

(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
2013年2月14日(14.02.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/021998 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 21/00 (2006.01) H02P 27/04 (2006.01)
B60L 9/18 (2006.01) B60L 11/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/070095
- (22) 国際出願日: 2012年8月7日(07.08.2012)
- (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 2011-173220 2011年8月8日(08.08.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): アイシン・エイ・ダブリュ株式会社(AISIN AW CO., LTD.) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根10番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 白村陽明(HAKUMURA Yomei) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 小林弘和(KOBAYASHI Hirokazu) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根10番地 アイシン・エイ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 北村修一郎, 外(KITAMURA Shuichiro et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目3番3号 Osaka (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, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

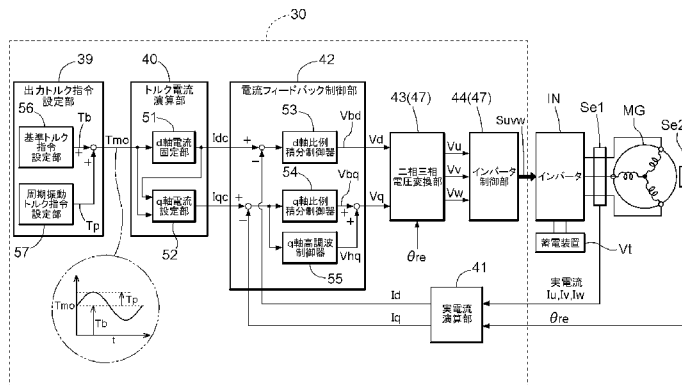
添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: 制御装置

[図1]



- 39 Output torque command setting unit
- 56 Reference torque command setting unit
- 57 Periodic vibration torque command setting unit
- 40 Torque current calculation unit
- 51 d-axis current fixing unit
- 52 q-axis current setting unit
- 42 Current feedback control unit
- 53 d-axis proportional-integral controller
- 54 q-axis proportional-integral controller
- 55 q-axis harmonic controller
- 43(47) Two-phase to three-phase voltage conversion unit
- 41 Actual current calculation unit
- 44(47) Inverter control unit
- IN Inverter
- VT Electric storage device
- Iu, Iv, Iw Actual current

(57) Abstract: In order to obtain a rotating electrical machine control device capable of preventing a vibrational component from being produced in a current command even when periodic torque vibration is contained in a torque command when the current command is calculated on the basis of the torque command, a rotating electrical machine control device is provided with: a torque current calculation unit which calculates a two-phase current command on the basis of a torque command; an actual current calculation unit which calculates a two-phase actual current; a current feedback control unit which changes a two-phase voltage command such that the two-phase actual current approaches the two-phase current command; and a voltage control unit which controls applied voltage on the basis of the two-phase voltage command. When periodic torque vibration is contained in the torque command, the torque current calculation unit performs first axis command fixing control for fixing a first axis current command at a predetermined value and vibrating a second axis current command in accordance with the torque vibration.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2013/021998 A1



トルク指令に基づいて電流指令を演算する際に、トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合であっても、電流指令に振動成分が生じることを抑制できる回転電機の制御装置が求められる。トルク指令に基づいて二相電流指令を演算するトルク電流演算部と、二相実電流を演算する実電流演算部と、二相電圧指令を二相実電流が二相電流指令に近づくように変化させる電流フィードバック制御部と、二相電圧指令に基づいて印加電圧を制御する電圧制御部と、を備え、トルク電流演算部は、トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合に、第一軸電流指令を所定値に固定すると共に、第二軸電流指令を前記トルク振動に合わせて振動させる第一軸指令固定制御を実行する回転電機の制御装置。

明 細 書

発明の名称 : 制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、ロータを有する回転電機を制御するための制御装置に関する。

背景技術

[0002] 上記のような制御装置に関して、例えば下記の特許文献1には、回転電機が内燃機関に連結され、内燃機関から伝達される周期的なトルク振動を制振するためのトルクを回転電機に出力させる技術が開示されている。この際、回転電機に対するトルク指令は、伝達トルク振動の逆位相のトルク指令とされる。

[0003] しかしながら、トルク指令に周期的なトルク振動が含まれると、トルク指令に基づいて電流指令を演算する際に、電流指令にトルク振動の周波数よりも高次の周波数の振動成分が生じる。このため、電流指令に対する実電流の良好な追従性能を得るための電流フィードバック制御系の設計が難しくなる恐れがあった。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2006-33969号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] そこで、トルク指令に基づいて電流指令を演算する際に、トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合であっても、電流指令に振動成分が生じることを抑制できる回転電機の制御装置が求められる。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明に係る、ロータを有する回転電機を制御するための制御装置の特徴構成は、前記ロータの電気角に同期して回転する二軸の回転座標系である二軸回転座標系を用い、前記回転電機に出力させるトルク指令に基づいて、前

記回転電機に流す電流の指令値を前記二軸回転座標系で表した二相電流指令を演算するトルク電流演算部と、前記回転電機に流れる実電流に基づいて、前記二軸回転座標系で表した二相実電流を演算する実電流演算部と、前記回転電機に印加する電圧指令を前記二軸回転座標系で表した二相電圧指令を、前記二相実電流が前記二相電流指令に近づくように変化させる電流フィードバック制御部と、前記二相電圧指令に基づいて、前記回転電機に印加する電圧を制御する電圧制御部と、を備え、前記二軸回転座標系は、前記ロータに備えられた磁石の界磁磁束の方向に定められた第一軸と、前記第一軸に対して電気角で90度異なる方向に定められた第二軸と、からなり、前記トルク電流演算部は、前記トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合に、前記二相電流指令の前記第一軸成分である第一軸電流指令を所定値に固定すると共に、前記二相電流指令の前記第二軸成分である第二軸電流指令を前記トルク振動に合わせて振動させる第一軸指令固定制御を実行する点にある。

[0007] なお、本願において「回転電機」は、モータ（電動機）、ジェネレータ（発電機）、及び必要に応じてモータ及びジェネレータの双方の機能を果たすモータ・ジェネレータのいずれをも含む概念として用いている。

[0008] 上記の特徴構成によれば、第一軸電流指令が所定値に固定されるので、トルク指令に基づいて二相電流指令を演算する際に、第一軸電流指令に発生する周期的な振動成分を0まで低減することができ、第二軸電流指令に発生する周期的な振動成分を、トルク指令に含まれる振動成分と同様の振動成分に抑制することができる。

よって、トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合でも、第一軸電流指令に対する実電流の追従性能の悪化を抑制することができ、第二軸電流指令に対する実電流の追従性能の悪化を最小限に抑制することができる。このため、トルク指令が周期的に振動している場合でも、トルク指令に対する出力トルクの追従性の悪化を抑制することができる。

[0009] ここで、基本制御線は、前記トルク指令に前記トルク振動が含まれない場合に、当該トルク指令に応じた出力トルクを前記回転電機に出力させる制御

である基本制御のための二相電流指令を規定するものであって、前記二軸回転座標系において、原点から前記第二軸電流指令の絶対値が大きくなるに従って前記第一軸電流指令が負方向に大きくなる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記二軸回転座標系において、前記二相電流指令の振動軌跡が前記基本制御線と少なくとも一箇所で交わるように、前記第一軸電流指令を決定すると好適である。

[0010] この構成によれば、二相電流指令を、基本制御線と接して、又は基本制御線を跨いで振動させることができ、二相電流指令を、基本制御線に近づけることができる。よって、第一軸指令固定制御を実行する場合でも、基本制御が狙いとしている効果をできるだけ低減させずに維持させることができる。

[0011] ここで、前記電流フィードバック制御部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記二相電圧指令の前記第一軸成分である第一軸電圧指令を、前記第一軸電流指令と前記二相実電流の第一軸成分との偏差に基づいて比例積分演算により算出し、前記二相電圧指令の前記第二軸成分である第二軸電圧指令を、前記第二軸電流指令と前記二相実電流の第二軸成分との偏差に基づいて、比例積分演算、及び前記トルク振動の周波数の周期関数の特性を有する高調波モデルを用いた演算により算出すると好適である。

[0012] 上記のように、トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合でも、第一軸電流指令には周期的な振動成分が含まれないので、比例積分演算により、追従性高く第一軸電流指令に対する実電流を制御できる。また、第二軸電流指令には周期的な振動成分が含まれるが、トルク指令に含まれる振動成分と同様の振動成分なので、比例積分演算に加えて、トルク振動の周波数に対応した高調波モデルを用いた演算を行うことにより、第二軸電流指令に対する実電流の追従性が悪化することを抑制できる。従って、トルク指令が周期的に振動しても、トルク指令に対する出力トルクの追従性の悪化を抑制することができる。

また、第二軸の電流フィードバック制御系に対してのみ、高調波モデルを

用いた演算が行われ、高調波モデルは、トルク振動の周波数のみに対応しているので、演算処理の複雑化及び制御装置の演算負荷の増大を抑制することができる。

[0013] ここで、基本制御線は、前記トルク指令に前記トルク振動が含まれない場合に、当該トルク指令に応じた出力トルクを前記回転電機に出力させる制御である基本制御のための二相電流指令を規定するものであって、前記二軸回転座標系において、原点から前記第二軸電流指令の絶対値が大きくなるに従って前記第一軸電流指令が負方向に大きくなる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、振動中心等トルク曲線は、前記二軸回転座標系において、前記回転電機の出力トルクが前記トルク指令の振動中心値となる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記基本制御線と前記振動中心等トルク曲線との交点により定まる値に前記第一軸電流指令を決定すると好適である。

[0014] この構成によれば、周期的なトルク振動が含まれていない場合のトルク指令に相当する振動中心値に基づいて、基本制御線上に、第一軸電流指令を決定するように構成できる。第一軸電流指令の決定を基本制御の処理を用いて実行することができるので、演算処理の複雑化及び制御装置の演算負荷の増大を抑制することができる。

[0015] ここで、基本制御線は、前記トルク指令に前記トルク振動が含まれない場合に、当該トルク指令に応じた出力トルクを前記回転電機に出力させる制御である基本制御のための二相電流指令を規定するものであって、前記二軸回転座標系において、原点から前記第二軸電流指令の絶対値が大きくなるに従って前記第一軸電流指令が負方向に大きくなる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、絶対値最大等トルク曲線は、前記二軸回転座標系において、前記回転電機の出力トルクが前記トルク指令の振動最大値及び振動最小値の何れか絶対値の大きい方となる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、前記トルク電

流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記基本制御線と前記絶対値最大等トルク曲線との交点により定まる値に前記第一軸電流指令を決定すると好適である。

[0016] この構成によれば、二相電流指令の振動軌跡は、二軸回転座標系において、基本制御線に対して第一軸電流指令の負方向側の領域（以下、第一軸負側領域と称する）内に位置することとなる。この第一軸負側領域は、二軸回転座標系を用いた回転電機の制御（例えば、弱め磁束制御）において通常用いられる領域と重複する。このため、第一軸負側領域では、回転電機の出力トルクと、二相電流指令との関係特性が精度よく同定されている場合が多い。このような関係特性に基づいて第一軸指令固定制御における第一軸電流指令を算出することができ、その算出精度を向上させることができる。よって、トルク指令が周期的に振動している場合でも、出力トルクをトルク指令に精度良く一致させることができる。

[0017] ここで、前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記トルク振動の一周期中に前記回転電機に流れる電流量が最小となるように、前記第一軸電流指令を決定すると好適である。

[0018] この構成によれば、第一軸指令固定制御を実行する際に、1周期中に回転電機に流れる電流量を最小にすることができ、コイルの抵抗による発熱、すなわち銅損を最小化することができる。

[0019] ここで、前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記第一軸電流指令を0に決定すると好適である。

[0020] この構成によれば、第一軸電流指令を0に設定するだけなので、第一軸電流指令を固定する演算処理を最小化することができる。また、第一軸電流指令が0に設定されるので、第二軸電流指令を設定する演算処理を簡単化することができる。よって、演算処理の複雑化及び制御装置の演算負荷の増大を抑制することができる。

[0021] ここで、前記トルク振動が正弦波状であると好適である。

[0022] この構成によれば、第二軸電流指令も正弦波状にすることができ、第二軸

の電流フィードバック制御系を簡単化することができる。

[0023] ここで、前記基本制御線が、前記回転電機を流れる電流の大きさに対して前記回転電機の出力トルクが最大となる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡である最大トルク電流曲線であると好適である。

[0024] この構成によれば、第一軸指令固定制御を実行する際に、電流トルク変換効率を高く維持することができる。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1]本発明の実施形態に係る制御装置の構成を示すブロック図である。
[図2]本発明の実施形態に係る二軸回転座標系を説明するための図である。
[図3]本発明の実施形態とは異なる比較例の処理を説明するための図である。
[図4]本発明の実施形態とは異なる比較例の処理を説明するための図である。
[図5]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するための図である。
[図6]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するための図である。
[図7]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するための図である。
[図8]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するための図である。
[図9]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するための図である。
[図10]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するための図である。
[図11]本発明の実施形態に係る制御装置の処理を説明するタイムチャートである。
[図12]本発明のその他の実施形態に係る回転電機及び制御装置の概略構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0026] 本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

回転電機MGは、ロータ及びステータを有している。ステータは、非回転部材に固定され、ロータは、当該ステータの径方向内側に回転自在に支持されている。本実施形態では、回転電機MGは、ロータ内部に永久磁石を埋め込んだ埋込磁石同期電動機(IPMSM)とされている。なお、永久磁石の代わりに

電磁石が備えられていてもよい。

図1に示すように、回転電機MGのステータに備えられた三相のコイルは、直流交流変換を行うインバータINを介して蓄電装置Vtに電氣的に接続されている。そして、回転電機MGは、電力の供給を受けて動力を発生するモータ（電動機）としての機能と、動力の供給を受けて電力を発生するジェネレータ（発電機）としての機能と、を果たすことが可能とされている。インバータINは、蓄電装置Vtの直流電力を交流電力に変換して回転電機MGを駆動するため、或いは回転電機MGが発電した交流電力を直流電力に変換して蓄電装置Vtに充電するための複数のスイッチング素子を備えている。

[0027] 回転電機MGを制御するための制御装置30は、図1に示すように、出力トルク指令設定部39、トルク電流演算部40、実電流演算部41、電流フィードバック制御部42、電圧制御部47としての二相三相電圧変換部43及びインバータ制御部44を備えている。

出力トルク指令設定部39は、回転電機MGに出力させるトルク指令である出力トルク指令値 T_m を設定する。トルク電流演算部40は、出力トルク指令値 T_m に基づいて、回転電機MGに流す電流の指令値をdq軸回転座標系で表した二相電流指令 I_d 、 I_q を演算する。実電流演算部41は、回転電機MGに流れる実電流に基づいて、dq軸回転座標系で表した二相実電流 I_d 、 I_q を演算する。電流フィードバック制御部42は、回転電機MGに印加する電圧指令をdq軸回転座標系で表した二相電圧指令 V_d 、 V_q を、二相実電流 I_d 、 I_q が二相電流指令 I_d 、 I_q に近づくように変化させる。そして、二相三相電圧変換部43及びインバータ制御部44は、二相電圧指令 V_d 、 V_q に基づいて、回転電機MGに印加する電圧を制御する。

[0028] ここで、dq軸回転座標系は、図2にモデルを示すように、ロータの電気角に同期して回転するd軸及びq軸からなる二軸の回転座標系である。

d軸は、ロータに備えられた磁石の界磁磁束の方向（N極方向）に定めら

れ、q軸は、d軸に対して電気角で90度異なる方向（本例では、90度位相が進んだ方向）に定められている。なお、q軸は、d軸に対して電気角で90度位相が遅れた方向に定められてもよい。

本実施形態では、ステータに備えられたU相コイルを基準にした場合の、d軸（磁極）の電気角を磁極位置 θ_{re} とし、d軸（磁極）の電気角速度を磁極回転速度 ω_{re} とする。

[0029] このような構成において、トルク電流演算部40は、図1に示すように、d軸電流固定部51及びq軸電流設定部52を備えている。そして、トルク電流演算部40は、出力トルク指令値 T_m に周期的なトルク振動が含まれる場合に、d軸電流固定部51により、二相電流指令のd軸成分であるd軸電流指令 I_{dc} を所定値に固定すると共に、q軸電流設定部52により、二相電流指令のq軸成分であるq軸電流指令 I_{qc} をトルク振動に合わせて振動させるd軸指令固定制御を実行する点に特徴を有している。

なお、dq軸回転座標系が、本発明における「二軸回転座標系」に相当し、d軸が、本発明における「第一軸」に相当し、q軸が、本発明における「第二軸」に相当し、d軸電流指令 I_{dc} が、本発明における「第一軸電流指令」に相当し、q軸電流指令 I_{qc} が、本発明における「第二軸電流指令」に相当し、d軸指令固定制御が、本発明における「第一軸指令固定制御」に相当する。

以下、本実施形態に係る制御装置30について、詳細に説明する。

[0030] 1. 制御装置30の構成

次に、回転電機MGを制御するための制御装置30の構成について説明する。

制御装置30は、CPU等の演算処理装置を中核部材として備えるとともに、当該演算処理装置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（ランダム・アクセス・メモリ）や、演算処理装置からデータを読み出し可能に構成されたROM（リード・オンリ・メモリ）等の記憶装置等を有して構成されている。そして、制御装置30のROM等に記憶されたソ

フトウェア（プログラム）又は別途設けられた演算回路等のハードウェア、或いはそれらの両方により、図1に示すような制御装置30の機能部39～47などが構成されている。

[0031] 制御装置30には、センサS e 1、S e 2から出力される電気信号が入力される。制御装置30は、入力された電気信号に基づき各センサの検出情報を算出する。

電流センサS e 1は、各相のコイルに流れる電流を検出するためのセンサであり、インバータINと各相のコイルとをつなぐ電線上に備えられている。制御装置30は、電流センサS e 1の入力信号に基づいて各相のコイルを流れる実電流I u、I v、I wを検出する。

回転速度センサS e 2は、ロータの回転速度及び回転角度を検出するためのセンサであり、ロータの回転軸に取り付けられている。制御装置30は、回転速度センサS e 2の入力信号に基づいて、回転電機MGの磁極位置 θ_{re} 、磁極回転速度 ω_{re} を検出する。なお、回転速度センサS e 2として、レゾルバ、又はロータリエンコーダなどが用いられる。

[0032] 制御装置30は、回転電機MGの動作制御を行う制御装置である。図1に示すように、制御装置30は、出力トルク指令設定部39、トルク電流演算部40、実電流演算部41、電流フィードバック制御部42、二相三相電圧変換部43、及びインバータ制御部44の機能部を備えており、各機能部が協働して、出力トルク指令値T m oのトルクを回転電機MGに出力させるように制御する。

[0033] 1-1. 出力トルク指令値の設定

出力トルク指令値T m oには、周期的なトルク振動が含まれる場合がある。

本実施形態では、出力トルク指令設定部39は、出力トルク指令値T m oに含まれる周期的なトルク振動成分となる振動トルク指令値T pを算出する周期振動トルク指令設定部57と、周期的なトルク振動成分を含まない指令値であって、振動している出力トルク指令値T m oの中心値となる基準トル

ク指令値 T_b を算出する基準トルク指令設定部 56 と、を備えるように構成されている。そして、出力トルク指令設定部 39 は、基準トルク指令値 T_b と、振動トルク指令値 T_p と、を加算した値を、出力トルク指令値 T_{mo} として設定するように構成されている。なお、出力トルク指令値 T_{mo} が、本発明における「トルク指令」に相当する。

本実施形態では、出力トルク指令値 T_{mo} に含まれる周期的なトルク振動は、正弦波状にされている。

具体的には、振動トルク指令値 T_p は、式 (1) に示すように、トルク振動周波数 ω_p (角周波数) の正弦波とされている。

[数1]

$$T_p(t) = \Delta T_p \sin(\omega_p t) \quad \dots (1)$$

ここで、 ΔT_p は、振動トルク指令値 T_p の振幅である。なお、振動トルク指令値 T_p は、余弦波とされてもよい。

[0034] 1-2. トルク制御及び電流フィードバック制御

制御装置 30 は、出力トルク指令値 T_{mo} に基づいて電流指令を算出し、ベクトル制御法を用いた電流フィードバック制御により回転電機 MG の制御を行うように構成されている。ベクトル制御では、電流指令を dq 軸回転座標系で設定し、各相のコイルに流れる実電流 I_u 、 I_v 、 I_w を、磁極位置 θ_{re} に基づき、 dq 軸回転座標系で表した二相実電流 I_d 、 I_q に変換し、二相実電流 I_d 、 I_q が電流指令に近づくように、回転電機 MG に印加する電圧を制御する電流フィードバック制御を行う。以下、本実施形態に係わるトルク制御及び電流フィードバック制御について詳細に説明する。

[0035] 1-2-1. トルク電流演算部 40

トルク電流演算部 40 は、回転電機 MG に出力させる出力トルク指令値 T_{mo} に基づいて、回転電機 MG に流す電流の指令値を dq 軸回転座標系で表した二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を演算する機能部である。

本実施形態では、トルク電流演算部 40 は、出力トルク指令値 T_{mo} のトルクを回転電機 MG に出力させるような d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指

令 I_{qc} を算出するように構成されている。

[0036] 回転電機MGの出力トルク T_m と、d軸実電流 I_d 及びq軸実電流 I_q との関係は、式(2)で示すように表せる。

[数2]

$$T_m = P_n(\Phi + (L_d - L_q)I_d)I_q \quad \dots (2)$$

ここで、 Φ は、永久磁石による鎖交磁束であり、 L_d は、コイルのd軸インダクタンスであり、 L_q は、コイルのq軸インダクタンスであり、 P_n は、極対数である。埋込磁石構造では、 $L_d < L_q$ の突極性となる。

[0037] <等トルク曲線>

式(2)から、回転電機MGに同じ大きさの出力トルク T_m を出力させるような、d軸電流指令 I_{dc} 及びq軸電流指令 I_{qc} の組み合わせは無数に存在することがわかる。このことは、図3(a)に示されている等トルク曲線からもわかる。ここで、等トルク曲線は、dq軸回転座標系において、回転電機MGに同じ大きさの出力トルク T_m を出力させるd軸実電流 I_d 及びq軸実電流 I_q からなる座標点の軌跡である。

この等トルク曲線は、式(2)をq軸実電流 I_q について整理した式(3)により規定される。

[数3]

$$I_q = \frac{T_m}{P_n(\Phi + (L_d - L_q)I_d)} \quad \dots (3)$$

なお、等トルク曲線は、実験的に求められたものであってもよい。

式(3)から、等トルクの条件、すなわち、出力トルク T_m を所定値に固定した条件では、q軸実電流 I_q は、 $(L_d - L_q)$ が負の値になるため、図3(a)にも示すように、d軸実電流 I_d が0から減少するに従い、出力トルク T_m が正の値である場合は0に向かって減少し、出力トルク T_m が負の値である場合は0に向かって増加し、出力トルク T_m が0である場合は0になることがわかる。

また、q軸実電流 I_q は、出力トルク T_m が0から増加するに従い0から

増加し、出力トルク T_m が 0 から減少するに従い 0 から減少することがわかる。

[0038] トルク電流演算部 40 は、出力トルク指令値 T_{mo} となる、無数にある d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} の組み合わせから、出力トルク指令値 T_{mo} に基づいて、d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} を決定するように構成されている。

本実施形態では、トルク電流演算部 40 は、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を決定するに際し、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動が含まれない場合には、基本制御を実行し、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動が含まれる場合には、d 軸指令固定制御を実行するように構成されている。

以下、基本制御、及び d 軸指令固定制御について説明する。

[0039] 1-2-1-1. 基本制御

トルク電流演算部 40 は、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動が含まれない場合には、出力トルク指令値 T_{mo} に基づいて、図 3 (a) に示すような基本制御線上に、d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} を決定する基本制御を実行するように構成されている。

ここで、基本制御線は、出力トルク指令値 T_{mo} にトルク振動が含まれない場合に、出力トルク指令値 T_{mo} に応じた出力トルク T_m を回転電機 MG に出力させる基本制御のための二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を規定するものである。そして、基本制御線は、図 3 (a) に示すように、d q 軸回転座標系において、原点から q 軸電流指令 I_{qc} の絶対値が大きくなるに従って d 軸電流指令 I_{dc} が負方向に大きくなる d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} からなる座標点の軌跡である。

[0040] 本実施形態では、基本制御線は、回転電機 MG を流れる電流 I の大きさに対して回転電機 MG の出力トルク T_m が最大となる d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} からなる座標点の軌跡である最大トルク電流曲線とされている。

ここで、回転電機MGを流れる電流Iの大きさは、蓄電装置VtからインバータINを介して回転電機MGに流れる電流の大きさ、又は回転電機MGからインバータINを介して蓄電装置Vtに流れる電流の大きさであり、dq軸回転座標系で表す場合は、原点から、d軸実電流Id及びq軸実電流Iqからなる座標点に向かう電流ベクトルの大きさとなり、式(4)で表せる。

[数4]

$$I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \quad \dots (4)$$

[0041] 最大トルク電流曲線は、理論的には、式(5)により規定される。

[数5]

$$I_d = \frac{\Phi}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\frac{\Phi^2}{4(L_q - L_d)^2} + I_q^2} \quad \dots (5)$$

なお、最大トルク電流曲線は、実験的に求められたものであってもよい。

最大トルク電流曲線は、図3(a)に示すように、dq軸回転座標系において、q軸電流指令Iqc(q軸実電流Iq)が0から増加するに従って、又は0から減少するに従って、d軸電流指令Idc(d軸実電流Id)が0から減少するd軸電流指令Idc及びq軸電流指令Iqcからなる座標点の軌跡である。

[0042] このように、本実施形態では、トルク電流演算部40は、出力トルク指令値Tmoにトルク振動が含まれない場合に実行される基本制御として、回転電機MGを流れる同一電流Iに対して回転電機MGの出力トルクTmを最大にするような二相電流指令Idc、Iqcを算出する最大トルク電流制御を実行するように構成されている。

[0043] あるいは、トルク電流演算部40は、基本制御として、最大トルク磁束制御、及び弱め磁束制御などの各種制御方式を実行するように構成されてもよい。そして、基本制御線は、これらの制御方式によって定まる電流線であってもよい。もしくは、基本制御は、基本制御線が一意的に定まらないような

制御方式であってもよい。

ここで、最大トルク磁束制御は、回転電機MGの同一出力トルク T_m 発生時に鎖交磁束が最小となるように、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を算出する制御方法である。弱め磁束制御は、負のd軸電流を流すことで、d軸電機子反作用による減磁効果を利用してd軸方向の磁束を減少させるように、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を算出する制御方法である。

[0044] トルク電流演算部40は、図3(a)に示すように、出力トルク指令値 T_{mo} が0から増加するにつれ、最大トルク電流曲線（基本制御線）に沿って、q軸電流指令 I_{qc} を0から増加させ、d軸電流指令 I_{dc} を0から減少させる。一方、トルク電流演算部40は、出力トルク指令値 T_{mo} が0から減少するにつれ、最大トルク電流曲線に沿って、q軸電流指令 I_{qc} を0から減少させ、d軸電流指令 I_{dc} を0から減少させる。図3(b)(c)に、出力トルク指令値 T_{mo} に対する各電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の関係特性示すように、d軸電流指令 I_{dc} は、出力トルク指令値 T_{mo} が0未満の場合は、出力トルク指令値 T_{mo} の増加に対して単調増加するように算出され、出力トルク指令値 T_{mo} が0より大きい場合は、出力トルク指令値 T_{mo} の増加に対して単調減少するように算出される。このため、出力トルク指令値 T_{mo} に対するd軸電流指令 I_{dc} の関係特性は、出力トルク指令値 T_{mo} が0を跨ぐ前後で大きく変化しており、出力トルク指令値 T_{mo} の0付近において高次の関数となっている。

q軸電流指令 I_{qc} は、出力トルク指令値 T_{mo} の増加に対して単調増加するように算出される。また、出力トルク指令値 T_{mo} に対するq軸電流指令 I_{qc} の傾きは、出力トルク指令値 T_{mo} の0付近と、それ以外とは変化しており、出力トルク指令値 T_{mo} の0付近において高次の関数成分が含まれている。

また、出力トルク指令値 T_{mo} に対する各電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の関係特性は、曲線となっており、高次の関数成分が含まれている。

[0045] 1-2-1-1-1. 基本制御の課題

次に、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動が含まれる場合に、本発明に係わる実施形態とは異なり、最大トルク電流曲線（基本制御線）上に二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を決定する基本制御が実行されるように構成された場合の課題を説明する。

<トルク指令が0を中心に振動している場合>

まず、図4（b）に示すように、出力トルク指令値 T_{mo} が、0を中心に周期的に振動している場合について説明する。

この場合は、図4（a）に示すように、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} は、 dq 軸回転座標系において、最大トルク電流曲線（基本制御線）上を、振動最大等トルク曲線と振動最小等トルク曲線との間を振動するように決定される。図4（a）には、このような dq 軸回転座標系における二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡が太線で示されている。

ここで、振動最大等トルク曲線は、 dq 軸回転座標系において、回転電機MGの出力トルク T_m が出力トルク指令値 T_{mo} の振動最大値となる d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} からなる座標点の軌跡であり、振動最小等トルク曲線は、 dq 軸回転座標系において、回転電機MGの出力トルク T_m が出力トルク指令値 T_{mo} の振動最小値となる d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} からなる座標点の軌跡である。なお、振動中心等トルク曲線は、 dq 軸回転座標系において、回転電機MGの出力トルク T_m が出力トルク指令値 T_{mo} の振動中心値となる d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} からなる座標点の軌跡である。

[0046] d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} は、図3（b）（c）に示すような関係特性に従い、出力トルク指令値 T_{mo} に基づいて算出される。図4（b）に示すように、出力トルク指令値 T_{mo} が、トルク振動周波数 ω_p （トルク振動周期 $2\pi/\omega_p$ ）の正弦波で振動しているのに対して、 d 軸電流指令 I_{dc} は、主にトルク振動周波数 ω_p の2倍の周波数で振動し、 q 軸電流指令 I_{qc} は、主にトルク振動周波数 ω_p と同じ周波数で振動している。このため、図4（b）の右側に、各波形をフーリエ変換した周波数特性を

示すように、出力トルク指令値 T_{mo} は、トルク振動周波数 ω_p の成分（基本波成分、1次）の振幅が大きいものに対して、d軸電流指令 I_{dc} は、トルク振動周波数 ω_p に対して、トルク振動周波数 ω_p の2倍の2次（ $2\omega_p$ ）の周波数成分の振幅が大きくなっている。q軸電流指令 I_{qc} は、トルク振動周波数 ω_p と同じ1次（ ω_p ）の周波数成分の振幅が大きくなっている。

[0047] また、出力トルク指令値 T_{mo} に対する各電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の関係特性は、1次より大きい高次の関数となっているため、d軸電流指令 I_{dc} には、4次（ $4\omega_p$ ）、6次（ $6\omega_p$ ）の高次の周波数成分の振幅が生じており、q軸電流指令 I_{qc} には、3次（ $3\omega_p$ ）、5次（ $5\omega_p$ ）の高次の周波数成分の振幅が生じている。

[0048] <トルク指令が0を跨いで振動している場合>

次に、図5（b）に示すように、出力トルク指令値 T_{mo} が、0より小さい値を中心に、0を跨いで周期的に振動している場合について説明する。

この場合は、図5（a）に示すように、振動最大等トルク曲線、振動最小等トルク曲線、振動中心等トルク曲線は、図4（a）に示す場合と比べて、q軸実電流 I_q が小さくなる方にシフトしている。

[0049] 図5（b）に示すように、d軸電流指令 I_{dc} は、1次（ ω_p ）と2次（ $2\omega_p$ ）の周波数成分が組み合わさったような複雑な波形で振動し、q軸電流指令 I_{qc} は、主に1次（ ω_p ）の周波数で振動している。このため、図5（b）の右側に、各波形をフーリエ変換した周波数特性を示すように、d軸電流指令 I_{dc} には、1次（ ω_p ）に加えて、2次（ $2\omega_p$ ）、3次（ $3\omega_p$ ）、4次（ $4\omega_p$ ）、5次（ $5\omega_p$ ）、及び6次（ $6\omega_p$ ）の周波数成分の振幅も大きくなっている。q軸電流指令 I_{qc} には、1次（ ω_p ）に加えて、2次（ $2\omega_p$ ）、4次（ $4\omega_p$ ）、及び5次（ $5\omega_p$ ）の周波数成分の振幅も大きくなっている。

[0050] <課題のまとめ>

以上のように、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動が含まれる場合に、最大トルク電流曲線（基本制御線）上に二相電流指令 I_{dc} 、 I_q

cを決定する基本制御を実行するように構成された場合は、各二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} にも周期的な振動成分が含まれる。

また、出力トルク指令値 T_{mo} に含まれるトルク振動が正弦波であっても、出力トルク指令値 T_{mo} に対する各電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の関係特性に高次の関数成分が含まれる場合に、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に正弦波のトルク振動周波数 ω_p （1次）に対して高次の周波数の振動成分が含まれる。

特に、出力トルク指令値 T_{mo} に対するd軸電流指令 I_{dc} の関係特性は、出力トルク指令値 T_{mo} の0付近では高次の関数となっているので、出力トルク指令値 T_{mo} が0を跨いで振動する場合は、d軸電流指令 I_{dc} には、1次より大きい高次の周波数成分が大幅に増加する。また、出力トルク指令値 T_{mo} に対するq軸電流指令 I_{qc} の関係特性は、出力トルク指令値 T_{mo} の0付近では高次の関数成分が多く含まれるので、出力トルク指令値 T_{mo} が0付近で振動する場合は、q軸電流指令 I_{qc} には、1次より大きい高次の周波数成分が増加する。

[0051] 電流フィードバック制御において目標値となる二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に周期的な振動成分が含まれると、比例積分制御（PI制御）などの単純な制御だけでは、目標値に含まれる周期的な振動成分に対する実値の追従性能を確保しにくくなる。

二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に含まれる周期的な振動成分に対する追従性能を向上するために、後述するような、内部モデル原理に基づく制御器などを追加することが考えられる。しかし、このような内部モデル原理に基づく制御器などを追加することにより、演算処理が複雑になると共に、制御装置30の演算負荷が増大する。

更に、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に複数の周波数成分が含まれる場合、各周波数成分に対する追従性を向上するために、各周波数成分に対して内部モデル原理などに基づく制御器を個別に設ける必要があり、追加する制御器が増加する。

特に、出力トルク指令値 T_{mo} が 0 を跨いで振動する場合、d 軸電流指令 I_{dc} に含まれる高次の複数の周波数成分が大きく増加するため、d 軸電流のフィードバック制御系に、高次の各周波数成分用の制御器を追加する必要性が高くなる。

[0052] 1-2-1-2. d 軸指令固定制御

二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に含まれる周期的な振動成分を低減するため、本実施形態に係わるトルク電流演算部 40 は、d 軸指令固定制御を実行するように構成されている。

すなわち、トルク電流演算部 40 は、上記したように、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動が含まれる場合に、d 軸電流固定部 51 により、二相電流指令の d 軸成分である d 軸電流指令 I_{dc} を所定値に固定すると共に、q 軸電流設定部 52 により、二相電流指令の q 軸成分である q 軸電流指令 I_{qc} をトルク振動に合わせて振動させる d 軸指令固定制御を実行するように構成されている。

[0053] 1-2-1-2-1. q 軸電流設定部 52

本実施系形態では、q 軸電流設定部 52 は、トルク振動が含まれる出力トルク指令値 T_{mo} 及び固定された d 軸電流指令 I_{dc} に基づいて、q 軸電流指令 I_{qc} をトルク振動に合わせて振動させるように構成されている。

以下、q 軸電流指令 I_{qc} の算出方法について説明する。

式 (3) の理論式から、q 軸電流指令 I_{qc} と、出力トルク指令値 T_{mo} 及び d 軸電流指令 I_{dc} との関係は、式 (6) で示すように表せる。ここで、d 軸電流指令 I_{dc} は、所定値に固定されるので、出力トルク指令値 T_{mo} に乗算される係数は、所定値に固定される。よって、本実施形態では、q 軸電流設定部 52 は、式 (6) に示すように、出力トルク指令値 T_{mo} に所定の変換ゲイン K_{id} を乗算した値を、q 軸電流指令 I_{qc} として設定するように構成されている。

[数6]

$$I_{qc} = \frac{1}{P_n(\Phi + (L_d - L_q)I_{dc})} T_{mo} = K_{id} \times T_{mo} \quad \dots (6)$$

ここで、q軸電流設定部52は、式(7)に示すようなd軸電流指令 I_{dc} と変換ゲイン K_{id} との関係特性を用いて、固定されたd軸電流指令 I_{dc} に基づいて、変換ゲイン K_{id} を算出するように構成されている。

[数7]

$$K_{id} = \frac{1}{P_n(\Phi + (L_d - L_q)I_{dc})} \quad \dots (7)$$

[0054] このようなd軸指令固定制御により、q軸電流指令 I_{qc} は、出力トルク指令値 T_{mo} に正比例するように決定される。よって、図6(b)、図7(b)、図8(b)、(d)、図9(b)、(d)、図10(b)、(d)に示すように、出力トルク指令値 T_{mo} に含まれるトルク振動が正弦波である場合は、q軸電流指令 I_{qc} に含まれる振動成分もトルク振動周波数 ω_p の正弦波になる。なお、d軸電流指令 I_{dc} には、周期的な振動成分が含まれない。

従って、出力トルク指令値 T_{mo} に周期的なトルク振動成分が含まれる場合に、基本制御に代えてd軸指令固定制御を実行することにより、d軸電流指令 I_{dc} に含まれる周期的な振動成分を0まで低減させることができ、q軸電流指令 I_{qc} の周期的な振動成分をトルク振動成分と同じ振動成分まで低減させることができる。

特に、出力トルク指令値 T_{mo} が0を跨いで振動する場合、d軸電流指令 I_{dc} における高次の振動成分の低減効果を大きくすることができる。

[0055] 1-2-1-2-2. d軸電流固定部51

d軸電流固定部51は、周期的なトルク振動が含まれる出力トルク指令値 T_{mo} に基づいて、d軸電流指令 I_{dc} を所定値に固定するように構成されている。

ここで、d軸電流指令 I_{dc} を所定値に固定するとは、出力トルク指令値

T_{mo} に含まれる周期的な振動成分に応じては、 d 軸電流指令 I_{dc} を変化させないことを意味し、出力トルク指令値 T_{mo} の周期的な振動成分以外の変化に応じて、 d 軸電流指令 I_{dc} を変化させるように構成してもよく、或いは出力トルク指令値 T_{mo} の周期的な振動成分以外の変化に応じて d 軸電流指令 I_{dc} を変化させず、一定値に固定するように構成してもよい。

[0056] 本実施形態では、 d 軸電流固定部 51 は、 dq 軸回転座標系において、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡が基本制御線と少なくとも一箇所でお互いに交わるように、 d 軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されている。

このような構成によれば、図 6 (a)、図 7 (a)、図 8 (a)、(c)、図 9 (a)、(c)、図 10 (a)、(c) に示すように、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を、基本制御線と接して、又は基本制御線を跨いで振動させることができ、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} を、基本制御線に近づけることができる。よって、 d 軸指令固定制御を実行する場合でも、基本制御が狙いとしている効果をできるだけ低減させずに維持させることができる。例えば、本実施形態のように、基本制御が最大トルク電流制御である場合は、電流トルク変換効率を高く維持させることができる。

このような d 軸電流指令 I_{dc} の固定方法の例として、本実施形態では以下の 4 つの方式について説明する。

[0057] <第一方式>

まず、図 6 及び図 7 を参照して、 d 軸指令固定制御の第一方式について説明する。

図 6 (a)、図 7 (a) に示すように、 d 軸電流固定部 51 は、 d 軸指令固定制御を実行する際に、基本制御線と振動中心等トルク曲線との交点 A1 により定まる値に d 軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されている。

この場合は、 d 軸電流固定部 51 は、基本制御と同様の方法で、出力トルク指令値 T_{mo} の振動中心値に基づいて、基本制御線上に、 d 軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されることができる。すなわち、 d 軸電流固定部 51 は、周期的なトルク振動が含まれていない場合に実行される基本制御に

おける出力トルク指令値 T_{mo} に相当する、出力トルク指令値 T_{mo} の振動中心値を用いて、図 3 (b) に示すような関係特性に従い、 d 軸電流指令 I_{dc} を算出することができる。

よって、第一方式は、基本制御の処理を用いて実行することができるので、演算処理の複雑化及び制御装置 30 の演算負荷の増大を抑制することができる。

[0058] なお、 d 軸電流固定部 51 は、出力トルク指令設定部 39 で算出される基準トルク指令値 T_b を、出力トルク指令値 T_{mo} の振動中心値として設定してもよいし、出力トルク指令値 T_{mo} に対してフィルタ処理、移動平均処理するなどした値を出力トルク指令値 T_{mo} の振動中心値として設定してもよい。

[0059] <第二方式>

次に、図 8 を参照して d 軸指令固定制御の第二方式について説明する。

図 8 (a)、(c) に示すように、 d 軸電流固定部 51 は、 d 軸指令固定制御を実行する際に、基本制御線と絶対値最大等トルク曲線との交点 A_2 により定まる値に d 軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されている。

ここで、絶対値最大等トルク曲線は、 dq 軸回転座標系において、回転電機 MG の出力トルク T_m が出力トルク指令値 T_{mo} の振動最大値及び振動最小値の何れか絶対値の大きい方となる d 軸電流指令 I_{dc} 及び q 軸電流指令 I_{qc} からなる座標点の軌跡である。すなわち、絶対値最大等トルク曲線は、振動最大等トルク曲線と振動最小等トルク曲線との何れか出力トルク指令値 T_{mo} の絶対値の大きい方である。なお、図 8 (a) に示すように、振動最大値の絶対値と振動最小値の絶対値が等しい場合は、絶対値最大等トルク曲線は、振動最大等トルク曲線と振動最小等トルク曲線との何れとされてもよい。

[0060] 第二方式では、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡は、図 8 (a)、(c) に示すように、 dq 軸回転座標系において、基本制御線に対して d 軸電流指令 I_{dc} の負方向側の領域（以下、 d 軸負側領域と称する）内に位置

することとなる。このd軸負側領域は、d q軸回転座標系を用いた回転電機の制御において通常用いられる領域と重複する。例えば、上記した弱め磁束制御では、d軸方向の磁束を減少させるために、基本制御線からd軸電流指令 I_{dc} を負方向に大きくするため、d軸負側領域が用いられる。このため、d軸負側領域では、弱め磁束制御のために、式(2)で示すような、回転電機MGの出力トルク T_m と、d軸電流指令 I_{dc} 及びq軸電流指令 I_{qc} との関係特性が精度よく同定されている。d軸指令固定制御におけるq軸電流指令 I_{qc} は、式(2)の関係特性から求められる式(6)、式(7)で示すような関係特性に基づいて算出されるため、その算出精度を向上させることができる。

[0061] <第三方式>

次に、図9を参照してd軸指令固定制御の第三方式について説明する。

図9(a)、(c)に示すように、d軸電流固定部51は、d軸指令固定制御を実行する際に、出力トルク指令値 T_{mo} に含まれるトルク振動の1周期中に回転電機MGに流れる電流量が最小となるように、d軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されている。

第三方式では、1周期中に回転電機MGに流れる電流量を最小にすることができ、コイルの抵抗Rによる発熱、すなわち銅損を最小化することができる。

[0062] このようなd軸電流指令 I_{dc} は、以下で説明する理論式に基づき算出されることができる。

式(3)を、式(4)に代入すると式(8)を得る。

[数8]

$$I^2 = (I_d)^2 + \left(\frac{T_m}{Pn(\Phi + (L_d - L_q)I_d)} \right)^2 \quad \dots (8)$$

回転電機MGの出力トルク T_m を式(9)のように表す。

[数9]

$$T_m = T_b + \Delta T_p \sin \theta \quad \dots (9)$$

式(9)を式(8)に代入して、1周期中に回転電機MGに流れる電流量を求めると式(10)となる。

[数10]

$$\int_0^{2\pi} I^2 d\theta = \int_0^{2\pi} \left\{ (Id)^2 + \left(\frac{Tb + \Delta Tp \sin \theta}{Pn(\Phi + (Ld - Lq)Id)} \right)^2 \right\} d\theta \quad \dots (10)$$

$$= 2\pi(Id)^2 + \frac{(Tb)^2 + (\Delta Tp)^2}{(Pn(\Phi + (Ld - Lq)Id))^2}$$

d軸電流固定部51は、式(10)の値が最も小さくなるようなd軸実電流Idの値をd軸電流指令Idcとして設定するように構成されることができる。

[0063] <第四方式>

次に、図10を参照してd軸指令固定制御の第四方式について説明する。

図10(a)、(c)に示すように、d軸電流固定部51は、d軸指令固定制御を実行する際に、d軸電流指令Idcを0に決定するように構成されている。

第四方式は、d軸電流指令Idcを0に設定するだけなので、d軸電流固定部51の演算処理を最小化することができる。また、d軸電流指令Idcが0に設定されるので、式(6)、式(7)の(Ld-Lq)Idcが0になり、インダクタンスLd、Lqの値を用いることなく、q軸電流指令Iqcを算出することができ、q軸電流設定部52の演算処理を単純化することができる。よって、演算処理の複雑化及び制御装置30の演算負荷の増大を抑制することができる。

[0064] 1-3. 実電流演算部41

図1に示すように、実電流演算部41は、回転電機MGを流れる実電流に基づいて、dq軸回転座標系で表した二相実電流Id、Iqを演算する機能部である。本実施形態では、実電流演算部41は、各相のコイルを流れる実電流Iu、Iv、Iwを、磁極位置θreに基づいて、三相二相変換及び回転座標変換を行って、dq軸回転座標系で表したd軸実電流Id、q軸実電

流 I_q に変換する。

[0065] 1-4. 電流フィードバック制御部 42

電流フィードバック制御部 42 は、回転電機 MG に印加する電圧指令を d q 軸回転座標系で表した二相電圧指令 V_d 、 V_q を、二相実電流 I_d 、 I_q が二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に近づくように変化させる機能部である。

本実施形態では、電流フィードバック制御部 42 は、図 1 に示すように、 d 軸指令固定制御を実行する際に、 d 軸電圧指令 V_d を、 d 軸電流指令 I_{dc} と d 軸実電流 I_d との偏差に基づいて比例積分演算を行う d 軸比例積分制御器 53 により算出する。また、電流フィードバック制御部 42 は、 d 軸指令固定制御を実行する際に、 q 軸電圧指令 V_q を、 q 軸電流指令 I_{qc} と q 軸実電流 I_q との偏差に基づいて、比例積分演算を行う q 軸比例積分制御器 54、及びトルク振動周波数 ω_p の周期関数の特性を有する高調波モデルを用いた演算を行う q 軸高調波制御器 55 により算出するように構成されている。

なお、 d 軸比例積分制御器 53 により算出された d 軸基本電圧指令 V_{bd} が、 d 軸電圧指令 V_d に設定され、 q 軸比例積分制御器 54 により算出された q 軸基本電圧指令 V_{bq} と q 軸高調波制御器 55 により算出された q 軸高調波電圧指令 V_{hq} とを加算した値が、 q 軸電圧指令 V_q に設定されるように構成されている。

ここで、 d 軸電圧指令 V_d は、二相電圧指令の d 軸成分であり、 d 軸実電流 I_d は、二相実電流の d 軸成分であり、 q 軸電圧指令 V_q は、二相電圧指令の q 軸成分であり、 q 軸実電流 I_q は、二相実電流の q 軸成分である。

[0066] なお、電流フィードバック制御部 42 は、基本制御を実行する際に、 d 軸電圧指令 V_d を、 d 軸比例積分制御器 53 により算出し、 q 軸電圧指令 V_q を、 q 軸高調波制御器 55 を用いずに、 q 軸比例積分制御器 54 により算出するように構成されている。すなわち、 d 軸比例積分制御器 53、 q 軸比例積分制御器 54 が、基本制御及び d 軸指令固定制御の共用の制御器であり、 q 軸高調波制御器 55 が、 d 軸指令固定制御の専用の制御器である。

[0067] 1-4-1. 比例積分制御器

本実施形態では、各比例積分制御器53、54は、式(11)、式(12)に示すように、二相実電流 I_d 、 I_q と二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} との電流偏差に基づいて、比例演算及び積分演算を行って基本電圧指令 V_{bd} 、 V_{bq} を算出する比例積分(PI)制御器とされている。

[数11]

$$V_{bd} = \left(K_{pd} + K_{id} \frac{1}{s} \right) (I_{dc} - I_d) \quad \dots (11)$$

[数12]

$$V_{bq} = \left(K_{pq} + K_{iq} \frac{1}{s} \right) (I_{qc} - I_q) \quad \dots (12)$$

ここで、 K_{pd} は、d軸比例ゲインであり、 K_{pq} は、q軸比例ゲインであり、 K_{id} は、d軸積分ゲインであり、 K_{iq} は、q軸積分ゲインである。

[0068] なお、各比例積分制御器53、54は、比例積分(PI)制御器以外の制御器、例えば、比例積分微分(PID)制御器とされていてもよい。

また、電流フィードバック制御部42には、各比例積分制御器53、54に加えて、式(13)に示すような、非干渉器が追加的に備えられてもよい。この場合は、非干渉器の算出値 ΔV_d 、 ΔV_q が、追加的に二相電圧指令 V_d 、 V_q に加算される。

[数13]

$$\Delta V_d = -(\omega_e L_q) I_{qc} \quad , \quad \Delta V_q = (\omega_e L_d) I_{dc} + \omega_e \Phi \quad \dots (13)$$

[0069] 1-4-2. 高調波制御器

<周期振動成分に対する追従誤差>

非干渉器が備えられる場合は、非干渉器の算出値 ΔV_d 、 ΔV_q を除いた二相電圧指令 V_d 、 V_q に対する、回転電機MGを流れる二相実電流 I_d 、 I_q の応答を表す伝達関数は、式(14)に示すように、コイルのインダク

タンス L_d 、 L_q 及び抵抗 R を用いた一次遅れで表せる。

[数14]

$$I_d = \frac{1}{L_d s + R} (V_d - \Delta V_d) \quad , \quad I_q = \frac{1}{L_q s + R} (V_q - \Delta V_q) \quad \dots \quad (14)$$

二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に周期的な振動成分が含まれない場合は、比例積分制御器 53、54 だけでも、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に対して二相実電流 I_d 、 I_q を定常偏差なく追従させることができる。

しかし、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} に周期的な振動成分が含まれる場合は、比例積分制御器だけでは、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の周期的な振動成分に対して二相実電流 I_d 、 I_q が位相遅れを持って追従し、定常偏差が生じる。例えば、図 11 のタイムチャートに示すように、時刻 t_{11} までの期間は、 q 軸比例積分制御器 54 だけで q 軸電圧指令 V_q を算出しており、 q 軸実電流 I_q は、周期振動している q 軸電流指令 I_{qc} に対して位相遅れ及びゲイン低下を持って追従しており、定常偏差を有している。

[0070] <内部モデル原理>

そこで、指令値に定常偏差なく追従させるために、フィードバック系の内部に、指令値の極と同じ極を有する制御器を導入することが有効であるという、内部モデル原理の制御理論を用いることが考えられる。

二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} にトルク振動周波数 ω_p の n 倍の正弦波（又は余弦波）の周期的な振動成分が含まれている場合は、 q 軸電流指令 I_{qc} は、時間領域において式 (15) で表せる。

[数15]

$$I_{qc}(t) = a_0 + a_n \sin(n\omega_p t) \quad \dots \quad (15)$$

式 (15) の q 軸電流指令 I_{qc} は、周波数領域 (s 領域) では、式 (16) の伝達関数で表せる。ここで、 s は、ラプラス演算子である。

[数16]

$$I_{qc}(s) = a_0 \frac{1}{s} + a_n \frac{n\omega_p}{s^2 + (n\omega_p)^2} \quad \dots \quad (16)$$

なお、q軸電流指令 I_{qc} が余弦波の場合は、次式の伝達関数で表せる。

[数17]

$$I_{qc}(s) = a_0 \frac{1}{s} + a_n \frac{s}{s^2 + (n\omega_p)^2} \quad \dots (17)$$

[0071] 式(15)、式(16)より、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の極、すなわち、伝達関数の分母が0になる s は、次式となる。

[数18]

$$s = 0, \pm j(n\omega_p) \quad \dots (18)$$

よって、内部モデル原理により、電流フィードバック制御部42の伝達関数 G_{fb} は、次式のように、式(18)の極を有するように構成すれば、指令値に定常偏差なく追従させることが可能となる。

[数19]

$$G_{fb}(s) = \frac{b_0}{s} + \frac{B_n(s)}{s^2 + (n\omega_p)^2} \quad \dots (19)$$

式(19)の右辺の第一項は、比例積分制御器53、54の積分演算として含まれる。

[0072] <高調波モデル>

よって、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} にトルク振動周波数 ω_p の n 倍の正弦波(又は余弦波)の振動成分が含まれている場合は、定常偏差を減少させるためには、比例積分制御器53、54に加えて、式(19)の右辺の第一項を削除した式(20)に示す伝達関数 G_h の特性を有する高調波モデルを用いる必要がある。

[数20]

$$G_h(s) = \frac{B_n(s)}{s^2 + (n\omega_p)^2} \quad \dots (20)$$

ここで、式(20)に示す高調波モデルの伝達関数 G_h の分母 ($s^2 + (n\omega_p)^2$) は、トルク振動周波数 ω_p の n 倍の周波数の正弦波又は余弦波の周

期関数に対応する伝達関数である。

[0073] 式(20)に示す高調波モデルの伝達関数Ghの分子Bn(s)は、電流フィードバック制御系の安定性が確保されるように設定される。

例えば、式(21)のように、高調波モデルの伝達関数Ghの分子Bn(s)を0次(sの0乗)の伝達関数にすることができる。

[数21]

$$B_n(s) = Kh_n \quad \dots (21)$$

また、式(22)及び式(23)に示すように、高調波モデルの伝達関数Ghの分子Bn(s)を1次(sの1乗)又は2次(sの2乗)の伝達関数にすることができる。

[数22]

$$B_n(s) = Kh_n s \quad \dots (22)$$

[数23]

$$B_n(s) = Kh_p n s^2 + Kh_i n s \quad \dots (23)$$

ここで、Khn、Khp n、Khinは、制御ゲインである。

[0074] 二相電流指令Idc、Iqcに複数の周波数の振動成分が含まれる場合は、各周波数の振動成分による定常偏差を減少させるためには、各周波数に対応する複数の高調波モデルを並列して用いる必要がある。

[0075] 上記のように、本発明に係わる実施形態とは異なり、出力トルク指令値Tmoにトルク振動が含まれる場合に基本制御が実行されるように構成された場合は、d軸電流指令Idc及びq軸電流指令Iqcの双方に、周期的な振動成分が含まれる。よって、出力トルク指令値Tmoにトルク振動が含まれる場合にd軸指令固定制御を実行することなく基本制御で対応しようとする、q軸の電流フィードバック制御系においてだけでなく、d軸の電流フィードバック制御系においても高調波モデルを用いる必要性がある。

また、二相電流指令Idc、Iqcに、トルク振動周波数ωp(1次)に加え、高次の複数の周波数成分が含まれる。この場合は、定常偏差を減少さ

せるために、各周波数に対応した複数の高調波モデルを並列して用いる必要がある。これにより、演算処理が複雑になると共に、制御装置 30 の演算負荷が増大する。特に、出力トルク指令値 T_{mo} が 0 を跨いで振動する場合は、 d 軸電流指令 I_{dc} に含まれる高次の複数の周波数成分が大きくなるため、複数の高調波モデルを用いる必要性が高い。

[0076] 一方、本発明に係わる実施形態のように、 d 軸指令固定制御が実行されるように構成された場合は、正弦波のトルク振動が含まれる出力トルク指令値 T_{mo} に対して、 d 軸電流指令 I_{dc} には、周期的な振動成分が含まれないようにすることができ、 q 軸電流指令 I_{qc} に、トルク振動周波数 ω_p の振動成分のみが含まれるようにすることができる。よって、本実施形態では、周期的な振動成分による定常偏差を減少させるために、 q 軸の電流フィードバック制御系に対してのみ、トルク振動周波数 ω_p に対応した 1 つの高調波モデルを用いればよい。

すなわち、本実施形態では、 q 軸高調波制御器 55 は、式 (24) の伝達関数に示すような、トルク振動周波数 ω_p の正弦波又は余弦波の周期関数の特性を有する高調波モデルに設定される。

[数24]

$$Gh(s) = \frac{B_1(s)}{s^2 + \omega_p^2} \quad \dots (24)$$

ここで、式 (24) の高調波モデルの伝達関数 Gh の分子 $B_1(s)$ は、式 (21)、式 (22)、又は式 (23) に示すように設定される。

なお、式 (24) 及び式 (21) の高調波モデルを用いた q 軸高調波制御器 55 は、式 (25) に示すように、 q 軸電流指令 I_{qc} と q 軸実電流 I_q との電流偏差に基づいて、2 つの積分器 ($1/s$) と、帰還ループを有する演算により、 q 軸高調波電圧指令 V_{hq} を算出するように構成することができる。

[数25]

$$V_{hq} = \frac{1}{s} \frac{1}{s} \{ K h_1 (I_{qc} - I_q) - \omega_p^2 V_{hq} \} \quad \dots (25)$$

[0077] このように、本実施形態では、電流フィードバック制御部42に備える高調波モデルを1つにまで低減することができ、演算処理の複雑化及び制御装置30の演算負荷の増大を抑制することができる。特に、出力トルク指令値 T_{mo} が0を跨いで振動する場合におけるd軸についての抑制効果が高い。

[0078] <高調波制御の挙動>

次に、図11を参照して、高調波制御の挙動を説明する。

図11では、d軸指令固定制御を実行しているため、q軸電流指令 I_{qc} は、出力トルク指令値 T_{mo} と同じトルク振動周波数 ω_p の正弦波（又は余弦波）となっている。

時刻 t_{11} までは、高調波制御の効果をわかりやすくするために、高調波制御が実行されていない。すなわち、q軸高調波電圧指令 V_{hq} が0に設定されており、q軸電圧指令 V_q は、q軸比例積分制御器54により算出されたq軸基本電圧指令 V_{bq} からなる。高調波制御が実行されていない場合は、q軸基本電圧指令 V_{bq} は、トルク振動周波数 ω_p で振動しているq軸電流指令 I_{qc} にq軸実電流 I_q を一致させるために周期変化しているが、q軸実電流 I_q は、周期振動しているq軸電流指令 I_{qc} に対して位相遅れ及びゲイン低下を持って追従しており、電流偏差に定常偏差を有している。

[0079] 一方、時刻 t_{11} で高調波制御が開始されると、q軸高調波電圧指令 V_{hq} が、q軸電流指令 I_{qc} とq軸実電流 I_q との電流偏差に応じて、トルク振動周波数 ω_p で自己励起的に振動し始めると共に振幅が増加していく。この際、高調波モデルは、電流偏差を積分すると共に自己励起的にトルク振動周波数 ω_p で振動して、q軸高調波電圧指令 V_{hq} を生成する作用がある。また、電流偏差は、トルク振動周波数 ω_p で振動している。このため、トルク振動周波数 ω_p で振動しているq軸高調波電圧指令 V_{hq} の位相は、電流偏差が減少する方向に進角又は遅角されると共に、q軸高調波電圧指令 V_{hq} の振幅は、電流指令が減少する方向に増加又は減少される。よって、q軸電流指令 I_{qc} とq軸実電流 I_q との電流偏差が減少していく。

[0080] このため、電流偏差に応じて算出されるq軸基本電圧指令 V_{bq} も減少し

ていく。そして、時刻 t_{12} で、 q 軸高調波電圧指令 V_{hq} によって、定常偏差を減少させて、 q 軸実電流 I_q を q 軸電流指令 I_{qc} に追従させることができ、 q 軸基本電圧指令 V_{bq} の周期変化を 0 近くまで減少させることができている。

[0081] 1-5. 二相三相電圧変換部 43

二相三相電圧変換部 43 は、電流フィードバック制御部 42 が算出した二相電圧指令 V_d 、 V_q を、三相の電圧指令 V_u 、 V_v 、 V_w に変換する機能部である。すなわち、 dq 軸回転座標系で表した二相電圧指令 V_d 、 V_q を、磁極位置 θ_{re} に基づいて、固定座標変換及び二相三相変換を行って、三相それぞれのコイルへの電圧指令である三相電圧指令 V_u 、 V_v 、 V_w に変換する。

[0082] 1-6. インバータ制御部 44

インバータ制御部 44 は、三相電圧指令 V_u 、 V_v 、 V_w に基づき、インバータ IN が備える複数のスイッチング素子をオンオフ制御するインバータ制御信号 S_{uvw} を生成する。

本実施形態では、インバータ制御部 44 は、三相電圧指令 V_u 、 V_v 、 V_w とキャリア波との比較に基づく各種のパルス幅変調 (PWM: Pulse Width Modulation) により、インバータ制御信号 S_{uvw} を生成する。インバータ IN が備える複数のスイッチング素子は、インバータ制御信号 S_{uvw} に基づきオンオフ制御される。

パルス幅変調の方式を、正弦波 PWM (SPWM: sinusoidal PWM)、空間 PWM (SVPWM: space vector PWM)、3 次高調波注入 PWM (THIPWM: third harmonics injection PWM)、不連続 PWM (DPWM: discontinuous PWM) など切り替え可能に構成されてもよい。

[0083] [その他の実施形態]

最後に、本発明のその他の実施形態について説明する。なお、以下に説明する各実施形態の構成は、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、他の実施形態の構成と組み合わせて適用することも可能である。

[0084] (1) 回転電機MGは、図12に示すように、内燃機関としてのエンジンEに駆動連結されるとともに、車輪Wに駆動連結されるように構成されてもよい。なお、図12に示す例では、回転電機MGと車輪Wとの動力伝達経路に変速機構TMが設けられている。

この構成の場合、出力トルク指令値 T_{mo} は、エンジンEから回転電機MGに伝達されるトルク振動を打ち消すためのトルク指令とされてもよい。この場合、トルク振動周波数 ω_p は、エンジンEの燃焼周波数に応じた周波数に設定される。

[0085] (2) 上記の実施形態において、制御装置30に備えられた出力トルク指令設定部39が、出力トルク指令値 T_{mo} を設定している場合を例として説明した。しかし、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、外部の装置から制御装置30に出力トルク指令値 T_{mo} 、又は振動トルク指令値 T_p が伝達されるように構成されてもよい。

[0086] (3) 上記の実施形態において、出力トルク指令値 T_{mo} がトルク振動周波数 ω_p の正弦波（又は余弦波）を含む場合に、d軸指令固定制御が実行される場合を例として説明した。しかし、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、出力トルク指令値 T_{mo} が周期的なトルク振動を含む場合に、d軸指令固定制御が実行されればよく、例えば、周期的なトルク振動は、複数の異なる周波数の正弦波（又は余弦波）からなる波、或いは、三角波、のこぎり波、又は任意の波形の周期関数であってもよい。この場合でも、d軸指令固定制御を実行することにより、d軸電流指令 I_{dc} に含まれる周期的な振動成分を0まで低減させることができ、q軸電流指令 I_{qc} に含まれる周期的な振動成分をトルク振動成分と同じ振動成分まで低減させることができる。

またこの場合、q軸高調波制御器55は、出力トルク指令値 T_{mo} に含まれる周期的なトルク振動に合わせて、異なる周波数を有する複数の高調波モ

デルを備えるように構成されてもよい。

[0087] (4) 上記の実施形態において、d軸電流固定部51が二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡が基本制御線と少なくとも一箇所で交わるように、d軸電流指令 I_{dc} を決定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、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、d軸電流固定部51は、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡が基本制御線と交わらないように、d軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されてもよい。例えば、d軸電流固定部51は、dq軸回転座標系において、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡が、d軸負側領域内に位置し、基本制御線と交わらないように、d軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されてもよい。

[0088] (5) 上記の実施形態において、d軸電流固定部51が、第一方式、第二方式、第三方式、又は第四方式を用いて、d軸電流指令 I_{dc} を決定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、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、d軸電流固定部51は、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} の振動軌跡が基本制御線と少なくとも一箇所で交わるように、d軸電流指令 I_{dc} を決定するように構成されていれば、上記以外の方式を用いて決定してもよい。

[0089] (6) 上記の実施形態において、電流フィードバック制御部42は、d軸指令固定制御を実行する際に、q軸電圧指令 V_q を、q軸比例積分制御器54、及びq軸高調波制御器55により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、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、電流フィードバック制御部42は、d軸指令固定制御を実行する際に、q軸電圧指令 V_q を、q軸高調波制御器55を用いずに、q軸比例積分制御器54のみにより算出するように構成されてもよい。この場合でも、q軸電流指令 I_{qc} は、トルク振動周波数 ω_p に対して高次の周波数の振動成分が低減されているので、q軸高調波制御器55を用いなくとも、追従性の悪化を抑制できる。

[0090] (7) 上記の実施形態において、トルク電流演算部40は、出力トルク指令

値 T_m に周期的なトルク振動が含まれる場合に、 d 軸指令固定制御を実行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、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、トルク電流演算部 40 は、出力トルク指令値 T_m に周期的なトルク振動が含まれる場合でも、出力トルク指令値 T_m が 0 付近で振動している場合、或いは 0 を跨いで振動している場合にのみ、 d 軸指令固定制御を実行し、それ以外の場合には、基本制御を実行するように構成されてもよい。

上記のように、基本制御の実行時に、二相電流指令 I_{dc} 、 I_{qc} にトルク振動周波数 ω_p に対して高次の周波数の振動成分が多く含まれるのは、出力トルク指令値 T_m が 0 付近で振動している場合、或いは 0 を跨いで振動している場合であるので、これ以外の場合には、基本制御を行うように構成してもよい。

産業上の利用可能性

[0091] 本発明は、ロータを有する回転電機を制御するための制御装置に好適に利用することができる。

符号の説明

- [0092] 30 : 制御装置
39 : 出力トルク指令設定部
40 : トルク電流演算部
41 : 実電流演算部
42 : 電流フィードバック制御部
43 : 二相三相電圧変換部
44 : インバータ制御部
47 : 電圧制御部
51 : d 軸電流固定部
52 : q 軸電流設定部
53 : d 軸比例積分制御器
54 : q 軸比例積分制御器

5 5	: q 軸高調波制御器
5 6	: 基準トルク指令設定部
5 7	: 周期振動トルク指令設定部
M G	: 回転電機
I N	: インバータ
V t	: 蓄電装置
S e 1	: 電流センサ
S e 2	: 回転速度センサ
θ r e	: 磁極位置
ω r e	: 磁極回転速度
ω p	: トルク振動周波数
L d	: コイルの d 軸インダクタンス
L q	: コイルの q 軸インダクタンス
R	: 抵抗
T m o	: 出力トルク指令値
T b	: 基準トルク指令値
T p	: 振動トルク指令値
T m	: 回転電機の出力トルク
I	: 回転電機を流れる電流
I d c	: d 軸電流指令 (第一軸電流指令)
I q c	: q 軸電流指令 (第二軸電流指令)
I d	: d 軸実電流 (第一軸実電流)
I q	: q 軸実電流 (第二軸実電流)
V b d	: d 軸基本電圧指令
V b q	: q 軸基本電圧指令
V h q	: q 軸高調波電圧指令
V d	: d 軸電圧指令 (第一軸電圧指令)
V q	: q 軸電圧指令 (第二軸電圧指令)

V_u 、 V_v 、 V_w : 三相電圧指令

S_{uvw} : インバータ制御信号

請求の範囲

[請求項1]

ロータを有する回転電機を制御するための制御装置であって、

前記ロータの電気角に同期して回転する二軸の回転座標系である二軸回転座標系を用い、前記回転電機に出力させるトルク指令に基づいて、前記回転電機に流す電流の指令値を前記二軸回転座標系で表した二相電流指令を演算するトルク電流演算部と、

前記回転電機に流れる実電流に基づいて、前記二軸回転座標系で表した二相実電流を演算する実電流演算部と、

前記回転電機に印加する電圧指令を前記二軸回転座標系で表した二相電圧指令を、前記二相実電流が前記二相電流指令に近づくように変化させる電流フィードバック制御部と、

前記二相電圧指令に基づいて、前記回転電機に印加する電圧を制御する電圧制御部と、を備え、

前記二軸回転座標系は、前記ロータに備えられた磁石の界磁磁束の方向に定められた第一軸と、前記第一軸に対して電気角で90度異なる方向に定められた第二軸と、からなり、

前記トルク電流演算部は、前記トルク指令に周期的なトルク振動が含まれる場合に、前記二相電流指令の前記第一軸成分である第一軸電流指令を所定値に固定すると共に、前記二相電流指令の前記第二軸成分である第二軸電流指令を前記トルク振動に合わせて振動させる第一軸指令固定制御を実行する制御装置。

[請求項2]

基本制御線は、前記トルク指令に前記トルク振動が含まれない場合に、当該トルク指令に応じた出力トルクを前記回転電機に出力させる制御である基本制御のための二相電流指令を規定するものであって、前記二軸回転座標系において、原点から前記第二軸電流指令の絶対値が大きくなるに従って前記第一軸電流指令が負方向に大きくなる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、

前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記二軸回転座標系において、前記二相電流指令の振動軌跡が前記基本制御線と少なくとも一箇所で交わるように、前記第一軸電流指令を決定する請求項1に記載の制御装置。

[請求項3]

前記電流フィードバック制御部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記二相電圧指令の前記第一軸成分である第一軸電圧指令を、前記第一軸電流指令と前記二相実電流の第一軸成分との偏差に基づいて比例積分演算により算出し、前記二相電圧指令の前記第二軸成分である第二軸電圧指令を、前記第二軸電流指令と前記二相実電流の第二軸成分との偏差に基づいて、比例積分演算、及び前記トルク振動の周波数の周期関数の特性を有する高調波モデルを用いた演算により算出する請求項1又は2に記載の制御装置。

[請求項4]

基本制御線は、前記トルク指令に前記トルク振動が含まれない場合に、当該トルク指令に応じた出力トルクを前記回転電機に出力させる制御である基本制御のための二相電流指令を規定するものであって、前記二軸回転座標系において、原点から前記第二軸電流指令の絶対値が大きくなるに従って前記第一軸電流指令が負方向に大きくなる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、

振動中心等トルク曲線は、前記二軸回転座標系において、前記回転電機の出力トルクが前記トルク指令の振動中心値となる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、

前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記基本制御線と前記振動中心等トルク曲線との交点により定まる値に前記第一軸電流指令を決定する請求項1から3のいずれか一項に記載の制御装置。

[請求項5]

基本制御線は、前記トルク指令に前記トルク振動が含まれない場合に、当該トルク指令に応じた出力トルクを前記回転電機に出力させる

制御である基本制御のための二相電流指令を規定するものであって、前記二軸回転座標系において、原点から前記第二軸電流指令の絶対値が大きくなるに従って前記第一軸電流指令が負方向に大きくなる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、

絶対値最大等トルク曲線は、前記二軸回転座標系において、前記回転電機の実出力トルクが前記トルク指令の振動最大値及び振動最小値の何れか絶対値の大きい方となる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡であり、

前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記基本制御線と前記絶対値最大等トルク曲線との交点により定まる値に前記第一軸電流指令を決定する請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の制御装置。

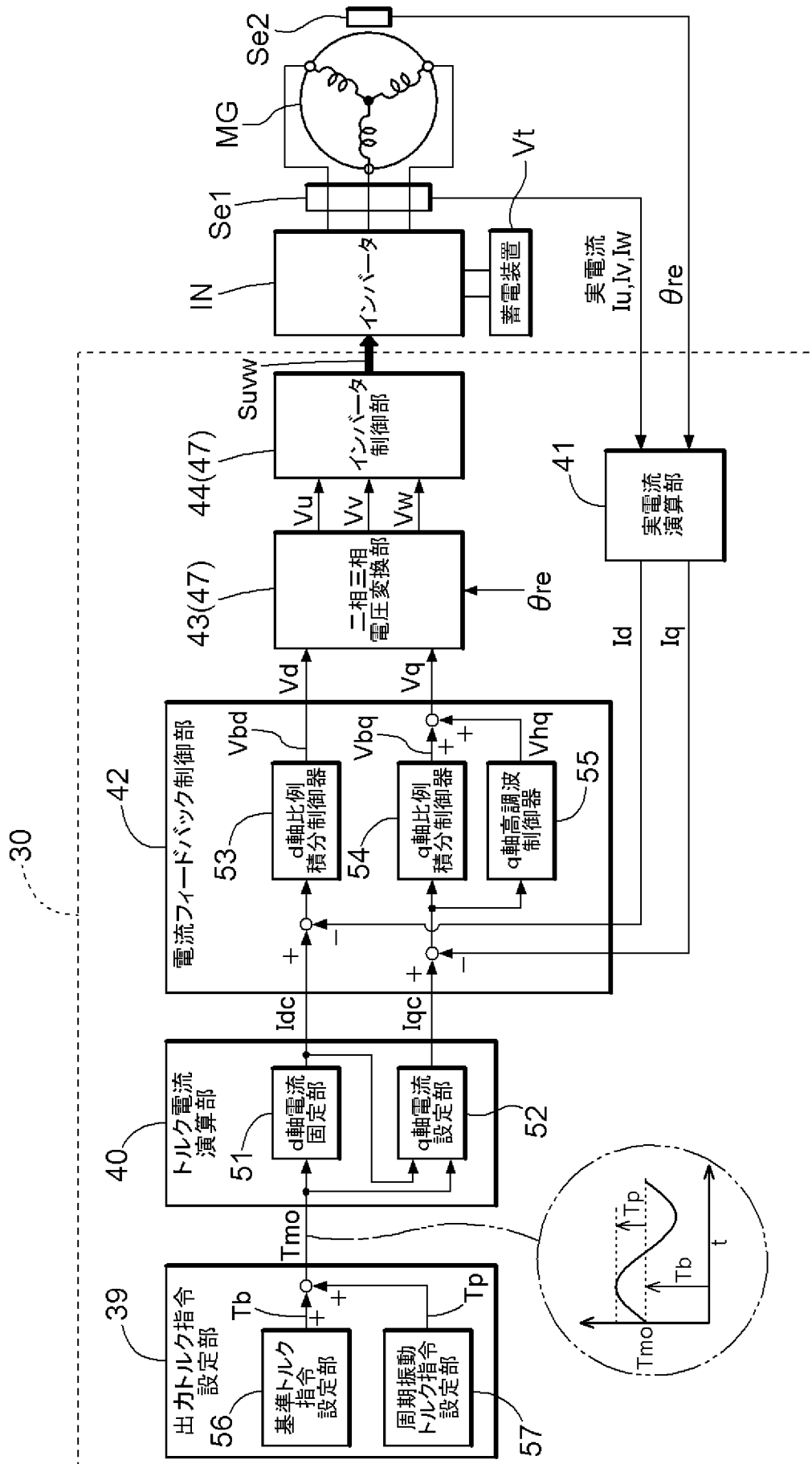
[請求項6] 前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記トルク振動の一周期中に前記回転電機に流れる電流量が最小となるように、前記第一軸電流指令を決定する請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の制御装置。

[請求項7] 前記トルク電流演算部は、前記第一軸指令固定制御を実行する際に、前記第一軸電流指令を 0 に決定する請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の制御装置。

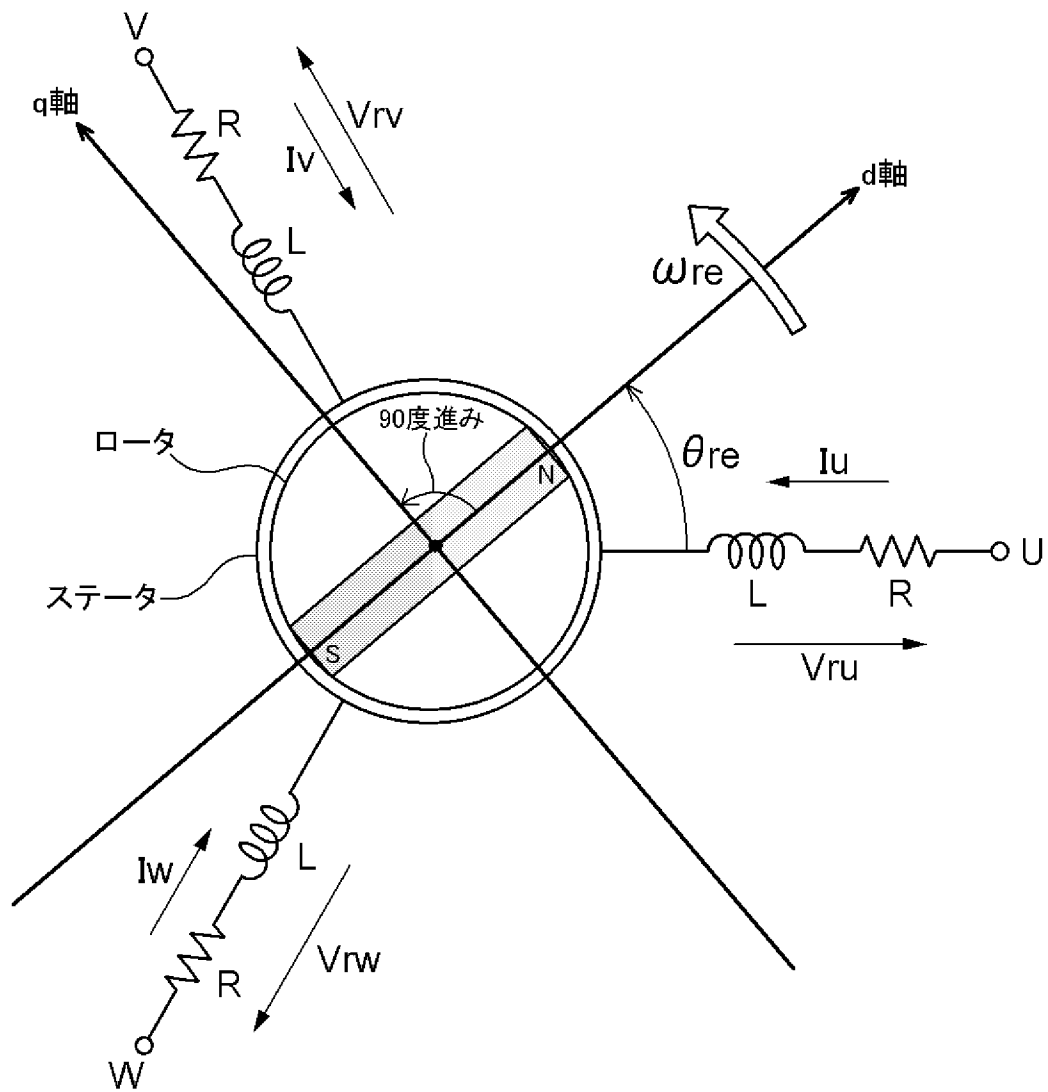
[請求項8] 前記トルク振動が正弦波状である請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の制御装置。

[請求項9] 前記基本制御線が、前記回転電機を流れる電流の大きさに対して前記回転電機の実出力トルクが最大となる前記第一軸電流指令及び前記第二軸電流指令からなる座標点の軌跡である最大トルク電流曲線である請求項 2、4、又は 5 に記載の制御装置。

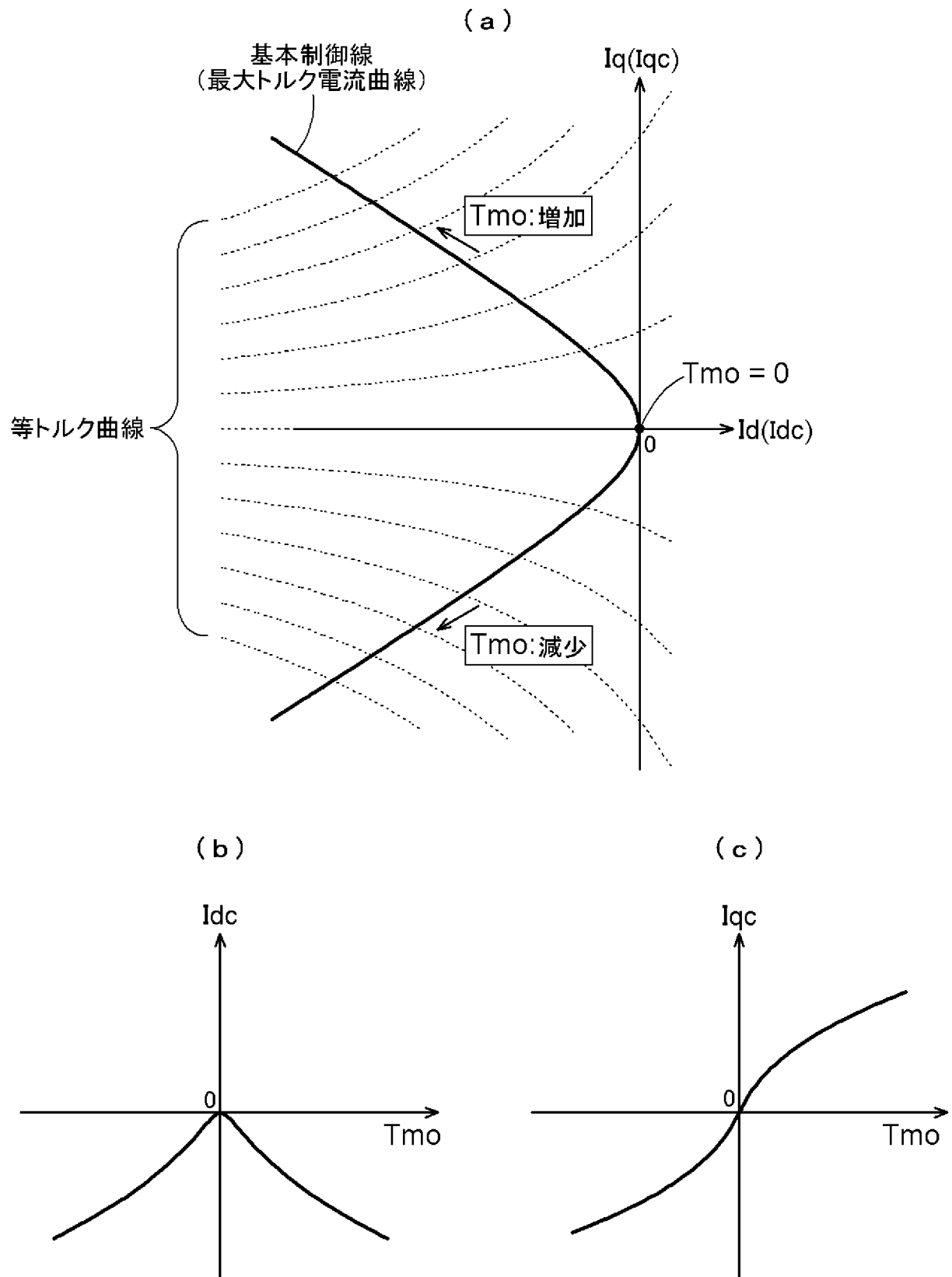
[図1]



[図2]

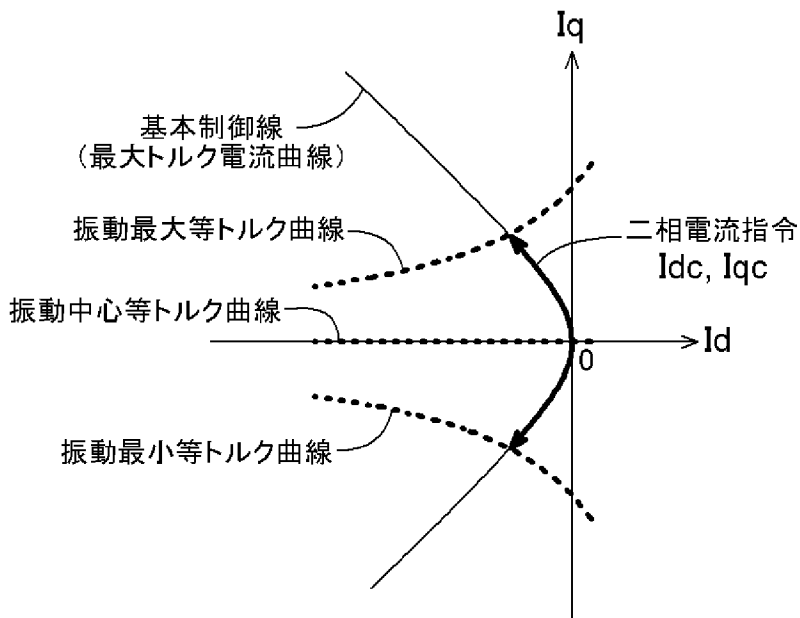


[図3]

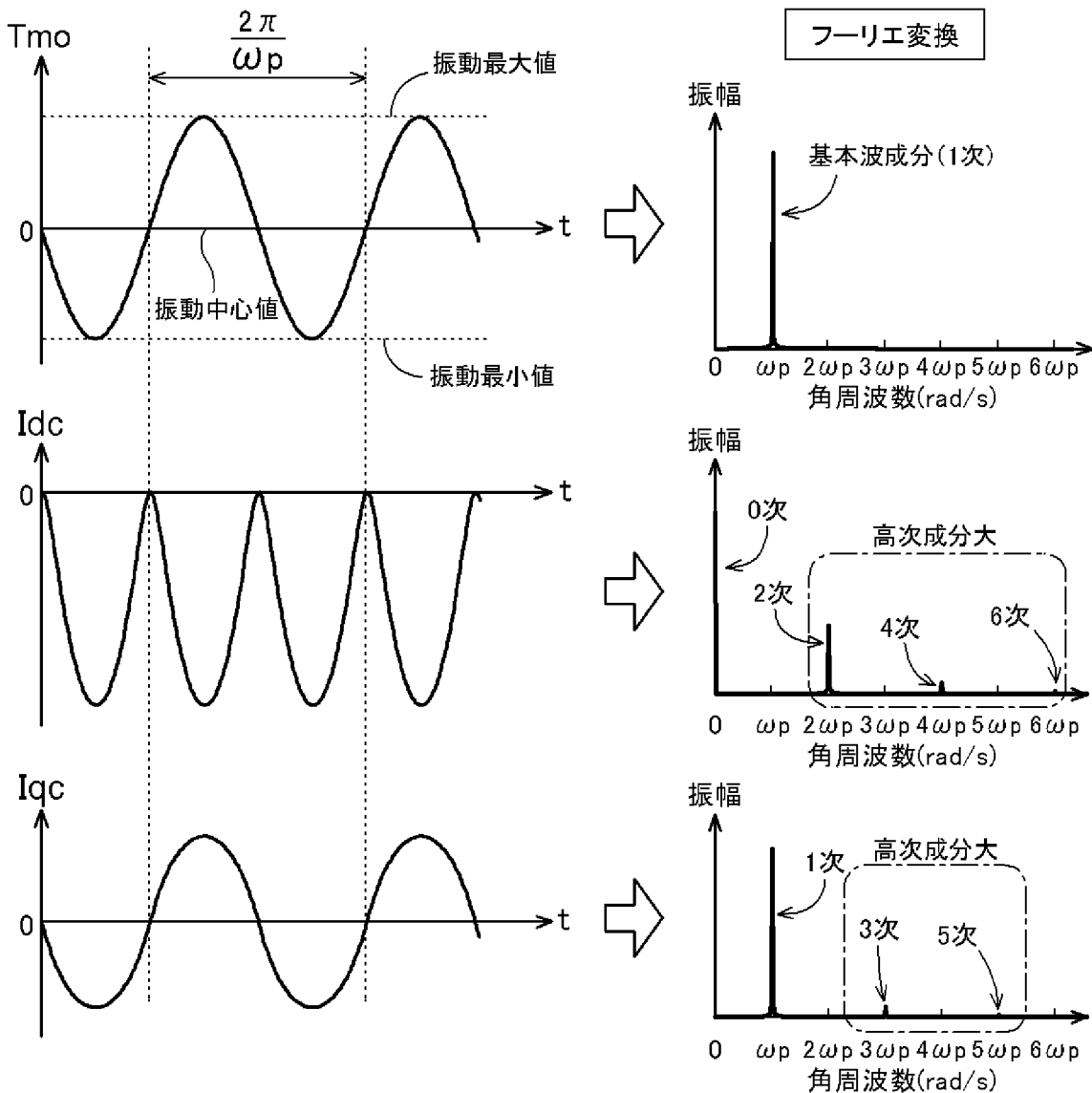


[図4]

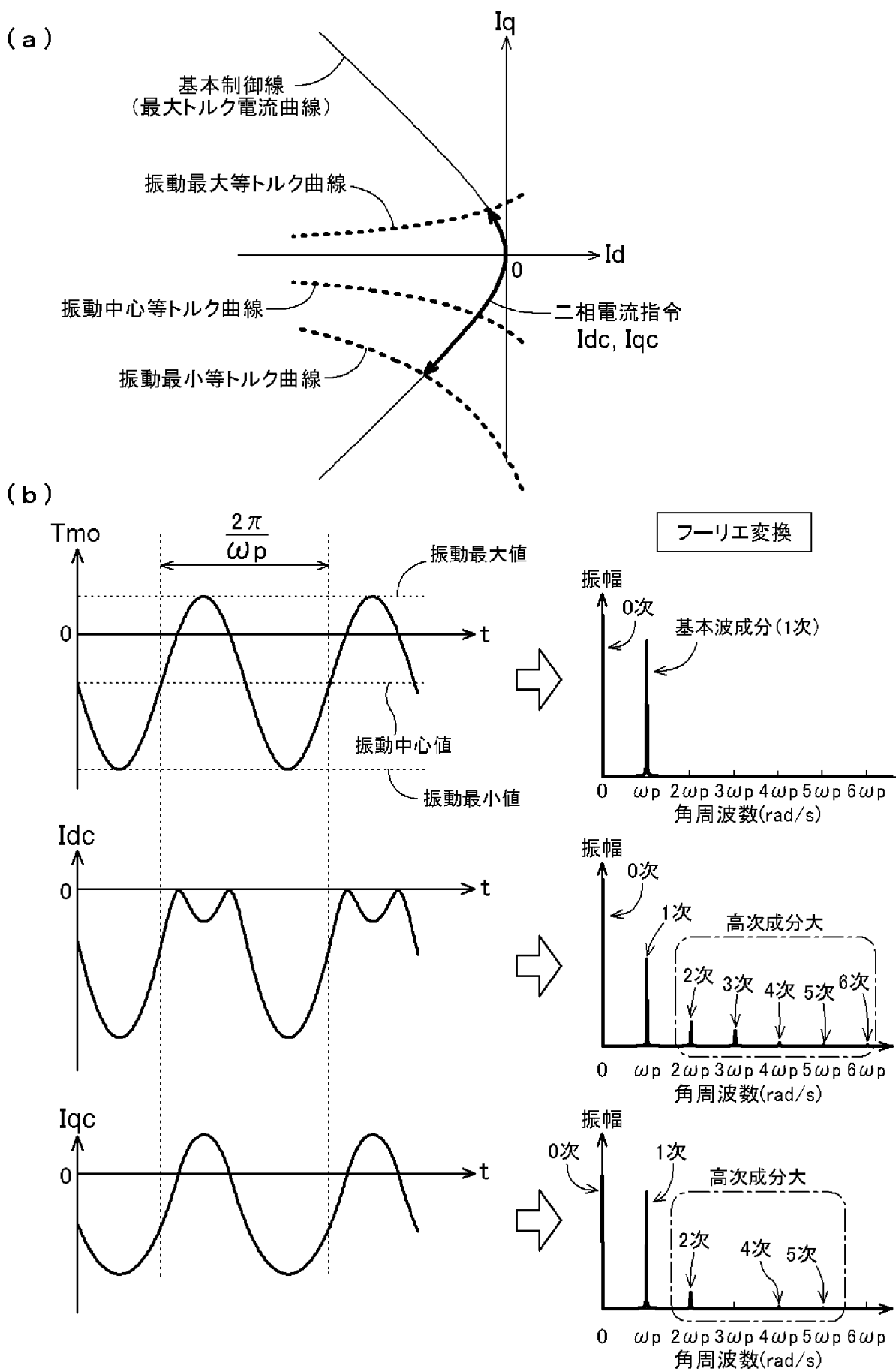
(a)



(b)

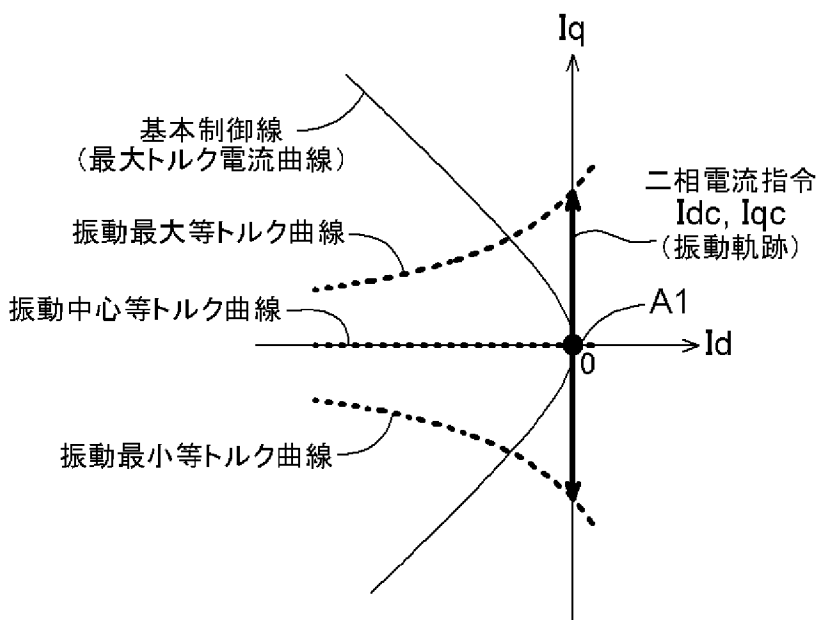


[図5]

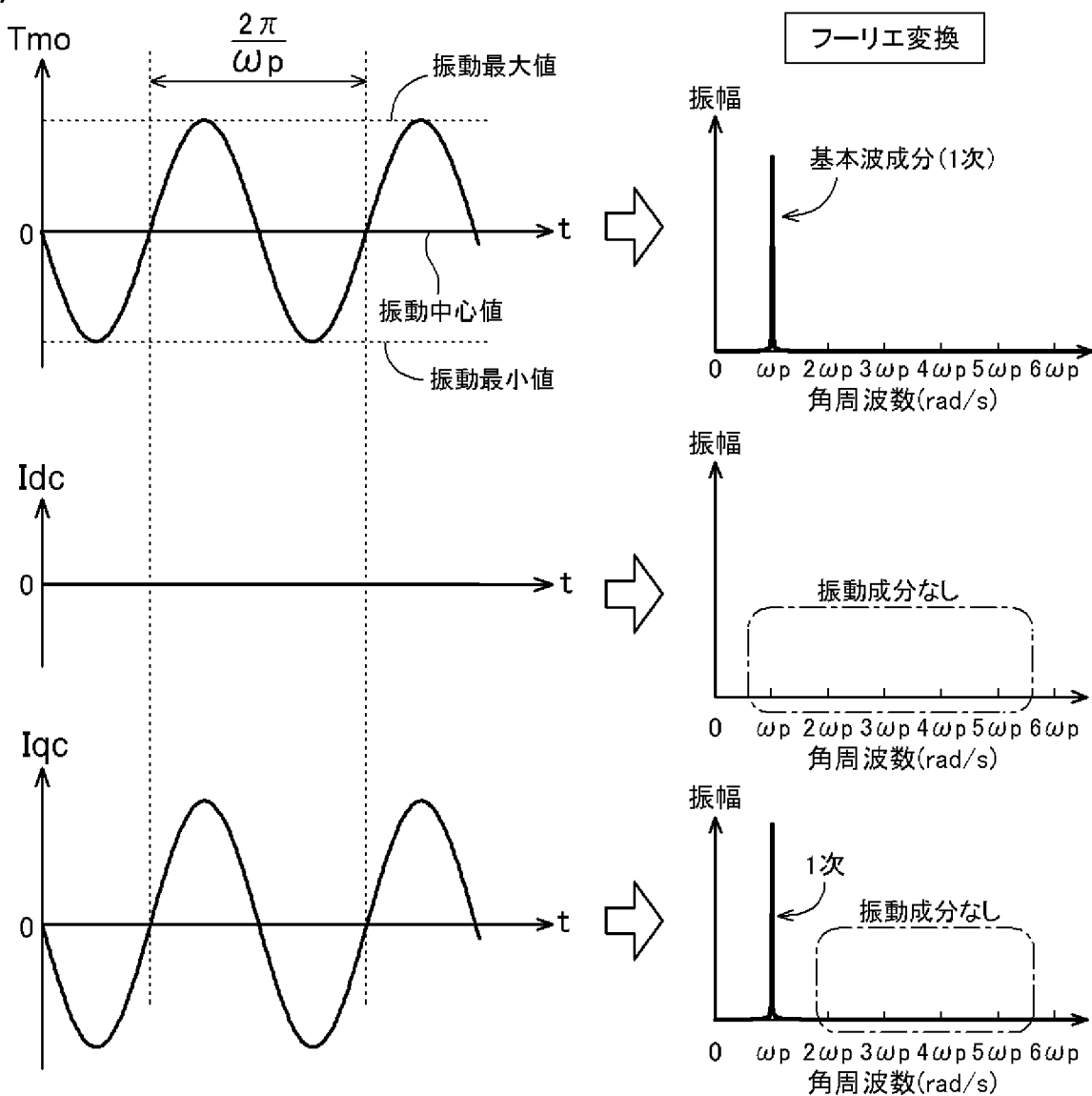


[図6]

(a)

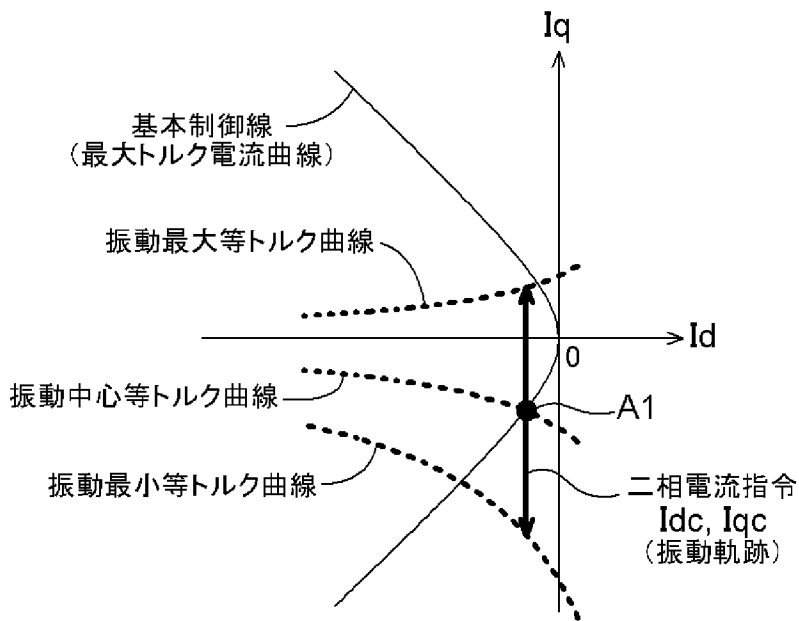


(b)

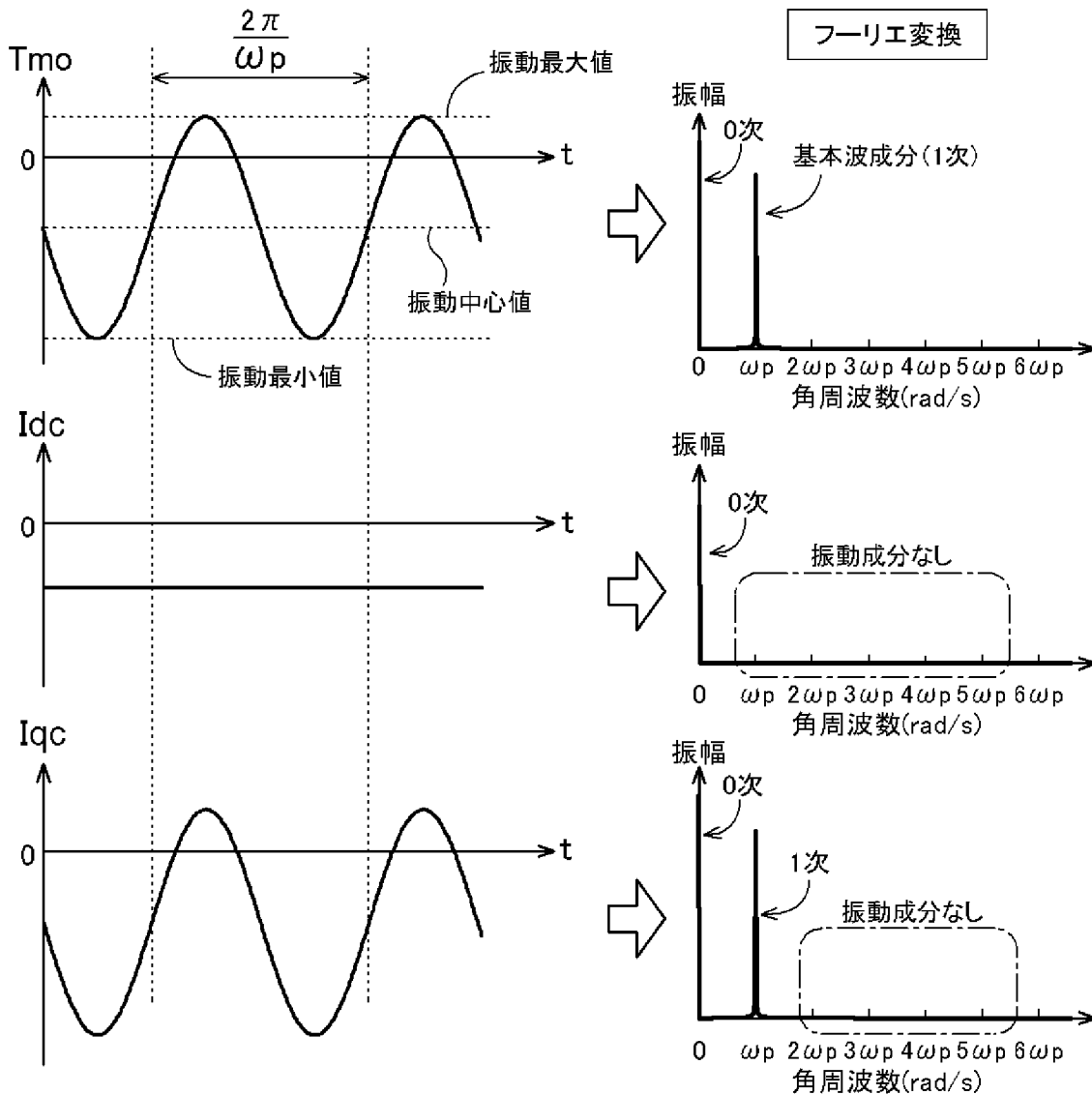


[図7]

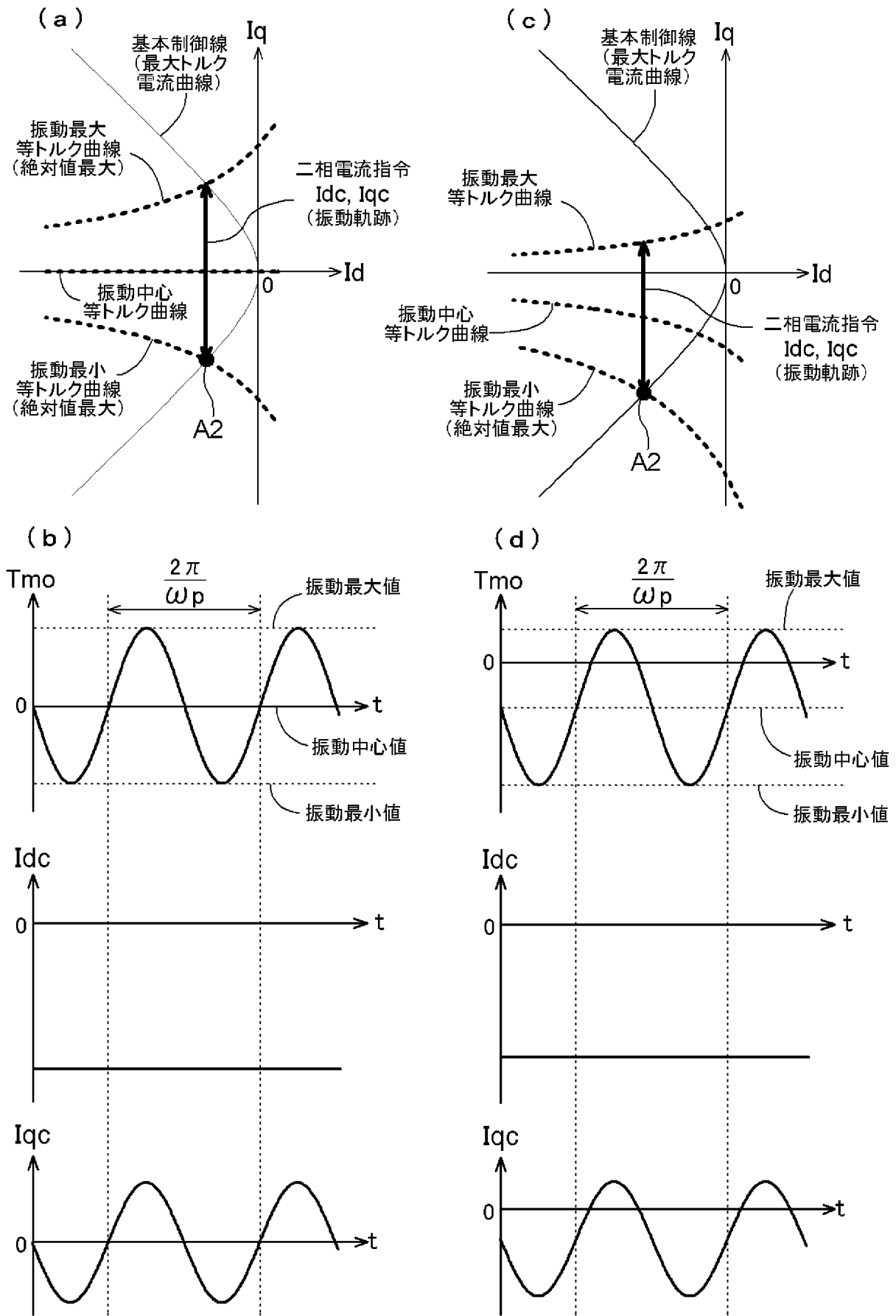
(a)



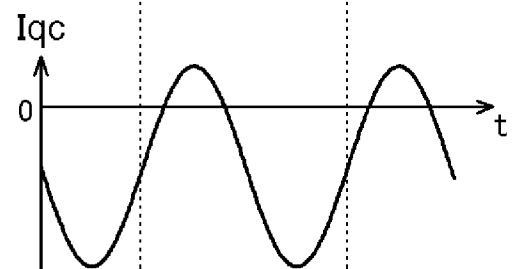
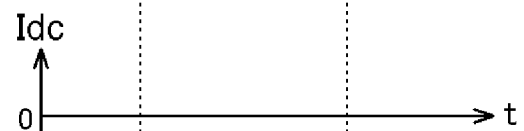
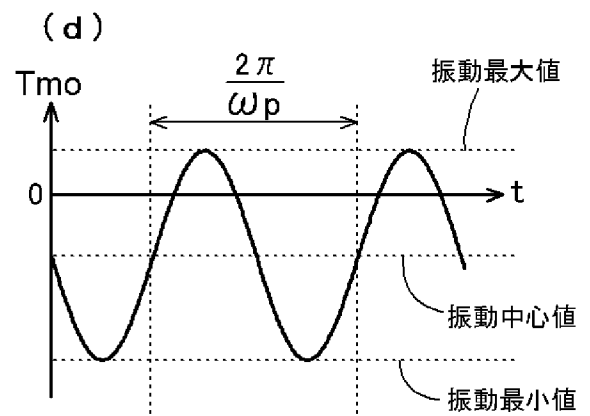
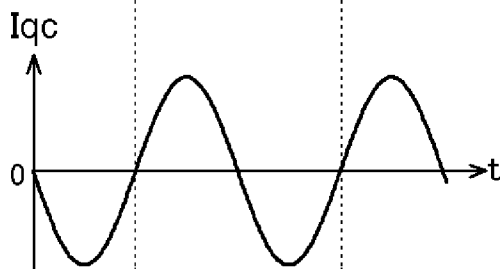
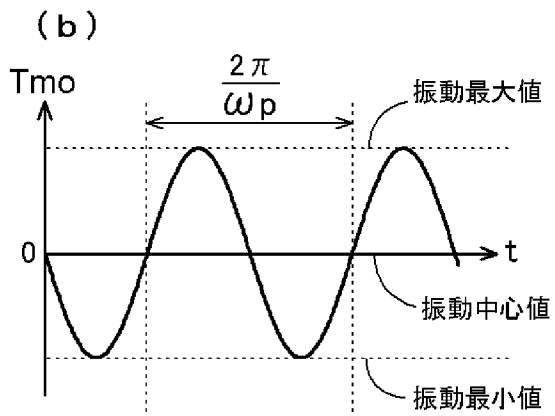
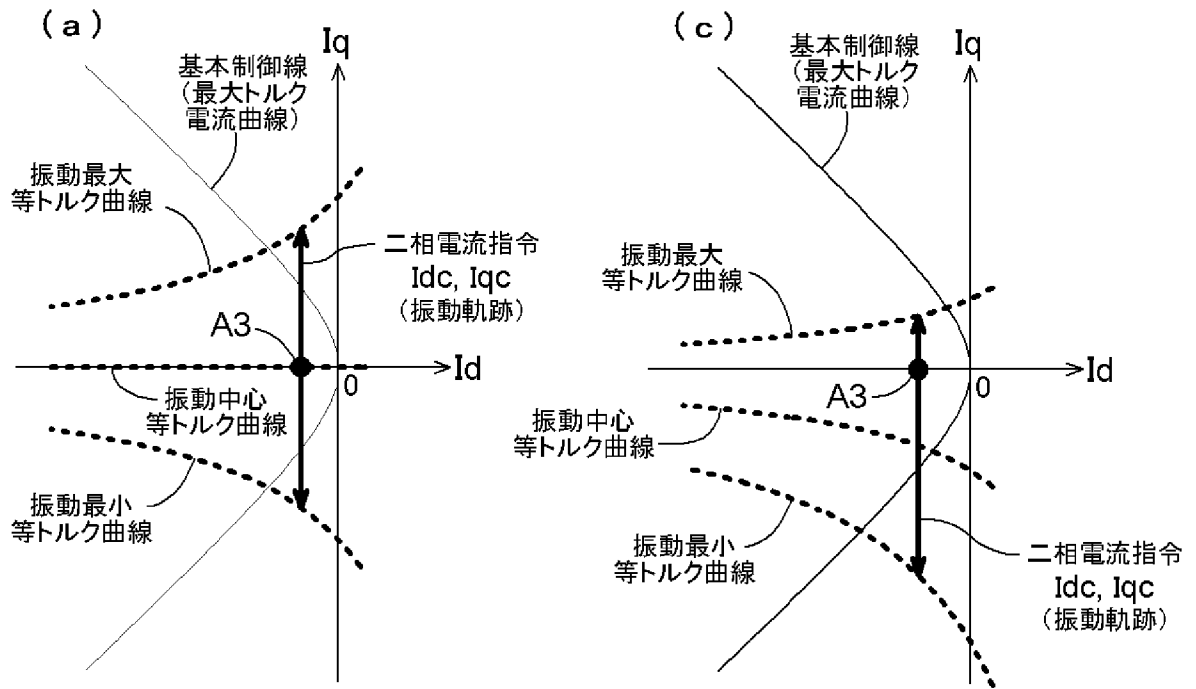
(b)



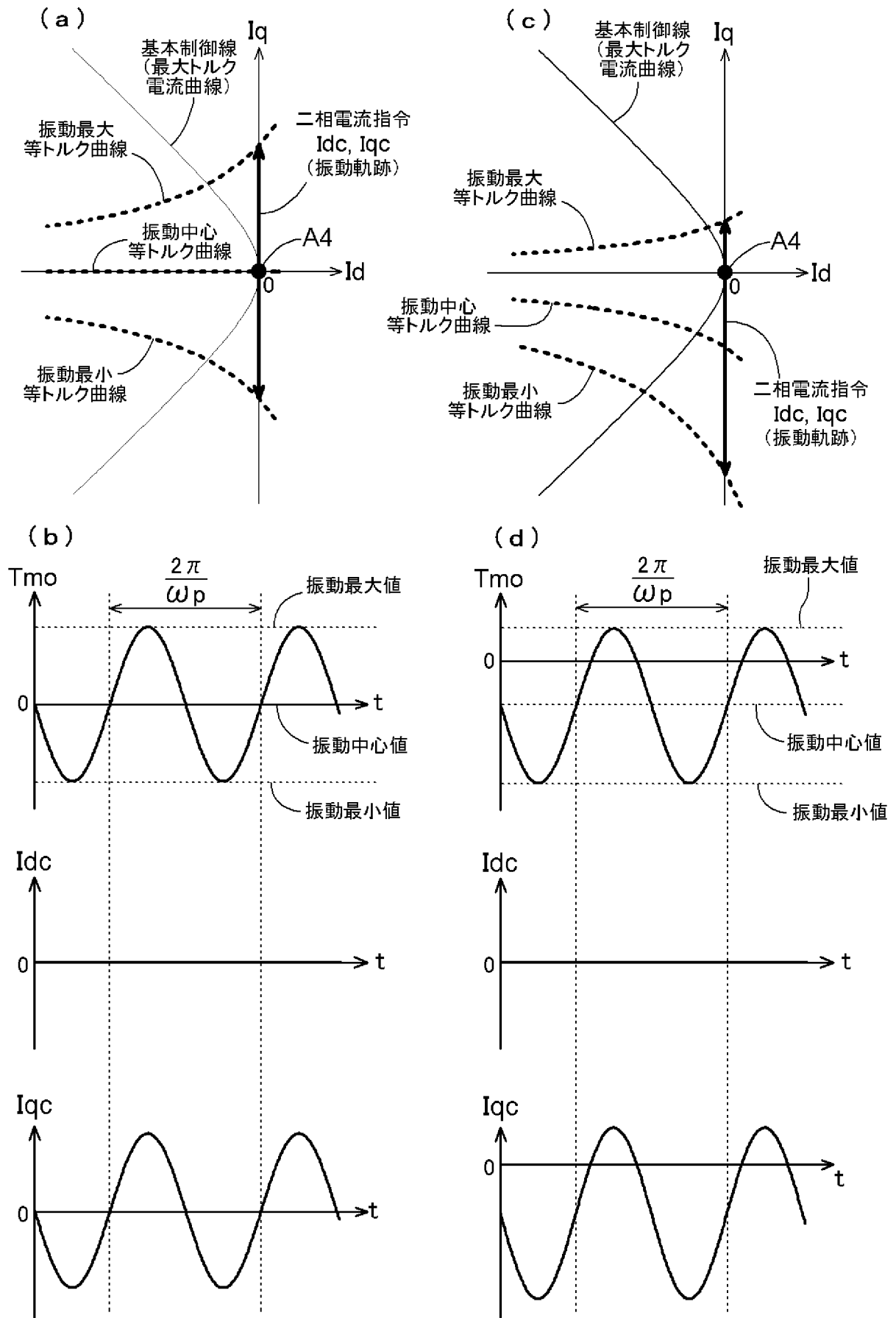
[図8]



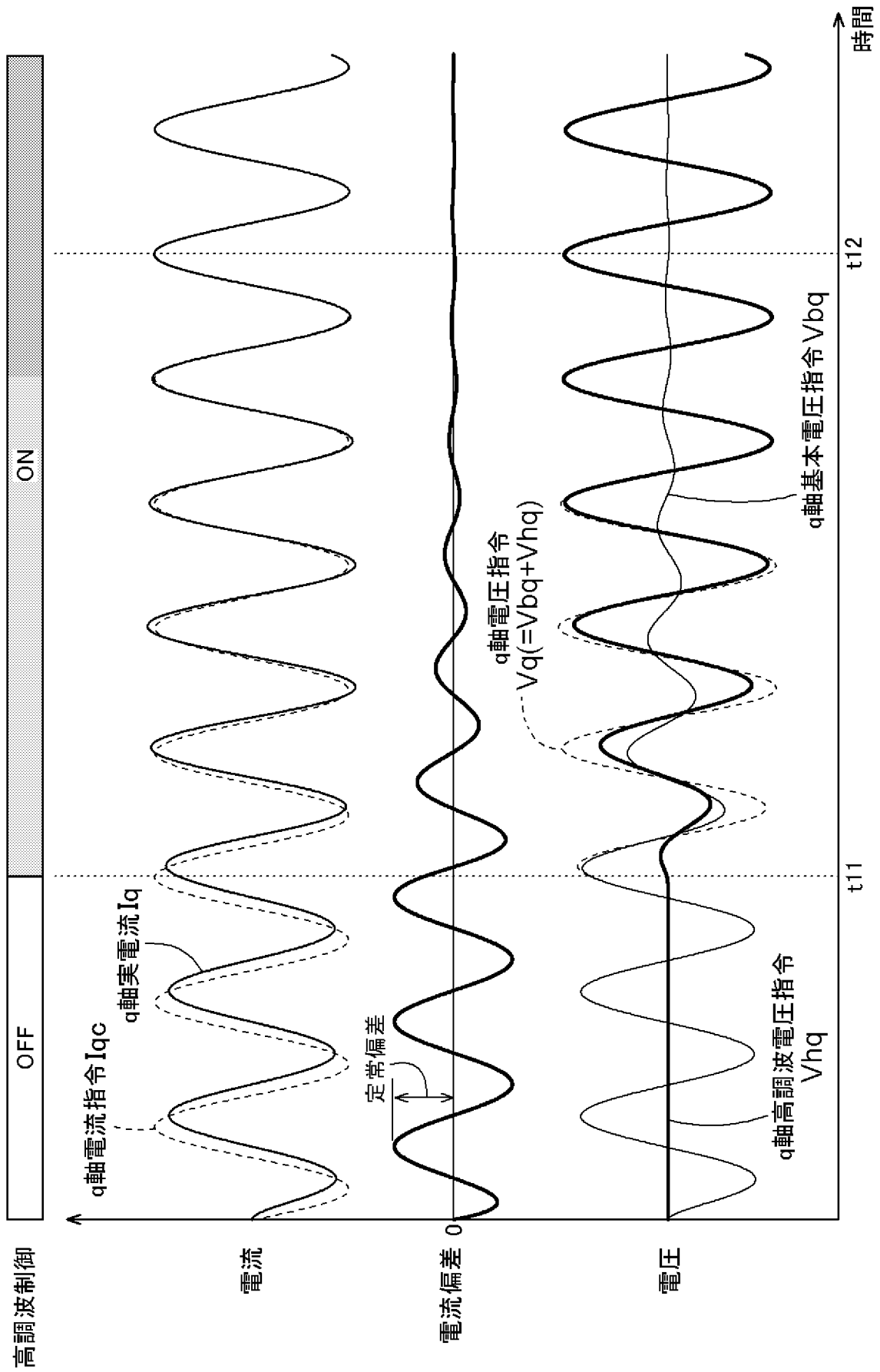
[図9]



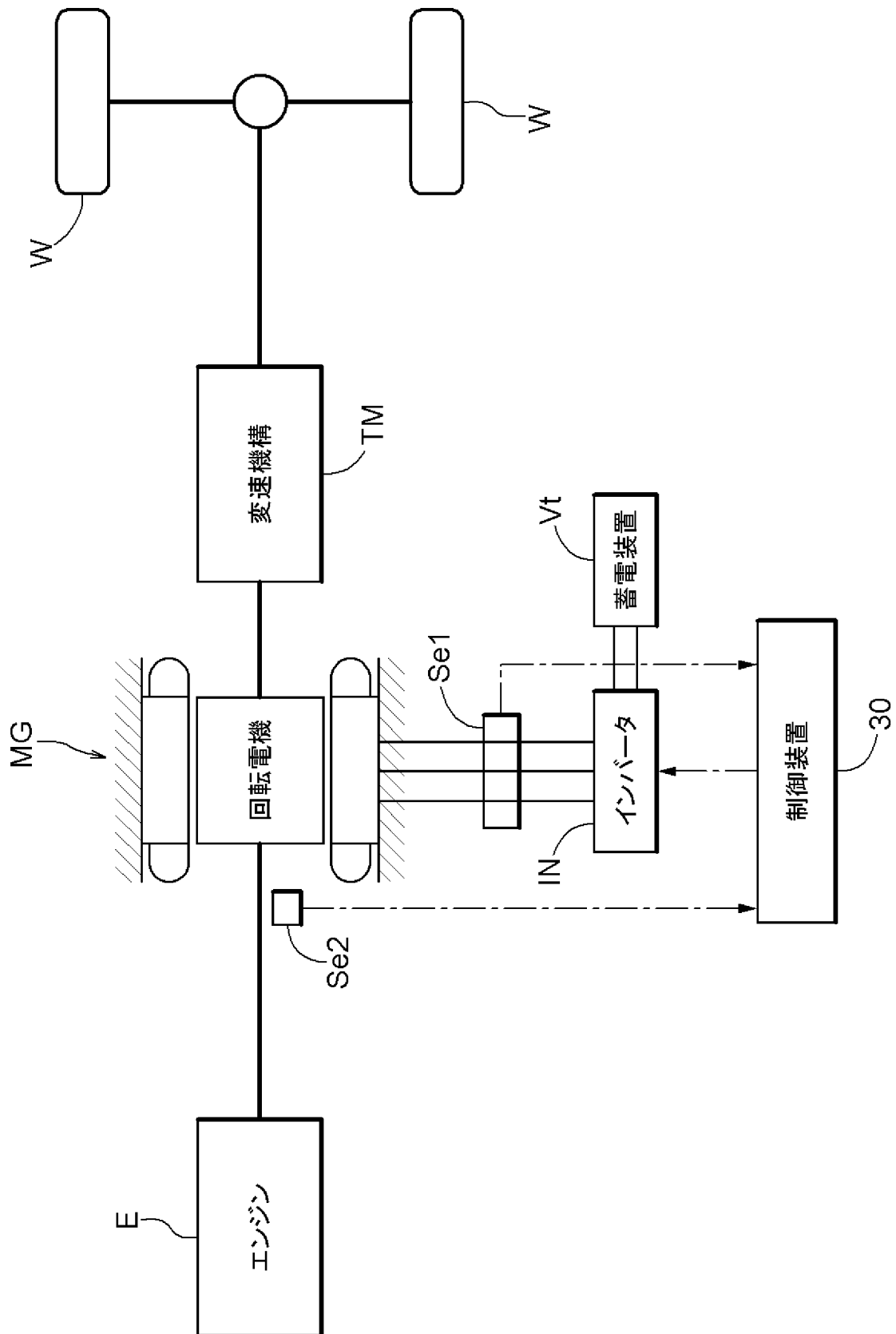
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070095

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P21/00(2006.01)i, B60L9/18(2006.01)i, H02P27/04(2006.01)i, B60L11/14(2006.01)n

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)

H02P21/00, B60L9/18, H02P27/04, B60L11/14

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2002-223582 A (Hitachi, Ltd.), 09 August 2002 (09.08.2002), paragraphs [0006] to [0010]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1, 7-8 2-6, 9
X A	JP 2001-95274 A (Toyoda Machine Works, Ltd.), 06 April 2001 (06.04.2001), paragraphs [0013] to [0020]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1, 7-8 2-6, 9
A	JP 2000-125410 A (Mitsubishi Electric Corp.), 28 April 2000 (28.04.2000), paragraphs [0007] to [0018]; fig. 4 (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
26 October, 2012 (26.10.12)Date of mailing of the international search report
06 November, 2012 (06.11.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070095

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 2006-33969 A (Fuji Heavy Industries Ltd.), 02 February 2006 (02.02.2006), paragraphs [0013] to [0032]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-9
A	JP 2010-239681 A (Aisin AW Co., Ltd.), 21 October 2010 (21.10.2010), paragraphs [0018] to [0070]; fig. 1 to 2 & US 2010/0244755 A1 & WO 2010/116787 A1 & CN 102300743 A	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070095

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Document 1 (JP 2002-223582 A (Hitachi, Ltd.), 09 August 2002 (09.08.2002), paragraphs [0006] to [0010]; fig. 1 to 3) discloses a control device which is A: "a control device for controlling a rotating electrical machine (40) having a rotor, wherein a biaxial rotating coordinate system is configured from a first axis (d axis) defined as the direction of a field-magnet magnetic flux of a magnet provided in the rotor and a second axis (q axis) defined as the direction different by an electrical angle of 90 degrees from the first axis, when periodic torque vibration (T_{sup}^*) is contained in a torque command (T^{**}), a torque current calculation unit performs first axis command fixing control for fixing a first axis current command (I_d^*) that is a first axis component of a two-phase current command at a predetermined value (0) and vibrating a second axis current command (I_q^*) that is a second axis component of the two-phase current command in accordance with the torque vibration (T_{sup}^*)".

Therefore, the invention of claim 1 cannot be considered to be novel in the light of the invention disclosed in the document 1, and does not have a special technical feature.

Further, document 1 also discloses that the torque current calculation unit determines the first axis current command (I_d^*) as zero when performing the first axis command fixing control, and that the torque vibration has a sinusoidal shape.

Therefore, also the inventions of claim 7 referring to claim 1 and claim 8 referring to claim 1 or 7 cannot be considered to be novel in the light of the invention disclosed in the document 1, and have no special technical feature.

Consequently, the following five inventions (invention groups) are involved in claims.

Meanwhile, the inventions of claim 1, claim 7 referring to claim 1, and claim 8 referring to claim 1 or 7 having no special technical feature are classified into invention 1.

(Invention 1) the inventions of claim 1, claim 2, claims 3-9 and dependent claims thereof which refer to all claims 1-2, claim 7 referring to claim 1, and claim 8 referring to claim 1 or 7

A and B: A control device, wherein "the torque current calculation unit determines the first axis current command such that the vibration trajectory of the two-phase current command intersects the basic control line at at least one point in the biaxial rotating coordinate system when performing the first axis command fixing control".

(Invention 2) the invention of claim 3 referring to claim 1, and claims 4-8 and dependent claims thereof which refer to all claims 1 and 3

A and C: A control device, wherein "the current feedback control unit calculates a second axis voltage command on the basis of a deviation between the second axis current command and a second axis component of the two-phase actual current by a proportional-integral calculation and a calculation using a harmonic model having the characteristic of a periodic function of the frequency of the torque vibration".

(Invention 3) the inventions of claim 4 referring to claim 1, and claims 8-9 which refer to all claims 1 and 4

(Continued to next extra sheet)

A and D: A control device, wherein "the torque current calculation unit determines the first axis current command as a value determined by a point of intersection of the basic control line and a vibration center equal torque curve when performing the first axis command fixing control".

(Invention 4) the inventions of claim 5 referring to claim 1, and claims 8-9 which refer to all claims 1 and 5

A and E: A control device, wherein "the torque current calculation unit determines the first axis current command as a value determined by a point of intersection of the basic control line and an absolute value maximum equal torque curve when performing the first axis command fixing control".

(Invention 5) the inventions of claim 6 referring to claim 1, and claim 8 which refers to all claims 1 and 6

A and F: A control device, wherein "the torque current calculation unit determines the first axis current command such that the amount of a current flowing to the rotating electrical machine during one period of the torque vibration is minimized when performing the first axis command fixing control".

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02P21/00(2006.01)i, B60L9/18(2006.01)i, H02P27/04(2006.01)i, B60L11/14(2006.01)n

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, B60L9/18, H02P27/04, B60L11/14

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	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2002-223582 A (株式会社日立製作所) 2002.08.09, 【0006】 - 【0010】, 図 1-3 (ファミリーなし)	1, 7-8 2-6, 9
X A	JP 2001-95274 A (豊田工機株式会社) 2001.04.06, 【0013】 - 【0020】, 図 1-6 (ファミリーなし)	1, 7-8 2-6, 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

26. 10. 2012

国際調査報告の発送日

06. 11. 2012

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)

櫻田 正紀

3V

2917

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2000-125410 A (三菱電機株式会社) 2000.04.28, 【0007】 - 【0018】, 図4 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2006-33969 A (富士重工業株式会社) 2006.02.02, 【0013】 - 【0032】, 図1-4 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2010-239681 A (アイシン・エイ・ダブリュ株式会社) 2010.10.21, 【0018】 - 【0070】, 図1-2 & US 2010/0244755 A1 & WO 2010/116787 A1 & CN 102300743 A	1-9

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

2. 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3. 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

特別ページを参照

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

文献1 (JP 2002-223582 A (株式会社日立製作所) 2002.08.09, 【0006】 - 【0010】, 図1-3) には、
A : 「ロータを有する回転電機 (40) を制御するための制御装置であって、
二軸回転座標系は、ロータに備えられた磁石の界磁磁束の方向に定められた第一軸 (d 軸) と、第一軸
に対して電気角で90度異なる方向に定められた第二軸 (q 軸) と、からなり、
トルク電流演算部は、トルク指令 (T**) に周期的なトルク振動 (Tsup*) が含まれる場合に、
二相電流指令の第一軸成分である第一軸電流指令 (Id*) を所定値 (0) に固定すると共に、二相電流
指令の第二軸成分である第二軸電流指令 (Iq*) をトルク振動 (Tsup*) に合わせて振動させる第
一軸指令固定制御を実行すること」を行う制御装置
が記載されている。したがって、請求項1に係る発明は、文献1に記載された発明に対して新規性が認め
られず、特別な技術的特徴を有しない。
また、文献1には、トルク電流演算部が、第一軸指令固定制御を実行する際に、第一軸電流指令 (Id
*) を0に決定すること、及び、トルク振動が正弦波状であることも記載されている。したがって、請求
項1を引用する請求項7、請求項1又は請求項7を引用する請求項8に係る発明も、文献1に記載された
発明に対して新規性が認められず、特別な技術的特徴を有しない。
よって、請求の範囲には、以下に示す5の発明 (群) が含まれる。
なお、特別な技術的特徴を有しない請求項1、請求項1を引用する請求項7、請求項1又は請求項7を
引用する請求項8に係る発明は、発明1に区分する。

(発明1) 請求項1, 請求項2, 請求項1-2のすべてを引用する請求項3-9及びその従属項, 請求項
1を引用する請求項7, 請求項1又は請求項7を引用する請求項8に係る発明

A及びB : 「トルク電流演算部は、第一軸指令固定制御を実行する際に、二軸回転座標系において、二相
電流指令の振動軌跡が基本制御線と少なくとも一箇所で交わるように、第一軸電流指令を決定すること」
を行う制御装置

(発明2) 請求項1を引用する請求項3, 請求項1, 3のすべてを引用する請求項4-8及びその従属項
に係る発明

A及びC : 「電流フィードバック制御部は、第二軸電圧指令を、第二軸電流指令と二相実電流の第二軸成
分との偏差に基づいて、比例積分演算、及びトルク振動の周波数の周期関数の特性を有する高調波モデル
を用いた演算により算出すること」を行う制御装置

(発明3) 請求項1を引用する請求項4, 請求項1, 4のすべてを引用する請求項8-9に係る発明

A及びD : 「トルク電流演算部は、第一軸指令固定制御を実行する際に、基本制御線と振動中心等トルク
曲線との交点により定まる値に第一軸電流指令を決定すること」を行う制御装置

(発明4) 請求項1を引用する請求項5, 請求項1, 5のすべてを引用する請求項8-9に係る発明

A及びE : 「トルク電流演算部は、第一軸指令固定制御を実行する際に、基本制御線と絶対値最大等トル
ク曲線との交点により定まる値に第一軸電流指令を決定すること」を行う制御装置

(発明5) 請求項1を引用する請求項6, 請求項1, 6のすべてを引用する請求項8に係る発明

A及びF : 「トルク電流演算部は、第一軸指令固定制御を実行する際に、トルク振動の一周期中に回転電
機に流れる電流量が最小となるように、第一軸電流指令を決定すること」を行う制御装置