

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-127105

(P2017-127105A)

(43) 公開日 平成29年7月20日(2017.7.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H02P 29/00</b> (2016.01)	H02P 5/00 X	3D232
<b>B62D 6/00</b> (2006.01)	B62D 6/00	5H501
B62D 137/00 (2006.01)	B62D 137:00	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2016-4561 (P2016-4561)  
 (22) 出願日 平成28年1月13日 (2016.1.13)

(71) 出願人 00004204  
 日本精工株式会社  
 東京都品川区大崎1丁目6番3号  
 (74) 代理人 100078776  
 弁理士 安形 雄三  
 (74) 代理人 100121887  
 弁理士 菅野 好章  
 (74) 代理人 100200333  
 弁理士 古賀 真二  
 (72) 発明者 木村 玄  
 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号  
 日本精工株式会社内  
 (72) 発明者 塗 志鵬  
 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号  
 日本精工株式会社内

最終頁に続く

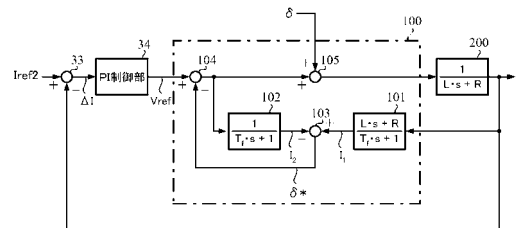
(54) 【発明の名称】 モータ制御装置及びそれを搭載した電動パワーステアリング装置

(57) 【要約】

【課題】 モータの入力側に混入する高調波の外乱を推定し、推定された外乱推定値を入力側にフィードバックして外乱を相殺する機能を具備したモータ制御装置及びそれを搭載した電動パワーステアリング装置を提供する。

【解決手段】 電流指令値を電流制御部で電圧指令値としてモータを駆動すると共に、モータの電流検出値が前記電流指令値にフィードバックされているモータ制御装置において、モータの入力側に混入する外乱を推定し、推定された外乱推定値を入力側にフィードバックして外乱を相殺する外乱オブザーバを具備する。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電流指令値を電流制御部で電圧指令値としてモータを駆動すると共に、前記モータの電流検出値が前記電流指令値にフィードバックされているモータ制御装置において、前記モータの入力側に混入する外乱を推定し、推定された外乱推定値を前記入力側にフィードバックして前記外乱を相殺する外乱オブザーバを具備したことを特徴とするモータ制御装置。

## 【請求項 2】

前記外乱が、前記モータの相電流に重畳する高調波成分である請求項 1 に記載のモータ制御装置。

10

## 【請求項 3】

前記外乱オブザーバが、

前記電流検出値を入力する前記モータの逆モデルと、前記外乱が混入する前の前記電圧制御指令値を抽出するフィルタと、前記逆モデルの出力及び前記フィルタの出力の偏差を前記外乱推定値とする減算部とで構成されている請求項 1 又は 2 に記載のモータ制御装置。

## 【請求項 4】

前記モータの抵抗成分を  $R$ 、インダクタンス成分を  $L$ 、 $s$  をラプラス演算子としたとき、前記モータのモデルを  $1 / (L \cdot s + R)$  とし、フィルタ時定数  $T_f$  を用いて、前記逆モデルを  $(L \cdot s + R) / (T_f \cdot s + 1)$  とし、前記フィルタを  $1 / (T_f \cdot s + 1)$  としている請求項 3 に記載のモータ制御装置。

20

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のモータ制御装置を搭載し、少なくとも操舵トルクに基づいて演算された電流指令値により、車両の操舵系にアシストトルクを付与することを特徴とする電動パワーステアリング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、電流指令値に基づき PWM 制御のための電圧制御指令値を演算し、電圧制御指令値によりインバータ（モータ駆動回路）を介してモータを駆動するモータ制御装置及びそれを搭載した電動パワーステアリング装置に関し、特にモータの入力側に混入する高調波の外乱を推定し、外乱推定値をモータ入力側にフィードバックして外乱を相殺する外乱オブザーバを具備したモータ制御装置及びそれを搭載した電動パワーステアリング装置に関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

モータ制御装置を搭載し、車両のステアリング機構にモータの回転力で操舵補助力（アシスト力）を付与する電動パワーステアリング装置（EPS）は、モータの駆動力を減速機を介してギア又はベルト等の伝達機構により、ステアリングシャフト或いはラック軸に操舵補助力を付与するようになっている。かかる従来の電動パワーステアリング装置は、操舵補助力のトルクを正確に発生させるため、モータ電流のフィードバック制御を行っている。フィードバック制御は、操舵補助指令値（電流指令値）とモータ電流検出値との差が小さくなるようにモータ印加電圧を調整するものであり、モータ印加電圧の調整は、一般的に PWM 制御の Duty の調整で行っている。

40

## 【0003】

電動パワーステアリング装置（EPS）の一般的な構成を図 1 に示して説明すると、ハンドル 1 のコラム軸（ステアリングシャフト、ハンドル軸）2 は減速ギア 3、ユニバーサルジョイント 4 a 及び 4 b、ピニオンラック機構 5、タイロッド 6 a, 6 b を経て、更にハブユニット 7 a, 7 b を介して操向車輪 8 L, 8 R に連結されている。また、コラム軸

50

2には、ハンドル1の操舵トルクを検出するトルクセンサ10が設けられており、ハンドル1の操舵力を補助するモータ20が減速ギア3を介してコラム軸2に連結されている。電動パワーステアリング装置を制御するコントロールユニット( ECU ) 30には、電源としてのバッテリー13から電力が供給されると共に、イグニッションキー11を経てイグニッションキー信号が入力される。コントロールユニット30は、トルクセンサ10で検出された操舵トルク $T_h$ と車速センサ12で検出された車速 $V_s$ とに基づいてアシスト( 操舵補助 ) 指令の電流指令値の演算を行い、演算された電流指令値に補償等を施した電圧制御指令値 $V_{ref}$ によってモータ20に供給する電流を制御する。舵角を検出する舵角センサ14は必須のものではなく、配設されていなくても良く、モータ20に連結された回転センサから得ることもできる。

10

## 【0004】

コントロールユニット30には、車両の各種情報を授受するCAN( Controller Area Network ) 40が接続されており、車速 $V_s$ はCAN40から受信することも可能である。また、コントロールユニット30には、CAN40以外の通信、アナログ/デジタル信号、電波等を授受する非CAN41も接続可能である。

## 【0005】

このような電動パワーステアリング装置において、コントロールユニット30は主としてCPU( MPUやMCU等を含む ) で構成されるが、そのCPU内部においてプログラムで実行される一般的な機能を示すと、例えば図2に示されるような構成となっている。

20

## 【0006】

図2を参照してコントロールユニット30の機能及び動作を説明すると、トルクセンサ10からの操舵トルク $T_h$ 及び車速センサ12からの車速 $V_s$ は電流指令値演算部31に入力され、電流指令値演算部31は操舵トルク $T_h$ 及び車速 $V_s$ に基づいてアシストマップ等を用いて電流指令値 $I_{ref1}$ を演算する。演算された電流指令値 $I_{ref1}$ は最大出力制限部32で最大値を制限され、最大値を制限された電流指令値 $I_{ref2}$ が減算部33に加算入力される。減算部33にはモータ電流検出値 $i$ が減算入力されており、減算された偏差 $I( = I_{ref2} - i )$ は電流制御部34でPI( 比例積分 ) 等の電流制御をされ、電流制御された電圧制御指令値 $V_{ref}$ がPWM制御部35に入力されてDutyを演算され、Dutyを演算されたPWM信号でインバータ36を介してモータ20をPWM駆動する。モータ20のモータ電流値 $i$ はモータ電流検出器37で検出され、減算部33に入力されてフィードバックされる。

30

## 【0007】

このような電動パワーステアリング装置において、従来の技術では、外乱オブザーバは入力の指令通りにモータ電流が出力されているかを監視し、それらに差異が生じる場合、その差を無くすように動作する。即ち、扱う対象がモータ電流の基本波成分であり、トルクリップルの原因となる高調波成分でない点が問題である。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0008】

【特許文献1】特許第4307154号公報

40

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0009】

モータ制御装置若しくは電動パワーステアリング装置における外乱ノイズの除去に関して、特許第4307154号公報( 特許文献1 ) には外乱オブザーバ回路を設けてノイズを除去する手法が開示されている。即ち、特許文献1では、電流制御ループ内に外乱オブザーバを設け、入力の指令値通りにモータ電流が出力しているかを監視し、それらに差異( 偏差 ) が生じる場合に、その差異を無くすように動作する。

## 【0010】

しかしながら、特許文献1の外乱オブザーバでは、制御対象をモータ電流の基本波成分

50

としているため、5次や7次といった高調波成分についてのノイズを除去できない課題があり、トルクリップルを抑制できない。また、モータのトルクリップルの低減には、別途フィルタや補償回路の追加が必要であり、電流制御系の構成が複雑化するという問題がある。

#### 【0011】

本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、モータの入力側に混入する高調波の外乱を推定し、推定された外乱推定値を入力側にフィードバックして外乱を相殺する機能を具備したモータ制御装置及びそれを搭載した電動パワーステアリング装置を提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

本発明は、電流指令値を電流制御部で電圧指令値としてモータを駆動すると共に、前記モータの電流検出値が前記電流指令値にフィードバックされているモータ制御装置に関し、本発明の上記目的は、前記モータの入力側に混入する外乱を推定し、推定された外乱推定値を前記入力側にフィードバックして前記外乱を相殺する外乱オブザーバを具備することにより達成される。

#### 【0013】

また、本発明の上記目的は、前記外乱が、前記モータの相電流に重畳する高調波成分であることにより、或いは前記外乱オブザーバが、前記電流検出値を入力する前記モータの逆モデルと、前記外乱が混入する前の前記電圧制御指令値を抽出するフィルタと、前記逆モデルの出力及び前記フィルタの出力の偏差を前記外乱推定値とする減算部とで構成されていることにより、或いは前記モータの抵抗成分を $R$ 、インダクタンス成分を $L$ 、 $s$ をラプラス演算子としたとき、前記モータのモデルを $1 / (L \cdot s + R)$ とし、フィルタ時定数 $T_f$ を用いて、前記逆モデルを $(L \cdot s + R) / (T_f \cdot s + 1)$ とし、前記フィルタを $1 / (T_f \cdot s + 1)$ としていることにより、より効果的に達成される。

#### 【発明の効果】

#### 【0014】

本発明のモータ制御装置によれば、モータの相電流に重畳する高調波成分を電流ループに混入する外乱とみなし、推定された外乱推定値をフィードバックして外乱を相殺しているので、モータ電流の高調波成分を抑制することができる。このような高調波成分の抑制によりモータのトルクリップルを抑制でき、別途回路を追加する必要がなく、電流制御系の構成を簡素化できる効果を有する。

#### 【0015】

上記モータ制御装置を電動パワーステアリング装置に搭載することにより、信頼性高いECUを具備した電動パワーステアリング装置を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0016】

【図1】電動パワーステアリング装置の概要を示す構成図である。

【図2】電動パワーステアリング装置の制御系の構成例を示すブロック図である。

【図3】モータの構造例を示す構造図である。

【図4】モータの磁束密度の一例を示す特性図である。

【図5】本発明の構成例を示すブロック図である。

【図6】本発明の動作例を特性図である。

【図7】本発明の動作例を特性図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0017】

本発明のモータ制御装置によれば、モータの相電流に重畳する高調波成分（例えば5次、7次）を電流ループに混入する外乱とみなし、外乱混入前の電圧制御指令値をフィルタで抽出し、モータ逆モデルとの偏差から外乱を推定している。外乱推定値をフィードバックして外乱を相殺しているため、モータ電流の高調波成分を抑制することができる。この

10

20

30

40

50

ような高調波成分の抑制によりモータのトルクリップルを抑制でき、別途回路（ハードウェア）を追加する必要がなく、電流制御系の構成を簡素化できる効果を有する。

【0018】

図3は、モータのロータ201及びステータ202の構造例を断面斜視的に示しており、ステータ202のスロット部202Aに発生する磁束密度波形（半周期分）は、理想的には図4の実線のようになる。しかしながら、実際には鉄心の磁気飽和により破線のように波形歪みを生じ、5次高調波成分が発生する。この5次高調波成分が誘導起電力、更には相電流に5次高調波成分を重畳させる。

【0019】

ここで、モータ電流の高調波成分が及ぼす悪影響について説明する。

10

【0020】

誘導起電力（EMF）、相電流共に、基本波以外に5次高調波及び7次高調波を含んでいると想定すると、相電圧のEMF（逆起電圧） $e_u$ 、 $e_v$ 、 $e_w$ に関して下記数1が成り立ち、相電流 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ に関して下記数2が成り立つ。

【0021】

【数1】

$$\begin{aligned} e_u &= e_{u1} + e_{u5} + e_{u7} \\ e_v &= e_{v1} + e_{v5} + e_{v7} \\ e_w &= e_{w1} + e_{w5} + e_{w7} \end{aligned}$$

20

【0022】

【数2】

$$\begin{aligned} i_u &= i_{u1} + i_{u5} + i_{u7} \\ i_v &= i_{v1} + i_{v5} + i_{v7} \\ i_w &= i_{w1} + i_{w5} + i_{w7} \end{aligned}$$

数1において、相電圧の基本波成分に対する5次高調波及び7次高調波の含有率をそれぞれ $\gamma_5$ 及び $\gamma_7$ とすると、数1は下記数3となる。

【0023】

30

【数3】

$$\begin{aligned} e_u &= \omega_e K_e \{ \sin \theta_e + \gamma_5 \sin 5\theta_e + \gamma_7 \sin 7\theta_e \} \\ e_v &= \omega_e K_e \left\{ \sin \left( \theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) + \gamma_5 \sin 5 \left( \theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) + \gamma_7 \sin 7 \left( \theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) \right\} \\ e_w &= \omega_e K_e \left\{ \sin \left( \theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) + \gamma_5 \sin 5 \left( \theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) + \gamma_7 \sin 7 \left( \theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) \right\} \end{aligned}$$

ただし、 $\omega_e$ は電気角速度 [ rad/sec ]、 $K_e$ は起電力係数 [ V/(rad/sec) ] である。

40

また、数2において、相電流の基本波成分に対する5次高調波及び7次高調波の含有率をそれぞれ $\gamma_5$ 及び $\gamma_7$ とすると、数2は下記数4となる。

【0024】

【数 4】

$$i_u = I_a \{ \sin \theta_e + \delta_5 \sin 5\theta_e + \delta_7 \sin 7\theta_e \}$$

$$i_v = I_a \left\{ \sin \left( \theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) + \delta_5 \sin 5 \left( \theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) + \delta_7 \sin 7 \left( \theta_e - \frac{2\pi}{3} \right) \right\}$$

$$i_w = I_a \left\{ \sin \left( \theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) + \delta_5 \sin 5 \left( \theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) + \delta_7 \sin 7 \left( \theta_e + \frac{2\pi}{3} \right) \right\}$$

ただし、 $I_a$  は基本波成分の電流振幅 [ A ] である。

10

このとき、トルク  $T_m$  [ N m ] は、下記数 5 で表わされる。

【 0 0 2 5 】

【数 5】

$$T_m = \frac{1}{\omega_m} (e_u i_u + e_v i_v + e_w i_w)$$

ただし、 $\omega_m$  は機械角速度 [ rad/sec ] である。

数 5 に数 3 及び数 4 を代入して整理すると、下記数 6 が成立する。

【 0 0 2 6 】

【数 6】

$$T_m = \frac{3}{2} P I_a K_e \{ (1 + \gamma_5 \delta_5 + \gamma_7 \delta_7) - (\gamma_5 - \gamma_7 + \delta_5 - \delta_7) \cos 6\theta_e - (\gamma_5 \delta_7 + \gamma_7 \delta_5) \cos 12\theta_e \}$$

数 6 より、EMF (逆起電圧) 及び相電流に重畳する 5 次高調波成分及び 7 次高調波成分が、トルクの第 6 次高調波成分、第 1 2 次高調波成分の原因となることが確認できる。

【 0 0 2 7 】

以下に、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【 0 0 2 8 】

図 5 は本発明の構成例を示しており、相電流に重畳する高調波成分を電流ループに注入される外乱 と見なす。PI 制御部 3 4 と伝達関数 “  $1 / (L \cdot s + R)$  ” のモータモデル 2 0 0 との間に外乱オブザーバ 1 0 0 が設けられている。R はモータの抵抗成分、L はモータのインダクタンス成分、T f はフィルタ時定数であり、外乱オブザーバ 1 0 0 はモータの逆モデル 1 0 1 と、フィルタ 1 0 2 と、偏差としての外乱推定値 \* を求める減算部 1 0 3 と、外乱 が混入する加算部 1 0 5 と、外乱 を相殺する減算部 1 0 4 とで構成されている。逆モデル 1 0 1 の伝達関数は “  $(L \cdot s + R) / (T_f \cdot s + 1)$  ” であり、フィルタ 1 0 2 の伝達関数は “  $1 / (T_f \cdot s + 1)$  ” である。

30

【 0 0 2 9 】

モータモデル 2 0 0 の出力であるモータ電流検出値  $i$  は、下記数 7 で表される。

【 0 0 3 0 】

【数 7】

$$i = \frac{1}{R + sL} (V_{ref} + \delta - \delta^*)$$

また、外乱オブザーバ 1 0 0 の減算部 1 0 3 から出力される外乱推定値 \* は、下記数 8 で表される。

40

【 0 0 3 1 】

【数 8】

$$\begin{aligned}
 \delta^* &= \frac{R+sL}{1+sT_f} i - \frac{1}{1+sT_f} (V_{ref} - \delta^*) \\
 &= \frac{R+sL}{1+sT_f} \cdot \frac{1}{R+sL} (V_{ref} + \delta - \delta^*) - \frac{1}{1+sT_f} (V_{ref} - \delta^*) \\
 &= \frac{1}{1+sT_f} (V_{ref} + \delta - \delta^* - V_{ref} + \delta^*) \\
 &= \frac{1}{1+sT_f} \delta
 \end{aligned}$$

つまり、モータ電流検出値  $i$  が逆モデル 101 を経ることにより、その出力  $I_1$  は下記数 9 となる。

(数 9)

$$I_1 = (V_{ref} - \delta^*) / (T_f \cdot s + 1)$$

フィルタ 102 の入力は “ $V_{ref} - \delta^*$ ” であり、その出力  $I_2$  は下記数 10 である。

(数 10)

$$I_2 = (V_{ref} - \delta^*) / (T_f \cdot s + 1)$$

よって、減算部 103 の出力である外乱推定値  $\delta^*$  は上記数 8 となる。

ここで、数 8 を数 7 に代入すると、数 11 が成立する。

【0032】

【数 11】

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{1}{R+sL} (V_{ref} + \delta - \delta^*) \\
 &= \frac{1}{R+sL} \left( V_{ref} + \delta - \frac{1}{1+sT_f} \delta \right) \\
 &= \frac{1}{R+sL} \left( V_{ref} + \frac{1+sT_f - 1}{1+sT_f} \delta \right) \\
 &= \frac{1}{R+sL} \left( V_{ref} + \frac{sT_f}{1+sT_f} \delta \right) \\
 &= \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{1+s\frac{L}{R}} \left( V_{ref} + \frac{sT_f}{1+sT_f} \delta \right) \\
 &= \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{1+s\tau} \left( V_{ref} + \frac{sT_f}{1+sT_f} \delta \right)
 \end{aligned}$$

ただし、モータ巻線の時定数  $\tau = L/R$  である。

ここで、図 6 は伝達関数  $1/(1+s\tau)$  の角周波数特性を示しており、図 7 は伝達関数  $sT_f/(1+sT_f)$  の角周波数特性を示している。図 7 の伝達関数  $G_H(s) = sT_f/(1+sT_f)$  において、各周波数  $\omega$  が遮断周波数  $H$  より十分小さい、即ち  $\omega \ll H$  の関係が成り立つ場合、下記数 12 と近似できる。

【0033】

【数 12】

$$G_H(s) = \frac{sT_f}{1+sT_f} \approx 0$$

この関係を数 1 1 に適用すると、下記数 1 3 となり、出力電流  $i$  は外乱 の影響を受けない。

【 0 0 3 4 】

【 数 1 3 】

$$i = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{1+s\tau} V_{ref}$$

なお、モータ巻線の時定数 と外乱オブザーバ 1 0 0 のフィルタ時定数  $T_f$  とは、

10

【 0 0 3 5 】

【 数 1 4 】

$$\frac{1}{\tau} \ll \frac{1}{T_f}$$

の関係、即ち、

【 0 0 3 6 】

【 数 1 5 】

$$\tau \gg T_f$$

20

の関係を満足する必要がある。

【 0 0 3 7 】

上述のように本発明によれば、外乱オブザーバが電流ループのマイナーループとして組み込まれており、モータの入力側に混入する高調波成分（例えば 5 次、7 次）の外乱を推定し、外乱推定値を入力側にフィードバックして外乱を相殺しているので、モータ電流の高調波成分を抑制することができ、トルクリップルも抑制できる。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 8 】

1	ハンドル	
2	コラム軸（ステアリングシャフト、ハンドル軸）	30
1 0	トルクセンサ	
1 2	車速センサ	
1 3	バッテリー	
2 0	モータ	
3 0	コントロールユニット（ECU）	
3 1	電流指令値演算部	
3 4	電流制御部	
3 5	PWM 制御部	
3 6	インバータ	
1 0 0	外乱オブザーバ	40
1 0 1	モータ逆モデル	
1 0 2	フィルタ	
2 0 0	モータモデル	



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 3D232 CC09 CC27 DA15 DA23 DA62 DA63 DA64 DA65 DA66 DC08  
DC11 DD01 DD02 DD07 DD10 DD17  
5H501 AA20 BB05 CC04 DD01 GG05 HB07 HB16 JJ03 JJ04 JJ24  
JJ26 LL22 LL32 LL36