

(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
2025年1月2日(02.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/004831 A1

(51) 国際特許分類:

H02P 21/05 (2006.01) H02P 27/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/021532

(22) 国際出願日: 2024年6月13日(13.06.2024)

(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 2023-105253 2023年6月27日(27.06.2023) JP

(71) 出願人: 日立 Astemo 株式会社(HITACHI ASTEMO, LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 武田 広大(TAKEDA Kodai); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 谷口 峻(TANIGUCHI Shun); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 戸張 和明(TOBARI Kazuaki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社

日立製作所内 Tokyo (JP). 初瀬 渉(HATSUSE Wataru); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

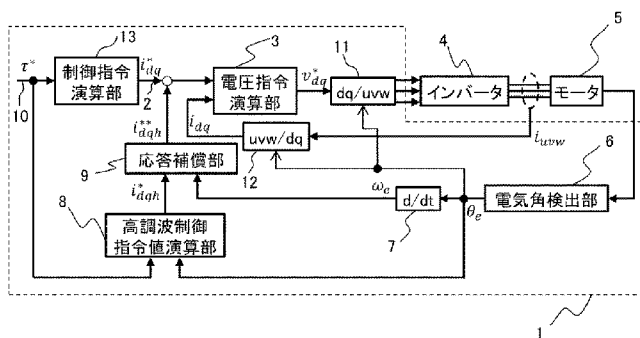
(74) 代理人: 弁理士法人開知 (KAICHI IP); 〒1030022 東京都中央区日本橋室町四丁目 3 番 1 6 号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: モータ制御装置



3 Voltage command calculation unit

4 Inverter

5 Motor

6 Electrical angle detection unit

8 Harmonic control command value calculation unit

9 Response compensation unit

13 Control command calculation unit

(57) Abstract: Provided is a motor control device in which both shortening of the time required for designing and adjusting the correction amounts of an amplitude and a phase according to a response characteristic and securing a torque ripple suppression effect can be achieved. A motor control device 1 drives a motor 5 by means of an inverter 4. The motor control device 1 comprises: a harmonic control command value calculation unit 8 for obtaining a first harmonic control command value i_{dqh}^* , ϕ_{dqh}^* from a torque command value τ^* and an electrical angle θ_e of the motor 5; a response compensation unit 9 for calculating a second harmonic control command value i_{dqh}^{**} , ϕ_{dqh}^{**} obtained by performing response characteristic compensation corresponding to the rotational speed of the motor 5 on the first harmonic control command value i_{dqh}^* ; and a voltage command calculation unit 3 for calculating a voltage command value v_{dq}^* on the basis of a control command for outputting the torque of the torque command value τ^* and a second harmonic control command value i_{dqh}^{**} , ϕ_{dqh}^{**} .

[続葉有]

MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：応答特性に応じた振幅と位相の修正量の設計及び調整にかかる時間の短縮と、トルクリプル抑制効果確保を両立可能なモータ制御装置が提供される。モータ制御装置1は、モータ5をインバータ4により駆動する。モータ制御装置1は、トルク指令値 τ^* とモータ5の電気角 θ_e とから第1の高調波制御指令値 i_{dqh}^* 、 ϕ_{dqh}^* を求める高調波制御指令値演算部8と、第1の高調波制御指令値 i_{dqh}^* にモータ5の回転数に応じた応答特性補償を行った第2の高調波制御指令値 i_{dqh}^{**} 、 ϕ_{dqh}^{**} を計算する応答補償部9と、トルク指令値 τ^* のトルクを出力するための制御指令と第2の高調波制御指令値 i_{dqh}^{**} 、 ϕ_{dqh}^{**} に基づき、電圧指令値 v_{dq}^* を演算する電圧指令演算部3と、を備える。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、モータ制御においてモータから発生するトルクリプルを抑制するモータ制御装置に関する。

背景技術

[0002] 自動車などの積載スペースが限られるアプリケーションで利用するためモータの高出力密度化が進行している。これにより、磁気飽和が発生する領域でモータを利用することが増えている。磁気飽和領域では、トルクリプルが増え振動や騒音を誘発するため、特にトルクリプル抑制制御が必要とされている。

[0003] モータのトルクリプルを抑制して振動を低減する従来の装置として、例えば特許文献1に記載された技術がある。この特許文献1に記載された装置は、モータの発生するトルクに応じたトルクリプルの振幅と位相に関するテーブルを作成し、このテーブルを参照してトルクリプルの振幅および位相が抑制されるように修正したトルクリプル補償値を算出し、指令値に重畳している。この修正によりトルクの制御帯域を超えた周波数のトルクリプルを抑制できる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第5784787号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 重畳するトルクリプル補償量の振幅と位相を回転数に応じて修正する場合、トルクの応答特性を知る必要がある。

[0006] しかし、一般的にF B制御器の設計応答値と実際のトルク応答値とは、高トルク時の磁気飽和によるモータ定数の変化により乖離が生じ、トルクリプ

ルの抑制精度が低下する。

[0007] したがって、精度を確保するためにはトルクや電流などの動作条件ごとに応答特性を調整あるいは測定する必要がある制御器の設計に時間がかかっていた。

[0008] 本発明の目的は、応答特性に応じた振幅と位相の修正量の設計及び調整にかかる時間の短縮と、トルクリプル抑制効果確保を両立可能なモータ制御装置を提供することである。

本発明は、F B制御器にモータ定数の変化に対して応答がロバストな制御系を用い、 d q 軸の高調波指令値に対して回転数に応じた位相と振幅の修正を個別に行う。

課題を解決するための手段

[0009] 上記目的を達成するため、本発明は次のように構成される。

[0010] モータをインバータにより駆動するモータ制御装置であって、トルク指令値と前記モータの電気角とから第1の高調波制御指令値を求める高調波制御指令値演算部と、前記第1の高調波制御指令値に前記モータの回転数に応じた応答特性補償を行った第2の高調波制御指令値を計算する応答補償部と、前記トルク指令値のトルクを出力するための制御指令と前記第2の高調波制御指令値に基づき、電圧指令値を演算する電圧指令演算部と、を備える。

発明の効果

[0011] 本発明は、応答特性に応じた振幅と位相の修正量の設計及び調整にかかる時間の短縮と、トルクリプル抑制効果確保を両立可能なモータ制御装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の実施例1に係るモータ制御装置の概略ブロック図である。

[図2]電流検出遅れにより生じる実電流と検出電流の差分を示す図である。

[図3]本発明の実施例2に係るモータの制御装置の概略ブロック図である。

[図4A]電流から磁束への変換を説明する図である。

[図4B]電流から磁束への変換を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明の実施形態について、添付図面を参照して説明する。

実施例

[0014] (実施例 1)

図 1 は、本発明の実施例 1 であるモータ制御装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

[0015] なお、以下の記載において、「 d q 軸」という記載は、「 d 軸および q 軸」を表す。また、以下に記載する添え字付きのパラメータ X (「 i 」や「 v 」など) については、特に断らない限り、「 X d q 」は「ベクトル量 (X d 、 X q)」を表し、「 X u v w 」は「ベクトル量 (X u 、 X v 、 X w)」を表す。ここで、「 u v w 」は、交流の三相すなわち「 U 相、 V 相および W 相」を表す。

[0016] 図 1 において、モータ制御装置 1 は、モータ 5 に交流電力を供給するインバータ 4 のスイッチングを制御することにより、モータ 5 の速度やトルクを制御する。

[0017] 本実施例 1 において、モータ制御装置 1 は、マイクロコンピュータなどの演算処理装置によって構成され、所定のプログラムを実行することにより、各部として機能する。

[0018] 本実施例に 1 おいて、インバータ 4 は、 I G B T や M O S F E T のような半導体スイッチング素子から構成される三相フルブリッジ回路を主回路とする三相インバータである。

[0019] 本実施例 1 において、モータ 5 としては、回転機である三相交流同期モータ、例えば、永久磁石同期モータが適用される。

[0020] モータ 5 としては、同期機に限らず、誘導機が適用されてもよい。また、モータ 5 としては、回転機に限らず、リニアモータが適用されてもよい。なお、モータ 5 は、発電機能を有してもよい。

[0021] 図 1 に示すように、モータ制御装置 1 は、トルク指令値 10 (τ^*) が入力され、 d q 軸電流指令値 2 ($i^*_{d,q}$) を出力する制御指令演算部 13 と、電圧

指令演算部 3 と、電気角検出部 6 と、電気角速度計算部 7 と、高調波制御指令値演算部 8 と、応答補償部 9 と、電圧指令重畳部 10 と、電圧指令値 dq / 三相軸変換器 11 と、計測電流三相 / dq 軸変換器 12 と、を備える。

[0022] トルク指令値 10 は、上位のコントローラや操作系から与えられる。

[0023] dq 軸電流指令値 2 は、与えられたトルク指令のトルクをモータ 5 から出力するために必要な dq 軸電流として計算される。一般的には電流あたりのトルク出力が最大 (MTPA) になるように決定されるが、任意の電流に対して本発明は有効である。

[0024] 電圧指令演算部 3 は、 dq 軸電流検出値 i_{dq} と dq 軸電流指令値 i_{dq}^* との差分に応じて、 dq 軸電流検出値 i_{dq} が dq 軸電流指令値 i_{dq}^* に一致するように、電圧指令値 v_{dq}^* を生成する。

[0025] 本実施例 1 においては、電圧指令演算部 3 は、次式 (1) のモータ逆モデルに対して dq 軸それぞれに積分器を直列接続する構成として、 dq 軸電流指令値 i_{dq}^* (d 軸電流指令値 i_d^* および q 軸電流指令値 i_q^*) を用いて電圧指令値 v_{dq}^* を演算する。ただし、インダクタンスを表す L の添字の最後に t がつく変数は動的インダクタンス、つかない変数は静的インダクタンスを意味する。静的インダクタンスは、 dq 軸電流と dq 軸磁束の比で決まる値であり、動的インダクタンスは、基準となる電流近傍での磁束の変化比率を指している。磁気飽和がない条件では動的インダクタンスと静的インダクタンスは一致するが、磁気飽和がある場合は動的インダクタンスと静的インダクタンスが一致しない。

[0026] [数1]

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} R + sL_{dt} - \omega_e L_{dq} & sL_{dqt} + \omega_e L_q \\ sL_{qdt} + \omega_e L_d & R + sL_{qt} - \omega_e L_{qd} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{pmatrix} + \omega_e \begin{pmatrix} 0 \\ K_e \end{pmatrix}$$

[0027] 式 (1) において、 V_d はモータ 5 の d 軸電圧、 V_q はモータ 5 の q 軸電圧、 R はモータ 5 の巻線の抵抗値、 L_d はモータ 5 の d 軸インダクタンス、 L_q はモータ 5 の q 軸インダクタンス、 L_{dq} 、 L_{qd} はモータ 5 の d 軸と q 軸との干渉インダクタンス、 K_e は誘起電圧定数、 L_{dt} はモータ 5 の d 軸

の動的インダクタンス、 L_{qt} はモータ 5 の q 軸の動的インダクタンス、 L_{dq} 、 L_{qd} はモータ 5 の d 軸と q 軸との動的干渉インダクタンス、 i_d^* は d 軸電流指令値、 i_q^* は q 軸電流指令値、 ω_e はモータ 5 の電気角速度である。

[0028] 電圧指令演算部 3 は、本実施例 1 の構成に限らず同値変形によって得られる制御構成、または、影響の小さな項を無視した近似モデルを用いても良い。たとえば、磁気飽和領域で利用が想定されないならば、動的インダクタンスと静的インダクタンスを同値として扱ったり、積分器とモータ逆モデルを合成し、PI 制御器と非干渉制御器として構成したりすることもできる。

[0029] 電気角検出部 6 は、モータ 5 が備える回転センサ（図示せず）からの回転位置信号に基づき、電気角 θ_e を計算して出力する。回転センサは、モータ 5 の回転子の機械角（ θ_m ）に応じて回転位置信号を出力するが、電気角検出部 6 は、モータ 5 の極対数（ p ）、並びに、電気角 θ_e と機械角 θ_m と極対数（ p ）との関係（ $\theta_e = p \cdot \theta_m$ ）を用いて、電気角 θ_e を計算する。

[0030] 回転センサとしては、機械角レゾルバ、ホールセンサ、ロータリエンコーダなどが適用できる。また、一般的な位置センサレス制御の手法により電流や電圧から電気角を推定する構成としても良い。

[0031] 電気角速度計算部 7 は、電気角計算部 6 と同様に、モータ 5 が備える回転センサ（図示せず）からの回転位置信号に基づき、電気角速度 ω_e を計算して出力する。電気角速度計算部 7 は、モータ 5 の極対数（ p ）、電気角 θ_e と機械角 θ_m と p との関係（ $\theta_e = p \cdot \theta_m$ ）および電気角 θ_e と電気角速度 ω_e の関係（ $\omega_e = d\theta_e / dt$ ）を用いて、電気角速度 ω_e を計算する。なお、電気角速度演算部 7 は、電気角計算部 6 が出力する電気角 θ_e を微分して電気角速度 ω_e を計算する微分器によって構成されてもよい。

[0032] 高調波制御指令値演算部 8 は、トルク指令値 τ^* から第 1 の高調波制御指令値 i_{dqh}^* を出力する。

[0033] 応答補償部 9 は、応答補償テーブルまたは応答補償関数を備え、電気角速度 ω_e から応答補償テーブルあるいは応答補償関数から計算された位相と振幅

の補正量分だけ、第1の高調波制御指令値 i_{dqh}^* を修正した第2の高調波制御指令値 i_{dqh}^{**} を出力する。

[0034] 電圧指令値 dq / 三相軸変換器 11 (図1では dq / uvw と表示) は、電圧指令演算部3から出力された電圧指令値 v_{dq}^* を電気角 θ_e に応じて三相電圧に変換しインバータ4のスイッチングを制御する信号を生成する。このとき、電気角 θ_e の代わりに電圧指令値が実際にインバータ4に反映されるまでにかかる遅延を補償した θ_{ec} を用いても良い。

[0035] 計測電流三相 / dq 軸変換器 12 は、電流センサが検出した三相電流を θ_e に応じて dq 軸電流 i_{dq} に変換する。このとき、 θ_e の代わりに電流検出遅延を考慮した θ_{ed} を用いても良い。

[0036] 以下ではモータ制御装置1の動作を説明しつつ、本発明の作用について述べる。

[0037] まず、トルク指令値 τ^* を入力された高調波制御指令値演算部8は、次式(2)のように第1の高調波制御指令値 i_{dqh}^* を計算する。ただし、式(2)において、 n はトルクリプルの次数を示す。

[0038] [数2]

$$i_{dqh}^* = \begin{pmatrix} i_{dh}^* \\ i_{qh}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dn} \cos(n\theta_e + \theta_{dn} + \theta_{delay}) \\ I_{qn} \cos(n\theta_e + \theta_{qn} + \theta_{delay}) \end{pmatrix}$$

[0039] このとき、 dq 軸電流 i_{dq} 、 θ_{dq} は、予め解析や試験などで求めておき、トルク指令値 τ^* を引数としたテーブルなどで求められるようにする。また、 θ_{delay} は検出した電流と、実際にモータ5に流れる電流の間に生じる遅延時間だけ位相を進める操作量であり、遅延時間を T_{delay} とすると、 $nT_{delay}\omega_e$ で計算される。この操作により、FB制御器の応答と無駄時間を分離でき、後述する応答補償テーブルを単純な1次遅れ関数として設計できる。

[0040] 上記遅れを補正しない場合、検出電流と電流指令値が一致している場合でも、実際の電流が検出電流と図2のようにずれ、本来欲しいタイミングとは異なる位相の電流が流れることで性能の低下を引き起こす。なお、図2において、検出電流と電流指令値は完全に一致しているが、図示するために、互

いにずらしている。

[0041] d q 軸電流検出値 I_{dq} 、 θ_{dq} は、複素係数として保持することでテーブル参照時の位相の不連続性を回避することができる。

[0042] 応答補償部 9 は、第 1 の高調波制御指令値 i_{dqh}^* に対して $n\omega_e$ でトルクリプルの電気角周波数を計算する。さらに、振幅補正と電気角周波数の 2 次元テーブルと位相補正と電気各周波数の 2 次元テーブルから $n\omega_e$ に対応する振幅補正量 I_{mod} と、位相補正量 θ_{mod} を計算する。これらの 2 次元テーブルは、本実施例 1 では応答が 1 次遅れ系に設計されるため、次式 (3) の関数として実装することも可能である。ただし、式 (3) において、 ω_{acr} は制御応答角周波数である。

[0043] [数3]

$$\begin{pmatrix} I_{nmod} \\ \theta_{nmod} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{1 + \left(\frac{n\omega_e}{\omega_{acr}}\right)^2} \\ \text{atan} \frac{n\omega_e}{\omega_{acr}} \end{pmatrix}$$

[0044] このとき、第 2 の高調波制御指令値 i_{dqh}^{**} は次式 (4) で計算される。

[0045] [数4]

$$i_{dqh}^{**} = \begin{pmatrix} i_{dh}^{**} \\ i_{qh}^{**} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dn} I_{mod} \cos(n\theta_e + \theta_{dn} + \theta_{nmod} + \theta_{delay}) \\ I_{qn} I_{mod} \cos(n\theta_e + \theta_{qn} + \theta_{nmod} + \theta_{delay}) \end{pmatrix}$$

[0046] 電圧指令演算部 3 は、第 2 の高調波制御指令値 i_{dqh}^{**} と、d q 軸電流指令値 i_{dq}^* から計算された最終電流指令値と電流計測値から電圧指令値 v_{dq}^* を計算する。

[0047] d 軸と q 軸の制御応答角周波数が異なる値で設計された場合、トルク応答特性では、振幅と位相の補正テーブルを d q 軸の制御応答特性の組み合わせ分だけ保持する必要がある設計に時間がかかる。一方、電流への補償であれば軸ごとに応答特性が決まるため、異なる制御応答角周波数 ω_{acr} ごとに振幅と位相の補正テーブルあるいは関数を準備するだけですみ、設計工数を短縮しつつトルクリプル抑制効果を確保できる。

[0048] また、本実施例 1 では、動作を説明するために、単一の周波数のトルクリプルを対象にしたが、任意の次数について次数ごとに同一の操作を行い、応答補償部 9 の出力段階ですべての次数の結果を足すことで複数周波数のトルクリプルを含む場合でも対応可能である。このとき、応答補償部 9 は、振幅補正量 I_{mod} と、位相補正量 θ_{mod} は、次数ごとに求めることになる。

[0049] 実施例 1 によれば、応答特性に応じた振幅と位相の修正量の設計及び調整にかかる時間の短縮と、トルクリプル抑制効果確保を両立可能なモータ制御装置を提供することができる。

[0050] (実施例 2)

次に、実施例 2 について説明する。

[0051] 図 3 に示した本実施例 2 のブロック図を用いて実施例 1 との差分を説明する。

[0052] 本実施例 2 は、トルク指令値 I_0 (τ^*) に基づき、制御指令演算部 13 から dq 軸電流指令値 2 (i_{dq}^*) を計算し、 dq 軸電流指令値 2 (i_{dq}^*) を磁束指令値 ϕ_{dq} に変換する変換器 100 と、計測電流 i_{dq} を計測磁束値 ϕ_{dq} に変換する変換器 101 と、あらかじめトルク指令値 I_0 (τ^*) に対応した高調波電流指令値から次式 (5) により求めた第 1 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^* を記録し、制御時にトルク指令値 I_0 (τ^*) から第 1 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^* を出力する高調波制御指令値演算部 8 と、第 1 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^* と電気角速度 ω_e から第 2 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^{**} を計算する応答補償部 9 と、第 2 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^{**} と磁束計測値 ϕ_{dq} (d 軸の磁束計測値 ϕ_d 、 q 軸の磁束計測値 ϕ_q) から次式 (6) のモータ逆モデルを用いて電圧指令値 v_{dq}^* を計算する電圧指令演算部 3 を備える。

[0053] 本実施例 2 における第 1 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^* および第 2 の高調波制御指令値 ϕ_{dqh}^{**} の物理量は実施例 1 の電流と異なり磁束である。ただし、次式 (5) の f_d は事前の解析や試験などで求めた電流と磁束の関係で、例えば図 4 A、図 4 B に示すように、 dq 軸の電流に依存する関数である。また、本構成において、変換器 100 と変換器 101 は同一の関数としても良いし

、テーブルの場合は指令値と計測値とで必要な精度に応じて異なる分解能をもつテーブルを利用しても良い。

[0054] [数5]

$$\phi_{dqh}^* = f_d(i_d^* + i_{dh}^*, i_q^* + i_{qh}^*) - f_d(i_d^*, i_q^*)$$

[0055] [数6]

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{R}{L_d L_q - L_{dq} L_{qd}} \begin{bmatrix} L_q & -L_{qd} \\ -L_{dq} & L_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_d - K_e \\ \phi_q \end{bmatrix} + s \begin{bmatrix} \phi_d \\ \phi_q \end{bmatrix} + \omega_e \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_d \\ \phi_q \end{bmatrix}$$

[0056] 式(6)において、 V_d はモータ5のd軸電圧、 V_q はモータ5のq軸電圧、 R はモータ5の巻線の抵抗値、 L_d はモータ5のd軸インダクタンス、 L_q はモータ5のq軸インダクタンス、 L_{dq} 、 L_{qd} はモータ5のd軸とq軸との干渉インダクタンス、 K_e は誘起電圧定数、 ϕ_d はd軸の磁束計測値、 ϕ_q はq軸の磁束計測値、 ω_e はモータ5の電気角速度である。

[0057] 実施例2の作用を実施例1と比較して説明する。電流の代わりに磁束を用いることでモータの逆モデルは、電流の式(1)に比べ式(6)のように変数を減らすことができる。これにより、実施例1と同様な効果が得られる他、磁気飽和による非線形性を考慮しつつ探索回数や定数テーブルの削減が可能である。

[0058] また、式(6)のモータ逆モデルは、実施例1と同様に、本実施例2の構成に限らず同値変形によって得られる制御構成、または、影響の小さな項を無視した近似モデルを用いても良い。

符号の説明

[0059] 1・・・モータ制御装置、2・・・d q軸電流指令値、3・・・電圧指令演算部、4・・・インバータ、5・・・モータ、6・・・電気角検出部、7・・・電気角速度計算部、8・・・高調波制御指令値演算部、9・・・応答補償部、10・・・トルク指令値、11・・・電圧指令値d q／三相軸変換器、12・・・計測電流三相／d q軸変換器、13・・・制御指令演算部、100、101・・・変換器、 i_{dqh}^* 、 ϕ_{dqh}^* ・・・第1の高調波制御指令

値、 i_{dqh}^{**} 、 ϕ_{dqh}^{**} ・・・第2の高調波制御指令値、 ω_e ・・・電気角速度

請求の範囲

- [請求項1] モータをインバータにより駆動するモータ制御装置であって、
トルク指令値と前記モータの電気角とから第1の高調波制御指令値を求める高調波制御指令値演算部と、
前記第1の高調波制御指令値に前記モータの回転数に応じた応答特性補償を行った第2の高調波制御指令値を計算する応答補償部と、
前記トルク指令値のトルクを出力するための制御指令と前記第2の高調波制御指令値に基づき、電圧指令値を演算する電圧指令演算部と、
、
を備えることを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のモータ制御装置であって、
前記高調波制御指令値演算部は、次数ごとに前記第1の高調波制御指令値を演算することを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項3] 請求項1に記載のモータ制御装置であって、
前記応答補償部は、前記第1の高調波制御指令値の振幅と位相を次数ごとに補正することを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項4] 請求項1に記載のモータ制御装置であって、
前記電圧指令演算部は、
 V_d を前記モータのd軸電圧、 V_q を前記モータのq軸電圧、 R を前記モータの巻線の抵抗値、 L_d を前記モータのd軸インダクタンス、 L_q を前記モータのq軸インダクタンス、 L_{dq} および L_{qd} を前記モータのd軸とq軸との干渉インダクタンス、 K_e を誘起電圧定数、 L_{dt} を前記モータのd軸の動的インダクタンス、 L_{qt} を前記モータのq軸の動的インダクタンス、 L_{dqt} および L_{qdt} を前記モータのd軸とq軸との動的干渉インダクタンス、 i^*_d をd軸電流指令値、 i^*_q をq軸電流指令値、 ω_e を前記モータの電気角速度としたとき、以下の数式(1)、

[数1]

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} R + sL_{dt} - \omega_e L_{dq} & sL_{dqt} + \omega_e L_q \\ sL_{qdt} + \omega_e L_d & R + sL_{qt} - \omega_e L_{qd} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{pmatrix} + \omega_e \begin{pmatrix} 0 \\ K_e \end{pmatrix}$$

を用いて、前記電圧指令値を演算することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項5]

請求項1に記載のモータ制御装置であって、

前記電圧指令演算部は、

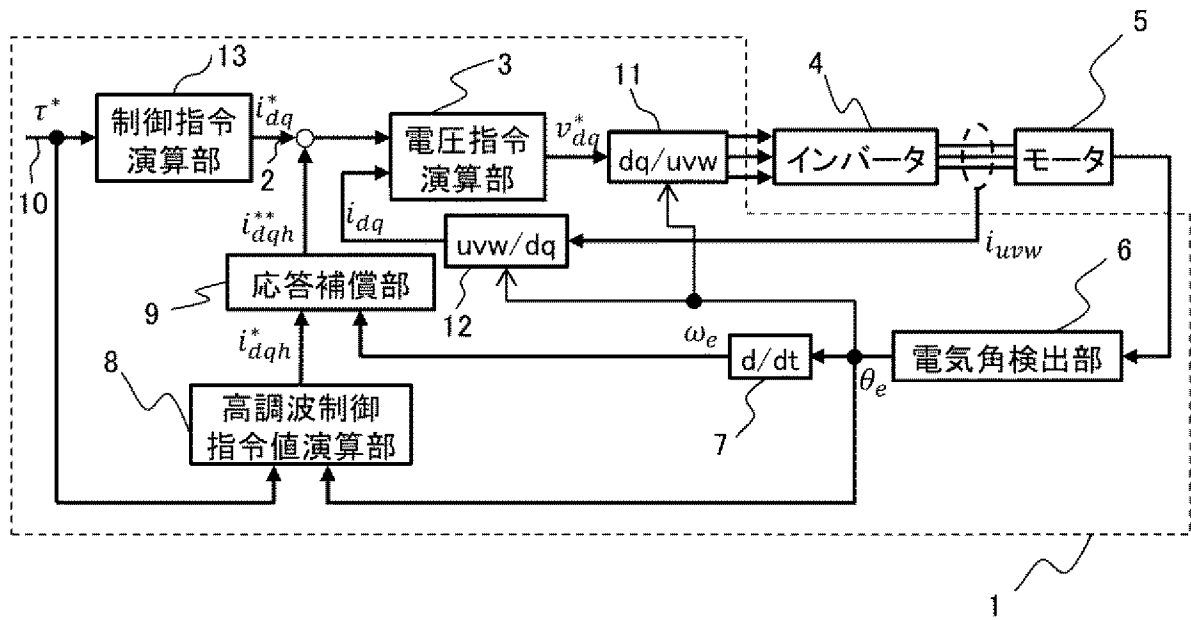
V_d を前記モータのd軸電圧、 V_q を前記モータのq軸電圧、 R を前記モータの巻線の抵抗値、 L_d を前記モータのd軸インダクタンス、 L_q を前記モータのq軸インダクタンス、 L_{dq} および L_{qd} を前記モータのd軸とq軸との干渉インダクタンス、 K_e を誘起電圧定数、 ϕ_d を前記モータのd軸の磁束計測値、 ϕ_q を前記モータのq軸の磁束計測値、 ω_e を前記モータの電気角速度としたとき、以下の数式(6)、

[数6]

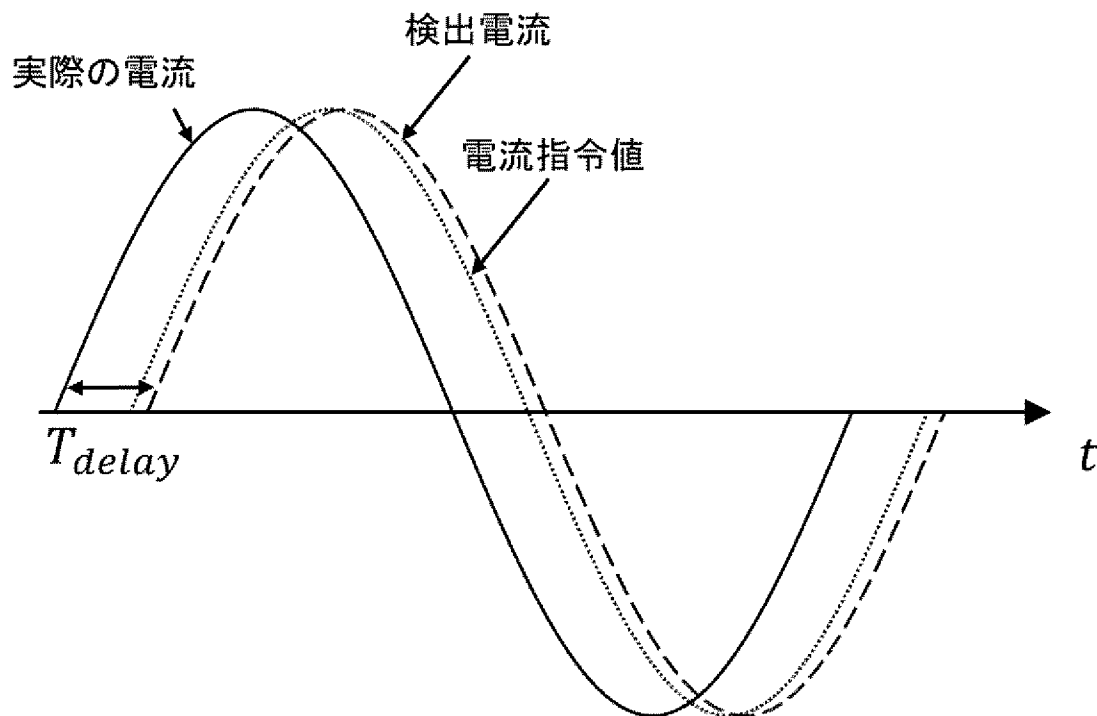
$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{R}{L_d L_q - L_{dq} L_{qd}} \begin{bmatrix} L_q & -L_{qd} \\ -L_{dq} & L_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_d - K_e \\ \phi_q \end{bmatrix} + s \begin{bmatrix} \phi_d \\ \phi_q \end{bmatrix} + \omega_e \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_d \\ \phi_q \end{bmatrix}$$

を用いて、前記電圧指令値を演算することを特徴とするモータ制御装置。

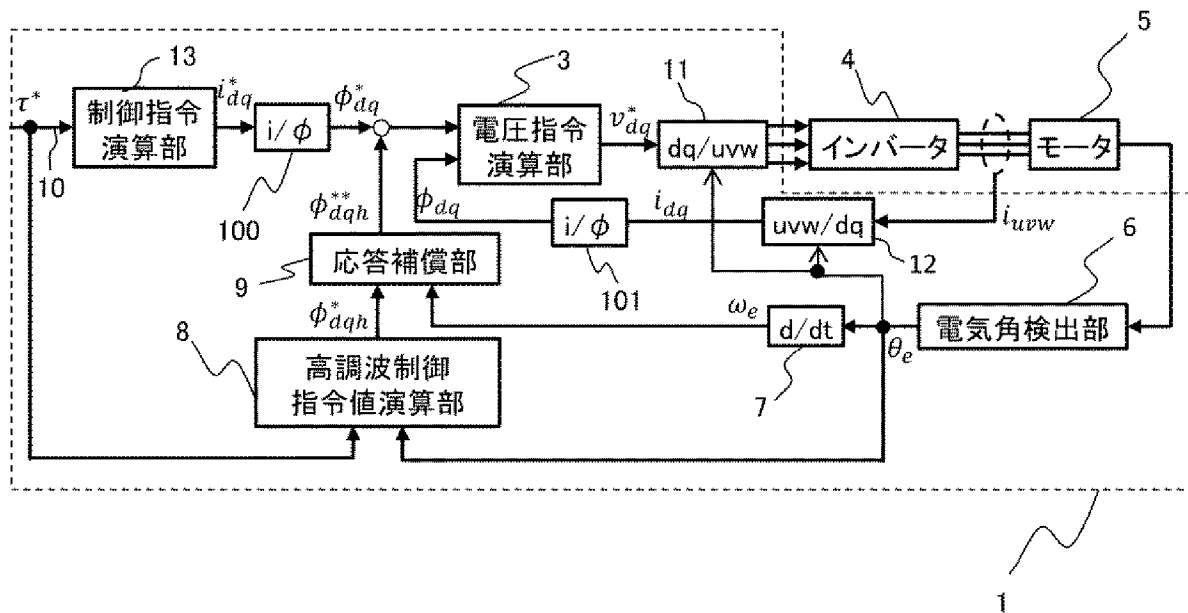
[図1]



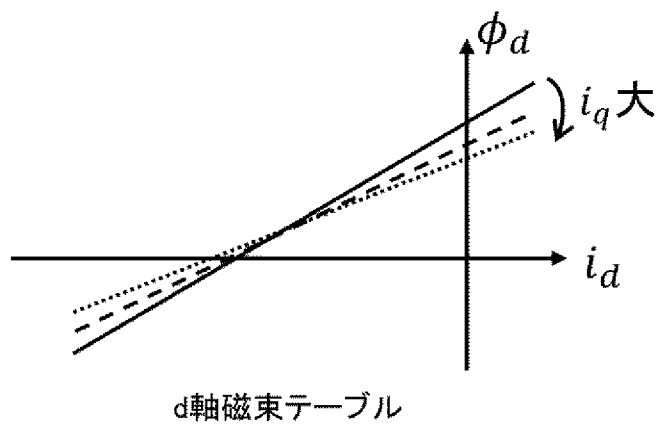
[図2]



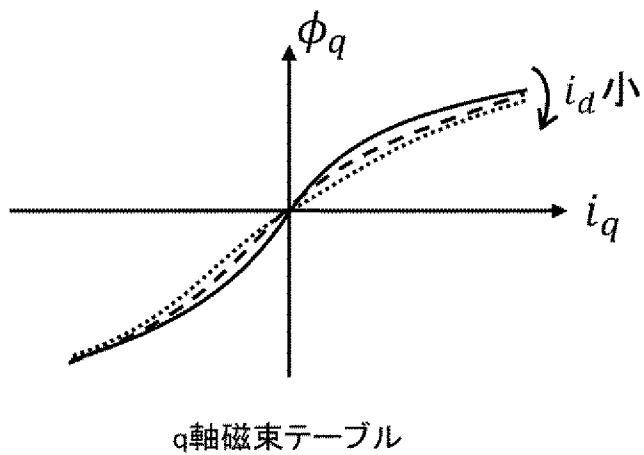
[図3]



[図4A]



[図4B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/021532

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02P 21/05 (2006.01)i; H02P 27/06 (2006.01)i FI: H02P21/05; H02P27/06 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02P21/05; H02P27/06 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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	JP 2016-63649 A (DENSO CORPORATION) 25 April 2016 (2016-04-25) paragraphs [0001]-[0069], fig. 1-14	1-5
A	JP 2019-22299 A (DENSO CORPORATION) 07 February 2019 (2019-02-07) paragraphs [0001]-[0121], fig. 1-10	1-5
A	JP 2014-11870 A (DENSO CORPORATION) 20 January 2014 (2014-01-20) paragraphs [0001]-[0075], fig. 1-8	1-5
☐ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 30 July 2024		Date of mailing of the international search report 13 August 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/021532

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2016-63649	A	25 April 2016	(Family: none)	
JP	2019-22299	A	07 February 2019	US 2020/0162002 A1	paragraphs [0001]-[0135], fig. 1-10
JP	2014-11870	A	20 January 2014	US 2014/0001991 A1	paragraphs [0001]-[0090], fig. 1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 21/05(2006.01)i; H02P 27/06(2006.01)i FI: H02P21/05; H02P27/06		
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）） H02P21/05; H02P27/06		
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 - 2024年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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	JP 2016-63649 A（株式会社デンソー） 25.04.2016（2016 - 04 - 25） 段落[0001]-[0069], 図1-14	1-5
A	JP 2019-22299 A（株式会社デンソー） 07.02.2019（2019 - 02 - 07） 段落[0001]-[0121], 図1-10	1-5
A	JP 2014-11870 A（株式会社デンソー） 20.01.2014（2014 - 01 - 20） 段落[0001]-[0075], 図1-8	1-5
☐ 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、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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抵触するものではなく、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 30.07.2024	国際調査報告の発送日 13.08.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 池田 貴俊 3V 9256 電話番号 03-3581-1101 内線 3357	

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/021532

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2016-63649	A	25.04.2016	(ファミリーなし)	
JP	2019-22299	A	07.02.2019	US 2020/0162002 A1	
				段落[0001]-[0135],	
				FIG. 1-10	
JP	2014-11870	A	20.01.2014	US 2014/0001991 A1	
				段落[0001]-[0090], FIG. 1-9	