

(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27日(27.09.2018)



(10) 国際公開番号

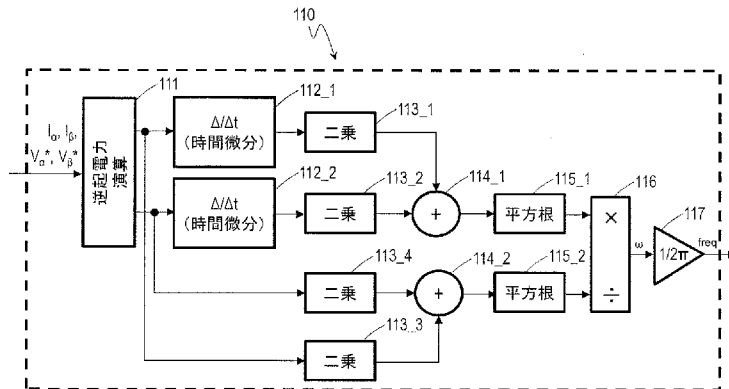
WO 2018/173587 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 6/182 (2016.01) H02P 6/17 (2016.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/005800
- (22) 国際出願日: 2018年2月19日(19.02.2018)
- (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 2017-057564 2017年3月23日(23.03.2017) 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 3 3 8 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: ガ デ リー ア ハ マ ャ ム ド (GHADERI,Ahmad); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 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, 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,

(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



111 Calculation of counter electromotive force
112_1, 112_2 $\Delta/\Delta t$ (Differentiation by time)
113_1, 113_2, 113_3, 113_4 Squaring
115_1, 115_2 Square root

(57) Abstract: The motor control method includes a step for obtaining a component $BEMF_\alpha$ on the α axis and a component $BEMF_\beta$ on the β axis of the counter electromotive force of the motor, a step for differentiating the $BEMF_\alpha$ component and the component $BEMF_\beta$ by time, a step for squaring the differential value of the component $BEMF_\alpha$ to obtain the first multiplication value and squaring the differential value of the component $BEMF_\beta$ to obtain a second multiplication value, a step for finding a square root of the sum of the first multiplication value and the second multiplication value, a step for finding the absolute value of the counter electromotive force on the basis of the component $BEMF_\alpha$ and the component $BEMF_\beta$, a step for finding at least one of the number of revolutions of the rotor on the basis of the square root value and the absolute value of the counter electromotive force, and a step for controlling the motor on the basis of at least one of the rotational speed and number of revolutions of the rotor.

LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：モータ制御方法は、モータの逆起電力の α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ を獲得するステップと、成分 $BEMF_{\alpha}$ および成分 $BEMF_{\beta}$ のそれぞれを時間微分するステップと、成分 $BEMF_{\alpha}$ の微分値を二乗して第1乗算値を求めるとともに、成分 $BEMF_{\beta}$ の微分値を二乗して第2乗算値を求めるステップと、第1乗算値と第2乗算値との和の平方根を求めるステップと、成分 $BEMF_{\alpha}$ および成分 $BEMF_{\beta}$ に基づいて、逆起電力の絶対値を求めるステップと、平方根の値と逆起電力の絶対値とに基づいて、ロータの回転数の少なくとも一方を求めるステップと、ロータの回転速度および回転数の少なくとも一方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] 電動モータ（以下、「モータ」と表記する。）の制御システムにおいて、一般に、モータ電流および電圧の情報に加え、モータのロータの位置（ロータ角）および回転速度などの情報が必要とされる。例えば、ロータ角および回転速度は、ホールセンサまたはレゾルバなどの位置センサによる検出値に基づいて取得される。回転速度は、ロータ角の時間変化量に基づいて演算することが可能である。

[0003] 特許文献1および2は、ステアリングシステムに用いられる、舵角速度（モータの回転速度に相当する速度）を検出する方法を開示する。これらの方法において、異方性磁気抵抗素子を舵角センサ（位置センサに相当するセンサ）として用いて舵角速度が検出される。具体的には、舵角センサからの出力信号に基づいて舵角信号が生成され、舵角信号の時間変化量に基づいて舵角速度が検出される。例えば特許文献2による方法では、舵角の変化量を、その変化量に対応する、舵角が変化した時刻から舵角が次に変化する時刻までの所要時間で除算することにより、舵角速度が演算される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2005-134380号公報

特許文献2：特開2005-241634号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述した従来の技術は、モータの回転速度を演算する手法としても利用し得る。例えば、位置センサにより検出されるロータ角の時間変化量に基づいてロータの回転速度を演算することが可能である。モータ制御システムにおいて、位置センサが、例えば外部からの何らかの衝撃によって破損した場合、そのセンサの出力に基づいてロータの回転速度を演算することは不可能となる。一方で、位置センサの代わりにオブザーバを用いてロータ角および回転速度を推定する技術が知られている。しかしながら、このような推定は、一般に、より複雑な演算を必要とするため、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ある。

[0006] 本開示の実施形態は、コンピュータの演算負荷を低減することが可能な、ロータの回転速度を推定する手法を用いる、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（EPS）システムを提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の例示的なモータ制御方法は、 α β 固定座標系におけるモータの逆起電力の α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ を獲得するステップAと、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ のそれぞれを時間微分するステップBと、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ の微分値を二乗して第1乗算値を求めるとともに、前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ の微分値を二乗して第2乗算値を求めるステップCと、前記第1乗算値と前記第2乗算値との和の平方根を求めるステップDと、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ に基づいて、前記 α β 固定座標系における前記逆起電力の絶対値を求めるステップEと、前記平方根の値と前記逆起電力の絶対値とに基づいて、前記モータのロータの回転速度および回転数の少なくとも一方を求めるステップFと、前記ロータの回転速度および回転数の少なくとも一方に基づいて前記モータを制御するステップGと、を包含する。

[0008] 本開示の例示的なモータ制御システムは、モータと、前記モータを制御する制御回路と、を有し、前記制御回路は、 $\alpha\beta$ 固定座標系におけるモータの逆起電力の α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ を獲得し、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ のそれぞれを時間微分し、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ の微分値を二乗して第1乗算値を求めるとともに、前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ の微分値を二乗して第2乗算値を求め、前記第1乗算値と前記第2乗算値との和の平方根を求め、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ に基づいて、前記 $\alpha\beta$ 固定座標系における前記逆起電力の絶対値を求め、前記平方根の値と前記逆起電力の絶対値とに基づいて、前記モータのロータの回転速度および回転数の少なくとも一方を求め、前記ロータの回転速度および回転数の少なくとも一方に基づいて前記モータを制御する。

発明の効果

[0009] 本開示の例示的な実施形態によると、コンピュータの演算負荷を低減することが可能な、ロータの回転速度を推定する手法を用いる、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

[0010] [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の中のインバータ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の機能ブロックを示す機能ブロック図である。

[図5]図5は、回転数演算ユニット110内の機能ブロックを示す機能ブロック図である。

[図6]図6は、モータが高速で正転方向に回転しているときの、所定期間内の実際の回転数の波形を示すグラフである。

[図7]図7は、所定期間内のロータ角の波形を示すグラフである。

[図8]図8は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力 $BEMF_{\beta}$ の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示すグラフである。

[図9]図9は、モータが高速で正転方向に回転しているときの、所定期間内の推定の回転数の波形を示すグラフである。

[図10]図10は、モータが高速で逆転方向に回転しているときの、所定期間内の実際の回転数の波形を示すグラフである。

[図11]図11は、所定期間内のロータ角の波形を示すグラフである。

[図12]図12は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力 $BEMF_{\beta}$ の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示すグラフである。

[図13]図13は、モータが高速で逆転方向に回転しているときの、所定期間内の推定の回転数の波形を示すグラフである。

[図14]図14は、モータが低速で正転方向に回転しているときの、所定期間内の実際の回転数の波形を示すグラフである。

[図15]図15は、所定期間内のロータ角の波形を示すグラフである。

[図16]図16は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力 $BEMF_{\beta}$ の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示すグラフである。

[図17]図17は、モータが低速で正転方向に回転しているときの、所定期間内の推定の回転数の波形を示すグラフである。

[図18]図18は、モータが低速で逆転方向に回転しているときの、所定期間内の実際の回転数の波形を示すグラフである。

[図19]図19は、所定期間内のロータ角の波形を示すグラフである。

[図20]図20は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力

BEMF _{β} の波形（中間）、および、逆起電力の大きさV_mの波形（下）を示すグラフである。

[図21]図21は、モータが低速で逆転方向に回転しているときの、所定期間内の推定の回転数の波形を示すグラフである。

[図22]図22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

[0011] 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。

[0012] （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。

[0013] 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、例えばモジュール化され、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。

- [0014] モータMは、例えば、表面磁石型同期型モータ（SPMSM）または埋込磁石型同期型モータ（IPMSM）などの永久磁石同期モータ、および三相交流モータである。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に電氣的に接続される。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。
- [0015] 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。
- [0016] 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、ロータの角速度に相当し、1秒間にロータが回転する角度（rad/s）によって表される。また、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）で表すことができる。本明細書において、回転速度および回転数は区別なく用いられる場合がある。
- [0017] 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。
- [0018] コントローラ100は、複数の電流センサ400によって測定された実電流値に基づいてロータの回転数を演算することができる。コントローラ100

は、その回転数に基づいてモータMを制御する。

[0019] 駆動回路200は、典型的に、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。

[0020] 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とができる。この変換された三相交流電力でモータMは駆動される。

[0021] 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。各電流センサは、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。

[0022] 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に直接出力することができる。

[0023] 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。ROM 600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。ROM 600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。ROM 600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。

[0024] 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。

[0025] 図2は、本実施形態によるモータ制御システム1000の中のインバータ300のハードウェア構成を模式的に示す。

[0026] インバータ300は、3個のローサイドスイッチ素子SW_L1、SW_L2およびSW_L3と、3個のハイサイドスイッチ素子SW_H1、SW_H2およびSW_H3と、を有する。スイッチ素子として、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。スイッチ素子は還流ダイオードを有する。

[0027] 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R_sを示す。図示されるように、例えばシャント抵抗R_sは、ローサイドスイッチ素子とグラウンドとの間に電氣的に接続され得る。または、例えばシャント抵抗R_sは、ハイサイドスイッチ素子と電源との間に電氣的に接続され得る。

[0028] コントローラ100は、例えばベクトル制御を用いた三相通電制御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の中の各スイッチ素子（例えば、MOSFET）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、各スイッチ素子のゲートに与える。

[0029] 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。

[0030] 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の各スイッチ素子のスイッチング動作を直接制御するポートを有する。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スイッチ素子のゲートに与えることができる。

[0031] 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の近傍に配置され、ロータ角を検出する。具体的には、位置センサ700は、ロータの機械角を検出し、それをコントローラ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。また、位置センサ700は、例えば、レゾルバまたはホールICであり得る。

[0032] 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を算出することができる。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ロータ角を算出することができる。

[0033] 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、いわゆるセンサレス制御を行う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モータ制御システムにも利用され得る。

[0034] 以下、図4および図5を参照しながら、センサレス制御によるモータ制御を例に、モータ制御システム1000の制御方法の具体例を説明し、主として

ロータの回転数の推定手法を説明する。本開示のモータ制御方法は、回転数の推定が要求される様々なモータ制御システムに利用され得る。

[0035] [モータ制御システム 1000 の制御方法]

本実施形態によるモータ制御方法、特に、ロータの回転数を推定すること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。

[0036] 図 4 は、コントローラ 100 の機能ブロックを模式的に示す。図 5 は、コントローラ 100 における回転数演算ユニット 110 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。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。

[0037] 図 4 に示されるように、コントローラ 100 は、例えば、回転数演算ユニット 110 およびモータ制御ユニット 120 を有する。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。

[0038] 回転数演算ユニット 110 は、リファレンス電圧 V_{α}^* 、 V_{β}^* 、電流（電機子電流） I_{α} および I_{β} に基づいてロータの回転速度および回転数の少なくとも一方を推定する。モータ制御ユニット 120 は、回転数演算ユニット 110 によって推定された、ロータの回転速度および回転数の少なくとも一方に基づいてモータ M を制御する。

[0039] 回転数演算ユニット 110 は、例えば、逆起電力演算ユニット 111、2 個の時間微分ユニット 112__1、112__2、4 個の二乗ユニット 113__1、113__2、113__3、113__4、2 個の加算器 114__1、114__2、2 個の平方根ユニット 115__1、115__2、除算器 116 および回転数演算ユニット 117 を有する。

- [0040] 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。また、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または図5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、データの送受信を行うことができる。
- [0041] 例えば三相通電制御において、一般的なY結線の結線方式のモータでは、電流の向きを考慮した三相の巻線に流れる電流の総和は電気角毎に「0」である。換言すると、電流 I_a 、 I_b および I_c の総和はゼロになる関係が満たされる。モータMのU相の巻線に流れる電流を I_a と表記し、モータMのV相の巻線に流れる電流を I_b と表記し、モータMのW相の巻線に流れる電流を I_c と表記する。
- [0042] コントローラ100（例えばコア）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測定された電流 I_a 、 I_b および I_c がコントローラ100に入力されてもよい。
- [0043] 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、 $\alpha\beta$ 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、 $\alpha\beta$ 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。

[0044] 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、 $\alpha\beta$ 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 の各スイッチ素子を制御するための上述した PWM 信号を表す。

[0045] 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 120 によっても実行され得る。その場合、電流 I_α 、 I_β 、リファレンス電圧 V_α^* および V_β^* を、回転数演算ユニット 110 に入力するようにしてもよい。

[0046] 逆起電力演算ユニット 111 は、電流 I_α 、 I_β 、リファレンス電圧 V_α^* および V_β^* に基づく 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、下記の式 (1) および (2) に基づいて演算する。これにより、逆起電力成分 $BEMF_\alpha$ および $BEMF_\beta$ が獲得される。

$$BEMF_\alpha = V_\alpha^* - R \cdot I_\alpha \quad \text{式 (1)}$$

$$BEMF_\beta = V_\beta^* - R \cdot I_\beta \quad \text{式 (2)}$$

ここで、 R は電機子抵抗である。電機子抵抗 R は、例えばコントローラ 100 のコアによって逆起電力演算ユニット 111 に設定される。

[0047] 上記の式 (1) および (2) に基づいて演算される逆起電力成分 $BEMF_\alpha$ および $BEMF_\beta$ は、本来、基本波および高調波を用いて表される。ここで、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て、逆起電力成分 $BEMF_\alpha$ および $BEMF_\beta$ は、一般にフィルタ処理される。この処理により、逆起電力成分 $BEMF_\alpha$ および $BEMF_\beta$ は、式 (3) および (4) に示されるように基本波のみによって表すことができる。

$$BEMF_\alpha = V_m \cdot \cos(\rho) \quad \text{式 (3)}$$

$$BEMF_\beta = V_m \cdot \sin(\rho) \quad \text{式 (4)}$$

$$V_m = (BEMF_\alpha^2 + BEMF_\beta^2)^{1/2} \quad \text{式 (5)}$$

ここで、 V_m (「 $BEMF$ 」と表記する場合がある) は、逆起電力の大きさ

(絶対値)であり、式(5)によって表される。また、 ρ は位相角であり、例えば式(6)に示される時間 t の関数として表される。 ω は、回転速度を示し、 $\rho(0)$ は初期位相を示す。

$$\rho(t) = \omega \cdot t + \rho(0) \quad \text{式(6)}$$

[0048] 本明細書において、初期位相をゼロとする。その場合、逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ および $BEMF_{\beta}$ は、式(7)および(8)によって表すことができる。

$$BEMF_{\alpha} = V_m \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad \text{式(7)}$$

$$BEMF_{\beta} = V_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{式(8)}$$

[0049] 逆起電力演算ユニット111は、逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ を、時間微分ユニット112__1および二乗ユニット113__3に出力する。逆起電力演算ユニット111は、逆起電力成分 $BEMF_{\beta}$ を、時間微分ユニット112__2および二乗ユニット113__4に出力する。

[0050] 時間微分ユニット112__1は、式(7)によって表される逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ を時間微分する。式(7)の $BEMF_{\alpha}$ を時間微分すると、式(9)が得られる。ここで、「 $'$ 」は時間微分の演算子を表す。

$$BEMF_{\alpha}' = -\omega \cdot V_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{式(9)}$$

[0051] 時間微分ユニット112__2は、式(8)によって表される逆起電力成分 $BEMF_{\beta}$ を時間微分する。式(8)の $BEMF_{\beta}$ を時間微分すると、式(10)が得られる。

$$BEMF_{\beta}' = \omega \cdot V_m \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad \text{式(10)}$$

[0052] 二乗ユニット113__1は、逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ の時間微分値 $BEMF_{\alpha}'$ を二乗して第1乗算値を求める。第1乗算値は式(11)によって表される。二乗ユニット113__2は、逆起電力成分 $BEMF_{\beta}$ の時間微分値 $BEMF_{\beta}'$ を二乗して第2乗算値を求める。第2乗算値は式(12)によって表される。加算器114__1は、第1乗算値と第2乗算値とを加算する。

$$(BEMF_{\alpha}')^2 = \omega^2 \cdot V_m^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t) \quad \text{式(11)}$$

$$(BEMF_{\beta}')^2 = \omega^2 \cdot V_m^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t) \quad \text{式(12)}$$

[0053] 平方根ユニット115__1は、加算器114__1の加算値の平方根を演算す

る。平方根の値は、式（１３）によって表される。

$$[(BEMF_{\alpha}')^2 + (BEMF_{\beta}')^2]^{1/2} = \omega \cdot V_m \quad \text{式（１３）}$$

[0054] 二乗ユニット１１３__３は、逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ を二乗する。二乗した値は式（１４）で表される。二乗ユニット１１３__４は、逆起電力成分 $BEMF_{\beta}$ を二乗する。二乗した値は式（１５）によって表される。

$$(BEMF_{\alpha})^2 = V_m^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t) \quad \text{式（１４）}$$

$$(BEMF_{\beta})^2 = V_m^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t) \quad \text{式（１５）}$$

[0055] 加算器１１４__２は、逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ を二乗した値と、逆起電力成分 $BEMF_{\beta}$ を二乗した値とを加算する。平方根ユニット１１５__２は、加算器１１４__２の加算値の平方根を演算する。平方根の値は、式（１６）によって表される。逆起電力成分 $BEMF_{\alpha}$ および逆起電力成分 $BEMF_{\beta}$ に基づいて、 $\alpha\beta$ 固定座標系における逆起電力の絶対値が求まる。

$$(BEMF_{\alpha}^2 + BEMF_{\beta}^2)^{1/2} = V_m \quad \text{式（１６）}$$

[0056] 回転数演算ユニット１１０は、平方根ユニット１１５__１の平方根の値と逆起電力の絶対値とに基づいて、モータ M のロータの回転速度および回転数の少なくとも一方を求めることができる。

[0057] 除算器１１６は、平方根ユニット１１５__１の出力を、平方根ユニット１１５__２の出力（逆起電力の絶対値）で除算する。除算値は、式（１７）に示される回転速度を表す。

$$\omega \cdot V_m / V_m = \omega \quad \text{式（１７）}$$

[0058] 回転数演算ユニット１１７は、除算器１１６から出力される回転速度 ω からロータの回転数 f （ rps ）を演算する。回転速度 ω および回転数 f の関係は式（１８）に示されるとおりである。

$$f = \omega / 2\pi \quad \text{式（１８）}$$

[0059] 回転数演算ユニット１１０は、回転速度および回転数の少なくとも一方をモータ電流に基づいて推定することが可能であり、それらをモータ制御ユニット１２０に出力する。例えば、モータ制御システムにおいて回転数の情報が不要な場合、回転数演算ユニット１１７は必須ではない。回転速度および回

転数の情報は、例えば、ベクトル制御における各種のフィルタ処理などにも利用される。

[0060] モータ制御ユニット 120 は、回転数演算ユニット 110 により推定された回転速度および回転数の少なくとも一方に基づいてモータを制御する。例えば、モータ制御ユニット 120 は、回転数を用いてセンサレス制御によってモータ M を制御することができる。モータ制御ユニット 120 は、例えば一般的なベクトル制御に必要な演算を行う。なお、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。

[0061] 本実施形態によると、モータ電流に基づいてロータの回転速度および回転数を推定することができる。位置センサを利用しないセンサレス制御が可能となるので、位置センサの故障、およびハードウェアの追加によるシステムコストの増大などを抑制することが可能となる。また、ロータの回転速度および回転数を推定するための演算が簡素化されるため、メモリコストを低減することができる。

[0062] 位置センサを用いるモータ制御（「センサ制御」と表記する。）のシステムにおいて、位置センサが、例えば外部からの何らかの衝撃によって破損した場合、そのセンサの出力に基づいてロータの回転速度を取得することは不可能となる。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、本開示によるロータの回転数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。

[0063] 以下に、本開示によるロータの回転数の推定に用いられるアルゴリズムの妥当性を、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。この検証には、ベクトル制御により制御を受ける表面磁石型（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。

[0064]

[表1]

慣性モーメント	$6.9 \times 10^{-5} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$
摩擦係数	$5.1 \times 10^{-3} \text{ [Nm / (rad / s)]}$
抵抗 (モータ+ECU)	$8.50 \text{ m}\Omega + 5.43 \text{ m}\Omega$
$L_d \text{ (nominal)}$	$40.7 \mu\text{H}$
$L_q \text{ (nominal)}$	$38.8 \mu\text{H}$
電圧範囲	$10 \sim 16 \text{ V}$
温度範囲	$-40^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$
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	7.7 A
定格電圧	13.5 V
定格温度	80°C
最大トルク	$5.96 \text{ N} \cdot \text{m}$
巻線の直径	$\phi 1.45 \text{ mm}$
ターン数	11.5

[0065] ロータの回転方向は、一般に正転方向および逆転方向である。本明細書では、負荷側から見て、ロータがシャフトの軸回りを反時計回りに回転する方向を「正転方向」と呼び、ロータがシャフトの軸回りを時計回りに回転する方向を「逆転方向」と呼ぶこととする。当然に、正転および逆転方向は、製品仕様毎に異なって定義され得る。

[0066] 先ず、ロータが正転方向に高速で回転しているときに取得されたシミュレーション結果を説明する。例えばEPSシステムを想定した場合、正転方向への回転に対し、高速度の範囲は、例えば 26.2 rps 以上であり得る。

[0067] 図6は、所定期間（0秒から0.25秒）内のモータの実際の回転数（ rps ）の波形を示す。図7は、所定期間内のロータ角の波形を示す。図8は、所定期間内の、逆起電力 BEMF_α の波形（上）、逆起電力 BEMF_β の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示す。図9は、本開示による回転数の推定手法により推定された、所定期間内のモータの回転数（ rps ）の波形を示す。図6から図9の横軸は時間（秒）を示す。図6および図9の縦軸は、回転数（ rps ）を示す。図7の縦軸は、ロータ角（度）を示す。図8の縦軸は、電圧（V）を示す。

[0068] 図6から図9は、ロータが正転方向に高速（ 30 rps ）で回転しているときに取得された各種の波形を示す。

[0069] 図9の結果は、回転数演算ユニット110が、ロータの回転数（30 rps）を取得したことを意味する。図6および図9を比較すると、ロータが正転方向に高速で回転しているとき、ロータの実際の回転数に近い値を正しく推定できていることが分かる。なお、図6に示される実際の回転数の波形には、ノイズが重畳されている。

[0070] 次に、ロータが逆転方向に高速で回転しているときに取得されたシミュレーション結果を説明する。例えばEPSシステムを想定した場合、逆転方向への回転に対し、高速度の範囲は、例えば -26.2 rps 以下であり得る。

[0071] 図10は、所定期間（0秒から0.25秒）内のモータの実際の回転数（rps）の波形を示す。図11は、所定期間内のロータ角の波形を示す。図12は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力 $BEMF_{\beta}$ の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示す。図13は、本開示による回転数の推定手法により推定された、所定期間内のモータの回転数（rps）の波形を示す。図10から図13の横軸は時間（秒）を示す。図10および図13の縦軸は、回転数（rps）を示す。図11の縦軸は、ロータ角（度）を示す。図12の縦軸は、電圧（V）を示す。

[0072] 図10から図13は、ロータが逆転方向に高速（ -30 rps ）で回転しているときに取得された各種の波形を示す。図10および図13には、モータの回転数の絶対値が示される。

[0073] 図13の結果は、回転数演算ユニット110が、ロータの回転数（ -30 rps ）を取得したことを意味する。図10および図13を比較すると、ロータが逆転方向に高速で回転しているとき、ロータの実際の回転数に近い値を正しく推定できていることが分かる。

[0074] 次に、ロータが正転方向に低速で回転しているときに取得されたシミュレーション結果を説明する。例えばEPSシステムを想定した場合、正転方向への回転に対し、低速度の範囲は、例えば 0.0 rps 超 26.2 rps 未満であり得る。

[0075] 図14は、所定期間（0秒から0.25秒）内のモータの実際の回転数（ rps ）の波形を示す。図15は、所定期間内のロータ角の波形を示す。図16は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力 $BEMF_{\beta}$ の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示す。図17は、本開示による回転数の推定手法により推定された、所定期間内のモータの回転数（ rps ）の波形を示す。図14から図17の横軸は時間（秒）を示す。図14および図17の縦軸は、回転数（ rps ）を示す。図15の縦軸は、ロータ角（度）を示す。図16の縦軸は、電圧（V）を示す。

[0076] 図14から図17は、ロータが正転方向に低速（16 rps ）で回転しているときに取得された各種の波形を示す。

[0077] 図17の結果は、回転数演算ユニット110が、ロータの回転数（16 rps ）を取得したことを意味する。図14および図17を比較すると、ロータが正転方向に低速で回転しているとき、ロータの実際の回転数に近い値を正しく推定できていることが分かる。

[0078] 最後に、ロータが逆転方向に低速で回転しているときに取得されたシミュレーション結果を説明する。例えばEPSシステムを想定した場合、逆転方向への回転に対し、低速度の範囲は、例えば−26.2 rps 超0.0 rps 未満であり得る。

[0079] 図18は、所定期間（0秒から0.25秒）内のモータの実際の回転数（ rps ）の波形を示す。図19は、所定期間内のロータ角の波形を示す。図20は、所定期間内の、逆起電力 $BEMF_{\alpha}$ の波形（上）、逆起電力 $BEMF_{\beta}$ の波形（中間）、および、逆起電力の大きさ V_m の波形（下）を示す。図21は、本開示による回転数の推定手法により推定された、所定期間内のモータの回転数（ rps ）の波形を示す。図18から図21の横軸は時間（秒）を示す。図18および図21の縦軸は、回転数（ rps ）を示す。図19の縦軸は、ロータ角（度）を示す。図20の縦軸は、電圧（V）を示す。

[0080] 図18から図21は、ロータが逆転方向に低速（−16 rps ）で回転しているときに取得された各種の波形を示す。図18および図21には、モータ

の回転数の絶対値が示される。

[0081] 図 21 の結果は、回転数演算ユニット 110 が、ロータの回転数 (-16 rps) を取得したことを意味する。図 18 および図 21 を比較すると、ロータが逆転方向に低速で回転しているとき、ロータの実際の回転数に近い値を正しく推定できていることが分かる。

[0082] 以上のシミュレーション結果から、本開示のロータの回転数の推定手法によれば、起動時を含む低速駆動から高速駆動までの広範囲にわたって、ロータの回転数を正しく推定できることが分かる。

[0083] (実施形態 2)

図 22 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。

[0084] 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。

[0085] 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 523 A、523 B、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 552 A、552 B、タイロッド 527 A、527 B、ナックル 528 A、528 B、および左右の操舵車輪 529 A、529 B を有する。

[0086] 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 を有する。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。ECU 542 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。

[0087] 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。

[0088] 本開示の実施形態は、ロータの回転数の検出能力が求められる、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。

[0089] 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

[0090] 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

[0091] 100：コントローラ、110：回転数演算ユニット、120：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]

α β 固定座標系におけるモータの逆起電力の α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ を獲得するステップ A と、

前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ のそれぞれを時間微分するステップ B と、

前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ の微分値を二乗して第 1 乗算値を求めるとともに、前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ の微分値を二乗して第 2 乗算値を求めるステップ C と、

前記第 1 乗算値と前記第 2 乗算値との和の平方根を求めるステップ D と、

前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ および前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ に基づいて、前記 α β 固定座標系における前記逆起電力の絶対値を求めるステップ E と、

前記平方根の値と前記逆起電力の絶対値とに基づいて、前記モータのロータの回転速度および回転数の少なくとも一方を求めるステップ F と、

前記ロータの回転速度および回転数の少なくとも一方に基づいて前記モータを制御するステップ G と、

を包含する、モータ制御方法。

[請求項2]

前記ステップ A において、前記 α 軸上の成分 $BEMF_{\alpha}$ を式 (1) に基づいて演算し、

前記 β 軸上の成分 $BEMF_{\beta}$ を式 (2) に基づいて演算し、

$$BEMF_{\alpha} = V_{\alpha}^* - R \cdot I_{\alpha} \quad (1)$$

$$BEMF_{\beta} = V_{\beta}^* - R \cdot I_{\beta} \quad (2)$$

ここで、 V_{α}^* は前記 α 軸上のリファレンス電圧を示し、 V_{β}^* は前記 β 軸上のリファレンス電圧を示し、 I_{α} は電機子電流の前記 α 軸上の成分であり、 I_{β} は前記電機子電流の前記 β 軸上の成分であり、 R は電機子抵抗を示す、請求項 1 に記載のモータ制御方法。

[請求項3] 前記ステップEにおいて、前記 α β 固定座標系における前記モータの逆起電力の絶対値B E M F を式（3）に基づいて演算する、

$$B E M F = (B E M F_{\alpha}^2 + B E M F_{\beta}^2)^{1/2} \quad (3)$$

請求項1 または2 に記載のモータ制御方法。

[請求項4] 前記ステップFにおいて、前記平方根の値を前記逆起電力の絶対値で除して、前記ロータの回転速度を求める、請求項1 から3 のいずれかに記載のモータ制御方法。

[請求項5] 前記ステップFにおいて、前記ロータの回転速度に $1 / 2 \pi$ を乗じて前記回転数を求める、請求項4 に記載のモータ制御方法。

[請求項6] モータと、

前記モータを制御する制御回路と、

を有し、

前記制御回路は、

α β 固定座標系におけるモータの逆起電力の α 軸上の成分B E M F _{α} および β 軸上の成分B E M F _{β} を獲得し、

前記 α 軸上の成分B E M F _{α} および前記 β 軸上の成分B E M F _{β} のそれぞれを時間微分し、

前記 α 軸上の成分B E M F _{α} の微分値を二乗して第1 乗算値を求めるとともに、前記 β 軸上の成分B E M F _{β} の微分値を二乗して第2 乗算値を求め、

前記第1 乗算値と前記第2 乗算値との和の平方根を求め、

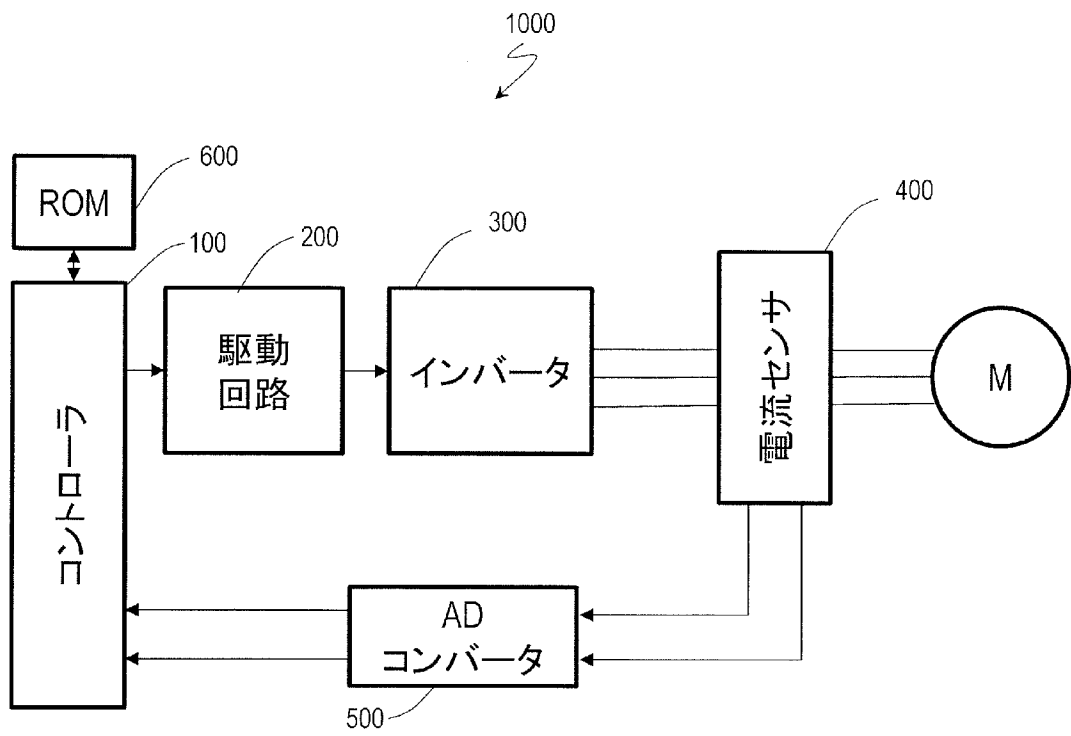
前記 α 軸上の成分B E M F _{α} および前記 β 軸上の成分B E M F _{β} に基づいて、前記 α β 固定座標系における前記逆起電力の絶対値を求め、

前記平方根の値と前記逆起電力の絶対値とに基づいて、前記モータのロータの回転速度および回転数の少なくとも一方を求め、

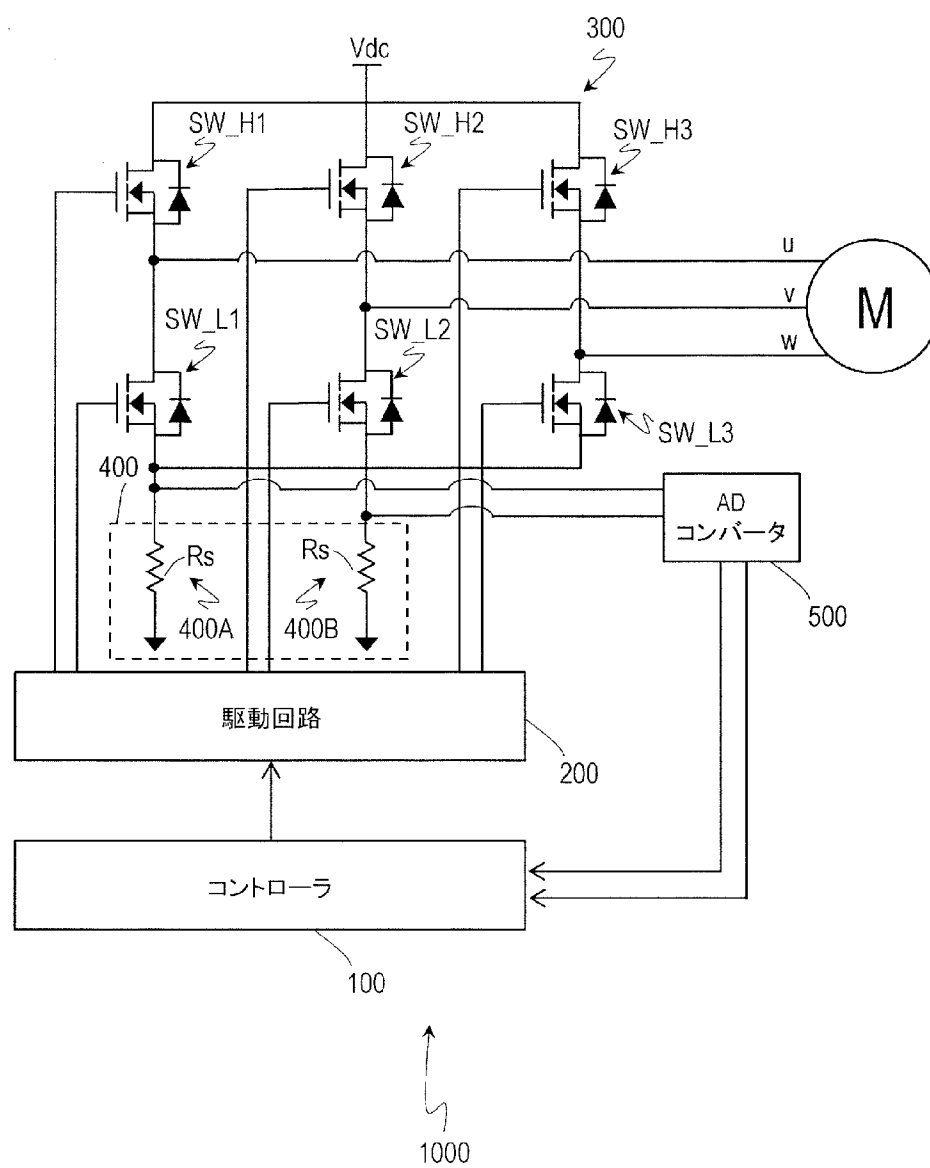
前記ロータの回転速度および回転数の少なくとも一方に基づいて前記モータを制御する、モータ制御システム。

[請求項7] 請求項6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。

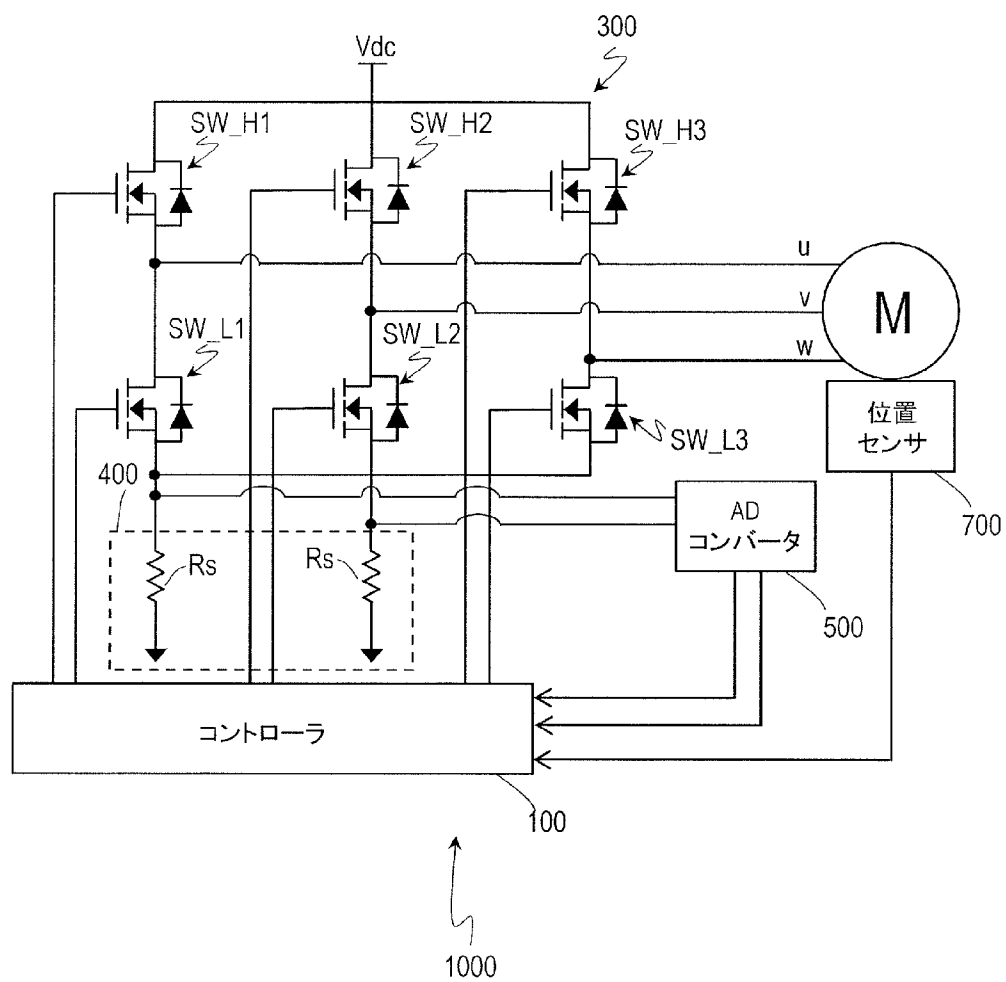
[図1]



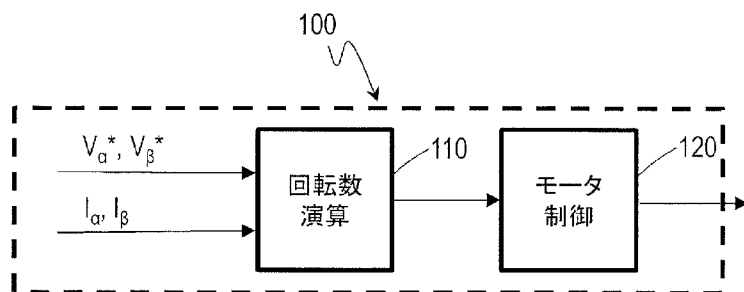
[図2]



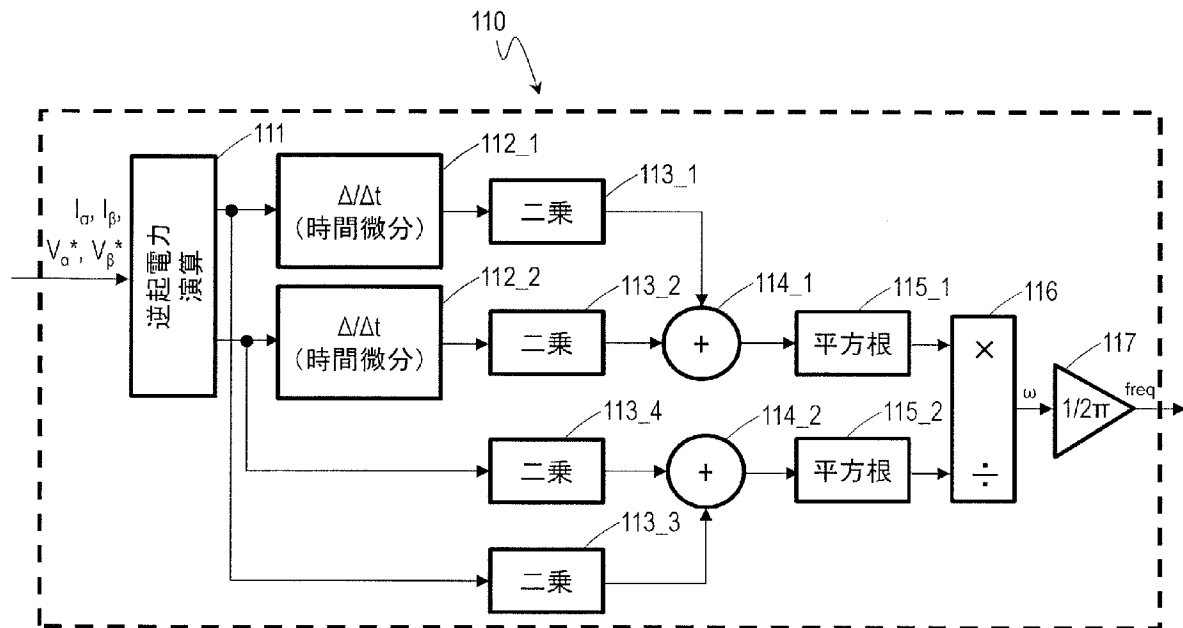
[図3]



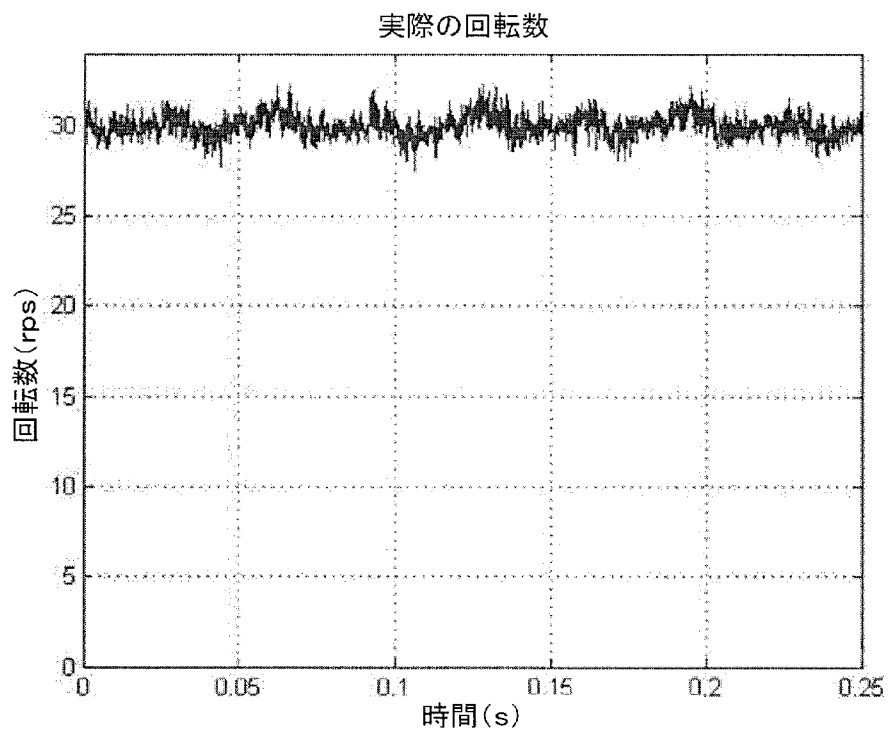
[図4]



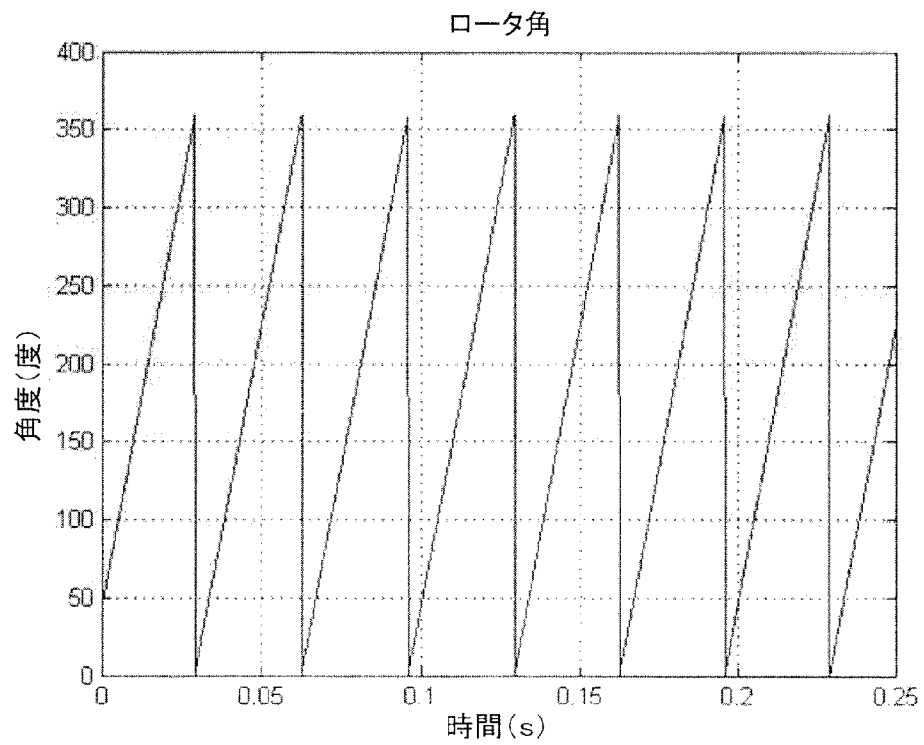
[図5]



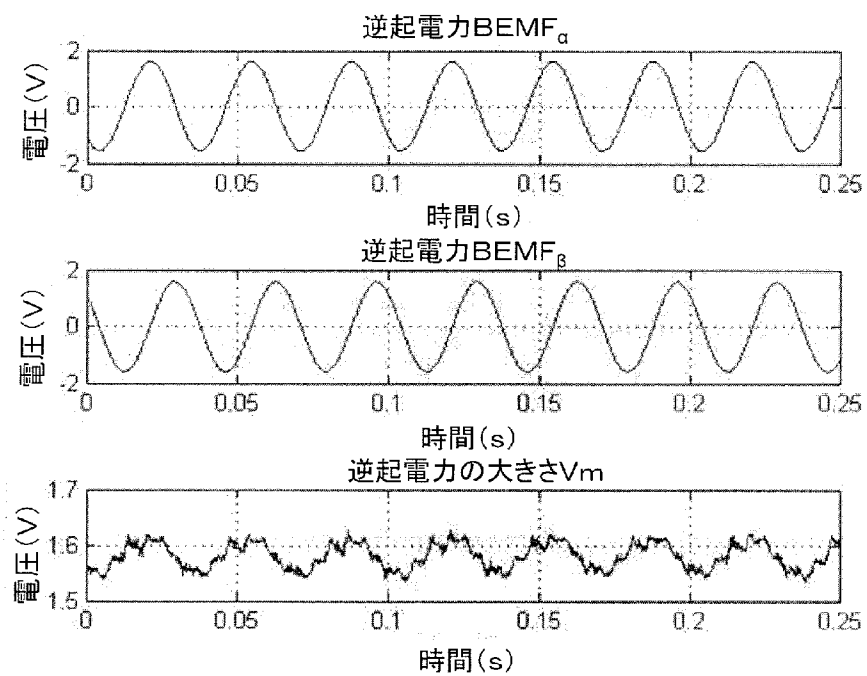
[図6]



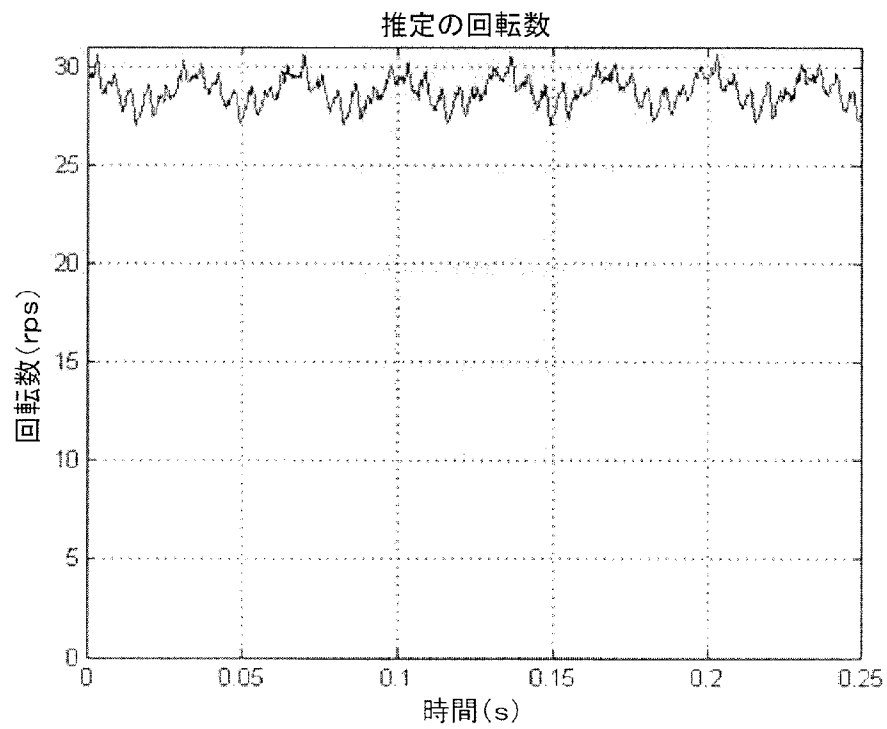
[図7]



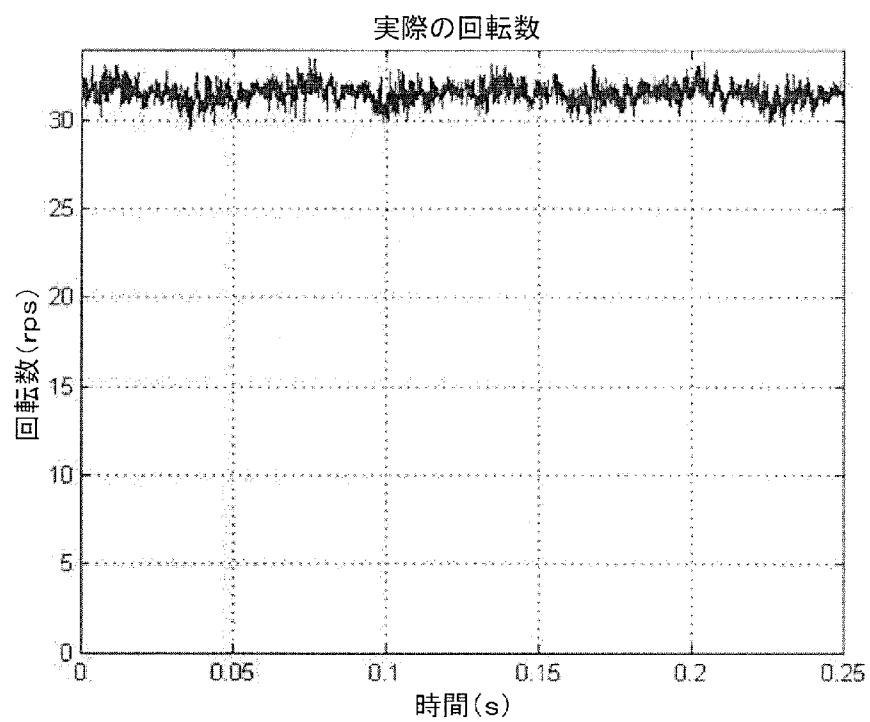
[図8]



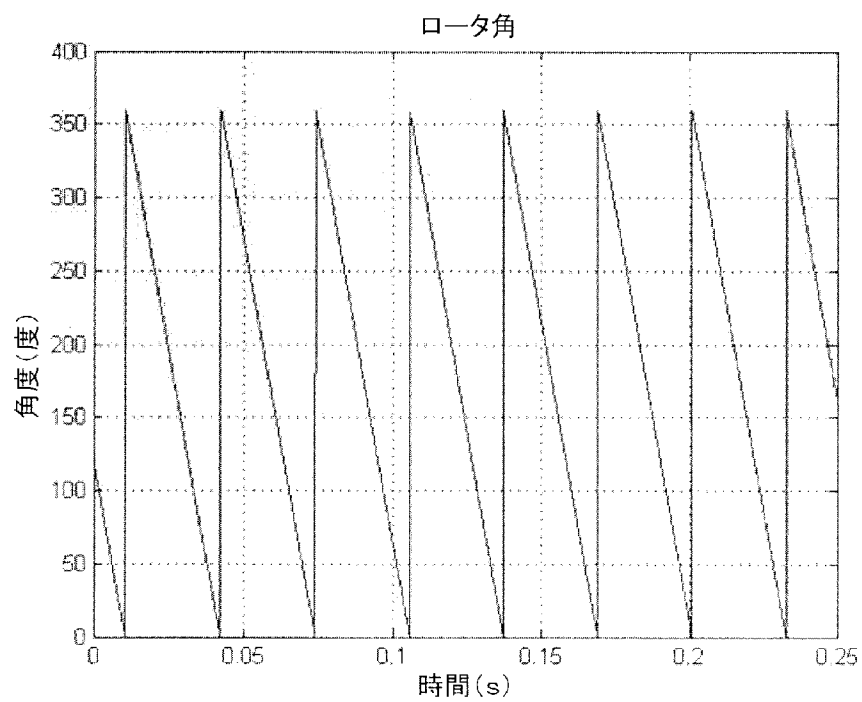
[図9]



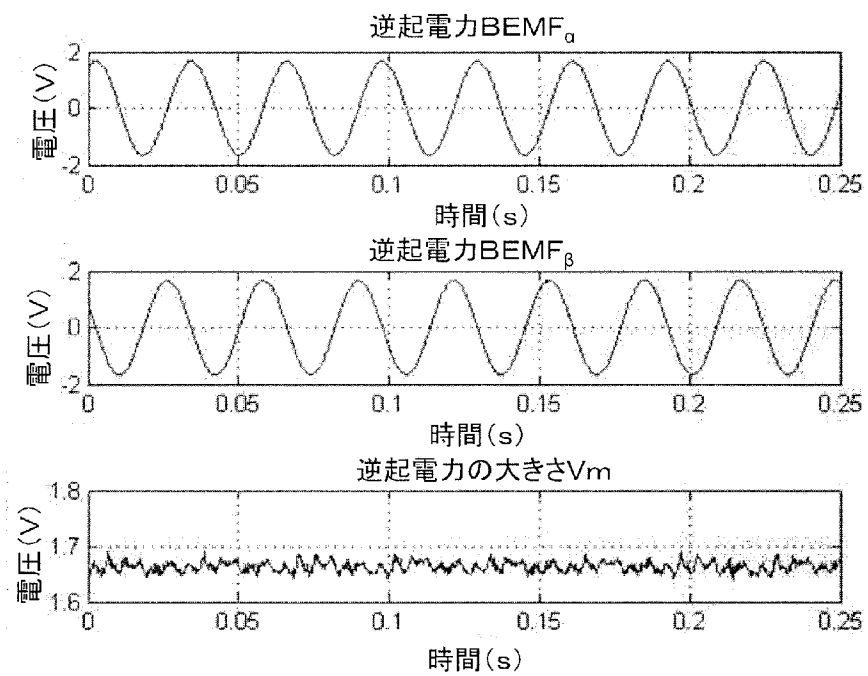
[図10]



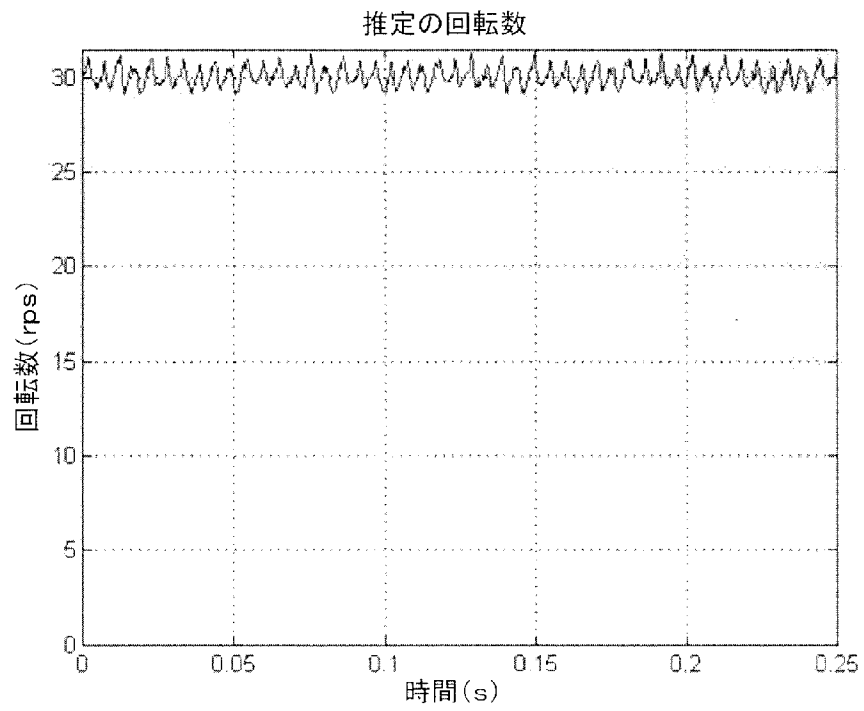
[図11]



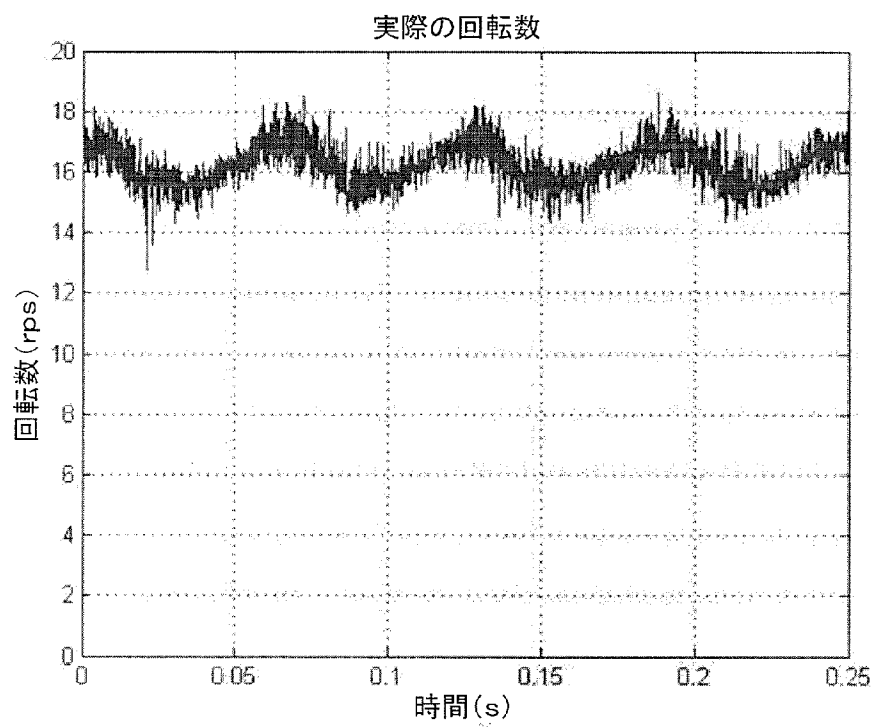
[図12]



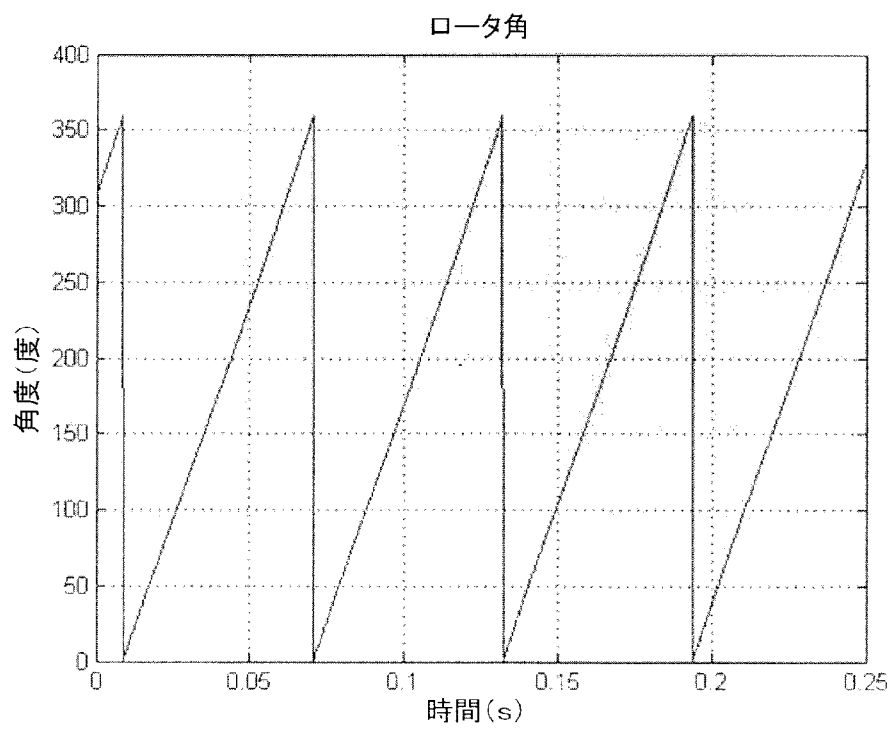
[図13]



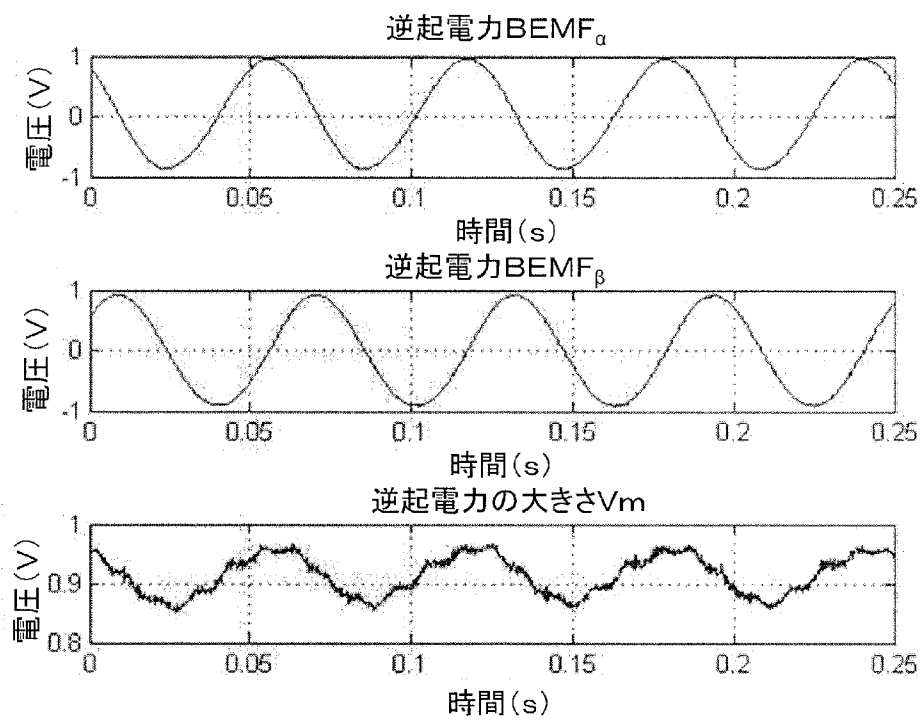
[図14]



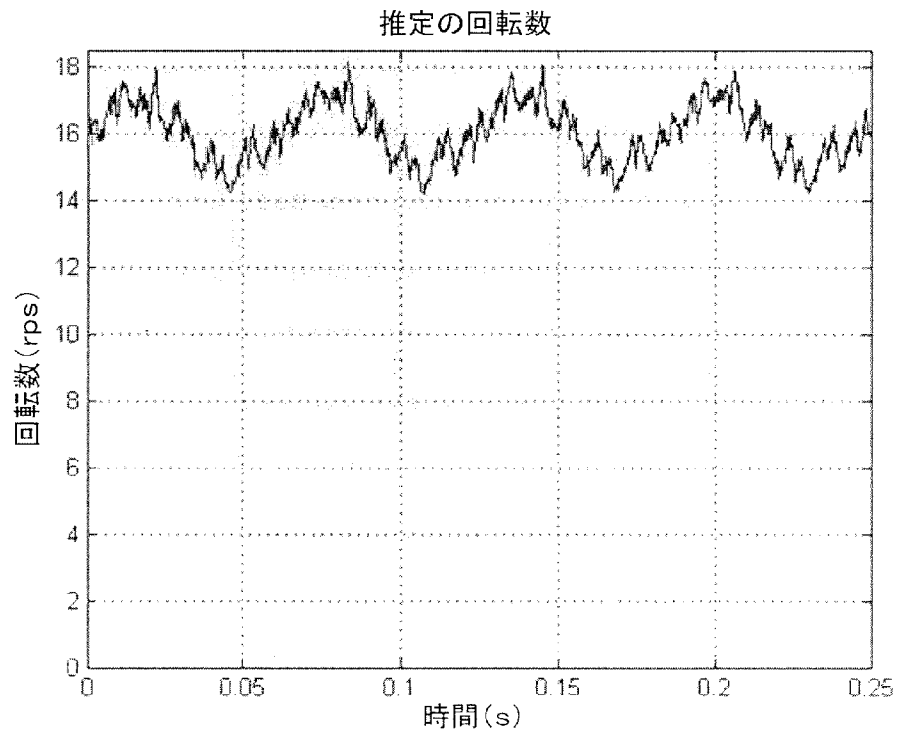
[図15]



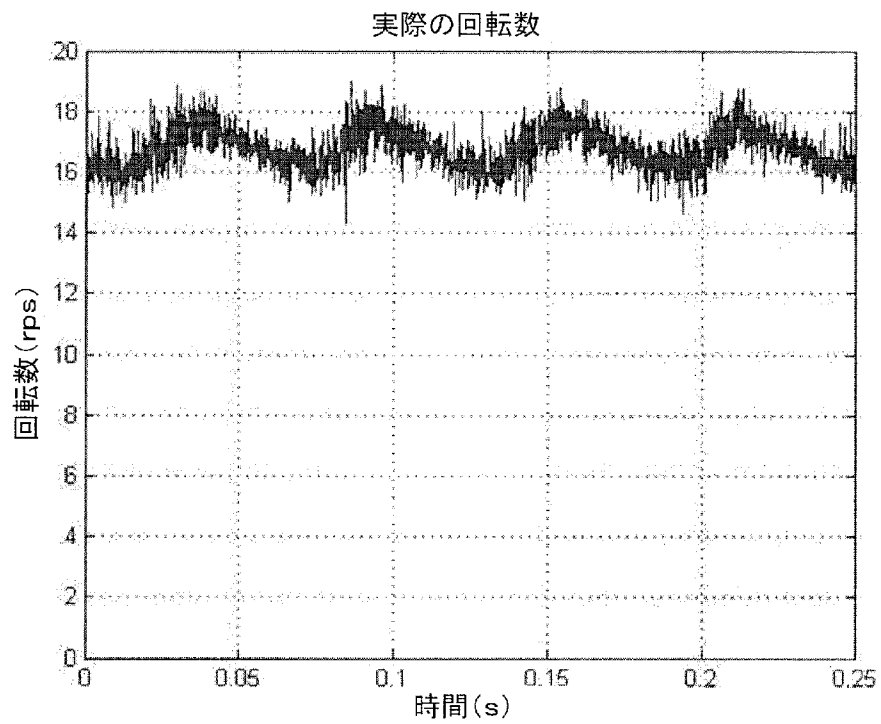
[図16]



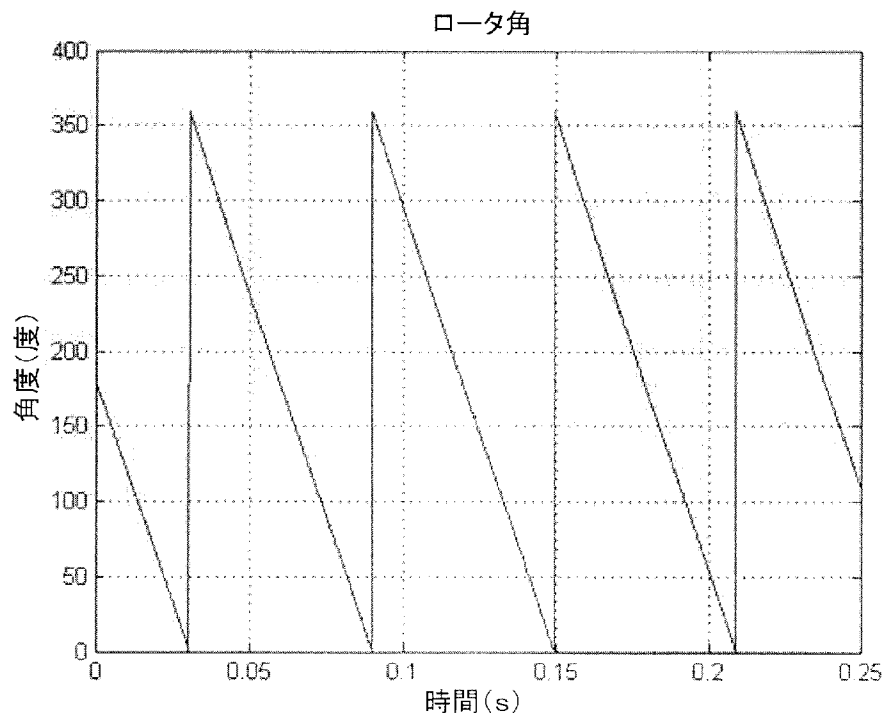
[図17]



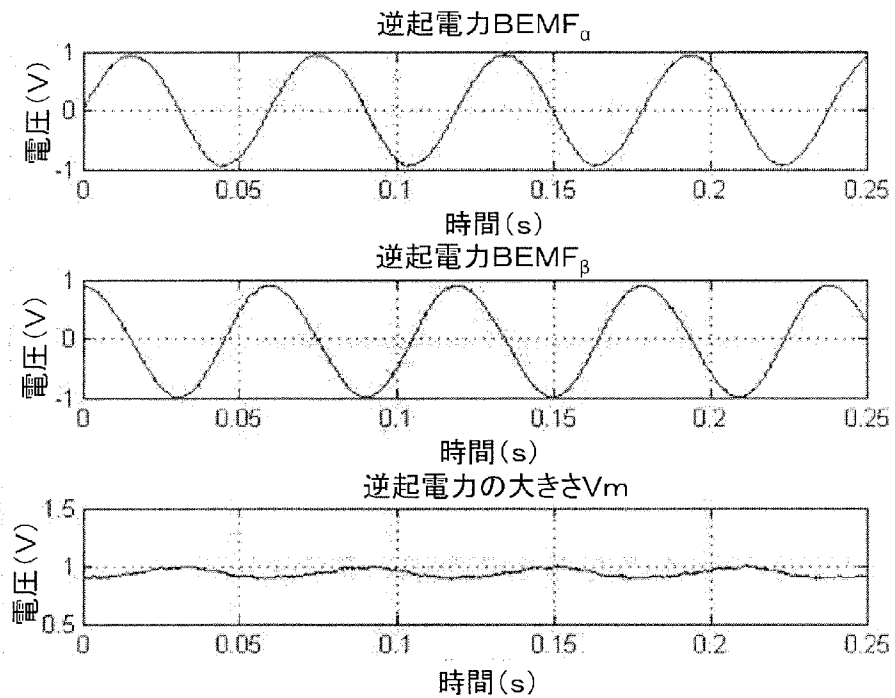
[図18]



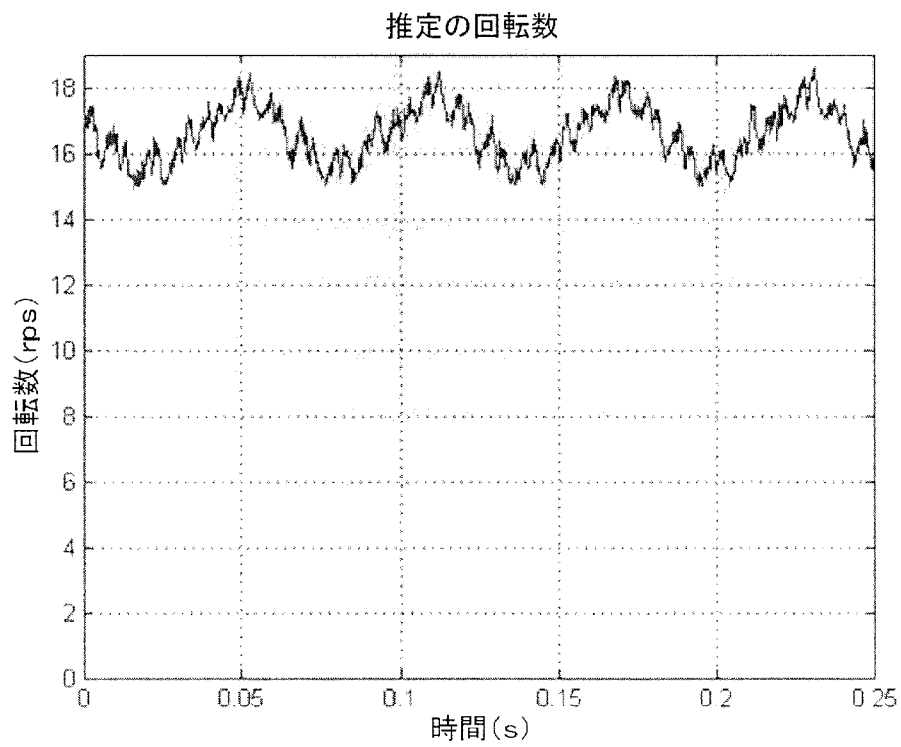
[図19]



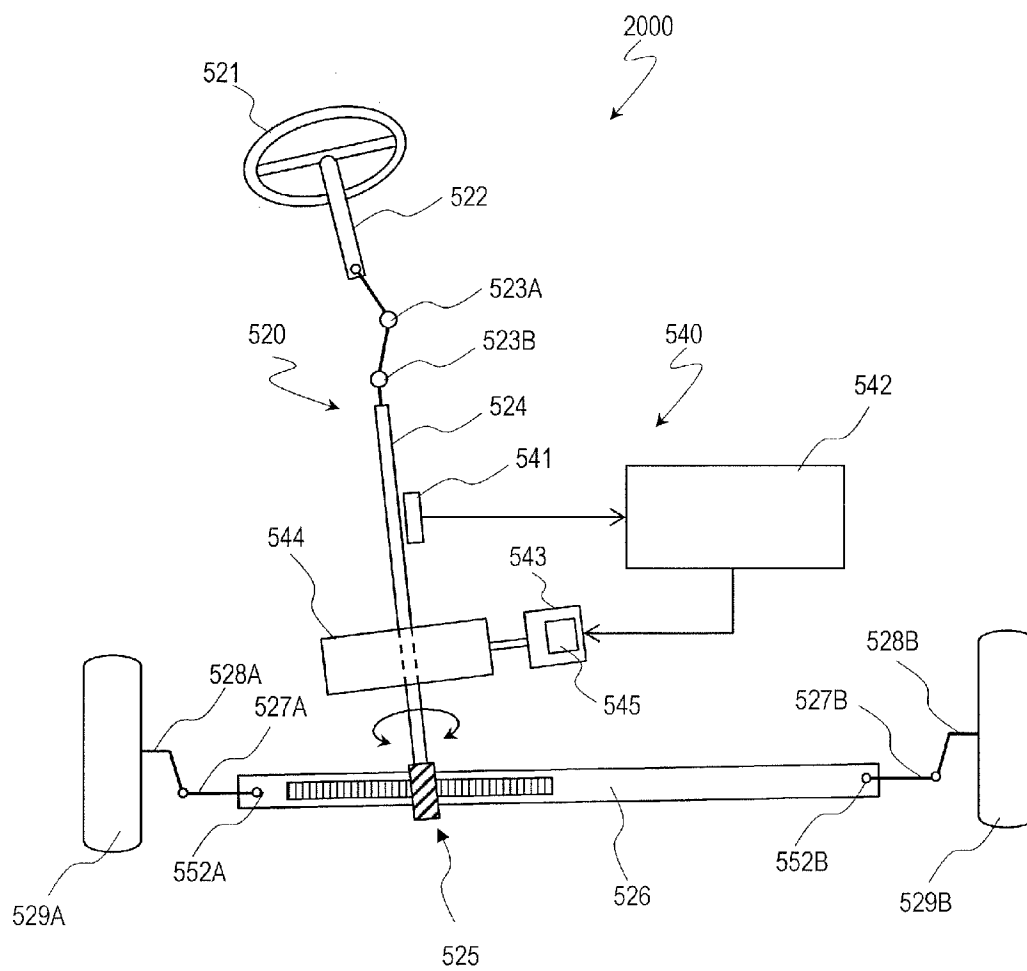
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/005800

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02P6/182 (2016.01) i, H02P6/17 (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. H02P6/182, H02P6/17

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 2011-120445 A (JTEKT CORP.) 16 June 2011, paragraphs [0043]-[0125], fig. 1-3 (Family: none)	1-7
A	JP 5-236783 A (NIDEC CORP.) 10 September 1993, paragraphs [0012]-[0021], fig. 1 (Family: none)	1-7
A	WO 2017/025993 A1 (GHADERI, Ahmad) 16 February 2017, fig. 2 (Family: none)	1-7

☐ 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
08.05.2018

Date of mailing of the international search report
22.05.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02P6/182(2016.01)i, H02P6/17(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. H02P6/182, H02P6/17

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 2011-120445 A（株式会社ジェイテクト）2011.06.16, 段落 [0043]-[0125]、図1-3（ファミリーなし）	1-7
A	JP 5-236783 A（日本電産株式会社）1993.09.10, 段落 [0012]-[0021]、図1（ファミリーなし）	1-7
A	WO 2017/025993 A1（GHADERI, Ahmad）2017.02.16, 図2（ファミリー なし）	1-7

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

08.05.2018

国際調査報告の発送日

22.05.2018

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）

樋口 幸太郎

3 V

5 5 6 1

電話番号 03-3581-1101 内線 3357