

(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3月28日(28.03.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/042237 A1

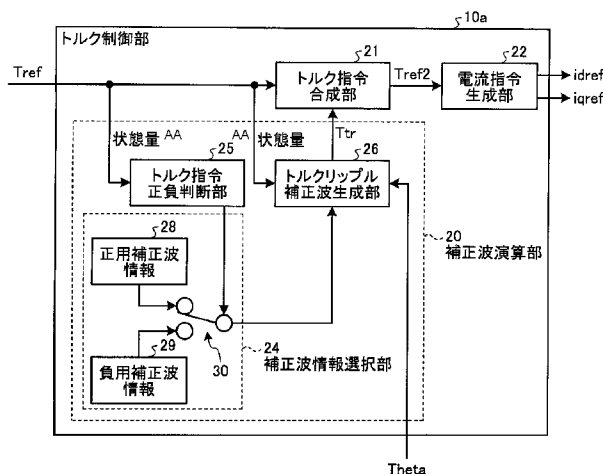
- (51) 国際特許分類:
H02P 6/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/071592
- (22) 国際出願日: 2011年9月22日(22.09.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (Mitsubishi Electric Corporation) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 伊藤 一将 (ITO, Kazumasa) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 田邊 哲也 (TANABE, Tetsuya) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 酒井 宏明(SAKAI, Hiroaki); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 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, 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, JP, 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, 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 (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

[続葉有]

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: モータ制御装置

[図3]



- 10a Torque control unit
- 20 Compensation wave arithmetic unit
- 21 Torque reference combining unit
- 22 Current reference generation unit
- 24 Compensation wave information selection unit
- 25 Torque reference positive/negative polarity assessment unit
- 26 Torque ripple compensation wave generation unit
- 28 Compensation wave information for positive polarity
- 29 Compensation wave information for negative polarity
- AA State quantity

(57) Abstract: A motor control device: prepares compensation wave information beforehand in a storage unit; monitors a state quantity (torque reference, motor speed) that defines a drive state that creates pulsation in a motor's generated torque; selects, from the storage unit, compensation wave information that corresponds to the positive or negative polarity of the state quantity; generates a sinusoidal compensation wave for periodic torque pulsation (torque ripple, cogging torque), on the basis of the selected compensation wave information; and controls the drive of the motor on the basis of a compensated torque reference replacing a torque reference entered from a host device for the purpose of controlling the drive of the motor, said compensated torque reference being a combination of the torque reference and the generated compensation wave.

(57) 要約: 予め補正波情報を記憶部に用意し、モータの発生トルクに脈動を生じさせる駆動状態を規定する状態量(トルク指令、モータ速度)を監視し、その状態量の正負に応じた補正波情報を記憶部から選択し、その選択した補正波情報に基づき周期的トルク脈動(トルクリップル、コギングトルク)に対する正弦波状の補正波を生成し、モータを駆動制御すべく上位装置から入力されるトルク指令に代えて、該トルク指令と前記生成された補正波とを合成した補正トルク指令に基づき、モータを駆動制御する。

WO 2013/042237 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、モータ制御装置に関し、特に、永久磁石を利用するモータを駆動制御するモータ制御装置に関するものである。

背景技術

[0002] モータは、固定子と回転子との相対角度に依存してトルクを発生するが、永久磁石を利用するモータが発生するトルクは、高調波成分を有して脈動している。このトルクの脈動は、次の2つに分けられる。1つは、振幅が発生トルクの大きさに応じて変化するトルクリップルと呼ばれているものである。もう1つは、振幅が発生トルクの大きさに依らず固定値を示すコギングトルクと呼ばれているものである。このようなトルクの脈動は、モータの速度むらや位置偏差の要因ともなるため、従来から、このトルク脈動を制御的に低減しようとする種々の試みがなされている（例えば、特許文献1～3等）。

[0003] 例えば特許文献1では、トルクの脈動をモータの発生トルクに依存しない固定振幅型のコギングトルクと、発生トルクに比例する可変振幅型のトルクリップルとに分け、実際のトルクに反映する時刻でのモータ角度を予測してトルクリップルを補正する予測制御の技術が開示されている。また、コギングトルク及びトルクリップルそれぞれの補正データはモータの1回転分の角度（ $0 \text{度} \leq \theta_n < 360 \text{度} : n = 1, 2, \dots, N$ ）に対応したN個のデータとして記憶装置に記憶するという技術が開示されている。

[0004] また、例えば特許文献2では、トルクリップルの補正波を周波数毎に振幅と位相のデータとして選択し、m個の正弦波信号を作り、合成することによってトルクリップルの補正波を得ている。また、トルクリップルにはモータの電気角周波数の整数倍でないものが存在する点を主張しており、モータの機械位置に依存したトルクリップルをなくすためのトルクリップル補正方法

が開示されている。

- [0005] また、例えば特許文献3では、トルクリップルの6次高調波成分を補正するための位相や振幅のパラメータを出力トルクの正負に応じて選択し、これに基づいた補正波を用いてモータを駆動制御する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開平11-299277号公報
特許文献2：特開2005-80482号公報
特許文献3：特開2010-239681号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかし、上記特許文献1に記載の技術では、コギングトルク及びトルクリップルの補正データをモータの1回転分の角度（ $0 \text{度} \leq \theta_n < 360 \text{度}$ ： $n = 1, 2, \dots, N$ ）に対応したN個のデータとして記憶装置に記憶している。このため、精度の良いトルクリップル補正を行うためには、制御装置等に必要とする記憶装置の容量が大きくなってしまいう問題がある。
- [0008] また、上記特許文献2に記載の技術では、トルクリップルにはモータの電気角周波数の整数倍でないものが存在する点を主張しているが、その角周波数の選択に関する具体的な方法については開示も示唆もなされておらず、良好なトルクリップル補正効果を得るためにはさらなる技術開発が求められる。
- [0009] また、上記特許文献3に記載の技術では、トルクの正負によってトルクリップルの補正波の振幅及び位相を変化させる技術を開示しているが、コギングトルクに関する補正方法に対しては開示も示唆もなされておらず、また、角周波数についても電気6次高調波に関する記述のみであり、より良好なトルクリップル補正を行うためにはさらなる技術開発が求められる。
- [0010] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、簡単な構成で、モータの発

生トルクに脈動を生じさせる駆動状態を規定する状態量の正負に応じて適切に2種類のトルク脈動を減少させる補正が行えるモータ制御装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、入力されるトルク指令に基づいてモータを駆動制御するモータ制御装置において、前記モータの発生トルクに脈動を生じさせる駆動状態を規定する状態量が正極性であるか負極性であるかの正負を判定する正負判定部と、補正波情報を格納する記憶部から、前記正負判定部の判定結果が示す正負に応じた補正波情報を選択する補正波情報選択部と、前記選択された補正波情報に基づき、周期的トルク脈動に対する正弦波状の補正波を生成する補正波生成部とを備え、前記入力されるトルク指令に代えて、該トルク指令と前記生成された補正波とを合成した補正トルク指令に基づき前記モータを駆動制御することを特徴とする。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、予め補正波情報を記憶部に用意し、モータの発生トルクに脈動を生じさせる駆動状態を規定する状態量（トルク指令、モータ速度）を監視し、その状態量が正極性であるか負極性であるかに応じた補正波情報を記憶部から選択し、その選択した補正波情報に基づき周期的トルク脈動（トルクリップル、コギングトルク）に対する正弦波状の補正波を生成し、モータを駆動制御すべく上位装置から入力されるトルク指令に代えて、該トルク指令と前記生成された補正波とを合成した補正トルク指令に基づき、モータを駆動制御するので、適切にトルクの2種類の脈動（トルクリップル、コギングトルク）を減少させる補正が行えるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、本発明の実施例1によるモータ制御装置が適用されるモータ駆動システムの構成例を示すブロック図である。

[図2]図2は、図1に示す本発明の実施例1によるモータ制御装置の構成を示

すブロック図である。

[図3]図3は、図2に示すトルク制御部の構成例を示すブロック図である。

[図4]図4は、正トルク及び負トルクの発生時におけるトルク脈動波形を示す図である。

[図5]図5は、図4に示したトルク脈動波形を次数分解した結果の振幅を示す図である。

[図6]図6は、図4に示したトルク脈動波形を次数分解した結果の位相オフセットを示す図である。

[図7]図7は、本発明の実施例2によるモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

[図8]図8は、図7に示すトルク制御部の構成例を示すブロック図である。

[図9]図9は、本発明の実施例3によるモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

[図10]図10は、図9に示すトルク制御部の構成例を示すブロック図である。

[図11]図11は、図10に示す4つの補正波情報記憶部の収納内容の一例を説明する図である。

[図12]図12は、高調波（補正波）の振幅比率とトルク指令の絶対値との関係を説明する図である。

[図13]図13は、本発明の実施例4として、図9に示すトルク制御部の他の構成例を示すブロック図である。

[図14]図14は、本発明の実施例5によるモータ制御装置を含むモータ駆動システムの構成例を示すブロック図である。

[図15]図15は、本発明の実施例6によるモータ制御装置を含むモータ駆動システムの構成例を示すブロック図である。

[図16]図16は、本発明の実施例7として、駆動するモータの構成例を示す概念図である。

[図17]図17は、本発明の実施例7として、駆動するモータの他の構成例を

示す概念図である。

[図18]図18は、図16や図17に示すモータにおいて駆動力を発生する場合の磁束の流れを説明する図である。

[図19]図19は、図16や図17に示すモータでのあるモータ断面におけるトルクリップル波形を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下に、本発明にかかるモータ制御装置の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施例によりこの発明が限定されるものではない。

実施例 1

[0015] 図1は、本発明の実施例1によるモータ制御装置を含むモータ駆動システムの構成例を示すブロック図である。図2は、図1に示す本発明の実施例1によるモータ制御装置の構成を示すブロック図である。図3は、図2に示すトルク制御部の構成例を示すブロック図である。本実施例1では、発生トルクの脈動のうちトルクリップルを低減させる補正方式について説明する。

[0016] まず、適用されるシステムの概要を簡単に説明する。

図1において、モータ1は、永久磁石を利用するモータであり、トルク脈動としてトルクリップルとコギングトルクとを発生する。このモータ1には、位置センサ2が取り付けられている。インバータ回路3は、複数のスイッチング素子（一般にはIGBTやMOSFETが用いられる）による3相のブリッジ回路を備えている。キャパシタ4は、モータ1の動力源となる直流電力を周知の方法で蓄積している直流電源である。インバータ回路3とモータ1とを接続する電源ケーブルには、電流センサ5が配置されている。

[0017] インバータ回路3における3相のブリッジ回路は、直流電源であるキャパシタ4の正極端と負極端との間に形成配置されている。具体的には、3相のブリッジ回路は、キャパシタ4の正極端と負極端との間に、2つのスイッチング素子対が対となって直列接続され、この直列回路の3個が並列に接続される形で形成されている。

[0018] インバータ回路3は、実施例1によるモータ制御装置6aから、3相のブ

リッジ回路を構成する複数のスイッチング素子をオン・オフさせる駆動信号 $p_u, n_u, p_v, n_v, p_w, n_w$ が入力されると、複数のスイッチング素子のスイッチング動作により、キャパシタ 4 に蓄積された直流電力が任意の周波数及び電圧の 3 相交流電力へ変換され、モータ 1 に供給される。これによって、モータ 1 が回転駆動され、モータ 1 に所定のトルクが発生する。

[0019] このときのモータ位置 θ が位置センサ 2 にて検出され、フィードバック信号として、実施例 1 によるモータ制御装置 6 a に入力される。また、このときのモータ 1 に流れている 3 相のモータ電流が電流センサ 5 にて検出され、A/D コンバータ 7 にてデジタル化されて 3 相のデジタルモータ電流 i_u, i_v, i_w となり、フィードバック信号として、実施例 1 によるモータ制御装置 6 a に入力される。

[0020] 実施例 1 によるモータ制御装置 6 a は、上位装置 8 が出力するトルク指令 T_{ref} と、フィードバック信号であるモータ位置 θ 及び 3 相のデジタルモータ電流 i_u, i_v, i_w とに基づき、従前の通りにインバータ回路 3 への駆動信号 $p_u, n_u, p_v, n_v, p_w, n_w$ を演算生成する。

[0021] このとき、この実施例 1 によるモータ制御装置 6 a は、上位装置 8 が出力するトルク指令 T_{ref} を、2 種類のトルク脈動のうちの 1 つ（トルクリップル）を発生させる駆動状態を規定する状態量として取り込み、それとモータ位置 θ とに基づき、周期的に発生するトルクリップルを低減する制御を行い、その制御結果をインバータ回路 3 に与える駆動信号 $p_u, n_u, p_v, n_v, p_w, n_w$ の演算生成に反映させるようになっている。

[0022] 以下、この実施例 1 に関わる部分について具体的に説明する。モータ制御装置 6 a は、図 2 に示すように、トルク制御部 10 a と、電流制御部 11 と、電圧制御部 12 とを備えている。

[0023] トルク制御部 10 a は、例えば後述する図 3 に示す構成により、従前の動作として、上位装置 8 からのトルク指令 T_{ref} に応じて電流制御部 11 に与える d 軸及び q 軸の電流指令 i_{dref}, i_{qref} を演算する。この従前の動作に加えて、この実施例 1 では、上位装置 8 からのトルク指令 T_{ref}

f を、トルクリップルを発生させるモータ 1 の駆動状態を規定する状態量として取り込み、それとモータ位置 θ とに基づき、周期的に発生するトルクリップルを低減するための制御を行い、そのトルクリップル低減制御の結果を、電流制御部 11 に与える d 軸及び q 軸の電流指令 i_{dref} , i_{qref} に反映することを行う。具体的には、後述する。

[0024] 電流制御部 11 は、3相2相変換部 13 と、減算器 14, 15 と、例えば PID 制御部 16, 17 とを備えている。なお、PID 制御部 16, 17 に代えて、PI 制御部が用いられる場合もある。

[0025] 3相2相変換部 13 は、A/D コンバータ 7 にてデジタル化された 3 相のデジタルモータ電流 I_u , I_v , I_w を、モータ位置 θ における d 軸電流 i_d 及び q 軸電流 i_q へ変換する。減算器 14 は、トルク制御部 10a が出力する d 軸電流指令 i_{dref} と 3 相 2 相変換部 13 が変換出力する d 軸電流 i_d との差分 (d 軸電流偏差) を求めそれを PID 制御部 16 へ出力する。減算器 15 は、トルク制御部 10a が出力する q 軸電流指令 i_{qref} と 3 相 2 相変換部 13 が変換出力する q 軸電流 i_q との差分 (q 軸電流偏差) を求めそれを PID 制御部 17 へ出力する。PID 制御部 16, 17 は、減算器 14, 15 が出力する d 軸及び q 軸の各電流偏差が小さくなるようにする PID 制御を行い、電圧制御部 12 に与える d 軸電圧指令 V_{dref} 及び q 軸電圧指令 V_{qref} を設定する。

[0026] 電圧制御部 12 は、2相3相変換部 18 と PWM 制御部 19 とを備えている。

2相3相変換部 18 は、電流制御部 11 が出力する d 軸電圧指令 V_{dref} 及び q 軸電圧指令 V_{qref} を、モータ位置 θ における 3 相の電圧指令 V_{udref} , V_{vdref} , V_{wdref} へ変換する。PWM 制御部 19 は、2相3相変換部 18 が変換出力する 3 相の電圧指令 V_{udref} , V_{vdref} , V_{wdref} から PWM 信号である駆動信号 $p_u, n_u, p_v, n_v, p_w, n_w$ を生成し、インバータ回路 3 へ出力する。

[0027] さて、トルク制御部 10a は、例えば図 3 に示すように、電流指令生成部

22の入力段に、補正波演算部20とトルク指令合成部21とが追加された構成になっている。補正波演算部20は、補正波情報選択部24と、トルク指令正負判定部25と、トルクリップル補正波生成部26とを備えている。補正波情報選択部24は、正用補正波情報を格納する記憶部28と、負用補正波情報を格納する記憶部29と、選択回路30とを備えている。

[0028] 上位装置8が出力するトルク指令 T_{ref} は、トルク指令合成部21に入力されるとともに、モータ1の駆動状態を規定する状態量として、トルク指令正負判定部25及びトルクリップル補正波生成部26に入力される。トルクリップル補正波生成部26には、選択回路30の出力（補正波情報）と、モータ位置 θ とが入力される。

[0029] トルク指令正負判定部25は、上位装置8から入力されるトルク指令 T_{ref} が正極性であるか負極性であるかの正負を判定し、その判定結果を選択回路30へ出力する。選択回路30は、トルク指令正負判定部25の判定結果に従って、記憶部28と記憶部29とのいずれか一方に格納される補正波情報を選択し、トルクリップル補正波生成部26に出力する。

[0030] トルクリップル補正波生成部26は、上位装置8から入力されるトルク指令 T_{ref} （すなわちモータ1の状態量）と、選択回路30が選択した補正波情報とに基づいてモータ位置 θ における正弦波状のトルクリップル補正波 T_{tr} を生成し、トルク指令合成部21に出力する。トルクリップル補正波 T_{tr} の振幅は、トルク指令 T_{ref} により発生するトルクの振幅に依存している。

[0031] トルク指令合成部21は、上位装置8から入力されるトルク指令 T_{ref} と、トルクリップル補正波生成部26にて生成されたトルクリップル補正波 T_{tr} とを合成して補正トルク指令 T_{ref2} を生成する。

[0032] 電流指令生成部22は、トルク指令合成部21にて生成された補正トルク指令 T_{ref2} に基づき、d軸電流指令 i_{dref} 及びq軸電流指令 i_{qref} を生成し、電流制御部11へ出力する。これによって、電流制御部11及び電圧制御部12の協働作業により、モータ1の発生トルクにおけるトル

クリップルを減少させる補正動作が実施される。

[0033] ここで、記憶部 28, 29 に格納される補正波情報について説明する。トルクリップル補正波 T_{tr} の生成に用いる補正波情報は、高調波次数情報と、高調波（補正波）の振幅のトルク指令 T_{ref} に対する比率（振幅比率）と、高調波（補正波）の位相（オフセット位相）とで構成される。記憶部 28, 29 には、高調波次数情報と、それに対する振幅比率及び位相（オフセット位相）とが関連付けて格納されている。

[0034] まず、図 4～図 6 を参照して、モータ 1 がトルクを発生する場合、その発生トルクが正極性であるか負極性であるかによって、トルク脈動（つまりトルクリップル）の高調波次数成分が異なる点について具体的に説明する。なお、図 4 は、正トルク及び負トルクの発生時におけるトルク脈動波形を示す図である。図 5 は、図 4 に示したトルク脈動波形を次数分解した結果の振幅を示す図である。図 6 は、図 4 に示したトルク脈動波形を次数分解した結果の位相オフセットを示す図である。

[0035] 図 4 (a) では正トルク発生時のトルク脈動波形が示され、図 4 (b) では負トルク発生時のトルク脈動波形が示されている。図 4 (a) (b) は、モータ 1 を同一回転方向で回転させつつ一定負荷を印加してトルクを発生させた場合のトルク脈動波形を実験的にトルクメータで取得した結果を示している。実験においては、トルクの時間平均値の絶対値が同一となるようにした。図 4 の (a) と (b) とでは、トルク脈動波形が明らかに異なることがわかる。

[0036] 図 5 において、図 5 (a) に示す正トルク発生時には 8 次と 48 次が発生しているが、図 5 (b) に示す負トルク発生時には、8 次と 48 次はほとんど発生していない。このことから、正トルク発生時のトルク脈動を補正する場合は、8 次と 48 次の補正波を生成する方が好ましいが、負トルク発生時のトルク脈動を補正する場合には 8 次と 48 次の補正波を生成しない方が、演算時間の効率化のために好ましいことが解る。その結果、補正波情報である高調波次数情報を格納する記憶部の容量を低減できる。

- [0037] よって、本実施例 1 によるモータ制御装置 6 a では、モータ 1 がトルクを発生する場合に、その発生トルクが正極性であるか負極性であるかによって、トルク脈動（つまりトルクリップル）の高調波次数成分が異なる点に着目して正用の記憶部 28 と負用の記憶部 29 とを別々に用意し、記憶部 28 には正用高調波次数情報をメインとする正用補正波情報を格納し、記憶部 29 には負用高調波次数情報をメインとする負用補正波情報を格納しておき、モータの状態量であるトルク指令 T_{ref} の正負に応じて対応する高調波次数情報を選択できるようにし、その選択された高調波次数情報とモータ位置 θ_{eta} とに基づいてトルクリップル補正波を生成する構成とした。
- [0038] このとき、モータ 1 の回転機械周波数は回転速度に依存し、インバータ回路 3 で周波数変換された交流電力により駆動されるモータ 1 は様々な回転速度で回転することができるから、記憶部 28, 29 に格納する高調波次数情報としては、モータ 1 の回転機械周波数を 1 次とし、その倍数 n (n は自然数) からなる複数の高調波次数を格納することが好ましい。そうすれば、例えば、50 Hz で回転しているモータ 1 のトルクであって 100 Hz で振動している成分を補正する場合には、「 $n=2$ 」を設定することができるため、適切な補正が行える。
- [0039] また、従来、電気周波数を 1 次とする考え方もあったが、この考え方では、モータ 1 に含まれる永久磁石のばらつきや、その他の工作誤差に起因する電気角周波数の小数倍の次数に対応することが難しくなるため、回転機械周波数を 1 次とした高調波次数を設定することが好ましい。
- [0040] そして、記憶部 28, 29 に格納する補正波情報としては、高調波次数情報の他に、トルク指令 T_{ref} に対しトルクリップル補正波生成部 26 が生成するトルクリップル補正波（つまり高調波成分）の振幅比率 A_n 、及び位相オフセット量 θ_n も高調波次数 n と関連付けて格納することが好ましい。その方が、図 5 に示すように、24 次の振幅は正トルク時 (a) と負トルク時 (b) とで大きく異なっており、単純に次数 n のみ切り替えるよりも振幅比率 A_n も同時に切り替えた方が、トルク脈動（トルクリップル）を低減す

る効果が大きいと考えられる。また、位相オフセット量 θ_n についても同様である。

[0041] 図6において、位相オフセット量 θ_n は、正トルク発生時(a)と負トルク発生時(b)とで異なっていることが解る。例えば、24次高調波の位相オフセット量 θ_n は、正トルク発生時(a)の場合は -150° であり、負トルク発生時(b)の場合は $+135^\circ$ であり、異なっている。よって、位相オフセット量 θ_n も高調波次数 n と同時に切り替えることが好ましい。

[0042] トルクリップル補正波生成部26が生成する正弦波状のトルクリップル補正波 T_{tr} を上述した倍数(高調波次数) n 、高調波(トルクリップル補正波 T_{tr})の振幅比率 A_n 及び位相オフセット量 θ_n を用いて数式表現すると、式(1)のようになる。

[0043] [数1]

$$T_{tr} = \sum_n T_{ref} \times A_n \times \sin(n \times \text{Theta} + \theta_n) \quad \dots(1)$$

[0044] なお、後述する図11の(a)(b)に、記憶部28、29の記憶内容の一例を示してある。ここでは、次数に対し、振幅比率及び位相オフセット量が関連付けて格納されていることが示されている。

[0045] 以上のように、本実施例1によれば、2種類のトルク脈動の一つであるトルクリップルを減少補正する構成として、予め補正波情報を記憶部に用意し、トルクリップルを発生させるモータの駆動状態を規定する状態量である、上位装置から入力されるトルク指令を監視し、取り込んだトルク指令が正極性であるか負極性であるかを判断し、その正負に応じた補正波情報を記憶部から選択し、その選択した補正波情報に基づき周期的トルク脈動(トルクリップル)に対する正弦波状の補正波を生成し、上位装置から入力されるトルク指令に代えて、該トルク指令と前記生成された補正波とを合成した補正トルク指令に基づき、電流制御部に与えるd軸及びq軸の電流指令を生成する構成としたので、適切にトルクの脈動(トルクリップル)を減少させる補正が行える。

[0046] このとき、記憶部に格納する補正波情報は、高調波次数情報と、それに対

応する振幅比率及び位相とからなるが、高調波次数情報は、トルク指令が正極性であるか負極性であるかによって異なるので、記憶部には、トルク指令の正負に応じて必要な高調波次数情報だけを保持しておけばよい。したがって、高調波次数情報に対応して保存すべき振幅比率や位相などの情報も少なくなくて済み、記憶部の容量を小さくすることができる。

実施例 2

[0047] 図7は、本発明の実施例2によるモータ制御装置の構成を示すブロック図である。図8は、図7に示すトルク制御部の構成例を示すブロック図である。本実施例2では、発生トルクの脈動のうちコギングトルクを減少させる補正方式について説明する。モータ駆動システムの構成要素は、図1と同様であるので図示を省略し、図7（モータ制御装置）と図8（トルク制御部）とを示した。

[0048] 図7において、本実施例2によるモータ制御装置6bは、図2（実施例1）に示したモータ制御装置6aにおいて、トルク制御部10aに代えて、トルク制御部10bが設けられている。その他の構成は、図2と同様である。

[0049] トルク制御部10bには、上位装置8からトルク指令 T_{ref} が入力される他に、2種類のトルク脈動のうちのもう1つ（コギングトルク）を発生させる駆動状態を規定するモータ1の状態量であるモータ速度が入力される。モータ速度は、検出されたモータ位置 θ から求めたものである。

[0050] そして、図8に示すように、トルク制御部10bは、図3（実施例1）に示したトルク制御部10aにおいて、補正波演算部20に代えて補正波演算部34が設けられている。補正波演算部34は、補正波演算部20における、補正波情報選択部24に代えた補正波情報選択部35と、トルク指令正負判定部25に代えたモータ速度判定部36と、トルクリップル補正波生成部26に代えたコギングトルク補正波生成部37とを備えている。補正波情報選択部35は、正用補正波情報を格納する記憶部38と、負用補正波情報を格納する記憶部39と、選択回路40とを備えている。記憶部38、39に格納される補正波情報は、コギングトルク補正用の、高調波次数、補正波の

振幅及び位相からなる。

- [0051] コギングトルクは、発生トルクの大きさに依存せず固定の大きさに発生するが、モータの軸端に接続されるプーリーやギア、ボールねじ等の機構部品の形状ばらつきやバックラッシュ等の伝達系の構造に起因して、モータの正転時と逆転時とにおいて異なる高調波次数の脈動を生じ得る。そのため、例えばモータの位置決め運転を行う場合に、正転状態からモータを停止させる場合と、逆転状態からモータを停止させる場合とにおいて、良好な位置決め特性を得るために必要なコギングトルク補正の高調波次数が異なることが起こる。
- [0052] そこで、本実施例2では、モータ1の速度を、検出されたモータ位置 θ から求めて監視し、そのモータ速度の正負をモータ速度正負判定部36にて判定し、その判定結果に基づいて、正用補正波情報記憶部38の格納情報を用いるか、負用補正波記憶部39の格納情報を用いるかを選択回路40によって切り替える構成とした。
- [0053] コギングトルク補正波生成部37は、補正波情報記憶部38、39のいずれか一方に格納される補正波情報を用いてモータ位置 θ における正弦波状のコギングトルク補正波 T_c を生成し、トルク指令合成部21に出力する。コギングトルク補正波 T_c の振幅は、トルク指令 T_{ref} の振幅に依存せず一定値である。
- [0054] トルク指令合成部21は、上位装置8から入力されるトルク指令 T_{ref} と、コギングトルク補正波生成部37にて生成されたコギングトルク補正波 T_c とを合成して補正トルク指令 T_{ref2} を生成する。
- [0055] 電流指令生成部22は、トルク指令合成部21にて生成された補正トルク指令 T_{ref2} に基づき、d軸電流指令 i_{dref} 及びq軸電流指令 i_{qref} を生成し、電流制御部11へ出力する。これによって、電流制御部11及び電圧制御部12の協働作業により、モータ1の発生トルクにおけるコギングトルクを減少させる補正動作が実施される。
- [0056] ここで、記憶部38、39に格納される補正波情報について説明する。コ

ギングトルク補正波 T_{co} の生成に用いる補正波情報は、高調波次数情報と、高調波（補正波）の振幅と、高調波（補正波）の位相とで構成される。記憶部 38, 39 には、高調波次数情報と、それに対する高調波（補正波）の振幅及び高調波（補正波）の位相とが関連付けて格納されている。

[0057] まず、高調波次数情報としては、複数の高調波次数をモータの回転機械周波数を 1 次として、その倍数 n (n は自然数) を格納することが好ましい。なぜなら、モータ 1 の回転機械周波数は回転速度に依存し、インバータ回路 3 で周波数変換された電力により駆動されるモータ 1 は様々な回転速度で回転することができるからである。そうすれば、例えば、50 Hz で回転しているモータ 1 のトルクであって 100 Hz で振動している成分を補正する場合には、「 $n=2$ 」を設定することができるため、適切な補正が行える。

[0058] また、従来、電気周波数を 1 次とする考え方もあったが、この考え方では、モータ 1 に含まれる永久磁石のばらつきや、その他の工作誤差に起因する電気角周波数の小数倍の次数に対応することが難しくなるため、回転機械周波数を 1 次とした高調波次数を設定することが好ましい。

[0059] また、記憶部 38, 39 には、高調波次数 n の他に、その次数 n の高調波の振幅 B_n 及び位相オフセット量 θ_n も高調波次数 n と関連付けて格納することが好ましい。実施例 1 では、トルク指令 T_{ref} に対する当該高調波次数のトルク脈動成分の振幅比率 A_n を格納していたのに対し、本実施例 2 では、トルク脈動の振幅 B_n を格納している点が異なる。これは、コギングトルクが発生トルクに依存しないからである。

[0060] 以上の説明を数式でまとめると、コギングトルク補正波生成部 37 が生成する正弦波状のコギングトルク補正波 T_{co} は、上述した倍数（高調波次数） n 、高調波（コギングトルク補正波 T_{co} ）の振幅 B_n 、及び位相オフセット量 θ_n を用いて、式（2）で表される。

[0061] [数2]

$$T_{co} = \sum_n B_n \times \sin(n \times \text{Theta} + \theta_n) \quad \dots(2)$$

[0062] なお、後述する図11の(c)(d)に、記憶部38、39の記憶内容の一例を示してある。ここでは、次数に対し、振幅及び位相オフセット量が関連付けられて格納されていることが示されている。

[0063] 以上のように、本実施例2によれば、もう1つのトルク脈動であるコギングトルクを減少補正する構成として、予め、補正波情報を記憶部に用意し、コギングトルクを発生させるモータの駆動状態を規定する状態量であるモータ速度を監視し、モータ速度が正極性であるか負極性であるかを判断し、その正負に応じた補正波情報を記憶部から選択し、その選択した補正波情報に基づき周期的トルク脈動（コギングトルク）に対する正弦波状の補正波を生成し、上位装置から入力されるトルク指令に代えて、該トルク指令と前記生成された補正波とを合成した補正トルク指令に基づき、電流制御部に与えるd軸及びq軸の電流指令を生成する構成としたので、適切にトルクの脈動（コギングトルク）を減少させる補正が行える。

[0064] このとき、記憶部に格納する補正波情報は、高調波次数情報と、それに対応する振幅及び位相とからなるが、高調波次数情報は、モータ速度が正極性であるか負極性であるかによって異なるので、記憶部には、モータ速度の正負に応じて必要な高調波次数情報だけを保持しておけばよい。したがって、高調波次数情報に対応して保存すべき振幅や位相などの情報も少なく済み、記憶部の容量を小さくすることができる。

実施例 3

[0065] 図9は、本発明の実施例3によるモータ制御装置の構成を示すブロック図である。図10は、図9に示すトルク制御部の構成例を示すブロック図である。本実施例3では、実施例1にて説明したトルクリップル補正方式と、実施例2にて説明したコギングトルク補正方式とを並行して実施する場合について説明する。モータ駆動システムの構成要素は、図1と同様であるので図示を省略し、図9（モータ制御装置）と図10（トルク制御部）とを示した。

[0066] 図9に示すように、本実施例3によるモータ制御装置6cでは、トルク制

御部 10c に、上位装置 8 が出力するトルク指令 T_{ref} が取り込まれるとともに、該トルク指令 T_{ref} が 1 つの状態量として入力され、モータ速度がもう 1 つの状態量として入力される。

[0067] 図 10 において、トルク制御部 10c における補正波演算部 41 は、例えば、図 3 に示した補正波演算部 20 と、図 8 に示した補正波演算部 34 と、加算器 42 とで構成することができる。加算器 42 は、図 3 に示した補正波演算部 20 にて生成されるトルクリップル補正波 T_{tr} と、図 8 に示した補正波演算部 34 にて生成されるコギングトルク補正波 T_{co} とを加算しトルク指令合成部 21 に出力する。

[0068] トルク指令合成部 21 は、上位装置 8 から入力されるトルク指令 T_{ref} と、加算器 42 にて加算されたトルクリップル補正波 T_{tr} 及びコギングトルク補正波 T_{co} とを合成し、それを補正トルク指令 T_{ref2} として電流制御部 22 へ出力する。

[0069] これによって、トルクリップル補正及びコギングトルク補正の効果を、モータの状態量であるトルク指令 T_{ref} 及びモータ速度に応じて適切に、かつ同時に得ることが可能となる。

[0070] なお、図 10 に示す補正波演算部 41 では、加算器 42 にて、トルクリップル補正波 T_{tr} とコギングトルク補正波 T_{co} とを加算しトルク指令合成部 21 に出力する構成を示してあるが、加算器 42 を省略してトルクリップル補正波 T_{tr} とコギングトルク補正波 T_{co} とを直接トルク指令合成部 21 に入力させ、トルク指令合成部 21 内でトルクリップル補正波 T_{tr} とコギングトルク補正波 T_{co} とを加算する構成でもよい。

[0071] 図 11 は、図 10 に示す 4 つの高調波次数情報記憶部の収納内容の一例を説明する図である。図 11 (a) は補正波情報記憶部 28 の収納内容の一例を示し、図 11 (b) は補正波情報記憶部 29 の収納内容の一例を示し、図 11 (c) は補正波情報記憶部 38 の収納内容の一例を示し、図 11 (d) は補正波情報記憶部 39 の収納内容の一例を示している。図 11 (a) (b) では、次数と、振幅比率と、位相オフセット量とが示され、図 11 (c)

(d) では、次数と、振幅と、位相オフセット量とが示されている。なお、図 11 では、説明の便宜から、正を「p」で示し、負を「n」で示してある。例えば、振幅比率では、正用が「A_p」と表記され、負用が「A_n」と表記されている。以下に示す「n」は、実施例 1～3 にて説明したように、「自然数」である。

[0072] 図 11 では、次数等をすべて異なる符号で表現しているが、一部は同一の次数が設定されてもよく、コギングトルク及びトルクリップルによるトルク脈動が低減できるように決定すればよい。

[0073] また、図 11 では、すべての組合せにおける高調波次数情報が m セットの次数、振幅比率（コギングトルクにおいては振幅）、位相オフセット量の情報になっているが、そのセット数は同一でなくてもよい。

[0074] さらに、振幅比率 A_n は固定値でもよいが、トルク指令やモータ速度の関数 {A_n (T_{ref}, Theta)} としてもよい。このように設定すると、より詳細にモータの駆動状態に応じたトルク指令の作り変えが行えるので、トルクの脈動を低減する効果が高くなる。

[0075] 加えて、位相オフセット量 θ_n は固定値でもよいが、トルク指令やモータ速度の関数 {θ_n (T_{ref}, Theta)} としても良い。このように設定すると、より詳細にモータの駆動状態に応じたトルク指令の作り変えが行えるので、トルクの脈動を低減する効果が大きくなる。

[0076] 次に、図 12 は、高調波（補正波）の振幅比率 A_n とトルク指令 T_{ref} の絶対値との関係を示す図である。図 12 では、減磁開始トルク T_{dema}g と減磁境界線 L_{dema}g とが示されている。減磁開始トルク T_{dema}g は、モータ 1 がこの減磁開始トルク T_{dema}g 以上のトルクを発生しようとする時、モータ 1 内に有する永久磁石が熱と逆磁界とにより複合減磁を起こす境界のトルク値のことである。また、減磁境界線 L_{dema}g は、トルク指令 T_{ref} と振幅比率 A_n とに基づいて生成されたトルクリップル補正波 T_{tr} と元のトルク指令 T_{ref} との合成波（補正トルク指令 T_{ref} 2）が減磁開始トルク T_{dema}g を超えないための境界線である。

[0077] 補正トルク指令 T_{ref2} は、減磁開始トルク T_{demag} を超えないように制限する必要がある。そのためには、次の2つの方法の少なくとも1つを実施するとよい。

まず第1の方法として、図12に示すように、振幅比率 A_n は、指令トルク T_{ref} の絶対値が減磁開始トルク T_{demag} 以上の領域において零であることが好ましい。この減磁開始トルク T_{demag} は、パラメータとしてモータ制御装置内の記憶装置に格納しておくか、予め補正波報報記憶部28、29に格納する高調波次数情報における振幅比率 A_n の関数に含めておくとい。

[0078] また、第2の方法として、振幅比率 A_n は、トルク指令 T_{ref} の絶対値が減磁開始トルク T_{demag} よりも小さい領域において、減磁境界線 L_{demag} よりも小さい領域（図12のハッチング部分）に設定されることが好ましい。

[0079] ここで、補正トルク指令 T_{ref2} が減磁開始トルク T_{demag} を超えないようにするための、トルク指令 T_{ref} と振幅比率 A_n と減磁開始トルク T_{demag} との関係、及び減磁境界線 L_{demag} を規定する式を示す。

[0080] 補正トルク指令 T_{ref2} は、

$$T_{ref2} = |T_{ref}| + A_n \times |T_{ref}| \times \sin(n \times \theta_a + \theta_n)$$

と表せる。この補正トルク指令 T_{ref2} の最大値は、 $\sin(n \times \theta_a + \theta_n) = 1$ のときであるから、

$$|T_{ref2}|_{max} = |T_{ref}| + A_n \times |T_{ref}| \quad \dots$$

(3)

となる。この $|T_{ref2}|_{max}$ が減磁開始トルク T_{demag} を超えないようにするには、

$$|T_{ref}| + A_n \times |T_{ref}| \leq T_{demag} \quad \dots (4)$$

が成立する必要がある。式(4)を整理すると、

$$\begin{aligned}
 |T_{ref}|(1+A_n) &\leq T_{demag} \\
 (1+A_n) &\leq T_{demag} / |T_{ref}| \\
 A_n &\leq (T_{demag} / |T_{ref}|) - 1 \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

となる。この式(5)における等号を採用した次の式(6)が減磁境界線 L_{demag} を表す式である。

$$A_n = (T_{demag} / |T_{ref}|) - 1 \quad \dots (6)$$

[0081] したがって、式(5)から、振幅比率 A_n をトルク指令 T_{ref} の関数として保持する場合、その関数曲線が図12のハッチング部分に存在しなければならないことが理解できる。つまり、振幅比率 A_n は、トルク指令 T_{ref} の絶対値が減磁開始トルク T_{demag} よりも小さい領域において、式(5)の関係を満たす領域、換言すれば、式(6)に示す減磁境界線 L_{demag} よりも小さい領域に存在しなければならないのである。

[0082] 以上のように、本実施例3によれば、実施例1にて説明したトルクリップル補正方式と、実施例2にて説明したコギングトルク補正方式とを並行して実施することができる。

[0083] また、トルクリップル補正方式の実施では、正用補正波情報記憶部28及び負用補正波情報記憶部29に格納する補正波情報における或る高調波次数に対する振幅比率を予め減磁開始トルク T_{demag} 以上の領域で零にしたり、減磁境界線 L_{demag} よりも小さい領域にしたりすることにより、モータ1が有する永久磁石の減磁によるモータ1の機能損失を防止できるという効果がある。

実施例 4

[0084] 図13は、本発明の実施例4として、図9に示すトルク制御部の他の構成例を示すブロック図である。図13に示すトルク制御部10dでは、図10に示したトルク制御部10cにおいて、補正波演算部41に代えて補正波演算部43が設けられている。補正波演算部43では、トルク指令 T_{ref} が入力される「減磁回避のためのトルク指令生成手段44」が、選択回路30の出力端とトルクリップル補正波生成部26の入力端との間に設けられてい

る。

[0085] 実施例3にて説明したように、振幅比率 A_n は、トルク指令 T_{ref} の絶対値が減磁開始トルク T_{demag} よりも小さい領域において、減磁境界線 L_{demag} よりも小さい領域（図12のハッチング部分）に設定される。すなわち、振幅比率 A_n は、

$$0 \leq A_n \leq \{ (T_{demag} / |T_{ref}|) - 1 \} \quad \dots (7)$$

の領域内に規定される。

[0086] 減磁回避のためのトルク指令生成手段44は、選択回路30が、記憶部28、29に保存される振幅比率 A_n が固定値であるなどのため、記憶部28、29のいずれも選択しない場合に、トルク指令 T_{ref} の絶対値に対し式(7)を適用する可変リミッタとして機能し、式(7)に規定される領域部分での振幅比率 A_n （減磁回避のためのトルク指令）を生成し、それをトルクリップル補正波生成部26に出力する。

[0087] すなわち、減磁回避のためのトルク指令生成手段44は、選択回路30が記憶部28、29のいずれも選択しない場合に、式(7)に規定される領域部分での振幅比率 A_n を、トルク指令 T_{ref} の絶対値が、リミッタ上限値側にある場合は式(6)に基づき可変生成し、リミッタ下限値側にある場合はゼロに固定する。

[0088] このように構成することにより、実施例3において、正用補正波情報記憶部28及び負用補正波情報記憶部29に格納する補正波情報について、図12を用いて説明した特別な設定を行うことなく、モータ1が有する永久磁石の減磁によるモータ1の機能損失を防止できるという効果が得られる。

[0089] なお、実施例4では、実施例3への適用例を示したが、実施例1にも同様に適用することができる。

実施例 5

[0090] 図14は、本発明の実施例5によるモータ制御装置を含むモータ駆動システムの構成例を示すブロック図である。なお、図14では、図1（実施例1）に示した構成要素と同一または同等である構成要素には同一の符号が付さ

れている。ここでは、本実施例 5 に関わる部分を中心に説明する。

[0091] 図 14 において、本実施例 5 によるモータ制御装置 6 d は、図 1（実施例 1）に示したモータ制御装置 6 a において、補正波情報入力手段 5 0 を接続できるようにしたものである。補正波情報入力手段 5 0 は、キーボードやタッチパネル、押しボタンなどで構成される。

[0092] すなわち、図示を省略したが、図 2（モータ制御装置 6 a）と図 3（トルク制御部 1 0 a）を参照して説明すると、モータ制御装置 6 a 内、または、トルク制御部 1 0 a 内に、補正波数情報記憶部 2 8， 2 9 に対する書き込み制御回路が設けられていて、該書き込み制御回路が、トルクリップル補正方式において、補正波情報入力手段 5 0 を操作して入力された高調波次数情報、振幅比率、及び位相オフセット量を 1 セットとして補正波情報記憶部 2 8， 2 9 に書き込むようになっている。

[0093] このように構成することにより、モータ制御装置 6 d が駆動するモータ 1 が変更された場合などにおいて、当該モータ 1 に適したトルクリップル補正用の正用及び負用の補正波情報を入力して、補正波情報記憶部 2 8， 2 9 に設定することができる。

[0094] なお、本実施例 5 では、実施例 1 への適用例を示したが、実施例 2～4 にも同様に適用することができる。つまり、補正波情報入力手段 5 0 を操作してコギングトルク補正用の正用及び負用の補正波情報（高調波次数情報、振幅、及び位相のセット）を補正波情報記憶部 3 8， 3 9 に設定することができる。

実施例 6

[0095] 図 15 は、本発明の実施例 6 によるモータ制御装置を含むモータ駆動システムの構成例を示すブロック図である。

図 15 において、本実施例 6 によるモータ制御装置 6 e は、図 14 に示した補正波情報入力手段 5 0 に加えて、補正波情報表示手段 6 0 も接続できるようになっている。補正波情報表示手段 6 0 は、LED 表示器やパソコン用モニタなどで構成される。

- [0096] すなわち、図示を省略したが、図2（モータ制御装置6a）と図3（トルク制御部10a）を参照して説明すると、モータ制御装置6a内、または、トルク制御部10a内に、補正波情報記憶部28、29に対する書き込み制御回路と読み出し制御回路とが設けられていて、補正波情報入力手段50を操作して入力された補正波情報を書き込み制御回路が高調波次数情報記憶部28、29に書き込む。
- [0097] また、補正波情報入力手段50を操作して表示出力の指示が入力されると、読み出し制御回路が、補正波情報記憶部28、29のうち指定された記憶部の内容を補正波情報表示手段60に表示する。
- [0098] このように構成することにより、モータ制御装置6dが駆動するモータ1が変更された場合などにおいて、当該モータ1に適したトルクリップル補正用の正用及び負用の補正波情報を入力して、補正波情報記憶部28、29に設定することができる。加えて、格納されているトルクリップル補正用の補正波情報を確認できることになるから、適切にトルクの脈動（トルクリップル）を補正することができる。
- [0099] なお、本実施例6では、実施例5（つまり実施例1）への適用例を示したが、実施例2～4にも同様に適用することができる。

実施例 7

- [0100] 実施例1～6にて示したモータ制御装置が駆動するモータ1は、永久磁石式モータであり、その界磁側と電機子側の少なくとも一方において、V字状の斜めスキューもしくはV字状の段スキューが形成されている。本実施例7では、図16～図19を参照して、そのV字状の斜めスキュー或いはV字状の段スキューの構造について説明する。
- [0101] 図16と図17は、本発明の実施例7として、駆動するモータの構成例を示す概念図である。図18は、図16や図17に示すモータにおいて駆動力を発生する場合の磁束の流れを説明する図である。図19は、図16や図17に示すモータでのあるモータ断面におけるトルクリップル波形を示す図である。

- [0102] 図16では、V字状の斜めスキューの形成例が示されている。図17では、V字状の段スキューの形成例が示されている。図16(a)及び図17(a)は、駆動するモータ1の輪切り断面図である。例えば、図16(a)及び図17(a)に示すように、モータ1は、電機子71と軸74の外周に固定された界磁72(ロータ)とが、ギャップを介してほぼ同心状に配置され、図示しない支持機構に回転自在に支持されている。
- [0103] 図16(b)及び図17(b)は、図16(a)及び図17(a)に示すギャップ中心径73を含む電機子71及び界磁72と同心状の平面から電機子71側を見た図であるので、図16(b)及び図17(b)では、電機子71の内周側表面が見えることになる。図16(b)に示すように、V字状の斜めスキューでは、電機子コア75及びスロットオープニング76は、アルファベットのVの字が90°右回りに回転した態様で交互に周方向に多数個並んでいる。Vの字は、電機子71の軸方向の中心77に対して略線対称となっている。また、V字状の段スキューも、図17(b)に示すように、V字状の斜めスキューと同様の構造をしている。
- [0104] なお、図16(a)及び図17(a)では、電機子71が界磁72の外側に配置されるいわゆるインナーロータタイプのモータを示しているが、内外が逆の OUTERロータタイプでも本発明は適用可能である。
- [0105] モータにおけるスキュー技術は、電機子コアを軸方向に角度をつけながらずらすことで様々な高調波問題を解決するための技法であるが、スキューの構造は、図16や図17に示すような構造に限定されるものではない。トルクリップルの高調波次数が正トルク時と負トルク時とで異なるという本発明が着目する現象は、モータの磁気構造に起因して発生するものである。つまり、トルクリップルの高調波次数が正トルク時と負トルク時とで異なる現象は、スキューの構造がV字状でなくとも、また電機子の軸方向の中心77に対して回転対称とならなくとも顕著に起こり得る現象である。
- [0106] このトルクリップルの高調波次数が正トルク時と負トルク時とで異なる現象を説明する理論は、トルクリップルについて例えば図16(b)を用いて

説明すると、軸方向の中心 77 に存在する電機子コア 75 が発生するトルクリップルから軸方向の端 78 に存在する電機子コア 75 が発生するトルクリップルまでを積分すると、トルクリップルのうちのある特定の高調波次数の成分がキャンセルされるという理論である。

[0107] しかし、この理論は、図 16 (a) で示すような 2 次元断面で考えた場合のトルクリップルがいずれの軸方向位置においても同一であるという仮定に基づいており、実際は 3 次元的な軸方向の端部での軸方向への磁束漏れ等があり、各断面におけるトルクリップルは同一ではない。また、同一の回転位置で同一のモータ断面においても正トルクを出力する場合と負トルクを出力する場合とで、図 18 に示すように、磁束の流れ方が異なり、引いてはトルクリップルが異なる。

[0108] 図 19 は、電磁界 FEM (有限要素法) によってあるモータ断面のトルク波形を解析した結果を示す。図 19 (a) は正トルクを出力した場合を示し、図 19 (b) は負トルクを出力した場合を示している。図 19 (a) (b) 共に、横軸は同一位置 (機械角) になっている。図 19 (a) (b) から、同一の回転位置で同一のモータ断面においても、正トルクを出力する場合と、負トルクを出力する場合とでトルクリップルの位相が異なることがわかる。この現象と 3 次元的な影響とを組み合わせると、正トルク時のトルクリップルの高調波次数と、負トルク時のトルクリップルの高調波次数とが異なるという現象が生じる場合がある。

[0109] よって、V 字状の斜めスキューあるいは段スキューを施してある永久磁石式にモータ 1 を駆動する場合に、正トルクと負トルクとでトルクリップルに現れる高調波次数が異なるため、実施例 1 ~ 6 に示したモータ制御装置を用いることによって効果的にトルク脈動を低減することができる。

[0110] 但し、実施例 1 ~ 6 に示したモータ制御装置が駆動制御するモータ 1 は、永久磁石式モータではあるが、必ずしも V 字状の斜めスキューあるいは段スキューを施してあることが要件ではなく、以下のように構成されている。図 16 や図 17 に示した符号を用いて示すと、スロットを有する鋼板を積層し

た電機子コア75と、該スロットに電機子コイルを配設した電機子71と、相対的な回転方向に互いに磁極が異極となるように配設した永久磁石を有する界磁72とを有し、電機子71と界磁72とが空隙を介して互いに回転自在に支持されていて、該空隙から観測できる電機子コア75の表面及び磁極の表面を観測した場合に、電機子コア75の表面と磁極の表面のうち少なくとも一方の表面が、電機子コア75の積層方向の中心線のある一点を中心として非回転対称となっている永久磁石式モータである。

実施例 8

[0111] 本実施例8では、実施例7にて説明した、スロットを有する鋼板を積層した電機子コアと、該スロットに電機子コイルを配設した電機子と、相対的な回転方向に互いに磁極が異極となるように配設した永久磁石を有する界磁とを有し、電機子と界磁とが空隙を介して互いに回転自在に支持されている永久磁石式モータを、界磁側の磁極数をP、電機子側のスロット数をQと表記した場合に、磁極数Pとスロット数Qとの比 P/Q が、 $2/3 < P/Q < 4/3$ となるように構成してある。

[0112] このような永久磁石式モータ1にあっては、電気角に対するトルク脈動の次数が、小数となりやすいので、例えば、各極を構成する磁石の形状や着磁量にばらつきが多い場合には、P次とその自然数倍次数のトルク脈動が生じやすい。

[0113] しかし、この明細書では、トルク脈動の高調波次数を、回転機械角周波数を1次として定義しているため、電気角周波数に対しては小数となる次数でも、簡単に補正波を生成することができるようになり、トルク脈動を低減できる。

[0114] すなわち、比 P/Q が、 $2/3 < P/Q < 4/3$ となっている永久磁石式モータ1は、実施例1～6で示したモータ制御装置により駆動制御すれば、効果的にトルク脈動を低減することができる。

[0115] ここで、工作誤差により発生するP次やQ次は、これらの脈動が小さくな

るように生産方法を追求するもコスト等による妥協点があり、一定の水準よりも小さくすることが難しい。

[0116] しかし、比 P/Q が、 $2/3 < P/Q < 4/3$ となるような永久磁石式モータ1では、トルクリップルやコギングトルクが一般的に発生する成分である電気角周波数に対する6次や、 P と Q の最小公倍数の次数の成分は、通常のモータ設計を行えば小さくなる。このことは、高調波次数情報としては、 P と Q の少なくとも一方を設定すればよいことを示している。

[0117] つまり、本実施例8では、 P 次と Q 次との少なくとも一方を高調波次数情報として設定するだけで、モータ駆動システムとしてトルク脈動の小さいシステムが提供できるという効果を奏する。

産業上の利用可能性

[0118] 以上のように、本発明にかかるモータ制御装置は、簡単な構成で、モータの発生トルクに脈動を生じさせる駆動状態を規定する状態量の正負に応じて適切に2種類のトルク脈動を減少させる補正が行えるモータ制御装置として有用である。

符号の説明

- [0119]
- 1 モータ
 - 2 位置センサ
 - 3 インバータ回路
 - 4 キャパシタ
 - 5 電流センサ
 - 6 a, 6 b, 6 c, 6 d, 6 e モータ制御装置
 - 7 A/Dコンバータ
 - 8 上位装置
 - 10 a, 10 b, 10 c, 10 d, トルク制御部
 - 11 電流制御部
 - 12 電圧制御部
 - 13 3相2相変換部

- 14, 15 減算器
- 16, 17 PID制御部
- 18 2相3相変換部
- 19 PWM制御部
- 20, 34, 41 補正波演算部
- 21 トルク指令合成部
- 22 電流指令生成部
- 24 補正波情報選択部
- 25 トルク指令正負判定部
- 26 トルクリップル補正波生成部
- 28, 38 正用補正波情報を格納する記憶部
- 29, 39 負用補正波情報を格納する記憶部
- 30, 40 選択回路
- 36 モータ速度正負判定部
- 37 コギングトルク補正波生成部
- 42 加算器
- 50 補正波情報入力手段
- 60 補正波情報表示手段
- 71 電機子
- 72 界磁（ロータ）
- 73 ギャップ中心径
- 74 軸
- 75 電機子コア
- 76 スロットオープニング

請求の範囲

- [請求項1] 入力されるトルク指令に基づいてモータを駆動制御するモータ制御装置において、
- 前記モータの発生トルクに脈動を生じさせる駆動状態を規定する状態量が正極性であるか負極性であるかの正負を判定する正負判定部と、
- 補正波情報を格納する記憶部から、前記正負判定部の判定結果が示す正負に応じた補正波情報を選択する補正波情報選択部と、
- 前記選択された補正波情報に基づき、周期的トルク脈動に対する正弦波状の補正波を生成する補正波生成部と
- を備え、
- 前記入力されるトルク指令に代えて、該トルク指令と前記生成された補正波とを合成した補正トルク指令に基づき前記モータを駆動制御することを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項2] 前記モータの状態量は、前記入力されるトルク指令であり、
- 前記補正波情報選択部は、前記記憶部に前記補正波情報として格納されている高調波次数情報の中から前記正負判定部の判定結果が示す正負に応じた次数を選択し、
- 前記補正波生成部は、前記選択された次数に基づき、振幅が前記トルク指令に依存する補正波を生成することを特徴とする請求項1に記載のモータ制御装置。
- [請求項3] 前記補正波情報選択部は、
- 更に前記記憶部に前記補正波情報として前記高調波次数情報と関連付けられて格納されている、補正波の振幅の前記トルク指令に対する振幅比率も選択し、前記補正波生成部に与えることを特徴とする請求項2に記載のモータ制御装置。
- [請求項4] 前記振幅比率は、前記トルク指令の絶対値が減磁開始トルクよりも

大きな領域においてゼロである

ことを特徴とする請求項3に記載のモータ制御装置。

- [請求項5] 前記振幅比率 A_n は、前記トルク指令 T_{ref} の絶対値が減磁開始トルク T_{demag} よりも小さな領域において、次式
- $$A_n \leq (T_{demag} / |T_{ref}|) - 1$$
- の関係を満たす領域に設定されている

ことを特徴とする請求項3または4に記載のモータ制御装置。

- [請求項6] 前記補正波情報選択部は、
更に前記記憶部に前記補正波情報として前記高調波次数情報と関連付けられて格納されている補正波の位相も選択し、前記補正波生成部に与える

ことを特徴とする請求項2～5のいずれかひとつに記載のモータ制御装置。

- [請求項7] 前記記憶部に、前記高調波次数情報、前記振幅比率及び前記位相からなる補正波情報が設定できる入力手段が接続されていることを特徴とする請求項2～6のいずれかひとつに記載のモータ制御装置。

- [請求項8] 前記記憶部に格納される前記高調波次数情報、前記振幅比率及び前記位相からなる補正波情報を表示できる表示手段が接続されていることを特徴とする請求項2～7のいずれかひとつに記載のモータ制御装置。

- [請求項9] 前記モータの状態量は、モータ速度であり、
前記補正波情報選択部は、前記記憶部に前記補正波情報として格納される高調波次数情報の中から前記正負判定部の判定結果が示す正負に応じた次数を選択し、

前記補正波生成部は、前記選択されて次数に基づき、振幅が前記トルク指令に依らず一定値である補正波を生成する

ことを特徴とする請求項1に記載のモータ制御装置。

- [請求項10] 前記補正波情報選択部は、

更に前記記憶部に前記補正波情報として前記高調波次数情報と関連付けられて格納されている補正波の振幅も選択し、前記補正波生成部に与える

ことを特徴とする請求項7に記載のモータ制御装置。

[請求項11]

前記補正波情報選択部は、

更に前記記憶部に前記補正波情報として前記高調波次数情報と関連付けられて格納されている補正波の位相も選択し、前記補正波生成部に与える

ことを特徴とする請求項7または8に記載のモータ制御装置。

[請求項12]

前記記憶部に、前記高調波次数情報、前記振幅及び前記位相からなる補正波情報が設定できる入力手段が接続されていることを特徴とする請求項9～11のいずれかひとつに記載のモータ制御装置。

[請求項13]

前記記憶部に格納される前記高調波次数情報、前記振幅及び前記位相からなる補正波情報を表示できる表示手段が接続されていることを特徴とする請求項9～12のいずれかひとつに記載のモータ制御装置。

[請求項14]

前記モータは、

スロットを有する鋼板を積層した電機子コアと、

前記スロットに電機子コイルを配設した電機子と、

移動方向に互いに磁極が異極となるように配設した永久磁石を有する界磁とを有し、

前記電機子と前記界磁とが空隙を介して互いに移動自在に支持されていて、

前記空隙から観測できる前記電機子コアの表面及び前記磁極の表面を観測した場合に、前記電機子コアの表面と前記磁極の表面のうち少なくとも一方の表面が、前記電機子コアの積層方向の中心線のある一点を中心として非回転対称である

ことを特徴とする請求項1～13のいずれかひとつに記載のモータ

制御装置。

[請求項15]

前記モータが、
スロットを有する鋼板を積層した電機子コアと、
前記スロットに電機子コイルを配設した電機子と、
移動方向に互いに磁極が異極となるように配設した永久磁石を有する界磁とを有し、
前記電機子と前記界磁とが空隙を介して互いに移動自在に支持され、
前記スロットの数をQ、前記磁極の数をPとした場合に、比P/Qは、

$$2/3 < P/Q < 4/3$$

が成立するように設定されている

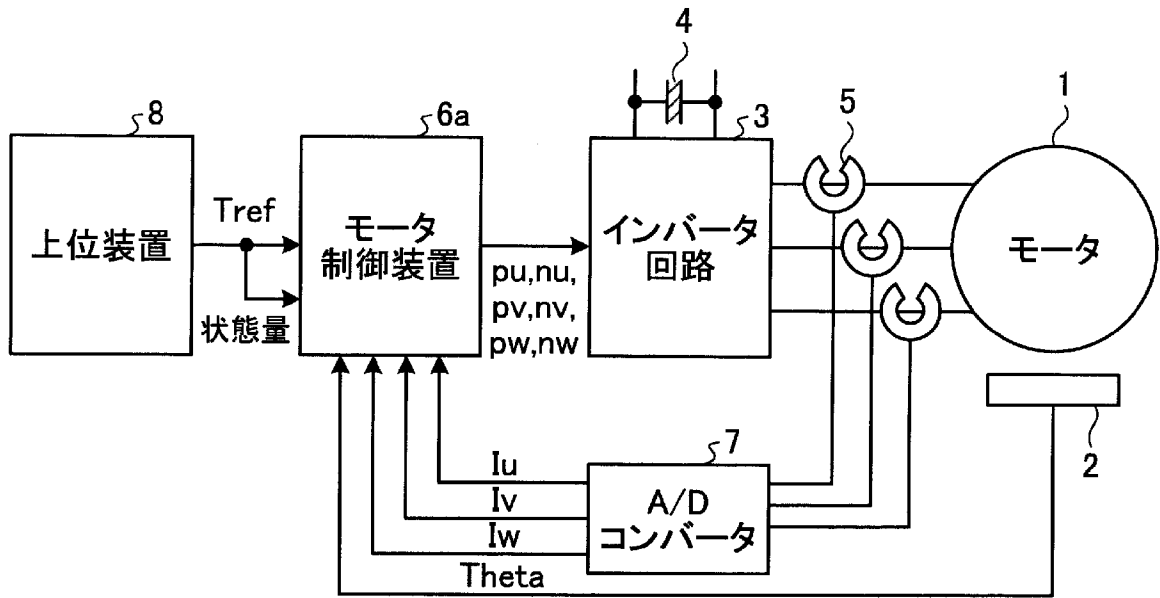
ことを特徴とする請求項1～13のいずれかひとつに記載のモータ制御装置。

[請求項16]

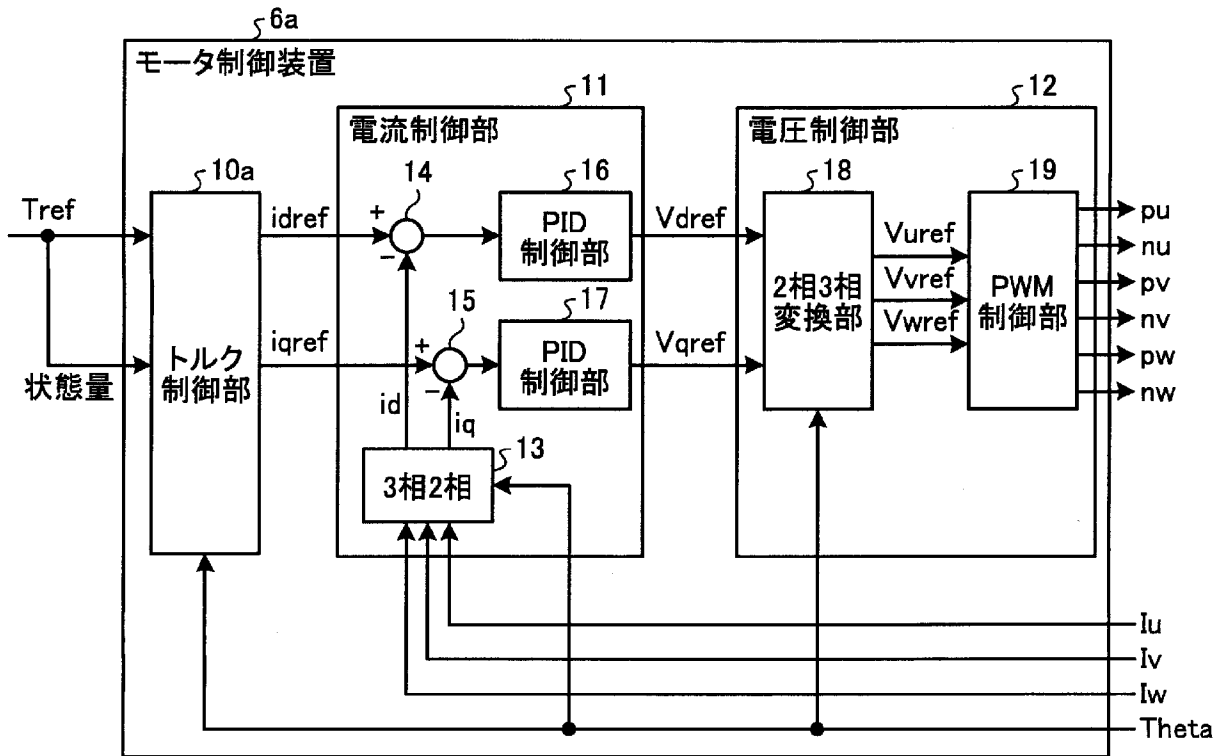
前記記憶部に前記補正波情報として格納する高調波次数情報の次数として、少なくとも磁極数Pとスロット数Qのいずれか一方を設定した

ことを特徴とする請求項15に記載のモータ制御装置。

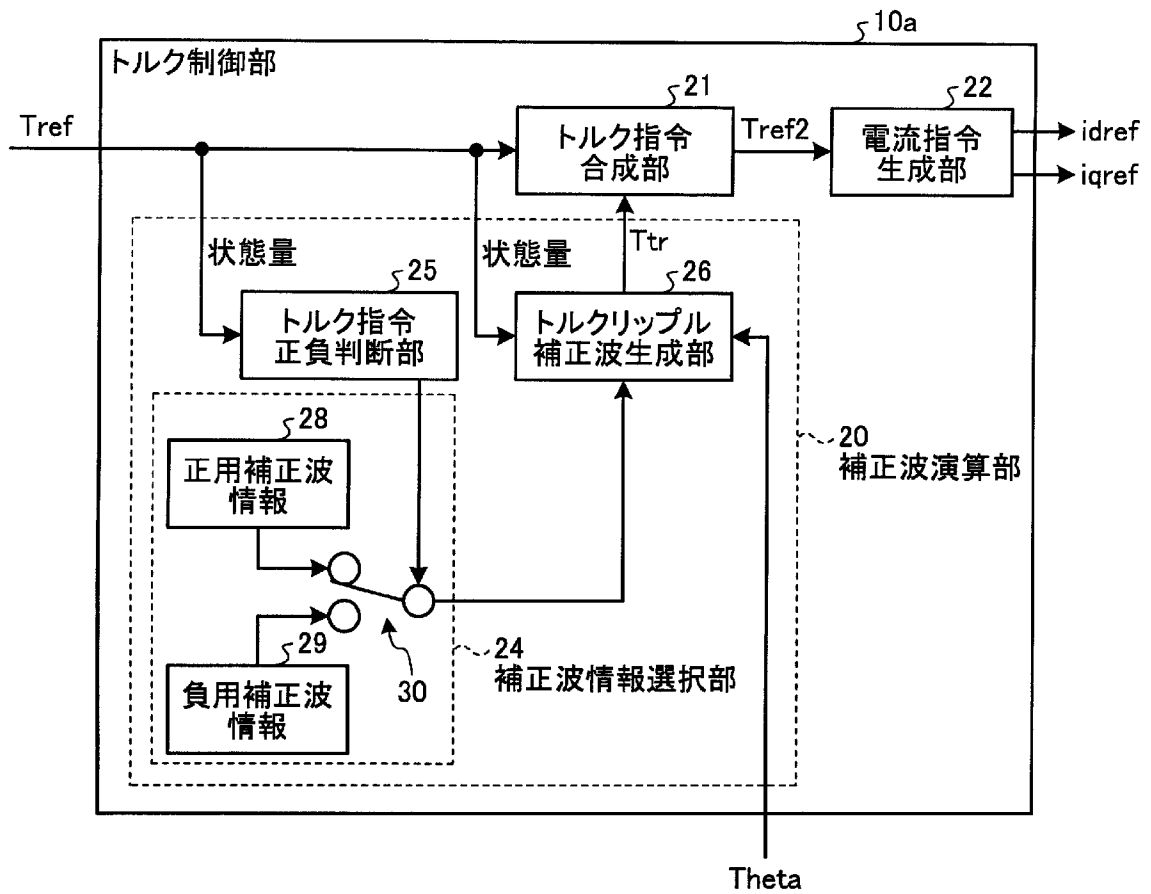
[図1]



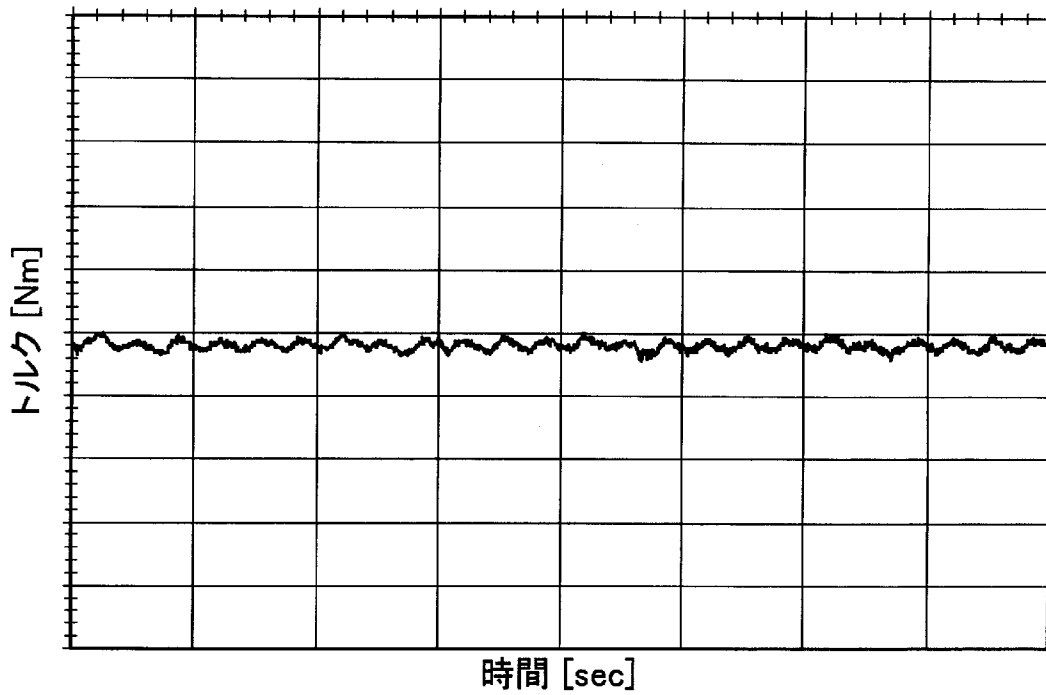
[図2]



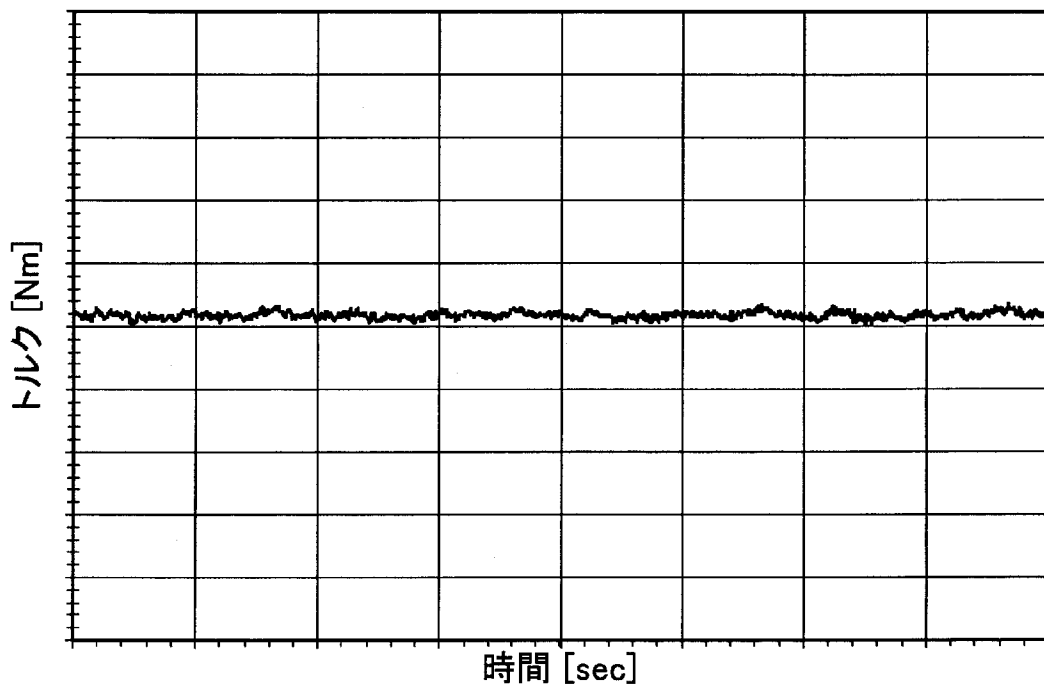
[図3]



[図4]

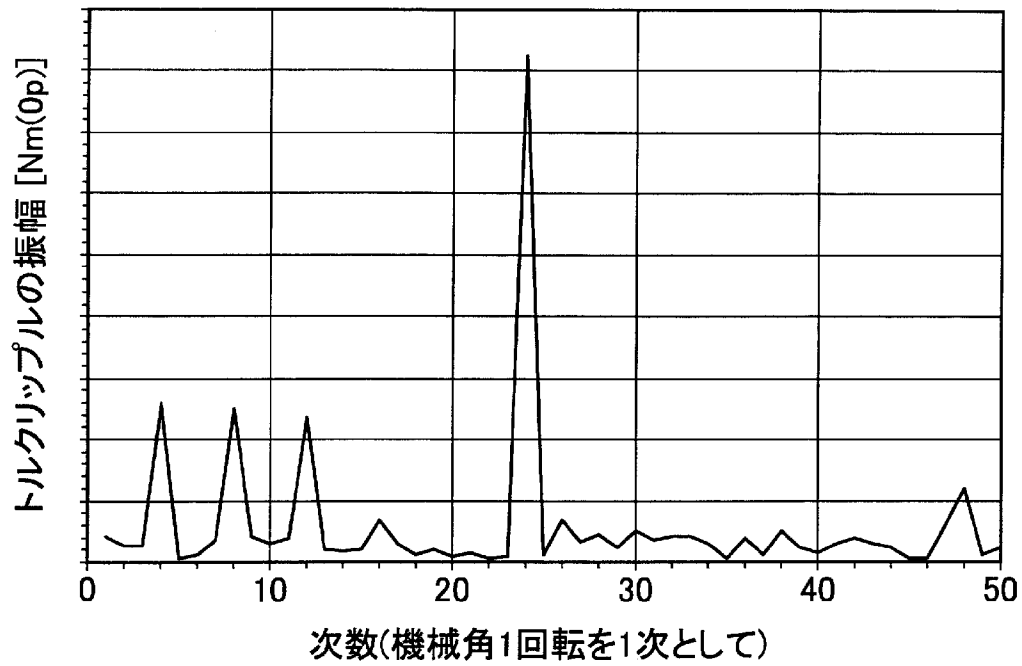


(a) 正トルク発生時のトルク脈動波形

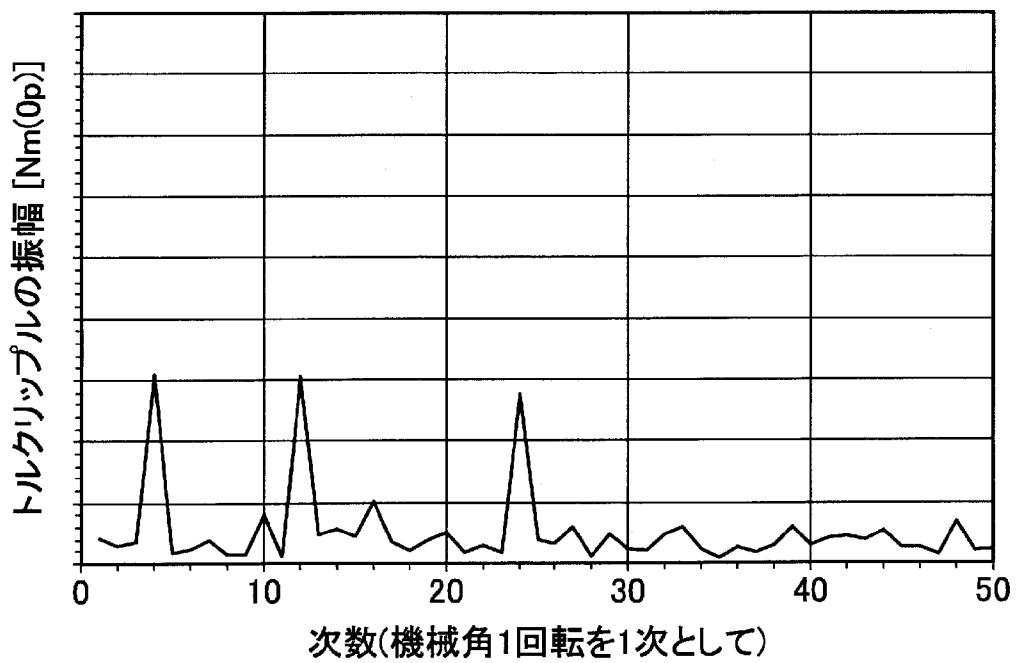


(b) 負トルク発生時のトルク脈動波形

[図5]

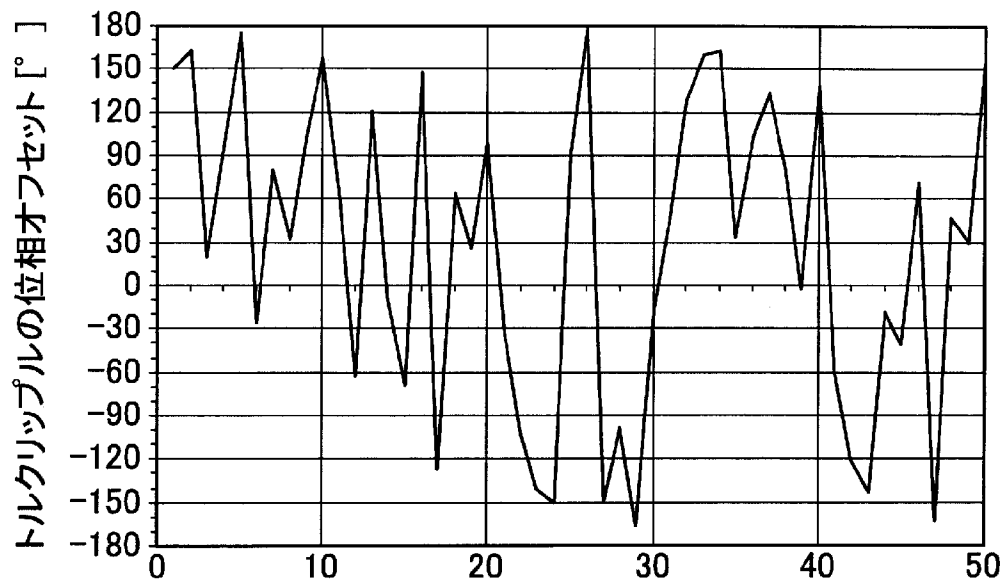


(a)図4(a)のトルク脈動波形を次数分解した結果

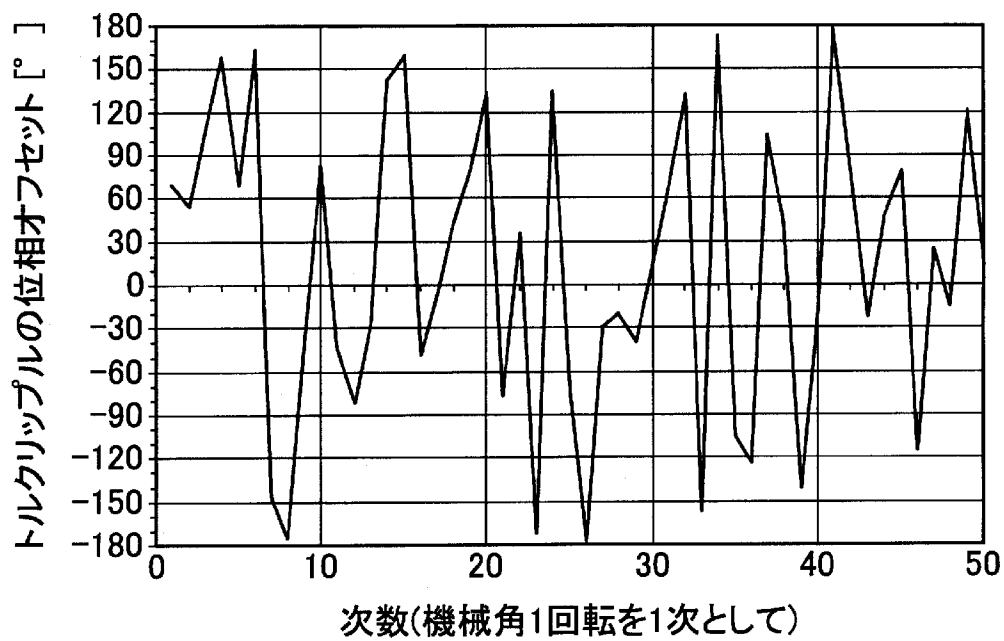


(b)図4(b)のトルク脈動波形を次数分解した結果

[図6]

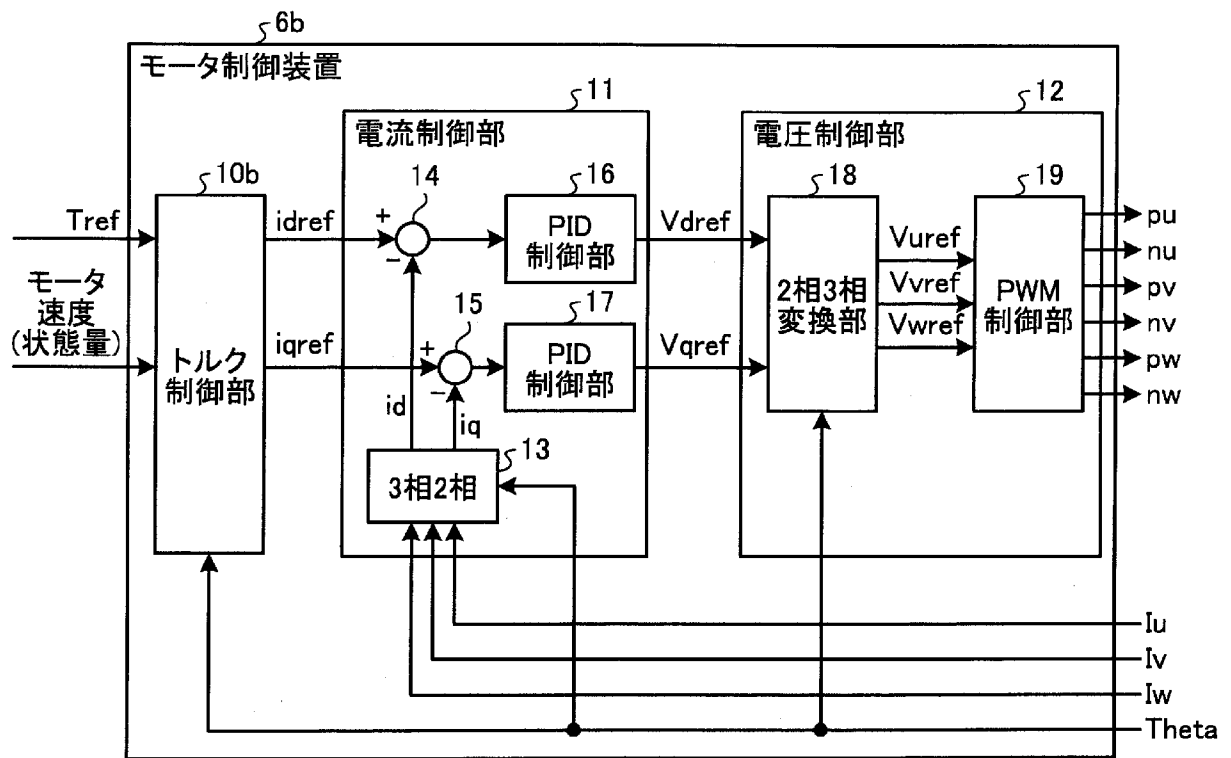


(a)図4(a)のトルク脈動波形を次数分解した結果

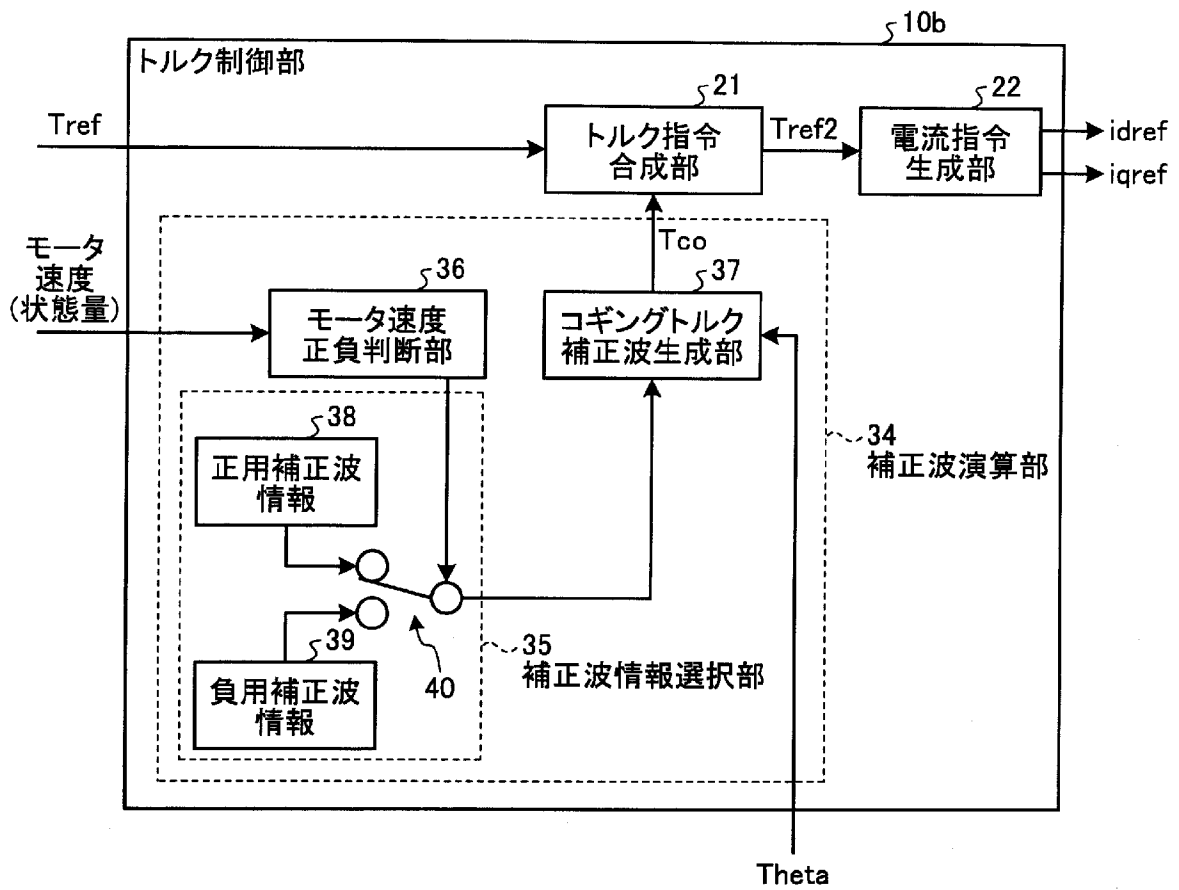


(b)図4(b)のトルク脈動波形を次数分解した結果

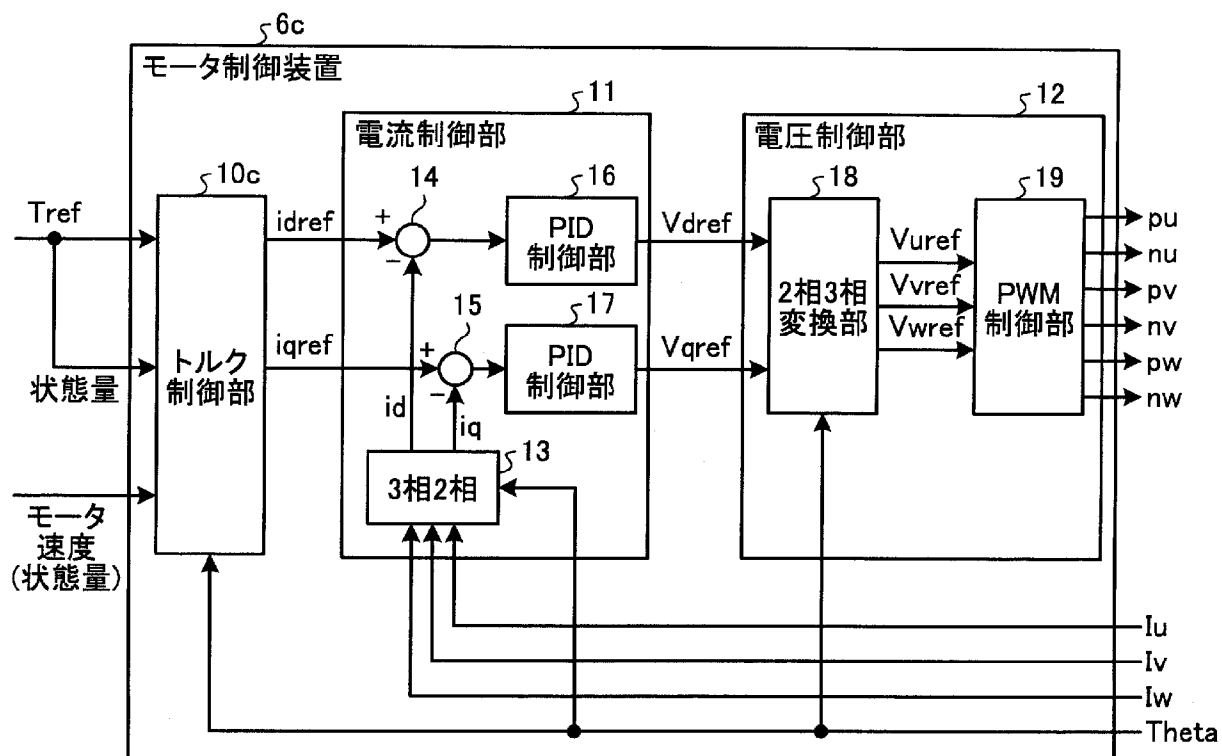
[図7]



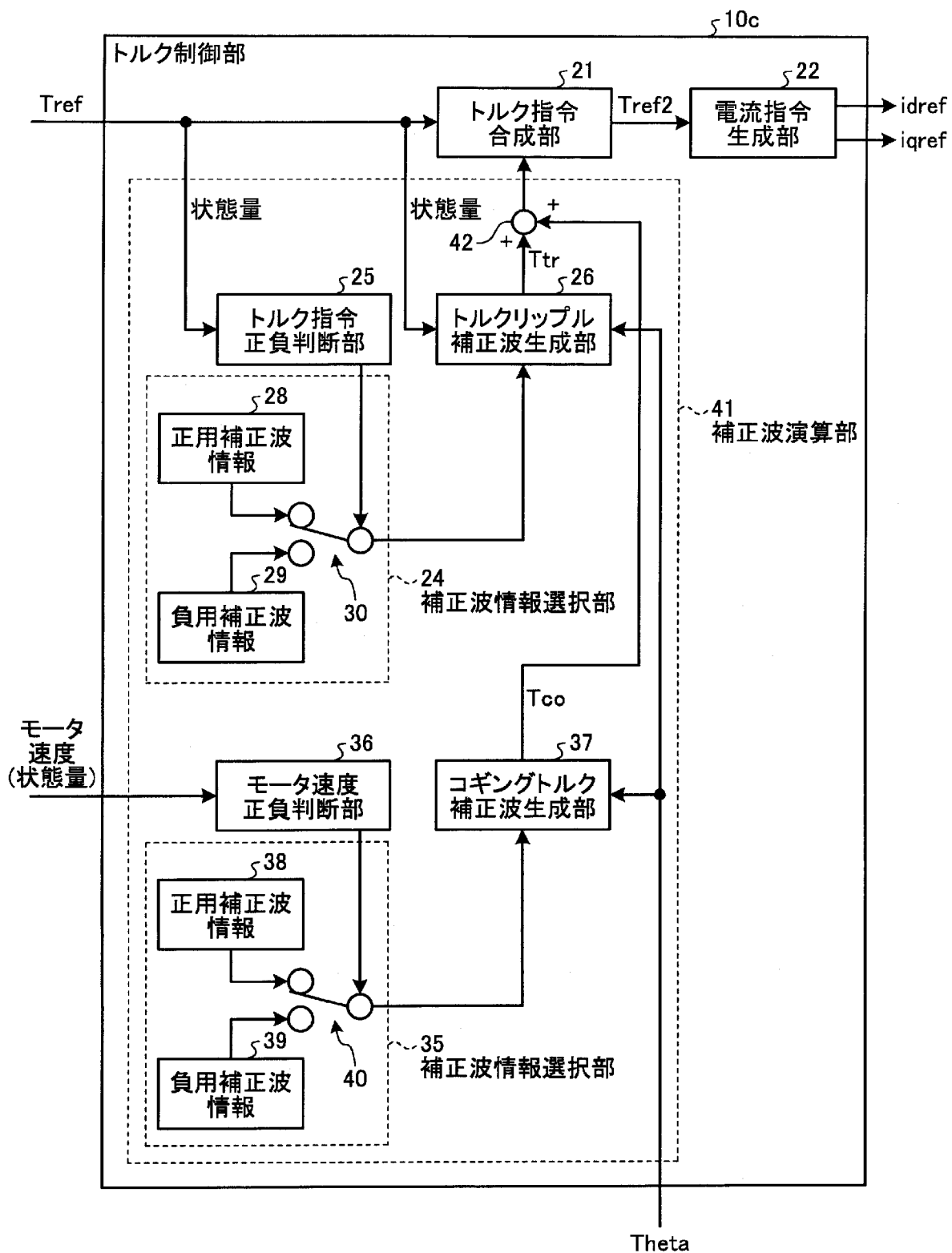
[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

(a)正トルク指令用トルクリップル補正波情報(記憶部28の内容)

次数	振幅比率	位相オフセット量
npt1	Apt1	θ_{pt1}
npt2	Apt2	θ_{pt2}
npt3	Apt3	θ_{pt3}
⋮	⋮	⋮
nptm	Aptm	θ_{ptm}

(b)負トルク指令用トルクリップル補正波情報(記憶部29の内容)

次数	振幅比率	位相オフセット量
nnt1	Ant1	θ_{nt1}
nnt2	Ant2	θ_{nt2}
nnt3	Ant3	θ_{nt3}
⋮	⋮	⋮
nntm	Antm	θ_{ntm}

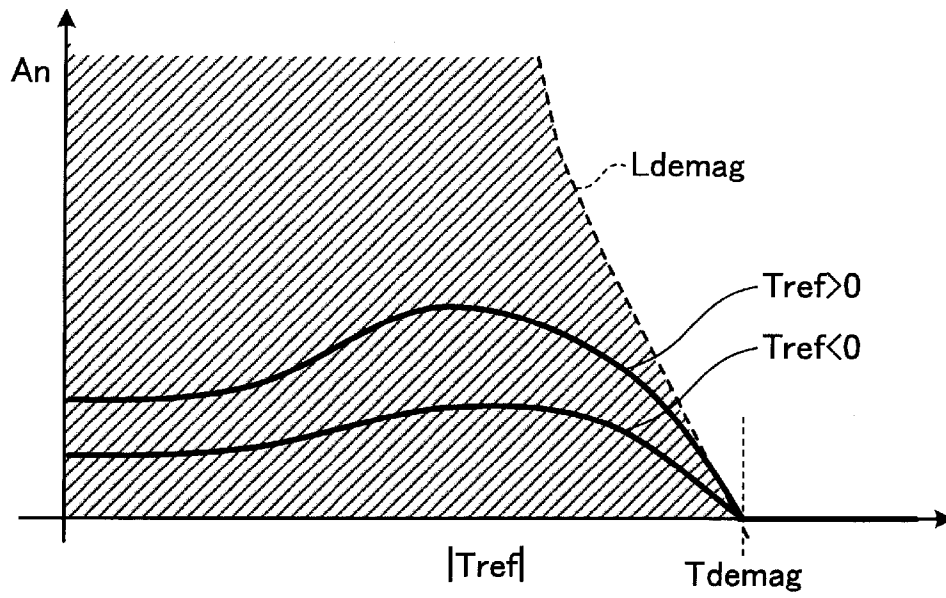
(c)正トルク指令用コギングトルク補正波情報(記憶部38の内容)

次数	振幅	位相オフセット量
npc1	Bpc1	θ_{pc1}
npc2	Bpc2	θ_{pc2}
npc3	Bpc3	θ_{pc3}
⋮	⋮	⋮
npcm	Bpcm	θ_{pcm}

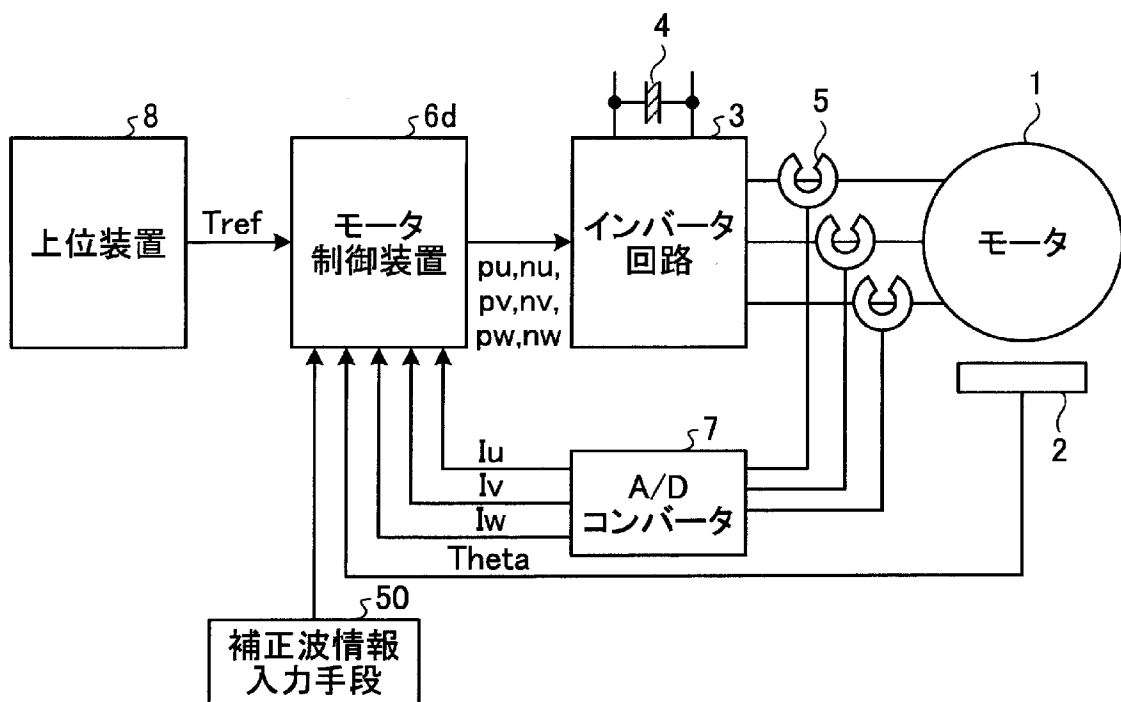
(d)負トルク指令用コギングトルク補正波情報(記憶部39の内容)

次数	振幅	位相オフセット量
nnc1	Bnc1	θ_{nc1}
nnc2	Bnc2	θ_{nc2}
nnc3	Bnc3	θ_{nc3}
⋮	⋮	⋮
nncm	Bncm	θ_{ncm}

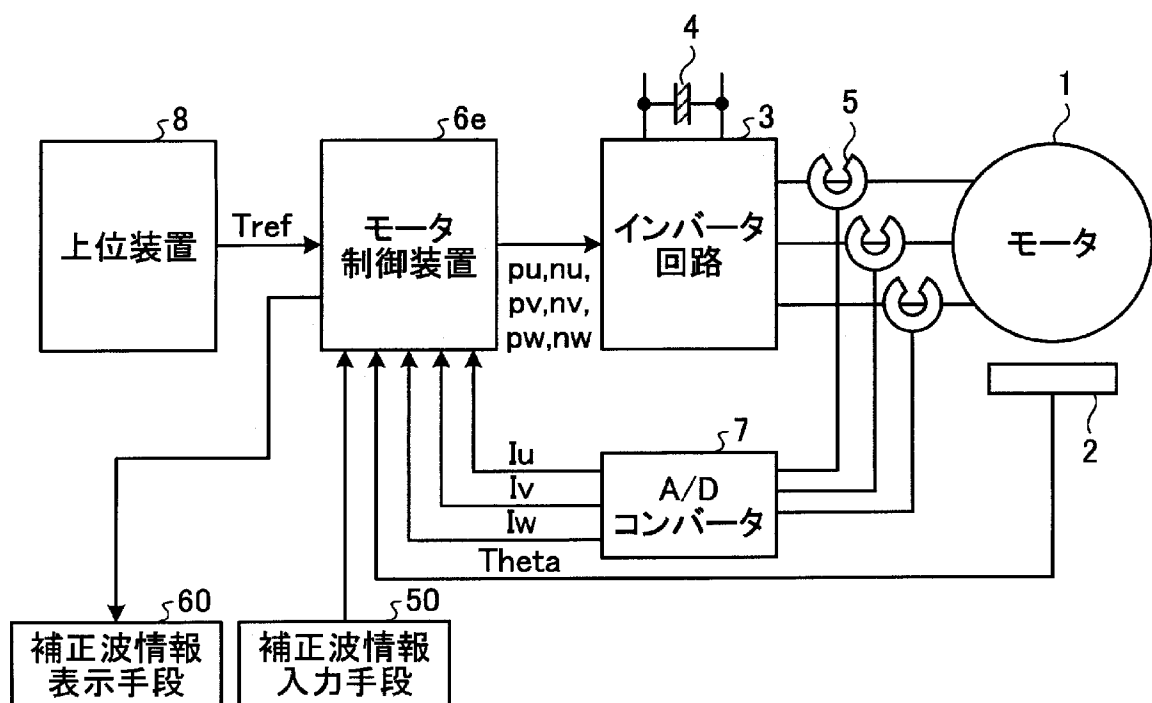
[図12]



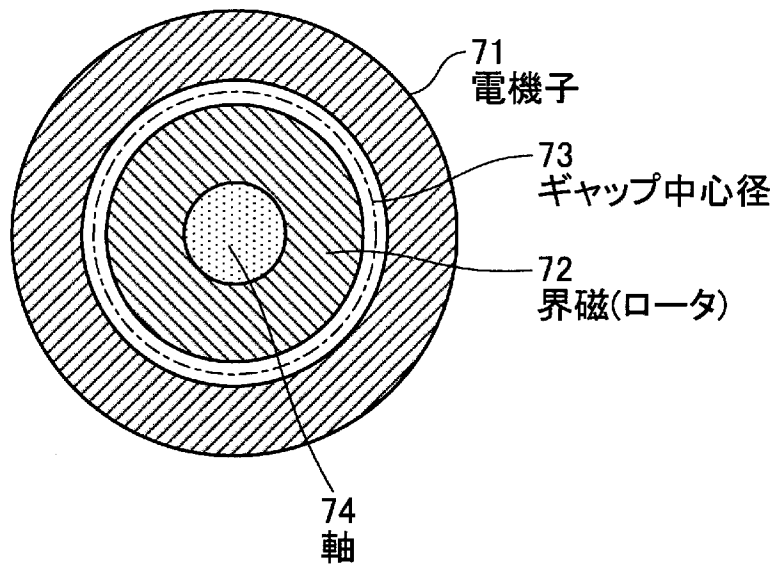
[図14]



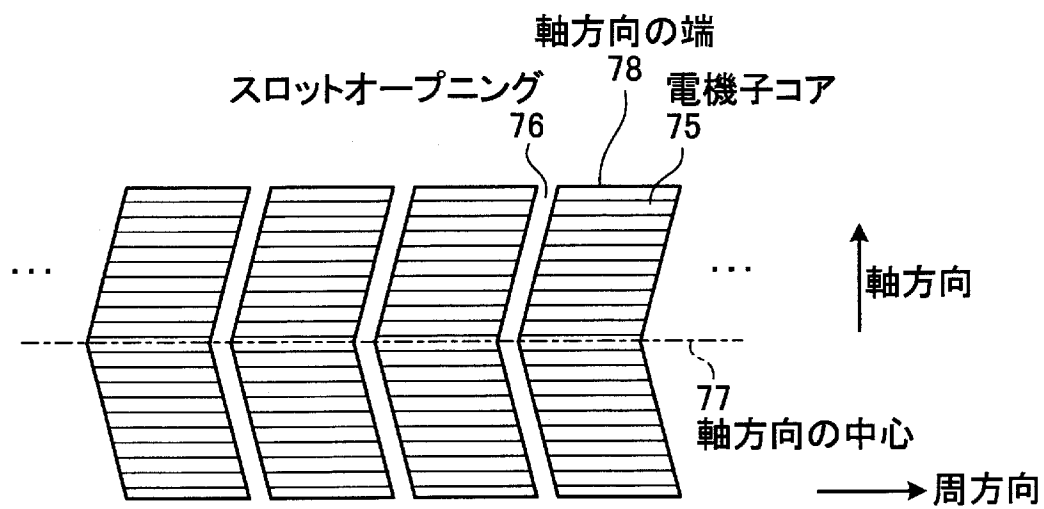
[図15]



[図16]

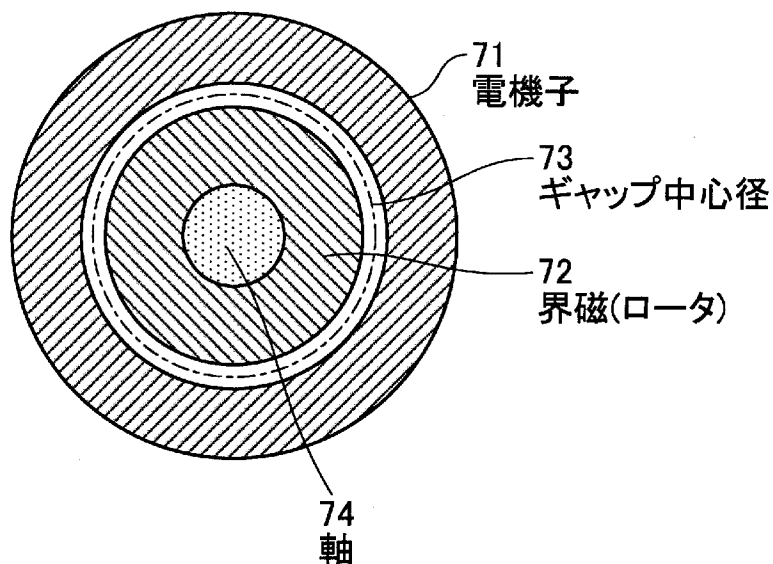


(a)モータの輪切り断面図

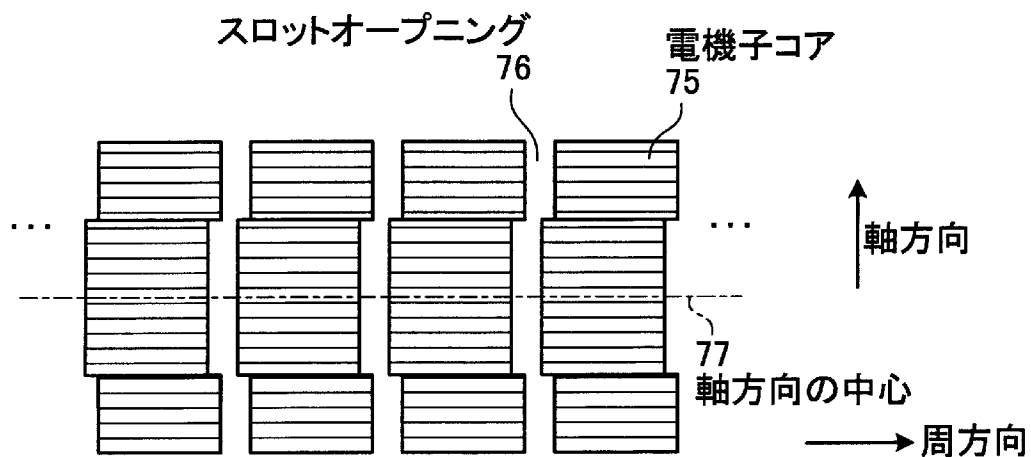


(b)ギャップ中心径の平面から電機子側を見た図

[図17]

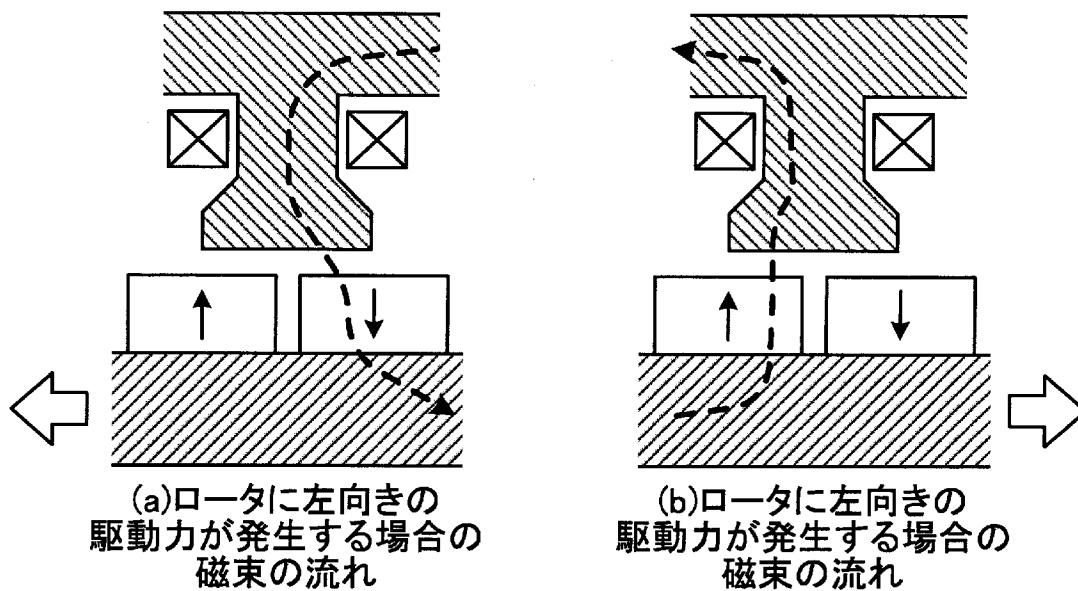


(a)モータの輪切り断面図

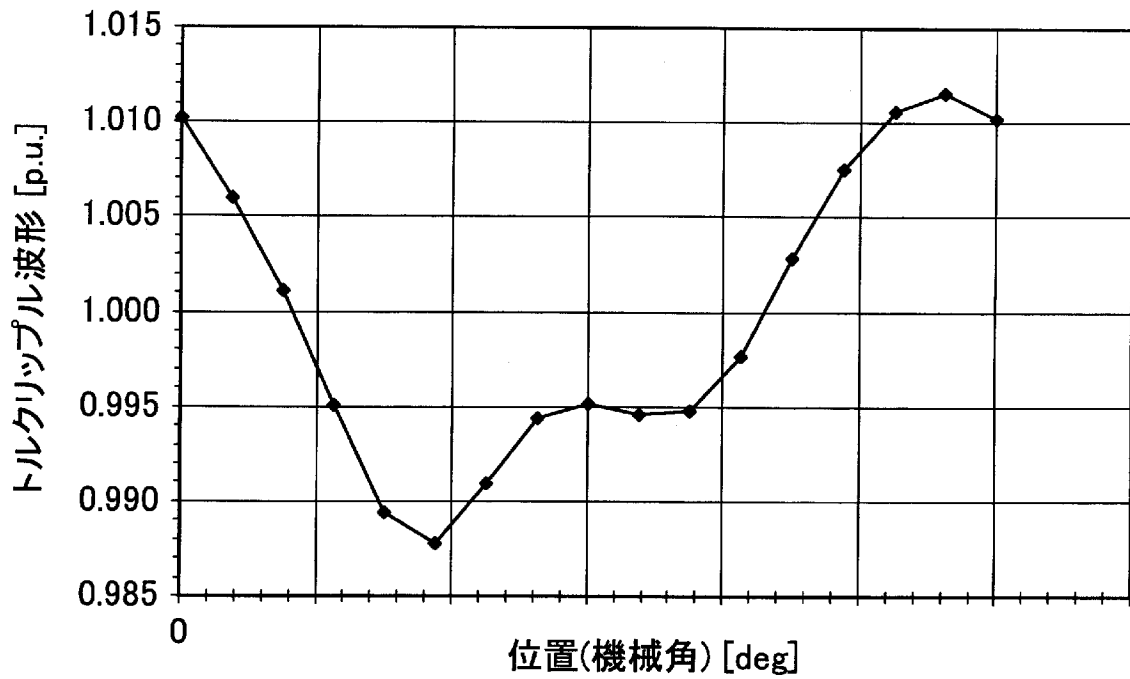


(b)ギャップ中心径の平面から電機子側を見た図

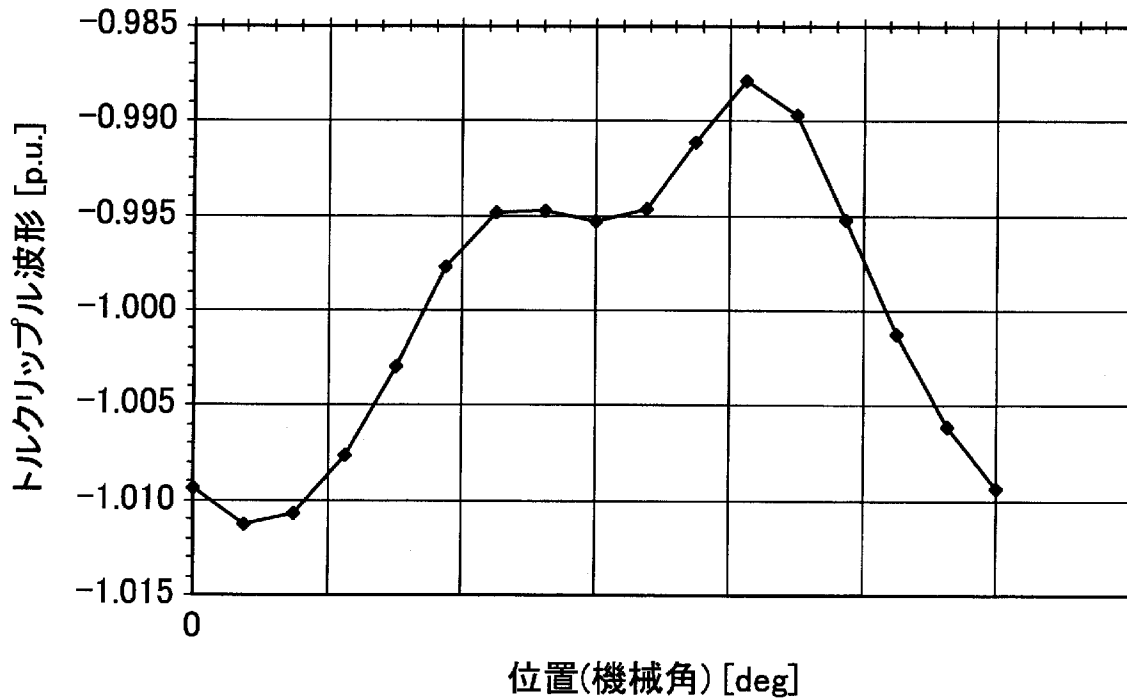
[図18]



[図19]



(a)あるモータ断面における正トルク時のトルクリップル波形



(b)あるモータ断面における負トルク時のトルクリップル波形

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/071592

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P6/10 (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)

H02P6/10

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
Y	JP 2010-239681 A (Aisin AW Co., Ltd.), 21 October 2010 (21.10.2010), paragraphs [0018] to [0070]; fig. 1 to 10 & US 2010/0244755 A1 & WO 2010/116787 A1	1-16
Y	JP 7-46878 A (Okuma Corp.), 14 February 1995 (14.02.1995), paragraphs [0018] to [0052]; fig. 1 to 9 & US 5469215 A	1-16
Y	JP 2010-166810 A (Mitsubishi Electric Corp.), 29 July 2010 (29.07.2010), fig. 8 (Family: none)	14

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
07 December, 2011 (07.12.11)

Date of mailing of the international search report
20 December, 2011 (20.12.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/071592

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 2010-166815 A (Mitsubishi Electric Corp.), 29 July 2010 (29.07.2010), paragraphs [0016] to [0017]; fig. 6 to 8 (Family: none)	15-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H02P6/10(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. H02P6/10		
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 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011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
Y	JP 2010-239681 A (アイシン・エイ・ダブリュ株式会社) 2010.10.21, 段落【0018】-【0070】、図 1-10 & US 2010/0244755 A1 & WO 2010/116787 A1	1-16
Y	JP 7-46878 A (オークマ株式会社) 1995.02.14, 段落【0018】-【0052】、図 1-9 & US 5469215 A	1-16
Y	JP 2010-166810 A (三菱電機株式会社) 2010.07.29, 図 8 (ファミリーなし)	14
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 07.12.2011	国際調査報告の発送日 20.12.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 森山 拓哉 電話番号 03-3581-1101 内線 3358	3V 3924

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
Y	JP 2010-166815 A (三菱電機株式会社) 2010.07.29, 段落【0016】 - 【0017】、図 6-8 (ファミリーなし)	15-16