

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年8月31日 (31.08.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/090774 A1

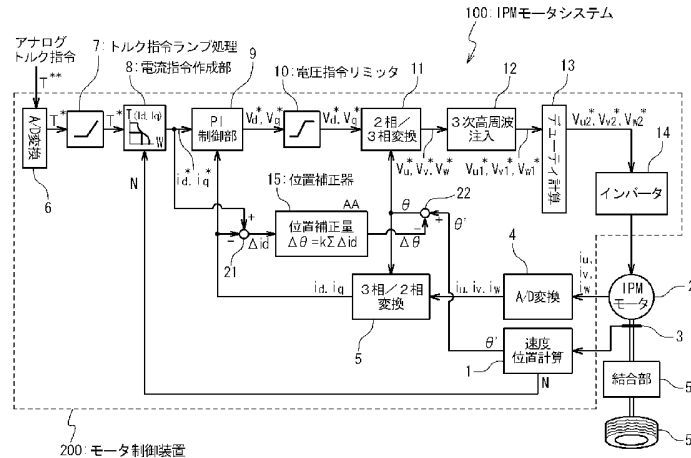
- (51) 国際特許分類:
H02P 6/20 (2006.01) H02P 6/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/303259
- (22) 国際出願日: 2006年2月23日 (23.02.2006)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2005-049633 2005年2月24日 (24.02.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5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): 中村 貢 (NAKA-MURA, Mitsugu) [JP/JP]; 〒4538515 愛知県名古屋市

- 中村区岩塚町字高道1番地 三菱重工業株式会社名古屋研究所内 Aichi (JP). 磯部 真一 (ISOBE, Shinichi) [JP/JP]; 〒4538515 愛知県名古屋市市中村区岩塚町字高道1番地 三菱重工業株式会社名古屋研究所内 Aichi (JP). 桜井 貴夫 (SAKURAI, Takao) [JP/JP]; 〒4538515 愛知県名古屋市市中村区岩塚町字高道1番地 三菱重工業株式会社名古屋研究所内 Aichi (JP). 白須 隆也 (SHIRASU, Takaya) [JP/JP]; 〒2291193 神奈川県相模原市田名3000番地 三菱重工業株式会社汎用機・特車事業本部内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH, Minoru); 〒1400013 東京都品川区南大井六丁目24番10号カドヤビル6階 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: IPM MOTOR SYSTEM AND ITS CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: IPMモータシステムとその制御方法



- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| T** ANALOG TORQUE COMMAND | 100 IPM MOTOR SYSTEM |
| 6 A/D CONVERSION | 14 INVERTER |
| 7 TORQUE COMMAND RAMP PROCESSING | 15 POSITION CORRECTOR |
| 8 CURRENT COMMAND GENERATING SECTION | AA POSITION CORRECTION AMOUNT |
| 9 PI CONTROL SECTION | 5 TWO-PHASE/THREE-PHASE CONVERSION |
| 10 VOLTAGE COMMAND LIMITER | 4 A/D CONVERSION |
| 11 TWO-PHASE/THREE-PHASE CONVERSION | N SPEED POSITION CALCULATION |
| 12 TERTIARY HARMONIC INJECTION | 2 IPM MOTOR |
| 13 DUTY CALCULATION | 50 COUPLING SECTION |
| | 200 MOTOR CONTROLLER |

(57) Abstract: An IPM motor system comprises a stator having a slot, an IPM (Interior Permanent Magnet) motor having a rotor with poles, and a controller for driving/controlling the rotor with respect to the stator. The estimation accuracy of the initial angular position of the rotor with respect to the stator is so determined as to be approximately equal to the angle step accuracy of the stable position of the rotor with respect to the stator attributed to the combination of the number of poles and the number of slots. Thus, an inexpensive IPM motor system with high drive efficiency and a method for controlling the IPM motor system are provided.

(57) 要約: IPMモータシステムは、スロットを備えた固定子と、極を備えた回転子とを有するIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、固定子に対する回転子の駆動制御を行う制御装置とを備えている。固定子に対する回転子の初期角

[続葉有]

WO 2006/090774 A1



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書・説明書

- (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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

IPMモータシステムとその制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、IPMモータシステムとその制御方法に関する。

背景技術

[0002] 油圧ポンプや車輪駆動方式の電動化が進み、DCモータよりも高効率化を目指してACモータが盛んに使用されるようになってきている。ACモータの中でも、特にIPM(Interior Permanent Magnet)モータの駆動効率が高く、また応答性に優れている。このため、近年IPMモータが盛んに使用されるようになってきている。IPMモータの駆動制御には、従来のDCモータやACモータ(誘導モータ)とは異なり、回転子の正確な位置情報が必要となる。

[0003] モータにおける回転子の位置情報を得るための従来技術として以下の位置検出装置が知られている。

(a)レゾルバ、エンコーダ

位置情報を得るためのレゾルバやZ相有りのエンコーダは、高価である上、種類に限られ、軸径によっては合うものがない。

(b)位置情報を得るためのホール素子+エンコーダパルス

2つの検出部が必要となり、ホール素子のための入力点数が増える。

(c)低分解能パルスエンコーダ+速度推定

低分解能パルスエンコーダの低分解能を補うために、速度を推定するアルゴリズムを組込む。このため計算量が多くなり、実用化が難しい。

(d)センサレス制御

計算量が多く、応答性、信頼性の点で実用化が難しい。

[0004] 上記した位置検出装置における回転子位置検出誤差は、モータにトルク誤差を生じさせる。回転子位置検出誤差の発生する要因としては、

(1)回転子初期位置の推定誤差

(2)パルス分解能の不足

(3)ハード的な検出の遅れ、ソフト的な速度計算の遅れ
などが挙げられる。

[0005] 従来の誘導モータでは、速度情報を得るために、主としてエンコーダやベアリングセンサが用いられてきた。一方、IPMモータでは、正確な位置情報を得るために、主としてレゾルバが用いられているが、価格が高価である。

このため、油圧ポンプや車輪駆動方式の高効率な電動化を安価に実現するためには、安価な位置検出装置を用いて、且つ、回転子の位置制御を精度良く行うことのできるIPMモータなどのACモータの実現が求められている。

[0006] 上記の説明と関連して、特開平5-146188号公報には「電動機の世界速度制御装置」が開示されている。この第1従来例の電動機の世界速度制御装置では、速度検出器は電動機の世界速度をパルス出力として送る。速度推定オブザーバは、最小次元の負荷トルク推定値オブザーバを速度制御周期と速度検出周期とにおける離散系モデルに変換し、速度検出器から出力されるパルス間隔での速度を推定する。特に、速度推定オブザーバでは、第1演算部は、トルク指令と負荷トルク推定値との偏差をオブザーバモデル機械時定数で積分したモデル出力推定値を計算し、第2演算部は、第1演算部で得られたモデル出力推定値からパルス間隔における平均値を計算する。第1偏差部は、第2演算部の出力と速度検出器から出力されるパルス変化時に求まる平均値速度との偏差を算出する。オブザーバゲイン部は、第1偏差部で得られる偏差値をオブザーバゲイン倍して負荷トルク推定値を計算する。第2偏差部は、第1演算部のモデル出力推定値と第1偏差部の偏差値との偏差を計算し、第3偏差部は、第2偏差部で求められた速度推定値と速度設定値との偏差を計算する。速度アンプには第3偏差部で求められた偏差値が供給され、加算部は、速度アンプの出力とオブザーバゲイン部の負荷トルク推定値とを加算してトルク指令を得ている。電動機の世界速度制御装置では、予測速度演算部は、速度検出器から出力されるパルスが入力されるまで速度制御周期毎に予測速度を演算し、コンパレータは、演算部で演算された予測速度と第2偏差部で求められた速度推定値が供給され、第2偏差部から出力される速度推定値が予測速度より大きくなったとき、オン出力を送出し、予測速度が速度推定値より大きいか等しくなったとき、オフ出力を送出する。切替接点は、このコ

ンパレータがオン出力を送出したときは、予測速度を第3偏差部に供給し、コンパレータがオフ出力を送出したときは、速度推定値を第3偏差部に供給する。

[0007] また、特開平8-54205号公報には、「回転電機の回転位置検出装置」が開示されている。この従来例の回転電機の回転位置検出装置では、円板は、電気角で180°毎に1つの状態とこれと異なる他の状態とが円周方向に隣接して交互に繰返すように構成され、回転電機の回転軸に固着されている。3個のセンサは、円周方向に機械角で相互に120°隔てた位置にそれぞれ配設され、円板の回転に伴う1つの状態と他の状態とを検出し、各状態に対応する2値信号をそれぞれ送出する。ロータリエンコーダは、回転軸の正転、逆転を表わす情報とともに絶対位置間を細分割する回転角度に応じた数のパルスを発生するようにこの回転軸に取付けた円板部及びこの円板部に近接して配設したセンサ部を有する。演算部は、3個のセンサが送出する2値信号の組合せにより電気角で60°毎の回転軸の絶対位置を検出するとともに、この絶対位置を表わす信号とロータリエンコーダのセンサ部の出力信号である隣接する絶対位置間の相対位置を表わす信号とを処理して回転軸の回転位置を計算する。

[0008] また、特開2002-44910号公報には、「モータの回転検出機構」が開示されている。この従来例のモータの回転検出機構は、モータの回転数を検出するセンサ部とモータ軸を支持するベアリング部とが一体化されたベアリングセンサを備えている。ベアリングセンサがプレート部材によってモータのエンドカバーに取り付けられている。ベアリング部は、モータのエンドカバーに形成された第1凹部に嵌合しているとともに、エンドカバーより内側へ突出している。プレート部材に、突出したベアリング部のコーナーと嵌合する第2凹部が形成されている。

[0009] また、特開平9-238495号公報には、「電気角検出装置および同期モータの駆動装置」が開示されている。この従来例の同期モータの電気角検出装置では、多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子が回転させられる。記憶部は、多相の各巻線に電流が流れる組合わせに対して所定の電圧が印加されるとき、印加された電圧に応じて多相の各巻線に流れる電流の挙動と電気角との関係を予め格納している。電圧印加部は、組合わせに対して電

圧を印加し、検出部は、電圧印加部により印加された電圧によって多相の各巻線に流れる電流の挙動を各々検出する。電気角演算部は、検出部により検出された各巻線の電流の挙動に基づいて、記憶部に記憶された関係を参照し、モータの電気角を $0 \sim 2\pi$ の間で求める。

- [0010] また、特開2004-018190号公報には、「揚高検出装置およびそれを備えるリフトトラック」が開示されている。この従来例の揚高検出装置では、回転検出部は、昇降体に設けられた回転自在な昇降案内ローラの回転数を検出する。移動量導出部は、昇降案内ローラの回転数に基づいて演算により昇降体の昇降移動量を導出する。揚高導出部は、昇降移動量を累算して昇降体の現在の揚高を導出する。

発明の開示

- [0011] 本発明の目的は、安価で駆動効率の高いIPM (Interior Permanent Magnet) モータシステム、およびIPMモータの制御方法を提供することである。

- [0012] 本発明の観点では、IPMモータシステムは、スロットを有する固定子と、極を有する回転子とを備えてIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、前記IPMモータの駆動制御を行う制御装置とを具備する。前記制御装置における、前記固定子に対する前記回転子の初期位置の角度推定読み込み精度と、前記極の数および前記スロットの数の組み合わせによる前記固定子に対する前記回転子の安定位置の角度刻み精度とが概ね等しい。

ここで、前記固定子のスロット数は、 m (3以上の正整数) であり、前記回転子の極数は n ($n < m$ である2以上の正整数) であり、前記安定位置の角度刻みは、 $360 / 2m$ であり、好ましくは、前記固定子は15個のスロットを備え、前記回転子は10個の極を備える。

また、IPMモータシステムは、前記回転子に接続された回転軸に設けられ、前記固定子に対する前記回転子の前記初期位置からの移動量を検出するベアリングセンサーを更に具備することが好ましい。

前記制御装置は、前記ベアリングセンサーからの出力から回転数と測定位相角を出力する計算部と、前記回転数とトルク指令とに基づいてd軸電流指令とq軸電流指令を生成する電流指令生成部と、前記IPMモータの3相モータ電流から測定d軸電

流と測定q電流とを生成する測定部と、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、および前記測定q電流から2相電圧指令を生成する電圧指令生成部と、補正後位相角と前記2相電圧指令とから3相電圧指令を生成する指令変換部と、前記3相電圧指令に基づいて前記IPMモータを駆動する駆動部と、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、前記測定q電流、及び測定位相角とから前記補正後位相角を生成する補正部とを具備する。

前記補正部は、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、及び前記測定q電流から補正值を計算し、前記補正值と測定位相角とから前記補正後位相角を生成する。特に、前記補正部は、以下の式に基づいて、補正值 $\Delta\theta$ を計算する。

$$\Delta\theta = k \Sigma (i_d^* - i_{d,fb})$$

ここで、k;ゲイン

i_d^* ;前記d軸電流指令

$i_{d,fb}$;前記測定d軸電流

IPMモータシステム。

前記kの値は、前記IPMモータのトルク負荷に基づいて決定され、前記kの値は、前記トルク負荷が増大するに連れて、小さい値に設定される。前記回転子が低速回転のときには、前記kの値は小さい値に設定され、前記回転子が高速回転のときには、前記kの値は大きい値に設定される。

[0013] 本発明の他の観点では、IPMモータシステムの制御方法は、スロットを有する固定子と、極を有する回転子とを備えてIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、前記IPMモータの駆動制御を行う制御装置とを提供することと、前記固定子に対する前記回転子の初期位置の角度推定読み込み精度と、前記極の数および前記スロットの数の組み合わせによる前記固定子に対する前記回転子の安定位置の角度刻み精度とが概ね等しい状態で、前記制御装置により前記IPMモータを制御することにより達成される。

ここで、前記固定子のスロット数は、m (3以上の正整数) であり、前記回転子の極数はn (n < mである2以上の正整数) であり、前記安定位置の角度刻みは、 $360/2m$

である。mた、前記固定子は15個のスロットを備え、前記回転子は10個の極を備えることが好ましい。

IPMモータシステムの制御方法は、更に、前記回転子に接続された回転軸に設けられたベアリングセンサーにより、前記固定子に対する前記回転子の前記初期位置からの移動量を検出することにより達成されてもよい。

前記制御するステップは、前記ベアリングセンサーからの出力から回転数と測定位相角を出力し、前記回転数とトルク指令とに基づいてd軸電流指令とq軸電流指令を生成し、前記IPMモータの3相モータ電流から測定d軸電流と測定q電流とを生成し、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、および前記測定q電流から2相電圧指令を生成し、補正後位相角と前記2相電圧指令とから3相電圧指令を生成し、前記3相電圧指令に基づいて前記IPMモータを駆動し、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、前記測定q電流、及び測定位相角とから前記補正後位相角を生成することにより達成されてもよい。

また、前記補正後位相角を生成するステップは、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、及び前記測定q電流から補正值を計算し、前記補正值と測定位相角とから前記補正後位相角を生成することにより達成されてもよい。

前記補正後位相角を生成するステップは、以下の式に基づいて、補正值 $\Delta \theta$ を計算するステップを具備してもよい。

$$\Delta \theta = k \Sigma (i_d^* - i_{d,fb})$$

ここで、k;ゲイン

i_d^* ;前記d軸電流指令

$i_{d,fb}$;前記測定d軸電流

前記補正後位相角を生成するステップは、前記IPMモータのトルク負荷に基づいて前記kの値を決定することにより達成されてもよい。ここで、前記kの値は、前記トルク負荷が増大するに連れて、小さい値に設定され、前記回転子が低速回転のときには、前記kの値は小さい値に設定され、前記回転子が高速回転のときには、前記kの値は大きい値に設定される。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、本発明の実施例によるIPMモータシステムの構成を示す図である。

[図2]図2は、本発明の実施例で使用されるIPMモータの断面を示す図である。

[図3]本発明の実施例によるIPMモータにおける回転子の安定点を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0015] 以下に、添付図面を参照して、本発明によるIPMモータシステムを詳細に説明する。

[0016] 本発明のIPMモータシステムは、スロットを備えた固定子と、極を有する回転子とを備えるIPMモータと、固定子に対する回転子の駆動制御を行うモータ制御装置とを備えている。回転子の角度位置の検出には、安価なベアリングセンサが用いられる。固定子に対する回転子の初期角度位置の推定精度を、極の数およびスロットの数の組み合わせにより生じる、固定子に対する回転子の安定位置の角度刻み精度と概ね等しくなるように選択する。これにより、モータ制御装置は、精度良く回転子の角度位置情報を取得し、回転子の位置制御を実施することができる。さらに、回転子に外部トルクが負荷されるときには、モータ制御装置により外部トルクの大きさに基づいた回転子の角度位置の補正量が求められ、この補正量に基づいて回転子の角度位置が補正される。これにより、安価で高効率のIPMモータシステムを実現することが出来る。

[0017] 図1は、本発明の実施例による3相IPMモータシステムの構成を示すブロック図である。図1を参照して、実施例のIPMモータシステム100は、IPMモータ2と、IPMモータ2の制御を行うためのモータ制御装置200と、IPMモータ2の回転軸に設けられた辺リングセンサ3、IPMモータ2の回転軸に連結された結合部50を介して車輪(一方は図示せず)52に結合されている。車輪52がシャフトに結合されているとき、結合部50は、シャフトに設けられたギアとモータの回転軸に設けられたギアとを備えていてもよい。また、結合部50はトランスミッションであってもよい。また、上記では、シャフトの両側に車輪52が結合されていると説明したが、車輪52ごとにIPMモータ2がもうけられていてもよい。その場合、結合部52を省略して、IPMモータ2の回転軸が直接車輪52に結合されていてもよい。

[0018] IPMモータ2は、IPMモータ2と、ベアリングセンサ3とを備えている。ベアリングセン

サ3は、IPMモータ2と、IPMモータ2により駆動される駆動伝達用結合部50との間に配設される。ベアリングセンサ3により、IPMモータ2の回転子103の初期位置からの移動量が検出される。モータ制御装置200は、速度・位置計算部1、A/D変換部4、3相/2相変換部5、A/D変換器6、トルク指令ランプ処理部7、電流指令作成部8、PI制御部9、電圧指令リミッタ10、2相/3相変換部11、3次高調波注入部12、デューティ計算部13、およびインバータ14を備えている。

[0019] 次に、本発明の実施例で使用されるIPMモータについて説明する。図2は、実施例のIPMモータ2の断面を示す断面図である。図2に示されるように、IPMモータ2は、15個のスロット102を有する固定子101と、10個の極104を有する回転子103とを備えている。各極104に対応する回転子103の内部には、磁石105が埋め込まれている。15個のスロット102と10個の極104との組み合わせにより、回転子103には、固定子101との位置関係において、安定に滞留することのできる安定点が生じる。

[0020] 図3は、本実施例における固定子101の任意点に対する回転子103の任意点の準安定点を含めた安定点を機械角で示す図である。本実施例のIPMモータ2では、固定子101の有するスロット102の数と、回転子103の有する極104の数との組み合わせから、比較的大きなコギングトルクが生じ、回転子103の安定点は、図3に示されるように複数通りに決まる。安定点は、回転子103が1回転する間にスロット数分存在する。本実施例においては、 $24^\circ (=360^\circ / 15)$ 刻みに15点存在する。また、スロット102同士の間地点に極104が位置する時には、両サイドのスロット102の方向に極104が同時に引かれる事により、回転子103は、準安定点としてその場に滞留する。本実施例においては、スロット102同士の間地点として、15の準安定点が存在する。この結果、本実施例のIPMモータ2においては、準安定点を含めた安定点が、おおよそ機械角で 12° 毎に30点存在している。

[0021] 本実施例のIPMモータシステム100においては、回転子103の初期角度位置の推定のために電気角で 60° 刻み(機械角で 12° 刻み)に回転子位置を推定する初期位置推定アルゴリズムを備えている。こうして、本発明のIPMモータシステムでは、上記 12° 刻みに存在する安定点に基づく回転子103の 12° 刻みの回転角情報を、精度良く推定することができる。回転子の回転角情報をモータ制御装置200にフィー

ドバックすることにより、本実施例のIPMモータシステム100の駆動効率を向上させることができる。

- [0022] 図1に示される、IPMモータ2をトルク制御について説明する。実施例のモータ制御装置200は、3相IPMモータの制御に適用しているが、他のモータ(3相よりも相数の多いIPMモータ、多相誘導モータ、多相シンクロナス・リラクタンスモータ等)の制御にも適用可能である。
- [0023] 図1において、速度・位置計算部1は、IPMモータ2のAB相パルス信号あるいはベアリングセンサ3の出力に基づいて、IPMモータ2の回転数 N および電流位相(回転位置) θ' を計算する。A/D変換部4は、IPMモータ2を流れる電流 i_u, i_v, i_w をA/D変換して、3相/2相変換部5に出力する。3相/2相変換部5は、IPMモータ2の補正後角度位置値 θ と周知の3相/2相変換式とに基づいて、3相のモータ電流 i_u, i_v, i_w を2相の電流 i_d, i_q に変換する。言い換えると、ベクトル制御のためのd軸電流 i_d とq軸電流 i_q に変換する。
- [0024] このモータ制御装置200では、アナログトルク指令 T^{**} がA/D変換器6によってデジタルトルク指令 T^* に変換される。トルク指令ランプ処理部7は、このデジタルトルク指令 T^* をランプ関数に基づいてランプ処理し、そのランプ処理後のデジタルトルク指令 T^* を電流指令作成部8に出力する。電流指令作成部8は、与えられるデジタルトルク指令 T^* とモータ回転数 N に基づいてモータ2の全損失を最小にするように電流指令 i_d^*, i_q^* を設定する。
- [0025] PI制御部9は、電流指令作成部8から出力されるd軸電流指令 i_d^* とq軸電流指令 i_q^* と3相/2相変換部5から出力されるIPMモータ2からの実d軸電流 i_d と実q軸電流 i_q との偏差にPI(比例・積分)処理を施して、偏差に対応する電圧指令 V_d^*, V_q^* を出力する。PI制御部9から出力される電圧指令 V_d^*, V_q^* は、電圧指令リミッタ10を介して2相/3相変換部11に入力される。
- [0026] 2相/3相変換部11は、IPMモータ2の補正後の電流位相 θ と周知の2相/3相変換式とに基づいて、上記電圧指令 V_d^*, V_q^* を3相の電圧指令 V_u^*, V_v^*, V_w^* に変換する。2相/3相変換部11から出力される電圧指令 V_u^*, V_v^*, V_w^* には、3次高調波注入部12で3次高調波が注入され、3相電圧 $V_{u_1}^*, V_{v_1}^*, V_{w_1}^*$ が決定され

る。デューティ計算部13は、3相電圧指令 $V_{u_1}^*$ 、 $V_{v_1}^*$ 、 $V_{w_1}^*$ に基づいてPWM制御のためのデューティ比を設定して3相電圧指令 $V_{u_2}^*$ 、 $V_{v_2}^*$ 、 $V_{w_2}^*$ を生成した後、インバータ14に出力する。インバータ14は、バッテリー(図示せず)からの直流出力電力を3相電圧指令 $V_{u_2}^*$ 、 $V_{v_2}^*$ 、 $V_{w_2}^*$ に対応する電力に変換して、この電力でIPMモータ2を駆動する。このように、実施例のモータ制御装置200により、上記デジタルトルク指令 T^* に対応したトルクを発生するようにIPMモータ2が駆動される。

[0027] 実施例のモータ制御装置200は、さらに、位置補正部を備えている。位置補正部は、IPMモータ2に課される外部トルクに起因するIPMモータ2の回転子の角度位置の誤差をゼロにすることを目的とし、外部トルク負荷時のIPMモータ2の回転子の角度位置の誤差に相当する位置補正量(電気角)を演算し、出力する。位置補正部は、加算器21、22と位置補正器15を備えている。

加算器21は、電流指令作成部8から出力されるd、q軸電流指令 i_d^* 、 i_q^* と3相/2相変換部5から出力されるIPMモータ2の実電流 i_d 、 i_q との偏差 Δi_d を計算する。位置補正器15は、偏差 Δi_d からトルク負荷時のIPMモータ2の回転子の初期位置推定誤差に相当する位置補正量(電気角) $\Delta \theta$ を以下に示される関係式によって求める。

$$[0028] \quad \Delta \theta = k \Sigma (i_d^* - i_{d,fb})$$

$\Delta \theta$; 補正量[°]

k; ゲイン

i_d^* ; d軸電流指令値

$i_{d,fb}$; 変換器5からフィードバックされるd軸電流値

位置補正器15は、上記式から位置補正量 $\Delta \theta$ を決定し、加算器22に号を出力する。加算器22は、位置補正量 $\Delta \theta$ と、速度・位置計算部1から出力されるIPMモータ2の電流位相(回転位置) θ' 信号との和である補正後角度位置値 θ を計算し、2相/3相変換部11および3相/2相変換部5とに供給する。

[0029] IPMモータ2に課される外部トルクの大きさに応じて、角度位置誤差をゼロにするようにk(ゲイン)の値が決定される。外部トルクが増大するに連れて、kの値は次第に小さい値に設定される。また、回転子の低速回転時には、IPMモータ2中に埋め込まれ

ている永久磁石に対する弱め磁界の程度が小さく、角度位置誤差がトルク誤差に与える影響が小さいのでkの値は小さく設定される。一方、回転子の高速回転時には、IPMモータ2中に埋め込まれている永久磁石に対する弱め磁界の程度が大きく、角度位置誤差がトルク誤差に与える影響が大きいため、kの値は低速回転時に比較して相対的に大きく設定される。これにより、IPMモータ2に外部トルクが負荷された際の回転子の角度位置誤差が補正され、純粋にデジタルトルク指令T*に対応したトルクを発生するようにIPMモータ2が駆動される。

[0030] 実施例におけるIPMモータシステム100のIPMモータ2の駆動制御においては、スロット102を備えた固定子101と、極104を備えた回転子103と、回転子103の駆動制御を行うモータ制御装置200とを備えている。固定子101に対する回転子103の初期位置の角度推定読み込み精度と、極104の数およびスロット102の数の組み合わせにより生じる固定子101に対する回転子103の安定位置の角度刻み精度とが概ね等しくなるように、極104の数およびスロット102の数の組み合わせが選択されている。

[0031] 本実施例により、安価なベアリングセンサーと従来の回転子初期角度位置の推定アルゴリズムのみで、IPMモータを低速大トルクから高速回転まで高効率に制御することが可能となる。また、これにより、誘導モータと部品の共通化が実現し、生産コストの低減が実現する。

[0032] 本発明によるIPMモータシステム100は、走行用駆動モータとして備えたバッテリー式フォークリフトである。走行用駆動モータとして実施例のIPMモータシステム100を使用することにより、安価で、低速大トルクから高速回転まで高効率に制御することができ、コンパクトな走行用駆動部を備えたバッテリー式フォークリフトを実現することができる。また、本発明のIPMモータシステムを荷役用駆動モータのために適用可能である。この場合、図1における車輪52は省略されている。この例では、コンパクトな荷役部を備えたバッテリー式フォークリフトを実現することができる。

また、本発明の実施例のIPMモータシステム100は、走行用駆動モータを備えた電気自動車にも適用可能である。この例では、コンパクトな走行用駆動部を備えた電気自動車を実現することができる。また、同様に、ハイブリッド式電気自動車にも適用

可能である。

また、本発明の実施例のIPMモータシステム100は、昇降用駆動モータを備えたエレベータにも適用可能である。この例では、コンパクトな昇降用駆動部を備えたエレベータを実現することができる。

更に、本発明の実施例のIPMモータシステム100は、走行用駆動モータを備えた鉄道用車両にも適用可能である。コンパクトな走行用駆動部を備えた鉄道用車両を実現することができる。

以上のように、本発明によれば、安価で駆動効率の高いIPM (Interior Permanent Magnet) モータシステム、およびIPMモータの制御方法を提供することができる。

。

請求の範囲

- [1] スロットを有する固定子と、極を有する回転子とを備えたIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、
前記IPMモータの駆動制御を行う制御装置と
を具備し、
前記制御装置における、前記固定子に対する前記回転子の初期位置の角度推定読み込み精度と、前記極の数および前記スロットの数の組み合わせによる前記固定子に対する前記回転子の安定位置の角度刻み精度とが概ね等しい
IPMモータシステム。
- [2] 請求の範囲1に記載のIPMモータシステムにおいて、
前記固定子のスロット数は、 m (3以上の正整数) であり、前記回転子の極数は n ($n < m$ である2以上の正整数) であり、前記安定位置の角度刻みは、 $360/2m$ である
IPMモータシステム。
- [3] 請求の範囲2に記載のIPMモータシステムにおいて、
前記固定子は15個のスロットを備え、
前記回転子は10個の極を備える
IPMモータシステム。
- [4] 請求の範囲1乃至3のいずれかに記載のIPMモータにおいて、
前記回転子に接続された回転軸に設けられ、前記固定子に対する前記回転子の前記初期位置からの移動量を検出するベアリングセンサーを
更に具備するIPMモータシステム。
- [5] 請求の範囲4に記載のIPMモータシステムにおいて、
前記制御装置は、
前記ベアリングセンサーからの出力から回転数と測定位相角を出力する計算部と、
前記回転数とトルク指令とに基づいてd軸電流指令とq軸電流指令を生成する電流指令生成部と、
前記IPMモータの3相モータ電流から測定d軸電流と測定q電流とを生成する測定部と、

前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、および前記測定q電流から2相電圧指令を生成する電圧指令生成部と、

補正後位相角と前記2相電圧指令とから3相電圧指令を生成する指令変換部と、

前記3相電圧指令に基づいて前記IPMモータを駆動する駆動部と、

前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、前記測定q電流、及び測定位相角とから前記補正後位相角を生成する補正部とを具備するIPMモータシステム。

- [6] 請求の範囲5に記載のIPMモータシステムにおいて、前記補正部は、前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、及び前記測定q電流から補正値を計算し、前記補正値と測定位相角とから前記補正後位相角を生成するIPMモータシステム。

- [7] 請求の範囲6に記載のIPMモータシステムにおいて、前記補正部は、以下の式に基づいて、補正値 $\Delta \theta$ を計算する

$$\Delta \theta = k \Sigma (i_d^* - i_{d,fb})$$

ここで、k;ゲイン

i_d^* ;前記d軸電流指令

$i_{d,fb}$;前記測定d軸電流

IPMモータシステム。

- [8] 請求の範囲7に記載のIPMモータシステムにおいて、前記kの値は、前記IPMモータのトルク負荷に基づいて決定されるIPMモータシステム。

- [9] 請求の範囲8に記載のIPMモータシステムにおいて、前記kの値は、前記トルク負荷が増大するに連れて、小さい値に設定されるIPMモータシステム。

- [10] 請求の範囲9に記載のIPMモータシステムにおいて、前記回転子が低速回転のときには、前記kの値は小さい値に設定され、前記回転子が高速回転のときには、前記kの値は大きい値に設定される

IPMモータシステム。

- [11] スロットを有する固定子と、極を有する回転子とを備えてIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、前記IPMモータの駆動制御を行う制御装置とを提供するステップと、

前記固定子に対する前記回転子の初期位置の角度推定読み込み精度と、前記極の数および前記スロットの数の組み合わせによる前記固定子に対する前記回転子の安定位置の角度刻み精度とが概ね等しい状態で、前記制御装置により前記IPMモータを制御するステップと

を具備するIPMモータシステムの制御方法。

- [12] 請求の範囲11に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記固定子のスロット数は、 m (3以上の正整数) であり、前記回転子の極数は n ($n < m$ である2以上の正整数) であり、前記安定位置の角度刻みは、 $360/2m$ であるIPMモータシステムの制御方法。

- [13] 請求の範囲12に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記固定子は15個のスロットを備え、

前記回転子は10個の極を備える

IPMモータシステムの制御方法。

- [14] 請求の範囲11乃至13のいずれかに記載のIPMモータにおいて、

前記回転子に接続された回転軸に設けられたベアリングセンサーにより、前記固定子に対する前記回転子の前記初期位置からの移動量を検出するステップ

更に具備するIPMモータシステムの制御方法。

- [15] 請求の範囲14に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記制御するステップは、

前記ベアリングセンサーからの出力から回転数と測定位相角を出力するステップと

、

前記回転数とトルク指令とに基づいてd軸電流指令とq軸電流指令を生成するステップと、

前記IPMモータの3相モータ電流から測定d軸電流と測定q電流とを生成するステ

ップと、

前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、および前記測定q電流から2相電圧指令を生成するステップと、

補正後位相角と前記2相電圧指令とから3相電圧指令を生成するステップと、

前記3相電圧指令に基づいて前記IPMモータを駆動するステップと、

前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、前記測定q電流、及び測定位相角とから前記補正後位相角を生成するステップと

を具備するIPMモータシステムの制御方法。

[16] 請求の範囲15に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記補正後位相角を生成するステップは、

前記d軸電流指令、前記q軸電流指令、前記測定d軸電流、及び前記測定q電流から補正值を計算し、前記補正值と測定位相角とから前記補正後位相角を生成するステップを

具備するIPMモータシステムの制御方法。

[17] 請求の範囲16に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記補正後位相角を生成するステップは、以下の式に基づいて、補正值 $\Delta \theta$ を計算するステップを具備する

$$\Delta \theta = k \Sigma (i_d^* - i_{d,fb})$$

ここで、k;ゲイン

i_d^* ; 前記d軸電流指令

$i_{d,fb}$; 前記測定d軸電流

IPMモータシステムの制御方法。

[18] 請求の範囲17に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記補正後位相角を生成するステップは、

前記IPMモータのトルク負荷に基づいて前記kの値を決定するステップを具備するIPMモータシステムの制御方法。

[19] 請求の範囲18に記載のIPMモータシステムの制御方法において、

前記kの値は、前記トルク負荷が増大するに連れて、小さい値に設定される

IPMモータシステムの制御方法。

- [20] 請求の範囲19に記載のIPMモータシステムの制御方法において、
前記回転子が低速回転のときには、前記kの値は小さい値に設定され、前記回転子が高速回転のときには、前記kの値は大きい値に設定される
IPMモータシステムの制御方法。

補正書の請求の範囲

[2006年7月14日 (14. 07. 2006) 国際事務局受理]

- [1] (補正) スロットを有する固定子と、極を有する回転子とを備えてIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、
前記IPMモータの駆動制御を行う制御装置とを具備し、
前記制御装置は、前記固定子に対する前記回転子の初期位置を角度推定読み込み精度で推定し、前記角度推定読み込み精度は、機械角360度/(前記固定子スロット数と前記回転子極数との最小公倍数) に等しいIPMモータシステム。
- [2] (削除)
- [3] (補正) 請求の範囲1に記載のIPMモータシステムにおいて、
前記固定子のスロット数と前記回転子の極数は、15個のスロットと10個の極の組、又は12個のスロットと8個の極の組であるIPMモータシステム。
- [4] 請求の範囲1乃至3のいずれかに記載のIPMモータにおいて、
前記回転子に接続された回転軸に設けられ、前記固定子に対する前記回転子の前記初期位置からの移動量を検出するベアリングセンサーを更に具備するIPMモータシステム。
- [5] 請求の範囲4に記載のIPMモータシステムにおいて、
前記制御装置は、
前記ベアリングセンサーからの出力から回転数と測定位相角を出力する計算部と、
前記回転数とトルク指令とに基づいてd軸電流指令とq軸電流指令を生成する電流指令生成部と、
前記IPMモータの3相モータ電流から測定d軸電流と測定q電流とを生成する測定部と、

IPMモータシステム。

- [11] (補正) スロットを有する固定子と、極を有する回転子とを備えてIPM (Interior Permanent Magnet) モータと、前記IPMモータの駆動制御を行う制御装置とを提供するステップと、

前記制御装置により、前記固定子に対する前記回転子の初期位置を角度推定読み込み精度で推定するステップとを具備し、

前記角度推定読み込み精度は、機械角360度/(前記固定子スロット数と前記回転子極数との最小公倍数)に等しいIPMモータシステムの制御方法。

- [12] (削除)

- [13] (補正) 請求の範囲12に記載のIPMモータシステムの制御方法において、前記固定子のスロット数と前記回転子の極数は、15個のスロットと10個の極の組、又は12個のスロットと8個の極の組であるIPMモータシステムの制御方法。

- [14] 請求の範囲11乃至13のいずれかに記載のIPMモータにおいて、前記回転子に接続された回転軸に設けられたベアリングセンサーにより、前記固定子に対する前記回転子の前記初期位置からの移動量を検出するステップ
更に具備するIPMモータシステムの制御方法。

- [15] 請求の範囲14に記載のIPMモータシステムの制御方法において、前記制御するステップは、前記ベアリングセンサーからの出力から回転数と測定位相角を出力するステップと、前記回転数とトルク指令とに基づいてd軸電流指令とq軸電流指令を生成するステップと、前記IPMモータの3相モータ電流から測定d軸電流と測定q電流とを生成するステ

条約19条(1)に基づく説明書

請求の範囲第1項は、補正された。

請求の範囲第2項は削除された。

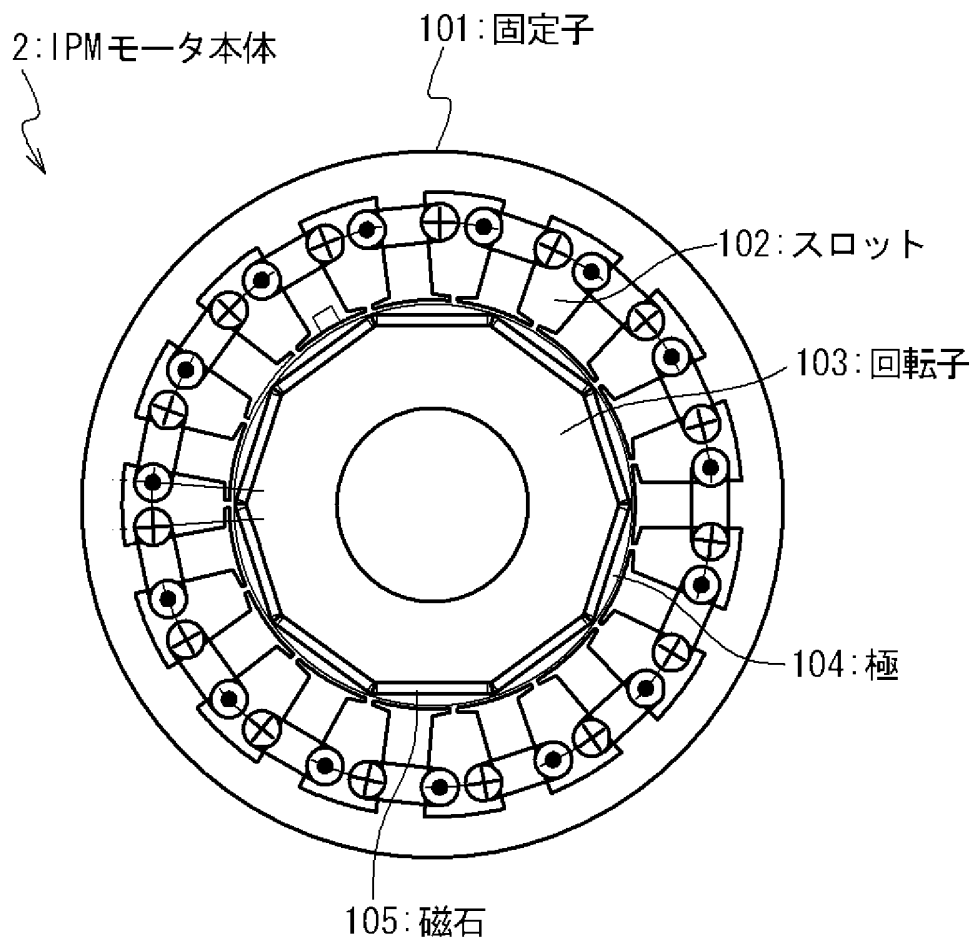
請求の範囲第3項は補正された。

請求の範囲第11項は、補正された。

請求の範囲第12項は削除された。

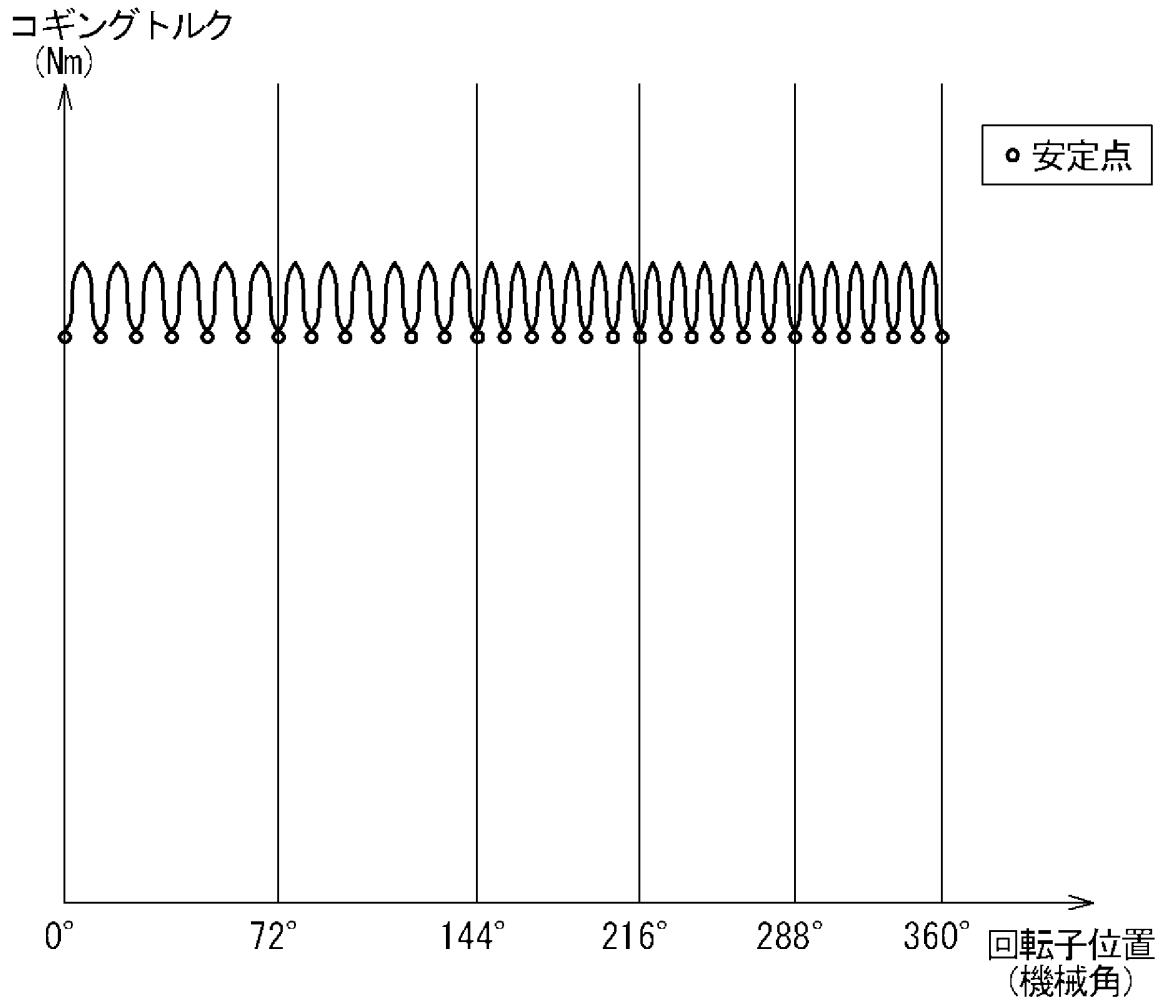
請求の範囲第13項は補正された。

[図2]



[図3]

10極/15スロットIPMモータにおける回転子の安定点
(固定子の任意点に対する回転子の
任意点の回転角度を回転子位置とする)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/303259

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02P6/20 (2006.01), H02P6/16 (2006.01)		
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) H02P6/16, H02P6/20		
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 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006		
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 Y	JP 2004-72903 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 04 March, 2004 (04.03.04), Par. Nos. [0012] to [0014], [0021] (Family: none)	1-3 4-20
Y	JP 2002-44910 A (Nippon Yusoki Kabushiki Kaisha), 08 February, 2002 (08.02.02), Par. Nos. [0012], [0013] (Family: none)	4-20
Y	JP 2002-10677 A (Hitachi, Ltd.), 11 January, 2002 (11.01.02), Par. Nos. [0008] to [0013] (Family: none)	5-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 01 May, 2006 (01.05.06)		Date of mailing of the international search report 16 May, 2006 (16.05.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/303259

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-14299 A (Yaskawa Electric Corp.), 16 January, 1998 (16.01.98), Par. No. [0007]; Fig. 1 (Family: none)	5-20

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H02P6/20 (2006.01), H02P6/16 (2006.01)

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. H02P 6/16, H02P 6/20

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 1971-2006年
 日本国実用新案登録公報 1996-2006年
 日本国登録実用新案公報 1994-2006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 請求の範囲の番号
X	J P 2 0 0 4 - 7 2 9 0 3 A (松下電器産業株式会社)	1 - 3
Y	0 4 . 0 3 . 2 0 0 4、段落【0012】 - 【0014】及び 【0021】(ファミリーなし)	4 - 2 0
Y	J P 2 0 0 2 - 4 4 9 1 0 A (日本輸送機株式会社) 0 8 . 0 2 . 2 0 0 2、段落【0012】及び【0013】(ファミリーなし)	4 - 2 0
Y	J P 2 0 0 2 - 1 0 6 7 7 A (株式会社日立製作所) 1 1 . 0 1 . 2 0 0 2、【0008】 - 【0013】(ファミリーなし)	5 - 2 0
Y	J P 1 0 - 1 4 2 9 9 A (株式会社安川電機) 1 6 . 0 1 . 1 9 9 8、段落【0007】及び第1図 (ファミリーなし)	5 - 2 0

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 0 1 . 0 5 . 2 0 0 6	国際調査報告の発送日 1 6 . 0 5 . 2 0 0 6
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 1 0 0 - 8 9 1 5 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) 天坂 康種 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8