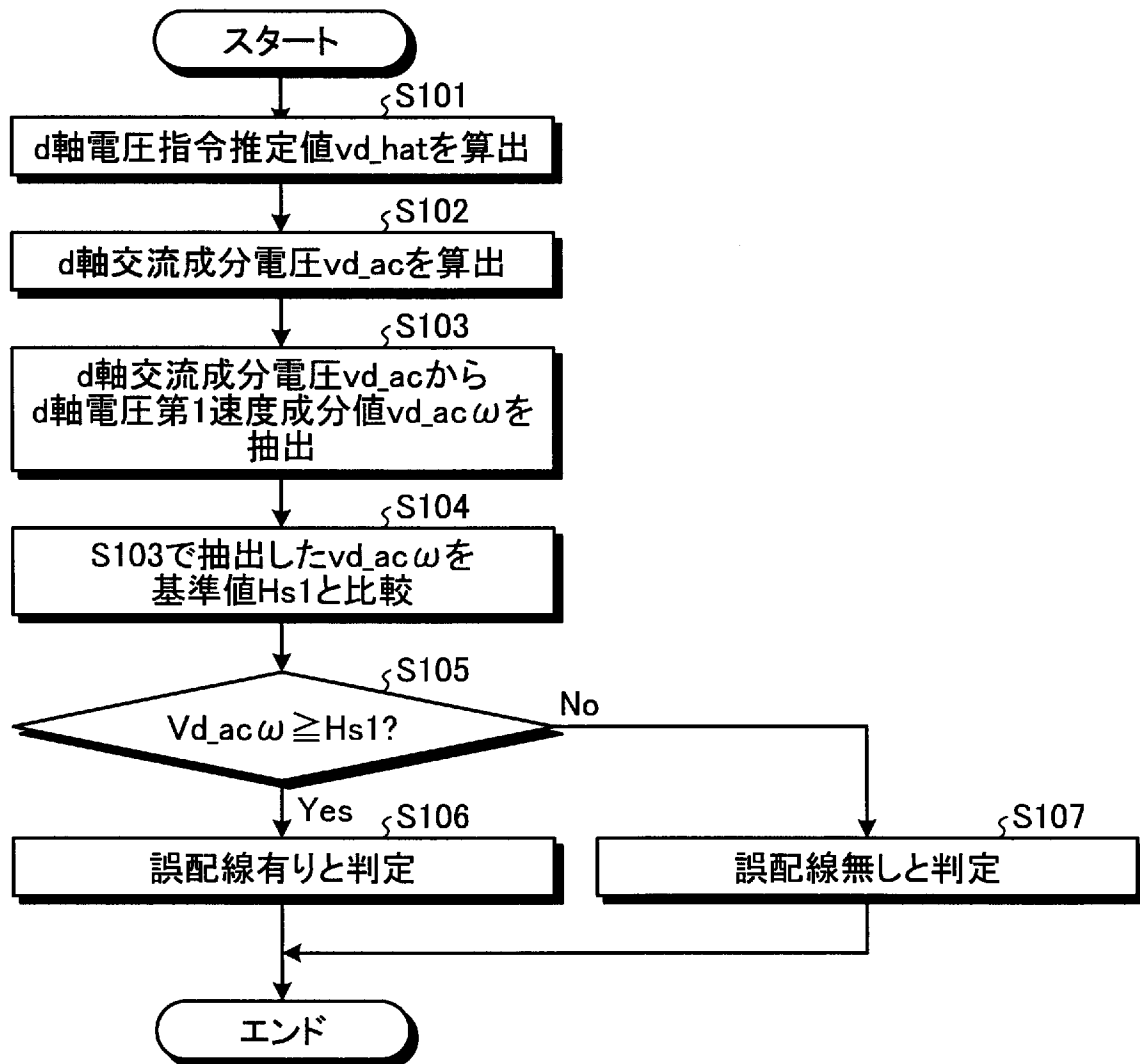
q軸インダクタンスと、q軸電流指令値と、前記同期モータの回転速度と、d軸電圧指令値とに基づいて、前記同期モータに、断線又は誤配線が生じているか否かを検出する異常検出部と、

を備えたことを特徴とするモータ制御装置。

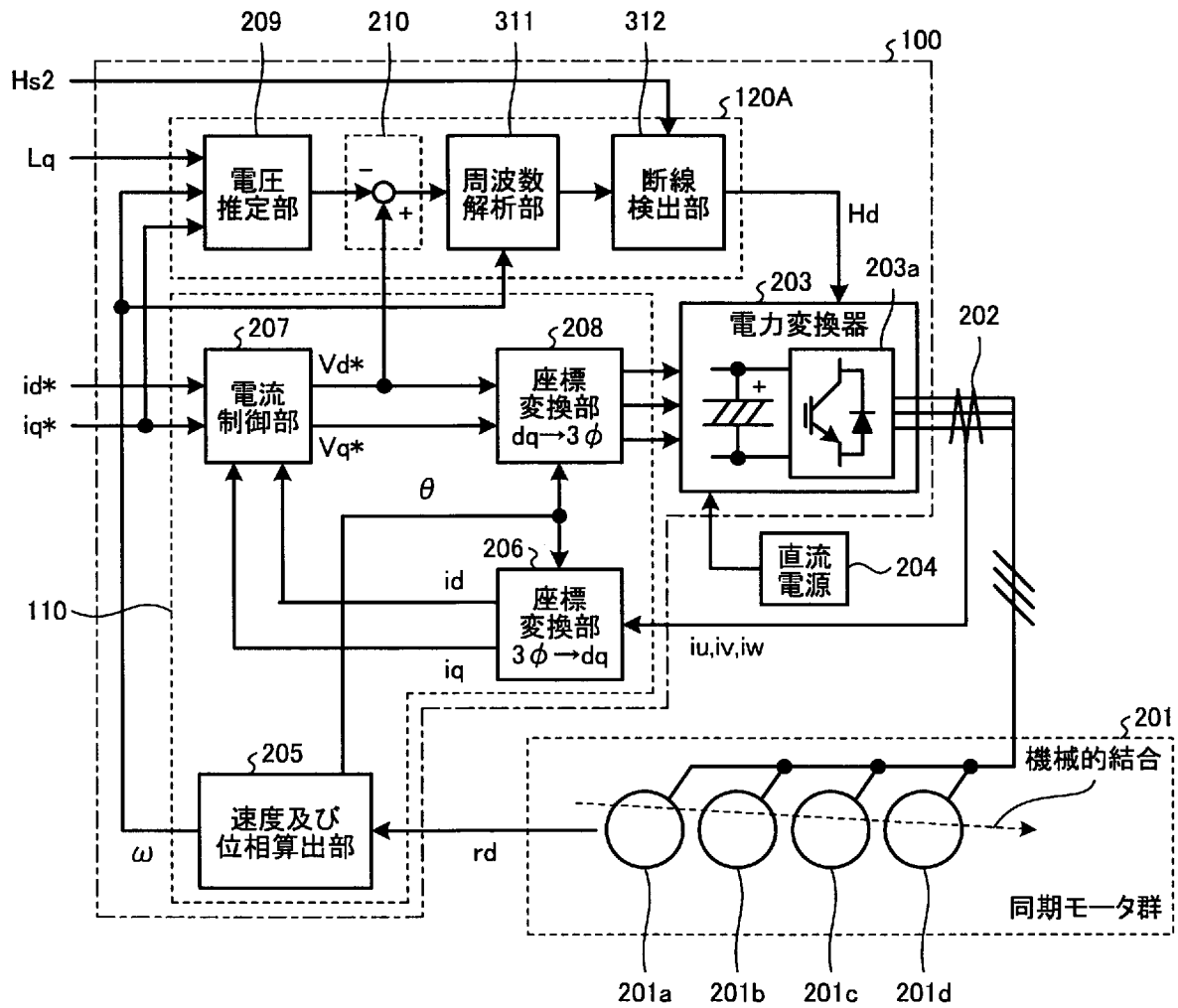
[図1]



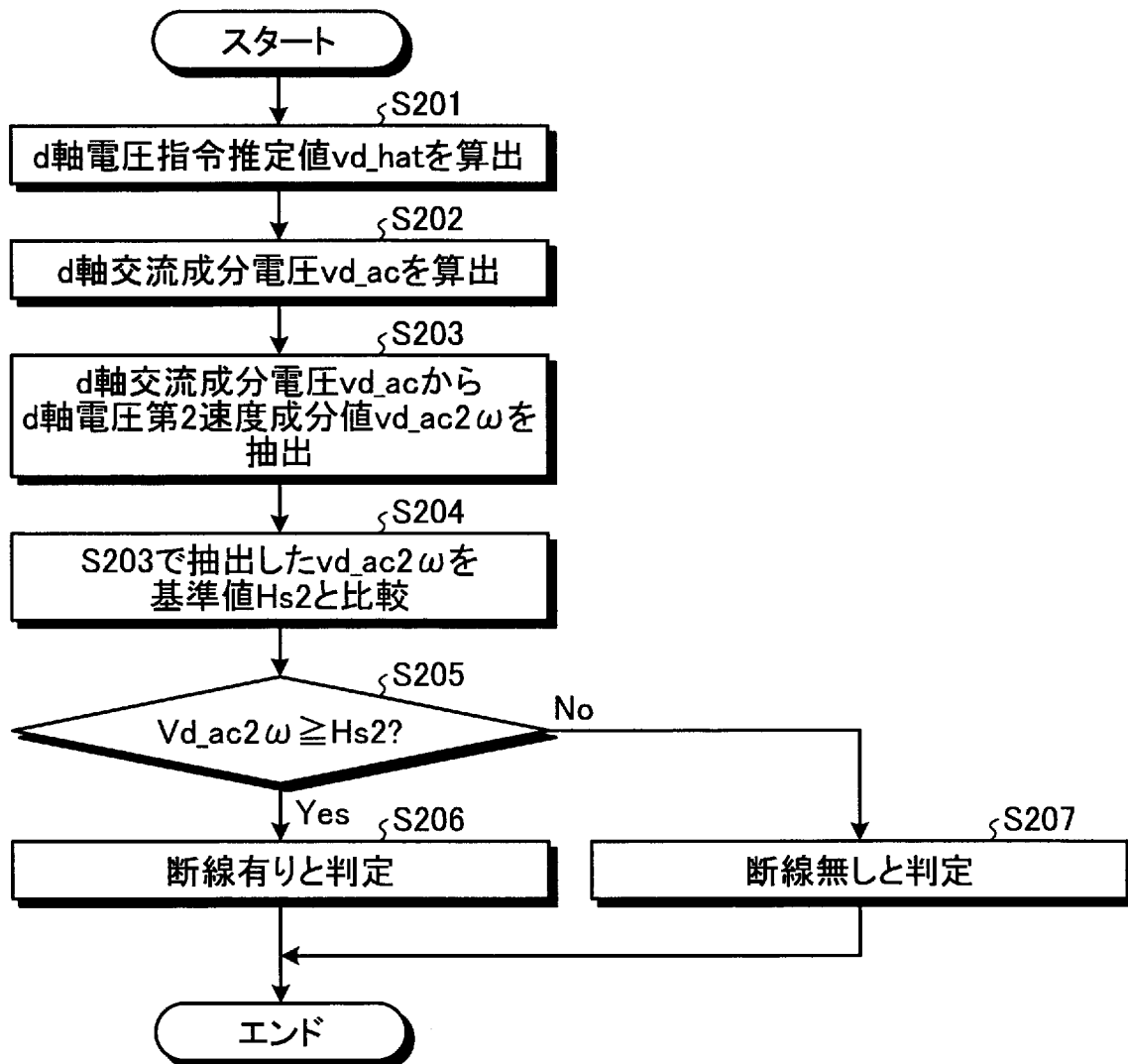
[図2]



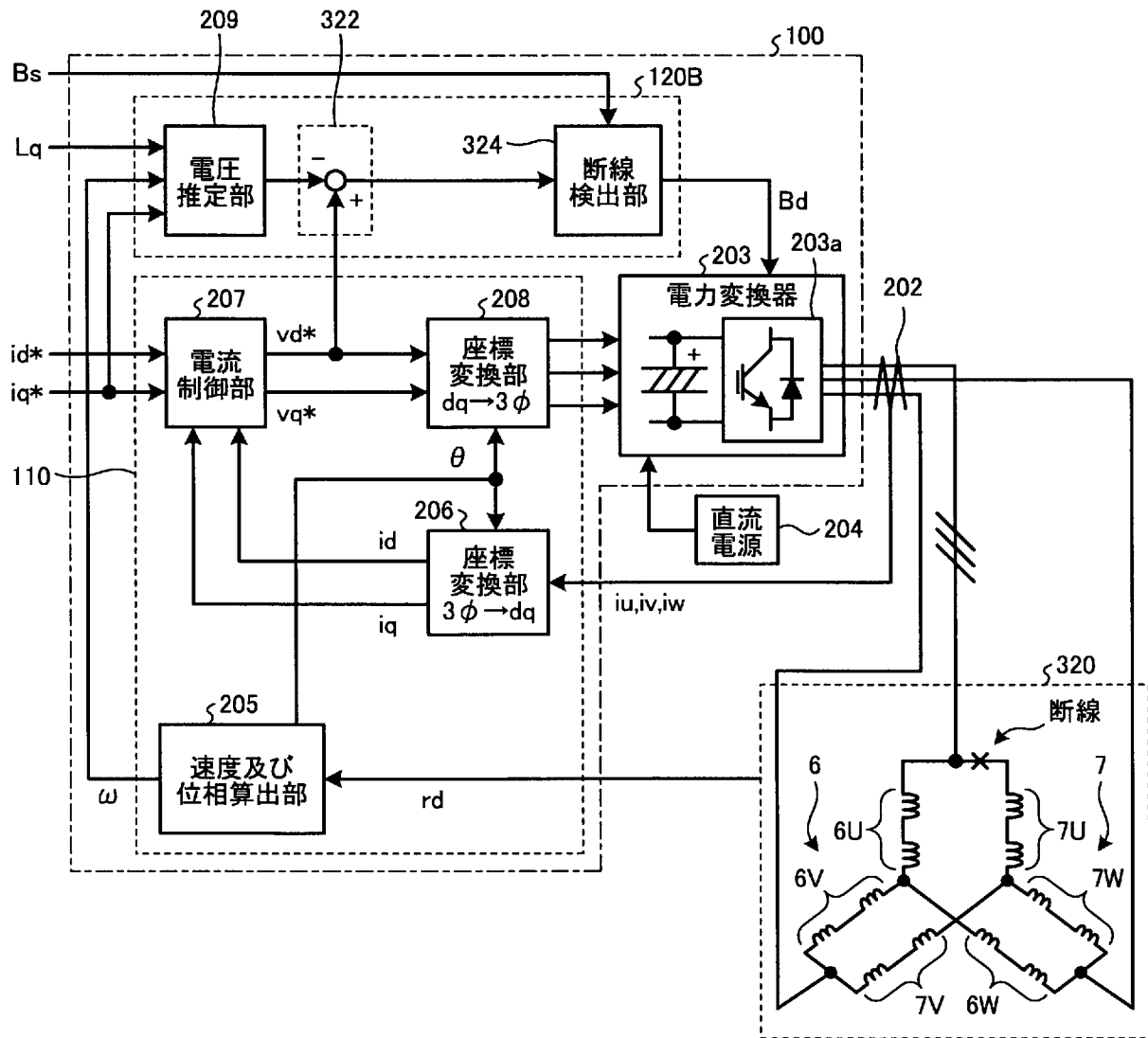
[図3]



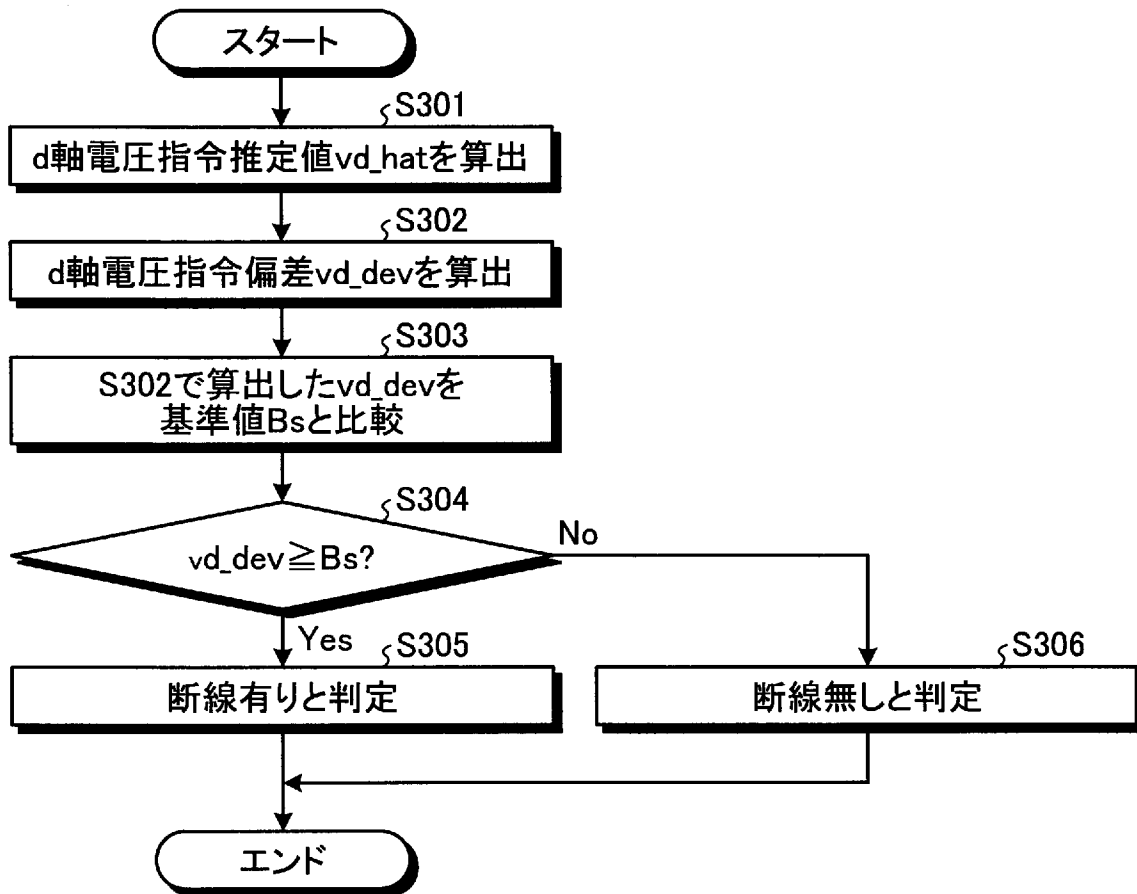
[図4]



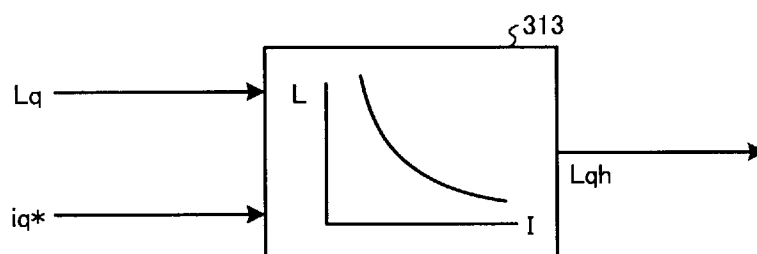
[図5]



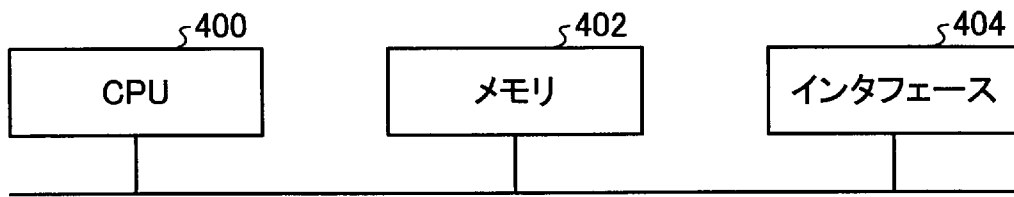
[図6]



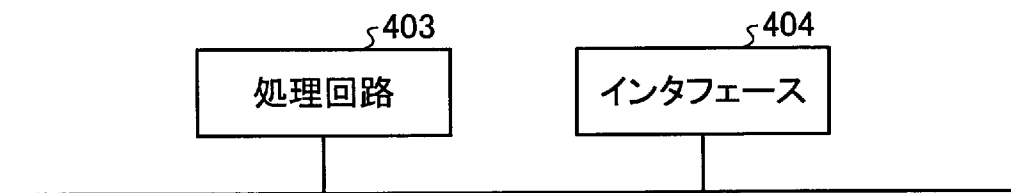
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/076037

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02P21/22(2016.01)i, H02P29/024(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) H02P21/22, H02P29/024		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016		
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.
A	WO 2014/013614 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 23 January 2014 (23.01.2014), paragraphs [0002] to [0035]; fig. 1 & US 2015/0188473 A1 paragraphs [0002] to [0043]; fig. 1	1-10
A	JP 2015-119600 A (Central Japan Railway Co.), 25 June 2015 (25.06.2015), paragraphs [0019] to [0037]; fig. 1 & US 2016/0285395 A1 paragraphs [0030] to [0067]; fig. 1A	1-10
A	JP 2013-106424 A (Hitachi, Ltd.), 30 May 2013 (30.05.2013), paragraphs [0027] to [0047], [0061] to [0063]; fig. 10 (Family: none)	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 09 November 2016 (09.11.16)		Date of mailing of the international search report 22 November 2016 (22.11.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/076037

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-87166 A (Hitachi Industrial Equipment System Co., Ltd.), 12 May 2014 (12.05.2014), paragraphs [0014] to [0031]; fig. 1 & EP 2913918 A1 paragraphs [0014] to [0031]; fig. 1	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02P21/22(2016.01)i, H02P29/024(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. H02P21/22, H02P29/024		
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 1971-2016年 日本国実用新案登録公報 1996-2016年 日本国登録実用新案公報 1994-2016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
A	WO 2014/013614 A1 (三菱電機株式会社) 2014.01.23, 段落 [0002]-[0035]、図1 & US 2015/0188473 A1, 段落[0002]-[0043]、図 1	1-10
A	JP 2015-119600 A (東海旅客鉄道株式会社) 2015.06.25, 段落 [0019]-[0037]、図1 & US 2016/0285395 A1, 段落[0030]-[0067]、図 1A	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 09.11.2016	国際調査報告の発送日 22.11.2016	
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) マキロイ 寛済 電話番号 03-3581-1101 内線 3357	3V 5561

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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
A	JP 2013-106424 A (株式会社日立製作所) 2013.05.30, 段落 [0027]-[0047]、[0061]-[0063]、図 10 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2014-87166 A (株式会社日立産機システム) 2014.05.12, 段落 [0014]-[0031]、図 1 & EP 2913918 A1, 段落[0014]-[0031]、図 1	1-10