

(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
2024年12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/252841 A1

(51) 国際特許分類:

H02P 21/20 (2016.01) H02P 27/08 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2024/017261

(22) 国際出願日:

2024年5月9日(09.05.2024)

(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 2023-094987 2023年6月8日(08.06.2023) JP

(71) 出願人: 日立 Astemo 株式会社(HITACHI
ASTEMO, LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひ
たちなか市高場 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 隅田 悟士(SUMITA Satoshi); 〒1008280
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社
日立製作所内 Tokyo (JP). 関口 学(SEKIGUCHI
Manabu); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場
2 5 2 0 番地 日立 Astemo 株式会社内
Ibaraki (JP). 山田 佳央(YAMADA Yoshihisa);
〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番

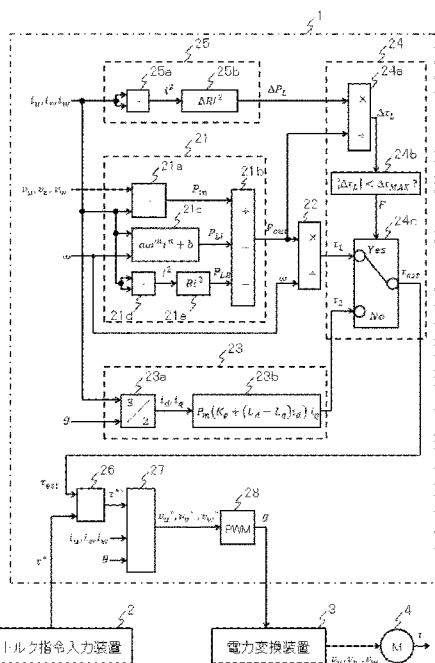
地 日立 Astemo 株式会社内 Ibaraki (JP).
仲田 義則(NAKATA Yoshinori); 〒3128503 茨
城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 日立 A
stemo 株式会社内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 弁 理 士 法 人 開 知 (KAICHI IP);
〒1030022 東京都中央区日本橋室町四丁
目3番16号 Tokyo (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: CONTROL APPARATUS FOR ELECTRIC POWER CONVERSION DEVICE

(54) 発明の名称: 電力変換装置の制御装置



2 Torque command input device
3 Electric power conversion device

(57) Abstract: This control apparatus for an electric power conversion device that drives an electric motor comprises an arithmetic device. The arithmetic device calculates an output of the electric motor, calculates a loss change amount due to a temperature change of the electric motor, sets a first torque estimation value based on the output of the electric motor and the rotation speed of the electric motor as a torque estimation value of the electric motor in cases in which the ratio of the loss change amount to the output of the electric motor is smaller than an allowable torque error ratio of the electric motor, and in other cases sets a second torque estimation value based on an electric current and a rotor phase of the electric motor as the torque estimation value of the electric motor.

(57) 要約: 電動機を駆動する電力変換装置の制御装置は、演算装置を備え、前記演算装置は、前記電動機の実出力を演算し、前記電動機の温度変化による損失変化量を演算し、前記電動機の実出力に対する前記損失変化量の比率が前記電動機の許容トルク誤差比率よりも小さい場合には、前記電動機の実出力と前記電動機の回転速度とに基づく第1トルク推定値を前記電動機のトルク推定値とし、それ以外の場合には、前記電動機の電流と前記電動機の回転子位相とに基づく第2トルク推定値を前記電動機のトルク推定値とする。

(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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

明 細 書

発明の名称：電力変換装置の制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、電力変換装置の制御装置に関する。

背景技術

[0002] 何らかの方法で電動機のトルクを推定し、推定したトルクに基づいて電動機を制御する制御装置が知られている。例えば特許文献1には、低速用トルク推定部と高速用トルク推定部とを電動機の角速度に応じて切り替える電動機の角速度回転数低速・高速域でそれぞれ良好にトルク推定を行い得るトルク推定部を切り換える永久磁石同期電動機の制御装置が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2002-233199号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載の制御装置は、温度変動の影響によるトルク誤差比率（トルク指令とトルク真値との差分をトルク真値で除算した値）を許容値以下に抑える仕組みはなく、トルク推定部の選定および切り替え条件を試行錯誤的に決定する必要がある。

[0005] 本発明は、温度変動の影響によるトルク誤差比率を許容値以下に抑えることが可能な電力変換装置の制御装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様による電力変換装置の制御装置は、電動機を駆動する電力変換装置の制御装置であって、演算装置を備え、前記演算装置は、前記電動機の出力を演算し、前記電動機の温度変化による損失変化量を演算し、前記電動機の出力に対する前記損失変化量の比率が前記電動機の許容トルク誤差比率よりも小さい場合には、前記電動機の出力と前記電動機の回転速度とに

基づく第1トルク推定値を前記電動機のトルク推定値とし、それ以外の場合には、前記電動機の電流と前記電動機の回転子位相とに基づく第2トルク推定値を前記電動機のトルク推定値とする。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、温度変動の影響によるトルク誤差比率を許容値以下に抑えることが可能な電力変換装置の制御装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]図1は、本発明の第1実施形態に係る制御装置のハードウェア構成を模式的に示すブロック図である。

[図2]図2は、本発明の第1実施形態に係る制御装置の動作を説明するためのブロック線図である。

[図3]図3は、トルク指令補正部の構成を示すブロック線図である。

[図4]図4は、トルク指令補正部によるトルク指令の補正内容を説明するための説明図である。

[図5]図5は、ベクトル制御部の構成を示すブロック線図である。

[図6]図6は、第1実施形態に係る制御装置が実行する制御処理のフローチャートである。

[図7]図7は、第2実施形態に係る制御装置を搭載する電動車を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0009] 図1～図6を参照して、本発明の実施形態に係る電力変換装置3の制御装置1について説明する。

[0010] 図1は、本発明の第1実施形態に係る制御装置1のハードウェア構成を模式的に示すブロック図である。制御装置1は、CPU (Central Processing Unit)、MPU (Micro Processing Unit)、DSP (Digital Signal Processor) 等の演算装置11、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、ハードディスクドライブ等の不揮発性メモリ12、所謂RAM (Random Access Memory) と呼ばれる揮発性メモリ13、入出力インタフェース14、お

よび、その他の周辺回路を備えたコンピュータで構成される。これらのハードウェアは、協働してソフトウェアを動作させ、複数の機能を実現する。なお、コントローラは、1つのコンピュータで構成してもよいし、複数のコンピュータで構成してもよい。また、演算装置11としては、ASIC (application specific integrated circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array) などを用いることができる。

[0011] 不揮発性メモリ12には、各種演算が実行可能なプログラムが格納されている。すなわち、不揮発性メモリ12は、本実施形態の機能を実現するプログラムを読み取り可能な記憶媒体（記憶装置）である。揮発性メモリ13は、演算装置11による演算結果および入出力インタフェース14から入力された信号を一時的に記憶する記憶媒体（記憶装置）である。演算装置11は、不揮発性メモリ12に記憶されたプログラムを揮発性メモリ13に展開して演算実行する装置であって、プログラムに従って入出力インタフェース14、不揮発性メモリ12および揮発性メモリ13から取り入れたデータに対して所定の演算処理を行う。

[0012] 制御装置1は、トルク指令入力装置2および電力変換装置3に接続される。トルク指令入力装置2は、制御装置1を用いて電動機4を所望のトルクで駆動させる装置である。電力変換装置3は、電動機4を駆動する装置である。トルク指令入力装置2は、後述するトルク指令を制御装置1に向けて出力する。制御装置1は、トルク指令入力装置2から入力されたトルク指令に基づき、後述する複数のゲート信号gを電力変換装置3に出力する。電力変換装置3は、制御装置1から入力された複数のゲート信号gに基づき電動機4を駆動する。

[0013] 入出力インタフェース14の入力部は、各種装置（トルク指令入力装置2等）から入力された信号を演算装置11で演算可能なデータに変換する。また、入出力インタフェース14の出力部は、演算装置11での演算結果に応じた出力用の信号を生成し、その信号を各種装置（電力変換装置3等）に出力する。

[0014] 図2は、本発明の第1実施形態に係る制御装置1の動作を説明するためのブロック線図である。制御装置1は、電動機出力演算部21、第1トルク推定部22、第2トルク推定部23、切替部24、損失変化量演算部25、トルク指令補正部26、ベクトル制御部27、およびPWM制御部28を備える。

[0015] これらの各部には、電力変換装置3のU相・V相・W相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w 、電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w 、電動機4の周波数 ω 、および電動機4の回転子位相 θ が供給される。これらの値は、不図示のセンサ等により電力変換装置3および電動機4から現在の値が随時取得され、制御装置1の各部に供給される。

[0016] 電動機出力演算部21は内積演算部21a、加減算部21b、損失演算部21c、内積演算部21d、および銅損演算部21eを備える。電動機出力演算部21は、電力変換装置3のU相・V相・W相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w 、電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w 、および電動機4の周波数 ω に基づいて、電動機4の出力 P_{out} を演算する。

[0017] 内積演算部21aは電力変換装置3のU相・V相・W相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w と電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w の内積である電動機4の入力 P_{in} を演算する。損失演算部21cは係数 a 、 b を用いて、「 $a\omega^m i^n + b$ 」で表される損失 P_L を演算する。つまり損失 P_L は、電動機4の電流の乗数 i^n と周波数の乗数 ω^m との積にオフセット値 b を加算した値である。ここで損失 P_L とは、例えば渦電流損あるいはヒステリシス損である。スタインメッツの実験式により、渦電流損であれば「 $m=2$ 、 $n=2$ 」、ヒステリシス損であれば「 $m=1$ 、 $n=1.6$ 」となる。このときの係数 a 、 b は、例えばキャリブレーションにより同定する。損失 P_L としては、他にAC銅損あるいは機械損なども考えられ、いずれも「 $a\omega^m i^n + b$ 」と実測値の誤差が最小となるように a 、 b 、 m 、 n をキャリブレーションしておく。キャリブレーションは、例えば損失を実測可能なセンサを電力変換装置3や電動機4等に取り付けた状態で、電動機4の周波数 ω および電力変換装置3

のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w をそれぞれ変化させて損失を実測し、実測値との差が小さくなる a 、 b 、 m 、 n を探索することにより行う。

- [0018] なお、図2では一つの損失「 $a \omega^m i^n + b$ 」しか提示していないが、複数の損失を同様に演算してもよい。あるいは損失の合計値と「 $a \omega^m i^n + b$ 」の誤差が最小となるように a 、 b 、 m 、 n をキャリブレーションしてもよい。電動機出力演算部21はこれによって、渦電流損・ヒステリシス損・AC銅損・機械損の一部または全てを P_{LI} として演算する。内積演算部21dはU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w の2乗 i^2 を演算し、銅損演算部21eは銅損「 $P_{LR} = R i^2$ 」を演算する。ここで R は電動機4の巻線抵抗値である。加減算部21bは、次式(1)により電動機4の出力 P_{out} を演算する。

$$P_{out} = P_{in} - P_{LI} - P_{LR} \quad \cdots (1)$$

式(1)は、電動機4への入出力のギャップが電動機4の損失であることから成り立つ。

- [0019] 第1トルク推定部22は、次式(2)により第1トルク推定値 τ_1 を演算する。つまり第1トルク推定値 τ_1 は、電動機4の出力 P_{out} を電動機4の周波数 ω (回転速度) で除算した値である。

$$\tau_1 = P_{out} / \omega \quad \cdots (2)$$

式(2)は電動機4の出力 P_{out} がトルクと周波数の積であることから成り立つ。

- [0020] 第2トルク推定部23は三相二相変換部23aおよびトルクモデル3bを備える。第2トルク推定部23は、電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w と電動機4の回転子位相 θ とから第2トルク推定値 τ_2 を演算する。三相二相変換部23aは、電動機4の回転子位相 θ を用いて、電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w をd軸・q軸電流 i_d 、 i_q に変換する。第2トルク推定部23は、次式(3)で表されるトルクモデル3bにより第2トルク推定値 τ_2 を演算する。

$$\tau_2 = P_m (K_e + (L_d - L_q) i_d) i_q \quad \cdots (3)$$

ここで、 P_m は極対数、 K_e は誘起電圧係数、 L_d はd軸インダクタンス、 L

i_q はq軸インダクタンスである。つまり第2トルク推定値 τ_2 は、電動機4の回転子位相 θ を用いて電動機4のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w （三相交流電流）をd軸・q軸電流 i_d 、 i_q に三相二相変換し、その後、d軸・q軸電流 i_d 、 i_q と電動機4のインダクタンス L_d 、 L_q と電動機4の誘起電圧係数 K_e とに基づいて演算される値である。

[0021] 切替部24は、損失変化量比率演算部24a、比較部24b、および切替器24cを備える。切替部24は、第1トルク推定値 τ_1 と第2トルク推定値 τ_2 のいずれかをトルク推定値 τ_{est} として出力する。損失変化量比率演算部24aは、電動機4の出力 P_{out} に対する「温度変動時の電動機4の損失変化量 ΔP_L 」の比率 $\Delta \tau_L$ を演算する。以下の説明では、この比率 $\Delta \tau_L$ を損失変化量の比率 $\Delta \tau_L$ と称する。

[0022] 比較部24bは、損失変化量の比率 $\Delta \tau_L$ の絶対値 $|\Delta \tau_L|$ と、所定の許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ とを比較し、絶対値 $|\Delta \tau_L|$ の方が小さい場合にはフラグFをYesとして出力し、それ以外の場合ではNoとして出力する。切替器24cは、フラグFがYesの場合には第1トルク推定値 τ_1 、Noの場合には第2トルク推定値 τ_2 をトルク推定値 τ_{est} として出力する。

[0023] 損失変化量演算部25は、内積演算部25aおよび銅損変化量演算部25bを備える。損失変化量演算部25は、温度変動時（例えば、電動機4の仕様上の最低温度から最高温度まで温度が変化するとき）の巻線抵抗値Rの変動量を巻線抵抗変動 ΔR とすると、 $\Delta P_L = \Delta R i^2$ を出力する。つまり損失変化量 ΔP_L は、電動機4の温度変化による巻線抵抗値Rの変化量 ΔR と電動機4の電流の2乗 i^2 との積である。なお、巻線抵抗変動 ΔR は、予め計測もしくは推定した値を不揮発性メモリ12などに記憶させておき、必要に応じて不揮発性メモリ12などから読み出す。

[0024] 図3は、トルク指令補正部26の構成を示すブロック線図である。トルク指令補正部26は、トルク推定値 τ_{est} に基づいてトルク指令 τ^* を補正し、補正後の値を補正トルク指令 τ^{**} として出力する。トルク指令補正部26は

、ローパスフィルタ 26 a および P I 制御部 26 b を備える。時定数 T のローパスフィルタ 26 a は、トルク制御の応答を模擬している。ゆえに、ローパスフィルタ 26 a の出力 τ_{LPF}^* は理想的なトルク応答を表す。トルク指令補正部 26 は、ローパスフィルタ 26 a の出力 τ_{LPF}^* とトルク推定値 τ_{est} との差分を P I 制御部 26 b に入力し、その出力をトルク指令 τ^* に加算して補正トルク指令 τ^{**} として出力する。すなわち、補正トルク指令 τ^{**} はトルク推定値 τ_{est} をフィードバック、トルク指令 τ^* をフィードフォワードとする二自由度制御によって定められる。

[0025] 図 4 は、トルク指令補正部 26 によるトルク指令 τ^* の補正内容を説明するための説明図である。図 4 の横軸は時間を示し、縦軸はトルク値を示す。説明のため、図 4 に示す時刻 t_1 まではトルク指令補正部 26 が無効化されており、時刻 t_1 以降はトルク指令補正部 26 が有効化されるものとする。また、図 4 に示す時間軸の全体に渡って、トルク指令 τ^* は一定であるものとする。

[0026] 図 4 では、トルク推定値 τ_{est} (および電動機 4 の実トルク τ) を実線で、補正トルク指令 τ^{**} を破線で示している。前述の通り、時刻 t_1 まではトルク指令補正部 26 が無効化されているので、時刻 t_1 まではトルク指令 τ^* と補正トルク指令 τ^{**} は一致している。時刻 t_1 でトルク指令補正部 26 が有効化されると、ローパスフィルタ 26 a の出力 τ_{LPF}^* がトルク推定値 τ_{est} よりも大きいので P I 制御部 26 b の出力は正となり、補正トルク指令 τ^{**} は増加する。この結果、実トルク τ およびトルク推定値 τ_{est} も増加し、これは次式 (4) のトルク誤差比率 $\Delta \tau$ がゼロになるまで続く。

$$\Delta \tau = (\tau - \tau^*) / \tau^* \quad \dots (4)$$

このため、トルク推定に誤差がない限り、トルク誤差比率 $\Delta \tau$ はトルク指令補正部 26 の補正によりいずれゼロで安定する。

[0027] 図 5 は、ベクトル制御部 27 の構成を示すブロック線図である。ベクトル制御部 27 は、補正トルク指令 τ^{**} 、電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w 、および電動機 4 の回転子位相 θ に基づいて U 相・V 相・W 相電圧指令 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を演算する。ベクトル制御部 27 は、トルク・

電流指令変換部 27a、電流制御部 27b、三相二相変換部 27c、および二相三相変換部 27d を備える。

[0028] トルク・電流指令変換部 27a は、補正トルク指令 τ^{**} を d 軸・q 軸電流指令 i_d^* 、 i_q^* に変換する。三相二相変換部 27c は、電動機 4 の回転子位相 θ を用いて電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w を d 軸・q 軸電流 i_d 、 i_q に変換する。電流制御部 27b は、d 軸・q 軸電流指令 i_d^* 、 i_q^* および d 軸・q 軸電流 i_d 、 i_q に基づいて、d 軸・q 軸電圧指令 v_d^* 、 v_q^* を演算する。二相三相変換部 27d は、電動機 4 の回転子位相 θ を用いて d 軸・q 軸電圧指令 v_d^* 、 v_q^* を U 相・V 相・W 相電圧指令 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に変換する。

[0029] PWM 制御部 28 は、U 相・V 相・W 相電圧指令 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に基づいて電力変換装置 3 に複数のゲート信号 g （すなわち PWM 制御信号）を出力し、電力変換装置 3 を制御する。この結果、電動機 4 には U 相・V 相・W 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w が印加され、U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w が流れ、実トルク τ が発生する。

[0030] 図 6 は、第 1 実施形態に係る制御装置 1 が実行する制御処理のフローチャートである。ステップ S80 において電動機出力演算部 21 が、電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w 、電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w 、および電動機 4 の周波数 ω に基づいて、電動機 4 の出力 P_{out} を演算する。ステップ S90 において損失変化量演算部 25 が、温度変動時の電動機 4 の損失変化量 ΔP_L を演算する。ステップ S100 において切替部 24 が、ステップ S80 で演算された電動機 4 の出力 P_{out} およびステップ S90 で演算された温度変動時の電動機 4 の損失変化量 ΔP_L を用いて、損失変化量の比率 $\Delta \tau_L$ を演算する。ステップ S110 において切替部 24 が、ステップ S100 で演算した損失変化量の比率 $\Delta \tau_L$ の絶対値 $|\Delta \tau_L|$ と、所定の許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ とを比較し、前者が後者よりも小さいか否かを判定する。絶対値 $|\Delta \tau_L|$ が許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ よりも小さい場合、処理はステップ S120 に進む。

- [0031] ステップS 1 2 0において第1トルク推定部2 2が、前述の式(2)により第1トルク推定値 τ_1 を演算する。ステップS 1 3 0において切替部2 4が、ステップS 1 2 0において演算された第1トルク推定値 τ_1 をトルク推定値 τ_{est} として出力する。その後、処理はステップS 1 6 0に進む。
- [0032] 他方、ステップS 1 1 0において絶対値 $|\Delta \tau_L|$ が許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ 以上であった場合、処理はステップS 1 4 0に進む。ステップS 1 4 0において第2トルク推定部2 3が、前述の式(3)により第2トルク推定値 τ_2 を演算する。ステップS 1 5 0において切替部2 4が、ステップS 1 4 0において演算された第2トルク推定値 τ_2 をトルク推定値 τ_{est} として出力する。その後、処理はステップS 1 6 0に進む。
- [0033] ステップS 1 6 0においてトルク指令補正部2 6が、ステップS 1 2 0またはステップS 1 4 0において出力されたトルク推定値 τ_{est} に基づいてトルク指令 τ^* を補正し、補正後の値を補正トルク指令 τ^{**} として出力する。ステップS 1 7 0においてベクトル制御部2 7が、ステップS 1 6 0で出力された補正トルク指令 τ^{**} 、電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w 、および電動機4の回転子位相 θ に基づいてU相・V相・W相電圧指令 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を演算する。ステップS 1 8 0においてPWM制御部2 8が、ステップS 1 7 0で演算されたU相・V相・W相電圧指令 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に基づいて電力変換装置3に複数のゲート信号 g を出力し、電力変換装置3を制御する。
- [0034] 前述の通り、トルク推定に誤差がなければ、トルク指令補正部2 6によってトルク誤差比率 $\Delta \tau$ はいずれゼロになる。第2トルク推定部2 3による第2トルク推定値 τ_2 の演算は電動機4の回転子位相 θ の検出誤差の影響を受けるため、可能な限り第1トルク推定部2 2により演算された第1トルク推定値 τ_1 を用いるのが望ましい。しかし、第1トルク推定部2 2による第1トルク推定値 τ_1 の演算は、銅損 P_{LR} の演算の際に用いる巻線抵抗値 R が温度変動の影響を受けるため、トルク誤差比率 $\Delta \tau$ がゼロにならない。つまり、第1トルク推定値 τ_1 には温度変動による誤差が生じる。換言すると、第1トルク

推定値 τ_1 には温度変動によるゼロでないトルク誤差比率 $\Delta \tau$ が生じる。

[0035] 第1実施形態に係る制御装置1は、切替部24および損失変化量演算部25によって、温度変動によるトルク誤差比率 $\Delta \tau$ を最大でも許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ に抑制する。この動作原理は以下の通りである。

(動作原理1) 比較部24bおよび切替器24cによって、「 $|\Delta \tau_L| < \Delta \tau_{MAX}$ 」の場合に限り第1トルク推定部22が適用される。

(動作原理2) トルク誤差比率 $\Delta \tau$ は、トルク指令補正部26の効果によって、次式(5)で表される。

$$\Delta \tau = (\tau - \tau^*) / \tau^* = (\tau - \tau_{est}) / \tau_{est} \quad \cdots (5)$$

ここで、第1トルク推定部22の適用範囲では「 $\tau_{est} = \tau_1$ 」である。また、上式(1)、(2)より次式(6)が成り立つ。

$$\tau_{est} = \tau_1 = (P_{in} - P_{LI} - P_{LR}) / \omega \quad \cdots (6)$$

同様に、実トルク τ については次式(7)が成り立つ。

$$\tau = (P_{in} - P_{LI} - P_{LR} - \Delta P_L) / \omega \quad \cdots (7)$$

式(5)に式(6)および式(7)を代入すると、次式(8)が得られる。

$$\Delta \tau = (-\Delta P_L) / (P_{in} - P_{LI} - P_{LR}) = -\Delta P_L / P_{OUT} \quad \cdots (8)$$

以上より、「 $\Delta \tau = -\Delta \tau_L$ 」であることが分かる。

(動作原理3) 上記の(1)および(2)より、「 $|\Delta \tau_L| < \Delta \tau_{MAX}$ 」すなわち「 $|\Delta \tau| < \Delta \tau_{MAX}$ 」の場合に限り、第1トルク推定部22が適用される。ゆえに第1トルク推定部22の適用時、温度変動によるトルク誤差比率 $\Delta \tau$ が許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ を超えることはなく、もし超える場合には第2トルク推定部23に自動的に切り替わる。第2トルク推定部23は電動機4の回転子位相 θ の検出誤差の影響は受けるが、温度変動による巻線抵抗変動 ΔR の影響を受けることはなく、温度変動に対してロバストとなる。

[0036] 上述した実施形態によれば、次の作用効果を奏する。

- [0037] (1) 演算装置 11 は、電動機 4 の出力 P_{out} を演算し、電動機 4 の温度変化による損失変化量 ΔP_L を演算し、電動機 4 の出力 P_{out} に対する損失変化量の比率 $\Delta \tau_L$ の絶対値 $|\Delta \tau_L|$ が電動機 4 の許容トルク誤差比率 $\Delta \tau_{MAX}$ よりも小さい場合には、電動機 4 の出力 P_{out} と電動機 4 の周波数 ω (回転速度) とに基づく第 1 トルク推定値 τ_1 を電動機 4 のトルク推定値 τ_{est} とし、それ以外の場合には、電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w (電動機 4 の電流) と電動機 4 の回転子位相 θ とに基づく第 2 トルク推定値 τ_2 を電動機 4 のトルク推定値 τ_{est} とする。このようにすることで、温度変動の影響によるトルク誤差比率を許容値以下に抑えることができる。
- [0038] (2) 演算装置 11 は、電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w と電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w の内積 (電力変換装置 3 の出力) を電動機 4 の入力 P_{in} とし、電動機 4 の入力 P_{in} から電動機 4 の損失 P_L を差し引いた値を電動機 4 の出力 P_{out} とする。このようにしたので、銅損など電動機 4 の損失を考慮して電動機 4 の出力 P_{out} を演算することができる。
- [0039] (3) 演算装置 11 は、電動機 4 の電流の乗数 i^n と周波数の乗数 ω^m との積 $a \omega^m i^n$ にオフセット値 b を加算した値に基づいて損失変化量 ΔP_L を演算する。このようにしたので、シンプルな計算で、温度変動の影響の大部分を占める銅損を演算することができる。シンプルな計算で済むので演算量が削減され、消費電力を削減することができる。
- [0040] (4) 演算装置 11 は、電動機 4 の温度変化による巻線抵抗値 R の変化量である巻線抵抗変動 ΔR と電動機 4 の電流の 2 乗 i^2 との積を損失変化量 ΔP_L とする。このようにしたので、損失変化量 ΔP_L を低演算量で算出することができる。
- [0041] (5) 演算装置 11 は、電動機 4 の出力 P_{out} を電動機 4 の周波数 ω (回転速度) で除算した値を第 1 トルク推定値 τ_1 とする。このようにしたので、温度変動が激しくない場合には第 1 トルク推定部 22 によって高精度なトルク推定値を安定して得ることができる。

- [0042] (6) 演算装置 11 は、電動機 4 の回転子位相 θ を用いて電動機 4 の電力変換装置 3 の U 相・V 相・W 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w (三相交流電流) を d 軸・q 軸電流 i_d 、 i_q に三相二相変換し、d 軸・q 軸電流 i_d 、 i_q と電動機 4 の d 軸インダクタンス L_d および q 軸インダクタンス L_q と電動機 4 の誘起電圧係数 K_e とに基づいて第 2 トルク推定値 τ_2 を演算する。このようにしたので、温度変動が激しい場合には第 2 トルク推定部 23 によって高精度なトルク推定値を安定して得ることができる。
- [0043] (7) 演算装置 11 は、制御装置 1 に入力されたトルク指令 τ^* を電動機 4 のトルク推定値 τ_{est} に基づいて補正し、補正した補正トルク指令 τ^{**} に基づいて電力変換装置 3 にゲート信号 g (PWM 制御信号) を出力する。このようにしたので、電力変換装置 3 を所望のトルクに安定的に制御することができる。
- [0044] (8) 演算装置 11 は、トルク推定値 τ_{est} をフィードバック、トルク指令 τ^* をフィードフォワードとする二自由度制御系である。このようにしたので、第 1 トルク推定部 22 と第 2 トルク推定部 23 とを切り替えても推定結果が不安定にならず、かつ定常的には高い推定精度を保つことができる。
- [0045] 図 7 を参照して、本発明の第 2 実施形態に係る制御装置について説明する。なお、第 1 実施形態で説明した構成と同一もしくは相当する構成には同一の参照記号を付し、相違点を主に説明する。
- [0046] 図 7 は、第 2 実施形態に係る制御装置 100 を搭載する電動車 200 を示す模式図である。電動車 200 は、電動機 4 を駆動源とする電動車である。すなわち電動車 200 は、4 つの電動機 4 を備え、各々の電動機 4 は電動車 200 が備える 4 つの車輪 201 の車軸に接続される。4 つの電動機 4 の各々について、対応する制御装置 100 および電力変換装置 3 が用意される。
- [0047] 電動車 200 は電動車 200 の各部を制御する制御装置 (以下、電動車制御装置とも記す) 202 を備える。電動車制御装置 202 は、第 1 実施形態において説明したトルク指令入力装置 2 に対応する。すなわち電動車制御装置 202 は、電動車 200 を加減速させるためのトルク指令 τ_1^* 、 τ_2^* 、 τ_3^*

、および τ_4^* を、4つの制御装置100の各々に対して出力する。電動車200は低速から高速まで幅広い条件で運転されるため、電動機4の温度は常に変動するが、第2実施形態に係る制御装置100によりトルク誤差比率 $\Delta\tau$ を許容トルク誤差比率 $\Delta\tau_{MAX}$ 以下に抑制できる。このため、電動車200を安定して加減速させることができる。

[0048] 次のような変形例も本発明の範囲内であり、変形例に示す構成と上述の実施形態で説明した構成を組み合わせたり、上述の異なる実施形態で説明した構成同士を組み合わせたり、以下の異なる変形例で説明する構成同士を組み合わせることも可能である。

[0049] <変形例1>

トルク指令補正部26の動作は、図3で説明したものと異なってもよい。例えばトルク推定値 τ_{est} をそのまま補正トルク指令 τ^{**} としてもよい。この場合でも、定常的には精度よくトルク推定を行うことができる。ただし、第1トルク推定部22と第2トルク推定部23との切替時に出力が振動し、過渡的には不安定になるおそれがある。

[0050] <変形例2>

電動機4の入力 P_{in} を、電力変換装置3のU相・V相・W相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w と電力変換装置3のU相・V相・W相電流 i_u 、 i_v 、 i_w との内積ではなく、電力変換装置3の入力と電力変換装置3による電力の変換効率との積により求めてもよい。

[0051] 以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態は本発明の適用例の一部を示したに過ぎず、本発明の技術的範囲を上記実施形態の具体的構成に限定する趣旨ではない。

符号の説明

[0052] 1、100…制御装置、2…トルク指令入力装置、3…電力変換装置、4…電動機、11…演算装置、12…不揮発性メモリ、13…揮発性メモリ、14…入出力インタフェース、21…電動機出力演算部、22…第1トルク推定部、23…第2トルク推定部、24…切替部、25…損失変化量演算部

、 2 6 …トルク指令補正部、 2 7 …ベクトル制御部、 2 8 …P W M制御部、
2 0 0 …電動車、 2 0 1 …車輪、 2 0 2 …電動車制御装置

請求の範囲

- [請求項1] 電動機を駆動する電力変換装置の制御装置であって、
演算装置を備え、
前記演算装置は、
前記電動機の出力を演算し、
前記電動機の温度変化による損失変化量を演算し、
前記電動機の出力に対する前記損失変化量の比率が前記電動機の
許容トルク誤差比率よりも小さい場合には、前記電動機の出力と前記
電動機の回転速度とに基づく第1トルク推定値を前記電動機のトルク
推定値とし、それ以外の場合には、前記電動機の電流と前記電動機の
回転子位相とに基づく第2トルク推定値を前記電動機のトルク推定値
とする、
電力変換装置の制御装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の電力変換装置の制御装置において、
前記演算装置は、前記電力変換装置の入力と変換効率との積、また
は前記電力変換装置の出力を前記電動機の入力とし、前記電動機の入
力から前記電動機の損失を差し引いた値を前記電動機の出力とする、
電力変換装置の制御装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の電力変換装置の制御装置において、
前記演算装置は、前記電動機の電流の乗数と周波数の乗数との積に
オフセット値を加算した値に基づいて前記損失変化量を演算する、
電力変換装置の制御装置。
- [請求項4] 請求項1に記載の電力変換装置の制御装置において、
前記演算装置は、前記電動機の温度変化による巻線抵抗値の変化量
と前記電動機の電流の2乗との積を前記損失変化量とする、
電力変換装置の制御装置。
- [請求項5] 請求項1に記載の電力変換装置の制御装置において、
前記演算装置は、前記電動機の出力を前記電動機の回転速度で除算

した値を前記第 1 トルク推定値とする、

電力変換装置の制御装置。

[請求項6]

請求項 1 に記載の電力変換装置の制御装置において、

前記演算装置は、前記電動機の回転子位相を用いて前記電動機の三相交流電流を d 軸・ q 軸電流に三相二相変換し、当該 d 軸・ q 軸電流と前記電動機のインダクタンスと前記電動機の誘起電圧係数とに基づいて前記第 2 トルク推定値を演算する、

電力変換装置の制御装置。

[請求項7]

請求項 1 に記載の電力変換装置の制御装置において、

前記演算装置は、前記制御装置に入力されたトルク指令を前記電動機のトルク推定値に基づいて補正し、補正した前記トルク指令に基づいて前記電力変換装置に PWM 制御信号を出力する、

電力変換装置の制御装置。

[請求項8]

請求項 7 に記載の電力変換装置の制御装置において、

前記演算装置は、前記トルク推定値をフィードバック、前記トルク指令をフィードフォワードとする二自由度制御系である、

電力変換装置の制御装置。

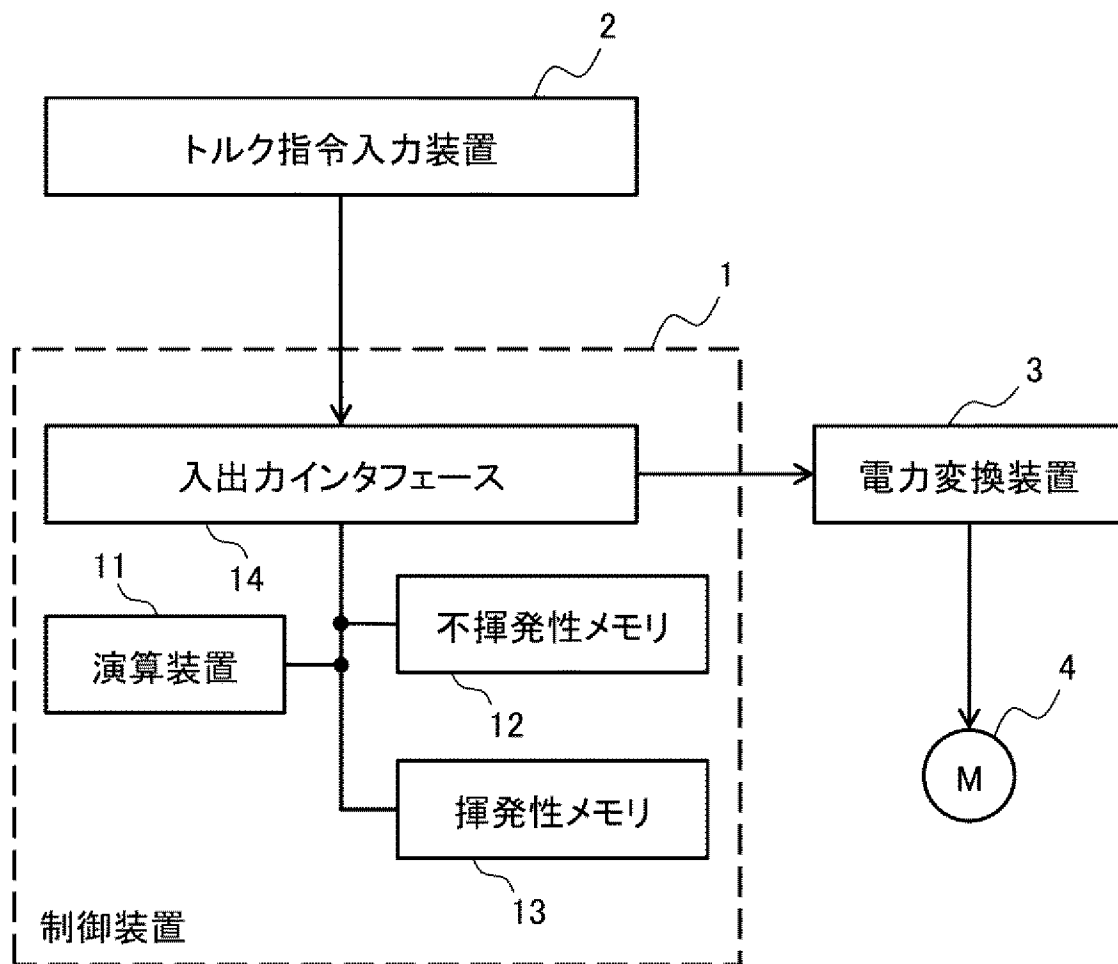
[請求項9]

請求項 1 に記載の電力変換装置の制御装置において、

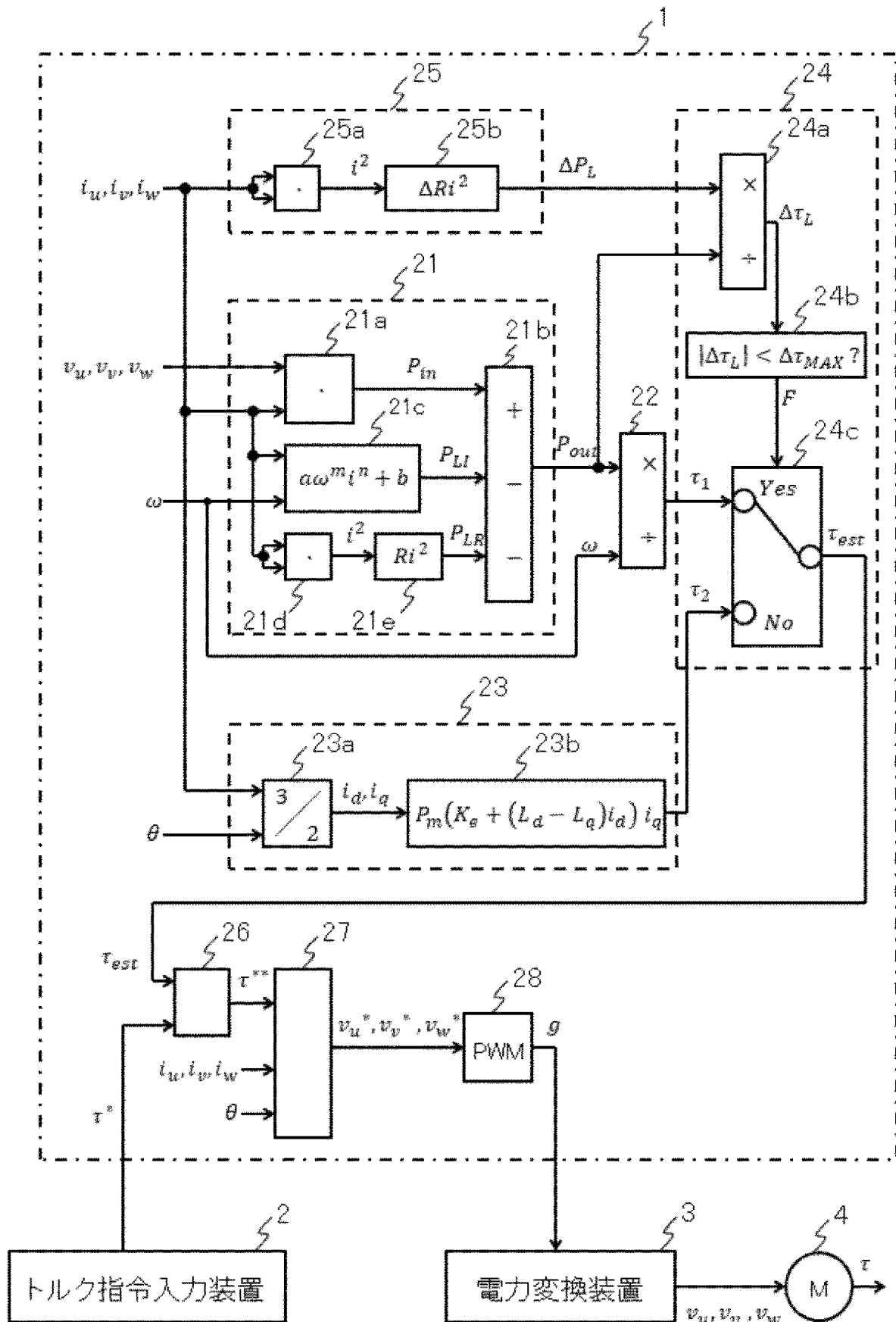
前記電動機を駆動源とする電動車の制御装置からトルク指令が入力される、

電力変換装置の制御装置。

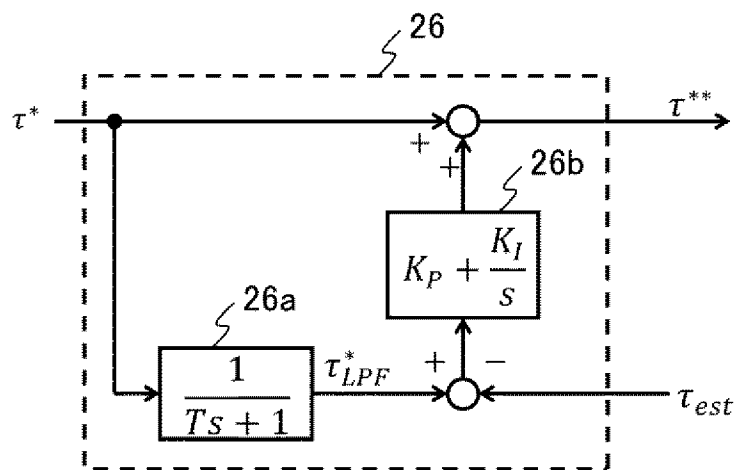
[図1]



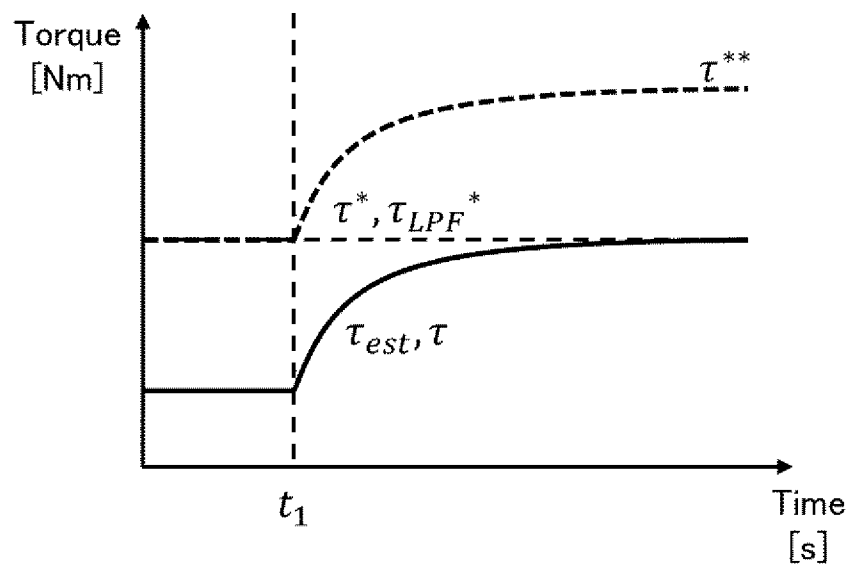
[図2]



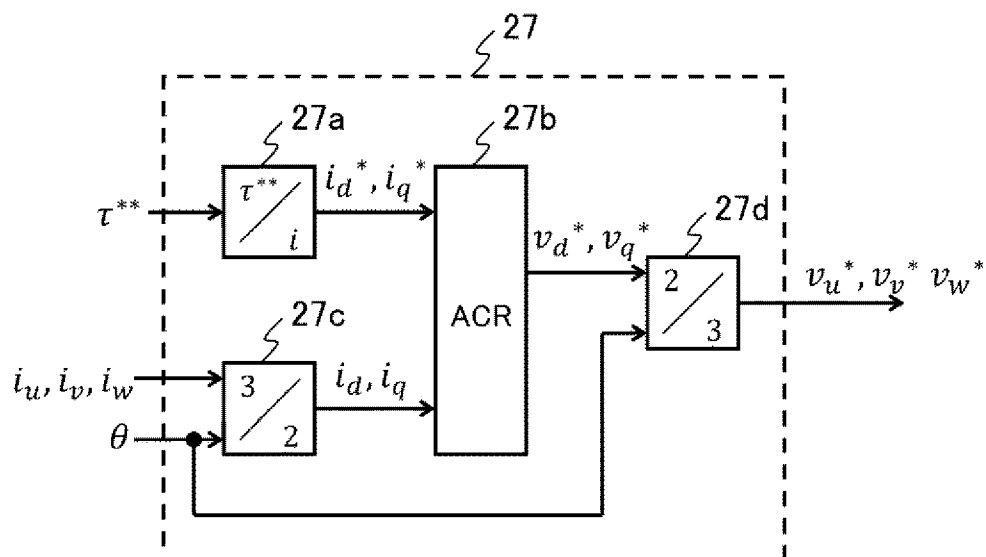
[図3]



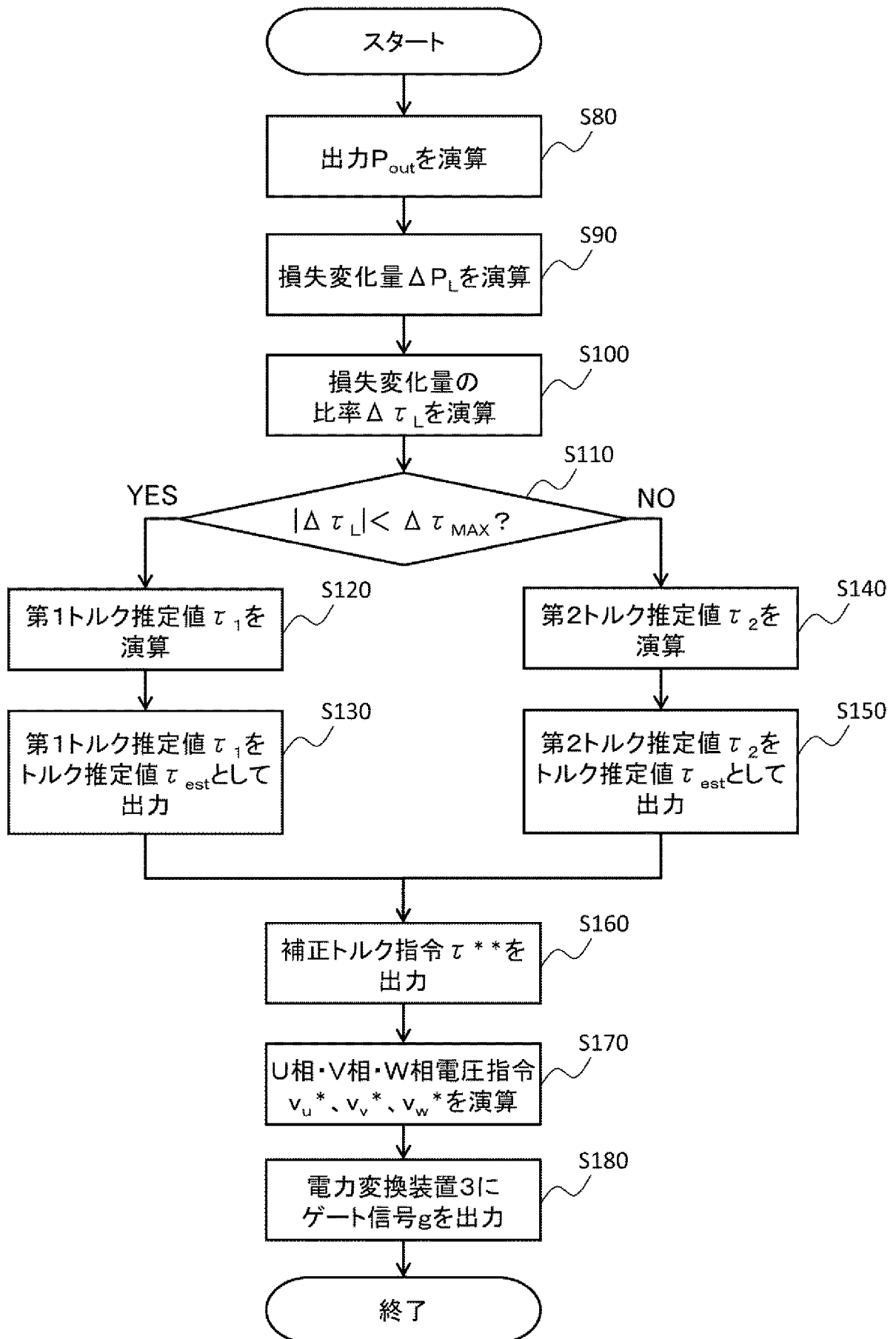
[図4]



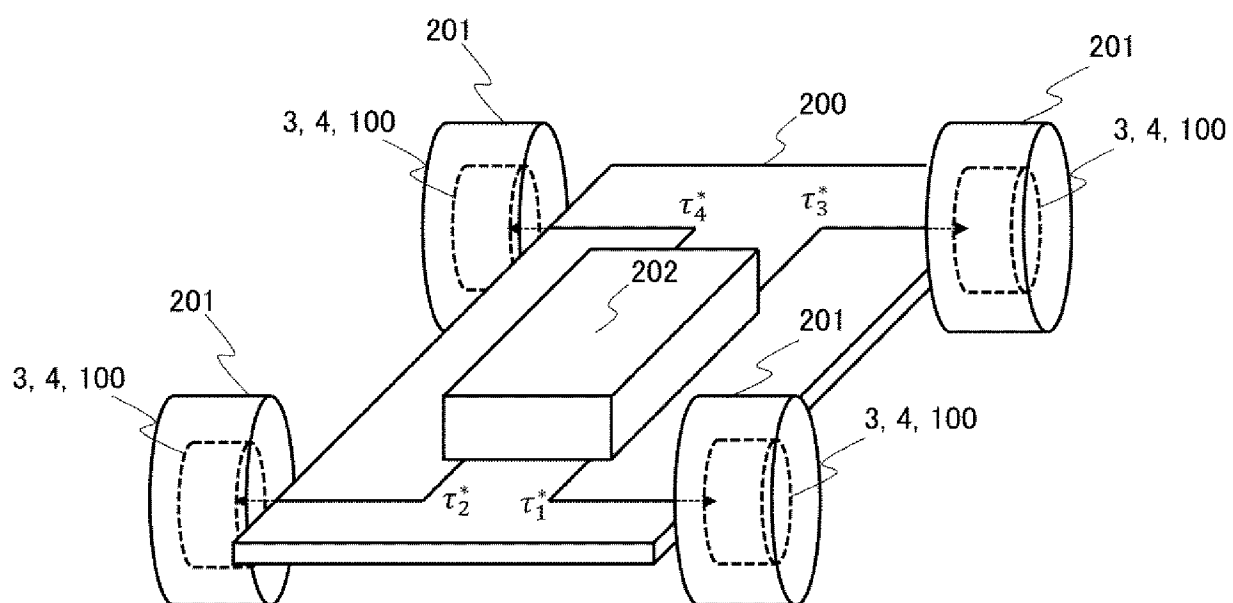
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/017261

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02P 21/20 (2016.01)i; H02P 27/08 (2006.01)i FI: H02P21/20; H02P27/08 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) H02P21/20; H02P27/08 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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 2018-93642 A (TOYO ELECTRIC MFG. CO., LTD.) 14 June 2018 (2018-06-14) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2016-187250 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 27 October 2016 (2016-10-27) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2020-167870 A (HITACHI, LTD.) 08 October 2020 (2020-10-08) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2015-133891 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 23 July 2015 (2015-07-23) entire text, all drawings	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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 05 July 2024		Date of mailing of the international search report 16 July 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/017261

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2018-93642	A	14 June 2018	(Family: none)	
JP	2016-187250	A	27 October 2016	(Family: none)	
JP	2020-167870	A	08 October 2020	EP 3950403 A1	
				entire text, all drawings	
				WO 2020/202655 A1	
				CN 113646204 A	
JP	2015-133891	A	23 July 2015	US 2015/0198491 A1	
				entire text, all drawings	
				EP 2894782 A1	
				CN 104779877 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H02P 21/20(2016.01)i; H02P 27/08(2006.01)i

FI: H02P21/20; H02P27/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

H02P21/20; H02P27/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報

1922 - 1996年

日本国公開実用新案公報

1971 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024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 2018-93642 A（東洋電機製造株式会社）14.06.2018（2018 - 06 - 14） 全文, 全図	1-9
A	JP 2016-187250 A（三菱電機株式会社）27.10.2016（2016 - 10 - 27） 全文, 全図	1-9
A	JP 2020-167870 A（株式会社日立製作所）08.10.2020（2020 - 10 - 08） 全文, 全図	1-9
A	JP 2015-133891 A（日産自動車株式会社）23.07.2015（2015 - 07 - 23） 全文, 全図	1-9

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“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

05.07.2024

国際調査報告の発送日

16.07.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

保田 亨介 3V 3862

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/017261

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2018-93642	A	14.06.2018	(ファミリーなし)	
JP	2016-187250	A	27.10.2016	(ファミリーなし)	
JP	2020-167870	A	08.10.2020	EP 3950403	A1
				全文, 全図	
				WO 2020/202655	A1
				CN 113646204	A
JP	2015-133891	A	23.07.2015	US 2015/0198491	A1
				全文, 全図	
				EP 2894782	A1
				CN 104779877	A