

(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

H 02 P	6/18 (2016.01)	H 02 P	6/18
H 02 P	21/26 (2016.01)	H 02 P	21/26
H 02 P	8/32 (2006.01)	H 02 P	8/32

F I

請求項の数 6 (全21頁)

(21)出願番号 特願2019-160272(P2019-160272)
 (22)出願日 令和1年9月3日(2019.9.3)
 (65)公開番号 特開2021-40412(P2021-40412A)
 (43)公開日 令和3年3月11日(2021.3.11)
 審査請求日 令和4年8月16日(2022.8.16)

(73)特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74)代理人 100099324
 弁理士 鈴木 正剛
 浜田 修平
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (72)発明者 キヤノン株式会社内
 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、

10

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、

20

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、

30

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

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。

【0004】

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。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2009-284694号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

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。

【0007】

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。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

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

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】

【0009】

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】

【0010】

【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10】モータ制御部の変形例の構成説明図。

【図11】切替信号生成部の構成図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

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。

【0012】

(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100は、自動原稿搬送装置(以下、「ADF(Auto Document Reader)」)という。201、読み取装置(以下、「リーダ部」という。)202、及び画像形成装置本体(以下、「プリンタ部」という。)301を備えている。プリンタ部301の上にリーダ部202が設けられ、リーダ部202の上にADF201が設けられる。 30

【0013】

ADF201は、原稿が載置される原稿載置部203、給紙ローラ204、搬送ガイド206、搬送ベルト208、及び排紙ローラ205を備える。原稿載置部203に載置された原稿は、給紙ローラ204によって1枚ずつ給紙され、搬送ガイド206を経由してリーダ部202による原稿の読み取り位置に搬送される。原稿は、読み取り位置を通過し、搬送ベルト208によって一定速度で搬送された後、排紙ローラ205によってADF201の外部へ排出される。

【0014】

リーダ部202は、筐体のADF201側の面に原稿台ガラス214を備える。リーダ部202の筐体内には、照明系209、反射ミラー210、211、212、画像読み取部101、及び画像処理部110を備える。ADF201により読み取り位置に搬送された原稿は、照明系209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210、211、212から成る光学系によって画像読み取部101に受光される。画像読み取部101は、受光した反射光を画像信号に変換する。画像読み取部101は、レンズ、光電変換素子であるCCD(Charge Coupled Device)センサ、及びCCDセンサの駆動回路等で構成される。画像読み取部101から出力された画像信号は、ASIC(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110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301へ送信される。 40 50

【 0 0 1 5 】

リーダ部 202 は、流し読みモードと固定モードとの 2 つの読み取り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 209 及び光学系の移動を停止した状態で、ADF 201 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み取りモードである。固定モードは、原稿台ガラス 214 上に原稿を載置し、照明系 209 及び光学系を一定速度で移動させながら、原稿台ガラス 214 上に載置された原稿の画像を読み取る読み取りモードである。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 100 は、リーダ部 202 から出力される画像信号に基づいて、プリンタ部 301 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 100 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 301 は、感光ドラム 309、帯電器 310、レーザスキャナ 311、現像器 314、転写部 315、定着器 318 等を備える。プリンタ部 301 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 306、307、排紙ローラ 319、反転ローラ 321、搬送ローラ 320、322、323、及び排紙ローラ 324 を備えている。

10

【 0 0 1 7 】

感光ドラム 309 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 309 は、帯電器 310 により感光層が一様に帯電される。レーザスキャナ 311 は、リーダ部 202 から出力された画像信号を取得する。レーザスキャナ 311 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 312、313 を経由して感光ドラム 309 の表面を照射する。これにより感光ドラム 309 が露光される。感光ドラム 309 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 309 上に形成された静電潜像は、現像器 314 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 309 上にトナー像が形成される。感光ドラム 309 上のトナー像は、感光ドラム 309 の回転に伴って転写部 315 と対向する位置（転写位置）まで移動する。転写部 315 は、感光ドラム 309 に担持されるトナー像を記録紙に転写する。

20

【 0 0 1 8 】

記録紙は、給紙カセット 302、304 に収納される。給紙カセット 302 と給紙カセット 304 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 302 には標準の記録紙が収納され、給紙カセット 304 にはタブ紙が収納される。給紙カセット 302 に収納された記録紙は、給紙ローラ 303 によって搬送路上に給紙され、搬送ローラ 306 によってレジストローラ 308 まで搬送されて一時的に搬送停止される。給紙カセット 304 に収納された記録紙は、給紙ローラ 305 によって搬送路上に給紙され、搬送ローラ 307、306 によってレジストローラ 308 まで搬送されて一時的に搬送停止される。

30

【 0 0 1 9 】

レジストローラ 308 まで搬送された記録紙は、感光ドラム 309 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 308 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 309 からトナー像が転写された記録紙は、搬送ベルト 317 によって定着器 318 へ搬送される。定着器 318 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。

40

【 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 318 を通過した記録紙は、排紙ローラ 319、324 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 318 を通過後に排紙ローラ

50

ラ319、搬送ローラ320、及び反転ローラ321によって、反転バス325へ搬送される。記録紙の後端が反転バス325と両面バス326との合流ポイントを通過した直後に反転ローラ321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バス326へ搬送される。その後、記録紙は、搬送ローラ322、323によって両面バス326を搬送され、再び搬送ローラ306によってレジストローラ308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318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。

【0021】

10

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318を通過した記録紙は、搬送ローラ320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320の位置を通過する直前に搬送ローラ320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324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324によって装置外部へ排出される。搬送ローラ320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。

【0022】

記録紙の搬送用ローラである搬送ローラ306、307、排紙ローラ319、反転ローラ321、搬送ローラ320、322、323、及び排紙ローラ324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。

20

【0023】

（画像形成装置の制御構成）

図2は、画像形成装置100の制御構成の例示図である。プリンタ部301は、システムコントローラ151を備える。システムコントローラ151は、画像形成装置100全体の動作を制御する。システムコントローラ151は、CPU(Central Processing Unit)151a、ROM(Read Only Memory)151b、及びRAM(Random Access Memory)151cを備える。システムコントローラ151には、リーダ部202の画像処理部110、操作部152、アナログ・デジタル(A/D)変換器153、高圧制御部155、モータ制御部157、センサ類159、及びACドライバ160が接続される。システムコントローラ151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。

30

【0024】

CPU151aは、ROM151b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。RAM151cは、揮発性のメモリデバイスであり、CPU151a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、RAM151c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。RAM151cには、例えば、高圧制御部155に対する設定値、モータ制御部157に対する指令値、操作部152から受信する情報等が格納される。

40

【0025】

操作部152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・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151は、ユーザが各種の設定を行うための操作画面を、操作部152の表示装置に表示する。システムコントローラ151は、操作画面に応じたユーザからの指示を操作部152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151は、操作部152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151は、画像形成装置100の状態をユーザに知らせるためのデータを操作部152に送信する。操作部152は、システムコントロー

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 (C P U 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 を構成する帶電器 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 A C 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。

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 (C P U 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。20

【 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 1 0 、切替信号生成部 1 1 、及び切替初期値生成部 1 2 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。

【0032】

最初に、モータ制御部157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。

【0033】

目標位置生成部2は、システムコントローラ151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 $_tgt$ 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 $_tgt$ を目標値として制御される。

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RAM151c）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。

【0034】

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41、位置偏差算出部42、及び位置制御部43を備える。

【0035】

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～360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。

【0036】

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 $i_d_ref_vec$ と同じにする初期化処理が必要になる。

【0037】

初期化信号 sig_init は、ベクトルd 軸電流指令生成部41及び位置制御部43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41及び位置制御部43を初期化する。

【0038】

ベクトルd 軸電流指令生成部41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

10

20

30

40

50

`d_ref_init` の値に設定する。`d` 軸電流指令初期値 `i_d_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 `i_d` の検出値（`d` 軸検出電流）である。`d` 軸電流指令初期値 `i_d_ref_init` の値を制御切替直後のベクトル `d` 軸電流指令 `i_d_ref_vec` に設定することで、モータ 1 に流れている `d` 軸電流 `i_d` とベクトル `d` 軸電流指令 `i_d_ref_vec` が同じ値になる。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 `i_d_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 `i_d_ref_fin` の値には差がある。そのため、ベクトル `d` 軸電流指令 `i_d_ref_vec` の値は、`d` 軸電流指令初期値 `i_d_ref_init` から `d` 軸電流指令最終値 `i_d_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 `i_d_ref_vec` の値は、`d` 軸電流指令初期値 `i_d_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 `i_d_ref_fin` となるように設定される。

【0040】

このようにベクトル `d` 軸電流指令生成部 4 1 は、制御切替直前のモータ 1 に流れる `d` 軸電流 `i_d` を制御切替直後に出し、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 `i_d_ref_vec` を生成する。

【0041】

位置偏差算出部 4 2 及び位置制御部 4 3 は、ベクトル `q` 軸電流指令 `i_q_ref_vec` を生成する。位置偏差算出部 4 2 は、目標位置 `_tgt` と推定位置 `_est` の差分から位置偏差を算出する。位置制御部 4 3 は、位置偏差算出部 4 2 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 `i_q_ref_vec` を生成して出力する。

【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 `i_q_ref_vec` とモータ 1 に実際に流れる `q` 軸電流 `i_q` 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 `i_q` と制御切替直後のベクトル `q` 軸電流指令 `i_q_ref_vec` を同じにする初期化処理が必要になる。

【0043】

位置制御部 4 3 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 `i_q_ref_init` によりベクトル `q` 軸電流指令 `i_q_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 `i_q_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 `i_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モータ 1 に流れる `q` 軸電流 `i_q` の検出値（`q` 軸検出電流）である。`q` 軸電流指令初期値 `i_q_ref_init` の値を制御切替直後のベクトル `q` 軸電流指令 `i_q_ref_vec` にすることで、モータ 1 に流れている `q` 軸電流 `i_q` とベクトル `q` 軸電流指令 `i_q_ref_vec` と同じになる。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。

【0044】

位置制御部 4 3 は、ベクトル `q` 軸電流指令 `i_q_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 `i_d_ref_init` を出力する。その後、位置制御部 4 3 は、位置偏差算出部 4 2 と位置制御部 4 3 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 `i_q_ref_vec` を出力する。

【0045】

10

20

30

40

50

スイッチ5は、切替信号 `s ig_sw` に応じて、2つのd q 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d q 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 `s ig_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d q 軸電流指令 `i d_ref_open`、`i q_ref_open` 及び目標位置 `_tgt` を選択して出力する。切替信号 `s ig_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d q 軸電流指令 `i d_ref_vec`、`i q_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d q 軸電流指令 `i d_ref`、`i q_ref` の波形の例示図である。

10

【0047】

オープン制御時のd q 軸電流指令 `i d_ref`、`i q_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d q 軸電流指令 `i d_ref_open`、`i q_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d q 軸電流指令 `i d_ref`、`i q_ref` は、d 軸電流指令初期値 `i d_ref_init`、`i q_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 `i d_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。

20

【0048】

ベクトル制御部6は、d q 軸電流指令 `i d_ref`、`i q_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 `v_a_order`、`v_b_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、d q 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d q 逆変換部66を備える。

20

【0049】

d q 変換部61は、電流検出部9から入力されるab相検出電流 `i_a_det`、`i_b_det` を、d q 軸検出電流 `i_d_det`、`i_q_det` に変換して出力する。変換には式(1)の固定座標変換式(d q 変換式)が用いられる。

30

【0050】

【数1】

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

【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 `i d_ref` とd 軸検出電流 `i d_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 `i q_ref` とq 軸検出電流 `i q_det`との差分を算出することで、q 軸電流偏差を生成する。

40

【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 `v_d_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 `v_q_order` を生成して出力する。d q 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 `v_d_order`、q 軸駆動電圧指令 `v_q_order` をab座標系のab相電圧指令 `v_a_order`、`v_b_order` に変換して出力する。変換には式(2)の回転座標変換式(d q 逆変換式)が用いられる。

50

【0053】

【数2】

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

【0054】

ただし、この構成では、オーブ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、dq 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 $_tgt$ から推定位置 $_est$ 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。

【0055】

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。dq 軸駆動電圧指令 v_{d_order} 、 v_{q_order} は、具体的には PI 制御の積分器の値が設定されて初期化される。

【0056】

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ブン制御時の a b 相電圧指令 v_{a_order} 、 v_{b_order} を推定位置 $_est$ で dq 変換した値である。つまり、dq 軸電圧指令初期値 $v_{d_ref_init}$ 、 $v_{q_ref_init}$ を推定位置 $_est$ で dq 逆変換すると、制御切替直前のオーブン制御時の 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 output 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。

【0057】

以上のように、ベクトル制御部 6 は、dq 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。

【0058】

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 output 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。

【0059】

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 A/D コンバー

10

20

30

40

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 [mΩ]）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 $_est$ 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。

【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】

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 $_est$ を算出することができる。

$$_est = \arctan(-E_a / E_b) \quad \dots (4)$$

【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。

【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 $_est$ 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。

【0066】

【数4】

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

10

20

30

40

50

【0067】

式(5)に示すように、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 $_est$ で d q 変換した値である。

【0068】

また、切替初期値生成部 12 は、初期化信号 sig_init に基づいて、d q 軸電流指令切替初期値 $i_d_ref_init$ 、 $i_q_ref_init$ を出力する。d q 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 $_est$ 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(6)の演算結果を d q 軸電流切替初期値 $i_d_ref_init$ 、 $i_q_ref_init$ として出力する。

10

【0069】**【数5】**

$$\begin{bmatrix} i_{d,ref_init} \\ i_{q,ref_init} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_est) & \sin(\theta_est) \\ -\sin(\theta_est) & \cos(\theta_est) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{a_det} \\ i_{b_det} \end{bmatrix} \quad \dots \quad (6)$$

20

【0070】

式(6)に示すように、d q 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 d q 軸検出電流である。

【0071】

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 11 によって生成される。図 7 は、切替信号生成部 11 の構成図である。切替信号生成部 11 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 11 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、d q 軸電圧指令、d q 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 11 は、速度演算部 111、加速度演算部 113、比較器 112、114、115、論理積演算器 116、117、第 1 エッジ検出部 118、及び立ち下がりエッジ検出部 119 を備える。

30

【0072】

速度演算部 111 は、入力される目標位置 $_tgt$ 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 111 は、目標位置 $_tgt$ に代えて推定位置 $_est$ から目標速度 v_{el_tgt} を算出してもよい。比較器 112 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 112 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 112 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

【0073】

加速度演算部 113 は、入力される推定位置 $_est$ を二階微分した値の絶対値を、モータ 1 の推定加速度 $_est$ として出力する。比較器 114 は、推定加速度 $_est$ と事前に設定された加速度閾値 $_thres1$ とを比較する。比較器 114 は、比較

50

結果として、推定加速度 `_est` が加速度閾値 `_thres1` より大きい場合に「1」を出力し、推定加速度 `_est` 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 `_thres1` 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 `_thres1` 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 `_est` と事前に設定された加速度閾値 `_thres2` を比較する。比較器 115 は、比較結果として、推定加速度 `_est` が加速度閾値 `_thres2` より小さい場合に「1」を出力し、推定加速度 `_est` 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 `_thres2` 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 `_thres2` は、目標加速度の 1.05 倍に設定される。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 `_thres1` と加速度閾値 `_thres2` 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 `_thres1` を目標加速度の 0.95 倍、加速度閾値 `_thres2` を目標加速度の 1.05 倍とすると、推定加速度 `_est` が目標加速度の ±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 `sig_sw` 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 `sel_sig` 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 `sel_sig` を「1」に初期化する。30

【0078】

このように切替信号 `sig_sw` 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 `sig_sw` 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 `sig_sw` が「1」の場合はオープン制御が行われ、切替信号 `sig_sw` が「0」の場合はセンサレスベクトル制御が行われる。

【0079】

立ち下がりエッジ検出部 119 は、切替信号 `sig_sw` 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 `sig_init` 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 `sig_init` を出力する。初期化信号 `sig_init` 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。40

【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 1 が生成する切替信号 `sig_sw` 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

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157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。

【0081】

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スペ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スペ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

【0082】

図8(a)では、オープン制御からセンサスペ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ab相電圧指令va_order、vb_orderを同じにする引継ぎ処理を行うと、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スペ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

【0083】

本実施形態のモータ制御部157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スペ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__threshold1以上且つ加速度閾値__threshold2以下としている。上述したように、加速度閾値__threshold1及び加速度閾値__threshold2は、目標加速度の0.95倍と目標加速度の1.05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スペクトル制御への制御切替が行われる。

30

【0084】

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ab相電圧指令va_order、vb_orderを同じにする引継ぎ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

【0085】

なお、切替信号生成部11の加速度演算部113、比較器114、115、及び論理積演算器116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增速する。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。

【0086】

以上のような構成のモータ制御部157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157は、システムコントローラ151の制御に基づいて、モータ1の駆動制御処理を行う。

【0087】

モータ制御部157は、システムコントローラ151から取得する制御開始信号が「1」になると(S101:Y)、動作を開始する(S102)。動作を開始すると、モータ制御部157の目標位置生成部2は、目標位置__tgtを出力する。これによりモータ1は回転を開始する。

10

【0088】

モータ制御部157は、切替信号生成部11が出力する切替信号sig_sw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(S103)。切替信号sig_swが「1」の場合(S103:Y)、モータ制御部157は、オープン制御でモータ1を制御する(S104)。

【0089】

切替信号sig_swが「0」の場合(S103:N)、モータ制御部157は、初期化信号sig_initが「1」であるか否かを判定する(S105)。初期化信号sig_initが「1」の場合(S105:Y)、モータ制御部157は、指令値初期化処理を行う(S106)。指令値初期化処理により、dq軸電流指令はdq軸電流指令初期値id_ref_init、iq_ref_initに初期化され、dq軸電圧指令はdq軸電圧指令初期値vd_ref_init、vq_ref_initに初期化される。指令値初期化処理後、モータ制御部157は、センサレスベクトル制御でモータ1を制御する(S107)。なお、初期化信号sig_initが「0」の場合(S105:N)、モータ制御部157は、指令値初期化処理を行なうことなく、センサレスベクトル制御でモータ1を制御する(S107)。

20

【0090】

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157は、システムコントローラ151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(S101:Y)。制御開始信号が「0」ではない場合(S108:N)、モータ制御部157は、S103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(S108:Y)、モータ制御部157は、動作を停止する(S109)。これによりモータ1の駆動制御が停止する。

30

【0091】

以上のように本実施形態のモータ制御部157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。

40

【0092】

(变形例)

モータ制御部157の变形例について説明する。变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10は、モータ制御部の变形例の構成説明図である。図3のモータ制御部157と比較して、図10のモータ制御部1571は、切替信号生成部21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21の説明を行い、他の部分の説明は省略する。

【0093】

切替信号生成部21は、目標位置__tgtとシステムコントローラ151から入力さ

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、整定時間の短縮を実現がされる。

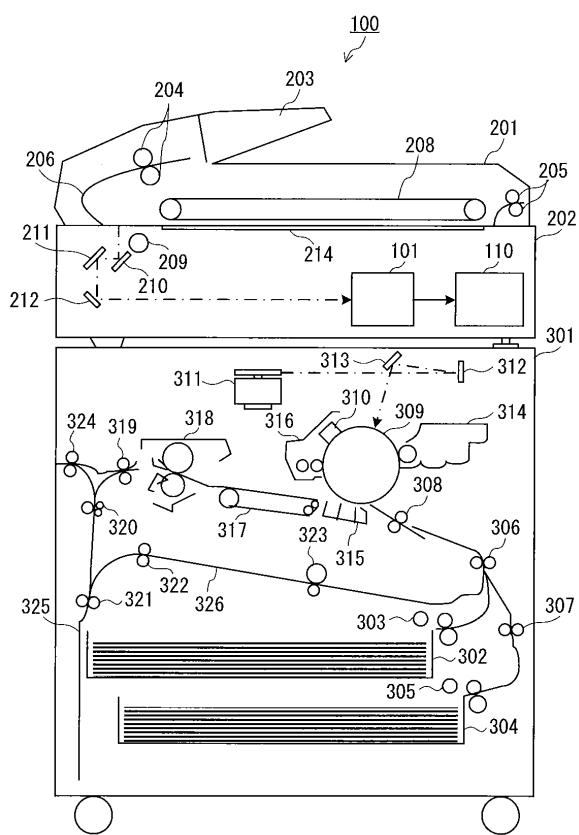
30

40

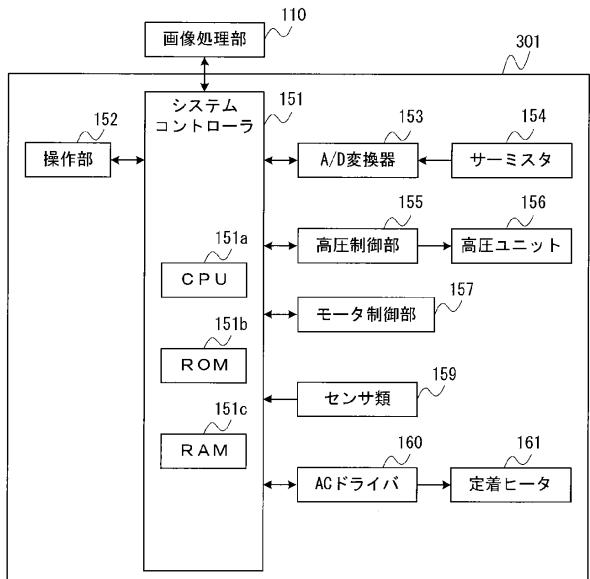
50

【図面】

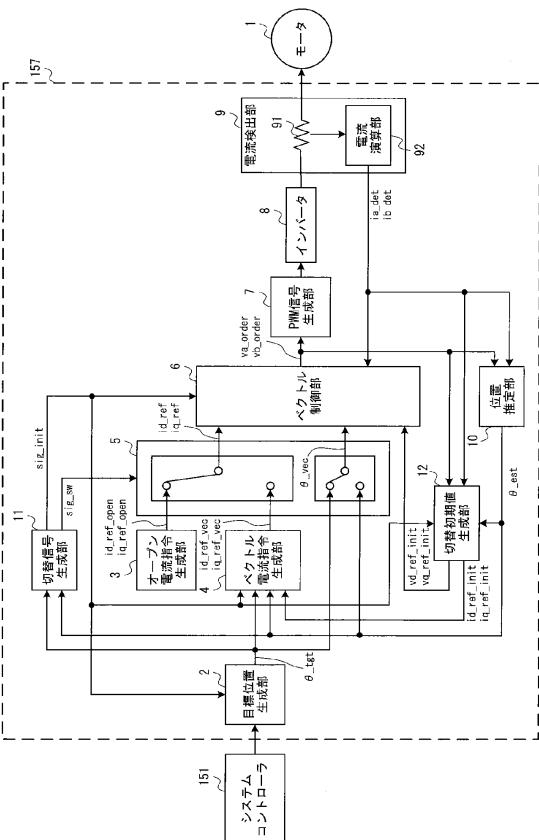
【図 1】



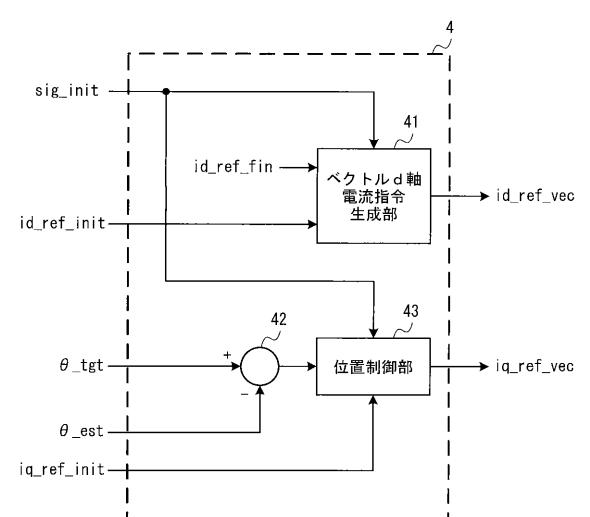
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

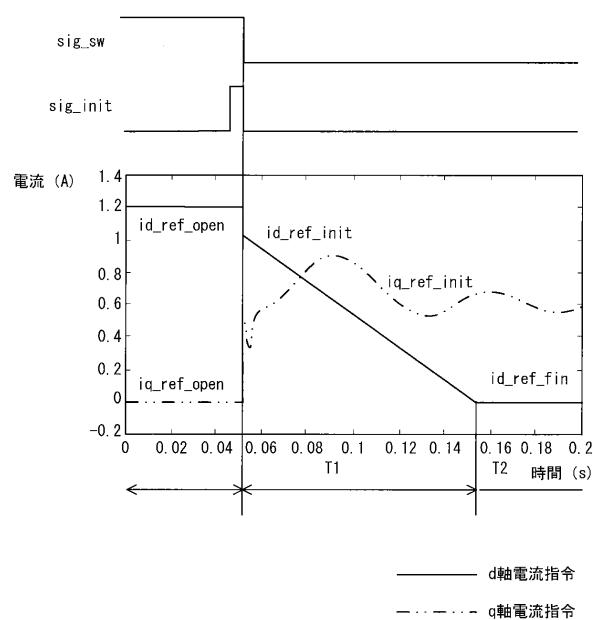
20

30

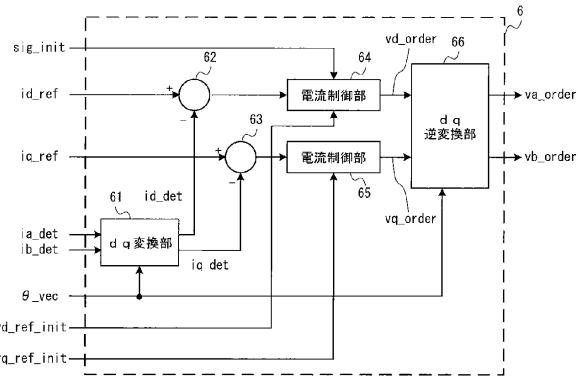
40

50

【図 5】

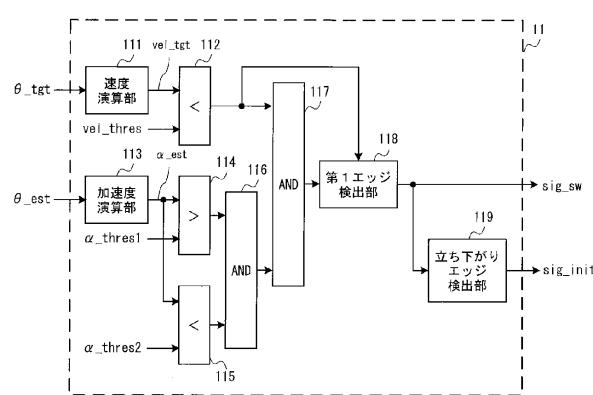


【図 6】

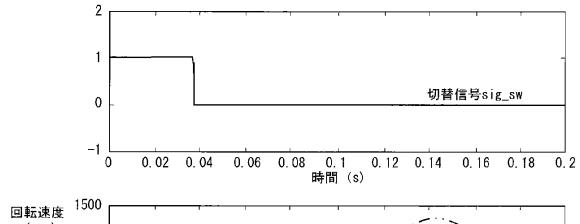


10

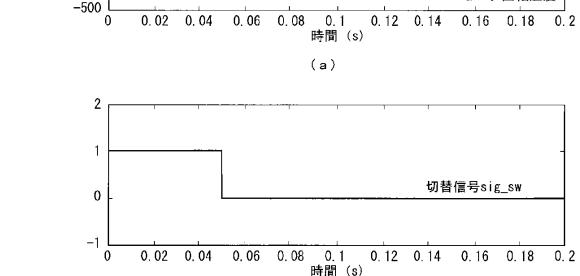
【図 7】



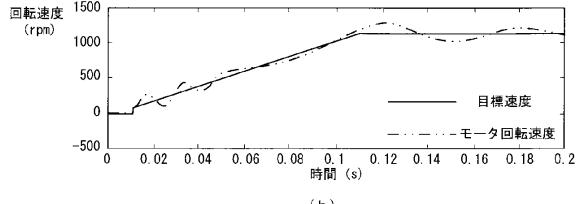
【図 8】



20



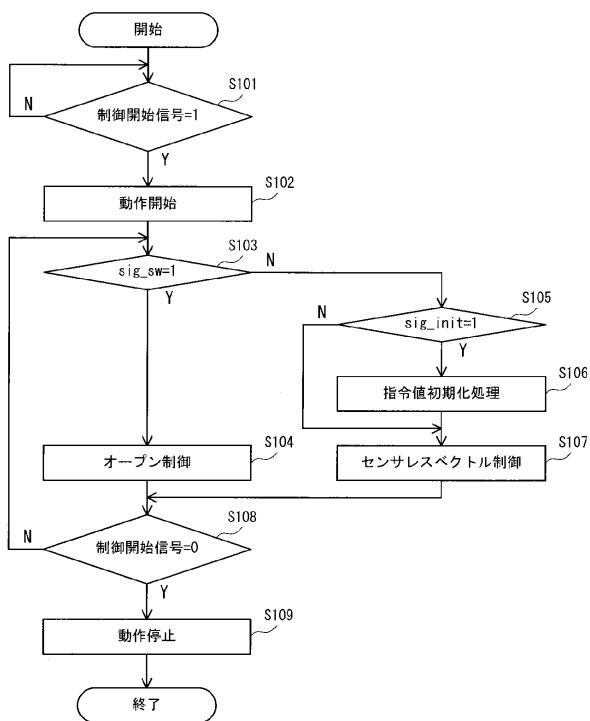
30



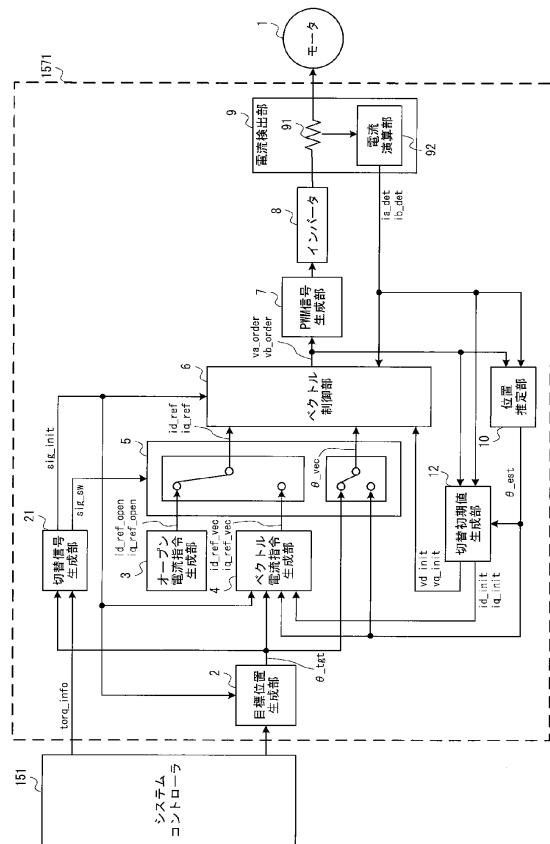
40

50

【図 9】



【図 10】

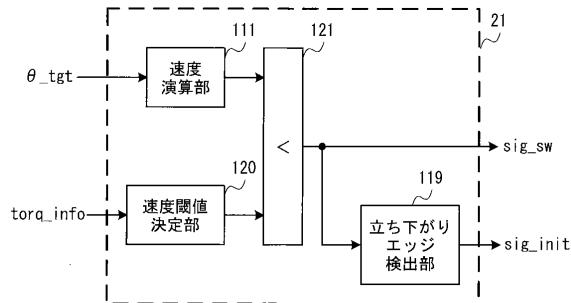


10

20

30

【図 11】



40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2019-135905(JP,A)
 特開2016-226217(JP,A)
 特開2010-172136(JP,A)
 特開2009-284694(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02P 6 / 18
H02P 21 / 26
H02P 8 / 32