(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7月18日(18.07.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/138454 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 21/00 (2016.01) *H02P 25/22* (2006.01)
H02P 21/22 (2016.01) *H02P 27/08* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/000246

(22) 国際出願日： 2018年1月10日(10.01.2018)

(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:関 友洋(**SEKI Tomohiro**); 〒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). 中村 亮(**NAKAMURA Ryo**); 〒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). 久野 雄也(**HISANO Yuya**); 〒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). 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).

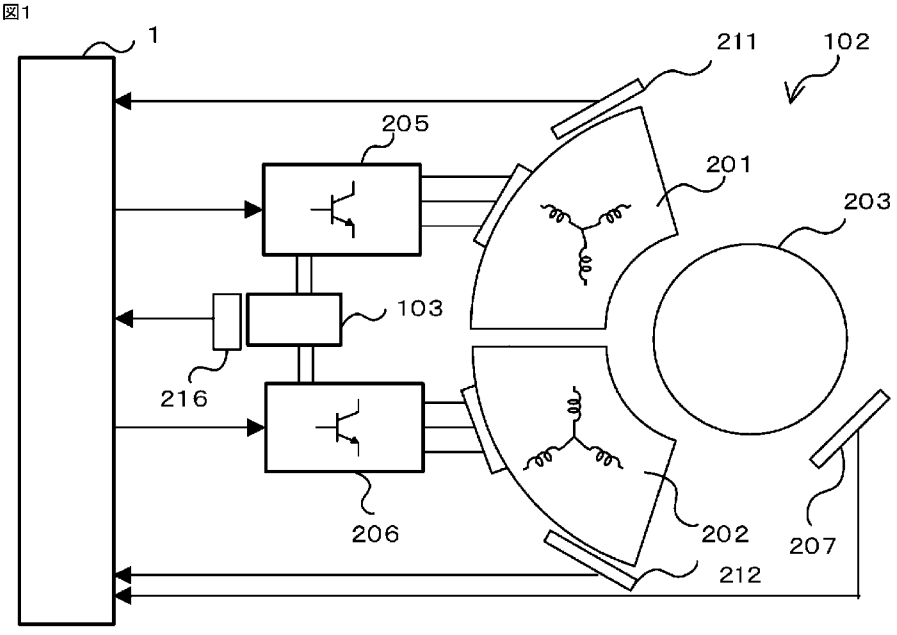
(74) 代理人: 大岩 増雄, 外 (**OIWA Masuo** et al.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘３丁目３５番８号 Hyogo (JP).

(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,

(54) **Title:** APPARATUS FOR CONTROLLING ROTARY ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称： 回転電機の制御装置

図1



(57) **Abstract:** Provided is an apparatus which is for controlling a rotary electric machine, and which, for a rotary electric machine having a plurality of sets of winding coils, can appropriately control the voltages of the respective sets of winding coils within a range of a direct current power voltage or less. With respect to each set, this apparatus (1) for controlling a rotary electric machine calculates a necessary direct current voltage which is a minimum direct current power voltage, which is necessary to apply a voltage responding to a voltage command value to a winding coil on the basis of the voltage

WO 2019/138454 A1

［続葉有］

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))

command value, calculates one common necessary direct current voltage (Vnecm), which is common to all the sets, on the basis of the necessary direct current voltages of all the sets, changes a common voltage control value (Vrev) such that the common necessary direct current voltage (Vnecm) approaches a direct current power voltage (VB), and changes direct current command values of each set on the basis of the common voltage control value (Vrev).

(57) 要約:複数組の巻線を有する回転電機に対して、各組の巻線の電圧を、直流電源電圧以下の範囲内で適切に制御することができる回転電機の制御装置を提供する。各組について、電圧指令値に基づいて、電圧指令値に応じた電圧を巻線に印加するために必要になる最小限の直流電源電圧である必要直流電圧を算出し、全ての組の必要直流電圧に基づいて、全ての組で共通する１つの共通必要直流電圧（Ｖｎｅｃｍ）を算出し、共通必要直流電圧（Ｖｎｅｃｍ）が、直流電源電圧（ＶＢ）に近づくように、共通電圧制御値（Ｖｒｅｖ）を変化させ、共通電圧制御値（Ｖｒｅｖ）に基づいて、各組の電流指令値を変化させる回転電機の制御装置（１）。

明　細　書

発明の名称 ： 回転電機の制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、複数組の巻線を有する１つの回転電機を、スイッチング素子を介して制御する回転電機の制御装置に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、車両の燃費向上の要求や環境基準への適合の観点から、内燃機関とそれ以外の駆動力源、例えば回転電機を搭載した車両が開発されている。このような車両では、車両の停止時に内燃機関を停止させ、発進時に再始動を行う、いわゆるアイドルストップや、走行中に内燃機関のトルクアシストが行われる。このような車両用の回転電機は、発進時の高トルク低回転領域から内燃機関のアシスト時の中低トルク高回転領域まで、幅広い回転速度領域で、高効率で動作させることが求められる。これの要求を実現するため、小型、高効率という特徴から、同期回転電機が広く用いられている。

[0003] 同期回転電機にはさまざまな種類があり、回転子内に永久磁石を埋め込んだ、埋込磁石同期回転電機や、回転子の表面に永久磁石を張り付けた、表面磁石同期回転電機や、回転子内に界磁巻線を有し、界磁巻線に電流を通電することで磁束を発生させる巻線界磁同期回転電機などがある。これらの同期回転電機はいずれも、回転子側に磁束を発生させ、回転子に発生させた磁束に直交するよう、電機子(固定子)巻線に電流を通電することで、トルクを発生させている。

[0004] このように、同期回転電機は磁石磁束または界磁磁束を有しているため、その回転速度に応じて電機子巻線に誘起電圧が生じる。誘起電圧が高くなり、直流電源電圧を超える場合、電機子巻線に電流を流すことが出来なくなり、トルクの発生が不可能となる。

[0005] これを防止するため、いわゆる弱め磁束制御が採用される。この弱め磁束制御は、電機子巻線に流す電流の中で、回転子の発生する磁束方向(一般的に

ｄ軸と呼ばれる)に、回転子の発生する磁束を打ち消すよう(つまりｄ軸の負方向)に電流を流すことによって、電機子巻線に発生する誘起電圧を抑制し、電圧飽和を防止する制御である。

[0006] 特許文献１には、直流電源電圧に対する３相交流電圧の実効値の比率である変調率ＭＩが、最大変調率ＭＭに近づくように、電圧不足割合ＶＲを変化させ、電圧不足割合ＶＲに応じて電流指令値を変化させることで、電機子巻線に発生する誘起電圧が直流電源電圧を超えないようにする、弱め磁束制御を行う技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開２０１２－２０００７３号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] ところで、このような車両用の回転電機では、電機子巻線として一般的に３相巻線を用いることが多い。電機子巻線に電流を通電させてトルクを発生させるためには、電機子巻線の各相を高速でスイッチングさせ、回転磁界を発生させる必要がある。このように電機子巻線を高周波で短絡・遮断する場合には、電機子が生じる磁束もまた高周波で変動し、同一の高周波数をもつ磁気音が発生するという問題があった。

[0009] この問題を解決するために、同一のステータコア内に、複数組の３相巻線を配置し、各組の３相巻線に生じる起磁力を、組間で互いに打ち消すよう動作させることで磁気音を大幅に低減する技術が開発されている。

[0010] しかし、特許文献１には、このように固定子に複数組の３相巻線を有する回転電機に対して、弱め磁束制御を適用するための手法が開示されていない。仮に、各組の３相巻線について、特許文献１の技術を適用し、各組の電流指令値を個別に制御しようとすると、各組の３相巻線の制御状態の組み合わせパターンが大幅に増加し、全てのパターンについて動作保障をする必要が

あり、制御設計が複雑になる。また、各組の電流指令値を個別に制御しようとすると、組間の磁気結合の相互干渉による、組間の電流指令値の相互干渉が生じるため、電流指令値の操作挙動の安定性を保障することが容易でない。

[0011] また、巻線界磁同期回転電機では、界磁巻線が発生する磁束に応じて、固定子の３相交流巻線に生じる誘起電圧が変動するため、弱め磁束制御を行うためには、界磁巻線に供給する直流電圧と、固定子の３相巻線に供給する交流電圧の実効値とを連動して変化させる必要がある。しかし、特許文献１には、界磁巻線と固定子巻線との複数組の巻線を有する巻線界磁同期回転電機に対して、弱め磁束制御を適用するための手法が開示されていない。

[0012] また、特許文献１の技術では、変調率に基づいて制御しているため、複数組の３相巻線の間で、互いに最大変調率が異なる場合に、組間で協調して制御を行い難い問題があった。特に、直流電圧を供給する界磁巻線と、交流電圧を供給する３相巻線とでは、制御方式が異なるため、変調率を用いる制御は適切ではない。

[0013] そこで、複数組の巻線を有する回転電機に対して、各組の巻線の電圧を、直流電源電圧以下の範囲内で適切に制御することができる回転電機の制御装置が望まれる。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明に係る回転電機の制御装置は、複数組の巻線を有する１つの回転電機を制御する回転電機の制御装置であって、

各組について、前記巻線に流れる電流を検出する電流検出部と、

各組について、前記巻線に流す電流指令値を算出する電流指令算出部と、

各組について、前記電流指令値及び電流検出値に基づいて、前記巻線に印加する電圧指令値を算出する電圧指令算出部と、

各組について、前記電圧指令値に基づいて前記スイッチング素子をオンオフ制御するスイッチング制御部と、

各組について、前記電圧指令値に基づいて、前記電圧指令値に応じた電圧

を前記巻線に印加するために必要になる最小限の直流電源電圧である必要直流電圧を算出し、全ての組の前記必要直流電圧に基づいて、全ての組で共通する１つの共通必要直流電圧を算出し、前記共通必要直流電圧が、前記スイッチング素子に供給されている直流電源電圧に近づくように、共通電圧制御値を変化させる電圧制御値算出部と、を備え、

前記電流指令算出部は、前記共通電圧制御値に基づいて、各組の前記電流指令値を変化させるものである。

発明の効果

[0015] 本発明に係る回転電機の制御装置によれば、各組の巻線について、直流電源電圧を基準にした必要直流電圧が算出されるので、組間で協調した制御を行い易くなる。そして、共通必要直流電圧が、直流電源電圧に近づくように、共通電圧制御値を変化させ、共通電圧制御値により各組の電流指令値を変化させるので、各組の必要直流電圧が直流電源電圧を超えないようにでき、各組の巻線に正常に電流を流し、トルク変動が生じることを抑制できる。また、全ての組について、共通必要直流電圧により、共通電圧制御値を変化させ、共通電圧制御値により各組の電流指令値を連動して変化させるので、各組の巻線の制御状態の組み合わせパターンを所定の組み合わせパターンに限定することができ、動作保障が容易になり、制御設計を簡単化できる。また、共通電圧制御値により各組の電流指令値を連動して変化させるので、組間の磁気結合の相互干渉による影響を所定のパターンに限定することができ、電流指令値の操作挙動の安定性を保障することが容易になる。よって、複数組の巻線を有する回転電機に対して、各組の巻線の電圧を、直流電源電圧以下の範囲内で適切に制御することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施の形態１に係る回転電機、及び回転電機の制御装置の概略構成図である。

[図2]本発明の実施の形態１に係る回転電機の制御装置のブロック図である。

[図3]本発明の実施の形態１に係る回転電機の制御装置のハードウェア構成図

である。

[図4]本発明の実施の形態１に係る、電流ベクトル制御方法の理論的な考え方を説明する図である。

[図5]本発明の実施の形態１に係る、共通電圧制御値に応じてｄｑ軸電流指令値を算出するマップデータの設定値を説明するための図である。

[図6]本発明の実施の形態２に係る回転電機、及び回転電機の制御装置の概略構成図である。

[図7]本発明の実施の形態２に係る回転電機の制御装置のブロック図である。

[図8]本発明の実施の形態２に係る、界磁電流の変化に応じた、ｄｑ軸電流指令値の設定の考え方を説明する図である。

[図9]本発明の実施の形態２に係る、共通電圧制御値に応じて界磁電流指令値を算出するマップデータの設定値を説明するための図である。

[図10]本発明の実施の形態２に係る、共通電圧制御値に応じてｄｑ軸電流指令値を算出するマップデータの設定値を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0017] １．実施の形態１．

実施の形態１に係る回転電機の制御装置１（以下、単に制御装置１と称す）について図面を参照して説明する。図１は、本実施の形態に係る回転電機１０２及び制御装置１の概略構成図であり、図２は、制御装置１のブロック図である。

[0018] １－１．回転電機１０２の構成

回転電機１０２は、複数組の巻線を有する１つの回転電機とされている。本実施の形態では、複数組の巻線は、回転電機１０２の固定子に設けられた複数組の３相巻線とされている。組数は２組とされている。以下、第１組を「第１」と称し、第２組を「第２」と称す。固定子（電機子）に、第１の３相巻線２０１と、第２の３相巻線２０２とが巻回されている。回転子２０３に永久磁石が設けられた、永久磁石同期回転電機とされている。よって、１つの固定子に２組の３相巻線２０１、２０２が設けられており、固定子の径

方向内側に配置された１つの回転子２０３に、永久磁石が設けられている。

[0019] 第１の３相巻線２０１と第２の３相巻線２０２とは、固定子に巻回されている軸方向の位置が互いに重複している。よって、１つの固定子に設けられた各組の３相巻線が作り出す回転磁界は、１つの回転子２０３に設けられた永久磁石に作用し、１つの固定子に設けられた永久磁石が作り出す磁界は、１つの固定子に設けられた各組の３相巻線に作用する。

[0020] 直流電源１０３から供給された直流電力を交流電力に変換して第１の３相巻線２０１に供給する第１のインバータ２０５と、直流電源１０３から供給された直流電力を交流電力に変換して第２の３相巻線２０２に供給する第２のインバータ２０６と、が備えられている。

[0021] 第１及び第２のインバータ２０５、２０６は、それぞれ複数のスイッチング素子を有している。各組のインバータは、直流電源１０３の正極端子に接続される正極側のスイッチング素子と、直流電源１０３の負極端子に接続される負極側のスイッチング素子と、が直列接続された直列回路を、３相各相の巻線に対応して３セット設けている。各直列回路における２つのスイッチング素子の接続点が、対応する相の巻線に接続される。スイッチング素子には、ＭＯＳＦＥＴ（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）、ダイオードが逆並列接続されたＩＧＢＴ（Insulated Gate Bipolar Transistor）等が用いられる。

[0022] 各スイッチング素子のゲート端子は、ゲート駆動回路等を介して、制御装置１に接続されている。よって、各スイッチング素子は、制御装置１から出力される第１のスイッチング制御信号又は第２のスイッチング制御信号によりオン又はオフされる。

[0023] 直流電源１０３には、鉛蓄電池又はリチウムイオン電池等の蓄電装置が用いられる。なお、直流電源１０３には、直流電圧を昇圧したり降圧したりする直流電力変換器であるＤＣ－ＤＣコンバータが設けられてもよい。

[0024] 第１の３相巻線２０１に流れる電流を検出するための第１の電流センサ２１１、及び第２の３相巻線２０２に流れる電流を検出するための第２の電流

センサ２１２が備えられている。第１及び第２の電流センサ２１１、２１２の出力信号は、制御装置１に入力される。本実施の形態では、第１及び第２の電流センサ２１１、２１２は、スイッチング素子の直列回路と巻線とをつなぐ各相の電線上に備えられている。

[0025] 回転電機１０２には、回転子２０３の回転角度（磁極位置）を検出するためのレゾルバ、ロータリーエンコーダ等の回転角度センサ２０７が備えられている。回転角度センサ２０７の出力信号は、制御装置１に入力される。また、第１及び第２のインバータ２０５、２０６に供給される直流電源１０３の直流電源電圧ＶＢを検出するための電圧センサ２１６が備えられている。電圧センサ２１６の出力信号は、制御装置１に入力される。

[0026] 本実施の形態では、回転電機１０２及び制御装置１は、車両に搭載されている。回転電機１０２の回転軸は、シャフト、或いはプーリ及びベルト機構を介して、内燃機関のクランク軸に連結される。回転電機１０２は、内燃機関を始動又は補助する電動機としての機能を有すると共に、内燃機関の駆動力を用いて発電する発電機としての機能を有する。

[0027] １－２．制御装置１の構成

制御装置１は、第１及び第２のインバータ２０５、２０６のスイッチング素子を介して、回転電機１０２を制御する。制御装置１は、図２に示すように、後述する電流検出部３０、回転情報検出部３１、電源電圧検出部３２、電流指令算出部３３、電圧指令算出部３４、スイッチング制御部３５、及び電圧制御値算出部３６等の機能部を備えている。制御装置１の各機能は、制御装置１が備えた処理回路により実現される。具体的には、制御装置１は、図３に示すように、処理回路として、ＣＰＵ（Central Processing Unit）等の演算処理装置９０（コンピュータ）、演算処理装置９０とデータのやり取りする記憶装置９１、演算処理装置９０に外部の信号を入力する入力回路９２、及び演算処理装置９０から外部に信号を出力する出力回路９３等を備えている。

[0028] 演算処理装置９０として、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated C

ircuit）、ＩＣ（Integrated Circuit）、ＤＳＰ（Digital Signal Processor）、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）、各種の論理回路、及び各種の信号処理回路等が備えられてもよい。また、演算処理装置９０として、同じ種類のもの又は異なる種類のものが複数備えられ、各処理が分担して実行されてもよい。記憶装置９１として、演算処理装置９０からデータを読み出し及び書き込みが可能に構成されたＲＡＭ（Random Access Memory）や、演算処理装置９０からデータを読み出し可能に構成されたＲＯＭ（Read Only Memory）等が備えられている。入力回路９２は、電流センサ２１１、２１２、回転角度センサ２０７、電圧センサ２１６等の各種のセンサやスイッチが接続され、これらセンサやスイッチの出力信号を演算処理装置９０に入力するＡ／Ｄ変換器等を備えている。出力回路９３は、第１及び第２のインバータ２０５、２０６のスイッチング素子をオンオフ駆動するゲート駆動回路等の電気負荷が接続され、これら電気負荷に演算処理装置９０から制御信号を出力する駆動回路等を備えている。

[0029] そして、制御装置１が備える各制御部３０～３６等の各機能は、演算処理装置９０が、ＲＯＭ等の記憶装置９１に記憶されたソフトウェア（プログラム）を実行し、記憶装置９１、入力回路９２、及び出力回路９３等の制御装置１の他のハードウェアと協働することにより実現される。なお、各制御部３０～３６等が用いる上限値Ｖｍａｘ、下限値Ｖｍｉｎ、最大電圧利用率、マップデータ等の設定データは、ソフトウェア（プログラム）の一部として、ＲＯＭ等の記憶装置９１に記憶されている。以下、制御装置１の各機能について詳細に説明する。

[0030] １－２－１．電流検出部３０

電流検出部３０は、各組について、巻線に流れる電流を検出する。本実施の形態では、電流検出部３０は、第１の電流センサ２１１の出力信号に基づいて、第１の３相巻線２０１に流れる第１の３相電流Ｉｕ１、Ｉｖ１、Ｉｗ１を検出し、第２の電流センサ２１２の出力信号に基づいて、第２の３相巻線２０２に流れる第２の３相電流Ｉｕ２、Ｉｖ２、Ｉｗ２を検出する。

[0031] １－２－２．回転情報検出部３１

回転情報検出部３１は、回転子２０３の回転角度θ（磁極位置θ）及び回転速度ωを検出する。本実施の形態では、回転情報検出部３１は、回転角度センサ２０７の出力電圧に基づいて、回転角度θ（磁極位置θ）及び回転速度ωを検出する。

[0032] １－２－３．電源電圧検出部３２

電源電圧検出部３２は、直流電源１０３の直流電源電圧ＶＢを検出する。本実施の形態では、電源電圧検出部３２は、電圧センサ２１６の出力電圧に基づいて、直流電源電圧ＶＢを検出する。

[0033] １－２－４．電流指令算出部３３

電流指令算出部３３は、各組について、巻線に流す電流指令値を算出し、後述する共通電圧制御値Ｖｒｅｖに基づいて、各組の電流指令値を変化させる。本実施の形態では、電流指令算出部３３は、各組の電流指令値を、ｄｑ軸の回転座標系で表したｄ軸電流指令値及びｑ軸電流指令値を算出する。ｄｑ軸の回転座標系は、回転子２０３の磁極位置（磁石のＮ極の向き）に定めたｄ軸、及びｄ軸より電気角で９０ｄｅｇ進んだ方向に定めたｑ軸からなる、回転子２０３の電気角での回転に同期して回転する２軸の回転座標系である。電流指令算出部３３は、第１の３相巻線２０１について、第１のｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１及び第１のｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆ１を算出し、第２の３相巻線２０２について、第２のｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２及び第２のｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆ２を算出する。

[0034] 電流指令算出部３３は、回転電機１０２にトルク指令値Ｔｒｅｆのトルクを出力させるような、各組のｄｑ軸電流指令値を算出する。トルク指令値Ｔｒｅｆは、電流指令算出部３３が算出してもよいし、車両の統合制御装置などの外部の制御装置から伝達されるように構成されてもよい。

[0035] ＜電流ベクトル制御方法の理論的な考え方＞

図４を参照して、ｄｑ軸電流指令値を算出する電流ベクトル制御方法の理論的な考え方を説明する。ｄｑ軸電流指令値が電圧制限楕円に制限されるま

では、最大トルク電流制御の考え方に従って、ｄｑ軸電流指令値が算出される。最大トルク電流制御は、同一電流に対して発生トルクを最大にするようなｄｑ軸電流指令値を算出する制御方法である。トルク指令値Ｔｒｅｆが０から増加するに従って、最大トルク電流曲線上を、ｑ軸電流指令値が０から増加し、ｄ軸電流指令値が０から減少する。

[0036] ｄｑ軸電流指令値が、電圧制限楕円に制限されると、弱め磁束制御の考え方に従って、ｄｑ軸電流指令値が算出される。弱め磁束制御は、トルク指令値Ｔｒｅｆが増加するに従って、電圧制限楕円上を、ｄ軸電流指令値が減少する方向に、ｄｑ軸電流指令値を変化させる。電圧制限楕円は、３相巻線の端子電圧（誘起電圧）が、直流電源電圧ＶＢ以下に設定された電圧制限値に等しくなるｄｑ軸電流指令値の軌跡であり、電圧制限楕円の外側に、ｄｑ軸電流指令値を設定できない。電圧制限楕円は、電圧制限値（直流電源電圧ＶＢ）が減少する、又は回転速度ωが増加するに従って狭まる。弱め磁束制御の考え方では、電圧制限値及び回転速度ωに対応する電圧制限楕円と、トルク指令値Ｔｒｅｆに対応する等トルク曲線との交点が、ｄｑ軸電流指令値として算出される。

[0037] ｄｑ軸電流指令値が、最大トルク磁束曲線に到達すると、最大トルク磁束制御の考え方に従って、ｄｑ軸電流指令値が算出される。最大トルク磁束制御は、同一トルクに対して鎖交磁束を最小にするようなｄｑ軸電流指令値を算出する制御方法である。最大トルク磁束制御の考え方では、電圧制限楕円と、最大トルク磁束曲線との交点を、ｄｑ軸電流指令値として算出する。

[0038] 例えば、図４に示すように、トルク指令値Ｔｒｅｆが０から増加するに従って、最大トルク電流曲線上を、ｑ軸電流指令値が０から増加し、ｄ軸電流指令値が０から減少する。そして、最大トルク電流曲線と電圧制限楕円との交点（ａ）に到達すると、弱め磁束制御が開始する。その後、電圧制限値及び回転速度ωが一定のままであり、電圧制限楕円が変化しない状態で、トルク指令値Ｔｒｅｆが増加すると、等トルク曲線が左上にシフトしていき、電圧制限楕円上を、ｄｑ軸電流指令値が左上に変化する。そして、ｄｑ軸電流

指令値が、電圧制限楕円と最大トルク磁束曲線との交点（ｂ）に到達すると、ｄｑ軸電流指令値は、最大トルク磁束曲線に制限される。

[0039] 一方、交点（ａ）に到達した後、トルク指令値Ｔｒｅｆが一定のままで、回転速度ωが増加すると、電圧制限楕円が狭まっていき、等トルク曲線上を、ｄｑ軸電流指令値が左下に変化する。そして、ｄｑ軸電流指令値が、等トルク曲線と最大トルク磁束曲線との交点（ｃ）に到達すると、ｄｑ軸電流指令値は、最大トルク磁束曲線に制限される。

[0040] 交点（ｂ）又は交点（ｃ）の状態から、回転速度ωが増加すると、電圧制限楕円が狭まっていき、最大トルク磁束曲線上を、ｄｑ軸電流指令値が右下に変化していき、最終的にはＭ点に収束し、トルクがゼロになる。なお、Ｍ点は、電圧制限楕円の中心点である。

[0041] ＜電圧制限楕円の代わりに、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを用いる算出方法＞

しかし、これまで説明した電流ベクトル制御方法の理論的な考え方では、電圧制限楕円と、各曲線（最大トルク電流曲線、等トルク曲線、又は最大トルク磁束曲線）との交点を求める必要があり、ｄｑ軸電流指令値の算出が複雑化する問題があった。そこで、本実施の形態では、電圧制限楕円と各曲線との交点を算出することなしに、電圧指令値に基づいて算出される後述する共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢに近づくように、フィードバック制御により共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させることにより、結果的に、ｄｑ軸電流指令値を、電圧制限楕円と各曲線との交点に一致させるように構成されている。

[0042] 本実施の形態では、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに基づいて、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１、及び第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２を算出する。具体的には、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖと、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１との関係が予め設定された第１のマップデータを参照し、現在のトルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに対応する第１のｄｑ軸電流

指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１を算出する。また、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖと、第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２との関係が予め設定された第２のマップデータを参照し、現在のトルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに対応する第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２を算出する。

[0043] トルク指令値Ｔｒｅｆが、ある一定値である場合の、第１及び第２のマップデータの設定値の例を図５に示す。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘ（本例では０）である場合は、ｄｑ軸電流指令値は、最大トルク電流曲線と等トルク曲線との交点に設定されている。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘから減少するに従って、ｄｑ軸電流指令値が等トルク曲線上を左下に変化するように設定されている。ｄｑ軸電流指令値が等トルク曲線上を左下に変化すると、３相巻線の誘起電圧（端子電圧）が減少し、後述する必要直流電圧が減少する。よって、電流指令算出部３３は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少すると、必要直流電圧が減少する側に、ｄｑ軸電流指令値を変化させる。逆に、電流指令算出部３３は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが増加すると、必要直流電圧が増加する側に、ｄｑ軸電流指令値を変化させる。

[0044] そして、ｄｑ軸電流指令値が等トルク曲線上を左下に変化していき、最大トルク磁束曲線に到達すると、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少するに従って、ｄｑ軸電流指令値は、Ｍ点に到達するまで、最大トルク磁束曲線上を右下に変化するように設定されている。Ｍ点で、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが下限値Ｖｍｉｎになる。ｄｑ軸電流指令値が最大トルク磁束曲線上を右下に変化すると、３相巻線の誘起電圧（端子電圧）が減少し、後述する必要直流電圧が減少する。よって、電流指令算出部３３は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少すると、必要直流電圧が減少する側に、ｄｑ軸電流指令値を変化させる。

[0045] 図５の例のようなデータが複数のトルク指令値Ｔｒｅｆ毎に設定されている。トルク指令Ｔｒｅｆが負の値である場合、ｑ軸電流指令値は負の値となるが、電流指令値の変化傾向はトルク指令Ｔｒｅｆが正の値である場合と同

様である。電磁気特性がｑ軸電流の正負で反転した特性を有している場合には、図５のｑ軸の正負を反転したデータを設定してもよい。

[0046] そして、後述するように、共通必要直流電圧ＶｎｅｃｍがＶｄｃ電源電圧ＶＢに近づくように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させることにより、最大トルク電流制御と、弱め磁束制御又は最大トルク磁束制御とを自動的に切り替えることができると共に、弱め磁束制御又は最大トルク磁束制御において、ｄｑ軸電流指令値を、電圧制限楕円と、等トルク曲線又は最大トルク磁束曲線との交点に自動的に一致させることができる。

[0047] 回転速度ωの変化に応じて、回転電機の電気特性が変化するため、本実施の形態では、複数の回転速度ω毎に第１及び第２のマップデータが設けられており、電流指令算出部３３は、現在の回転速度ωに近い、第１及び第２のマップデータを参照して、第１及び第２のｄｑ軸電流指令値を算出するように構成されている。

[0048] １－２－５．電圧指令算出部３４

電圧指令算出部３４は、各組について、電流指令値及び電流検出値に基づいて、巻線に印加する電圧指令値を算出する。本実施の形態では、電圧指令算出部３４は、各組について、電流指令値及び電流検出値に基づいて、３相巻線に印加する３相交流の電圧指令値を算出する。詳細には、電圧指令算出部３４は、各組について、３相巻線の電流検出値をｄｑ軸の回転座標系で表したｄｑ軸電流検出値が、ｄｑ軸電流指令値に近づくようにｄｑ軸電圧指令値を変化させ、ｄｑ軸電圧指令値を３相交流の電圧指令値に変換する。

[0049] ＜ｄｑ軸電流検出値＞

電圧指令算出部３４は、第１の３相電流検出値Ｉｕ１、Ｉｖ１、Ｉｗ１に対し、磁極位置θに基づいて３相２相変換及び回転座標変換を行って、第１のｄ軸電流検出値Ｉｄ１及び第１のｑ軸電流検出値Ｉｑ１を算出する。同様に、電圧指令算出部３４は、第２の３相電流検出値Ｉｕ２、Ｉｖ２、Ｉｗ２に対し、磁極位置θに基づいて３相２相変換及び回転座標変換を行って、第２のｄ軸電流検出値Ｉｄ２及び第２のｑ軸電流検出値Ｉｑ２を算出する。

[0050] ＜電流フィードバック制御＞

そして、電圧指令算出部３４は、式（１）に示すように、第１のｄｑ軸電流検出値Ｉｄ１、Ｉｑ１が、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１に近づくように、ＰＩ制御等により、第１のｄ軸電圧指令値Ｖｄｒｅｆ１、第１のｑ軸電圧指令値Ｖｑｒｅｆ１を変化させる。

[数1]

数１

$$\begin{bmatrix} Vdref1 \\ Vqref1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(Kpd + Kid\frac{1}{s}\right)(Idref1 - Id1) \\ \left(Kpq + Kiq\frac{1}{s}\right)(Iqref1 - Iq1) \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

[0051] 同様に、電圧指令算出部３４は、式（２）に示すように、第２のｄｑ軸電流検出値Ｉｄ２、Ｉｑ２が、第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２に近づくように、ＰＩ制御等により、第２のｄ軸電圧指令値Ｖｄｒｅｆ２、第２のｑ軸電圧指令値Ｖｑｒｅｆ２を変化させる。

[数2]

数２

$$\begin{bmatrix} Vdref2 \\ Vqref2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(Kpd + Kid\frac{1}{s}\right)(Idref2 - Id2) \\ \left(Kpq + Kiq\frac{1}{s}\right)(Iqref2 - Iq2) \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

ここで、Ｋｐｄは、ｄ軸比例ゲインであり、Ｋｐｑは、ｑ軸比例ゲインであり、Ｋｉｄは、ｄ軸積分ゲインであり、Ｋｉｑは、ｑ軸積分ゲインである。ｓは、ラプラス演算子である。

[0052] ＜３相交流の電圧指令値＞

電圧指令算出部３４は、第１のｄｑ軸電圧指令値Ｖｄｒｅｆ１、Ｖｑｒｅｆ１を、磁極位置θに基づいて、固定座標変換及び２相３相変換を行って、第１の３相交流の電圧指令値Ｖｕｒｅｆ１、Ｖｖｒｅｆ１、Ｖｗｒｅｆ１を算出する。同様に、電圧指令算出部３４は、第２のｄｑ軸電圧指令値Ｖｄｒｅｆ２、Ｖｑｒｅｆ２を、磁極位置θに基づいて、固定座標変換及び２相３

相変換を行って、第２の３相交流の電圧指令値Ｖｕｒｅｆ２、Ｖｖｒｅｆ２、Ｖｗｒｅｆ２を算出する。

[0053] １－２－６．スイッチング制御部３５

スイッチング制御部３５は、各組について、電圧指令値に基づいてスイッチング素子をオンオフ制御するＰＷＭ（Pulse Width Modulation）制御を実行する。本実施の形態では、スイッチング制御部３５は、第１の３相交流の電圧指令値Ｖｕｒｅｆ１、Ｖｖｒｅｆ１、Ｖｗｒｅｆ１のそれぞれと、直流電源電圧ＶＢの振幅を有し、キャリア周波数で振動するキャリア波（三角波）とを比較し、交流電圧指令値がキャリア波を上回った場合は、スイッチング制御信号をオンさせ、交流電圧指令値がキャリア波を下回った場合は、スイッチング制御信号をオフさせる。スイッチング制御部３５は、各スイッチング制御信号を対応する第１のインバータ２０５のスイッチング素子のゲート端子に出力する。同様に、スイッチング制御部３５は、第２の３相交流の電圧指令値Ｖｕｒｅｆ２、Ｖｖｒｅｆ２、Ｖｗｒｅｆ２のそれぞれと、キャリア波とを比較して、スイッチング制御信号をオン又はオフさせる。スイッチング制御部３５は、各スイッチング制御信号を対応する第２のインバータ２０６のスイッチング素子のゲート端子に出力する。

[0054] １－２－７．電圧制御値算出部３６

＜原理説明＞

トルク指令値Ｔｒｅｆの増加により３相巻線に流す電流が増加する、或いは、回転速度ωが増加すると、３相巻線に生じる誘起電圧が増加し、３相巻線に印加する電圧指令値が増加する。それにより、電圧指令値の電圧を３相巻線に印加するために必要になる最小限の直流電源電圧である必要直流電圧も増加する。必要直流電圧が、実際の直流電源電圧ＶＢを超えると、３相巻線に正常に電流を流せなくなり、トルク変動が生じる。そのため、必要直流電圧が直流電源電圧ＶＢを超えると、３相巻線に生じる誘起電圧が低下するように電流指令値を操作することによって、電圧指令値及び必要電流電圧を低下させるように構成されている。

[0055] しかし、本実施の形態では、複数組の３相巻線が設けられているため、各組の３相巻線について、必要直流電圧が存在する。よって、全ての組の必要直流電圧が、直流電源電圧ＶＢを超えないようにする必要がある。しかし、各組の必要直流電圧が直流電源電圧ＶＢを超えないように、各組について個別に電流指令値を操作すると、各組の３相巻線の制御状態の組み合わせパターンが大幅に増加し、全てのパターンについて動作保障をする必要があり、制御設計が複雑になる。また、各組の必要直流電圧が直流電源電圧ＶＢを超えないように、各組について個別に電流指令値を操作すると、組間の磁気結合の相互干渉による、組間の電流指令値の相互干渉が生じるため、電流指令値の操作挙動の安定性を保障することが容易でない。

[0056] ＜共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍ、共通電圧制御値Ｖｒｅｖの算出＞

そこで、電圧制御値算出部３６は、各組について、電圧指令値に基づいて、電圧指令値に応じた電圧を巻線に印加するために必要になる最小限の直流電源電圧である必要直流電圧を算出し、全ての組の必要直流電圧に基づいて、全ての組で共通する１つの共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍを算出する。そして、電圧制御値算出部３６は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢに近づくように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させる。

[0057] この構成によれば、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢに近づくように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させ、共通電圧制御値Ｖｒｅｖにより各組の電流指令値を変化させるので、各組の必要直流電圧が直流電源電圧ＶＢを超えないようにでき、各組の３相巻線に正常に電流を流し、トルク変動が生じることを抑制できる。

[0058] また、全ての組について、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍにより、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させ、共通電圧制御値Ｖｒｅｖにより各組の電流指令値を連動して変化させるので、各組の３相巻線の制御状態の組み合わせパターンを所定の組み合わせパターンに限定することができ、動作保障が容易になり、制御設計を簡単化できる。例えば、共通電圧制御値Ｖｒｅｖに応じて電流指令値を変化させる第１及び第２のマップデータを設けるだけの簡単な

制御設計にすることができる。

[0059] また、共通電圧制御値Ｖｒｅｖにより各組の電流指令値を連動して変化させるので、組間の磁気結合の相互干渉による影響を、所定のパターンに限定することができ、電流指令値の操作挙動の安定性を保障することが容易になる。

[0060] 本実施の形態では、電圧制御値算出部３６は、各組について、３相交流の電流指令値の線間電圧の実効値を算出し、３相交流の電圧指令値の線間電圧実効値を、予め設定された最大電圧利用率で除算して、必要直流電圧を算出する。

[0061] 具体的には、電圧制御値算出部３６は、第１組について、式（３）に示すように、第１のｄｑ軸電圧指令値Ｖｄｒｅｆ１、Ｖｑｒｅｆ１に基づいて、第１の３相交流電圧指令値の線間電圧実効値を算出し、線間電圧実効値を、予め設定された第１の最大電圧利用率Ｒｍｘ１で除算して、第１の必要直流電圧Ｖｎｅ１を算出する。

[数3]

数３

$$Vne1=\frac{\sqrt{Vdref1^2+Vqref1^2}}{Rmx1} \qquad \cdots (3)$$

[0062] 同様に、電圧制御値算出部３６は、第２組について、式（４）に示すように、第２のｄｑ軸電圧指令値Ｖｄｒｅｆ２、Ｖｑｒｅｆ２に基づいて、第２の３相交流電圧指令値の線間電圧実効値を算出し、線間電圧実効値を、予め設定された第２の最大電圧利用率Ｒｍｘ２で除算して、第２の必要直流電圧Ｖｎｅ２を算出する。

[数4]

数４

$$Vne2=\frac{\sqrt{Vdref2^2+Vqref2^2}}{Rmx2} \qquad \cdots (4)$$

[0063] ここで、第１及び第２の最大電圧利用率Ｒｍｘ１、Ｒｍｘ２は、スイッチング制御部３５におけるＰＷＭ制御方式に対応した値に予め設定されている

。例えば、正弦波の３相交流の電圧指令値とキャリア波とを比較する正弦波ＰＷＭ制御のみが実行される場合は、最大電圧利用率は０．６１２に設定され、正弦波の３相交流の電圧指令値に変調を加える過変調ＰＭＭ制御（三次高調波注入、空間ベクトル変調、二相変調等）が実行される場合は、最大電圧利用率は０．７０７に設定される。なお、実際に利用する直流電圧を、直流電源電圧ＶＢよりも低くするために、最大電圧利用率は、０．６１２又は０．７０７よりも小さい値に設定されてもよい。

[0064] 電圧制御値算出部３６は、全ての組の必要直流電圧の中の最大値を、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍとして算出する。具体的には、電圧制御値算出部３６は、式（５）に示すように、第１の必要直流電圧Ｖｎｅ１及び第２の必要直流電圧Ｖｎｅ２の中の最大値を、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍとして算出する。ここで、ＭＡＸ（Ａ、Ｂ）は、Ａ、Ｂのうち、大きい方の値を出力する関数である。

[数5]

数５

$$Vnecm = MAX(Vne1, Vne2) \qquad \cdots (5)$$

[0065] この構成によれば、最大値となる組の必要直流電圧が、直流電源電圧ＶＢを超えないようにでき、最大値以外の組の必要直流電圧も、直流電源電圧ＶＢ以下に制限できる。特に、最大値となる組について、弱め磁束制御及び最大トルク磁束制御の領域では、ｄｑ軸電流指令値を電圧制限楕円上に変化させることができる。

[0066] そして、電圧制御値算出部３６は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢに近づくように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させる。本実施の形態では、電圧制御値算出部３６は、式（６）に示すように、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍと直流電源電圧ＶＢとの偏差に基づいて、ＰＩ制御等により共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させる。ここで、Ｋｐは正の値の比例ゲインであり、Ｋｉは正の値の積分ゲインである。

[数6]

数６

$$Vrev = \left(Kp + Ki\frac{1}{s} \right)(VB - Vnecm) \qquad \cdots （６）$$

[0067] 共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢを上回り、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少されると、上述したように、電流指令算出部３３は、弱め磁束制御及び最大トルク磁束制御の領域において、３相巻線の誘起電圧（端子電圧）が減少し、必要直流電圧が減少するように、ｄｑ軸電流指令値を変化させる。よって、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが減少し、直流電源電圧ＶＢに近づく。逆に、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢを下回り、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが増加されると、上述したように、電流指令算出部３３は、弱め磁束制御及び最大トルク磁束制御の領域において、３相巻線の誘起電圧（端子電圧）が増加し、必要直流電圧が増加するように、ｄｑ軸電流指令値を変化させる。よって、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが増加し、直流電源電圧ＶＢに近づく。

[0068] ＜上下限制限処理、アンチワインドアップ処理＞

一方、最大トルク電流制御の領域では、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢを常に下回るため、そのままでは、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが増加し続ける。また、最大トルク磁束制御の領域において、ｄｑ軸電流指令値がＭ点に到達した後は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢを常に上回るため、そのままでは、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少し続ける。

[0069] そこで、本実施の形態では、電圧制御値算出部３６は、式（７）に示すように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを、予め設定された上限値Ｖｍａｘ及び下限値Ｖｍｉｎで上下限制限するように構成されている。本実施の形態では、上限値Ｖｍａｘは、ｄｑ軸電流指令値が最大トルク電流曲線上の値になる時（図４の交点（ａ））の共通電圧制御値Ｖｒｅｖの値（本例では、０）に設定され、下限値Ｖｍｉｎは、ｄｑ軸電流指令値がＭ点になる時の共通電圧制御

値Ｖｒｅｖの値（本例では、０より小さい所定値）に設定されている。

[数7]

数 7

$$V\min \le Vrev \le V\max \qquad \cdots (7)$$

[0070] また、電圧制御値算出部３６は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを上限値Ｖｍａｘにより上限制限している、又は下限値Ｖｍｉｎで下限制限している場合は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させないアンチワインドアップ処理を行う。例えば、電圧制御値算出部３６は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを上限制限又は下限制限している場合は、式（６）のＰＩ制御の積分値の更新を停止する。

[0071] なお、式（６）において、（ＶＢ－Ｖｎｅｃｍ）により偏差を計算しているが、（Ｖｎｅｃｍ－ＶＢ）により偏差を計算してもよく、この場合は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖの変化の方向が逆になり、上限値ＶｍａｘがＭ点に対応し、下限値Ｖｍｉｎが最大トルク電流曲線上の点に対応する。

[0072] ２．実施の形態２．

次に、実施の形態２に係る制御装置１について説明する。上記の実施の形態１と同様の構成部分は説明を省略する。図６は、本実施の形態に係る回転電機１０２及び制御装置１の概略構成図であり、図７は、制御装置１のブロック図である。本実施の形態では、回転電機１０２の回転子２０３に、界磁巻線２１３が設けられており、制御装置１が界磁巻線２１３への電圧印加を制御するように構成されている。

[0073] 本実施の形態では、回転電機１０２が有する複数組の巻線は、固定子に設けられた１組又は複数組（本例では２組）の３相巻線と、回転子２０３に設けられた１組の界磁巻線２１３とされている。固定子に第１の３相巻線２０１と第２の３相巻線２０２とが設けられ、回転子２０３に界磁巻線２１３が設けられた、巻線界磁同期回転電機とされている。第１の３相巻線２０１が第１組の巻線であり、第２の３相巻線２０２が第２組の巻線であり、界磁巻線２１３が第３組の巻線である。

[0074] 本実施の形態では、第１のインバータ２０５及び第２のインバータ２０６に加えて、界磁巻線２１３への直流電力の供給を制御する界磁巻線駆動回路２１５が備えられている。界磁巻線駆動回路２１５は、スイッチング素子を有している。直流電源１０３と界磁巻線２１３とを接続する正極電線上に、界磁巻線駆動回路２１５のスイッチング素子が設けられており、直流電源１０３と界磁巻線２１３との接続をオンオフする。界磁巻線駆動回路２１５のスイッチング素子は、制御装置１から出力される界磁巻線のスイッチング制御信号によりオン又はオフされる。

[0075] 第１の電流センサ２１１及び第２の電流センサ２１２に加えて、界磁巻線２１３に流れる電流を検出するための界磁巻線の電流センサ２１４が備えられている。界磁巻線の電流センサ２１４の出力信号は、制御装置１に入力される。電流検出部３０は、界磁巻線の電流センサ２１４の出力信号に基づいて、界磁巻線２１３に流れる界磁電流Ｉｆを検出する。

[0076] ＜電流指令算出部３３＞

電流指令算出部３３は、各組について、巻線に流す電流指令値を算出し、共通電圧制御値Ｖｒｅｖに基づいて、各組の電流指令値を変化させる。本実施の形態では、電流指令算出部３３は、界磁巻線に流す電流指令値である界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを算出する。電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに基づいて、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを算出する。具体的には、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖと、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆとの関係が予め設定された界磁巻線のマップデータを参照し、現在のトルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに対応する界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを算出する。また、複数の回転速度ω毎に界磁巻線のマップデータが設けられており、電流指令算出部３３は、現在の回転速度ωに近い、界磁巻線のマップデータを参照して、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを算出するように構成されている。

[0077] また、実施の形態１と同様に、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒ

ｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに基づいて、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１、及び第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２を算出する。具体的には、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖと、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１との関係が予め設定された第１のマップデータを参照し、現在のトルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに対応する第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１を算出する。また、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖと、第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２との関係が予め設定された第２のマップデータを参照し、現在のトルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに対応する第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２を算出する。また、複数の回転速度ω毎に第１及び第２のマップデータが設けられており、電流指令算出部３３は、現在の回転速度ωに近い、第１及び第２のマップデータを参照して、第１及び第２のｄｑ軸電流指令値を算出するように構成されている。

[0078] 本実施の形態では、界磁巻線２１３の鎖交磁束（界磁電流）が、トルク指令値Ｔｒｅｆ、共通電圧制御値Ｖｒｅｖ、及び回転速度ωの運転条件に応じて変化する。図８に示すように、界磁巻線２１３の鎖交磁束（界磁電流）が減少すると、電圧制限楕円のＭ点（中心点）がｄ軸上を正方向に移動し、電圧制限楕円が広がり、等トルク曲線が上側にシフトする。第１及び第２のｄｑ軸電流指令値のマップデータも、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆのマップデータと同様に、トルク指令値Ｔｒｅｆ、共通電圧制御値Ｖｒｅｖ、及び回転速度ωに基づいて設定されるため、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆの変化による電圧制限楕円のＭ点の移動、電圧制限楕円の拡大縮小、等トルク曲線のシフト、最大トルク磁束曲線の変化、及び最大トルク電流曲線の変化に対応するように予め設定されている。

[0079] トルク指令値Ｔｒｅｆが、ある一定値である場合の、界磁巻線のマップデータの設定値の例を図９に示す。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘ

（本例では０）である場合は、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆは、トルク指令値Ｔｒｅｆに応じた値に設定されている。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘより小さくなると、弱め磁束制御の領域になり、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘから減少するに従って、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆは減少していき、界磁巻線の磁束が弱められる。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが更に減少すると、最大トルク磁束制御の領域になり、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少するに従って、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆは、弱め磁束制御の領域よりも急な傾きで減少していき、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが下限値Ｖｍｉｎに到達すると、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆは０に設定される。

[0080] トルク指令値Ｔｒｅｆ及び回転速度ωがある一定値であり、共通電圧制御値Ｖｒｅｖの変化に対して界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを図９に示すように変化させた場合の、第１又は第２のマップデータの設定値の例を図１０に示す。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘ（本例では０）である場合は、ｄｑ軸電流指令値は、最大トルク電流曲線と等トルク曲線との交点（ａ）に設定されている。共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘより小さくなると、弱め磁束制御の領域になり、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘから減少するに従って、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆが減少するため、等トルク曲線が上側にシフトしていく。よって、ｄｑ軸電流指令値は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが上限値Ｖｍａｘから減少するに従って、上側にシフトしていく等トルク曲線上を左側に変化するように設定されている。よって、ｄ軸電流の減少による弱め磁束も行われる。

[0081] 共通電圧制御値Ｖｒｅｖが更に減少すると、最大トルク磁束制御の領域になり、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少するに従って、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆが０まで次第に減少するため、Ｍ点が右側に向かってシフトしていき、最大トルク磁束曲線も右側にシフトしていく。界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆが下限値Ｖｍｉｎになり界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆが０になった場合でも、回転子２０３の鉄心に磁束が残るため、Ｍ点は０点よりも左側の所定位置になる。よって、ｄｑ軸電流指令値は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少するに従

って、右側にシフトしていく最大トルク磁束曲線上を、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆが０の場合のＭ点に向かって右下に変化するように設定されている。

[0082] よって、電流指令算出部３３は、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが下限値Ｖｍｉｎで下限制限されている場合に、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを０に設定すると共に、各組の３相巻線の電流指令値（本例では、ｄｑ軸電流指令値）を、界磁巻線電流が０の場合の電圧制限楕円の中心点（Ｍ点）に対応した値に設定する。

[0083] ＜電圧指令算出部３４＞

電圧指令算出部３４は、各組について、電流指令値及び電流検出値に基づいて、巻線に印加する電圧指令値を算出する。本実施の形態では、電圧指令算出部３４は、界磁巻線２１３について、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆ及び界磁電流検出値Ｉｆに基づいて、界磁巻線２１３に印加する１相直流の界磁電圧指令値Ｖｆｒｅｆを算出する。本実施の形態では、電圧指令算出部３４は、界磁電流検出値Ｉｆが界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆに近づくように、界磁電圧指令値Ｖｆｒｅｆを変化させる。例えば、電圧指令算出部３４は、式（８）に示すように、界磁電流検出値Ｉｆと界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆとの偏差に基づいて、ＰＩ制御等により界磁電圧指令値Ｖｆｒｅｆを変化させる。ここで、Ｋｐｆは比例ゲインであり、Ｋｉｆは積分ゲインである。

[数8]

数８

$$Vfref = \left(Kpf + Kif \frac{1}{s} \right) (Ifref - If) \qquad \cdots （８）$$

[0084] 電圧指令算出部３４は、各組の３相巻線について、電流指令値及び電流検出値に基づいて、３相巻線に印加する３相交流の電圧指令値を算出する。実施の形態１と同様に、電圧指令算出部３４は、各組について、３相巻線の電流検出値をｄｑ軸の回転座標系で表したｄｑ軸電流検出値が、ｄｑ軸電流指令値に近づくようにｄｑ軸電圧指令値を変化させ、ｄｑ軸電圧指令値を３相交流の電圧指令値に変換する。

[0085] ＜スイッチング制御部３５＞

スイッチング制御部３５は、各組について、電圧指令値に基づいてスイッチング素子をオンオフ制御するＰＷＭ制御を実行する。本実施の形態では、スイッチング制御部３５は、界磁電圧指令値Ｖｆｒｅｆを直流電源電圧ＶＢで除算して算出したデューティ比（Ｖｆｒｅｆ／ＶＢ）でオンオフするスイッチング制御信号を生成し、スイッチング制御信号を界磁巻線駆動回路２１５のスイッチング素子のゲート端子に出力する。

[0086] 実施の形態１と同様に、スイッチング制御部３５は、各組の３相巻線について、３相交流の電圧指令値のそれぞれとキャリア波とを比較し、比較結果に基づいてオンオフするスイッチング制御信号を生成し、各スイッチング制御信号を、対応するインバータのスイッチング素子のゲート端子に出力する。

[0087] ＜電圧制御値算出部３６＞

電圧制御値算出部３６は、各組について、電圧指令値、及び直流電源電圧ＶＢに基づいて、電圧指令値に応じた電圧を巻線に印加するために必要になる最小限の直流電源電圧である必要直流電圧を算出し、全ての組の必要直流電圧に基づいて、全ての組で共通する１つの共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍを算出する。そして、電圧制御値算出部３６は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢに近づくように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させる。

[0088] 本実施の形態では、電圧制御値算出部３６は、式（９）に示すように、界磁巻線２１３について、界磁電圧指令値Ｖｆｒｅｆを、予め設定された界磁巻線の最大電圧利用率Ｒｍｘｆで除算して、界磁巻線の必要直流電圧Ｖｎｅｆを算出する。

[数9]

数９

$$Vnef = \frac{Vfref}{Rmxf} \qquad \cdots (9)$$

[0089] 界磁巻線の最大電圧利用率Ｒｍｘｆは、例えば、１に予め設定されている。なお、実際に利用する直流電圧を、直流電源電圧ＶＢよりも低くするために、界磁巻線の最大電圧利用率Ｒｍｘｆは、１よりも小さい値に設定されてもよい。

[0090] 実施の形態１と同様に、電圧制御値算出部３６は、各組の３相巻線について、３相交流の電流指令値の線間電圧実効値を算出し、３相交流の電圧指令値の線間電圧実効値を、予め設定された最大電圧利用率で除算して、必要直流電圧を算出する。

[0091] 電圧制御値算出部３６は、全ての組の必要直流電圧の中の最大値を、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍとして算出する。具体的には、電圧制御値算出部３６は、式（１０）に示すように、第１の必要直流電圧Ｖｎｅ１、第２の必要直流電圧Ｖｎｅ２、及び界磁巻線の必要直流電圧Ｖｎｅｆの中の最大値を、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍとして算出する。ここで、ＭＡＸ（Ａ、Ｂ、Ｃ）は、Ａ、Ｂ、Ｃのうち、最も大きい値を出力する関数である。

[数10]

数１０

$$Vnecm = MAX(Vne1,\ Vne2,\ Vnef) \qquad \cdots (10)$$

[0092] そして、実施の形態１と同様に、電圧制御値算出部３６は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢに近づくように、共通電圧制御値Ｖｒｅｖを変化させる。

[0093] ３相巻線の必要直流電圧が共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍに設定される場合は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢを上回り、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少されると、電流指令算出部３３は、弱め磁束制御及び最大トルク磁束制御の領域において、３相巻線の誘起電圧（端子電圧）が減少し、３相巻線の必要直流電圧が減少するように、ｄｑ軸電流指令値及び界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを変化させる。よって、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが減少し、直流電源電圧ＶＢに近づく。

[0094] 界磁巻線の必要直流電圧Ｖｎｅｆが共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍに設定さ

れる場合は、共通必要直流電圧Ｖｎｅｃｍが直流電源電圧ＶＢを上回り、共通電圧制御値Ｖｒｅｖが減少されると、電流指令算出部３３は、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆを減少させ、界磁巻線の必要直流電圧Ｖｎｅｆを減少させる。共通電圧制御値Ｖｒｅｖの減少により、ｄｑ軸電流指令値も連動して変化され、変化した界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆに対応させることができる。

[0095] 例えば、蓄電装置の充電量の低下などにより、直流電源電圧ＶＢが低下した場合でも、共通電圧制御値Ｖｒｅｖにより、界磁電流指令値Ｉｆｒｅｆ、及び各組の３相巻線の電流指令値を連動して変化させ、界磁巻線の必要直流電圧Ｖｎｅｆ、及び各組の３相巻線の必要直流電圧が、直流電源電圧ＶＢを超過しないようにでき、回転電機を適切に動作させることができる。

[0096] 〔その他の実施の形態〕

最後に、本発明のその他の実施の形態について説明する。なお、以下に説明する各実施の形態の構成は、それぞれ単独で適用されるものに限られず、矛盾が生じない限り、他の実施の形態の構成と組み合わせて適用することも可能である。

[0097] （１）上記の実施の形態１においては、回転電機１０２が有する複数組の巻線は、回転電機１０２の固定子に設けられた２組の３相巻線とされている場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、複数組の巻線は、回転電機１０２の固定子に設けられた３組以上の３相巻線とされてもよい。

[0098] （２）上記の実施の形態２においては、回転電機１０２が有する複数組の巻線は、固定子に設けられた２組の３相巻線と、回転子２０３に設けられた１組の界磁巻線２１３とされている場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。すなわち、複数組の巻線は、固定子に設けられた１組又は３組以上の３相巻線と、回転子２０３に設けられた１組の界磁巻線２１３とされてもよい。

[0099] （３）上記の各実施の形態においては、電流指令算出部３３は、第１のマップデータを参照して、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１

を算出し、第２のマップデータを参照して、第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２を算出するように構成されている場合を例として説明した。しかし、本発明の実施の形態はこれに限定されない。例えば、第１の３相巻線２０１と第２の３相巻線２０２との特性が同じ場合は、第１のマップデータと第２のマップデータとが共通化されてもよい。すなわち、電流指令算出部３３は、トルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖと、ｄｑ軸電流指令値との関係が予め設定された共通マップデータを参照し、現在のトルク指令値Ｔｒｅｆ及び共通電圧制御値Ｖｒｅｖに対応するｄｑ軸電流指令値を、第１のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ１、Ｉｑｒｅｆ１、及び第２のｄｑ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ２、Ｉｑｒｅｆ２として算出するように構成されてもよい。

[0100] 本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

符号の説明

[0101] １　回転電機の制御装置、３０　電流検出部、３１　回転情報検出部、３２　電源電圧検出部、３３　電流指令算出部、３４　電圧指令算出部、３５　スイッチング制御部、３６　電圧制御値算出部、１０２　回転電機、１０３　直流電源、２０１　第１の３相巻線、２０２　第２の３相巻線、２０５　第１のインバータ、２０６　第２のインバータ、２０７　回転角度センサ、２１１　第１の電流センサ、２１２　第２の電流センサ、２１３　界磁巻線、２１４　界磁巻線の電流センサ、２１５　界磁巻線駆動回路、２１６　電圧センサ、Ｉｄ１　第１のｄ軸電流検出値、Ｉｑ１　第１のｑ軸電流検出値、Ｉｄ２　第２のｄ軸電流検出値、Ｉｑ２　第２のｑ軸電流検出値、Ｉｄｒｅｆ１　第１のｄ軸電流指令値、Ｉｑｒｅｆ１　第１のｑ軸電流指令値、Ｉｄｒｅｆ２　第２のｄ軸電流指令値、Ｉｑｒｅｆ２　第２のｑ軸電流指令値、Ｉｆ　界磁電流検出値、Ｉｆｒｅｆ　界磁電流指令値、Ｒｍｘ１　第１の最大電圧利用率、Ｒｍｘ２　第２の最大電圧利用率、Ｒｍｘｆ　界磁巻線の最大電圧利用率、Ｔｒｅｆ　トルク指令値、ＶＢ　直流電源電圧、Ｖｄｒｅ

ｆ１　第１のｄ軸電圧指令値、Ｖｑｒｅｆ１　第１のｑ軸電圧指令値、Ｖｄｒｅｆ２　第２のｄ軸電圧指令値、Ｖｑｒｅｆ２　第２のｑ軸電圧指令値、Ｖｆｒｅｆ　界磁電圧指令値、Ｖｎｅ１　第１の必要直流電圧、Ｖｎｅ２　第２の必要直流電圧、Ｖｎｅｆ　界磁巻線の必要直流電圧、Ｖｎｅｃｍ　共通必要直流電圧、Ｖｒｅｖ　共通電圧制御値、Ｖｍａｘ　上限値、Ｖｍｉｎ　下限値

請求の範囲

[請求項1] 複数組の巻線を有する１つの回転電機を、スイッチング素子を介して制御する回転電機の制御装置であって、

各組について、前記巻線に流れる電流を検出する電流検出部と、

各組について、前記巻線に流す電流指令値を算出する電流指令算出部と、

各組について、前記電流指令値及び電流検出値に基づいて、前記巻線に印加する電圧指令値を算出する電圧指令算出部と、

各組について、前記電圧指令値に基づいて前記スイッチング素子をオンオフ制御するスイッチング制御部と、

各組について、前記電圧指令値に基づいて、前記電圧指令値に応じた電圧を前記巻線に印加するために必要になる最小限の直流電源電圧である必要直流電圧を算出し、全ての組の前記必要直流電圧に基づいて、全ての組で共通する１つの共通必要直流電圧を算出し、前記共通必要直流電圧が、前記スイッチング素子に供給されている直流電源電圧に近づくように、共通電圧制御値を変化させる電圧制御値算出部と、を備え、

前記電流指令算出部は、前記共通電圧制御値に基づいて、各組の前記電流指令値を変化させる回転電機の制御装置。

[請求項2] 前記電圧制御値算出部は、全ての組の前記必要直流電圧の中の最大値を、前記共通必要直流電圧として算出する請求項１に記載の回転電機の制御装置。

[請求項3] 前記複数組の巻線は、前記回転電機の固定子に設けられた複数組の３相巻線である請求項１又は２に記載の回転電機の制御装置。

[請求項4] 前記電圧指令算出部は、各組について、前記電流指令値及び前記電流検出値に基づいて、前記３相巻線に印加する３相交流の前記電圧指令値を算出し、

前記電圧制御値算出部は、各組について、前記３相交流の電流指令

値の線間電圧実効値を算出し、前記３相交流の電圧指令値の線間電圧実効値を、予め設定された最大電圧利用率で除算して、前記必要直流電圧を算出する請求項３に記載の回転電機の制御装置。

[請求項5] 前記複数組の巻線は、前記回転電機の固定子に設けられた１組又は複数組の３相巻線と、前記回転電機の回転子に設けられた１組の界磁巻線である請求項１又は２に記載の回転電機の制御装置。

[請求項6] 前記電圧指令算出部は、前記界磁巻線について、前記電流指令値及び前記電流検出値に基づいて、前記界磁巻線に印加する１相直流の前記電圧指令値を算出し、各組の前記３相巻線について、前記電流指令値及び前記電流検出値に基づいて、前記３相巻線に印加する３相交流の前記電圧指令値を算出し、

前記電圧制御値算出部は、前記界磁巻線について、前記１相直流の電圧指令値を、予め設定された界磁巻線の最大電圧利用率で除算して、前記必要直流電圧を算出し、各組の前記３相巻線について、前記３相交流の電流指令値の線間電圧実効値を算出し、前記３相交流の電圧指令値の線間電圧実効値を、予め設定された最大電圧利用率で除算して、前記必要直流電圧を算出する請求項５に記載の回転電機の制御装置。

[請求項7] 前記電圧制御値算出部は、前記共通電圧制御値を、予め設定された下限値で下限制限し、

前記電流指令算出部は、前記共通電圧制御値が減少すると、各組の前記必要直流電圧が減少する側に、各組の前記電流指令値を変化させ、

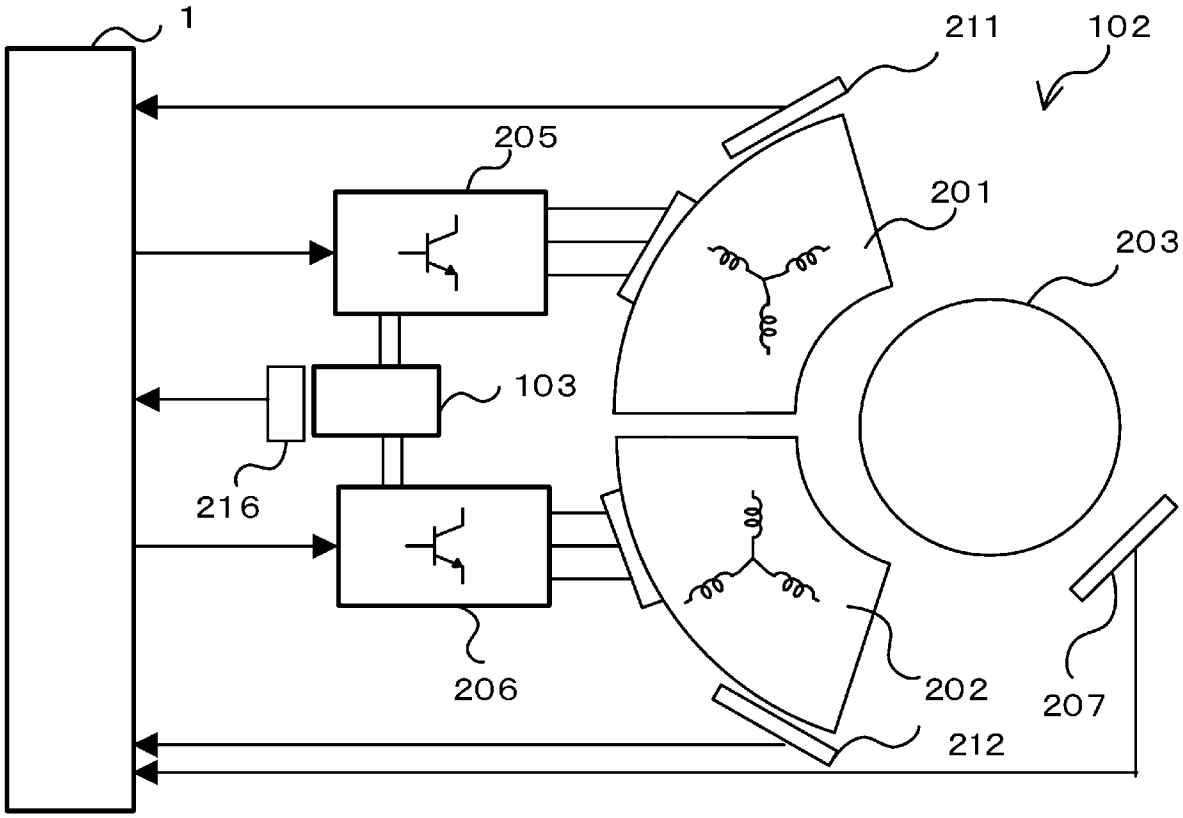
前記共通電圧制御値が前記下限値で下限制限されている場合に、前記界磁巻線の前記電流指令値を０に設定すると共に、各組の前記３相巻線の前記電流指令値を、前記界磁巻線の電流がゼロの場合の電圧制限楕円の中心点に対応した値に設定する請求項６に記載の回転電機の制御装置。

[請求項8] 前記電圧制御値算出部は、前記共通電圧制御値を、予め設定された上限値及び下限値で上下限制限し、前記共通電圧制御値を前記上限値で上限制限している、又は前記下限値で下限制限している場合は、前記共通電圧制御値を変化させないアンチワインドアップ処理を行う請求項１から７のいずれか一項に記載の回転電機の制御装置。

[請求項9] 前記電流指令算出部は、各組について、少なくとも前記共通電圧制御値と、前記電流指令値との関係が予め設定されたマップデータを参照し、少なくとも現在の前記共通電圧制御値に対応する前記電流指令値を算出する請求項１から８のいずれか一項に記載の回転電機の制御装置。

[図1]

図1



[図2]

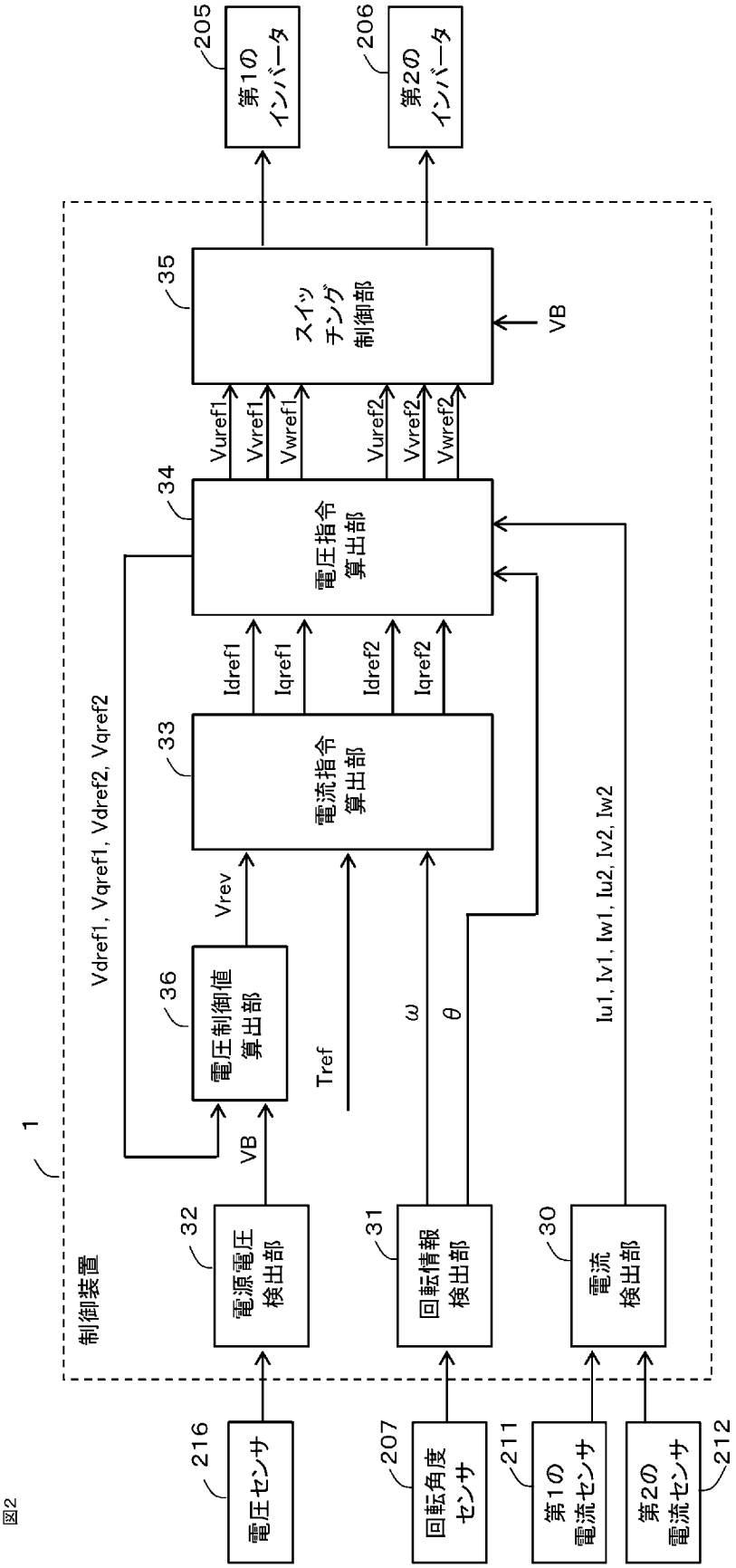
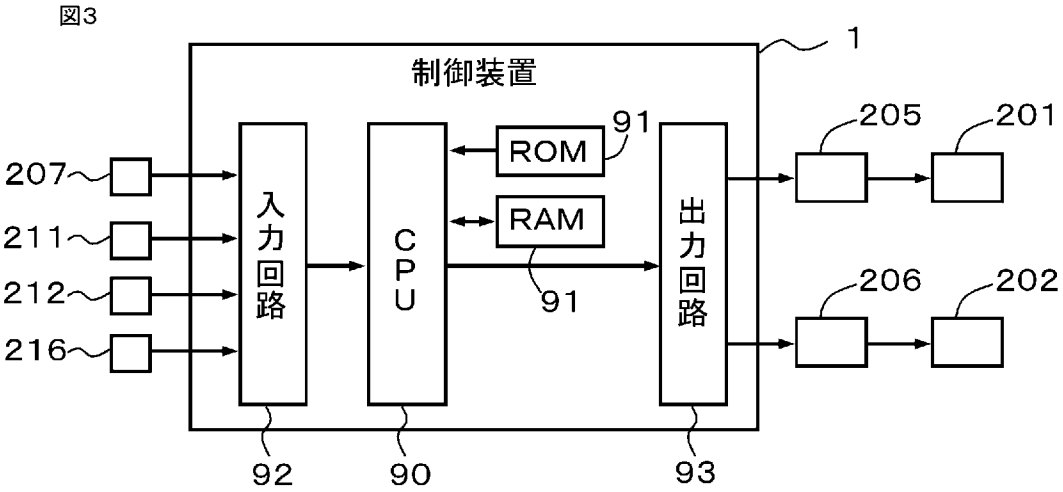

1
制御装置
205
第1の
インバータ
206
第2の
インバータ
35
スイッ
チング
制御部
VB
Vuref1
Vvref1
Vwref1
Vuref2
Vvref2
Vwref2
34
電圧指令
算出部
Idref1
Iqref1
Idref2
Iqref2
33
電流指令
算出部
Vrev
36
電圧制御値
算出部
Vdref1, Vqref1, Vdref2, Vqref2
Tref
ω
θ
Iu1, Iv1, Iw1, Iu2, Iv2, Iw2
VB
32
電源電圧
検出部
31
回転情報
検出部
30
電流
検出部
216
電圧センサ
207
回転角度
センサ
211
第1の
電流センサ
212
第2の
電流センサ

図2

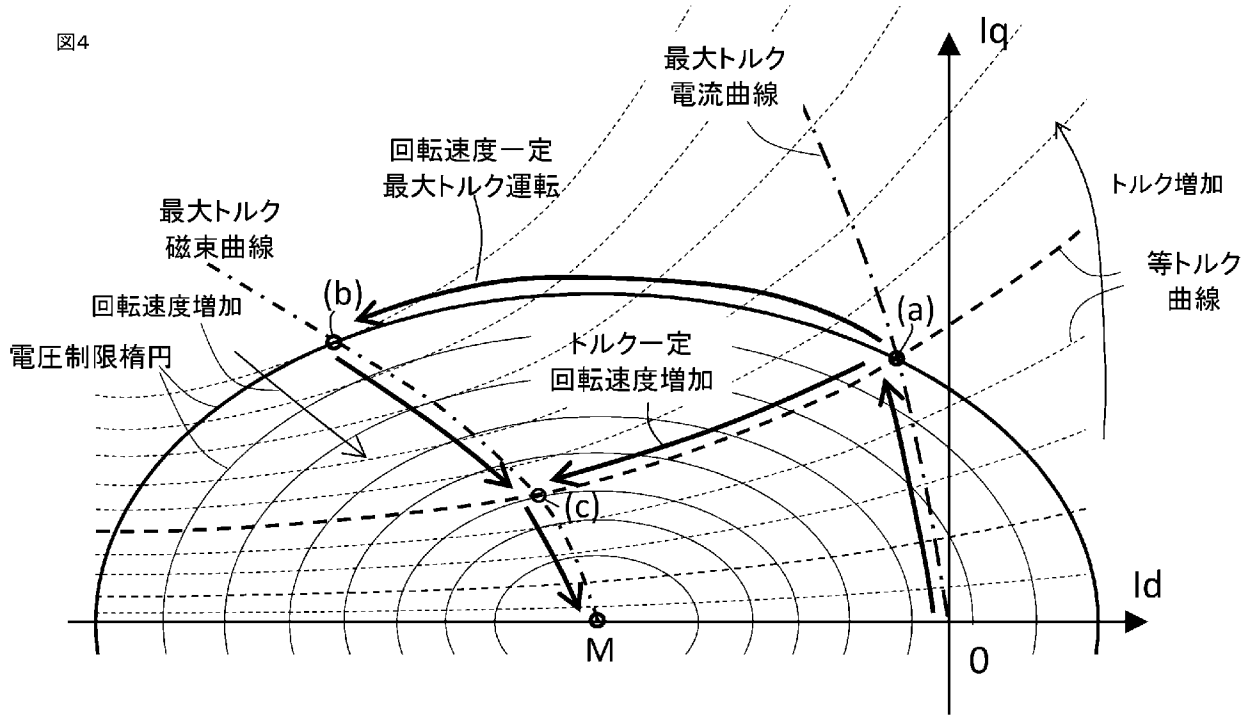
[図3]

図3


制御装置
1
ROM
91
RAM
91
207
211
212
216
入力回路
CPU
出力回路
205
201
206
202
92
90
93

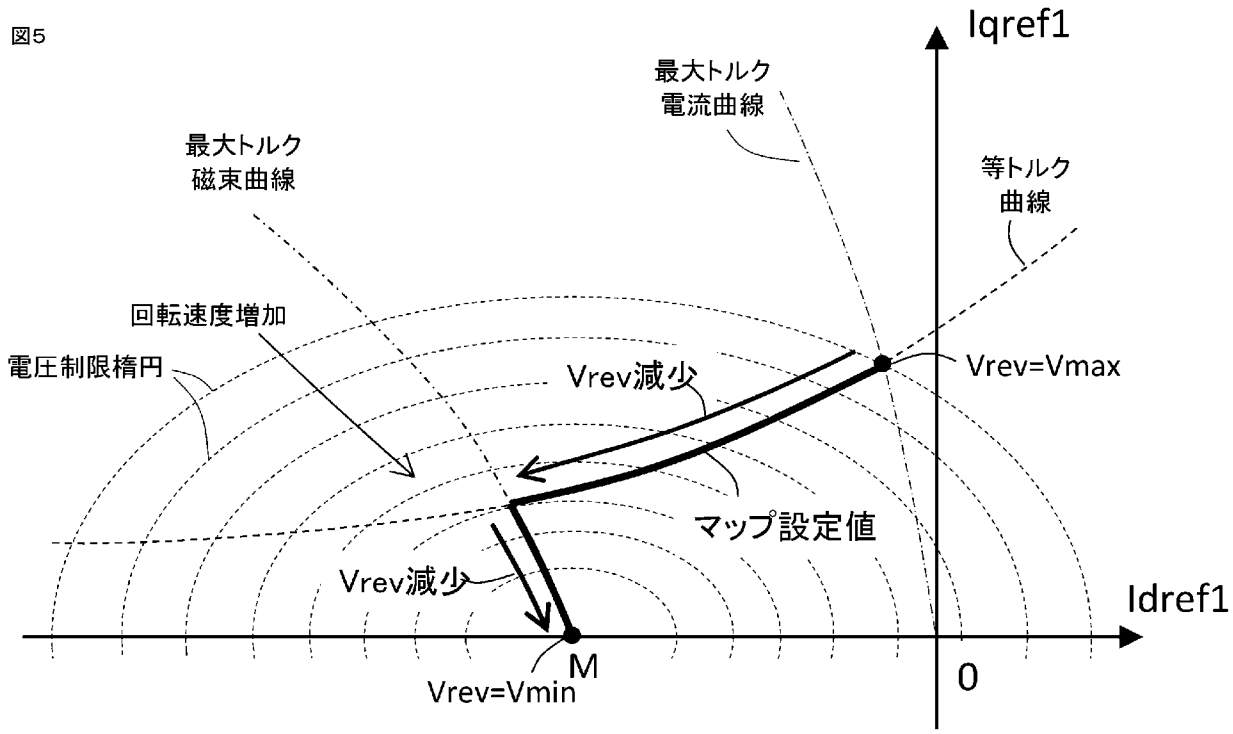
[図4]

図4


Iq
最大トルク
電流曲線
回転速度一定
最大トルク運転
トルク増加
最大トルク
磁束曲線
等トルク
曲線
回転速度増加
(b)
(a)
電圧制限楕円
トルク一定
回転速度増加
(c)
Id
M
0

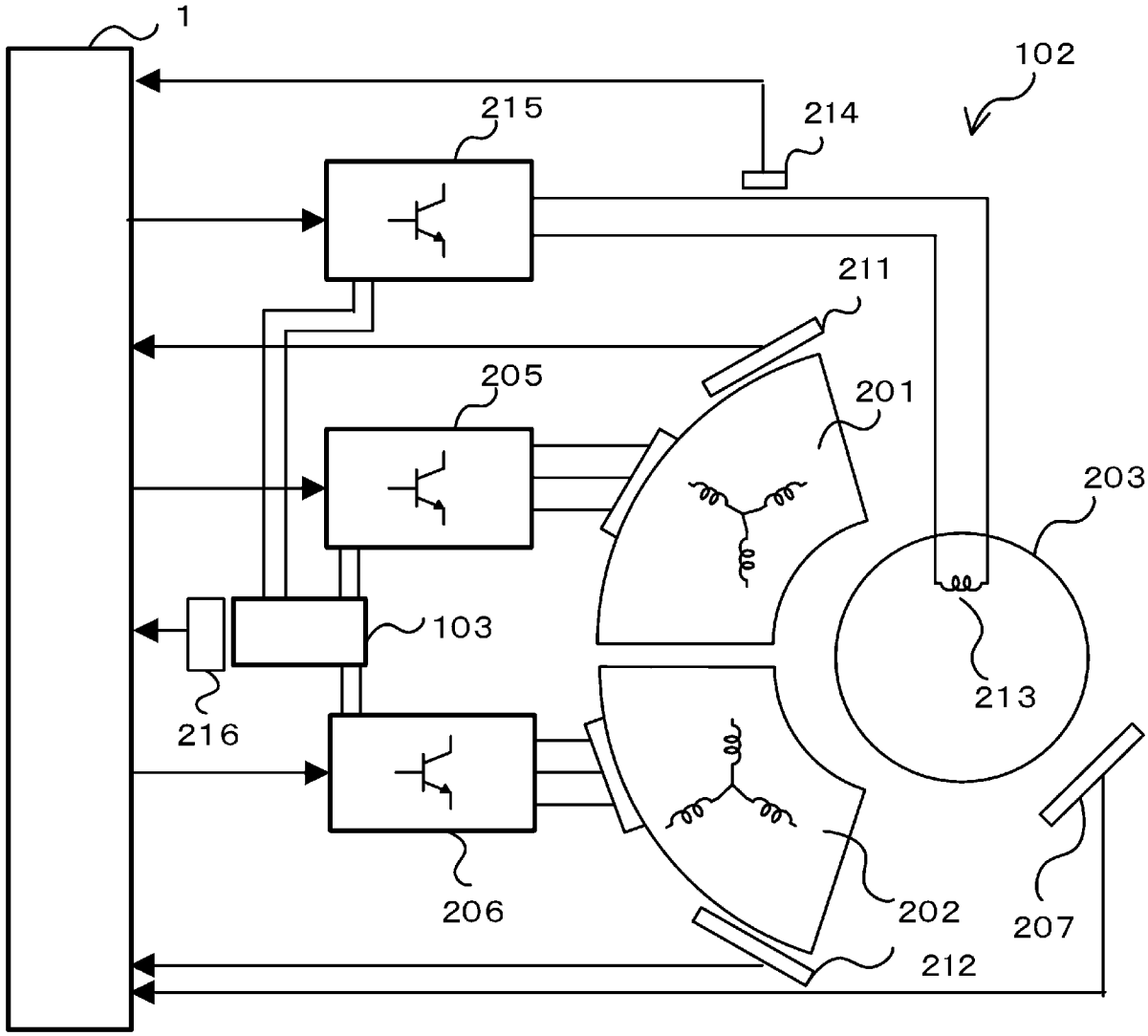
[図5]

図5


Iqref1
最大トルク
電流曲線
最大トルク
磁束曲線
等トルク
曲線
回転速度増加
電圧制限楕円
Vrev減少
Vrev=Vmax
マップ設定値
Vrev減少
Idref1
M
Vrev=Vmin
0

[図6]

図6



[図7]

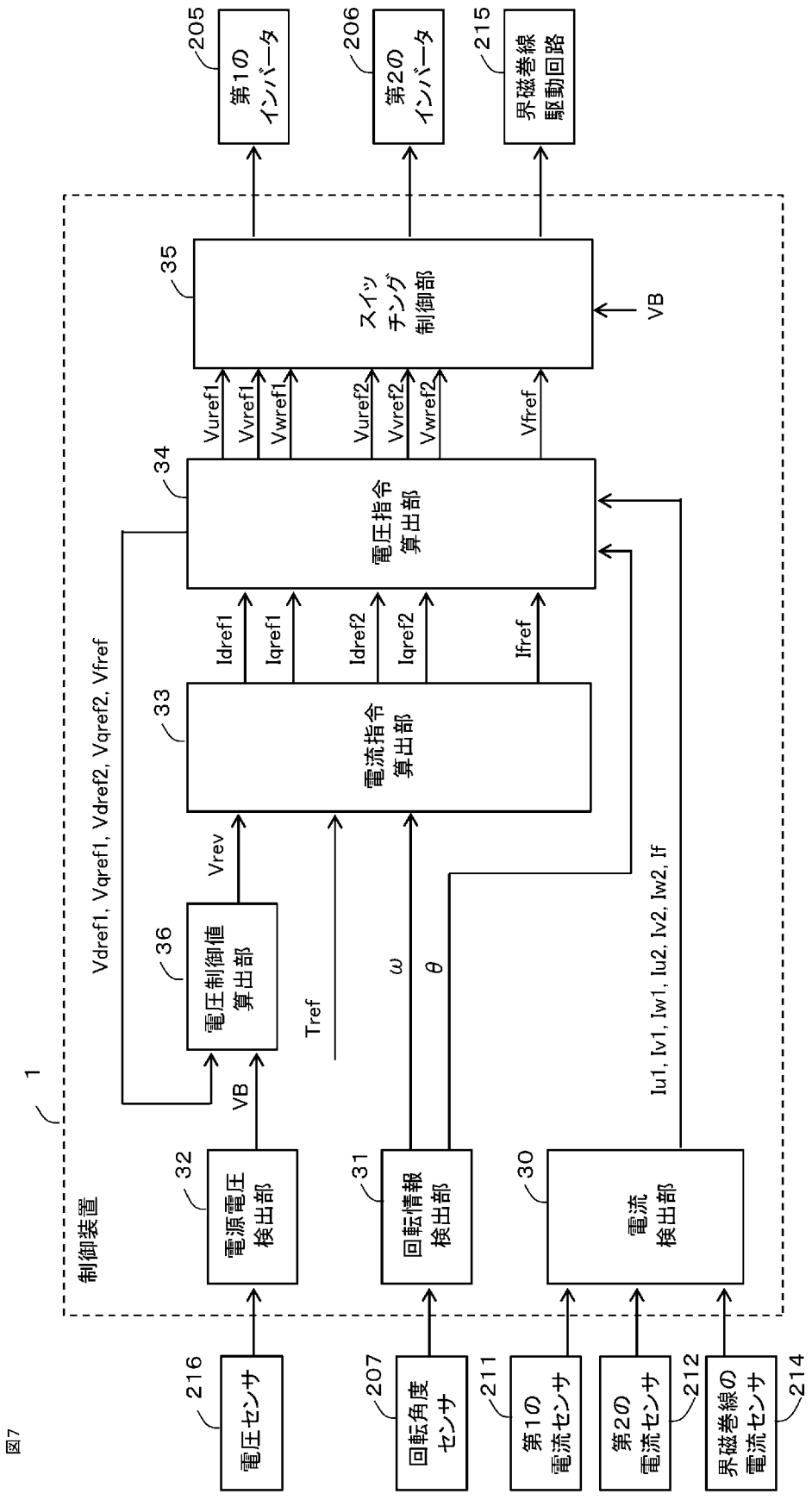
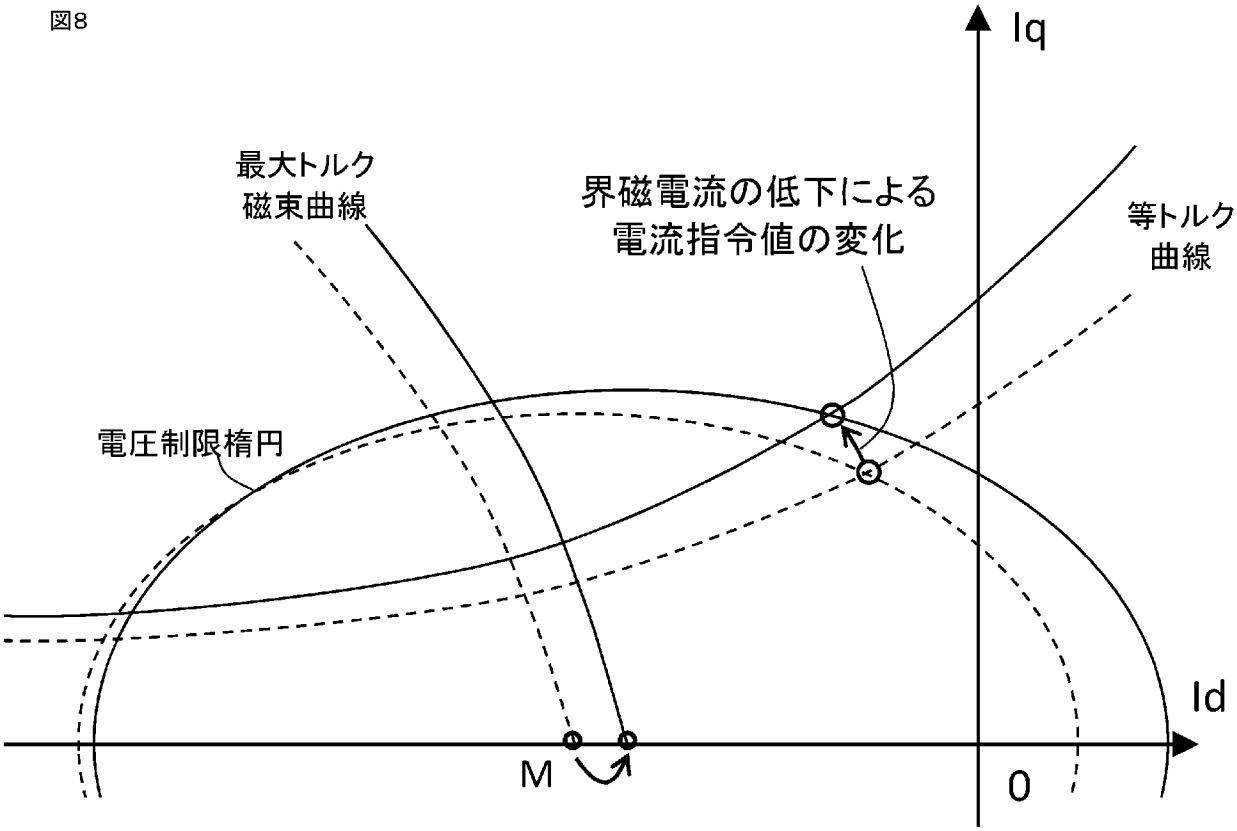

1
制御装置
205
第1の
インバータ
206
第2の
インバータ
215
界磁巻線
駆動回路
35
スイッ
チング
制御部
VB
34
電圧指令
算出部
Vuref1
Vvref1
Vwref1
Vuref2
Vvref2
Vwref2
Vfref
33
電流指令
算出部
Idref1
Iqref1
Idref2
Iqref2
Ifref
Vdref1, Vqref1, Vdref2, Vqref2, Vfref
36
電圧制御値
算出部
Vrev
Tref
ω
θ
VB
32
電源電圧
検出部
31
回転情報
検出部
30
電流
検出部
Iu1, Iv1, Iw1, Iu2, Iv2, Iw2, If
216
電圧センサ
207
回転角度
センサ
211
第1の
電流センサ
212
第2の
電流センサ
214
界磁巻線の
電流センサ

図7

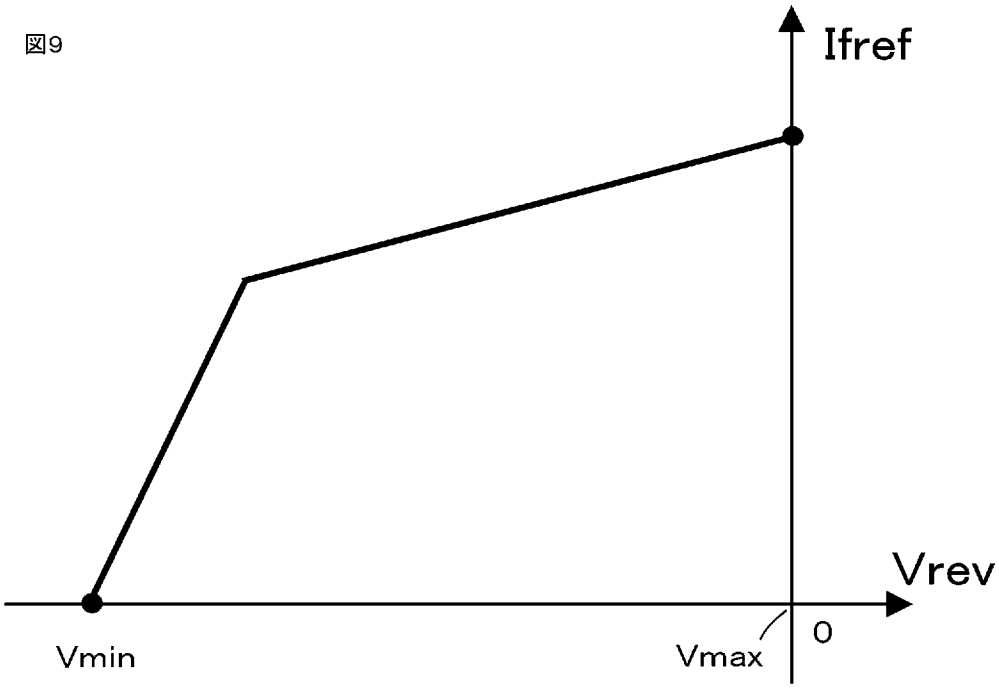
[図8]

図8


Iq
最大トルク
磁束曲線
界磁電流の低下による
電流指令値の変化
等トルク
曲線
電圧制限楕円
Id
M
0

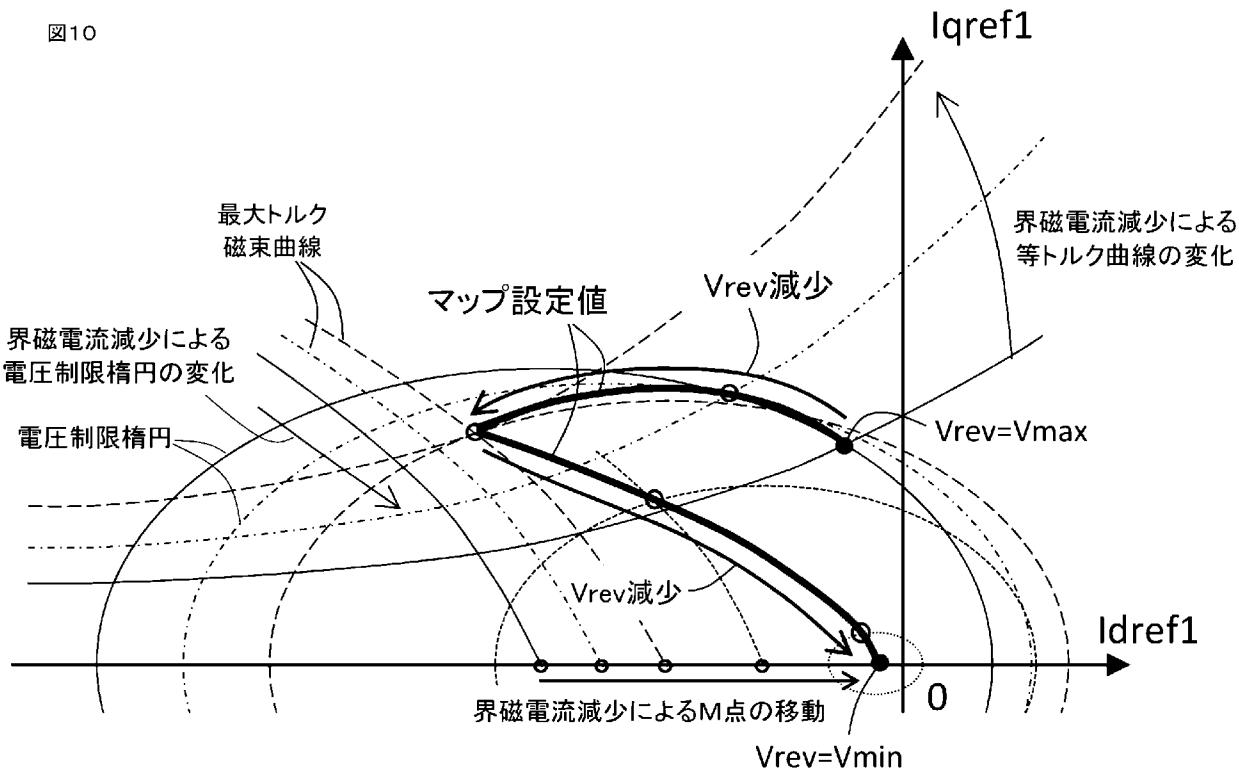
[図9]

図9


Ifref
Vrev
Vmin
Vmax
0

[図10]

図10


Iqref1
最大トルク
磁束曲線
界磁電流減少による
等トルク曲線の変化
マップ設定値
Vrev減少
界磁電流減少による
電圧制限楕円の変化
電圧制限楕円
Vrev=Vmax
Vrev減少
Idref1
0
界磁電流減少によるM点の移動
Vrev=Vmin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/000246

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H02P21/00(2016.01)i, H02P21/22(2016.01)i, H02P25/22(2006.01)i, H02P27/08(2006.01)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. H02P21/00, H02P21/22, H02P25/22, H02P27/08

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.
A	JP 2012-200073 A (AISIN AW CO., LTD.) 18 October 2012, entire text, all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2007-151366 A (HITACHI, LTD.) 14 June 2007, entire text, all drawings & US 2007/0120520 A1, entire text, all drawings & EP 1792770 A2 & CN 1974261 A	1-9
A	JP 2016-10188 A (DENSO CORPORATION) 18 January 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-9

☐ 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	Date of mailing of the international search report
23.03.2018	03.04.2018

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０００２４６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P21/00(2016.01)i, H02P21/22(2016.01)i, H02P25/22(2006.01)i, H02P27/08(2006.01)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.　H02P21/00, H02P21/22, H02P25/22, H02P27/08

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
A	JP 2012-200073 A (アイシン・エィ・ダブリュ株式会社) 2012.10.18, 全文、全図（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2007-151366 A (株式会社日立製作所) 2007.06.14, 全文、全図 & US 2007/0120520 A1, 全文、全図 & EP 1792770 A2 & CN 1974261 A	1-9
A	JP 2016-10188 A (株式会社デンソー) 2016.01.18, 全文、全図（ファミリーなし）	1-9

☐　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	国際調査報告の発送日
２３．０３．２０１８	０３．０４．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　３Ｖ　４６５６
田村　惠里加
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７