(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年9月7日(07.09.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/159103 A1

(51) 国際特許分類:
H02P 21/14 (2016.01)　*H02P 6/08* (2016.01)
B62D 5/04 (2006.01)　*H02P 25/022* (2016.01)
B62D 6/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2018/000249

(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

(30) 優先権データ：
特願 2017-040909　2017年3月3日(03.03.2017)　JP

(71) 出願人: 日本電産株式会社 (**NIDEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町３３８番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: ガデリー アハマッド (**GHADERI, Ahmad**); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町３３８番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP).

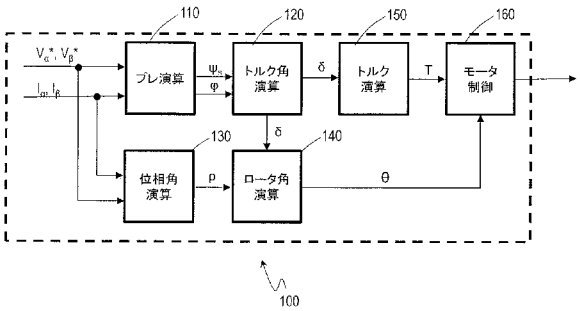
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

WO 2018/159103 A1

(54) **Title:** MOTOR CONTROL METHOD, MOTOR CONTROL SYSTEM, AND ELECTRIC POWER STEERING SYSTEM

(54) 発明の名称： モータ制御方法、モータ制御システムおよび電動パワーステアリングシステム

$$\delta = \Phi - \cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad (1)$$



110 Pre-calculation
120 Torque angle calculation
130 Phase angle calculation
140 Rotor angle calculation
150 Torque calculation
160 Motor control

(57) **Abstract:** This motor control method includes: a step in which a combined magnetic flux vector, the stator current, and the stator voltage are acquired from a phasor representation using an αβ fixed coordinate system or a dq rotary coordinate system as a reference; a step in which the angle ϕ between the stator current and the stator voltage is calculated; a step in which the torque angle δ is calculated on the basis of formula (1), wherein ψ_m represents the magnetic flux of a stator magnet, and ψ_s represents the size of the combined magnetic flux; and a

[続葉有]

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:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

step in which a motor is controlled on the basis of the torque angle δ.

(57) 要約:モータ制御方法は、αβ固定座標系またはｄｑ回転座標系を基準とした、フェーザ表示による、合成磁束ベクトル、ステータ電流およびステータ電圧を獲得するステップと、ステータ電流とステータ電圧との間の角度Φを演算するステップと、式(1)に基づいてトルク角δを演算するステップであって、ここで、Ψ_mは、ステータ磁石の磁束を示し、Ψ_sは合成磁束の大きさを示す、ステップと、トルク角δに基づいてモータを制御するステップと、を包含する。

明　細　書

発明の名称 ：

モータ制御方法、モータ制御システムおよび電動パワーステアリングシステム

技術分野

[0001] 本開示は、モータ制御方法、モータ制御システムおよび電動パワーステアリングシステムに関する。

背景技術

[0002] 近年、電気駆動システムが様々な応用分野に広く用いられる。電気駆動システムとして、例えばモータ制御システムが挙げられる。モータ制御システムは、例えばベクトル制御を用いて電動モータ（以下、「モータ」と表記する。）を制御する。ベクトル制御には、例えば、電流センサおよび位置センサを用いる方式（以下、「センサ制御」と称する。）と、電流センサのみを用いる方式（以下、「センサレス制御」と称する。）と、がある。センサ制御では、位置センサの測定値に基づいてロータの位置（以下、「ロータ角」と称する。）が算出される。一方、センサレス制御では、ロータ角は、電流センサによって測定される電流などに基づいて推定される。

[0003] ベクトル制御には、一般にトルク情報が必要とされる。トルクは、例えばモータのトルク角に基づいて演算することが可能である。特に、センサレス制御では、トルク角に基づいてロータ角を推定することが求められる。このように、ベクトル制御の精度向上には、トルク角を正確に取得することが不可欠とされる。例えば、センサ制御において、トルク角は、ｄｑ回転座標系における変数を用いて演算できることが知られている。トルク角は負荷角とも称される。

[0004] 特許文献１は、いわゆるオブザーバを用いてトルク角を推定するセンサレス制御を開示する。具体的に説明すると、オブザーバは、電流センサで測定された電流値に基づいてロータ角を推定し、さらに、推定されたロータ角に基

づいてフィードバック・トルク角を推定する。特許文献２は、トルクの推定値に基づいてトルク角を求める演算式を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特表２００７－５２５１３７号公報

特許文献2：中国特許出願公開第１０３６８４１６９号明細書

非特許文献

[0006] 非特許文献1：Ghaderi, Ahmad, and Tsuyoshi Hanamoto. ”Wide-speed-range sensorless vector control of synchronous reluctance motors based on extended programmable cascaded low-pass filters.” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 6, (June 2011), p.2322-2333.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] センサ制御に利用される、ｄｑ回転座標系における変数に基づくトルク角の演算は、センサレス制御には適用できない場合がある。その理由は以下のとおりである。ｄｑ回転座標系は、ロータと共に回転する回転座標系であり、ロータ角および回転速度に基づいて設定される座標系である。一方で、センサレス制御では、ロータ角の推定にトルク角が必要とされることがある。その場合、センサレス制御において、ｄｑ回転座標系における変数に依存しない、トルク角を求める手法が求められる。

[0008] センサレス制御において、特許文献１に開示されているようなオブザーバを用いるトルク角の推定は、通常、モータに関する様々のパラメータ（例えば、電機子インダクタンスおよびリアクタンス）を必要とし、かつ、それらに強く影響を受ける。例えば非特許文献１で言及されているように、オブザーバを用いる推定は、特に初期値およびノイズ共分散行列に強く依存するとされている。その結果、それらの値および行列を誤って選択すると、モータ制御を不安定にさせる可能性がある。さらに、オブザーバによる推定には、よ

り複雑な演算が必要とされる。そのため、コンピュータに対する演算負荷が増大するといった課題が生じる。以上の理由により、センサレス制御において、複雑な演算を特に必要としない、トルク角を推定するための手法が望まれる。

[0009] 本開示の実施形態は、センサレス制御において、ｄｑ回転座標系における変数に依存せずにトルク角を推定することが可能な、新規なモータ制御方法、モータ制御システム、および、当該モータ制御システムを有する電動パワーステアリングシステムを提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 本開示の例示的なモータ制御方法は、表面磁石型モータを制御するモータ制御方法であって、αβ固定座標系またはｄｑ回転座標系を基準とした、フェーザ表示による、合成磁束ベクトル、ステータ電流およびステータ電圧を獲得するステップと、前記ステータ電流と前記ステータ電圧との間の角度Φを演算するステップと、式（１）に基づいてトルク角δを演算するステップであって、

[数1]

$$\delta = \Phi - \cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(1)}$$

ここで、Ψ_mは、ステータ磁石の磁束を示し、Ψ_sは前記合成磁束の大きさを示す、ステップと、前記トルク角δに基づいてモータを制御するステップと、を包含する。

[0011] 本開示の例示的なモータ制御システムは、表面磁石型モータと、前記表面磁石型モータを制御する制御回路と、を有し、前記制御回路は、αβ固定座標系またはｄｑ回転座標系を基準とした、フェーザ表示による、合成磁束ベクトル、ステータ電流およびステータ電圧を獲得し、前記ステータ電流と前記ステータ電圧との間の角度Φを演算し、式（２）に基づいてトルク角δを演算し、

[数2]

$$\delta = \Phi - \cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(2)}$$

ここで、Ψ_mは、ステータ磁石の磁束を示し、Ψ_sは前記合成磁束の大きさを示し、前記トルク角δに基づいてモータを制御する。

発明の効果

[0012] 本開示の例示的な実施形態によると、センサレス制御において、ｄｑ回転座標系における変数に依存せずにトルク角を求めることが可能な、新規なモータ制御方法、モータ制御システム、および当該モータ制御システムを有する電動パワーステアリングシステムが提供される。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図１は、実施形態１によるモータ制御システム１０００のハードウェアブロックを示すブロック図である。

[図2]図２は、実施形態１によるモータ制御システム１０００中のインバータ３００のハードウェア構成を示すブロック図である。

[図3]図３は、実施形態１の変形例によるモータ制御システム１０００のハードウェアブロックを示すブロック図である。

[図4]図４は、コントローラ１００の機能ブロック示す機能ブロック図である。

[図5]図５は、変数I_s、Ψ_s、ΦおよびV_sを表示するフェーザ図である。

[図6]図６は、$\alpha\beta$固定座標系またはｄｑ回転座標系における合成磁束Ψ_sを表示するフェーザ図である。

[図7]図７は、ロータ磁束Ψ_m、電機子磁束Ψ_aおよび合成磁束Ψ_sを表すフェーザ図である。

[図8]図８は、所定期間内の、トルクの波形（上）、三相電流の波形（中間）、および、三相電圧の波形（下）を示すグラフである。

[図9]図９は、本開示の演算式を用いて推定された所定期間内のトルク角（度

）、および、トルク角の実測値の波形を示すグラフである。

[図10]図１０は、実施形態２によるＥＰＳシステム２０００の典型的な構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、添付の図面を参照しながら、本開示のモータ制御方法、モータ制御システム、および当該モータ制御システムを有する電動パワーステアリングシステムの実施形態を詳細に説明する。但し、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするため、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。

[0015] （実施形態１）

〔モータ制御システム１０００の構成〕

図１は、本実施形態によるモータ制御システム１０００のハードウェアブロックを模式的に示す。

[0016] モータ制御システム１０００は、典型的に、モータＭと、コントローラ（制御回路）１００と、駆動回路２００と、インバータ（「インバータ回路」とも称される。）３００と、複数の電流センサ４００と、アナログデジタル変換回路（以下、「ＡＤコンバータ」と表記する。）５００と、ＲＯＭ（Ｒｅａｄ　Ｏｎｌｙ　Ｍｅｍｏｒｙ）６００とを有する。モータ制御システム１０００は、モジュール化され、例えば、モータ、センサ、ドライバおよびコントローラを有するモータモジュールとして製造および販売され得る。本明細書では、構成要素としてモータＭを有するシステムを例に、モータ制御システム１０００を説明する。ただし、モータ制御システム１０００は、構成要素としてモータＭを有しない、モータＭを駆動するためのシステムであってもよい。

[0017] モータＭは、表面磁石型（ＳＰＭ）モータであり、例えば表面磁石型同期モータ（ＳＰＭＳＭ）である。モータＭは、例えば三相（Ｕ相、Ｖ相およびＷ相）の巻線（不図示）を有する。三相の巻線は、インバータ３００に電気的

に接続される。三相モータに限らず、五相、七相などの多相モータも本開示の範疇である。本明細書では、三相モータを制御するモータ制御システムを例に、本開示の実施形態を説明する。

[0018] コントローラ１００は、例えばマイクロコントロールユニット（ＭＣＵ）である。または、コントローラ１００は、例えば、ＣＰＵコアが組み込まれたフィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ）によっても実現し得る。

[0019] コントローラ１００は、モータ制御システム１０００の全体を制御し、例えばベクトル制御によってモータＭのトルクおよび回転速度を制御する。モータＭは、ベクトル制御に限らず、他のクローズドループ制御によっても制御され得る。回転速度は、単位時間（例えば１分間）にロータが回転する回転数（ｒｐｍ）または単位時間（例えば１秒間）にロータが回転する回転数（ｒｐｓ）で表される。ベクトル制御は、モータに流れる電流を、トルクの発生に寄与する電流成分と、磁束の発生に寄与する電流成分とに分解し、互いに直交する各電流成分を独立に制御する方法である。コントローラ１００は、例えば、複数の電流センサ４００によって測定された実電流値、および実電流値に基づいて推定されたロータ角などに従って目標電流値を設定する。コントローラ１００は、その目標電流値に基づいてＰＷＭ（Ｐｕｌｓｅ Ｗｉｄｔｈ Ｍｏｄｕｌａｔｉｏｎ）信号を生成し、駆動回路２００に出力する。

[0020] 駆動回路２００は、例えばゲートドライバである。駆動回路２００は、インバータ３００におけるスイッチング素子のスイッチング動作を制御する制御信号を、コントローラ１００から出力されるＰＷＭ信号に従って生成する。後述するように、駆動回路２００は、コントローラ１００に実装されていてもよい。

[0021] インバータ３００は、例えば直流電源（不図示）から供給される直流電力を交流電力に変換し、変換された交流電力でモータＭを駆動する。例えば、インバータ３００は、駆動回路２００から出力される制御信号に基づいて、直

流電力を、Ｕ相、Ｖ相およびW相の擬似正弦波である三相交流電力に変換する。この変換された三相交流電力でモータＭは駆動される。

[0022] 複数の電流センサ４００は、モータＭのＵ相、Ｖ相およびW相の巻線に流れる少なくとも２つの電流を検出する少なくとも２つの電流センサを有する。本実施形態では、複数の電流センサ４００は、Ｕ相およびＶ相に流れる電流を検出する２つの電流センサ４００Ａ、４００Ｂ（図２を参照）を有する。当然に、複数の電流センサ４００は、Ｕ相、Ｖ相およびW相の巻線に流れる３つの電流を検出する３つの電流センサを有していてもよいし、例えばＶ相およびW相に流れる電流またはW相およびＵ相に流れる電流を検出する２つの電流センサを有していてもよい。電流センサは、例えば、シャント抵抗、およびシャント抵抗に流れる電流を検出する電流検出回路（不図示）を有する。シャント抵抗の抵抗値は、例えば０．１Ω程度である。

[0023] ＡＤコンバータ５００は、複数の電流センサ４００から出力されるアナログ信号をサンプリングしてデジタル信号に変換し、この変換したデジタル信号をコントローラ１００に出力する。コントローラ１００がＡＤ変換を行ってもよい。その場合、複数の電流センサ４００は、アナログ信号をコントローラ１００に直接出力する。

[0024] ＲＯＭ６００は、例えば書き込み可能なメモリ（例えばＰＲＯＭ）、書き換え可能なメモリ（例えばフラッシュメモリ）または読み出し専用のメモリである。ＲＯＭ６００は、コントローラ１００にモータＭを制御させるための命令群を有する制御プログラムを格納する。例えば、制御プログラムはブート時にＲＡＭ（不図示）に一旦展開される。ＲＯＭ６００は、コントローラ１００に外付けされる必要はなく、コントローラ１００に搭載されていてもよい。ＲＯＭ６００を搭載したコントローラ１００は、例えば上述したＭＣＵであり得る。

[0025] 図２を参照して、インバータ３００のハードウェア構成を詳細に説明する。

[0026] 図２は、本実施形態によるモータ制御システム１０００中のインバータ３０

０のハードウェア構成を模式的に示す。

[0027] インバータ３００は、３個のローサイドスイッチング素子および３個のハイサイドスイッチング素子を有する。図示されるスイッチング素子ＳＷ＿Ｌ１、ＳＷ＿Ｌ２およびＳＷ＿Ｌ３がローサイドスイッチング素子であり、スイッチング素子ＳＷ＿Ｈ１、ＳＷ＿Ｈ２およびＳＷ＿Ｈ３が、ハイサイドスイッチング素子である。スイッチング素子として、例えば、電界効果トランジスタ（ＦＥＴ、典型的にはＭＯＳＦＥＴ）または絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（ＩＧＢＴ）などの半導体スイッチ素子を用いることができる。スイッチング素子は、モータＭに向けて流れる回生電流を流す還流ダイオードを有する。

[0028] 図２に、Ｕ相およびＶ相に流れる電流を検出する２つの電流センサ４００Ａ、４００Ｂのシャント抵抗Ｒｓを示す。図示されるように、例えばシャント抵抗Ｒｓは、ローサイドスイッチング素子とグランドとの間に電気的に接続され得る。または、例えばシャント抵抗Ｒｓは、ハイサイドスイッチング素子と電源との間に電気的に接続され得る。

[0029] コントローラ１００は、例えばベクトル制御に基づく三相通電による制御（以下、「三相通電制御」と表記する。）を行うことによってモータＭを駆動することができる。例えば、コントローラ１００は、三相通電制御を行うためのＰＷＭ信号を生成し、そのＰＷＭ信号を駆動回路２００に出力する。駆動回路２００は、インバータ３００中の各ＦＥＴのスイッチング動作を制御するゲート制御信号をＰＷＭ信号に基づいて生成し、各ＦＥＴのゲートに与える。

[0030] 図３は、本実施形態の変形例によるモータ制御システム１０００のハードウェアブロックを模式的に示す。

[0031] 図示されるように、モータ制御システム１０００は、駆動回路２００を有していなくてもよい。その場合、コントローラ１００は、インバータ３００の各ＦＥＴのスイッチング動作を直接制御することが可能なポートを有する。具体的に説明すると、コントローラ１００は、ゲート制御信号をＰＷＭ信号

に基づいて生成することが可能である。コントローラ１００は、そのポートを介してゲート制御信号を出力し、そのゲート制御信号を各ＦＥＴのゲートに与えることができる。

[0032] 図３に示されるように、モータ制御システム１０００は、位置センサ７００をさらに有していてもよい。位置センサ７００は、モータＭに配置され、ロータ角を検出してコントローラ１００に出力する。位置センサ７００は、例えば磁気抵抗（ＭＲ）素子を有するＭＲセンサとセンサマグネットとの組み合わせによって実現される。位置センサ７００は、例えば、ホール素子を含むホールＩＣまたはレゾルバを用いても実現される。

[0033] モータ制御システム１０００は、位置センサ７００の代わりに、例えば、速度センサまたは加速度センサを有し得る。コントローラ１００は、位置センサとして速度センサを用いる場合、回転速度信号または角速度信号に積分処理等を行うことによりロータ角、つまり、回転角を算出することができる。角速度は、１秒間にロータが回転する角度（ｒａｄ／ｓ）で表される。また、コントローラ１００は、位置センサとして加速度センサを用いる場合、角加速度信号に積分処理等を行うことにより回転角を算出することができる。

[0034] 本開示のモータ制御システムは、例えば図１および２に示されるような、位置センサを有しない、センサレス制御を行うためのモータ制御システムに利用され得る。また、本開示のモータ制御システムは、例えば図３に示されるような、位置センサを有する、センサ制御を行うためのモータ制御システムにも利用され得る。

[0035] 以下、図４から図７を参照しながら、センサレス制御用のモータ制御システムを例に、そのシステムに用いられるモータ制御方法の具体例を説明し、トルク角の推定に用いる演算を主に説明する。本開示のモータ制御方法は、トルク角の推定が要求される、ＳＰＭモータを制御するための様々なモータ制御システムに利用され得る。

[0036] 〔モータ制御システム１０００の制御方法〕

モータ制御システム１０００の制御方法の概要は以下のとおりである。

[0037] まず、電流センサ４００で測定された三相電流Ｉ$_a$、Ｉ$_b$およびＩ$_c$をαβ固定座標系におけるα軸およびβ軸上の電流Ｉ$_\alpha$、Ｉ$_\beta$に変換する。次に、電流Ｉ$_\alpha$、Ｉ$_\beta$に基づいて、位相角ρを演算し、かつ、合成磁束Ψ$_s$、および、ステータ電圧Ｖ$_s$とステータ電流Ｉ$_s$との間の角度Φ（以降、「位相角Φ」と表記する。）を演算する。次に、合成磁束Ψ$_s$および位相角Φに基づいてトルク角δを推定し、かつ、モータ制御に必要なトルクＴおよびロータ角θをトルク角δに基づいて決定する。最終的に、トルクＴおよびロータ角θに基づいてモータＭを制御する。

[0038] 本実施形態によるモータ制御方法を実現するためのアルゴリズムは、例えば特定用途向け集積回路（ＡＳＩＣ）またはＦＰＧＡなどのハードウェアのみで実現することもできるし、ハードおよびソフトウェアの組み合わせによっても実現することができる。

[0039] 図４は、トルク角δを推定するための、コントローラ１００の機能ブロックを模式的に示す。本明細書において、機能ブロック図における各ブロックは、ハードウェア単位ではなく機能ブロック単位で示される。モータ制御用ソフトウェアは、例えば、各機能ブロックに対応した特定の処理を実行させるためのコンピュータプログラムを構成するモジュールであり得る。そのようなコンピュータプログラムは、例えばＲＯＭ６００に格納される。

[0040] 図４に示されるように、コントローラ１００は、例えば、プレ演算ユニット１１０、トルク角演算ユニット１２０、位相角演算ユニット１３０、ロータ角演算ユニット１４０、トルク演算ユニット１５０およびモータ制御ユニット１６０を有する。コントローラ１００は、合成磁束Ψ$_s$および位相角Φに基づいてトルク角δを演算することができる。本明細書において、説明の便宜上、各機能ブロックをユニットと表記することとする。当然に、この表記は、各機能ブロックを、ハードウェアまたはソフトウェアに限定解釈する意図で用いられない。

[0041] 各機能ブロックがソフトウェアとしてコントローラ１００に実装される場合

、そのソフトウェアの実行主体は、例えばコントローラ１００のコアであり得る。上述したように、コントローラ１００は、ＦＰＧＡによって実現され得る。その場合、全てまたは一部の機能ブロックは、ハードウェアで実現され得る。

[0042] 複数のＦＰＧＡを用いて処理を分散させることにより、特定のコンピュータの演算負荷を分散させることができる。その場合、図４に示される機能ブロックの全てまたは一部は、その複数のＦＰＧＡに分散して実装され得る。複数のＦＰＧＡは、例えば車載のコントロールエリアネットワーク（ＣＡＮ）によって互いに通信可能に接続され、データの送受信がなされる。

[0043] 例えば三相通電制御において、各相を流れる電流の総和は理想的にゼロになる。本明細書において、モータＭのＵ相の巻線に流れる電流をI_a、モータＭのＶ相の巻線に流れる電流をI_b、および、モータＭのW相の巻線に流れる電流をI_cとする。電流I_a、I_bおよびI_cの総和はゼロになる。

[0044] コントローラ１００（例えばＣＰＵコア）は、電流I_a、I_bおよびI_cのうちの２つの電流を受け取って残りの１つの電流を演算により求める。本実施形態では、コントローラ１００は、電流センサ４００Ａで測定された電流I_aおよび電流センサ４００Ｂで測定された電流I_bを取得する。コントローラ１００は、電流I_a、I_bおよびI_cの総和はゼロになる上記関係を用いて、電流I_a、I_bに基づいて電流I_cを演算する。３つの電流センサを用いて電流I_a、I_bおよびI_cを測定し、それらをＡＤコンバータ５００を介してコントローラ１００に入力する構成を採用しても構わない。

[0045] コントローラ１００は、ベクトル制御などに用いられるいわゆるクラーク変換を用いて、電流I_a、I_bおよびI_cを、αβ固定座標系における、α軸上の電流I_αおよびβ軸上の電流I_βに変換することができる。ここで、αβ固定座標系は静止座標系である。三相のうちの一相の方向（例えばＵ相方向）がα軸であり、α軸と直交する方向がβ軸である。

[0046] コントローラ１００はさらに、クラーク変換を用いて、リファレンス電圧V_a^*、V_b^*およびV_c^*を、αβ固定座標系における、α軸上のリファレンス電圧

V_α*およびβ軸上のリファレンス電圧V_β*に変換する。リファレンス電圧V_a*、V_b*およびV_c*は、インバータ３００の各スイッチング素子を制御するための、上述したＰＷＭ信号を表す。

[0047] 例えば、電流I_α、I_β、リファレンス電圧V_α*およびV_β*を求める演算は、コントローラ１００のモータ制御ユニット１６０によっても実行され得る。電流I_α、I_β、リファレンス電圧V_α*およびV_β*は、プレ演算ユニット１１０および位相角演算ユニット１３０に入力される。

[0048] 本実施形態によるモータ制御において、ステータ電流I_s、合成磁束Ψ_sおよび位相角Φは、変数として与えられ、電機子抵抗Ｒ（ｍΩ）、電機子インダクタンスＬ（μＨ）およびロータ磁束Ψ_m（Ｗｂ）は、パラメータとして与えられる。ここで、ロータ磁束Ψ_mは、ロータの永久磁石の磁束の大きさを示す。

[0049] プレ演算ユニット１１０は、電流I_α、I_β、リファレンス電圧V_α*およびV_β*に基づいて、$\alpha\beta$固定座標系またはｄｑ回転座標系を基準とした、変数I_s、V_s、Ψ_sおよびΦを獲得する。ｄｑ回転座標系は、ロータと共に回転する回転座標系である。プレ演算ユニット１１０は、後段のトルク角演算ユニット１２０に上記の変数を渡すためにプレ演算を行うためのユニットである。

[0050] 図５は、変数I_s、Ψ_s、ΦおよびV_sを表示するフェーザ図である。図６は、$\alpha\beta$固定座標系またはｄｑ回転座標系における合成磁束Ψ_sを表示するフェーザ図である。図示される変数はすべてフェーザ表示によって表される。以下、各変数をフェーザとして扱う。

[0051] ＜変数：ステータ電流I_s＞

プレ演算ユニット１１０は、以下で説明する位相角Φを演算するために、式（１）に基づいてフェーザ図におけるステータ電流I_sを演算する。

$$I_s = (I_\alpha^2 + I_\beta^2)^{1/2} \qquad \text{式（１）}$$

[0052] ＜変数：合成磁束Ψ_s＞

プレ演算ユニット１１０は、電流I_α、I_β、リファレンス電圧V_α*およびV_β*に基づいてフェーザ図における合成磁束Ψ_sを演算する。具体的に説明す

ると、プレ演算ユニット１１０は、式（２）から（４）に基づいて合成磁束Ψ_sを演算する。合成磁束Ψ_sは、図５に示されるように、ロータ磁束Ψ_mに電機子磁束Ψ_a（＝Ｌ・Ｉ$_s$）を加算することにより得られる。

[0053] プレ演算ユニット１１０は、例えば、式（２）に基づいて合成磁束Ψ_sのα軸上の成分Ψ_αを演算する。プレ演算ユニット１１０は、式（３）に基づいて合成磁束Ψ_sのβ軸上の成分Ψ_βを演算する。ここで、式（２）および（３）の中のＬＰＦは、ローパスフィルタによる処理を意味する。高調波を除去する目的で、例えばコントローラ１００が有する汎用ローパスフィルタを用いることができる。合成磁束Ψ_sは、式（４）で表される。

Ψ_α＝ＬＰＦ（V_α*－Ｒ・I_α）　式（２）

Ψ_β＝ＬＰＦ（V_β*－Ｒ・I_β）　式（３）

$\Psi_s=(\Psi_\alpha^2+\Psi_\beta^2)^{1/2}$　式（４）

[0054] ＜変数：位相角Φ＞

プレ演算ユニット１１０は、電流I_α、I_β、リファレンス電圧V_α*およびV_β*に基づいてα軸上の逆起電力成分ＢＥＭＦ$_\alpha$およびβ軸上の逆起電力成分ＢＥＭＦ$_\beta$を演算する、具体的に説明すると、プレ演算ユニット１１０は、式（５）および（６）に基づいて逆起電力成分ＢＥＭＦ$_\alpha$、ＢＥＭＦ$_\beta$を演算する。

ＢＥＭＦ$_\alpha$＝V_α*－Ｒ・I_α　式（５）

ＢＥＭＦ$_\beta$＝V_β*－Ｒ・I_β　式（６）

[0055] プレ演算ユニット１１０は、式（７）に基づいてフェーザ図におけるステータ電圧V_sを演算する。ステータ電圧V_sは、逆起電力電圧に対応した電圧である。このように、本明細書では、逆起電力電圧をステータ電圧と呼ぶ。

$V_s=(BEMF_\alpha^2+BEMF_\beta^2)^{1/2}$　式（７）

[0056] 位相角Φは、図５に示されるように、例えばｄｑ回転座標系において、ステータ電流I_sとステータ電圧V_sとの間の角度で表され、反時計方向を正の方向とする角度である。

[0057] プレ演算ユニット１１０は、式（８）に基づいて位相角Φを演算する。ここ

で、「ａｒｇ」は、フェーザの偏角を表す演算子である。位相角Φは２つのフェーザの偏角の差を表す。

$$\Phi = arg(V_s) - arg(I_s) \quad \text{式（８）}$$

[0058] プレ演算ユニット１１０は、変数Ψ_sおよびΦをトルク角演算ユニット１２０に出力する。コントローラ１００とは異なる他のハードウェア（例えば、ＦＰＧＡ）が変数Ψ_sおよびΦを演算してもよい。トルク角演算ユニット１２０は、他のハードウェアから変数Ψ_sおよびΦを受け取ることにより、それらを獲得してもよい。このような構成によると、コントローラ１００の演算負荷を低減することが可能となる。

[0059] トルク角演算ユニット１２０は、パラメータΨ_m、変数Ψ_sおよびΦに基づいてトルク角δを演算する。トルク角δは、図６において、例えばｄｑ回転座標系における合成磁束Ψ_sとｄ軸との間の角度で表され、反時計方向を正の方向とする角度である。

[0060] 図７は、ロータ磁束Ψ_m、電機子磁束Ψ_aおよび合成磁束Ψ_sを表すフェーザ図である。

[0061] 図示されるように、Ψ_m、Ψ_aおよびΨ_sを三辺とする三角形に、いわゆる正弦定理を適用すると、式（９）が得られる。$sin(90-\theta)=cos\theta$の関係から、式（９）を式（１０Ａ）および式（１０Ｂ）に変形することができる。

$$\Psi_a / sin(\delta) = \Psi_s / sin[90-(\delta-\Phi)] = \Psi_m / sin(90-\Phi) \quad \text{式（９）}$$

$$\Psi_a / sin(\delta) = \Psi_s / cos(\delta-\Phi) = \Psi_m / cos(\Phi) \quad \text{式（１０Ａ）}$$

$$\Rightarrow \Psi_s cos(\Phi) = \Psi_m cos(\delta-\Phi) \quad \text{式（１０Ｂ）}$$

[0062] 式（１０Ｂ）の両辺をΨ_mで割り、かつ、ｃｏｓ（δ－Φ）の逆三角関数を求めると、式（１１）が得られ、δに関する式（１２）が最終的に得られる。式（１１）または式（１２）の$\pm cos^{-1}$は、（δ－Φ）が正または負の値をとり得ることを意味する。

[数3]

$$\delta - \Phi = \pm\cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(11)}$$

[数4]

$$\delta = \Phi \pm\cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(12)}$$

[0063] トルク角演算ユニット１２０は、トルク角δをトルク演算ユニット１５０およびロータ角演算ユニット１４０に出力する。式（１２）に示されるように、トルク角δの推定に、ｄｑ回転座標系における変数、パラメータＬ、および、変数Ｉ$_s$は必要とされない。本実施形態によれば、パラメータΨ$_m$、変数Ψ$_s$およびΦに基づいてトルク角δを演算することが可能となる。

[0064] 位相角演算ユニット１３０は、電流Ｉ$_\alpha$、Ｉ$_\beta$、リファレンス電圧Ｖ$_\alpha$*およびＶ$_\beta$*に基づいて位相角ρを推定する。位相角演算ユニット１３０は、プレ演算ユニットと同様に、例えば上記の式（２）および（３）に基づいて磁束成分Ψ$_\alpha$、Ψ$_\beta$を演算する。位相角演算ユニット１３０はさらに、例えば式（１３）に基づいて位相角ρを演算する。位相角ρは、例えば図６に示されるように、αβ固定座標系において、合成磁束Ψ$_s$とα軸との間の角度で表され、反時計方向を正の方向とする角度である。位相角演算ユニット１３０は、位相角ρをロータ角演算ユニット１４０に出力する。

$$\rho = \tan^{-1}(\Psi_\beta / \Psi_\alpha) \qquad \text{式（１３）}$$

[0065] ロータ角演算ユニット１４０は、トルク角δおよび位相角ρに基づいてロータ角θを演算する。トルク角δ、位相角ρおよびロータ角θの関係は、図６に示されるとおりである。ロータ角演算ユニット１４０は、式（１４）に基づいてロータ角θを演算し、推定することができる。

$$\theta = \rho - \delta \qquad \text{式（１４）}$$

[0066] トルク演算ユニット１５０は、トルク角δに基づいてトルクＴを演算する。

ＳＰＭモータを用いる場合、突極比（Ｌｄ／Ｌｑ）は１（つまり、Ｌ＝Ｌｄ＝Ｌｑ）となる。その場合、電機子に働くトルクの反作用として、トルクＴは式（１５）によって表されることが知られている。トルク演算ユニット１５０は、例えば式（１５）に基づいてトルクＴを演算することができる。

[数5]

$$T = \frac{3}{2} p \frac{\Psi_m \Psi_s}{L} \sin(\delta) \qquad \text{式(15)}$$

ここでＰはモータ極対数を示すパラメータである。

[0067] モータ制御ユニット１６０は、トルクＴおよびロータ角θに基づいてモータＭを制御することができる。モータ制御ユニット１６０は、例えば一般的なベクトル制御に必要な演算を行う。ベクトル制御は周知の技術であるので、その制御についての詳細な説明は省略する。

[0068] 本実施形態によると、センサレス制御において、ｄｑ回転座標系における変数に依存せずにトルク角を求めることが可能となる。また、トルク角の推定に複雑な演算は特に必要されないので、コンピュータに対する負荷を低減することが可能となり、かつ、メモリコストを低減することが可能となる。

[0069] 以下に、本開示によるトルク角δの演算の妥当性を、ｄＳＰＡＣＥ社の”ラピッドコントロールプロトタイピング（ＲＣＰ）システム”およびＭａｔｈＷｏｒｋｓ社のＭａｔｌａｂ／Ｓｉｍｕｌｉｎｋを用いて検証した結果を示す。このシミュレーション結果は、式（１２）に示される（±ｃｏｓ$^{-1}$）のうちの（－ｃｏｓ$^{-1}$）、つまり、式（１６）によって与えられるトルク角δに基づく結果を示す。

[数6]

$$\delta = \Phi - \cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(16)}$$

[0070] この検証には、ベクトル制御により制御を受けるＳＰＭモータのモデルが用いられた。表１には、検証時の各種システムパラメータの値が示される。

[0071] [表1]

慣性モーメント	６．９ｅ$^{-5}$〔ｋｇ・ｍ^{2}〕
摩擦係数	５．１ｅ$^{-3}$〔Ｎｍ／（ｒａｄ／ｓ）〕
抵抗（モータ＋ＥＣＵ）	８．５０ｍΩ＋５．４３ｍΩ
L_d（ｎｏｍｉｎａｌ）	４０．７μＨ
L_q（ｎｏｍｉｎａｌ）	３８．８μＨ
電圧範囲	１０～１６Ｖ
温度範囲	－４０℃～９０℃
モータタイプ	ＤＣブラシレスモータ
極数	８
スロット数	１２
最大電流	７７Ａ
定格電圧	１３．５Ｖ
定格温度	８０℃
最大トルク	５．９６Ｎ・ｍ
巻線の直径	φ１．４５ｍｍ
ターン数	１１．５

[0072] 図８は、所定期間内（０．３５秒から０．３８秒までの０．０３秒）の、トルクの波形（上）、三相電流の波形（中間）、および、三相電圧の波形（下）を示す。図９は、本開示の演算式を用いて推定された所定期間内のトルク角（度）、および、トルク角の実測値の波形を示す。図８および図９の横軸は時間（ｍｓ）を表す。図８の縦軸は、上側から順番に、トルクの大きさ（Ｎ・ｍ）、電流値（ｍＡ）および電圧値（Ｖ）を表す。図９の縦軸は、トルク角の大きさ（度）を表す。

[0073] 図８のシミュレーション結果から、ベクトル制御が適切になされていることが分かる。また、図９のシミュレーション結果から、本開示の演算式を用いて推定されたトルク角δ、および、実測値は類似することが分かる。より詳細には、推定されたトルク角δと実測値との誤差は約１度である。センサレス制御において、一般に、その誤差の許容値は１０度程度とされている。本シミュレーション結果から得られた誤差は、その許容値の範囲に十分に収まる値である。

[0074] 以上のシミュレーション結果から、本明細書に提案する、トルク角を演算するための手法を用いることにより、センサレス制御においてトルク角を精度よく推定できることが分かる。

[0075] 本開示によるトルク角δの推定手法は、上述したとおり、センサレス制御に限らず、図３に示されるセンサ制御用のモータ制御システムにも好適に利用され得る。

[0076] 図３に示されるモータ制御システム１０００中のコントローラ１００は、ｄｑ回転座標系における変数に基づいてトルク角δを演算することができる。コントローラ１００は、例えば式（１７）に基づいてトルク角δを演算することが可能である（図５を参照）。

$$\delta = \tan^{-1}\left[(V_d - R \cdot I_d) / (V_q - R \cdot I_q) \right] \quad \text{式（１７）}$$

ここで、V_dは電機子電圧のｄ軸上の電圧成分であり、V_qは電機子電圧のｑ軸上の電圧成分である。I_dは電機子電流のｄ軸上の電流成分であり、I_qは電機子電流のｑ軸上の電流成分である。

[0077] センサ制御において、位置センサが何らかの原因で破損した場合、ロータ角を測定することはできなくなる。そのため、センサ制御を継続することは困難となる。一方で、位置センサが故障した場合、モータ制御を、センサ制御からセンサレス制御に切替えることが可能である。そのセンサレス制御に、本開示によるトルク角の推定手法を適用することにより、位置センサが故障した場合でも、モータ制御を継続することが可能となる。

[0078] （実施形態２）

図１０は、本実施形態によるＥＰＳシステム２０００の典型的な構成を模式的に示す。

[0079] 自動車等の車両は一般に、ＥＰＳシステムを有する。本実施形態によるＥＰＳシステム２０００は、ステアリングシステム５２０、および補助トルクを生成する補助トルク機構５４０を有する。ＥＰＳシステム２０００は、運転者がステアリングハンドルを操作することによって発生するステアリングシステムの操舵トルクを補助する補助トルクを生成する。補助トルクにより、運転者の操作の負担は軽減される。

[0080] ステアリングシステム５２０は、例えば、ステアリングハンドル５２１、ステアリングシャフト５２２、自在軸継手５２３Ａ、５２３Ｂ、回転軸５２４

、ラックアンドピニオン機構５２５、ラック軸５２６、左右のボールジョイント５５２Ａ、５５２Ｂ、タイロッド５２７Ａ、５２７Ｂ、ナックル５２８Ａ、５２８Ｂ、および左右の操舵車輪５２９Ａ、５２９Ｂ備える。

[0081] 補助トルク機構５４０は、例えば、操舵トルクセンサ５４１、自動車用電子制御ユニット（ＥＣＵ）５４２、モータ５４３および減速機構５４４を備える。操舵トルクセンサ５４１は、ステアリングシステム５２０における操舵トルクを検出する。ＥＣＵ５４２は、操舵トルクセンサ５４１の検出信号に基づいて駆動信号を生成する。モータ５４３は、駆動信号に基づいて操舵トルクに応じた補助トルクを生成する。モータ５４３は、減速機構５４４を介してステアリングシステム５２０に、生成した補助トルクを伝達する。

[0082] ＥＣＵ５４２は、例えば、実施形態１によるコントローラ１００および駆動回路２００などを有する。自動車ではＥＣＵを核とした電子制御システムが構築される。ＥＰＳシステム２０００では、例えば、ＥＣＵ５４２、モータ５４３およびインバータ５４５によって、モータ制御システムが構築される。そのモータ制御システムとして、実施形態１によるモータ制御システム１０００を好適に用いることができる。

[0083] 本開示の実施形態は、トルク角の推定能力が求められる、シフトバイワイヤ、ステアリングバイワイヤ、ブレーキバイワイヤなどのエックスバイワイヤおよびトラクションモータなどのモータ制御システムにも好適に用いられる。例えば、本開示の実施形態によるモータ制御システムは、日本政府および米国運輸省道路交通安全局（ＮＨＴＳＡ）によって定められたレベル０から４（自動化の基準）に対応した自動運転車に搭載され得る。

産業上の利用可能性

[0084] 本開示の実施形態は、掃除機、ドライヤ、シーリングファン、洗濯機、冷蔵庫および電動パワーステアリングシステムなどの、各種モータを有する多様な機器に幅広く利用され得る。

符号の説明

[0085] １００：コントローラ、１１０：プレ演算ユニット、１２０：トルク角演算

ユニット、１３０：位相角演算ユニット、１４０：ロータ角演算ユニット、１５０：トルク演算ユニット、１６０：モータ制御ユニット、２００：駆動回路、３００：インバータ、４００、４００Ａ、４００Ｂ：電流センサ、５００：ＡＤコンバータ、６００：ＲＯＭ、７００：位置センサ、１０００：モータ制御システム、２０００：ＥＰＳシステム

請求の範囲

[請求項1] 表面磁石型モータを制御するモータ制御方法であって、

αβ固定座標系またはｄｑ回転座標系を基準とした、フェーザ表示による、合成磁束ベクトル、ステータ電流およびステータ電圧を獲得するステップと、

前記ステータ電流と前記ステータ電圧との間の角度Φを演算するステップと、

式（１）に基づいてトルク角δを演算するステップであって、

[数1]

$$\delta = \Phi - \cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(1)}$$

ここで、Ψ_mは、ステータ磁石の磁束を示し、Ψｓは前記合成磁束の大きさを示す、ステップと、

前記トルク角δに基づいてモータを制御するステップと、

を包含するモータ制御方法。

[請求項2] 前記トルク角δに基づいてトルクＴを演算するステップをさらに包含し、

前記モータを制御するステップにおいて、前記トルクＴに基づいて前記表面磁石型モータを制御する、請求項１に記載のモータ制御方法。

[請求項3] 前記αβ固定座標系における前記合成磁束のα軸およびβ軸上の成分に基づいて位相角ρを演算し、かつ、前記トルク角δおよび前記位相角ρに基づいてモータのロータ角θを演算するステップをさらに包含し、

前記モータを制御するステップにおいて、前記ロータ角θおよび前記トルクＴに基づいて前記表面磁石型モータを制御する、請求項２に記載のモータ制御方法。

[請求項4] 表面磁石型モータと、

前記表面磁石型モータを制御する制御回路と、

を有し、

前記制御回路は、

αβ固定座標系またはｄｑ回転座標系を基準とした、フェーザ表示による、合成磁束ベクトル、ステータ電流およびステータ電圧を獲得し、

前記ステータ電流と前記ステータ電圧との間の角度Φを演算し、

式（２）に基づいてトルク角δを演算し、

[数2]

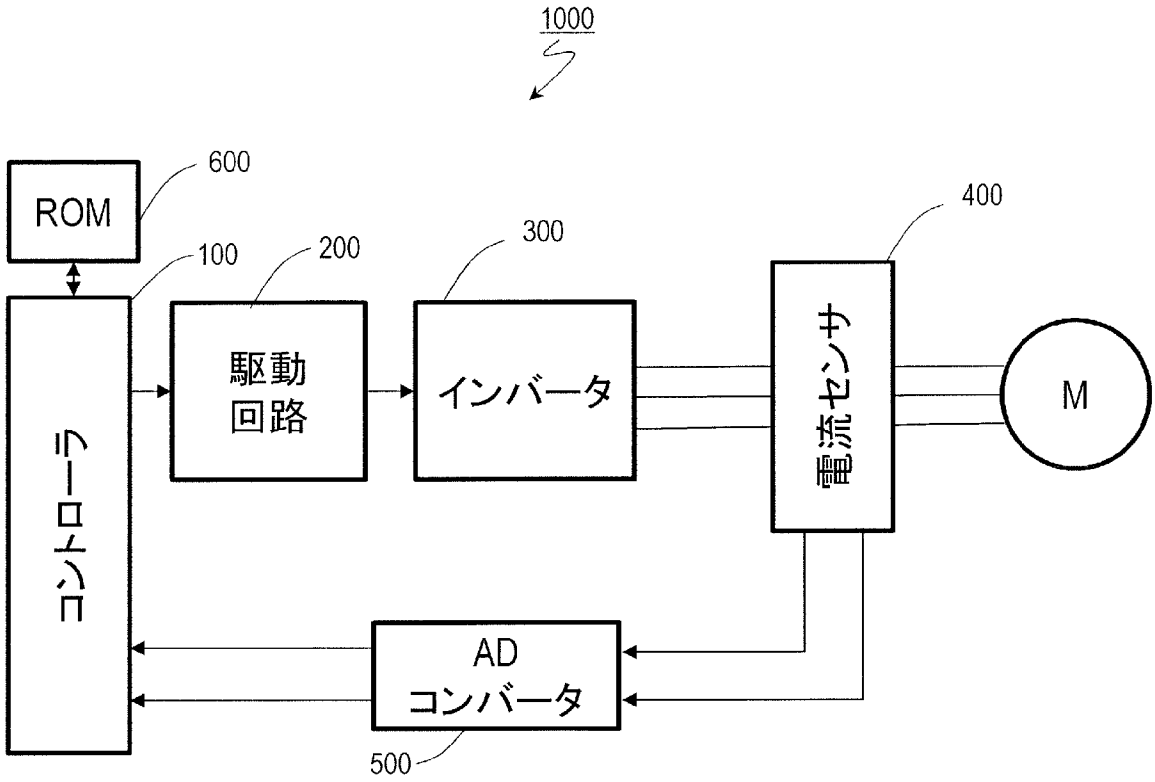
$$\delta = \Phi - \cos^{-1}\left(\frac{\Psi_s}{\Psi_m}\cos(\Phi)\right) \qquad \text{式(2)}$$

ここで、Ψ_mは、ステータ磁石の磁束を示し、Ψｓは前記合成磁束の大きさを示し、

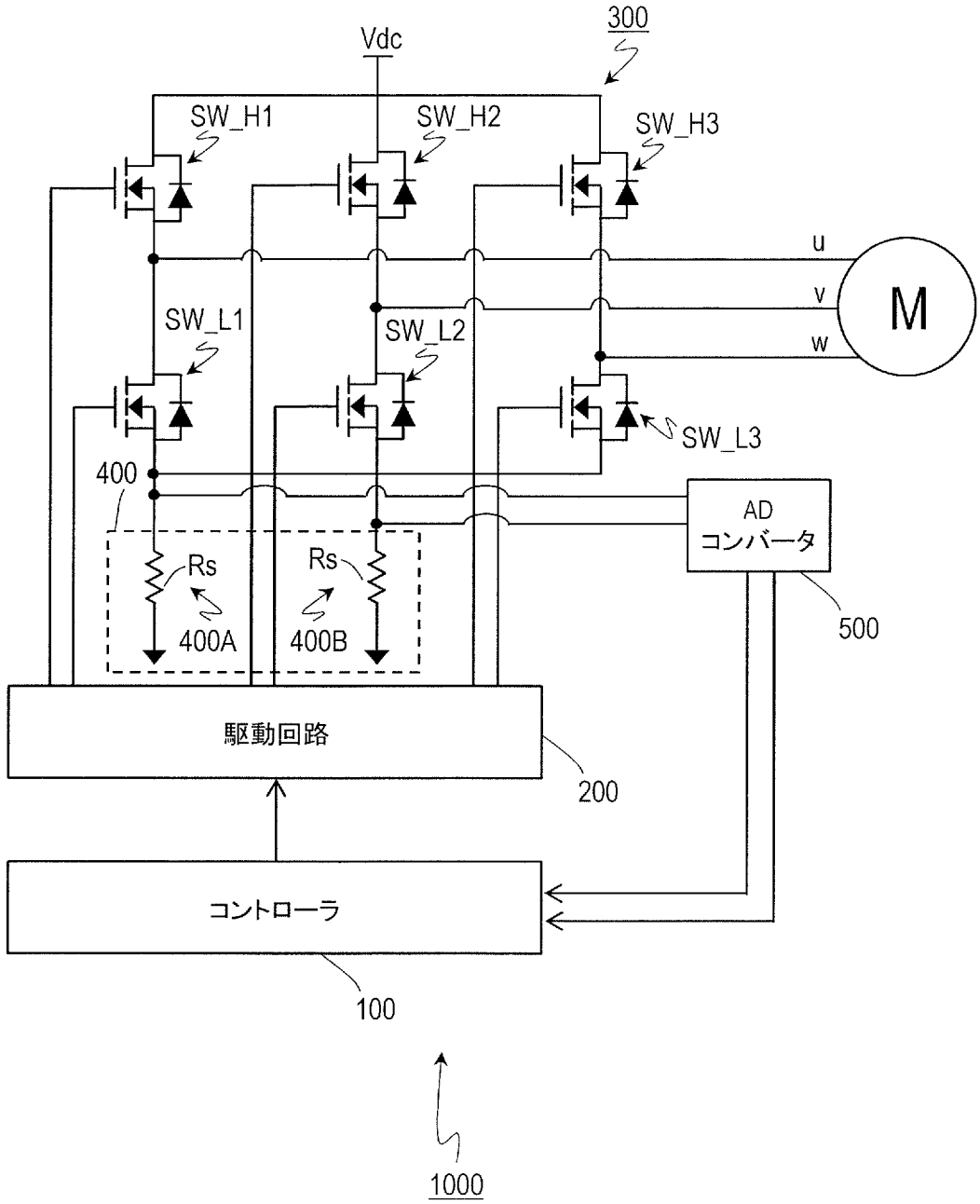
前記トルク角δに基づいてモータを制御する、モータ制御システム。

[請求項5] 請求項４に記載のモータ制御システムを有する電動パワーステアリングシステム。

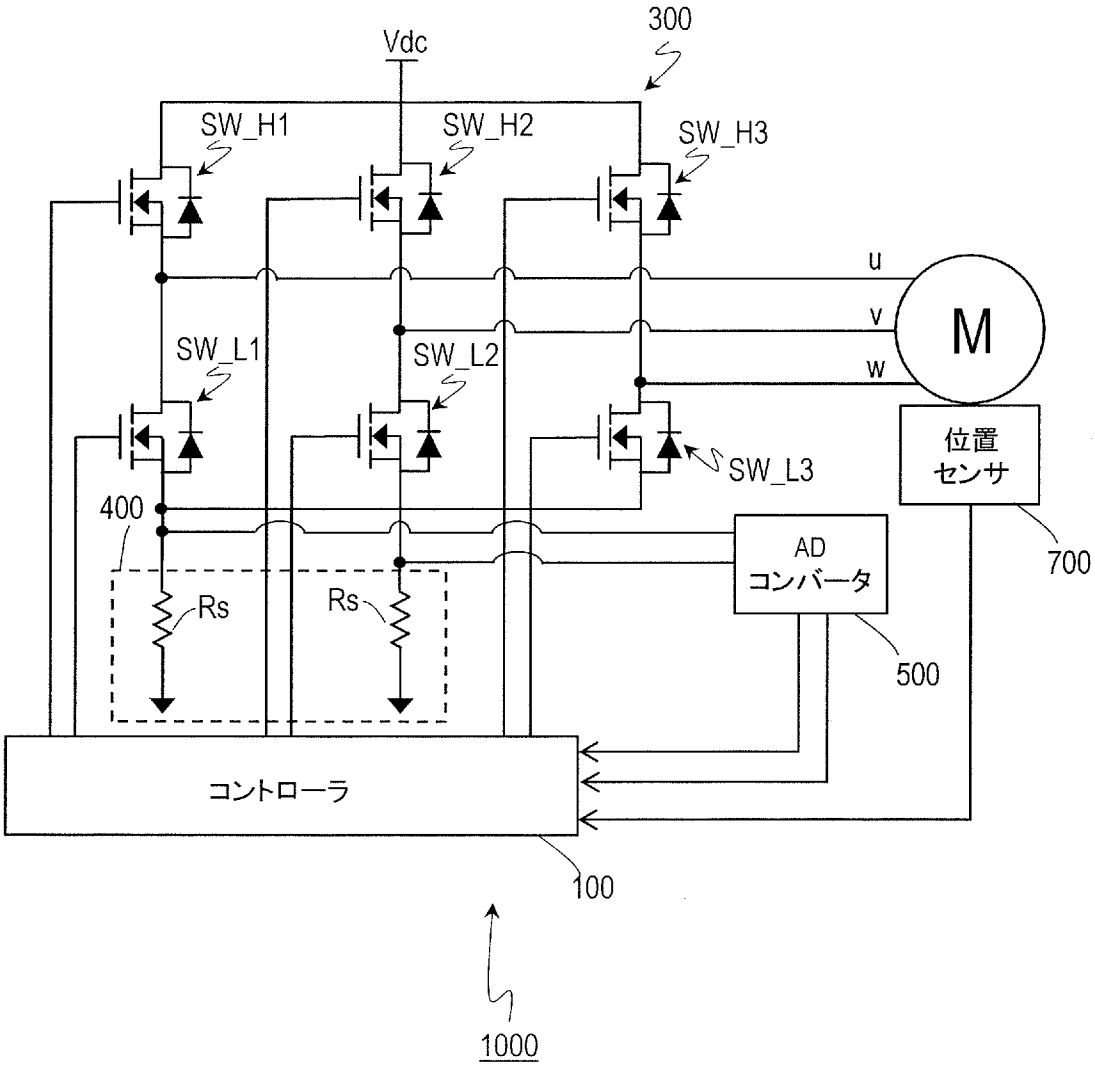
[図1]


1000
ROM
600
100
200
300
400
コントローラ
駆動
回路
インバータ
電流センサ
M
AD
コンバータ
500

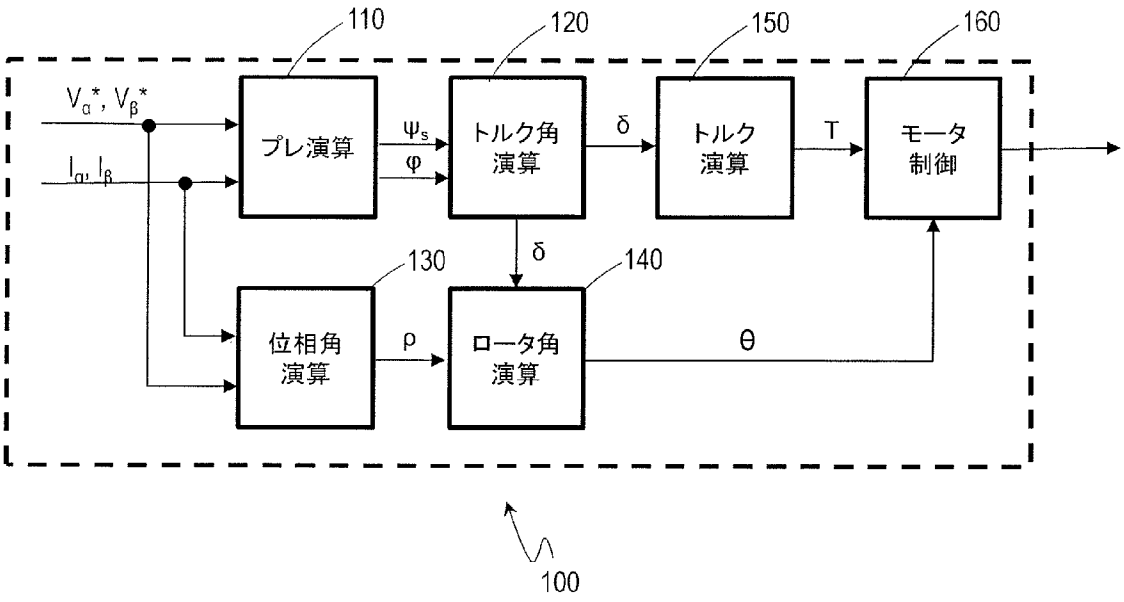
[図2]


300
Vdc
SW_H1
SW_H2
SW_H3
u
v
w
M
SW_L1
SW_L2
SW_L3
400
AD
コンバータ
Rs
Rs
400A
400B
500
駆動回路
200
コントローラ
100
1000

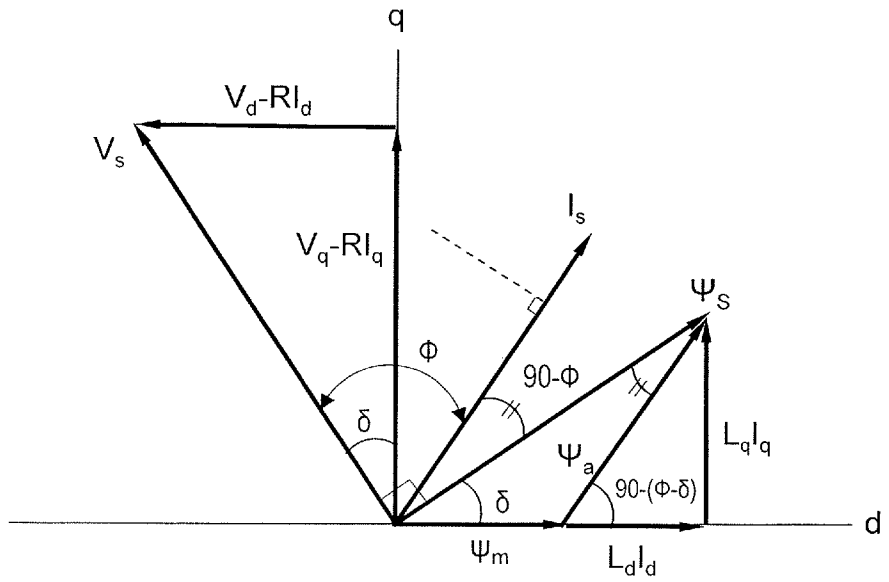
[図3]


Vdc
300
SW_H1
SW_H2
SW_H3
SW_L1
SW_L2
SW_L3
u
v
w
M
位置
センサ
700
400
Rs
Rs
AD
コンバータ
500
コントローラ
100
1000

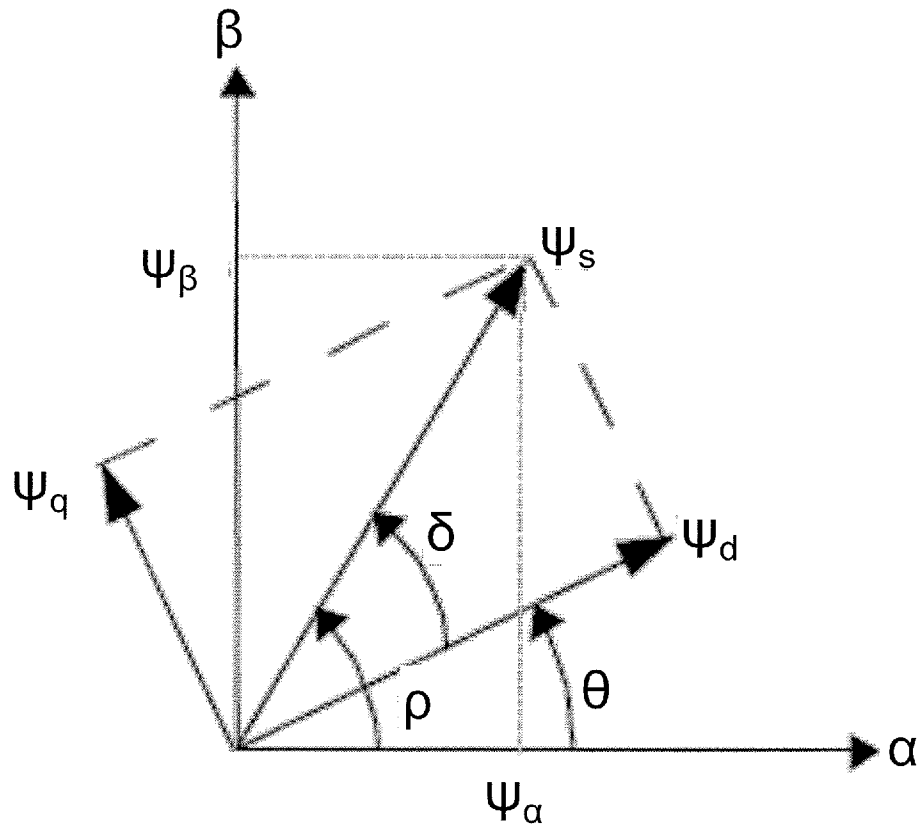
[図4]


110
120
150
160
V_α^*, V_β^*
I_α, I_β
プレ演算
Ψ_s
φ
トルク角
演算
δ
トルク
演算
T
モータ
制御
δ
130
140
位相角
演算
ρ
ロータ角
演算
θ
100

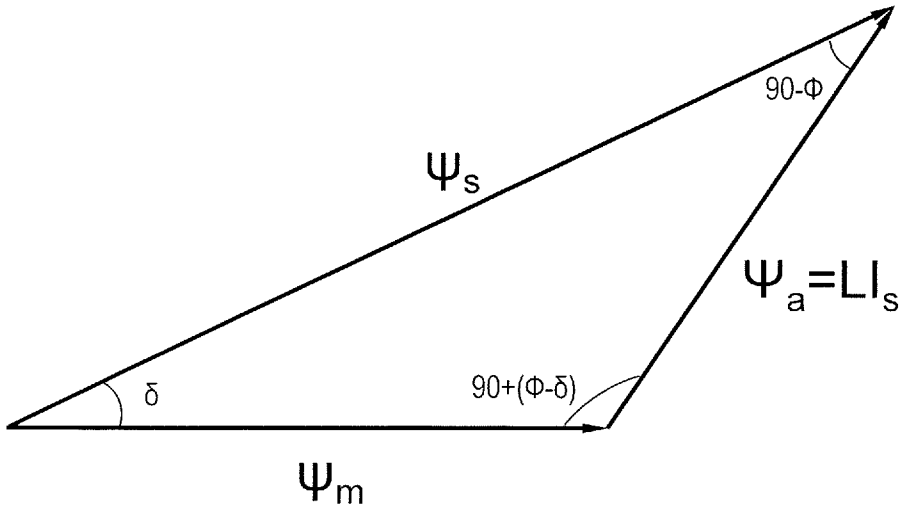
[図5]


q
V_d-RI_d
V_s
V_q-RI_q
I_s
Ψ_s
Φ
90-Φ
δ
Ψ_a
L_qI_q
90-(Φ-δ)
δ
d
Ψ_m
L_dI_d

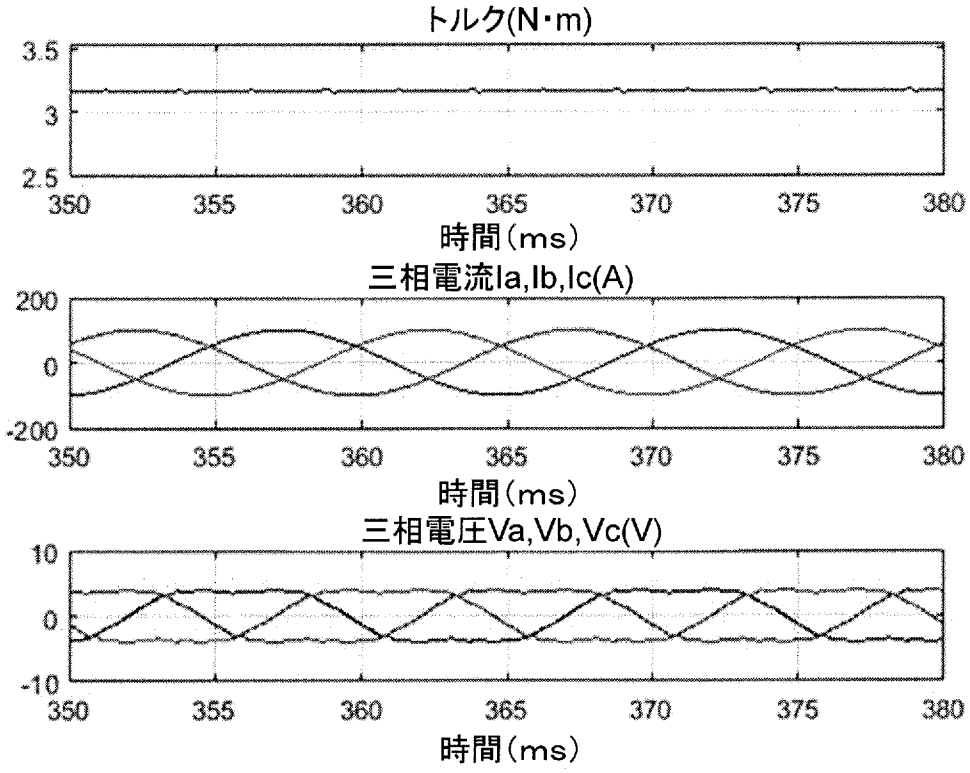
[図6]


β
Ψ_β
Ψ_s
Ψ_q
δ
Ψ_d
ρ
θ
α
Ψ_α

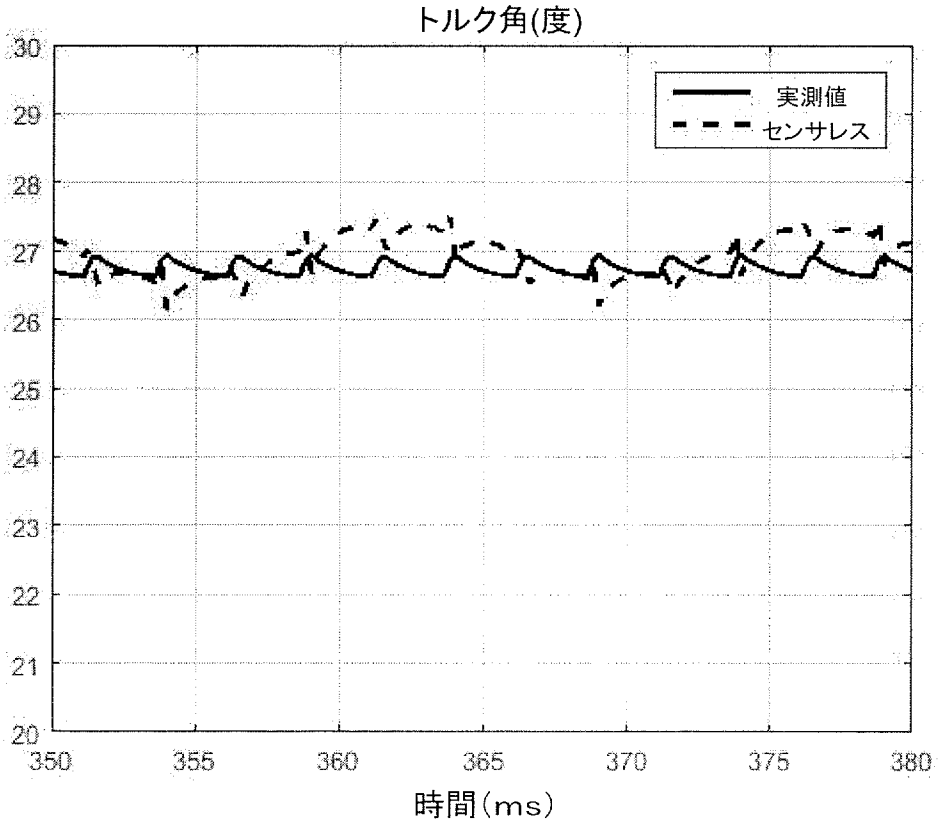
[図7]


90-Φ
Ψs
Ψa=LIs
δ
90+(Φ-δ)
Ψm

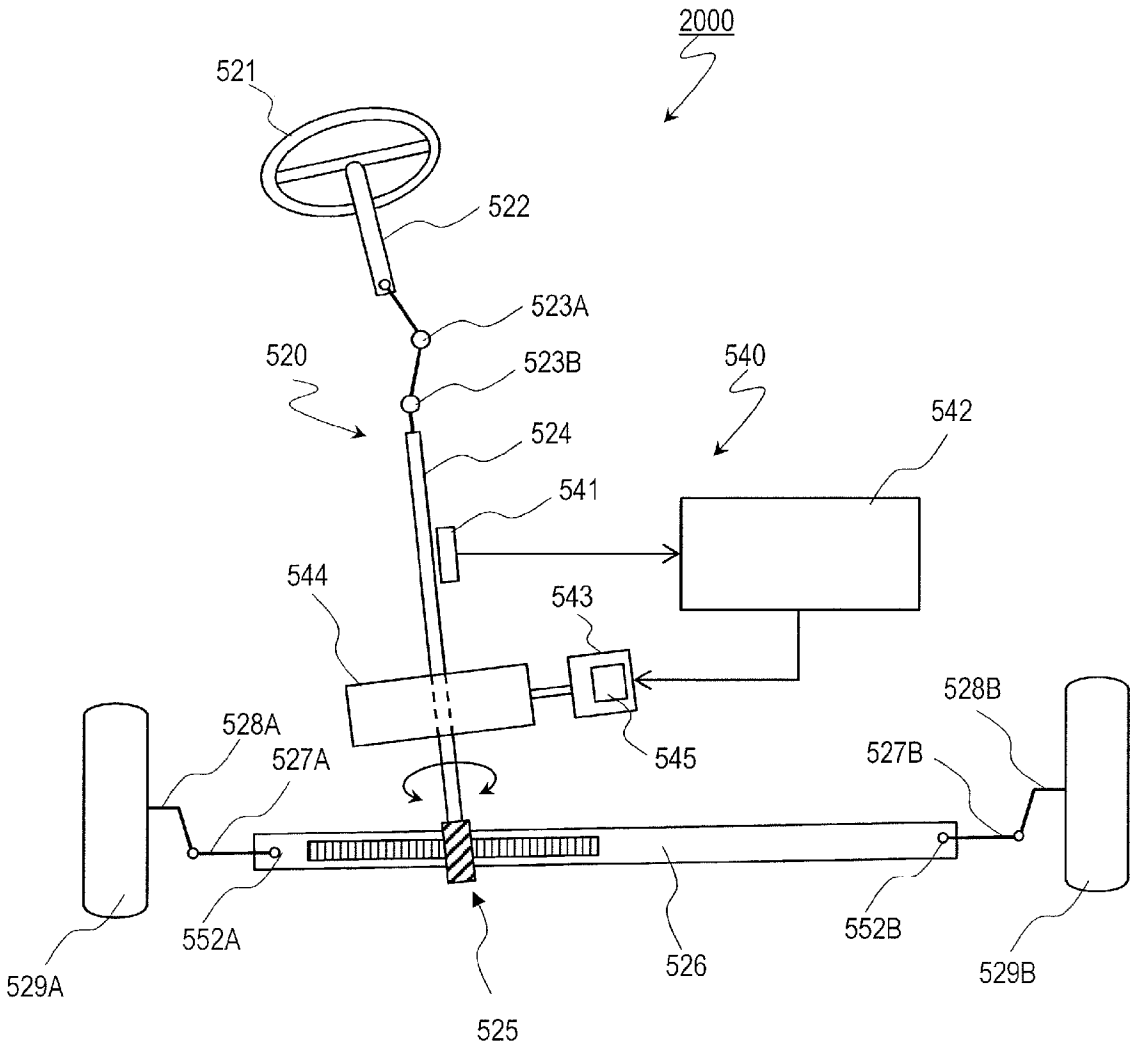
[図8]


トルク(N・m)
3.5
3
2.5
350
355
360
365
370
375
380
時間(ms)
三相電流Ia,Ib,Ic(A)
200
0
-200
350
355
360
365
370
375
380
時間(ms)
三相電圧Va,Vb,Vc(V)
10
0
-10
350
355
360
365
370
375
380
時間(ms)

[図9]


トルク角(度)
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
350
355
360
365
370
375
380
時間(ms)
実測値
センサレス

[図10]


2000
521
522
523A
520
523B
540
542
524
541
544
543
545
528A
527A
528B
527B
552A
552B
526
529A
529B
525

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/000249

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. H02P21/14(2016.01)i, B62D5/04(2006.01)i, B62D6/00(2006.01)i, H02P6/08(2016.01)i, H02P25/022(2016.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. H02P21/14, B62D5/04, B62D6/00, H02P6/08, H02P25/022

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	WO 2014/034291 A1 (DAIKIN INDUSTRIES, LTD.) 06 March 2014, entire text, all drawings & JP 2014-50172 A & US 2015/0229258 A1, entire text, all drawings & EP 2892147 A1 & CN 104584419 A	1-5
A	JP 2005-151678 A (MEIDENSHA CORP.) 09 June 2005, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 2000-50697 A (HITACHI, LTD.) 18 February 2000, entire text, all drawings (Family: none)	1-5

☐ 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
13 April 2018 (13.04.2018)	24 April 2018 (24.04.2018)

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／ＪＰ２０１８／０００２４９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P21/14(2016.01)i, B62D5/04(2006.01)i, B62D6/00(2006.01)i, H02P6/08(2016.01)i, H02P25/022(2016.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02P21/14, B62D5/04, B62D6/00, H02P6/08, H02P25/022

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	WO 2014／034291 A1 (ダイキン工業株式会社) 2014.03.06, 全文、全図 & JP 2014－50172 A & US 2015／0229258 A1 全文、全図 & EP 2892147 A1 & CN 104584419 A	1－5
A	JP 2005－151678 A (株式会社明電舎) 2005.06.09, 全文、全図 (ファミリーなし)	1－5

☑　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
１３．０４．２０１８	２４．０４．２０１８

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　９３３５
尾家　英樹
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 2000－50697 Ａ（株式会社日立製作所） 2000.02.18, 全文、全図 （ファミリーなし）	１－５