

(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21日(21.02.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/024828 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 21/00 (2006.01) H02P 27/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/070556
- (22) 国際出願日: 2012年8月10日(10.08.2012)
- (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 2011-179206 2011年8月18日(18.08.2011) JP
特願 2012-072204 2012年3月27日(27.03.2012) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日立建機株式会社(HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1128563 東京都文京区後楽二丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 戸張 和明(TOBARI Kazuaki) [JP/JP]; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 関根 和也(SEKINE Kazuya) [JP/JP]; 〒3000013 茨城県土浦市神立町650番地 日立建機株式会社土浦工場 知的財産部内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 春日 讓(KASUGA Yuzuru); 〒1030023 東京都中央区日本橋本町三丁目4番1号 トリイ日本橋ビル 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, 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:

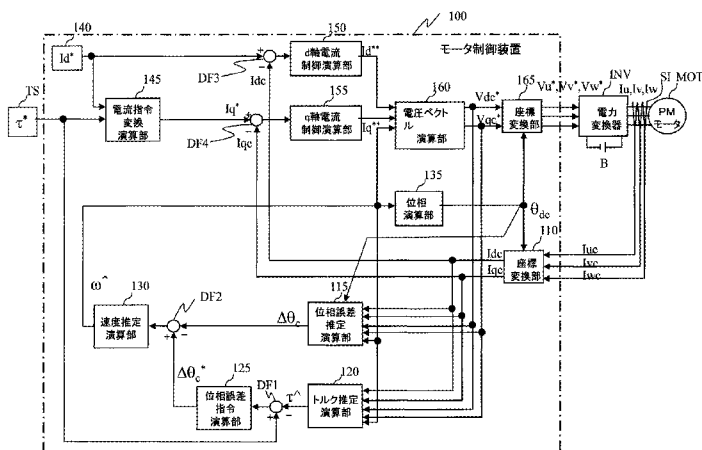
— 国際調査報告(条約第21条(3))

[続葉有]

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE AND WORK MACHINE USING SAME

(54) 発明の名称: モータ制御装置及びそれを用いた作業機械

[図1]



- 100 Motor control device
- 110 Coordinate conversion unit
- 115 Phase error estimation computation unit
- 120 Torque estimation computation unit
- 125 Phase error command computation unit
- 130 Speed estimation computation unit
- 135 Phase computation unit
- 145 Current command conversion computation unit
- 150 d-axis current control computation unit
- 155 q-axis current control computation unit
- 160 Voltage vector computation unit
- 165 Coordinate conversion unit
- INV Power converter
- MOT PM motor

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a motor control device that can compensate even for errors in motor constant settings and that is capable of high-precision torque control. A motor control device (100) comprises a control unit that controls the current supplied to a motor so that a current command value determined on the basis of a torque command value for a motor (MOT) matches a detected current value for current supplied to the motor (MOT) by way of a power converter (INV). The control unit estimates the torque output by the motor and controls the current supplied to the motor so that the estimated value for the torque of the motor matches the torque command value. A torque estimation computation unit (120) estimates the torque output by the motor. A phase error command computation unit (125) calculates a command value for phase error on the basis of the deviation between the estimated torque value and the torque command value. A speed estimation computation unit (130) outputs an estimated speed value so that an estimated phase error value matches the command value for phase error.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2013/024828 A1



- 補正された請求の範囲及び説明書（条約第 19 条(1)）

モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能なモータ制御装置を提供することにある。モータ制御装置 100 は、モータ MOT に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、モータ MOT に電力変換器 INV を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、モータに供給される電流を制御する制御部を有する。制御部は、モータが出力するトルクを推定し、推定されたモータのトルク推定値が、トルク指令値に一致するようにモータに供給される電流を制御する。トルク推定演算部 120 は、モータが出力するトルクを推定する。位相誤差指令演算部 125 は、トルク推定値とトルク指令値との偏差から、位相誤差の指令値を算出する。速度推定演算部 150 は、位相誤差の指令値に、位相誤差推定値が一致するように、速度推定値を出力する。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置及びそれを用いた作業機械

技術分野

[0001] 本発明は、モータ制御装置及びそれを用いた作業機械に係り、特に、永久磁石同期モータをトルク制御するに好適なモータ制御装置及びそれを用いた作業機械に関する。

背景技術

[0002] 従来、トルク制御するモータ制御装置において、モータの電気定数を演算するモータ定数演算部を備え、直交する2つの軸（d軸およびq軸）のうち一方の軸上で定義される電気定数の設定値を、同一の軸上で定義される状態変数を用いた関数式で補正し、かつ他方の軸上で定義される状態変数を用いた関数式で補正するものが知られている（例えば、特許文献1参照）。

[0003] かかる方式により、永久磁石同期モータの電気定数をより簡便に設定することができる。その結果、その正確な電気定数をトルク制御に用いることにより、高トルク時においても、より高精度なトルク制御が可能となり、高応答かつ高効率にモータを駆動することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2009-136085号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1記載のものでは、モータ定数の設定誤差などについては触れられていない。モータ定数の設定誤差があると、その誤差分だけトルク制御の精度が低下することになる。

[0006] 本発明の目的は、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能なモータ制御装置及びそれを用いた作業機械を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0007] (1) 上記目的を達成するために、本発明は、モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有するモータ制御装置であって、前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定し、推定された前記モータのトルク推定値が、前記トルク指令値に一致するように前記モータに供給される電流を制御するようにしたものである。
- [0008] (2) 上記(1)において、好ましくは、前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、該電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、位相誤差の指令値を算出する位相誤差指令演算部と、前記位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値に、前記位相誤差推定演算部が出力する位相誤差推定値が一致するように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えるようにしたものである。
- [0009] (3) 上記(2)において、好ましくは、前記トルク推定演算部は、前記d軸電圧指令値と前記d軸電流検出値の乗算値と、前記q軸電圧指令値と前記q軸電流検出値の乗算値とを加算した第1の電力信号から、d軸およびq軸電流検出値をそれぞれ2乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、該減算値を前記速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出するようにしたものである。
- [0010] (4) 上記(3)において、好ましくは、前記位相誤差推定演算部は、前

記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差に積分ゲインを乗して積分演算して、前記位相誤差の指令値を算出するようにしたものである。

[0011] (5) 上記(2)において、好ましくは、前記トルク推定演算部は、前記電力変換器に対する3相の電圧指令値と3相の電流検出値を、3相の各相毎に乗算し、それら乗算値を加算した第1の電力信号から、前記3相の電流検出値を各相毎に2乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、該減算値を該速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出するようにしたものである。

[0012] (6) 上記(2)において、好ましくは、前記トルク推定演算部は、前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に、定数を乗じた第1の電力信号から、前記d軸およびq軸電流検出値をそれぞれ2乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、該減算値を前記速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出するようにしたものである。

[0013] (7) 上記(1)において、好ましくは、前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、q軸インダクタンスの修正値を算出するq軸インダクタンス修正演算部と、前記電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値と、前記q軸インダクタンスの修正値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、該位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値が零となるように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えるようにしたものである。

[0014] (8) 上記(7)において、好ましくは、前記q軸インダクタンス修正演算部は、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差に積分ゲインを乗して積分演算して、前記q軸インダクタンス修正値を算出するようにしたものである。

[0015] (9) また、上記目的を達成するために、本発明は、永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有し、永久磁石同期電動機のトルク制御を行うモータ制御装置であって、前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うようにしたものである。

かかる構成により、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

[0016] (10) 上記(9)において、好ましくは、前記永久磁石同期電動機の磁極位置を検出する位置検出器を備え、前記制御部は、該位置検出器によって検出された磁極位置から算出された速度検出値と、前記第2のトルク指令値から求めたd軸およびq軸の電流指令値と、電流検出値と、モータ定数の設定値とに従い、d軸およびq軸の電圧指令値の演算を行い、前記電力変換器の出力電圧を制御するようにしたものである。

[0017] (11) 上記(9)において、好ましくは、前記制御部は、前記第2のトルク指令値から求めたd軸およびq軸の電流指令値と、電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値とに従い、d軸およびq軸の電圧指令値の演算を行い、電力変換器の出力電圧を制御し、前記速度推定値を積分して求めた回転位相推定値と前記永久磁石同期電動機の回転位相値との偏差である位相誤差が位相誤差の指令値に一致するように前記速度推定値を演算するようにしたものである。

- [0018] (12) 上記(10)において、好ましくは、前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、該トルク推定値演算部は、d軸の電圧指令値と電流検出値の乗算値とq軸の電圧指令値と電流検出値の乗算値とを加算した第1の電力信号から、d軸およびq軸の電流検出値をそれぞれ2乗した加算値に前記永久磁石同期電動機の抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、該減算値を速度推定値で除算した結果に定数を乗じて前記トルク推定値を算出するようにしたものである。
- [0019] (13) 上記(10)において、好ましくは、前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、該トルク推定値演算部は、前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に定数を乗じた第1の電力信号から、3相の電流検出値を各相毎に2乗した加算値にモータの抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、該減算値を速度推定値で除算した結果に定数を乗じて前記トルク推定値を算出するようにしたものである。
- [0020] (14) 上記(10)において、好ましくは、前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、該トルク推定値演算部は、前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に定数を乗じた第1の電力信号から、d軸およびq軸の電流検出値をそれぞれ2乗し、それらを加算した値に、前記永久磁石同期電動機の抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、該減算値を速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて前記トルク推定値を算出するようにしたものである。
- [0021] (15) 上記(9)において、好ましくは、前記上位制御装置から与えられる前記第1のトルク指令値とトルク出力値の偏差は、永久磁石同期電動機の電流値の2乗に比例し、電動機速度に反比例するものである。
- [0022] (16) また、上記目的を達成するために、本発明は、永久磁石同期電動機と、直流を3相交流に変換し、前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の出カトルクを可変する電力変換器と、前記永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に前記電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に

一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有する作業機械であって、前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うようにしたものである。

かかる構成により、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

[0023] (17) 上記(16)において、好ましくは、前記作業機械は、ホイールローダであり、該ホイールローダは、前記永久磁石同期電動機として、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、前記走行駆動用モータを制御するモータ制御装置は、上記(10)記載の制御部を備え、前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、上記(11)記載の制御部を備えるようにしたものである。

[0024] (18) 上記(16)において、好ましくは、前記作業機械は、ホイールローダであり、該ホイールローダは、前記永久磁石同期電動機として、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、前記走行駆動用モータを制御するモータ制御装置及び前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、上記(10)記載の制御部を備えるようにしたものである。

[0025] (19) 上記(16)において、好ましくは、前記作業機械は、油圧ショベルであり、該油圧ショベルは、前記永久磁石同期電動機として、下部走行体に対して上部旋回体を旋回させる旋回モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、前記旋回モータを制御するモータ制御装置は、上記(10)記載の制御部を備え、前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、上記(11)記載の制御部を備えるようにしたものである。

[0026] (20) 上記(16)において、好ましくは、前記作業機械は、油圧ショベルであり、該油圧ショベルは、前記永久磁石同期電動機として、下部走行体に対して上部旋回体を旋回させる旋回モータと、エンジンをアシストする

アシストモータとを備え、前記旋回モータを制御するモータ制御装置及び前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、上記（10）記載の制御部を備えるようにしたものである。

発明の効果

[0027] 本発明によれば、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

[図2A]従来のモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおいて、トルク指令を100%ステップ変化させた場合の出力トルクを示す図である。

[図2B]従来のモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおいて、交流のモータ電流を示す図である。

[図2C]従来のモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおいて、位相誤差の関係を示す図である。

[図3]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。

[図4]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置に用いる位相誤差指令演算部の動作説明図である。

[図5A]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおいて、トルク指令を100%ステップ変化させた場合の出力トルクを示す図である。

[図5B]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおいて、モータ電流を示す図である。

[図5C]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおいて、位相誤差の関係を示す図である。

[図6]本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の他の構成の説明図である。

[図7]本発明の第2の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

[図8]本発明の第2の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。

[図9]本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

[図10]本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置に用いるq軸インダクタンス修正演算部の動作説明図である。

[図11]本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置に用いる位相誤差推定演算部の動作説明図である。

[図12]本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業車両の構成図である。

[図13]本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業車両の構成図である。

[0029] [図14]本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

[図15A]モータ定数の設定値に誤差がない場合において、トルク指令を100%ステップ変化させた場合の出力トルクを示す図である。

[図15B]モータ定数の設定値に誤差がない場合において、交流のモータ電流を示す図である。

[図16A]モータ定数の設定値に誤差がある場合において、トルク指令を100%ステップ変化させた場合の出力トルクを示す図である。

[図16B]モータ定数の設定値に誤差がある場合において、交流のモータ電流を示す図である。

[図17A]モータ定数の設定値に誤差がない場合において、トルク指令を100%ステップ変化させた場合の出力トルクを示す図である。

[図17B]モータ定数の設定値に誤差がない場合において、交流のモータ電流を示す図である。

[図18A]モータ定数の設定値に誤差がある場合において、トルク指令を100%ステップ変化させた場合の出力トルクを示す図である。

[図18B]モータ定数の設定値に誤差がある場合において、交流のモータ電流を示す図である。

[図19]本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。

[図20]本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク修正演算部の動作説明図である。

[図21]本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおける出力トルクの変動の説明図である。

[図22]本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおける出力トルクの変動の説明図である。

[図23]本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の他の構成の説明図である。

[図24]本発明の第5の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

[図25]本発明の第5の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。

[図26]本発明の第6の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

[図27]本発明の第6の実施形態によるモータ制御装置の動作説明図である。

[図28]本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業機械の構成図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下、図1～図6を用いて、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置の構成及び動作について説明する。

最初に、図1を用いて、本実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

図1は、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

本実施形態によるモータ駆動システムは、モータ制御装置100と、電力変換器INVと、永久磁石同期モータ（PMモータ；交流モータ）MOTと、トルク指令設定部TSとから構成されている。

[0031] 永久磁石同期モータ（PMモータ；交流モータ）MOTは、永久磁石及び界磁巻線を備えた回転子と、電機子巻線を備えた固定子とから構成される。永久磁石同期モータMOTは、永久磁石の磁束によるトルク成分と、電機子巻線のインダクタンスによるトルク成分を合成したトルクを出力する。永久磁石同期モータMOTは、図12を用いて後述するように、作業車両に用いられるモータである。本実施形態のモータ制御装置100は、かかるモータMOTを制御するために用いられる。

[0032] 電力変換器INVは、3相交流の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に基づいて、直流電源Bから供給される直流電圧を3相交流電圧に変換し、永久磁石同期モータMOTに供給し、永久磁石同期モータMOTの出力トルクを可変する。

[0033] 電流検出器SIは、永久磁石同期モータMOTの3相の交流電流 I_u 、 I_v 、 I_w を検出する。

[0034] トルク指令設定部TSは、モータ制御装置100に対して、永久磁石同期モータMOTが出力するトルクの指令値であるトルク指令値 τ^* を出力する。トルク指令値 τ^* は、「零」を含む「正負極性」の値である。トルク指令設定部TSは、モータ制御装置100に対する上位の制御装置の内部に備えられる。

[0035] モータ制御装置100は、座標変換部110と、位相誤差推定演算部115と、トルク推定演算部120と、位相誤差指令演算部125と、速度推定演算部130と、位相演算部135と、d軸電流指令設定部140と、電流指令変換演算部145と、d軸電流制御演算部150と、q軸電流制御演算部155と、電圧ベクトル演算部160と、座標変換部165と、差演算部DF1、DF2、DF3、DF4とを備えて

いる。

[0036] 座標変換部110は、永久磁石同期モータMOTに供給される3相の交流電流 I_u , I_v , I_w の電流検出器S1による検出値である電流検出値 I_{uc} , I_{vc} , I_{wc} と、位相演算部135によって推定された回転位相の推定値 θ_{dc} とから、d軸およびq軸の電流検出値 I_{dc} , I_{qc} を出力する。

[0037] 位相誤差推定演算部115は、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc}^* , V_{qc}^* と、速度推定演算部130によって推定された速度推定値 ω^{\wedge} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc} , I_{qc} と、予め設定されている永久磁石同期モータMOTの電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) に基づいて、回転位相の推定値 θ_{dc} と永久磁石同期モータMOTの回転位相値 θ_d との偏差である位相誤差 $\Delta\theta$ ($= (\theta_{dc} - \theta_d)$) の推定演算により、位相誤差推定値 $\Delta\theta_c$ を出力する。ここで、電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) は、位相誤差推定演算部115の内部に設定値として保持されている。電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) の値としては、本実施形態のモータ制御装置100によって駆動制御される永久磁石同期モータMOTの設計値を設定保持している。なお、実際に用いられる個々の永久磁石同期モータMOTの電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) の値は、永久磁石同期モータMOTの電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) の設計値とは異なるものであるが、両者の誤差、及び個々の永久磁石同期モータMOTの電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) が経時変化することにより生じる設定値との誤差は、以下に説明するトルク推定演算部120及び位相誤差指令演算部125を用いることにより、補償されるものである。

[0038] トルク推定演算部120は、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc}^* , V_{qc}^* と、速度推定演算部130によって推定された速度推定値 ω^{\wedge} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc} , I_{qc} とを用いて、出力トルクの推定演算を行い、トルク推定値 τ^{\wedge} を出力する。

[0039] 差演算部DF1は、トルク指令設定部TSが出力するトルク指令値 τ^* と、トルク推定演算部120が算出したトルク推定値 τ^{\wedge} との偏差 ($\tau^* - \tau^{\wedge}$) を

算出する。位相誤差指令演算部125は、差演算部DF1が出力する偏差 ($\tau^* - \tau^{\wedge}$) を比例・積分演算し、その出力値を位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c*}$ として出力する。

[0040] 差演算部DF2は、位相誤差推定演算部115が出力する位相誤差 $\Delta\theta$ と、位相誤差指令演算部125が出力する位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c*}$ との差 ($\Delta\theta_{c*} - \Delta\theta$) を演算し、出力する。

[0041] 速度推定演算部130は、差演算部DF2が出力する差 ($\Delta\theta_{c*} - \Delta\theta$) が零となるように、すなわち、位相誤差指令演算部125が出力する位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c*}$ に、位相誤差指令演算部125が出力する位相誤差の推定値 $\Delta\theta_c$ が一致するように、速度推定値 ω^{\wedge} を出力する。

[0042] なお、ここで、「位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c*}$ に、位相誤差の推定値 $\Delta\theta_c$ が一致する」とは、位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c*}$ と位相誤差の推定値 $\Delta\theta_c$ とが厳密に一致する場合だけでなく、位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c*}$ に対して、位相誤差の推定値 $\Delta\theta_c$ がある許容範囲内となる場合も含むものである。

[0043] 位相演算部135は、速度推定演算部130が算出した速度推定値 ω^{\wedge} を積分して、得られた回転位相の推定値 θ_{dc} を座標変換部110, 165に出力する。

[0044] d軸電流指令設定部140は、「零」あるいは「負極性」の値であるd軸の電流指令値 I_{d*} を出力する。

[0045] 電流指令変換演算部145は、トルク指令設定部TSからのトルク指令値 τ^* と、d軸電流指令設定部140が出力するd軸の電流指令値 I_{d*} と、永久磁石同期モータMOTの電気定数 (L_d, L_q, K_e) を用いて、q軸の電流指令値 I_{q*} を算出する。ここで、電気定数 (L_d, L_q, K_e) は、電流指令変換演算部145の内部に設定値として保持されている。電気定数 (L_d, L_q, K_e) の値としては、本実施形態のモータ制御装置100によって駆動制御される永久磁石同期モータMOTの設計値を設定保持している。

[0046] 差演算部DF3は、d軸電流指令設定部140が出力する第1のd軸の電流指令値 I_{d*} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc} との偏差 ($I_{d*} - I_{dc}$) を算出する。

- [0047] d軸電流制御演算部150は、差演算部DF3が算出した偏差 ($I_{d*} - I_{dc}$) から、第2のd軸の電流指令値 I_{d**} を出力する。
- [0048] 差演算部DF4は、電流指令変換演算部145が出力する第1のq軸の電流指令値 I_{q*} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{qc} との偏差 ($I_{q*} - I_{qc}$) を算出する。
- [0049] q軸電流制御演算部155は、差演算部DF4が算出した偏差 ($I_{q*} - I_{qc}$) から、第2のq軸の電流指令値 I_{q**} を出力する。
- [0050] 電圧ベクトル演算部160は、d軸電流制御演算部150が出力する第2のd軸の電流指令値 I_{d**} と、q軸電流制御演算部155が出力する第2のq軸の電流指令値 I_{q**} と、速度推定値 ω^{\wedge} と、予め設定されている永久磁石同期モータMOTの電気定数 (R, L_d, L_q, K_e) とに基づいて、d軸およびq軸の電圧指令値 V_{dc*}, V_{qc*} をそれぞれ出力する。
- [0051] 座標変換部165は、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc*}, V_{qc*} と、位相演算部135が推定した回転位相の推定値 θ_{dc} とから、3相交流の電圧指令値 V_{u*}, V_{v*}, V_{w*} をそれぞれ出力する。
- [0052] すなわち、本実施形態では、モータに対するトルク指令値 τ^* から求められたq軸電流指令値 I_{q*} 及び設定されているd軸電流指令値 I_{d*} が、モータに電力変換器を介して供給される電流 I_u, I_v, I_w に対するd軸及びq軸電流検出値 I_{dc}, I_{qc} に一致するように、モータに供給される電流を制御している。なお、ここで、「d軸及びq軸電流検出値 I_{dc}, I_{qc} に、d軸及びq軸電流指令値 I_{d*}, I_{q*} が一致する」とは、d軸及びq軸電流検出値 I_{dc}, I_{qc} とd軸及びq軸電流指令値 I_{d*}, I_{q*} とが厳密に一致する場合だけでなく、d軸及びq軸電流検出値 I_{dc}, I_{qc} に対して、d軸及びq軸電流指令値 I_{d*}, I_{q*} がある許容範囲内となる場合も含むものである。以上のフィードバック制御により、モータのトルクがトルク指令値に一致するようにモータに供給される電流が制御される。但し、モータ定数に誤差があると、実際にモータから出力されるトルク値は、トルク指令値とは異なることになる。

[0053] 次に、本実施形態のモータ制御装置100の動作について説明するが、最初に、本実施形態の特徴である「トルク推定演算部120」及び「位相誤差指令演算部125」を用いない場合の、位置センサレス制御方式の基本動作について説明する。

[0054] 永久磁石同期モータMOTの出力トルク τ は、以下の式(1)によって示すことができる。

[0055] [数1]

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot (K_e - (L_d - L_q) \cdot I_d) \cdot I_q \quad \dots (1)$$

[0056] ここに、 P_m ：モータの極対数、 K_e ：発電係数、 L_d ：d軸のインダクタンス、 L_q ：q軸のインダクタンス、 I_d ：モータのd軸電流、 I_q ：モータのq軸電流である。

[0057] ここで、制御軸である回転位相の推定値 θ_{dc} とモータ軸である回転位相値 θ_d との偏差である位相誤差 $\Delta\theta$ ($= (\theta_{dc} - \theta_d)$)が発生した場合、制御軸 ($(dc - qc)$ 軸) 上の電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} から、モータ軸 ($(d - q)$ 軸) 上のモータ電流 I_d 、 I_q への座標変換行列は、式(2)となる。

[0058] [数2]

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta & -\sin \Delta\theta \\ \sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

[0059] ここで、式(2)において、図1におけるd軸電流指令設定部140が出力するd軸の電流指令値 I_d^* を「ゼロ」に設定して ($I_d^* = I_{dc} = 0$)、電流制御を行うと、式(2)は式(3)となる。

[0060] [数3]

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta & -\sin \Delta\theta \\ \sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ I_{qc} \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

[0061] 式(3)を、出力トルク式である式(1)に代入すると、式(4)が得られる。

[0062] [数4]

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot (K_e + (L_d - L_q) \cdot (-I_{qc} \cdot \sin \Delta \theta)) \cdot I_{qc} \cdot \cos \Delta \theta \\ &= \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot \left(K_e \cdot I_{qc} \cdot \cos \Delta \theta - \frac{1}{2} \cdot (L_d - L_q) \cdot I_{qc}^2 \cdot \sin \Delta 2\theta \right) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

[0063] 一般的に、q軸インダクタンス L_q は、d軸インダクタンス L_d と式(5)のような関係にあるので、

[0064] [数5]

$$L_q \geq L_d \quad \dots (5)$$

[0065] 式(4)において、位相誤差 τ が発生すると、出力トルクの第2項成分は、

$\Delta \theta > 0$ の場合：増加方向

$\Delta \theta < 0$ の場合：減少方向

となる。つまり、位相誤差 $\Delta \theta$ が「負極性」で発生すると、出力トルク τ は減少することになる。

[0066] 一方、図1の電圧ベクトル演算部160では、第2のd軸およびq軸の電流指令値 I_{d**} 、 I_{q**} と速度推定値 $\hat{\tau}$ および電気定数(R 、 L_d 、 L_q 、 K_e)の設定値を用いて演算される、d軸およびq軸の電圧指令値 V_{dc*} 、 V_{qc*} は、式(6)となる。

[0067] [数6]

$$\begin{bmatrix} V_{dc*} \\ V_{qc*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega \wedge L_q^* \\ \omega \wedge L_d^* & R^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d**} \\ I_{q**} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \wedge K_e^* \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

[0068] ここで、位相誤差 $\Delta \theta$ が存在する場合、制御側で演算したモータの印加電圧 V_d 、 V_q は式(7)となる。

[0069] [数7]

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta \theta & -\sin \Delta \theta \\ \sin \Delta \theta & \cos \Delta \theta \end{bmatrix} \cdot \left[\begin{bmatrix} R^* & -\omega \cdot L_q^* \\ \omega \cdot L_d^* & R^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d^{**} \\ I_q^{**} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot K_e^* \end{bmatrix} \right] \quad \dots (7)$$

[0070] 一方、d軸及びq軸のモータ印加電圧 V_d 、 V_q は、位相誤差 $\Delta \theta$ と、電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} と、モータ定数とを用いて表すと、式(8)となる。

。

[0071] [数8]

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -\omega \cdot L_q \\ \omega \cdot L_d & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \Delta \theta & -\sin \Delta \theta \\ \sin \Delta \theta & \cos \Delta \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ I_{qc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot K_e \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

[0072] ここで、式(7)＝式(8)の関係から、d軸の電流指令値 I_d^* を「ゼロ」に設定し、q軸の電流指令値 I_q^* に所定値と与えると、d軸およびq軸の電流制御演算部150、155の出力値 I_d^{**} 、 I_q^{**} は、式(9)となる。

[0073] [数9]

$$\begin{bmatrix} I_d^{**} = \frac{c1 \cdot I_{qc} + c2}{2 \cdot (R^{*2} + L_d^* \cdot L_q^* \cdot \omega^2)} \\ I_q^{**} = \frac{c3 \cdot I_{qc} + c4}{2 \cdot (R^{*2} + L_d^* \cdot L_q^* \cdot \omega^2)} \end{bmatrix} \quad \dots (9)$$

ここに、

$$c1 = \omega \cdot \{2 \cdot R \cdot L_q^* - R^* \cdot (L_d + L_q)\} + \omega \cdot (L_d - L_q) \cdot [-\omega \cdot L_q^* \cdot \sin 2\Delta \theta + R^* \cdot \cos 2\Delta \theta]$$

$$c2 = 2 \cdot [-\omega^2 \cdot L_q^* \cdot K_e^* + \omega \cdot K_e \cdot (R^* \cdot \sin \Delta \theta + \omega \cdot L_q^* \cdot \cos \Delta \theta)]$$

$$c3 = 2 \cdot R \cdot R^* + \omega^2 \cdot L_d^* \cdot (L_d + L_q) - \omega \cdot (L_d - L_q) \cdot [R^* \cdot \sin 2\Delta \theta + \omega \cdot L_d^* \cdot \cos 2\Delta \theta]$$

$$c4 = 2 \cdot [-\omega \cdot R^* \cdot K_e^* + \omega \cdot K_e \cdot (-\omega \cdot L_d^* \cdot \sin \Delta \theta + R^* \cdot \cos \Delta \theta)]$$

[0074] また、位相誤差推定演算部115では、d軸およびq軸の電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} と、速度推定値 τ^{\wedge} と、モータ定数とを用いて、位相差推定値 $\Delta \theta_c$ を式(10)に従い演算する。

[0075]

[数10]

$$\Delta\theta_c = \tan^{-1} \left[\frac{V_{dc}^* - R^* \cdot I_{dc} + \omega \cdot L_q^* \cdot I_{qc}}{V_{qc}^* - R^* \cdot I_{qc} + \omega \cdot L_q^* \cdot I_{dc}} \right] \dots (10)$$

[0076] ここで、式(6)、式(9)を式(10)に代入すると、式(11)が得られる。

[0077] [数11]

$$\Delta\theta_c = \tan^{-1} \left[\frac{\omega \cdot \{ [2 \cdot L_q^* - (L_d + L_q)] \cdot I_{qc} + (L_d - L_q) \cdot I_{qc} \cdot \cos[2\Delta\theta] + 2K_e \cdot \sin[\Delta\theta] \}}{2 \cdot \{ (R - R^*) \cdot I_{qc} + \omega \cdot \cos[\Delta\theta] (K_e - I_{qc} \cdot (L_d - L_q) \cdot \sin[\Delta\theta]) \}} \right] \dots (11)$$

[0078] 速度推定演算部130は、位相誤差推定演算部115の出力値である位相誤差の推定値 $\Delta\theta_c$ が、位相誤差の指令値 $\Delta\theta_c^* (= 0)$ に一致するように速度推定値 τ^{\wedge} を演算する。一定速度では、式(11)の分子項は「ゼロ」となることから、式(12)が成立する。

[0079] [数12]

$$\omega \cdot \{ [2 \cdot L_q^* - (L_d + L_q)] \cdot I_{qc} + (L_d - L_q) \cdot I_{qc} \cdot \cos[2\Delta\theta] + 2 \cdot K_e \cdot \sin[\Delta\theta] \} = 0 \dots (12)$$

[0080] ここで、式(12)において、位相誤差 $\Delta\theta$ について整理すると、式(13)を得ることができる。

[0081] [数13]

$$\Delta\theta = \sin^{-1} \left[\frac{K_e - \sqrt{K_e^2 + 4 \cdot (L_d - L_q) \cdot (L_q^* - L_q) \cdot I_{qc}^2}}{2 \cdot (L_d - L_q) \cdot I_{qc}} \right] \dots (13)$$

[0082] つまり、モータ電流を流すことによりq軸インダクタンス L_q が減少方向に変化、あるいはq軸インダクタンスについてのモータ定数の設定値 L_q^* に誤差がある場合には、式(13)の関係で、位相誤差 $\Delta\theta$ が発生する。

[0083] $L_q^* > L_q$ の場合： $\Delta\theta$ は「負」

$L_q^* < L_q$ の場合： $\Delta\theta$ は「正」

式(13)の結果を式(4)に当てはめると、

$Lq^* > Lq$ の場合、 $\Delta\theta$ は「負」となり、出力トルクは減少方向、

$Lq^* < Lq$ の場合、 $\Delta\theta$ は「正」となり、出力トルクは増加方向、

となる。

[0084] ここで、図2を用いて、上述したトルクの減少について説明する。

図2は、従来のモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおける出力トルクの変動の説明図である。

[0085] 本実施形態の特徴である「トルク推定演算部120」及び「位相誤差指令演算部125」を用いない場合のトルク制御特性について説明する。

[0086] 図1の制御装置において、位相誤差の指令値 $\Delta\theta_c^*$ は「0」、「電圧ベクトル演算部160」と「位相誤差推定演算部115」に設定するq軸インダクタンスについてのモータ定数の設定値 Lq^* は、 $Lq^* > Lq$ の関係で設定している(出力トルクが減少する方向)。

[0087] 図2(A)は、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ を示し、図2(B)は交流のモータ電流 I_u を示し、図2(C)は位相誤差 $\Delta\theta$ の関係を示す。

[0088] トルク指令 τ^* は、図2(A)に破線で示すように100%与えているので、図2(B)に示すように、交流のモータ電流 I_u も100%発生しているが、実際の位相誤差 $\Delta\theta$ は、図2(C)に示すように、定常的に例えば、 -30 (deg)発生している。そのため、実際の出力トルク τ は、図2(A)に示すように例えば、80%まで減少する。

[0089] それに対して、本実施形態では、「トルク推定演算部120」、「位相誤差指令演算部125」を導入することで、トルク指令 τ^* 通りの出力トルク τ が得られる高精度なトルク制御を実現できるものである。

[0090] 次に、図3及び図4を用いて、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置において、「トルク推定演算部120」、「位相誤差指令演算部125」を用いた場合の、動作原理について説明する。

図3は、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定

演算部の動作説明図である。図4は、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置に用いる位相誤差指令演算部の動作説明図である。

[0091] モータの磁束軸から観た有効電力Pは、式(14)となる。

[0092] [数14]

$$\begin{aligned} P &= V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q \\ &= (R \cdot I_d - \omega \cdot L_q \cdot I_q) \cdot I_d + (R \cdot I_q + \omega \cdot L_d \cdot I_d + \omega \cdot K_e) \cdot I_q \\ &= R \cdot (I_d^2 + I_q^2) + \omega \cdot (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q + \omega \cdot K_e \cdot I_q \quad \dots (14) \end{aligned}$$

[0093] ここに、式(3)を代入することで、制御の基準軸上での有効電力の演算値Pcを、式(15)により得ることができる。

[0094] [数15]

$$\begin{aligned} P_c &= R \cdot (I_{qc}^2 \sin^2 \Delta\theta + I_{qc}^2 \cos^2 \Delta\theta) - \omega \cdot (L_d - L_q) \cdot (-I_{qc}^2 \cdot \sin \Delta\theta \cdot \cos \Delta\theta) + \omega \cdot K_e \cdot I_{qc} \cdot \cos \Delta\theta \\ &= R \cdot I_{qc}^2 - \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot (L_d - L_q) \cdot I_{qc}^2 \cdot \sin 2\Delta\theta + \omega \cdot K_e \cdot I_{qc} \cdot \cos \Delta\theta \quad \dots (15) \end{aligned}$$

[0095] 図3に示す「トルク推定演算部120」は、式(15)の有効電力の演算値Pcを用いて、出力トルクτの推定演算を行う。

[0096] 式(15)から、永久磁石同期モータの銅損成分(R × Iqc²)を減算し、その演算値を速度推定値ω[^]で除算してから、定数(3/2 × Pm)を乗じる式(16)の演算を行うことで、トルク推定演算部120は、式(4)の出力トルクτを高精度に推定することができる。

[0097] [数16]

$$\begin{aligned} \tau^{\wedge} &= \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot \frac{P_c - R \cdot I_{qc}^2}{\omega^{\wedge}} \\ &= \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot \left(K_e \cdot I_{qc} \cdot \cos \Delta\theta - \frac{1}{2} \cdot (L_d - L_q) \cdot I_{qc}^2 \cdot \sin 2\Delta\theta \right) \quad \dots (16) \end{aligned}$$

[0098] また、図4に示す「位相誤差指令演算部125」においては、トルク指令τ*に出力トルク推定値τ[^]が追従するように、トルク指令τ*と出力トルク推定値τ[^]の偏差に積分ゲインAを乗じて積分演算(あるいは比例+積分演算で

も良い) を行い、 τ 位相誤差の指令値 $\Delta \theta_{c*}$ を作成する。

[0099] 速度推定演算部130は、この指令値 $\Delta \theta_{c*}$ に位相誤差の推定値 $\Delta \theta_c$ が一致するように、 τ 度推定値 τ^{\wedge} を演算する。

[0100] このようなフィードバック・ループを組むことで、モータ定数に誤差があったとしても、その誤差を補償して、高精度なトルク制御を実現することができる。

[0101] ここで、図5を用いて、本実施形態における出力トルクの変動について説明する。

図5は、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおける出力トルクの変動の説明図である。

[0102] 本発明を用いた場合のトルク制御特性について説明する。

[0103] 図1の制御装置において、「電圧ベクトル演算部160」と「位相誤差推定演算部115」に設定する L_{q*} は、 $L_{q*} > L_q$ の関係で設定している（図2と同条件）。

[0104] 図5(A)は、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ を示し、図5(B)はモータ電流 I_u を示し、図5(C)は位相誤差 $\Delta \theta$ の関係を示している。

[0105] 図2の場合と同様に、図5(A)に破線で示すようにトルク指令 τ^* を100%与えているが、時刻 t_1 の点から、図5(C)に破線で示す位相誤差の指令値 $\Delta \theta_{c\tau}$ が定常的には例えば+20(deg)発生し、制御軸の位相を進めることで、実際の位相誤差 $\Delta \theta$ は「ゼロ」となり、図5(A)に示すように、トルク指令 τ^* 通りの出力トルク100%を達成することができる。

[0106] 次に、図6を用いて、本実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の他の構成について説明する。

図6は、本発明の第1の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の他の構成の説明図である。

[0107] 図3に示したでは、トルク推定演算部120は、d軸およびq軸の電圧指令値と電流検出値を用いて推定演算を行ったが、その代わりに、図6に示す構成

にしてもよいものである。すなわち、トルク推定演算部120 aは、3相の電圧指令値 (V_u^* , V_v^* , V_w^*) と、3相の電流検出値 (I_{uc} , I_{vc} , I_{wc}) を用いて、出力トルク τ の推定演算を行う。

[0108] 具体的には、以下の式 (17) の演算を、

[0109] [数17]

$$\tau^{\wedge} = P_m \cdot \left[\frac{V_u^* \cdot I_{uc} + V_v^* \cdot I_{vc} + V_w^* \cdot I_{wc} - R^* \cdot (I_{uc}^2 + I_{vc}^2 + I_{wc}^2)}{\omega^{\wedge}} \right] \dots (17)$$

[0110] 行うことで、式 (16) と同等に、式 (4) の出力トルク τ を高精度に推定することができる。

[0111] 以上説明したように、本実施形態によれば、位置センサを用いない永久磁石同期モータの制御装置において、位置センサレス制御系の位相誤差 (制御の基準軸とモータの磁束軸との位相差) の推定演算に設定する q 軸インダクタンスに誤差が生じている場合でも、有効電力値から演算したトルク推定値がトルク指令値に一致する様に、位相誤差の指令値を演算することにより、トルク指令値通りの出力トルクを実現できるものとなる。このように、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

[0112] 次に、図7及び図8を用いて、本発明の第2の実施形態によるモータ制御装置の構成及び動作について説明する。

図7は、本発明の第2の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。図8は、本発明の第2の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。

[0113] 本実施形態のモータ制御装置100 aが、図1に示したモータ制御装置100と相違する点は、図1のモータ制御装置100におけるトルク推定演算部120に代えて、トルク推定演算部120 bを備えるようにした点である。

[0114] 直流電源Bは、電力変換器INVに直流電圧を供給し、直流電圧EDCと直流電流IDCをトルク推定演算部120 bに出力する。

[0115] トルク推定演算部120 bは、電力変換器の情報 (EDC, IDC) と、d 軸およ

びq軸の電流検出値（ I_{dc} 、 I_{qc} ）と、速度推定値 ω^{\wedge} を用いて、出力トルク τ^{\wedge} の推定演算を行う。

[0116] すなわち、図1に示したトルク推定演算部120は、制御系の電圧・電流情報を用いて出力トルクの推定演算を行ったが、本例では、トルク推定演算部120bは、電力変換器の直流電圧と直流電流の情報を用いて出力トルクの推定演算を行うようにしている。

[0117] 図8に示すように、トルク推定演算部120bは、以下の式（18）の演算を行うことで、

[0118] [数18]

$$\tau^{\wedge} = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot \left[\frac{\frac{2}{3} \cdot E_{DC} \cdot I_{DC} - R \cdot (I_{dc}^2 + I_{qc}^2)}{\omega^{\wedge}} \right] \dots (18)$$

[0119] 式（16）と同等に式（4）の出力トルク τ を高精度に推定することができる。

[0120] 本実施形態によっても、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

[0121] 次に、図9～図11を用いて、本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置の構成及び動作について説明する。

図9は、本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。図10は、本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置に用いるq軸インダクタンス修正演算部の動作説明図である。図11は、本発明の第3の実施形態によるモータ制御装置に用いる位相誤差推定演算部の動作説明図である。

[0122] 本実施形態のモータ制御装置100bが、図1に示したモータ制御装置100と相違する点は、図1のモータ制御装置100における位相誤差推定演算部115及び位相誤差指令演算部125に代えて、位相誤差推定演算部115a及びq軸インダクタンス修正演算部125aを備えるようにした点である。また、位

相誤差指令値設定部170を備えている。

- [0123] すなわち、図1や図7に示した例では、トルク指令 τ^* に出力トルク推定値 τ^{\wedge} が追従するように、位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c^*}$ を作成している。
- [0124] それに対して、本例では、位相誤差の指令値 $\Delta\theta_{c^*}$ の代わりに、q軸インダクタンス修正値 ΔL_{q^*} を作成し、q軸インダクタンスについてのモータ定数の設定値 L_{q^*} とq軸インダクタンス修正値 ΔL_{q^*} の加算値で、位相誤差の推定値 $\Delta\theta_{c1}$ の推定演算を行うようにしている。
- [0125] 位相誤差推定演算部115aは、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc^*} 、 V_{qc^*} と、速度推定演算部130によって推定された速度推定値 ω^{\wedge} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} と、予め設定されている永久磁石同期モータMOTの電気定数（ R 、 L_d 、 L_q 、 K_e ）と、q軸インダクタンスの修正値 ΔL_{q^*} とに基づいて、回転位相の推定値 θ_{dc} と永久磁石同期モータMOTの回転位相値 θ_d との偏差である位相誤差 $\Delta\theta$ の推定演算により、位相誤差推定値 $\Delta\theta_{c1}$ を出力する。
- [0126] q軸インダクタンス修正演算部125aは、差演算部DF1が出力する偏差（ $\tau^* - \tau^{\wedge}$ ）を比例・積分演算し、その出力値をq軸インダクタンスの修正値 ΔL_{q^*} として出力する。
- [0127] 図10に示すように、q軸インダクタンス修正演算部125aは、トルク指令値 τ^* に出力トルク推定値 τ^{\wedge} が追従するように、トルク指令値 τ^* と出力トルク推定値 τ^{\wedge} の偏差に積分ゲインBを乗じて積分演算を行い、q軸インダクタンスの修正値 ΔL_{q^*} を作成する。なお、ここで、積分演算に代えて、比例+積分演算でもよいものである。
- [0128] 図11に示すように、位相誤差推定演算部115aは、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc^*} 、 V_{qc^*} と、速度推定演算部130によって推定された速度推定値 ω^{\wedge} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} と、予め設定されている永久磁石同期モータMOTの電気定数（ R 、 L_d 、 L_q 、 K_e ）と、q軸インダクタンスの修正値 ΔL_{q^*} とに基づいて、位相誤差の推定値 $\Delta\theta_{c1}$ を式（19）に従い演算する。

[0129] [数19]

$$\Delta\theta_{cl} = \tan^{-1} \left[\frac{V_{dc}^* - R \cdot I_{dc} + \omega r \cdot (L_q^* + \Delta L_q^*) \cdot I_{qc}}{V_{qc}^* - R \cdot I_{qc} + \omega r \cdot (L_q^* + \Delta L_q^*) \cdot I_{dc}} \right] \dots (19)$$

[0130] 差演算部DF2は、位相誤差推定演算部115aが出力する位相誤差 $\Delta\theta$ と、位相誤差指令値設定部170が出力する位相誤差の指令値 $\Delta\theta_c^*$ との差($\Delta\theta_c^* - \Delta\theta$)を演算し、出力する。なお、位相誤差指令値設定部170が出力する位相誤差の指令値 $\Delta\theta_c^*$ は、ここでは、「ゼロ」である。従って、差演算部DF2は、位相誤差推定演算部115aが出力する位相誤差 $\Delta\theta$ をそのまま出力している。

[0131] 本例でも、q軸インダクタンスを修正することで、図1における位相誤差指令演算部125を設けた場合と同等のトルク制御特性を実現することができる。

[0132] 尚、本実施例では、トルク推定演算部120において、d軸およびq軸の電圧指令値と電流検出値を用いて推定演算を行ったが、

図6に示すトルク推定演算部120a、図8に示すトルク推定演算部120bを用いてもよいものである。

[0133] 本実施形態によっても、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

[0134] 以下、図1～図11に示した第1～第3の実施形態に対する変形零について説明する。第1～第3の実施形態では、第1の電流指令値(I_{d^*} , I_{q^*})と電流検出値(I_{dc} , I_{qc})から、第2の電流指令値($I_{d^{**}}$, $I_{q^{**}}$)を作成して、この電流指令値を用いてベクトル制御演算を行っている。

[0135] それに対して、例えば、第1の電流指令値(I_{d^*} , I_{q^*})と電流検出値(I_{dc} , I_{qc})から、電圧補正值(ΔV_{d^*} , ΔV_{q^*})を作成して、この電圧補正值(ΔV_{d^*} , ΔV_{q^*})と、第1の電流指令値(I_{d^*} , I_{q^*})と、速度推定値 ω^{\wedge} と、モータMOTの電気定数を用いて、以下の式(20)に従い、

[0136] [数20]

$$\begin{bmatrix} V_{dc}^* \\ V_{qc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega^{\wedge} \cdot L_{q}^* \\ \omega^{\wedge} \cdot L_{d}^* & R^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d}^* \\ I_{q}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega^{\wedge} \cdot K_{e}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta V_{d}^* \\ \Delta V_{q}^* \end{bmatrix} \quad \dots (20)$$

[0137] 電圧指令値 (V_{dc}^* , V_{qc}^*) を演算するようにしてもよいものである。

[0138] また、第1～第3の実施形態に対して、第1のd軸の電流指令 I_{d}^* (= 0) と、q軸の電流検出値 I_{qc} の一次遅れ信号 I_{qctd} と、速度推定値 ω^{\wedge} と、モータMOTの電気定数とを用いて、以下の式(21)に従い、

[0139] [数21]

$$\begin{bmatrix} V_{dc}^* \\ V_{qc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega^{\wedge} \cdot L_{q}^* \\ \omega^{\wedge} \cdot L_{d}^* & R^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{d}^* \\ I_{qctd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega^{\wedge} \cdot K_{e}^* \end{bmatrix} \quad \dots (21)$$

[0140] 電圧指令値 (V_{dc}^* , V_{qc}^*) を演算するようにしてもよいものである。

[0141] また、第1から第3の実施形態では、高価な電流検出器S1で検出した3相の交流電流 I_u , I_v , I_w を検出する方式であったが、電力変換器INVの過電流検出用に取り付けているワンシャント抵抗に流れる直流電流IDCから、3相のモータ電流 I_u^{\wedge} , I_v^{\wedge} , I_w^{\wedge} を再現し、この再現電流値を用いることもできる。

[0142] 次に、図12及び図13を用いて、本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業車両の構成について説明する。

図12及び図13は、本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業車両の構成図である。

[0143] 図12は、作業車両の一例として、フォークリフト201の構成を示している。

[0144] フォークリフト201は、その車体202の前部に左右一対の前車輪(駆動輪)203が設けられるとともに、後部に左右一対の後車輪(換向輪)204が設けられ、そして車体202の前部で上方には運転部205が設けら

れる。前記車体202の前端部には上下方向で伸縮自在なマスト206が、車幅方向のマスト連結軸207を介して前後方向に傾動自在に取り付けられるとともに、前後傾動を行わせるティルトシリンダー208が、車体202とマスト206との間に設けられる。

[0145] 前記マスト206は、車体202側の左右一对の外枠209と、この外枠209に内枠ローラを介して案内されて昇降自在な左右一对の内枠211とからなり、そして外枠209と内枠211との間にリフトシリンダー212が設けられている。また、内枠側にブラケットローラ213を介して案内されて昇降自在なリフトブラケット214が設けられるとともに、マスト206とリフトブラケット214との間にリフト連動手段215が設けられている。前記リフトブラケット214には、保持枠体220を介して左右一对のフォーク221が設けられている。前記運転部205には、座席222や、この座席222の前方に位置されるハンドル223などが配設され、そして上方にはヘッドガード224が配設されている。さらに座席222の後方で車体202上にはカウンターウエイト225が設けられている。

[0146] 図1に示したモータ制御装置100により制御される永久磁石同期モータMOTは、車輪（駆動輪）203を駆動する走行駆動用のモータである。

[0147] 図13は、作業車両の他の例として、油圧ショベル301の構成を示している。

[0148] 建設機械としてのクローラ式の油圧ショベル301は、自走可能な下部走行体302と、該下部走行体302上に旋回可能に搭載され、該下部走行体302と共に車体を構成する上部旋回体303と、該上部旋回体303の前側に俯仰動可能に設けられ、土砂の掘削作業等を行なう作業装置304とにより大略構成されている。上部旋回体303の旋回フレーム305は、支持構造体からなる車体フレームとして構成されている。

[0149] 図1に示したモータ制御装置100により制御される永久磁石同期モータMOTは、下部走行体302に対して上部旋回体303を旋回させるための旋回モータである。

[0150] 更に、以下、図14～図23を用いて、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置の構成及び動作について説明する。

最初に、図14を用いて、本実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

図14は、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。

本実施形態によるモータ駆動システムは、モータ制御装置100と、電力変換器INVと、永久磁石同期モータ（PMモータ；交流モータ）MOTと、位置検出器PDと、トルク指令設定部TSとから構成されている。

[0151] 永久磁石同期モータ（PMモータ；交流モータ）MOTは、永久磁石及び界磁巻線を備えた回転子と、電機子巻線を備えた固定子とから構成される。永久磁石同期モータMOTは、永久磁石の磁束によるトルク成分と、電機子巻線のインダクタンスによるトルク成分を合成したトルクを出力する。永久磁石同期モータMOTは、図28を用いて後述するように、作業機械に用いられるモータである。本実施形態のモータ制御装置100は、かかるモータMOTを制御するために用いられる。

[0152] 電力変換器INVは、3相交流の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に基づいて、直流電源Bから供給される直流電圧を3相交流電圧に変換し、永久磁石同期モータMOTに供給し、永久磁石同期モータMOTの出力トルクを可変する。

[0153] 電流検出器SIは、永久磁石同期モータMOTの3相の交流電流 I_u 、 I_v 、 I_w を検出する。

[0154] 位相検出器PDは、モータの位置 θ を検出できるレゾルバやエンコーダであり、位置検出値 θ_{dc} を出力する

トルク指令設定部TSは、モータ制御装置100に対して、永久磁石同期モータMOTが出力するトルクの指令値であるトルク指令値 τ^* を出力する。トルク指令値 τ^* は、「零」を含む「正負極性」の値である。トルク指令設定部TSは、モータ制御装置100に対する上位の制御装置の内部に備えられ

る。

- [0155] モータ制御装置100は、座標変換部110と、速度演算部415と、トルク推定演算部120と、トルク修正演算部425と、d軸電流指令設定部140と、電流指令変換演算部145と、d軸電流制御演算部150と、q軸電流制御演算部155と、電圧ベクトル演算部160と、座標変換部165と、差演算部DF1, DF2, DF3, DF4とを備えている。
- [0156] 座標変換部110は、永久磁石同期モータMOTに供給される3相の交流電流 I_u, I_v, I_w の電流検出器S1による検出値である電流検出値 I_{uc}, I_{vc}, I_{wc} と、位相演算部135によって推定された回転位相の推定値 θ_{dc} とから、d軸およびq軸の電流検出値 I_{dc}, I_{qc} を出力する。
- [0157] 速度演算部415は、位置検出器PDによって検出された位置検出値 θ_{dc} が入力され、PMモータ1の速度検出値 ω を出力する。
- [0158] トルク推定演算部120は、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc*}, V_{qc*} と、速度推定演算部130によって推定された速度推定値 $\hat{\omega}$ と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc}, I_{qc} とを用いて、出力トルクの推定演算を行い、トルク推定値 $\hat{\tau}$ を出力する。
- [0159] 差演算部DF1は、トルク指令設定部TSが出力するトルク指令値 τ^* と、トルク推定演算部120が算出したトルク推定値 $\hat{\tau}$ との偏差 $(\tau^* - \hat{\tau})$ を算出する。
- [0160] トルク修正演算部425は、差演算部DF1の出力である偏差 $(\tau^* - \hat{\tau})$ を比例・積分演算し、トルク指令の修正値 $\Delta\tau^*$ を出力する。
- [0161] 加算部AD1は、トルク指令設定部TSが出力するトルク指令値 τ^* と、トルク修正演算部425が出力するトルク指令の修正値 $\Delta\tau^*$ を加算する。
- [0162] d軸電流指令設定部140は、「零」あるいは「負極性」の値であるd軸の電流指令値 I_{d*} を出力する。
- [0163] 電流指令変換演算部145は、トルク指令設定部TSからのトルク指令値 τ^* と、d軸電流指令設定部140が出力するd軸の電流指令値 I_{d*} と、永久磁石同期モータMOTの電気定数 (L_d, L_q, K_e) を用いて、q軸の電流指

令値 I_{q*} を算出する。ここで、電気定数 (L_d , L_q , K_e) は、電流指令変換演算部145の内部に設定値として保持されている。電気定数 (L_d , L_q , K_e) の値としては、本実施形態のモータ制御装置100によって駆動制御される永久磁石同期モータMOTの設計値を設定保持している。

[0164] 差演算部DF2は、d軸電流指令設定部140が出力する第1のd軸の電流指令値 I_{d*} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{dc} との偏差 ($I_{d*} - I_{dc}$) を算出する。

[0165] d軸電流制御演算部150は、差演算部DF2が算出した偏差 ($I_{d*} - I_{dc}$) から、第2のd軸の電流指令値 I_{d**} を出力する。

[0166] 差演算部DF3は、電流指令変換演算部145が出力する第1のq軸の電流指令値 I_{q*} と、座標変換部110が出力する電流検出値 I_{qc} との偏差 ($I_{q*} - I_{qc}$) を算出する。

[0167] q軸電流制御演算部155は、差演算部DF3が算出した偏差 ($I_{q*} - I_{qc}$) から、第2のq軸の電流指令値 I_{q**} を出力する。

[0168] 電圧ベクトル演算部160は、d軸電流制御演算部150が出力する第2のd軸の電流指令値 I_{d**} と、q軸電流制御演算部155が出力する第2のq軸の電流指令値 I_{q**} と、速度推定値 ω^{\wedge} と、予め設定されている永久磁石同期モータMOTの電気定数 (R , L_d , L_q , K_e) とに基づいて、d軸およびq軸の電圧指令値 V_{dc*} , V_{qc*} をそれぞれ出力する。

[0169] 座標変換部165は、電圧ベクトル演算部160が出力する電圧指令値 V_{dc*} , V_{qc*} と、位相演算部135が推定した回転位相の推定値 θ_{dc} とから、3相交流の電圧指令値 V_{u*} , V_{v*} , V_{w*} をそれぞれ出力する。

[0170] すなわち、本実施形態では、モータに対するトルク指令値 τ^* から求められたq軸電流指令値 I_{q*} 及び設定されているd軸電流指令値 I_{d*} が、モータに電力変換器を介して供給される電流 I_u , I_v , I_w に対するd軸及びq軸電流検出値 I_{dc} , I_{qc} に一致するように、モータに供給される電流を制御している。以上のフィードバック制御により、モータのトルクがトルク指令値に一致するようにモータに供給される電流が制御される。但し、モータ

定数に誤差があると、実際にモータから出力されるトルク値は、トルク指令値とは異なることになる。

[0171] 次に、本実施形態のモータ制御装置100の動作について説明するが、最初に、本実施形態の特徴である「トルク推定演算部120」及び「トルク修正演算部425」を用いない場合の制御方式の基本動作について説明する。

[0172] 電流指令変換演算部145において、トルク指令 τ^* とd軸の電流指令 I_d^* およびPMモータMOTの電気定数を用いて、式(22)によりトルク指令 τ^* に見合ったq軸の電流指令 I_q^* を演算する。

[0173] [数22]

$$I_q^* = \frac{\tau^*}{\frac{3}{2} \cdot P_m \cdot (K_e^* + (L_d^* - L_q^*) \cdot I_d^*)} \quad \dots (22)$$

[0174] d軸の電流制御演算部150には、d軸の電流指令値 I_d^* と電流検出値 I_{dc} が入力され、q軸の電流制御演算部155にはd軸の電流指令値 I_q^* と電流検出値 I_{qc} が入力される。

[0175] ここでは、d軸の電流制御演算部150及びq軸の電流制御演算部155は、式(23)に従い、電流指令値 I_d^* 、 I_q^* に、各成分の電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} が追従するよう、比例・積分演算を行い、第2のd軸およびq軸の電流指令値 I_d^{**} 、 I_q^{**} を出力する。

[0176] [数23]

$$\begin{bmatrix} I_d^{**} = (I_d^* - I_{dc}) \cdot (K_{pd} + \frac{K_{id}}{s}) \\ I_q^{**} = (I_q^* - I_{qc}) \cdot (K_{pq} + \frac{K_{iq}}{s}) \end{bmatrix} \quad \dots (23)$$

[0177] ここで、 K_{pd} : d軸の電流制御の比例ゲイン、 K_{id} : d軸の電流制御の積分ゲイン、 K_{pq} : q軸の電流制御の比例ゲイン、 K_{iq} : q軸の電流制御の積分ゲインである。

[0178] さらに、電圧ベクトル演算部160において、得られた第2の電流指令値 I_d^{**}

、 $I_{q^{}}$ とモータ定数 (R, L_d, L_q, K_e) および速度検出値 ω を用いて、式(24)に示す電圧指令値 $V_{dc^{**}}, V_{qc^{**}}$ を演算し、3相のPWMインバータの出力を制御する。

[0179] [数24]

$$\begin{bmatrix} V_{dc}^* = R^* \cdot I_{d^{**}} - \omega \cdot L_d^* \cdot I_{q^{***}} \\ V_{qc}^* = R^* \cdot I_{q^{**}} - \omega \cdot L_d^* \cdot I_{d^{***}} + \omega \cdot K_e^* \\ I_{d^{***}} = \frac{1}{1 + L_d^* / R^* \cdot s} \cdot I_{d^{**}} \\ I_{q^{***}} = \frac{1}{1 + L_q^* / R^* \cdot s} \cdot I_{q^{**}} \end{bmatrix} \dots (24)$$

[0180] ここで、モータ定数 (R, L_d, L_q, K_e) は、電圧ベクトル演算部160の内部に設定値として保持されている。モータ定数 (R, L_d, L_q, K_e) の値としては、本実施形態のモータ制御装置100によって駆動制御される永久磁石同期モータMOTの設計値を設定保持している。なお、実際に用いられる個々の永久磁石同期モータMOTのモータ定数 (R, L_d, L_q, K_e) の値は、永久磁石同期モータMOTのモータ定数 (R, L_d, L_q, K_e) の設計値とは異なるものであるが、両者の誤差、及び個々の永久磁石同期モータMOTのモータ定数 (R, L_d, L_q, K_e) が経時変化することにより生じる設定値との誤差は、後述するトルク推定演算部120及び位相誤差指令演算部125を用いることにより、補償されるものである。

[0181] 一方、レゾルバ、エンコーダ、磁極位置検出器などの位置検出器PDでは、モータの位置 θ を検出し、位置検出値 θ_{dc} を得る。

[0182] 座標変換部110, 165では、この位置検出値 θ_{dc} を用いて、式(25)や式(26)に示す座標変換を行っている。

[0183] [数25]

$$\begin{bmatrix} V_u^* \\ V_v^* \\ V_w^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos[\theta_{dc}] & -\sin[\theta_{dc}] \\ \sin[\theta_{dc}] & \cos[\theta_{dc}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{dc}^* \\ V_{qc}^* \end{bmatrix} \dots (25)$$

[0184] [数26]

$$\begin{bmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} \cos[\theta_{dc}] & \sin[\theta_{dc}] \\ -\sin[\theta_{dc}] & \cos[\theta_{dc}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{uc} \\ I_{vc} \\ I_{wc} \end{bmatrix} \quad \dots \quad (26)$$

[0185] 以上が、トルク推定演算部120、トルク修正演算部425を用いない場合の、トルク制御の基本動作である。

[0186] 次に、トルク推定演算部120、トルク修正演算部425を設けない場合の、制御特性について説明する。

[0187] 最初に、図15～図18を用いて、「電流指令変換演算部145」と「電圧ベクトル演算部160」に設定するモータ定数の誤差がトルク制御特性におよぼす影響について説明する。

[0188] 図15及び図17は、モータ定数の設定値に誤差がない場合の出力トルクの変動の説明図である。図16及び図18は、モータ定数の設定値に誤差がある場合の出力トルクの変動の説明図である。

[0189] 各図（A）は、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ を示し、各図（B）は交流のモータ電流 I_u を示す。

[0190] [1] $I_{d^*} = 0$ 設定の場合

図14の制御装置において、d軸の電流指令 $I_{d^*} = 0$ 設定で、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させる動作を行う。

[0191] モータ定数の設定値に誤差がない場合は、図15に示すように、誤差がない理想の状態では、図15（B）に示すように、100%のu相の交流電流 I_u を発生させているため、図15（A）に示すように、トルク指令 τ^* 通り100%の出力トルク τ を得ることができている。

[0192] モータ定数の設定値に誤差がある場合は、ここでは、 $L_{q^*} > L_q$ 、 $K_e^* > K_e$ の関係で誤差を与えている。

[0193] 図16（A）に示すように、トルク指令 τ^* を100%与えているが、出力トルク τ は83%になっている。これは「電流指令変換演算部145」において、式(27)を演算する際、q軸の電流指令値 I_{q^*} が減少しているためである。そ

の結果、図16（B）に示すように、u相の交流電流 I_u が83%になっている。

[0194] [数27]

$$I_q^* = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot K_e \cdot \tau^* \quad \dots (27)$$

[0195] これは、式(27)の分母成分に K_e^* が含まれているため、 K_e^* に設定誤差が存在するとトルクに見合った電流を流すことができなくなる。

[0196] [2] 最大トルク制御 $I_d^* < 0$ 設定の場合

次に、図14の制御装置において、d軸の電流指令 $I_d^* < 0$ 設定で、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させる動作を行う。

[0197] PMモータMOTの出力トルク τ は式(28)である。

[0198] [数28]

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot (K_e + (L_d - L_q) \cdot I_d) \cdot I_q \quad \dots (28)$$

[0199] この式(28)を展開すると、式(29)を得る。

[0200] [数29]

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot K_e \cdot I_q + \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q \quad \dots (29)$$

[0201] 右辺の第1項は「磁石トルク成分」、第2項が「リラクタンストルク成分」である。d軸の電流指令 I_d^* を数式(30)により発生させることで、リラクタンストルク成分を活用し、同一トルクにおいてモータ電流の最小化を行うことができる。

[0202]

[数30]

$$I_d^* = -\frac{K_e^*}{2 \cdot (L_d^* - L_q^*)} \sqrt{\frac{K_e^{*2}}{4 \cdot (L_d^* - L_q^*)^2} + I_q^{*2}} \quad \dots (30)$$

[0203] モータ定数の設定値に誤差がない場合は、図17(A)に示すように、誤差がない理想の状態では、トルク指令 τ^* 通り 100% の出力トルク τ を得ることができており、図17(B)に示すように、u相の交流電流 I_u は88% になっている。すなわち、図15より少ない電流で同一トルクを出力することができている。

[0204] モータ定数の設定値に誤差がある場合は、 $L_q^* > L_q$ 、 $K_e^* > K_e$ の関係で誤差を与えている。この場合、図18(A)に示すように、トルク指令 τ^* を100% 与えているが、出力トルク τ は81% になっており、図16に比べて2%トルクが減少している。図18(B)に示すように、u相の交流電流 I_u も74% に減少している。

[0205] これは「電流指令変換演算部145」において、式(22)と式(30)を演算する際、分母成分に K_e^* と L_q^* が含まれているため、その設定誤差によりトルク指令 τ^* に見合ったd軸およびq軸の電流指令値を発生させることができていないためである。

[0206] そこで本発明では、「トルク推定演算部120」、「トルク修正演算部425」を導入することで、トルク指令 τ^* 通りの出力トルク τ が得られる高精度なトルク制御を実現する。

[0207] 次に、図19及び図20を用いて、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置において、「トルク推定演算部120」、「トルク修正演算部425」を用いた場合の、動作原理について説明する。

図19は、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。図20は、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク修正演算部の動作説明図である。

[0208] モータの磁束軸から観た有効電力 P は式(31)となる。

[0209] [数31]

$$\begin{aligned}
 P &= V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q \\
 &= (R \cdot I_d - \omega \cdot L_q \cdot I_q) \cdot I_d + (R \cdot I_q + \omega \cdot L_d \cdot I_d + \omega \cdot K_e) \cdot I_q \quad \dots (31) \\
 &= R \cdot (I_d^2 + I_q^2) + \omega \cdot (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q + \omega \cdot K_e \cdot I_q
 \end{aligned}$$

[0210] また、制御の基準軸（d c - q c）上で演算する推定値 \hat{P} は式(31)となる。

[0211] [数32]

$$\begin{aligned}
 \hat{P} &= V_{dc}^* \cdot I_{dc} + V_{qc}^* \cdot I_{qc} \\
 &= (R^* \cdot I_{dc}^{**} - \omega \cdot L_q^* \cdot I_{qc}^{**}) \cdot I_{dc} + (R^* \cdot I_{qc}^{**} + \omega \cdot L_d^* \cdot I_{dc}^{**} + \omega \cdot K_e^*) \cdot I_{qc} \quad \dots (32) \\
 &= R^* \cdot (I_{dc}^{**2} + I_{qc}^{**2}) + \omega \cdot (L_d^* \cdot I_{dc}^{**} \cdot I_{qc}^{**} - L_q^* \cdot I_{qc}^{**} \cdot I_{dc}^{**}) + \omega \cdot K_e^* \cdot I_{qc}
 \end{aligned}$$

[0212] 図19に示す「トルク推定演算部120」では、この有効電力の推定値 \hat{P} を用いて、出力トルク τ の推定演算を行う。

[0213] ここで、「モータの磁束軸から観測する有効電力 P 」と「基準軸（d c - q c）上で演算する推定値 \hat{P} 」は一致することを利用して、トルク推定演算部120は、式(32)から、PMモータMOTの銅損成分である $R \times (I_{dc}^2 + I_{qc}^2)$ を減算し、その演算値を速度検出値 ω で除算した後、定数 $((3/2) \times P_m)$ を乗じる式(33)の演算を行うことで、式(28)の出力トルク τ を高精度に推定することができる。

[0214] [数33]

$$\tau^{\wedge} = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot \frac{\hat{P} - R^* \cdot (I_{dc}^2 + I_{qc}^2)}{\omega} \quad \dots (33)$$

[0215] また、図20に示す「トルク指令修正部425」においては、トルク指令 τ^* に出力トルク推定値 τ^{\wedge} が追従するように、 τ^* と τ^{\wedge} の偏差に積分ゲイン A を乗じて積分演算（あるいは比例+積分演算でも良い）を行い、トルク指令の修正値 $\Delta \tau^*$ を作成する。

[0216] この修正値 $\Delta \tau^*$ を上位から与えられる第1のトルク指令値 τ^* に加算して、新しい第2のトルク指令値 τ^{**} を演算し、電流指令変換演算部145において、式(22)によりq軸の電流指令値 I_q^* の演算を行う。

[0217] このようなフィードバック・ループを組むことで、高精度なトルク制御を実現することができる。

[0218] ここで、図21及び図22を用いて、本実施形態における出力トルクの変動について説明する。

図21及び図22は、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムにおける出力トルクの変動の説明図である。

[0219] 各図(A)は、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ を示し、各図(B)は交流のモータ電流 I_u を示す。

[0220] 本発明を用いた場合のトルク制御特性について説明する。

[0221] 図14の制御装置において、「電流指令変換演算部145」と「電圧ベクトル演算部160」に設定するモータ定数の設定値(L_q^* , K_e^*)に、 $L_q^* > L_q$ 、 $K_e^* > K_e$ の関係で誤差を与えている(図15、図16と同条件)。

[0222] [1] $I_d^* = 0$ 設定の場合

図21には、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ とu相の交流電流 I_u の関係を示す。時刻 t_1 において、トルク指令修正の制御動作を実行している。図15の場合と同様に、図21(A)に示すように、 τ^* を100%与えている。時刻 t_1 から「破線」で示す第2のトルク指令値 τ^{**} は定常的に120%発生しており、トルク指令値の大きさを修正することで、トルク指令 τ^* 通りの出力トルク100%を実現できている。

[0223] [2] 最大トルク制御 $I_d^* < 0$ 設定の場合

図22には、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ とu相の交流電流 I_u の関係を示す。

[0224] 図18の場合と同様に、 τ^* を100%与えている。時刻 t_1 から「破線」で示す第2のトルク指令値 τ^{**} は定常的に123%発生しており、トルク指令値の大きさを修正することで、トルク指令 τ^* 通りの出力トルク100%を实

現できている。

[0225] つまり、PMモータMOTのモータ定数の設定誤差に対してロバスト化することができている。

[0226] 次に、図23を用いて、本実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の他の構成について説明する。

図23は、本発明の第4の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の他の構成の説明図である。

[0227] 図19に示したでは、トルク推定演算部120は、d軸およびq軸の電圧指令値と電流検出値を用いて推定演算を行ったが、その代わりに、図23に示す構成にしてもよいものである。すなわち、トルク推定演算部120aでは、3相の電圧指令値 (V_u^* , V_v^* , V_w^*) と3相の電流検出値 (I_{uc} , I_{vc} , I_{wc}) を用いて、出力トルク τ の推定演算を行う。

[0228] 式(34)の演算を行うことでも式(33)と同等に出力トルク τ を高精度に推定することができる。

[0229] [数34]

$$\tau^{\wedge} = P_m \cdot \left[\frac{V_u^* \cdot I_{uc} + V_v^* \cdot I_{vc} + V_w^* \cdot I_{wc} - R^{\wedge} (I_{uc}^2 + I_{vc}^2 + I_{wc}^2)}{\omega} \right] \dots (34)$$

[0230] 以上説明したように、本実施形態によれば、有効電力値から演算したトルク推定値が、上位から与えられるトルク指令値に一致するように、新しい第2のトルク指令値を演算することで、オンライン的に補償を行いトルク指令値通りの出力トルクを実現できるものとなる。このように、モータ定数の設定誤差も含めて補償して、高精度なトルク制御が可能となる。

[0231] 次に、図24及び図25を用いて、本発明の第5の実施形態によるモータ制御装置の構成及び動作について説明する。

図24は、本発明の第5の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。図25は、本発明の第5の実施形態によるモータ制御装置に用いるトルク推定演算部の動作説明図である。

[0232] 本実施形態のモータ制御装置100aが、図14に示したモータ制御装置100と相違する点は、図14のモータ制御装置100におけるトルク推定演算部120に代えて、トルク推定演算部120bを備えるようにした点である。

[0233] 直流電源Bは、電力変換器INVに直流電圧を供給し、直流電圧EDCと直流電流IDCをトルク推定演算部120bに出力する。

[0234] トルク推定演算部120bは、電力変換器の情報(EDC, IDC)と、d軸およびq軸の電流検出値(Ids, Idq)と、速度推定値 τ^{\wedge} を用いて、出力トルク τ^{\wedge} の推定演算を行う。

[0235] 式(35)の演算を行うことで、式(33)と同等に式(28)の出力トルク τ を高精度に推定することができる。

[0236] [数35]

$$\tau^{\wedge} = \frac{3}{2} \cdot P_m \cdot \left[\frac{\frac{2}{3} \cdot E_{DC} \cdot I_{DC} - R \cdot (I_{dc}^2 + I_{qc}^2)}{\omega} \right] \dots (35)$$

[0237] 本実施形態によっても、高精度なトルク制御が可能となる。

[0238] 次に、図26～図27を用いて、本発明の第6の実施形態によるモータ制御装置の構成及び動作について説明する。

図26は、本発明の第6の実施形態によるモータ制御装置を用いたモータ駆動システムの構成について説明する。図27は、本発明の第6の実施形態によるモータ制御装置の動作説明図である。

[0239] 本実施形態のモータ制御装置100bが、図14に示したモータ制御装置100と相違する点は、図14のモータ制御装置100における位置検出器PDを用いないセンサレス方式であり、図14のモータ制御装置100における位置検出器PD、速度演算部415に代えて、位相誤差推定演算部117、速度推定演算部130、位相演算部135を備えるようにした点である。

[0240] 位相誤差推定演算部117は、電圧指令値Vdc*、Vqc*と電流検出値Ids、Idqと速度検出値 ω およびモータ定数に基づいて、位置推定値 θ_{dc}

$\hat{\theta}$ とPMモータMOTの位置 θ の偏差である位相誤差 $\Delta\theta$ ($=\theta_{dc}\hat{\theta}-\theta$)の推定演算を行う。

[0241] 電圧指令値 V_{dc}^* 、 V_{qc}^* と電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} と速度検出値 ω およびモータ定数に基づいて、位置推定値とモータの位置の偏差である位相誤差 $\Delta\theta_c$ を式(36)により演算する。

[0242] [数36]

$$\Delta\theta_c = \tan^{-1} \left[\frac{V_{dc}^* - R^* \cdot I_{dc} + \omega \hat{\theta} \cdot L_{q^*} \cdot I_{qc}}{V_{qc}^* - R^* \cdot I_{qc} - \omega \hat{\theta} \cdot L_{q^*} \cdot I_{dc}} \right] \dots (36)$$

[0243] 速度推定演算部130は、位相誤差の推定値 $\Delta\theta_c$ を「ゼロ」にするように、速度推定値 $\omega \hat{\theta}$ の推定演算を行う。

[0244] 位相演算部135は、速度推定値 $\omega \hat{\theta}$ を積分し、位置推定値 $\theta_{dc}\hat{\theta}$ の推定演算を行う。このような位置センサレス制御方式でも前記実施例と同様に動作する。

[0245] 図14の制御装置において、「電流指令変換演算部145」と「電圧ベクトル演算部160」に設定するモータ定数の設定値 (L_{q^*} 、 K_{e^*}) に、 $L_{q^*} > L_q$ 、 $K_{e^*} > K_e$ の関係で誤差を与えている (図22と同条件)。

[0246] 図27は、最大トルク制御 ($I_{d^*} < 0$ 設定)において、トルク指令 τ^* を100%ステップ変化させた場合の出力トルク τ とu相の交流電流 I_u の関係を示している。

[0247] 時刻 t_1 から「破線」で示す第2のトルク指令値 τ^{**} は定常的に125%発生しており、トルク指令値の大きさを修正することで、位置センサレス制御時でもトルク指令 τ^* 通りの出力トルク100%を達成することができている。

[0248] 以上説明したように、センサレスの場合には、本実施形態によっても、高精度なトルク制御が可能となる。

[0249] なお、以上の各実施形態では、第1のトルク指令 τ^* とトルク指令の修正値

$\Delta \tau^*$ を加算して第2のトルク指令 τ^{**} を作成したが、第1のトルク指令 τ^* を加算せずトルク指令の修正値 $\Delta \tau^*$ を直接第2のトルク指令 τ^{**} としても良い。

[0250] また、各実施形態では、第1の電流指令値 I_d^* 、 I_q^* と電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} から第2の電流指令値 I_d^{**} 、 I_q^{**} を作成して、この電流指令値を用いてベクトル制御演算を行った。

[0251] それに対して、第1の電流指令値 I_d^* 、 I_q^* と電流検出値 I_{dc} 、 I_{qc} の偏差を比例+積分演算して、電圧補正值 ΔV_d^* 、 ΔV_q^* を作成し、この電圧補正值 ΔV_d^* 、 ΔV_q^* と、第1の電流指令値 I_d^* 、 I_q^* 、速度検出値 ω 、PMモータMOTのモータ定数を用いて、式(37)に従い電圧指令値 V_{dc}^* 、 V_{qc}^* を演算するベクトル制御演算方式を適用することもできる。

[0252] [数37]

$$\begin{bmatrix} V_{dc}^* \\ V_{qc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega \cdot L_d^* \\ \omega \cdot L_q^* & R^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d^* \\ I_q^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cdot K_e^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta V_d^* \\ \Delta V_q^* \end{bmatrix} \dots (37)$$

[0253] また、第1のd軸の電流指令 $I_d^* = 0$ およびq軸の電流検出値 I_{qc} の一次遅れ信号 I_{qctd} および速度指令値 ω^* 、モータMOTのモータ定数を用いて、式(38)に従い電圧指令値 V_{dc}^* 、 V_{qc}^* を演算するベクトル制御演算方式にも適用することはできる。

[0254] [数38]

$$\begin{bmatrix} V_{dc}^* \\ V_{qc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^* & -\omega^* \cdot L_d^* \\ \omega^* \cdot L_q^* & R^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{dc} \\ I_{qctd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega^* \cdot K_e^* \end{bmatrix} \dots (38)$$

[0255] また、各実施形態では、高価な電流検出器PDで検出した3相の交流電流 $I_u \sim I_w$ を検出する方式であったが、電力変換器INVの過電流検出用に取り付けられているワンシャント抵抗に流れる直流電流IDCから、3相のモー

タ電流 I_u^* 、 I_v^* 、 I_w^* を再現し、この再現電流値を用いる「低コストな電動車輛システム」にも対応することができる。

[0256] 次に、図28及び図13を用いて、本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業機械の構成について説明する。

図28及び図13は、本発明の各実施形態によるモータ制御装置を適用する作業機械の構成図である。

[0257] 図28は、作業機械の一例として、ホイールローダの構成を示している。

[0258] 本例のホイールローダ501は、車両の中心あたりで中折れしてステアリングをきるアーティキュレートタイプの車両であり、プロペラシャフトの中折れする部分にセンタージョイント (C J) 515が組み込まれていると共に、このセンタージョイント515より前側のフロントフレーム550と後側のリアフレーム560とを有している (図28参照)。そして、センタージョイント (C J) 515を挟んで前後のプロペラシャフトのそれぞれに、走行用電動機として第1の電動機 (M 1) と、第2の電動機 (M 2) が配置されている。走行用電動機が回転すると、その動力はプロペラシャフトへと伝達され、ディファレンシャルギヤ (D i f) およびギヤ (G) を介して車輪513が回転駆動するのである。

[0259] また、エンジンを駆動すると油圧ポンプが作動し、この油圧ポンプから圧油が油圧作業装置 (作業装置) 505へと供給される。油圧作業装置505に供給された圧油は、制御弁C/Vを介してバケット、リフト、ステアリングへと供給されており、図示しない運転室からオペレータが操作レバー等を操作することにより、バケット、リフト、ステアリングは所定の動作を行うことができるようになっている。

[0260] モータ制御装置により制御される永久磁石同期モータMOTは、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータである。走行駆動用モータは、レゾルバ等の位置検出器PDを用いている。そのため、走行駆動用モータを制御するモータ制御装置としては、図14に示したモータ制御装置100や図24に示したモータ制御装置100aが用いられる。

アシストモータは、位置検出器PDを用いていないものである。そのため、アシストモータを制御するモータ制御装置としては、図26に示したモータ制御装置100bが用いられる。

[0261] また、別の例として、走行駆動用モータを制御するモータ制御装置や、アシストモータを制御するモータ制御装置としては、それぞれ、図14に示したモータ制御装置100や図24に示したモータ制御装置100aが用いられることもできる。

[0262] また、作業機械の他の例として、図13の油圧ショベル301の構成にも適用できる。

[0263] 建設機械としてのクローラ式の油圧ショベル301は、自走可能な下部走行体302と、該下部走行体302上に旋回可能に搭載され、該下部走行体302と共に車体を構成する上部旋回体303と、該上部旋回体303の前側に俯仰動可能に設けられ、土砂の掘削作業等を行なう作業装置304とにより大略構成されている。上部旋回体303の旋回フレーム305は、支持構造体からなる車体フレームとして構成されている。

[0264] モータ制御装置により制御される永久磁石同期モータMOTは、下部走行体302に対して上部旋回体303を旋回させるための旋回モータと、エンジンをアシストするアシストモータである。旋回モータは、レゾルバ等の位置検出器PDを用いている。そのため、旋回モータを制御するモータ制御装置としては、図14に示したモータ制御装置100や図24に示したモータ制御装置100aが用いられる。アシストモータは、位置検出器PDを用いていないものである。そのため、アシストモータを制御するモータ制御装置としては、図26に示したモータ制御装置100bが用いられる。

[0265] また、別の例として、旋回モータを制御するモータ制御装置や、アシストモータを制御するモータ制御装置としては、それぞれ、図14に示したモータ制御装置100や図24に示したモータ制御装置100aが用いられることができる。

符号の説明

- [0266] B…直流電源
I N V…電力変換器
M O T…永久磁石同期モータ
S I…電流検出器、
T S…トルク指令設定部
100, 100 a, 100 b…モータ制御装置
110…座標変換部
115, 115 a、117…位相誤差推定演算部
120, 120 a、120 b…トルク推定演算部
125…位相誤差指令演算部
125 a…q 軸インダクタンス修正演算部
130…速度推定演算部
135…位相演算部
140…d 軸電流指令設定部
145…電流指令変換演算部
150…d 軸電流制御演算部
155…q 軸電流制御演算部
160…電圧ベクトル演算部
165…座標変換部
170…位相誤差指令値設定部
415…速度演算部
425…トルク修正演算部

請求の範囲

[請求項1] モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有するモータ制御装置であって、

前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定し、推定された前記モータのトルク推定値が、前記トルク指令値に一致するように前記モータに供給される電流を制御することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項2] 請求項1記載のモータ制御装置において、

前記制御部は、

前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、

d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、

該電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、

前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、位相誤差の指令値を算出する位相誤差指令演算部と、

前記位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値に、前記位相誤差推定演算部が出力する位相誤差推定値が一致するように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えることを特徴とするモータ制御装置。

[請求項3] 請求項2記載のモータ制御装置において、

前記トルク推定演算部は、

前記 d 軸電圧指令値と前記 d 軸電流検出値の乗算値と、前記 q 軸電圧指令値と前記 q 軸電流検出値の乗算値とを加算した第 1 の電力信号から、

d 軸および q 軸電流検出値をそれぞれ 2 乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第 2 の電力信号を減算し、

該減算値を前記速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項4]

請求項 3 記載のモータ制御装置において、

前記位相誤差推定演算部は、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差に積分ゲインを乗じて積分演算して、前記位相誤差の指令値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項5]

請求項 2 記載のモータ制御装置において、

前記トルク推定演算部は、

前記電力変換器に対する 3 相の電圧指令値と 3 相の電流検出値を、3 相の各相毎に乗算し、それら乗算値を加算した第 1 の電力信号から、

前記 3 相の電流検出値を各相毎に 2 乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第 2 の電力信号を減算し、

該減算値を該速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項6]

請求項 2 記載のモータ制御装置において、

前記トルク推定演算部は、

前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に、定数を乗じた第 1 の電力信号から、

前記 d 軸および q 軸電流検出値をそれぞれ 2 乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第 2 の電力信号を減算し、

該減算値を前記速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項7]

請求項1記載のモータ制御装置において、

前記制御部は、

前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、

d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、

前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、q軸インダクタンスの修正値を算出するq軸インダクタンス修正演算部と、

前記電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値と、前記q軸インダクタンスの修正値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、

該位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値が零となるように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えることを特徴とするモータ制御装置。

[請求項8]

請求項7記載のモータ制御装置において、

前記q軸インダクタンス修正演算部は、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差に積分ゲインを乗じて積分演算して、前記q軸インダクタンス修正値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項9]

永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有し、

永久磁石同期電動機のトルク制御を行うモータ制御装置であって、
前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に
前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように
、第2のトルク指令値を演算し、
該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うことを特徴とするモ
ータ制御装置。

[請求項10]

請求項9記載のモータ制御装置において、
前記永久磁石同期電動機の磁極位置を検出する位置検出器を備え、
前記制御部は、該位置検出器によって検出された磁極位置から算出
された速度検出値と、前記第2のトルク指令値から求めたd軸および
q軸の電流指令値と、電流検出値と、モータ定数の設定値とに従い、
d軸およびq軸の電圧指令値の演算を行い、前記電力変換器の出力電
圧を制御することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項11]

請求項9記載のモータ制御装置において、
前記制御部は、前記第2のトルク指令値から求めたd軸およびq軸
の電流指令値と、電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値
とに従い、d軸およびq軸の電圧指令値の演算を行い、電力変換器の
出力電圧を制御し、
前記速度推定値を積分して求めた回転位相推定値と前記永久磁石同
期電動機の回転位相値との偏差である位相誤差が位相誤差の指令値に
一致するように前記速度推定値を演算することを特徴とするモータ制
御装置。

[請求項12]

請求項10に記載のモータ制御装置において、
前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を
備え、
該トルク推定値演算部は、
d軸の電圧指令値と電流検出値の乗算値とq軸の電圧指令値と電流
検出値の乗算値とを加算した第1の電力信号から、d軸およびq軸の

電流検出値をそれぞれ2乗した加算値に前記永久磁石同期電動機の抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、

該減算値を速度推定値で除算した結果に定数を乗じて前記トルク推定値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項13]

請求項10に記載のモータ制御装置において、

前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、

該トルク推定値演算部は、

前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に定数を乗じた第1の電力信号から、3相の電流検出値を各相毎に2乗した加算値にモータの抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、

該減算値を速度推定値で除算した結果に定数を乗じて前記トルク推定値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項14]

請求項10に記載のモータ制御装置において、

前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、

該トルク推定値演算部は、

前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に定数を乗じた第1の電力信号から、d軸およびq軸の電流検出値をそれぞれ2乗し、

それらを加算した値に、前記永久磁石同期電動機の抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、

該減算値を速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて前記トルク推定値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項15]

請求項9に記載のモータ制御装置において、

前記上位制御装置から与えられる前記第1のトルク指令値とトルク出力値の偏差は、永久磁石同期電動機の電流値の2乗に比例し、電動機速度に反比例することを特徴とするモータ制御装置。

- [請求項16] 永久磁石同期電動機と、
直流を3相交流に変換し、前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の出カトルクを可変する電力変換器と、
前記永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に前記電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有する作業機械であって、
前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、
該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うことを特徴とする作業機械。
- [請求項17] 請求項16記載の作業機械において、
前記作業機械は、ホイールローダであり、
該ホイールローダは、前記永久磁石同期電動機として、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、
前記走行駆動用モータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備え、
前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項11記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。
- [請求項18] 請求項16記載の作業機械において、
前記作業機械は、ホイールローダであり、
該ホイールローダは、前記永久磁石同期電動機として、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、
前記走行駆動用モータを制御するモータ制御装置及び前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備え

ることを特徴とする作業機械。

[請求項19]

請求項16記載の作業機械において、

前記作業機械は、油圧ショベルであり、

該油圧ショベルは、前記永久磁石同期電動機として、下部走行体に対して上部旋回体を旋回させる旋回モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、

前記旋回モータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備え、

前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項11記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。

[請求項20]

請求項16記載の作業機械において、

前記作業機械は、油圧ショベルであり、

該油圧ショベルは、前記永久磁石同期電動機として、下部走行体に対して上部旋回体を旋回させる旋回モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、

前記旋回モータを制御するモータ制御装置及び前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。

補正された請求の範囲
[2013年1月11日 (11.01.2013) 国際事務局受理]

[請求項1] (削除)

[請求項2] (補正後)

モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有するモータ制御装置であって、

前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定し、推定された前記モータのトルク推定値が、前記トルク指令値に一致するように前記モータに供給される電流を制御し、

前記制御部は、

前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、

d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、

該電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、

前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、位相誤差の指令値を算出する位相誤差指令演算部と、

前記位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値に、前記位相誤差推定演算部が出力する位相誤差推定値が一致するように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えることを特徴とするモータ制御装置。

[請求項3] 請求項2記載のモータ制御装置において、

前記トルク推定演算部は、

前記 d 軸電圧指令値と前記 d 軸電流検出値の乗算値と、前記 q 軸電圧指令値と前記 q 軸電流検出値の乗算値とを加算した第 1 の電力信号から、

d 軸および q 軸電流検出値をそれぞれ 2 乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第 2 の電力信号を減算し、

該減算値を前記速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項4]

請求項 3 記載のモータ制御装置において、

前記位相誤差推定演算部は、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差に積分ゲインを乗じて積分演算して、前記位相誤差の指令値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項5]

請求項 2 記載のモータ制御装置において、

前記トルク推定演算部は、

前記電力変換器に対する 3 相の電圧指令値と 3 相の電流検出値を、3 相の各相毎に乗算し、それら乗算値を加算した第 1 の電力信号から、

前記 3 相の電流検出値を各相毎に 2 乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第 2 の電力信号を減算し、

該減算値を該速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項6]

請求項 2 記載のモータ制御装置において、

前記トルク推定演算部は、

前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に、定数を乗じた第 1 の電力信号から、

前記 d 軸および q 軸電流検出値をそれぞれ 2 乗し、それらを加算した値に、前記モータの抵抗値を乗じた第 2 の電力信号を減算し、

該減算値を前記速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項7]

(補正後)

モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有するモータ制御装置であって、

前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定し、推定された前記モータのトルク推定値が、前記トルク指令値に一致するように前記モータに供給される電流を制御し、

前記制御部は、

前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、

d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、

前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、q軸インダクタンスの修正値を算出するq軸インダクタンス修正演算部と、

前記電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値と、前記q軸インダクタンスの修正値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、

該位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値が零となるように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えることを特徴とするモータ制御装置。

[請求項8]

請求項7記載のモータ制御装置において、

前記q軸インダクタンス修正演算部は、前記トルク推定演算部が推

定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差に積分ゲインを乗して積分演算して、前記q軸インダクタンス修正値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項9] 永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有し、

永久磁石同期電動機のトルク制御を行うモータ制御装置であって、前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、

該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うことを特徴とするモータ制御装置。

[請求項10] 請求項9記載のモータ制御装置において、

前記永久磁石同期電動機の磁極位置を検出する位置検出器を備え、前記制御部は、該位置検出器によって検出された磁極位置から算出された速度検出値と、前記第2のトルク指令値から求めたd軸およびq軸の電流指令値と、電流検出値と、モータ定数の設定値とに従い、d軸およびq軸の電圧指令値の演算を行い、前記電力変換器の出力電圧を制御することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項11] 請求項9記載のモータ制御装置において、

前記制御部は、前記第2のトルク指令値から求めたd軸およびq軸の電流指令値と、電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値とに従い、d軸およびq軸の電圧指令値の演算を行い、電力変換器の出力電圧を制御し、

前記速度推定値を積分して求めた回転位相推定値と前記永久磁石同期電動機の回転位相値との偏差である位相誤差が位相誤差の指令値に一致するように前記速度推定値を演算することを特徴とするモータ制

御装置。

[請求項12]

請求項10に記載のモータ制御装置において、
前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、
該トルク推定値演算部は、
d軸の電圧指令値と電流検出値の乗算値とq軸の電圧指令値と電流検出値の乗算値とを加算した第1の電力信号から、d軸およびq軸の電流検出値をそれぞれ2乗した加算値に前記永久磁石同期電動機の抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、
該減算値を速度推定値で除算した結果に定数を乗じて前記トルク推定値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項13]

請求項10に記載のモータ制御装置において、
前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、
該トルク推定値演算部は、
前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に定数を乗じた第1の電力信号から、3相の電流検出値を各相毎に2乗した加算値にモータの抵抗値を乗じた第2の電力信号を減算し、
該減算値を速度推定値で除算した結果に定数を乗じて前記トルク推定値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項14]

請求項10に記載のモータ制御装置において、
前記制御部は、前記トルク推定値を算出するトルク推定値演算部を備え、
該トルク推定値演算部は、
前記電力変換器の直流電圧と直流電流を乗算した結果に定数を乗じた第1の電力信号から、d軸およびq軸の電流検出値をそれぞれ2乗し、
それらを加算した値に、前記永久磁石同期電動機の抵抗値を乗じた

第2の電力信号を減算し、

該減算値を速度推定値で除算した結果に、定数を乗じて前記トルク推定値を算出することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項15]

請求項9記載のモータ制御装置において、

前記上位制御装置から与えられる前記第1のトルク指令値とトルク出力値の偏差は、永久磁石同期電動機の電流値の2乗に比例し、電動機速度に反比例することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項16]

永久磁石同期電動機と、

直流を3相交流に変換し、前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の実出力トルクを可変する電力変換器と、

前記永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に前記電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有する作業機械であって、

前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、

該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うことを特徴とする作業機械。

[請求項17]

請求項16記載の作業機械において、

前記作業機械は、ホイールローダであり、

該ホイールローダは、前記永久磁石同期電動機として、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、

前記走行駆動用モータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備え、

前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項11記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。

- [請求項18] 請求項16記載の作業機械において、
前記作業機械は、ホイールローダであり、
該ホイールローダは、前記永久磁石同期電動機として、車輪を駆動する走行駆動用モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、
前記走行駆動用モータを制御するモータ制御装置及び前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。
- [請求項19] 請求項16記載の作業機械において、
前記作業機械は、油圧ショベルであり、
該油圧ショベルは、前記永久磁石同期電動機として、下部走行体に対して上部旋回体を旋回させる旋回モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、
前記旋回モータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備え、
前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項11記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。
- [請求項20] 請求項16記載の作業機械において、
前記作業機械は、油圧ショベルであり、
該油圧ショベルは、前記永久磁石同期電動機として、下部走行体に対して上部旋回体を旋回させる旋回モータと、エンジンをアシストするアシストモータとを備え、
前記旋回モータを制御するモータ制御装置及び前記アシストモータを制御するモータ制御装置は、請求項10記載の制御部を備えることを特徴とする作業機械。

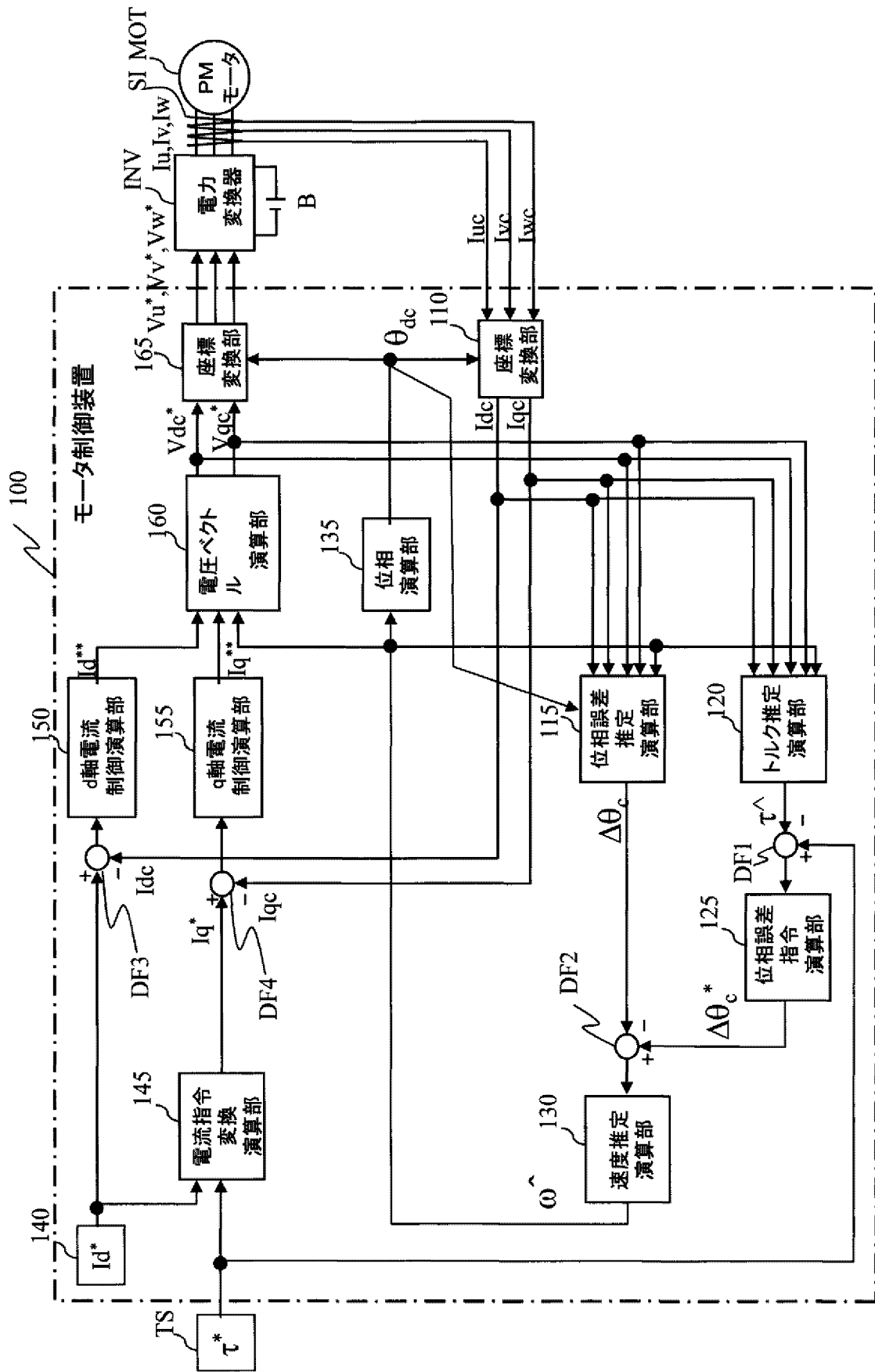
条約第 19 条（1）に基づく説明書

（1）請求項 2 を独立形式に補正し、請求項 1 を削除しました。

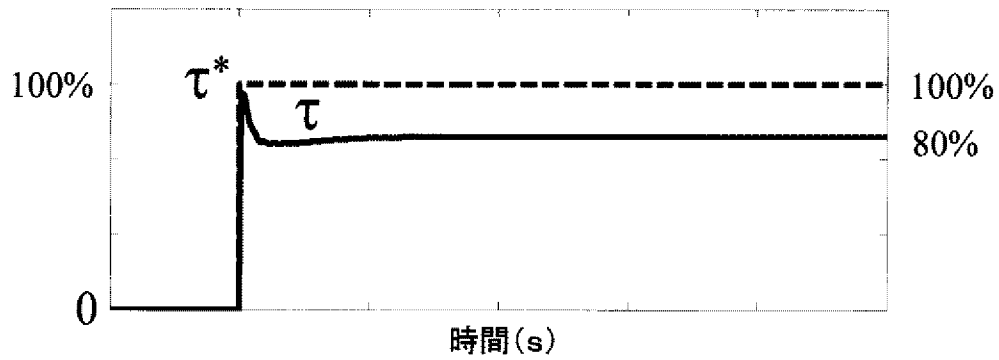
国際調査機関の見解書の第 V 欄には、「請求項 2 - 6 に係る発明は、国際調査報告で引用された文献に対しての新規性及び進歩性を有する」ことが記載されています。そこで、上記のように補正しました。

（2）請求項 1 の削除に伴い、請求項 7 を独立形式に補正しました。

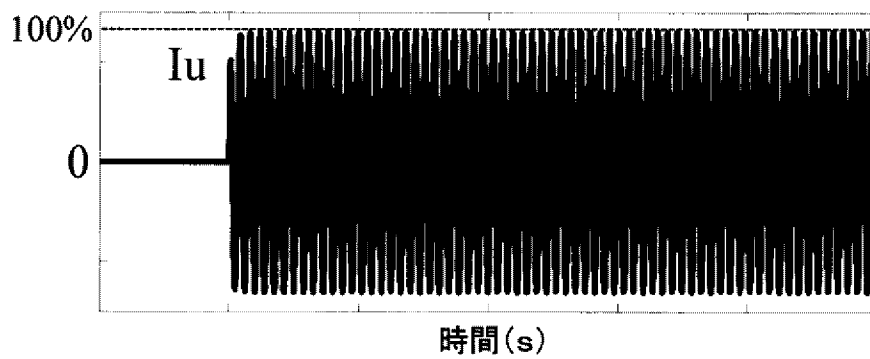
[図1]



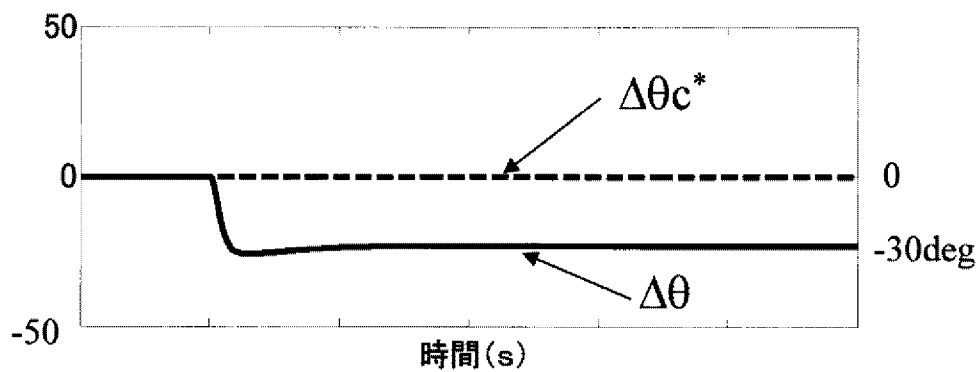
[図2A]



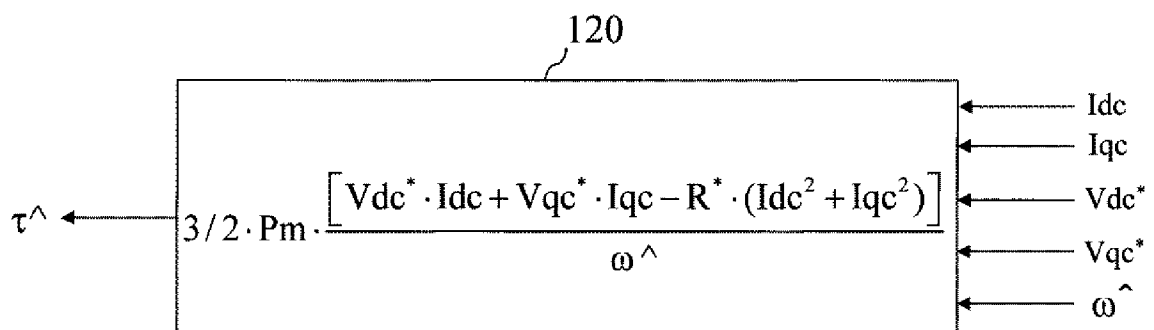
[図2B]



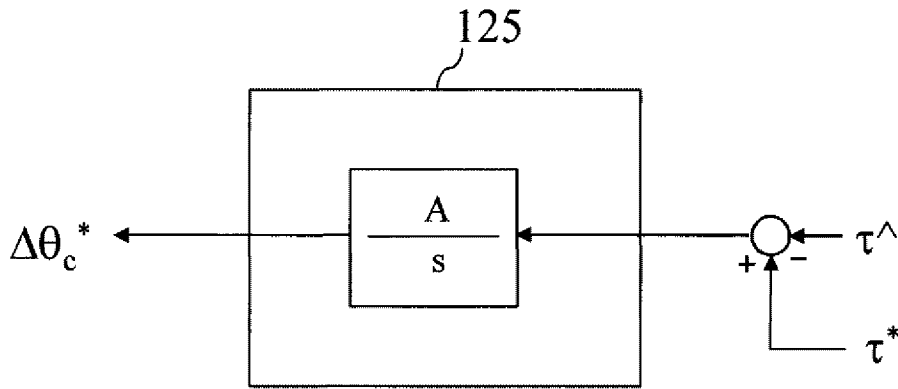
[図2C]



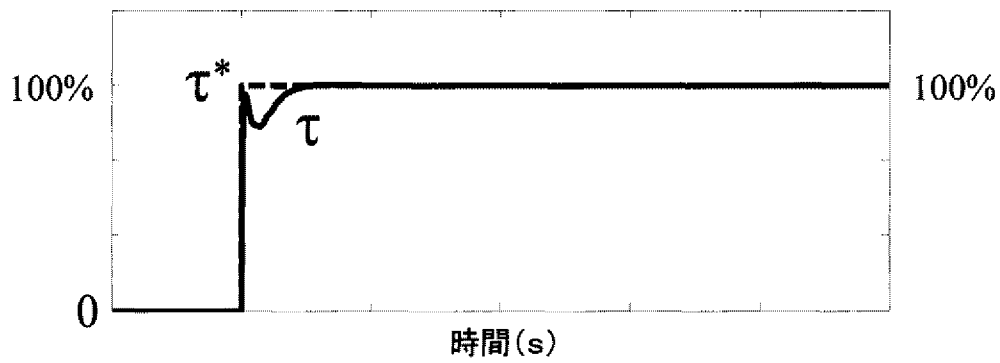
[図3]



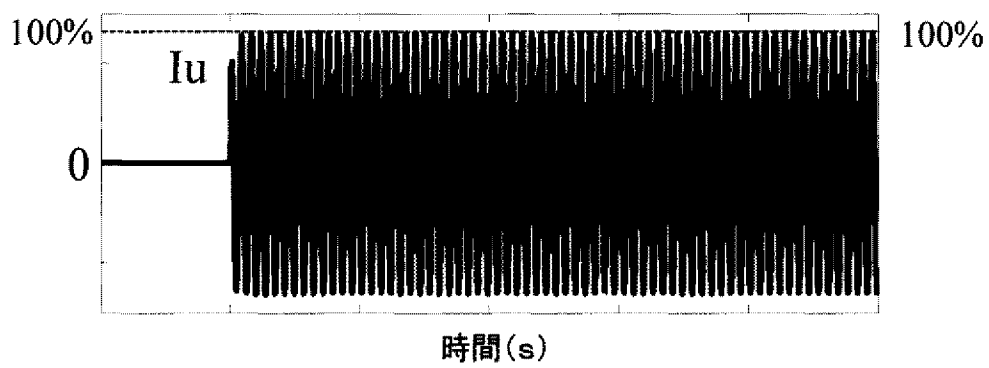
[図4]



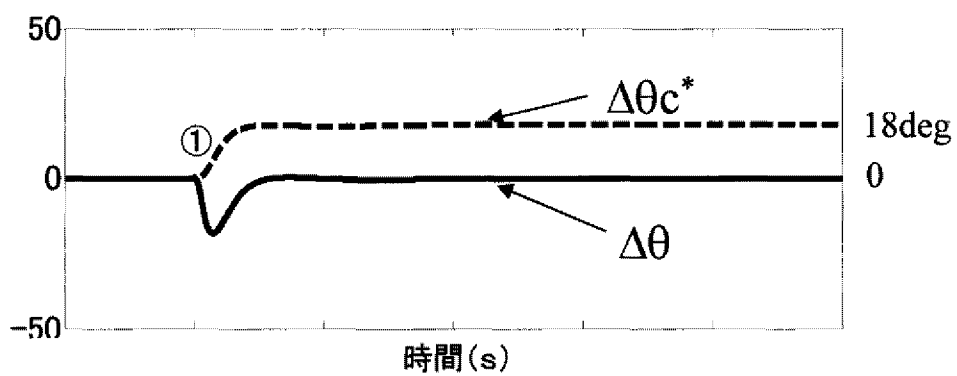
[図5A]



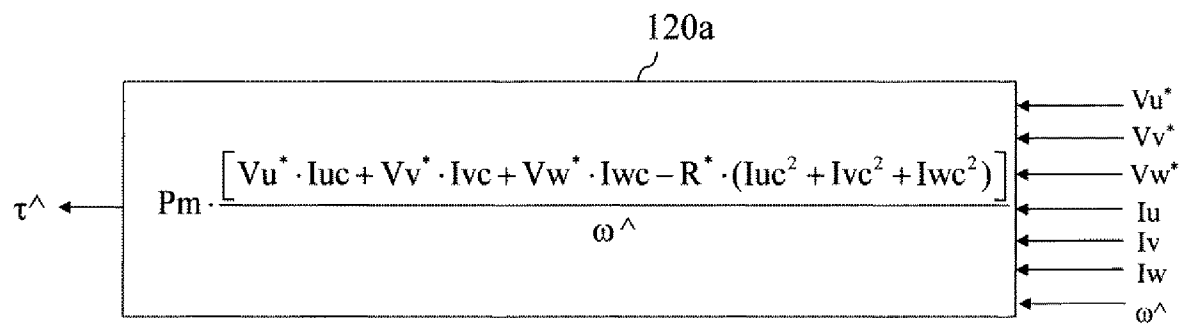
[図5B]



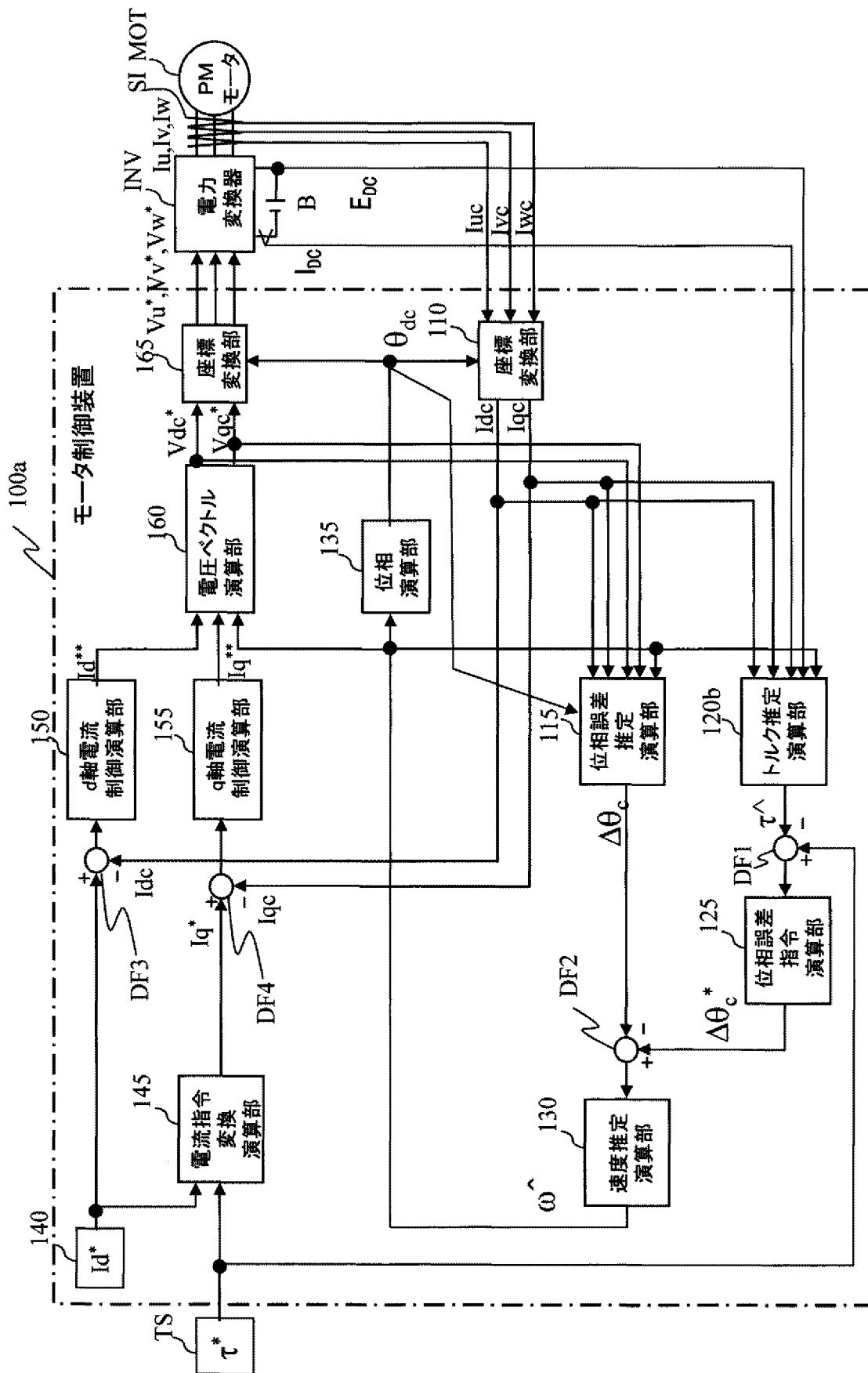
[図5C]



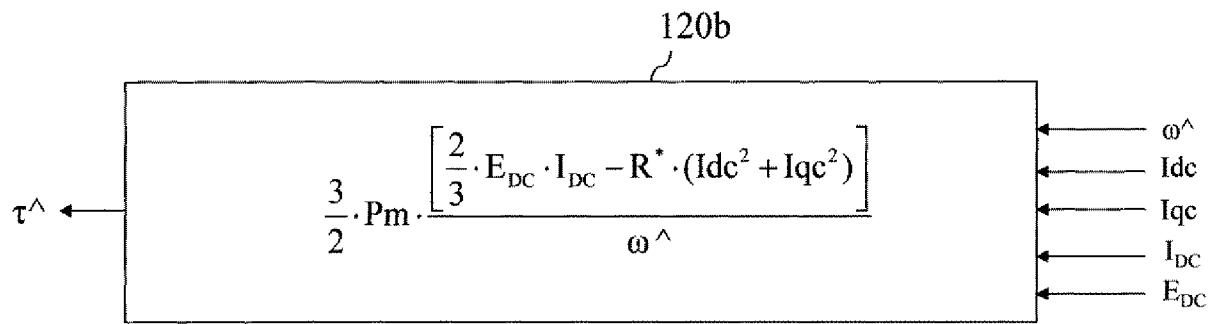
[図6]



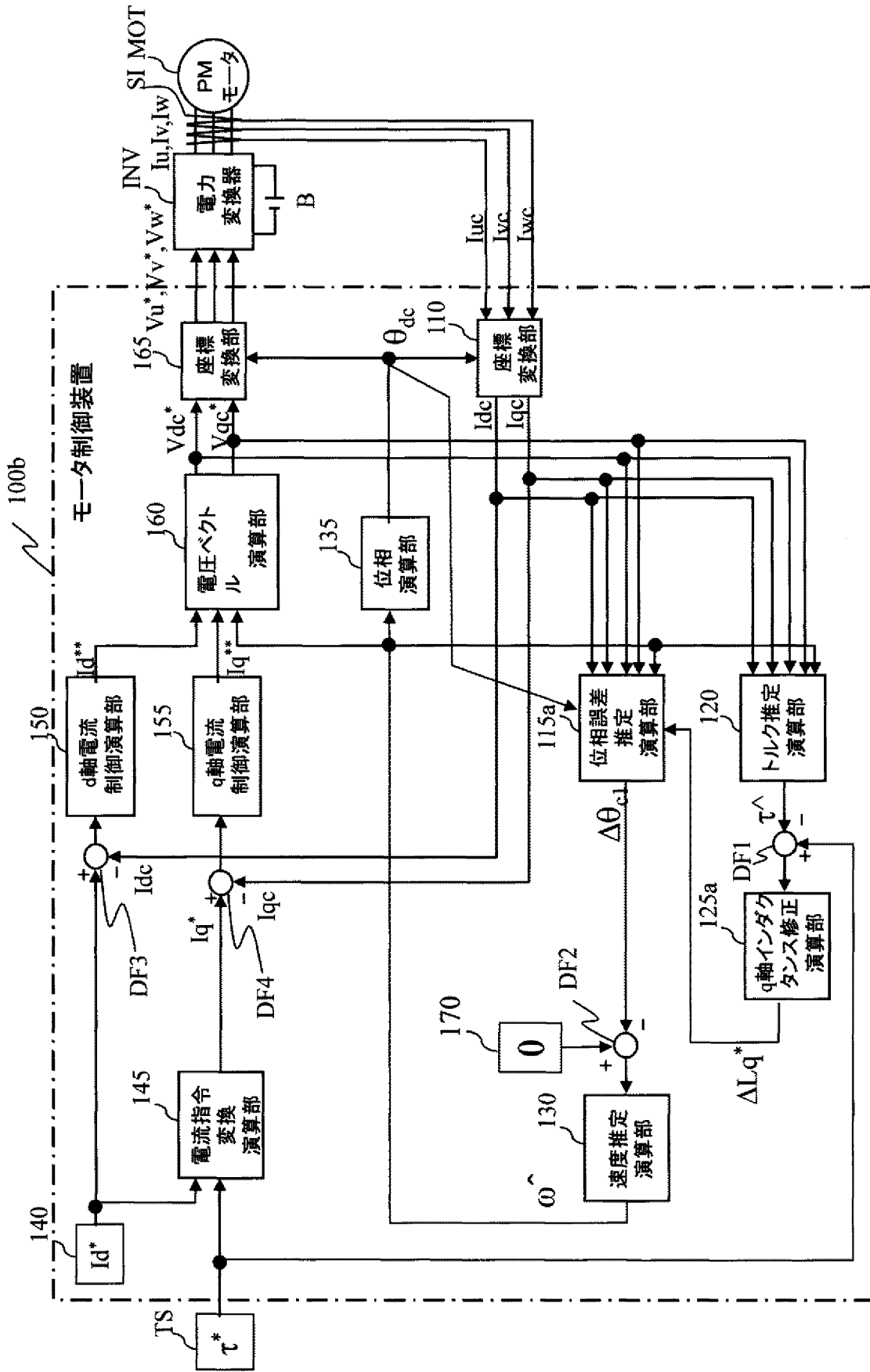
[図7]



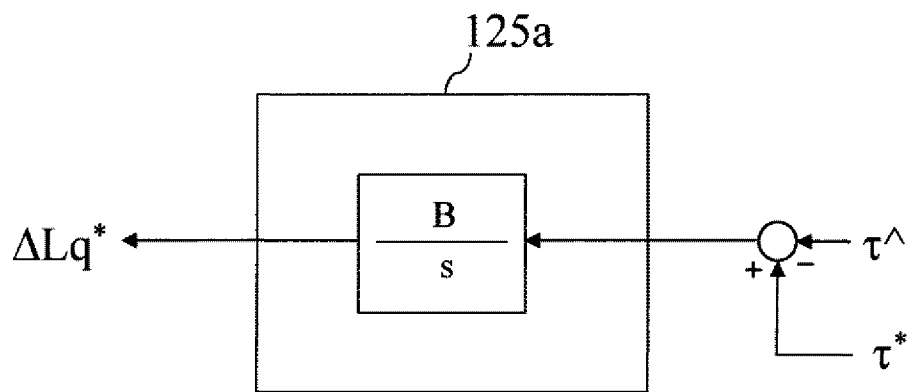
[図8]



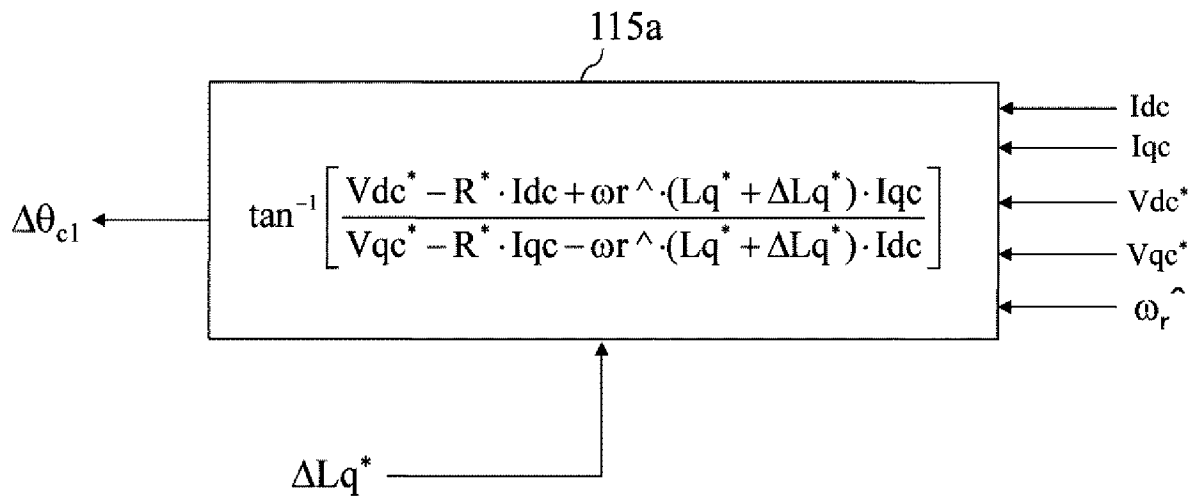
[図9]



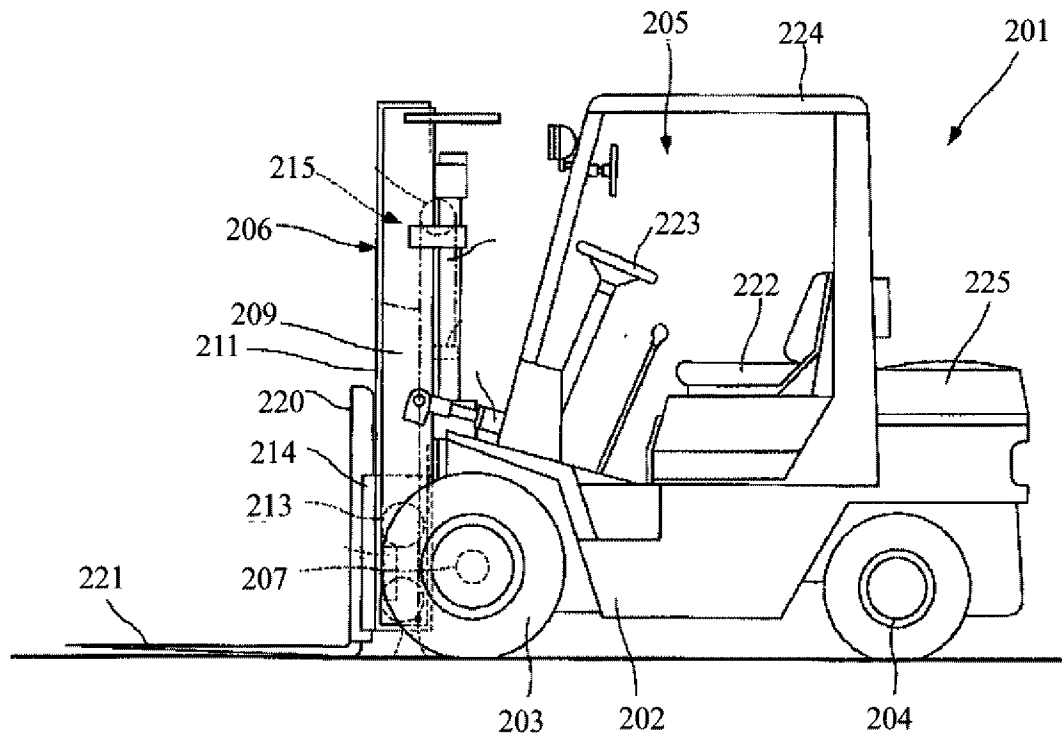
[図10]



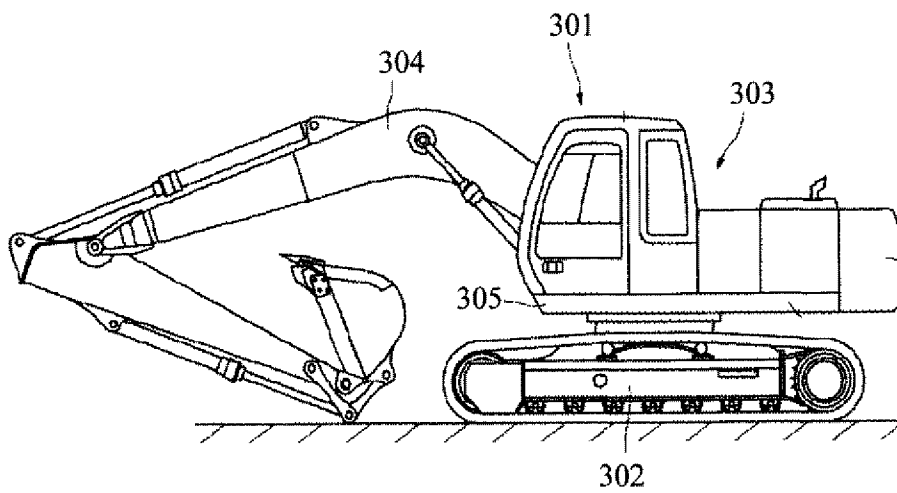
[図11]



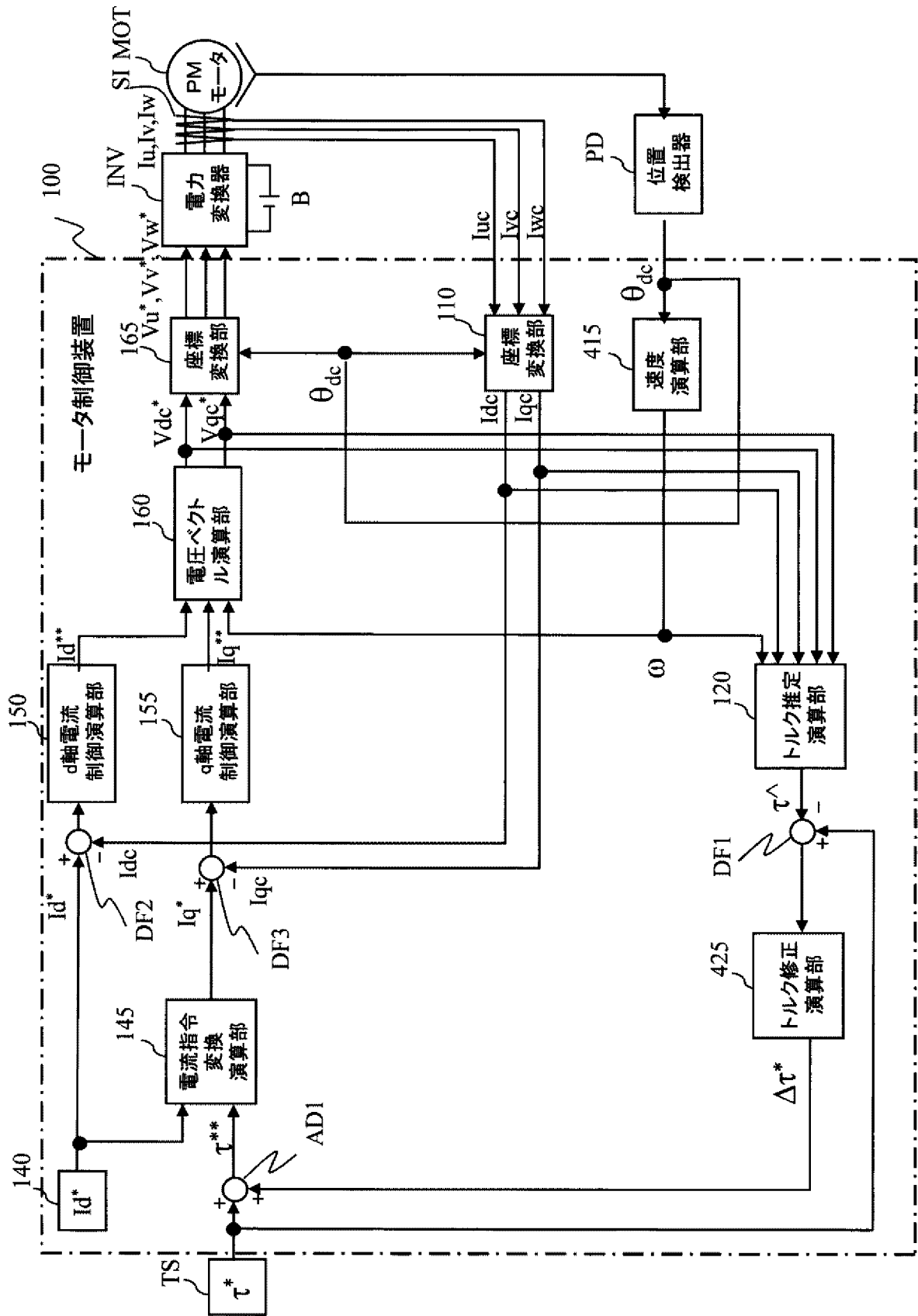
[図12]



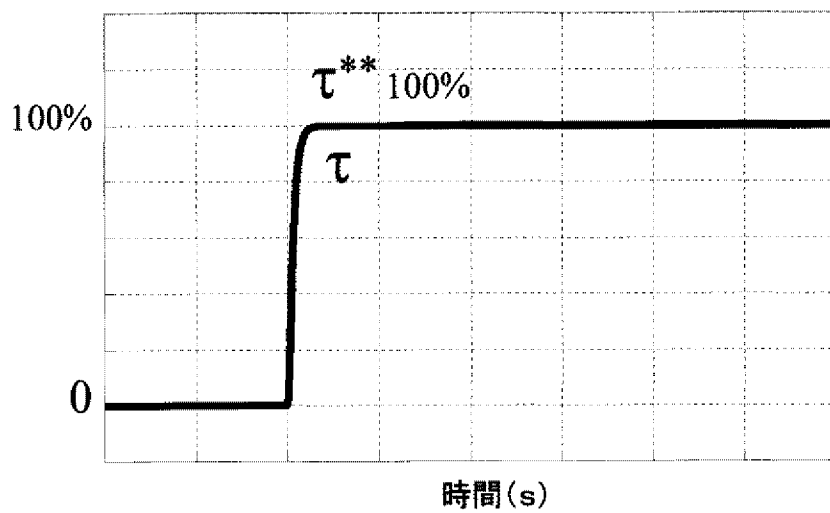
[図13]



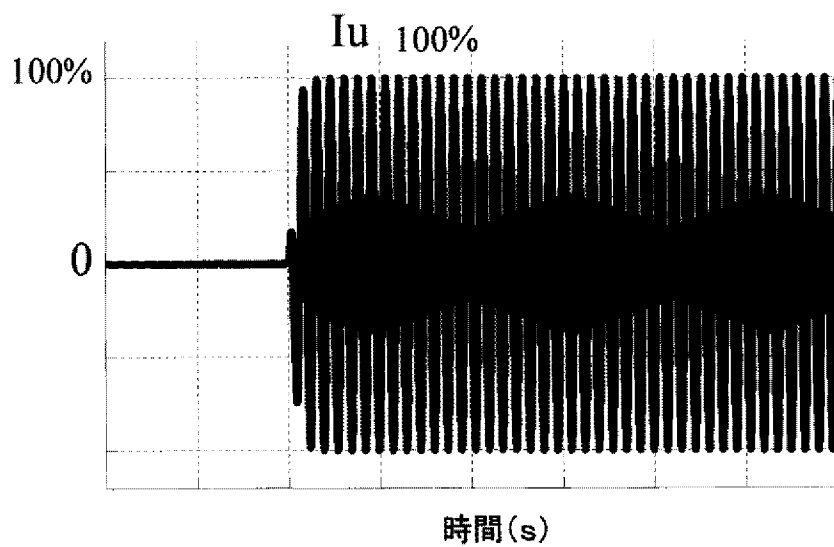
[図14]



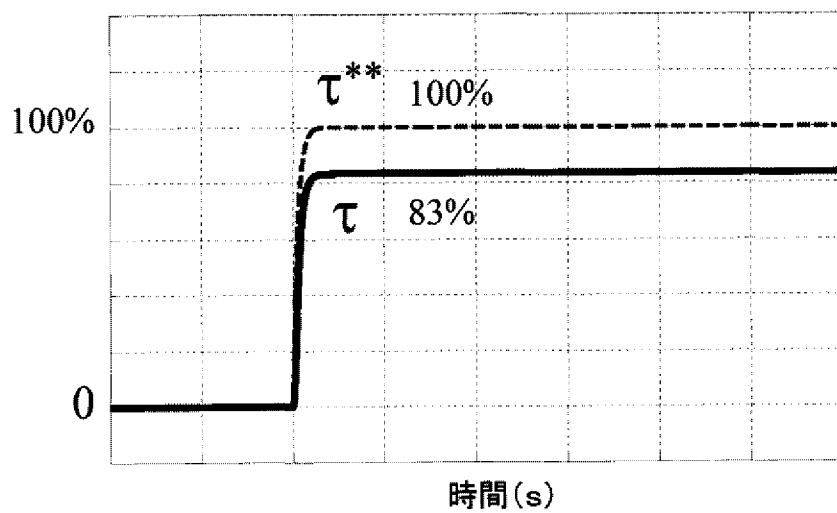
[図15A]



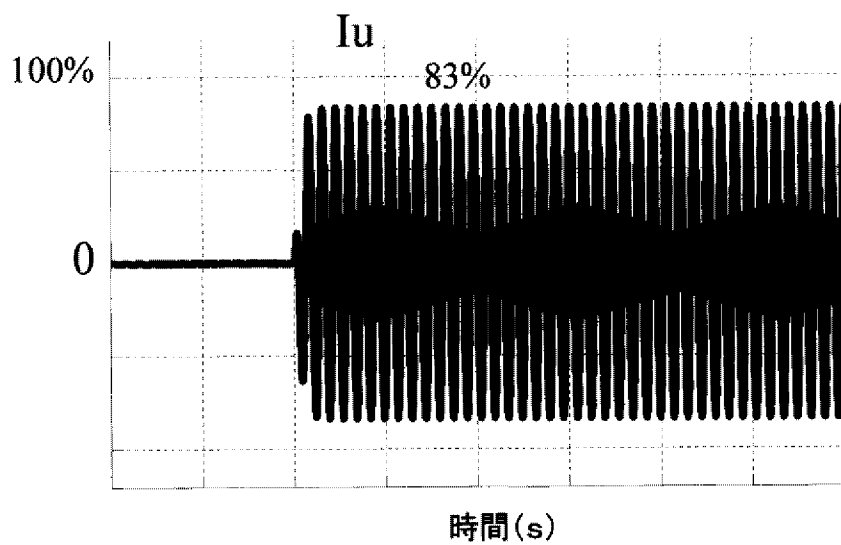
[図15B]



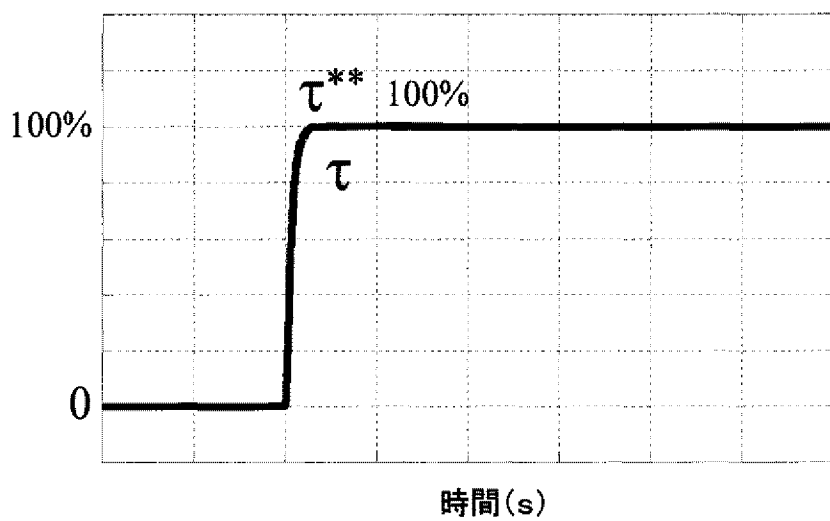
[図16A]



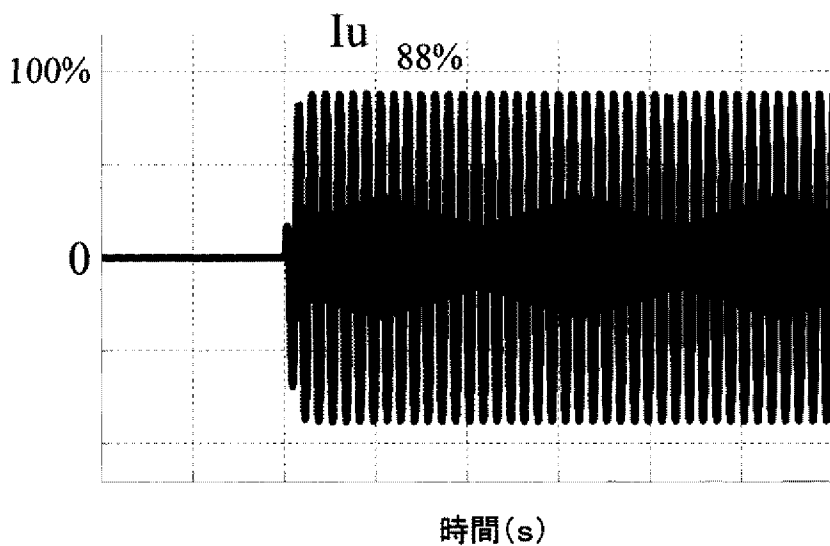
[図16B]



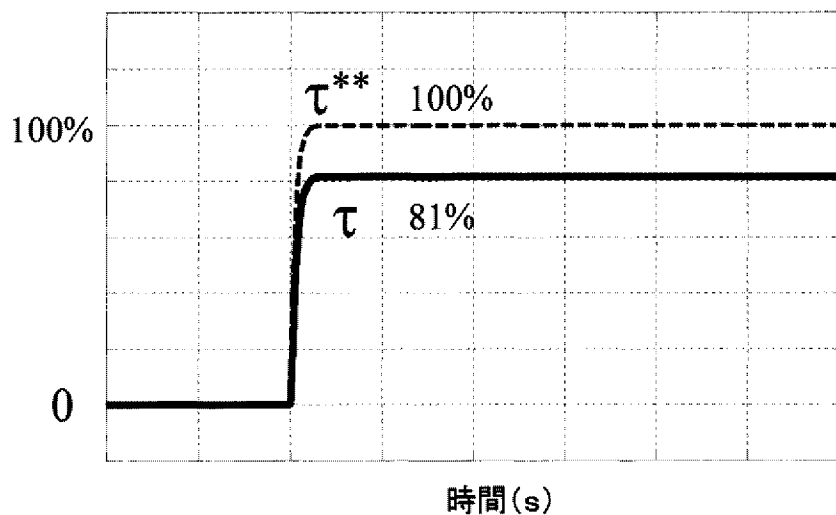
[図17A]



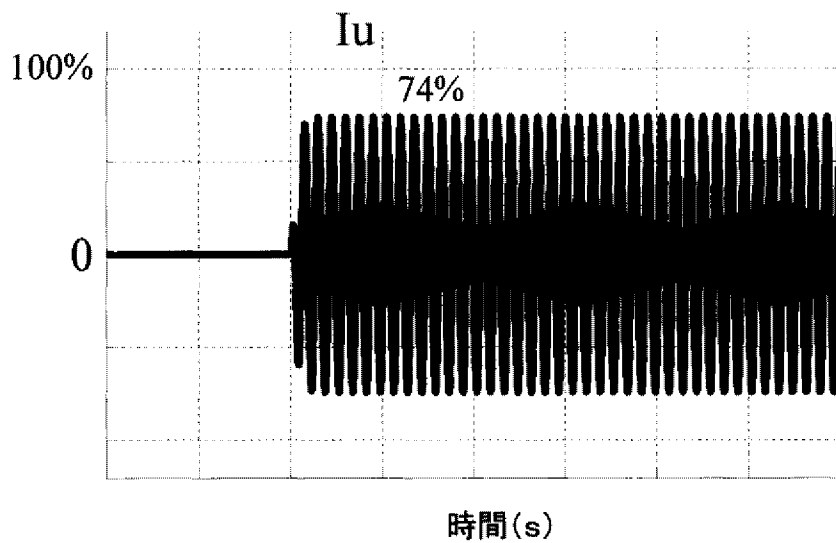
[図17B]



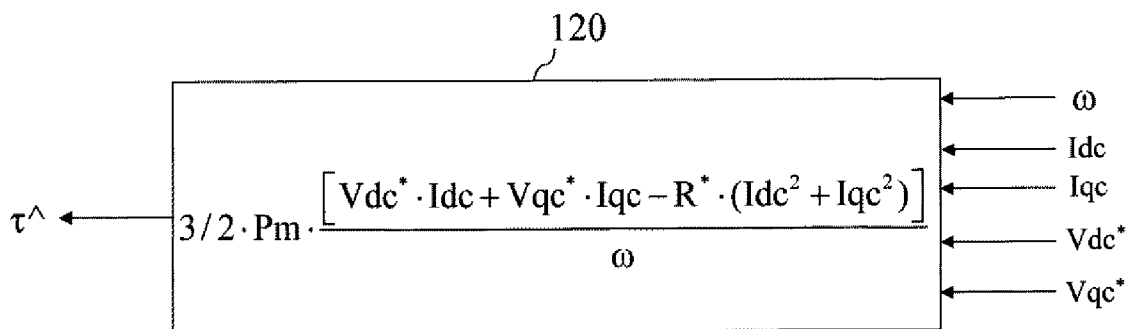
[図18A]



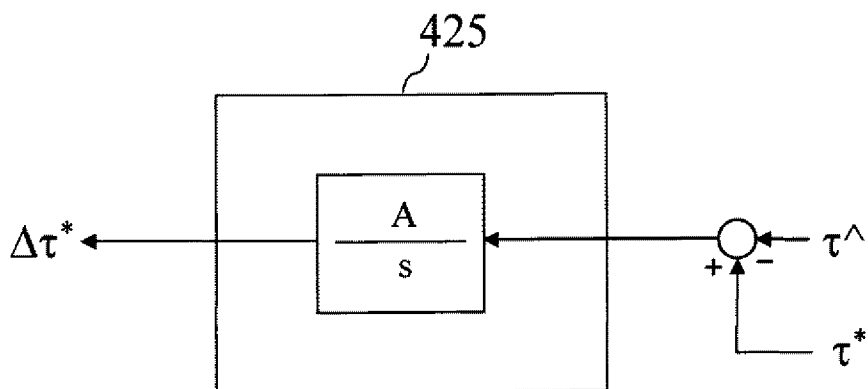
[図18B]



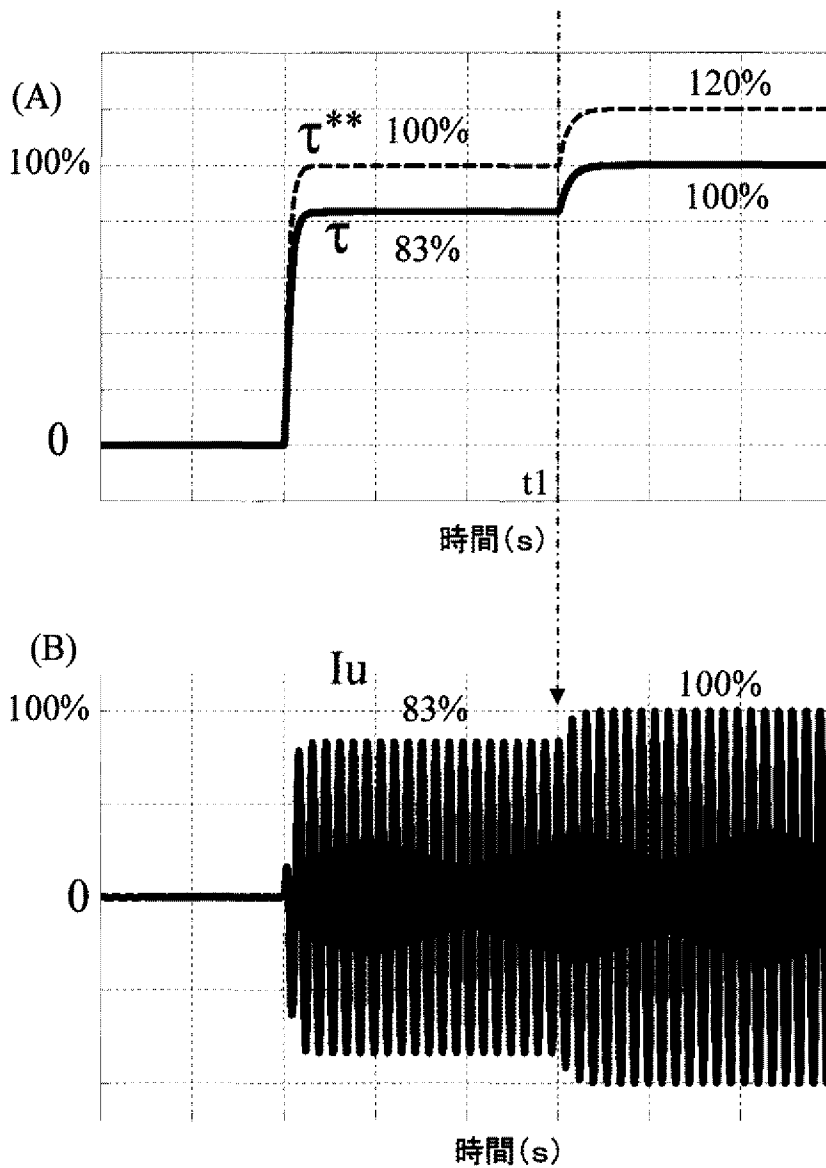
[図19]



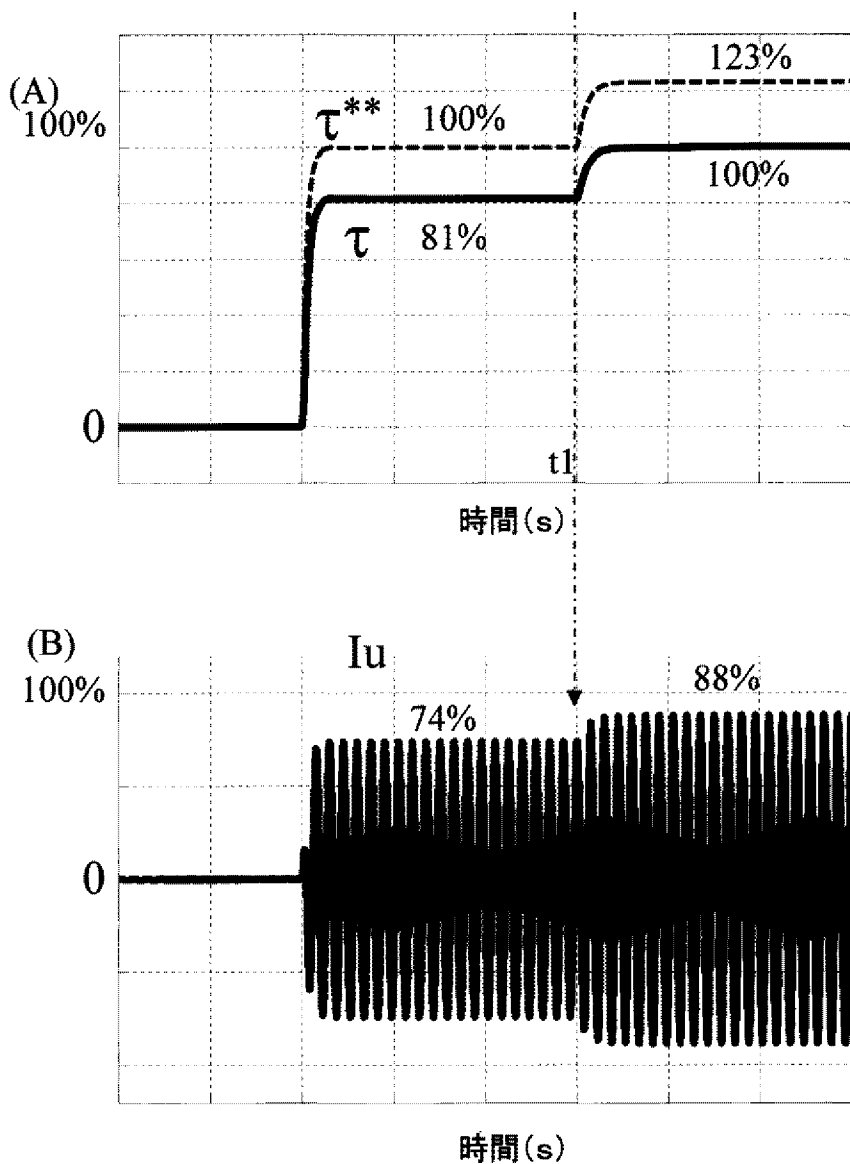
[図20]



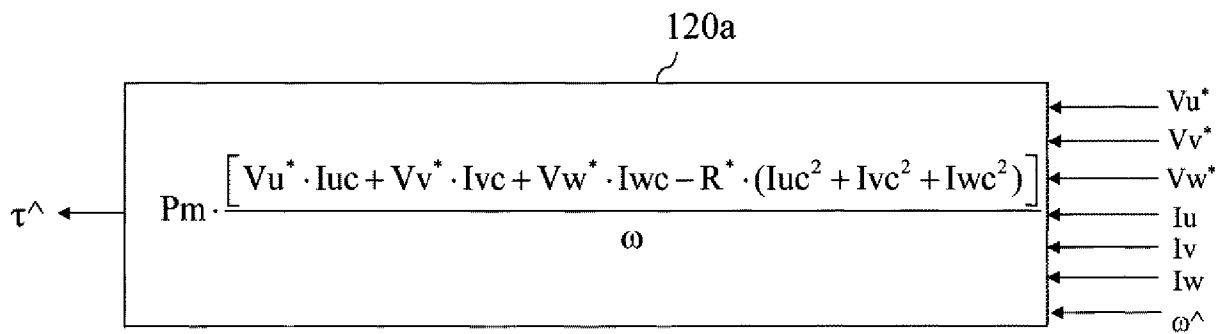
[図21]



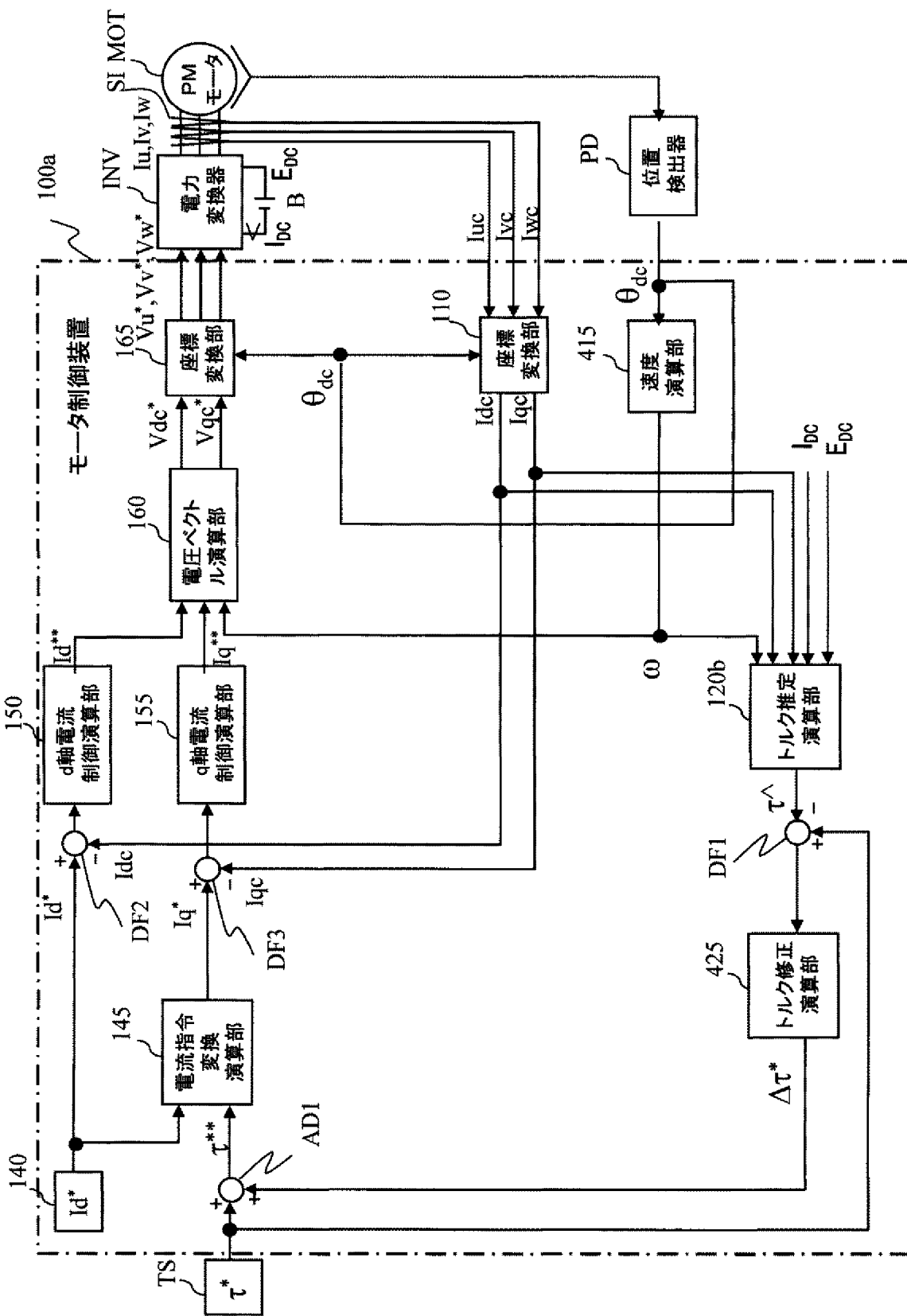
[図22]



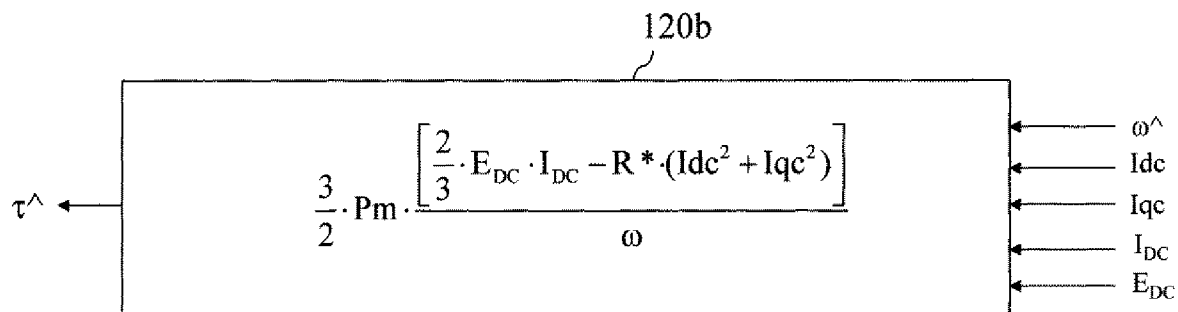
[図23]



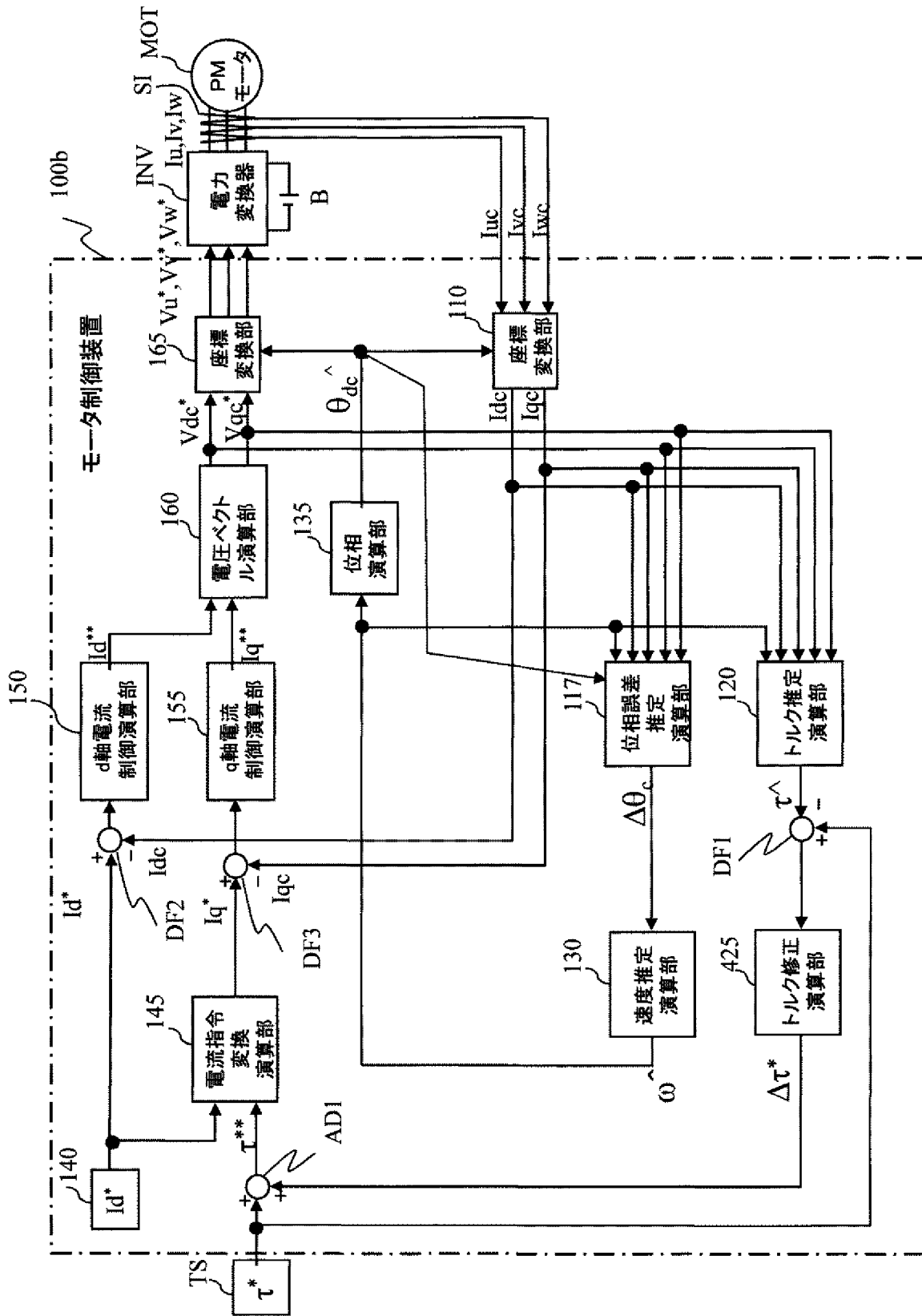
[図24]



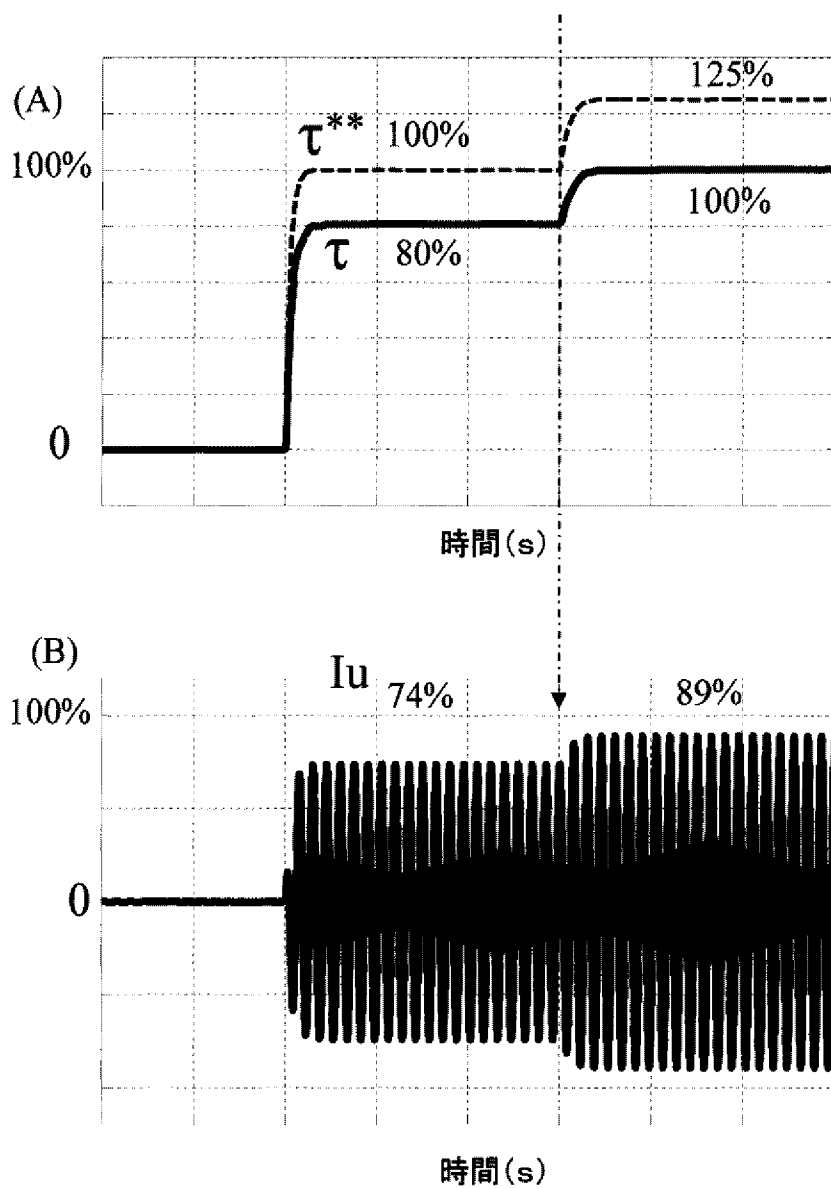
[図25]



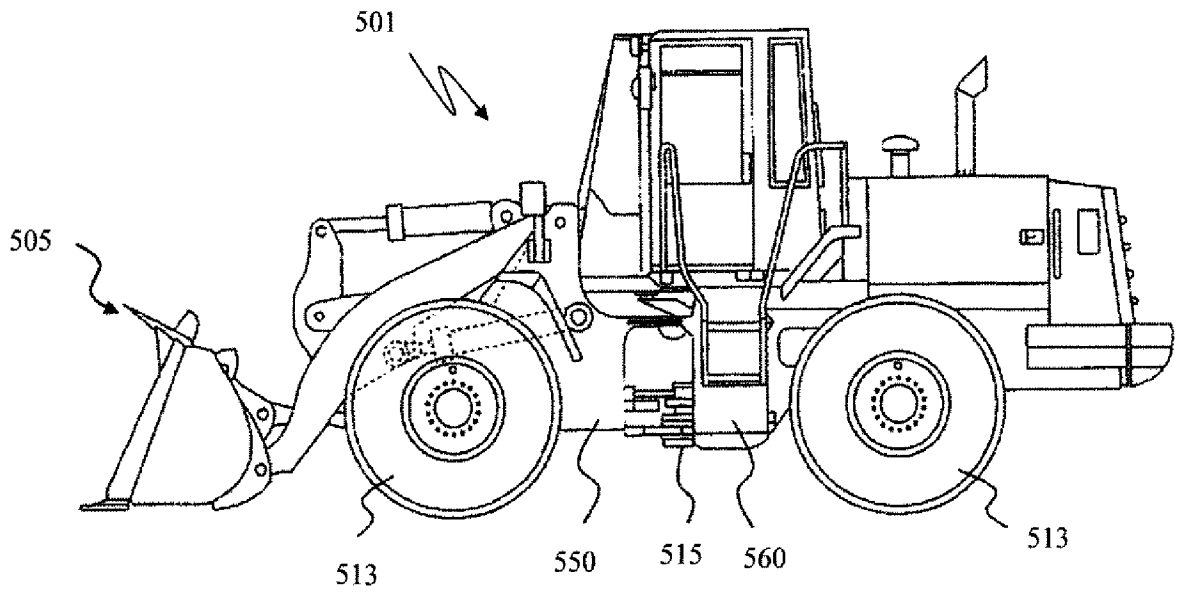
[図26]



[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070556

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P21/00 (2006.01) i, H02P27/04 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P21/00, H02P27/04

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 2007-159368 A (Toyota Motor Corp.), 21 June 2007 (21.06.2007), claims 1, 4; paragraphs [0008], [0014], [0078], [0094] to [0096] & US 2009/0237013 A1 & WO 2007/066182 A1 & KR 10-2008-0066986 A & CN 101326708 A | 1 2-6 |
| X A | JP 2010-63336 A (Denso Corp.), 18 March 2010 (18.03.2010), paragraph [0030] (Family: none) | 1 2-6 |

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
02 November, 2012 (02.11.12)

Date of mailing of the international search report
13 November, 2012 (13.11.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070556

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X A | JP 2009-290929 A (Fuji Electric Systems Co., Ltd.), 10 December 2009 (10.12.2009), claim 4; paragraphs [0011], [0016], [0020] to [0022] (Family: none) | 1 2-6 |
| X A | JP 2009-124811 A (Fuji Electric Systems Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), abstract; claim 1; paragraphs [0021], [0030], [0035] to [0041] (Family: none) | 1 2-6 |
| X A | JP 2006-311770 A (Toyota Motor Corp.), 09 November 2006 (09.11.2006), abstract; claim 1; paragraphs [0008], [0063] to [0076] (Family: none) | 1 2-6 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070556

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:

The invention of claim 1 and the inventions of claims 2-8 have a common technical feature with respect to the matter to define the invention in claim 1.

(Continued to 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.:
1-6

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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070556

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

Furthermore, the invention of claim 1 and the inventions of claims 9-15 have a common technical feature, i.e., "a motor controller having a control unit for providing control to a current supplied to a motor in a manner such that a current command value determined from a torque command value for the motor is consistent with a detected current value for a current supplied to the motor through a power converter, the motor controller being adapted to provide control on the basis of a torque estimate value and a torque command value."

Furthermore, the invention of claim 1 and the inventions of claims 16-20 have a common technical feature, i.e., "a technique having a control unit for providing control to a current supplied to a motor in a manner such that a current command value determined from a torque command value for the motor is consistent with a detected current value for a current supplied to the motor through a power converter, the technique being adapted to provide control on the basis of a torque estimate value and a torque command value."

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 1 (JP 2007-159368 A (Toyota Motor Corp.), 21 June 2007 (21.06.2007)), the document 2 (JP 2010-63336 A (Denso Corp.), 18 March 2010 (18.03.2010)), the document 3 (JP 2009-290929 A (Fuji Electric Systems Co., Ltd.), 10 December 2009 (10.12.2009)), the document 4 (JP 2009-124811 A (Fuji Electric Systems Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009)) and the document 5 (JP 2006-311770 A (Toyota Motor Corp.), 09 November 2006 (09.11.2006)).

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Accordingly, the following four inventions (invention groups) are involved in claims.

(Invention 1) the inventions of claims 1-6

A motor controller having a control unit for providing control to a current supplied to a motor in a manner such that a current command value determined from a torque command value for the motor is consistent with a detected current value for a current supplied to the motor through a power converter, the motor controller being characterized in that the control unit estimates torque outputted by the motor and provides control to the current supplied to the motor in a manner such that the torque estimate value estimated for the motor is consistent with the torque command value.

(Invention 2) the inventions of claims 7-8

(Continued to next extra sheet)

The motor controller of claim 1, characterized in that the control unit comprises: a torque estimate computing section for estimating torque outputted by the motor; a voltage vector computing section for computing d-axis and q-axis voltage command values on the basis of d-axis and q-axis current command values, d-axis and q-axis detected current values, a speed estimate value, and a motor constant setting; a q-axis modified inductance computing section for computing a modified value for a q-axis inductance on the basis of the deviation between the torque estimate value and the torque command value estimated by the torque estimate computing section; a phase error estimate computing section for outputting a phase error estimate value, the phase error estimate value being an estimate value for a phase error which is the deviation between a rotational phase estimate value of the motor and a rotational phase value of the motor, on the basis of the d-axis and q-axis voltage command values outputted by the voltage vector computing section, the speed estimate value, the d-axis and q-axis detected current values, the motor constant setting, and the q-axis inductance modified value; and a speed estimate computing section for outputting the speed estimate value in a manner such that a phase error command value outputted by the phase error command computing section takes on zero.

(Invention 3) the inventions of claims 9-15

A motor controller for providing torque control to a permanent-magnet synchronous motor, the motor controller having a control unit for providing control to a current supplied to the permanent-magnet synchronous motor in a manner such that a current command value determined from a torque command value for the permanent-magnet synchronous motor is consistent with a detected current value for a current supplied to the permanent-magnet synchronous motor through a power converter, the motor controller being characterized in that the control unit computes a second torque command value in a manner such that a torque estimate value determined from power information of the power converter is consistent with a first torque command value given by an upper level controller, and provides torque control according to the second torque command value.

(Invention 4) the inventions of claims 16-20

An engine-driven machine comprising: a permanent-magnet synchronous motor; a power converter for converting a direct current to a 3-phase alternating current for supply to the permanent-magnet synchronous motor so as to vary output torque from the permanent-magnet synchronous motor; and a control unit for providing control to a current supplied to the permanent-magnet synchronous motor in a manner such that a current command value determined from a torque command value for the permanent-magnet synchronous motor is consistent with a detected current value for a current supplied to the permanent-magnet synchronous motor through the power converter, the engine-driven machine being characterized in that the control unit computes a second torque command value in a manner such that a torque estimate value determined from power information of the power converter is consistent with a first torque command value given by an upper level controller, and provides torque control according to the second torque command value.

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, H02P27/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02P21/00, H02P27/04

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

| | |
|-------------|------------|
| 日本国实用新案公報 | 1922-1996年 |
| 日本国公開实用新案公報 | 1971-2012年 |
| 日本国实用新案登録公報 | 1996-2012年 |
| 日本国登録实用新案公報 | 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 2007-159368 A (トヨタ自動車株式会社) 2007.06.21, 請求項 1, 4, [0008], [0014], [0078], [0094]-[0096] & US 2009/0237013 A1 & WO 2007/066182 A1 & KR 10-2008-0066986 A & CN 101326708 A | 1 2-6 |
| X A | JP 2010-63336 A (株式会社デンソー) 2010.03.18, [0030] (ファミ リーなし) | 1 2-6 |

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

02.11.2012

国際調査報告の発送日

13.11.2012

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)

高橋 祐介

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

3V

3027

| 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 |
| X A | JP 2009-290929 A (富士電機システムズ株式会社) 2009. 12. 10, 請求項 4, [0011], [0016], [0020]-[0022] (ファミリーなし) | 1 2-6 |
| X A | JP 2009-124811 A (富士電機システムズ株式会社) 2009. 06. 04, 要約, 請求項 1, [0021], [0030], [0035]-[0041] (ファミリーなし) | 1 2-6 |
| X A | JP 2006-311770 A (トヨタ自動車株式会社) 2006. 11. 09, 要約, 請求項 1, [0008], [0063]-[0076] (ファミリーなし) | 1 2-6 |

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。

請求項1に係る発明と請求項2-8に係る発明は、請求項1に係る発明特定事項において共通の技術的特徴を有している。

また、請求項1に係る発明と請求項9-15に係る発明は、「モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有するモータ制御装置であって、トルク推定値及びトルク指令値に基づいて制御するモータ制御装置」という共通の技術的特徴を有している。

(特別ページに続く。)

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。

請求項1-6

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。

(第1ページの続葉 (1) 第Ⅲ欄の続き)

また、請求項1に係る発明と請求項16-20に係る発明は、「モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有する技術であって、トルク推定値及びトルク指令値に基づいて制御する技術」という共通の技術的特徴を有している。

しかしながら、当該技術的特徴は、文献1 (JP 2007-159368 A (トヨタ自動車株式会社) 2007. 06. 21)、文献2 (JP 2010-63336 A (株式会社デンソー) 2010. 03. 18)、文献3 (JP 2009-290929 A (富士電機システムズ株式会社) 2009. 12. 10)、文献4 (JP 2009-124811 A (富士電機システムズ株式会社) 2009. 06. 04)、文献5 (JP 2006-311770 A (トヨタ自動車株式会社) 2006. 11. 09)の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、ほかに同一の又は対応する特別の技術的特徴は存在しない。

そして、請求の範囲には、以下に示す4の発明(群)が含まれる。

(発明1) 請求項1-6に係る発明

モータに対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記モータに電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記モータに供給される電流を制御する制御部を有するモータ制御装置であって、前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定し、推定された前記モータのトルク推定値が、前記トルク指令値に一致するように前記モータに供給される電流を制御することを特徴とするモータ制御装置。

(発明2) 請求項7-8に係る発明

請求項1記載のモータ制御装置において、前記制御部は、前記モータが出力するトルクを推定するトルク推定演算部と、d軸及びq軸電流指令値と、d軸及びq軸電流検出値と、速度推定値と、モータ定数の設定値に基づいて、d軸及びq軸電圧指令値を算出する電圧ベクトル演算部と、前記トルク推定演算部が推定した前記トルク推定値と前記トルク指令値との偏差から、q軸インダクタンスの修正値を算出するq軸インダクタンス修正演算部と、前記電圧ベクトル演算部が出力するd軸及びq軸電圧指令値と、前記速度推定値と、前記d軸及びq軸電流検出値と、前記モータ定数の設定値と、前記q軸インダクタンスの修正値に基づいて、前記モータの回転位相の推定値と前記モータの回転位相値との偏差である位相誤差の推定値である位相誤差推定値を出力する位相誤差推定演算部と、該位相誤差指令演算部が出力する位相誤差の指令値が零となるように、前記速度推定値を出力する速度推定演算部とを備えることを特徴とするモータ制御装置。

(発明3) 請求項9-15に係る発明

永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有し、永久磁石同期電動機のトルク制御を行うモータ制御装置であって、前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うことを特徴とするモータ制御装置。

(発明4) 請求項 16-20 に係る発明

永久磁石同期電動機と、直流を3相交流に変換し、前記永久磁石同期電動機に供給して、前記永久磁石同期電動機の実出力トルクを可変する電力変換器と、前記永久磁石同期電動機に対するトルク指令値から求められた電流指令値が、前記永久磁石同期電動機に前記電力変換器を介して供給される電流に対する電流検出値に一致するように、前記永久磁石同期電動機に供給される電流を制御する制御部を有する作業機械であって、前記制御部は、上位制御装置から与えられる第1のトルク指令値に前記電力変換器の電力情報から求めたトルク推定値が一致するように、第2のトルク指令値を演算し、該第2のトルク指令値に従いトルク制御を行うことを特徴とする作業機械。