

(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
2014 年 9 月 4 日(04.09.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/132766 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 27/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/052737
- (22) 国際出願日: 2014 年 2 月 6 日(06.02.2014)
- (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 2013-035637 2013 年 2 月 26 日(26.02.2013) JP
- (71) 出願人: 日産自動車株式会社(NISSAN MOTOR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2210023 神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 勝又 雄史(KATSUMATA, Yuji); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山 1 - 1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: とこしえ特許業務法人(TOKOSHIE PAT-ENT FIRM); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 2 番 2 7 号 西新宿KNビル 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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

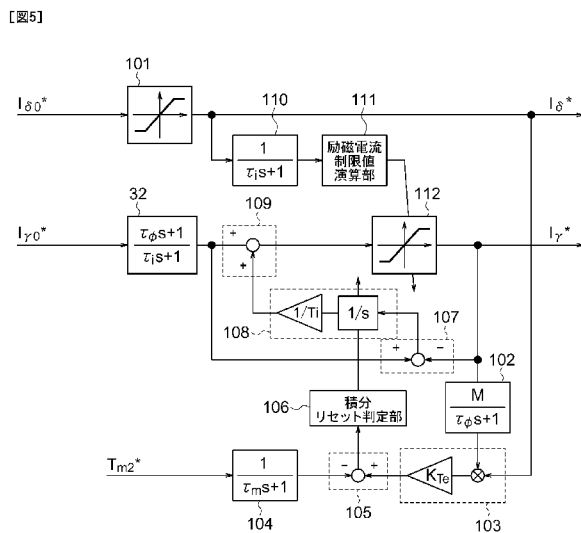
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE AND MOTOR CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: モータ制御装置及びモータ制御方法



111... EXCITING CURRENT LIMITING VALUE CALCULATION UNIT
106... INTEGRATION RESET DETERMINATION UNIT

(57) Abstract: A motor control device is provided with: a current command value calculation means which, on the basis of a torque command value inputted from outside and the rotation speed of a motor, calculates a basic current command value; a first compensation means which compensates for a delay in the rotor magnetic flux response of the motor (3) by amplifying the basic current command value; a first current command value limiting means for limiting a post-compensation current command value by a first current limiting value; a second compensation means which, on the basis of a current amplification command value calculated by the first compensation means and a first post-limitation current command value calculated by the first current value limiting means, calculates a compensation value for the current amplification command value; an addition means which calculates the post-compensation current command value by adding the current amplification command value and the compensation value; and a motor control means which, on the basis of the first post-limitation current command value, controls the motor (3), the second compensation means calculating, as the compensation value, a command value corresponding to a portion limited by the first current limiting value of the current amplification command value.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/132766 A1



外部から入力されるトルク指令値及びモータの回転速度に基づき基本電流指令値を演算する電流指令値演算手段と、基本電流指令値を増幅させることで、モータ3のロータ磁束応答の遅れを補償する第1補償手段と、補償後電流指令値を第1電流制限値で制限する第1電流指令値制限手段と、第1補償手段により演算された電流増幅指令値と、第1電流指令値制限手段により演算された第1制限後電流指令値に基づき、電流増幅指令値の補償値を演算する第2補償手段と、電流増幅指令値と補償値とを加算することで、補償後電流指令値を演算する加算手段と、第1制限後電流指令値に基づき、モータ3を制御するモータ制御手段とを備え、第2補償手段は、電流増幅指令値のうち、第1電流制限値により制限を受けた分の指令値を補償値として演算する。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置及びモータ制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、モータ制御装置及びモータ制御方法に関するものである。

[0002] 本出願は、2013年2月26日に出願された日本国特許出願の特願2013-35637号に基づく優先権を主張するものであり、文献の参照による組み込みが認められる指定国については、上記の出願に記載された内容を参照により本出願に組み込み、本出願の記載の一部とする。

背景技術

[0003] 目標磁束を発生するための励磁電流指令値を演算する励磁電流指令値演算部と、励磁電流指令値の正負の上限値を制限する励磁電流リミッタ部を備えた誘導モータ制御装置において、励磁電流指令値演算部は、2次磁束の応答性を変化させるために励磁電流の値を大きく変化させるよう励磁電流指令値を演算し、励磁電流リミッタ部はインバータのドライブ回路を保護するために過度に大きな電流を流れないように上記の上限値を設定するものが開示されている（特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平8-163900号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、上記のモータ制御装置では、磁束の応答性を高めるために、過渡的に大きな励磁電流を流すことで、当該励磁電流が上限値である定常の最大許容電流で制限された場合には、制限された分の励磁電流は流れないため、ロータ磁束が不足しトルクの応答性が悪くなるという問題があった。

[0006] 本発明が解決しようとする課題は、トルクの応答性を改善したモータ制御装置又はモータ制御方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、トルク指令値に基づく基本電流指令値を増幅させることで、モータのロータ磁束応答の遅れを補償し、補償後電流指令値を第1電流制限値で制限し、電流増幅指令値と第1制限後電流指令値に基づき、電流増幅指令値の補償値を演算し、電流増幅指令値と補償値とを加算することで、補償後電流指令値を演算し、電流増幅指令値のうち、第1電流制限値により制限を受けた分の指令値を補償値として演算することによって上記課題を解決する。

発明の効果

[0008] 本発明は、ロータ磁束応答の遅れを補償するための電流増幅指令値に対して電流制限値で制限された場合には、制限を受けた分の電流指令値を補償値として電流増幅指令値に加算することで、電流増幅指令値が電流制限値で制限されない値となった後に補償値により当該電流増幅指令値が補償されるため、トルクの応答性を改善することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の実施形態に係る電動車両システムのブロック図である。

[図2]図1のモータトルク制御部で参照されるマップを説明するためのグラフであって、アクセル開度毎に設定された、モータ回転数とトルク指令値の相関性を示すグラフである。

[図3]図1の電流制御部のブロック図である。

[図4]図3の電流指令値演算器のブロック図である。

[図5]図4の励磁電流補償制御部のブロック図である。

[図6]図4のトルク電流補償制御部のブロック図である。

[図7]図1のモータコントローラの制御手順を示すフローチャートである。

[図8]図7のステップS4の制御手順を示すフローチャートである。

[図9]図8のステップS45の制御手順を示すフローチャートである。

[図10]比較例に係るモータ制御装置で制御されたモータのトルク応答を示すグラフである。

[図11]本発明に係るモータ制御装置で制御されたモータのトルク応答を示すグラフである。

[図12]本発明の他の実施形態に係るモータ制御装置の励磁電流補償制御部のブロック図である。

[図13]本発明の他の実施形態に係るモータ制御装置のトルク電流補償制御部のブロック図である。

[図14]本発明の他の実施形態に係るモータ制御装置の励磁電流補償制御部のブロック図である。

[図15]本発明の他の実施形態に係るモータ制御装置のトルク電流補償制御部のブロック図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

[0011] 《第1実施形態》

図1は、本発明の実施形態に係るモータ制御装置を搭載した電動車両システムの構成を示すブロック図である。以下、本例のモータ制御装置を電気自動車に適用した例を挙げて説明するが、本例のモータ制御装置は、例えばハイブリッド自動車（HEV）等の電気自動車以外の車両にも適用可能である。

[0012] 図1に示すように、本例のモータ制御装置を含む車両は、バッテリー1、インバータ2、モータ3、減速機4、ドライブシャフト（駆動軸）5、駆動輪6、7、電圧センサ8、電流センサ9、回転センサ10、及びモータコントローラ20を備えている。

[0013] バッテリー1は、車両の動力源であって、複数の二次電池を直列又は並列に接続することで構成されている。インバータ2は、IGBTやMOSFET等の複数スイッチング素子を各相毎に2個接続した電力変換回路を有している。インバータ2は、モータコントローラ20からの駆動信号により、当該スイッチング素子のオン、オフを切り替えることで、バッテリー1から出力される直流電力を交流電力に変換しモータ3に出力し、モータ3に対して所望

の電流を流しモータ 3 を駆動させる。またインバータ 2 は、モータ 3 の回生により出力された交流電力を逆変換して、バッテリー 1 に出力する。

[0014] モータ 3 は、車両の駆動源であって、減速機 4 及びドライブシャフト 5 を介して駆動輪 6、7 に駆動力を伝達するための誘導モータである。モータ 3 は、車両の走行時に、駆動輪 6、7 に連れ回されて回転し、回生の駆動力を発生することで、車両の運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する。これにより、バッテリー 1 は、モータ 3 の力行により放電され、モータ 3 の回生により充電される。

[0015] 電圧センサ 8 は、バッテリー 1 の電圧を検出するセンサであり、バッテリー 1 とインバータ 2 の間に接続されている。電圧センサ 8 の検出電圧は、モータコントローラ 20 に出力される。電流センサ 9 はモータ 3 の電流を検出するためのセンサであり、インバータ 2 とモータ 3 との間に接続されている。電流センサ 9 の検出電流は、モータコントローラ 20 に出力される。回転センサ 10 は、モータ 3 の回転数を検出するためのセンサであり、レゾルバ等で構成されている。回転センサ 10 の検出値はモータコントローラ 20 に出力される。

[0016] モータコントローラ 20 は、車両の車速 (V)、アクセル開度 (APO)、モータ 3 の回転子位相 (θ_{re})、モータの電流、バッテリー 1 の電圧等に基づき、インバータ 2 を動作するための PWM 信号を生成し、インバータ 2 を動作させるドライブ回路 (図示しない) に出力する。そして、当該ドライブ回路が、PWM 制御信号に基づき、インバータ 2 のスイッチング素子の駆動信号を制して、インバータ 2 に出力する。これにより、モータコントローラ 20 は、インバータ 2 を動作させることで、モータ 3 を駆動させている。

[0017] モータコントローラ 20 は、モータ 3 を制御するコントローラである。また、モータコントローラ 20 は、モータトルク制御部 21、制振制御部 22 及び電流制御部 23 を有している。

[0018] モータトルク制御部 21 は、モータコントローラ 20 に入力される車両変数を示す車両情報の信号に基づき、ユーザの操作による要求トルク又はシス

テム上の要求トルクを、モータ 3 から出力させるためにトルク指令値 (T_{m1}^*) を算出し、制振制御部 22 に出力する。

- [0019] モータトルク制御部 21 には、図 2 の関係を示すトルクマップが予め記憶されている。図 2 は、アクセル開度毎に設定された、モータ回転数と基本目標トルク指令値の相関性を示すグラフである。トルクマップは、アクセル開度毎で、モータ 3 の回転数に対するトルク指令値の関係により予め設定されている。トルクマップは、アクセル開度及びモータ回転数に対して、モータ 3 から効率よくトルクを出力させるためのトルク指令値で設定されている。
- [0020] モータ回転数は、回転センサ 10 の検出値に基づき算出される。アクセル開度は、図示しないアクセル開度センサにより検出される。そして、モータトルク制御部 21 は、トルクマップを参照し、入力されたアクセル開度 (A P O) 及びモータ回転数に対応する基本目標トルク指令値 (T_{m1}^*) を演算し、制振制御部 22 に出力する。シフトレバーが、パーキングの位置及びニュートラルの位置に設定された場合に、基本目標トルク指令値 (T_{m1}^*) はゼロになる。
- [0021] なお、基本目標トルク指令値 (T_{m1}^*) は、アクセル開度及びモータ回転数のみに限らず、例えば車速等を加えて演算してもよい。車速 V [k m / h] は、メータやブレーキコントローラ等の他のコントローラより通信にて取得するか、回転子機械角速度 (ω_{rm}) にタイヤ動半径 (R) を掛け、ファイナルギアのギヤ比で割ることにより車両速度 v [m / s] を求め、[m / s] から [k m / h] への単位変換係数 (3 6 0 0 / 1 0 0 0) を乗ずることによって求めればよい。
- [0022] 制振制御部 22 は、基本モータトルク指令値 T_{m1}^* 及びモータ回転数 N_m を入力として、駆動軸トルクの応答を犠牲にすることなく、ドライブシャフト 5 (駆動軸) ねじり振動等により生じる駆動力伝達系の振動を抑制する制振制御後トルク指令値 T_{m2}^* を演算する。制振制御部 22 の詳細な制御は、例えば、日本国特許出願公開公報 (特開 2 0 0 1 - 4 5 6 1 3 号公報及び特開 2 0 0 3 - 9 5 5 9 号公報) を参照されたい。そして、制振制御部 22 は、基

本目標トルク指令値 (T_{m1}^*) に基づき演算した、抑制する制振制御後トルク指令値 T_{m2}^* を電流制御部 23 に出力する。なお、制振制御部 22 は、必ずしも必要ない。

[0023] 図 1 に戻り、電流制御部 23 は、トルク指令値 (T_{m2}^*) に基づき、モータ 3 に流れる電流を制御する制御部である。以下、図 3 を用いて、電流制御部 23 の構成について説明する。図 3 は、電流制御部 23 及びバッテリー 1 等のブロック図である。

[0024] 電流制御部 23 は、電流指令値演算器 30、減算器 41、電流 F B 制御器 42、座標変換器 43、PWM 変換器 44、A/D 変換器 45、座標変換器 46、パルスカウンタ 47、角速度演算器 48、すべり角速度演算器 49、電源位相演算器 50 及びモータ回転数演算器 51 を有している。

[0025] 電流指令値演算器 30 には、制振制御部 22 から入力される制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) と、モータ回転数演算器 51 から入力されるモータ 3 の回転数 (N_m)、及び、電圧センサ 8 の検出電圧 (V_{dc}) が入力され、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) を演算し出力する。ここで、 $\gamma\delta$ 軸は、回転座標系の成分を示している。

[0026] 減算器 41 は、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) と $\gamma\delta$ 軸電流 (I_{γ} 、 I_{δ}) との偏差を算出し、電流 F B 制御器 42 に出力する。電流 F B 制御器 42 は、 γ 軸電流 (I_{γ}) 及び δ 軸電流 (I_{δ}) を、 γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) 及び δ 軸電流指令値 (I_{δ}^*) にそれぞれ一致させるようフィードバック制御する制御器である。電流 F B 制御器 42 は、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) に対して $\gamma\delta$ 軸電流 (I_{γ} 、 I_{δ}) を、定常的な偏差なく所定の応答性で追従させるよう制御演算を行い、 $\gamma\delta$ 軸の電圧指令値 (V_{γ}^* 、 V_{δ}^*) を、座標変換器 43 に出力する。なお、 γ 軸の電流はモータ 3 の励磁電流を、 σ 軸の電流はモータ 3 のトルク電流を表す。また、減算器 41 及び電流 F B 制御器 42 の制御に非干渉制御を加えてもよい。

[0027] 座標変換器 43 は、 $\gamma\delta$ 軸電圧指令値 (V_{γ}^* 、 V_{δ}^*) 及び電源位相演算器 50 で演算される電源位相 (θ) を入力として、 $\gamma\delta$ 軸電圧指令値 (V_{γ}^* 、

v_{δ}^*)を固定座標系の u 、 v 、 w 軸の電圧指令値(v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^*)に変換し、PWM変換器44に出力する。

[0028] PWM変換器44は、入力される電圧指令値(V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^*)に基づき、インバータ2のスイッチング素子のスイッチング信号(D_{uu}^* 、 D_{ul}^* 、 D_{vu}^* 、 D_{vl}^* 、 D_{wu}^* 、 D_{wl}^*)を生成し、インバータ2に出力する。

[0029] A/D変換器45は、電流センサ9の検出値である相電流(i_u 、 i_v)をサンプリングし、サンプリングされた相電流(i_{us} 、 i_{vs})を座標変換器46に出力する。三相の電流値の合計がゼロになることから、 w 相の電流は、電流センサ9により検出されず、代わりに、座標変換器46は、入力された相電流(i_{us} 、 i_{vs})に基づき、 w 相の相電流(i_{ws})を算出する。なお、 w 相の相電流について、 w 相に電流センサ9を設け、当該電流センサ9により検出してもよい。

[0030] 座標変換器46は、3相2相変換を行う変換器であり、電源位相(θ)を用いて、固定座標系の相電流(i_{us} 、 i_{vs} 、 i_{ws})を回転座標系の $\gamma\delta$ 軸電流($i_{\gamma s}$ 、 $i_{\delta s}$)に変換し、減算器41に出力する。これにより、電流センサ9により検出される電流値がフィードバックされる。

[0031] パルスカウンタ47は、回転センサ10から出力されるパルスをカウントすることで、モータ3の回転子の位置情報である回転子位相(θ_{re}) (電気角)を得て、角速度演算器48に出力する。

[0032] 角速度演算器48は、回転子位相(θ_{re})を微分演算することで、回転子角速度(ω_{re}) (電気角)を演算し、電源位相演算器50に出力する。また、角速度演算器48は、演算した回転子角速度(ω_{re})をモータ3の極対数 p で割り、モータの機械的な角速度である回転子機械角速度(ω_{rm}) [rad/s]を演算し、モータ回転数演算器51に出力する。

[0033] すべり角速度演算器49は、励磁電流指令値(i_{γ}^*)に対して、ロータ磁束応答遅れを考慮したロータ磁束推定値(ϕ_{est})を、以下の式(1)により演算する。

[数1]

$$\phi_{est} = \frac{M}{\tau_{\phi}s + 1} I_{\gamma}^* \quad (1)$$

ただし、Mは相互インダクタンスを、 τ_{ϕ} はロータ磁束の応答時定数である。なお、 τ_{ϕ} は L_r / R_r で表され、 L_r はロータの自己インダクタンスを、 R_r はロータ抵抗を示す。

[0034] また、すべり角速度演算器49は、式(2)で表されるように、トルク電流指令値(I_{δ}^*)と式(1)から求めたロータ磁束推定値(ϕ_{est})との比に、モータの特性で決まる定数を除算することで、すべり角速度(ω_{se})を演算する。

[数2]

$$\omega_{se} = \frac{M \cdot R_r}{L_r} \cdot \frac{I_{\delta}^*}{\phi_{est}} \quad (2)$$

なお、これらM、 τ_{ϕ} 、 $M \cdot R_r / L_r$ 等の値は、ロータ温度や電流値、トルク指令値に対して予め計算または実験により算出した値をテーブルに格納して使用してもよい。

[0035] そして、すべり角速度演算器49は、上記により演算したすべり角速度(ω_{se})を電源位相演算器50に出力する。このように、すべり角速度(ω_{se})を設定することで、出力トルクはトルク電流とロータ磁束の積で扱えるようになる。

[0036] 電源位相演算器50は、以下の式(3)で示されるように、回転子角速度(ω_{re}) (電気角)に、すべり角速度(ω_{se})を加算しつつ、積分することで、電源位相(θ)を演算し、座標変換器43、46に出力する。

[数3]

$$\theta = \frac{1}{s} (\omega_{re} + \omega_{se}) \quad (3)$$

[0037] モータ回転数演算器51は、回転子機械角速度(ω_{rm})に、[rad/s]から[rpm]への単位変換するための係数($60 / 2\pi$)を乗算するこ

とで、モータ回転数 (N_m) を演算し、電流指令値演算器 30 に出力する。

[0038] 次に、図 4 を用いて、電流指令値演算器 30 の構成について説明する。図 4 は、電流指令値演算器 30 の構成を示すブロック図である。

[0039] 電流指令値演算器 30 は、基本電流指令値演算部 31、磁束応答補償部 32、励磁電流指令値変化量演算部 33、補償判定部 34、及び補償制御部 35 を有している。

[0040] 基本電流指令値演算部 31 には、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*)、バッテリー 1 の電圧 (V_{dc}) 及びモータ回転数 (N_m) に対する基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) の関係を示すマップが予め記録されている。基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) は、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*)、バッテリー 1 の電圧 (V_{dc}) 及びモータ回転数 (N_m) に対して、インバータ 2 及びモータ 3 の総合効率を最適化させる電流指令値であり、実験又は計算で予め設定されている値である。そして、基本電流指令値演算部 31 は、当該マップを参照して、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*)、バッテリー 1 の電圧 (V_{dc}) 及びモータ回転数 (N_m) に対応する基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) を演算し、磁束応答補償部 32 及び励磁電流指令値変化量演算部 33 に出力する。

[0041] 磁束応答補償部 32 は、ロータ磁束遅れを補償するために、遅れ分の位相を進ませることで、基本電流指令値を増幅するよう、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) 又は磁束補償 σ 軸電流指令値 ($I_{\sigma 1}^*$) の少なくとも何れか一方の電流指令値を演算する。

[0042] 一般に、ロータ磁束の応答は、トルク電流の応答に比べて一桁以上、遅い。そして、モータ 3 の出力は、ロータ磁束とステータのトルク電流との積と比例する。そのため、ロータ磁束の応答遅れによって、トルク応答が遅れてしまう。磁束応答補償部 32 は、このようなトルク応答の遅れを補償するよう、電流指令値を補償している。これにより、モータ 3 には、基本電流指令値が増加することで、過渡的に大きな励磁電流を流すことができるため、ロータ磁束応答を改善しつつ、トルク応答を改善することができる。

[0043] 磁束応答補償部 32 は、以下の式 (4) で示されるように、基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) に、ステータ電流の応答時定数 (τ_i) 及びロータ磁束の応答時定数 (τ_ϕ) を含む係数を乗ずることで、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) を演算し、補償制御部 35 に出力する。

[数4]

$$I_{\gamma 1}^* = \frac{\tau_\phi s + 1}{\tau_i s + 1} I_{\gamma 0}^* \quad (4)$$

[0044] ステータ電流の応答時定数 (τ_i) とロータ磁束の応答時定数 (τ_ϕ) との間には、 $\tau_i < \tau_\phi$ の関係が成立する。そのため、磁束応答補償部 32 は、式 (4) を用いて、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) を演算することで、位相進み補償器として機能する。

[0045] また、磁束応答補償部 32 は、トルク電流の応答を改善する際には、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) に、ステータ電流の応答時定数 (τ_i) 及びロータ磁束の応答時定数 (τ_ϕ) を含む関数を乗ずることで、磁束補償 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 1}^*$) を演算し、補償制御部 35 に出力する。磁束補償 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 1}^*$) の演算式は、以下の式 (5) で表される。

[数5]

$$I_{\delta 1}^* = \frac{\tau_\phi s + 1}{\tau_i s + 1} I_{\delta 0}^* \quad (5)$$

[0046] 励磁電流指令値変化量演算部 33 は、以下の式 (6) で示される近似式を用いて、入力される基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) から、基本 γ 軸電流指令値の変化量 ($dI_{\gamma 0}^*$) を演算し、補償判定部 34 に出力する。

[数6]

$$dI_{\gamma 0}^* = \frac{s}{\tau_0 s + 1} I_{\gamma 0}^* \quad (6)$$

ただし、 τ_0 は、基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) の変化を、どのぐらいの長さの時間で近似的に演算するかを示す設定値であって、設計または実験によ

り予め設定されている。

[0047] なお、変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) は、前回の演算時の基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) と、今回の演算時の基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) との差分をとってもよい。モータコントローラ 20 に含まれる、電流指令値演算器 30 等の演算部は、所定の制御周期で、指令値等を演算している。前回の演算値の指令値は、今回の演算値の指令値に対して、所定の制御周期分だけ前のタイミングで演算された指令値を示す。

[0048] 補償判定部 34 は、基本 γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) と判定閾値 (I_0) とを比較し、その比較結果に基づいて、励磁電流の追加補償を行うか、トルク電流の追加補償を行うかを判定する。

[0049] 本例は、磁束応答補償部 32 で、励磁電流又はトルク電流を補償しつつ、補償制御部 35 で追加補償を行っている。そして、補償制御部 35 は、励磁電流指令値の変化量に応じて、トルク高応答化のための補償を、励磁電流に行うか、トルク電流に行うか、選択的にを行っている。そこで、補償判定部 34 は、補償制御部 35 における補償対象を選択するために、変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) と判定閾値 (I_0) との比較を行い、その比較結果を補償制御部 35 に出力する。

[0050] 判定閾値 (I_0) は、励磁電流に追加補償を行うか、トルク電流に追加補償するかを判定するための閾値であって、設計または実験により予め設定されている閾値である。

[0051] 基本 γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) が判定閾値 (I_0) より大きい場合には、補償判定部 34 は、励磁電流が変化しており、励磁電流の応答速度を高めるために、励磁電流の追加補償を許可する旨の信号を、補償制御部 35 に送信する。

[0052] 一方、基本 γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) が判定閾値 (I_0) 以下である場合には、補償判定部 34 は、励磁電流の変化量は小さく、励磁電流の応答速度を高める必要はないため、トルク電流の追加補償を許可する旨の信号を、補償制御部 35 に送信する。

- [0053] 補償制御部 35 は、トルクの応答速度を高めるために、補償判定部 34 の判定結果に基づき、励磁電流の追加補償及びトルク電流の追加補償を選択的に行う制御部であって、励磁電流補償制御部 100 及びトルク電流補償制御部 200 を備えている。
- [0054] 補償判定部 34 で励磁電流の追加補償が許可された場合には、補償制御部 35 は、励磁電流補償制御部 100 の制御により、トルクの応答速度を高める制御を行う。励磁電流補償制御部 100 は、磁束応答補償部 32 で補償された磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$)、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$)、及び制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) に基づき、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) を演算し、減算器 41 及びすべり角速度演算器 49 に出力する。
- [0055] 補償判定部 34 でトルク電流の追加補償が許可された場合には、補償制御部 35 は、トルク電流補償制御部 200 の制御により、トルクの応答速度を高める制御を行う。トルク電流補償制御部 200 は、磁束応答補償部 32 で補償された磁束補償 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 1}^*$)、基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$)、及び制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) に基づき、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) を演算し、減算器 41 及びすべり角速度演算器 49 に出力する。
- [0056] 次に、図 5 を用いて、励磁電流補償制御部 100 の詳細な構成を説明する。図 5 は、磁束応答補償部 32 及び励磁電流補償制御部 100 の構成を示すブロック図である。
- [0057] 励磁電流補償制御部 100 は、トルク電流制限部 101、ロータ磁束推定部 102、出力トルク推定部 103、理想応答トルク演算部 104、トルク偏差演算部 105、積分リセット判定部 106、励磁電流指令値偏差演算部 107、追加補償値演算部 108、加算器 109、トルク電流推定部 110、励磁電流制限値演算部 111、及び励磁電流制限部 112 を有している。
- [0058] トルク電流制限部 101 は、入力される基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) に、電流制限値 ($\pm I_{\max_ \delta}$) で制限をかけることで、 δ 軸電流指令値 (I_{δ}) を演算する。電流制限値 ($\pm I_{\max_ \delta}$) は上限値及び下限値で規定され、設計または実験により予め設定されている閾値である。

[0059] トルク電流制限部 101 は、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) が上限の電流制限値 ($+I_{\max_ \delta}$) より高い場合には、電流制限値 ($+I_{\max_ \delta}$) を δ 軸電流指令値 (I_{δ}) として演算する。トルク電流制限部 101 は、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) が下限の電流制限値 ($-I_{\max_ \delta}$) より低い場合には、電流制限値 ($-I_{\max_ \delta}$) を δ 軸電流指令値 (I_{δ}^*) として演算する。また、トルク電流制限部 101 は、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) が下限の電流制限値 ($-I_{\max_ \delta}$) より高く、かつ、上限の電流制限値 ($+I_{\max_ \delta}$) より低い場合には、制限値による制限はなく、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) を δ 軸電流指令値 (I_{δ}^*) として演算する。

[0060] トルク電流制限部 101 は、演算した δ 軸電流指令値 (I_{δ}) を、出力トルク推定部 103、トルク電流推定部 110、及び減算器 41 等に出力する。

[0061] ロータ磁束推定部 102 は、式 (7) で示されるように、励磁電流制限部 112 で演算された γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) の前回値 ($I_{\gamma_z}^*$) に、相互インダクタンス M 及びロータ磁束の応答時定数 (τ_{ϕ}) を含む関数を乗ずることで、ロータ磁束推定値 (ϕ_{est_z}) を演算し、出力トルク推定部 103 に出力する。

[数7]

$$\phi_{est_z} = \frac{M}{\tau_{\phi}s + 1} I_{\gamma_z}^* \quad (7)$$

[0062] ロータ磁束の応答時定数 (τ_{ϕ}) は、 L_r / R_r で表され、 L_r はロータの自己インダクタンスを示し、 R_r はロータ抵抗を示す。 L_r 、 R_r は計算又は実験により予め設定される値である。

[0063] 出力トルク推定部 103 は、数 (8) で示されるように、ロータ磁束推定値 (ϕ_{est_z})、 δ 軸電流指令値 (I_{δ})、及びトルク定数 (K_{Te}) を乗ずることで、出力トルク推定値 (T_{m_est}) を演算し、トルク偏差演算部 105 に出力する。

[数8]

$$T_{m_est} = K_{Te} \cdot \phi_{est_z} \cdot I_{\delta}^* \quad (8)$$

ただし、トルク定数 (K_{Te}) は、 $p \cdot M / L_r$ で表され、 p は極対数を示し、 M は相互インダクタンスを示し、 L_r はロータの自己インダクタンスを示す。 p 、 M 、及び L_r は計算又は実験により予め設定される値である。

[0064] 理想応答トルク演算部 104 は、式 (9) で示されるように、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) に、時定数 (τ_m) を含む関数を乗ずることで、トルク理想応答値 (T_{m_ref}) を演算し、トルク偏差演算部 105 に出力する。

[数9]

$$T_{m_ref} = \frac{1}{\tau_m s + 1} T_{m2}^* \quad (9)$$

ただし、時定数 (τ_m) は、モータトルクの理想応答を決める時定数である。

[0065] 出力トルクは、式 (8) を参照し、ロータ磁束と電流応答値との積で表されるため非線形な値であるが、本例では、式 (9) に示すように、一次遅れの応答に近似させた値で、理想応答における出力トルク (T_{m_ref}) を演算している。

[0066] トルク偏差演算部 105 は、式 (10) で示されるように、出力トルク推定部 (T_{m_est}) とトルク理想応答値 (T_{m_ref}) との差分を演算することで、モータトルク偏差 (ΔT_m) を演算し、積分リセット判定部 106 に出力する。

[数10]

$$\Delta T_m = T_{m_est} - T_{m_ref} \quad (10)$$

[0067] 積分リセット判定部 106 は、モータトルク偏差 (ΔT_m) に応じて、追加補償値演算部 108 の補償値をリセットするか否かを判定し、その判定結果を示すフラグ (flg_RST) を、追加補償値演算部 108 に出力する。判定及びフラグの条件は、以下のように示される。

[数11]

$|\Delta T_m| \geq dT_{m0}$ の場合、 $flg_IRST=0$ (リセット禁止)

$|\Delta T_m| < dT_{m0}$ の場合、 $flg_IRST=1$ (リセット実施)

なお、リセット判定閾値 (dT_{m0}) は、出力トルクのオーバーシュートを抑制するように、予め設定された閾値であって、設計または実験より設定される値である。なお、出力トルクのオーバーシュートについては、後述する。

[0068] モータトルク偏差 (ΔT_m) がリセット判定閾値 (dT_{m0}) 以上である場合には、補償値をリセットしないように、積分リセット判定部 106 は、フラグ (flg_IRST) を「0」に設定する。モータトルク偏差 (ΔT_m) がリセット判定閾値 (dT_{m0}) 未満である場合には、補償値をリセットするように、積分リセット判定部 106 は、フラグ (flg_IRST) を「1」に設定する。

[0069] 励磁電流指令値偏差演算部 107 は、式 (11) で示されるように、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) と γ 軸電流指令値の前回値 ($I_{\gamma z}^*$) との差分をとることで、 γ 軸電流指令値偏差 (ΔI_{γ}^*) を演算し、追加補償値演算部 108 に出力する。

[数12]

$$\Delta I_{\gamma}^* = I_{\gamma 1}^* - I_{\gamma z}^* \quad (11)$$

[0070] 追加補償値演算部 108 は、フラグ (flg_IRST) の状態に応じて、式 (12) 及び式 (13) で示されるように、 γ 軸電流指令値偏差 (ΔI_{γ}^*) を積分し、所定のゲインを乗ずることで、補償値 (I_{γ_FB}) を演算し、加算器 109 に出力する。

[数13]

$flg_IRST=0$ (リセット禁止) の場合には、

$$I_{\gamma_FB}^* = \frac{1}{T_i s} \Delta I_{\gamma}^* \quad (12)$$

[数14]

flg_IRST=1（リセット実施）の場合には、

$$I_{\gamma_FB}^* = 0 \quad (13)$$

[0071] ただし、 $1/T_i$ は、積分値に対して所定の応答で補償値を放出するように設定された積分ゲインであり、設計または実験により予め設定されている値である。

[0072] 加算器109は、式(14)で示されるように、磁束補償 γ 軸電流指令値($I_{\gamma1}^*$)と補償値(I_{γ_FB})とを加算することで、電流制限補正前の γ 軸電流指令値($I_{\gamma2}^*$)を演算し、励磁電流制限部112に出力する。

[数15]

$$I_{\gamma2}^* = I_{\gamma1}^* + I_{\gamma_FB}^* \quad (14)$$

[0073] このとき、加算器109に入力される指令値のうち、磁束応答補償部32で補償された指令値は、磁束補償 γ 軸電流指令値($I_{\gamma1}^*$)である。上述したとおり、図5に示す制御構成での補償制御は、補償判定部34の判定結果により、励磁電流の応答速度を高める制御である。そのため、加算器109には、磁束応答補償部32の補償後の指令値のうち、励磁電流指令値が入力される。一方、トルク電流側の指令値には、応答速度を速めるための補償は施されず、励磁電流の制限値の設定に用いられる。

[0074] トルク電流推定部110は、式(15)で示されるように、 δ 軸電流指令値(I_{δ}^*)に、ステータ電流の応答時定数(τ_i)を含む関数を乗ずることで、 δ 軸電流推定値($I_{\delta_est}^*$)を演算し、励磁電流制限値演算部111に出力する。

[数16]

$$I_{\delta_est}^* = \frac{1}{\tau_i s + 1} I_{\delta}^* \quad (15)$$

[0075] 励磁電流制限値演算部111は、式(16)で示されるように、最大電流制限値(I_{max})及び δ 軸電流推定値($I_{\delta_est}^*$)に基づき、 γ 軸電流制限

値 ($I_{\gamma \text{ lim}}$) を演算し、励磁電流制限部 112 に出力する。

[数17]

$$I_{\gamma \text{ lim}} = \sqrt{(I_{\text{max}})^2 - (I_{\delta \text{ est}}^*)^2} \quad (16)$$

ただし、最大電流制限値 (I_{max}) は、モータ 3 の定格電流を示す電流値であって、設計段階で予め決まっている値である。

[0076] 励磁電流制限部 112 は、入力される γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) に、 γ 軸電流制限値 ($\pm I_{\gamma \text{ lim}}$) で制限をかけることで、 γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) を演算し、ロータ磁束推定部 102 及び減算器 41 等の演算器に出力する。

[0077] 励磁電流制限部 112 は、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) が上限の γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma \text{ lim}}$) より高い場合には、上限の γ 軸電流制限値 ($+I_{\gamma \text{ lim}}$) を γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) として演算する。トルク電流制限部 101 は、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) が下限の γ 軸電流制限値 ($-I_{\gamma \text{ lim}}$) より低い場合には、電流制限値 ($-I_{\text{max}_\delta}$) を γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) として演算する。また、トルク電流制限部 101 は、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) が下限の電流制限値 ($-I_{\gamma \text{ lim}}$) より高く、かつ、上限の電流制限値 ($+I_{\gamma \text{ lim}}$) より低い場合には、制限値による制限はなく、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) を γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) として演算する。

[0078] 次に、図 6 を用いて、トルク電流補償制御部 200 の詳細な構成を説明する。図 6 は、磁束応答補償部 32 及びトルク電流補償制御部 100 の構成を示すブロック図である。

[0079] トルク電流補償制御部 200 は、励磁電流制限部 201、ロータ磁束推定部 202、出力トルク推定部 203、理想応答トルク演算部 204、トルク偏差演算部 205、積分リセット判定部 206、トルク電流指令値偏差演算部 207、追加補償値演算部 208、加算器 209、励磁電流推定部 210、トルク電流制限値演算部 211、及びトルク電流制限部 212 を有している。

[0080] 励磁電流制限部 201 は、入力される基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) に、電

流制限値（ $\pm I_{\max_ \gamma}$ ）で制限をかけることで、 γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 0}$ ）を演算する。電流制限値（ $\pm I_{\max_ \gamma}$ ）は上限値及び下限値で規定され、設計または実験により予め設定されている閾値である。

[0081] 励磁電流制限部201は、演算した γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 0}$ ）を、出力トルク推定部203、励磁電流推定部210、及び減算器41等に出力する。

[0082] ロータ磁束推定部202は、ロータ磁束推定部102と同様に、 γ 軸電流指令値（ I_{γ}^* ）に基づき、ロータ磁束推定値（ ϕ_{est_z} ）を演算し、出力トルク推定部203に出力する。

[0083] 出力トルク推定部203は、出力トルク推定部103と同様に、ロータ磁束推定値（ ϕ_{est_z} ）及び δ 軸電流指令値（ I_{δ} ）に基づき出力トルク推定値（ T_{m_est} ）を演算し、トルク偏差演算部205に出力する。

[0084] 理想応答トルク演算部204は、理想応答トルク演算部104と同様に、制振制御後トルク指令値（ T_{m2}^* ）に基づきトルク理想応答値（ T_{m_ref} ）を演算し、トルク偏差演算部205に出力する。

[0085] トルク偏差演算部205は、トルク偏差演算部105と同様に、出力トルク推定部（ T_{m_est} ）及びトルク理想応答値（ T_{m_ref} ）に基づき、モータトルク偏差（ ΔT_m ）を演算し、積分リセット判定部206に出力する。

[0086] 積分リセット判定部206は、積分リセット判定部106と同様に、モータトルク偏差（ ΔT_m ）に応じて、追加補償値演算部208の補償値をリセットするか否かを判定し、その判定結果を示すフラグ（ $flag_IRST$ ）を、追加補償演算部208に出力する。

[0087] トルク電流指令値偏差演算部207は、式（17）で示されるように、磁束補償 δ 軸電流指令値（ $I_{\delta 1}^*$ ）と δ 軸電流指令値の前回値（ $I_{\delta_z}^*$ ）との差分をとることで、 δ 軸電流指令値偏差（ ΔI_{δ}^* ）を演算し、追加補償値演算部208に出力する。

[数18]

$$\Delta I_{\delta}^* = I_{\delta 1}^* - I_{\delta_z}^* \quad (17)$$

[0088] 追加補償値演算部208は、フラグ（f l g _ I R S T）の状態に応じて、式（18）及び式（19）で示されるように、 δ 軸電流指令値偏差（ ΔI_{δ}^* ）を積分し、所定のゲインを乗ずることで、補償値（ I_{δ_FB} ）を演算し、加算器209に出力する。

[数19]

f l g _ I R S T = 0（リセット禁止）の場合には、

$$I_{\delta_FB}^* = \frac{1}{T_i s} \Delta I_{\delta}^* \quad (18)$$

[数20]

f l g _ I R S T = 1（リセット実施）の場合には、

$$I_{\delta_FB}^* = 0 \quad (19)$$

[0089] ただし、 $1/T_i$ は、積分値に対して所定の応答で補償値を放出するように設定された積分ゲインであり、設計または実験により予め設定されている値である。

[0090] 加算器209は、式（20）で示されるように、磁束補償 δ 軸電流指令値（ $I_{\delta 1}^*$ ）と補償値（ I_{δ_FB} ）とを加算することで、電流制限補正前の δ 軸電流指令値（ $I_{\delta 2}^*$ ）を演算し、トルク電流制限部212に出力する。

[数21]

$$I_{\delta 2}^* = I_{\delta 1}^* + I_{\delta_FB}^* \quad (20)$$

[0091] このとき、加算器209に入力される指令値のうち、磁束応答補償部32で補償された指令値は、磁束補償 δ 軸電流指令値である。上述したとおり、図6に示す制御構成での補償制御は、補償判定部34の判定結果により、トルク電流の応答速度を高める制御である。そのため、加算器209には、磁束応答補償部32の補償後の指令値のうち、トルク電流指令値が入力される。一方、励磁電流側の指令値には、応答速度を速めるための補償は施されず、トルク電流の制限値の設定に用いられる。

[0092] 励磁電流推定部210は、式(21)で示されるように、基本 γ 軸電流指令値($I_{\gamma 0}^*$)に、ステータ電流の応答時定数(τ_i)を含む関数を乗ずることで、 γ 軸電流推定値($I_{\gamma_est}^*$)を演算し、トルク電流制限値演算部211に出力する。

[数22]

$$I_{\gamma_est}^* = \frac{1}{\tau_i s + 1} I_{\gamma}^* \quad (21)$$

[0093] 時定数(τ_i)の設定は、式(15)と同様である。なお、本制御処理は、 γ 軸電流指令値が一定である場合には、省略してもよい。

[0094] トルク電流制限値演算部211は、式(22)で示されるように、最大電流制限値(I_{max})及び γ 軸電流推定値($I_{\gamma_est}^*$)に基づき、 δ 軸電流制限値($I_{\delta lim}$)を演算し、トルク電流制限部212に出力する。

[数23]

$$I_{\delta lim} = \sqrt{(I_{max})^2 - (I_{\gamma_est}^*)^2} \quad (22)$$

[0095] トルク電流制限部212は、入力される δ 軸電流指令値($I_{\delta 2}^*$)に、 δ 軸電流制限値($\pm I_{\delta lim}$)で制限をかけることで、 δ 軸電流指令値(I_{δ}^*)を演算し、ロータ磁束推定部202及び減算器41等の演算器に出力する。

[0096] 次に、補償制御部35の制御のうち、励磁電流補償制御部100の制御について、図5を用いて説明する。

[0097] 補償判定部34により、基本 γ 軸電流指令値の変化量($dI_{\gamma 0}^*$)が判定閾値(I_0)より大きく、励磁電流の変化が大きいと判定された場合には、磁束応答補償部32は、励磁電流の応答速度を速めるために、励磁電流指令値の位相を進ませるように、励磁電流指令値を増幅させることで、励磁電流指令値を補償する。

[0098] 仮に(本例とは異なり)、増幅された励磁電流指令値に対して、励磁電流を最大電流制限値まで流した場合には、進み補償により過渡的に大きな励磁電流を流すことになる。しかしながら、モータへの過電流に対する保護の観

点から、モータには最大電流制限値を超える電流を流すことはできない。励磁電流を最大電流制限値まで流した場合には、全ての電流が励磁電流に流れてしまい、トルク電流を流すことができなくなってしまう。その結果として、トルクを発生することできず、かえってトルク応答が遅れてしまう。

[0099] そのため、本例において、励磁電流補償制御部 100 は、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) に基づき、トルク電流を推定し (δ 軸電流推定値 ($I_{\delta_est}^*$) に相当)、推定されたトルク電流値に基づき、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) を演算している。本制御は、図 5 の制御ブロックのうち、トルク電流推定部 110 及び励磁電流制限値演算部 111 の制御に相当する。

[0100] これにより、本例は、トルク電流がゼロにならないよう、増幅された励磁電流指令値に制限を加えることができるため、出力トルクがゼロになる無駄時間の発生を防ぐことができる。

[0101] 磁束応答補償部 32 で増幅された γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) は、励磁電流制限部 112 で制限を受ける。増幅された γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) のうち、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) で制限を受けた分の指令値は、励磁電流の補償に用いられていない。その一方で、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) を超える励磁電流指令値で、モータ 3 を制御することは、上記の通り、トルク電流がゼロになるおそれがある。

[0102] そのため、励磁電流補償制御部 100 は、増幅された γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) のうち、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) で制限を受けた分の指令値に基づき補償値を演算し、フィードバックをかけて、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) に加算している。また、励磁電流補償制御部 100 は、制限を受けた分の指令値、すなわち γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) と γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) との差分を、積分することで加算する補償値を演算している。

[0103] 増幅された γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) が γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) を超える状態が継続したとしても、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) を超えた分の指令値は、積分により蓄積される。そして、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) が γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) より低くなると、蓄積されている補償値が、 γ 軸電流制限値

($I_{\gamma \text{ lim}}$) より低い γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) に加わる。本制御は、図5の制御ブロックのうち、励磁電流指令値偏差演算部107、追加補償値演算部108、加算器109、及び励磁電流制限部112の制御に相当する。

[0104] これにより、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) が γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma \text{ lim}}$) より低くなった後（すなわち、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) に対する電流制限の解除後）に、電流制限により補償できなかった励磁電流の指令値分の電流を流すことができる。そして、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) に対する制限解除後に励磁電流が保持され、大きな励磁電流を維持することができる。その結果として、トルク応答を高めることができる。

[0105] また、励磁電流補償制御部100は、出力トルク推定値 (T_{m_est}) とトルク理想応答値 (T_{m_ref}) と差を演算することで、モータ3の出力トルクとトルク指令値との差を演算し、当該差に基づいて、補償値をリセットするタイミングを設定している。なお、出力トルク推定値 (T_{m_est}) が出力トルクに相当し、トルク理想応答値 (T_{m_ref}) がトルク指令値に相当する。本制御は、図5の制御ブロックのうち、ロータ磁束推定部102、出力トルク推定部103、理想応答トルク演算部104、トルク偏差演算部105、及び積分リセット判定部106に相当する。

[0106] ここで、本例とは異なり、積分リセット判定部106の上記条件うち、 $|\Delta T_m| < dT_{m0}$ の条件を満たす場合に、補償値のリセットを行わない場合について説明する。

[0107] トルク理想応答値 (T_{m_ref}) に対して、出力トルク推定値 (T_{m_est}) が小さく、モータトルク偏差 (ΔT_m) がリセット判定閾値 (dT_{m0}) 未満となっている場合に、追加補償値演算部108による補償値をリセットせずに、追加補償を継続すると、モータ3はトルク理想応答値 (T_{m_ref}) に近いトルクを出力しているにもかかわらず、励磁電流は追加補償により上がり続けることになる。このとき、高トルクを定常的に出力していると、追加補償によって、出力トルクが目標トルクを超えてしまい、さらに、出力トルクのオーバーシュートが発生するおそれがある。

- [0108] そのため、本例において、励磁電流補償制御部 100 は、このようなオーバーシュートを防ぐために、リセット判定閾値 (dT_{m0}) を設定し、モータトルク偏差 (ΔT_m) がリセット判定閾値未満である場合には、補償値をリセットするよう制御している。
- [0109] これにより、本例は、トルク指令値と出力トルクとの差が小さくなってから、補償値をゼロに収束させているため、追加補償した励磁電流の指令値を、磁束応答補償部 32 で補償された指令値まで下げることができる。その結果として、実トルクのオーバーシュートを起こすことなく、実トルクをトルク指令値に一致させることができる。
- [0110] 次に、補償制御部 35 の制御のうち、トルク電流補償制御部 200 の制御について、図 6 を用いて説明する。トルク電流補償制御部 200 のトルク電流の制御は、励磁電流補償制御部 100 の励磁電流の制御と同様であり、トルク電流補償制御部 200 の励磁電流の制御は、励磁電流補償制御部 100 のトルク電流の制御と同様である。
- [0111] トルク電流補償制御部 200 は、基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) に基づき、トルク電流を推定し (γ 軸電流推定値 ($I_{\gamma_est}^*$) に相当)、推定されたトルク電流値に基づき、 δ 軸電流制限値 ($I_{\delta lim}$) を演算している。本制御は、図 6 の制御ブロックのうち、励磁電流推定部 210 及び励磁電流制限値演算部 211 の制御に相当する。
- [0112] また、トルク電流補償制御部 200 は、増幅された δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 2}^*$) のうち、 δ 軸電流制限値 ($I_{\delta lim}$) で制限を受けた分の指令値に基づき補償値を演算し、フィードバックをかけて、 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 1}^*$) に加算している。また、トルク電流補償制御部 200 は、制限を受けた分の指令値、すなわち δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 1}^*$) と δ 軸電流制限値 ($I_{\delta lim}$) との差分を、積分することで補償値を演算している。本制御は、図 6 の制御ブロックのうち、トルク電流指令値偏差演算部 207、追加補償値演算部 208、加算器 209、及びトルク電流制限部 212 の制御に相当する。
- [0113] また、トルク電流補償制御部 200 は、出力トルク推定値 (T_{m_est}) とト

トルク理想応答値 (T_{m_ref}) と差を演算することで、モータ 3 の出力トルクとトルク指令値との差を演算し、当該差に基づいて、補償値をリセットするタイミングを設定している。本制御は、図 6 の制御ブロックのうち、ロータ磁束推定部 202、出力トルク推定部 203、理想応答トルク演算部 204、トルク偏差演算部 205、及び積分リセット判定部 206 に相当する。

[0114] 次に、図 7 を用いて、モータコントローラ 20 の制御手順について説明する。図 7 は、モータコントローラ 20 の制御手順を示すフローチャートである。なお、図 7 の制御フローは、所定の周期で繰り返し実行される。

[0115] ステップ S 1 にて、モータコントローラ 20、入力処理として、車速、アクセル開度等を取得する。ステップ S 2 にて、モータトルク制御部 21 は、入力されたアクセル開度等に基づき、トルク指令値 (T_{m1}^*) を演算する。ステップ S 3 にて、制振制御部 22 は、トルク指令値 (T_{m1}^*) 等に基づき制振制御を行うことで、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) を演算する。

[0116] ステップ S 4 にて、電流制御部 23 に含まれる電流指令値演算器 30 は、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) 等に基づき、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) を演算する。なお、ステップ S 4 の詳細な制御手順は後述する。

[0117] そして、ステップ S 5 にて、電流制御部 23 に含まれる減算器 41 等により、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 (I_{γ}^* 、 I_{δ}^*) をモータ 3 から出力させるよう、駆動信号 (スイッチング信号) を生成し、インバータ 2 に出力することで、インバータ 2 を制御する。

[0118] 次に、図 8 を用いて、ステップ S 4 の制御手順を説明する。図 8 は、ステップ S 4 の制御手順を示すフローチャートである。

[0119] ステップ S 3 の制御の後、ステップ S 4 1 にて、基本電流指令値演算部 31 は、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) 等に基づき、基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) を演算する。ステップ S 4 2 にて、磁束応答補償部 32 は、基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) を増幅させることで、駆動モータ 3 のロータ磁束応答の遅れを補償し、磁束補償 $\gamma\sigma$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\sigma 1}^*$) を演算する。

[0120] ステップS 4 3 にて、励磁電流指令値変化量演算部 3 3 は、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) に基づき、 γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) を演算する。ステップS 4 4 にて、補償判定部 3 4 は、 γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) と判定閾値 (I_0) とを比較する。

[0121] γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) が判定閾値 (I_0) より大きい場合には、補償制御部 3 5 は、励磁電流補償制御部 1 0 0 により、励磁電流を追加補償するように制御する (ステップS 4 5)。一方、 γ 軸電流指令値の変化量 ($d I_{\gamma 0}^*$) が判定閾値 (I_0) 以下である場合には、補償制御部 3 5 は、トルク電流補償制御部 1 0 0 により、トルク電流を追加補償するように制御する (ステップS 4 6)。そして、ステップS 4 5、ステップS 4 6 の追加補償制御を終えると、ステップS 4 の制御フローを終えて、ステップS 5 に移る。

[0122] 次に、図 9 を用いて、ステップS 4 5 の制御手順を説明する。図 9 は、ステップS 4 5 の制御手順を示すフローチャートである。

[0123] ステップS 4 5 の制御では、まずステップS 4 5 1 にて、トルク電流制限部 1 0 1 は、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) に、電流制限値 ($\pm I_{\max_ \delta}$) で制限をかけることで、 δ 軸電流指令値 (I_{δ}) を演算する。

[0124] トルク電流推定部 1 1 0 は δ 軸電流指令値 (I_{δ}) に基づき、 δ 軸電流推定値 ($I_{\delta_est}^*$) を推定する。また、励磁電流制限値演算部 1 1 1 は、 δ 軸電流推定値 ($I_{\delta_est}^*$) に基づき γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) を演算する (ステップS 4 5 2)。

[0125] ステップS 4 5 3 にて、理想応答トルク演算部 1 0 4 は、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) に基づき、トルク理想応答値 (T_{m_ref}) を演算する。

[0126] ロータ磁束推定部 1 0 2 は、 γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) の前回値 ($I_{\gamma_z}^*$) に基づき、ロータ磁束推定値 (ϕ_{est_z}) を演算する。また、出力トルク推定部 1 0 3 は、ロータ磁束推定値 (ϕ_{est_z}) に基づき、出力トルク推定値 (T_{m_est}) を演算する (ステップS 4 5 4)。

[0127] ステップS 4 5 5 にて、トルク偏差演算部 1 0 5 は、トルク理想応答値 (T_{m_ref}) と出力トルク推定値 (T_{m_est}) の差を演算する。

T_{m_ref}) と出力トルク推定値 (T_{m_est}) との差分を演算することで、モータトルク偏差 (ΔT_m) を演算する。ステップ S 4 5 6 にて、積分リセット判定部 1 0 6 は、モータトルク偏差 (ΔT_m) とリセット判定閾値 ($d T_{m0}$) とを比較する。

[0128] モータトルク偏差 (ΔT_m) がリセット判定閾値 ($d T_{m0}$) 以上である場合には、積分リセット判定部 1 0 6 は、フラグ ($f l g_I R S T$) を「0 (リセット禁止)」に設定する (ステップ S 4 5 7)。モータトルク偏差 (ΔT_m) がリセット判定閾値 ($d T_{m0}$) 未満である場合には、積分リセット判定部 1 0 6 は、フラグ ($f l g_I R S T$) を「1 (リセット実施)」に設定する (ステップ S 4 5 8)。

[0129] ステップ S 4 5 9 にて、励磁電流指令値偏差演算部 1 0 7 は、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) と γ 軸電流指令値の前回値 ($I_{\gamma z}^*$) との差分を演算することで、 γ 軸電流指令値偏差 (ΔI_{γ}^*) を演算する。ステップ S 4 6 0 にて、追加補償値演算部 1 0 8 は、 γ 軸電流指令値偏差 (ΔI_{γ}^*) を積分することで積分値を演算する。ステップ S 4 6 1 にて、追加補償値演算部 1 0 8 は、当該積分値に所定のゲインを乗ずることで、補償値 (I_{γ_FB}) を演算する。

[0130] ステップ S 4 6 2 にて、追加補償値演算部 1 0 8 は、フラグ ($f l g_I R S T$) が「1」であるか否かを判定する。フラグ ($f l g_I R S T$) が「1」である場合には、ステップ S 4 6 3 にて、追加補償値演算部 1 0 8 は、補償値 (I_{γ_FB}) をゼロにすることで、補償値 (I_{γ_FB}) をリセットする。一方、フラグ ($f l g_I R S T$) が「1」である場合には、補償値 (I_{γ_FB}) はリセットされず、ステップ S 4 6 4 に移る。

[0131] ステップ S 4 6 4 にて、加算器 1 0 9 は、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) と補償値 (I_{γ_FB}) とを加算することで、電流制限補正前の γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) を演算する。

[0132] ステップ S 4 6 5 にて、励磁電流制限部 1 1 2 は、電流制限補正前の γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) を γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) で制限をかけるために、

γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) と γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) との大小関係と比較する。

[0133] γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) が、負側の制限値 ($-I_{\gamma lim}$) と正側の制限値 ($+I_{\gamma lim}$) との間の範囲内であれば、励磁電流制限部 112 は、指令値に制限をかけずに、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) を、 γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) として出力する (ステップ S466)。一方、 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 2}^*$) が、負側の制限値 ($-I_{\gamma lim}$) と正側の制限値 ($+I_{\gamma lim}$) との間の範囲外であれば、励磁電流制限部 112 は、指令値に制限をかけて、 γ 軸電流制限値 ($-I_{\gamma lim}$ 又は $I_{\gamma lim}$) を、 γ 軸電流指令値 (I_{γ}^*) として出力する (ステップ S466)。そして、ステップ S466、ステップ S467 の制御を終えると、ステップ S4 の制御フローを終えて、ステップ S5 に移る。

[0134] ステップ S467 の後、次の演算周期の制御フローのステップ S459 にて、 γ 軸電流指令値の前回値 ($I_{\gamma z}^*$) は、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) となる。そして、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) と、当該 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) との差分が、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) で制限を受けた分の励磁電流の指令値となる。さらに、この差分を、ステップ S460 の制御で積分することで、励磁電流の補償に反映できなかった分の指令値を蓄積することができる。

[0135] また、ステップ S467 の後、次の演算周期の制御フローで、磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) が γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) より小さい場合には、次の演算周期の制御フローのステップ S464 にて、補償値を、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) より小さい励磁電流の指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) に加算することとなる。これにより、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) により制限を受けた分の励磁電流の指令値を、 γ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$) により制限を受けなくなった後の指令値に対して加算することができる。

[0136] なお、ステップ S46 の制御フローは、図 9 に示すステップ S451 ~ S467 の制御において、励磁電流に係る制御とトルク電流制御とを入れ替えたものと、実質的に同様であるため、説明を省略する。

[0137] 次に、本発明に係るモータ制御装置の効果について、図10及び図11を用いて説明する。図10は比較例の特性、図11は本発明の特性を示す。図10、11の(a)は励磁電流(γ 軸電流)の時間特性を、(b)はトルク電流(δ 軸電流)の時間特性を、(c)はロータ磁束の時間特性を、(d)トルクの時間特性を示すグラフである。また、図10、図11において、実トルク、実 γ 軸電流、及び実 δ 軸電流は、実際のモータ3の出力トルク、実際にモータ3に流れる電流を示している。

[0138] 比較例では、磁束応答補償部32と同様に、 γ 軸電流指令値を増幅させることで、ロータ磁束応答を改善するための位相補償を行っている。そして、この位相補償により補償された励磁電流指令値に対して、最大電流制限値による制限をかけている。

[0139] 以下、図10、11を比較しつつ、発進加速等において停車状態からトルク指令値をステップ的に増加させた場合を例にとり、トルク応答性能について説明する。

[0140] 時刻 t_1 にて、停車状態からの発進加速として、ステップ的にトルク指令値が立ち上がり、基本 γ δ 軸電流指令値もステップ的に立ち上がる。磁束応答補償部32による、ロータ磁束応答を改善するための位相補償により、磁束補償 γ 軸電流指令値は過渡的に大きな値を示す。

[0141] 比較例は、最大電流制限値を電流振幅の上限値とした上で、 δ 軸電流に比べて、 γ 軸電流に対して電流を配分するように、励磁電流を増幅させている。そのため、比較例では、最大電流制限値までの電流は、 γ 軸電流指令値のみで使い切ってしまう、 δ 軸電流に使用できる電流値はゼロのまま推移し、トルクを発生させることができない無駄時間が発生してしまう(図10の Δt_n に相当)。また、 γ 軸電流が定格電流制限値(最大電流制限値に相当)で制限されてしまうので、ロータ磁束応答を改善するための所望の電流が流れず、所望のロータ磁束応答を実現することができない。

[0142] そして、時刻 t_1 から t_2 の間の時刻で、磁束補償 γ 軸電流指令値が、下がり、最大電流制限値の値を下回ったところで、 δ 軸電流を流すことができる

ようになり、トルクが立ち上がり始める。

[0143] 時刻 t_2 の時点で、ロータ磁束は、定常値の 7～8 割程度で立ち上がるが、磁束補償 γ 軸電流指令値は、ほぼ基本 γ 軸電流指令値に収束する。時刻 t_2 以降、 γ 軸電流は一定値で維持することになり、ロータの特性で決まる時定数の遅れをもって、ロータ磁束が立ち上がっていく。その結果として、応答速度の遅い、緩慢なトルク応答となってしまう、最終的な実トルクのトルク指令値へ収束するまでの時間は、時刻 $t_5 \sim t_6$ までかかってしまう。

[0144] 本発明では、時刻 t_1 にて、ステップ的にトルク指令値が立ち上がり、基本 γ δ 軸電流指令値もステップ的に立ち上がる。 δ 軸電流について、本発明は、 δ 軸電流指令値に最大電流制限値（電流制限値（ $\pm I_{\max_ \delta}$ ）に相当）で制限をかけつつ、 δ 軸電流を流している。そのため、比較例で無駄時間を生じていた期間に、本発明は δ 軸電流指令値がゼロにならず、 δ 軸電流を早く立ち上げることができている。その結果として、トルクも無駄時間なく時刻 t_1 から立ち上がっている。

[0145] また γ 軸電流について、磁束応答補償部 32 による、ロータ磁束応答を改善するための位相補償により、磁束補償 γ 軸電流指令値は過渡的に大きな値に立ち上がっている。そして、磁束補償 γ 軸電流指令値に加わる制限値は、最大電流制限値を電流振幅とするように、最大電流制限値から δ 軸電流指令値を差し引いた分で、 γ 軸電流制限値（電流制限値（ $\pm I_{\gamma \lim}$ ）に相当）が決まっている。そのため、 δ 軸電流指令値の立ち上がりに応じて、 γ 軸電流指令値が制限されてしまい落ち込む。

[0146] これにより、時刻 t_1 直後のトルク応答は無駄時間を発生することなく、比較例に対して速くなっているが、時刻 t_1 から t_2 までの間において、実トルクの立ち上がり量が一時的には比較例よりも小さくなる時刻が存在する。しかしながら、時刻 t_2 時点では、実トルクの大きさは、ほぼ同等程度となっている。

[0147] さらに、時刻 t_1 から t_2 の間において、磁束補償 γ 軸電流指令値が励磁電流の電流制限値を越える間、磁束補償 γ 軸電流指令値と電流制限値との差分

を積分して蓄積しておくことで、指令値を補償し、追加補償 γ 軸電流指令値（励磁電流制限部112に入力される γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 2}^*$ ）に相当）を徐々に大きく増やしていくことになる。そして、磁束補償 γ 軸電流指令値が減少し、 γ 軸電流制限値を下回った場合、蓄積していた積分値により追加補償 γ 軸電流指令値は、磁束補償 γ 軸電流指令値よりも大きな値を保持することができる。そして、電流制限解除後に、電流制限で効果を発揮することができなかった磁束補償 γ 軸電流指令値分の電流を、電流制限解除のタイミングで施すことができるようになる。

[0148] これにより、時刻 t_2 以降、比較例では急激にトルク応答が悪くなり指令値までの収束時間が長くなってしまふところ、本発明では継続的にトルクを増やすことができ、時刻 t_3 に達する前に目標とする指令値まで達することができる。

[0149] さらに、本発明は、時刻 t_3 に至る手前で、出力トルクがトルク指令値にほぼ一致することで、出力トルクの変化量が小さくなったことを検知し、補償値の積分値を0に収束させて、追加補償 γ 軸電流指令値を磁束補償 γ 軸電流指令値まで下げている。そのため、本発明は、実トルクのオーバーシュートを起こすことなく、実トルクをトルク指令値に一致させることができる。

[0150] 上記のように、本例は、基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$ ）を増幅させることでモータ3のロータ磁束応答の遅れを補償することで磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）を演算し、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 2}^*$ 、 $I_{\delta 2}^*$ ）を $\gamma\delta$ 軸電流制限値（ $I_{\gamma \text{lim}}$ 、 $I_{\delta \text{lim}}$ ）で制限し、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）及び $\gamma\delta$ 軸電流制限値（ $I_{\gamma \text{lim}}$ 、 $I_{\delta \text{lim}}$ ）で制限された $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ I_{γ}^* 、 I_{δ}^* ）に基づき、補償値（ I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB} ）を演算し、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）と補償値（ I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB} ）とを加算することで、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 2}^*$ 、 $I_{\delta 2}^*$ ）を演算し、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）のうち $\gamma\delta$ 軸電流制限値（ $I_{\gamma \text{lim}}$ 、 $I_{\delta \text{lim}}$ ）で制限を受けた分の指令値を補償値（ I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB} ）

）として演算する。これにより、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）の一部が制限値により制限された場合に、電流制限により出力できなかった磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）の一部を、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）が制限値より小さくなったときに加算することで、追加して補償することができるため、トルクの応答性を高めることができる。

[0151] また、本例は、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）と $\gamma\delta$ 軸電流制限値（ $I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$ ）との差分を積分することで、補償値（ I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB} ）を演算する。これにより、電流制限により出力できなかった磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）の一部が蓄積されるため、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）が制限値より小さくなった後に、蓄積した積分値を補償値として出力することができる。また、電流制限が解除された後も、励磁電流を高い状態で維持させることができるため、トルク指令値の急な変化に対して、実トルクを指令値まで早く収束させることができる。

[0152] また、本例は、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）と $\gamma\delta$ 軸電流制限値（ $I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$ ）との差分を積分した積分値に、所定値のゲイン（ $1/T_i$ ）を乗ずることで、補償値（ I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB} ）を演算する。これにより、蓄積した積分値を所望の応答で出力することができる。

[0153] また、本例は、電流制限解除後の $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 2}^*$ 、 $I_{\delta 2}^*$ ）が、過渡的に高くないように、上記のゲイン（ $1/T_i$ ）を調整して、補償値（ I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB} ）を抑えている。すなわち、本例では、電流制限が解除された後、積分値に蓄積された値を放出し、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）に加算することになる。そして、ロータ磁束の時定数により、実際のロータ磁束は、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）で想定するよりも遅れて立ち上がる。電流制限が解除されるまでの間に、ロータ磁束は幾分、立ち上がっており、ロータ磁束が立ち上がった状態で、積分値である補償値を、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$ ）に加えることになる。そのため、ゲイン調整をせずに、積分値をそのまま放出し、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸

電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$) に加算した場合には、過渡的に必要以上にロータ磁束を立ち上げることになってしまい、出力トルクのオーバーシュートとなるおそれがある。そこで、本例では、積分値に対してゲイン調整を行い、出力トルクのオーバーシュートを防止し、定常値は指令値通りで過渡応答のみ応答性を向上させるよう制御している。

[0154] また本例は、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) と出力トルクとの差に基づいて、補償値 (I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB}) をリセットする。これにより、ロータ磁束およびトルクの過渡的なオーバーシュートを回避することができる。

[0155] また、本例は、磁束応答補償部 32 により補償されていない方の基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) に基づき、補償されていない方の電流値を推定し、推定された電流値 ($I_{\gamma_est}^*$ 、 $I_{\delta_est}^*$) に基づき、 $\gamma\delta$ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$) を演算する。これにより、補償されていない方の電流指令値がゼロにならないように、追加補償する電流指令値の制限値を設定しているため、例えば、上記の比較例のような無駄時間の発生を防ぐことができる。

[0156] また、本例は、磁束応答補償部 32 により補償されていない方の電流指令値と、最大電流制限値 (I_{max}) に基づき、 $\gamma\delta$ 軸電流制限値 ($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$) を演算する。ただし、電流指令値、最大電流制限値 (I_{max})、及び ($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$) の間には、式 (16) 又は式 (22) を満たす。なお、式 (16) 又は式 (22) は、 $\gamma\delta$ 軸電流推定値 ($I_{\gamma_est}^*$ 、 $I_{\delta_est}^*$) を含む式になっているが、当該推定値の代わりに、基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) としてもよい。

[0157] これにより、高応答化処理の補償をしていない方の電流指令値を確実に流すことができ、 $\gamma\delta$ 軸の一方の軸の電流を全く流せないことによるトルク応答の無駄時間を解消し、確実にトルクを出力することができる。

[0158] また、本例は、基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) を増幅させることでモータ 3 のロータ磁束応答の遅れを補償して磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$) を演算し (第 1 の補償)、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}$

、 $I_{\delta 1}^$)をさらに補償して $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 2}^*$ 、 $I_{\delta 2}^*$)を演算し(第2の補償)、 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 2}^*$ 、 $I_{\delta 2}^*$)を $\gamma\delta$ 軸電流制限値($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$)で制限し、 $\gamma\delta$ 軸電流制限値($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$)で制限する際には、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$)の大きさに応じて、 $\gamma\delta$ 軸電流制限値($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$)で制限し、第2の補償では、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$)が $\gamma\delta$ 軸電流制限値($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$)より小さくなった後に、 $\gamma\delta$ 軸電流制限値($I_{\gamma lim}$ 、 $I_{\delta lim}$)で制限を受けた分の指令値を、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$)に加える。これにより、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$)の一部が制限値により制限された場合に、電流制限により出力できなかった磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$)の一部を、磁束補償 $\gamma\delta$ 軸電流指令値($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$)が制限値より小さくなったときに加えることで、追加して補償することができるため、トルクの応答性を高めることができる。

[0159] なお、本例において、すべり角速度演算器49は、すべり角速度 ω_{se} の計算する際に、電流指令値 I_{γ}^* 、 I_{δ}^* を使用する代わりに、電流計測値の前回値 I_{γ_z} 、 I_{δ_z} を用いて計算をしてもよい。

[0160] なお、本例において、理想応答トルク演算部104は、トルク理想応答値(T_{m_ref})を演算する際の指令値として、前回の演算タイミングで演算した制振制御後トルク指令値(T_{m2}^*)を用いてもよい。上記のとおり、ロータ磁束推定部102は、前回の演算タイミングで取得した γ 軸電流指令値($I_{\gamma_z}^*$)を用いて、ロータ磁束推定値(ϕ_{est_z})を演算している。そのため、理想応答トルク演算部104においても、前回の演算タイミングで演算した制振制御後トルク指令値(T_{m2}^*)を用いて、トルク理想応答値(T_{m_ref})を演算することで、位相を合わせることができる。

[0161] なお、追加補償値演算部108は、積分リセット判定部106で設定されたフラグが「0」から「1」に変化し、補償値をリセットする場合には、フラグが「0」から「1」に変化してから、所定の時間の経過に伴って、補償値がゼロになるように、収束させてもよい。

[0162] なお、トルク電流推定部 110 は、制御演算による遅れを鑑みて、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) の代わりに、前回値の基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0_Z}^*$) を用いてもよい。または、トルク電流推定部 110 は、実際にセンサで検出したトルク電流の検出値を用いてもよい。

[0163] 上記の基本電流指令値演算部 31 が本発明の「電流指令値演算手段」に相当し、磁束応答補償部 32 が本発明の「第 1 補償手段」に、励磁電流制限部 112 又はトルク電流制限部 212 が本発明の「第 1 電流指令値制限手段」に、励磁電流指令値偏差演算部 107、トルク電流指令値偏差演算部 207、及び追加補償値演算部 108、208 が本発明の「第 2 補償手段」に、加算器 109、209 が「加算手段」に、励磁電流制限値演算部 111 及びトルク電流制限値演算部 211 が本発明の「第 1 電流制限値演算手段」に相当する。

[0164] 《第 2 実施形態》

図 12 は発明の他の実施形態に係るモータ制御装置の励磁電流補償制御部 100 のブロック図を示し、図 13 はモータ制御装置のトルク電流補償制御部 200 のブロック図である。本例では上述した第 1 実施形態に対して、励磁電流補償制御部 100 の一部の構成、及び、トルク電流補償制御部 200 の一部の構成が異なる。これ以外の構成は上述した第 1 実施形態と同じであるため、その記載を適宜、援用する。

[0165] 図 12 に示すように、励磁電流補償制御部 100 は、トルク電流制限部 101、積分リセット判定部 106、励磁電流指令値偏差演算部 107、追加補償値演算部 108、加算器 109、トルク電流推定部 110、励磁電流制限値演算部 111、励磁電流制限部 112、及び励磁電流偏差演算部 113 を有している。

[0166] 励磁電流偏差演算部 113 は、式 (23) で示されるように、基本 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$) と磁束補償 γ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$) との差分を演算することで、励磁電流指令値の偏差 ($\Delta I_{\gamma 10}^*$) を演算し、積分リセット判定部 106 に出力する。

[数24]

$$\Delta I_{\gamma 10}^* = I_{\gamma 1}^* - I_{\gamma 0}^* \quad (23)$$

[0167] 積分リセット判定部106は、励磁電流指令値の偏差（ $\Delta I_{\gamma 10}^*$ ）に応じて、追加補償値演算部108の補償値をリセットするか否かを判定し、その判定結果を示すフラグ（ f_{lg_IRST} ）を、追加補償演算部値108に出力する。判定及びフラグの条件は、以下のように示される。

[数25]

$$\begin{aligned} |\Delta I_{\gamma 10}^*| &\geq d I_{\gamma 10}^* \text{ の場合、 } f_{lg_IRST} = 0 \text{ （リセット禁止）} \\ |\Delta I_{\gamma 10}^*| &< d I_{\gamma 10}^* \text{ の場合、 } f_{lg_IRST} = 1 \text{ （リセット実施）} \end{aligned}$$

なお、リセット判定閾値（ $d I_{\gamma 10}^*$ ）は、出力トルクのオーバーシュートを抑制するように、予め設定された閾値であって、設計または実験より設定される値である。

[0168] 追加補償値演算部108は、基本 γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 0}^*$ ）と磁束補償 γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}$ ）との差に基づいて、補償値（ I_{γ_FB} ）をリセットしている。基本 γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 0}^*$ ）と磁束補正 γ 軸電流指令値（ $I_{\gamma 1}$ ）との差は、磁束応答補償部32のロータ磁束応答の補償により、指令値を増幅させた分に相当する。

[0169] そのため、磁束応答補償部32で増幅させた分の指令値がリセット判定閾値以上になっている期間で、追加補償値演算部108及び加算部109は、励磁電流の追加補償を行っている。そして、磁束応答補償部32で増幅させた分の指令値がリセット判定閾値より低くなると、追加補償値演算部108により補償値がリセットされることで、励磁電流の追加補償が終了する。

[0170] 図13に示すように、トルク電流補償制御部200は、励磁電流制限部201、積分リセット判定部206、トルク電流指令値偏差演算部207、追加補償値演算部208、加算器209、励磁電流推定部210、トルク電流制限値演算部211、トルク電流制限部212、及びトルク電流偏差演算部213を有している。

[0171] トルク電流偏差演算部 213 は、式 (24) で示されるように、基本 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 0}^*$) と磁束補償 δ 軸電流指令値 ($I_{\delta 1}^*$) との差分を演算することで、トルク電流指令値の偏差 ($\Delta I_{\delta 10}^*$) を演算し、積分リセット判定部 106 に出力する。

[数26]

$$\Delta I_{\delta 10}^* = I_{\delta 1}^* - I_{\delta 0}^* \quad (24)$$

[0172] 積分リセット判定部 206 は、トルク電流指令値の偏差 ($\Delta I_{\delta 10}^*$) に応じて、追加補償値演算部 208 の補償値をリセットするか否かを判定し、その判定結果を示すフラグ (flg_IRST) を、追加補償演算部 208 に出力する。判定及びフラグの条件は、以下のように示される。

[数27]

$$\begin{aligned} |\Delta I_{\delta 10}^*| &\geq d I_{\delta 10}^* \text{ の場合、 } flg_IRST = 0 \text{ (リセット禁止)} \\ |\Delta I_{\delta 10}^*| &< d I_{\delta 10}^* \text{ の場合、 } flg_IRST = 1 \text{ (リセット実施)} \end{aligned}$$

なお、リセット判定閾値 ($d I_{\delta 10}^*$) は、出力トルクのオーバーシュートを抑制するように、予め設定された閾値であって、設計または実験より設定される値である。

[0173] 上記のように、本例は、基本 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 0}^*$ 、 $I_{\delta 0}^*$) と磁束補正 $\gamma\delta$ 軸電流指令値 ($I_{\gamma 1}^*$ 、 $I_{\delta 1}^*$) との差に基づいて、補償値 (I_{γ_FB} 、 I_{δ_FB}) をリセットする。これにより、磁束応答補償部 32 による電流指令値の増加分が所定値 (リセット判定閾値 ($d I_{\gamma 10}^*$ 、 $d I_{\delta 10}^*$)) より高い期間では追加補償を行い、当該電流指令値の増加分が当該所定値より低い期間では追加補償を行わないよう、制御することができる。その結果として、トルク応答性を高めつつ、出力トルクのオーバーシュートを抑制することができる。

[0174] 《第3実施形態》

図 14 は発明の他の実施形態に係るモータ制御装置の励磁電流補償制御部 100 のブロック図を示し、図 15 はモータ制御装置のトルク電流補償制御

部 200 のブロック図である。本例では上述した第 1 実施形態に対して、励磁電流補償制御部 100 の一部の構成、及び、トルク電流補償制御部 200 の一部の構成が異なる。これ以外の構成は上述した第 1 実施形態と同じであり、第 1 実施形態及び第 2 実施形態の記載を適宜、援用する。

[0175] 図 14 に示すように、励磁電流補償制御部 100 は、トルク電流制限部 101、ロータ磁束推定部 102、励磁電流指令値偏差演算部 107、追加補償値演算部 108、加算器 109、トルク電流推定部 110、励磁電流制限値演算部 111、励磁電流制限部 112、トルク電流制限値演算部 114、及びトルク電流制限部 115 を有している。

[0176] トルク電流制限値演算部 114 は、式 (25) で示されるように、制振制御後トルク指令値 (T_{m2}^*) を、トルク定数 (K_{Te}) とロータ磁束推定値 (ϕ_{est}) とを乗算した値で、除算することで δ 軸電流制限値 ($I_{\delta lim}$) を演算し、トルク電流制限部 115 に出力する。

[数28]

$$I_{\delta lim} = \frac{T_{m2}^*}{K_{Te} \cdot \phi_{est}} \quad (25)$$

[0177] トルク電流制限部 115 は、トルク電流制限部 101 で演算されたトルク電流指令値を、正負の δ 軸電流制限値 ($\pm I_{\delta lim}$) で制限することで、 δ 軸電流指令値 (I_{δ}) を演算する。

[0178] トルク電流補償制御部 200 は、磁束応答補償部 32 で補償されていない δ 軸電流指令値に基づき γ 軸電流指令値用の制限値を演算し、磁束応答補償部 32 で補償された γ 軸電流指令値に対して、追加補償を行い、 γ 軸電流の制限値による制限を加えている。さらに、 γ 軸電流の制限値による制限を受けた γ 軸電流指令値に基づいて、 δ 軸電流指令値用の制限値を演算し、 δ 軸電流指令値に対して制限を加えている。これにより、磁束応答補償部 32 による補償、及び、励磁電流補償制御部 100 による補償により、電流指令値がどのような値になっても、出力トルクをトルク指令値の理想応答に近づけ

ることができる。

[0179] 図15に示すように、トルク電流補償制御部200は、励磁電流制限部201、ロータ磁束推定部202、出力トルク推定部203、理想応答トルク演算部204、トルク偏差演算部205、積分リセット判定部206、トルク電流指令値偏差演算部207、追加補償値演算部208、加算器209、励磁電流推定部210、トルク電流制限値演算部211、トルク電流制限部212、励磁電流制限値演算部214、制限値補正部215、及び励磁電流制限部216を有している。

[0180] 励磁電流制限値演算部214は、式(26)で示されるように、制振制御後トルク指令値(T_{m2}^*)を、モータトルク定数(K_1)と δ 軸電流指令値(I_{δ}^*)とを乗算した値で、除算することで γ 軸電流制限値($I_{\gamma \text{lim}}'$)を演算し、制限値補正部215に出力する。

[数29]

$$I_{\gamma \text{lim}}' = \frac{T_{m2}^*}{K_1 \cdot I_{\delta}^*} \quad (26)$$

ただし、モータトルク定数(K_1)は、 $M \cdot K_{Te}$ で表される。そして、上記のとおり、トルク定数(K_{Te})は $p \cdot M / L_r$ で表されるため、モータトルク定数(K_1)は、 $K_1 = p \cdot M^2 / L_r$ で表される。モータトルク定数(K_1)は予め計算又は実験により予め設定される値である。

[0181] 制限値補正部215は、式(27)で示されるように、 γ 軸電流制限値($I_{\gamma \text{lim}}'$)に、時定数(τ_m)及び時定数(τ_{ϕ})を含む関数を乗ずることで、 γ 軸電流制限値($I_{\gamma \text{lim}}'$)を補正し、 γ 軸電流制限値($I_{\gamma \text{lim}}$)を演算する。

[数30]

$$I_{\gamma \text{lim}} = \frac{\tau_{\phi} s + 1}{\tau_m s + 1} I_{\gamma \text{lim}}' \quad (27)$$

[0182] なお、制限値補正部215による補正処理は、ロータ磁束応答とトルク応

答に対して、近似的に補償した処理になる。

[0183] 励磁電流制限部 216 は、励磁電流制限部 201 で演算された励磁電流指令値を、正負の γ 軸電流制限値 ($\pm I_{\gamma \text{lim}}$) で制限することで、 γ 軸電流指令値 (I_{γ}) を演算する。

[0184] 上記のように、本例は、磁束応答補償部 32 により補償された指令値に基づき、式 (25) 又は式 (26) を用いて制限値を演算し、磁束応答補償部 32 により補償されていない方の電流指令値を当該制限値で制限する。これにより、磁束応答補償部 32 による補償、及び、励磁電流補償制御部 100 又はトルク電流補償制御部 200 による補償により、電流指令値がどのような値になっても、出力トルクをトルク指令値の理想応答に近づけることができる。

[0185] 上記のトルク電流制限値演算部 114 は本発明の「第 2 電流制限値演算手段」に相当し、トルク電流制限部 115 は本発明の「第 2 電流指令値制限手段」に相当する。

符号の説明

- [0186] 20…モータコントローラ
- 21…モータトルク制御部
 - 22…制振制御部
 - 23…電流制御部
- 30…電流指令値演算器
- 31…基本電流指令値演算部
 - 32…磁束応答補償部
 - 33…励磁電流指令値変化量演算部
 - 34…補償判定部
 - 35…補償制御部
- 100…励磁電流補償制御部
- 101…トルク電流制限部
- 102、202…ロータ磁束推定部

103、203…出力トルク推定部
104、204…理想応答トルク演算部
105、205…トルク偏差演算部
106、206…積分リセット判定部
107…励磁電流指令値偏差演算部
108、208追加補償値演算部
109、209…加算器
110…トルク電流推定部
111、214…励磁電流制限値演算部
112、201、216…励磁電流制限部
113…励磁電流偏差演算部
114、211…トルク電流制限値演算部
115、212…トルク電流制限部
207…トルク電流指令値偏差演算部
210…励磁電流推定部
216…制限値補正部

請求の範囲

- [請求項1] 外部から入力されるトルク指令値及びモータの回転速度に基づき基本電流指令値を演算する電流指令値演算手段と、
前記基本電流指令値を増幅させることで、前記モータのロータ磁束応答の遅れを補償する第1補償手段と、
補償後電流指令値を第1電流制限値で制限する第1電流指令値制限手段と、
前記第1補償手段により演算された電流増幅指令値と、前記第1電流指令値制限手段により演算された第1制限後電流指令値に基づき、前記電流増幅指令値の補償値を演算する第2補償手段と、
前記電流増幅指令値と前記補償値とを加算することで、前記補償後電流指令値を演算する加算手段と、
前記第1制限後電流指令値に基づき、前記モータを制御するモータ制御手段とを備え、
前記第2補償手段は、
前記電流増幅指令値のうち、前記第1電流制限値により制限を受けた分の指令値を前記補償値として演算することを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項2] 請求項1記載のモータ制御装置において、
前記第2補償手段は、
前記電流増幅指令値と前記第1電流制限値との差分を積分することで、前記補償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又は2記載のモータ制御装置において、
前記第2補償手段は、
前記電流増幅指令値と前記第1電流制限値との差分を積分した積分値に所定値のゲインを乗ずることで、前記補償値を演算することを特徴とするモータ制御装置。

- [請求項4] 請求項1～3のいずれか一項に記載のモータ制御装置において、
前記第2補償手段は、
前記モータの出力トルクと前記トルク指令値との差に基づいて、前記補償値をリセットする
ことを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項5] 請求項1～3のいずれか一項に記載のモータ制御装置において、
前記第2補償手段は、
前記基本電流指令値と前記電流増幅指令値との差に基づいて、前記補償値をリセットする
ことを特徴とするモータ制御装置。
- [請求項6] 請求項1～5のいずれか一項に記載のモータ制御装置において、
前記第1制限後電流指令値及び前記トルク指令値に基づき第2電流制限値を演算する第2電流制限値演算手段と、
電流指令値を前記第2電流制限値で制限する第2電流指令値制限手段とをさらに備え、
前記第1補償手段は、
前記モータの電流指令値に含まれる励磁電流指令値又はトルク電流指令値の何れか一方の電流指令値の前記基本電流指令値を補償することで、前記電流増幅指令値を演算し、
前記第2電流制限値演算手段は、
前記第1制限後電流指令値に基づき前記モータのロータ磁束推定値を演算し、
前記トルク指令値を、前記モータの定数により定まるゲインと前記ロータ磁束推定値とを乗算した値で、除算することで、前記第2電流制限値を演算し、
前記第2電流指令値制限手段は、
前記励磁電流指令値又は前記トルク電流指令値のうち、前記第1補償手段で補償されていない方の前記基本電流指令値を、前記第2電流

制限値で制限することで、第2制限後電流指令値を演算し、
前記モータ制御手段は、前記第2制限後電流指令値に基づき、前記モータを制御することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項7] 請求項1～6のいずれか一項に記載のモータ制御装置において、
前記第1電流制限値を演算する第1電流制限値演算手段をさらに備え、
前記第1補償手段は、
前記モータの電流指令値に含まれる励磁電流指令値又はトルク電流指令値の何れか一方の電流指令値の前記基本電流指令値を補償することで、前記電流増幅指令値を演算し、
前記第1電流制限値演算手段は、
前記励磁電流指令値又は前記トルク電流指令値のうち、前記第1補償手段で補償されていない方の前記基本電流指令値に基づき、前記第1補償手段で補償されていない方の電流値を推定し、推定された電流値に基づき前記第1電流制限値を演算することを特徴とするモータ制御装置。

[請求項8] 請求項1～6のいずれか一項に記載のモータ制御装置において、
前記第1電流制限値を演算する第1電流制限値演算手段をさらに備え、
前記第1補償手段は、
前記モータの電流指令値に含まれる励磁電流指令値又はトルク電流指令値の何れか一方の電流指令値の前記基本電流指令値を補償することで、前記電流増幅指令値を演算し、
前記第1電流制限値演算手段は、
前記励磁電流指令値又は前記トルク電流指令値のうち、前記第1補償手段で補償されていない方の電流指令値と、前記モータの定格電流を示す最大電流制限値に基づき前記第1電流制限値を演算する

ことを特徴とするモータ制御装置。

ただし、

$$I_{\text{lim}} = \sqrt{(I_{\text{max}})^2 - (I_a^*)^2} \quad \text{を満たし、}$$

I_{lim} は前記第1電流制限値を示し、

I_{max} は前記最大電流制限値を示し、

I_a^* は前記第1補償手段で補償されていない方の電流指令値を示す

。

[請求項9] 外部から入力されるトルク指令値及びモータの回転速度に基づき基本電流指令値を演算し、

前記基本電流指令値を増幅させることで、前記モータのロータ磁束応答の遅れを補償して電流増幅指令値を演算し、

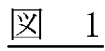
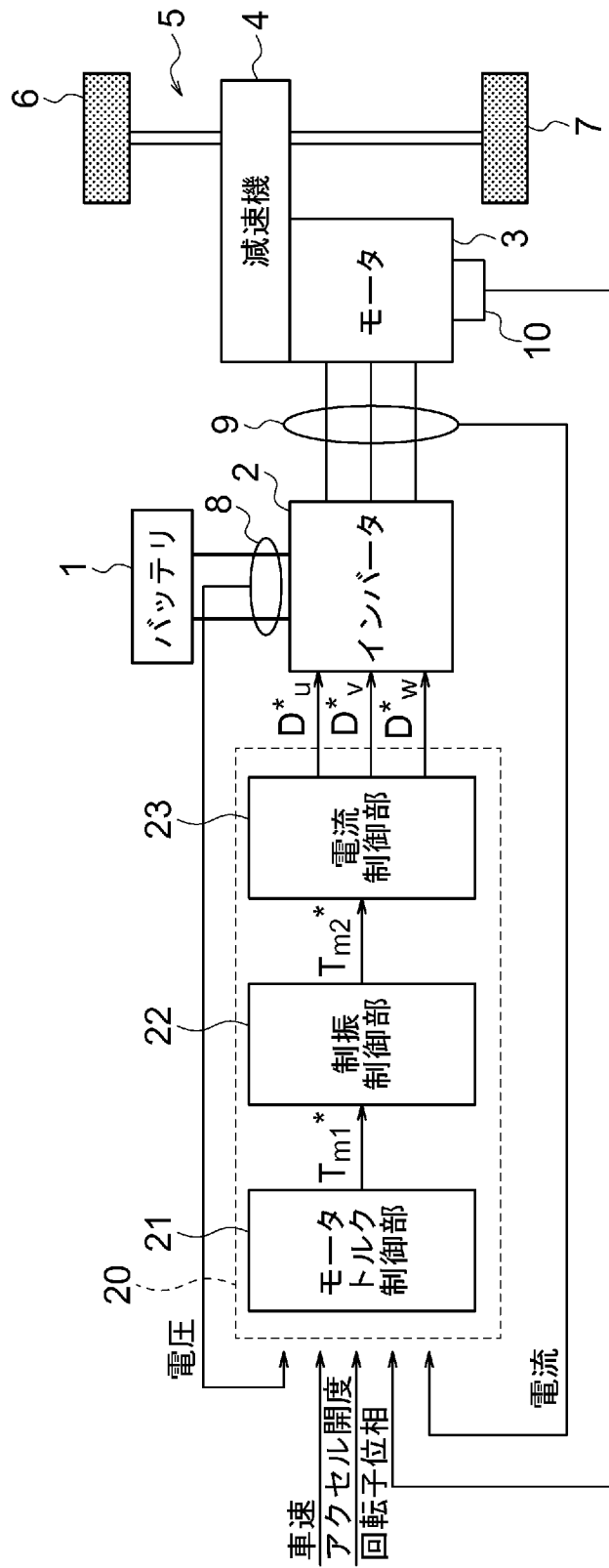
前記電流増幅指令値をさらに補償して補償後電流増幅指令値を演算し、

前記電流増幅指令値の大きさに応じた電流制限値で、前記補償後電流増幅指令値を制限し、

前記電流制限値で制限された後の指令値に基づき、前記モータを制御し、

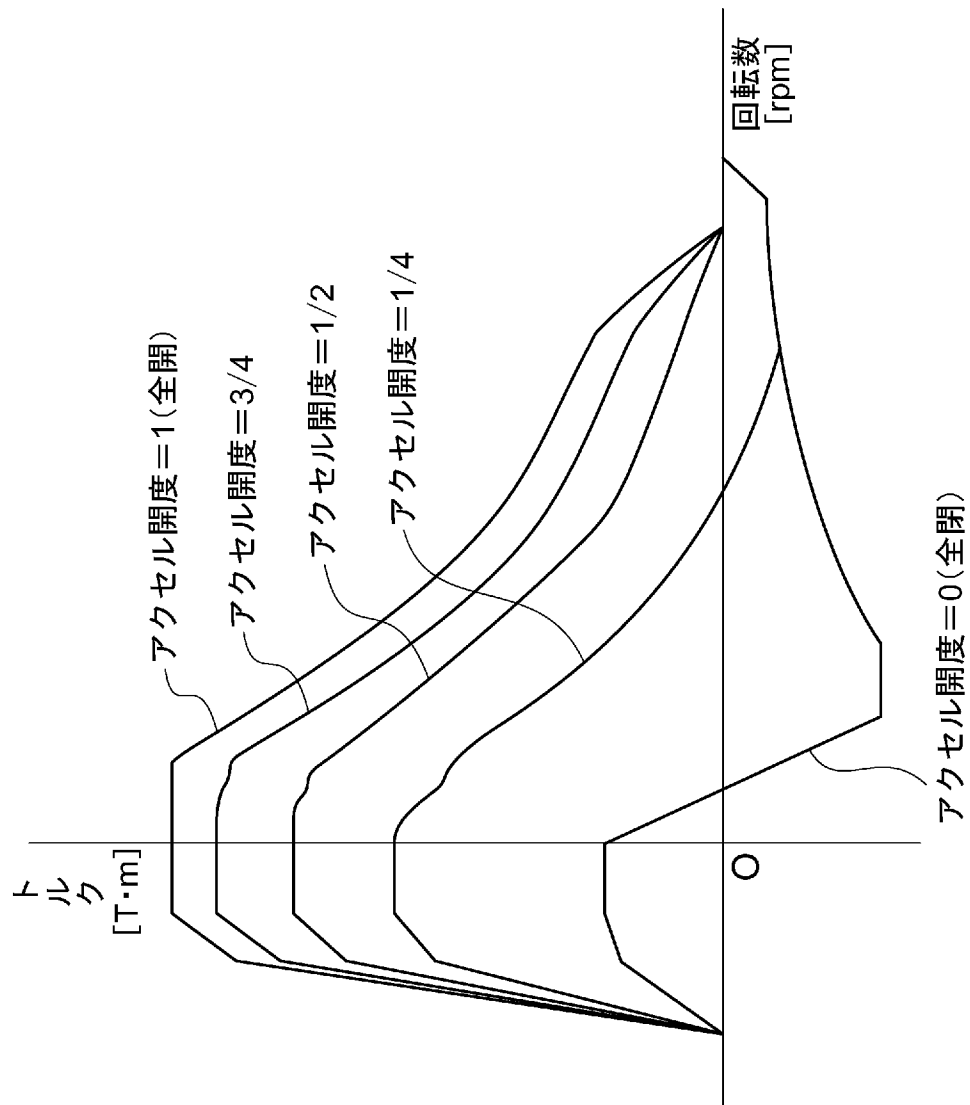
前記電流増幅指令値が前記電流制限値で制限された場合には、前記電流増幅指令値が前記電流制限値より小さくなった後に、前記電流制限値により制限を受けた分の指令値を前記電流増幅指令値に加えることを特徴とするモータの制御方法。

[図1]


 1


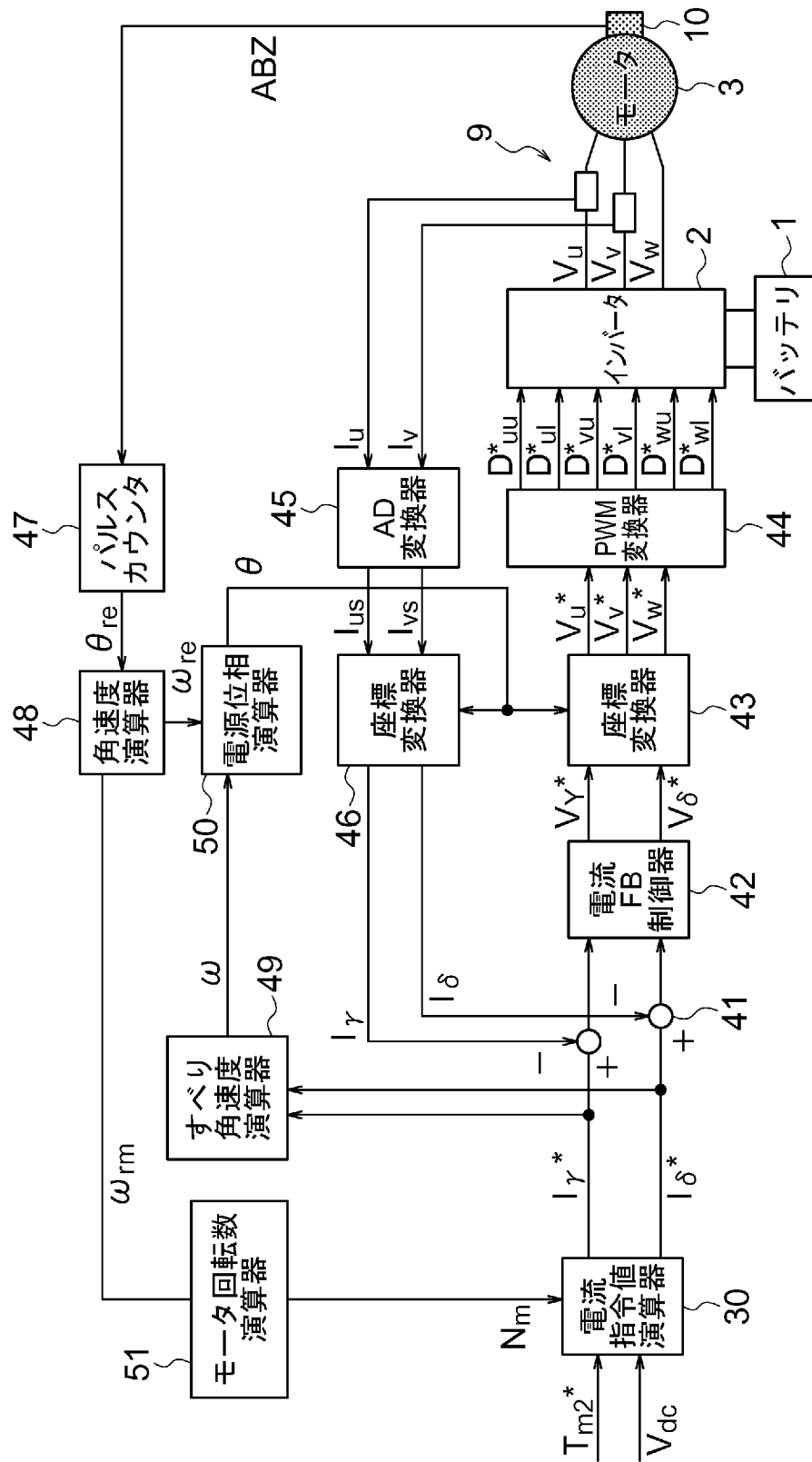
[図2]

2



[図3]

図 3



[図4]

図 4

30

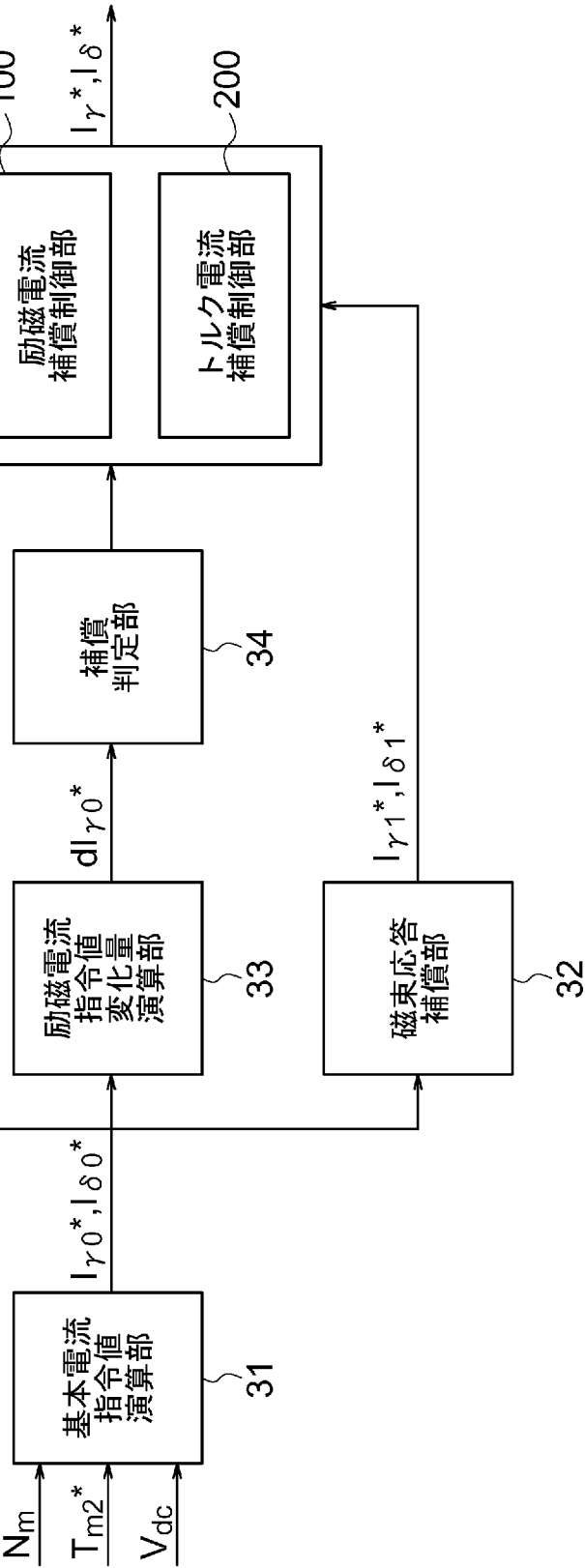
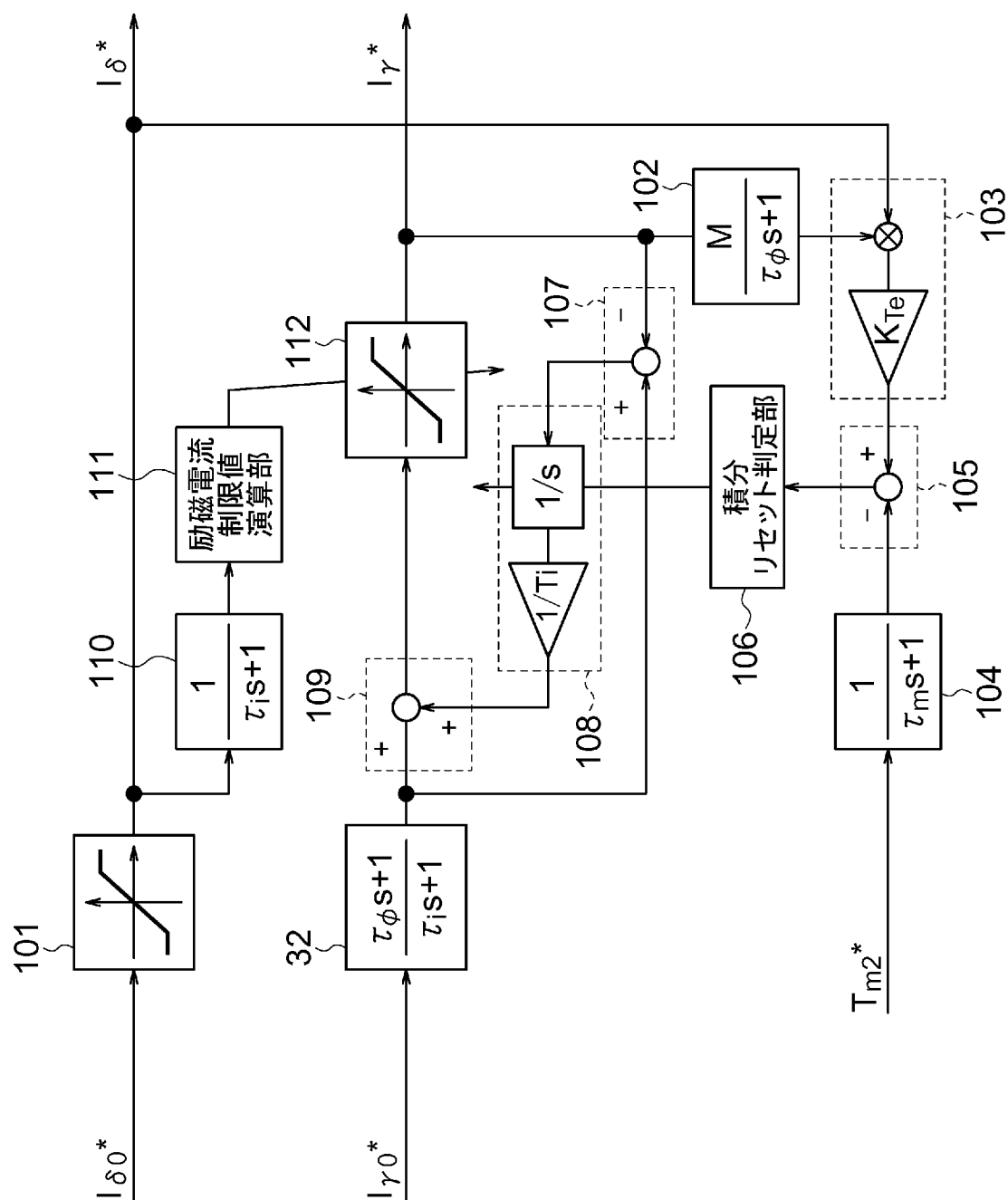
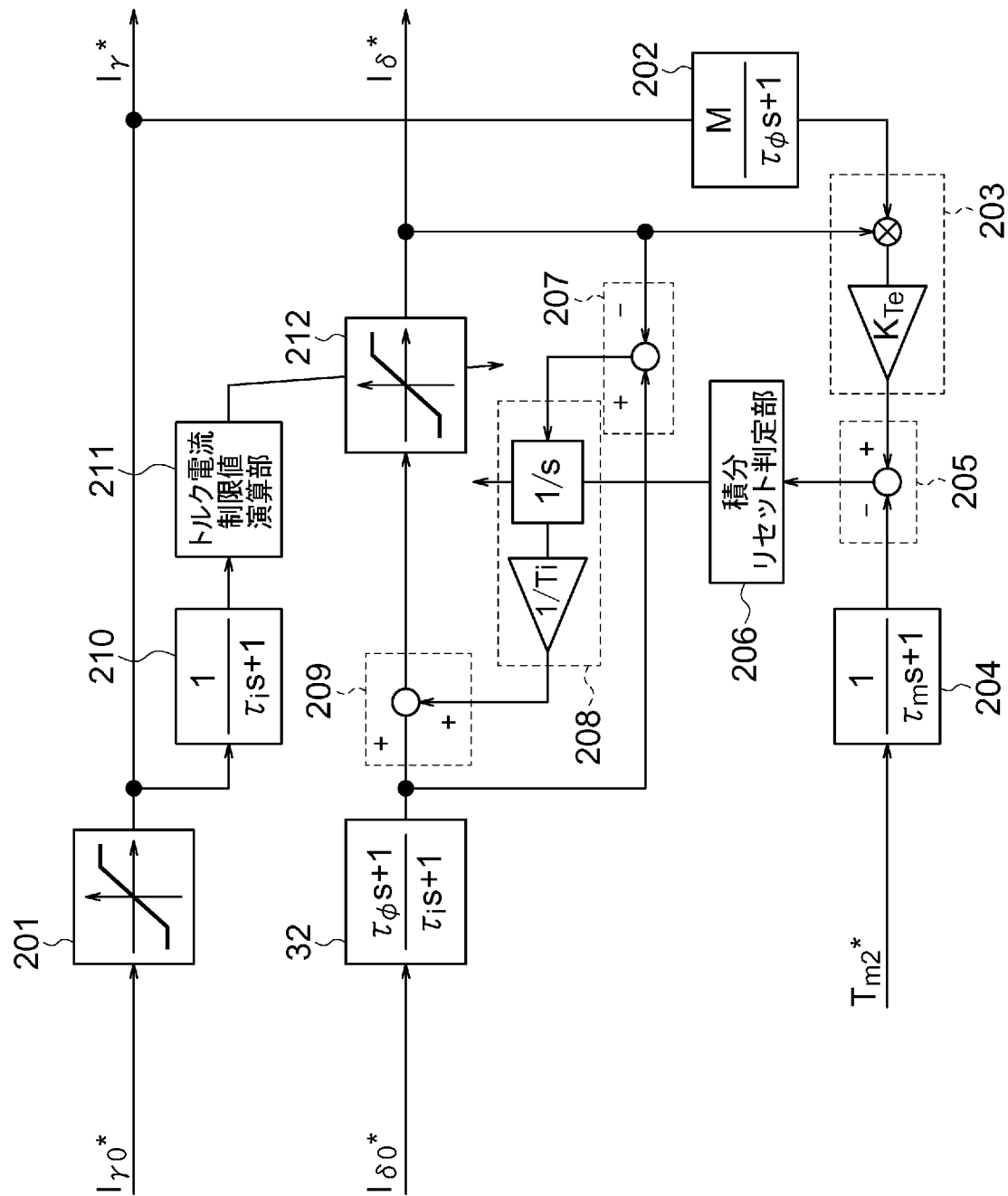


图 5

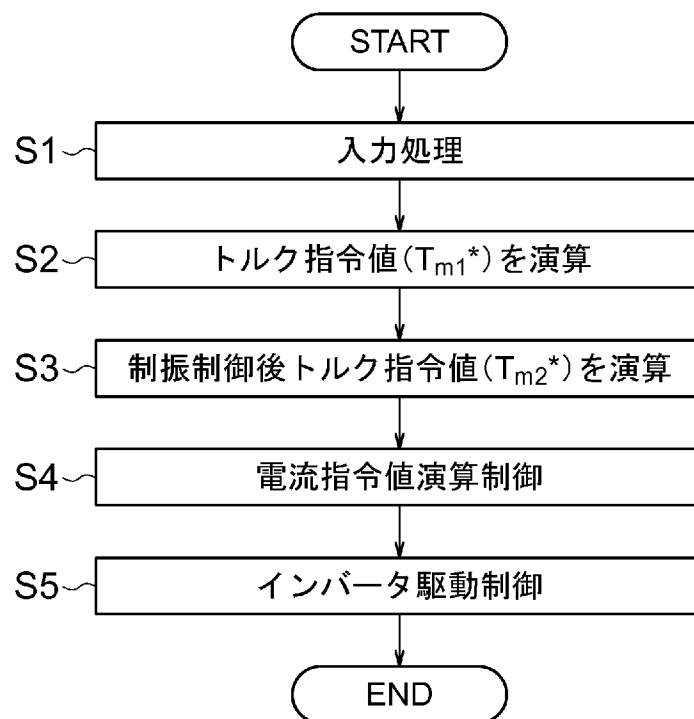


[図6]

図 6

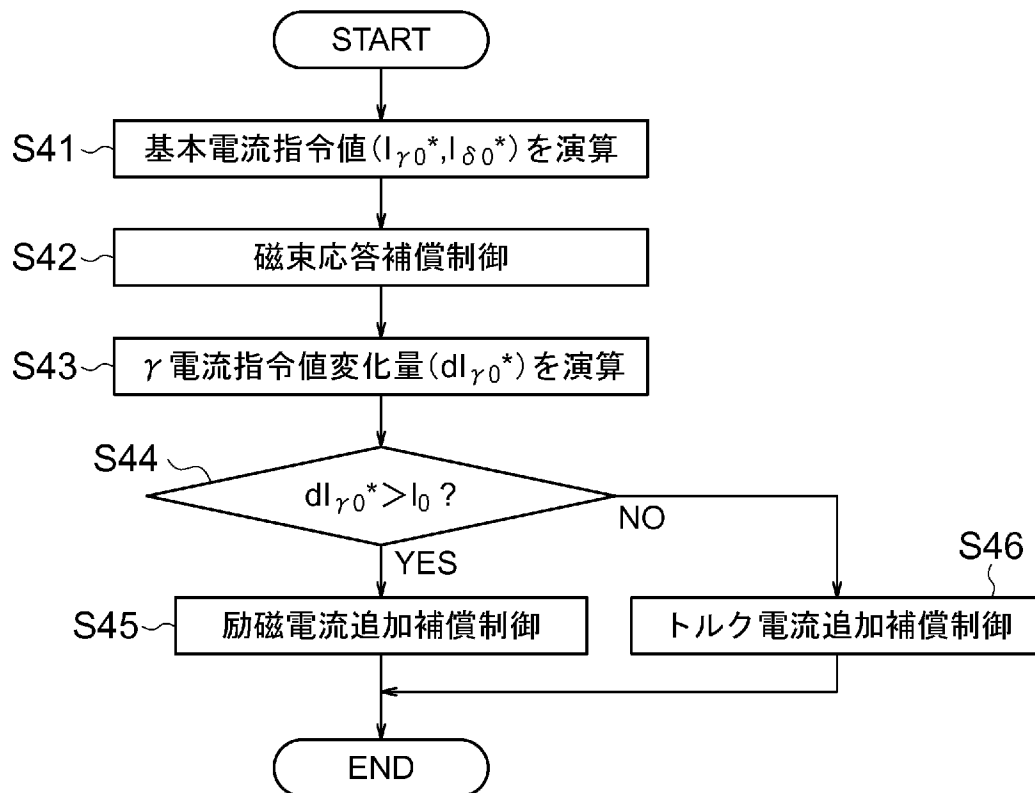


[図7]

図 7

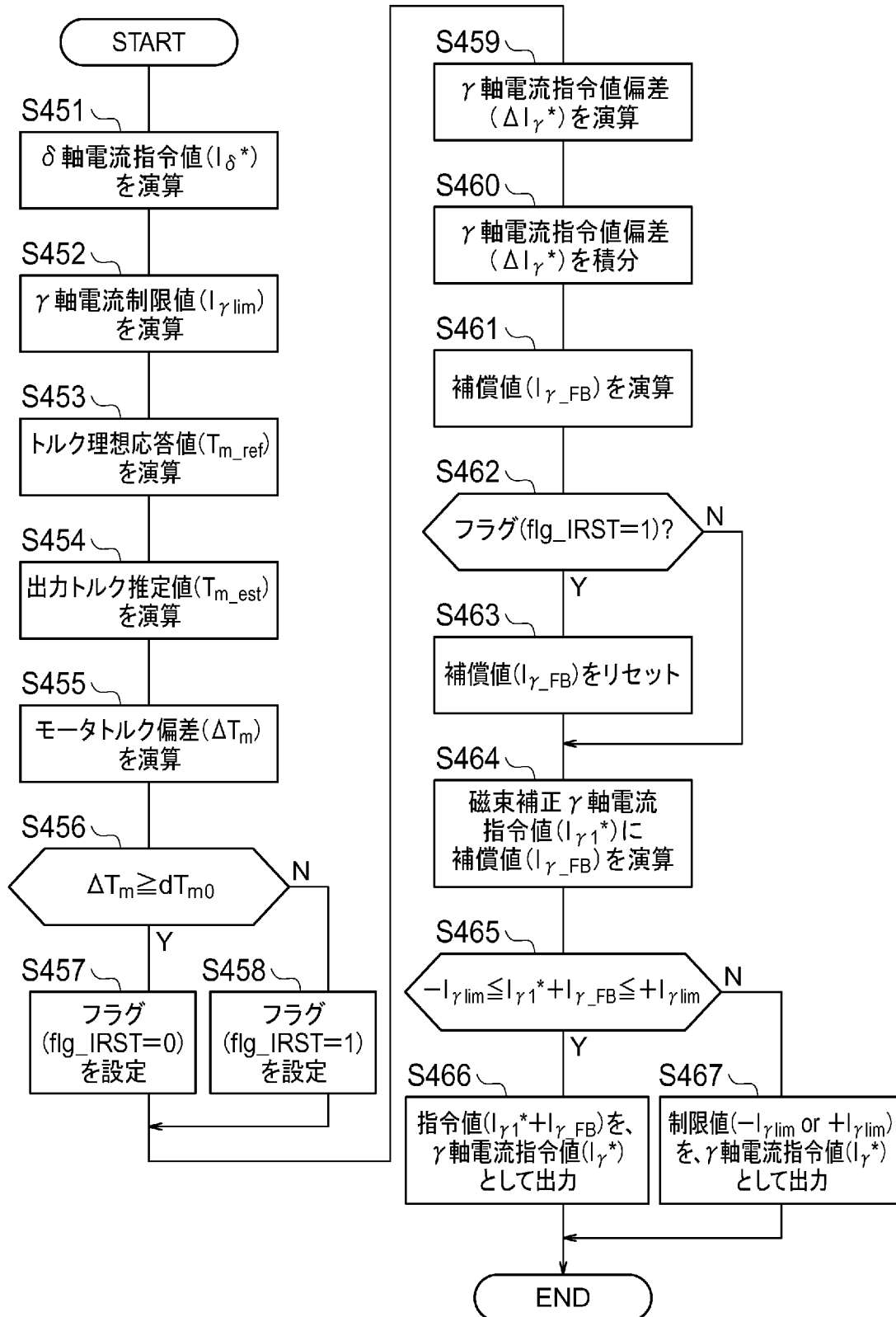
[図8]

図 8



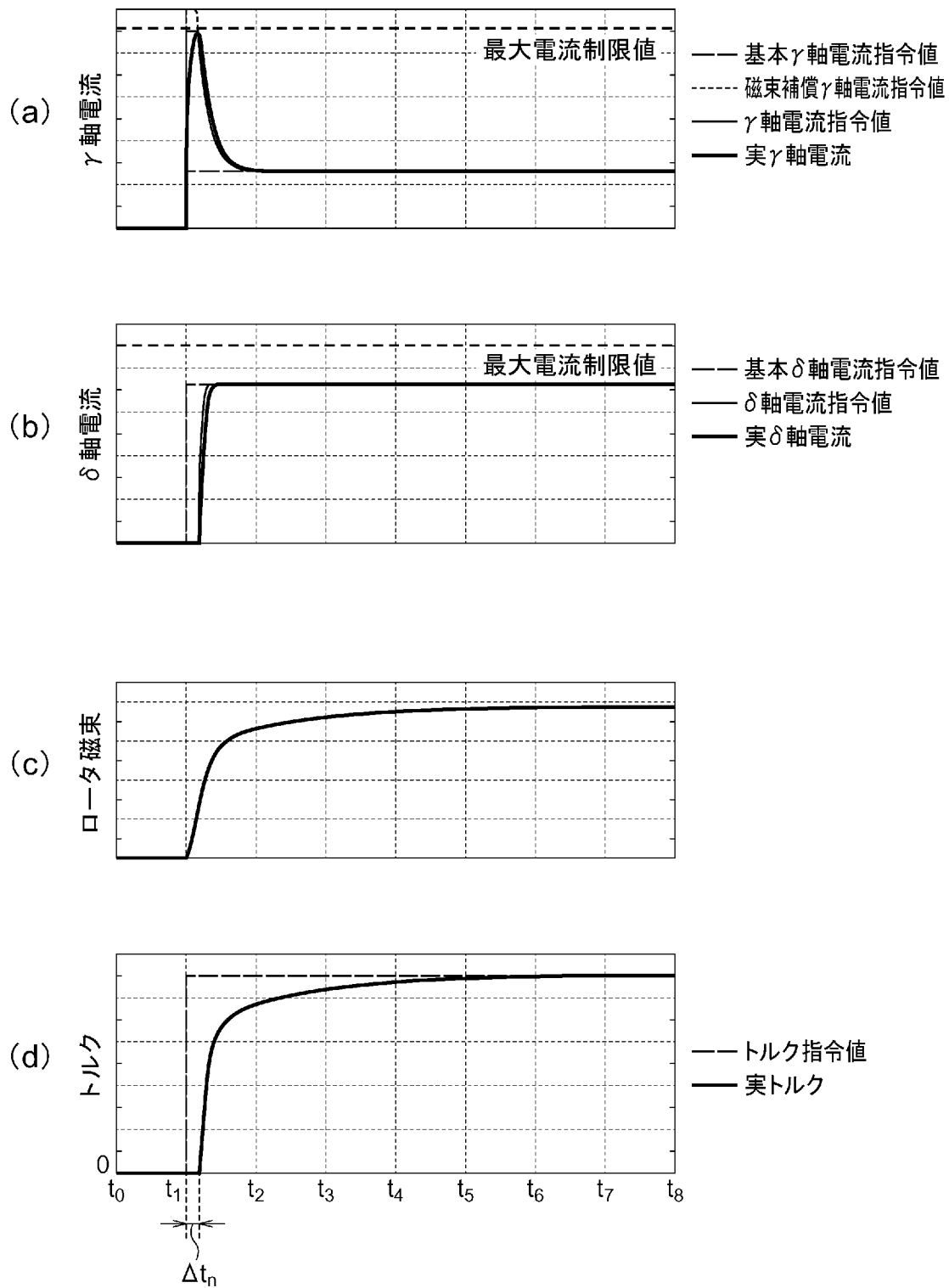
[図9]

図 9



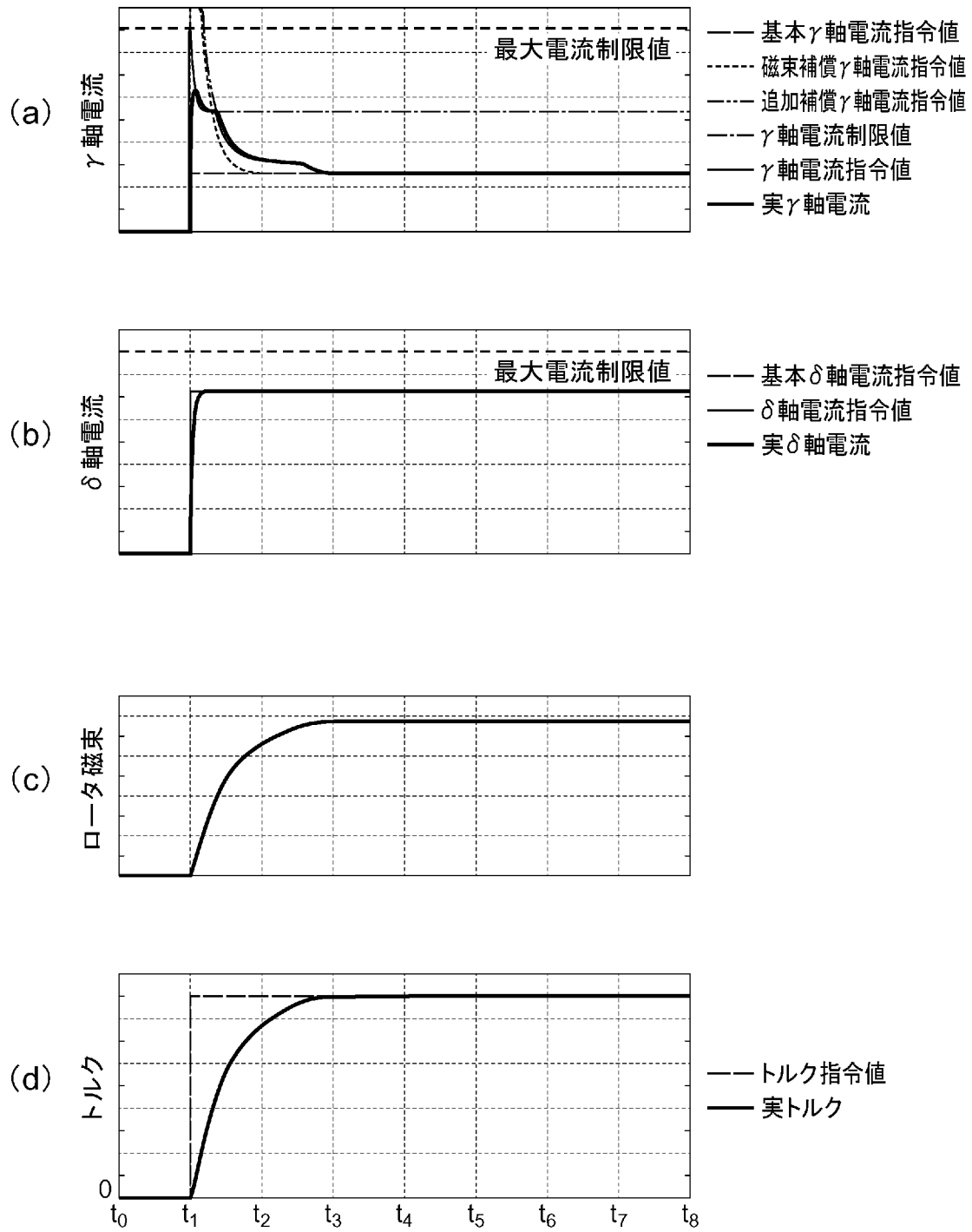
[図10]

図 10



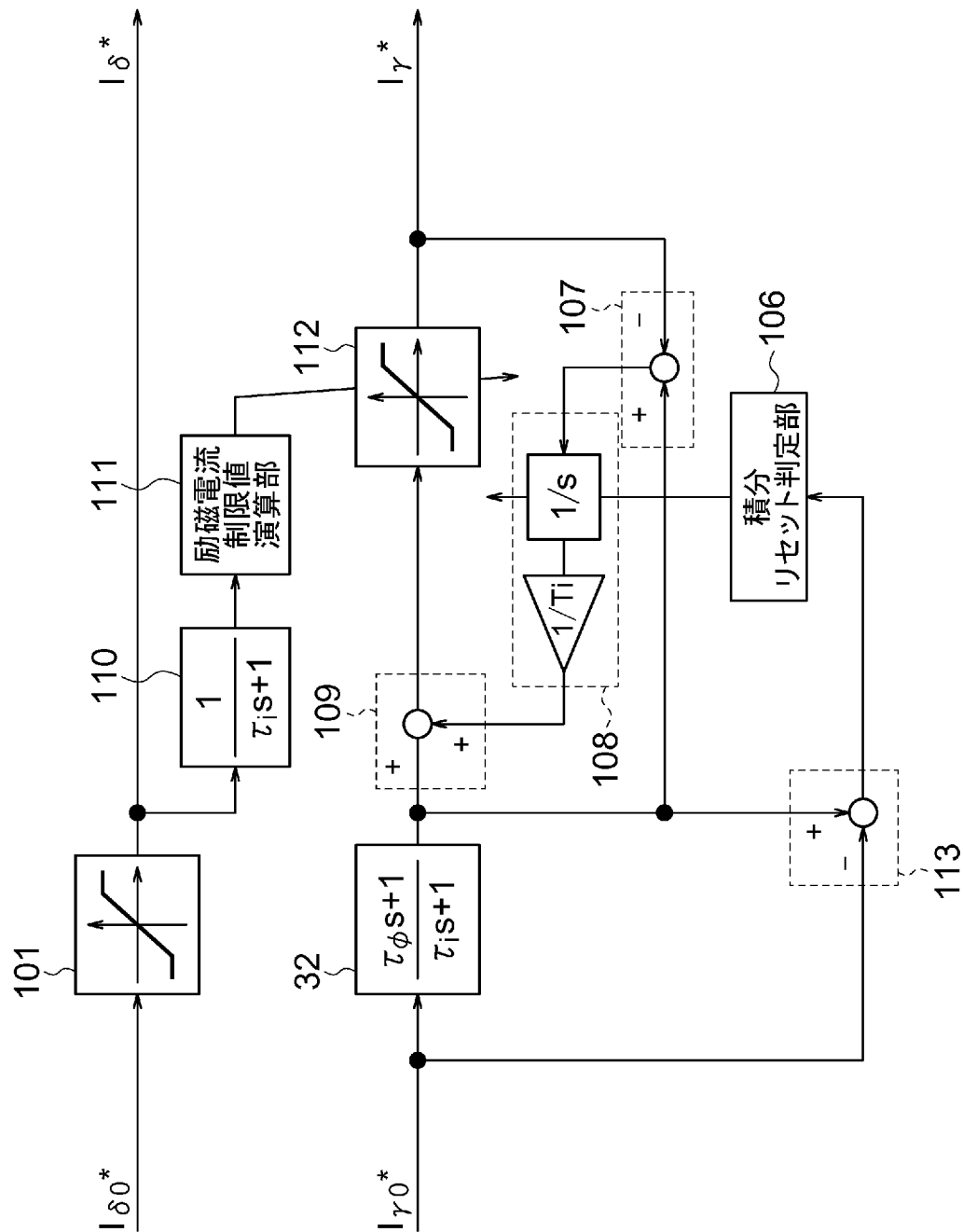
[図11]

図 11



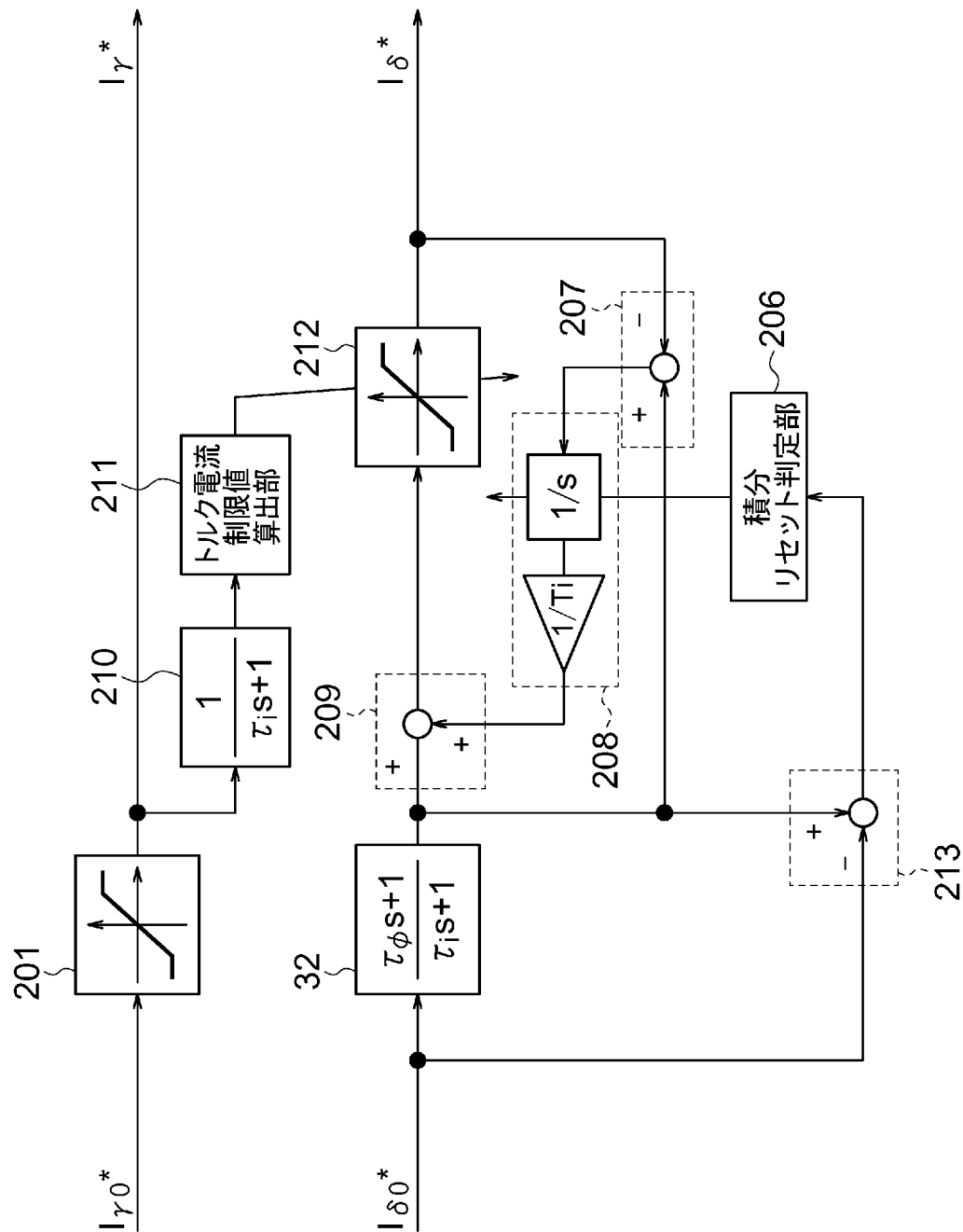
[図12]

図 12



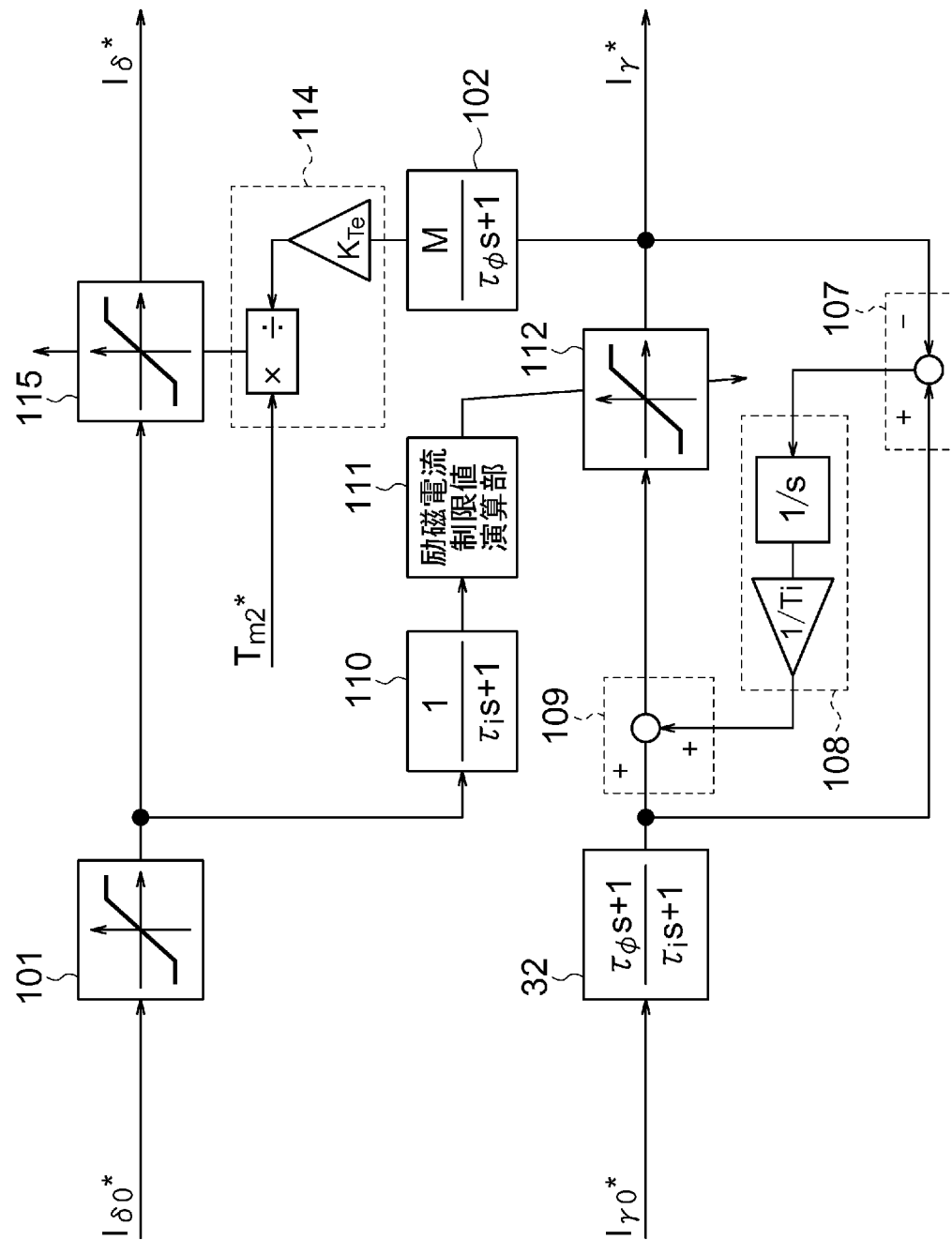
[図13]

図 13



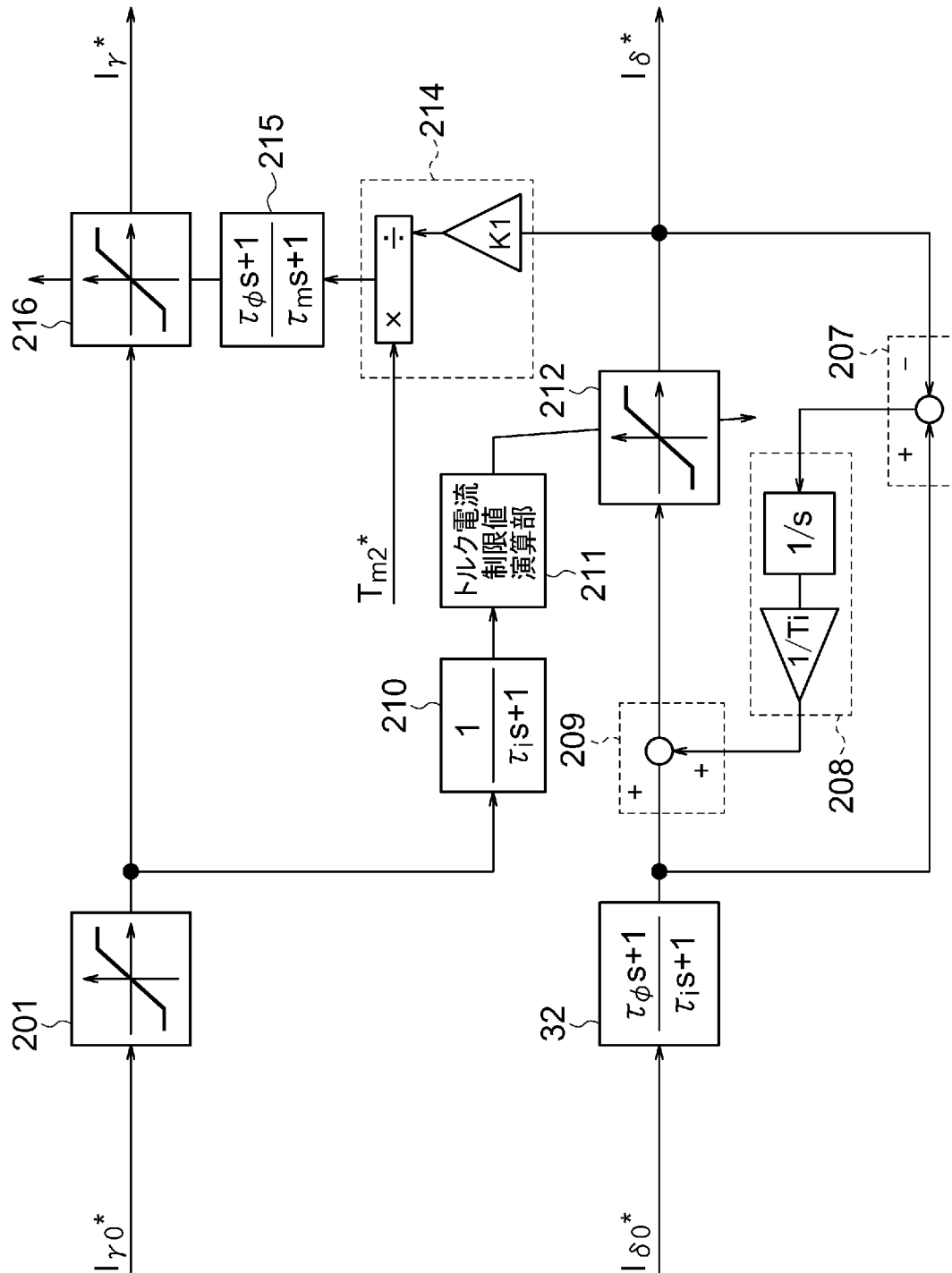
[図14]

図 14



[図15]

図 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/052737

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P27/08(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)

H02P27/08

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 2009-220665 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 01 October 2009 (01.10.2009), fig. 7 to 8; paragraphs [0023] to [0035] (Family: none)	1-9
A	JP 2012-120412 A (Mitsubishi Electric Corp.), 21 June 2012 (21.06.2012), fig. 1; claim 1; paragraphs [0011] to [0048] & CN 102487263 A	1-9
A	JP 2009-44871 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 26 February 2009 (26.02.2009), entire text; all drawings & US 2009/0042688 A1 & EP 2023478 A2 & CN 101362428 A	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
10 April, 2014 (10.04.14)

Date of mailing of the international search report
28 April, 2014 (28.04.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/052737

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2004/0001291 A1 (Walter Boeffel), 01 January 2004 (01.01.2004), entire text; all drawings & DE 10228824 A1	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P27/08 (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. H02P27/08

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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 2009-220665 A（日産自動車株式会社）2009.10.01, 図7-8、段落【0023】-【0035】（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2012-120412 A（三菱電機株式会社）2012.06.21, 図1、請求項1、段落【0011】-【0048】 & CN 102487263 A	1-9
A	JP 2009-44871 A（日産自動車株式会社）2009.02.26, 全文、全図 & US 2009/0042688 A1 & EP 2023478 A2 & CN 101362428 A	1-9

☒ 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

1 0 . 0 4 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 4 . 2 0 1 4

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）

マキロイ 寛済

3 V

4 0 3 1

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

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	US 2004/0001291 A1 (Walter Boeffel) 2004.01.01, 全文、全図 & DE 10228824 A1	1-9