

(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
2021年9月16日(16.09.2021)



(10) 国際公開番号

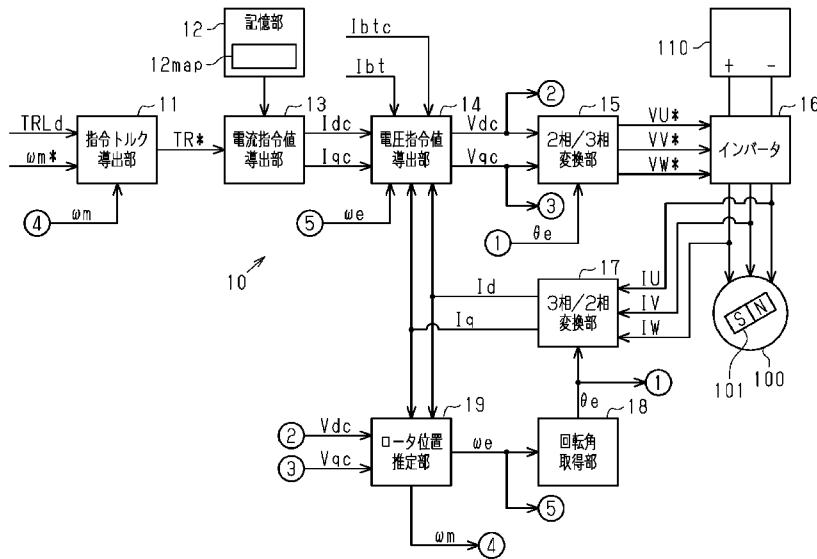
WO 2021/182382 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 21/22 (2016.01) H02P 25/026 (2016.01)
(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/008952
(22) 国際出願日: 2021年3月8日(08.03.2021)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2020-041161 2020年3月10日(10.03.2020) JP
(71) 出願人: 株式会社アドヴィックス (ADVICS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒4488688 愛知県刈谷市昭和町2丁目1番地 Aichi (JP).

(72) 発明者: 堀江 勇治 (HORIE, Yuya); 〒4488688 愛知県刈谷市昭和町2丁目1番地 株式会社アドヴィックス内 Aichi (JP). 高橋 友哉 (TAKAHASHI, Tomoya); 〒4488688 愛知県刈谷市昭和町2丁目1番地 株式会社アドヴィックス内 Aichi (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, 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,

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: モータ制御装置



- 11 Command torque deriving unit
- 12 Storage unit
- 13 Current command value deriving unit
- 14 Voltage command value deriving unit
- 15 Two-phase/three-phase conversion unit
- 16 Inverter
- 17 Three-phase/two-phase conversion unit
- 18 Rotation angle acquisition unit
- 19 Rotor position estimation unit

(57) Abstract: A current command value deriving unit 13 of a motor control device 10 derives a d-axis current command value and a q-axis current command value on the basis of a torque current map 12map and a torque command value. A voltage command value deriving unit 14 can execute a first process of deriving a d-axis voltage command value on the basis of the d-axis current command value and deriving a q-axis voltage command value on the basis of the q-axis current command value, and a second process of deriving a d-axis voltage command value on the basis of the q-axis current command value and deriving a q-axis voltage command value on the basis of a clamping voltage and the d-axis voltage command value. When a motor 100 is driven by field-weakening control, the voltage command value deriving unit 14

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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))

switches from the second process to the first process in response to determining that each voltage command value that satisfies the torque command value can be derived by the first process.

(57) 要約: モータ制御装置 10 の電流指令値導出部 13 は、トルク電流マップ 12 map とトルク指令値とを基に、d 軸電流指令値及び q 軸電流指令値を導出する。電圧指令値導出部 14 は、d 軸電流指令値を基に d 軸電圧指令値を導出し、q 軸電流指令値を基に q 軸電圧指令値を導出する第 1 処理、及び、q 軸電流指令値を基に d 軸電圧指令値を導出し、制限電圧と d 軸電圧指令値とを基に q 軸電圧指令値を導出する第 2 処理とを実行可能である。電圧指令値導出部 14 は、弱め界磁制御によってモータ 100 が駆動している場合、トルク指令値を満たす各電圧指令値を第 1 処理によって導出可能であると判定したときには、第 2 処理から第 1 処理に切り替える。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、同期モータを制御するモータ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 には、同期モータであるモータを低速回転させるときにはベクトル制御を実施し、モータを高速回転させるときには弱め界磁制御を実施するモータ制御装置の一例が記載されている。

[0003] ベクトル制御では、モータトルクの指令値であるトルク指令値を基に、ベクトル制御の回転座標の d 軸の成分の電流の指令値である d 軸電流指令値と、回転座標の q 軸の成分の電流の指令値である q 軸電流指令値とが導出される。d 軸及び q 軸は、回転座標上で互いに直交している。そして、d 軸電流指令値と q 軸電流指令値とを基に、d 軸の成分の電圧の指令値である d 軸電圧指令値、及び、q 軸の成分の電圧の指令値である q 軸電圧指令値が導出される。そして、これら各電圧指令値に基づいてインバータを制御することにより、モータが駆動される。

[0004] 弱め界磁制御では、トルク指令値とモータの実トルクとの偏差に基づいて d 軸電流指令値が導出され、当該 d 軸電流指令値に基づいて d 軸電圧指令値が導出される。また、制限電圧と d 軸電圧指令値とを基に、q 軸電圧指令値が導出される。そして、これら各電圧指令値に基づいてインバータを制御することにより、モータが駆動される。

[0005] 上記のモータ制御では、弱め界磁制御を実施しているときに所定の切替条件が成立すると、モータの駆動制御が弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えられる。すなわち、トルク指令値をベクトル制御によって実現するための d 軸電圧指令値及び q 軸電圧指令値が導出される。このように導出した d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値とによって表される電圧ベクトルを「判定用電圧ベクトル」とした場合、判定用電圧ベクトルの長さが制限電圧を下回る

と所定の切替条件が成立したと判断され、モータの駆動制御が弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えられる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2009-171825号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記判定用電圧ベクトルは、回転座標上においてトルク指令値の等トルク線上の点を指す。そして、ベクトル制御での各電流指令値の導出手法によっては、トルク指令値が変わっても、上記判定用電圧ベクトルがトルク指令値の等トルク線と電圧制限円との交点を差し続けることがある。この場合、判定用電圧ベクトルの長さが制限電圧と等しい状態が維持されるため、判定用電圧ベクトルの長さが制限電圧を下回る状態にならず、モータの駆動制御をベクトル制御に切り替えることができないことになる。このようにベクトル制御に切り替えられずに弱め界磁制御が継続された場合、ベクトル制御に切り替えられた場合と比較して効率が低下するおそれがある。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するためのモータ制御装置は、ベクトル制御の回転座標における、第1軸の成分の電圧の指令値である第1電圧指令値及び前記第1軸と直交する第2軸の成分の電圧の指令値である第2電圧指令値を導出し、前記第1電圧指令値及び前記第2電圧指令値に基づいて同期モータであるモータを駆動させる装置である。このモータ制御装置は、前記モータのトルクと前記第1軸の成分の電流及び前記第2軸の成分の電流との関係を示すトルク電流マップを基に、前記モータのトルクの指令値であるトルク指令値に応じた前記第1軸の成分の電流を第1電流指令値として導出し、前記トルク指令値に応じた前記第2軸の成分の電流を第2電流指令値として導出する電流指令値導出部と、前記第1電流指令値を基に前記第1電圧指令値を導出し、前

記第2電流指令値を基に前記第2電圧指令値を導出する第1処理、及び、前記第2電流指令値を基に前記第1電圧指令値を導出し、前記モータ制御装置の制限電圧と前記第1電圧指令値とを基に前記第2電圧指令値を導出する第2処理と、を実行可能である電圧指令値導出部と、を備えている。そして、前記電圧指令値導出部は、前記第2処理によって導出された前記各電圧指令値に基づいて前記モータが駆動している場合、前記トルク指令値を満たす前記各電圧指令値を前記第1処理によって導出可能であると判定したときには、前記各電圧指令値を導出する処理を前記第2処理から前記第1処理に切り替える。

[0009] 第1処理によって導出された各電圧指令値に基づいてモータを駆動させることをベクトル制御という。第2処理によって導出された各電圧指令値に基づいてモータを駆動させることを弱め界磁制御という。

[0010] 上記構成によれば、弱め界磁制御によってモータが駆動されている場合、トルク指令値を満たす各電圧指令値を第1処理によって導出可能であるか否かの判定が行われる。そして、導出可能であると判定されると、各電圧指令値を導出する処理が第2処理から第1処理に切り替えられる。当該第1処理では、予め定めたトルク電流マップを用いて各電流指令値が導出される。そして、第1処理で導出された各電圧指令値に基づいてモータが駆動される。すなわち、第1処理によって導出される各電圧指令値が予め定められた範囲内のものであり、この範囲でトルク指令値を導出可能であるか否かという点で制御の切り替えが行われる。これにより、モータの駆動制御を、弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えることができる。

[0011] また、d軸電圧指令値とq軸電圧指令値とによって表される電圧ベクトルを所定の電圧ベクトルとした場合、回転座標上では、ベクトル制御に切り替えることによって、電圧制限円よりも内側を所定の電圧ベクトルが指すようになる。その結果、所定の電圧ベクトルが等トルク線と電圧制限円との交点を差し続ける場合と比較し、効率よくモータを駆動させることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]実施形態のモータ制御装置の機能構成と、同モータ制御装置によって制御されるモータとを示すブロック図。

[図2]同モータ制御装置の電圧指令値導出部の機能構成を示すブロック図。

[図3]同電圧指令値導出部の機能構成を示すブロック図。

[図4]同電圧指令値導出部で実行される処理ルーチンを説明するフローチャート。

[図5]ベクトル制御の回転座標上において、電圧制限円と、最大トルク曲線と、トルク指令値の等トルク曲線との関係を示す図。

[図6]同回転座標上において、電圧制限円と、最大トルク曲線と、トルク指令値の等トルク曲線との関係を示す図。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、モータ制御装置の一実施形態を図1～図6に従って説明する。

図1は、本実施形態のモータ制御装置10と、モータ制御装置10によって制御されるモータ100とを示している。モータ100は、永久磁石が設けられているロータ101を備えている。モータ100は、永久磁石がロータ101の内部に埋め込まれている埋込磁石型の同期モータである。モータ100は、三相コイルとしてU相、V相及びW相のコイルを備えている。なお、モータ100は、例えば、車載のブレーキ装置におけるブレーキ液の吐出用ポンプの動力源として用いられる。

[0014] モータ制御装置10は、d軸の成分の電流及びq軸の成分の電流を制御する駆動制御によってモータ100を駆動させる。d軸及びq軸とは、ベクトル制御の回転座標上の制御軸である。d軸は、永久磁石の磁束軸の方向に延びる制御軸である。q軸は、トルクの方に延びる制御軸であって、d軸とは直交している。モータ制御装置10は、d軸の成分の電流の指令値とq軸の成分の電流の指令値とに基づいた信号を三相コイルに入力することによってモータ100を駆動させる。なお、本実施形態では、d軸が「第1軸」に相当し、q軸が「第2軸」に相当する。

[0015] モータ制御装置10は、指令トルク導出部11、記憶部12、電流指令値

導出部 13、電圧指令値導出部 14、2相／3相変換部 15、インバータ 16、3相／2相変換部 17、回転角取得部 18及びロータ位置推定部 19を有している。

[0016] 指令トルク導出部 11は、モータ 100のトルクの指令値であるトルク指令値 T_R^* を導出する。すなわち、指令トルク導出部 11は、モータ 100の負荷トルクの推定値 T_{RLd} と、モータ 100のロータ回転数の指令値である回転数指令値 ω_m^* と、ロータ回転数の推定値である推定回転数 ω_m とを基に、トルク指令値 T_R^* を導出する。

[0017] 記憶部 12は、予め設定されたトルク電流マップ 12mapを記憶している。モータ電源 110からモータ制御装置 10に向けて流れる電流を電源電流 I_{bt} とし、予め設定されている電源電流の上限値を電源電流上限値 I_{btc} とする。トルク電流マップ 12mapは、電源電流上限値 I_{btc} よりも大きな電流がモータ電源 110からモータ制御装置 10に流れることを許容した場合における、モータ 100のトルク T_R と、d軸の成分の電流及びq軸の成分の電流との関係を示すものである。例えば、第1トルクに対応するd軸の成分の電流及びq軸の成分の電流とは、モータ 100のトルクを第1トルクとするためのd軸の成分の電流及びq軸の成分の電流である。より詳しくは、トルク電流マップ 12mapを用いて導出されるd軸の成分の電流とq軸の成分の電流とで表される電流ベクトルは、回転座標上で最大トルク曲線 L_{TRmax} 上の点を指す。

[0018] なお、最大トルク曲線 L_{TRmax} とは、回転座標上において、電流値の異なる定電流円毎にモータ 100から出力可能な最大トルクを記憶し、記憶された点を繋げた線である。

[0019] 電流指令値導出部 13は、トルク指令値 T_R^* を基に、d軸の成分の電流の指令値であるd軸電流指令値 I_{dc} 、及び、q軸の成分の電流の指令値であるq軸電流指令値 I_{qc} を導出する。すなわち、電流指令値導出部 13は、トルク電流マップ 12mapを基に、トルク指令値 T_R^* に応じたd軸の成分の電流であるd軸電流指令値 I_{dc} 及びq軸の成分の電流であるq軸電

流指令値 I_{qc} を取得する。本実施形態では、 d 軸電流指令値 I_{dc} が「第 1 電流指令値」に相当し、 q 軸電流指令値 I_{qc} が「第 2 電流指令値」に相当する。

[0020] 電圧指令値導出部 14 は、 d 軸の成分の電圧の指令値である d 軸電圧指令値 V_{dc} と、 q 軸の成分の電圧の指令値である q 軸電圧指令値 V_{qc} とを導出する。すなわち、電圧指令値導出部 14 は、各電流指令値 I_{dc} 、 I_{qc} と、 d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q と、モータ 100 の電気角速の推定値 ω_e と、電源電流上限値 I_{btc} 及び電源電流 I_{bt} とを基に、 d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} を導出する。本実施形態では、 d 軸電圧指令値 V_{dc} が「第 1 電圧指令値」に相当し、 q 軸電圧指令値 V_{qc} が「第 2 電圧指令値」に相当する。なお、 d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} の具体的な導出処理については後述する。

[0021] 2 相／3 相変換部 15 は、ロータ 101 の回転角の推定値であるロータ推定回転角（電気角） θ_e を基に、 d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} を、 U 相指令電圧 V_{U*} と、 V 相指令電圧 V_{V*} と、 W 相指令電圧 V_{W*} とに変換する。 U 相指令電圧 V_{U*} は、 U 相のコイルに印加する電圧の指令値である。 V 相指令電圧 V_{V*} は、 V 相のコイルに印加する電圧の指令値である。 W 相指令電圧 V_{W*} は、 W 相のコイルに印加する電圧の指令値である。

[0022] インバータ 16 は、モータ電源 110 から供給される電力によって動作する複数のスイッチング素子を有している。インバータ 16 は、2 相／3 相変換部 15 から入力された U 相指令電圧 V_{U*} に基づいたスイッチング素子のオン／オフ動作によって U 相信号を生成する。また、インバータ 16 は、入力された V 相指令電圧 V_{V*} に基づいたスイッチング素子のオン／オフ動作によって V 相信号を生成する。また、インバータ 16 は、入力された W 相指令電圧 V_{W*} に基づいたスイッチング素子のオン／オフ動作によって W 相信号を生成する。すると、 U 相信号がモータ 100 の U 相のコイルに入力され、 V 相信号が V 相のコイルに入力され、 W 相信号が W 相のコイルに入力され

る。そして、インバータ 16 に生成された各信号がモータ 100 に入力されると、モータ 100 が駆動する。インバータ 16 に生成された各信号は、d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} に基づいた信号である。

[0023] 3相／2相変換部 17 には、モータ 100 の U 相のコイルに流れた電流である U 相電流 I_U が入力され、V 相のコイルに流れた電流である V 相電流 I_V が入力され、W 相のコイルに流れた電流である W 相電流 I_W が入力される。そして、3相／2相変換部 17 は、ロータ推定回転角（電気角） θ_e を基に、U 相電流 I_U 、V 相電流 I_V 及び W 相電流 I_W を、d 軸の成分の電流である d 軸電流 I_d 及び q 軸の成分の電流である q 軸電流 I_q に変換する。

[0024] ロータ位置推定部 19 は、実 d 軸の方向と推定 d 軸の方向との軸位相偏差 $\Delta\theta$ を導出する。ロータ位置推定部 19 には、3相／2相変換部 17 によって導出された d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q が入力される。さらに、ロータ位置推定部 19 には、電圧指令値導出部 14 によって導出された d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} が入力される。ロータ位置推定部 19 は、例えば拡張誘起電圧方式によって軸位相偏差 $\Delta\theta$ を導出する。この場合、ロータ位置推定部 19 は、d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q と、d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} とを基に軸位相偏差 $\Delta\theta$ を導出する。

[0025] また、ロータ位置推定部 19 は、ロータ 101 の電気角速の推定値 ω_e を導出する。ロータ位置推定部 19 は、例えば、軸位相偏差 $\Delta\theta$ を目標値「0」とすべく比例積分制御することによって電気角速の推定値 ω_e を導出する。ロータ位置推定部 19 は、電気角速の推定値 ω_e をモータ 100 の極対数 P_n で割ることによって、ロータ 101 の機械角である推定回転数 ω_m を導出する。

[0026] 回転角取得部 18 は、ロータ推定回転角 θ_e を取得する。回転角取得部 18 は、例えば、ロータ位置推定部 19 によって導出された電気角速の推定値 ω_e を積分することによって、ロータ推定回転角 θ_e を導出する。

[0027] 次に、図 2 を参照し、電圧指令値導出部 14 の回路構成について詳述する。

電圧指令値導出部 14 は、d 軸電流指令値 I_{dc} と d 軸電流 I_d との偏差である d 軸電流偏差 ΔI_d を導出する第 1 d 軸演算器 31 と、d 軸電流偏差 ΔI_d とモータ 100 の応答周波数 ω_c との積を導出する第 2 d 軸演算器 32 を有している。

[0028] 電圧指令値導出部 14 は、第 2 d 軸演算器 32 による導出値 ($= \Delta I_d \cdot \omega_c$) が入力される d 軸積算器 33 を有している。後述する第 1 d 軸スイッチ部 34 によって選択された値を d 軸選択値 I_{npd} とした場合、d 軸積算器 33 は、d 軸選択値 I_{npd} の前回値と、第 2 d 軸演算器 32 による導出値との和を d 軸電流積分値 I_{d1} の最新値として導出する。なお、d 軸選択値 I_{npd} の前回値は、前回の制御サイクル時に第 1 d 軸スイッチ部 34 によって選択された d 軸選択値 I_{npd} である。

[0029] 電圧指令値導出部 14 は、d 軸電流指令値 I_{dc} 及び d 軸電流積分値 I_{d1} の最新値のうち的一方の値を選択し、選択した値を d 軸選択値 I_{npd} として出力する第 1 d 軸スイッチ部 34 と、d 軸選択値 I_{npd} とモータ 100 の抵抗値 R との積を d 軸基準電圧 V_{db} として導出する抵抗値積算器 35 とを有している。電圧指令値導出部 14 は、第 2 d 軸演算器 32 による導出値と、モータ 100 の d 軸インダクタンス L_d との積を演算値 V_{de} として導出する d 軸インダクタンス積算器 36 を有している。電圧指令値導出部 14 は、演算値 V_{de} の高周波成分を抽出して第 3 d 軸演算器 39 に出力するハイパスフィルタ 37 を有している。電圧指令値導出部 14 は、ハイパスフィルタ 37 によって抽出された高周波成分と演算値 V_{de} との一方の値を選択して第 3 d 軸演算器 39 に出力させる第 2 d 軸スイッチ部 38 を有している。そして、第 3 d 軸演算器 39 は、第 2 d 軸スイッチ部 38 によって選択された値と d 軸基準電圧 V_{db} との和を演算値 V_{de2} として導出する。

[0030] 電圧指令値導出部 14 は、後述する q 軸側非干渉 F/F 部 57 で導出された q 軸 F/F 値 V_{ffq} と、演算値 V_{de2} との和を d 軸電圧指令値 V_{dc} として導出する第 4 d 軸演算器 40 を有している。

[0031] また、電圧指令値導出部 14 は、第 1 d 軸スイッチ部 34 によって選択さ

れたd軸選択値 I_{npd} が入力されるd軸側非干渉F/F部41を有している。d軸側非干渉F/F部41は、d軸選択値 I_{npd} と、モータ100の電気角速度の推定値 ω_e と、モータ100のd軸インダクタンス L_d との積をd軸F/F値 V_{ffd} として導出する。d軸F/F値 V_{ffd} は、d軸の成分の電圧がq軸側に影響を与えている成分に相当する。そのため、d軸F/F値 V_{ffd} が、後述する第5q軸演算器61に入力される。

[0032] 電圧指令値導出部14は、電源電流上限値 I_{btc} と電源電流 I_{bt} との偏差である電源電流偏差 ΔI_{bt} を導出する電源電流演算器51と、電源電流偏差 ΔI_{bt} を入力とするフィードバック制御を実施して演算値 I_{q_comp} を導出するF/B部52とを有している。電圧指令値導出部14は、q軸電流指令値 I_{qc} から演算値 I_{q_comp} を引いた値を補正後q軸電流指令値 I_{qc1} として導出する第1q軸演算器53と、補正後q軸電流指令値 I_{qc1} とq軸電流 I_q との偏差であるq軸電流偏差 ΔI_q を導出する第2q軸演算器54とを有している。

[0033] 電圧指令値導出部14は、q軸電流偏差 ΔI_q と応答周波数 ω_c との積を導出する第3q軸演算器55を有している。電圧指令値導出部14は、第3q軸演算器55による導出値($=\Delta I_q \cdot \omega_c$)を積分した値をq軸電流積分値 I_{q1} として導出するq軸積算器56を有している。q軸積算器56は、q軸積算器56によって前回の制御サイクル時に導出されたq軸電流積分値 I_{q1} をq軸電流積分値 I_{q1} の前回値とした場合、q軸積算器56は、q軸電流積分値 I_{q1} の前回値と第3q軸演算器55による導出値との和をq軸電流積分値 I_{q1} の最新値として導出する。

[0034] 電圧指令値導出部14は、q軸電流積分値 I_{q1} の最新値が入力されるq軸側非干渉F/F部57を有している。q軸側非干渉F/F部57は、q軸電流積分値 I_{q1} と、電気角速度の推定値 ω_e と、モータ100のq軸インダクタンス L_q との積をq軸F/F値 V_{ffq} として導出する。q軸F/F値 V_{ffq} は、q軸の成分の電圧がd軸側に影響を与えている成分に相当する。そのため、q軸F/F値 V_{ffq} が、第4d軸演算器40に入力される。

。

[0035] 電圧指令値導出部 14 は、q 軸電流積分値 $I_q 1$ の最新値と抵抗値 R との積を q 軸基準電圧 V_{qb} として導出する抵抗値積算器 58 と、第 3 q 軸演算器 55 による導出値と q 軸インダクタンス L_q との積を演算値 V_{qe} として導出する q 軸インダクタンス積算器 59 とを有している。電圧指令値導出部 14 は、q 軸基準電圧 V_{qb} と演算値 V_{qe} との和を演算値 V_{qe2} として導出する第 4 q 軸演算器 60 と、d 軸側非干渉 F/F 部 41 で導出された d 軸 F/F 値 V_{ffd} と演算値 V_{qe2} との和を導出する第 5 q 軸演算器 61 とを有している。

[0036] 電圧指令値導出部 14 は、第 5 q 軸演算器 61 で導出された値と、モータ制御装置 10 の制限電圧 V_m を二乗した値と d 軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差の平方根とのうち、一方の値を選択する q 軸スイッチ部 62 を有している。そして、q 軸スイッチ部 62 によって選択された値が、q 軸電圧指令値 V_{qc} として出力される。制限電圧 V_m とは、モータ電源 110 の電圧に基づいた値であり、インバータ 16 から出力可能な電圧である。したがって、モータ 100 は制限電圧 V_m を超えた出力はできない。

[0037] 本実施形態では、モータ 100 の駆動制御をベクトル制御と弱め界磁制御とで使い分けている。ベクトル制御は低速回転用の駆動制御であり、弱め界磁制御は高速回転用の駆動制御である。

[0038] 次に、図 2 を参照し、ベクトル制御について説明する。

ベクトル制御でモータ 100 を駆動させる場合、第 1 d 軸スイッチ部 34 が d 軸電流積分値 $I_d 1$ を選択する。すなわち、ベクトル制御によってモータ 100 を駆動させる場合、第 2 d 軸演算器 32 による導出値を積分した値が各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} の導出に用いられる。また、第 2 d 軸スイッチ部 38 が、演算値 V_{de} を第 3 d 軸演算器 39 に入力させることを選択する。また、q 軸スイッチ部 62 が、第 5 q 軸演算器 61 で導出された値を q 軸電圧指令値 V_{qc} として選択する。図 2 に示したように各スイッチ部 34、38、62 を操作した状態で d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc}

q c を導出する処理のことを、「第 1 処理」ともいう。すなわち、第 1 処理では、d 軸電流指令値 I_{dc} を基に d 軸電圧指令値 V_{dc} が導出され、q 軸電流指令値 I_{qc} を基に q 軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。

[0039] 次に、図 3 を参照し、弱め界磁制御について説明する。

弱め界磁制御でモータ 100 を駆動させる場合、第 1 d 軸スイッチ部 34 が d 軸電流指令値 I_{dc} を選択する。また、第 2 d 軸スイッチ部 38 が、演算値 V_{de} からハイパスフィルタ 37 によって抽出された高周波変動成分を第 3 d 軸演算器 39 に入力させることを選択する。すなわち、ベクトル制御によってモータ 100 を駆動させる場合、演算値 V_{de} の高周波変動成分が各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} の導出に用いられる。なお、ハイパスフィルタ 37 によって抽出された高周波変動成分は、d 軸電流 I_d の高周波変動成分であるともいえる。また、q 軸スイッチ部 62 が、制限電圧 V_m を二乗した値と d 軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差の平方根を選択する。図 3 に示したように各スイッチ部 34、38、62 を操作した状態で d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} を導出する処理のことを、「第 2 処理」ともいう。すなわち、第 2 処理では、d 軸電流指令値 I_{dc} と q 軸電流指令値 I_{qc} を基に d 軸電圧指令値 V_{dc} が導出され、制限電圧 V_m と d 軸電圧指令値 V_{dc} とを基に q 軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。より詳しくは、第 2 処理では、d 軸電流 I_d の高周波変動成分、及び、q 軸電流指令値 I_{qc} を基に、d 軸電圧指令値 V_{dc} が導出される。

[0040] 第 2 処理が実行される場合であっても、すなわち弱め界磁制御によってモータ 100 を駆動させる場合であっても、d 軸側非干渉 F/F 部 41 で導出された d 軸 F/F 値 V_{ffd} と演算値 V_{qe2} との和が第 5 q 軸演算器 61 によって導出される。当該和を、「切替電圧値 V_{qc}' 」とした場合、切替電圧値 V_{qc}' は、d 軸電流指令値 I_{dc} 及び q 軸電流偏差 ΔI_q を基に導出される。詳しくは後述するが、切替電圧値 V_{qc}' は、弱め界磁制御からベクトル制御への切り替えの判断基準として用いられる。

[0041] 次に、図 4 を参照し、モータ制御装置 10 によって実行される処理ルーチ

ンについて説明する。この処理ルーチンは、所定の制御サイクル毎に繰り返し実行される。

本処理ルーチンにおいて、ステップS 1 1では、弱め界磁制御によってモータ1 0 0を駆動させているか否かの判定が行われる。弱め界磁制御によってモータ1 0 0を駆動させているとの判定がなされた場合（S 1 1：YES）、処理が次のステップS 1 2に移行される。ステップS 1 2において、第1切り替え条件が成立しているか否かの判定が行われる。本実施形態では、以下の条件式（式1）を満たす場合は第1切り替え条件が成立したと判定する。一方、条件式（式1）を満たさない場合は第1切り替え条件が成立したと判定しない。

[0042] [数1]

$$V_m^2 > V_{dc}^2 + V_{qc}^2 \quad \dots (式1)$$

ここで、図3に示したように切替電圧値 V_{qc}' は、トルク指令値 T_R^* をベクトル制御によって実現するために導出されたq軸電圧指令値であるといえる。そのため、d軸の成分の電圧をd軸電圧指令値 V_{dc} とし、q軸の成分の電圧を切替電圧値 V_{qc}' とする電圧ベクトルを判定電圧ベクトルとした場合、判定電圧ベクトルが回転座標上において電圧制限円C 1内の点を指す場合、弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えてもトルク指令値 T_R^* を充足させることができる。すなわち、トルク指令値 T_R^* を満たす各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を第1処理によって導出可能と判断できる。一方、判定電圧ベクトルが回転座標上において電圧制限円C 1外の点を指す場合、弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えたとトルク指令値 T_R^* を充足させることができない。なお、回転座標において判定電圧ベクトルを指す点、すなわち判定電圧ベクトルの向きや長さは、トルク指令値 T_R^* が変われば変わる。電圧制限円とは、回転座標上において定められる円であって、モータ1 0 0の特性によって変わる。電圧制限円よりも外のd軸電流 I_d 及びq軸電流 I_q をモータ1 0 0は出力できない。制限電圧 V_m が大きいほど電圧制限円は大きくなり、モータ1 0 0のロータ回転数が大きいほどモータ1 0

0の逆起電力が大きくなるため、電圧制限円は小さくなる。また、トルク指令値 T_R^* を満たす各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} とは、理論上、モータ100のトルクをトルク指令値 T_R^* とすることのできるd軸電圧及びq軸電圧である。

[0043] ステップS12において、制限電圧 V_m を二乗した値と、d軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が、切替電圧値 V_{qc}' を二乗した値以下である場合（S12：NO）、トルク指令値 T_R^* を満たす各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を第1処理によって導出可能と判定しないため、第1切り替え条件が成立したとの判定がなされず、処理が次のステップS13に移行される。ステップS13において、弱め界磁制御によってモータ100を駆動させる状態が継続される。そして、本処理ルーチンが一旦終了される。

[0044] 一方、ステップS12において、制限電圧 V_m を二乗した値と、d軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が、切替電圧値 V_{qc}' を二乗した値よりも大きい場合（YES）、トルク指令値 T_R^* を満たす各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を第1処理によって導出可能と判定できるため、第1切り替え条件が成立したとの判定がなされ、処理が次のステップS14に移行される。ステップS14において、モータ100の駆動制御が弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えされる。すなわち、各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} の導出処理が、第2処理から第1処理に切り替わる。そして、本処理ルーチンが一旦終了される。

[0045] なお、各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} の導出処理を第2処理から第1処理に切り替えた場合、第1d軸スイッチ部34がd軸電流積分値 I_{d1} を選択する。第1d軸スイッチ部34がd軸電流指令値 I_{dc} を選択する状態からd軸電流積分値 I_{d1} を選択する状態に切り替わった直後においては、d軸電流積分値 I_{d1} の前回はd軸電流指令値 I_{dc} である。つまり、切り替え直後のd軸電流積分値 I_{d1} は、d軸電流指令値 I_{dc} の前回値と第2d軸演算器32による導出値との和である。また、切り替え直後では、d軸電流偏差 ΔI_d が小さいため、切り替え直後の第2d軸演算器32による導出値

は小さい。すなわち、切り替え直後のd軸電流積分値 I_{dc} は、d軸電流指令値 I_{dc} の前回値とほぼ等しい。そのため、第2処理から第1処理に切り替わり、第1処理での各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} の初回の導出時には、d軸電流指令値 I_{dc} の前回値に応じて各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} が導出されるといえる。

[0046] その一方で、ステップS11において、弱め界磁制御によってモータ100を駆動させているとの判定がなされていない場合（NO）、ベクトル制御によってモータ100を駆動させているため、処理が次のステップS15に移行される。ステップS15において、第2切り替え条件が成立しているか否かの判定が行われる。本実施形態では、以下の条件式（式2）を満たす場合は第2切り替え条件が成立したと判定する。一方、条件式（式2）を満たさない場合は第2切り替え条件が成立したと判定しない。

[0047] [数2]

$$V_m^2 \leq V_{dc}^2 + V_{qc}^2 \quad \dots (式2)$$

すなわち、制限電圧 V_m を二乗した値と、d軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が、q軸電圧指令値 V_{qc} を二乗した値よりも大きい場合（S15：NO）、第2切り替え条件が成立したとの判定がなされないため、処理が次のステップS16に移行される。ステップS16において、ベクトル制御によるモータ100の駆動制御が実施される。そして、本処理ルーチンが一旦終了される。

[0048] 一方、ステップS15において、制限電圧 V_m を二乗した値と、d軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が、切替電圧値 V_{qc}' を二乗した値以下である場合（YES）、第2切り替え条件が成立したとの判定がなされるため、処理が次のステップS17に移行される。ステップS17において、モータ100の駆動制御がベクトル制御から弱め界磁制御に切り替えされる。そして、本処理ルーチンが一旦終了される。

[0049] 次に、図5及び図6を参照し、本実施形態の作用及び効果について説明する。

弱め界磁制御によってモータ 100 が駆動されている場合、第 2 処理によって d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。第 2 処理では、d 軸電流指令値 I_{dc} 及び q 軸電流指令値 I_{qc} を基に、d 軸電圧指令値 V_{dc} が導出される。また、制限電圧 V_m を二乗した値と、d 軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差の平方根が、q 軸電圧指令値 V_{qc} として導出される。そして、このように導出された各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を基にインバータ 16 が操作されることによって、モータ 100 が駆動する。このように弱め界磁制御によってモータ 100 が駆動している場合、切替電圧値 V_{qc}' が導出されている。

[0050] ここで、d 軸の成分の電圧を d 軸電圧指令値 V_{dc} とし、q 軸の成分の電圧を切替電圧値 V_{qc}' とするときの電圧ベクトルを判定電圧ベクトルとした場合、判定電圧ベクトルは、図 5 に示す回転座標上において、最大トルク曲線 L_{TRmax} とトルク指令値 TR^* の等トルク線 L_1 との交点 P_1 を指す。d 軸電流指令値 I_{dc} はトルク指令値 TR^* に基づいた値であり、切替電圧値 V_{qc}' は d 軸電流指令値 I_{dc} に基づいて導出される。すなわち、トルク指令値 TR^* が小さくなれば切替電圧値 V_{qc}' もまた低くなる。そのため、トルク指令値 TR^* によって、図 5 に示すように判定電圧ベクトルが指す点である交点 P_1 が電圧制限円 C_1 外に配置されたり、図 6 に示すように交点 P_1 が電圧制限円 C_1 内に配置されたりする。図 5 に示すように上記交点 P_1 が電圧制限円 C_1 の外に位置する場合、制限電圧 V_m を二乗した値と、d 軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が切替電圧値 V_{qc}' を二乗した値以下となる。そのため、モータ 100 の駆動制御が弱め界磁制御からベクトル制御に切り替わらない。

[0051] しかし、トルク指令値 TR^* が小さくなると、図 6 で破線矢印で示すように、回転座標上においてトルク指令値 TR^* の等トルク線 L_1 が変位する。そして、図 6 に示すように上記交点 P_1 が電圧制限円 C_1 内に位置するようになると、d 軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が切替電圧値 V_{qc}' を二乗した値よりも大きくなる。この場合、第 1 処理によって導出された各

電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を基にモータ100を駆動させることにより、理論上、モータ100のトルクをトルク指令値 T_R^* とすることが可能となる。そのため、モータ100の駆動制御が、弱め界磁制御からベクトル制御に切り替わる。

[0052] ここで、弱め界磁制御からベクトル制御の切り替え判定に、切替電圧値 $V_{qc'}$ ではなく q 軸電圧指令値 V_{qc} を用いる比較例を考える。この比較例で実行される第2処理では、第1 d 軸スイッチ部34によって d 軸電流積分値 I_{d1} が選択されることになる。すると、切り替え判定に切替電圧値 $V_{qc'}$ を用いる本実施形態の場合と比較し、 d 軸電流積分値 I_{d1} の前回値は大きな値となる。これは、弱め界磁制御中では d 軸電流 I_d が大きく、 d 軸電流指令値 I_{dc} から乖離しているために d 軸電流偏差 ΔI_d が大きな値となり、第2 d 軸演算器32による導出値が大きな値となるためである。これにより、 d 軸電流積分値 I_{d1} が大きな値となり、その前回値を基に d 軸電流積分値 I_{d1} が更新される。すると、 d 軸電流積分値 I_{d1} が大きな値であるため、 d 軸 F/F 値 V_{ffd} が大きくなる。その結果、 q 軸電圧指令値 V_{qc} が大きい値となる。同様に、 d 軸電流積分値 I_{d1} が大きな値であるため、 d 軸基準電圧 V_{db} が大きくなる。すると、演算値 V_{de2} が大きくなるため、 d 軸電圧指令値 V_{dc} も大きい値となる。その結果、 d 軸電圧指令値 V_{dc} の二乗と q 軸電圧指令値 V_{qc} の二乗との和が制限電圧 V_m の二乗よりも常に大きい関係が成り立ってしまう。この場合、上記ステップS12の判定が「YES」とならず、弱め界磁制御が継続されてしまう。

[0053] これに対し、本実施形態で実行される第2処理では、第1 d 軸スイッチ部34が d 軸電流指令値 I_{dc} を選択する。これにより、 d 軸電流 I_d に影響される q 軸電圧指令値 V_{qc} ではなく、 d 軸電流 I_d に影響されない切り替え電圧値 $V_{qc'}$ を切り替え判定に用いることができる。切り替え電圧値 $V_{qc'}$ は、トルク電流マップ12mapに基づいた d 軸電流指令値 I_{dc} から演算されるため、比較例で導出される q 軸電圧指令値 V_{qc} のように大きな値にならない。同様に、本実施形態で実行される第2処理では、 d 軸電圧

指令値 V_{dc} も d 軸電流指令値 I_{dc} から演算されるため、比較例で導出される d 軸電圧指令値 V_{dc} のように大きな値にならない。したがって、 d 軸電流指令値 I_{dc} が小さくなると、 d 軸電圧指令値 V_{dc} の二乗と q 軸電圧指令値 V_{qc} の二乗との和が制限電圧 V_m の二乗よりも小さくなる。よって、モータ 100 の駆動制御を、弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えることができる。

[0054] ベクトル制御によってモータ 100 が駆動されている場合、第 1 処理によって d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。第 1 処理では、 d 軸電流偏差 ΔI_d 及び q 軸電流偏差 ΔI_q を基に、 d 軸電圧指令値 V_{dc} 及び q 軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。そして、このように導出された各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を基にインバータ 16 が操作されることによって、モータ 100 が駆動する。

[0055] ベクトル制御によってモータ 100 が駆動している場合、トルク指令値 T_R^* が大きくなると、制限電圧 V_m を二乗した値と、 d 軸電圧指令値 V_{dc} を二乗した値との差が q 軸電圧指令値 V_{qc} を二乗した値よりも大きい状態から、当該差が q 軸電圧指令値 V_{qc} を二乗した値以下の状態に移行する。このように状態が移行されると、モータ 100 の駆動制御が、ベクトル制御から弱め界磁制御に切り替わる。

[0056] なお、本実施形態では、以下に示す効果をさらに得ることができる。

(1) 弱め界磁制御によってモータ 100 を駆動させている場合、モータ 100 のロータ回転数が高くなると、補正後 q 軸電流指令値 I_{qc1} に対して q 軸電流 I_q が共振してしまうおそれがある。そこで、本実施形態では、弱め界磁制御によってモータ 100 を駆動させている場合、演算値 V_{de} の高周波成分を用いて d 軸電圧指令値 V_{dc} が導出される。演算値 V_{de} の高周波成分は、 d 軸電流 I_d の高周波の振動成分である。こうした d 軸電圧指令値 V_{dc} と、制限電圧 V_m から求めた q 軸電圧指令値 V_{qc} とを基にモータ 100 を駆動させることにより、補正後 q 軸電流指令値 I_{qc1} に対する q 軸電流 I_q の共振を打ち消すことができる。その結果、弱め界磁制御によ

ってモータ100を高速回転させる際における制御性を向上できる。

[0057] (2) モータ100の駆動制御を弱め界磁制御からベクトル制御に切り替えた際に、各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} が大きく変わると、駆動制御の切り替えに伴ってモータ100の回転に変動が生じるおそれがある。この点、本実施形態では、各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を第2処理から第1処理に切り替わった場合、最初のd軸電圧指令値 V_{dc} 及びq軸電圧指令値 V_{qc} の導出時には、d軸電流指令値 I_{dc} の前回値を用いてd軸電圧指令値 V_{dc} 及びq軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。これにより、駆動制御の切り替え時におけるd軸電圧指令値 V_{dc} 及びq軸電圧指令値 V_{qc} の急変を抑制でき、ひいては駆動制御の切り替えに伴うモータ100の回転速度の変動を抑制できる。

[0058] (3) 上述したように、トルク電流マップ12mapは、電源電流上限値 I_{btc} よりも大きな電流がモータ電源110からモータ制御装置10に流れることを許容して作成されたものである。この一方で、電源電流上限値 I_{btc} と電源電流 I_{bt} とのフィードバック制御によって導出された演算値 I_{q_comp} を基に、各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} が導出される。これにより、上記のようなマップ12mapを用いて各電流指令値 I_{dc} 、 I_{qc} を導出しつつも、電源電流 I_{bt} が電源電流上限値 I_{btc} を上回る状態が継続することを抑制できる。

[0059] なお、電源電流上限値 I_{btc} は、モータ100の設計上の基本性能から定まる値である。しかし、モータ100の製造の関係上、モータ100の性能にばらつきが生じることは避けられない。つまり、設計上の基本性能とは異なる性能のモータ100をモータ制御装置10によって制御することもあり得る。本実施形態では、このようなモータ100を制御する場合であっても、モータ100の駆動時に、実際の電源電流 I_{bt} を電源電流上限値 I_{btc} まで上昇させることが可能である。つまり、モータ制御装置10の制御対象となるモータ100の性能にばらつきがあったとしても、モータ電源110から供給できる電力を最大限利用してモータ100を駆動させることが

できる。

[0060] (4) また、トルク電流マップ $12map$ を用いて導出される d 軸の成分の電流と q 軸の成分の電流とで表される電流ベクトルが回転座標上で最大トルク曲線 $LTRmax$ 上の点を指すように、トルク電流マップ $12map$ は作成されている。そのため、電気エネルギーを最大限効率よく利用しつつモータ 100 を駆動させることができる。

[0061] (5) 本実施形態では、第2処理にて電源電流上限値 I_{bt_c} と電源電流 I_{bt} との偏差である電源電流偏差 ΔI_{bt} を入力とするフィードバック制御を行っている。第1処理においても電源電流偏差 ΔI_{bt} を入力とするフィードバック制御を行うことが可能であるが、 q 軸電流指令値 I_{qc} だけでなく d 軸電流指令値 I_{dc} に対してもフィードバック制御を行う必要がある。対して、第2処理では、フィードバック制御によって得られた補正後 q 軸電流指令値 I_{qc1} を基に導出された d 軸電圧指令値 V_{dc} と制限電圧 V_m とを基に q 軸電圧指令値 V_{qc} が導出される。そのため、補正後 q 軸電流指令値 I_{qc1} は電源電流上限値 I_{bt_c} を満たすように導出され、 d 軸電流 I_d に関しては電源電流上限値 I_{bt_c} から q 軸電流 I_q を引いた値が流れることから、 d 軸電流 I_d は d 軸電流指令値 I_{dc} に依存しない。したがって、第2処理にて電源電流上限値 I_{bt_c} と電源電流 I_{bt} との偏差を入力とするフィードバック制御を行う場合、 d 軸電流指令値 I_{dc} に対して電源電流上限値 I_{bt_c} と電源電流 I_{bt} との偏差を入力とするフィードバック制御を行う必要がない分、構成を簡素にできる。

[0062] なお、本実施形態では、第1処理中に電源電流上限値 I_{bt_c} を超える指令となる場合は、ステップ $S15$ の判定が「YES」となるため、第2処理に移行する。そして、第2処理では、電源電流上限値 I_{bt_c} と電源電流 I_{bt} との偏差を入力とするフィードバック制御が行われるため、電源電流 I_{bt} が電源電流上限値 I_{bt_c} を超えることはない。

[0063] 本実施形態は、以下のように変更して実施することができる。本実施形態及び以下の変更例は、技術的に矛盾しない範囲で互いに組み合わせて実施す

ることができる。

・トルク電流マップ12mapを、電源電流上限値 I_{bt_c} を上回るような電流がモータ電源110からモータ制御装置10に流れないことを許容した場合における、モータ100のトルク T_R と、d軸の成分の電流及びq軸の成分の電流との関係を示すものとしてもよい。この場合、電源電流上限値 I_{bt_c} と電源電流 I_{bt} とのフィードバック制御によって導出された演算値 I_{q_comp} でq軸電流指令値 I_{qc} を補正する処理を省略してもよい。

[0064] ・トルク電流マップ12mapは、当該マップ12mapを用いて導出されるd軸の成分の電流とq軸の成分の電流とで表される電流ベクトルが、最大トルク曲線 L_{TRmax} とは異なるトルク曲線上の点を指すように作成されたものであってもよい。例えば、回転座標上において、各電流においてモータ100から出力可能な最大トルクから所定値を引いた値を示す定電流円と定トルク曲線との接点を繋げたトルク曲線を、所定トルク曲線とした場合、トルク電流マップ12mapは、当該マップ12mapを用いて導出されるd軸の成分の電流とq軸の成分の電流とで表される電流ベクトルが所定トルク曲線上の点を指すように作成されたものであってもよい。

[0065] ・第2処理において演算値 V_{de} の高周波成分を用いてd軸電圧指令値 V_{dc} を導出するのであれば、各電流指令値 I_{dc} 、 I_{qc} の導出に際してトルク電流マップ12mapを用いなくてもよい。

[0066] ・弱め界磁制御からベクトル制御に切り替わった場合、第1処理によって各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を最初に導出するときには、d軸電流指令値 I_{dc} の前回値を用いずに各電圧指令値 V_{dc} 、 V_{qc} を導出するようにしてもよい。

[0067] ・第2処理でd軸電圧指令値 V_{dc} を導出する場合、演算値 V_{de} の高周波成分を用いなくてもよい。この場合、d軸電流指令値 I_{dc} を用いず、q軸電流指令値 I_{qc} を用いてd軸電圧指令値 V_{dc} を求めるようにしてもよい。

[0068] ・第1処理では、d軸電流指令値 I_{dc} を用いてd軸電圧指令値 V_{dc} を導出するのであれば、d軸電圧指令値 V_{dc} の導出にq軸電流指令値 I_{qc} を用いなくてもよい。例えば、q軸側非干渉F/F部57で導出されたq軸F/F値 V_{ffq} を、d軸電圧指令値 V_{dc} の導出に用いなくてもよい。

[0069] ・第1処理では、q軸電流指令値 I_{qc} を用いてq軸電圧指令値 V_{qc} を導出するのであれば、q軸電圧指令値 V_{qc} の導出にd軸電流指令値 I_{dc} を用いなくてもよい。例えば、d軸側非干渉F/F部41で導出されたd軸F/F値 V_{ffd} を、q軸電圧指令値 V_{qc} の導出に用いなくてもよい。

[0070] ・q軸を第1軸とし、d軸を第2軸として、各電圧指令値 V_{qc} 、 V_{dc} を導出し、当該各電圧指令値 V_{qc} 、 V_{dc} を基にインバータ16を操作してモータ100を駆動させてもよい。

[0071] ・モータ制御装置10は、以下(a)～(c)の何れかの構成であればよい。

(a) モータ制御装置10は、コンピュータプログラムに従って各種処理を実行する一つ以上のプロセッサを備えている。プロセッサは、CPU並びに、RAM及びROMなどのメモリを含んでいる。メモリは、処理をCPUに実行させるように構成されたプログラムコード又は指令を格納している。メモリ、すなわちコンピュータ可読媒体は、汎用又は専用のコンピュータでアクセスできるあらゆる利用可能な媒体を含んでいる。

(b) モータ制御装置10は、各種処理を実行する一つ以上の専用のハードウェア回路を備えている。専用のハードウェア回路としては、例えば、特定用途向け集積回路、すなわちASIC (Application Specific Integrated Circuit) 又はFPGA (Field Programmable Gate Array) を挙げることができる。

(c) モータ制御装置10は、各種処理の一部をコンピュータプログラムに従って実行するプロセッサと、各種処理のうち残りの処理を実行する専用のハードウェア回路とを備えている。

[0072] 次に、上記各実施形態及び変更例から把握できる技術的思想について記載

する。

(イ) ベクトル制御の回転座標における、第1軸の成分の電圧の指令値である第1電圧指令値及び前記第1軸と直交する第2軸の成分の電圧の指令値である第2電圧指令値を導出し、前記第1電圧指令値及び前記第2電圧指令値に基づいて同期モータであるモータを駆動させるモータ制御装置であって、

前記モータのトルクの指令値であるトルク指令値に応じた前記第1軸の成分の電流を第1電流指令値として導出し、前記トルク指令値に応じた前記第2軸の成分の電流を第2電流指令値として導出する電流指令値導出部と、

前記第1軸の成分の電流の高周波変動成分、及び、前記第2電流指令値を基に前記第1電圧指令値を導出し、前記モータ制御回路の制限電圧と前記第1電圧指令値とを基に前記第2電圧指令値を導出する電圧指令値導出部と、を備える、モータ制御装置。

[0073] 弱め界磁制御によってモータを駆動させている場合、モータの回転速度が高くなると、第2電流指令値に対して第2軸の成分の電流が共振することがある。この場合、所定の制御サイクル毎に導出される第2軸の成分の電流に、当該共振に起因する高周波の振動成分が重畳されることになる。そのため、弱め界磁制御によってモータを駆動させる際の制御性に改善の余地がある。

[0074] 上記構成によれば、弱め界磁制御によってモータを駆動させている場合、第1軸の成分の電流の高周波変動成分を用いて第1電圧指令値が導出される。第1軸の成分の電流の高周波変動成分は、第1電流指令値に重畳する高周波の振動成分である。そのため、このように導出した第1電圧指令値を基にモータを駆動させることにより、第2電流指令値に対する第2軸の成分の電流の共振を打ち消すことができる。これは、第2軸の成分の電流の高周波振動成分が第1軸の成分の電流の高周波振動によって相殺されるためである。その結果、弱め界磁制御によってモータを駆動させる際における制御性を向上できる。

請求の範囲

[請求項1] ベクトル制御の回転座標における、第1軸の成分の電圧の指令値である第1電圧指令値及び前記第1軸と直交する第2軸の成分の電圧の指令値である第2電圧指令値を導出し、前記第1電圧指令値及び前記第2電圧指令値に基づいて同期モータであるモータを駆動させるモータ制御装置であって、

前記モータのトルクと前記第1軸の成分の電流及び前記第2軸の成分の電流との関係を示すトルク電流マップを基に、前記モータのトルクの指令値であるトルク指令値に応じた前記第1軸の成分の電流を第1電流指令値として導出し、前記トルク指令値に応じた前記第2軸の成分の電流を第2電流指令値として導出する電流指令値導出部と、

前記第1電流指令値を基に前記第1電圧指令値を導出し、前記第2電流指令値を基に前記第2電圧指令値を導出する第1処理、及び、前記第2電流指令値を基に前記第1電圧指令値を導出し、前記モータ制御装置の制限電圧と前記第1電圧指令値とを基に前記第2電圧指令値を導出する第2処理と、を実行可能である電圧指令値導出部と、を備え、

前記電圧指令値導出部は、前記第2処理によって導出された前記各電圧指令値に基づいて前記モータが駆動している場合、前記トルク指令値を満たす前記各電圧指令値を前記第1処理によって導出可能であると判定したときには、前記各電圧指令値を導出する処理を前記第2処理から前記第1処理に切り替える

モータ制御装置。

[請求項2] 前記電圧指令値導出部は、前記第2処理において、前記第1軸の成分の電流の高周波変動成分、及び、前記第2電流指令値を基に、前記第1電圧指令値を導出する

請求項1に記載のモータ制御装置。

[請求項3] 前記電圧指令値導出部は、

前記各電圧指令値の導出処理を前記第 2 処理から前記第 1 処理に切り替えた場合、

前記第 1 処理での前記各電圧指令値の初回の導出時には、前記第 1 電流指令値の前回値に応じて前記各電圧指令値を導出する

請求項 1 又は請求項 2 に記載のモータ制御装置。

[請求項 4]

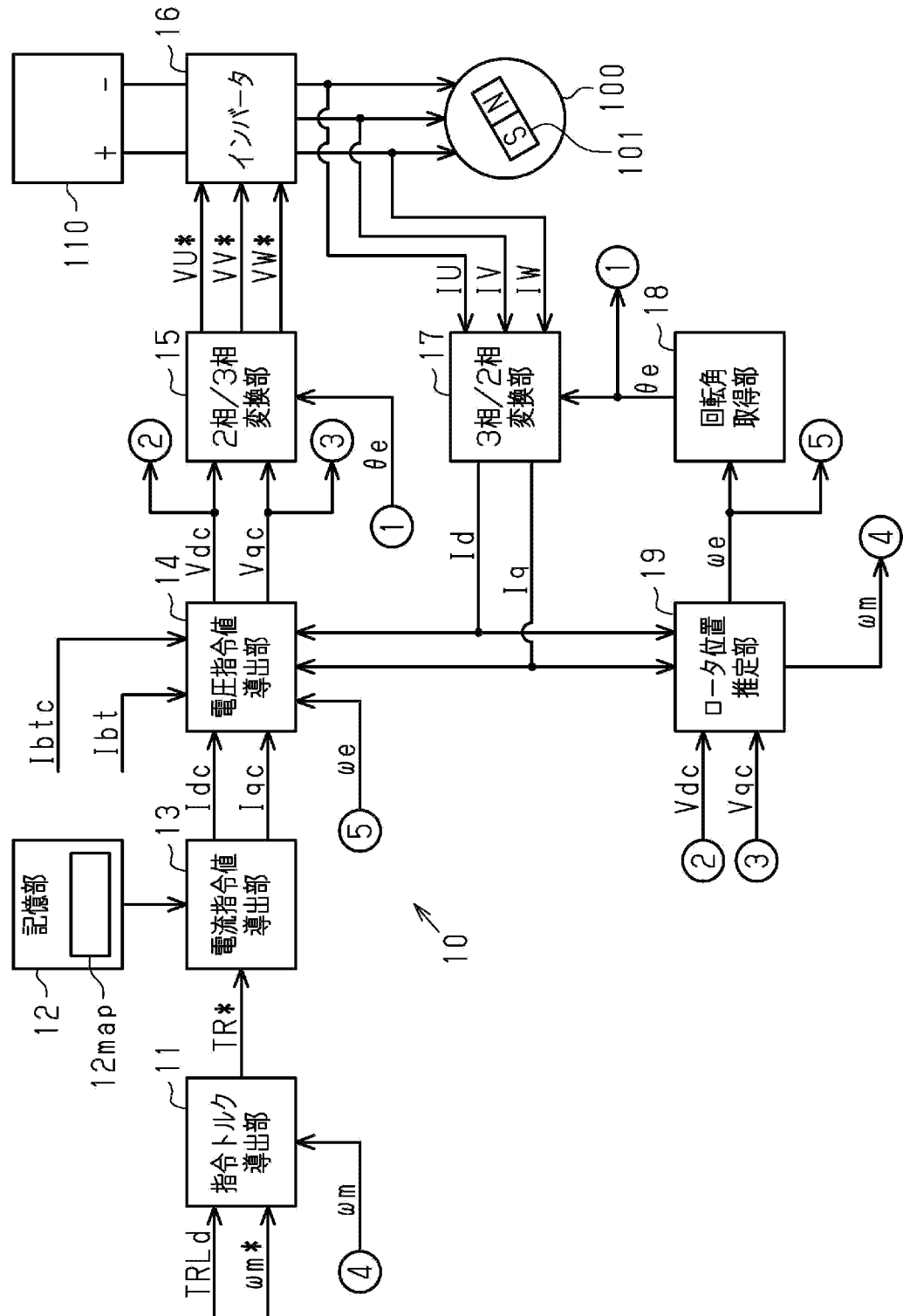
モータ電源から前記モータ制御装置に向けて流れる電流を電源電流とし、前記電源電流の上限値を電源電流上限値とした場合、

前記トルク電流マップは、前記電流上限値よりも大きな電流が前記モータ電源から前記モータ制御装置に流れることを許容した場合における、前記モータのトルクと、前記第 1 軸の成分の電流及び前記第 2 軸の成分の電流との関係を示すものであり、

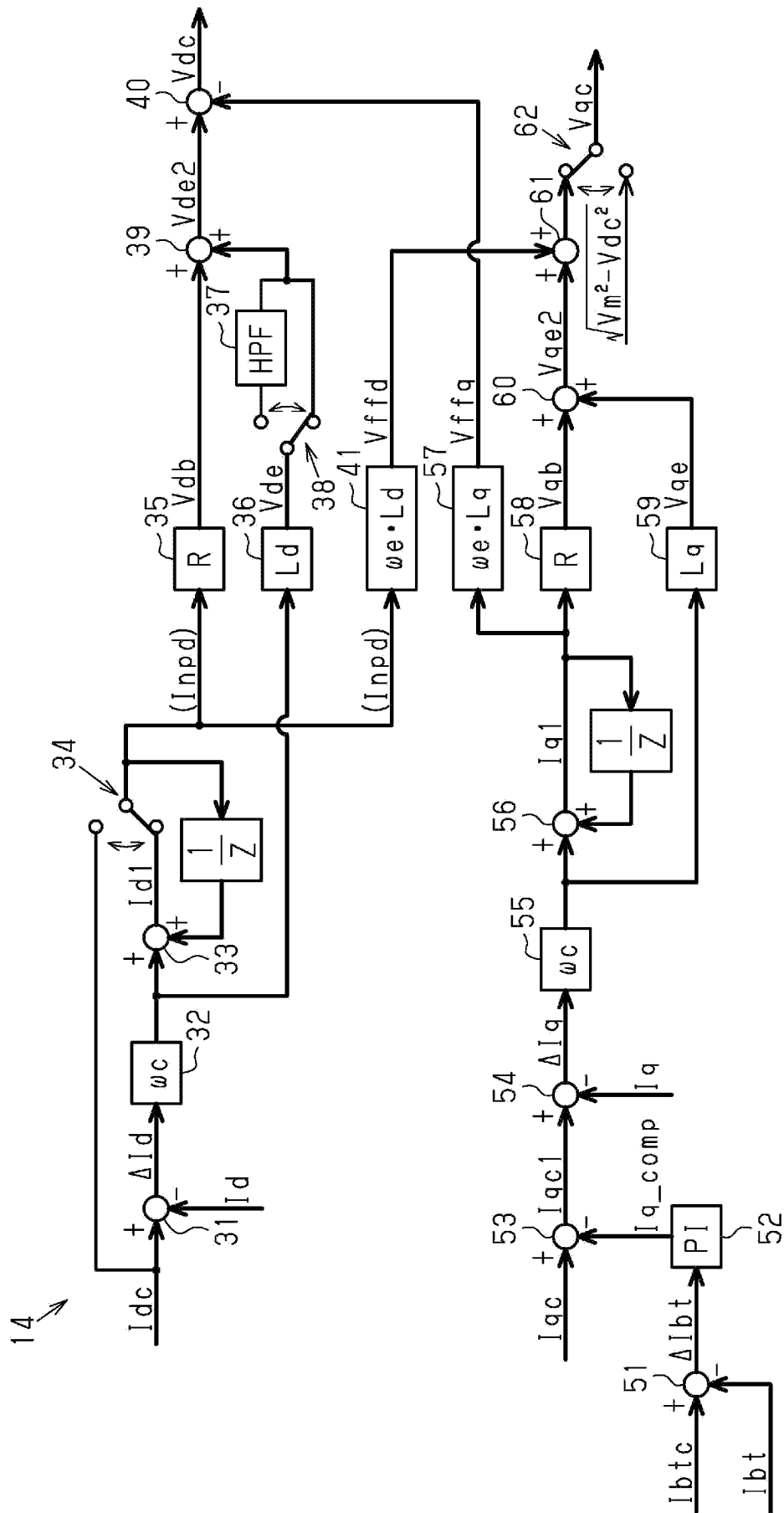
前記電圧指令値導出部は、前記第 2 処理において、前記電源電流上限値と前記電源電流との偏差を入力とするフィードバック制御によって導出された演算値を基に、前記第 1 電圧指令値を導出する

請求項 1 ～請求項 3 のうち何れか一項に記載のモータ制御装置。

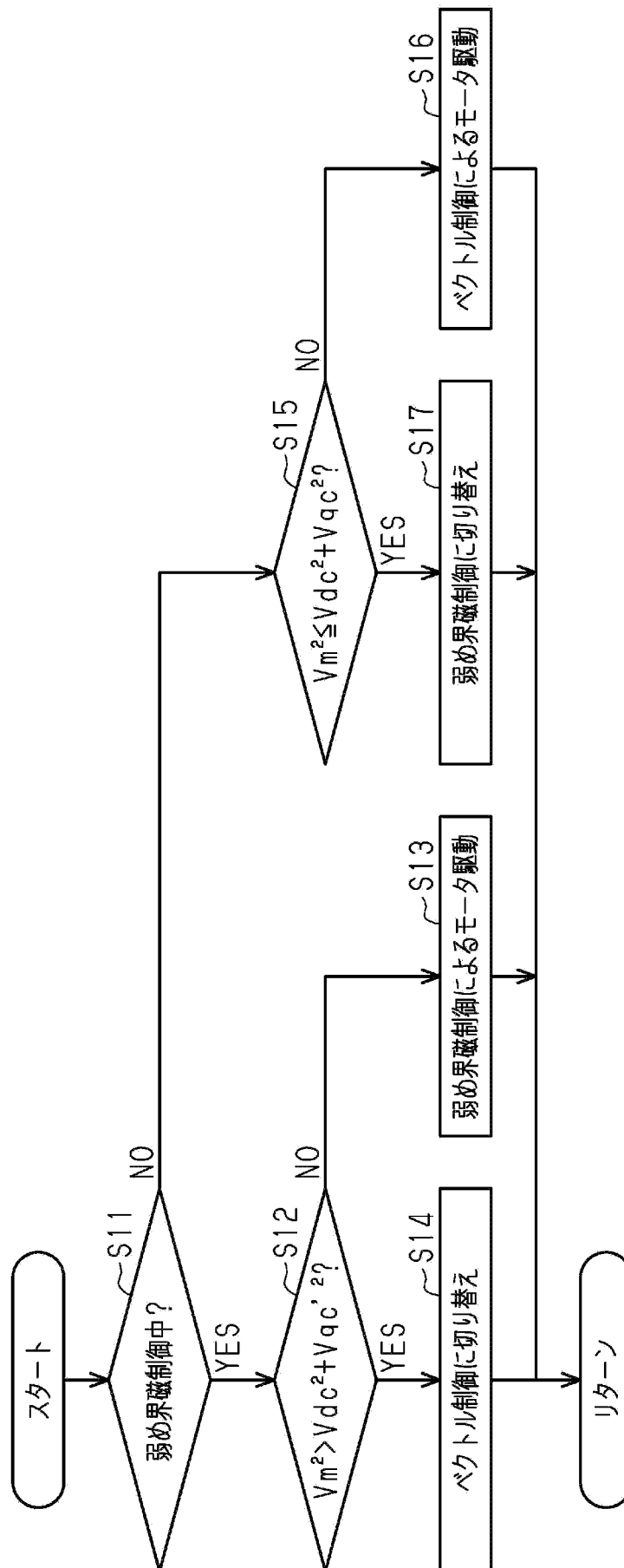
[図1]



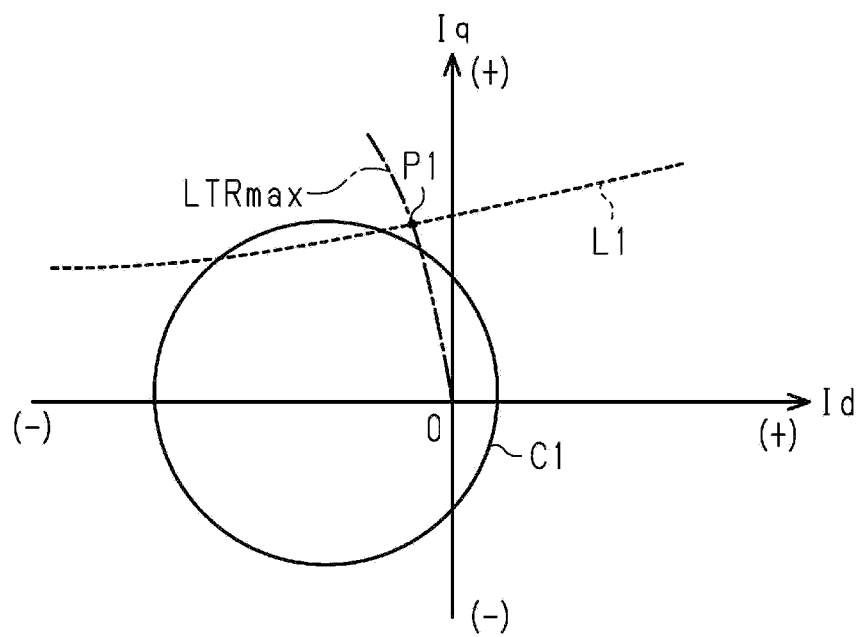
[図2]



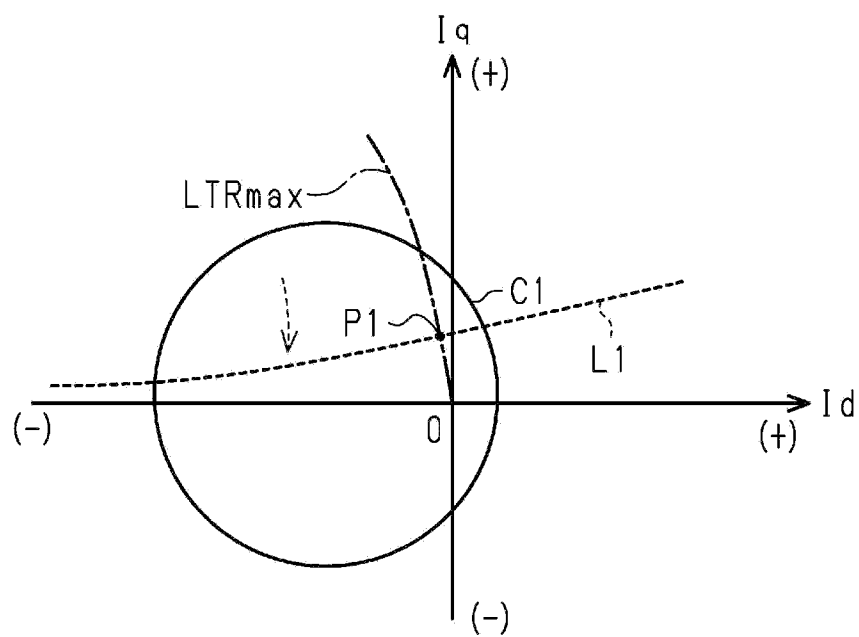
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/008952

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 21/22 (2016.01) i; H02P 25/026 (2016.01) i
FI: H02P21/22; H02P25/026

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; H02P25/026

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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 2016/207936 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 29 December 2016 (2016-12-29) paragraphs [0020]-[0084], fig. 1-10	1-4
A	JP 2014-195352 A (FUJITSU GENERAL LTD.) 09 October 2014 (2014-10-09) paragraphs [0014]-[0185], fig. 1-16	1-4
A	JP 7-170800 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 04 July 1995 (1995-07-04) paragraphs [0015]-[0126], fig. 1-14	1-4
A	JP 2017-205017 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES THERMAL SYSTEMS, LTD.) 16 November 2017 (2017-11-16) paragraphs [0025]-[0064], fig. 1-8	1-4

☐ 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
12 April 2021 (12.04.2021)

Date of mailing of the international search report
20 April 2021 (20.04.2021)

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
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/008952

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2016/207936 A1	29 Dec. 2016	US 2018/0123493 A1 paragraphs [0035]- [0111], fig. 1-10 (Family: none)	
JP 2014-195352 A	09 Oct. 2014	US 5504404 A	
JP 7-170800 A	04 Jul. 1995	column 4, line 66 to column 22, line 31, fig. 1-24 (Family: none)	
JP 2017-205017 A	16 Nov. 2017		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 21/22(2016.01)i; H02P 25/026(2016.01)i FI: H02P21/22; H02P25/026														
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）） H02P21/22; H02P25/026														
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021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 2016/207936 A1（三菱電機株式会社）29.12.2016（2016-12-29） 段落0020-0084、図1-10	1-4												
A	JP 2014-195352 A（株式会社富士通ゼネラル）09.10.2014（2014-10-09） 段落0014-0185、図1-16	1-4												
A	JP 7-170800 A（松下電器産業株式会社）04.07.1995（1995-07-04） 段落0015-0126、図1-14	1-4												
A	JP 2017-205017 A（三菱重工サーマルシステムズ株式会社）16.11.2017（2017-11-16） 段落0025-0064、図1-8	1-4												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 12.04.2021	国際調査報告の発送日 20.04.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 島倉 理 3V 4131 電話番号 03-3581-1101 内線 3357													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/008952

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2016/207936	A1	29.12.2016	US 2018/0123493 A1 段落 0 0 3 5 - 0 1 1 1、 図 1 - 1 0	
JP	2014-195352	A	09.10.2014	(ファミリーなし)	
JP	7-170800	A	04.07.1995	US 5504404 A 第 4 欄第 6 6 行 - 第 2 2 欄 3 1 行、図 1 - 2 4	
JP	2017-205017	A	16.11.2017	(ファミリーなし)	