(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5200628号
(P5200628)
(45)発行日　平成25年6月5日(2013.6.5)　(24)登録日　平成25年2月22日(2013.2.22)

(51)Int.Cl.　　F I
H02P 21/00 (2006.01)　　H02P 5/408 A
H02P 27/04 (2006.01)　　B62D 5/04
B62D 5/04 (2006.01)

請求項の数 6　(全 24 頁)

(21)出願番号　特願2008-91978(P2008-91978)
(22)出願日　平成20年3月31日(2008.3.31)
(65)公開番号　特開2009-247147(P2009-247147A)
(43)公開日　平成21年10月22日(2009.10.22)
審査請求日　平成23年2月14日(2011.2.14)

(73)特許権者　000001247
株式会社ジェイテクト
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号
(74)代理人　100104695
弁理士　島田　明宏
(74)代理人　100121348
弁理士　川原　健児
(72)発明者　上田　武史
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号
株式会社ジェイテクト内
(72)発明者　狩集　裕二
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号
株式会社ジェイテクト内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】モータ制御装置および電動パワーステアリング装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ブラシレスモータを駆動する弱め磁束制御可能なモータ制御装置であって、
前記ブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qに基づき、前記ブラシレスモータに印加すべき電圧を示すｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qを求める制御演算手段と、
前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを、予め決められた電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qと前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qとが
$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim$　…（Ａ１）、
$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim$　…（Ａ２）、
を満たすように決定する指令電流設定手段と、
前記制御演算手段により求められたｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qに基づき前記ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備え、
前記指令電流設定手段は、
前記ブラシレスモータに供給すべき電流の目標値を設定する目標電流設定手段と、
前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を越える場合に、前記電圧制限値Ｖｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qが次式（Ａ３）を満たすように前記目標値のｄ軸およびｑ軸成分を補正することにより前記ｄ軸電流指令値i_d

および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を求める目標値補正手段とを含み、

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)}=Vlim$ …（Ａ３）、

前記目標値補正手段は、前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を超える場合に、

前記式（Ａ１）を満たすように前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を変化させたときに前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$が最大となる前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$を最大ｄ軸電流値ｉ$_{dm}$として求め、

前記制御演算手段により前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$を求めるときに用いられる前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を、１よりも小さい正数として予め定められた係数Ｇｄに対し前記式（Ａ３）および次式（Ａ４）を満たすように決定することを特徴とする、モータ制御装置。

$i_d=Gd\cdot i_{dm}$ …（Ａ４）

【請求項２】

ブラシレスモータを駆動する弱め磁束制御可能なモータ制御装置であって、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸電流指令値ｉ$_d$およびｑ軸電流指令値ｉ$_q$に基づき、前記ブラシレスモータに印加すべき電圧を示すｄ軸電圧指令値ｖ$_d$およびｑ軸電圧指令値ｖ$_q$を求める制御演算手段と、

前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を、予め決められた電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$と前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$とが

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)}\leqq Vlim$ …（Ａ１）、

$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)}\leqq Ilim$ …（Ａ２）、

を満たすように決定する指令電流設定手段と、

前記制御演算手段により求められたｄ軸電圧指令値ｖ$_d$およびｑ軸電圧指令値ｖ$_q$に基づき前記ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備え、

前記指令電流設定手段は、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流の目標値を設定する目標電流設定手段と、

前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を越える場合に、前記電圧制限値Ｖｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$が次式（Ａ３）を満たすように前記目標値のｄ軸およびｑ軸成分を補正することにより前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を求める目標値補正手段とを含み、

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)}=Vlim$ …（Ａ３）、

前記目標値補正手段は、前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を超える場合に、

前記式（Ａ１）を満たすように前記ｄ軸電流指令値ｉ$_d$および前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を変化させたときの前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$のうち前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$が最大となる前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$をそれぞれ第１のｄ軸電圧値ｖ$_{d1}$および第１のｑ軸電圧値ｖ$_{q1}$として求め、

前記式（Ａ１）および次式（Ａ４）を満たすように前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$を変化させたときの前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$のうち前記ｑ軸電流指令値ｉ$_q$が最大となる前記ｄ軸電圧指令値ｖ$_d$および前記ｑ軸電圧指令値ｖ$_q$をそれぞれ第２のｄ軸電圧値ｖ$_{d2}$および第２のｑ軸電圧値ｖ$_{q2}$として求め、

$i_d=0$ …（Ａ４）、

電圧を示すｄ軸とｑ軸とにより規定される平面上において点（ｖ$_{d1}$，ｖ$_{q1}$）および点（ｖ$_{d2}$，ｖ$_{q2}$）を通る直線と予め定められた正の定数Ｋｄに対し次式（Ａ５）を満たす円との交点を示すｄ軸およびｑ軸電圧値をそれぞれ第３のｄ軸電圧値ｖ$_{d3}$および第３のｑ軸電圧値ｖ$_{q3}$として求め、

$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)}=Ilim-Kd$ …（Ａ５）、

前記第３のｄ軸電圧値v_{d3}および前記第３のｑ軸電圧値v_{q3}が示す電圧を前記ブラシレスモータに印加したときのｄ軸電流の値を第３のｄ軸電流値i_{d3}として求め、

前記制御演算手段により前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めるときに用いられる前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを前記式（Ａ３）および次式（Ａ６）を満たすように決定することを特徴とする、モータ制御装置。

$i_d=i_{d3}$ …（Ａ６）

【請求項３】

前記指令電流設定手段は、前記ｄ軸電流指令値i_dによる前記ブラシレスモータの出力トルクの低下が補償され且つ前記式（Ａ１），（Ａ２）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを修正するトルク低下補償手段を含み、

前記制御演算手段は、前記ｄ軸電流指令値i_dと前記トルク低下補償手段による修正後のｑ軸電流指令値とを用いて前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めることを特徴とする、請求項１または２に記載のモータ制御装置。

【請求項４】

ブラシレスモータを駆動する弱め磁束制御可能なモータ制御装置であって、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qを決定する指令電流設定手段と、

前記指令電流設定手段により決定されたｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qに基づき前記ブラシレスモータに印加すべき電圧を示すｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qを求める制御演算手段と、

前記制御演算手段により求められたｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qに基づき前記ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備え、

前記指令電流設定手段は、

予め決められた電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに対し、前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qと前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qとが次式（Ａ１），（Ａ２）を満たすように前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを決定し、

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)}\leqq Vlim$ …（Ａ１）、

$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)}\leqq Ilim$ …（Ａ２）、

前記ｄ軸電流指令値i_dによる前記ブラシレスモータの出力トルクの低下が補償され且つ前記式（Ａ１），（Ａ２）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを修正するトルク低下補償手段を含み、

前記トルク低下補償手段は、

前記式（Ａ１）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させた場合に前記ｑ軸電流指令値i_qがとりうる最大値を第１最大値として求める第１最大値決定手段と、

前記式（Ａ２）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させた場合に前記ｑ軸電流指令値i_qがとりうる最大値を第２最大値として求める第２最大値決定手段と、

前記ｄ軸電流指令値i_dによる前記ブラシレスモータの出力トルクの低下が補償されるように前記ｑ軸電流指令値i_qを補正する補正手段と、

前記補正手段による補正後のｑ軸電流指令値i_q、前記第１最大値、および前記第２最大値のうち最も小さい値を前記修正後のｑ軸電流指令値として選定する選定手段とを含み、

前記制御演算手段は、前記ｄ軸電流指令値i_dと前記トルク低下補償手段による修正後のｑ軸電流指令値とを用いて前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めることを特徴とする、モータ制御装置。

【請求項５】

前記指令電流設定手段は、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流の目標値を設定する目標電流設定手段と、

前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに

印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を越える場合に、前記電圧制限値Ｖｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qが次式（Ａ３）を満たすように前記目標値のｄ軸およびｑ軸成分を補正することにより前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを求める目標値補正手段とを含むことを特徴とする、請求項４に記載のモータ制御装置。

$$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)}=Vlim \quad \cdots(A3)$$

【請求項６】

車両のステアリング機構にブラシレスモータによって操舵補助力を与える電動パワーステアリング装置であって、

請求項１から５のいずれか１項に記載のモータ制御装置を備え、

前記モータ制御装置は、前記ステアリング機構に操舵補助力を与えるブラシレスモータを駆動することを特徴とする、電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、ブラシレスモータを駆動するためのモータ制御装置、および、そのようなモータ制御装置を備えた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

従来から、運転者がハンドル（ステアリングホイール）に加える操舵トルクに応じて電動モータを駆動することにより車両のステアリング機構に操舵補助力を与える電動パワーステアリング装置が用いられている。電動パワーステアリング装置の電動モータには従来からブラシモータが広く使用されているが、信頼性および耐久性の向上や慣性の低減などの観点から、近年ではブラシレスモータも使用されている。

【０００３】

一般に、ブラシレスモータを高回転かつ高負荷の状態で駆動する場合には、当該ブラシレスモータに印加すべき電圧が大きなものとなるが、実際にはブラシレスモータへの印加電圧は電源電圧による制限を受ける。このため、ブラシレスモータを駆動するための制御装置は、ブラシレスモータへの印加電圧を予め決められた電圧制限値を越えないように制御している（例えば特許文献３～５参照）。その結果、ブラシレスモータの出力トルク（以下「モータトルク」という）は、（単位時間当たりの）回転数Ｎが或る値を超えると、図１３（ａ）に示すように低下し、所望のモータトルクが得られなくなる。

【０００４】

このような高回転領域におけるモータトルクの低下を抑制するための方法として、ブラシレスモータにおけるロータとしての回転界磁のｄ軸方向の磁束を弱めるように負のｄ軸電流をブラシレスモータに流すという弱め磁束制御が従来より知られている（例えば特許文献１，２参照）。ブラシレスモータにおいてこの弱め磁束制御を行うと、モータトルクＴｍ（Ｎ）は回転数Ｎに対し図１３（ｂ）における実線に示すように変化し、回転数Ｎの増大によるトルク低下が抑制される。

【特許文献１】特開２００２－３４５２８１号公報

【特許文献２】特開２００６－２４８３８９号公報

【特許文献３】特開２００３－３０４６９７号公報

【特許文献４】国際公開第２００６／１０９８０９号パンフレット

【特許文献５】特開２００８－２９０８８号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

しかし、予め決められた電圧制限値を越えない範囲でモータトルクを最大化すべくブラシレスモータにｑ軸電流を流そうとすると、ｄ軸電流も増大させる必要がある。その結果、高回転領域において弱め磁束制御によって所望のモータトルクを得ようとすると、モー

タ制御装置に含まれる駆動回路等の配線パターンまたはスイッチング素子に流れる電流が許容値を超え、モータ制御装置が損傷するおそれがある。

【０００６】

そこで本発明の目的は、ブラシレスモータにつき高回転領域において駆動回路等の損傷を回避しつつ弱め磁束制御を行うことができるモータ制御装置を提供することである。また、本発明の他の目的は、そのようなモータ制御装置を備えた電動パワーステアリング装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

第１の発明は、ブラシレスモータを駆動する弱め磁束制御可能なモータ制御装置であって、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qに基づき、前記ブラシレスモータに印加すべき電圧を示すｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qを求める制御演算手段と、

前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを、予め決められた電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qと前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qとが

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim$ …（Ａ１）、

$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim$ …（Ａ２）、

を満たすように決定する指令電流設定手段と、

前記制御演算手段により求められたｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qに基づき前記ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備え、

前記指令電流設定手段は、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流の目標値を設定する目標電流設定手段と、

前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を越える場合に、前記電圧制限値Ｖｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qが次式（Ａ３）を満たすように前記目標値のｄ軸およびｑ軸成分を補正することにより前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを求める目標値補正手段とを含み、

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} = Vlim$ …（Ａ３）、

前記目標値補正手段は、前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を超える場合に、

前記式（Ａ１）を満たすように前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させたときに前記ｑ軸電流指令値i_qが最大となる前記ｄ軸電流指令値i_dを最大ｄ軸電流値i_{dm}として求め、

前記制御演算手段により前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めるときに用いられる前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを、１よりも小さい正数として予め定められた係数Ｇｄに対し前記式（Ａ３）および次式（Ａ４）を満たすように決定することを特徴とする。

$i_d = Gd \cdot i_{dm}$ …（Ａ４）

【０００８】

第２の発明は、ブラシレスモータを駆動する弱め磁束制御可能なモータ制御装置であって、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qに基づき、前記ブラシレスモータに印加すべき電圧を示すｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qを求める制御演算手段と、

前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを、予め決められた電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qと前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qとが

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim$ …（Ａ１）、
$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim$ …（Ａ２）、
を満たすように決定する指令電流設定手段と、
前記制御演算手段により求められたｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qに基づき前記ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備え、
前記指令電流設定手段は、
前記ブラシレスモータに供給すべき電流の目標値を設定する目標電流設定手段と、
前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を越える場合に、前記電圧制限値Ｖｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qが次式（Ａ３）を満たすように前記目標値のｄ軸およびｑ軸成分を補正することにより前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを求める目標値補正手段とを含み、
$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} = Vlim$ …（Ａ３）、
前記目標値補正手段は、前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を超える場合に、
前記式（Ａ１）を満たすように前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させたときの前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qのうち前記ｑ軸電流指令値i_qが最大となる前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qをそれぞれ第１のｄ軸電圧値v_{d1}および第１のｑ軸電圧値v_{q1}として求め、
前記式（Ａ１）および次式（Ａ４）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させたときの前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qのうち前記ｑ軸電流指令値i_qが最大となる前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qをそれぞれ第２のｄ軸電圧値v_{d2}および第２のｑ軸電圧値v_{q2}として求め、
$i_d = 0$ …（Ａ４）、
電圧を示すｄ軸とｑ軸とにより規定される平面上において点（v_{d1}，v_{q1}）および点（v_{d2}，v_{q2}）を通る直線と予め定められた正の定数Ｋｄに対し次式（Ａ５）を満たす円との交点を示すｄ軸およびｑ軸電圧値をそれぞれ第３のｄ軸電圧値v_{d3}および第３のｑ軸電圧値v_{q3}として求め、
$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} = Ilim-Kd$ …（Ａ５）、
前記第３のｄ軸電圧値v_{d3}および前記第３のｑ軸電圧値v_{q3}が示す電圧を前記ブラシレスモータに印加したときのｄ軸電流の値を第３のｄ軸電流値i_{d3}として求め、
前記制御演算手段により前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めるときに用いられる前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを前記式（Ａ３）および次式（Ａ６）を満たすように決定することを特徴とする。
$i_d = i_{d3}$ …（Ａ６）
【０００９】
第３の発明は、第１または第２の発明において、
前記指令電流設定手段は、前記ｄ軸電流指令値i_dによる前記ブラシレスモータの出力トルクの低下が補償され且つ前記式（Ａ１），（Ａ２）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを修正するトルク低下補償手段を含み、
前記制御演算手段は、前記ｄ軸電流指令値i_dと前記トルク低下補償手段による修正後のｑ軸電流指令値とを用いて前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めることを特徴とする。
【００１０】
第４の発明は、ブラシレスモータを駆動する弱め磁束制御可能なモータ制御装置であって、
前記ブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qを決定する指令電流設定手段と、
前記指令電流設定手段により決定されたｄ軸電流指令値i_dおよびｑ軸電流指令値i_qに

基づき前記ブラシレスモータに印加すべき電圧を示すｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qを求める制御演算手段と、

前記制御演算手段により求められたｄ軸電圧指令値v_dおよびｑ軸電圧指令値v_qに基づき前記ブラシレスモータを駆動する駆動手段とを備え、

前記指令電流設定手段は、

予め決められた電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに対し、前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qと前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qとが次式（Ａ１），（Ａ２）を満たすように前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを決定し、

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim$ …（Ａ１）、

$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim$ …（Ａ２）、

前記ｄ軸電流指令値i_dによる前記ブラシレスモータの出力トルクの低下が補償され且つ前記式（Ａ１），（Ａ２）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを修正するトルク低下補償手段を含み、

前記トルク低下補償手段は、

前記式（Ａ１）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させた場合に前記ｑ軸電流指令値i_qがとりうる最大値を第１最大値として求める第１最大値決定手段と、

前記式（Ａ２）を満たすように前記ｑ軸電流指令値i_qを変化させた場合に前記ｑ軸電流指令値i_qがとりうる最大値を第２最大値として求める第２最大値決定手段と、

前記ｄ軸電流指令値i_dによる前記ブラシレスモータの出力トルクの低下が補償されるように前記ｑ軸電流指令値i_qを補正する補正手段と、

前記補正手段による補正後のｑ軸電流指令値i_q、前記第１最大値、および前記第２最大値のうち最も小さい値を前記修正後のｑ軸電流指令値として選定する選定手段とを含み、

前記制御演算手段は、前記ｄ軸電流指令値i_dと前記トルク低下補償手段による修正後のｑ軸電流指令値とを用いて前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qを求めることを特徴とする。

【００１１】

第５の発明は、第４の発明において、

前記指令電流設定手段は、

前記ブラシレスモータに供給すべき電流の目標値を設定する目標電流設定手段と、

前記ブラシレスモータに前記目標値の電流を供給するために前記ブラシレスモータに印加すべき電圧が前記電圧制限値Ｖｌｉｍによる制限を越える場合に、前記電圧制限値Ｖｌｉｍに対し前記ｄ軸電圧指令値v_dおよび前記ｑ軸電圧指令値v_qが次式（Ａ３）を満たすように前記目標値のｄ軸およびｑ軸成分を補正することにより前記ｄ軸電流指令値i_dおよび前記ｑ軸電流指令値i_qを求める目標値補正手段とを含むことを特徴とする。

$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} = Vlim$ …（Ａ３）

【００１２】

第６の発明は、車両のステアリング機構にブラシレスモータによって操舵補助力を与える電動パワーステアリング装置であって、

第１から第５の発明のいずれかの発明に係るモータ制御装置を備え、

前記モータ制御装置は、前記ステアリング機構に操舵補助力を与えるブラシレスモータを駆動することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１３】

上記第１または第２の発明によれば、電圧制限だけでなく電流制限をも超えないようにｄ軸およびｑ軸電流指令値が決定されるので、ブラシレスモータの駆動手段の配線やスイッチング素子等に過大な電流が流れることによるモータ制御装置の損傷を回避しつつ、弱め磁束制御によって高回転領域におけるモータトルクの低下を抑制することができる。また、ブラシレスモータに目標値の電流を供給するために印加すべき電圧が電圧制限値によ

る制限を越える場合には、その制限範囲内で最大の電圧がブラシレスモータに印加されるので、ブラシレスモータの無効電力を極力抑制することができる。さらに、係数Ｇｄまたは正の定数Ｋｄを予め適切に設定してｄ軸およびｑ軸電流指令値を決定することにより、ｄ軸およびｑ軸電流指令値を算出するための演算負荷が過大とならない。

【００１４】

上記第３の発明によれば、ｄ軸電流指令値によるモータトルクの低下が補償されるように電圧制限および電流制限を超えない範囲でｑ軸電流指令値が修正されるので、第１または第２の発明と同様の効果に加えて、弱め磁束制御を導入しても高回転領域まで安定したモータ出力を得ることができる。

【００１５】

上記第４の発明によれば、電圧制限だけでなく電流制限をも超えないようにｄ軸およびｑ軸電流指令値が決定されるので、ブラシレスモータの駆動手段の配線やスイッチング素子等に過大な電流が流れることによるモータ制御装置の損傷を回避しつつ、弱め磁束制御によって高回転領域におけるモータトルクの低下を抑制することができる。また、指令電流設定手段により決定されたｄ軸電流指令値に対し、モータトルクの低下補償のための補正後のｑ軸電流指令値と電圧制限範囲内のｑ軸電流指令値の最大値（第１最大値）と電流制限範囲内のｑ軸電流指令値の最大値（第２最大値）のうち最小値が修正後のｑ軸電流指令値として選定され、当該ｄ軸電流指令値と当該修正後のｑ軸電流指令値とを用いてｄ軸およびｑ軸電圧指令値が求められることで、弱め磁束制御を導入しても高回転領域まで安定したモータ出力を得ることができる。

【００１６】

上記第５の発明によれば、ブラシレスモータに目標値の電流を供給するために印加すべき電圧が電圧制限値による制限を越える場合には、その制限範囲内で最大の電圧がブラシレスモータに印加されるので、ブラシレスモータの無効電力を極力抑制することができる。

【００１７】

上記第６の発明によれば、操舵補助力を与えるブラシレスモータに供給すべき電流を示すｄ軸およびｑ軸電流指令値が電圧制限だけでなく電流制限をも超えないように決定されるので、過大な電流によるモータ制御装置の損傷を回避しつつ、弱め磁束制御によって高回転領域におけるモータトルクの低下を抑制することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１８】

＜１．電動パワーステアリング装置＞

図１は、本発明の実施形態に係る電動パワーステアリング装置の構成を、それに関連する車両の構成と共に示す概略図である。図１に示す電動パワーステアリング装置は、ブラシレスモータ１、減速機２、トルクセンサ３、車速センサ４、位置検出センサ５、および、電子制御ユニット（Electronic Control Unit ：以下、「ＥＣＵ」という）１０を備えたコラムアシスト型の電動パワーステアリング装置である。

【００１９】

図１に示すように、ステアリングシャフト１０２の一端にはハンドル（ステアリングホイール）１０１が固着されており、ステアリングシャフト１０２の他端はラックピニオン機構１０３を介してラック軸１０４に連結されている。ラック軸１０４の両端は、タイロッドおよびナックルアームからなる連結部材１０５を介して車輪１０６に連結されている。運転者がハンドル１０１を回転させると、ステアリングシャフト１０２は回転し、これに伴いラック軸１０４は往復運動を行う。ラック軸１０４の往復運動に伴い、車輪１０６の向きが変わる。

【００２０】

電動パワーステアリング装置は、運転者の負荷を軽減するために、以下に示す操舵補助を行う。トルクセンサ３は、ハンドル１０１の操作によってステアリングシャフト１０２に加えられる操舵トルクＴを検出する。車速センサ４は、車速Ｓを検出する。位置検出セ

ンサ５は、ブラシレスモータ１のロータの回転位置Ｐを検出する。位置検出センサ５は、例えばレゾルバで構成される。

【００２１】

ＥＣＵ１０は、車載バッテリ１００から電力の供給を受け、操舵トルクＴ、車速Ｓおよび回転位置Ｐに基づきブラシレスモータ１を駆動する。ブラシレスモータ１は、ＥＣＵ１０によって駆動されると、操舵補助力を発生させる。減速機２は、ブラシレスモータ１とステアリングシャフト１０２との間に設けられる。ブラシレスモータ１で発生した操舵補助力は、減速機２を介して、ステアリングシャフト１０２を回転させるように作用する。

【００２２】

この結果、ステアリングシャフト１０２は、ハンドル１０１に加えられる操舵トルクと、ブラシレスモータ１で発生した操舵補助力の両方によって回転する。このように電動パワーステアリング装置は、ブラシレスモータ１で発生した操舵補助力を車両のステアリング機構に与えることにより操舵補助を行う。

【００２３】

本発明の実施形態に係る電動パワーステアリング装置は、ブラシレスモータ１を駆動する制御装置（モータ制御装置）に特徴がある。そこで以下では、各実施形態に係る電動パワーステアリング装置に含まれるモータ制御装置について説明する。

【００２４】

＜２．第１の実施形態＞

＜２.１　モータ制御装置の全体構成＞

図２は、本発明の第１の実施形態に係るモータ制御装置の構成を示すブロック図である。図２に示すモータ制御装置は、ＥＣＵ１０を用いて構成されており、ｕ相、ｖ相およびｗ相の３相巻線（図示せず）を有するブラシレスモータ１を駆動する。ＥＣＵ１０は、位相補償器１１、マイクロコンピュータ（以下、マイコンと略称する）２０、３相／ＰＷＭ（Pulse Width Modulation）変調器１２、モータ駆動回路１３、および、電流センサ１４を備えている。

【００２５】

ＥＣＵ１０には、トルクセンサ３から出力された操舵トルクＴ、車速センサ４から出力された車速Ｓ、および、位置検出センサ５から出力された回転位置Ｐが入力される。位相補償器１１は、操舵トルクＴに対して位相補償を施す。マイコン２０は、ブラシレスモータ１の駆動に用いられる電圧指令値を求める制御手段として機能する。マイコン２０の機能の詳細については、後述する。

【００２６】

３相／ＰＷＭ変調器１２とモータ駆動回路１３は、ハードウェア（回路）で構成されており、マイコン２０で求めた電圧指令値の電圧を用いてブラシレスモータ１を駆動するモータ駆動手段として機能する。３相／ＰＷＭ変調器１２は、マイコン２０で求めた３相の電圧指令値に応じたデューティー比を有する３種類のＰＷＭ信号（図２に示すＵ、Ｖ、Ｗ）を生成する。モータ駆動回路１３は、スイッチング素子として６個のＭＯＳ－ＦＥＴ（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor ）を含むＰＷＭ電圧形インバータ回路である。６個のＭＯＳ－ＦＥＴは、３種類のＰＷＭ信号とその否定信号によって制御される。ＰＷＭ信号を用いてＭＯＳ－ＦＥＴの導通状態を制御することにより、ブラシレスモータ１に対して３相の駆動電流（ｕ相電流、ｖ相電流およびｗ相電流）が供給される。

【００２７】

電流センサ１４は、ブラシレスモータ１に流れる電流を検出する。この電流センサ１４は、例えば抵抗体やホール素子で構成され、モータ駆動回路１３と電源の間に１個だけ設けられる。図２に示す例では、電流センサ１４はモータ駆動回路１３と電源のマイナス側（接地）との間に設けられているが、電流センサ１４をモータ駆動回路１３と電源のプラス側との間に設けてもよい。

【００２８】

ブラシレスモータ１が回転している間、電流センサ１４で検出される電流値は、ＰＷＭ信号に応じて変化する。ＰＷＭ信号の１周期内では、電流センサ１４によって１相の駆動電流が検知されるときと、２相の駆動電流の和が検知されるときとがある。３相の駆動電流の和はゼロになるので、２相の駆動電流の和に基づき、残り１相の駆動電流を求めることができる。したがって、ブラシレスモータ１が回転している間、１個の電流センサ１４を用いて３相の駆動電流を検出することができる。電流センサ１４で検出された電流値Ｉａは、マイコン２０に入力される。

【００２９】

マイコン２０は、ＥＣＵ１０に内蔵されたメモリ（図示せず）に格納されたプログラムを実行することにより、目標電流算出部２１、ｄ軸電流設定部２２、制限値設定部２３、定数設定部２４、目標値補正部２６、オープンループ制御部３１、ｄｑ軸／３相変換部３２、角度算出部３４、角速度算出部３５、および、Φ算出部３６として機能する。なお、目標電流算出部２１とｄ軸電流設定部２２は、ブラシレスモータ１に供給すべき電流の目標値のｄ軸成分およびｑ軸成分を設定する目標電流設定手段を構成し、目標電流算出部２１とｄ軸電流設定部２２と制限値設定部２３と定数設定部２４と目標値補正部２６は、ブラシレスモータ１に供給すべきｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を決定する指令電流設定部２５を構成する。また、オープンループ制御部３１とｄｑ軸／３相変換部３２と角速度算出部３５とΦ算出部３６は、ブラシレスモータ１を駆動するために使用される相電圧指令値を求める制御演算手段を構成する。

【００３０】

マイコン２０は、以下に示すように、ブラシレスモータ１に供給すべき電流を示す電流指令値とブラシレスモータ１のロータの角速度とに基づき、モータの回路方程式に従い、モータ駆動回路１３に与えるべき電圧を示す電圧指令値を求める。

【００３１】

角度算出部３４は、位置検出センサ５で検出した回転位置Ｐに基づき、ブラシレスモータ１のロータの回転角（以下「角度θ」という）を求める。角速度算出部３５は、角度θに基づき、ブラシレスモータ１のロータの角速度ω_eを求める。なお、図３に示すようにブラシレスモータ１に対してｕ軸、ｖ軸およびｗ軸を設定し、ブラシレスモータ１のロータ６に対してｄ軸およびｑ軸を設定したとき、ｕ軸とｄ軸のなす角が角度θとなる。すなわち、角度算出部３４ではブラシレスモータ１における電気角θが求められる。

【００３２】

目標電流算出部２１は、位相補償後の操舵トルクＴ（位相補償器１１の出力信号）と車速Ｓに基づき、ブラシレスモータ１に供給すべき電流の目標値のｑ軸成分（以下「ｑ軸電流目標値」という）を求める。より詳細には、目標電流算出部２１は、車速Ｓをパラメータとして、操舵トルクＴと目標電流との対応づけを記憶したテーブル（以下「アシストマップ」という）を内蔵しており、アシストマップを参照してｑ軸電流目標値i_q^*を求める。アシストマップを用いることにより、或る大きさの操舵トルクが与えられたときに、その大きさに応じた適切な大きさの操舵補助力を発生させるためにブラシレスモータ１に供給すべき電流のｑ軸成分を示すｑ軸電流目標値i_q^*を求めることができる。

【００３３】

ｄ軸電流設定部２２は、ブラシレスモータ１に供給すべき電流の目標値のｄ軸成分（以下「ｄ軸電流目標値i_d^*」という）として$i_d^*=0$を出力する。

【００３４】

制限値設定部２３は、電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍとして予め決められた値を出力する。電圧制限値Ｖｌｉｍは、インバータとして機能するモータ駆動回路１３へ与えられる直流電圧すなわちバッテリ１００の電圧に応じて決められており、電流制限値Ｉｌｉｍは、モータ制御装置が損傷しないように駆動回路等の配線パターンやスイッチング素子に流れる電流許容値に基づいて決められている。

【００３５】

定数設定部２４は、弱め磁束制御処理のためのｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$の決定に使用される

ｄ軸電流係数Ｇｄまたは電流マージン定数Ｋｄを出力する。これらのｄ軸電流係数Ｇｄまたは電流マージン定数Ｋｄにより、ブラシレスモータ１に流れる電流が電流制限値Ｉｌｉｍを越えないように当該ｄ電流目標値$i_d^{\#}$が決定される（詳細は後述）。ただし、目標値補正部２６における後述の弱め磁束制御処理によっては、上記ｄ軸電流係数Ｇｄおよび電流マージン定数Ｋｄのいずれも使用されない場合もある。この場合には、定数設定部２４は不要となる。

【００３６】

目標値補正部２６は、目標電流算出部２１からｑ軸電流目標値i_q^*を、ｄ軸電流設定部２２からｄ軸電流目標値i_d^*（＝０）を、制限値設定部２３から電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍを、定数設定部２４からｄ軸電流係数Ｇｄまたは電流マージン定数Ｋｄを、それぞれ受け取り、ｄ軸およびｑ軸電流目標値i_d^*，i_q^*を電圧制限値Ｖｌｉｍおよび電流制限値Ｉｌｉｍに基づき補正することにより、ｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を生成する。

【００３７】

オープンループ制御部３１は、ｄ軸電流指令値i_{dc}，ｑ軸電流指令値i_{qc}および角速度ω_eに基づき、ブラシレスモータ１に印加すべき電圧の目標値のｄ軸成分とｑ軸成分を求める（以下、前者の値を「ｄ軸電圧指令値v_{dc}」、後者の値を「ｑ軸電圧指令値v_{qc}」という）。ｄ軸電圧指令値v_{dc}とｑ軸電圧指令値v_{qc}は、次式（１）と（２）に示すモータの回路方程式を用いて算出される。

$$v_{dc}=(R+PL_d)\,i_{dc}-\omega_e L_q i_{qc} \quad \cdots(1)$$

$$v_{qc}=(R+PL_q)\,i_{qc}+\omega_e L_d i_{dc}+\omega_e \Phi \quad \cdots(2)$$

ただし、式（１）と（２）において、ω_eはロータの角速度、Ｒは電機子巻線抵抗を含む回路抵抗、L_dはｄ軸の自己インダクタンス、L_qはｑ軸の自己インダクタンス、Φは Ｕ，Ｖ，Ｗ相電機子巻線鎖交磁束数の最大値の√（３／２）倍、Ｐは微分演算子である。このうちＲ、L_d、L_qおよびΦは、既知のパラメータとして扱われる。なお、Ｒで示される回路抵抗には、ブラシレスモータ１とＥＣＵ１０との間の配線抵抗やＥＣＵ１０内でのモータ駆動回路１３の抵抗および配線抵抗などが含まれる。

【００３８】

ｄｑ軸／３相変換部３２は、オープンループ制御部３１で求めたｄ軸電圧指令値v_{dc}とｑ軸電圧指令値v_{qc}を３相交流座標軸上の電圧指令値に変換する。より詳細には、ｄｑ軸／３相変換部３２は、ｄ軸電圧指令値v_{dc}とｑ軸電圧指令値v_{qc}に基づき、次式（３）～（５）を用いてｕ相電圧指令値Ｖｕ、ｖ相電圧指令値ＶｖおよびＷ相電圧指令値Ｖｗを求める。

$$Vu=\sqrt{(2/3)}\times\{v_{dc}\times\cos\theta-v_{qc}\times\sin\theta\} \quad \cdots(3)$$

$$Vv=\sqrt{(2/3)}\times\{v_{dc}\times\cos(\theta-2\pi/3)-v_{qc}\times\sin(\theta-2\pi/3)\} \quad \cdots(4)$$

$$Vw=-Vu-Vv \quad \cdots(5)$$

上記の式（３）と（４）に含まれる角度θは、角度算出部３４で求めた電気角である。なお、ｕ相電圧指令値Ｖｕ、ｖ相電圧指令値ＶｖおよびＷ相電圧指令値Ｖｗを総称して「相電圧指令値Ｖｕ，Ｖｖ，Ｖｗ」ともいう。

【００３９】

このようにしてｄｑ軸／３相変換部３２により得られた相電圧指令値Ｖｕ，Ｖｖ，Ｖｗはマイコン２０から出力され、３相／ＰＷＭ変調器１２に与えられる。３相／ＰＷＭ変調器１２は、これらの相電圧指令値Ｖｕ，Ｖｖ，Ｖｗに基づき、３種類のＰＷＭ信号を出力する。これにより、ブラシレスモータ１の３相巻線には、各相の電圧指令値Ｖｕ，Ｖｖ，Ｖｗに応じた正弦波状の電流が流れ、ブラシレスモータ１のロータは回転する。これに伴い、ブラシレスモータ１の回転軸には、ブラシレスモータ１を流れる電流に応じたトルクが発生する。発生したトルクは操舵補助に用いられる。

【００４０】

Φ算出部３６には、電流センサ１４で検出された電流値Ｉａと、角度算出部３４で算出

された電気角θと、角速度算出部３５で算出された角速度ω_eとが入力される。Φ算出部３６は、まず電流値Ｉａに基づきブラシレスモータ１に流れるｕ相とｖ相の電流の値、すなわちｕ相電流検出値Ｉｕ、ｖ相電流検出値Ｉｖを求め、これらを次式（６）と（７）を用いてｄｑ座標軸上の電流値に変換することにより、ｄ軸電流検出値i_dとｑ軸電流検出値i_qを求める。

$$i_d=\sqrt{2}\times\{Iv\times\sin\theta-Iu\times\sin(\theta-2\pi/3)\} \quad \cdots(6)$$

$$i_q=\sqrt{2}\times\{Iv\times\cos\theta-Iu\times\cos(\theta-2\pi/3)\} \quad \cdots(7)$$

【００４１】

次に、Φ算出部３６は、$\omega_e\neq0$のときに、ｑ軸電圧指令値v_{qc}、ｄ軸電流検出値i_d、ｑ軸電流検出値i_qおよび角速度ω_eに基づき、次式（８）を用いて式（２）に含まれる電機子巻線鎖交磁束数Φを求める。

$$\Phi=\{v_{qc}-(R+PL_q)\,i_q-\omega_e L_d i_d\}/\omega_e \quad \cdots(8)$$

なお、式（８）は、式（２）のｄ軸電流指令値i_{dc}とｑ軸電流指令値i_{qc}にｄ軸電流検出値i_dとｑ軸電流検出値i_qを代入し、その式をΦについて解いたものである。

【００４２】

Φ算出部３６は、求めたΦ値をオープンループ制御部３１および目標値補正部２６に対して出力する。オープンループ制御部３１は、式（２）を用いてｑ軸電圧指令値v_{qc}を求めるときに、Φ算出部３６で算出されたΦ値を使用する。このようにマイコン２０は、モータの回路方程式に含まれる電機子巻線鎖交磁束数Φを求め、ｑ軸電圧指令値v_{qc}を求めるときにはそのΦ値を使用するが、Φ算出部３６を省略し、Φ値として予め決められた値を使用してもよい。

【００４３】

Φ算出部３６は、$\omega_e\neq0$である限り、任意のタイミングでΦ値を求めてもよい。Φ算出部３６は、例えば、所定の時間間隔でΦ値を求めてもよく、ブラシレスモータ１の駆動開始後に１回だけΦ値を求めてもよく、温度などの状態が変化したときにΦ値を求めてもよい。また、ω_eがゼロに近いときに求めたΦ値には誤差が発生しやすいので、Φ算出部３６は、ω_eが所定の閾値以上であるときに限りΦ値を求めることとしてもよい。

【００４４】

以上に示すように、本実施形態に係るモータ制御装置は、電流指令値とロータの角速度とに基づき、モータの回路方程式に従いオープンループ制御により電圧指令値を求めると共に、電流センサで検出した電流値に基づきモータの回路方程式に含まれるΦを求め、電圧指令値を求めるときにはそのΦ値を使用する。したがって、本実施形態に係るモータ制御装置によれば、モータの回路方程式に含まれるΦ値が製造ばらつきや温度変化によって変動するときでも、電流センサで検出した電流値に基づきΦ値を求めることにより、高い精度でブラシレスモータを駆動し、所望のモータ出力を得ることができる。

【００４５】

なお本実施形態では、オープンループ制御部３１においてｄ軸電圧指令値v_{dc}およびｑ軸電圧指令値v_{qc}を求めるために使用されるＲ等は、既知のパラメータとして扱われるが、Φについては既知のパラメータとして扱いつつもパラメータ算出手段としてのΦ算出部３６により適宜補正される。しかし、本発明はこのような構成に限定されるものではなく、Φ算出部３６に代えて又はΦ算出部３６と共にパラメータ算出手段としてのＲ算出部を設け、ｄ軸電圧指令値v_{dc}およびｑ軸電圧指令値v_{qc}を求める際に、当該Ｒ算出部により算出されたＲを使用してもよい。また、ｄ軸電圧指令値v_{dc}およびｑ軸電圧指令値v_{qc}を求めるための各パラメータを固定値または電流指令値に基づく算出値として扱い、電流センサ１４を省略してもよい。なお、Ｒ算出部が設けられている場合、当該Ｒ算出部は、例えば、$i_q\neq0$のときに、ｑ軸電圧指令値v_{qc}、ｄ軸電流検出値i_d、ｑ軸電流検出値i_qおよび角速度ω_eに基づき、次式を用いて上記式（１）と（２）に含まれる電気子巻線抵抗Ｒを求める。

$$R=(v_{qc}-PL_q i_q-\omega_e L_d i_d-\omega_e\Phi)/i_q \quad \cdots(10)$$

【００４６】

＜２．２　目標値補正部の詳細＞

次に、本実施形態における目標値補正部２６の各種構成例を詳細に説明する。本実施形態における目標値補正部２６は、所定のプログラムに基づく目標値補正処理をマイコン２０が実行することにより実現される。

【００４７】

＜２．２．１　第１の構成例＞

図４は、第１の構成例による目標値補正部２６を実現するためにマイコン２０が実行する目標値補正処理を示すフローチャートである。以下、この図４を参照しつつ本構成例による目標値補正部２６の動作を説明する。なお、この第１の構成例では、定数設定部２４は不要である。

【００４８】

まず、ｑ軸電流目標値i_q^*を目標電流算出部２１から受け取ると共に、ｄ軸電流目標値i_d^*をｄ軸電流設定部２２から受け取る（Ｓ１０）。そして、下記のモータの回路方程式に$i_d=i_d^*$，$i_q=i_q^*$を代入することにより得られるｄ軸およびｑ軸電圧値v_d，v_qを第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}として算出する（Ｓ１２）。

$$v_d=(R+PL_d)\,i_d-\omega_e L_q i_q \quad \cdots(11)$$

$$v_q=(R+PL_q)\,i_q+\omega_e L_d i_d+\omega_e \Phi \quad \cdots(12)$$

ここで、ω_eはロータの角速度、Ｒは電機子巻線抵抗を含む回路抵抗、L_dはｄ軸の自己インダクタンス、L_qはｑ軸の自己インダクタンス、ΦはＵ，Ｖ，Ｗ相電機子巻線鎖交磁束数の最大値の√（３／２）倍、Ｐは微分演算子である。なお、角速度ω_eは角速度算出部３５から入力され、電機子巻線鎖交磁束数ΦはΦ算出部３６から入力される。

【００４９】

次に、第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が電圧制限を超えているか否か判定する（Ｓ１４）。すなわち、第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が次式を満たす場合には電圧制限を越えていないと判定し、次式を満たさない場合には電圧制限を超えていると判定する。

$$\sqrt{(v_{d1}^2+v_{q1}^2)} \leqq Vlim \quad \cdots(13)$$

ここで、Ｖｌｉｍは制限値設定部２３から入力される電圧制限値である。

【００５０】

ステップＳ１４での判定の結果、第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が電圧制限を超えていない場合は、ｄ軸およびｑ軸電流目標値i_d^*，i_q^*をｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}として出力する（Ｓ１６）。すなわち、オープンループ制御部３１に与えるべきｄ軸およびｑ軸電流指令値を$i_{dc}=i_d^*$，$i_{qc}=i_q^*$とする。

【００５１】

ステップＳ１４での判定の結果、第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が電圧制限を超えている場合は、図４（ｂ）に示す弱め磁束制御処理を実行する（Ｓ１８）。

【００５２】

この弱め磁束制御処理では、まず、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（１４）（１５）を満たすｄ軸およびｑ軸電流値i_d，i_qをそれぞれｄ軸およびｑ軸限界電流値i_{dlim}，i_{qlim}として求める（Ｓ１００）。

$$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)}=Vlim \quad \cdots(14)$$

$$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)}=Ilim \quad \cdots(15)$$

ここで、Ｖｌｉｍは制限値設定部２３から入力される電圧制限値であり、Ｉｌｉｍは制限値設定部２３から入力される電流制限値である。このようなｄ軸およびｑ軸限界電流値i_{dlim}，i_{qlim}の電流がブラシレスモータ１に流れる場合には、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と、ｑ軸電流i_qによる電圧ベクトルＶ２と、ｄ軸電流i_dによる電圧ベクトルＶ３とは、図５に示すような関係となる。すなわち、電圧を示すｄ軸とｑ軸で規定される平面上において、ベクトルＶ１とベクトルＶ２とベクトルＶ３との合成ベクトルＶ４の始点を原点においたとき、当該合成ベクトルＶ４の終点は、式（１４）が示す電圧制限円と式（１５）が示す電流制限円との交点Ｐとなる。

【００５３】
次に、ｑ軸電流目標値i_q^*がｑ軸限界電流値i_{qlim}以下か否かを判定する（Ｓ１０２）。

【００５４】
ステップＳ１０２での判定の結果、ｑ軸電流目標値i_q^*がｑ軸限界電流値i_{qlim}以下である場合には、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（１６）（１７）を満たすｄ軸電流値i_dを第２のｄ軸電流値i_{d2}として求める（Ｓ１０４）。

$$i_q = i_q^* \quad \cdots (16)$$

$$\sqrt{(v_d^2 + v_q^2)} = Vlim \quad \cdots (17)$$

この場合、第２のｄ軸電流値i_{d2}およびｑ軸電流目標値i_q^*をそれぞれ弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^\#$およびｑ軸電流目標値$i_q^\#$とし（Ｓ１０６）、弱め磁束制御処理のルーチンから復帰して目標値補正処理のステップＳ２０へ進む。

【００５５】
ステップＳ１０２での判定の結果、ｑ軸電流目標値i_q^*がｑ軸限界電流値i_{qlim}を越えている場合には、ｄ軸およびｑ軸限界電流値i_{dlim}，i_{qlim}をそれぞれ弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^\#$およびｑ軸電流目標値$i_q^\#$とし（Ｓ１０８）、弱め磁束制御処理のルーチンから復帰して目標値補正処理のステップＳ２０へ進む。

【００５６】
目標値補正処理のステップＳ２０では、上記のように求められた弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^\#$およびｑ軸電流目標値$i_q^\#$をｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}として出力する。すなわち、オープンループ制御部３１に与えるべきｄ軸およびｑ軸電流指令値を$i_{dc} = i_d^\#$，$i_{qc} = i_q^\#$とする。

【００５７】
ｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}が出力された後は、ステップＳ１０へ戻り、以降、上記と同様の処理を繰り返す。これにより、ｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}が入力される毎に、それらに基づき、電圧制限および電流制限を超えないｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}が求められて出力される。

【００５８】
上記第１の構成例によれば、弱め磁束制御により、電圧制限および電流制限を超えない範囲で電流目標値i_d^*、i_q^*に応じて可能な限り大きな電流指令値i_{dc}、i_{qc}および電圧指令値v_{dc}、v_{qc}を得ることができる。しかし、弱め磁束制御処理においてモータの回路方程式（１１）（１２）および上記式（１４）（１５）を満たすｄ軸およびｑ軸電流値i_d，i_qを算出するための演算負荷がマイコン２０にとって大きなものとなる。そこで、以下では、マイコン２０の演算負荷が過大なものとならないような目標値補正部２６の構成例として第２および第３の構成例を説明する。

【００５９】
＜２．２．２　第２の構成例＞
目標値補正部２６の第２の構成例では、上記第１の構成例とは異なり、ｄ軸電流係数Ｇｄを出力する定数設定部２４が使用される。このｄ軸電流係数Ｇｄは、０＜Ｇｄ＜１の範囲で予め決められた値を有し、後述のように弱め磁束制御処理のためのｄ軸電流目標値$i_d^\#$の決定に使用される。

【００６０】
本構成例による目標値補正処理は、基本的には第１の構成例による目標値補正処理と同様であって、図４（ａ）に示す通りであるが、当該目標値補正処理から呼び出されるルーチンとしての弱め磁束制御処理の内容が第１の構成例と相違する。

【００６１】
図６は、本構成例による弱め磁束制御処理を示すフローチャートであり、図７は、この弱め磁束制御処理に基づくｄ軸およびｑ軸電流指令値の求め方を説明するためのベクトル図である。本構成例においても、第１の構成例と同様、モータの回路方程式（１１）（１２）に$i_d = i_d^*$，$i_q = i_q^*$を代入することにより得られる第１のｄ軸およびｑ軸電圧値

v_{d1}，v_{q1}が式（１３）で示す電圧制限を超えていると判定された場合に、弱め磁束制御処理が実行される（図４のステップＳ１４，Ｓ１８）。以下、図６および図７を参照して、本構成例による弱め磁束制御処理のための目標値補正部２６の動作を説明する。

【００６２】

本構成例による弱め磁束制御処理では、まず、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（１８）を満たすｄ軸およびｑ軸電流値i_d，i_qのうちｑ軸電流値が最大となるｄ軸およびｑ軸電流値を最大ｄ軸およびｑ軸電流値i_{dm}，i_{qm}として求める（Ｓ１１０）。

$$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim \quad \cdots(18)$$

ここで、Ｖｌｉｍは制限値設定部２３から入力される電圧制限値である。このような最大ｄ軸およびｑ軸電流値i_{dm}，i_{qm}の電流がブラシレスモータ１に流れる場合には、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と、ｑ軸電流i_qによる電圧ベクトルＶ２ｍと、ｄ軸電流i_dによる電圧ベクトルＶ３ｍとは、図７（ａ）に示すような関係となる。すなわち、電圧を示すｄ軸とｑ軸で規定される平面上において、ベクトルＶ１とベクトルＶ２ｍとベクトルＶ３ｍとの合成ベクトルＶ４ｍの始点を原点においたとき、当該合成ベクトルＶ４ｍの終点は上記式（１８）に対応する電圧制限円上に配置され、かつ、ベクトルＶ３ｍは当該電圧制限円に接する。

【００６３】

次に、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（１９）（２０）を満たすｑ軸電流値i_qを修正ｑ軸電流値i_{q2}として求める（Ｓ１１２）。

$$i_d = Gd \cdot i_{dm} \quad \cdots(19)$$

$$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} = Vlim \quad \cdots(20)$$

ここで、Ｇｄは、定数設定部２４から入力されるｄ軸電流係数である（０＜Ｇｄ＜１）。また、上記式（１９）で示すｄ軸電流値i_dを「修正ｄ軸電流値」と呼ぶものとする。

【００６４】

このような修正ｑ軸電流値i_{q2}および修正ｄ軸電流値$Gd \cdot i_{dm}$によって示される電流がブラシレスモータ１に流れる場合には、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と、ｑ軸電流i_qによる電圧ベクトルＶ２と、ｄ軸電流i_dによる電圧ベクトルＶ３とは、図７（ｂ）に示すような関係となる。そして、ｄ軸電流係数Ｇｄの値を予め適切に設定することにより、これらの電圧ベクトルＶ２，Ｖ３に対応するｄ軸およびｑ軸電流i_d，i_qは、電流制限を示す次式を満足する。

$$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim \quad \cdots(21)$$

すなわち、電圧を示すｄ軸とｑ軸で規定される平面上において、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と修正ｑ軸電流値i_{q2}による電圧ベクトルＶ２と修正ｄ軸電流値$Gd \cdot i_{dm}$による電圧ベクトルＶ３との合成ベクトルＶ４の始点を原点においたとき、当該合成ベクトルＶ４の終点は、上記式（１８）に対応する電圧制限円上であって上記式（２１）に対応する電流制限円内に配置される。なお、ｄ軸電流係数Ｇｄの具体的な値は、当該モータ制御装置およびブラシレスモータ１についての設計値、計算機シミュレーションまたは実験等に基づき電流制限の上記式（２１）を満たすように予め設定されている。

【００６５】

その後、上記のようにして求められた修正ｄ軸電流値$Gd \cdot i_{dm}$および修正ｑ軸電流値i_{q2}を、それぞれ、弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$およびｑ軸電流目標値$i_q^{\#}$とし（Ｓ１１４）、弱め磁束制御処理のルーチンから復帰して図４のステップＳ２０へ進む。以降の処理は、上記第１の構成例による目標値修正処理と同様である。

【００６６】

＜２．２．３　第３の構成例＞

次に、目標値補正部２６の第３の構成例について説明する。本構成例では、上記第１の構成例とは異なり、電流マージン定数Ｋｄを出力する定数設定部２４が使用される。この電流マージンＫｄは、後述のように弱め磁束制御処理のためのｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$の決定に使用される。

【００６７】
本構成例による目標値補正処理は、基本的には第１の構成例による目標値補正処理と同様であって、図４（ａ）に示す通りであるが、当該目標値補正処理から呼び出されるルーチンとしての弱め磁束制御処理の内容が第１の構成例と相違する。
【００６８】
図８は、本構成例による弱め磁束制御処理を示すフローチャートであり、図９は、当該弱め磁束制御処理に基づくｄ軸およびｑ軸電流指令値の求め方を説明するためのベクトル図である。本構成例においても、第１の構成例と同様、モータの回路方程式（１１）（１２）に$i_d = i_d^*$，$i_q = i_q^*$を代入することにより得られる第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が式（１３）で示す電圧制限を超えていると判定された場合に、弱め磁束制御処理が実行される（図４のステップＳ１４，Ｓ１８）。以下、図８および図９を参照して、本構成例による弱め磁束制御処理のための目標値補正部２６の動作を説明する。
【００６９】
本構成例による弱め磁束制御処理では、まず、上記第２の構成例の場合と同様に、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（２２）を満たすｄ軸およびｑ軸電圧値v_d，v_qのうちｑ軸電流値i_qが最大となるｄ軸およびｑ軸電圧値を第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}として求める（Ｓ１２０）。

$$\sqrt{(v_d^2 + v_q^2)} \leqq Vlim \quad \cdots(22)$$

このような第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}の電圧がブラシレスモータ１に印加される場合には、逆起電力$\omega_e \Phi$による電圧ベクトルＶ１と、ｑ軸電流i_qによる電圧ベクトルＶ２ｍと、ｄ軸電流i_dによる電圧ベクトルＶ３ｍとは、図９（ａ）に示すような関係となり、第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}に対応する点（v_{d1}，v_{q1}）は電圧ベクトルＶ３ｍと電圧制限円との接点Ｐ１となる。
【００７０】
次に、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（２３）（２４）を満たすｄ軸およびｑ軸電圧値v_d，v_qのうちｑ軸電流値i_qが最大となるｄ軸およびｑ軸電圧値を第２のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d2}，v_{q2}として求める（Ｓ１２２）。

$$i_d = 0 \quad \cdots(23)$$

$$\sqrt{(v_d^2 + v_q^2)} \leqq Vlim \quad \cdots(24)$$

図９（ｂ）に示すように、このような第２のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d2}，v_{q2}に対応する点（v_{d2}，v_{q2}）は、ｑ軸電流による電圧ベクトルＶ２と電圧制限円との交点Ｐ２となる。
【００７１】
次に、電圧を示すｄ軸とｑ軸で規定される平面上（図９（ｂ））において、上記の点Ｐ１（v_{d1}，v_{q1}）および点Ｐ２（v_{d2}，v_{q2}）を通る直線と次式（２５）で示す円との交点Ｐ３に対応するｄ軸およびｑ軸電圧値を第３のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d3}，v_{q3}として求める（Ｓ１２４）。

$$\sqrt{(i_d^2 + i_q^2)} = Ilim - Kd \quad \cdots(25)$$

ここで、Ｉｌｉｍは制限値設定部２３から入力される電流制限値であり、Ｋｄは定数設定部２４から入力される電流マージン定数である（Ｋｄ＞０）。
【００７２】
次に、上記第３のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d3}，v_{q3}をブラシレスモータ１に印加した場合のｄ軸電流値i_dをモータの回路方程式（１１）（１２）より第３のｄ軸電流値i_{d3}として求める（Ｓ１２６）。図９（ｂ）に示す電圧ベクトルＶ３３は、この第３のｄ軸電流値i_{d3}による電圧ベクトルである。
【００７３】
次に、モータの回路方程式（１１）（１２）より、および次式（２６）（２７）を満たすｑ軸電流値を修正ｑ軸電流値i_{q4}として求める（Ｓ１２８）。

$$i_d = i_{d3} \quad \cdots(26)$$

$$\sqrt{(v_d^2 + v_q^2)} = Vlim \quad \cdots(27)$$

ここで、上記式（２６）で示すｄ軸電流値i_dを「修正ｄ軸電流値」と呼ぶものとする。

【００７４】

上記のような修正ｄ軸電流値i_{d3}および修正ｑ軸電流値i_{q4}によって示される電流がブラシレスモータ１に流れる場合には、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と、ｑ軸電流i_{q4}による電圧ベクトルＶ２と、ｄ軸電流i_dによる電圧ベクトルＶ３とは、図９（ｂ）に示すような関係となる。そして、電流マージン定数Ｋｄの値を予め適切に設定することにより、これらの電圧ベクトルＶ２，Ｖ３に対応するｄ軸およびｑ軸電流i_d，i_qは、電流制限を示す次式を満足する。

$$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim \quad \cdots(28)$$

すなわち、電圧を示すｄ軸とｑ軸で規定される平面上において、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と修正ｑ軸電流値i_{q4}による電圧ベクトルＶ２と修正ｄ軸電流値i_{d3}による電圧ベクトルＶ３との合成ベクトルＶ４の始点を原点においたとき、当該合成ベクトルＶ４の終点は、上記式（２７）が示す電圧制限円上であって上記式（２８）に対応する電流制限円内に配置される。なお、電流マージン定数Ｋｄの具体的な値は、当該モータ制御装置およびブラシレスモータ１についての設計値、計算機シミュレーションまたは実験等に基づき電流制限の上記式（２８）を満たすように予め設定されている。

【００７５】

その後、上記のようにして求められた修正ｄ軸電流値i_{d3}および修正ｑ軸電流値i_{q4}を、それぞれ、弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$およびｑ軸電流目標値$i_q^{\#}$とし（Ｓ１３０）、弱め磁束制御処理のルーチンから復帰して図４のステップＳ２０へ進む。以降の処理は、上記第１の構成例による目標値修正処理と同様である。

【００７６】

＜２．３　効果＞

本実施形態では、上記第１、第２または第３の構成例による弱め磁束制御処理を含む目標値補正処理によりｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}が得られ、これらのｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を用いて、オープンループ制御部３１等によりブラシレスモータ１の駆動が制御される。このような本実施形態によれば、図５、図７（ｂ）および図９（ｂ）からわかるように、弱め磁束制御（$i_d \neq 0$）により、電圧制限だけでなく電流制限をも越えない範囲でほぼ最大のｑ軸電流が流れるようにｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を設定することができる。すなわち、電圧制限および電流制限の範囲内（$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim$および$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim$）でほぼ最大のモータトルクを発生させることが可能となる。これにより、駆動回路等の配線やスイッチング素子等に過大な電流が流れることによるモータ制御装置の損傷を回避しつつ、高回転領域でのモータトルクの低下を抑えることができる。また、上記第１～第３の構成例のいずれにおいても、電圧制限の範囲内で電流目標値に応じた最大の電圧をブラシレスモータ１に印加することで無効電力を極力抑制することができ（図５、図７（ｂ）および図９（ｂ））、第１の構成例の場合には、電流制限の範囲内で電流目標値に応じた最大の電流をブラシレスモータに流すこともできる。ただし、既述のように、マイコン２０でｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を求めるための演算負荷の点では、第２および第３の構成例が有利である。

【００７７】

＜３．第２の実施形態＞

次に、本発明の第２の実施形態に係るモータ制御装置について説明する。本実施形態に係るモータ制御装置の基本的な構成は、上記第１の実施形態と同様であって図２に示す通りであり、同一または対応する部分には同一の参照符号を付すものとする。以下では、上記第１の実施形態との相違点を中心に説明する。

【００７８】

本実施形態では、目標値補正部２６を実現するためにマイコン２０が実行する目標値補正処理が上記第１の実施形態と相違する。図１０は、本実施形態における目標値補正部２６を実現するためにマイコン２０が実行する目標値補正処理を示すフローチャートである。以下、この図１０を参照しつつ本構成例による目標値補正部２６の動作を説明する。た

だし、モータの回路方程式（１１）（１２）に$i_d=i_d^*$，$i_q=i_q^*$を代入することにより得られる第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が式（１３）で示す電圧制限を超えていない場合の処理については、上記第１の実施形態と同様であるので（図４（ａ）のステップＳ１０～Ｓ１６）、同一のステップ番号を付して説明を省略する。なおこの場合、ｄ軸およびｑ軸電流目標値i_d^*，i_q^*は、補正されることなくそのままｄ軸およびｑ軸電流目標値i_d^*，i_q^*として目標値補正部２６から出力される（図１０（ａ）のステップＳ１０～Ｓ１６）。

【００７９】

第１のｄ軸およびｑ軸電圧値v_{d1}，v_{q1}が電圧制限を超えている場合すなわちステップＳ１４において“Ｎｏ”と判定された場合には、第１の実施形態の場合と同様、弱め磁束制御処理が実行され、次式（２９）（３０）で示す電圧制限および電流制限を超えないような弱め磁束制御のｄ軸およびｑ軸電流目標値$i_d^\#$，$i_q^\#$が求められる（Ｓ５０）。

$$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim \quad \cdots(29)$$

$$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim \quad \cdots(30)$$

ここで、v_d，v_qはブラシレスモータ１に印加されるｄ軸およびｑ軸電圧をそれぞれ示し、i_d，i_qはブラシレスモータ１に供給されるｄ軸およびｑ軸電流をそれぞれ示し、Ｖｌｉｍ，Ｉｌｉｍは制限値設定部２３から入力される電圧制限値および電流制限値をそれぞれ示す。

【００８０】

ステップＳ５０の弱め磁束制御処理の具体的内容は、図４（ｂ）、図６、図８（第１～第３の構成例）に示す内容のいずれであってもよいし、これら以外であっても、電圧制限および電流制限を超えないようにｄ軸およびｑ軸電流目標値i_d^*，i_q^*に応じて弱め磁束制御のｄ軸およびｑ軸電流目標値$i_d^\#$，$i_q^\#$が求まればよい。

【００８１】

このような弱め磁束制御処理が終了すると、図１０（ｂ）に示すトルク低下補償処理を実行する（Ｓ５２）。

【００８２】

このトルク低下補償処理では、まず、モータの回路方程式（１１）（１２）および次式（３１）（３２）を満たす最大のｑ軸電流値i_qを第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}として求める（Ｓ１４０）。

$$i_d=i_d^\# \quad \cdots(31)$$

$$\sqrt{(v_d^2+v_q^2)} \leqq Vlim \quad \cdots(32)$$

これにより、弱め磁束制御処理により得られた指令値としてのｄ軸電流目標値$i_d=i_d^\#$を変えずに弱め磁束制御のｑ軸電流目標値$i_q=i_q^\#$を電圧制限の範囲内（式（３２））で変化させた場合の当該ｑ軸電流目標値の最大値が第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}として得られる。このような第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}によれば、図１１（ａ）に示すように、逆起電力$\omega_e\Phi$による電圧ベクトルＶ１と第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}による電圧ベクトルＶ２と弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^\#$による電圧ベクトルＶ３との合成ベクトルＶ４の大きさが電圧制限値Ｖｌｉｍに等しくなる。

【００８３】

次に、次式（３３）（３４）を満たす最大のｑ軸電流値i_qを第２の最大ｑ軸電流値i_{qmax2}として求める（Ｓ１４２）。

$$i_d=i_d^\# \quad \cdots(33)$$

$$\sqrt{(i_d^2+i_q^2)} \leqq Ilim \quad \cdots(34)$$

これにより、弱め磁束制御処理により得られた指令値としてのｄ軸電流目標値$i_d=i_d^\#$を変えずに弱め磁束制御のｑ軸電流目標値$i_q=i_q^\#$を電流制限の範囲内（式（３４））で変化させた場合の当該ｑ軸電流目標値の最大値が第２の最大ｑ軸電流値i_{qmax2}として得られる。このような第２の最大ｑ軸電流値i_{qmax2}によれば、図１１（ｂ）に示すように、ｄ軸成分が$i_d^\#$でｑ軸成分がi_{qmax2}である電流ベクトルの大きさがＩｌｉｍに等しくなる。

【００８４】
次に、第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}と第２の最大ｑ軸電流値i_{qmax2}のうち小さい方を制限最大ｑ軸電流値i_{qmax}とする（Ｓ１４４）。ただし、第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}と第２の最大ｑ軸電流値i_{qmax2}が等しい場合には、$i_{qmax}=i_{qmax1}$とおく。
【００８５】
次に、弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$が示すｄ軸電流をブラシレスモータ１に流した場合におけるモータトルクの低下（図１３（ｂ）に示す点線の楕円内での低下）を補償すべく、弱め磁束制御のｑ軸電流目標値$i_q^{\#}$を次式に従って補正することにより、トルク補償ｑ軸電流値i_{qt}を求める（Ｓ１４６）。

$$i_{qt}=i_q^{\#}+i_d^{\#}\times Kiq \qquad \cdots(35)$$

ここで、$i_d^{\#}$は弱め磁束制御のｄ軸電流目標値であり、$i_q^{\#}$は弱め磁束制御のｑ軸電流目標値であり、Ｋiqは、ｄ軸電流に起因するｄ軸方向磁束の低減によるモータトルクの低下を補償するためのｑ軸電流補償値を与える係数（以下「トルク低下補償係数」という）である。本実施形態では、ブラシレスモータ１におけるｄ軸電流とモータトルクの低下量と関係が図１２に示すような比例関係にあるとして、トルク低下補償係数Ｋiqが定数としてマイコン２０内の所定メモリに保持されている。このトルク低下補償係数Ｋiqの具体的な値は、ブラシレスモータ１についての設計値、計算機シミュレーションまたは実験等に基づき予め決定される。なお、トルク低下補償係数Ｋiqが電流値に依存する場合には、上記$i_d^{\#}\times Kiq$に相当するｑ軸電流補償値とｄ軸電流および／またはｑ軸電流とを対応付けるマップまたは関数式をマイコン２０内の所定メモリに保持しておき、それらのマップまたは関数式によりｑ軸電流補償値を求めるようにしてもよい。
【００８６】
次に、上記のようにして求められたトルク補償ｑ軸電流値i_{qt}がステップＳ１４４で求めた制限最大ｑ軸電流値i_{qmax}よりも大きいか否かを判定する（Ｓ１４８）。
【００８７】
ステップＳ１４８での判定の結果、トルク補償ｑ軸電流値i_{qt}が制限最大ｑ軸電流値i_{qmax}よりも大きい場合には、弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$をｄ軸電流指令値i_{dc}とするとともに、制限最大ｑ軸電流値i_{qmax}をｑ軸電流指令値i_{qc}とし（Ｓ１５０）、トルク低下補償処理のルーチンから復帰して目標値補正処理のステップＳ５４へ進む。
【００８８】
ステップＳ１４８での判定の結果、トルク補償ｑ軸電流値i_{qt}が制限最大ｑ軸電流値i_{qmax}以下である場合には、弱め磁束制御のｄ軸電流目標値$i_d^{\#}$をｄ軸電流指令値i_{dc}とするとともに、トルク補償ｑ軸電流値i_{qt}をｑ軸電流指令値i_{qc}とし（Ｓ１５２）、トルク低下補償処理のルーチンから復帰して目標値補正処理のステップＳ５４へ進む。
【００８９】
目標値補正処理のステップＳ５４では、上記のように求められたｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を出力する。これらのｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}に基づき、オープンループ制御部３１、ｄｑ軸／３相変換部３２、３相／ＰＷＭ変調部１２およびモータ駆動回路１３が上記第１の実施形態と同様に動作することより、ブラシレスモータ１が駆動される。なお、トルク低下補償処理のステップＳ１４４～Ｓ１５２からわかるように、トルク補償ｑ軸電流値i_{qt}、第１の最大ｑ軸電流値i_{qmax1}および第２の最大ｑ軸電流値i_{qmax2}のうち最も小さい値がｑ軸電流指令値i_{qc}となる。また、ステップＳ１４４，Ｓ１４８～Ｓ１５２は、このようにしてｑ軸電流指令値i_{qc}を選定するための選定手段を構成する。
【００９０】
従来の弱め磁束制御では、図１３（ｂ）における点線の楕円内に示されるように、ｄ軸電流に起因するｄ軸方向磁束の低減によりモータトルクＴｍ（Ｎ）の低下が見られた。これに対し本実施形態では、弱め磁束制御（$i_d\neq 0$）により、電圧制限および電流制限の範囲内でｑ軸電流が流れるようにｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}を設定すると共に、これらのｄ軸およびｑ軸電流指令値i_{dc}，i_{qc}の設定に際し、弱め磁束制御のためのｄ

軸電流に起因するモータトルクの低下を補償すべく電圧制限および電流制限の範囲内でｑ軸電流目標値$i_q^{\#}$が修正される（Ｓ１４６～Ｓ１５２）。このため本実施形態によれば、上記第１の実施形態と同様の効果に加えて、図１２（ｂ）に示すように、弱め磁束制御を導入しても高回転領域まで安定したモータ出力を得ることができる。

【００９１】

＜４．変形例＞

上記第１および第２の実施形態に係るモータ制御装置では、オープンループ制御によりブラシレスモータ１が駆動されるが、本発明は、これに限定されるものではなく、各相の電流を検出する手段を設けてフィードバック制御によりブラシレスモータ１を駆動するモータ制御装置にも適用可能である。

【００９２】

また、上記第１および第２の実施形態に係るモータ制御装置は、３相ブラシレスモータ１を駆動するように構成されているが、本発明は、これに限定されるものではなく、４相以上のブラシレスモータを駆動するモータ制御装置にも適用可能である。

【００９３】

なお、本発明は、上述したコラムアシスト型の電動パワーステアリング装置だけでなく、ピニオンアシスト型やラックアシスト型の電動パワーステアリング装置にも適用できる。また、本発明は、電動パワーステアリング装置以外のモータ制御装置にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【００９４】

【図１】本発明の実施形態に係る電動パワーステアリング装置の構成を示すブロック図である。

【図２】本発明の第１の実施形態に係るモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

【図３】３相ブラシレスモータにおける３相交流座標とｄｑ座標を示す図である。

【図４】上記第１の実施形態における目標値補正部の第１の構成例による目標値補正処理および弱め磁束制御処理を示すフローチャートである。

【図５】上記第１の構成例による弱め磁束制御処理に基づくｄ軸およびｑ軸電流指令値の求め方を説明するためのベクトル図である。

【図６】上記第１の実施形態における目標値補正部の第２の構成例による弱め磁束制御処理を示すフローチャートである。

【図７】上記第２の構成例による弱め磁束制御処理に基づくｄ軸およびｑ軸電流指令値の求め方を説明するためのベクトル図である。

【図８】上記第１の実施形態における目標値補正部の第３の構成例による弱め磁束制御処理を示すフローチャートである。

【図９】上記第３の構成例による弱め磁束制御処理に基づくｄ軸およびｑ軸電流指令値の求め方を説明するためのベクトル図である。

【図１０】本発明の第２の実施形態における目標値補正処理およびトルク低下補償処理を示すフローチャートである。

【図１１】上記第２の実施形態におけるトルク低下補償処理を説明するためのベクトル図である。

【図１２】上記第２の実施形態におけるトルク低下補償処理を説明するための特性図である。

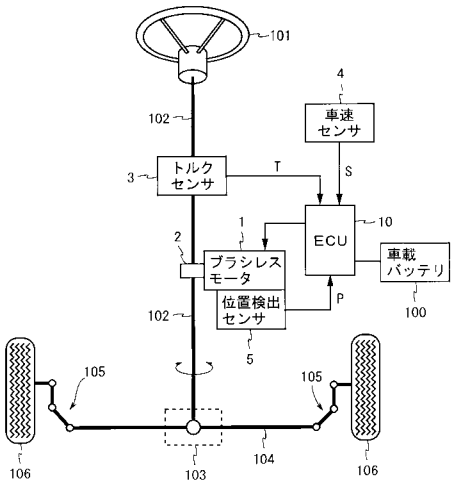
【図１３】従来のモータ制御装置において弱め磁束制御を行わない場合（ａ）と弱め磁束制御を行う場合（ｂ）におけるモータ回転数とモータトルクとの関係を示す特性図である。

【符号の説明】

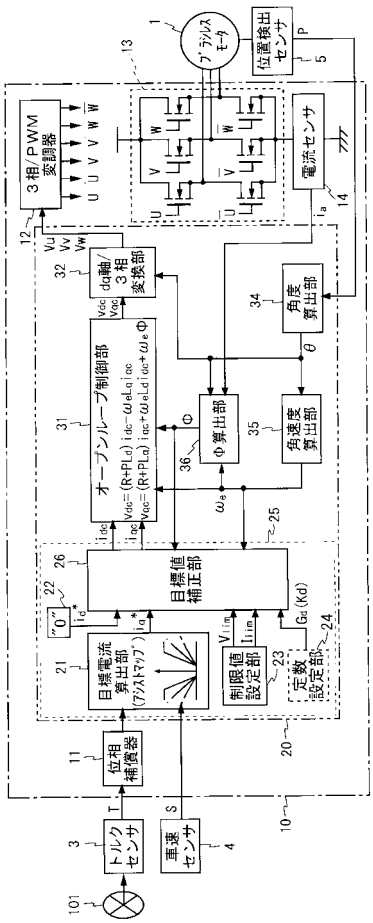
【００９５】

６…ロータ、１０…ＥＣＵ、１３…モータ駆動回路、１４…電流センサ、２０…マイコン、２２…ｄ軸電流設定部、２５…指令電流設定部。

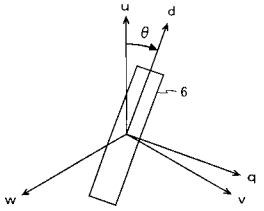
【図１】


101
102
車速センサ
4
トルクセンサ
3
T
S
ECU
10
1
2
ブラシレスモータ
位置検出センサ
5
P
車載バッテリ
100
105
106
103
104

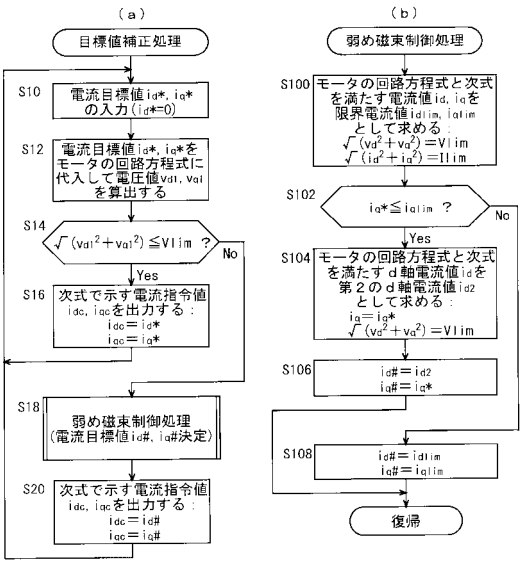
【図２】


ブラシレスモータ
位置検出センサ
3相/PWM変調器
電流センサ
dq軸/3相変換部
角度算出部
オープンループ制御部
Φ算出部
角速度算出部
目標値補正部
目標電流算出部(アシストマップ)
制限値設定部
定数設定部
位相補償器
トルクセンサ
車速センサ

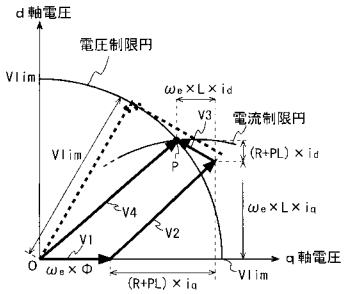
【図３】


u
d
θ
6
w
q
v

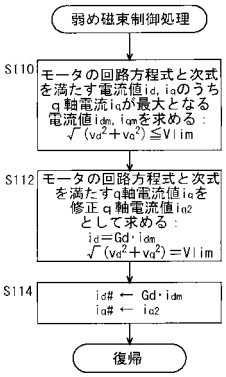
【図４】


(a)
目標値補正処理
S10
電流目標値id*, iq*の入力(id*=0)
S12
電流目標値id*, iq*をモータの回路方程式に代入して電圧値vd1, vq1を算出する
S14
√(vd1²+vq1²)≦Vlim ?
No
Yes
S16
次式で示す電流指令値idc, iqcを出力する：
idc＝id*
iqc＝iq*
S18
弱め磁束制御処理
(電流目標値id#, iq#決定)
S20
次式で示す電流指令値idc, iqcを出力する：
idc＝id#
iqc＝iq#
(b)
弱め磁束制御処理
S100
モータの回路方程式と次式を満たす電流値id, iqを限界電流値idlim, iqlimとして求める：
√(vd²+vq²)＝Vlim
√(id²+iq²)＝Ilim
S102
iq*≦iqlim ?
No
Yes
S104
モータの回路方程式と次式を満たすd軸電流値idを第２のd軸電流値id2として求める：
iq＝iq*
√(vd²+vq²)＝Vlim
S106
id#＝id2
iq#＝iq*
S108
id#＝idlim
iq#＝iqlim
復帰

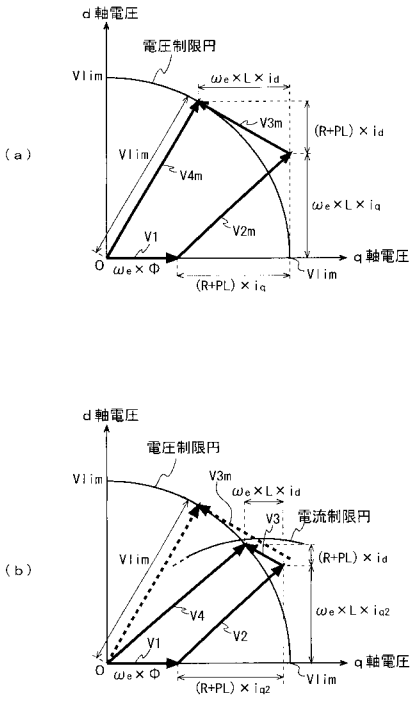
【図５】


d軸電圧
電圧制限円
Vlim
ωe×L×id
V3
電流制限円
(R+PL)×id
P
Vlim
V4
V2
ωe×L×iq
V1
O
ωe×Φ
q軸電圧
(R+PL)×iq
Vlim

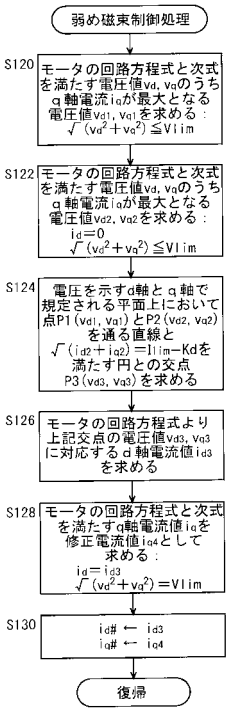
【図６】


弱め磁束制御処理
S110
モータの回路方程式と次式を満たす電流値id, iqのうちq軸電流iqが最大となる電流値idm, iqmを求める：
√(vd²+vq²) ≦Vlim
S112
モータの回路方程式と次式を満たすq軸電流値iqを修正q軸電流値iq2として求める：
id=Gd·idm
√(vd²+vq²)=Vlim
S114
id# ← Gd·idm
iq# ← iq2
復帰

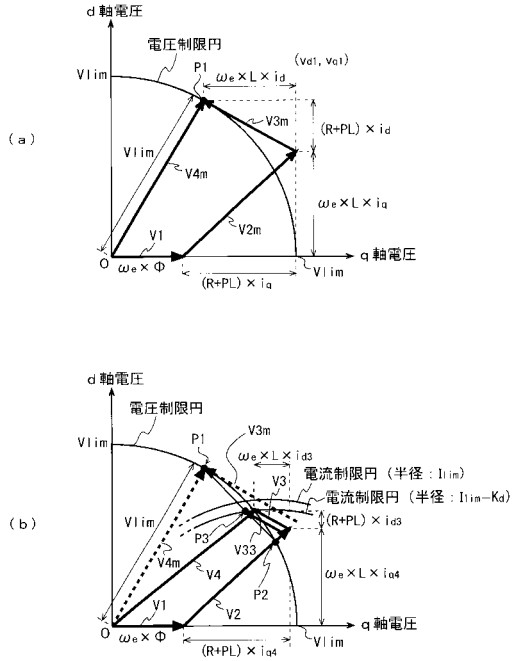
【図７】


(a)
d軸電圧
電圧制限円
Vlim
ωe×L×id
V3m
(R+PL)×id
Vlim
V4m
ωe×L×iq
V1
V2m
O
ωe×Φ
q軸電圧
(R+PL)×iq
Vlim
(b)
d軸電圧
電圧制限円
Vlim
V3m
ωe×L×id
V3
電流制限円
(R+PL)×id
Vlim
V4
ωe×L×iq2
V1
V2
O
ωe×Φ
q軸電圧
(R+PL)×iq2
Vlim

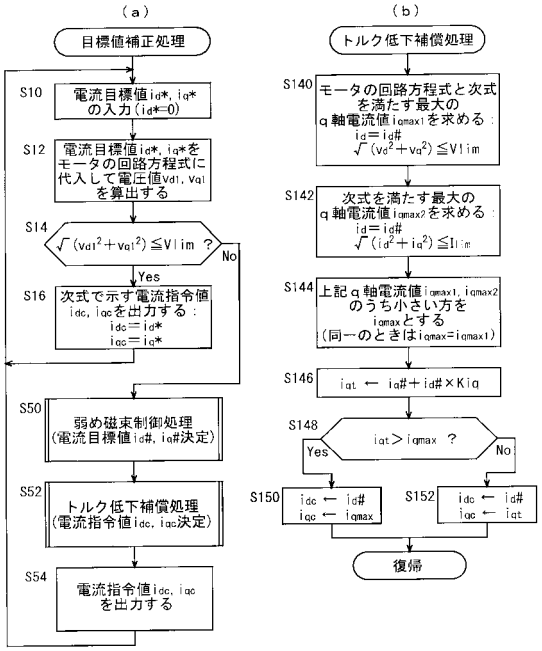
【図８】


弱め磁束制御処理
S120
モータの回路方程式と次式を満たす電圧値vd, vqのうちq軸電流iqが最大となる電圧値vd1, vq1を求める：
√(vd²+vq²) ≦Vlim
S122
モータの回路方程式と次式を満たす電圧値vd, vqのうちq軸電流iqが最大となる電圧値vd2, vq2を求める：
id=0
√(vd²+vq²) ≦Vlim
S124
電圧を示すd軸とq軸で規定される平面上において点P1(vd1, vq1)とP2(vd2, vq2)を通る直線と
√(id²+iq²)=Ilim−Kdを満たす円との交点P3(vd3, vq3)を求める
S126
モータの回路方程式より上記交点の電圧値vd3, vq3に対応するd軸電流値id3を求める
S128
モータの回路方程式と次式を満たすq軸電流値iqを修正電流値iq4として求める：
id=id3
√(vd²+vq²)=Vlim
S130
id# ← id3
iq# ← iq4
復帰

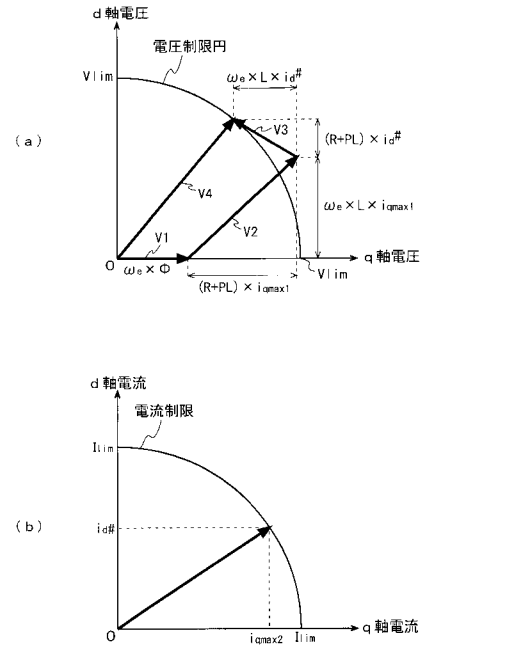
【図９】



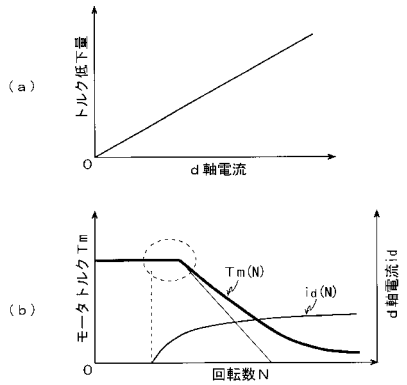
【図１０】



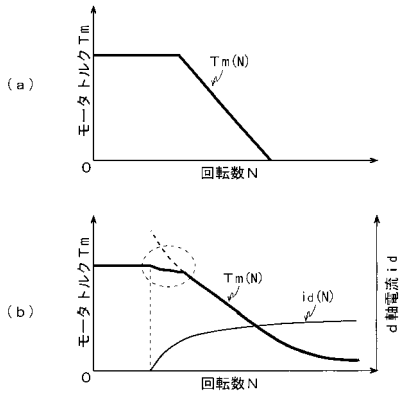
【図１１】



【図１２】



【図１３】



フロントページの続き

(72)発明者　長瀬　茂樹
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号　株式会社ジェイテクト内
(72)発明者　新口　昇
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号　株式会社ジェイテクト内
(72)発明者　須増　寛
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号　株式会社ジェイテクト内

審査官　田村　耕作

(56)参考文献　特開平０７－１７０８００（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１１８７８５（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００６／１０９８０９（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｐ　　６／０８
Ｈ０２Ｐ　２１／００
Ｈ０２Ｐ　２７／０４