

(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2016-100949

(P2016-100949A)

(43) 公開日 平成28年5月30日(2016.5.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO2P 6/10 (2006.01)	HO2P 6/02 351G	5H505
HO2P 21/00 (2016.01)	HO2P 5/408 C	5H560
HO2P 27/04 (2016.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2014-235049 (P2014-235049)
 (22) 出願日 平成26年11月19日 (2014.11.19)

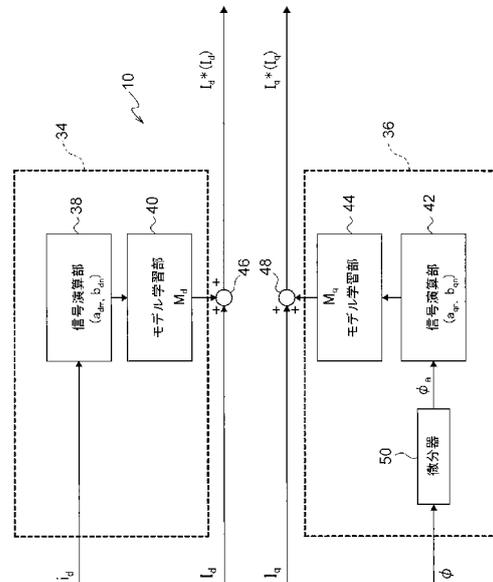
(71) 出願人 501241645
 学校法人 工学院大学
 東京都新宿区西新宿1丁目24番2号
 (74) 代理人 110001519
 特許業務法人太陽国際特許事務所
 (72) 発明者 森下 明平
 東京都西新宿一丁目24番2号 学校法人
 工学院大学内
 Fターム(参考) 5H505 AA16 BB04 DD06 EE41 GG04
 HB01 LL22 LL41
 5H560 AA08 BB04 BB12 DA07 EB01
 RR01 XA02 XA13

(54) 【発明の名称】 トルクリップル抑制装置及びトルクリップル抑制方法

(57) 【要約】

【課題】 電動機のトルクリップルを的確に抑制する。

【解決手段】 d軸調整部34の信号演算部38は、d軸電流信号 i_d から任意の次数の高調波成分についてd軸電流信号 i_d からフーリエ級数の余弦成分の振幅 a_{dn} 、及び正弦波成分の振幅 b_{dn} を演算し、モデル学習部40は、学習アルゴリズムを用いて、d軸電流信号 i_d からリップル成分を除去するためのモデル信号 M_d を生成する。また、q軸調整部36の信号演算部42は、角加速度信号 a から、フーリエ級数の余弦成分の振幅 a_{qn} 、及び正弦波成分の振幅 b_{qn} を演算し、モデル学習部44は、q軸電流信号 i_q における角速度信号 a のリップル成分に対応するモデル信号 M_q を生成する。d軸電流指令値 I_d^* は、モデル信号 M_d が重畳され、q軸電流指令値 I_q^* は、モデル信号 M_q が重畳されて出力される。



【選択図】 図1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

検出された駆動電流から得られた d 軸電流及び q 軸電流の各々が、運転指令値となるように設定した d 軸指令値及び q 軸指令値の各々に基づいて、電動機の駆動する駆動装置のトルクリップル抑制装置であって、

前記駆動電流を検出ことで得られた前記 d 軸電流から、前記電動機のトルクリップルに起因して前記 d 軸電流に含まれたリップル成分を除去するための d 軸補償信号を学習制御により生成する第 1 の生成手段と、

前記 d 軸指令値と前記 d 軸補償信号と重畳させる第 1 の重畳手段と、

前記電動機の駆動及び前記電動機のトルクリップルにより変化するパラメータを検出する検出手段と、

前記トルクリップルに起因して前記パラメータに含まれたリップル成分を、前記 q 軸電流を用いて抑制するための q 軸補償信号を学習制御により生成する第 2 の生成手段と、

前記 q 軸指令値と前記 q 軸補償信号とを重畳させる第 2 の重畳手段と、

を含むトルクリップル抑制装置。

10

【請求項 2】

各々が、前記第 1 の生成手段、前記第 1 の重畳手段、前記第 2 の生成手段、及び前記第 2 の重畳手段を有し、選択された場合に、前記第 1 の重畳手段及び前記第 2 の重畳手段により得られた前記 d 軸指令値及び q 軸指令値の各々を出力し、非選択の場合に、前記 d 軸補償信号及び前記 q 軸補償信号の生成を停止すると共に停止直前の前記 d 軸補償信号及び前記 q 軸補償信号を保持する第 1 の抑制手段及び第 2 の抑制手段と、

20

前記電動機の駆動方向を判定して、判定した駆動方向に応じて前記第 1 の抑制手段又は前記第 2 の抑制手段の一方を選択し、他方を非選択する選択手段と、

を含む請求項 1 記載のトルクリップル抑制装置。

【請求項 3】

前記トルクリップルに起因する前記 d 軸電流のリップル成分及び前記パラメータのリップル成分の各々を、前記電動機の電気角についての周期関数成分とする、

請求項 1 又は請求項 2 記載のトルクリップル抑制装置。

【請求項 4】

前記検出手段が、前記パラメータとして前記電動機の電気角又は回転角を検出する、

30

請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項記載のトルクリップル抑制装置。

【請求項 5】

検出された駆動電流から得られた d 軸電流及び q 軸電流の各々が、運転指令値となるように設定した d 軸指令値及び q 軸指令値の各々に基づいて、電動機を駆動する駆動装置において、

前記駆動電流を検出することで得られた前記 d 軸電流から、前記電動機のトルクリップルに起因して前記 d 軸電流に含まれたリップル成分を除去するための d 軸補償信号を学習制御により生成し、

前記 d 軸指令値と前記 d 軸補償信号とを重畳させ、

検出手段により前記電動機の駆動及び前記電動機のトルクリップルにより変化するパラメータを検出し、

40

前記トルクリップルに起因して前記パラメータに含まれたリップル成分を、前記 q 軸電流を用いて抑制するための q 軸補償信号を学習制御により生成し、

前記 q 軸指令値と前記 q 軸補償信号とを重畳させて、

前記電動機のトルクリップルを抑制するトルクリップル抑制方法。

【請求項 6】

前記トルクリップルに起因する前記 d 軸電流のリップル成分及び前記パラメータのリップル成分の各々を、前記電動機の電気角についての周期関数成分とする、

請求項 5 記載のトルクリップル抑制方法。

【請求項 7】

50

前記パラメータとして、前記電動機の電気角又は回転角を用いる、
請求項5又は請求項6記載のトルクリップル抑制方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電動機等に生じるトルクリップル等を抑制するトルクリップル抑制装置、及びトルクリップル抑制方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、環境負荷軽減のために電動機等を駆動源とする電気自動車や産業用電気機器の軽量化が進行している。軽量化されたこれらの装置は、重量トルク比の優れた電動機（モータ）で駆動される。

【0003】

一方、同期電動機やリニア同期モータ等においては、駆動時に回転トルクや推力トルクにトルクリップルが生じる。モータに生じるトルクリップルは、モータが搭載された駆動装置の全体に騒音や振動等を生じさせる。特に軽量化が図られた装置では、モータのトルクリップルに起因する装置の振動や騒音が問題となる。

【0004】

モータが搭載された駆動装置の機械共振を抑制するために機械的な対策を講じる機械的手法があるが、この機械的手法では、軽量化された装置に対して、装置の大型化や重量増加のみならず装置のコスト上昇などを生じさせる。

【0005】

一方、モータのトルクリップルは、モータの駆動に用いるインバータによる励磁手法の工夫で低減することが可能となる。ここから、モータに発生するトルクリップルの抑制を行う各種制御が提案されている。

【0006】

例えば、特許文献1では、電動機の脈動を任意の次数成分についてフーリエ変換で抽出し、PI制御により、フーリエ係数が0となるように学習制御し、この学習制御により得られる脈動補償信号を、d軸電流指令値及びq軸電流指令値に加えるようにしている。特許文献1では、少なくとも一方に脈動補償信号を加えたd軸電流指令値及びq軸電流指令値を用いて電動機を駆動し、脈動補償信号を生成するための学習制御を収束させることで、電動機のトルクリップルが抑えられる。

【0007】

しかしながら、d軸電流指令値及びq軸電流指令値の少なくとも一方に、フーリエ係数が0となるように学習制御して得られた脈動補償信号を用いて補償したとしても、学習制御が収束しないことがある。このため、特許文献1では、学習制御が発散して、電動機の脈動を抑制できなくなると、制御ゲインの極性を、学習制御が安定収束する方向へ変更している。このような手法を用いた場合、学習制御が発散するごとに、制御ゲイン等の切り替えを行うため、トルクリップルの抑制に長い時間が必要となってしまう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010-57218号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、学習制御が発散を生じさせることなく、電動機に生じるトルクリップルを的確に抑制することができるトルクリップル抑制装置及びトルクリップル抑制方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【0010】

上記目的を達成するための本発明のトルクリップル抑制装置は、検出された駆動電流から得られたd軸電流及びq軸電流の各々が、運転指令値となるように設定したd軸指令値及びq軸指令値の各々に基づいて、電動機の駆動する駆動装置のトルクリップル抑制装置であって、前記駆動電流を検出ことで得られた前記d軸電流から、前記電動機のトルクリップルに起因して前記d軸電流に含まれたリップル成分を除去するためのd軸補償信号を学習制御により生成する第1の生成手段と、前記d軸指令値と前記d軸補償信号と重畳させる第1の重畳手段と、前記電動機の駆動及び前記電動機のトルクリップルにより変化するパラメータを検出する検出手段と、前記トルクリップルに起因して前記パラメータに含まれたリップル成分を、前記q軸電流を用いて抑制するためのq軸補償信号を学習制御により生成する第2の生成手段と、前記q軸指令値と前記q軸補償信号とを重畳させる第2の重畳手段と、を含む。

10

【0011】

また、本発明のトルクリップル抑制方法は、検出された駆動電流から得られたd軸電流及びq軸電流の各々が、運転指令値となるように設定したd軸指令値及びq軸指令値の各々に基づいて、電動機を駆動する駆動装置において、前記駆動電流を検出することで得られた前記d軸電流から、前記電動機のトルクリップルに起因して前記d軸電流に含まれたリップル成分を除去するためのd軸補償信号を学習制御により生成し、前記d軸指令値と前記d軸補償信号とを重畳させ、検出手段により前記電動機の駆動及び前記電動機のトルクリップルにより変化するパラメータを検出し、前記トルクリップルに起因して前記パラメータに含まれたリップル成分を、前記q軸電流を用いて抑制するためのq軸補償信号を学習制御により生成し、前記q軸指令値と前記q軸補償信号とを重畳させて、前記電動機のトルクリップルを抑制する。

20

【0012】

本発明に係る電動機のトルクリップルは、電動機の駆動に応じて発生する固有のトルクリップルであり、電動機の駆動に応じて各種のパラメータに現れる。この際、電動機の駆動電流については、d軸電流及びq軸電流の双方に関連して現れる。

【0013】

ここで、本発明では、電動機を駆動するためのd軸指令値にd軸補償信号を重畳することで、d軸補償信号を用いて、d軸電流に含まれる電動機のトルクリップルに起因するリップル成分を、d軸電流から除去する。これにより、q軸電流には、電動機のトルクリップルに起因するリップル成分が集約される。また、本発明では、電動機の駆動及び電動機のトルクリップルに応じて変化するパラメータを検出し、検出したパラメータに含まれるリップル成分を、q軸電流を用いて除くためのq軸補償信号を生成する。本発明では、電動機を駆動するためのq軸指令値に、このq軸補償信号を重畳することで、電動機のトルクリップルを抑制する。

30

【0014】

本発明においては、d軸補償信号及びq軸補償信号の生成に、フーリエ級数を用いた公知の学習制御を適用することができる。このとき、d軸補償信号は、d軸電流に含まれるリップル成分を除くものであり、また、q軸補償信号は、q軸電流を用いてパラメータに含まれる電動機のトルクリップルを除くものである。従って、d軸補償信号及びq軸補償信号の何れにも学習制御に発散が生じることがない。

40

【0015】

また、本発明のトルクリップル抑制装置は、各々が、前記第1の生成手段、前記第1の重畳手段、前記第2の生成手段、及び前記第2の重畳手段を有し、選択された場合に、前記第1の重畳手段及び前記第2の重畳手段により得られた前記d軸指令値及びq軸指令値の各々を出力し、非選択の場合に、前記d軸補償信号及び前記q軸補償信号の生成を停止すると共に停止直前の前記d軸補償信号及び前記q軸補償信号を保持する第1の抑制手段及び第2の抑制手段と、前記電動機の駆動方向を判定して、判定した駆動方向に応じて前記第1の抑制手段又は前記第2の抑制手段の一方を選択し、他方を非選択する選択手段と

50

、を含む。

【0016】

電動機には、駆動方向が切り替わるように駆動されるものがあり、駆動方向が切り替わることで、パラメータに含まれた電動機のトルクリップルに起因するリップル成分が変化する。この電動機の駆動方向に対応して、第1及び第2の抑制手段を設け、電動機の駆動方向に応じて第1又は第2の抑制手段を選択することで、電動機のトルクリップルを抑制した状態を保持することができる。

【0017】

このような本発明においては、前記トルクリップルに起因する前記d軸電流のリップル成分及び前記パラメータのリップル成分の各々を、前記電動機の電気角についての周期関数成分とすることができる。また、本発明においては、前記パラメータとして、前記電動機の電気角又は回転角を用いることができる。

10

【0018】

電動機のトルクリップルに起因するリップル成分は、駆動する電動機の電気角についての周期関数成分として表すことができる。リップル成分を電気角の周期関数成分とすることで、電動機の駆動速度等に変化が生じて、この変化に拘わらず的確にトルクリップルを抑制することができる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、学習制御しながら電動機のトルクリップルを抑制するときに、学習制御に発散が生じること無く、確実に電動機のトルクリップルを抑制することができる、という効果を有する。

20

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】第1の実施の形態に係るトルクリップル抑制装置を示す概略構成図である。

【図2】第1の実施の形態に係る駆動制御装置を示す概略構成図である。

【図3】第2の実施の形態に係る駆動制御装置を示す概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。

30

〔第1の実施の形態〕

図1には、第1の実施の形態に係るトルクリップル抑制装置10の概略構成が示されている。また、図2は、第1の実施の形態に係るトルクリップル抑制装置10を備えた駆動制御装置12の概略構成を示している。

【0022】

駆動制御装置12は、例えば、三相同期電動機などの同期電動機の駆動を制御する。第1の実施の形態では、同期電動機の一例として、三相同期電動機（以下、モータ14とする）を用い、駆動制御装置12がモータ14の駆動を制御する場合について説明する。トルクリップル抑制装置10は、駆動制御装置12により駆動されるモータ14に発生するトルクリップルを抑制する。

40

【0023】

駆動制御装置12は、コントローラ16、及びインバータ18を備える。コントローラ16は、例えば、マイクロコンピュータが用いられ、ベクトル制御部22及び変換部24として機能する。コントローラ16には、運転指令部26からモータ14に対する速度指令値やトルク指令値などの運転指令値が入力される。ベクトル制御部22は、例えば、トルク指令値が入力されることで、トルク指令値に応じてd軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q を設定して出力する。

【0024】

変換部24は、d軸電流指令値 I_d をd軸電圧指令値 V_d に変換し、q軸電流指令値 I_q をq軸電圧指令値 V_q に変換する。また、ベクトル制御においては、例えば、三相電流

50

を二相電流に変換するクラーク変換及び、二相電流をd軸とq軸による回転座標系に変換するパーク変換が行われる。変換部24は、d軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q に対して、パーク変換の逆変換及びクラーク変換の逆変換を行うことで、モータ14のU、V、Wの各相の電圧指令値 V_u 、 V_v 、 V_w に変換して、インバータ18へ出力する。

【0025】

インバータ18は、入力される電圧指令値 V_u 、 V_v 、 V_w に基づき、モータ14のU、V、Wの各相の電圧 v_u 、 v_v 、 v_w を生成して出力する。モータ14は、インバータ18から供給される三相の電圧 v_u 、 v_v 、 v_w の電力により回転軸が回転駆動される。モータ14には、回転軸に負荷20が連結されており、回転軸の回転が負荷20に伝達されることで、負荷20を作動させる。

10

【0026】

ここで、駆動制御装置12には、モータ14のU、V、Wの各相の電流 i_u 、 i_v 、 i_w を検出する電流センサ28が設けられ、ベクトル制御部22には、電流センサ28によって検出された電流 i_u 、 i_v 、 i_w が入力される。また、モータ14には、モータ14の回転角を検出する回転角センサ30が設けられ、ベクトル制御部22には、回転角センサ30によって検出されたモータ14の回転角を示す信号(以下、回転角信号という)が入力される。回転角センサ30は、モータ14の回転角を直接検出しても良いが、例えば、ロータリーエンコーダを用い、ベクトル制御部22がロータリーエンコーダから出力されるパルス数をカウントし、カウント値を回転角信号に変換するものであってもよい。

20

【0027】

ベクトル制御部22には、変換器32が設けられている。変換器32は、電流センサ28から入力される電流 i_u 、 i_v 、 i_w を、回転座標系のd軸電流(以下、d軸電流信号とする) i_d 及びq軸電流(以下、q軸電流信号とする) i_q に変換する。即ち、変換器32は、クラーク変換及びパーク変換を行うことで、三相の電流 i_u 、 i_v 、 i_w から回転座標系のd軸電流信号 i_d 及びq軸電流信号 i_q を得る。

【0028】

本実施の形態では、d軸指令値及びq軸指令値の一例として、d軸電流指令値及びq軸電流指令値を適用する。ベクトル制御部22は、d軸電流信号 i_d 、及びq軸電流信号 i_q が、運転指令値(例えば、トルク指令値)に応じた値となるように、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q を設定するフィードバック制御を行う。また、ベクトル制御部22は、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q を、回転角センサ30によって検出された回転角から得られる電気角に同期させる。

30

【0029】

これにより、コントローラ16は、トルク指令値に応じた出力トルクが得られるようにモータ14の駆動を制御する。なお、このようなベクトル制御を行うコントローラ16の基本的構成は、公知の構成を適用でき、本実施の形態では、詳細な説明を省略する。また、第1の実施の形態では、一例として回転角センサ30を用いたが、回転角に替えて電気角を検出する電気角検出センサが用いられても良い。また、回転角センサ30や電気角センサを用いずに、d軸電流信号 i_d 及びq軸電流信号 i_q から、回転角又は電気角を推定する構成であっても良い。

40

【0030】

ところで、モータ14を含む同期電動機等においては、構造に起因する固有のトルクリップル(torque ripple)が生じる。トルクリップルは、例えば、コイルの鉄心のムラ等の構造に起因して発生する磁束のひずみなどが原因となって生じる。モータ14に生じるトルクリップルは、モータ14に振動や騒音などを生じさせる。

【0031】

第1の実施の形態では、コントローラ16にトルクリップル抑制装置10を設け、このトルクリップル抑制装置10により、モータ14の構造に起因して発生する固有のトルクリップルを抑制する。

50

【 0 0 3 2 】

d 軸電流信号 i_d 及び q 軸電流信号 i_q には、モータ 14 に発生するトルクリップルに起因して、トルクリップルに応じたリップル成分が現れる。トルクリップル抑制装置 10 は、d 軸電流信号 i_d からトルクリップルに起因するリップル成分を除去する。また、モータ 14 の駆動に応じて変化する回転角などのパラメータは、モータに発生するトルクリップルの影響を受ける。トルクリップル抑制装置 10 は、予め設定したパラメータについて、トルクリップルの影響を受けることにより生じるリップル成分を、q 軸電流を用いて抑制することで、モータ 14 のトルクリップルを抑制する。

【 0 0 3 3 】

一般に、同期電動機の極対数を n 、d 軸鎖交磁束を $\Phi(\theta)$ 、d 軸インダクタンスを $L_d(\theta)$ 、q 軸インダクタンスを $L_q(\theta)$ とすると、同期電動機のトルクリップルは、(1) 式で表される。なお、電気角は θ としている。

【 0 0 3 4 】

【 数 1 】

$$\tau = n \left[\Phi(\theta) i_q + \left(L_d(\theta) - L_q(\theta) \right) i_d i_q \right] \quad (1)$$

【 0 0 3 5 】

即ち、d 軸鎖交磁束 $\Phi(\theta)$ 、d 軸インダクタンス $L_d(\theta)$ 、及び q 軸インダクタンス $L_q(\theta)$ は、何れも電気角 θ に関する周期関数であり、トルクリップルは、これらの周期関数の和となっている。

【 0 0 3 6 】

ここで、トルクリップル τ 、d 軸鎖交磁束 $\Phi(\theta)$ 、d 軸インダクタンス $L_d(\theta)$ 、及び q 軸インダクタンス $L_q(\theta)$ は、直流成分と周期関数成分との和で表すことができる。トルクリップル τ 、d 軸鎖交磁束 $\Phi(\theta)$ 、d 軸インダクタンス $L_d(\theta)$ 、及び q 軸インダクタンス $L_q(\theta)$ の各々について、直流成分を Φ_0 、 L_{d0} 、及び L_{q0} とし、周期関数成分を $\Delta\Phi$ 、 ΔL_d 、及び ΔL_q とすると、(1) 式は、(2) 式で表される。

【 0 0 3 7 】

【 数 2 】

$$\begin{aligned} \tau_0 + \Delta\tau = n \left\{ \left(\Phi_0 + \Delta\Phi \right) \left(i_{q0} + \Delta i_q \right) \right. \\ \left. + \left[\left(L_{d0} + \Delta L_d \right) - \left(L_{q0} + \Delta L_q \right) \right] \left(i_{d0} + \Delta i_d \right) \left(i_{q0} + \Delta i_q \right) \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

【 0 0 3 8 】

これらの各要素の周期関数成分は、基本波より振幅の小さい高調波成分を含んでおり、各要素について、2 乗以上の項は、十分小さく無視できるものとする、(2) 式は、(3) 式として簡略化することができる。

【 0 0 3 9 】

10

20

30

40

【数 3】

$$\begin{aligned} \tau_0 + \Delta\tau = & n \left[\Phi_0 i_{q0} + (L_{d0} - L_{q0}) i_{d0} i_{q0} \right] \\ & + n \left[\Delta\Phi i_{q0} + \Phi_0 \Delta i_q + (L_{d0} - L_{q0}) i_{q0} \Delta i_d \right. \\ & \left. + (L_{d0} - L_{q0}) i_{d0} \Delta i_q + (\Delta L_d - \Delta L_q) i_{d0} i_{q0} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

【0040】

10

(3) 式の左辺の第 1 項である τ_0 は直流成分であり、実質的なトルクリップルは、周期関数成分 $\Delta\tau$ で示される。同期電動機のトルクリップルを抑制するためには、トルクリップルの周期関数成分 $\Delta\tau$ を 0 ($\Delta\tau = 0$) とすれば良く、トルクリップルの周期関数成分 $\Delta\tau = 0$ とすると、(4) 式が得られる。トルクリップルの周期関数成分 $\Delta\tau$ を抑制するためには、(4) 式を満たす d 軸電流 (d 軸電流信号 i_d) の周期関数成分 i_d 、及び q 軸電流 (q 軸電流信号 i_q) の周期関数成分 i_q が存在すれば良い。

【0041】

【数 4】

$$\begin{aligned} \Delta\Phi i_{q0} + (\Delta L_d - \Delta L_q) i_{d0} i_{q0} = & \\ - \left[\Phi_0 \Delta i_q + (L_{d0} - L_{q0}) i_{q0} \Delta i_d + (L_{d0} - L_{q0}) i_{d0} \Delta i_q \right] \end{aligned} \quad (4)$$

20

【0042】

(4) 式において、右辺は、同期電動機内の磁束分布に起因するトルクリップル成分であり、左辺は、d 軸電流 i_d 及び q 軸電流 i_q に起因するトルクリップル成分である。

【0043】

d 軸電流信号 i_d に含まれる周期関数成分 i_d は、リップル成分であり、本実施の形態においては、d 軸電流 i_d に含まれる周期関数成分 $i_d = 0$ とするように、d 軸電流 i_d の制御を行う。(4) において、d 軸電流 i_d の周期関数成分 i_d を 0 ($i_d = 0$) とすると、(5) 式が得られる。

30

【0044】

【数 5】

$$\begin{aligned} \Delta\Phi i_{q0} + (\Delta L_d - \Delta L_q) i_{d0} i_{q0} = & \\ - \left[\Phi_0 + (L_{d0} - L_{q0}) i_{d0} \right] \Delta i_q \end{aligned} \quad (5)$$

40

【0045】

従って、(5) 式において、右辺のトルクリップルを打ち消す q 軸電流信号 i_q の周期関数成分 i_q は一意的に定まる。

【0046】

フーリエ級数を用いてトルクリップルを抑制する手法としては、時間を基準とする手法があるが、時間を基準とすると、例えば、電動機の回転速度が変化したときに、回転速度に合わせて積分範囲となる時間を設定しなおす必要がある。これに対して、本実施の形態では、電気角 θ を基準とすることで、回転速度等の変化に関わらずトルクリップルの抑制

50

を図ることができる。また、電動機においては、d軸電流よりもq軸電流がトルクリップルに与える影響が大きいことから、q軸電流を用いることで、トルクリップルの抑制効率の向上が図られる。

【0047】

本実施の形態に係るトルクリップル抑制装置10は、d軸電流信号 i_d に含まれる周期関数成分 i_d を抑えることで、モータ14のトルクリップルが、q軸電流信号 i_q の周期関数成分 i_q に集約されて含まれるようにする。また、トルクリップル抑制装置10は、モータ14に生じたトルクリップルに応じてq軸電流指令値 I_q を補正することで、モータ14のトルクリップルを抑制する。

【0048】

図2に示されるように、トルクリップル抑制装置10は、コントローラ16のベクトル制御部22と変換部24との間に設けられている。トルクリップル抑制装置10は、ベクトル制御部22から出力されるd軸電流指令値 I_d に対応するd軸調整部34、及びq軸電流指令値 I_q に対応するq軸調整部36を備える。トルクリップル抑制装置10は、d軸調整部34、及びq軸調整部36の各々に、ベクトル制御部22からモータ14の電気角が入力され、d軸調整部34及びq軸調整部36の各々が、電気角に同期して動作する。本実施の形態においては、d軸調整部34が第1の生成手段として機能し、q軸調整部36が第2の生成手段として機能する。

【0049】

図1に示されるように、d軸調整部34は、信号演算部38、及びモデル学習部40を備え、q軸調整部36は、信号演算部42、及びモデル学習部44を備える。また、トルクリップル抑制装置10は、重畳手段の一例として、モデル学習部40の出力をd軸電流指令値 i_d に重畳させる加算器46、及びモデル学習部44の出力をq軸電流指令値 i_q に重畳させる加算器48を備える。本実施の形態においては、加算器46が第1の重畳手段の一例として機能し、加算器48が第2の重畳手段の一例として機能する。

【0050】

d軸調整部34は、フーリエ級数積分を行うことで、d軸電流からリップル成分である周期関数成分を除くためのd軸補償信号の一例とするモデル信号 M_d を生成して、加算器46へ出力する。加算器46は、ベクトル制御部22から入力されるd軸電流指令値 I_d にモデル信号 M_d を加算することで、d軸電流から周期関数成分(リップル成分)を除去する。即ち、加算器46は、d軸電流指令値 I_d にモデル信号 M_d を加算することで重畳し、d軸電流からリップル成分を除去するd軸電流指令値 I_d^* を出力する。

【0051】

また、q軸調整部36は、モータ14に生じているトルクリップルを除くためのq軸補償信号の一例とするモデル信号 M_q を生成して、加算器48へ出力する。加算器48は、ベクトル制御部22から入力されるq軸電流指令値 I_q にモデル信号 M_q を加算することで、トルクリップルを抑制するためのq軸電流指令値 I_q^* を出力する。即ち、モータ14のトルクリップルは、モータ14における固有の磁束ムラなどに起因して生じており、これらの磁束ムラは、モータ14の駆動により変化するパラメータに影響する。q軸調整部36は、トルクリップルを生じさせている磁束ムラに応じたモデル信号 M_q を生成する。加算器48は、q軸電流指令値 I_q にモデル信号 M_q を加算することで、トルクリップルを生じさせる磁束ムラを抑制するq軸電流指令値 I_q^* を出力する。

【0052】

第1の実施の形態では、d軸電流(d軸電流信号 i_q)の検出手段として、駆動制御装置12に設けられている電流センサ28及び変換器32が機能する。図1に示されるように、d軸調整部34には、電流センサ28により検出された電流 i_u 、 i_v 、 i_w が、変換器32に変換されて得られたd軸電流信号 i_d が入力される。また、第1の本実施の形態では、トルクリップル情報を含むパラメータとして、モータ14の回転角を適用する。また、図1に示されるように、q軸調整部36には、微分器50が設けられており、第1の実施の形態では、回転角センサ30及び微分器50がパラメータの検出手段として機能

10

20

30

40

50

する。

【 0 0 5 3 】

図 2 に示されるように、ベクトル制御部 2 2 は、回転角センサ 3 0 によって検出されたモータ 1 4 の回転角（ θ 、回転角信号 θ という）を、q 軸調整部 3 6 へ出力する。図 1 に示されるように、q 軸調整部 3 6 では、回転角信号 θ が微分器 5 0 に入力される。微分器 5 0 は入力された回転角信号 θ を時間について 2 階微分して、回転角信号 θ から角加速度信号 a を生成する。この角速度信号 a には、トルクリップルに起因するリップル成分が含まれており、信号演算部 4 2 には、回転角信号 θ の角加速度信号 a が入力される。

【 0 0 5 4 】

ここで、先ず、d 軸調整部 3 4 における、d 軸電流信号 i_d に含まれる周期関数成分であるリップル成分の除去を説明する。d 軸調整部 3 4 の信号演算部 3 8 は、d 軸電流信号 i_d に含まれる所定の次数の高調波成分をフーリエ級数積分することで、フーリエ級数の余弦波成分及び正弦波成分の各々の振幅 a_{dn} 、 b_{dn} を演算する。

【 0 0 5 5 】

d 軸電流信号 i_d に含まれる任意の次数の高調波成分を $f_d(\theta)$ 、モータ 1 4 の電気角を θ とすると、余弦波成分の振幅 a_{dn} は、(6) 式で表され、正弦波成分の振幅 b_{dn} は、(7) 式で表される。

【 0 0 5 6 】

【 数 6 】

$$a_{dn} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f_d(\theta) \cos n\theta d\theta \quad (6)$$

$$b_{dn} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f_d(\theta) \sin n\theta d\theta \quad (7)$$

【 0 0 5 7 】

d 軸調整部 3 4 のモデル学習部 4 0 は、所定の学習アルゴリズムにより信号演算部 3 8 で演算された振幅 a_{dn} 、 b_{dn} に所定のゲインを付与し、電気角 θ の 1 周期で積分することで、フーリエ級数となるモデル信号 M_d を生成する。モデル信号 M_d を (8) 式に示す。なお、ゲイン G_{da} 、 G_{db} は、上記と同様に学習アルゴリズムによって設定される。

【 0 0 5 8 】

【 数 7 】

$$M_d = \left(G_{da} \int_0^{2\pi} a_{dn} d\theta \right) \cos n\theta + \left(G_{db} \int_0^{2\pi} b_{dn} d\theta \right) \sin n\theta \quad (8)$$

【 0 0 5 9 】

d 軸調整部 3 4 は、d 軸電流信号 i_d から生成したモデル信号 M_d を用いて、d 軸電流からリップル成分を除去するための d 軸電流指令値 I_d^* を得る。

【 0 0 6 0 】

次に、q 軸調整部 3 6 におけるトルクリップルの抑制を説明する。

一般に同期電動機のトルクは、負荷が接続された回転子のイナーシャと回転角の角加速度との積と見做すことができる。この場合、回転角の角加速度には、トルクリップルに起因するリップル成分が周期関数成分として含まれる。また、回転角の角加速度加、即ち、回転角 θ の角加速度信号 a は、回転角信号 θ の 2 階微分により得られる。

【 0 0 6 1 】

q 軸調整部 3 6 は、ベクトル制御部 2 2 から回転角信号 θ を取得し、取得した回転角信

10

20

30

40

50

号 を、微分器 50 により 2 階微分することで、トルクリップル情報とする角加速度信号 a_a を生成している。

【0062】

q 軸調整部 36 の信号演算部 42 は、角加速度信号 a_a に含まれる所定の次数の高調波成分をフーリエ級数積分することで、フーリエ級数の余弦波成分及び正弦波成分の各々の振幅 a_{qn} 、 b_{qn} を演算する。

【0063】

ここで、角加速度信号 a_a に含まれる任意の次数の高調波成分を $f_r(\theta)$ 、モータ 14 の電気角を θ とすると、余弦波成分の振幅 a_{qn} は、(9) 式で表され、正弦波成分の振幅 b_{qn} は、(10) 式で表される。

【0064】

【数 8】

$$a_{qn} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f_r(\theta) \cos n\theta d\theta \quad (9)$$

$$b_{qn} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f_r(\theta) \sin n\theta d\theta \quad (10)$$

【0065】

q 軸調整部 36 のモデル学習部 44 は、所定の学習アルゴリズムにより信号演算部 42 で演算された振幅 a_{qn} 、 b_{qn} に所定のゲインを付与して、電気角 θ の 1 周期で積分することで、フーリエ級数となるモデル信号 M_q を生成する。モデル信号 M_q を (11) 式に示す。なお、ゲイン G_{qa} 、 G_{qb} は、上記と同様に学習アルゴリズムによって設定される。

【0066】

【数 9】

$$M_q = \left(G_{qa} \int_0^{2\pi} a_{qn} d\theta \right) \cos n\theta + \left(G_{qb} \int_0^{2\pi} b_{qn} d\theta \right) \sin n\theta \quad (11)$$

【0067】

q 軸調整部 36 は、モータ 14 のトルクリップル情報を含む角加速度信号 a_a から生成したモデル信号 M_q を用いて、q 軸電流指令値 I_q に、モータ 14 のトルクリップルを抑制するための電流成分 (モデル信号 M_q) を重畳させた q 軸電流指令値 I_q^* を得る。

【0068】

駆動制御装置 12 は、トルクリップル抑制装置 10 によって調整された d 軸電流指令値 I_d^* 及び q 軸電流指令値 I_q^* を用いて、モータ 14 を駆動する。

【0069】

このようなトルクリップル抑制装置 10 を備える駆動制御装置 12 では、運転指令として例えば、トルク指令値が指定されることで、ベクトル制御部 22 が、トルク指令値に応じた d 軸電流及び q 軸電流を得るための d 軸電流指令値 I_d 、及び q 軸電流指令値 I_q を設定する。また、駆動制御装置 12 は、設定した d 軸電流指令値 I_d 及び q 軸電流指令値 I_q に基づいてモータ 14 を駆動する。これにより、モータ 14 は、定常状態となることで、トルク指令値に応じた出力トルクで、負荷 20 を駆動する。

【0070】

一方、モータ 14 は、構造に起因するトルクリップルを発生する。モータ 14 にトルクリップルが発生していると、振動、騒音が生じる。また、モータ 14 の電流 i_u 、 i_v 、 i_w から生成される d 軸電流信号 i_d 及び q 軸電流信号 i_q に、トルクリップルに応じたリップル成分として周期関数成分が含まれる。

【0071】

10

20

30

40

50

駆動制御装置 12 に設けられているトルクリップル抑制装置 10 は、d 軸調整部 34 が、駆動されているモータ 14 の電流 i_u 、 i_v 、 i_w から得られる d 軸電流信号 i_d に基づき、d 軸電流に含まれるリップル成分の除去を行う。即ち、トルクリップル抑制装置 10 は、d 軸電流信号 i_d からリップル成分を除くことで、トルクリップルに応じたリップル成分を q 軸電流 i_q に集約する。また、トルクリップル抑制装置 10 では、モータ 14 に発生しているトルクリップルを示すトルクリップル情報を用いて、モデル信号 M_q を生成する。トルクリップル抑制装置 10 は、生成したモデル信号 M_q に応じた電流成分を q 軸電流に重畳させることで、q 軸電流にトルクリップルを抑制するリップル成分を含ませる q 軸電流指令値 I_q^* を生成する。トルクリップル抑制装置 10 は、q 軸電流にトルクリップルを抑制するリップル成分を含ませることでモータ 14 のトルクリップルを抑制する。

10

【0072】

ここで、トルクリップルのリップル成分である周期関数成分 を打ち消すためには、上記した(4)式に示す対応関係を満たす、d 軸電流信号 i_d に含まれる周期関数成分 i_d 、及び q 軸電流子信号 i_q に含まれる周期関数成分 i_q が存在する必要がある。

【0073】

しかし、(4)式を満たす周期関数成分 i_d 及び周期関数成分 i_q は、一意的に決定できない。このため、例えば、トルクリップルを示す単一のトルクリップル情報を用いた学習アルゴリズムに基づいて、周期関数成分 i_d 及び周期関数成分 i_q を除去しようとする、学習アルゴリズムが収束しなかったり、学習アルゴリズムの収束に多大な時間を要してしまったりすることがある。

20

【0074】

これに対して、トルクリップル抑制装置 10 では、d 軸電流信号 i_d を用いた学習アルゴリズムにより d 軸電流信号 i_d に含まれる周期関数成分 i_d の除去を行う。これにより、前記した(5)式を用いたトルクリップルの抑制が可能となる。この(5)式を満たす q 軸電流信号 i_q に含まれる周期関数成分 i_q は、一意的に決まるため、所定の学習アルゴリズムに、例えば、トルクリップル情報を含む角加速度信号 a などを用いることで、学習アルゴリズムの確実な収束が可能となる。

【0075】

従って、トルクリップル抑制装置 10 によってモータ 14 のトルクリップルが抑制された状態では、d 軸電流 (d 軸電流信号 i_d) にリップル成分が含まれない状態となっているが、q 軸電流 (q 軸電流信号 i_q) には、トルクリップルによるリップル成分に、トルクリップルを抑制するための周期関数成分が重畳されたリップル成分が含まれる。これにより、トルクリップル抑制装置 10 は、モータ 14 に発生する固有のトルクリップルを、確実に、かつ従来よりも短時間に抑制することができる。

30

【0076】

また、トルクリップル抑制装置 10 は、駆動制御装置 12 が備える機能部品を用いて、モータ 14 のトルクリップルを抑制することができるので、トルクリップルの抑制のための機能部品を追加する必要が無く、駆動制御装置 12 の大型化を抑えることができる。

【0077】

以上説明した本実施の形態では、モータに発生したトルクリップルを、回転角センサ 30 により検出されるから回転角 をパラメータとして、微分器 50 により 2 階微分することで求めるようしている。これに限らず、トルクリップル情報 (リップル成分を含むパラメータ) としては、例えば、モータ 14 の電気角 を検出する電気角センサなどの電気角検出手段を用いて取得しても良い。また、トルクリップル情報の検出は、トルクセンサなどのトルク検出手段を用いても良い。トルク検出手段により検出されたトルク信号からリップル成分となる周期関数成分を抽出し、抽出した周期関数成分を用いて学習アルゴリズムを実行するようにしても良い。

40

【0078】

また、これらに限らず、トルクリップル情報の取得は、トルクリップルを検出する任意

50

の手法を適用することができる。例えば、電気角（電気角信号）などは、電気角センサなどによって直接検出する構成にかぎらず、d軸電流信号 i_d 及びq軸電流信号 i_q から推定することで得られるので、この電気角信号を用いて良い。

【0079】

〔第2の実施の形態〕

次に、第2の実施の形態を説明する。なお、第2の実施の形態において、前記した第1の実施の形態と同等の機能部品については、第1の実施の形態と同じ符号を付与して詳細な説明を省略している。

【0080】

図3には、第2の実施の形態に係る駆動制御装置60の概略構成が示されている。第2の実施の形態では、同期電動機としてリニア同期モータ（以下、リニアモータ62とする）を適用しており、駆動制御装置60は、リニアモータ62の駆動を制御する。

10

【0081】

駆動制御装置60は、例えば、マイクロコンピュータを備えるコントローラ64、及びインバータ18を備え、インバータ18から出力される三相の電圧 v_u 、 v_v 、 v_w によってリニアモータ62が駆動される。リニアモータ62は、駆動されることで推力トルクを発生して、対応する負荷66とリニアモータ62とが相対移動する。なお、第2の実施の形態に適用したリニアモータ62は、発生する推力トルクの方向が切り替えられるようになっており、これにより、負荷66に対して往復移動される。

【0082】

コントローラ64には、ベクトル制御部68、及び変換部70が設けられている。また、リニアモータ62には、U、V、Wの各相の電流 i_u 、 i_v 、 i_w を検出する電流センサ28、及び負荷66に対するリニアモータ62の位置を検出する位置検出器72が設けられている。

20

【0083】

ベクトル制御部68には、電流センサ28によって検出される各相の電流 i_u 、 i_v 、 i_w が入力される。また、位置検出器72は、例えば、リニアモータ62と負荷66との間に設けられたリニアエンコーダを用い、リニアモータ62の移動に応じて出力されるパルス信号が、ベクトル制御部68に入力される。ベクトル制御部68は、位置検出器72から入力されるパルス数をカウントしながら、カウント値を、リニアモータ62の移動方向に応じて加減算することで、リニアモータ62の位置（相対位置）及び移動方向、移動量を判定する。

30

【0084】

ベクトル制御部68は、運転指令部26から運転速度や推力トルクなどの運転指令値が入力されることで、入力された運転指令値に基づいてd軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q を設定する。この時、ベクトル制御部68は、三相の電流 i_u 、 i_v 、 i_w をd軸電流信号 i_d 及びq軸電流信号 i_q に変換する。また、ベクトル制御部68は、変換したd軸電流信号 i_d 及びq軸電流信号 i_q が運転指令値に応じた値となるようにd軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q を設定するフィードバック制御を行う。

【0085】

変換部70は、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q が入力されることで、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q に応じたd軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q に変換する。また、変換部70は、変換したd軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q を、3相の電圧指令値 V_u 、 V_v 、 V_w に変換してインバータ18へ出力する。インバータ18は、各相の電圧指令値 V_u 、 V_v 、 V_w に応じた3相の電圧 v_u 、 v_v 、 v_w を生成してリニアモータ62へ供給する。これにより、リニアモータ62は、運転指令値に応じて駆動される。なお、駆動制御装置60におけるリニアモータ62の駆動制御は、公知の構成を適用でき、第2の実施の形態では、詳細な説明を省略する。

40

【0086】

駆動制御装置60のコントローラ64には、第2の実施形態に係るトルクリップル抑制

50

装置 74 が設けられている。第 2 の実施の形態では、電動機の一例として、移動方向が、一方向及び一方向と反対方向に切り替わるリニアモータ 62 を用いている。トルクリップル抑制装置 74 は、一方向に対応する第 1 の抑制手段として機能する第 1 のトルクリップル抑制部 76 A、及び一方向と反対方向に対応する第 2 の抑制手段として機能する第 2 のトルクリップル抑制部 76 B を備える。第 1 のトルクリップル抑制部 76 A 及び第 2 のトルクリップル抑制部 76 B は、同等の構成となっている。また、トルクリップル抑制部 76 A、76 B は、図 1 に示すトルクリップル抑制装置 10 に対して、q 軸調整部 36 に微分器 50 が設けられていない点で相違し、これを除く基本的機能が同等となっている。なお、以下の説明において、第 1 のトルクリップル抑制部 76 A 及び第 2 のトルクリップル抑制部 76 B を総称する場合、トルクリップル抑制部 76 とする。また、トルクリップル抑制部 76 は、前記したトルクリップル抑制装置 10 と同等の機能を有することから、詳細な説明を省略する。

10

【0087】

図 3 に示されるように、トルクリップル抑制装置 74 では、第 1 のトルクリップル抑制部 76 A 及び第 2 のトルクリップル抑制部 76 B の各々に、d 軸電流指令値 I_d 、q 軸電流指令値 I_q 、d 軸電流信号 i_d 、及び電気角 θ が入力される。

【0088】

また、トルクリップル抑制装置 74 には、第 2 の実施の形態において、選択手段として機能する分配器 78、及び選択器 80 が設けられている。また、トルクリップル抑制装置 74 には、第 2 の実施の形態において検出手段として機能する微分器 82 A、82 B が設けられている。前段の微分器 82 A には、ベクトル制御部 68 から位置信号 P が入力されるようになっており、微分器 82 A は、入力されて位置信号 P を時間微分することでリニアモータ 62 の速度信号 P_s を生成する。また、後段の微分器 82 B には、微分器 82 A から速度信号 P_s が入力され、微分器 82 B は、速度信号 P_s を時間微分することで加速度信号 P_a を生成して、トルクリップル抑制部 76 (76 A、76 B) に出力する。

20

【0089】

トルクリップル抑制部 76 は、d 軸電流信号 i_d から d 軸電流指令値 I_d に対するモデル信号 M_d を生成して、生成したモデル信号 M_d を d 軸電流指令値 I_d に重畳させて、d 軸電流指令値 I_d^* として出力する。

【0090】

また、リニアモータ 62 では、トルクリップルが発生することで、推力トルクにトルクリップルが含まれる。このトルクリップルは、加速度信号 P_a にリップル成分として現れる。トルクリップル抑制部 76 は、加速度信号 P_a をトルクリップル情報として用い、加速度信号 P_a のリップル成分 (周期関数成分) から、q 軸電流指令値 I_q に対するモデル信号 M_q を生成する。また、トルクリップル抑制部 76 は、生成したモデル信号 M_q を q 軸電流指令値 I_q に重畳 (加算) させて、q 軸電流指令値 I_q^* として出力する。

30

【0091】

一方、トルクリップル抑制装置 74 では、前段の微分器 82 A で生成された速度信号 P_s が、分配器 78 及び選択器 80 に入力される。微分器 82 A から出力される速度信号 P_s は、リニアモータ 62 の移動方向 (可動子の移動方向) に応じて符号が変化する。第 1 のトルクリップル抑制部 76 A は、速度信号 P_s が非負 ($P_s \geq 0$) である方向に対応し、第 2 のトルクリップル抑制部 76 B は、速度信号 P_s が負 ($P_s < 0$) となる方向に対応する。

40

【0092】

ここで、ベクトル制御部 68 から出力される電気角信号 θ は、分配器 78 を介して第 1 のトルクリップル抑制部 76 A 又は第 2 のトルクリップル抑制部 76 B へ入力される。この際、分配器 78 は、速度信号 P_s が非負であるときに、電気角信号 θ を第 1 のトルクリップル抑制部 76 A へ出力し、第 2 のトルクリップル抑制部 76 B に電気角 $\theta = 0$ を示す電気角信号 θ_0 を出力する。また、分配器 78 は、速度信号 P_s が負であるときに、電気角信号 θ を第 2 のトルクリップル抑制部 76 B へ出力し、第 1 のトルクリップル抑制部 76

50

Aに電気角 $\theta = 0$ を示す電気角信号 θ を出力する。第1のトルクリップル抑制部76A及第2のトルクリップル抑制部76Bは、入力される電気角信号 θ が0 ($\theta = 0$) となっていることで、電気角信号 θ を用いた積分処理を停止し、停止直前に生成したモデル信号 M_d 、 M_q を保持する。

【0093】

また、第1のトルクリップル抑制部76A及び第2のトルクリップル抑制部76Bの各々のd軸電流指令値 I_d^* 及びq軸電流指令値 I_q^* は、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q として、選択器80を介して変換部70へ出力される。ここで、選択器80は、微分器82Aから入力される速度信号 P_s が非負であると、第1のトルクリップル抑制部76Aから入力されたd軸電流指令値 I_d^* 及びq軸電流指令値 I_q^* を変換部70へ出力する。また、選択器80は、速度信号 P_s が負であると、第2のトルクリップル抑制部76Bから入力されたd軸電流指令値 I_d^* 及びq軸電流指令値 I_q^* を変換部70へ出力する。

10

【0094】

このように、駆動制御装置60は、トルクリップル抑制装置74(トルクリップル抑制部76)が設けられることで、リニアモータ62で発生するトルクリップルを、確実に、かつ、比較的短時間に抑制することができる。

【0095】

トルクリップル抑制装置74は、各々がリニアモータ62に発生するトルクリップルを抑制する第1のトルクリップル抑制部76A及び第2のトルクリップル抑制部76Bが設けられ、リニアモータ62の駆動方向に応じて一方が動作するようにしている。この時、トルクリップル抑制装置74では、動作の停止しているトルクリップル抑制部76が学習結果を保持している。これにより、トルクリップル抑制装置74は、リニアモータ62の移動方向が切り替わっても、リニアモータ62のトルクリップルを抑制した状態を継続することができる。

20

【0096】

即ち、リニアモータ62の移動方向によってトルクリップルのリップル成分が異なることがある。この場合、リニアモータ62の移動方向が切り替わるごとに、トルクリップルの抑制のための処理を行う必要がある。

【0097】

これに対して、トルクリップル抑制装置74は、リニアモータ62の移動方向ごとにトルクリップル抑制部76が設けられ、リニアモータ62の移動方向が対応する方向でないトルクリップル抑制部76が、モデル信号 M_d 、 M_q を保持している。従って、トルクリップル抑制装置74は、リニアモータ62の移動方向が切り替わった場合でも、確実にトルクリップルを抑制した状態を保持することができる。

30

【0098】

また、トルクリップル抑制装置74は、駆動制御装置60が備える機能部品を用いて、リニアモータ62のトルクリップルを抑制することができるので、トルクリップルの抑制のための機能部品を追加する必要が無く、駆動制御装置60の大型化を抑えることができる。

40

【0099】

なお、第2の実施の形態では、往復動作のために移動方向が切り替わるリニアモータ62を例に説明したが、リニアモータ62に限らず、回転軸の回転方向が切り替えられるモータ(例えばモータ14)に適用しても良い。これにより、回転軸の回転方向が切り替わった場合にも、トルクリップルを抑制した状態を保持することができる。

【0100】

また、トルクリップル抑制装置10、74に用いられるd軸調整部34及びq軸調整部36の機能は、コンピュータプログラムによって実行することができる。従って、例えば、コントローラ16に設けられるマイクロコンピュータに、d軸調整部34及びq軸調整部36等に対応する機能プログラムを実行させるようにしても良い。

50

【 0 1 0 1 】

なお、以上説明した本実施の形態では、一例として、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q に、学習アルゴリズムに基づいてd軸補償信号及びq軸補償信号として生成したモデル信号 M_d 及びモデル信号 M_q を重畳させるようにしている。また、本実施の形態に係るベクトル制御では、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q からd軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q に変換し、さらに、U、V、Wの各相の電圧指令値 V_u 、 V_v 、 V_w に変換するようにしている。ここから、d軸指令値及びq軸指令値としてd軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q を適用しても良い。この場合、d軸電圧指令値 V_d に対応させたd軸補償信号、及びq軸電圧指令値 V_q に対応させたq軸補償信号を生成して、生成したd軸補償信号及びq軸補償信号を、d軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q に重畳させるようにしても良い。

10

【 0 1 0 2 】

また、実際の駆動制御装置としては、例えば、運転指令値に応じたd軸電流目標値及びq軸電流目標値を設定し、設定したd軸電流目標値及びq軸電流目標値を、電動機のd軸電流信号 i_d 及びq軸電流信号 i_q によりフィードバック制御する構成などがある。この駆動制御装置では、フィードバック制御を行うことで、d軸電流及びq軸電流がd軸電流目標値及びq軸電流目標値となるd軸電圧（d軸電圧指令値 V_d ）及びq軸電圧（q軸電圧指令値 V_q ）を生成する。

【 0 1 0 3 】

この場合、d軸電流からリップル成分を除去するためのd軸補償信号、及びq軸電流を用いてパラメータに含まれるリップル成分を抑制するためのd軸補償信号は、d軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q に重畳させても良い。また、これに限らず、d軸補償信号をフィードバック制御に用いるq軸電流信号 i_d に重畳し、q軸補償信号をフィードバック制御に用いるq軸電流信号 i_q に重畳しても良い。これにより、d軸補償信号が重畳されたd軸電圧指令値 V_d 及びq軸補償信号が重畳されたq軸電圧指令値 V_q が得られる。

20

【 0 1 0 4 】

即ち、本発明において、d軸補償信号及びq軸補償信号が重畳されるd軸指令値及びq軸指令値は、d軸電流指令値 I_d 及びq軸電流指令値 I_q であっても良く、また、d軸電圧指令値 V_d 及びq軸電圧指令値 V_q であっても良い。また、d軸補償信号及びq軸補償信号が重畳されるd軸指令値及びq軸指令値は、d軸電流目標値及びq軸電流目標値であっても良い。さらに、d軸補償信号及びq軸補償信号が重畳されるd軸指令値及びq軸指令値は、d軸電圧指令値 V_d を得るための前記したフィードバック制御に用いるd軸電流信号 i_d 、q軸電圧指令値 V_q を得るためのq軸電流信号 i_q であっても良い。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 0 5 】

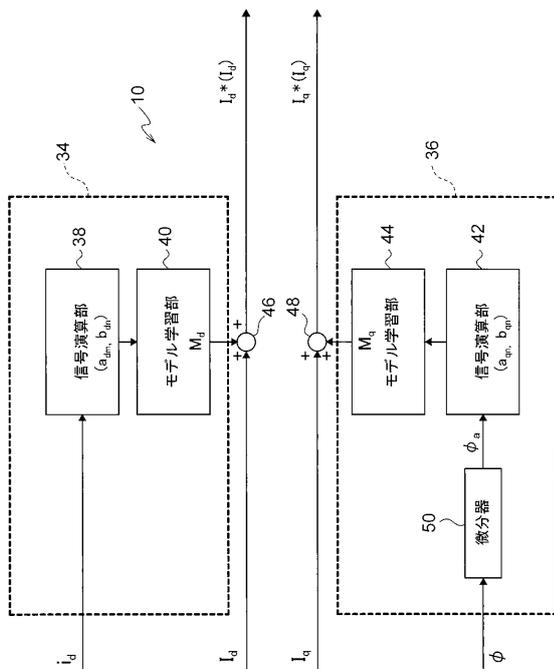
- 10、74 トルクリップル抑制装置
- 12、60 駆動制御装置
- 14 モータ
- 16、64 コントローラ
- 18 インバータ
- 22、68 ベクトル制御部
- 24、70 変換部
- 28 電流センサ
- 30 回転角センサ
- 32 変換器
- 34 d軸調整部
- 36 q軸調整部
- 38、42 信号演算部
- 40、44 モデル学習部

40

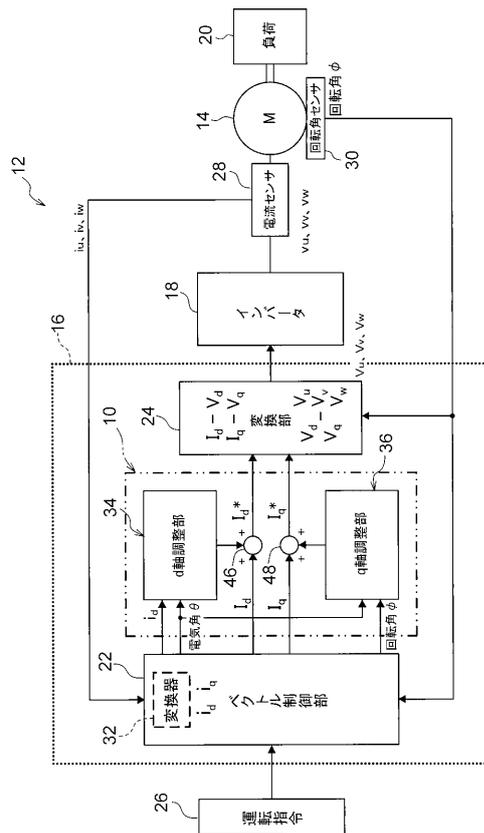
50

- 46, 48 加算器
- 50、82A、82B 微分器
- 62 リニアモータ
- 72 位置検出器
- 76 (76A、76B) トルクリップ抑制部
- 78 分配器
- 80 選択器

【図1】



【図2】



【図 3】

