



周期外乱オブザーバによるトルクリプル抑制制御では、経年変化によるプラントの変動や、プラント特性の変動等を考慮する必要があるため、同定モデル誤差に対するロバスト性の向上が求められている。周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の位相を演算して位相補正量を演算する位相補正量演算部（１１）と、周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の進行速度を算出して閾値と比較しながらゲイン補正量を算出するゲイン補正量演算部（１２）と、位相補正量とゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて周期外乱オブザーバ部（１４）のシステム同定モデルを補正する回転ベクトル算出部（１３）を設けたものである。

明 細 書

発明の名称： 周期外乱抑制装置および周期外乱抑制方法

技術分野

[0001] 本発明は、制御対象物で発生する周期性の外乱を抑制する周期外乱抑制装置ならびに抑制手法に関するものである。

背景技術

[0002] 学習機能を有する制御装置やモータ制御装置のように、制御対象物から周期性の外乱が発生する場合がある。

[0003] 周期性の外乱が発生する制御対象物として、例えば、モータの場合には原理的にトルクリプルと呼ばれる脈動を発生して、振動、騒音、乗り心地の劣化、及び機械共振等の種々の問題を引き起こす。特に、近年普及が進んでいる埋込磁石同期モータ（以下PMモータという）では、コギングトルクリプルとリラクタンストルクリプルが複合的に発生する。その対策として、脈動を打ち消す補償信号を電氣的に与えてトルクリプルを抑制する方式が知られている。

[0004] その方式を大別すると、主にトルクリプルに近似式や電磁界解析結果に基づいて補償するフィードフォワード補償方式と、フィードバック方式に大別される。

[0005] フィードバック方式には、トルクメータを用いての学習する方式、モータ電流リプルからトルクリプルを推定して抑制する方式、電流・回転数検出値に基づくトルクリプル外乱オブザーバ方式等が知られている。これらフィードバック方式は、リプル特性変化にもオンラインで対応できるが、電流リプルからトルクリプル推定値への近似誤差、高周波帯域における外乱オブザーバフィルタの帯域制限などがある。

[0006] また、トルクリプルはモータの回転次数で発生する周期性外乱であり、その高次成分は低速回転であっても機械共振周波数に一致しやすい傾向にある。したがって、共振系の可変速駆動システムに学習制御を適用する場合、振

幅急変や位相反転による不安定現象への対応策が不可欠となっており、これらは一般に複雑な高次モデルや適切な制御調整が必要であり、トルクリプルのような周期性外乱を効果的に抑制することは困難となっている。この周期性外乱を抑制するものとして特許文献 1 が公知になっている。

[0007] 特許文献 1 では、図 18 で示すように、トルク指令 T_{ref} は指令値変換部 1 に入力されてモータの回転に同期した回転座標（交直 $d-q$ 軸）上の d 軸、 q 軸の電流指令 i_d^* 、 i_q^* を生成し、その電流指令をベクトル制御されるインバータ 2（ベクトル制御装置）に与える。インバータ 2 は、電流指令 i_d^* 、 i_q^* に基づいて出力を発生し、シャフトを介して負荷を連結した PM モータ 3 を制御する。シャフトに取り付けられたトルク検出器によって検出された軸トルク検出値 T_{det} と位置検出器によって検出された回転子位相角 θ はオブザーバ部 4 に入力される。

[0008] オブザーバ部 4 では、フーリエ変換の周波数成分抽出手段（フーリエ変換部 FT）によって PM モータ 3 の周期的な脈動を直流として検出し、その周波数成分上の周期性外乱を周期外乱オブザーバ補償部 4a によって推定し、この周期性外乱を抑圧するように電流指令 i_q^* に加算するように構成したものである。

[0009] 尚、図 18 中の SC は n 次正弦／余弦生成部であり、 T_r は変換周期、 n は補償次数を示している。

[0010] 周期外乱オブザーバ部 4a は周期性の外乱を抑制するために制御手法の一つであるが、制御の基本構成は一般的な外乱オブザーバと同様であり、周期外乱成分を個別に制御対象とする。周波数成分毎に複素ベクトルで表現したシステム同定モデルを外乱オブザーバの逆システムモデルに用いることで、制御対象とする周波数の外乱を直接的に推定して補償する。これにより、比較的単純な制御構成でありながら、対象とした周波数に対しては次数に関係なく高い制御効果が得られる。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：国際公開WO2010/24195A1

非特許文献

[0012] 非特許文献1：Y. Tadano, et al. "Periodic Learning Suppression Control of Torque Ripple Utilizing System Identification for Permanent Magnet Synchronous Motors", IEEE IPEC-Sapporo, pp. 1363-1370 (2010)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] 図19は特許文献1に開示されている周期外乱オブザーバの制御構成図で、 n 次成分について簡略して示したものである。

図中の各記号の定義は下記のとおりである。

[0014] P_n ：プラント、 $\hat{P}_n$ ：システム同定モデル

r_n ：制御指令

d_n ：周期外乱、 $\hat{d}_n$ ：周期外乱推定値

y_n ：制御対象出力

添字の n は n 次成分であることを示す。

[0015] ※上記変数はいずれも $X_n = X_{An} + j X_{Bn}$ と表される複素ベクトルである。

[0016] $G_F(s)$ ：低域通過フィルタ

controlled object：制御対象

PDO：周期外乱オブザーバ (Periodic Disturbance Observer)

まず、制御対象のプラント P_n に対して予めシステム同定を行い、1次元複素ベクトルの形で(1)式として表現する。

$$\hat{P}_n = \hat{P}_{An} + j \hat{P}_{Bn} \quad (1)$$

ただし、 $\hat{P}_{An}$ ：同定結果の n 次成分実部、 $\hat{P}_{Bn}$ ：同定結果の n 次成分虚部。

[0017] 例えば、1～1000Hzまでのシステム同定結果を1Hz毎に複素ベクトルで表現した場合、1000個の1次元複素ベクトルの要素からなるテーブルを構築することができる。同定結果を近似数式で表現することも可能である。いずれの手法でも、常に簡素な1次元複素ベクトルでシステムモデルを表現することが可能となる。

[0018] なお、上記システム同定モデルに限らず、以下の明細書中の $\hat{P}_n$ 、 r_n 、 d_n 、 $\hat{d}_n$ 、 y_n も $X_n = X_{An} + j X_{Bn}$ と表される複素ベクトルである。

[0019] 制御手法として、プラント出力（制御対象出力 y_n ）にフーリエ変換を簡易化した低域通過フィルタ $G_F(s)$ を通すことで、周期外乱の制御対象とする周波数成分を抽出する。これに上記の抽出したシステム同定モデルの逆数 $\hat{P}_n^{-1}$ で表現される逆システムを乗算し、上位の制御器より発生した制御指令値 r_n との差分を加算器A1で取ることにより周期外乱 d_n を推定する。推定した周期外乱 $\hat{d}_n$ を補償指令値として、加算器A2において制御指令値 r_n から差し引き、これによって加算器A3に加算される周期外乱 d_n を抑制する。以上の流れが周期外乱オブザーバによる周期外乱を抑制する制御手法である。

[0020] この制御手法においては、制御の根幹を成して制御性能を左右するものはシステム同定モデルの真値に対する精度である。周期外乱の抑制能力向上のためには、より精度の高いシステム同定が求められる。

[0021] しかしながら、同定モデルの高精度な取得は難しく、経年変化などによるプラントの変動や、頻繁なプラント特性の変動に対する追従などといった事象についても考慮する必要がある。真値との誤差は抑制完了までの収束時間の増大や、最悪の場合では位相誤差により抑制制御自身が外乱成分となり、制御を不安定にする可能性もある。このため、同定モデル誤差に対するロバスト性の向上が求められる。

[0022] 本発明は、上記の課題を解決するものであり、その目的とするところは、システム同定モデル誤差を補正することができる周期外乱抑制装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0023] 上記課題を解決するための、請求項 1 に記載の周期外乱抑制装置は、上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有し、周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制手段と、

前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の位相を演算して位相補正量を演算する位相補正量演算手段と、

前記制御対象の出力を入力して制御対象出力のゲインを補正するゲイン補正量演算手段と、

前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱抑制手段のシステム同定モデルを補正する回転ベクトル算出手段とを備えたことを特徴としている。

[0024] また請求項 2 に記載の周期外乱抑制装置は、前記制御対象物をモータとし、モータ出力を周期外乱オブザーバ部へ入力し、この周期外乱オブザーバ部で推定した周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から減算しインバータを介してモータを制御するものにおいて、

前記位相補正量演算手段は、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の位相を演算し、

前記ゲイン補正量演算手段は、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の進行速度を算出して閾値と比較し、この算出、比較を複数回繰り返してゲイン補正量を演算し、

前記回転ベクトル算出手段は、前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱オブザーバ部のシステ

ム同定モデルを補正することを特徴としている。

[0025] また請求項 3 に記載の周期外乱抑制装置は、前記位相補正量演算手段における位相補正量 θ^{ref}_n は、重み a とベクトルの回転角度 θ の積に前回算出の位相補正量 $\theta^{\text{ref}}_{n-1}$ を加算して求めることを特徴としている。

[0026] また請求項 1 2 に記載の周期外乱抑制方法は、上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有した周期外乱抑制手段が、前記周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制ステップと、

位相補正量演算手段が、前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の位相を演算して位相補正量を演算する位相補正量演算ステップと、

ゲイン補正量演算手段が、前記制御対象の出力を入力して制御対象出力のゲインを補正するゲイン補正量演算ステップと、

回転ベクトル算出手段が、前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱抑制手段のシステム同定モデルを補正する回転ベクトル算出ステップとを備えたことを特徴としている。

[0027] また請求項 1 3 に記載の周期外乱抑制方法は、前記制御対象物をモータとし、モータ出力を周期外乱オブザーバ部へ入力し、この周期外乱オブザーバ部で推定した周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から減算しインバータを介してモータを制御するものにおいて、

前記位相補正量演算ステップは、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の位相を演算し、

前記ゲイン補正量演算ステップは、前記モータ出力を入力して周期外乱の

周波数成分が描くベクトル軌跡の進行速度を算出して閾値と比較し、この算出、比較を複数回繰り返してゲイン補正量を演算し、

前記回転ベクトル算出ステップは、前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱オブザーバ部のシステム同定モデルを補正することを特徴としている。

[0028] 上記構成によれば、周期外乱オブザーバに使用するシステム同定モデルの誤差を適応的に補正することができ、同定モデル誤差に対するロバスト性の向上を図ることができる。

[0029] また請求項4に記載の周期外乱抑制装置は、前記回転ベクトル演算手段の出力側に学習機能部を設け、回転ベクトル演算部により求めたシステム同定モデル補正値を学習機能部で記憶し、システム同定モデル誤差に対する補正量の学習を実行し、学習値を前記周期外乱オブザーバ部に入力して前記同定モデル補正値に乗算して新たな同定モデル補正値とすることを特徴としている。

[0030] 上記構成によれば、ある周波数における同定モデル誤差に対する補正量の学習（記憶）が可能となるので、再度の同周波数での動作において補正完了までの学習時間を短縮、もしくは学習を不必要とすることが可能となる。

[0031] また請求項5に記載の周期外乱抑制装置は、前記学習機能部に同定モデル補正機能部を設け、この同定モデル補正機能部によりシステム同定モデル補正値の記憶時の動作点を移動変更しながら繰返し行い、動作点移動完了時に周期外乱の抑制制御をオン状態とし、抑制制御完了時にシステム同定モデル補正値を記憶して周期外乱の抑制制御をオフ状態とすることを特徴としている。

[0032] 上記構成によれば、システム同定に誤差を含んでいる場合でも、モデル補正機能により抑制制御を完了させ、同時に新しい同定モデルを得ることが可能となる。

[0033] また請求項6に記載の周期外乱抑制装置は、前記学習機能部に補間補正手

段を設け、学習後のシステム同定モデル補正值に対して任意の周波数幅を持たせることを特徴としている。

[0034] 上記構成によれば、ある特定の周波数での学習結果を周辺周波数にまで影響させることで、周波数の変動に際しても抑制制御の安定性や学習に必要な時間の短縮が可能となる。

[0035] また請求項 7 に記載の周期外乱抑制装置は、前記位相補正量演算手段、ゲイン補正量演算手段および回転ベクトル算出手段は、各々周期外乱の周波数成分の次数 n 個分を備えていることを特徴としている。

[0036] 上記構成によれば、抑制およびシステム同定モデル誤差を推定すべき周期外乱周波数成分が複数、同時に存在する場合においても、対応することができる。

[0037] また請求項 8 に記載の周期外乱抑制装置は、上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有し、該周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制手段と、

前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の、現在の検出位置から原点に向かうベクトルから見た、1 周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルの回転角度を、システム同定モデル誤差による位相誤差として算出する位相算出手段と、

前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡のゲインの現在値と所望値に基づいてシステム同定モデル誤差によるゲイン誤差を算出するゲイン算出手段と、

前記位相算出手段により算出された位相誤差と前記ゲイン算出手段により算出されたゲイン誤差を積算した回転ベクトルを、システム同定モデルに対

する補正指令値として算出する補正指令値算出手段とを備え、

前記補正指令値算出手段により算出された補正指令値によって前記システム同定モデルを補正することを特徴としている。

[0038] また請求項 1 4 に記載の周期外乱抑制方法は、上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバを有した周期外乱抑制手段が、前記周期外乱オブザーバで推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制ステップと、

位相算出手段が、前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の、現在の検出位置から原点に向かうベクトルから見た、1 周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルの回転角度を、システム同定モデル誤差による位相誤差として算出する位相算出ステップと、

ゲイン算出手段が、前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡のゲインの現在値と所望値に基づいてシステム同定モデル誤差によるゲイン誤差を算出するゲイン算出ステップと、

補正指令値算出手段が、前記位相算出手段により算出された位相誤差と前記ゲイン算出手段により算出されたゲイン誤差を積算した回転ベクトルを、システム同定モデルに対する補正指令値として算出する補正指令値算出ステップと、前記算出された補正指令値によって前記システム同定モデルを補正するステップとを備えたことを特徴としている。

[0039] 上記構成によれば、システム同定モデル誤差を補正することができ、正確な同定モデルにより最適な抑制制御を行うことができる。

[0040] また、請求項 9 に記載の周期外乱抑制装置は、前記位相算出手段は、前記回転角度を、前記ベクトル軌跡の、1 周期前の検出位置から原点に向かうベ

クトルから、1周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルを見た回転角度と、現在の検出位置から原点に向かうベクトルから、1周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルを見た回転角度との和によって算出することを特徴としている。

[0041] 上記構成によれば、システム同定モデル誤差による位相誤差を、現在状態に加えて過去状態も含めて算出するので、補正精度を向上させることができる。

[0042] また、請求項10に記載の周期外乱抑制装置は、前記位相算出手段は前記回転角度と所望の回転角度の偏差をPI制御器に通して前記位相誤差を算出し、前記ゲイン算出手段は前記ゲインの現在値と所望値の偏差をPI制御器に通して前記ゲイン誤差を算出することを特徴としている。

[0043] 上記構成によれば、所望値に対するベクトル軌跡の追従性能を向上させることができる。

[0044] また、請求項11に記載の周期外乱抑制装置は、前記位相算出手段、ゲイン算出手段および補正指令値算出手段を周期外乱の周波数成分の複数次数分設け、各次数の周期外乱の周波数成分における補正指令値を求めて、前記システム同定モデルの補正を行うことを特徴としている。

[0045] 上記構成によれば、抑制およびシステム同定モデルを補正すべき周期外乱の周波数成分が複数、同時に存在する場合においても、複数の次数の周期外乱を抑制することができる。

発明の効果

[0046] (1) 請求項1～7に記載の発明によれば、周期外乱オブザーバに使用するシステム同定モデルの誤差を適応的に補正することができ、同定モデル誤差に対するロバスト性の向上を図ることができる。

(2) 請求項4に記載の発明によれば、ある周波数における同定モデル誤差に対する補正量の学習（記憶）が可能となるので、再度の同周波数での動作において補正完了までの学習時間を短縮、もしくは学習を不必要とすることが可能となる。

(3) 請求項5に記載の発明によれば、システム同定に誤差を含んでいる場合でも、モデル補正機能により抑制制御を完了させ、同時に新しい同定モデルを得ることが可能となる。

(4) 請求項6に記載の発明によれば、ある特定の周波数での学習結果を周辺周波数にまで影響させることで、周波数の変動に際しても抑制制御の安定性や学習に必要な時間の短縮が可能となる。

(5) 請求項7、11に記載の発明によれば、抑制およびシステム同定モデル誤差を推定、補正すべき周期外乱周波数成分が複数、同時に存在する場合においても、対応することができる。

(6) 請求項8～11、14に記載の発明によれば、システム同定モデル誤差を補正することができ、正確な同定モデルにより最適な抑制制御を行うことができる。

(7) 請求項9に記載の発明によれば、システム同定モデル誤差による位相誤差を、現在状態に加えて過去状態も含めて算出するので、補正精度を向上させることができる。

(8) 請求項10に記載の発明によれば、所望値に対するベクトル軌跡の追従性能を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0047] [図1]実施例1における同定モデル補正部の構成図。

[図2]実施例1におけるゲイン補正決定時のフロー図。

[図3]実施例2における同定モデル補正部の構成図。

[図4]本発明で利用するシステム同定モデル誤差による位相誤差を説明するための複素ベクトル平面軌跡図。

[図5]ベクトル平面軌跡例を表し、(a)はシステム同定モデル誤差なしの場合のベクトル軌跡図、(b)はシステム同定モデル誤差ありの場合のベクトル軌跡図。

[図6]実施例2におけるシミュレーション時のシステム同定図。

[図7]実施例2における学習機能なし時のシミュレーション結果図。

[図8]実施例2における学習機能あり時のシミュレーション結果図。

[図9]実施例2における変動モデル時のシミュレーション結果図。

[図10]実施例3における誤学習防止処理フロー図。

[図11]実施例4における複数次数同時検出の構成図。

[図12]実施例5における補間処理説明図。

[図13]本発明の実施例6によるシステム同定モデル補正器の制御ブロック図

。

[図14]本発明をシステム同定モデル誤差ありの場合に適用した後のベクトル軌跡図。

[図15]本発明の実施例7の原理を説明するための複素ベクトル平面軌跡図。

[図16]本発明の実施例8によるシステム同定モデル補正器の制御ブロック図

。

[図17]本発明の実施例9を示す制御ブロック図。

[図18]従来の外乱抑圧装置の構成図。

[図19]周期外乱オブザーバ制御構成図。

発明を実施するための形態

[0048] 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明するが、本発明は下記の実施形態例に限定されるものではない。本実施形態では、システム同定モデル誤差を学習し、これを補正するように構成した。尚、以下の実施例においては、モータ制御時のトルクリプル抑制を例として説明する場合もあるが、本発明はこれに限るものではない。

実施例 1

[0049] まず、制御対象出力として、例えばトルクリプルの各周波数成分について、 n 次トルク脈動抽出成分（余弦係数） T_{An} を実軸、 n 次トルク脈動抽出成分（正弦係数） T_{Bn} を虚軸とした複素ベクトル平面内に描く軌跡に着目する。

[0050] 図4は複素ベクトル平面軌跡図を示したもので、 100_n は抑制開始からの経過時刻 $[t = t_n]$ における位置（現在の検出位置）を示し、 100_{n-1} は抑制開始からの経過時刻 $[t = t_{n-1}]$ における位置（1周期前の検出位置）を示

している。

[0051] システム同定モデルに真値と誤差がなければ、抑制開始点から原点、つまりトルクリプル（周期外乱）がない状態に、例えばベクトル平面軌跡例を表す図5の図5（a）に示すように直線かつ、最適な応答時間で向かう。この軌跡は誤差の存在する状態では、例えば図5（b）に示すような曲線や円軌道を描き、最悪は発散して無限遠方向に向かう。

[0052] 本実施例において n 次補償電流指令値をゼロとしてトルクリプル（図13の周期外乱 d_n ）を打ち消すことを前提とするが、前記指令値をゼロ以外とする場合では補償電流指令のベクトル平面上での位置が原点に相当する。

[0053] 本発明では、抑制制御中に逐次、前記軌跡情報から下記（2）式におけるゲイン G^{ref} と位相 θ^{ref} の回転ベクトル P_n^{ref} を決定し、（3）式のとおり同定モデル $\hat{P}_n$ に乗算することで同定モデルを補正して新たに P'_n の同定モデルを得る。これを周期外乱オブザーバPDOにて用いる逆システムの同定モデルに P'_n を適用する。

$$P_n^{ref} = G^{ref} \cdot (\cos \theta^{ref} + j \sin \theta^{ref}) \quad (2)$$

$$P'_n = \hat{P}_n \cdot P_n^{ref} \quad (3)$$

図1に前記（2）、（3）式を実現する実施例1の同定モデル補正部の構成を示す。図1は図19の構成を周波数成分について簡略化して表しており、図19と同一部分には同一符号を付している。

[0054] 図1で示すシステム同定モデルの補正部の構成図において、10は実プラント、11は本発明の位相補正量演算手段としての位相補正量演算部であり、プラント10の制御対象出力 y_n から、周期外乱の各周波数成分が描くベクトル軌跡の位相（回転角度） θ を算出すると共に、後述のように補正量 θ^{ref} を算出する。

[0055] 12は本発明のゲイン補正量演算手段としてのゲイン補正量演算部であり、制御対象出力 y_n から、周期外乱の各周波数成分が描くベクトル軌跡の進行速度（ゲインの現在値） $|v|$ を算出し、図2のフローチャートに基づいて補正する。

[0056] 13は本発明の回転ベクトル算出手段としての回転ベクトル算出部であり、(2)式に基づき位相 θ^{ref} とゲイン G^{ref} を乗算して回転ベクトル P_n^{ref} (システム同定モデルに対する補正指令値)を算出し、この回転ベクトル P_n^{ref} によって周期外乱オブザーバ部14のシステム同定モデルを補正する。周期外乱オブザーバ部14には、制御対象出力 y_n と制御指令が入力されており、図13で示す演算を実行して周期外乱推定値 $\hat{d}_n$ を求め、その周期外乱推定値 $\hat{d}_n$ は加算器A2において制御指令 r_n から差し引かれ、加算器A3で加算される周期外乱 d_n を抑制する。

[0057] (2)式に基づく位相補正量 θ^{ref} は以下のようにして決定される。

[0058] 図4で示すように、抑制開始からの経過時刻 $[t = t_n]$ の位置 (T_{An}, T_{Bn}) の原点方向のベクトルを P_t とし、時刻 $[t = t_{n-1}]$ から時刻 $[t = t_n]$ へのベクトルを v とおく。 P_t から見た v の回転角度を θ とする。モデル誤差がなければ θ は常にゼロとなる。検出した位相 θ に対して逆向きに位相補正量 θ^{ref} を決定すればシステム同定モデルの誤差を補正することができる。

$$[0059] \quad \theta = \tan^{-1} (P_t \times v / P_t \cdot v) \quad (4)$$

(4)式において、 $[\times]$ 記号は外積を表し、 $[\cdot]$ 記号は内積を表す。

[0060] 補正を行わなくても抑制可能な小程度のモデル誤差であれば周期外乱オブザーバ部により $\theta = 0$ となる方向に補償指令が生成される。モデル誤差が存在する場合には、 θ を同定モデルの位相誤差と近似的に見て補正量の決定を行う。位相誤差を近似したことによる影響を低減するために、本発明における位相補正量演算部11は(5)式で示すように、位相補正量 θ^{ref} は重み a と θ の積に前回の位相補正量 θ^{ref}_{n-1} を加算する演算を実行することで θ^{ref} を求める。

[0061] なお、位相補正量 θ^{ref}_n の初期値はゼロである。このようにすることにより、突発的な変動に対しても θ^{ref} が適応的に調整されることで柔軟に対応でき、 θ がゼロとなる方向へモデルが補正される。

$$[0062] \quad \theta^{ref}_n = \theta^{ref}_{n-1} - a \cdot \theta \quad (5)$$

次に、ゲイン補正量演算部12は、図2で示すフローチャートに基づいて

補正ゲイン G^{ref} を決定する。位相誤差が小さくともゲイン誤差が大きい場合には目標点を中心とした振動的挙動、もしくは収束時間が非常に長くなる可能性がある。位相補正に加えゲイン補正を行うことで、モデル誤差に対するロバスト性の高い補正制御を確立することができる。

[0063] 補正ゲイン G^{ref} は、図4の位置ベクトル P_t および速度ベクトル v から、図2に示す補正ゲイン決定時のフローチャートに基づいて決定する。図2の *Start* から *End* までを抑制制御と並行して周期的に繰り返し、ゲイン補正量を逐次決定する。なお補正量の調整方向として、補正ゲイン G^{ref} の増加／減少は移動速度の減少／増加に相当する。補正ゲイン G^{ref} の初期値は1とする。

[0064] 以下に図2の(A)～(E)の処理手順について説明する。

(A) 位置ベクトルの絶対値 $|r|$ が閾値 r_{th} 以下のときには、収束状態と判定して調整しない。

(B) 発散的挙動を防ぐため比較的早い周期（例えば数+ [msec] 毎）で移動速度の抑制を行う。速度ベクトルから進行速度 $|v_1|$ を算出し、判定閾値を $|r|$ に比例として $k \cdot |r|$ に決定する。進行速度 $|v_1|$ が閾値以上ならゲイン不足と判定して、補正ゲイン G^{ref} を a_1 [%] 増加させる。ここで、 a_1 、 k は任意設定のパラメータである。

(C) 補正制御周期をN回に分周し、この周期（例えば数 [sec] 毎）での進行速度 $|v_2|$ を算出する。

(D) $|v_2|$ が閾値 v_{th} 以下ならゲイン過大と判定し G^{ref} を a_2 [%] 減少させる。これによりゲイン過大による収束遅延状態を防ぎ、移動速度を増加させる。 v_{th} 、 a_2 は任意設定のパラメータである。

(E) 補正ゲイン G^{ref} をリミットして最終値をメモリーに保存する。

[0065] 以上により、 (Y_{AN}, Y_{BN}) のベクトル軌跡を利用して上記で示した位相およびゲイン補正手法を用いて、(3)式により同定モデルの補正を行う。

[0066] したがって、この実施例によれば、周期外乱オブザーバに使用するシステム同定モデル誤差を適応的に補正することができ、システム同定モデル誤差

に対するロバスト性の向上を図ることができるものである。

実施例 2

[0067] 実施例 1 では、ある周波数において周期外乱オブザーバ部のシステム同定モデルを適応的に補正する手段を示した。本実施例 2 では、求められた最終補正值 P_n^{ref} を記録するためのメモリーを設けて学習（記憶）機能を付加したものである。

[0068] 図 3 は、この学習機能を有する同定モデル補正部の構成を示したものである。15 はメモリーであり、回転ベクトル算出部 13 の出力 P_n^{ref} をスイッチ 16 を通して入力すると共に、PM モータの回転角速度 $n\omega$ が入力される。なお、このメモリー 15 とスイッチ 16 などによって学習機能部が構成される。

[0069] スwitch 16 は、最終補正された回転ベクトル P_n^{ref} を取り込んでメモリー 15 に保存するタイミングでオン・オフし、その保存タイミングは、同定モデルの補正処理が行われて十分に周期外乱が抑制された時点とする。そのときにおける回転ベクトル P_n^{ref} をメモリー 15 に保存することで、当該 P_n^{ref} を P_n^{mem} として周期外乱オブザーバ 14 に出力する。周期外乱オブザーバ 14 は、(3) 式の演算に対して (6) 式で示すように、さらに P_n^{mem} を乗算して補正された同定モデル $P_n^{\wedge}$ が決定される。

$$[0070] \quad P_n^{\wedge} = P_n^{\wedge} \cdot P_n^{ref} \cdot P_n^{mem} \quad (6)$$

図 6 ～ 9 は、学習機能を用いた本実施例と学習機能を用いない場合のシミュレーション結果を示したものである。シミュレーションにおいては、回転数・トルク一定条件状態（42 [Hz]）、（極数 4）、（30 [Nm]）とし、補正周期を 20 [ms] としたものである。トルクリプルの条件として、電氣的周波数 1，2 次周波数成分（1f，2f）に一定量を与えた。図 6（a），（b）で示すゲインと位相の両図（シミュレーションシステム同定図）において、それぞれ線 a はノミナル、線 b は変動モデル 1、線 c は変動モデル 2 である。

[0071] システム同定モデルの誤差条件として、図 6 で示すモデルを逆モデルのノ

ミナルな同定モデルに設定し、実プラントを変動モデル1として誤差設定してシミュレーションを行った。図7は学習機能を無効とした場合、図8は学習機能を有効とした場合を示し、各図において、(a)は学習機能を無効とした場合のベクトル軌跡図、(b)図は(T_{an}), (T_{bn})の原点から距離 $|r|$ の時間応答、(c)図は軸トルクの時間応答をそれぞれ示す。

[0072] 図8から明らかなように、抑制開始直後から位相誤差、及び発散方向に向かう速度を制御するようなノミナル同定モデルを補正するため、 $1f$, $2f$ の場合においても、それぞれ抑制制御が発散することなくトルクリプルを抑制できていることが確認できる。

[0073] 図9は、システム急変、及び外乱変動についての検証結果である。図6で示す変動モデル1で抑制が完了ししている状態で、変動モデル2にシステムを急変させ、同時にトルクリプルを2倍に変動させた。図9で明らかなように、システム急変、外乱変動に対しても同定モデルを逐次補正することにより発散動作を防ぎ、トルクリプルが抑制されることが確認できる。

[0074] したがって、この実施例によれば、実施例1の効果に加えて、更に、ある周波数における同定モデル誤差に対する補正量の学習(記憶)が可能となるので、再度の同周波数での動作において補正完了までの学習時間を短縮、もしくは学習を不必要とすることが可能となるものである。

実施例 3

[0075] なお、図3で示す同定モデル補正量の学習のために、補正量をメモリーへ保存している(学習機能部)。その保存を装置が動作する範囲の全て、若しくは一定量の範囲で動作点を変更して繰り返して実施するが、その際、誤学習の虞が生じる。

[0076] 本実施例3では、この動作点移動時には移動中の誤学習を防ぐために抑制制御をオン・オフするものである。

[0077] 図10はそのための、前記学習機能部に設けられた同定モデル補正機能部が行なう処理シーケンスであり、ステップS1で動作点を移動させ、移動が完了したか否かをS2で判定し、完了したらS3で抑制制御をオンする。S

4で抑制制御が完了したか否かを判定し、完了したらメモリーに保存（S5）し、S6で抑制制御をオフする。最終的には、S7における全動作点が完了したか否かの判定により、完了したと判定されるまで実行して補正した全周波数範囲での同定モデルを完成させる。一定量の動作点で行った場合は間欠点を任意の方式により補間する。

[0078] これにより、システム同定に誤差を含んでいる場合でも、モデル補正機能により抑制制御を完了させ、同時に新しい同定モデルを得ることが可能となるものである。

実施例 4

[0079] 上記した各実施例では、ある特定の周波数成分について同定モデル誤差を推定して補正を可能にしたことを示した。本実施例4では、図11に示すように、 n 個（周期外乱の周波数成分の次数 n 個）の同定モデル補正手段付きオブザーバ部 $20_1 \sim 20_N$ を設け、図1、図3の制御系を抑制する各次数に対する同定モデル誤差の推定、補正を並列・同時に実施するように構成したものである。

[0080] 同定モデル補正手段付きオブザーバ部 $20_1 \sim 20_N$ は、図1、図3に示す周期外乱オブザーバ部14、位相補正量演算部11、ゲイン補正量演算部12及び回転ベクトル算出部13などの各機能を備えており、 n 次の制御指令 $r_1 \sim r_N$ に対して、同定モデル誤差を推定し、その誤差によってシステム同定モデルを補正した結果の周期外乱推定値 $\hat{d}_1 \sim \hat{d}_N$ を各々出力するものである。

[0081] この実施例によれば、実施例1、2の効果に加えて、抑制およびシステム同定モデル誤差を推定すべき周期外乱周波数成分が複数、同時に存在する場合においても、対応することができるものである。

実施例 5

[0082] 実施例2～実施例4では、学習機能を付加したものであるが、その学習点が1ポイント周波数についてのものである。

[0083] すなわち、 P_A （ P_B ）に関する周波数応答グラフを示す図12のうち、初期

状態でのシステム同定モデルとして、図 1 2 (a) のような P_A (P_B) に関する周波数応答グラフを有するものとする。上記各実施例において、同定モデル誤差を学習した結果は図 1 2 (b) のように、周期外乱の抑制制御は、ある特定した周波数 x 点、若しくはモデル変動に伴う y 点のみの実施となるため、モデル誤差を学習可能なポイントも或る特定の周波数のみとなる。このため、学習した周波数から僅かでも移行した場合、直近の周波数で学習した結果値を適用することができない。制御対象がモータ等の可変速用途である場合、微小な周波数変動でも再学習が要求されることになる。

[0084] そこで本実施例 5 は、前記学習機能部内に補間補正手段を設け、図 1 2 (c) で示すように学習点 x , y 周囲の周波数領域に対して、補間補正手段による補間処理を施して、補間領域 z に示すように、ピンポイントに対して任意の周波数幅を持たせたものである。

[0085] したがって、この実施例によれば、ある特定の周波数での学習結果を周辺周波数にまで影響させることで、周波数の変動に際しても抑制制御の安定性や学習に必要な時間の短縮が可能となるものである。

実施例 6

[0086] 図 1 3 において 3 0 は、制御対象出力 y_n から、周期外乱の各周波数成分が描くベクトル軌跡の位相（回転角度） θ を算出する回転角度算出部であり、3 1 は前記位相 θ を反転させて位相 θ^{ref} （システム同定モデル誤差による位相誤差）を求める符号反転器であり、これら回転角度算出部 3 0 および符号反転器 3 1 によって、本発明の位相算出手段を構成している。

[0087] 4 0 は、制御対象出力 y_n から、周期外乱の各周波数成分が描くベクトル軌跡の現在の速度（ゲインの現在値） $|v|$ を算出する現在速度算出部であり、4 1 は任意の所望速度 v^{ref} を決定する所望速度計算器であり、4 2 は前記 $|v|$ と v^{ref} の比によりゲイン G^{ref} ($= |v| / v^{ref}$: システム同定モデル誤差によるゲイン誤差) を演算する演算器であり、これら現在速度算出部 4 0、所望速度計算器 4 1 および演算器 4 2 によって、本発明のゲイン算出手段を構成している。

[0088] 50は、前記位相 θ^{ref} とゲイン G^{ref} を乗算して回転ベクトル P^{ref} （システム同定モデルに対する補正指令値）を算出し、該 P^{ref} によって周期外乱オブザーバP D Oのシステム同定モデルを補正する回転ベクトル算出部であり、本発明の補正指令値算出手段を構成している。

[0089] 前記位相 θ^{ref} については、図4に示すように、抑制開始からの経過時刻 $[t = t_n]$ の位置 100_n （ T_{An} 、 T_{Bn} ）の原点方向のベクトルを P_t とし、時刻 $[t = t_{n-1}]$ の位置 100_{n-1} から時刻 $[t = t_n]$ の位置 100_n へのベクトルを v とおく。 P_t から見た v の回転角度を θ とし、これをシステム同定モデルの真値からの位相誤差と近似的に見る。よって時刻 $[t = t_n]$ の補正すべき角度 θ^{ref} を（7）式にて定める。

[0090] [数1]

$$\theta^{ref} = -\theta = -\tan^{-1} \frac{P_t \times v}{P_t \bullet v} \quad (7)$$

[0091] ※（7）式において $[\times]$ 記号は外積を表し、 $[\bullet]$ 記号は内積を表す。

[0092] G^{ref} は、所望速度 v^{ref} を P_t の大きさ（原点からの距離）に基づいて所望速度計算器21によって決定し、演算器22において現在の速度 $|v|$ に対する比率として（8）式に定める。

[0093] [数2]

$$G^{ref} = \frac{|v|}{v^{ref}} \quad (8)$$

[0094] これをシステム同定モデル誤差によるゲイン誤差とする。

[0095] 本発明では、任意の所望速度 v^{ref} が決定出来れば、これに従ってシステム同定モデルを補正し、所望の応答を得ることが可能である。所望速度つまり抑制制御の応答速度または応答波形の形に関しては、制御の適用条件により必ずしも理想的な応答に設定するとは限らない。このような場合においても、要求を満たす所望速度を決定することでこれを満足することができる。

[0096] この時、誤差が存在する図5（b）の状態に対して本発明を適用したシミ

ュレーション結果を図 1 4 に示す。本発明の適用前では図 5 (b) のように曲線であった軌跡が直線に近づいており、本発明の効果を確認できる。

実施例 7

[0097] 本実施例 7 では、実施例 6 に対して、角度補正の精度を向上させるように構成した。図 5 に示した複素ベクトル平面の軌跡を時刻 $[t = t_{n-2}]$ の位置 100_{n-2} (2 周期前の検出位置) まで拡張したものを図 1 5 に示す。また、図 1 5 においては、時刻 $[t = t_n]$ の位置 100_n における角度誤差を θ_{tn} とする。前記実施例 6 では、前記 θ_{tn} が同定モデルの真値に対する位相誤差であると近似的にみていた。より詳細には、周期外乱オブザーバにより移動方向がもとと決定されるため、時刻 $[t = t_{n+1}]$ の位置 (1 周期後の検出位置) では θ^{ref} で補正した方向以上もしくは以下の移動方向となる可能性がある。また、補正に対してこれ以外の誤差が発生することもある。

[0098] そこで本実施例 7 では、過去情報を反映させて補正精度を向上させるように構成した。

[0099] 図 1 5 において、時刻 $[t = t_{n-1}]$ の位置 100_{n-1} の原点方向のベクトル P_{t-1} から見たベクトル v の回転角度 $\theta_{t_{n-1}}$ を前記 (7) 式と同様に算出する。これを、時刻 $[t = t_{n-1}]$ の位置 100_{n-1} の補正に対して実際に移動した方向との誤差と見ることができる。これを反映し、時刻 $[t = t_n]$ の位置 100_n の補正すべき角度 θ^{ref} を回転角度 θ_{tn} と θ_{tn-1} の和の (9) 式とする。

[0100] [数3]

$$\begin{aligned}\theta^{ref} &= -(\theta_{tn} + \theta_{tn-1}) \\ &= -\left(\tan^{-1} \frac{P_t \times v}{P_t \bullet v} + \tan^{-1} \frac{P_{t-1} \times v}{P_{t-1} \bullet v} \right) \quad (9)\end{aligned}$$

[0101] したがって、本実施例 7 において実施例 6 と異なる点は、回転角度算出部 10 において前記位相 (回転角度) θ に代えて $\theta_{tn} + \theta_{tn-1}$ を算出する点にあり、その他の部分は実施例 6 (図 1 3) と同一に構成されている。

[0102] 以上のように、過去の補正に対する誤差を現在の補正に反映させることで

補正精度を向上させることができる。

実施例 8

[0103] 前記実施例 6、実施例 7 においては回転ベクトル P_{ref_n} のゲイン G_{ref} と位相 θ_{ref} を現在および過去の情報から一意に決定したが、図 16 のような制御器 (61, 62) を用いた構成によっても G_{ref} と θ_{ref} を決定することが可能である。

[0104] すなわち、実施例 6 と同様に、ベクトル軌跡における位相 (回転角度) θ およびゲイン v に対して、所望の角度を所望角度計算器 63 により設定し、所望の速度を所望速度計算器 64 により設定する。所望速度については実施例 6 と同様であり、所望角度は基本的にはゼロである。

[0105] そして、所望角度計算器 63 で設定された所望角度と回転角度算出部 30 で算出された現在の θ との差分を加算器 65 により求めて P I 制御器 61 に入力し、所望速度計算器 64 で設定された所望速度と現在速度算出部 40 で算出された現在速度 $|v|$ との差分を加算器 66 により求めて P I 制御器 62 に入力し、位相 θ_{ref} およびゲイン G_{ref} を各々算出する。

[0106] 尚、図 16 において図 13 と同一部分は同一符号をもって示している。前記 P I 制御器 61, 62 は一般的なものでよく、P I D 制御などでも実現可能である。

[0107] また、本実施例 8 においても、回転角度算出部 30 が算出する位相 (回転角度) は、 θ に代えて、実施例 7 で述べた $\theta_{tn} + \theta_{tn-1}$ であってもよい。

[0108] 上記構成により、前記実施例 6、実施例 7 に比較して、所望値に対するベクトル軌跡の追従性能を向上させることができる。

実施例 9

[0109] 前記実施例 6～8 では、ある特定の周波数成分について同定モデル誤差を推定し補正可能であることを示した。本実施例 9 では、図 17 に示すように、 N 個 (周期外乱の周波数成分の次数 n 個) の同定モデル補正器付き P D O $70P_1 \sim 70P_N$ を設け、図 13、図 16 の制御系を抑制する各次数に対する同定モデル誤差推定、補正を並列・同時に実施するように構成した。

[0110] 同定モデル補正器付き $PDO70P_1 \sim 70P_N$ は、図 13（実施例 6）に示す周期外乱オブザーバ $PDO14$ 、回転角度算出部 30、符号反転器 31、現在速度算出部 40、所望速度計算器 41、演算器 42 および回転ベクトル算出部 50 の各機能を備えるか、又は、図 16（実施例 8）に示す周期外乱オブザーバ 14、回転角度算出部 30、現在速度算出部 40、回転ベクトル算出部 50、PI 制御器 61、62、所望角度計算器 63、所望速度計算器 64 および加算器 65、66 の各機能を備えており、 n 次の制御指令 $r_1 \sim r_N$ に対して、同定モデル誤差を推定し、その誤差によってシステム同定モデルを補正した結果の周期外乱推定値 $\hat{d}_1 \sim \hat{d}_N$ を各々出力する。

[0111] 上記構成によれば、抑制およびシステム同定モデル誤差を推定すべき周期外乱周波数成分が複数、同時に存在する場合においても、対応することができる。

産業上の利用可能性

[0112] 本発明は、例えば、ダイナモメータシステムの軸トルク共振抑制、モータ筐体の振動抑制（電気自動車、エレベータなど乗り心地に関連するもの）、その他、周期外乱が問題となる装置全般に利用することができる。

符号の説明

- [0113] 1 … 指令値変換部
2 … インバータ
3 … PMモータ
4 … オブザーバ部
10 … 実プラント（制御対象）
11 … 位相補正量演算部
12 … ゲイン補正量演算部
13、50 … 回転ベクトル算出部
14 … 周期外乱オブザーバ部
15 … メモリー
16 … スイッチ

20₁～20_n…モデル誤差補正器付きPDO

30…回転角度算出部

31…符号反転器

40…現在速度算出部

41…所望速度計算器

42…演算器

61, 62…PI制御器

63…所望角度計算器

65, 66…加算器

70P₁～70P_N…同定モデル補正器付きPDO

請求の範囲

[請求項1]

上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有し、周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制手段と、

前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の位相を演算して位相補正量を演算する位相補正量演算手段と、

前記制御対象の出力を入力して制御対象出力のゲインを補正するゲイン補正量演算手段と、

前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱抑制手段のシステム同定モデルを補正する回転ベクトル算出手段とを備えたことを特徴とする周期外乱抑制装置。

[請求項2]

前記制御対象物をモータとし、モータ出力を周期外乱オブザーバ部へ入力し、この周期外乱オブザーバ部で推定した周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から減算しインバータを介してモータを制御するものにおいて、

前記位相補正量演算手段は、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の位相を演算し、

前記ゲイン補正量演算手段は、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の進行速度を算出して閾値と比較し、この算出、比較を複数回繰り返してゲイン補正量を演算し、

前記回転ベクトル算出手段は、前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステ

ム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱オブザーバ部のシステム同定モデルを補正することを特徴とする請求項 1 に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項3] 前記位相補正量演算手段における位相補正量 θ^{ref}_n は、重み a とベクトルの回転角度 θ の積に前回算出の位相補正量 $\theta^{\text{ref}}_{n-1}$ を加算して求めることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項4] 前記回転ベクトル演算手段の出力側に学習機能部を設け、回転ベクトル演算部により求めたシステム同定モデル補正値を学習機能部で記憶し、システム同定モデル誤差に対する補正量の学習を実行し、学習値を前記周期外乱オブザーバ部に入力して前記同定モデル補正値に乗算して新たな同定モデル補正値とすることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項5] 前記学習機能部に同定モデル補正機能部を設け、この同定モデル補正機能部によりシステム同定モデル補正値の記憶時の動作点を移動変更しながら繰返し行い、動作点移動完了時に周期外乱の抑制制御をオン状態とし、抑制制御完了時にシステム同定モデル補正値を記憶して周期外乱の抑制制御をオフ状態とすることを特徴とする請求項 4 に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項6] 前記学習機能部に補間補正手段を設け、学習後のシステム同定モデル補正値に対して任意の周波数幅を持たせることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項7] 前記位相補正量演算手段、ゲイン補正量演算手段および回転ベクトル算出手段は、各々周期外乱の周波数成分の次数 n 個分を備えていることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項8] 上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外

乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有し、該周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制手段と、

前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の、現在の検出位置から原点に向かうベクトルから見た、1周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルの回転角度を、システム同定モデル誤差による位相誤差として算出する位相算出手段と、

前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡のゲインの現在値と所望値に基づいてシステム同定モデル誤差によるゲイン誤差を算出するゲイン算出手段と、

前記位相算出手段により算出された位相誤差と前記ゲイン算出手段により算出されたゲイン誤差を積算した回転ベクトルを、システム同定モデルに対する補正指令値として算出する補正指令値算出手段とを備え、

前記補正指令値算出手段により算出された補正指令値によって前記システム同定モデルを補正することを特徴とする周期外乱抑制装置。

[請求項9] 前記位相算出手段は、前記回転角度を、前記ベクトル軌跡の、1周期前の検出位置から原点に向かうベクトルから、1周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルを見た回転角度と、現在の検出位置から原点に向かうベクトルから、1周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルを見た回転角度との和によって算出することを特徴とする請求項8に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項10] 前記位相算出手段は前記回転角度と所望の回転角度の偏差をPI制御器に通して前記位相誤差を算出し、

前記ゲイン算出手段は前記ゲインの現在値と所望値の偏差をPI制御器に通して前記ゲイン誤差を算出することを特徴とする請求項8又

は 9 に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項11] 前記位相算出手段、ゲイン算出手段および補正指令値算出手段を周期外乱の周波数成分の複数次数分設け、各次数の周期外乱の周波数成分における補正指令値を求めて、前記システム同定モデルの補正を行うことを特徴とする請求項 8 ないし 10 のいずれか 1 項に記載の周期外乱抑制装置。

[請求項12] 上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有した周期外乱抑制手段が、前記周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制ステップと、

位相補正量演算手段が、前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の位相を演算して位相補正量を演算する位相補正量演算ステップと、

ゲイン補正量演算手段が、前記制御対象の出力を入力して制御対象出力のゲインを補正するゲイン補正量演算ステップと、

回転ベクトル算出手段が、前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正值を算出し、この補正值に基づいて前記周期外乱抑制手段のシステム同定モデルを補正する回転ベクトル算出ステップとを備えたことを特徴とする周期外乱抑制方法。

[請求項13] 前記制御対象物をモータとし、モータ出力を周期外乱オブザーバ部へ入力し、この周期外乱オブザーバ部で推定した周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から減算しインバータを介してモータを制御するものにおいて、

前記位相補正量演算ステップは、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の位相を演算し、

前記ゲイン補正量演算ステップは、前記モータ出力を入力して周期外乱の周波数成分が描くベクトル軌跡の進行速度を算出して閾値と比較し、この算出、比較を複数回繰り返してゲイン補正量を演算し、

前記回転ベクトル算出ステップは、前記位相補正量演算手段からの位相補正量とゲイン補正量演算手段からのゲイン補正量を乗算してシステム同定モデル補正値を算出し、この補正値に基づいて前記周期外乱オブザーバ部のシステム同定モデルを補正することを特徴とする請求項 12 に記載の周期外乱抑制方法。

[請求項14]

上位に制御指令値を発生する制御器を持ち、周期性外乱が発生する制御対象の出力における、抑制制御対象とする周期外乱の周波数成分にシステム同定モデルの逆数で表現される逆システムを乗算して周期外乱を推定する周期外乱オブザーバ部を有した周期外乱抑制手段が、前記周期外乱オブザーバ部で推定された周期外乱を補償指令値として前記制御指令値から差し引いて周期外乱を抑制する周期外乱抑制ステップと、

位相算出手段が、前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡の、現在の検出位置から原点に向かうベクトルから見た、1 周期前の検出位置から現在の検出位置に向かうベクトルの回転角度を、システム同定モデル誤差による位相誤差として算出する位相算出ステップと、

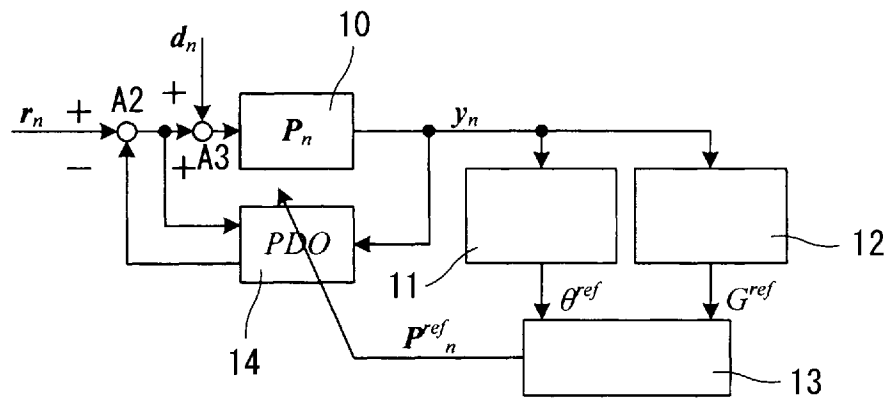
ゲイン算出手段が、前記周期外乱抑制手段による周期外乱抑制制御中における、前記周期外乱の各周波数成分が複素ベクトル平面に描くベクトル軌跡のゲインの現在値と所望値に基づいてシステム同定モデル誤差によるゲイン誤差を算出するゲイン算出ステップと、

補正指令値算出手段が、前記位相算出手段により算出された位相誤

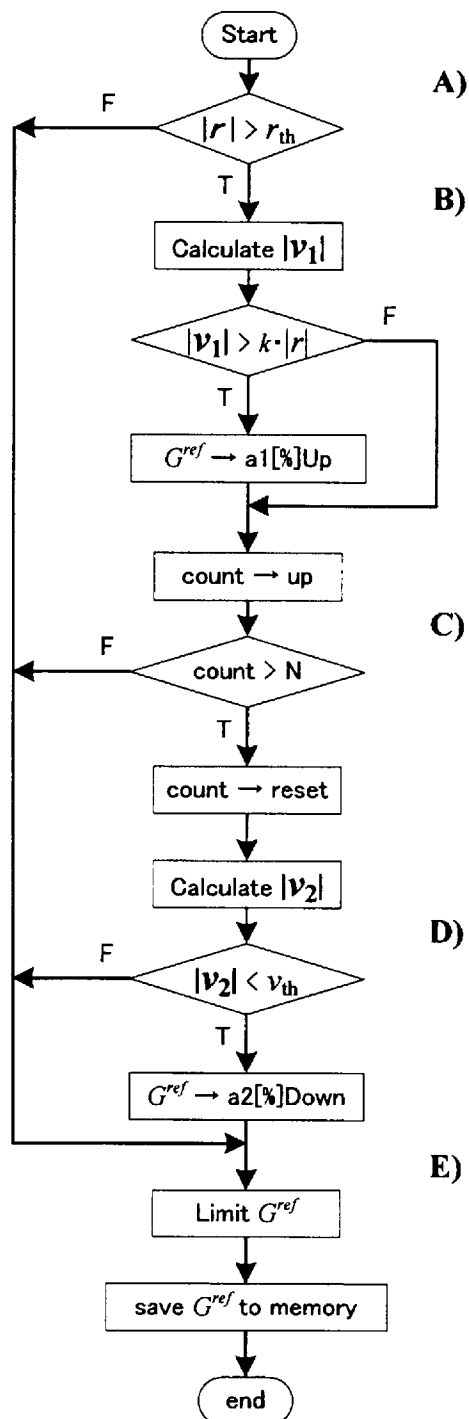
差と前記ゲイン算出手段により算出されたゲイン誤差を積算した回転ベクトルを、システム同定モデルに対する補正指令値として算出する補正指令値算出ステップと、

前記算出された補正指令値によって前記システム同定モデルを補正するステップとを備えたことを特徴とする周期外乱抑制方法。

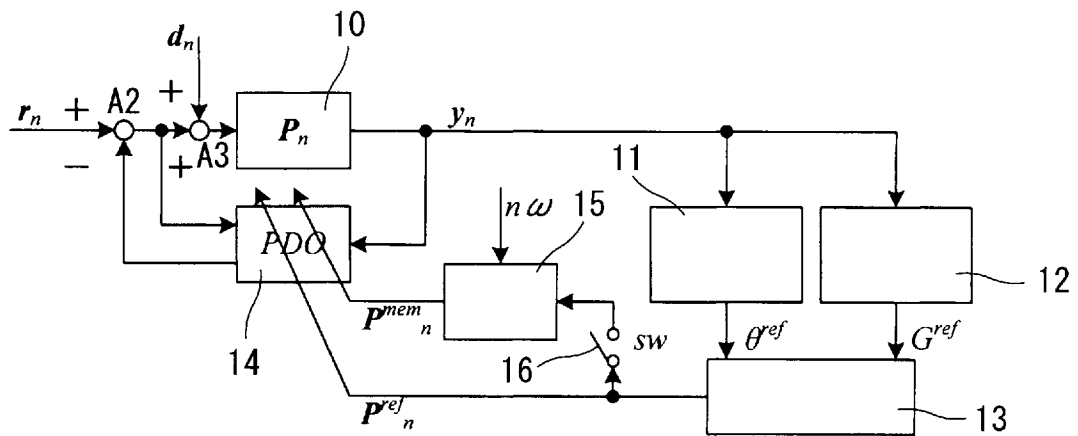
[図1]



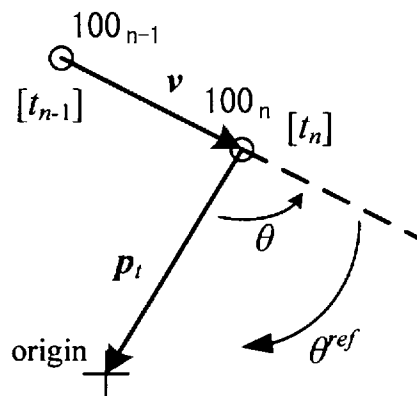
[図2]



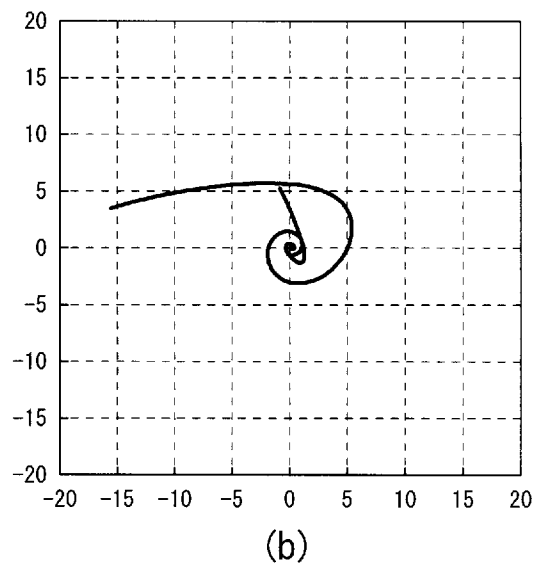
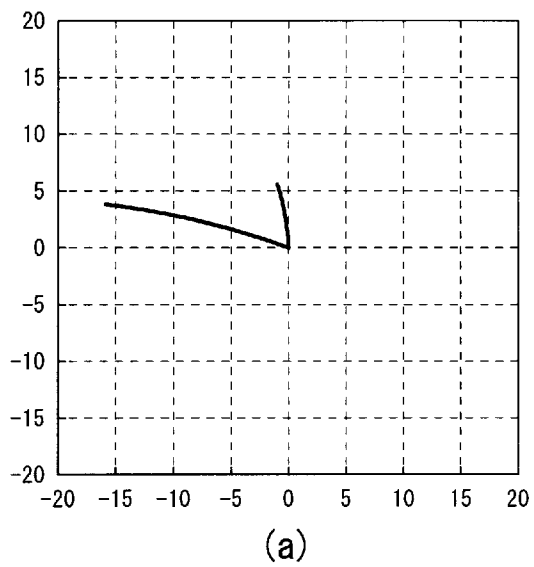
[図3]



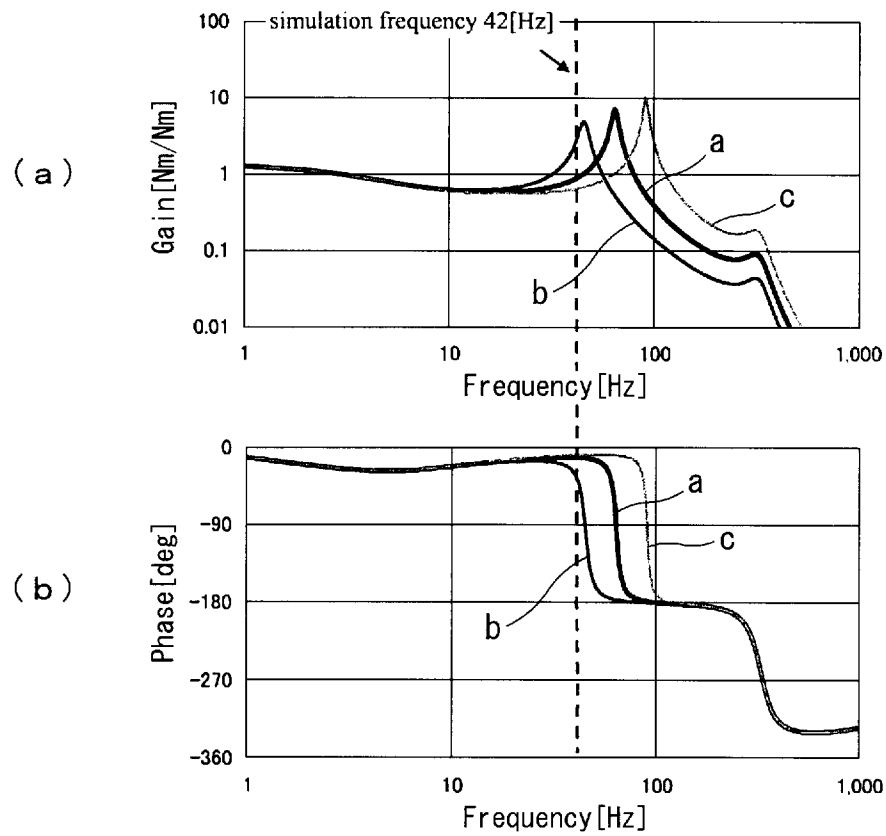
[図4]



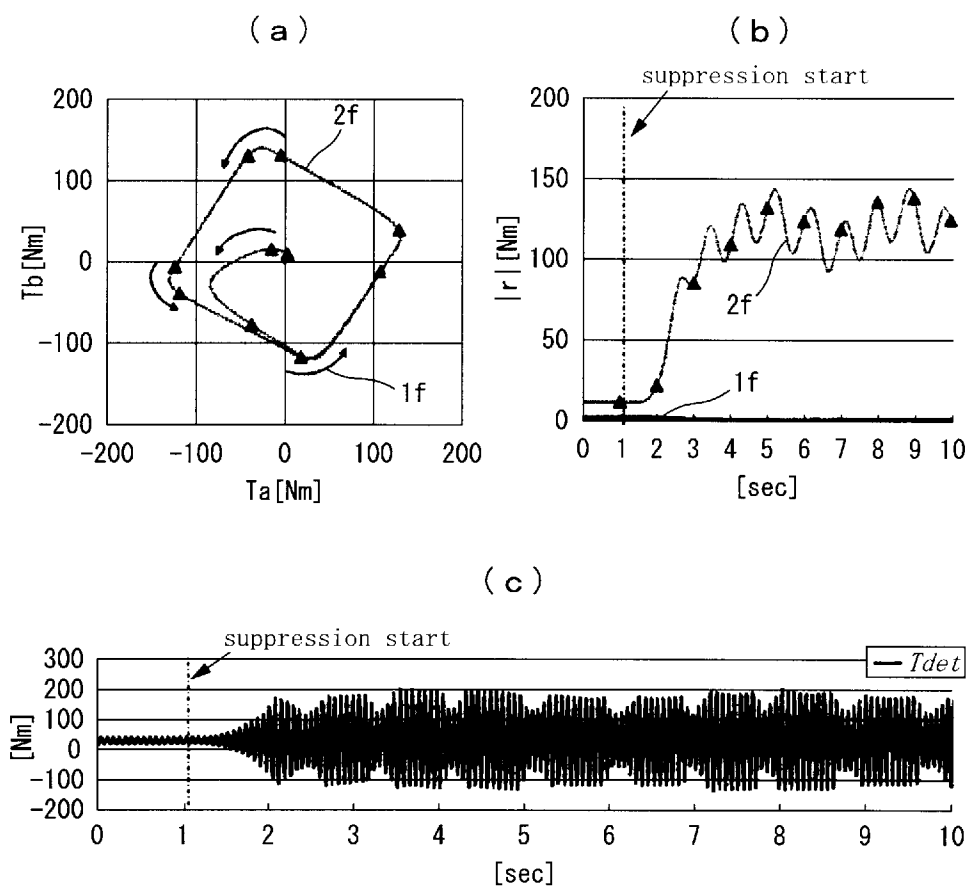
[図5]



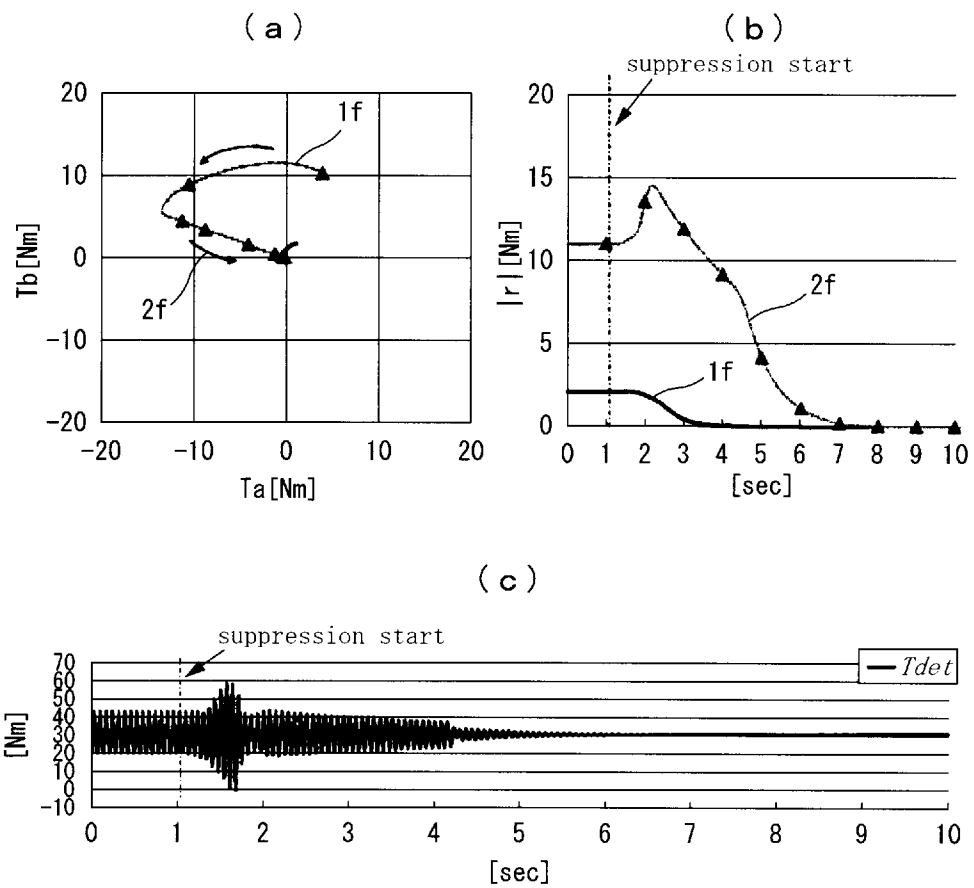
[図6]



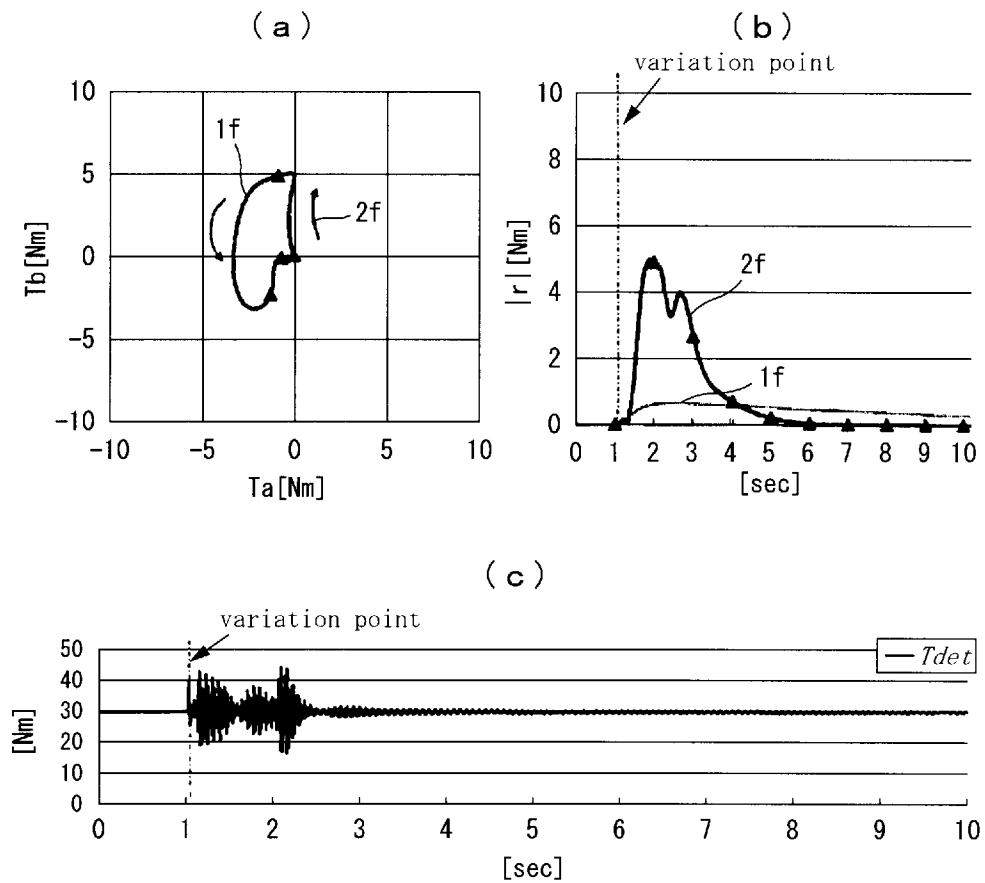
[図7]



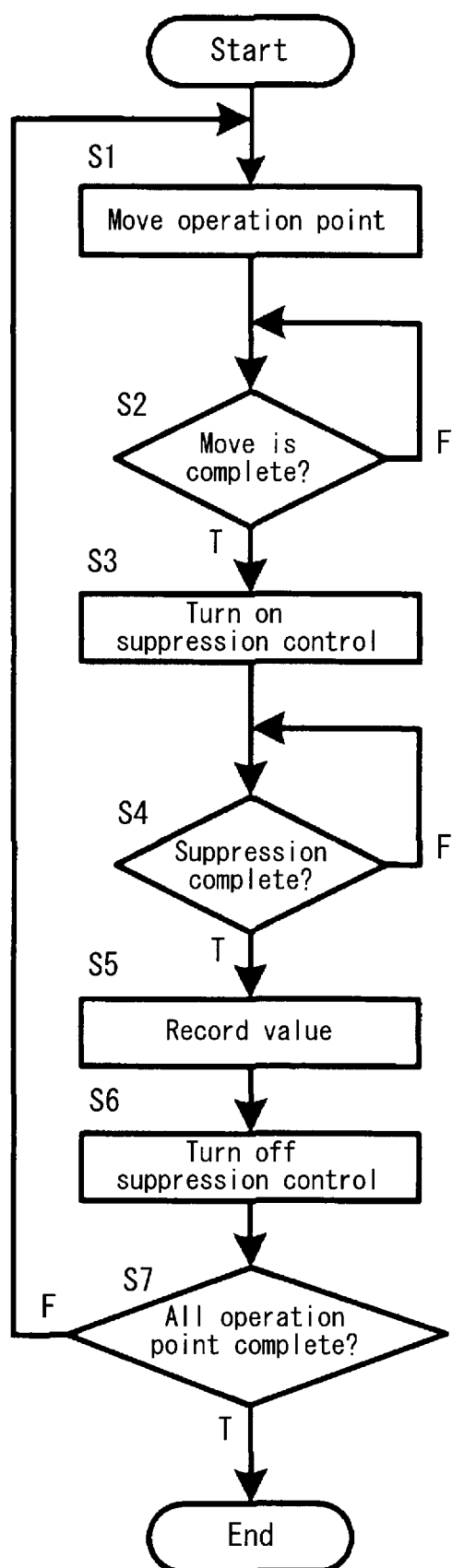
[図8]



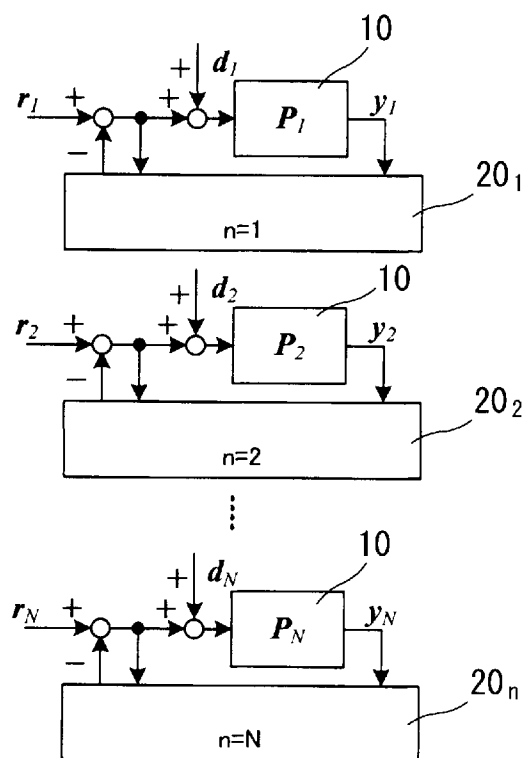
[図9]



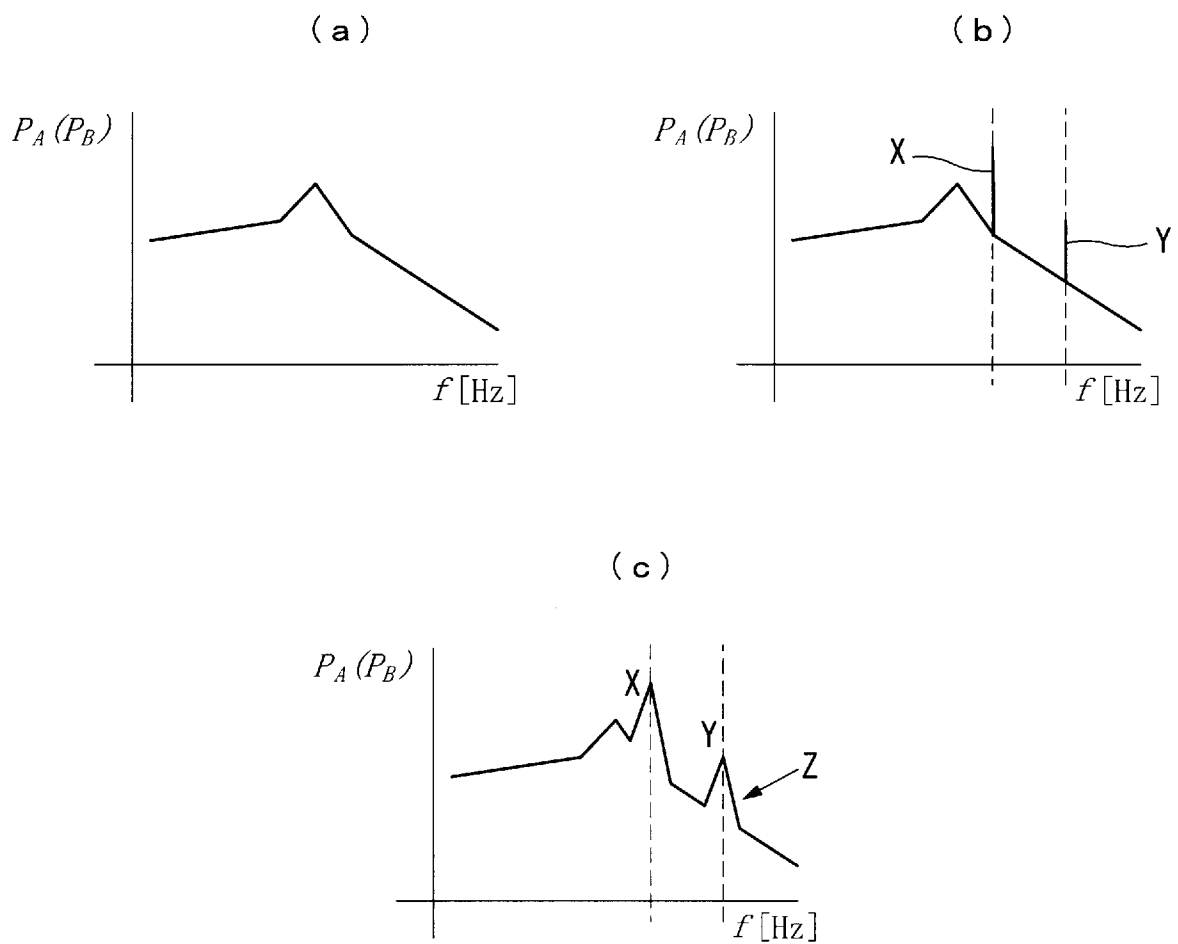
[図10]



[図11]



[図12]



[illegible]

Figure 1 illustrates a parallel control system with N parallel paths. Each path n (for $n=1, 2, \dots, N$) consists of a reference input r_n , a disturbance input d_n , a disturbance estimate $\hat{d}_n$, a plant P_n , and a feedback block $70P_n$. The disturbance estimate $\hat{d}_n$ is fed back from the output y_n to a summing junction before the plant. The disturbance d_n is added to the output of the summing junction before the plant. The output y_n is fed back to a summing junction before the disturbance estimate $\hat{d}_n$. The overall system output is the sum of the outputs of all parallel paths.

The diagram illustrates a control system for a motor drive. The system consists of several interconnected blocks and feedback loops.

- Reference Input:** T_{ref} is the reference torque input to block 1.
- Block 1:** A control block that takes T_{ref} and T_{det} as inputs and outputs the reference current i_d^* .
- Current Feedback:** The reference current i_d^* is compared with the actual current i_a^* at a summing junction to produce the current error i_{ac} .
- Block 2:** A block that takes i_{ac} as input and outputs a signal to block 3.
- Block 3:** A block that takes the output of block 2 and produces the final output T_{det} .
- Feedback Path (Dashed Box 4):**
 - The output T_{det} is fed back to block 1 and a summing junction.
 - The reference torque T_r is also fed back to the same summing junction.
 - The summing junction calculates the feedback torque T_{An} and T_{Bn} .
 - T_{An} and T_{Bn} are inputs to block 4a.
 - Block 4a outputs I_{An} and I_{Bn} .
 - I_{An} is compared with i_{ac} at a summing junction to produce i_d^* .
 - I_{Bn} is compared with i_{ac} at another summing junction to produce i_{ac} .
 - Block SC (Signal Conditioning) receives θ and n as inputs and outputs $\cos(n\theta)$ and $\sin(n\theta)$.
 - $\cos(n\theta)$ and $\sin(n\theta)$ are inputs to block 4a.

The diagram illustrates a control system with the following components and signal flow:

- Reference Input:** r_n enters a summing junction **A2** with a positive sign.
- Feedforward Path:** The output y_n is fed back through a block $G_F(s)$ to a summing junction **A1** with a negative sign. The output of **A1** is $\hat{d}_n$, which is fed back to **A2** with a negative sign.
- Controlled Object:** A dashed box labeled "controlled object" contains:
 - A summing junction **A3** that adds the output of **A2** and a disturbance d_n (indicated by a downward arrow).
 - A block P_n representing the n th-order real system.
- Feedback Path:** The output y_n is also fed back through a block P_n^{-1} (marked with a diagonal line and $n\omega$) to a summing junction **A1** with a positive sign.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059855

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B13/02 (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)

G05B13/02

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.
A	WO 2010/024195 A1 (Meidensha Corp.), 04 March 2010 (04.03.2010), paragraphs [0047] to [0067]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-14
A	JP 2005-267296 A (Yaskawa Electric Corp.), 29 September 2005 (29.09.2005), paragraph [0013]; fig. 2 (Family: none)	1-14
A	JP 6-51805 A (Meidensha Corp.), 25 February 1994 (25.02.1994), paragraphs [0038] to [0064]; fig. 1 (Family: none)	1-14



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
25 April, 2012 (25.04.12)Date of mailing of the international search report
15 May, 2012 (15.05.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059855

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-330606 A (Tokai Rubber Industries, Ltd.), 30 November 2000 (30.11.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G05B13/02 (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（I P C））

Int.Cl. G05B13/02

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2010/024195 A1（株式会社明電舎）2010.03.04, 【0 0 4 7】 - 【0 0 6 7】, 第1 - 4 図（ファミリーなし）	1 - 1 4
A	JP 2005-267296 A（株式会社安川電機）2005.09.29, 【0 0 1 3】, 第2 図（ファミリーなし）	1 - 1 4
A	JP 6-51805 A（株式会社明電舎）1994.02.25, 【0 0 3 8】 - 【0 0 6 4】, 第1 図（ファミリーなし）	1 - 1 4

☒ 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

2 5 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

青山 純

3 U

4 4 8 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 2 4

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
A	JP 2000-330606 A (東海ゴム工業株式会社) 2000. 11. 30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 1 4