

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6436005号
(P6436005)

(45) 発行日 平成30年12月12日(2018.12.12)

(24) 登録日 平成30年11月22日(2018.11.22)

(51) Int.Cl.		F I
HO2P 21/22	(2016.01)	HO2P 21/22
HO2P 21/05	(2006.01)	HO2P 21/05
HO2P 27/06	(2006.01)	HO2P 27/06

請求項の数 5 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2015-133703 (P2015-133703)	(73) 特許権者	000004260 株式会社デンソー
(22) 出願日	平成27年7月2日(2015.7.2)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(65) 公開番号	特開2017-17899 (P2017-17899A)	(74) 代理人	100093779 弁理士 服部 雅紀
(43) 公開日	平成29年1月19日(2017.1.19)	(72) 発明者	竹▲崎▼ 朗 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内
審査請求日	平成29年10月12日(2017.10.12)	(72) 発明者	中島 信頼 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内
		審査官	池田 貴俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

インバータ(20)によって印加電圧が制御される回転電機(80)の駆動を制御する回転電機制御装置であって、

前記回転電機に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づき、制限前電圧指令値を演算する制限前電圧指令値演算部(42、43)と、

出力可能な最大電圧を超えないように前記制限前電圧指令値を制限し、制限後電圧指令値を演算する電圧制限部(44、45)と、

電流リップルと逆位相のリップル補正值を演算する補正值演算部(46、56、66)と、

前記リップル補正值により前記制限後電圧指令値を補正する補正部(47)と、
を備え、

前記制限前電圧指令値の制限に係る不感帯を規定する値の絶対値の大きい方の値を第1制限値、絶対値が小さい方の値を第2制限値とすると、

前記電圧制限部は、

前記制限前電圧指令値の絶対値が前記第2制限値の絶対値より大きく、かつ、前回の演算における前記制限後電圧指令値の絶対値が、前記第2制限値の絶対値以上、前記第1制限値の絶対値以下である場合、今回の前記制限後電圧指令値として前回値を引き継ぐことを特徴とする回転電機制御装置。

【請求項2】

前記電圧制限部は、第 1 の電圧制限部であって、

出力可能な最大電圧を超えないように、前記補正部にて補正された前記制限後電圧指令値を制限する第 2 の電圧制限部 (4 8) をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 3】

インバータ (2 0) によって印加電圧が制御される回転電機 (8 0) の駆動を制御する回転電機制御装置であって、

前記回転電機に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づき、制限前電圧指令値を演算する制限前電圧指令値演算部 (4 2 、 4 3) と、

出力可能な最大電圧を超えないように前記制限前電圧指令値を制限し、制限後電圧指令値を演算する電圧制限部 (4 4 、 4 5) と、

電流リップルと逆位相のリップル補正値を演算する補正値演算部 (4 6 、 5 6 、 6 6) と、

前記リップル補正値により前記制限後電圧指令値を補正する補正部 (4 7) と、

を備え、

前記電圧制限部は、第 1 の電圧制限部であって、

出力可能な最大電圧を超えないように、前記補正部にて補正された前記制限後電圧指令値を制限する第 2 の電圧制限部 (4 8) をさらに備えることを特徴とする回転電機制御装置。

【請求項 4】

前記補正値演算部 (4 6 、 5 6) は、前記電流検出値および前記電流指令値に基づき、前記リップル補正値を演算することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 5】

前記補正値演算部 (6 6) は、前記電流検出値および前記電流検出値を用いて演算される電流推定値に基づき、前記リップル補正値を演算することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、インバータを経由して電動機に通電される電流を制御する電流制御装置が知られている。例えば特許文献 1 では、インバータの出力電圧が飽和しないように、d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値の 2 乗和が一定となるようにそれぞれの軸の電圧を制限している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 8 - 1 9 1 6 0 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 のように、d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値の 2 乗和が一定となるように制御すると、d 軸電圧指令値の変動に伴って、q 軸電圧指令値が変動し、q 軸電流が変動することで、音や振動が発生する虞がある。

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、発生する音や振動を抑制可能な回転電機制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

10

20

30

40

50

本発明の回転電機制御装置は、インバータによって印加電圧が制御される回転電機の駆動を制御するものであって、制限前電圧指令値演算部と、電圧制限部と、補正值演算部と、補正部と、を備える。

制限前電圧指令値演算部は、回転電機に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づき、制限前電圧指令値を演算する。

電圧制限部は、出力可能な最大電圧を超えないように制限前電圧指令値を制限し、制限後電圧指令値を演算する。

補正值演算部は、電流リップルと逆位相のリップル補正值を演算する。

補正部は、リップル補正值により、制限後電圧指令値を補正する。

第1の態様では、制限前電圧指令値の制限に係る不感帯を規定する値の絶対値の大きい方の値を第1制限値、絶対値が小さい方の値を第2制限値とすると、電圧制限部は、制限前電圧指令値の絶対値が第2制限値の絶対値より大きく、かつ、前回の演算における制限後電圧指令値の絶対値が、第2制限値の絶対値以上、第1制限値の絶対値以下である場合、今回の制限後電圧指令値として前回値を引き継ぐ。

10

第2の態様では、電圧制限部は、第1の電圧制限部であって、出力可能な最大電圧を超えないように、補正部にて補正された制限後電圧指令値を制限する第2の電圧制限部をさらに備える。

【0006】

本発明では、電流リップルと逆位相のリップル補正值を用いて制限後電圧指令値を補正しているため、電流リップルを低減することができる。これにより、電流リップルに起因する音や振動を抑制することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の第1実施形態による回転電機制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1実施形態によるq軸PI演算部および補正值演算部を説明するブロック図である。

【図3】本発明の第1実施形態によるd軸制限処理を説明するフローチャートである。

【図4】本発明の第1実施形態による第1q軸制限処理を説明するフローチャートである。

【図5】本発明の第1実施形態による不感帯を説明する説明図である。

30

【図6】本発明の第1実施形態による第2q軸制限処理を説明するフローチャートである。

【図7】本発明の第1実施形態による補正演算を説明するタイムチャートである。

【図8】本発明の第2実施形態による補正值演算部を説明するブロック図である。

【図9】本発明の第3実施形態による補正值演算部を説明するブロック図である。

【図10】本発明の第3実施形態による補正演算を説明するタイムチャートである。

【図11】本発明の第4実施形態による第2q軸制限処理を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0008】

40

以下、本発明による回転電機制御装置を図面に基づいて説明する。なお、以下、複数の実施形態において、実質的に同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態による回転電機制御装置を図1～図7に示す。

図1に示すように、回転電機制御装置1は、回転電機としてのモータ80の駆動を制御するものであって、モータ80とともに、例えば車両のステアリング操作を補助するための電動パワーステアリング装置に適用される。

モータ80は、3相ブラシレスモータであり、図示しないバッテリーの電力を用いて駆動される。

回転電機制御装置1は、インバータ20、電流センサ30、および、制御部40等を備

50

える。

【0009】

インバータ20は、3相インバータであり、図示しない6つのスイッチング素子がブリッジ接続されている。スイッチング素子は、例えば電界効果トランジスタの一種であるMOSFET（金属酸化物半導体電界効果トランジスタ）である。また、スイッチング素子は、MOSFETに限らず、IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）やサイリスタ等であってもよい。2つのスイッチング素子は、一方が高電位側、他方が低電位側に接続され、1つのスイッチング素子対を構成する。3つのスイッチング素子対における高電位側スイッチング素子と低電位側スイッチング素子との接続点は、それぞれ、モータ80のU相コイル、V相コイル、および、W相コイルに接続される。

10

インバータ20の各スイッチング素子は、プリドライバ25を介し、制御部40によりオンオフ作動が制御され、図示しないバッテリーから供給される直流電力を交流電力に変換し、モータ80に供給する。

【0010】

電流センサ30には、シャント抵抗やホールICが用いられる。電流センサ30は、U相コイルに通電されるU相電流、V相コイルに通電されるV相電流、および、W相コイルに通電されるW相電流を検出する。電流センサ30の検出値は、増幅回路31を經由して、制御部40へ出力される。

【0011】

制御部40は、回転電機制御装置1全体の制御を司るものであって、各種演算処理を実行するマイクロコンピュータを主体とするものである。制御部40における各処理は、予め記憶されたプログラムをCPUで実行することによるソフトウェア処理であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。制御部40は、機能ブロックとして、3相2相変換部41、PI制御部42、43、d軸制限部44、第1q軸制限部45、補正值演算部46、補正部47、第2q軸制限部48、2相3相変換部49、および、PWM変換部50等を有する。

20

【0012】

3相2相変換部41は、U相電流検出値 I_u 、V相電流検出値 I_v 、および、W相電流検出値 I_w を、増幅回路31を介して電流センサ30から取得する。U相電流検出値 I_u 、V相電流検出値 I_v 、または、W相電流検出値 I_w のいずれか1つは、3相和=0より、残りの2相の検出値から演算してもよい。

30

3相2相変換部41では、図示しない回転角センサにて検出される電気角に基づき、dq変換により、U相電流検出値 I_u 、V相電流検出値 I_v 、および、W相電流検出値 I_w を、d軸電流検出値 I_d およびq軸電流検出値 I_q に変換する。これにより、U相電流検出値 I_u 、V相電流検出値 I_v 、および、W相電流検出値 I_w は、3相座標からdq座標に変換される。

【0013】

d軸PI制御部42は、d軸電流検出値 I_d をd軸電流指令値 I_d^* に追従させるべく、PI演算等により、制限前d軸電圧指令値 $F B d$ を演算する。

q軸PI制御部43は、q軸電流検出値 I_q をq軸電流指令値 I_q^* に追従させるべく、PI演算等により、制限前q軸電圧指令値 $F B q$ を演算する。

40

d軸電流指令値 I_d^* およびq軸電流指令値 I_q^* は、例えば操舵トルクや車速等に応じ、図示しない指令演算部にて演算される。

【0014】

d軸制限部44は、インバータ20からの出力電圧が飽和しないように、制限前d軸電圧指令値 $F B d$ を制限するd軸制限処理を行い、d軸電圧指令値 $V d^*$ を演算する。

第1q軸制限部45は、インバータ20からの出力電圧が飽和しないように、制限前q軸電圧指令値 $F B q$ を制限する第1q軸制限処理を行い、制限後q軸電圧指令値 $G F B q$ を演算する。

d軸制限処理および第1q軸制限処理の詳細は後述する。

50

【 0 0 1 5 】

補正值演算部 4 6 は、q 軸電流のリップルを抑制するための q 軸補正值 $W F B q$ を演算する。

ここで、q 軸 P I 制御部 4 3 および補正值演算部 4 6 の詳細を図 2 に示す。

図 2 に示すように、q 軸 P I 制御部 4 3 は、減算器 4 3 1、遅延素子 4 3 2、減算器 4 3 3、P 演算部 4 3 4、加算器 4 3 5、I 演算部 4 3 6、遅延素子 4 3 7、および、加算器 4 3 8 を有する。

【 0 0 1 6 】

減算器 4 3 1 は、q 軸電流検出値 $I q$ と q 軸電流指令値 $I q^*$ との差分である q 軸電流偏差 $I q$ を演算する。

10

遅延素子 4 3 2 は、q 軸電流偏差 $I q$ の前回値を、減算器 4 3 3 および加算器 4 3 5 に出力する。以下、各演算において、前回値と今回値とを区別する必要がある場合、前回値には $(n-1)$ 、今回値には (n) を付す。

【 0 0 1 7 】

減算器 4 3 3 は、今回の q 軸電流偏差 $I q_{(n)}$ と前回の q 軸電流偏差 $I q_{(n-1)}$ との偏差を演算する。

P 演算部 4 3 4 は、フィードバック演算用の P ゲインを用い、今回の q 軸電流偏差 $I q_{(n)}$ と前回の q 軸電流偏差 $I q_{(n-1)}$ との偏差に基づいて P 制御値 $P F B q$ を演算する。

【 0 0 1 8 】

20

加算器 4 3 5 は、今回の q 軸電流偏差 $I q_{(n)}$ と前回の q 軸電流偏差 $I q_{(n-1)}$ との和を演算する。

I 演算部 4 3 6 は、フィードバック演算用の I ゲインを用い、今回の q 軸電流偏差 $I q_{(n)}$ と前回の q 軸電流偏差 $I q_{(n-1)}$ との和に基づいて I 制御値 $I F B q$ を演算する。

遅延素子 4 3 7 は、前回の制限前 q 軸電圧指令値 $F B q_{(n-1)}$ を加算器 4 3 8 に出力する。

加算器 4 3 8 は、前回の制限前 q 軸電圧指令値 $F B q_{(n-1)}$ に、P 制御値 $P F B q$ および I 制御値 $I F B q$ を加算し、今回の制限前 q 軸電圧指令値 $F B q_{(n)}$ を演算する。

【 0 0 1 9 】

補正值演算部 4 6 は、感応ゲイン乗算部 4 6 1 および調整ゲイン乗算部 4 6 2 を有し、P 制御値 $P F B q$ に基づき、q 軸補正值 $W F B q$ を演算する。

30

感応ゲイン乗算部 4 6 1 は、電源電圧による応答性への影響を軽減するための感応ゲインを乗算する。

調整ゲイン乗算部 4 6 2 は、応答性を調整するための調整ゲインを乗算する。

【 0 0 2 0 】

本実施形態では、P 制御値 $P F B q$ に、感応ゲインおよび調整ゲインを乗じた値を q 軸補正值 $W F B q$ とする。P 制御値 $P F B q$ に乗じるゲインは、感応ゲインまたは調整ゲインのいずれか一方であってもよい。また、補正值演算部 4 6 は、P 制御値 $P F B q$ に替えて、制限前 q 軸電圧指令値 $F B q$ に感応ゲインおよび調整ゲインを乗じることで、q 軸補正值 $W F B q$ を演算してもよい。

40

【 0 0 2 1 】

図 1 に戻り、補正部 4 7 は、制限後 q 軸電圧指令値 $G F B q$ を q 軸補正值 $W F B q$ で補正する補正演算を行い、補正後 q 軸電圧指令値 $A F B q$ を演算する。本実施形態の補正部 4 7 は、加算器であって、制限後 q 軸電圧指令値 $G F B q$ と q 軸補正值 $W F B q$ とを加算し、補正後 q 軸電圧指令値 $A F B q$ を演算する。

【 0 0 2 2 】

第 2 q 軸制限部 4 8 は、インバータ 2 0 からの出力電圧が飽和しないように、補正後 q 軸電圧指令値 $A F B q$ を制限する第 2 q 軸制限処理を行い、q 軸電圧指令値 $V q^*$ を演算する。第 2 q 軸制限処理の詳細は、後述する。

【 0 0 2 3 】

50

2相3相変換部49は、電気角に基づき、逆dq変換により、d軸電圧指令値 V_d^* およびq軸電圧指令値 V_q^* を、3相の電圧指令値であるU相電圧指令値 V_u^* 、V相電圧指令値 V_v^* およびW相電圧指令値 V_w^* に変換する。

PWM変換部50は、U相電圧指令値 V_u^* 、V相電圧指令値 V_v^* 、および、W相電圧指令値 V_w^* に基づき、各相のスイッチング素子のオン期間の割合に対応するU相デューティ D_u 、V相デューティ D_v 、および、W相デューティ D_w を演算する。

PWM変換部50から出力されたU相デューティ D_u 、V相デューティ D_v 、および、W相デューティ D_w は、ブリドライバ25にて駆動信号に変換される。そして、当該駆動信号に基づき、インバータ20のスイッチング素子のオンオフ作動が制御される。

これにより、制御部40は、インバータ20を介したPWM制御により、モータ80の駆動を制御する。

10

【0024】

d軸制限部44におけるd軸制限処理を図3に示すフローチャートに基づいて説明する。

最初のステップS101では、d軸制限部44は、制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が正側のd軸飽和ガード値 V_{d_max} より大きいかなかを判断する。以下、「ステップS101」の「ステップ」を省略し、「S101」と記載する。他のステップについても同様とする。d軸飽和ガード値 V_{d_max} は、インバータ20からの出力電圧が飽和しないように決定される最大電圧 V_{max} に基づき、許容される進角に応じて決定される定数である(図5参照)。制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が正側のd軸飽和ガード値 V_{d_max} より大きいと判断された場合(S101: YES)、S103へ移行する。制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が正側のd軸飽和ガード値 V_{d_max} 以下であると判断された場合(S101: NO)、S102へ移行する。

20

【0025】

S102では、d軸制限部44は、制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が負側のd軸飽和ガード値 $-V_{d_max}$ より小さいかなかを判断する。制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が負側のd軸飽和ガード値 $-V_{d_max}$ より小さいと判断された場合(S102: YES)、S104へ移行する。制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が負側のd軸飽和ガード値 $-V_{d_max}$ 以上であると判断された場合(S102: NO)、S105へ移行する。

【0026】

制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が正側のd軸飽和ガード値 V_{d_max} より大きいと判断された場合(S101: YES)に移行するS103では、d軸制限部44は、d軸電圧指令値 V_d^* を、正側のd軸飽和ガード値 V_{d_max} とする。

制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が負側のd軸飽和ガード値 $-V_{d_max}$ より小さいと判断された場合(S102: YES)に移行するS104では、d軸制限部44は、d軸電圧指令値 V_d^* を、負側のd軸飽和ガード値 $-V_{d_max}$ とする。

制限前d軸電圧指令値 $F B d$ が、負側のd軸飽和ガード値 $-V_{d_max}$ 以上、正側のd軸飽和ガード値 V_{d_max} 以下であると判断された場合(S101: NO、かつ、S102: NO)に移行するS105では、d軸制限部44は、d軸電圧指令値 V_d^* を、制限前d軸電圧指令値 $F B d$ とする。

30

40

d軸制限部44にて演算されたd軸電圧指令値 V_d^* は、第1q軸制限部45および2相3相変換部49に出力される。

【0027】

次に、第1q軸制限部45における第1q軸制限処理を図4に示すフローチャートに基づいて説明する。

S201では、第1q軸制限部45は、d軸電圧指令値 V_d^* に基づき、第1q軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ 、および、第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ を演算する。第1q軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ を式(1)、第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ を式(1)に示す。式中の V は、任意に設定される不感帯幅である。

【0028】

50

【数 1】

$$Vq_max_H = \sqrt{(V_max)^2 - (Vd^*)^2} \quad \dots (1)$$

$$Vq_max_L = Vq_max_H - \Delta V \quad \dots (2)$$

【0029】

飽和ガード値について、図5に基づいて説明する。ここでは、d軸電圧およびq軸電圧に係る各値が正である場合を例に説明することとし、適宜「正側の」の記載を省略する。 10

図5(a)に示すように、制限前d軸電圧指令値FBdがd軸飽和ガード値Vd_max以下である場合、d軸制限部44は、d軸電圧指令値Vd^*を、制限前d軸電圧指令値FBdとする。また、図5(b)に示すように、制限前d軸電圧指令値FBdがd軸飽和ガード値Vd_maxより大きい場合、d軸制限部44は、d軸電圧指令値Vd^*を、d軸飽和ガード値Vd_maxとする。

第1q軸制限部45は、最大電圧V_maxおよびd軸電圧指令値Vd^*に基づき、第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hを演算する。また、第1q軸制限部45は、第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hから不感帯幅Vを減算し、第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lを演算する。

本実施形態では、第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lを超えている状態を「飽和状態」とし、第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lと第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hとの間の領域を「飽和領域」とする。 20

【0030】

図4に戻り、S202では、第1q軸制限部45は、制限前q軸電圧指令値FBqが正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lより大きいかなかを判断する。制限前q軸電圧指令値FBqが正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max_L以下であると判断された場合(S202:NO)、S208へ移行する。制限前q軸電圧指令値FBqが正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lより大きいと判断された場合(S202:YES)、S203へ移行する。以下、S203~S207は、正側における制限処理である。

【0031】

S203では、第1q軸制限部45は、前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が、正側の第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hより大きいかなかを判断する。前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hより大きいと判断された場合(S203:YES)、S205へ移行する。前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第1q軸飽和ガード値Vq_max_H以下であると判断された場合(S203:NO)、S204へ移行する。 30

【0032】

S204では、第1q軸制限部45は、前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lより小さいかなかを判断する。前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max_Lより小さいと判断された場合(S204:YES)、S206へ移行する。前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max_L以上であると判断された場合(S204:NO)、S207へ移行する。 40

【0033】

前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hより大きいと判断された場合(S203:YES)に移行するS205では、第1q軸制限部45は、今回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n)を、正側の第1q軸飽和ガード値Vq_max_Hとする。

【0034】

前回の制限後q軸電圧指令値GF B q_(n-1)が正側の第2q軸飽和ガード値Vq_max 50

x_L より小さいと判断された場合 (S204: YES) に移行するS206では、第1 q軸制限部45は、今回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、正側の第2 q軸飽和ガード値 Vq_max_L とする。

【0035】

前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が正側の第2 q軸飽和ガード値 Vq_max_L 以上、正側の第1 q軸飽和ガード値 Vq_max_H 以下であると判断された場合 (S203: NO、かつ、S204: NO) に移行するS207では、第1 q軸制限部45は、今回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ とする。

【0036】

制限前 q軸電圧指令値 FBq が正側の第2 q軸飽和ガード値 Vq_max_L 以下であると判断された場合 (S202: NO) に移行するS208では、第1 q軸制限部45は、制限前 q軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ より小さいか否かを判断する。制限前 q軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ 以上であると判断された場合 (S208: NO)、S214へ移行する。制限前 q軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ より小さいと判断された場合 (S208: YES)、S209へ移行する。以下、S209~S213は、負側における制限処理である。

【0037】

S209では、第1 q軸制限部45は、前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第1 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ より小さいか否かを判断する。前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第1 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ より小さいと判断された場合 (S209: YES)、S211へ移行する。前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第1 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ 以上であると判断された場合 (S209: NO)、S210へ移行する。

【0038】

S210では、第1 q軸制限部45は、前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第2 q軸飽和ガード値 Vq_max_L より大きいと判断された場合 (S210: YES)、S212へ移行する。前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ 以下であると判断された場合 (S210: NO)、S213へ移行する。

【0039】

前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第1 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ より小さいと判断された場合 (S209: YES) に移行するS211では、第1 q軸制限部45は、今回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、負側の第1 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ とする。

【0040】

前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ より大きいと判断された場合 (S210: YES) に移行するS212では、第1 q軸制限部45は、今回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ とする。

【0041】

前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が負側の第1 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ 以上、負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ 以下であると判断された場合 (S209: NO、かつ、S210: NO) に移行するS213では、第1 q軸制限部45は、今回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、前回の制限後 q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ がとする。

【0042】

制限前 q軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q軸飽和ガード値 $-Vq_max_L$ 以上、

10

20

30

40

50

正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以下である場合 (S202: NO、かつ、S208: NO) に移行する S214 では、第1 q 軸制限部45は、今回の制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、制限前 q 軸電圧指令値 FBq とする。

【0043】

第2 q 軸制限部48における第2 q 軸制限処理を図6に示すフローチャートに基づいて説明する。

S301では、第2 q 軸制限部48は、制限前 q 軸電圧指令値 FBq が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より大きいか否かを判断する。制限前 q 軸電圧指令値 FBq が正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以下であると判断された場合 (S301: NO)、S307へ移行する。制限前 q 軸電圧指令値 FBq が正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より大きいと判断された場合 (S301: YES)、S302へ移行する。

10

【0044】

S302では、第2 q 軸制限部48は、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第1 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ より大きいか否かを判断する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第1 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ より大きいと判断された場合 (S302: YES)、S304へ移行する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第1 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ 以下であると判断された場合 (S302: NO)、S303へ移行する。

【0045】

20

S303では、第2 q 軸制限部48は、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より小さいか否かを判断する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より小さいと判断された場合 (S303: YES)、S305へ移行する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以上であると判断された場合 (S303: YES)、S306へ移行する。

【0046】

補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第1 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ より大きいと判断された場合 (S302: YES) に移行する S304では、第2 q 軸制限部48は、q 軸電圧指令値 Vq^* を、第1 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ とする。

30

補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より小さいと判断された場合 (S303: YES) に移行する S305では、第2 q 軸制限部48は、q 軸電圧指令値 Vq^* を、第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ とする。

補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以上、正側の第1 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ 以下である場合 (S302: YES、かつ、S303: YES) に移行する S306では、第2 q 軸制限部48は、q 軸電圧指令値 Vq^* を、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ とする。

【0047】

制限前 q 軸電圧指令値 FBq が、正側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以下であると判断された場合 (S301: NO) に移行する S307では、第2 q 軸制限部48は、制限前 q 軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より小さいか否かを判断する。制限前 q 軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q 軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以上であると判断された場合 (S307: NO)、S313へ移行する。制限前 q 軸電圧指令値 FBq が負側の第2 q 軸飽和ガード値 $-V_{q_max_L}$ より小さいと判断された場合 (S307: YES)、S308へ移行する。

40

【0048】

S308では、第2 q 軸制限部48は、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-V_{q_max_H}$ より小さいか否かを判断する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-V_{q_max_H}$ より小さいと判断された場合 (S308: YES)、S310へ移行する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、負

50

側の第1q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_H}$ 以上であると判断された場合 (S308 : NO)、S309へ移行する。

【0049】

S309では、第2q軸制限部48は、補正後q軸電圧指令値AFBqが、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ より大きいと判断するか否かを判断する。補正後q軸電圧指令値AFBqが、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ より大きいと判断された場合 (S309 : YES)、S311へ移行する。補正後q軸電圧指令値AFBqが、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ 以下であると判断された場合 (S309 : NO)、S312へ移行する。

【0050】

補正後q軸電圧指令値AFBqが、負側の第1q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_H}$ より小さいと判断された場合 (S308 : YES)に移行するS310では、第2q軸制限部48は、q軸電圧指令値 V_{q^*} を、負側の第1q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_H}$ とする。

補正後q軸電圧指令値AFBqが、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ より大きいと判断された場合 (S309 : YES)に移行するS311では、第2q軸制限部48は、q軸電圧指令値 V_{q^*} を、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ とする。

補正後q軸電圧指令値AFBqが、負側の第1q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_H}$ 以上、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ 以下であると判断された場合 (S308 : YES、かつ、S309 : YES)に移行するS312では、第2q軸制限部48は、q軸電圧指令値 V_{q^*} を、補正後q軸電圧指令値AFBqとする。

【0051】

制限前q軸電圧指令値FBqが、負側の第2q軸飽和ガード値 - $V_{q_max_L}$ 以上、正側の第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以下であると判断された場合 (S301 : NO、かつ、S307 : NO)に移行するS313では、q軸電圧指令値 V_{q^*} を、補正後q軸電圧指令値AFBqとする。

【0052】

ここで、電圧指令演算を、図7に示すタイムチャートに基づいて説明する。図7では、各電流および電圧が正の場合を例に説明する。図7において、(a)はq軸電流検出値 I_q を示し、(b)はP制御値PFBqおよびq軸補正值WFBqを示す。図7(c)では、制限前q軸電圧指令値FBqおよびq軸電圧指令値 V_{q^*} を実線、第1q軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ および第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ を破線、制限後q軸電圧指令値GFBqを一点鎖線、補正後q軸電圧指令値AFBqを二点鎖線で示す。

【0053】

図7(a)に示すように、フィードバック制御により指令に追従させるよう制御するため、q軸電流検出値 I_q は、経時的に変動する。ここで、インバータ20の出力電圧が飽和しないように、例えばd軸電圧指令値およびq軸電圧指令値の2乗和が所定値以下となるようにq軸電圧指令値を制限すると、d軸電圧指令値の変動につられて、q軸電圧指令値が変動し、q軸電流の変動が大きくなる虞がある。

そこで本実施形態では、第1q軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ と第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ との間を不感帯とすることで、q軸電流の変動を抑制している。

【0054】

具体的には、図7(c)に示すように、例えば、時刻x10を前回、時刻x11を今回とすると、前回の制限後q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が、第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ 以上、第1q軸飽和ガード値 $V_{q_max_H}$ 以下である場合、今回の制限後q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、前回の制限後q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ とする。

また例えば、時刻x20を前回、時刻x21を今回とすると、前回の制限後q軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が、第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ より小さい場合、今回の制限後q軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、第2q軸飽和ガード値 $V_{q_max_L}$ とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

また例えば、時刻 $\times 30$ を前回、時刻 $\times 31$ を今回とすると、前回の制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が、第 1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H より大きい場合、今回の制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq_{(n)}$ を、第 1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H とする。

すなわち、前回の制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ が不感帯内であれば、制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ として、前回値を引き継いでいる。これにより、飽和ガード値を 1 つの値にて規定し、不感帯を設けない場合と比較し、 q 軸電流の変動を抑制することができるので、音や振動を低減することができる。

【 0 0 5 6 】

また、図 7 (a)、(b) に示すように、 P 制御値 $PFBq$ に基づいて演算される q 軸補正值 $WFBq$ は、 q 軸電流検出値 Iq の振動に対して逆位相となっている。具体的には、 q 軸電流検出値 Iq が増加するとき、 q 軸補正值 $WFBq$ が減少し、 q 軸電流検出値 Iq が減少するとき、 q 軸補正值 $WFBq$ が増加する。

10

【 0 0 5 7 】

図 7 (c) に示すように、本実施形態では、 q 軸補正值 $WFBq$ を制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ に加算することで、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が演算される。換言すると、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ は、 q 軸電流検出値 Iq と逆位相の q 軸補正值 $WFBq$ により制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を補正して演算される。これにより、 q 軸電流のリップルを抑制することができる。

また、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ に対して第 2 q 軸制限処理を行うことで、 q 軸電圧指令値 Vq^* が演算される。

20

【 0 0 5 8 】

制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を q 軸補正值 $WFBq$ で補正する処理は、 q 軸電流のリップルを抑制するために、通常のフィードバック制御とは別途に実行されるリップル抑制のためのフィードバック制御である、と捉えることができる。 q 軸電流のリップルを抑制するためのフィードバック制御を行い、通常のフィードバック制御における制御量の変化分、電圧指令を変化させることで、 q 軸電流のリップルが抑制される。

【 0 0 5 9 】

本実施形態では、飽和領域を不感帯とすることで、 d 軸電流の変動に伴う q 軸電流の変動を抑制した上で、制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ をリップル補正值 $WFBq$ で補正することで q 軸電流のリップルを抑制している。これにより、制限前 q 軸電圧指令値 FBq が飽和状態であったとしても、インバータ 20 にて出力可能な電圧の範囲内にて、可及的に高出力を確保しつつ、 q 軸電流のリップルを抑制することができる。

30

【 0 0 6 0 】

以上詳述したように、本実施形態の回転電機制御装置 1 は、インバータ 20 によって印加電圧が制御されるモータ 80 の駆動を制御するものであって、 PI 制御部 42、43 と、制限部 44、45 と、補正值演算部 46 と、補正部 47 と、を備える。

d 軸 PI 制御部 42 は、モータ 80 に通電される電流の d 軸電流検出値 Id および d 軸電流指令値 Id^* に基づき、制限前 d 軸電圧指令値 Fbd を演算する。

q 軸 PI 制御部 43 は、モータ 80 に通電される電流の q 軸電流検出値 Iq および q 軸電流指令値 Iq^* に基づき、制限前 q 軸電圧指令値 FBq を演算する。

40

【 0 0 6 1 】

d 軸制限部 44 は、出力可能な最大電圧 V_max を超えないように、制限前 d 軸電圧指令値 Fbd を制限し、制限後 d 軸電圧指令値である d 軸電圧指令値 Vd^* を演算する。

第 1 q 軸制限部 45 は、出力可能な最大電圧 V_max を超えないように、制限前 q 軸電圧指令値 FBq を制限し、制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を演算する。

【 0 0 6 2 】

補正值演算部 46 では、 q 軸電流の電流リップルと逆位相の q 軸補正值 $WFBq$ を演算する。ここで、電流リップルの位相とリップル補正值の位相とは、厳密な逆位相に限らず、電流リップルを低減可能な程度の位相ずれは許容されるものとする。

50

補正部 47 は、q 軸補正值 $WFBq$ により制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を補正する。

【0063】

本実施形態では、電流リップルと逆位相のリップル補正値を用いて制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を補正しているため、制限前 q 軸電圧指令値 $F B q$ が飽和状態であっても、電流リップルを低減することができる。これにより、電流リップルに起因する音や振動を抑制することができる。

【0064】

補正值演算部 46 は、q 軸電流検出値 Iq および q 軸電流指令値 Iq^* に基づき、制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を補正する q 軸補正值 $WFBq$ を演算する。詳細には、補正值演算部 46 は、q 軸電流検出値 Iq と q 軸電流指令値 Iq^* との偏差である q 軸電流偏差 Iq に基づいて演算される P 制御値 $PFBq$ に基づき、q 軸補正值 $WFBq$ を演算する。P 制御値 $PFBq$ は、第 1 q 軸制限処理前の演算値であるため、q 軸電流の偏差分の動きに依存した値であり、飽和ガードの影響を受けていない。これにより、q 軸電流のリップルに応じ、q 軸補正值 $WFBq$ を適切に演算することができる。また、従来のフィードバック演算である q 軸 PI 制御部 43 にて演算される値を用いて q 軸補正值 $WFBq$ を演算しているため、演算負荷を低減することができる。

【0065】

本実施形態では、制限前 q 軸電圧指令値 $F B q$ の制限に係る不感帯を規定する値の絶対値の大きい方の値を第 1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H 、絶対値が小さい方の値を第 2 q 軸飽和ガード値 Vq_max_L とする。

第 1 q 軸制限部 45 は、制限前 q 軸電圧指令値 $F B q$ の絶対値が第 2 q 軸飽和ガード値 Vq_max_L の絶対値より大きく、かつ、前回の制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq_{(n-1)}$ の絶対値が、第 2 q 軸飽和ガード値 Vq_max_L の絶対値以上、第 1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H の絶対値以下である場合、今回の制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ として、前回値（すなわち $GFBq_{(n-1)}$ ）を引き継ぐ。

これにより、第 1 q 軸制限処理における d 軸電圧指令値 Vd^* の変動に伴うトルク変動が抑制され、音や振動を低減することができる。

【0066】

回転電機制御装置 1 は、第 1 q 軸制限部 45、および、第 2 q 軸制限部 48 を備える。第 2 q 軸制限部 48 は、出力可能な最大電圧を超えないように、補正部 47 にて補正された補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ を制限する。これにより、インバータ 20 からの出力電圧が飽和しない範囲内にて、モータ 80 の駆動を適切に制御することができる。

【0067】

本実施形態では、d 軸 PI 制御部 42 および q 軸 PI 制御部 43 が「制限前電圧指令値演算部」に対応し、d 軸制限部 44 および第 1 q 軸制限部 45 が「電圧制限部」に対応し、補正值演算部 46 が「補正值演算部」に対応し、補正部 47 が「補正部」に対応する。また、第 1 q 軸制限部 45 が「第 1 の電圧制限部」に対応し、第 2 q 軸制限部 48 が「第 2 の電圧制限部」に対応する。

また、制限前 d 軸電圧指令値 $F B d$ および制限前 q 軸電圧指令値 $F B q$ が「制限前電圧指令値」に対応し、d 軸電圧指令値 Vd^* および制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ が「制限後電圧指令値」に対応し、q 軸補正值 $WFBq$ が「リップル補正値」に対応する。また、第 1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H が「第 1 制限値」に対応し、第 2 q 軸飽和ガード値 Vq_max_L が「第 2 制限値」に対応する。

【0068】

（第 2 実施形態）

本発明の第 2 実施形態を図 8 に基づいて説明する。

図 8 に示すように、本実施形態は、補正值演算部 56 が上記実施形態と異なる。補正值演算部 56 は、リップル補正用 P 演算部 561、リップル補正用 I 演算部 562、遅延素子 563、および、加算器 564 を有する。

【0069】

10

20

30

40

50

リップル補正用 P 演算部 5 6 1 は、リップル補正用の P ゲインを用い、今回の q 軸電流偏差 $I_{q(n)}$ と前回の q 軸電流偏差 $I_{q(n-1)}$ との偏差に基づいてリップル補正用 P 制御値 R_{PFBq} を演算する。

リップル補正用 I 演算部 5 6 2 は、リップル補正用の I ゲインを用い、今回の q 軸電流偏差 $I_{q(n)}$ と前回の q 軸電流偏差 $I_{q(n-1)}$ との和に基づいてリップル補正用 I 制御値 R_{IFBq} を演算する。

【0070】

遅延素子 5 6 3 は、前回の q 軸補正值 $W_{FBq(n-1)}$ を加算器 5 6 4 に出力する。

加算器 5 6 4 は、前回の q 軸補正值 $W_{FBq(n-1)}$ に、リップル補正用 P 制御値 R_{PFBq} およびリップル補正用 I 制御値 R_{IFBq} を加算し、今回の q 軸補正值 $W_{FBq(n)}$ を演算する。

10

【0071】

本実施形態では、制限前 q 軸電圧指令値 F_{Bq} を導出するための P I 演算とは別途に、リップル補正用の P I 演算を行っている。リップル補正用 P 演算部 5 6 1 では、P 演算部 4 3 4 にて用いる P ゲインよりも大きい値を用いて応答性を高めることで、従来の電流フィードバック制御では抑制できない電流リップルを抑制可能である。リップル補正用 I 演算部 5 6 2 についても同様である。なお、補正值演算部 5 6 において、リップル補正用 I 演算部 5 6 2 を省略し、I 演算を行わなくてもよい。

【0072】

本実施形態の補正值演算部 5 6 は、q 軸電流検出値 I_q および q 軸電流指令値 I_q^* に基づき、q 軸補正值 W_{FBq} を演算する。詳細には、補正值演算部 5 6 は、q 軸電流検出値 I_q と q 軸電流指令値 I_q^* の偏差である q 軸電流偏差 I_q の前回値と今回値との偏差に基づき、q 軸補正值 W_{FBq} を演算する。

20

このように構成しても、上記実施形態と同様の効果を奏する。

本実施形態では、補正值演算部 5 6 が「補正值演算部」に対応する。

【0073】

(第3実施形態)

本発明の第3実施形態を図9および図10に基づいて説明する。

図9および図10に示すように、本実施形態は、補正值演算部 6 6 が上記実施形態と異なる。

30

図9に示すように、補正值演算部 6 6 は、電流推定部 6 6 1、減算器 6 6 2、P I 制御部 6 6 3、および、感応ゲイン乗算部 6 6 4 を有する。

【0074】

電流推定部 6 6 1 は、q 軸電流検出値 I_q に基づき、q 軸電流推定値 I_{q_e} を演算する。q 軸電流推定値 I_{q_e} は、q 軸電流の振動抑制後の目標値である。本実施形態では、q 軸電流推定値 I_{q_e} は、q 軸電流検出値 I_q をローパスフィルタ処理した値とする。また、q 軸電流推定値 I_{q_e} は、所定期間における q 軸電流検出値 I_q の移動平均値としてもよい。

【0075】

減算器 6 6 2 は、q 軸電流推定値 I_{q_e} と q 軸電流検出値 I_q との偏差である推定電流偏差 I_{q_e} を演算する。

40

P I 制御部 6 6 3 は、推定電流偏差 I_{q_e} をゼロに収束させるべく、P I 演算を行う。

感応ゲイン乗算部 6 6 4 は、電源電圧による応答性への影響を軽減するための感応ゲインを乗算し、q 軸補正值 W_{FBq} を演算する。

【0076】

本実施形態では、q 軸電流推定値 I_{q_e} から q 軸電流検出値 I_q を減算した推定電流偏差 I_{q_e} に基づいて q 軸補正值 W_{FBq} を演算する。そのため、図10(a)、(b)に示すように、q 軸電流推定値 I_{q_e} に対する q 軸電流検出値 I_q の位相と、q 軸補正值 W_{FBq} の位相とは、逆位相となる。また、図10(c)に示すように、制限後 q

50

軸電圧指令値 $GFBq$ に対する制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ に q 軸補正值 $WFBq$ を加算した加算値である補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ の位相も、 q 軸電流推定値 Iq_e に対する q 軸電流検出値 Iq の位相と逆位相になる。制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を q 軸電流検出値 Iq と逆位相の q 軸補正值 $WFBq$ で補正することで、 q 軸電流のリプルを低減することができる。

【0077】

本実施形態の補正值演算部 66 は、 q 軸電流検出値 Iq 、および、 q 軸電流検出値 Iq を用いて演算される q 軸電流推定値 Iq_e に基づき、制限後 q 軸電圧指令値 $GFBq$ を補正する q 軸補正值 $WFBq$ を演算する。本実施形態では、 q 軸電流推定値 Iq_e と q 軸電流検出値 Iq との偏差が目標値内となるように q 軸補正值 $WFBq$ を演算する。

10

このようにしても、上記実施形態と同様の効果を奏する。

本実施形態では、補正值演算部 66 が「補正值演算部」に対応する。

【0078】

(第4実施形態)

本発明の第4実施形態を図11に基づいて説明する。

本実施形態では、第2 q 軸制限処理が上記実施形態と異なる。 q 軸補正值 $WFBq$ の演算は、第1実施形態～第3実施形態のいずれのものとしてもよい。

S401では、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が、正側の第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H より大きいか否かを判断する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が正側の第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H より大きいと判断された場合 (S401: YES)、S403へ移行する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が正側の第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H 以下であると判断された場合 (S401: NO)、S402へ移行する。

20

【0079】

S402では、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ より小さいか否かを判断する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ より小さいと判断された場合 (S402: YES)、S404へ移行する。補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ 以上であると判断された場合 (S402: NO)、S405へ移行する。

【0080】

補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が正側の第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H より大きいと判断された場合 (S401: YES) に移行する S403では、 q 軸電圧指令値 Vq^* を、正側の第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H とする。

30

補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ より小さいと判断された場合 (S402: YES) に移行する S404では、 q 軸電圧指令値 Vq^* を、負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ とする。

補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ が負側の第1 q 軸飽和ガード値 $-Vq_max_H$ 以上、正側の第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H 以下であると判断された場合 (S401: NO、かつ、S402: NO) に移行する S405では、 q 軸電圧指令値 Vq^* を、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ とする。

【0081】

40

本実施形態の第2 q 軸制限処理では、インバータ20の出力電圧が第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H を超えた場合に、 q 軸電圧指令値 Vq^* を第1 q 軸飽和ガード値 Vq_max_H に制限し、その他の場合は、補正後 q 軸電圧指令値 $AFBq$ を q 軸電圧指令値 Vq^* としている。これにより、インバータ20にて出力可能な電圧の範囲内にて、 q 軸電流のリプルを抑制することができる。また、第2 q 軸制限処理に係る演算を簡略化することができる。

また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0082】

(他の実施形態)

(ア)制限処理

50

上記実施形態では、電圧制限部は、電圧ベースの値を用いて制限処理を行う。他の実施形態では、電圧制限部は、最大電圧に対する各値の割合を飽和率とし、飽和率に基づいて制限処理を行ってもよい。第2の電圧制限部における制限処理も同様である。

【0083】

上記実施形態では、不感帯幅は、所定値である。他の実施形態では、不感帯幅を、モータの回転角速度に応じて可変としてもよい。例えば、高速回転時における不感帯幅を、低速回転時における不感帯幅よりも小さくすることで、高速回転時において、音や振動の抑制よりも出力を優先させることができる。

【0084】

また、他の実施形態では、不感帯幅を、d軸電圧指令値に応じて可変としてもよい。例えば、d軸電圧指令値の絶対値が大きい場合の不感帯幅を大きくすることで、d軸電圧指令値が電圧最大値付近である場合における音や振動をより抑制することができる。また、d軸電圧指令値の絶対値が小さい場合の不感帯幅を小さくすることで、d軸電圧指令値が0付近である場合における出力低下を抑制することができる。

【0085】

他の実施形態では、不感帯幅は、モータの回転角速度またはd軸電圧指令値以外の値に応じて可変としてもよい。また、第1q軸制限処理における不感帯幅と、第2q軸制限処理における不感帯幅とは、異なってもよい。

他の実施形態では、第1q軸制限処理においても、不感帯幅を設けず、1つの飽和ガード値に基づいて制限処理を行ってもよい。また、第2q軸制限処理を省略してもよい。

【0086】

(ウ)補正部

上記実施形態では、制限前q軸電流指令値にq軸補正値を加算する加算器が補正部に対応する。他の実施形態では、補正部が加算器とは異なる演算器であり、リップル補正値により制限後電圧指令値を補正する演算を加算以外の演算としてもよい。

上記実施形態では、補正値演算部は、q軸のリップル補正値を演算し、補正部は、q軸の制限後q軸電圧指令値を補正する。他の実施形態では、q軸とは異なる軸のリップル電流を補正するように、リップル補正値の演算、および、制限後電圧指令値の補正を行ってもよい。

【0087】

第1実施形態および第2実施形態では、電流検出値および電流指令値に基づくP演算（またはPI演算）によりリップル補正値を演算し、第3実施形態では、電流推定値を用いてリップル補正値を演算する。他の実施形態では、電流検出値および電流指令値に基づくP演算（またはPI演算）により演算されるリップル補正値、および、電流推定値を用いて演算されるリップル補正値を共に用いて、制限後電圧指令値を補正してもよい。

【0088】

(イ)回転電機

上記実施形態では、回転電機は、3相ブラシレスモータである。他の実施形態の回転電機は、3相ブラシレスモータに限らず、どのようなモータであってもよい。上記実施形態では、回転電機がモータ（電動機）である。他の実施形態では、回転電機は、電動機および発電機の機能を併せ持つ、所謂モータジェネレータであってもよい。

上記実施形態では、回転電機制御装置は、電動パワーステアリング装置に適用される。他の実施形態では、回転電機制御装置を電動パワーステアリング装置以外のどのような装置に適用してもよい。

以上、本発明は、上記実施形態になんら限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の形態で実施可能である。

【符号の説明】

【0089】

- 1・・・回転電機制御装置
- 20・・・インバータ

10

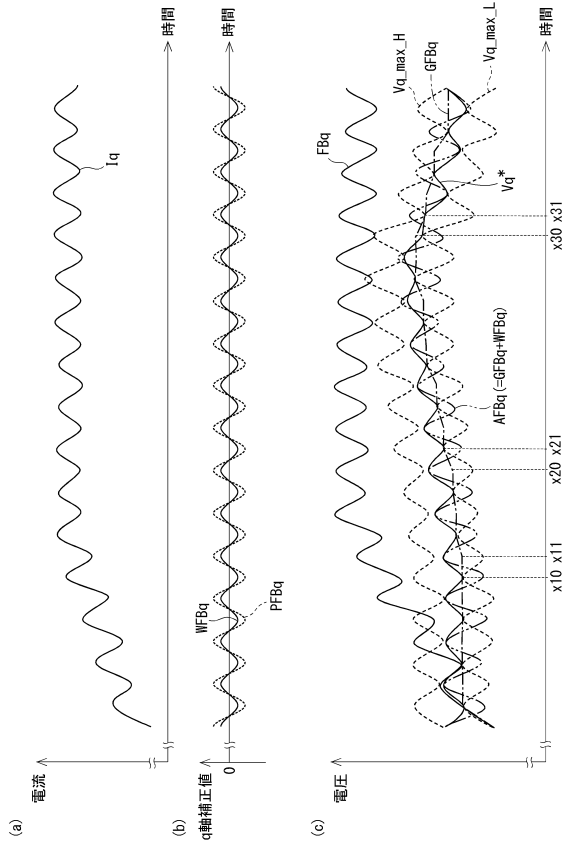
20

30

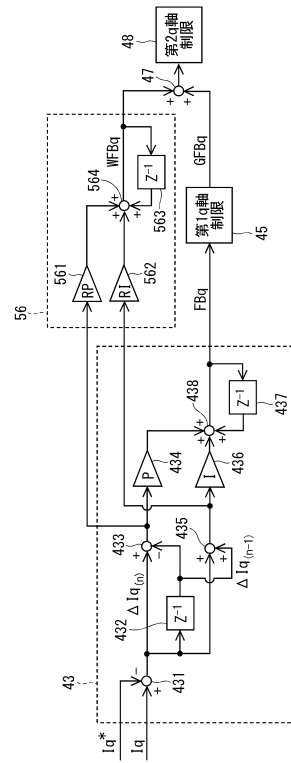
40

50

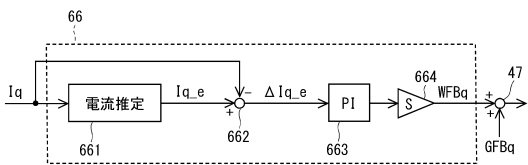
【 図 7 】



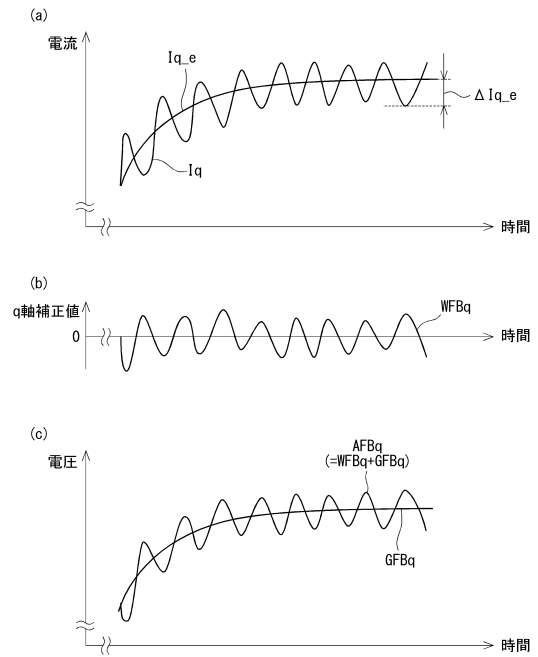
【 図 8 】



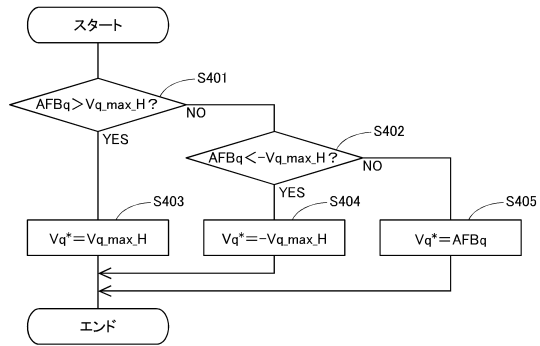
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-180070(JP,A)
特開2014-150604(JP,A)
特開2008-167568(JP,A)
特開2011-050168(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0253543(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 21/22
H02P 21/05
H02P 27/06