

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-155254

(P2014-155254A)

(43) 公開日 平成26年8月25日(2014.8.25)

(51) Int.Cl.

H02P 21/00 (2006.01)

H02P 27/04 (2006.01)

F I

H02P 5/408

A

テーマコード (参考)

5H505

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2013-20644 (P2013-20644)
(22) 出願日 平成25年2月5日 (2013.2.5)

(71) 出願人 000180025
山洋電気株式会社
東京都豊島区南大塚三丁目33番1号
(74) 代理人 110000671
八田国際特許業務法人
(72) 発明者 井出 勇治
東京都豊島区北大塚一丁目15番1号 山
洋電気株式会社内
(72) 発明者 山▲崎▼ 悟史
東京都豊島区北大塚一丁目15番1号 山
洋電気株式会社内
Fターム(参考) 5H505 AA18 BB04 DD03 DD05 EE30
EE41 EE49 GG04 HA07 JJ04
JJ05 JJ06 JJ22 JJ24 JJ28
LL07 LL22 LL34

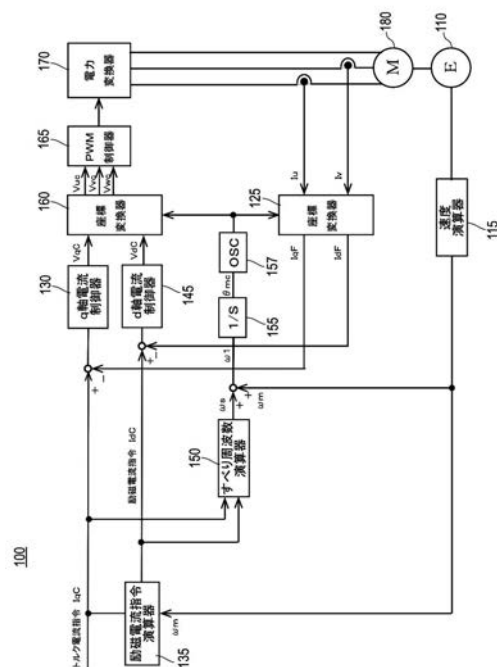
(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【要約】

【課題】 より広い定出力領域を実現する。

【解決手段】 励磁電流指令演算器135は、トルク電流指令 I_{qC} とモータ回転速度 ω_m とを用いてモータ110の回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた励磁電流指令 I_{dC} を演算する。モータ駆動部(q軸電流制御器130、d軸電流制御器145、座標変換器160、PWM制御器165、電力変換器170)は、トルク電流指令 I_{qC} と演算した励磁電流指令 I_{dC} とを用いてモータ180を駆動する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた励磁電流指令を演算する励磁電流指令演算器と、

前記トルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、

を有することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 2】

前記励磁電流指令演算器は、

前記モータ回転速度の増加に反比例して励磁電流指令を小さくする弱め界磁機能を有し

10

、
前記モータが小さなトルク電流指令で高速回転している時には励磁電流指令を前記弱め界磁機能による励磁電流指令よりも大きくする一方、前記モータが大きなトルク電流指令で高速回転している時には励磁電流指令を前記弱め界磁機能による励磁電流指令相当にすることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記モータに供給する電流を座標変換することによって q 軸電流フィードバック及び d 軸電流フィードバックを求める座標変換器をさらに有し、

前記モータ駆動部は、前記トルク電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電力を求めることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のモータ制御装置。

20

【請求項 4】

前記トルク電流指令と前記励磁電流指令演算器が演算した励磁電流指令とからすべり周波数指令を演算するすべり周波数演算器をさらに有し、

前記座標変換器は、前記すべり周波数演算器が演算したすべり周波数指令を用いて前記モータに供給する電流を座標変換することを特徴とする請求項 3 に記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

前記励磁電流指令演算器は、

まず弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を次式によって求める。

30

$$I_{dCB} = I_0$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dCB} = \{ I_0 + K_0 \cdot (1 - K_{Iqc} \cdot |I_{qc}|) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_0 : 基底速度

I_0 : 基底速度における励磁電流

K_0 : 高速回転時の励磁電流を上昇させる係数

K_{Iqc} : トルク電流指令に応じて励磁電流を減少させる係数

次に、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を求めた後、励磁電流指令 I_{dC} を次式によって求める。

40

$$I_{dC} = I_{dCB}$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dC} = I_{dCB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

以上の演算を行うことによって励磁電流指令 I_{dC} を求めることを特徴とする請求項 4 に記載のモータ制御装置。

【請求項 6】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから

50

励磁電流指令を求める磁束制御器と、

前記トルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、

を有することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 7】

前記磁束指令演算器は、

前記モータ回転速度の増加に反比例して磁束指令を小さくする弱め界磁機能を有し、

前記モータが小さなトルク電流指令で高速回転している時には磁束指令を前記弱め界磁機能による磁束指令よりも大きくする一方、前記モータが大きなトルク電流指令で高速回転している時には磁束指令を前記弱め界磁機能による磁束指令相当にすることを特徴とする請求項 6 に記載のモータ制御装置。

10

【請求項 8】

前記モータに供給する電流から求めた磁束は、前記モータに供給する電流を座標変換することによって求めた d 軸電流フィードバックから磁束演算器が求めることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載のモータ制御装置。

【請求項 9】

前記トルク電流指令と前記磁束演算器が演算した磁束とからすべり周波数指令を演算するすべり周波数演算器をさらに有することを特徴とする請求項 8 に記載のモータ制御装置。

【請求項 10】

20

前記 d 軸電流フィードバックは、前記モータに供給する電流を座標変換する座標変換器によって求め、前記座標変換器は、前記モータに供給する電流を座標変換して q 軸電流フィードバックをも求めることを特徴とする請求項 8 に記載のモータ制御装置。

【請求項 11】

前記モータ駆動部は、前記トルク電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電力を求めることを特徴とする請求項 10 に記載のモータ制御装置。

【請求項 12】

前記磁束指令演算器は、

まず、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を次式によって求める。

30

$$\varphi_{2CB} = \varphi_0$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$\varphi_{2CB} = \{ \varphi_0 + K_0 \cdot (1 - K_{IqC} \cdot |I_{qc}|) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_0 : 基底速度

φ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の磁束を上昇させる係数

K_{IqC} : トルク電流指令に応じて磁束を減少させる係数

次に、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を求めた後、磁束指令 φ_{2C} を次式によって求める。

40

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB}$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

以上の演算を行うことによって磁束指令 φ_{2C} を求めることを特徴とする請求項 11 に記載のモータ制御装置。

【請求項 13】

モータ回転速度を用いて求めた最大トルクで、与えられたトルク電流指令を割ることにより得られたトルク指令比と、前記モータ回転速度とを用いて、モータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

50

モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

前記トルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、

を有することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 14】

前記磁束指令演算器は、

前記モータ回転速度の増加に反比例して磁束指令を小さくする弱め界磁機能を有し、

前記モータが小さなトルク電流指令で高速回転している時には磁束指令を前記弱め界磁機能による磁束指令よりも大きくする一方、前記モータが大きなトルク電流指令で高速回転している時には磁束指令を前記弱め界磁機能による磁束指令相当にすることを特徴とする請求項 13 に記載のモータ制御装置。

10

【請求項 15】

前記モータに供給する電流から求めた磁束は、前記モータに供給する電流を座標変換することによって求めた d 軸電流フィードバックから磁束演算器が求めることを特徴とする請求項 13 または 14 に記載のモータ制御装置。

【請求項 16】

前記トルク指令を一定の値に制限するリミッタと、

前記リミッタによって制限されたトルク指令を入力して前記 q 軸電流指令を出力する q 軸電流演算器と、

20

をさらに有し、

前記モータ駆動部は、前記 q 軸電流演算器が出力した q 軸電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電力を求めることを特徴とする請求項 15 に記載のモータ制御装置。

【請求項 17】

前記磁束制御器が出力する励磁電流指令、最大一次電流指令算出器が出力する最大一次電流指令及び磁束演算器が出力する磁束を用いて、前記リミッタに設定するトルク制限値を算出するトルク制限値演算器をさらに有し、

前記リミッタは、前記トルク制限値演算器が出力するトルク制限値を用いて前記 q 軸電流演算器に入力されるトルク指令を一定の値に制限することを特徴とする請求項 16 に記載のモータ制御装置。

30

【請求項 18】

前記磁束指令演算器が入力するトルク指令比 T_{CC} は次のようにして求める。

$$T_{CBm} = T_m$$

$$(0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0 \text{ のとき})$$

$$T_{CBm} = T_m \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

$$(\omega_0 < |\omega_m| \text{ のとき})$$

次に、トルク指令比 T_{CC} を求める。

$$T_{CC} = |T_{CB}| / T_{CBm}$$

40

前記磁束指令演算器は、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} を次式によって求める。

$$\phi_{2CB} = \phi_0$$

$$(0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0 \text{ のとき})$$

$$\phi_{2CB} = \{ \phi_0 + K_0 \cdot (1 - K_{TC} \cdot T_{CC}) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

$$(\omega_0 < |\omega_m| \text{ のとき})$$

ここで、 ω_0 : 基底速度

ϕ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の磁束を上昇させる係数

K_{TC} : トルク指令比に応じて磁束を減少させる係数

次に、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} を求めた後、磁束指令 ϕ_2C を次式によって求め

50

る。

$$\phi_2 C = \phi_2 C B$$

($0 < |\omega_m| < \omega_0$ のとき)

$$\phi_2 C = \phi_2 C B \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

以上の演算を行うことによって磁束指令 $\phi_2 C$ を求めることを特徴とする請求項 17 に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、より広い定出力領域が実現できるモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

工作機械の主軸には、低速重切削と高速切削との両立が求められる。このため、弱め界磁による定出力制御を用いて、低速回転時の高トルク化と高速回転化とを実現している。定出力制御を行うモータ制御装置としては次のような構成のものが例示できる。

【0003】

図 10 は、従来のモータ制御装置のブロック図である。このモータ制御装置は次のように動作する。

【0004】

20

まず、速度指令を速度演算器 15 からのモータ回転速度 ω_m と比較し、速度制御器 20 によって q 軸電流指令 $I_q C$ を求める。速度演算器 15 が出力するモータ回転速度 ω_m は、エンコーダ 10 が検出する位置フィードバックを用いて演算する。q 軸電流指令 $I_q C$ を座標変換器 25 からの q 軸電流フィードバック $I_q F$ と比較し、q 軸電流制御器 30 によって q 軸電圧指令 $V_q C$ を求める。

【0005】

一方、モータ回転速度 ω_m を参照して、必要とする励磁電流を d 軸電流指令 $I_d C$ として与える。d 軸電流指令 $I_d C$ を座標変換器 25 からの d 軸電流フィードバック $I_d F$ と比較し、d 軸電流制御器 45 によって d 軸電圧指令 $V_d C$ を求める。

【0006】

30

q 軸電流指令 $I_q C$ と d 軸電流指令 $I_d C$ とからすべり周波数演算器 50 がすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は速度演算器 15 が出力するモータ回転速度 ω_m と加算する。すべり周波数指令 ω_s とモータ回転速度 ω_m とで一次周波数指令 ω_1 を求める。一次周波数指令 ω_1 を積分器 55 で積分して固定子位置指令 $\theta_m c$ を求める。

【0007】

座標変換器 60 は固定子位置指令 $\theta_m c$ を基に q 軸電圧指令 $V_q C$ 、d 軸電圧指令 $V_d C$ を座標変換し、三相電圧指令 $V_u c$ 、 $V_v c$ 、 $V_w c$ を求める。三相電圧指令 $V_u c$ 、 $V_v c$ 、 $V_w c$ は PWM 制御器 65、電力変換器 70 を介してモータ 80 に供給され、三相電圧指令 $V_u c$ 、 $V_v c$ 、 $V_w c$ に応じてモータ 80 が駆動される。

【0008】

40

q 軸電流フィードバック $I_q F$ と d 軸電流フィードバック $I_d F$ は、固定子位置指令 $\theta_m c$ を基に、座標変換器 25 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。

【0009】

励磁電流指令 $I_d C$ は、図に示す通り、定トルク領域では一定にし、定出力領域では、モータ 80 の回転速度の上昇に反比例して減少させる。モータ 80 の回転速度の上昇に反比例して励磁電流指令 $I_d C$ を低減させることによって、弱め界磁制御をする。

【0010】

なお、上記の従来技術に類似する技術として、インバータの直流電圧を検出し、モータの回転速度との兼ね合いで、自動的に磁束制御を行った例として、下記特許文献 1 に示す

50

技術がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開昭59-149785号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

近年では、低速重切削におけるさらなる高トルク化と高速切削における回転速度の向上という両方の特性の改善が要求されている。この要求に応えるためには、定出力範囲を広くすることが求められる。

10

【0013】

しかし、一般的に、弱め界磁により定出力領域を広くとるとすると、高速回転時の磁束が減少してしまう。モータの誘起電圧は磁束と回転速度との積で表される。このため、定出力領域を広くとると、高速回転時には、相対的に磁束成分が小さくなって回転速度成分が大きくなり、モータの誘起電圧がモータの回転速度変動の影響を受けやすくなる。

【0014】

モータには、回転軸を固定するベアリングに起因するロータの芯ブレやエンコーダの芯ブレがある。これらの芯ブレが大きいときには、モータの誘起電圧が変動したり、モータの回転速度の検出に1回転変動が現れたりして、高速軽負荷回転時のモータ電流が不安定になる。

20

【0015】

これを改善するためには、高速回転時の磁束を増加させることが考えられる。しかし、高速回転時の磁束を増加させた場合には、モータの誘起電圧が高くなり、高速重負荷回転時に、モータの動作を制御するインバータの出力電圧が飽和して、モータの回転速度が不安定になる。

【0016】

このように、従来のモータ制御装置では、高速軽負荷回転時のモータの芯ブレやエンコーダの芯ブレに対する安定性と高速重負荷時のインバータの出力電圧の飽和による安定性を両立させることができず、モータの定出力領域を広くすることができなかった。

30

【0017】

また、特許文献1に開示されているように、直流電源の電圧を検出する電圧検出器及び誘導電動機の速度を検出する速度検出器を設け、誘導電動機の一次電流を、電圧信号を速度信号で割り算して得られる値に応じた磁束となるように制御し、インバータの出力電圧の飽和を抑制することも考えられる。しかし、特許文献1に開示されている技術では、直流電源の電圧が変化する場合の磁束の最適化はできても、高速軽負荷回転時のモータ電流の安定性の向上と高速重負荷回転時の電圧飽和の抑制を同時に実現できるわけではない。

【0018】

本発明は、上記のような従来のモータ制御装置の問題を解消するために成されたものであり、高速軽負荷回転時のモータの芯ブレやエンコーダの芯ブレがある場合の安定性の向上と、高速重負荷回転時のインバータ出力電圧の飽和の抑制を同時に達成し、より広い定出力領域を実現することができるモータ制御装置の提供を目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記目的を達成するための、本発明にかかるモータ制御装置は、励磁電流指令演算器及びモータ駆動部を有する。

【0020】

励磁電流指令演算器は、トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた励磁電流指令を演算する。モータ駆動部は、トルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いてモータを駆動する。

50

【発明の効果】

【0021】

以上のように構成された本発明にかかるモータ制御装置によれば、高速軽負荷回転時のモータの芯ブレやエンコードの芯ブレがある場合の安定性の向上と、高速重負荷回転時のインバータ出力電圧の飽和の抑制と、を両立させることができ、より広い定出力領域が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】実施形態1に係るモータ制御装置のブロック図である。

【図2】図1の励磁電流指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} との関係を示す図である。

【図3】図1の励磁電流指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と励磁電流指令 I_{dC} との関係を示す図である。

【図4】実施形態2に係るモータ制御装置のブロック図である。

【図5】図4の磁束指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} との関係を示す図である。

【図6】図4の磁束指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と磁束指令 φ_{2C} との関係を示す図である。

【図7】実施形態3に係るモータ制御装置のブロック図である。

【図8】図7の磁束指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} との関係を示す図である。

【図9】図7の磁束指令演算器におけるモータ回転速度 ω_m と磁束指令 φ_{2C} との関係を示す図である。

【図10】従来のモータ制御装置の一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

本発明にかかるモータ制御装置は、定出力領域を広くとりつつも、モータの高速軽負荷回転時の安定性、高速重負荷回転時のインバータの出力電圧の飽和による安定性、及び、低速回転時の高トルク化を実現する。すなわち、本発明にかかるモータ制御装置は低速重切削と高速切削を両立させる。

【0024】

次に、図面を参照しながら、上記のような特性を発揮する、本発明に係るモータ制御装置の実施形態を、〔実施形態1〕から〔実施形態3〕に分けて説明する。

【0025】

〔実施形態1〕

〔モータ制御装置100の全体構成〕

図1は、実施形態1に係るモータ制御装置100のブロック図である。

【0026】

モータ制御装置100は、q軸電圧指令 V_{qC} を与える系として、q軸電流制御器130を有する。

【0027】

q軸電流制御器130は、入力したトルク電流指令 I_{qC} からq軸電流フィードバック I_{qF} を減算して得られる電流偏差を入力し、q軸電圧指令 V_{qC} を算出する。q軸電流フィードバック I_{qF} は座標変換器125から出力される。q軸電流フィードバック I_{qF} は、後述する固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器125がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。q軸電流制御器130は比例積分制御器で構成する。

【0028】

また、モータ制御装置100は、d軸電圧指令 V_{dC} を与える系として、励磁電流指令演算器135、d軸電流制御器145を有する。

【 0 0 2 9 】

励磁電流指令演算器 1 3 5 は、トルク電流指令 I_{qc} とモータ回転速度 ω_m とを入力し、定出力領域を広くするための最適な励磁電流指令 I_{dC} を演算する。モータ回転速度 ω_m は速度演算器 1 1 5 から出力される。速度演算器 1 1 5 は、モータ回転速度 ω_m を、エンコーダ 1 1 0 が検出する位置フィードバックを用いて演算する。なお、励磁電流指令演算器 1 3 5 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 3 0 】

d 軸電流制御器 1 4 5 は、励磁電流指令演算器 1 3 5 から出力された d 軸電流指令 I_{dC} から d 軸電流フィードバック I_{dF} を減算して得られる電流偏差を入力し、d 軸電圧指令 V_{dC} を算出する。d 軸電流フィードバック I_{dF} は座標変換器 1 2 5 から出力される。d 軸電流フィードバック I_{dF} は、後述する固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器 1 2 5 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。d 軸電流制御器 1 4 5 は、比例積分制御器で構成する。

【 0 0 3 1 】

さらに、モータ制御装置 1 0 0 は、座標変換を行わせるための系として、すべり周波数演算器 1 5 0、積分器 1 5 5、OSC 1 5 7、座標変換器 1 2 5、1 6 0 を有する。

【 0 0 3 2 】

すべり周波数演算器 1 5 0 は、トルク電流指令 I_{qC} と励磁電流指令演算器 1 3 5 から出力される励磁電流指令 I_{dC} を入力し、すべり周波数指令 ω_s を算出する。なお、すべり周波数演算器 1 5 0 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 3 3 】

積分器 1 5 5 は、すべり周波数演算器 1 5 0 から出力されるすべり周波数指令 ω_s と速度演算器 1 1 5 から出力されるモータ回転速度 ω_m とを加算して得られる一次周波数指令 ω_1 を入力し、一次周波数指令 ω_1 を積分して固定子位置指令 θ_{mc} を求める。固定子位置指令 θ_{mc} は OSC 1 5 7 を介して座標変換器 1 2 5、1 6 0 に出力される。

【 0 0 3 4 】

座標変換器 1 6 0 は、入力した固定子位置指令 θ_{mc} を基に、q 軸電圧指令 V_{qC} 、d 軸電圧指令 V_{dC} を座標変換し、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を求める。

【 0 0 3 5 】

座標変換器 1 2 5 は、入力した固定子位置指令 θ_{mc} を基に、モータ電流 I_u 、 I_v を座標変換し、q 軸電流フィードバック I_{qF} 、d 軸電流フィードバック I_{dF} を求める。

【 0 0 3 6 】

さらに、モータ制御装置 1 0 0 は、モータ 1 8 0 を駆動させるための系として、PWM 制御器 1 6 5、電力変換器 1 7 0 を有する。なお、PWM 制御器 1 6 5、電力変換器 1 7 0、q 軸電流制御器 1 3 0、d 軸電流制御器 1 4 5、座標変換器 1 6 0 によってモータ駆動部を形成する。

【 0 0 3 7 】

PWM 制御器 1 6 5 は、座標変換器 1 6 0 から出力される三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を入力し、入力した三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} に基づいて、電力変換器 1 7 0 をスイッチングさせるための PWM 信号を出力する。

【 0 0 3 8 】

電力変換器 1 7 0 は、PWM 制御器 1 6 5 から出力される PWM 信号を入力して内部に備えた半導体スイッチング素子をスイッチングし、モータ 1 8 0 を駆動する。

【 0 0 3 9 】

[励磁電流指令演算器 1 3 5 の動作]

前述のように、励磁電流指令演算器 1 3 5 は、定出力領域を広くするための最適な励磁電流指令 I_{dC} を演算する。

【 0 0 4 0 】

図 2 は、図 1 の励磁電流指令演算器 1 3 5 におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} との関係を示す図である。励磁電流指令演算器 1 3 5 はモータ回転

10

20

30

40

50

速度 ω_m に応じた弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を演算する。また、図3は、図1の励磁電流指令演算器135におけるモータ回転速度 ω_m と励磁電流指令 I_{dC} との関係を示す図である。励磁電流指令演算器135はモータ回転速度 ω_m に応じた励磁電流指令 I_{dC} を演算する。

【0041】

図2及び図3は、トルク電流指令 I_{qC} が0(I_{qC0})、定格(I_{qCR})、最大(I_{qCmax})のときのモータ回転速度 ω_m に対する励磁電流指令特性を示している。図2は、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を示し、図3は、励磁電流指令 I_{dC} を示している。

【0042】

図2に示すように、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} は、モータ回転速度 ω_m が0から ω_0 までは電流 I_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、トルク電流指令 I_{qC} が0(I_{qC0})のときには、励磁電流指令 I_{dCB} は電流 I_0 から一定の傾きで上昇する。トルク電流指令 I_{qC} が定格(I_{qCR})のときには、その上昇の度合いはトルク電流指令 I_{qC} が0(I_{qC0})のときよりも小さい。トルク電流指令 I_{qC} が最大(I_{qCmax})のときには、モータ回転速度 ω_m にかかわらずトルク電流指令 I_{qC} は電流 I_0 のままで変わらない。

【0043】

また、図3に示すように、励磁電流指令 I_{dC} は、モータ回転速度 ω_m が0から ω_0 までは励磁電流指令 I_{dC} は電流 I_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、トルク電流指令 I_{qC} が最大(I_{qCmax})のときには、励磁電流指令 I_{dC} は電流 I_0 からモータ回転速度 ω_m に反比例して下降する。トルク電流指令 I_{qC} が定格(I_{qCR})のときには、その下降の度合いはトルク電流指令 I_{qC} が最大(I_{qCmax})のときよりも小さい。トルク電流指令 I_{qC} が0(I_{qC0})のときには、その下降の度合いはトルク電流指令 I_{qC} が定格(I_{qCR})のときよりもさらに小さい。

【0044】

励磁電流指令演算器135は、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を次式によって求める。

【0045】

$$I_{dCB} = I_0$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dCB} = \{ I_0 + K_0 \cdot (1 - K_{I_{qC}} \cdot |I_{qC}|) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (1)

ここで、 ω_0 : 基底速度

I_0 : 基底速度における励磁電流

K_0 : 高速回転時の励磁電流を上昇させる係数

$K_{I_{qC}}$: トルク電流指令に応じて励磁電流を減少させる係数

上記の式(1)にモータ回転速度 ω_m を代入して弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を可視化すると図2のようなグラフとなる。

【0046】

高速回転時の励磁電流を上昇させる係数 K_0 によって高速軽負荷回転時における弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} の値を大きくすることができ、高速軽負荷回転時のモータ電流の安定性が改善できる。 K_0 の最適値をどの値にするかは、トライアンドエラーによる実験によって求めるか、シミュレーションによって求める。

【0047】

また、トルク電流指令 I_{qC} の増加に応じて磁束 ϕ_0 を減少させる係数 $K_{I_{qC}}$ によって、トルク電流指令 I_{qC} が大きくなると弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を小さくし、高速重負荷回転時のインバータ出力電圧の飽和が抑制できる。

【0048】

励磁電流指令演算器135は、上記のようにして弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を

求めた後、励磁電流指令 $I_d C$ を次式によって求める。

【 0 0 4 9 】

$$I_d C = I_d C B$$

($0 < |\omega_m| < \omega_0$ のとき)

$$I_d C = I_d C B \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (2)

上記の式 (2) にモータ回転速度 ω_m を代入して励磁電流指令 $I_d C$ を可視化すると図 3 のようなグラフとなる。

【 0 0 5 0 】

励磁電流指令演算器 1 3 5 は、モータ回転速度 ω_m に応じて、(1) 式の演算を行って弱め界磁前の励磁電流指令 $I_d C B$ を求めた後に、弱め界磁前の励磁電流指令 $I_d C B$ に対して (2) 式の演算を行い、励磁電流指令 $I_d C$ を d 軸電流制御器 1 4 5 に向けて出力する。

10

【 0 0 5 1 】

[すべり周波数演算器 1 5 0 の動作]

すべり周波数演算器 1 5 0 は、下記の式に示すように、トルク電流指令 $I_q C$ と励磁電流指令 $I_d C$ とからすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は次式によって求める。

【 0 0 5 2 】

$$\omega_s = R_2 / L_2 \cdot (I_q C / I_d C)$$

... (3)

20

R_2 : 二次抵抗

L_2 : 二次インダクタンス

[モータ制御装置 1 0 0 の動作]

まず、入力したトルク電流指令 $I_q C$ を座標変換器 1 2 5 からの q 軸電流フィードバック $I_q F$ と比較し、q 軸電流制御器 1 3 0 によって q 軸電圧指令 $V_q C$ を求める。

【 0 0 5 3 】

一方、モータ回転速度 ω_m とトルク電流指令 $I_q C$ とから、励磁電流指令演算器 1 3 5 が上記の (1) 式及び (2) 式を用いて求めた励磁電流指令 $I_d C$ を、座標変換器 1 2 5 からの d 軸電流フィードバック $I_d F$ と比較し、d 軸電流制御器 1 4 5 によって d 軸電圧指令 $V_d C$ を求める。

30

【 0 0 5 4 】

トルク電流指令 $I_q C$ と励磁電流指令 $I_d C$ とから、すべり周波数演算器 1 5 0 が上記の (3) 式を用いてすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は速度演算器 1 1 5 が出力するモータ回転速度 ω_m と加算する。すべり周波数指令 ω_s とモータ回転速度 ω_m とで一次周波数指令 ω_1 を求める。一次周波数指令 ω_1 を積分器 1 5 5 で積分して固定子位置指令 $\theta_m c$ を求める。

【 0 0 5 5 】

座標変換器 1 6 0 は固定子位置指令 $\theta_m c$ を基に q 軸電圧指令 $V_q C$ 、d 軸電圧指令 $V_d C$ を座標変換し、三相電圧指令 $V_u c$ 、 $V_v c$ 、 $V_w c$ を求める。三相電圧指令 $V_u c$ 、 $V_v c$ 、 $V_w c$ は PWM 制御器 1 6 5、電力変換器 1 7 0 を介してモータ 1 8 0 に供給され、三相電圧指令 $V_u c$ 、 $V_v c$ 、 $V_w c$ に応じてモータ 1 8 0 が駆動される。

40

【 0 0 5 6 】

q 軸電流フィードバック $I_q F$ と d 軸電流フィードバック $I_d F$ は、固定子位置指令 $\theta_m c$ を基に、座標変換器 1 2 5 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。

【 0 0 5 7 】

以上に説明したように、励磁電流指令演算器 1 3 5 は、モータ回転速度と基底速度との差に比例させて励磁電流を増加させた値を求め、その値を基に弱め界磁を実施するようにし、さらに、弱め界磁領域でトルク電流指令 $I_q c$ に比例させて磁束を低減する。つまり、励磁電流指令演算器 1 3 5 は、低速重負荷回転時、高速軽負荷回転時、高速重負荷回転

50

時の全てにおいて最適な励磁電流指令 $I_d C$ を出力する。

【 0 0 5 8 】

このため、実施形態 1 にかかるモータ制御装置 1 0 0 によれば、高速軽負荷回転時のモータの芯ブレやエンコードの芯ブレに対する安定性と高速重負荷回転時のインバータ出力電圧飽和による安定性を両立させることができる。したがって、高速軽負荷回転時の安定性と高速重負荷回転時の安定性を両立させることができるようになり、広い定出力領域を実現して低速重切削と高速切削を両立させた工作機械を実現できる。

【 0 0 5 9 】

なお、実施形態 1 に係るモータ制御装置 1 0 0 は、 q 軸電圧指令 $V_q C$ 、 d 軸電圧指令 $V_d C$ を出力する系に非干渉制御器を設け、 d 軸及び q 軸の干渉を制御するようにしても良い。また、 d 軸及び q 軸の電流制御系の内部を三相電流制御系で構成しても良い。

10

【 0 0 6 0 】

〔実施形態 2〕

〔モータ制御装置 2 0 0 の全体構成〕

図 4 は、実施形態 2 に係るモータ制御装置 2 0 0 のブロック図である。実施形態 2 に係るモータ制御装置 2 0 0 は、実施形態 1 に係るモータ制御装置 1 0 0 の構成に磁束制御器と磁束演算器を付加し、励磁電流指令演算器 1 3 5 に換えて磁束指令演算器を設けている。

【 0 0 6 1 】

モータ制御装置 2 0 0 は、 q 軸電圧指令 $V_q C$ を与える系として、 q 軸電流制御器 2 3 0 を有する。 q 軸電流制御器 2 3 0 は実施形態 1 の q 軸電流制御器 1 3 0 と同一である。

20

【 0 0 6 2 】

また、モータ制御装置 2 0 0 は、 d 軸電圧指令 $V_d C$ を与える系として、磁束指令演算器 2 2 0、磁束制御器 2 4 0、 d 軸電流制御器 2 4 5 を有する。

【 0 0 6 3 】

磁束指令演算器 2 2 0 は、入力したトルク電流指令 $I_q C$ とモータ回転速度 ω_m とを入力し、定出力領域を広くとるための最適な磁束指令 $\phi_2 C$ を演算する。なお、磁束指令演算器 2 2 0 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 6 4 】

磁束制御器 2 4 0 は、磁束指令演算器 2 2 0 から出力された磁束指令 $\phi_2 C$ から磁束 ϕ_2 を減算して得られる磁束偏差を入力し、 d 軸電流指令 $I_d C$ を算出する。磁束 ϕ_2 は磁束演算器 2 3 5 から出力される。磁束制御器 2 4 0 は、比例積分制御器で構成する。

30

【 0 0 6 5 】

磁束演算器 2 3 5 は、磁束 ϕ_2 を、座標変換器 2 2 5 が出力する d 軸電流フィードバック $I_d F$ を用いて演算する。磁束演算器 2 3 5 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 6 6 】

d 軸電流制御器 2 4 5 は、磁束制御器 2 4 0 から出力された d 軸電流指令 $I_d c$ から d 軸電流フィードバック $I_d F$ を減算して得られる電流偏差を入力し、 d 軸電圧指令 $V_d C$ を算出する。 d 軸電流フィードバック $I_d F$ は座標変換器 2 2 5 から出力される。 d 軸電流フィードバック $I_d F$ は、後述する固定子位置指令 $\theta_m c$ を基に、座標変換器 2 2 5 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。 d 軸電流制御器 2 4 5 は、比例積分制御器で構成する。

40

【 0 0 6 7 】

さらに、モータ制御装置 2 0 0 は、座標変換を行わせるための系として、すべり周波数演算器 2 5 0、積分器 2 5 5、OSC 2 5 7、座標変換器 2 2 5、2 6 0 を有する。

【 0 0 6 8 】

すべり周波数演算器 2 5 0 は、入力したトルク電流指令 $I_q C$ と磁束演算器 2 3 5 から出力される磁束 ϕ_2 を入力し、すべり周波数指令 ω_s を算出する。なお、すべり周波数演算器 2 5 0 の詳細な動作は後述する。

【 0 0 6 9 】

50

積分器 255、OSC 257、座標変換器 225、260 は、実施形態 1 の積分器 155、OSC 157、座標変換器 125、160 と同一である。

【0070】

さらに、モータ制御装置 200 は、モータ 280 を駆動させるための系として、PWM 制御器 265、電力変換器 270 を有する。PWM 制御器 265、電力変換器 270 は、実施形態 1 の PWM 制御器 165、電力変換器 170 と同一である。なお、PWM 制御器 265、電力変換器 270、q 軸電流制御器 230、d 軸電流制御器 245、座標変換器 260 によってモータ駆動部を形成する。

【0071】

[磁束指令演算器 220 の動作]

10

前述のように、磁束指令演算器 220 は、定出力領域を広くとるための最適な磁束指令 ϕ_{2C} を演算する。

【0072】

図 5 は、図 4 の磁束指令演算器 220 におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} との関係を示す図である。磁束指令演算器 220 はモータ回転速度 ω_m に応じた弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} を演算する。また、図 6 は、図 4 の磁束指令演算器 220 におけるモータ回転速度 ω_m と磁束指令 ϕ_{2C} との関係を示す図である。磁束指令演算器 220 はモータ回転速度 ω_m に応じた磁束指令 ϕ_{2C} を演算する。

【0073】

図 5 及び図 6 は、トルク電流指令 I_{qc} が 0 (I_{qc0})、定格 (I_{qCR})、最大 (I_{qcmax}) のときのモータ回転速度 ω_m に対する磁束 ϕ_0 の磁束指令特性を示している。図 5 は、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} を示し、図 6 は、磁束指令 ϕ_{2C} を示している。

20

【0074】

図 5 に示すように、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは磁束 ϕ_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、トルク電流指令 I_{qc} が 0 (I_{qc0}) のときには、磁束指令 ϕ_{2CB} は磁束 ϕ_0 から一定の傾きで上昇する。トルク電流指令 I_{qc} が定格 (I_{qCR}) のときには、その上昇の度合いはトルク電流指令 I_{qc} が 0 (I_{qc0}) のときよりも小さい。トルク電流指令 I_{qc} が最大 (I_{qcmax}) のときには、モータ回転速度 ω_m にかかわらず磁束指令 ϕ_{2CB} は磁束 ϕ_0 のままで変わらない。

30

【0075】

また、図 6 に示すように、磁束指令 ϕ_{2C} は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは磁束指令 ϕ_{2C} は磁束 ϕ_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、トルク電流指令 I_{qc} が最大 (I_{qcmax}) のときには、磁束指令 ϕ_{2C} は磁束 ϕ_0 からモータ回転速度 ω_m に反比例して下降する。トルク電流指令 I_{qc} が定格 (I_{qCR}) のときには、その下降の度合いはトルク電流指令 I_{qc} が最大 (I_{qcmax}) のときよりも小さい。トルク電流指令 I_{qc} が 0 (I_{qc0}) のときには、その下降の度合いはトルク電流指令 I_{qc} が定格 (I_{qCR}) のときよりもさらに小さい。

【0076】

40

磁束指令演算器 220 は、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_{2CB} を次式によって求める。

【0077】

$$\phi_{2CB} = \phi_0$$

(0 $\leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$\phi_{2CB} = \{ \phi_0 + K_0 \cdot (1 - K_{I_{qc}} \cdot |I_{qc}|) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (4)

ここで、 ω_0 : 基底速度

ϕ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の磁束を上昇させる係数

$K_{I_{qc}}$: トルク電流指令に応じて磁束を減少させる係数

50

上記の式(1)にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 ϕ_2CB を可視化すると図5のようなグラフとなる。

【0078】

高速回転時の磁束を上昇させる係数 K_0 によって高速軽負荷回転時の磁束指令 ϕ_2CB の値を大きくすることができ、高速軽負荷回転時のモータ電流の安定性が改善できる。 K_0 の最適値をどの値にするかは、トライアンドエラーによる実験によって求めるか、シミュレーションによって求める。

【0079】

また、トルク電流指令 I_{qc} の増加に応じて磁束 ϕ_0 を減少させる係数 $K_{I_{qc}}$ によって、トルク電流指令 I_{qc} が大きくなると磁束指令 ϕ_2CB を小さくし、高速重負荷回転時のインバータ出力電圧の飽和が抑制できる。

10

【0080】

磁束指令演算器220は、上記のようにして弱め界磁前の磁束指令を求めた後、磁束指令 ϕ_2C を次式によって求める。

【0081】

$$\phi_2C = \phi_2CB$$

($0 < |\omega_m| < \omega_0$ のとき)

$$\phi_2C = \phi_2CB \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (5)

上記の式(4)にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 ϕ_2C を可視化すると図6のようなグラフとなる。

20

【0082】

磁束指令演算器220は、モータ回転速度 ω_m に応じて、(4)式の演算を行って弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2CB を求めた後に、磁束指令 ϕ_2CB に対して(5)式の演算を行い、磁束指令 ϕ_2C を磁束制御器240に向けて出力する。

【0083】

[すべり周波数演算器250の動作]

すべり周波数演算器250は、下記の式に示すように、トルク電流指令 I_{qc} と磁束 ϕ_2C とからすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は次式によって求める。

30

【0084】

$$\omega_s = M \cdot R_2 / L_2 \cdot (I_{qc} / \phi_2) \quad \dots (6)$$

R_2 : 二次抵抗

ϕ_2 : 二次磁束

L_2 : 二次インダクタンス

M : 相互インダクタンス

[磁束演算器235の動作]

磁束演算器235は、下記の式に示すように、d軸電流フィードバック I_{dF} から磁束 ϕ_2 を求める。

【0085】

40

$$\phi_2 = 1 / (1 + L_2 / R_2 \cdot S) \cdot M \cdot I_{dF} \quad \dots (7)$$

S : すべり

I_{dF} : q軸電流フィードバック

[モータ制御装置200の動作]

まず、入力したトルク電流指令 I_{qC} を座標変換器225からのq軸電流フィードバック I_{qF} と比較し、q軸電流制御器230によってq軸電圧指令 V_{qC} を求める。

【0086】

一方、モータ回転速度 ω_m とトルク電流指令 I_{qC} とから、磁束指令演算器220が上記の(4)式及び(5)式を用いて算出した磁束を磁束指令 ϕ_2C として与え、磁束演算器235が上記の(7)式を用いて算出した磁束 ϕ_2 と比較し、磁束制御器240によっ

50

て d 軸電流指令 $I_d C$ を求める。d 軸電流指令 $I_d C$ を座標変換器 225 からの d 軸電流フィードバック $I_d F$ と比較し、d 軸電流制御器 245 によって d 軸電圧指令 $V_d C$ を求める。

【0087】

トルク電流指令 $I_q C$ と磁束 ϕ_2 とからすべり周波数演算器 250 が上記の (6) 式を用いてすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は速度演算器 215 が出力するモータ回転速度 ω_m と加算する。すべり周波数指令 ω_s とモータ回転速度 ω_m とで一次周波数指令 ω_1 を求める。一次周波数指令 ω_1 を積分器 255 で積分して固定子位置指令 θ_{mc} を求める。

【0088】

座標変換器 260 は固定子位置指令 θ_{mc} を基に q 軸電圧指令 $V_q C$ 、d 軸電圧指令 $V_d C$ を座標変換し、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を求める。三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} は PWM 制御器 265、電力変換器 270 を介してモータ 280 に供給され、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} に応じてモータ 280 が駆動される。

【0089】

q 軸電流フィードバック $I_q F$ と d 軸電流フィードバック $I_d F$ は、固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器 225 がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。

【0090】

以上に説明したように、磁束指令演算器 220 は、モータ回転速度と基底速度との差に比例させて磁束を増加させた値を求め、その値を基に弱め界磁を実施するようにし、さらに、弱め界磁領域でトルク電流指令 $I_q c$ に比例させて磁束を低減する。つまり、磁束指令演算器 220 は、低速重負荷回転時、高速軽負荷回転時、高速重負荷回転時の全てにおいて最適な磁束指令 $\phi_2 C$ を出力する。

【0091】

このため、実施形態 2 にかかるモータ制御装置 200 によれば、実施形態 1 に係るモータ制御装置 100 と同様の効果を奏する。

【0092】

なお、実施形態 2 に係るモータ制御装置 200 も、q 軸電圧指令 $V_q C$ 、d 軸電圧指令 $V_d C$ を出力する系に非干渉制御器を設け、d 軸及び q 軸の干渉を制御するようにしても良い。また、d 軸及び q 軸の電流制御系の内部を三相電流制御系で構成しても良い。

【0093】

〔実施形態 3〕

〔モータ制御装置 300 の全体構成〕

図 7 は、実施形態 3 に係るモータ制御装置 300 のブロック図である。実施形態 3 に係るモータ制御装置 300 は、実施形態 2 に係るモータ制御装置 200 の構成に最大一次電流指令算出器、トルク制限値演算器、リミッタ及び q 軸電流演算器を付加している。

【0094】

モータ制御装置 300 は、q 軸電圧指令 $V_q C$ を与える系として、q 軸電流制御器 330、最大一次電流指令算出器 375、トルク制限値演算器 385、リミッタ 390 及び q 軸電流演算器 395 を有する。q 軸電流制御器 330 は実施形態 2 の q 軸電流制御器 230 と同一である。

【0095】

最大一次電流指令算出器 375 は、モータ 380 に供給する一次電流指令の最大値を算出し、最大一次電流指令 I_{PC} としてトルク制限値演算器 385 に出力する。

【0096】

トルク制限値演算器 385 は、磁束制御器 340 が出力する d 軸電流指令 $I_d C$ と最大一次電流指令 I_{PC} とから、トルク制限値 T_{LIM} を演算する。なお、トルク制限値演算器 385 の詳細な動作は後述する。

【0097】

10

20

30

40

50

リミッタ 390 は、トルク制限値演算器 385 が演算したトルク制限値 T_{LIM} を入力し、トルク指令 T_{CB} の値を $\pm T_{LIM}$ 内に制限する。

【0098】

q 軸電流演算器 395 は、リミッタ 390 を介して入力されるトルク指令 T_{CB} を用いて q 軸電流 I_q を演算する。

【0099】

また、モータ制御装置 300 は、d 軸電圧指令 V_d を与える系として、磁束指令演算器 320、磁束制御器 340、d 軸電流制御器 345 を有する。

【0100】

磁束指令演算器 320 は、トルク指令 T_{CB} の絶対値を最大トルク T_{CBm} で割り算して求めたトルク指令比 T_{CC} と、モータ回転速度 ω_m とを入力し、定出力領域を広くとるための最適な磁束指令 ϕ_2 を演算する。最大トルク T_{CBm} は、速度演算器 315 から出力されるモータ回転速度 ω_m から求める。最大トルク T_{CBm} は、最大トルク T_m を基底速度 ω_0 以上の回転速度に反比例させて減少させることで求めたトルクである。なお、磁束指令演算器 320 の詳細な動作は後述する。

10

【0101】

磁束制御器 340 及び d 軸電流制御器 345 は、実施形態 2 の磁束制御器 240 及び d 軸電流制御器 245 と同一である。

【0102】

さらに、モータ制御装置 300 は、座標変換を行わせるための系として、すべり周波数演算器 350、積分器 355、OSC 357、座標変換器 325、360 を有する。すべり周波数演算器 350、積分器 355、OSC 357、座標変換器 325、360 は、実施形態 2 のすべり周波数演算器 250、積分器 255、OSC 257、座標変換器 225、260 と同一である。

20

【0103】

さらに、モータ制御装置 300 は、モータ 380 を駆動させるための系として、PWM 制御器 365、電力変換器 370 を有する。PWM 制御器 365、電力変換器 370 は、実施形態 2 の PWM 制御器 265、電力変換器 270 と同一である。なお、PWM 制御器 365、電力変換器 370、q 軸電流制御器 330、d 軸電流制御器 345、座標変換器 360 によってモータ駆動部を形成する。

30

【0104】

[磁束指令演算器 320 の動作]

前述のように、磁束指令演算器 320 は、定出力領域を広くとるための最適な磁束指令 ϕ_2 を演算する。

【0105】

図 8 は、図 7 の磁束指令演算器 320 におけるモータ回転速度 ω_m と弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2 との関係を示す図である。磁束指令演算器 320 はモータ回転速度 ω_m に応じた弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2 を演算する。また、図 9 は、図 7 の磁束指令演算器 320 におけるモータ回転速度 ω_m と磁束指令 ϕ_2 との関係を示す図である。磁束指令演算器 320 はモータ回転速度 ω_m に応じた磁束指令 ϕ_2 を演算する。

40

【0106】

図 8 及び図 9 は、トルク指令比 T_{CC} が 0 (T_{CC0})、定格 (T_{CCR})、最大 (T_{CCmax}) のときのモータ回転速度 ω_m に対する磁束 ϕ_0 の磁束指令特性を示している。図 8 は、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2 を示し、図 9 は、磁束指令 ϕ_2 を示している。

【0107】

図 8 に示すように、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2 は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは磁束 ϕ_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、トルク指令比 T_{CC} が 0 (T_{CC0}) のときには、磁束指令 ϕ_2 は磁束 ϕ_0 から一定の傾きで上昇する。トルク指令比 T_{CC} が定格 (T_{CCR}) のときには、その上昇の度合いはトルク指

50

令比 TCC が 0 ($TCC0$) のときよりも小さい。トルク指令比 TCC が最大 ($TCCmax$) のときには、モータ回転速度 ω_m にかかわらず磁束指令 ϕ_2CB は磁束 ϕ_0 のままで変わらない。

【0108】

また、図 9 に示すように、磁束指令 ϕ_2C は、モータ回転速度 ω_m が 0 から ω_0 までは磁束指令 ϕ_2C は磁束 ϕ_0 のままで変わらない。モータ回転速度が ω_0 を超えると、トルク指令比 TCC が最大 ($TCCmax$) のときには、磁束指令 ϕ_2C は磁束 ϕ_0 からモータ回転速度 ω_m に反比例して下降する。トルク指令比 TCC が定格 ($TCCR$) のときには、その下降の度合いはトルク指令比 TCC が最大 ($TCCmax$) のときよりも小さい。トルク指令比 TCC が 0 ($TCC0$) のときには、その下降の度合いはトルク指令比 TCC が定格 ($TCCR$) のときよりもさらに小さい。

10

【0109】

まず、磁束指令演算器 320 が入力するトルク指令比 TCC は次のようにして求める。

【0110】

速度演算器 315 から出力されるモータ回転速度 ω_m を用いて最大トルク $TCBm$ を求める。

【0111】

$$TCBm = Tm$$

(0 $|\omega_m|$ ω_0 のとき)

$$TCBm = Tm \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (8)

20

次に、トルク指令比 TCC を求める。

【0112】

$$TCC = |TCB| / TCBm$$

磁束指令演算器 320 は、弱め界磁前の磁束指令 ϕ_2CB を次式によって求める。

【0113】

$$\phi_2CB = \phi_0$$

(0 $|\omega_m|$ ω_0 のとき)

$$\phi_2CB = \{ \phi_0 + K_0 \cdot (1 - K_{TC} \cdot TCC) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

... (9)

30

ここで、 ω_0 : 基底速度

ϕ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 高速回転時の磁束を上昇させる係数

K_{TC} : トルク指令比に応じて磁束を減少させる係数

上記の式 (9) にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 ϕ_2CB を可視化すると図 8 のようなグラフとなる。

【0114】

高速回転時の磁束を上昇させる係数 K_0 によって高速軽負荷回転時の磁束指令 ϕ_2CB の値を大きくすることができ、高速軽負荷回転時のモータ電流の安定性が改善できる。 K_0 の最適値をどの値にするかは、トライアンドエラーによる実験によって求めるか、シミュレーションによって求める。

40

【0115】

また、トルク指令比 TCC の増加に応じて磁束 ϕ_0 を減少させる係数 K_{TC} によって、トルク指令比 TCC が大きくなると磁束指令 ϕ_2CB を小さくし、高速重負荷回転時のインバータ出力電圧の飽和が抑制できる。

【0116】

磁束指令演算器 320 は、上記のようにして弱め界磁前の磁束指令を求めた後、磁束指令 ϕ_2C を次式によって求める。

【0117】

$$\phi_2C = \phi_2CB$$

50

(0 | ω_m | ω_0 のとき)
 $\phi_2 C = \phi_2 C B \cdot \omega_0 / |\omega_m|$
 ($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき) ... (10)

上記の式 (10) にモータ回転速度 ω_m を代入して磁束指令 $\phi_2 C$ を可視化すると図 9 のようなグラフとなる。

【 0 1 1 8 】

磁束指令演算器 3 2 0 は、モータ回転速度 ω_m に応じて、(9) 式の演算を行って弱め界磁前の磁束指令 $\phi_2 C B$ を求めた後に、磁束指令 $\phi_2 C B$ に対して (10) 式の演算を行い、磁束指令 $\phi_2 C$ を磁束制御器 3 4 0 に向けて出力する。

【 0 1 1 9 】

10

[すべり周波数演算器 3 5 0 の動作]

すべり周波数演算器 3 5 0 は、実施形態 2 のすべり周波数演算器 2 5 0 と同様に、上記の (6) 式を用いて、トルク電流指令 I_{qc} と磁束 $\phi_2 C$ とからすべり周波数指令 ω_s を算出する。

【 0 1 2 0 】

[磁束演算器 3 3 5 の動作]

磁束演算器 3 3 5 は、実施形態 2 の磁束演算器 2 3 5 と同様に、上記の (7) 式を用いて、d 軸電流フィードバック I_{dF} から磁束 ϕ_2 を求める。

【 0 1 2 1 】

[トルク制限値演算器 3 8 5 の動作]

20

トルク制限値演算器 3 8 5 は、d 軸電流指令 I_{dC} と最大一次電流指令 I_{PC} とから次式を用いてトルク制限値 T_{LIM} を演算する。

【 0 1 2 2 】

$$T_{LIM} = P_m \cdot M / L_2 \cdot \phi_2 \cdot (I_{PC}^2 - I_{dC}^2)^{1/2} \quad \dots (11)$$

ここで、 P_m はモータ 3 8 0 の極対数

[q 軸電流演算器 3 9 5 の動作]

q 軸電流演算器 3 9 5 は、リミッタ 3 9 0 を介してトルク制限された後のトルク指令を求め、q 軸電流指令 I_{qC} を、次式を用いて求める。

【 0 1 2 3 】

$$I_{qC} = L_2 / (P_m \cdot M \cdot \phi_2) \cdot (\text{トルク制限された後のトルク指令}) \quad \dots (12)$$

30

[モータ制御装置 3 0 0 の動作]

入力したトルク指令 T_{CB} は、リミッタ 3 9 0 によってトルク制限値 T_{LIM} 内に制限され、q 軸電流演算器 3 9 5 に出力される。q 軸電流演算器 3 9 5 は、トルク制限後のトルク指令 T_{CB} に基づいて q 軸電流指令 I_{qC} を求める。q 軸電流指令 I_{qC} を座標変換器 3 2 5 からの q 軸電流フィードバック I_{qF} と比較し、q 軸電流制御器 3 3 0 によって q 軸電圧指令 V_{qC} を求める。なお、リミッタ 3 9 0 がトルク指令 T_{CB} の値を制限するためのトルク制限値 T_{LIM} は、トルク制限値演算器 3 8 5 が上記の (11) 式を用いて算出する。

【 0 1 2 4 】

一方、モータ回転速度 ω_m とトルク指令比 T_{CC} とから、磁束指令演算器 3 2 0 が上記の (9) 式及び (10) 式を用いて算出した磁束を磁束指令 $\phi_2 C$ として与え、磁束演算器 3 3 5 が上記の (7) 式を用いて算出した磁束 ϕ_2 と比較し、磁束制御器 3 4 0 によって d 軸電流指令 I_{dC} を求める。d 軸電流指令 I_{dC} を座標変換器 3 2 5 からの d 軸電流フィードバック I_{dF} と比較し、d 軸電流制御器 3 4 5 によって d 軸電圧指令 V_{dC} を求める。

40

【 0 1 2 5 】

トルク電流指令 I_{qC} と磁束 ϕ_2 とからすべり周波数演算器 3 5 0 が上記の (6) 式を用いてすべり周波数指令 ω_s を算出する。すべり周波数指令 ω_s は速度演算器 3 1 5 が出力するモータ回転速度 ω_m と加算する。すべり周波数指令 ω_s とモータ回転速度 ω_m とで一次周波数指令 ω_1 を求める。一次周波数指令 ω_1 を積分器 3 5 5 で積分して固定子位置

50

指令 θ_{mc} を求める。

【0126】

座標変換器360は固定子位置指令 θ_{mc} を基に q 軸電圧指令 V_{qc} 、d 軸電圧指令 V_{dc} を座標変換し、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を求める。三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} は PWM 制御器365、電力変換器370を介してモータ380に供給され、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} に応じてモータ380が駆動される。

【0127】

q 軸電流フィードバック I_{qf} と d 軸電流フィードバック I_{df} は、固定子位置指令 θ_{mc} を基に、座標変換器325がモータ電流 I_u 、 I_v を座標変換することによって求める。

10

【0128】

以上に説明したように、磁束指令演算器320は、モータ回転速度と基底速度との差に比例させて磁束を増加させた値を求め、その値を基に弱め界磁を実施するようにし、さらに、弱め界磁領域でトルク電流指令 I_{qc} に比例させて磁束を低減する。つまり、磁束指令演算器320は、低速重負荷回転時、高速軽負荷回転時、高速重負荷回転時の全てにおいて最適な磁束指令 ϕ_{2c} を出力する。

【0129】

このため、実施形態3にかかるモータ制御装置300によれば、実施形態1、2に係るモータ制御装置100と同様の効果を奏する。

【0130】

なお、実施形態3に係るモータ制御装置300も、q 軸電圧指令 V_{qc} 、d 軸電圧指令 V_{dc} を出力する系に非干渉制御器を設け、d 軸及び q 軸の干渉を制御するようにしても良い。また、d 軸及び q 軸の電流制御系の内部を三相電流制御系で構成しても良い。

20

【符号の説明】

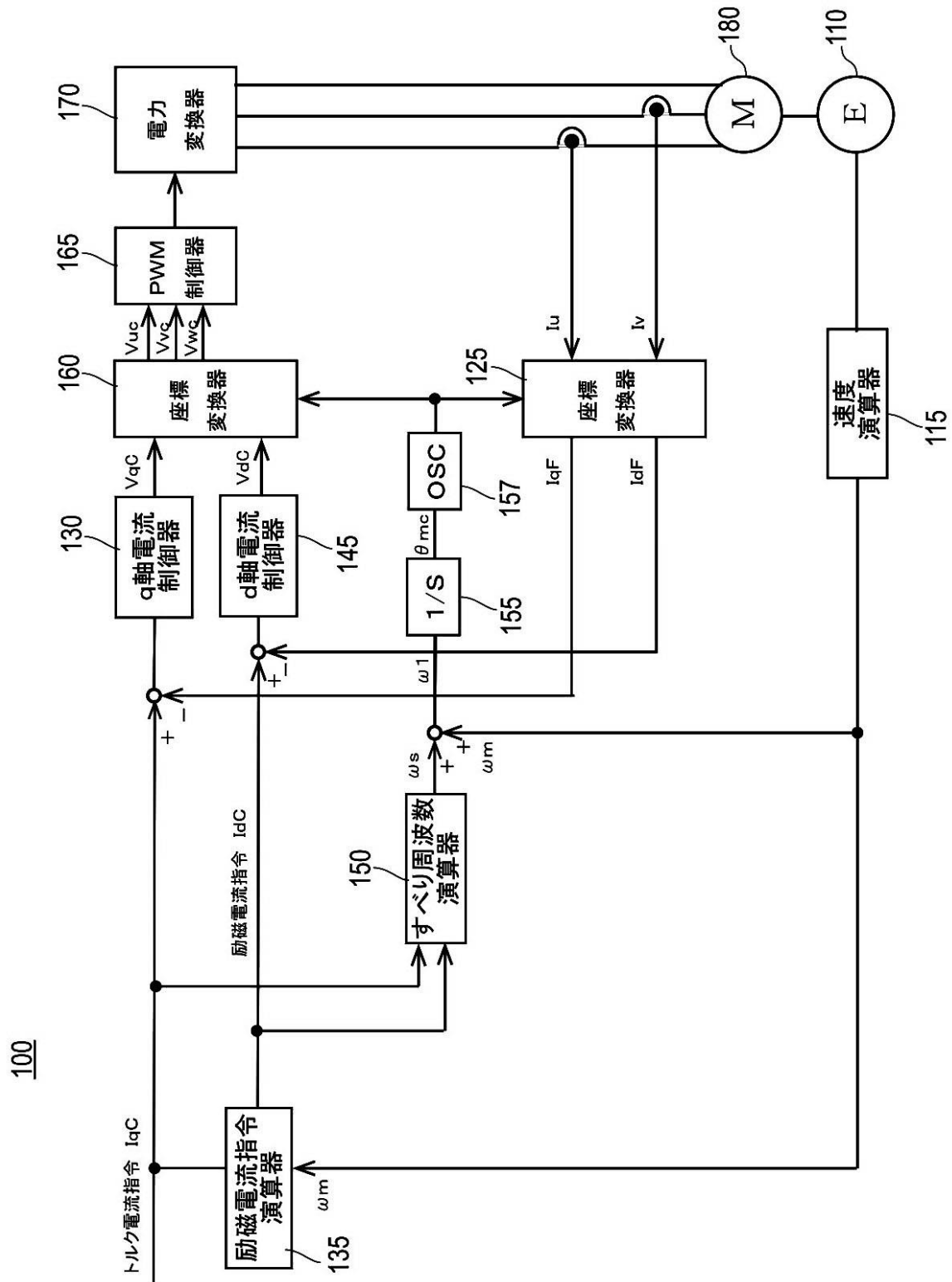
【0131】

100、200、300 モータ制御装置、
 10、110、210、310 エンコーダ、
 15、115、215、315 速度演算器、
 20 速度制御器、
 25、125、225、325 座標変換器、
 135 励磁電流指令演算器、
 30、130、230、330 q 軸電流制御器、
 235、335 磁束演算器、
 240、340 磁束制御器、
 45、145、245、345 d 軸電流制御器、
 50、150、250、350 すべり周波数演算器、
 55、155、255、355 積分器、
 60、160、260、360 座標変換器、
 65、165、265、365 PWM 制御器、
 70、170、270、370 電力変換器、
 80、180、280、380 モータ、
 157、257、357 OSC、
 220、320 磁束指令演算器。

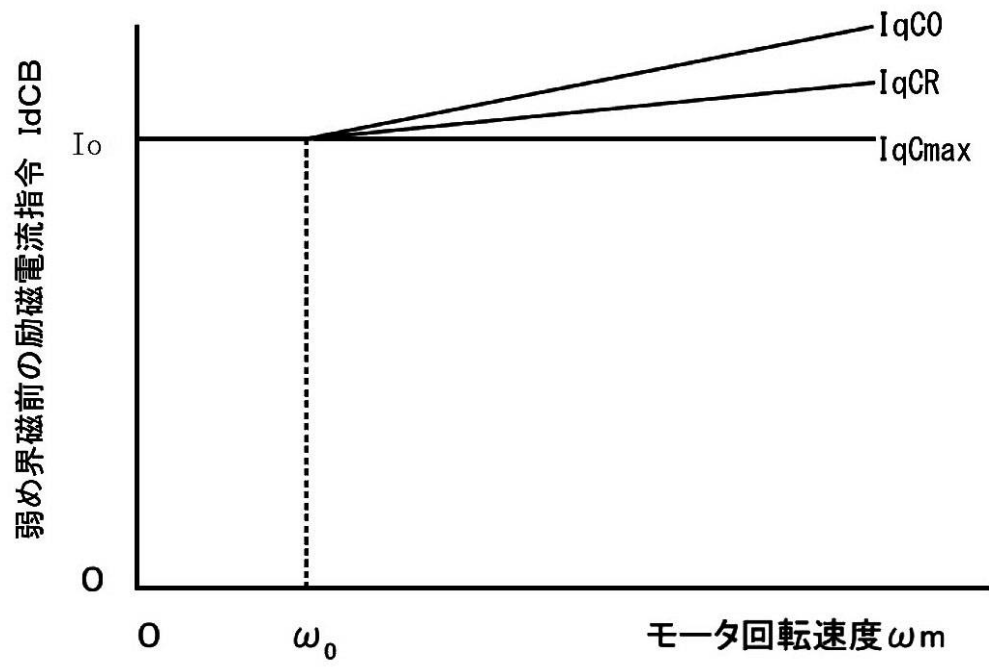
30

40

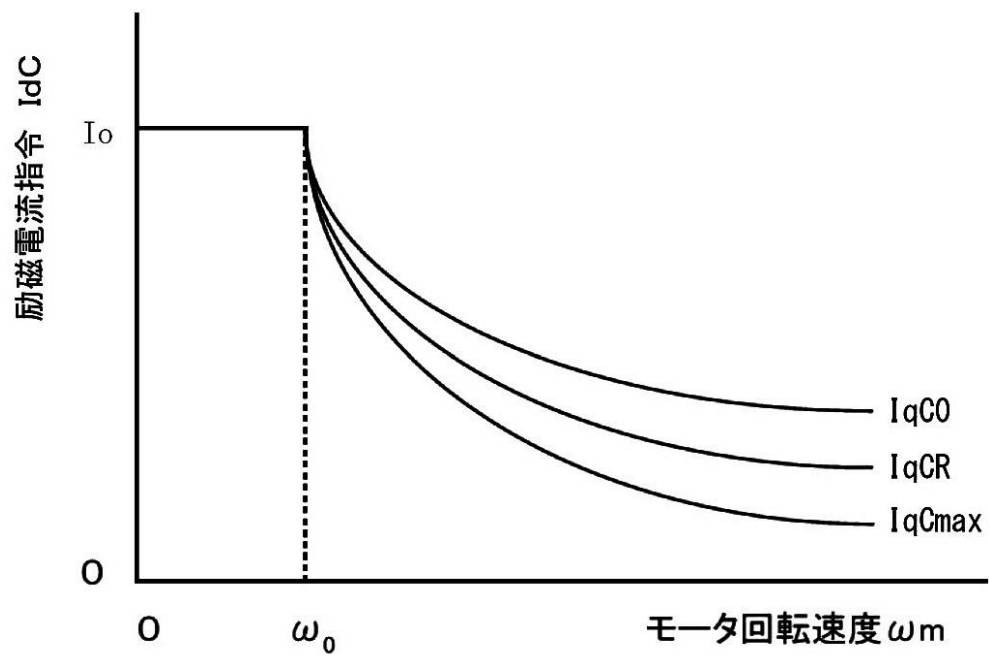
【図 1】



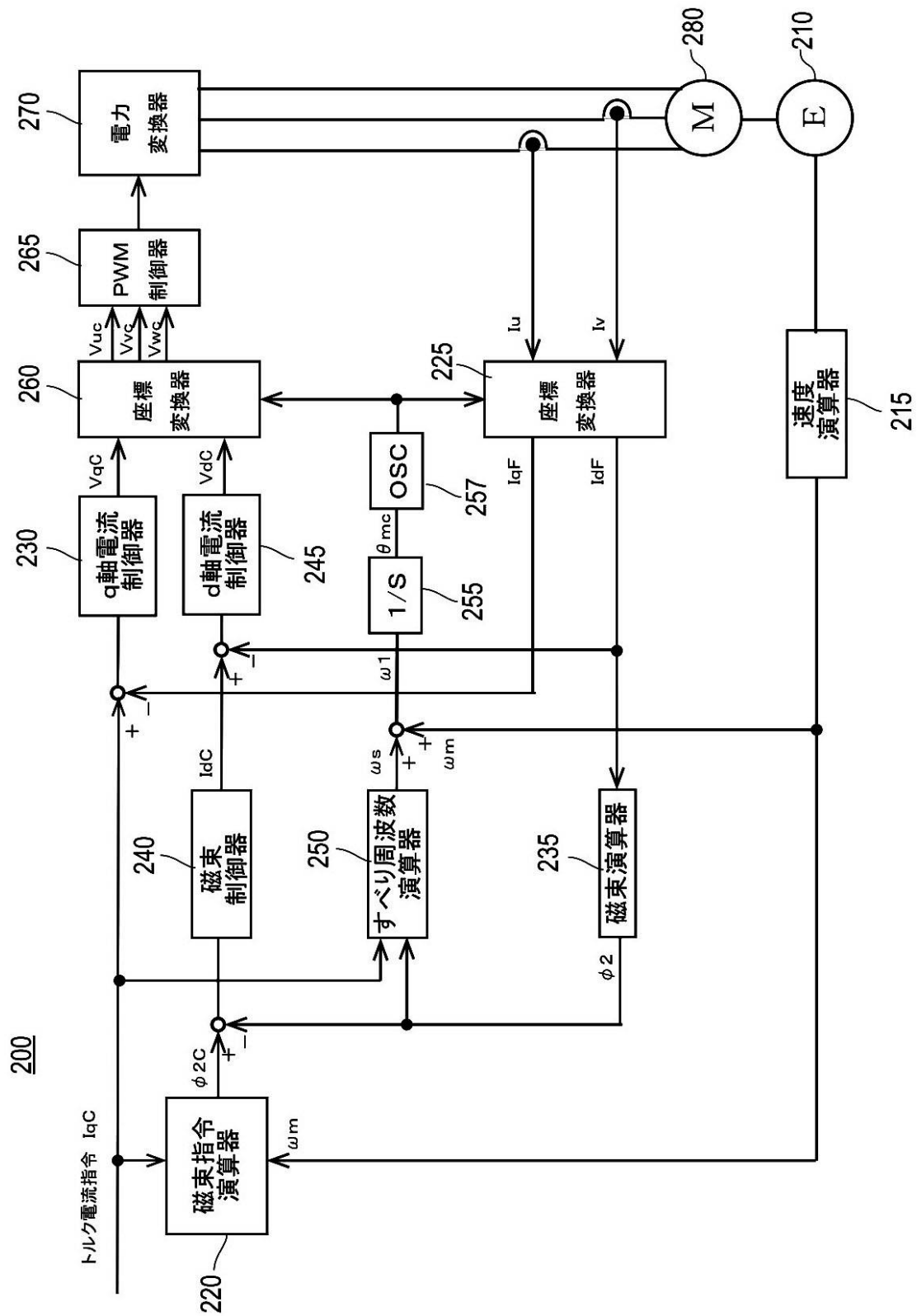
【図 2】



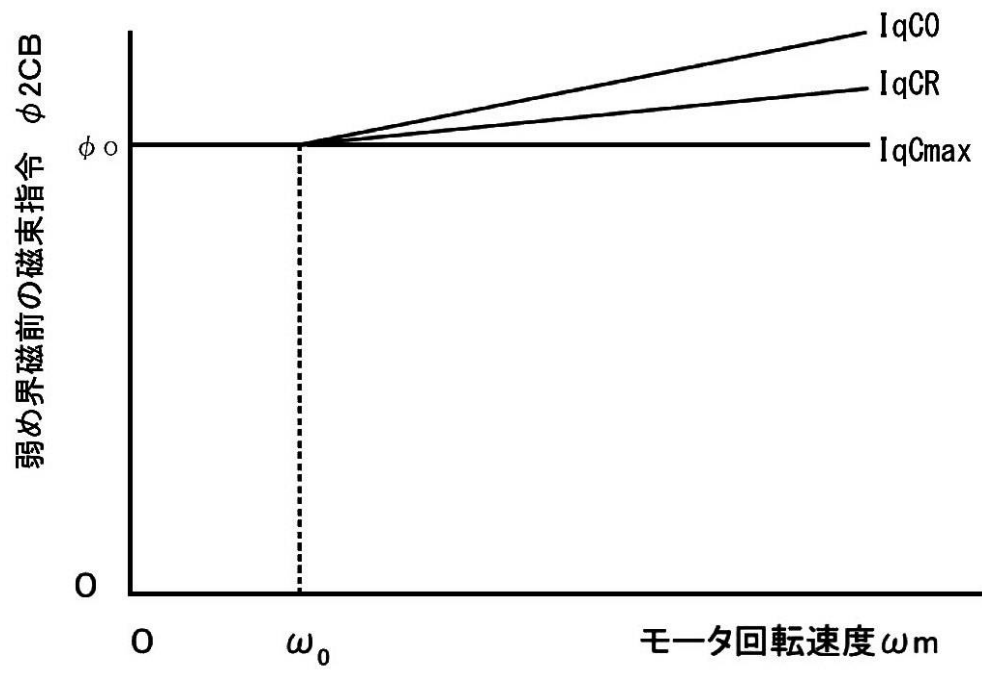
【図 3】



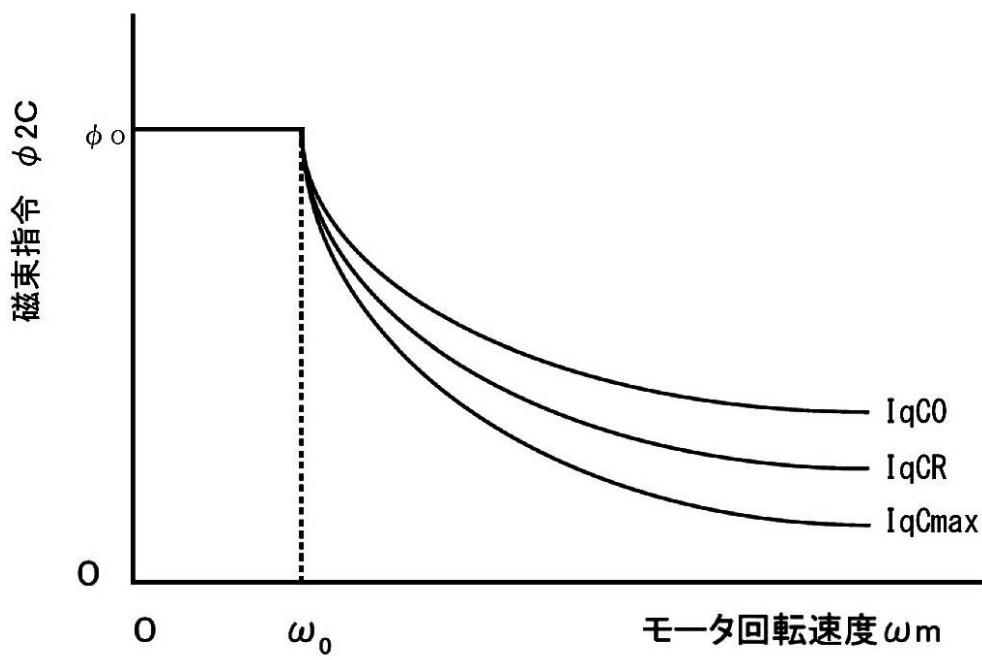
【図 4】



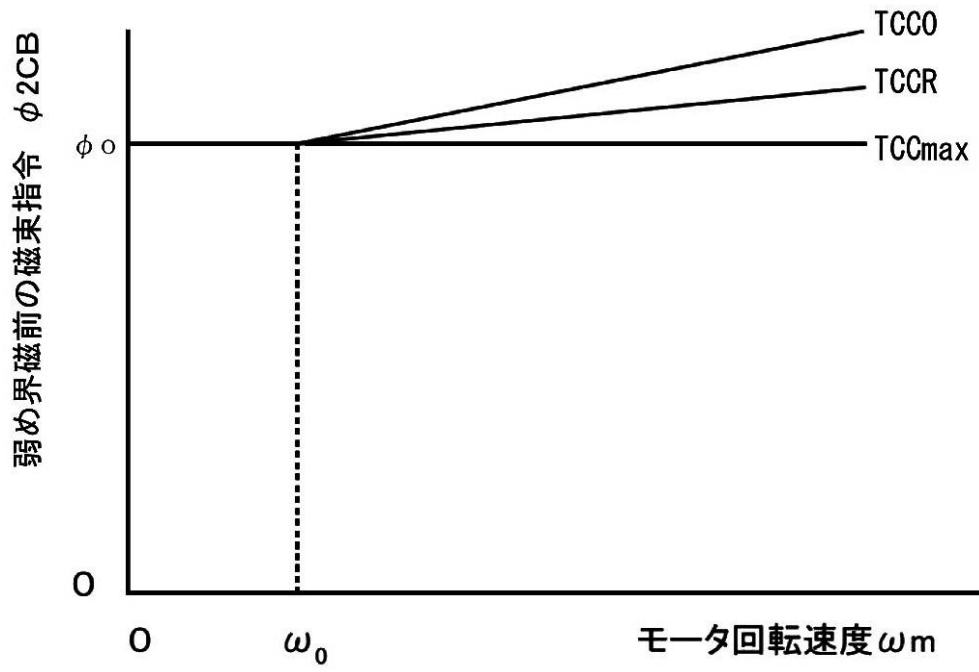
【図 5】



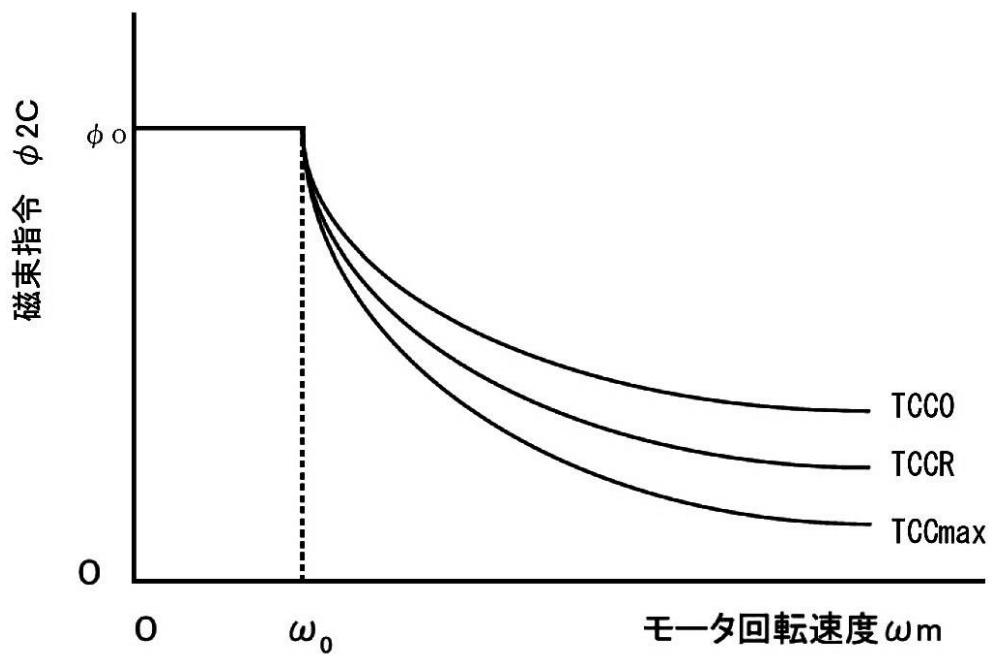
【図 6】



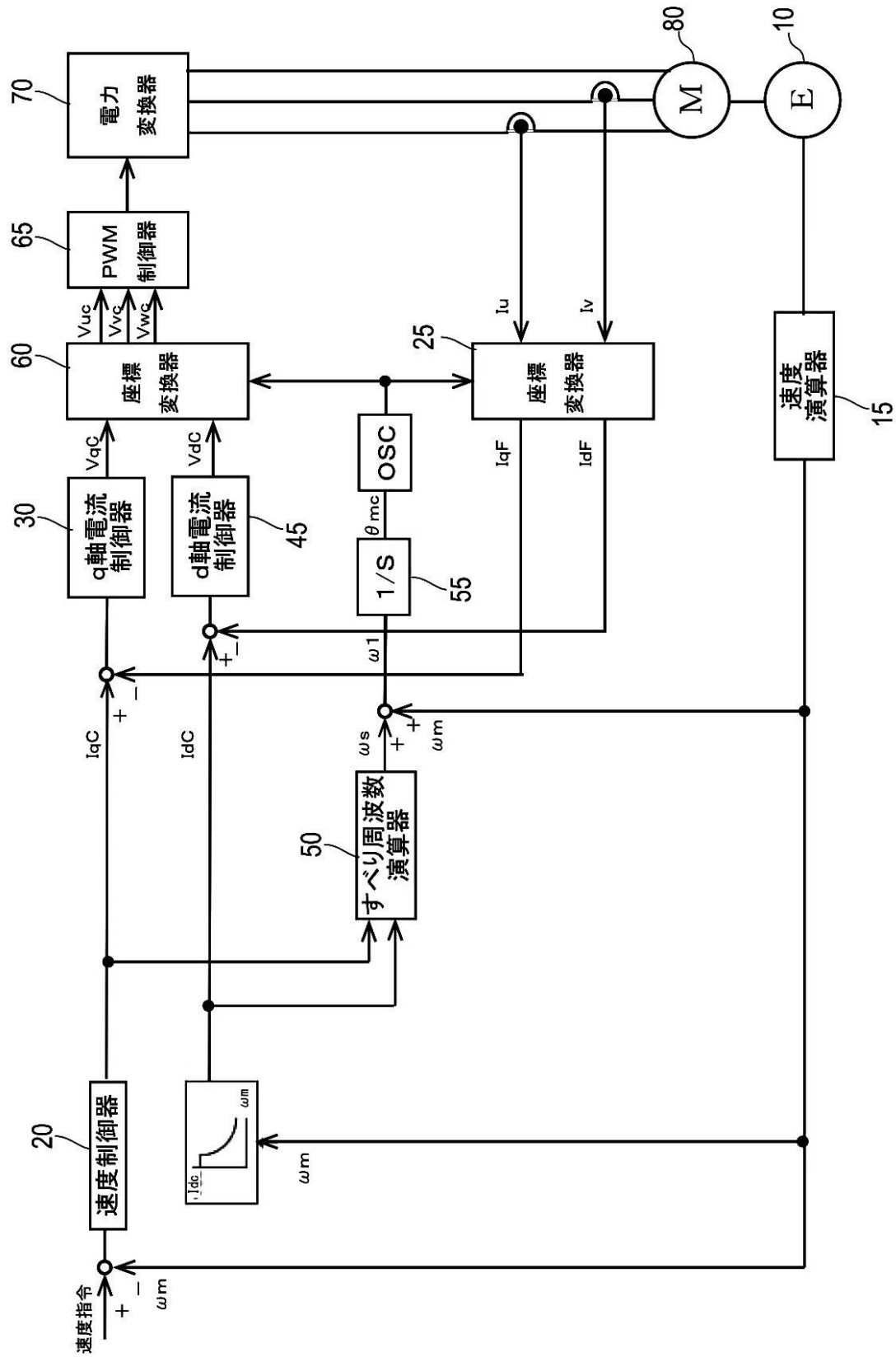
【 図 8 】



【 図 9 】



【図 10】



【手続補正書】

【提出日】平成26年5月19日(2014.5.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた励磁電流指令を演算する励磁電流指令演算器と、

前記トルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、を有し、

前記励磁電流指令演算器は、

前記モータ回転速度が基底速度以上では弱め界磁前の励磁電流指令を前記モータ回転速度の増加に応じて上昇させる一方前記トルク電流指令の増加に応じて減少させて求め、求めた弱め界磁前の励磁電流指令をさらに前記モータ回転速度の増加に応じて反比例させることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 2】

前記モータに供給する電流を座標変換することによって q 軸電流フィードバック及び d 軸電流フィードバックを求める座標変換器をさらに有し、

前記モータ駆動部は、前記トルク電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電力を求めることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記トルク電流指令と前記励磁電流指令演算器が演算した励磁電流指令とからすべり周波数指令を演算するすべり周波数演算器をさらに有し、

前記座標変換器は、前記すべり周波数演算器が演算したすべり周波数指令を用いて前記モータに供給する電流を座標変換することを特徴とする請求項 2 に記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

前記励磁電流指令演算器は、

まず弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を次式によって求める。

$$I_{dCB} = I_0$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dCB} = \{ I_0 + K_0 \cdot (1 - K_{Tqc} \cdot |I_{qc}|) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_0 : 基底速度

ω_m : モータ回転速度

I_0 : 基底速度における励磁電流

K_0 : 基底速度よりも高速回転時の励磁電流を上昇させる係数

K_{Tqc} : トルク電流指令に応じて励磁電流を減少させる係数

次に、弱め界磁前の励磁電流指令 I_{dCB} を求めた後、励磁電流指令 I_{dC} を次式によって求める。

$$I_{dC} = I_{dCB}$$

($0 \leq |\omega_m| \leq \omega_0$ のとき)

$$I_{dC} = I_{dCB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

以上の演算を行うことによって励磁電流指令 I_{dC} を求めることを特徴とする請求項 3 に記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

前記モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

前記トルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、を有し、

前記磁束指令演算器は、

前記モータ回転速度が基底速度以上では弱め界磁前の磁束指令を前記モータ回転速度の増加に応じて上昇させる一方前記トルク電流指令の増加に応じて減少させて求め、求めた弱め界磁前の磁束指令をさらに前記モータ回転速度の増加に応じて反比例させることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 6】

前記モータに供給する電流から求めた磁束は、前記モータに供給する電流を座標変換することによって求めた d 軸電流フィードバックから磁束演算器が求めることを特徴とする請求項 5 に記載のモータ制御装置。

【請求項 7】

前記トルク電流指令と前記磁束演算器が演算した磁束とからすべり周波数指令を演算するすべり周波数演算器をさらに有することを特徴とする請求項 6 に記載のモータ制御装置。

【請求項 8】

前記 d 軸電流フィードバックは、前記モータに供給する電流を座標変換する座標変換器によって求め、前記座標変換器は、前記モータに供給する電流を座標変換して q 軸電流フィードバックをも求めることを特徴とする請求項 6 または 7 に記載のモータ制御装置。

【請求項 9】

前記モータ駆動部は、前記トルク電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電力を求めることを特徴とする請求項 8 に記載のモータ制御装置。

【請求項 10】

前記磁束指令演算器は、

まず、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を次式によって求める。

$$\varphi_{2CB} = \varphi_0$$

($0 < |\omega_m| < \omega_0$ のとき)

$$\varphi_{2CB} = \{ \varphi_0 + K_0 \cdot (1 - K_{Tqc} \cdot |I_{qc}|) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

ここで、 ω_0 : 基底速度

φ_0 : 基底速度における磁束

K_0 : 基底速度よりも高速回転時の磁束を上昇させる係数

K_{Tqc} : トルク電流指令に応じて磁束を減少させる係数

次に、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を求めた後、磁束指令 φ_{2C} を次式によって求める。

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB}$$

($0 < |\omega_m| < \omega_0$ のとき)

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

($\omega_0 < |\omega_m|$ のとき)

以上の演算を行うことによって磁束指令 φ_{2C} を求めることを特徴とする請求項 9 に記載のモータ制御装置。

【請求項 11】

モータ回転速度を用いて求めた最大トルクで、与えられたトルク指令の絶対値を割ることにより得られたトルク指令比と、前記モータ回転速度とを用いて、モータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた磁束指令を演算する磁束指令演算器と、

前記モータに供給する電流から求めた磁束と前記磁束指令演算器が演算した磁束指令とから励磁電流指令を求める磁束制御器と、

前記トルク電流指令と求めた励磁電流指令とを用いて前記モータを駆動するモータ駆動部と、を有し、

前記磁束指令演算器は、

前記モータ回転速度が基底速度以上では弱め界磁前の磁束指令を前記モータ回転速度の増加に応じて上昇させる一方前記トルク指令比の増加に応じて減少させて求め、求めた弱め界磁前の磁束指令をさらに前記モータ回転速度の増加に応じて反比例させることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 12】

前記モータに供給する電流から求めた磁束は、前記モータに供給する電流を座標変換することによって求めた d 軸電流フィードバックから磁束演算器が求めることを特徴とする請求項 11 に記載のモータ制御装置。

【請求項 13】

前記トルク指令を一定の値に制限するリミッタと、

前記リミッタによって制限されたトルク指令を入力して前記 q 軸電流指令を出力する q 軸電流演算器と、をさらに有し、

前記モータ駆動部は、前記 q 軸電流演算器が出力した q 軸電流指令から前記 q 軸電流フィードバックを減算した値及び前記励磁電流指令から前記 d 軸電流フィードバックを減算した値を用いて前記モータを駆動する電力を求めることを特徴とする請求項 12 に記載のモータ制御装置。

【請求項 14】

前記磁束制御器が出力する励磁電流指令、最大一次電流指令算出器が出力する最大一次電流指令及び磁束演算器が出力する磁束を用いて、前記リミッタに設定するトルク制限値を算出するトルク制限値演算器をさらに有し、

前記リミッタは、前記トルク制限値演算器が出力するトルク制限値を用いて前記 q 軸電流演算器に入力されるトルク指令を一定の値に制限することを特徴とする請求項 13 に記載のモータ制御装置。

【請求項 15】

前記磁束指令演算器が入力するトルク指令比 T_{CC} は次のようにして求める。

$$T_{CBm} = T_m$$

$$(0 < |\omega_m| < \omega_0 \text{ のとき})$$

$$T_{CBm} = T_m \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

$$(\omega_0 < |\omega_m| \text{ のとき})$$

次に、トルク指令比 T_{CC} を求める。

$$T_{CC} = |T_{CB}| / T_{CBm}$$

前記磁束指令演算器は、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を次式によって求める。

$$\varphi_{2CB} = \varphi_0$$

$$(0 < |\omega_m| < \omega_0 \text{ のとき})$$

$$\varphi_{2CB} = \{ \varphi_0 + K_0 \cdot (1 - K_{TC} \cdot T_{CC}) \} \cdot (|\omega_m| - \omega_0)$$

$$(\omega_0 < |\omega_m| \text{ のとき})$$

ここで、 ω_0 ：基底速度

φ_0 ：基底速度における磁束

K_0 ：基底速度よりも高速回転時の磁束を上昇させる係数

K_{TC} ：トルク指令比に応じて磁束を減少させる係数

次に、弱め界磁前の磁束指令 φ_{2CB} を求めた後、磁束指令 φ_{2C} を次式によって求める。

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB}$$

$$(0 < |\omega_m| < \omega_0 \text{ のとき})$$

$$\varphi_{2C} = \varphi_{2CB} \cdot \omega_0 / |\omega_m|$$

$$(\omega_0 < |\omega_m| \text{ のとき})$$

以上の演算を行うことによって磁束指令 φ_{2C} を求めることを特徴とする請求項 14 に

記載のモータ制御装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0020】

励磁電流指令演算器は、トルク電流指令とモータ回転速度とを用いてモータの回転負荷状態を認識し当該回転負荷状態に応じた励磁電流指令を演算する。モータ駆動部は、トルク電流指令と演算した励磁電流指令とを用いてモータを駆動する。

励磁電流指令演算器は、モータ回転速度が基底速度以上では弱め界磁前の励磁電流指令をモータ回転速度の増加に応じて上昇させる一方トルク電流指令の増加に応じて減少させて求め、求めた弱め界磁前の励磁電流指令をさらにモータ回転速度の増加に応じて反比例させる。