

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7346174号
(P7346174)

(45)発行日 令和5年9月19日(2023.9.19)

(24)登録日 令和5年9月8日(2023.9.8)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 P 6/18 (2016.01)

H 0 2 P 21/26 (2016.01)

H 0 2 P 8/32 (2006.01)

H 0 2 P 6/18

H 0 2 P 21/26

H 0 2 P 8/32

請求項の数 6 (全21頁)

(21)出願番号	特願2019-160272(P2019-160272)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和1年9月3日(2019.9.3)		キャノン株式会社
(65)公開番号	特開2021-40412(P2021-40412A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	令和3年3月11日(2021.3.11)	(74)代理人	100099324
審査請求日	令和4年8月16日(2022.8.16)		弁理士 鈴木 正剛
		(72)発明者	浜田 修平
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キャノン株式会社内
		審査官	三島木 英宏

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ制御装置および画像形成装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータの巻線に流れる駆動電流を検出する検出手段と、
前記検出手段によって検出された駆動電流に基づいて、前記モータの回転子の回転位置を決定する位置決定手段と、
前記位置決定手段によって決定された前記回転位置を基準とする回転座標系において表される電流成分であって前記回転子にトルクを発生させる電流成分であるトルク電流成分に基づいて前記巻線に流れる駆動電流を制御する第1制御モードと、予め決められた大きさの電流に基づいて前記巻線に流れる駆動電流を制御する第2制御モードと、を備える制御手段と、
前記検出手段によって検出された駆動電流に基づいて、前記回転子の加速度を決定する加速度決定手段と、を有し、
前記制御手段は、前記第1制御モードにおいて、前記回転子の目標位置を表す指令位置と前記位置決定手段によって決定された回転位置との偏差が小さくなるように設定された前記トルク電流成分の目標値と、前記検出手段によって検出された駆動電流の前記トルク電流成分の値と、の偏差が小さくなるように前記巻線に流れる駆動電流を制御し、
前記制御手段は、前記第2制御モードの実行中に、前記回転子の回転速度に対応する値が第1所定値よりも大きいこと及び前記加速度決定手段によって決定された加速度に対応する値が第2所定値を含む所定の範囲内の値であることの両方を満たす場合は、前記巻線に流れる駆動電流を制御する制御モードを前記第2制御モードから前記第1制御モードに

切り替え、

前記制御手段は、前記第2制御モードの実行中に、前記回転子の回転速度に対応する値が前記第1所定値よりも大きいこと及び前記加速度決定手段によって決定された加速度に対応する値が前記第2所定値を含む前記所定の範囲内の値であることの両方を満たさない場合は、前記巻線に流れる駆動電流を制御する制御モードを切り替えないことを特徴とする、

モータ制御装置。

【請求項2】

前記第2所定値は、前記回転子の目標位置に基づいて算出された値であることを特徴とする、

請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項3】

前記回転子の回転速度に対応する値は、前記回転子の目標速度に対応することを特徴とする、

請求項1又は2に記載のモータ制御装置。

【請求項4】

前記モータ制御装置は、前記検出手段によって検出された駆動電流に基づいて前記回転子の回転速度を決定する速度決定手段を有し、

前記加速度決定手段は、前記速度決定手段によって決定された回転速度に基づいて前記加速度を決定することを特徴とする、

請求項1乃至3のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【請求項5】

前記位置決定手段は、前記検出手段によって検出された駆動電流に基づいて、前記巻線に誘起される誘起電圧の大きさを決定する電圧決定手段を備え、

前記位置決定手段は、前記電圧決定手段によって決定された前記誘起電圧に基づいて前記回転位置を決定することを特徴とする、

請求項1乃至4のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【請求項6】

請求項1乃至5のいずれか一項に記載のモータ制御装置と、

前記モータ制御装置によって制御されるモータと、

前記モータによって駆動される負荷と、

前記負荷の駆動により記録媒体に画像を形成する画像形成部と、を有することを特徴とする、

画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石モータを制御するモータ制御装置及びこのモータ制御装置を搭載する画像形成装置に関する。

【背景技術】

【0002】

永久磁石モータは、小型化や高効率化等の点で優れており、プリンタや複写機等の画像形成装置をはじめ、様々な装置の駆動部品に使用されている。永久磁石モータの駆動制御方法の一つにベクトル制御がある。ベクトル制御は、永久磁石モータに発生するトルクを精密に制御でき、且つ永久磁石モータの静音化、低振動化、及び高効率化を実現する。ベクトル制御では、永久磁石モータのロータの正確な位置情報（回転位置）が必要である。ロータの位置情報を正確に取得するために、一般的に、ホール素子やエンコーダ等の位置センサが用いられる。位置センサは、コストアップやサイズアップの原因となる。

【0003】

そのために、位置センサを用いることなく、永久磁石モータに流れる電流からロータの

10

20

30

40

50

回転位置を推定するセンサレス方式のベクトル制御（センサレスベクトル制御）が提案されている。センサレス方式の一つに、ロータの回転に伴う逆起電圧を推定することによってロータの回転位置を推定する逆起電圧推定方式がある。しかしながら、ロータは、停止時に逆起電圧が発生せず、低速時に逆起電圧の振幅が小さい。そのために、停止時及び低速時にはロータの回転位置を推定することが困難である。

【 0 0 0 4 】

一般的に逆起電圧推定方式を用いて永久磁石モータの動作を制御する場合、ロータの回転位置を推定できない停止時や低速時には、ベクトル制御の代わりにオープン制御が行われる。ロータの回転速度が回転位置を推定可能な速度に到達すると、オープン制御からベクトル制御に切り替えて、永久磁石モータが制御される。このように速度領域に応じてオープン制御とベクトル制御とを切り替える制御方法では、オープン制御からベクトル制御に切り替える際に大きな速度変動が発生する。特許文献 1 は、オープン制御からベクトル制御に制御切替の際にトルクが急変しないような適切な電流指令、電圧指令を設定する制御装置を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【文献】特開 2 0 0 9 - 2 8 4 6 9 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

永久磁石モータの制御対象の負荷のトルク変化が大きい場合、オープン制御からベクトル制御への制御切替の際の回転速度の変動を抑制することが困難である。制御切替の際の回転速度の変動が大きい場合、オーバーシュートや整定時間等が悪化して制御性能が低下する。制御切替後の回転速度の減速が大きい場合、永久磁石モータの回転速度が逆起電圧推定方式でロータの位置を推定可能な速度を下回る。その結果、永久磁石モータが脱調する。

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記の課題に鑑み、モータの巻線に流れる駆動電流を制御する制御モードを切り替える際にモータが脱調してしまうことを抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本発明のモータ制御装置は、モータの巻線に流れる駆動電流を検出する検出手段と、前記検出手段によって検出された駆動電流に基づいて、前記モータの回転子の回転位置を決定する位置決定手段と、前記位置決定手段によって決定された前記回転位置を基準とする回転座標系において表される電流成分であって前記回転子にトルクを発生させる電流成分であるトルク電流成分に基づいて前記巻線に流れる駆動電流を制御する第 1 制御モードと、予め決められた大きさの電流に基づいて前記巻線に流れる駆動電流を制御する第 2 制御モードと、を備える制御手段と、前記検出手段によって検出された駆動電流に基づいて、前記回転子の加速度を決定する加速度決定手段と、を有し、前記制御手段は、前記第 1 制御モードにおいて、前記回転子の目標位置を表す指令位置と前記位置決定手段によって決定された回転位置との偏差が小さくなるように設定された前記トルク電流成分の目標値と、前記検出手段によって検出された駆動電流の前記トルク電流成分の値と、の偏差が小さくなるように前記巻線に流れる駆動電流を制御し、前記制御手段は、前記第 2 制御モードの実行中に、前記回転子の回転速度に対応する値が第 1 所定値よりも大きいこと及び前記加速度決定手段によって決定された加速度に対応する値が第 2 所定値を含む所定の範囲内の値であることの両方を満たす場合は、前記巻線に流れる駆動電流を制御する制御モードを前記第 2 制御モードから前記第 1 制御モードに切り替え、前記制御手段は、前記第 2 制御モードの実行中に、前記回転子の回転速度に対応する値が前記第 1 所定値よりも大きいこと及び前記加速度決定手段によって決定された加速度に対応する値が前記第 2 所定値を

10

20

30

40

50

含む前記所定の範囲内の値であることの両方を満たさない場合は、前記巻線に流れる駆動電流を制御する制御モードを切り替えないことを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、モータの巻線に流れる駆動電流を制御する制御モードを切り替える際にモータが脱調してしまうことを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】画像形成装置の構成説明図。

【図 2】画像形成装置の制御構成の例示図。

10

【図 3】モータ制御部の構成説明図。

【図 4】ベクトル電流指令生成部の構成図。

【図 5】d q 軸電流指令の波形の例示図。

【図 6】ベクトル制御部の構成図。

【図 7】切替信号生成部の構成図。

【図 8】(a)、(b) は、モータの回転速度の時間変化の説明図。

【図 9】モータの駆動制御処理を表すフローチャート。

【図 1 0】モータ制御部の変形例の構成説明図。

【図 1 1】切替信号生成部の構成図。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 1 1 】

以下、本発明を実施するための形態について図面を用いて説明する。なお、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものでなく、また実施形態で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須のものとは限らない。

【 0 0 1 2 】

(画像形成装置)

図 1 は、本実施形態のモータ制御装置が実装される画像形成装置の構成説明図である。画像形成装置 1 0 0 は、自動原稿搬送装置 (以下、「A D F (Auto Document Reader) 」という。) 2 0 1、読取装置 (以下、「リーダ部」という。) 2 0 2、及び画像形成装置本体 (以下、「プリンタ部」という。) 3 0 1 を備えている。プリンタ部 3 0 1 の上にリーダ部 2 0 2 が設けられ、リーダ部 2 0 2 の上に A D F 2 0 1 が設けられる。

30

【 0 0 1 3 】

A D F 2 0 1 は、原稿が載置される原稿載置部 2 0 3、給紙ローラ 2 0 4、搬送ガイド 2 0 6、搬送ベルト 2 0 8、及び排紙ローラ 2 0 5 を備える。原稿載置部 2 0 3 に載置された原稿は、給紙ローラ 2 0 4 によって 1 枚ずつ給紙され、搬送ガイド 2 0 6 を経由してリーダ部 2 0 2 による原稿の読取位置に搬送される。原稿は、読取位置を通過し、搬送ベルト 2 0 8 によって一定速度で搬送された後、排紙ローラ 2 0 5 によって A D F 2 0 1 の外部へ排出される。

【 0 0 1 4 】

リーダ部 2 0 2 は、筐体の A D F 2 0 1 側の面に原稿台ガラス 2 1 4 を備える。リーダ部 2 0 2 の筐体内には、照明系 2 0 9、反射ミラー 2 1 0、2 1 1、2 1 2、画像読取部 1 0 1、及び画像処理部 1 1 0 を備える。A D F 2 0 1 により読取位置に搬送された原稿は、照明系 2 0 9 によって光が照射される。照射された光の原稿による反射光は、反射ミラー 2 1 0、2 1 1、2 1 2 から成る光学系によって画像読取部 1 0 1 に受光される。画像読取部 1 0 1 は、受光した反射光を画像信号に変換する。画像読取部 1 0 1 は、レンズ、光電変換素子である C C D (Charge Coupled Device) センサ、及び C C D センサの駆動回路等で構成される。画像読取部 1 0 1 から出力された画像信号は、A S I C (Application Specific Integrated Circuit) 等のハードウェアデバイスで構成される画像処理部 1 1 0 によって、各種補正処理が行われる。補正後の画像信号は、プリンタ部 3 0 1 へ送信される。

40

50

【 0 0 1 5 】

リーダ部 2 0 2 は、流し読みモードと固定モードとの 2 つの読取モードにより原稿を読み取ることができる。流し読みモードは、照明系 2 0 9 及び光学系の移動を停止した状態で、A D F 2 0 1 により原稿を一定速度で搬送しながら当該原稿の画像を読み取る読取モードである。固定モードは、原稿台ガラス 2 1 4 上に原稿を載置し、照明系 2 0 9 及び光学系を一定速度で移動させながら、原稿台ガラス 2 1 4 上に載置された原稿の画像を読み取る読取モードである。例えば、シート状の原稿は流し読みモードにより読み取られ、本のように綴じられた原稿は固定モードで読み取られる。

【 0 0 1 6 】

画像形成装置 1 0 0 は、リーダ部 2 0 2 から出力される画像信号に基づいて、プリンタ部 3 0 1 によりページ単位で記録紙（記録材）に画像を形成するコピー機能を有する。なお、画像形成装置 1 0 0 は、ネットワークを介して外部装置から受信したデータに基づいて記録紙に画像を形成する印刷機能も有している。プリンタ部 3 0 1 は、感光ドラム 3 0 9、帯電器 3 1 0、レーザスキャナ 3 1 1、現像器 3 1 4、転写部 3 1 5、定着器 3 1 8 等を備える。プリンタ部 3 0 1 は、画像が形成される記録紙の搬送用のローラとして、搬送ローラ 3 0 6、3 0 7、排紙ローラ 3 1 9、反転ローラ 3 2 1、搬送ローラ 3 2 0、3 2 2、3 2 3、及び排紙ローラ 3 2 4 を備えている。

【 0 0 1 7 】

感光ドラム 3 0 9 は、表面に感光層を備えたドラム形状の感光体である。画像形成時に感光ドラム 3 0 9 は、帯電器 3 1 0 により感光層が一様に帯電される。レーザスキャナ 3 1 1 は、リーダ部 2 0 2 から出力された画像信号を取得する。レーザスキャナ 3 1 1 は、半導体レーザ及びポリゴンミラーを有し、取得した画像信号で変調したレーザ光（光信号）を、半導体レーザから出力する。半導体レーザから出力されたレーザ光は、ポリゴンミラー、及びミラー 3 1 2、3 1 3 を経由して感光ドラム 3 0 9 の表面を照射する。これにより感光ドラム 3 0 9 が露光される。感光ドラム 3 0 9 は、一様に帯電した表面（感光層）がレーザ光によって露光されることで、画像信号に応じた静電潜像が形成される。感光ドラム 3 0 9 上に形成された静電潜像は、現像器 3 1 4 から供給されるトナーによって現像される。これにより感光ドラム 3 0 9 上にトナー像が形成される。感光ドラム 3 0 9 上のトナー像は、感光ドラム 3 0 9 の回転に伴って転写部 3 1 5 と対向する位置（転写位置）まで移動する。転写部 3 1 5 は、感光ドラム 3 0 9 に担持されるトナー像を記録紙に転写する。

【 0 0 1 8 】

記録紙は、給紙カセット 3 0 2、3 0 4 に収納される。給紙カセット 3 0 2 と給紙カセット 3 0 4 とは、それぞれ異なる種類の記録紙を収納可能である。例えば、給紙カセット 3 0 2 には標準の記録紙が収納され、給紙カセット 3 0 4 にはタブ紙が収納される。給紙カセット 3 0 2 に収納された記録紙は、給紙ローラ 3 0 3 によって搬送路上に給紙され、搬送ローラ 3 0 6 によってレジストローラ 3 0 8 まで搬送されて一時的に搬送停止される。給紙カセット 3 0 4 に収納された記録紙は、給紙ローラ 3 0 5 によって搬送路上に給紙され、搬送ローラ 3 0 7、3 0 6 によってレジストローラ 3 0 8 まで搬送されて一時的に搬送停止される。

【 0 0 1 9 】

レジストローラ 3 0 8 まで搬送された記録紙は、感光ドラム 3 0 9 上のトナー像が転写位置に到達するタイミングに合わせて、レジストローラ 3 0 8 によって転写位置へ搬送される。転写位置において感光ドラム 3 0 9 からトナー像が転写された記録紙は、搬送ベルト 3 1 7 によって定着器 3 1 8 へ搬送される。定着器 3 1 8 は、熱及び圧力により、記録紙上のトナー像を当該記録紙に定着させる。

【 0 0 2 0 】

片面印刷モードで画像形成が行われる場合、定着器 3 1 8 を通過した記録紙は、排紙ローラ 3 1 9、3 2 4 によって装置外部へ排出される。両面印刷モードで画像形成が行われる場合、表面（第 1 面）に画像が形成された記録紙は、定着器 3 1 8 を通過後に排紙ロー

10

20

30

40

50

ラ 3 1 9、搬送ローラ 3 2 0、及び反転ローラ 3 2 1 によって、反転パス 3 2 5 へ搬送される。記録紙の後端が反転パス 3 2 5 と両面パス 3 2 6 との合流ポイントを通過した直後に反転ローラ 3 2 1 が回転を反転させることで、記録紙は、逆方向に搬送され始めて両面パス 3 2 6 へ搬送される。その後、記録紙は、搬送ローラ 3 2 2、3 2 3 によって両面パス 3 2 6 を搬送され、再び搬送ローラ 3 0 6 によってレジストローラ 3 0 8 まで搬送されて一時的に搬送停止される。その後、記録紙の表面（第 1 面）への画像形成時と同様に、転写位置において記録紙の裏面（第 2 面）へのトナー像の転写処理が行われ、定着器 3 1 8 によって定着処理が行われる。このように両面への画像形成が終了すると、記録紙は、装置外部へ排出される。

【 0 0 2 1 】

記録紙を表裏面を反転させて（第 1 面と第 2 面とを反転させて）装置外部へ排出する場合、定着器 3 1 8 を通過した記録紙は、搬送ローラ 3 2 0 の方向へ一時的に搬送される。その後、記録紙の後端が搬送ローラ 3 2 0 の位置を通過する直前に搬送ローラ 3 2 0 の回転が反転することで、記録紙が逆方向に搬送され始め、排紙ローラ 3 2 4 の方向へ搬送される。その結果、記録紙は、表裏が反転した状態で排紙ローラ 3 2 4 によって装置外部へ排出される。搬送ローラ 3 2 0 は、画像形成が行われた記録紙を、表裏を反転させて排紙する際に、搬送路上で記録紙の搬送方向を反転させるための反転ローラとして機能する。

【 0 0 2 2 】

記録紙の搬送用ローラである搬送ローラ 3 0 6、3 0 7、排紙ローラ 3 1 9、反転ローラ 3 2 1、搬送ローラ 3 2 0、3 2 2、3 2 3、及び排紙ローラ 3 2 4 は、後述のモータ制御部により駆動制御される。モータ制御部は、後述のシステムコントローラにより動作を制御されるモータ制御装置である。

【 0 0 2 3 】

（画像形成装置の制御構成）

図 2 は、画像形成装置 1 0 0 の制御構成の例示図である。プリンタ部 3 0 1 は、システムコントローラ 1 5 1 を備える。システムコントローラ 1 5 1 は、画像形成装置 1 0 0 全体の動作を制御する。システムコントローラ 1 5 1 は、CPU（Central Processing Unit）1 5 1 a、ROM（Read Only Memory）1 5 1 b、及びRAM（Random Access Memory）1 5 1 c を備える。システムコントローラ 1 5 1 には、リーダ部 2 0 2 の画像処理部 1 1 0、操作部 1 5 2、アナログ・デジタル（A/D）変換器 1 5 3、高圧制御部 1 5 5、モータ制御部 1 5 7、センサ類 1 5 9、及びACドライバ 1 6 0 が接続される。システムコントローラ 1 5 1 は、接続された各ユニットとの間でデータの送受信が可能である。

【 0 0 2 4 】

CPU 1 5 1 a は、ROM 1 5 1 b に格納された各種プログラムを実行することで、所定の画像形成シーケンスに関連する各種シーケンスを実行する。RAM 1 5 1 c は、揮発性のメモリデバイスであり、CPU 1 5 1 a が各種プログラムを実行する際のワークエリアとして用いられる。また、RAM 1 5 1 c は、各種データが一時的に格納される一時記憶領域として用いられる。RAM 1 5 1 c には、例えば、高圧制御部 1 5 5 に対する設定値、モータ制御部 1 5 7 に対する指令値、操作部 1 5 2 から受信する情報等が格納される。

【 0 0 2 5 】

操作部 1 5 2 は、入力装置と出力装置とを組み合わせたユーザインタフェースである。入力装置には、入力キーやテンキー等のキーボタン、タッチパネル等がある。出力装置には、表示装置やスピーカ等がある。

システムコントローラ 1 5 1 は、ユーザが各種の設定を行うための操作画面を、操作部 1 5 2 の表示装置に表示する。システムコントローラ 1 5 1 は、操作画面に応じたユーザからの指示を操作部 1 5 2 の入力装置を介して受け付ける。例えばシステムコントローラ 1 5 1 は、操作部 1 5 2 を介して複写倍率の設定値、濃度設定値等の指示を示す情報を受け付ける。また、システムコントローラ 1 5 1 は、画像形成装置 1 0 0 の状態をユーザに知らせるためのデータを操作部 1 5 2 に送信する。操作部 1 5 2 は、システムコントロー

10

20

30

40

50

ラ 1 5 1 から受信したデータに基づいて、画像形成装置 1 0 0 の状態を示す情報（例えば、画像形成枚数、画像形成中か否かを示す情報、ジャムの発生及び発生個所を示す情報）を表示装置に表示させる。

【 0 0 2 6 】

システムコントローラ 1 5 1（CPU 1 5 1 a）は、画像処理部 1 1 0 に対して、画像処理に必要な画像形成装置 1 0 0 内の各デバイスの設定値を送信する。また、システムコントローラ 1 5 1 は、各デバイスからの信号（センサ類 1 5 9 の検知結果等）を受信して、受信した信号に基づいて高圧制御部 1 5 5 を制御する。高圧制御部 1 5 5 は、システムコントローラ 1 5 1 から出力される設定値に基づいて、高圧ユニット 1 5 6 を構成する帯電器 3 1 0、現像器 3 1 4、及び転写部 3 1 5 に対して、それぞれの動作に必要となる電圧を供給する。

10

【 0 0 2 7 】

A/D変換器 1 5 3 は、定着ヒータ 1 6 1 の温度を検出するためのサーミスタ 1 5 4 から検出信号を受信し、当該検出信号をデジタル信号に変換してシステムコントローラ 1 5 1 に送信する。定着ヒータ 1 6 1 は、定着器 3 1 8 に設けられ、定着処理の際に記録紙を加熱する熱源である。システムコントローラ 1 5 1 は、A/D変換器 1 5 3 から受信したデジタル信号に基づいてACドライバ 1 6 0 を制御することで、定着ヒータ 1 6 1 の温度を、定着処理のための所定の温度にフィードバック制御する。

【 0 0 2 8 】

システムコントローラ 1 5 1 は、モータ制御部 1 5 7 を介して、各モータの駆動シーケンスを制御する。モータ制御部 1 5 7 は、システムコントローラ 1 5 1 からの指示に応じて、記録紙の搬送用の各ローラを駆動する駆動源となるモータを駆動制御する。なお、画像形成装置 1 0 0 は、記録紙の搬送用の各ローラに対応するモータ毎にモータ制御部 1 5 7 を備えている。ここでは、記録紙搬送用のローラをモータが駆動する負荷の例として説明するが、モータが駆動する負荷は、画像形成時に動作する負荷であれば、ローラに限られない。

20

モータ制御部 1 5 7 の外部コントローラに相当するシステムコントローラ 1 5 1（CPU 1 5 1 a）は、モータ制御部 1 5 7 の動作の開始を指示するイネーブル信号である制御開始信号を出力する。制御開始信号が「1」のときモータ制御部 1 5 7 は動作状態となり、制御開始信号が「0」のときモータ制御部 1 5 7 は停止状態となる。

30

【 0 0 2 9 】

（モータ制御部）

本実施形態のモータ制御部 1 5 7 を永久磁石モータ、例えば2相のステッピングモータの駆動制御に用いる場合について説明する。ただし、モータの相数やモータの種類は、これに限定されるものではなく、例えば3相のブラシレスモータ等であってもよい。

【 0 0 3 0 】

図3は、モータ制御部 1 5 7 の構成説明図である。このモータ制御部 1 5 7 は、システムコントローラ 1 5 1 の指示によりモータ1を駆動制御する。本実施形態のモータ1は、ステップ角が1.8度のステッピングモータである。モータ制御部 1 5 7 は、目標位置生成部2、オープン電流指令生成部3、ベクトル電流指令生成部4、スイッチ5、ベクトル制御部6、PWM信号生成部7、インバータ8、電流検出部9、位置推定部10、切替信号生成部11、及び切替初期値生成部12を備える。

40

【 0 0 3 1 】

本実施形態のモータ制御部 1 5 7 の基本的なモータ制御方法は、逆起電圧推定方式のセンサレス技術を用いた位置制御構成のベクトル制御（以下、「センサレスベクトル制御」という。）である。センサレスベクトル制御は、モータ1が所定の回転数以下では十分な逆起電圧が発生せずに、モータ1の磁極位置を推定することが困難である。そのためにモータ制御部 1 5 7 は、モータ1の停止から所定の回転数までは、ベクトル制御ではなくモータ1の磁極位置情報を用いない開ループ定電流制御（以下、「オープン制御」という。）を行う。つまりモータ制御部 1 5 7 は、停止から所定の回転数まではオープン制御、所

50

定の回転数以上はセンサレスベクトル制御でモータ 1 を制御する。なお、センサレスベクトル制御は、位置制御に限るものではなく速度制御であってもよい。

【 0 0 3 2 】

最初に、モータ制御部 1 5 7 がオープン制御とセンサレスベクトル制御とを切り替えてモータ 1 を制御する基本的な機能について説明する。

【 0 0 3 3 】

目標位置生成部 2 は、システムコントローラ 1 5 1 から入力されるイネーブル信号（制御開始信号）が「 1 」のときに、モータ制御の目標値となる目標位置 θ_{tgt} を出力する。モータ 1 は、オープン制御時、ベクトル制御時ともに、この目標位置 θ_{tgt} を目標値として制御される。

10

オープン電流指令生成部 3 は、オープン制御時の d q 軸電流値の指令値であるオープン d q 軸電流指令 $i_{d_ref_open}$ 、 $i_{q_ref_open}$ を出力する。オープン d q 軸電流指令 $i_{d_ref_open}$ 、 $i_{q_ref_open}$ は固定値であり、所定のメモリ（例えば RAM 1 5 1 c）に格納されている。オープン d 軸電流指令 $i_{d_ref_open}$ は必要なトルクに応じた電流値に設定され、オープン q 軸電流指令 $i_{q_ref_open}$ は「 0 」に設定される。このように電流指令の値を設定することで、モータ 1 に一定の振幅の電流を流すことが可能となる。なお、オープン d 軸電流指令 $i_{d_ref_open}$ が「 0 」に設定され、オープン q 軸電流指令 $i_{q_ref_open}$ が必要なトルクに応じた電流値に設定されてもよい。

【 0 0 3 4 】

20

ベクトル電流指令生成部 4 は、センサレスベクトル制御時の d q 軸電流値の指令値であるベクトル d q 軸電流指令 $i_{d_ref_vec}$ 、 $i_{q_ref_vec}$ を出力する。図 4 は、ベクトル電流指令生成部 4 の構成図である。ベクトル電流指令生成部 4 は、ベクトル d 軸電流指令生成部 4 1、位置偏差算出部 4 2、及び位置制御部 4 3 を備える。

【 0 0 3 5 】

ベクトル d 軸電流指令 $i_{d_ref_vec}$ は、モータ 1 に流したい電流位相に応じて決定された固定値である。磁極位置が 0 度 ~ 3 6 0 度の範囲でインダクタンス値の変化の小さい、いわゆる突極比の小さいモータの場合、d 軸電流 i_d は「 0 」に設定されるのが一般的である。突極比の小さいモータは、リラクタンストルクがほとんど発生しないため、発生トルクのほとんどがマグネットトルクである。マグネットトルクが最大となる条件は d 軸電流 i_d が「 0 」である。そのために突極比の小さいモータは、d 軸電流 i_d を「 0 」とすることで効率良く制御することができる。d 軸電流 i_d は、d 軸電流指令最終値 $i_{d_ref_fin}$ として設定されている。

30

【 0 0 3 6 】

ベクトル d 軸電流指令 $i_{d_ref_vec}$ は「 0 」であるが、制御切替直前のオープン制御時のモータ 1 に実際に流れている d 軸電流 i_d は「 0 」ではない。そのため、オープン制御からセンサレスベクトル制御へ制御が切り替わると、後で説明するベクトル制御部 6 が両者を一致させるように電圧指令を急変させる。これによりモータ 1 の発生トルクが急変し、モータ 1 が急加速もしくは急減速して大きな速度変動が発生してしまう。そのため、制御切替直前のモータ 1 に流れる d 軸電流 i_d と制御切替直後のセンサレスベクトル制御におけるベクトル d 軸電流指令 $i_{d_ref_vec}$ とを同じにする初期化処理が必要になる。

40

【 0 0 3 7 】

初期化信号 sig_init は、ベクトル d 軸電流指令生成部 4 1 及び位置制御部 4 3 の初期化を行うトリガ信号である。初期化信号 sig_init は、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替タイミングで制御周期の 1 ステップ分だけ「 1 」となることで、ベクトル d 軸電流指令生成部 4 1 及び位置制御部 4 3 を初期化する。

【 0 0 3 8 】

ベクトル d 軸電流指令生成部 4 1 は、初期化信号 sig_init をトリガ信号として、ベクトル d 軸電流指令 $i_{d_ref_vec}$ の値を、入力信号の d 軸電流指令初期値 i

50

`d_ref_init`の値に設定する。`d`軸電流指令初期値`id_ref_init`は、センサレスベクトル制御へ切り替える直前のオープン制御時のモータ1に流れる`d`軸電流`id`の検出値(`d`軸検出電流)である。`d`軸電流指令初期値`id_ref_init`の値を制御切替直後のベクトル`d`軸電流指令`id_ref_vec`に設定することで、モータ1に流れている`d`軸電流`id`とベクトル`d`軸電流指令`id_ref_vec`とが同じ値になる。そのために、電圧指令の急変によるモータ1の速度変動が防止される。

【0039】

`d`軸電流指令初期値`id_ref_init`と実際にセンサレスベクトル制御時に設定したい`d`軸電流指令最終値`id_ref_fin`との値には差がある。そのため、ベクトル`d`軸電流指令`id_ref_vec`の値は、`d`軸電流指令初期値`id_ref_init`から`d`軸電流指令最終値`id_ref_fin`まで徐々に変化させなければならない。ベクトル`d`軸電流指令`id_ref_vec`の値は、`d`軸電流指令初期値`id_ref_init`から所定の傾きで変化させられて、所定時間経過後に`d`軸電流指令最終値`id_ref_fin`となるように設定される。

10

【0040】

このようにベクトル`d`軸電流指令生成部41は、制御切替直前のモータ1に流れる`d`軸電流`id`を制御切替直後に出力し、一定時間経過後に所定の値になるように変化するベクトル`d`軸電流指令`id_ref_vec`を生成する。

【0041】

位置偏差算出部42及び位置制御部43は、ベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`を生成する。位置偏差算出部42は、目標位置`tgt`と推定位置`est`との差分から位置偏差を算出する。位置制御部43は、位置偏差算出部42から入力される位置偏差にPID(Proportional-Integral-Differential)制御の制御演算を行い、ベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`を生成して出力する。

20

【0042】

センサレスベクトル制御への制御切替直後のベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`とモータ1に実際に流れる`q`軸電流`iq`とは一致していない。そのため、オープン制御からセンサレスベクトル制御へ制御が切り替わると、後で説明するベクトル制御部6が両者を一致させるように電流指令を急変させる。これによりモータ1の発生トルクが急変し、モータ1が急加減速して大きな速度変動が発生してしまう。そのため、制御切替直前のモータ1に流れる`q`軸電流`iq`と制御切替直後のベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`とを同じにする初期化処理が必要になる。

30

【0043】

位置制御部43は、初期化信号`sig_init`をトリガ信号として、入力される`q`軸電流初期値`iq_ref_init`によりベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`を初期化する機能を有している。ベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`は、具体的にはPID制御の積分器の値の設定により初期化される。`q`軸電流指令初期値`iq_ref_init`は、センサレスベクトル制御へ切り替える直前のオープン制御時のモータ1に流れる`q`軸電流`iq`の検出値(`q`軸検出電流)である。`q`軸電流指令初期値`iq_ref_init`の値を制御切替直後のベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`にすることで、モータ1に流れている`q`軸電流`iq`とベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`とが同じになる。そのために、電圧指令の急変によるモータ1の速度変動を防ぐことができる。

40

【0044】

位置制御部43は、ベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`として、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替直後に`q`軸電流指令初期値`id_ref_init`を出力する。その後、位置制御部43は、位置偏差算出部42と位置制御部43との演算結果を出力することで、目標位置`tgt`に追従するように制御するために必要なベクトル`q`軸電流指令`iq_ref_vec`を出力する。

【0045】

50

スイッチ 5 は、切替信号 sig_sw に応じて、2 つの dq 軸電流指令及びモータ 1 の位置情報を選択して出力する。出力された 2 つの dq 軸電流指令及び位置情報は、ベクトル制御部 6 に入力される。切替信号 sig_sw がオープン制御を指示する「1」の場合、スイッチ 5 は、オープン dq 軸電流指令 id_ref_open 、 iq_ref_open 及び目標位置 tgt を選択して出力する。切替信号 sig_sw がセンサレスベクトル制御を指示する「0」の場合、スイッチ 5 は、ベクトル dq 軸電流指令 id_ref_vec 、 iq_ref_vec 及び推定位置 est を選択して出力する。

【0046】

スイッチ 5 がベクトル制御部 6 に必要な信号をオープン制御とセンサレスベクトル制御との 2 つの制御モードで選択的に出力することで、オープン制御とセンサレスベクトル制御との切り替えが実現される。図 5 は、スイッチ 5 から出力される dq 軸電流指令 id_ref 、 iq_ref の波形の例示図である。

【0047】

オープン制御時の dq 軸電流指令 id_ref 、 iq_ref は、オープン電流指令生成部 3 から出力されるオープン dq 軸電流指令 id_ref_open 、 iq_ref_open となる。オープン制御からセンサレスベクトル制御へ切り替わった直後の dq 軸電流指令 id_ref 、 iq_ref は、 d 軸電流指令初期値 id_ref_init 、 iq_ref_init となる。 d 軸電流指令は、一定時間経過後に d 軸電流指令最終値 id_ref_fin となるように変化する。 q 軸電流指令は、制御切替後から位置制御の出力に切り替わるために、一定値ではなくモータ 1 の状態に応じた変動値となる。

【0048】

ベクトル制御部 6 は、 dq 軸電流指令 id_ref 、 iq_ref とモータ 1 の位置情報と ab 相検出電流とから、モータ 1 の駆動電圧の指令値である ab 相電圧指令 va_order 、 vb_order を生成して出力する。図 6 は、ベクトル制御部 6 の構成図である。ベクトル制御部 6 は、 dq 変換部 61、 d 軸電流偏差計算部 62、 q 軸電流偏差計算部 63、電流制御部 64、65、及び dq 逆変換部 66 を備える。

【0049】

dq 変換部 61 は、電流検出部 9 から入力される ab 相検出電流 ia_det 、 ib_det を、 dq 軸検出電流 id_det 、 iq_det に変換して出力する。変換には式 (1) の固定座標変換式 (dq 変換式) が用いられる。

【0050】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} i_{d_det} \\ i_{q_det} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_vec) & -\sin(\theta_vec) \\ \sin(\theta_vec) & \cos(\theta_vec) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{a_det} \\ i_{b_det} \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

【0051】

d 軸電流偏差計算部 62 は、スイッチ 5 から入力される d 軸電流指令 id_ref と d 軸検出電流 id_det との差分を算出することで、 d 軸電流偏差を生成する。 q 軸電流偏差計算部 63 は、スイッチ 5 から入力される q 軸電流指令 iq_ref と q 軸検出電流 iq_det との差分を算出することで、 q 軸電流偏差を生成する。

【0052】

電流制御部 64 は、 d 軸電流偏差に基づいて PI 制御による演算を行い、 d 軸駆動電圧指令 vd_order を生成して出力する。電流制御部 65 は、 q 軸電流偏差に基づいて PI 制御による演算を行い、 q 軸駆動電圧指令 vq_order を生成して出力する。 dq 逆変換部 66 は、スイッチ 5 から入力される位置情報である角度情報 vec に基づいて、 d 軸駆動電圧指令 vd_order 、 q 軸駆動電圧指令 vq_order を ab 座標系の ab 相電圧指令 va_order 、 vb_order に変換して出力する。変換には式 (2) の回転座標変換式 (dq 逆変換式) が用いられる。

【 0 0 5 3 】

【 数 2 】

$$\begin{bmatrix} v_{a_order} \\ v_{b_order} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_vec) & \sin(\theta_vec) \\ -\sin(\theta_vec) & \cos(\theta_vec) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_{d_order} \\ v_{q_order} \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

【 0 0 5 4 】

ただし、この構成では、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替の際に、a b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} が急変するために、モータ1に速度変動が生じる。制御が切り替わると、d q逆変換部66で使うモータ1の位置情報（角度情報 θ_vec ）が目標位置 θ_tgt から推定位置 θ_est に切り替わる。その影響により、a b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} が急変する。そこで、a b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} の急変を防ぐ初期化処理が必要となる。

10

【 0 0 5 5 】

電流制御部64は、初期化信号 sig_init に基づいてd軸駆動電圧指令 v_{d_order} をd軸電圧指令初期値 $v_{d_ref_init}$ に初期化する初期化機能を有している。電流制御部65は、初期化信号 sig_init に基づいてq軸駆動電圧指令 v_{q_order} をq軸電圧指令初期値 $v_{q_ref_init}$ に初期化する初期化機能を有している。d q軸駆動電圧指令 v_{d_order} 、 v_{q_order} は、具体的にはP I制御の積分器の値が設定されて初期化される。

20

【 0 0 5 6 】

d q軸電圧指令初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ は、センサレスベクトル制御へ切り替える直前のオープン制御時のa b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} を推定位置 θ_est でd q変換した値である。つまり、d q軸電圧指令初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ を推定位置 θ_est でd q逆変換すると、制御切替直前のオープン制御時のa b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} と同じになる。したがって、制御が切り替わる直前と直後のベクトル制御部6が出力するa b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} は変化しないこととなる。そのため、制御が切り替わった際の速度変動が発生しない。

30

【 0 0 5 7 】

以上のように、ベクトル制御部6は、d q電流指令 i_{d_ref} 、 i_{q_ref} に応じてモータ1に電流が流れるような制御を行う。またベクトル制御部6は、制御が切り替わる前後で同じ値のa b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} を出力することができる。

【 0 0 5 8 】

PWM信号生成部7は、ベクトル制御部6から入力されるa b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} に応じてパルス幅変調したPWM（Pulse Width Modulation）信号を出力する。インバータ8は、PWM信号生成部7から入力されるPWM信号によって駆動され、a b相電圧指令値 v_{a_order} 、 v_{b_order} に対応した交流電圧（駆動電圧）をモータ1に印加する。PWM信号生成部7及びインバータ8により、ベクトル制御部6が出力する電圧指令値（a b相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} ）に対応した駆動電圧がモータ1に印加される。モータ1は駆動電圧の印加により駆動制御される。

40

【 0 0 5 9 】

電流検出部9は、電流検出抵抗91及び電流演算部92を備え、モータ1に流されるa b相の電流の電流値を検出する。電流検出抵抗91は、例えば50[m]等のモータ1の抵抗値に比べて非常に小さい抵抗値の抵抗である。図示を省略しているが、電流検出抵抗91は、モータ1とインバータ8との間のa b相の2本のケーブルに対して、それぞれ直列に接続されている。電流演算部92は、電流検出抵抗91の両端電圧をADコンバー

50

タ等で測定し、測定した電圧値と電流検出抵抗 81 の抵抗値（例えば 50 [m]）とから、モータ 1 に流れる電流の電流値を算出する。電流検出部 9 で算出された a b 相の電流値（a b 相検出電流 i_{a_det} 、 i_{b_det} ）は、センサレスベクトル制御及び位置推定に用いられる。

【0060】

位置推定部 10 は、a b 相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} と a b 相検出電流 i_{a_det} 、 i_{b_det} とにより、センサレスベクトル制御に必要なモータ 1 のロータの磁極位置を推定した推定位置 θ_{est} を出力する。位置推定部 10 は、a b 相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} と a b 相検出電流 i_{a_det} 、 i_{b_det} とからモータ 1 に発生する逆起電圧を推定する。位置推定部 10 は、推定した逆起電圧からロータの磁極位置を推定する逆起電圧推定方式を行う。逆起電圧は式（3）から推定される。

10

【0061】

【数 3】

$$\begin{bmatrix} E_a \\ E_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{a_order} \\ v_{b_order} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & pL \\ pL & R \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{a_det} \\ i_{b_det} \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

【0062】

20

式（3）において、 E_a は a 相の逆起電圧、 E_b は b 相の逆起電圧、 R はモータの抵抗、 L はモータの平均インダクタンス、 p は微分演算子である。

【0063】

位置推定部 10 は、推定した a b 相逆起電圧 E_a 、 E_b から式（4）によりモータ 1 のロータの磁極位置を推定する。a b 相逆起電圧 E_a 、 E_b は、モータ 1 の磁極位置に対して正弦、余弦の関係となる。そのために位置推定部 10 は、式（4）を用いることでモータ 1 の磁極位置を推定した推定位置 θ_{est} を算出することができる。

$$\theta_{est} = \arctan(-E_a / E_b) \quad \dots (4)$$

【0064】

位置推定部 10 は、このようにモータ 1 のロータの磁極位置を推定する。そのためにモータ制御部 157 は、エンコーダ等の位置検出器を用いることなく、センサレスベクトル制御を行うことができる。

30

【0065】

モータ制御部 157 の基本機能の説明の最後に、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替の際の電圧指令、電流指令の初期値を生成する切替初期値生成部 12 について説明する。

切替初期値生成部 12 は、初期化信号 sig_init が「1」となるタイミングで、d q 軸電圧指令切替初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ を出力する。d q 軸電圧指令切替初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ は、a b 相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} と推定位置 θ_{est} とから生成される。切替初期値生成部 12 は、初期化信号 sig_init が「1」となるタイミングで、式（5）の演算結果を d q 軸電圧指令切替初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ として出力する。

40

【0066】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} v_{d_ref_init} \\ v_{q_ref_init} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{est}) & \sin(\theta_{est}) \\ -\sin(\theta_{est}) & \cos(\theta_{est}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_{a_order} \\ v_{b_order} \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

50

【 0 0 6 7 】

式 (5) に示すように、 dq 軸電圧指令初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ は、センサレスベクトル制御への切替直前のオープン制御時の a b 相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} を推定位置 θ_{est} で dq 変換した値である。

【 0 0 6 8 】

また、切替初期値生成部 1 2 は、初期化信号 sig_init に基づいて、 dq 軸電流指令切替初期値 $i_{d_ref_init}$ 、 $i_{q_ref_init}$ を出力する。 dq 軸電流指令切替初期値 $i_{d_ref_init}$ 、 $i_{q_ref_init}$ は、 a b 相検出電流 i_{a_det} 、 i_{b_det} と推定位置 θ_{est} とから生成される。切替初期値生成部 1 2 は、初期化信号 sig_init が「1」となるタイミングで、式 (6) の演算結果

10

【 0 0 6 9 】

【 数 5 】

$$\begin{bmatrix} i_{d_ref_init} \\ i_{q_ref_init} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{est}) & \sin(\theta_{est}) \\ -\sin(\theta_{est}) & \cos(\theta_{est}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{a_det} \\ i_{b_det} \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

20

【 0 0 7 0 】

式 (6) に示すように、 dq 軸電流指令初期値 $i_{d_ref_init}$ 、 $i_{q_ref_init}$ は、センサレスベクトル制御への切替直前のオープン制御時のモータ 1 に流れる dq 軸検出電流である。

【 0 0 7 1 】

続いて、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替条件に基づいて切替信号 sig_sw を生成する方法について説明する。切替信号 sig_sw は、切替信号生成部 1 1 によって生成される。図 7 は、切替信号生成部 1 1 の構成図である。切替信号生成部 1 1 は、オープン制御とセンサレスベクトル制御とのどちらでモータ 1 を制御するかを指示する切替信号 sig_sw を生成する。また、切替信号生成部 1 1 は、オープン制御からセンサレスベクトル制御に切り替わる際の a b 相電圧指令の急変による速度変動を抑制するために、 dq 軸電圧指令、 dq 軸電流指令を初期化する上述の初期化信号 sig_init を生成する。そのために切替信号生成部 1 1 は、速度演算部 1 1 1、加速度演算部 1 1 3、比較器 1 1 2、1 1 4、1 1 5、論理積演算器 1 1 6、1 1 7、第 1 エッジ検出部 1 1 8、及び立ち下がりエッジ検出部 1 1 9 を備える。

30

【 0 0 7 2 】

速度演算部 1 1 1 は、入力される目標位置 θ_{tgt} を微分することで、モータ 1 の目標速度 v_{el_tgt} を出力する。なお、速度演算部 1 1 1 は、目標位置 θ_{tgt} に代えて推定位置 θ_{est} から目標速度 v_{el_tgt} を算出してもよい。比較器 1 1 2 は、目標速度 v_{el_tgt} と事前に設定された速度閾値 v_{el_thres} とを比較する。比較器 1 1 2 は、比較結果として、目標速度 v_{el_tgt} が速度閾値 v_{el_thres} より大きい場合に「1」を出力し、目標速度 v_{el_tgt} が速度閾値 v_{el_thres} より小さい場合に「0」を出力する。速度閾値 v_{el_thres} は、センサレスベクトル制御が可能な最小回転速度である。比較器 1 1 2 による比較結果が「1」となることは、オープン制御からセンサレスベクトル制御への切替タイミングの 2 つの条件のうちの 1 つである目標速度 > 速度閾値が満たされたことを示す。

40

【 0 0 7 3 】

加速度演算部 1 1 3 は、入力される推定位置 θ_{est} を二階微分した値の絶対値を、モータ 1 の推定加速度 a_{est} として出力する。比較器 1 1 4 は、推定加速度 a_{est} と事前に設定された加速度閾値 a_{thres1} とを比較する。比較器 1 1 4 は、比較

50

結果として、推定加速度 __e s t が加速度閾値 __t h r e s 1 より大きい場合に「1」を出力し、推定加速度 __e s t が加速度閾値より小さい場合に「0」を出力する。加速度閾値 __t h r e s 1 は、目標位置を二回微分した目標加速度に基づいて設定される。例えば、加速度閾値 __t h r e s 1 は、目標加速度の0.95倍に設定される。

【0074】

比較器115は、推定加速度 __e s t と事前に設定された加速度閾値 __t h r e s 2 とを比較する。比較器115は、比較結果として、推定加速度 __e s t が加速度閾値 __t h r e s 2 より小さい場合に「1」を出力し、推定加速度 __e s t が加速度閾値より大きい場合に「0」を出力する。加速度閾値 __t h r e s 2 は、目標位置を二回微分した目標加速度に基づいて設定される。例えば、加速度閾値 __t h r e s 2 は、目標

10

【0075】

論理積演算器116は、比較器114と比較器115とのそれぞれの比較結果である比較信号の論理積を出力する。論理積演算器116は、比較信号がいずれも「1」の場合に「1」を出力し、それ以外は「0」を出力する。論理積演算器116の出力が「1」となることは、オープン制御からセンサレスベクトル制御への切替タイミングの2つの条件のうちの1つである推定加速度が、加速度閾値 __t h r e s 1 と加速度閾値 __t h r e s 2 との範囲内であることを満たしたことを示す。加速度閾値 __t h r e s 1 を目標加速度の0.95倍、加速度閾値 __t h r e s 2 を目標加速度の1.05倍とすると、推定加速度 __e s t が目標加速度の $\pm 5\%$ の範囲内で制御が切り替えられることになる。

20

【0076】

論理積演算器117は、比較器112の比較結果（比較信号）と論理積演算器116の演算結果との論理積を出力する。論理積演算器117は、比較信号及び演算結果がともに「1」の場合に「1」を出力し、それ以外は「0」を出力する。論理積演算器117の出力が「1」となることは、オープン制御からセンサレスベクトル制御への切替タイミングの2つの条件がともに満たされていることを示す。そのため、論理積演算器117の出力が「1」となるタイミングは、制御切替が可能なタイミングとなる。

【0077】

第1エッジ検出部118は、初期値が「1」の切替信号 s i g_s w を出力する。第1エッジ検出部118は、論理積演算器117の演算結果（出力信号）の最初の立ち上がりエッジ（0→1）を検出すると切替信号 s e l_s i g を「0」に切り替える。第1エッジ検出部118は、比較器112の比較結果（比較信号）が「0」となると、切替信号 s e l_s i g を「1」に初期化する。

30

【0078】

このように切替信号 s i g_s w は、目標速度が速度閾値以下の場合に「1」となり、目標速度が速度閾値以上となった後に、推定加速度が所定の範囲内になったタイミング以降は「0」となる。切替信号 s i g_s w は、再び目標速度が速度閾値以下になると「1」となる。切替信号 s i g_s w が「1」の場合はオープン制御が行われ、切替信号 s i g_s w が「0」の場合はセンサレスベクトル制御が行われる。

【0079】

40

立ち下がりエッジ検出部119は、切替信号 s i g_s w の立ち下がりエッジ（1→0）を検出すると、制御周期の1ステップ分だけ「1」となる初期化信号 s i g_i n i t を出力する。つまり立ち下がりエッジ検出部119は、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替が指示されたときに、「1」となる初期化信号 s i g_i n i t を出力する。初期化信号 s i g_i n i t は、上述したようにオープン制御からセンサレスベクトル制御に切り替える際の電流指令及び電圧指令の初期化のトリガ信号に用いられる。

【0080】

図8は、モータ1の回転速度の時間変化の説明図である。図8では、切替信号生成部11が生成する切替信号 s i g_s w による効果が説明される。図8(a)は、本実施形態とは異なり、オープン制御からセンサレスベクトル制御への切替条件を目標速度>速度閾

50

値のみとしてモータ 1 を停止状態から目標速度まで立ち上げたときのモータ 1 の回転速度の時間変化を表す。図 8 (b) は、本実施形態のモータ制御部 1 5 7 を用いてモータ 1 を停止状態から目標速度まで立ち上げたときのモータ 1 の回転速度の時間変化を表す。

【 0 0 8 1 】

図 8 (a) では、切替信号 sig_sw が「 1 」から「 0 」に変化して、オープン制御からセンサレスベクトル制御に制御が切り替わった後に、モータ 1 の回転速度が大きく低下しており、大きな回転むらが発生しているのが分かる。その影響により、回転速度にオーバーシュートが発生し、整定時間が悪化している。図 8 (b) では、オープン制御からセンサレスベクトル制御に制御が切り替わった後の速度変動が抑制され、回転速度のオーバーシュートの低減、整定時間の短縮がなされている。

10

【 0 0 8 2 】

図 8 (a) では、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替のタイミングでモータ 1 の加速度がマイナスになっているために、回転速度にオーバーシュートが発生し、整定時間が悪化している。モータ 1 の加速度がマイナスであるということは、モータ 1 の発生トルクがモータ 1 を加速するために必要なトルクより小さい状態であるということである。この状態で上述した制御切替前後の a_b 相電圧指令 va_order 、 vb_order を同じにする引継処理を行うと、制御切替直後にモータ 1 の発生トルクが足りずに、モータ 1 の回転速度が大きく低下して大きな回転むらが発生してしまう。この回転むらの発生を防止する方法として、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替タイミングをモータ 1 の加速度が「 0 」に近いタイミングとなるように速度閾値を変更する方法がある。しかし、この方法ではモータ軸にかかる負荷トルクが変化すると、モータ 1 の回転速度のプロファイルが変化するため、加速度が「 0 」のタイミングでの制御切替を保証することができない。

20

【 0 0 8 3 】

本実施形態のモータ制御部 1 5 7 を用いた場合 (図 8 (b) 参照)、制御切替タイミングの決定に加速度情報が用いられる。モータ 1 の加速度が所定範囲内になったタイミングでオープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替が行われる。図 8 (b) の場合、制御切替条件のモータ 1 の加速度の範囲を加速度閾値 $_thres1$ 以上且つ加速度閾値 $_thres2$ 以下としている。上述したように、加速度閾値 $_thres1$ 及び加速度閾値 $_thres2$ は、目標加速度の 0 . 9 5 倍と目標加速度の 1 . 0 5 倍である。つまり、加速度が目標加速度に近いタイミングでオープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替が行われる。

30

【 0 0 8 4 】

加速度が目標加速度に近いタイミングで制御切替を行う理由について説明する。モータ 1 の加速中に必要なトルクは、モータ軸にかかる負荷トルクと加速トルクとの和である。オープン制御時のモータ 1 の加速度が目標加速度に近い状態とは、モータ 1 の発生トルクがモータ 1 を目標位置通りに加速するために必要なトルクと等しい状態である。この状態で、上述した制御切替前後の a_b 相電圧指令 va_order 、 vb_order を同じにする引継処理を行って制御切替を行うと、制御切替直後のベクトル制御の発生トルクがモータ 1 を目標位置通りに加速するために必要なトルクと等しくなる。よって、モータ 1 の回転速度が低下することなく回転むらの発生を抑制することができる。仮にモータ軸にかかる負荷が変化し、モータ 1 の回転速度のプロファイルが変化したとしても、算出した加速度情報に基づいて制御切替タイミングが加速度 0 となるように自動で調整される。

40

【 0 0 8 5 】

なお、切替信号生成部 1 1 の加速度演算部 1 1 3、比較器 1 1 4、1 1 5、及び論理積演算器 1 1 6 による加速度に基づいた制御切替タイミングの判定は、上述した構成に限るものではない。制御切替後に回転速度が低下して脱調するという課題を解決するためであれば、推定加速度に関する条件を所定値以上とするという条件でも構わない。所定値を目標加速度以上とすれば、モータ 1 の発生トルクは加速に必要な値より大きくなっているため、制御切替直後に回転速度が低下することなく必ず増速する。よって、回転速度の低下

50

により脱調するという課題を防ぐことができる。

【 0 0 8 6 】

以上のような構成のモータ制御部 1 5 7 によるモータ 1 の駆動制御処理を説明する。図 9 は、モータ 1 の駆動制御処理を表すフローチャートである。モータ制御部 1 5 7 は、システムコントローラ 1 5 1 の制御に基づいて、モータ 1 の駆動制御処理を行う。

【 0 0 8 7 】

モータ制御部 1 5 7 は、システムコントローラ 1 5 1 から取得する制御開始信号が「 1 」になると (S 1 0 1 : Y)、動作を開始する (S 1 0 2)。動作を開始すると、モータ制御部 1 5 7 の目標位置生成部 2 は、目標位置 $_t g t$ を出力する。これによりモータ 1 は回転を開始する。

【 0 0 8 8 】

モータ制御部 1 5 7 は、切替信号生成部 1 1 が出力する切替信号 $s i g_s w$ に基づいて、オープン制御とセンサレスベクトル制御とのどちらでモータ 1 の制御を行うか選択する (S 1 0 3)。切替信号 $s i g_s w$ が「 1 」の場合 (S 1 0 3 : Y)、モータ制御部 1 5 7 は、オープン制御でモータ 1 を制御する (S 1 0 4)。

【 0 0 8 9 】

切替信号 $s i g_s w$ が「 0 」の場合 (S 1 0 3 : N)、モータ制御部 1 5 7 は、初期化信号 $s i g_i n i t$ が「 1 」であるか否かを判定する (S 1 0 5)。初期化信号 $s i g_i n i t$ が「 1 」の場合 (S 1 0 5 : Y)、モータ制御部 1 5 7 は、指令値初期化処理を行う (S 1 0 6)。指令値初期化処理により、 $d q$ 軸電流指令は $d q$ 軸電流指令初期値 $i d_r e f_i n i t$ 、 $i q_r e f_i n i t$ に初期化され、 $d q$ 軸電圧指令は $d q$ 軸電圧指令初期値 $v d_r e f_i n i t$ 、 $v q_r e f_i n i t$ に初期化される。指令値初期化処理後、モータ制御部 1 5 7 は、センサレスベクトル制御でモータ 1 を制御する (S 1 0 7)。なお、初期化信号 $s i g_i n i t$ が「 0 」の場合 (S 1 0 5 : N)、モータ制御部 1 5 7 は、指令値初期化処理を行うことなく、センサレスベクトル制御でモータ 1 を制御する (S 1 0 7)。

【 0 0 9 0 】

モータ 1 をオープン制御あるいはセンサレスベクトル制御により駆動制御すると、モータ制御部 1 5 7 は、システムコントローラ 1 5 1 から取得する制御開始信号が「 0 」になるか否かを判定する (S 1 0 1 : Y)。制御開始信号が「 0 」ではない場合 (S 1 0 8 : N)、モータ制御部 1 5 7 は、S 1 0 3 以降の処理を繰り返し行う。これによりモータ 1 の駆動制御が継続して行われる。制御開始信号が「 0 」である場合 (S 1 0 8 : Y)、モータ制御部 1 5 7 は、動作を停止する (S 1 0 9)。これによりモータ 1 の駆動制御が停止する。

【 0 0 9 1 】

以上のように本実施形態のモータ制御部 1 5 7 は、オープン制御からセンサレスベクトル制御への制御切替タイミングを決定するために、モータ 1 の回転速度情報とモータ 1 の加速度情報とを用いる。これにより制御切替時のモータ 1 の速度変動を抑制することができる。その結果、制御切替後のモータ 1 の脱調防止、回転速度のオーバーシュートの低減、整定時間の短縮が実現される。

【 0 0 9 2 】

(変形例)

モータ制御部 1 5 7 の変形例について説明する。変形例においてもモータ制御部は、モータ 1 として、ステップ角が 1 . 8 度のステッピングモータを駆動制御する例について説明する。図 1 0 は、モータ制御部の変形例の構成説明図である。図 3 のモータ制御部 1 5 7 と比較して、図 1 0 のモータ制御部 1 5 7 1 は、切替信号生成部 2 1 の構成が異なり、他の部分は同じである。ここでは、切替信号生成部 2 1 の説明を行い、他の部分の説明は省略する。

【 0 0 9 3 】

切替信号生成部 2 1 は、目標位置 $_t g t$ とシステムコントローラ 1 5 1 から入力さ

10

20

30

40

50

れるトルク情報 `t o r q _ i n f o` に基づいて、切替信号 `s i g _ s w` 及び初期化信号 `s i g _ i n i t` を出力する。図 11 は、切替信号生成部 21 の構成図である。図 7 の切替信号生成部 11 と同じ構成要素については同じ符号を付してある。切替信号生成部 21 は、速度演算部 111、立ち下がりエッジ検出部 119、速度閾値決定部 120、及び比較器 121 を備える。

【0094】

速度閾値決定部 120 は、トルク情報 `t o r q _ i n f o` に応じて事前に設定された速度閾値を出力する。速度閾値決定部 120 は、例えばトルク情報 `t o r q _ i n f o` と速度閾値との関係が示されるテーブルを有する。速度閾値決定部 120 は、このテーブルを参照して速度閾値を出力する。

10

【0095】

比較器 121 は、速度演算部 111 から出力される目標速度と、速度閾値決定部 120 から出力される速度閾値とを比較する。比較器 121 は、目標速度が速度閾値未満の場合に「1」を出力し、目標速度が速度閾値以上の場合に「0」を出力する。この出力信号が切替信号 `s i g _ s w` となる。

【0096】

モータ軸にかかる負荷が変化すると、モータ 1 の回転速度のプロファイルが変化するため、加速度が「0」となるタイミングが変化する。モータ軸にかかる負荷トルク情報に応じて加速度が「0」となるタイミングの目標速度を事前に測定し、その測定結果から速度閾値決定部 120 のテーブルを作成することで、加速度 0 における制御切替が実現される。その結果、オープン制御からベクトル制御への制御切替直後のモータ 1 の発生トルクが、モータ軸にかかる負荷トルクと等しくなるため、速度変動が抑制される。

20

【0097】

なお、切替信号 `s i g _ s w` の生成に用いる信号は負荷情報に限らず、例えば紙種情報等でもよい。紙搬送用のモータに本実施形態のモータ制御部 1571 を適用した場合、紙種に応じてモータ軸にかかる負荷トルクの値が変わる。そのため、紙種情報から速度閾値を決定することも可能である。

【0098】

以上のように、変形例のモータ制御部 1571 では、オープン制御からベクトル制御への制御切替タイミングを決定するために、モータ 1 の回転速度情報と負荷情報とを用いることで、制御切替時の速度変動を抑制することができる。その結果、制御切替後のモータ 1 の脱調防止、回転速度のオーバーシュートの低減、整定時間の短縮が実現される。

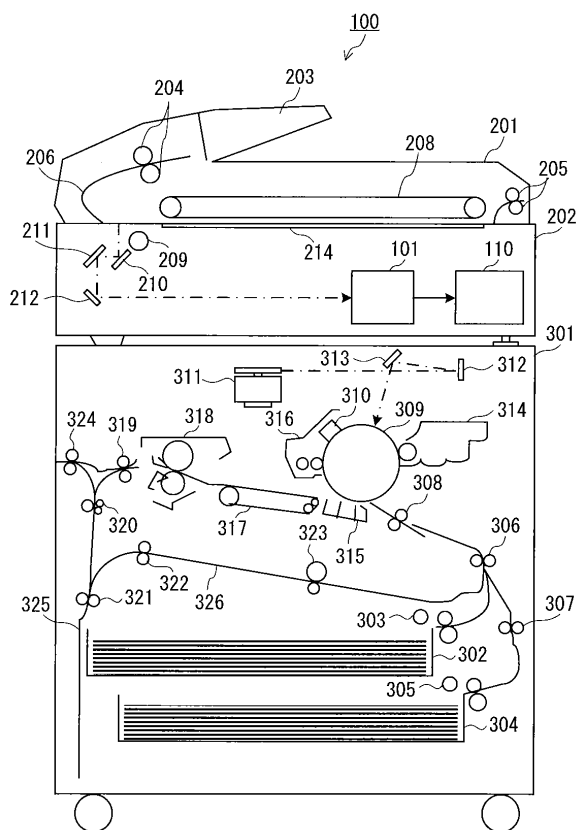
30

40

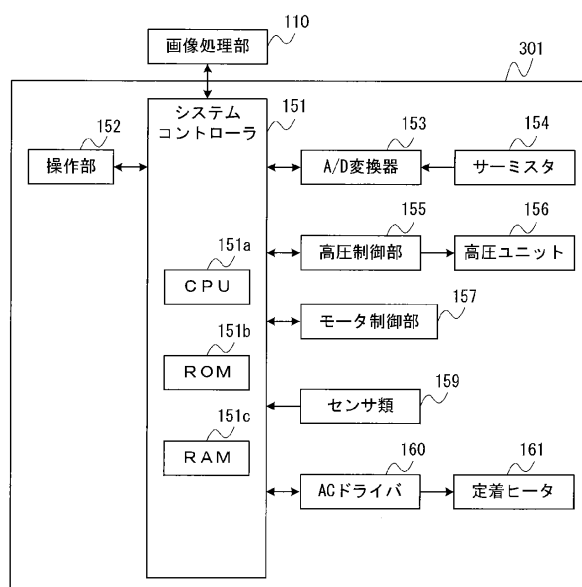
50

【図面】

【圖 1】



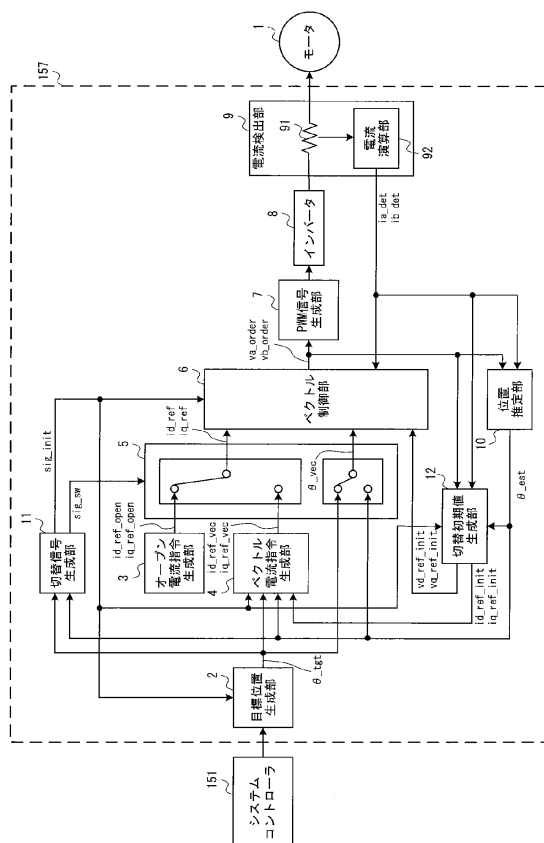
【圖 2】



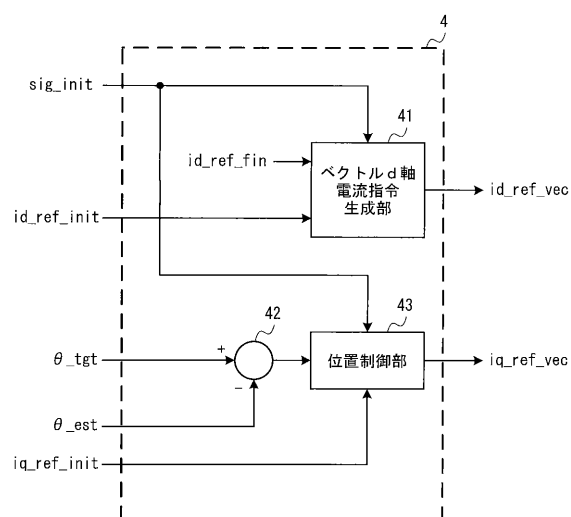
10

20

【圖 3】



【圖 4】

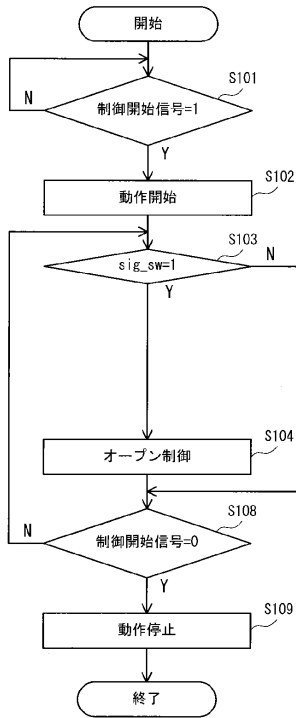


30

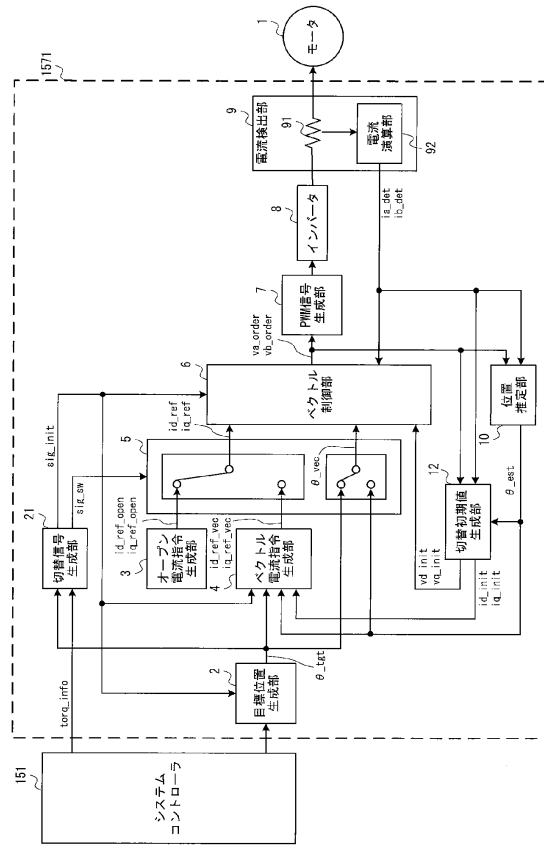
40

50

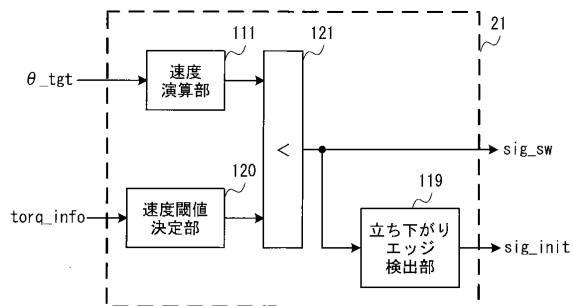
【図 9】



【図 10】



【図 11】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 9 - 1 3 5 9 0 5 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 2 2 6 2 1 7 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 7 2 1 3 6 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 8 4 6 9 4 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 2 P 6 / 1 8
H 0 2 P 2 1 / 2 6
H 0 2 P 8 / 3 2