

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5634330号
(P5634330)

(45) 発行日 平成26年12月3日 (2014. 12. 3)

(24) 登録日 平成26年10月24日 (2014. 10. 24)

(51) Int. Cl.

F I

H O 2 P 6/18 (2006. 01)

H O 2 P 6/02 3 7 1 S

H O 2 P 29/00 (2006. 01)

H O 2 P 5/00 W

請求項の数 7 (全 57 頁)

(21) 出願番号 特願2011-127073 (P2011-127073)
 (22) 出願日 平成23年6月7日 (2011. 6. 7)
 (65) 公開番号 特開2012-253991 (P2012-253991A)
 (43) 公開日 平成24年12月20日 (2012. 12. 20)
 審査請求日 平成25年8月13日 (2013. 8. 13)

(73) 特許権者 511138113
 星 聡
 東京都町田市南成瀬1丁目1-6-305
 (74) 代理人 100103894
 弁理士 冢入 健
 (72) 発明者 星 聡
 東京都町田市南成瀬1丁目1-6-305
 審査官 宮崎 基樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータの駆動制御プログラム、駆動制御方法及び駆動制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる演算コアと、
 ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、
 前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した比較
 対象検出信号と前記 3 相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧、又は、各相巻
 き線端子から接地電位に接続された分圧抵抗網により合成されたアーティフィシャルセン
 タータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コア
 で実行されるモータの駆動制御プログラムであって、

前記コンパレータの出力信号の値に基づきコンパレータ積分値を増減し、
 前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記モータの回転位置
 が遷移したことを検出し、
 当該検出結果に応じて、前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させるモータの駆動制御
 プログラム。

【請求項 2】

前記 P W M 信号の状態が遷移した後の所定の期間は前記コンパレータの出力結果によら
 ず前記コンパレータ積分値をカウントアップ又はカウントダウンする請求項 1 に記載のモ
 ータの駆動制御プログラム。

【請求項 3】

前記所定の期間は、前記 P W M 信号の状態が維持される一期間の所定の割合の期間とし

10

20

て予め設定される請求項 2 に記載のモータの駆動制御プログラム。

【請求項 4】

前記モータの回転位置の遷移が検出されたことに応じて選択する前記比較対象検出信号を切り換える請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のモータの駆動制御プログラム。

【請求項 5】

前記ドライバ回路は、電源配線と接地配線との間にハイサイドトランジスタとローサイドトランジスタとが直列に接続される 3 組の駆動段回路を有し、前記 P W M 信号により選択された 2 組の前記駆動段回路の前記ハイサイドトランジスタと前記ローサイドトランジスタとが排他的に導通状態に制御され、

前記比較対象検出信号は、前記 3 組の駆動段回路のうち非選択の駆動段回路の出力ノードに生成される駆動信号である請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のモータの駆動制御プログラム。

10

【請求項 6】

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる P W M 信号生成回路と、

ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、

前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した 1 相の駆動信号と前記 3 相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧、又は、各相巻き線端子から接地電位に接続された分圧抵抗網により合成されたアーティフィシャルセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するモータ駆動装置を用いたモータの駆動制御方法であって、

20

前記コンパレータの出力信号の値に基づきコンパレータ積分値を増減し、

前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、

当該検出結果に応じて、前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させるモータの駆動制御方法。

【請求項 7】

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる P W M 信号生成回路と、

ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、

30

前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した 1 相の駆動信号と前記 3 相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧、又は、各相巻き線端子から接地電位に接続された分圧抵抗網により合成されたアーティフィシャルセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有し、

前記 P W M 信号生成回路は、

前記コンパレータの出力信号の値に基づきコンパレータ積分値を増減し、

前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、

当該検出結果に応じて、前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させるモータの駆動制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はモータの駆動制御プログラム、駆動制御方法及び駆動制御装置に関し、特にホール素子等の位置検出素子によらず位置検出を行うブラシレス D C モータの駆動制御プログラム、駆動制御方法及び駆動制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

モータを回転させる場合、ロータの回転位置を検出して、ロータの回転位置に合わせて駆動信号の状態を遷移させる必要がある。そこで、一般的なモータでは、ホール素子等の

50

位置検出手段を備えることでモータの回転位置を検出し、駆動信号の状態を遷移させる。しかし、ホール素子は、高温環境下（例えば、125以上の環境温度）では正確な位置検出が行えない問題がある。そこで、近年、例えば、HDD（Hard Disk Drive）、送風機、ポンプなどの高速高トルク回転が必要になる用途において、センサレスブラシレス直流モータが多く利用されている。センサレスブラシレス直流モータでは、ホール素子等の位置検出手段を用いることなくモータの回転位置を検出し、当該検出結果に基づき回転制御が可能である。センサレスブラシレス直流モータを用い場合、高温環境下における耐久性の面で多くのメリットを有する。

【0003】

このセンサレスブラシレス直流モータでは、非通電相に生じる誘起電圧を利用してモータの回転位置を検出し、当該検出のタイミングに応じて通電させる電機子巻線電流の通電を切り換えることができる。このようなセンサレスブラシレス直流モータの一例が特許文献1、2に開示されている。

【0004】

特許文献1に示される例では、センサレスブラシレス直流モータを3相の駆動信号（U相、V相、W相）を用いて駆動する。そして、特許文献1の図1、図2に示す例では、U相の駆動信号の電圧（端子Rに生じる電圧）と基準電圧 $V_{dc}/2$ とをコンパレータで比較して端子Rの電圧が基準電圧 $V_{dc}/2$ と交わるゼロクロス検出点を検出する。そして、ゼロクロス検出点が検出されたタイミングに応じて、マイクロコンピュータにてモータを駆動するためのPWM信号の状態を次状態に遷移させる。

【0005】

また、特許文献2では、非通電相の駆動信号の電圧レベルとセンタータップ電圧とをコンパレータで比較し、当該比較結果に応じてアップダウンカウンタを動作させ、アップダウンカウンタの値に応じて真のゼロクロス点を算出する方法が開示されている。そして、特許文献2では、算出されたゼロクロス点から駆動信号のステートを遷移させるタイミングを算出する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平9-247984号公報

【特許文献2】米国特許第7,235,939号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、一般的に、センサレスブラシレス直流モータにおいて駆動信号と基準電圧とを比較する場合、非通電相の駆動信号を入力段分圧抵抗等で信号振幅を減衰させた後にコンパレータ等で非通電相の駆動信号の大きさを判定する。このとき、入力段分圧抵抗は分圧比誤差を持つ。また、非通電相の駆動信号の大きさを判定するコンパレータは、入力オフセット電圧や入力ノイズ電圧等誤差要因を持つ。さらに、モータが低い回転速度で回転する起動時等では大きな誘起電圧を望めないため、電機子巻線の電圧と基準電圧との比較電位差が微小になる。このようなことから、特許文献1に記載の技術では、モータの低回転領域において誘起電圧とノイズ電圧との間に十分なSN比を確保できなくなり比較結果が不安定となる。結果として、特許文献1に記載の技術では、誘起電圧が基準電圧と交差する時に位置検出信号が不確定に複数回発生し、低回転速度領域における位置検出の間隔を正確に計時することが困難である。

【0008】

また、特許文献2の図3、図4では、コンパレータへの入力ノイズにより生じる誤差の問題が明らかであるが、特許文献2では、このノイズをマスクすることで、ゼロクロス点の計算結果にこの誤差の影響が反映されないようにしている。しかしながら、特許文献2では、図3、図4、図8及びそれに関連する記載からも明らかなように、駆動信号のステ

10

20

30

40

50

ートを遷移させる周期が予め決められていなければゼロクロス点の算出ができない問題がある。つまり、特許文献2は、モータの回転速度の変化に対応できない問題がある。例えば、PWM信号のデューティ比を可変することでモータの回転速度を制御する場合などモータの回転速度が変化するような用途では、特許文献2の技術は利用できない。また、モータは、回転速度がゼロの状態から回転を開始しなければならないが、回転速度が最大回転数に達する前の段階では特許文献2の技術は利用できない。このようなことから、特許文献2では、特にモータが最大回転速度以外の回転速度で回転している場合におけるモータの制御性が悪化する問題がある。

【0009】

また、特許文献1では、ゼロクロス検出点が発出されたタイミングに応じてPWM信号の状態を次状態へと遷移させるタイミングを切り換える。そのため、特許文献1では、ゼロクロス検出点がずれた場合、モータの制御性が悪化する問題がある。また、上記問題を回避する為にコンパレータにヒステリシスを持たせる事が一般的であるが、コンパレータにヒステリシスによる不感帯を持たせることにより比較結果を安定化させた場合、端子Rの電圧が基準電圧 $V_{dc}/2$ と交わるゼロクロス検出点が実際のゼロクロス検出点とずれモータの制御性が悪化する問題がある。誘起電圧がヒステリシス範囲以内である場合、ゼロクロス検出する事が出来ないため、低回転速度に限界が発生する。つまり、特許文献1に記載の技術では、センサレスブラシレス直流モータを低回転速度で制御する場合に制御性が悪化する問題を解決できない。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明にかかるモータの駆動制御プログラムの一態様は、モータの回転位置に応じて生成するPWM信号の状態を遷移させる演算コアと、ドライバ回路を介して前記PWM信号をモータに出力する出力インタフェースと、前記ドライバ回路が前記PWM信号に基づき生成した3相の駆動信号から選択した比較対象検出信号と前記3相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、前記コンパレータの出力信号の値に基づきコンパレータ積分値を増減し、前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、当該検出結果に応じて、前記PWM信号の状態を次状態に遷移させる。

【0011】

本発明にかかるモータの駆動制御方法の一態様は、モータの回転位置に応じて生成するPWM信号の状態を遷移させるPWM信号生成回路と、ドライバ回路を介して前記PWM信号をモータに出力する出力インタフェースと、前記ドライバが前記PWM信号に基づき生成した3相の駆動信号から選択した1相の駆動信号と前記3相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するモータ駆動装置を用いたモータの駆動制御方法であって、前記コンパレータの出力信号の値に基づきコンパレータ積分値を増減し、前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、当該検出結果に応じて、前記PWM信号の状態を次状態に遷移させる。

【0012】

本発明にかかるモータの駆動制御装置の一態様は、モータの回転位置に応じて生成するPWM信号の状態を遷移させるPWM信号生成回路と、ドライバ回路を介して前記PWM信号をモータに出力する出力インタフェースと、前記ドライバが前記PWM信号に基づき生成した3相の駆動信号から選択した1相の駆動信号と前記3相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有し、前記PWM信号生成回路は、前記コンパレータの出力信号の値に基づきコンパレータ積分値を増減し、前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、当該検出結果に応じて、前記PWM信号の状態を次状態に遷移させる。

【0013】

本発明にかかるモータの駆動制御プログラム、駆動制御方法及び駆動制御装置では、比較対象検出信号とセンタータップ電圧とが入力されるコンパレータの出力結果を積分したコンパレータ積分値に基づきモータの回転位置を検出する。これにより、コンパレータが入力オフセットを有する場合、或いは、ノイズに対する対策（例えば、ヒステリシス特性を有するコンパレータの利用）を行ってない場合であっても、これらのコンパレータの特性がモータの回転検出タイミングに与える影響を抑制することができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明にかかるモータの駆動制御プログラム、駆動制御方法及び駆動制御装置によれば、モータを低回転速度でモータの制御した場合の制御性を向上させることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置のブロック図である。

【図2】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置のより詳細なブロック図である。

【図3】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の動作手順を示すフローチャートである。

【図4】図3に示したフローチャートの変数初期化処理の詳細なフローチャートである。

【図5】図3に示したフローチャートのモータ駆動動作の詳細なフローチャートである。

【図6】図5に示したフローチャートの回転制御処理の詳細なフローチャートである。

【図7】図6に示したフローチャートの定電流制御処理の詳細なフローチャートである。

20

【図8】図6に示したフローチャートのフライバックフィルタ処理の詳細なフローチャートである。

【図9】図6に示したフローチャートのロータ位置検出処理の詳細なフローチャートである。

【図10】図9に示したフローチャートのステータ制御処理の詳細なフローチャートである。

【図11】図10に示したフローチャートの定回転速度制御処理の詳細なフローチャートである。

【図12】図10に示したフローチャートのステータ更新処理の詳細なフローチャートである。

30

【図13】図10に示したフローチャートのフライバック適応フィルタ更新処理の詳細なフローチャートである。

【図14】図6に示したフローチャートのレギュレーションループ調停処理の詳細なフローチャートである。

【図15】図6に示したフローチャートのPWMプリモジュレーション処理の詳細なフローチャートである。

【図16】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置のモータ制御開始時点の動作を示すタイミングチャートである。

【図17】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の状態0におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

40

【図18】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の状態1におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図19】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の状態2におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図20】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の状態3におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図21】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の状態4におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図22】実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置の状態5におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

50

【図 2 3】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置において同期整流動作が有る場合と無い場合による入出力特性を比較するグラフである。

【図 2 4】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 50 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートである。

【図 2 5】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 50 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 のモータ駆動制御装置の動作を説明するタイミングチャートである。

【図 2 6】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 50 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 ~ 状態 5 の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートである。

10

【図 2 7】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 50 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 ~ 状態 5 のモータ駆動制御装置の動作を説明するタイミングチャートである。

【図 2 8】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 100 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 ~ 状態 5 の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートである。

【図 2 9】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 100 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 ~ 状態 5 のモータ駆動制御装置の動作を説明するタイミングチャートである。

20

【図 3 0】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置において決定された PWM 信号のデューティ比が最大デューティ比を超えた場合に生成される PWM 信号を説明するタイミングチャートである。

【図 3 1】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置において決定された PWM 信号のデューティ比が最小デューティ比を下回った場合に生成される PWM 信号を説明するタイミングチャートである。

【図 3 2】実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置において決定された PWM 信号のデューティ比が最大デューティ比以下、かつ、最小デューティ比以上であった場合に生成される PWM 信号を説明するタイミングチャートである。

【図 3 3】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 0 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

30

【図 3 4】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 1 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図 3 5】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 2 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図 3 6】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 3 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図 3 7】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 4 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

【図 3 8】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 5 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。

40

【図 3 9】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置における回生ブレーキ動作が有る場合と無い場合による制御可能なモータの回転速度の範囲を比較するグラフである。

【図 4 0】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 50 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートである。

【図 4 1】実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が 50 % の PWM 信号を生成した場合の状態 0 ~ 状態 5 の駆動信号及びセンタータップ電圧の動作を説明するタイミングチャートである。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 6 】

実施の形態 1

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。まず、図 1 に実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 のブロック図を示す。図 1 に示すように、モータ駆動制御装置 1 はマイクロコンピュータである。つまり、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 は、マイクロコンピュータ上で実行されるモータ駆動制御プログラムによりモータの駆動動作を実現する。

【 0 0 1 7 】

なお、図 1 に示すブロック図では、ブリドライバ回路 2、ドライバ回路 3、及び、モータ 4 を示した。ブリドライバ回路 2 は、モータ駆動制御装置 1 が生成する P W M 信号のレベル変換を行う。ドライバ回路 3 は、ブリドライバ回路 2 を介して入力される P W M 信号に応じて 3 相（例えば、U 相、V 相、W 相）の駆動信号を生成し、当該駆動信号によりモータ 4 を駆動する。モータ 4 は、制御対象であって、3 相の駆動信号の中心電圧（センタータップ電圧 C T）を出力する。なお、このセンタータップ電圧は、モータにセンタータップ電圧の取り出し端子から取り出しても良く、また、3 相の駆動信号が入力される抵抗網を用いて人工的に合成されたアーティフィシャルセンタータップ電圧（Artificial center tap voltage）であっても良い。以下の説明で用いられるセンタータップ電圧は、生成方法に関わらず 3 相の駆動信号の中心電圧を示すものとする。

【 0 0 1 8 】

図 1 に示すように、モータ駆動制御装置 1 は、ハードウェアとして、演算コア 1 0、プログラムメモリ 1 1、R A M（Random Access Memory）1 2、G P I O（General Purpose Input/Output）1 3、セクタ 1 4、コンパレータ 1 5、アナログデジタル変換器 1 6、タイマ 1 7 を有する。モータ駆動制御装置 1 では、これらのブロックがバスを介して互いに接続される。

【 0 0 1 9 】

プログラムメモリ 1 1 には、モータ駆動制御プログラムが格納される。このプログラムメモリ 1 1 は、R O M（Read Only Memory）、フラッシュメモリ等により構成される。演算コア 1 0 は、プログラムメモリ 1 1 からモータ駆動制御プログラムを読み出して実行する。そして、演算コア 1 0 は、モータ駆動制御プログラムに従って、P W M 信号を生成する。また、演算コア 1 0 は、コンパレータ 1 5 の出力に基づきモータの回転を検出して、モータの検出結果に応じて P W M 信号の状態を遷移させる。演算コア 1 0 の動作についての詳細は後述する。R A M 1 2 は、演算コア 1 0 がモータ駆動制御プログラムの実行する際に用いるデータを格納する記憶装置である。

【 0 0 2 0 】

G P I O 1 3 は、汎用入出力装置である。モータ駆動制御装置 1 は、G P I O を介して図示しない他の回路から速度制御信号、P W M デューティ制御信号を受信する。温度制御信号は、モータ駆動制御装置 1 が組み込まれる装置の温度に応じて生成される。P W M デューティ制御信号は、例えば、モータがファンの回転を制御するものである場合、当該ファンの回転速度を示す回転速度指示値をモータ駆動制御装置 1 に指示する。温度制御信号及び P W M デューティ制御信号により示される値は、G P I O 1 3 を介して演算コア 1 0 に与えられる。また、G P I O 1 3 は、図示しない他の回路にモータ 4 の回転速度と比例した周波数の通知信号（以下、回転速度通知信号と称す）を出力する。回転速度通知信号は、例えば、演算コア 1 0 が生成し、G P I O 1 3 を介して出力されるものである。さらに、モータ駆動制御装置 1 では、演算コア 1 0 において生成された P W M 信号は、G P I O 1 3 を介してブリドライバ回路 2 に出力される。

【 0 0 2 1 】

セクタ 1 4 は、演算コア 1 0 からの指示に基づき、3 相信号から選択した非駆動相を比較対象検出信号 S P として出力する。より具体的には、モータ 4 としてセンサレスブラシレス直流モータを利用する場合、セクタ 1 4 は、非通電相を比較対象検出信号 S P として選択する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

コンパレータ 1 5 は、比較対象検出信号 S P と、センタータップ電圧とを比較して、出力信号をハイレベルとローレベルとのいずれかの論理レベルとする。本実施の形態では、コンパレータ 1 5 は、比較対象検出信号 S P よりもセンタータップ電圧 C T の方が高い場合は出力信号をハイレベルとし、比較対象検出信号 S P よりもセンタータップ電圧 C T の方が低い場合は出力信号をローレベルとする。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示す例では、ドライバ回路 3 のソース側に電流検出抵抗 R i 及びローパスフィルタが設けられる。電流検出抵抗 R i は、ドライバ回路 3 を介して流れるモータ 4 の駆動電流を電圧に変換する。アナログデジタル変換器 1 6 は、アナログ値をデジタル値に変換する回路である。実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 では、アナログデジタル変換器 1 6 によって、電流検出抵抗 R i により生成された電圧値をデジタル値に変換し、駆動電流の大きさに応じたデジタル値を得る。なお、ローパスフィルタは、電流検出抵抗 R i により生成された電圧値の高周波ノイズを除去するものであるが、図面を簡略化するために図示を省略した。

【 0 0 2 4 】

タイマ 1 7 は、モータ駆動制御装置 1 として動作するマイクロコンピュータの動作クロックをカウントして、当該カウント値に応じて割り込み要求を出力する。割り込み要求は、演算コア 1 0 に与えられる。演算コア 1 0 は、入力された割り込み要求の種類に応じて、予め規定された動作を行う。実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 では、タイマ 1 7 には、第 1 の設定値と第 2 の設定値が設定される。そして、タイマ 1 7 は、カウント値が第 1 の設定値に達したことに応じて第 1 の割り込み信号を出力し、カウント値が第 2 の設定値に達したことに応じて第 2 の割り込み信号を出力する。より具体的には、モータ駆動制御装置 1 では、第 1 の設定値として、PWM 信号のオンタイム (PWM 信号がハイレベルとなる期間) よりも小さな値が設定され、第 2 の設定値として、PWM 信号の 1 周期の期間に相当する値が設定される。なお、第 1 の設定値は、PWM 信号をオンステートからオフステートに切り換えるタイミングを指定するものであり、PWM 信号のオンタイムより若干小さな値に設定されるものとする。また、以下の説明では、第 1 の割り込み要求を B E M F (バック E M F) タイマ割り込みと称し、第 2 の割り込み要求を周期タイマ割り込みと称す。

【 0 0 2 5 】

実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 では、演算コア 1 0 がモータ駆動制御プログラムを実行することでモータの駆動を制御する PWM 信号のデューティ制御及び状態制御を行う。そこで、演算コア 1 0 がモータ駆動制御プログラムを実行することにより実現される機能を演算コア 1 0 の機能ブロックとした場合のモータ駆動制御装置 1 のブロック図を図 2 に示す。なお、図 1 のブロック図に示したブロックと同じ構成要素については、図 1 と同じ符号を付して説明を省略する。

【 0 0 2 6 】

図 2 に示すように、モータ駆動制御プログラムを実行することで、演算コア 1 0 には、PWM デモジュレータ 2 1、PWM モジュレータ 2 2、定電流駆動制御部 2 3、ロータ位置検出部 2 4、回転制御部 2 5、回転速度制御部 2 6、PWM デューティ制御部 2 7 が機能ブロックとして実現される。なお、図 2 に示したモータ駆動制御装置 1 では、設定値及び変数の初期化処理等の一般的な処理を行うブロックについては記載を省略した。また、モータ駆動制御装置 1 は、PWM パルスのカウント処理を行い、PWM パルスのカウント値に基づき様々な処理を行うが、PWM パルスのカウント値をカウントするブロックについては、図 2 では記載を省略した。このように記載を省略したブロックの機能は、マイクロコンピュータの一般的な演算処理にて実現されるものとする。

【 0 0 2 7 】

PWM デモジュレータ 2 1 は、PWM 信号のデモジュレーション処理を行う。より具体的には、PWM デモジュレータ 2 1 は、B E M F タイマ割り込みが入力されたことに応じ

10

20

30

40

50

てコンパレータ 15 の出力信号 C M P _ O U T 及びモータを駆動する駆動電流をサンプリングする。なお、駆動電流の値は、P W M デモジュレータ 2 1 が定電流駆動制御部 2 3 にサンプリング指示を与えることに基づいて定電流駆動制御部 2 3 においてサンプリングされる。また、P W M デモジュレータ 2 1 は、周期タイマ割り込みが入力されたことに応じて、タイマ 1 7 の第 1 の設定値の値を更新する。そして、P W M デモジュレータ 2 1 は、出モジュレーション処理が終了したことに応じて P W M モジュレータ 2 2 に処理の開始を指示する。

【 0 0 2 8 】

P W M モジュレータ 2 2 は、P W M デモジュレータ 2 1 からの処理開始指示に基づき P W M 信号の論理レベルを切り換える。このとき、P W M モジュレータ 2 2 は、回転制御部 2 5 の指示値に基づき、複数の P W M 信号をハイレベルとするか、ローレベルとするかを決定する。P W M モジュレータ 2 2 が出力する P W M 信号は、G P I O 1 3 を介してブリドライバ回路 2 に出力される。

10

【 0 0 2 9 】

定電流駆動制御部 2 3 は、定電流駆動制御処理を行う。定電流駆動制御処理では、モータ 4 を定電流駆動するための帰還制御値を生成する。

【 0 0 3 0 】

ロータ位置検出部 2 4 は、コンパレータ積分値を有する。そして、ロータ位置検出部 2 4 は、コンパレータ積分値算出処理、フライバックフィルタ処理、フライバック適応フィルタ更新処理、ロータ位置検出処理、ステートテーブル更新処理を行う。コンパレータ積分値算出処理では、P W M デモジュレータ 2 1 でサンプリングされたコンパレータ 15 の出力信号 C M P _ O U T に基づきコンパレータ 15 の出力値の積算を行う。フライバックフィルタ処理では、非通電相の駆動信号に発生するフライバックパルスをフィルタする。このフライバックフィルタを適用している期間中は、コンパレータ 15 の出力信号 C M P _ O U T によらず、コンパレータ積分値を単純増加又は単純減少させる。フライバック適応フィルタ更新処理では、フライバックフィルタの条件を更新する。ロータ位置検出処理では、ロータの位置検出処理を行い、P W M 信号の状態の遷移タイミングを指示する。ステートテーブル更新処理では、P W M 信号の状態を決定するオフステートテーブルとオンステートテーブルの更新処理を行う。

20

【 0 0 3 1 】

回転制御部 2 5 は、ステート制御処理を行う。より詳細には、ステート制御処理では、回転速度検出処理、スタッキング検出処理、ステート更新処理が行われる。回転速度検出処理では、モータ 4 の回転速度の検出処理が行われる。スタッキング検出処理では、モータ 4 のロータのスタックを検出する。ステート更新処理では、P W M 信号の状態の次状態を決定と、P W M 信号を次状態に遷移させるか否かを決定する。

30

【 0 0 3 2 】

回転速度制御部 2 6 は、定回転制御処理を行う。定回転制御処理では、モータ 4 の現在の回転速度と外部から与えられた回転速度指示値との誤差を算出し、モータ 4 を回転速度指示値に沿った回転速度に制御するための帰還制御値を生成する。なお、回転速度指示値としては、P W M デューティ制御信号に起因するものの他に、温度制御に由来する速度制御信号に基づくものも含むものとする。

40

【 0 0 3 3 】

P W M デューティ制御部は、レギュレーションループ調停処理と、P W M プリモジュレーション処理とを行う。レギュレーションループ調停処理では、P W M 信号の次周期のデューティ比を決定する帰還制御値として、定電流駆動制御部 2 3 が生成した帰還制御値と、回転速度制御部 2 6 が生成した帰還制御値と、のいずれを用いるかの調停処理を行う。P W M プリモジュレーション処理は、レギュレーションループ調停処理にて決定された帰還制御値に基づき P W M 信号の次周期のオンタイムの値を決定する。また、P W M プリモジュレーション処理では、P W M デモジュレータ 2 1 に決定したオンタイムの値を与える。

50

【 0 0 3 4 】

続いて、モータ駆動制御プログラムにより実現される機能を用いたモータの駆動制御についてさらに詳細に説明する。そこで、図 3 ~ 図 1 5 にモータ駆動制御装置 1 の動作手順を示すフローチャートを示す。そして、この図 3 ~ 図 1 5 を参照して、モータ駆動制御装置 1 の動作についてさらに詳細に説明する。

【 0 0 3 5 】

図 3 では、モータ駆動制御装置 1 の動作の全体を示すフローチャートを示した。図 3 に示すように、モータ駆動制御プログラムは、メインルーチンがスタートすると、まず、変数初期化処理を行う (ステップ S 1)。続いて、モータ駆動制御プログラムは、アナログデジタル変換器 1 6 を利用して、マイクロコンピュータ 1 に供給されている電源電圧の電圧値をサンプリングする (ステップ S 2)。続いて、モータ駆動制御プログラムは、サンプリングした電源電圧の電圧値が最低起動電圧よりも大きいかなかを判断する (ステップ S 3)。ステップ S 3 において、電源電圧が最低起動電圧以下であると判断された場合、ステップ S 1 の変数初期化処理に戻る。一方、電源電圧が最低起動電圧よりも大きいと判断された場合、演算コア 1 0 へのタイマ割り込みを許可する (ステップ S 4)。なお、起動を許可するかなかを判断する電源電圧としては、ドライバ回路 3 に与えられる電源電圧とマイクロコンピュータ 1 に与えられる電源電圧とのうち高い電圧値を有する電源電圧を用いる。本実施の形態では、ドライバ回路 3 の電源からマイクロコンピュータ 1 の電源を作るため、ドライバ回路 3 の電源電圧を監視することが好ましい。この場合、アナログデジタル変換器 1 6 によりドライバ回路 3 の電源電圧を測定する。

【 0 0 3 6 】

そして、モータ駆動制御プログラムは、タイマ割り込みの発生を待ち、タイマ割り込みが発生したことに起因してモータ駆動動作処理を行う (ステップ S 5、S 6)。また、モータ駆動制御プログラムは、モータ駆動動作処理が完了した時点で、ロータのスタック状態を示すスタックロータ検出フラグ S T C _ D E T が T R U E であるかなかを判断する (ステップ S 7)。ステップ S 7 においてスタックロータ検出フラグ S T C _ D E T が F A L S E であると判断された場合、つまり、モータが回転していると判断された場合、再びタイマ割り込みの発生を待つ。一方、ステップ S 7 においてスタックロータ検出フラグ S T C _ D E T が T R U E で有ると判断された場合、つまり、モータが回転していないと判断された場合、ステップ S 1 の変数初期化処理に戻る。

【 0 0 3 7 】

続いて、ステップ S 1 の変数初期化処理について詳細に説明する。変数初期化処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 4 に示す。図 4 に示すように、変数初期化処理では、まず、タイマの初期化処理を行う (ステップ S 1 0)。より具体的には、ステップ S 1 0 では、タイマ 1 7 のレジスタに P W M 信号のオンタイム期間に基づき第 1 の設定値と、P W M 信号の 1 周期の長さを指定する第 2 の設定値を格納する。

【 0 0 3 8 】

次いで、移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E と、P W M パルス数 P W M _ P L S [0] ~ P W M _ L P L S [5] と、を最大パルスカウント数とする。移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E は、モータを一回転させるために、6 つの状態を利用する場合は、この 6 状態に含まれる各状態の平均 P W M パルス数を示すものである。P W M パルス数 P W M _ P L S [0] ~ P W M _ L P L S [5] は、状態 0 ~ 状態 5 の各状態の期間の長さを規定する P W M 信号のパルス数である。最大パルスカウント数は、例えば、モータ 4 を最低回転速度で動作させた場合における一状態の間の P W M 信号のパルス数であって、予め設定される値である。

【 0 0 3 9 】

次いで、起動時のフライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K の値を設定する (ステップ S 1 2)。ステップ S 1 2 では、フライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K にモータ 4 の最大回転速度に相当する 6 ステート P W M パルス数の 6 分の 1 の値を設定する。モータ 4 が無負荷状態で回転を開始した場合、回転速度が高い状態で回

転を開始する場合があるが、起動時のフライバックパルス継続PWMパルス数FB__MASKをこのような値に設定することで、無負荷状態でモータ4が回転を開始したとしても、ロータの回転位置と駆動信号の状態とがずれて意図した回転方向と逆の回転方向でモータ4が回転することを防止することができる。

【0040】

次いで、定電流制御指示値CNST__CRNT__SETを最大電流値MAX__CRNTの3分の1の値に設定する(ステップS13)。この最大電流値MAX__CRNTは、ドライバ回路3を構成するトランジスタに許容される所定時間当りの最大電流に相当する値である。通常、3相の駆動信号を生成する場合、ドライバ回路3は3組の駆動段回路を有する。そのため、モータを一回転させるために、3組の駆動段回路が導通状態となる期間はモータを一回転させる時間の3分の1の時間である。しかし、回転開始時は、モータが停止状態にあり、駆動段回路が導通状態となる時間がモータの回転時よりも長くなる。そのため、回転開始時に、定電流制御指示値CNST__CRNT__SETを最大電流値MAX__CRNTした場合、駆動段回路のそれぞれに流れる電流が最大電流を超えるおそれがある。そこで、定電流制御指示値CNST__CRNT__SETを最大電流値MAX__CRNTの3分の1の値に設定する。これにより、PWM信号の一状態の長さが長くなったとしても、駆動段回路を構成するトランジスタには、最大電流以上の電流が流れることを防止することができる。

10

【0041】

次いで、スタックロータ検出フラグをFALSEに設定する(ステップS14)。モータの回転開始前は、モータは停止状態であるため、その状態を確定させるためである。

20

【0042】

次いで、回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGと、電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGをカウント初期値(例えば、ゼロ)に初期化する(ステップS15)。回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTG及び電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGは、初期化を行わない場合、値が不定であり、初期化前の値を用いた場合、モータ駆動制御装置1が正常に動作しない可能性がある。そこで、この初期化処理により値をゼロとすることで、モータ駆動制御装置1の動作開始時の回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTG及び電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGの値を確定させる。

30

【0043】

続いて、図3のステップS6で示したモータ駆動動作処理の詳細について説明する。そこで、モータ駆動動作処理の動作手順を示すフローチャートを図5に示す。図5に示すように、モータ駆動動作処理は、PWMデモジュレーション処理(ステップS20)及びPWMモジュレーション処理(ステップS30)、及び、PWM信号設定処理(ステップS40)により構成される。

【0044】

PWMデモジュレーション処理は、図2のPWMデモジュレータ21にて実行される処理である。また、PWMモジュレーション処理は、図2のPWMモジュレータ22で実行される処理である。

40

【0045】

PWMデモジュレーション処理では、まず、入力された割り込みがBEMFタイマ割り込みであるかどうかを判断する(ステップS21)。そして、割り込みがBEMFタイマ割り込みであると判断された場合、BEMFタイマ割り込みをクリアする(ステップS22)。次いで、コンパレータ15の出力信号CMP__OUTの出力値をサンプリングする。次いで、アナログデジタル変換器16からモータの駆動電流の電流値をサンプリングする。なお、駆動電流の電流値は、定電流駆動制御部23にて利用される。次いで、PWMデモジュレーション処理の終了を受けて、PWMモジュレーション処理が開始される。

【0046】

割り込みがBEMFタイマ割り込みに応じて開始されるPWMモジュレーション処理で

50

は、まず、PWM信号のオンタイムPWM_ONがPWM信号の周期PWM_TRMよりも小さいか否かを判断する(ステップS31)。そして、PWM信号のオンタイムPWM_ONがPWM信号の周期PWM_TRMよりも小さいと判断された場合、オフステートのPWM信号をGPIO13に出力する(ステップS32)。なお、モータ駆動制御プログラムでは、モータ4が3相駆動方式である場合6つのPWM信号を生成するが、6つのPWM信号のいずれのPWM信号をオフステートとするか、又は、オンステートとするかをステートテーブルの記述に従って決定する。ステートテーブルには、PWM信号の状態毎にオンステートとオフステートとを切り換えるPWM信号の指定、及びオフステートとしてハイサイドオフの状態とするかローサイドオフの状態とするかの指定が規定される。

【0047】

10

その後、PWM信号のオフステートサイドを反転する(ステップS33)。このステップS33では、PWM信号の信号パターンを指示するステートテーブルのオフステートのパターンをハイサイドオフの状態とするかローサイドオフの状態とするかを切り換える処理である。例えば、PWM信号の現周期でステートテーブルのオフステートがハイサイドオフを指示している場合、PWM信号の次周期ではステートテーブルのオフステートがローサイドオフを指示するように更新する。このステップS33は、実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置1が、PWM信号の周期毎にPWM信号のオフステート期間としてハイサイドオフステートとローサイドオフステートとを交互に切り換えるオルタネートPWM方式の動作のために行われる処理である。一方、ステップS31において、PWM信号のオンタイムPWM_ONがPWM信号の周期PWM_TRM以上と判断された場合、PWM信号をオンステートで維持する(ステップS34)。

20

【0048】

つまり、モータ駆動制御装置1は、PWM信号のオンタイムPWM_ONがPWM信号の一周期よりも小さい場合、BEMFタイマ割り込みが発生をトリガとして、コンパレータ15の出力信号CMP_OUTのサンプリングと、PWM信号のオンステートからオフステートへの切り換えを行う。また、モータ駆動制御装置1は、オンタイムPWM_ONがPWM信号の一周期以上である場合、BEMFタイマ割り込みが発生をトリガとして、コンパレータ15の出力信号CMP_OUTのサンプリングを行うが、PWM信号のオンステートからオフステートへの切り換えは行わない。

【0049】

30

そして、ステップS33又はステップS34の処理が完了すると、モータ駆動制御プログラムは、モータ駆動制御処理を終了させる。

【0050】

一方、ステップS21において割り込みがBEMFタイマ割り込みではない判断された場合、つまり、割り込みが周期タイマ割り込みである場合、周期タイマ割り込みをクリアする(ステップS25)。次いで、PWM信号の現周期において算出されたPWM信号のオンタイムPWM_ONの値で次周期のPWM信号のオンタイムPWM_ONを更新する。次いで、PWMデモジュレーション処理の処理結果を受けて、PWMモジュレーション処理が開始される。

【0051】

40

割り込みがBEMFタイマ割り込みに応じて開始されるPWMモジュレーション処理では、まず、PWM信号のオンタイムPWM_ONがゼロよりも大きいと判断する(ステップS35)。つまり、ステップS35では、生成するPWM信号にオン期間があるか否かを判断する。そして、ステップS35において、PWM信号のオンタイムPWM_ONがゼロよりも大きいと判断された場合、オンステートのPWM信号をGPIO13に出力する(ステップS36)。次いで、BEMFタイマ割り込みを許可する(ステップS37)。一方、ステップS35において、PWM信号のオンタイムPWM_ONがゼロ以下であると判断された場合、オフステートを維持したPWM信号をGPIO13に出力する(ステップS38)。その後、ステップS33と同様にPWM信号のオフステートの反転を行う(ステップS39)。このオフステートの反転処理は、実施の形態1にかかるモ

50

ータ駆動制御装置 1 が、P W M 信号の周期毎に P W M 信号のオフステート期間としてハイサイドオフステートとローサイドオフステートとを交互に切り換えるオルタネート P W M 方式の動作のために行われる処理である。

【 0 0 5 2 】

そして、ステップ S 3 7 又はステップ S 3 9 の処理が完了すると、モータ駆動制御プログラムは、P W M 信号設定処理を行う（ステップ S 4 0）。P W M 信号設定処理が完了した場合は、モータ駆動制御処理を終了する。

【 0 0 5 3 】

続いて、ステップ S 4 0 の P W M 信号設定処理について説明する。P W M 信号設定処理では、次周期の P W M 信号のオンタイム P W M _ O N の算出処理及び P W M 信号のステートの更新処理を行う。これらの処理を行うための、P W M 信号設定処理の詳細なフローチャートを図 6 に示す。

10

【 0 0 5 4 】

図 6 に示すように、P W M 信号設定処理では、まず、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S のカウントアップ処理を行う（ステップ S 4 1）。このステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S は、P W M 信号が現状態に遷移した後の経過時間を示す値である。実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムでは、各状態の経過時間を P W M 信号のパルス数をカウントすることで算出する。なお、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S のカウントアップ処理は、図 2 のロータ位置検出部 2 4 にて行われる処理である。

20

【 0 0 5 5 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、回転速度指示値 R O T _ S E T の値を更新する（ステップ S 4 2）。回転速度指示値 R O T _ S E T は、例えば、モータ駆動制御装置 1 の外部から与えられる P W M デューティ制御信号によって与えられる。なお、回転速度指示値 R O T _ S E T の更新処理は、図 2 の回転速度制御部 2 6 で行われる処理である。

【 0 0 5 6 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、定電流制御処理を行う（ステップ S 4 3）。この定電流制御処理は、モータ 4 を定電流駆動する場合の帰還制御値を生成する処理である。定電流制御処理の詳細については後述する。なお、定電流制御処理は、図 2 の定電流駆動制御部 2 3 で行われる処理である。

30

【 0 0 5 7 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、ステート P W M パルス数 P W M _ P L S とフライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K とを比較する（ステップ S 4 4）。そして、ステート P W M パルス数 P W M _ P L S がフライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K よりも小さい場合、フライバックパルスフィルタ処理を行う（ステップ S 4 5）。一方、ステート P W M パルス数 P W M _ P L S がフライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K 以上であった場合、ロータ位置検出処理（ステップ S 4 9）を行う。なお、ロータ位置検出処理の中でステート制御処理も行われる。ステップ S 4 4、S 4 5 の処理は、図 2 のロータ位置検出部 2 4 にて行われ、ステップ S 4 9 の処理は、ロータ位置検出部 2 4、回転制御部 2 5 及び回転速度制御部 2 6 にて行われる。フライバックフィルタ処理と、ロータ位置検出処理の詳細については、後述する。

40

【 0 0 5 8 】

3 相駆動のモータでは、非通電相の駆動信号に、P W M 信号の状態遷移の直後にフライバックパルスが生じる。このフライバックパルスが生じている期間は、センタータップ電圧 C T と比較対象検出信号 S P（非通電相の駆動信号）の電圧関係がロータの位置が P W M 信号の状態を次状態へ切り替えるタイミングに達した場合の比較対象検出信号 S P とセンタータップ電圧 C T との関係と同じになる。そこで、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムでは、P W M 信号の状態が遷移した後の所定の期間はコンパレータの出力信号 C M P _ O U T の値によらずコンパレータ積分値 C M P _ I N T G をカウントアップ又はカウントダウンする。実施の形態 1 では、この所定の期間を P W M 信号の状態が維持さ

50

れる一期間の所定の割合の期間として予め設定する。図 6 に示す例では、この所定の期間を規定する変数として、フライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K との変数を設けた。そして、このフライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K として、モータ 4 の起動時は最大回転速度に相当する 6 ステート P W M パルス数の 6 分の 1 の値を設定し、モータ 4 が回転を開始した後は移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E の 4 分の 1 を設定する。

【 0 0 5 9 】

次いで、ステップ S 4 5 又はステップ S 4 9 の処理が完了すると、モータ駆動制御プログラムは、レギュレーションループ調停処理が行われる（ステップ S 4 6 ）。レギュレーションループ調停処理では、定電流制御処理（ステップ S 4 3 ）で算出された制御帰還値と、ステップ S 4 9 内のステート制御処理でモータ 4 の回転速度に基づき生成される制御帰還値と、のいずれの値に基づき次周期の P W M 信号のデューティ比を設定するかの調停処理が行われる。なお、レギュレーションループ調停処理は、図 2 の P W M デューティ制御部にて行われる。また、レギュレーションループ調停処理の詳細については、後述する。

【 0 0 6 0 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、P W M プリモジュレーション処理を行う（ステップ S 4 7 ）。P W M プリモジュレーション処理では、レギュレーションループ調停処理において決定された制御帰還値に基づき次周期の P W M 信号のデューティ比が決定され、当該デューティ比に基づき P W M 信号のオンタイム P W M _ O N が決定される。この P W M プリモジュレーション処理は、図 2 の P W M デューティ制御部にて行われる。また、P W M プリモジュレーション処理の詳細については、後述する。

【 0 0 6 1 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、次周期の P W M 信号のオンステートとオフステートとを設定する（ステップ S 4 8 ）。このステップ S 4 8 の処理は、6 ステートテーブルのうち P W M 信号の次周期のステートカウント値 S T _ C N T に応じたステートテーブルの P W M 信号パターンを読み込む処理である。P W M 信号のパターンは、例えば、更新後の状態において導通相とする駆動信号を生成するドライバ回路 3 の駆動段回路に P W M 信号を与え、非導通相とする相の駆動信号を生成するドライバ回路 3 の駆動段回路には P W M 信号の供給を停止する P W M 信号のパターンを指示するものである。また、ステップ S 4 8 において設定されるオフステートは、ステップ S 3 3、S 3 9 で選択されたサイドのオフステートが設定される。

【 0 0 6 2 】

ここで、ステップ S 4 3 の定電流制御処理についてさらに詳細に説明する。そこで、定電流制御処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 7 に示す。図 7 に示すように、定電流制御処理では、まず、定電流制御指示値 C N S T _ C R N T _ S E T と、図 5 のステップ S 2 4 でサンプリングしたモータの駆動電流 M I と、の電流誤差 C R N T _ E R R を算出する（ステップ S 5 0 ）。次いで、ステップ S 5 0 で算出した電流誤差 C R N T _ E R R と電流誤差積分値 C R N T _ E R R _ I N T G とを加算して、電流誤差積分値 C R N T _ E R R _ I N T G の値を更新する（ステップ S 5 1 ）。次いで、ステップ S 5 1 で算出した電流誤差積分値 C R N T _ E R R _ I N T G のクランプ処理を行う（ステップ S 5 2 ）。実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムでは、予め C R N T _ E R R _ I N T G の最大値と最小値が規定されている。そして、ステップ S 5 2 のクランプ処理では、回転速度誤差積分値 R O T _ E R R _ I N T G の値が予め規定された最大値と最小値との間の値であって、所定のビット幅で表せる値に変換する。電流誤差積分値 C R N T _ E R R _ I N T G は、定電流駆動制御部 2 3 で生成される制御帰還値に相当する値である。

【 0 0 6 3 】

続いて、ステップ S 4 5 のフライバックフィルタ処理の詳細について説明する。そこで、フライバックフィルタ処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 8 に示す。図 8

に示すように、フライバックフィルタ処理では、まず、モータ駆動制御プログラムは、回転方向指示フラグ FWD が TRUE であるか否かを判断する（ステップ S 6 0）。回転方向指示フラグ FWD は、モータ 4 を正回転方向で制御するか、逆回転方向で制御するかを指示する値であって、外部入力信号により設定される値である。回転方向指示フラグ FWD が TRUE である場合、モータ駆動制御装置 1 はモータ 4 を正回転方向で制御し、回転方向指示フラグ FWD が FALSE である場合、モータ駆動制御装置 1 はモータ 4 を逆回転方向で制御する。ステップ S 6 0 において、回転方向指示フラグ FWD がモータ 4 を正回転方向で制御することを指示していると判断された場合、モータ駆動制御プログラムは、ステートカウンタ値 ST_CNT を参照し、値が奇数であるか偶数であるかを判定する（ステップ S 6 1）。このステートカウンタ値 ST_CNT は、PWM 信号の状態がいずれの制御状態であるかを示す値である。

10

【0064】

実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 では、ステートカウンタ値 ST_CNT が奇数である場合、比較対象検出信号となる非通電相の電圧がセンタータップ電圧 CT に対して小さな状態から大きな状態に遷移する。また、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 では、ステートカウンタ値 ST_CNT が偶数である場合、比較対象検出信号となる非通電相の電圧がセンタータップ電圧 CT に対して大きな状態から小さな状態に遷移する。つまり、フライバックパルスがないとすると、ステートカウンタ値 ST_CNT が奇数である期間中にコンパレータ 15 の出力信号 CMP_OUT は、0 から 1 に遷移する。また、フライバックパルスがないとすると、ステートカウンタ値 ST_CNT が偶数である期間中にコンパレータ 15 の出力信号 CMP_OUT は、1 から 0 に遷移する。そのため、モータ駆動制御プログラムは、ステップ S 6 1 においてステートカウンタ値 ST_CNT が奇数であると判断された場合は、コンパレータ積分値 CMP_INTG から 1 を減算する（ステップ S 6 2）。また、モータ駆動制御プログラムは、ステップ S 6 1 においてステートカウンタ値 ST_CNT が偶数であると判断された場合は、コンパレータ積分値 CMP_INTG に 1 を加算する（ステップ S 6 3）。そして、ステップ S 6 2 又はステップ S 6 3 の処理が終了するとフライバックフィルタ処理を終了する。

20

【0065】

一方、ステップ S 6 0 において、回転方向指示フラグ FWD がモータ 4 を逆回転方向で制御することを指示していると判断された場合も、モータ駆動制御プログラムは、ステートカウンタ値 ST_CNT を参照し、値が奇数であるか偶数であるかを判定する（ステップ S 6 4）。ここで、回転方向指示フラグ FWD がモータ 4 を正回転方向で制御することを指示していると判断された場合、モータ 4 のロータに流れる駆動電流は正回転している場合の逆となる。そのため、ステートカウンタ値 ST_CNT が奇数である場合のコンパレータ 15 の出力信号の遷移方向は、モータ 4 が正回転方向で回転している場合の逆になる。

30

【0066】

そのため、モータ駆動制御プログラムは、ステップ S 6 4 においてステートカウンタ値 ST_CNT が奇数であると判断された場合は、コンパレータ積分値 CMP_INTG に 1 を加算する（ステップ S 6 5）。また、モータ駆動制御プログラムは、ステップ S 6 4 においてステートカウンタ値 ST_CNT が偶数であると判断された場合は、コンパレータ積分値 CMP_INTG から 1 を減算する（ステップ S 6 6）。そして、ステップ S 6 5 又はステップ S 6 6 の処理が終了するとフライバックフィルタ処理を終了する。

40

【0067】

続いて、ステップ S 4 9 のロータ位置検出処理の詳細について説明する。そこで、ロータ位置検出処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 9 に示す。図 9 に示すように、モータ駆動制御プログラムは、まず、図 5 のステップ S 2 3 でサンプリングされたコンパレータ 15 の出力信号 CMP_OUT の値が 1 であるか否かを判断する（ステップ S 7 0）。ステップ S 7 0 において、コンパレータ 15 の出力信号 CMP_OUT が 1 であった場合、コンパレータ積分値 CMP_INTG をカウントアップする。一方、コンパレー

50

タ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T が 1 であった場合、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G をカウントダウンする。つまり、モータ駆動制御プログラムは、コンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T の値をサンプリングした時点で、比較対象検出信号（非通電相の駆動信号）の電圧値がセンタータップ電圧 C T よりも大きいと判断された場合は、コンパレータ積分値を増加させ、比較対象検出信号の電圧値がセンタータップ電圧 C T よりも小さいと判断された場合は、コンパレータ積分値を減少させる。

【 0 0 6 8 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が最大パルスカウント数 M A X C N T よりも大きいかなかを判断する（ステップ S 7 3）。このステップ S 7 3 において、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が最大パルスカウント数よりも大きい場合、ステート制御処理（ステップ S 7 4）を行った後に有効スタートアップフラグ S T U P を F A L S E とし（ステップ S 7 5）、ゼロクロスカウント値 Z C _ C N T にゼロを設定する（ステップ S 7 6）。そして、ステップ S 7 6 の処理が完了したことに伴い、ロータ位置検出処理を終了する。モータ駆動制御プログラムの最大パルスカウント数は、モータ 4 が最低回転速度で回転している場合の 1 状態のステート P W M パルス数を規定するものである。つまり、ステップ S 7 3 において、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が最大パルスカウント数よりも大きい場合、モータ 4 は、最低回転速度以下の回転速度で回転しているか、停止しているかのいずれかである。そのため、この場合は、有効スタートアップフラグ S T U P を F A L S E とし、ゼロクロスが生じた回数をカウントするゼロクロスカウント値 Z C _ C N T をゼロにリセットする。

【 0 0 6 9 】

一方、ステップ S 7 3 において、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が最大パルスカウント数以下である場合、モータ駆動制御プログラムは、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロであるかなかを判断する（ステップ S 7 7）。ステップ S 7 7 において、モータ駆動制御プログラムは、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロであると判断された場合、ステート制御処理を行う（ステップ S 7 8）。そして、ゼロクロスカウント値 Z C _ C N T に 1 を加算する（ステップ S 7 9）。次いで、モータ駆動制御プログラムは、ゼロクロスカウント値が 5 よりも大きいかなかを判断する（ステップ S 8 0）。ステップ S 8 0 においてゼロクロスカウント値 Z C _ C N T が 5 よりも大きいと判断された場合、ゼロクロスカウント値 Z C _ C N T を 5 よりも大きな値（例えば、6）に設定する（ステップ S 8 1）。また、有効スタートアップフラグ S T U P を T R U E とする（ステップ S 8 2）。

【 0 0 7 0 】

実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムでは、P W M 信号の各状態の開始直後の所定の期間においてフライバックフィルタ処理（ステップ S 4 5）が行われ、ステップ S 7 7 の判断処理が最初に行われる時点では、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G は、正の値と負の値のいずれかの値となっている。そのため、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロとなると言うことは、比較対象検出信号 S P とセンタータップ電圧 C T との電圧関係が逆転するゼロクロスが発生したことを意味する。そのため、上記説明のように、モータ駆動制御プログラムは、この場合は、ゼロクロスカウント値 Z C _ C N T を加算する。そして、ゼロクロスカウント値 Z C _ C N T が 5 以上の値となったことに応じて、モータ 4 が電気角で一回転以上したと判断して有効スタートアップフラグ S T U P を T R U E とする。

【 0 0 7 1 】

一方、ステップ S 7 7 においてコンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロに達していないと判断された場合、モータ駆動制御プログラムは、有効スタートアップフラグ S T U P が T R U E であるかなかを判断する（ステップ S 8 3）。このステップ S 8 3 において有効スタートアップフラグ S T U P が F A L S E であると判断された場合、モータ駆動制御プログラムは、ロータの位置検出ができないと判断してロータ位置検出処理を終了する

。

【 0 0 7 2 】

一方、ステップ S 8 3 において有効スタートアップフラグ S T U P が T R U E であると判断された場合、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E よりも大きいかなんかを判断する（ステップ S 8 4）。ステップ S 8 4 においてステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E 以下の値であると判断された場合、モータ駆動制御プログラムは、P W M 信号の一状態が維持される最大許容期間を未だに経過していないと判断してロータ位置検出処理を終了する。一方、ステップ S 8 4 においてステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S が移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E より大きな値であると判断された場合、モータ駆動制御プログラムは、ステート制御処理（ステップ S 8 5）を行った後にロータ位置検出処理を終了する。

10

【 0 0 7 3 】

ロータ位置検出処理において行われるステート制御処理（ステップ S 7 4、S 7 8、S 8 5）は、同じ処理ルーチンである。このステート制御処理では、P W M 信号を次状態に遷移させるための処理である。つまり、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムは、モータ 4 の回転速度が最低回転速度以下である場合（ステップ S 7 3 の Y E S の枝）、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロとなることに応じてロータの位置が検出された場合（ステップ S 7 7 の Y E S の枝）、及び、モータ 4 が回転している状態でロータの位置検出が行われないものの P W M 信号の現状態の継続期間が移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E で示される長さ達してしまった場合（ステップ S 8 4 の Y E S の枝）に、P W M 信号の状態を次状態に遷移させる。なお、ステート制御処理では、P W M 信号の周期毎に更新する必要はないが、所定の頻度では更新が必要な変数の算出処理が行われる。

20

【 0 0 7 4 】

続いて、ステップ S 7 4、S 7 8、S 8 5 のステート制御処理の詳細について説明する。そこで、ステート制御処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 1 0 に示す。図 1 0 に示すように、ステート制御処理では、モータ駆動制御プログラムは、回転速度検出処理（ステップ S 9 0）を行う。この回転速度検出処理では、モータ駆動制御プログラムは、P W M 信号が現状態を維持した期間の長さを示す P W M パルス数 P W M _ P L S [S T _ C N T] に図 6 のステップ S 4 1 で更新されたステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S を代入する（ステップ S 9 0 a）。そして、6 つの状態のそれぞれで算出された P W M パルス数 P W M _ P L S [0] ~ P W M _ P L S [6] を加算して 6 ステート合計 P W M パルス数 T T L _ S T _ P W M _ P L S を算出する（ステップ S 9 0 b）。次いで、6 ステート合計 P W M パルス数 T T L _ S T _ P W M _ P L S を状態の数である 6 で除算して移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E を算出する（ステップ S 9 0 c）。ここで、6 ステート合計 P W M パルス数 T T L _ S T _ P W M _ P L S は、モータ 4 が電気角で一回転する間に生成された P W M 信号のパルスの合計値であって、モータ 4 が電気角で一回転する時間を示す。つまり、6 ステート合計 P W M パルス数 T T L _ S T _ P W M _ P L S によりモータ 4 の回転速度を知ることができる。なお、ステップ S 9 0 の回転速度検出処理は、図 2 の回転制御部 2 5 で行われる。

30

40

【 0 0 7 5 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、スタッキング検出処理を行う（ステップ S 9 1）。スタッキング検出処理は、6 ステート合計 P W M パルス数 T T L _ S T _ P W M _ P L S がスタックロータ検出設定値 S T C _ D E T _ S E T よりも小さいかなんかを判断する（ステップ S 9 1 a）。スタックロータ検出設定値 S T C _ D E T _ S E T は、モータ 4 の最大回転速度よりも十分に高い回転速度に相当する値であり、予め設定される値である。ここで、最大回転速度よりも十分に高い回転速度とは、モータの機械的な構造から決まる限界速度以上ではあるが電氣的には可能な回転速度である。例えば、モータ 4 の機械的

50

な構造から決まる限界速度が7000rpmであった場合、8000~10000rpmの回転速度に相当する値がスタックロータ検出設定値STC_DET_SETとして設定される。モータ4がスタック状態である場合、PWM信号を与えてもモータ4が機械的に回転していない状態であり、コンパレータ積分値CMP_INTGが極端に短い時間でゼロに達してしまう。そのため、モータ4がスタック状態である場合、ロータは機械的には回転していないが、ステータの回転磁界は、ロータの回転速度を超えて電氣的に回転している状態となる。このため、PWM信号の一状態が継続する期間が短くなり、6ステート合計PWMパルス数TTL_ST_PWM_PL Sがスタックロータ検出設定値STC_DET_SETよりも小さくなる。このようなことから、6ステート合計PWMパルス数TTL_ST_PWM_PL Sがスタックロータ検出設定値STC_DET_SETよりも小さいことを検出することでモータ4のスタック状態を検出することができる。なお、6ステート合計PWMパルス数TTL_ST_PWM_PL Sは、モータ4が回転している状態においては、無損失かつ無負荷の状態で駆動される、或いは、外部動力によってモータが駆動されない限り、スタックロータ検出設定値STC_DET_SETよりも小さい状態とはならない。

10

【0076】

そして、モータ駆動制御プログラムは、ステップS91aにおいて、モータ4がスタック状態であると判断された場合、スタックロータ検出フラグSTC_DETをTRUEとする(ステップS91b)。また、モータ駆動制御プログラムは、ステップS91aにおいて、モータ4がスタック状態ではないと判断された場合、スタックロータ検出フラグSTC_DETをFALSEとする(ステップS91c)。なお、ステップS91のスタッキング検出処理は、図2の回転制御部25で行われる。

20

【0077】

そして、スタッキング検出処理(ステップS91)が完了したことに応じて、モータ駆動制御プログラムは、定回転速度制御処理(ステップS92)、ステート更新処理(ステップS93)、フライバックパルス適応フィルタ更新処理(ステップS94)を行う。また、フライバックパルス適応フィルタ更新処理(ステップS94)の処理の後に、モータ駆動制御プログラムは、コンパレータ積分値CMP_INTG及びステートPWMパルス数ST_PWM_PL Sのリセット処理を行う(ステップS95)。また、PWM信号の状態が更新されたことに応じて次状態のステートカウント値ST_CNTに基づきセクタ14が選択する検出信号相を切り換える。

30

【0078】

ここで、定回転速度制御処理(ステップS92)、ステート更新処理(ステップS93)、フライバックパルス適応フィルタ更新処理(ステップS94)についてより詳細に説明する。なお、定回転速度制御処理(ステップS92)は、回転速度制御部26で行われる処理であり、ステート更新処理(ステップS93)及びフライバックパルス適応フィルタ更新処理は、ロータ位置検出部24にて行われる処理である。

【0079】

まず、ステップS92の定回転速度制御処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図11に示す。図11示すように、定回転速度制御処理では、モータ駆動制御プログラムは、6ステート合計PWMパルス数TTL_ST_PWM_PL Sから回転速度指示値ROT_SETを減じて回転速度誤差ROT_ERRを算出する(ステップS100)。次いで、モータ駆動制御プログラムは、回転速度誤差ROT_ERRを用いてスタッキング防止加減速制限処理を行う(ステップS101)。

40

【0080】

スタッキング防止加減速制限処理では、まず、移動平均ステートPWMパルス数ST_PWM_PL S_AVEと加速係数aとを乗算して最大許容加速度MAX_ALW_ACLを算出する(ステップS101a)。次いで、移動平均ステートPWMパルス数ST_PWM_PL S_AVEと減速係数bとを乗算して最大許容減速度MAX_ALW_DCLを算出する(ステップS101b)。

50

【 0 0 8 1 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、回転速度誤差 ROT_ERR と最大許容加速度 MAX_ALW_ACL との比較処理を行う（ステップ $S101c$ ）。そして、ステップ $S101c$ において、回転速度誤差 ROT_ERR が最大許容加速度 MAX_ALW_ACL よりも大きい場合は、回転速度誤差 ROT_ERR を最大許容加速度 MAX_ALW_ACL で更新する（ステップ $S101d$ ）。一方、ステップ $S101c$ において、回転速度誤差 ROT_ERR が最大許容加速度 MAX_ALW_ACL 以下である場合は、回転速度誤差 ROT_ERR の更新は行わない。

【 0 0 8 2 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、回転速度誤差 ROT_ERR と最大許容減速度 MAX_ALW_DCL との比較処理を行う（ステップ $S101e$ ）。そして、ステップ $S101e$ において、回転速度誤差 ROT_ERR が最大許容減速度 MAX_ALW_DCL よりも小さい場合は、回転速度誤差 ROT_ERR を最大許容減速度 MAX_ALW_DCL で更新する（ステップ $S101f$ ）。一方、ステップ $S101e$ において、回転速度誤差 ROT_ERR が最大許容減速度 MAX_ALW_DCL 以上である場合は、回転速度誤差 ROT_ERR の更新は行わない。

【 0 0 8 3 】

次いで、モータ駆動制御プログラムは、回転速度誤差積分値 ROT_ERR_INTG に回転速度誤差 ROT_ERR を加算して、回転速度誤差積分値 ROT_ERR_INTG を更新する（ステップ $S102$ ）。その後、モータ駆動制御プログラムは、更新後の回転速度誤差積分値 ROT_ERR_INTG のクランプ処理を行う（ステップ $S103$ ）。このクランプ処理では、回転速度誤差積分値 ROT_ERR_INTG の値が予め規定された最大値と最小値との間の値であって、所定のビット幅で表せる値に変換する。回転速度誤差積分値 ROT_ERR_INTG は、回転速度制御部 26 で生成される制御帰還値に相当する値である。

【 0 0 8 4 】

続いて、ステップ $S93$ のステート更新処理について詳細に説明する。そこで、ステート更新処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 12 に示す。図 12 に示すように、ステート更新処理では、まず、回転方向指示フラグ FWD を参照して、モータ 4 の回転方向を判断する（ステップ $S110$ ）。ステップ $S110$ において、回転方向指示フラグ FWD が $TRUE$ であった場合、ステートカウント値 ST_CNT に 1 を加算する（ステップ $S111$ ）。その後、更新後のステートカウント値 ST_CNT が 5 より大きいかなかを判断する（ステップ $S112$ ）。そして、ステップ $S112$ において、ステートカウント値 ST_CNT が 5 よりも大きいと判断された場合は、ステートカウント値 ST_CNT をゼロにリセットして、ステート更新処理を終了する（ステップ $S113$ ）。

【 0 0 8 5 】

一方、ステップ $S110$ において、回転方向指示フラグ FWD が $FALSE$ であった場合、ステートカウント値 ST_CNT から 1 を減算する（ステップ $S114$ ）。その後、更新後のステートカウント値 ST_CNT が 0 より小さいかなかを判断する（ステップ $S115$ ）。そして、ステップ $S115$ において、ステートカウント値 ST_CNT が 0 よりも小さいと判断された場合は、ステートカウント値 ST_CNT を 5 にリセットして、ステート更新処理を終了する（ステップ $S116$ ）。

【 0 0 8 6 】

続いて、ステップ $S94$ のフライバックパルス適応フィルタ更新処理について詳細に説明する。そこで、フライバックパルス適応フィルタ更新処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを図 13 に示す。図 13 に示すように、フライバックパルス適応フィルタ更新処理では、モータ駆動制御プログラムは、有効スタートアップフラグ $STUP$ が $TRUE$ であるか否かを判断する（ステップ $S120$ ）。そして、ステップ $S120$ において、有効スタートアップフラグ $STUP$ が $FALSE$ であると判断された場合、モータ 4 が有効に回転していないと判断し、フライバックパルス適応フィルタの更新は行わずに処理を終

10

20

30

40

50

了する。

【0087】

一方、ステップS120において、有効スタートアップフラグSTUPがTRUEであると判断された場合、定電流制御指示値CNST__CRNTを最大電流値MAX__CRNTとする(ステップS121)。次いで、モータ駆動制御プログラムは、フライバックパルス継続パルス数FB__MASKを移動平均ステートPWMパルス数ST__PWM__PLS__AVEの4分の1に設定する(ステップS122)。その後、モータ駆動制御プログラムは、更新後のフライバックパルス継続パルス数FB__MASKがフライバックパルス継続パルス数の最低値MIN__FB__MASKとの比較処理を行う(ステップS123)。そして、フライバックパルス継続パルス数FB__MASKがフライバックパルス継続パルス数の最低値MIN__FB__MASK以上の値であれば、そのまま処理を終了する。一方、フライバックパルス継続パルス数FB__MASKがフライバックパルス継続パルス数の最低値MIN__FB__MASKよりも小さい場合、フライバックパルス継続パルス数FB__MASKをフライバックパルス継続パルス数の最低値MIN__FB__MASKに設定した後に処理を終了する(ステップS124)。

10

【0088】

続いて、図6のステップS46のレギュレーションループ調停処理について詳細に説明する。そこで、図14にレギュレーションループ調停処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを示す。このレギュレーションループ調停処理は、図2のPWMデューティ制御部27により行われる。

20

【0089】

図14に示すように、レギュレーションループ調停処理では、モータ駆動制御プログラムは、回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGと電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGとの比較処理を行う(ステップS130)。

【0090】

そして、ステップS130において、回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGが電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGよりも小さいと判断された場合、電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGの値を回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGの値で更新する(ステップS131)。その後、モータ駆動制御プログラムは、回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGをPWM信号のオンタイムPWM__ONとした後にレギュレーションループ調停処理を終了する(ステップS132)。

30

【0091】

一方、ステップS130において、回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGが電流誤差積分値CRNT__ERR__INTG以上であると判断された場合、回転速度誤差積分値ROT__ERR__INTGの値を電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGの値で更新する(ステップS133)。その後、モータ駆動制御プログラムは、電流誤差積分値CRNT__ERR__INTGをPWM信号のオンタイムPWM__ONとした後にレギュレーションループ調停処理を終了する(ステップS134)。

【0092】

このようなレギュレーションループ調停処理を行うことで、制御ループを定電流制御系と定回転制御系との間で切り換えた場合において、その切り換え時に切り換え後に利用される制御ループが飽和状態から制御を開始することを防止することができる。そして、切り換え直後の制御ループが飽和状態から制御を開始しないことで、制御ループの切り換えをスムーズに行うことができる。

40

【0093】

続いて、図6のステップS47のPWMプリモジュレーション処理について詳細に説明する。そこで、図15にPWMプリモジュレーション処理の詳細な動作手順を示すフローチャートを示す。PWMプリモジュレーション処理は、図2のPWMデューティ制御部27により行われる。

【0094】

50

図 15 に示すように、PWM プリモジュレーション処理では、モータ駆動制御プログラムは、まず、ステップ S 46 のレギュレーションループ調停処理にて決定された PWM 信号のオンタイム PWM_ON に繰越 PWM オンタイム CRY_PWM_ON を加算する（ステップ S 140）。このとき、加算される繰越 PWM オンタイム CRY_PWM_ON は、現周期の PWM 信号のオンタイムを決定する際に算出された値である。次いで、モータ駆動制御プログラムは、ステップ S 140 で算出された PWM 信号のオンタイム PWM_ON と最大デューティ設定値 MAX_DUTY との比較処理を行う（ステップ S 141）。この最大デューティ設定値 MAX_DUTY は、モータ駆動制御装置 1 が生成可能なパルス幅の制限に基づき設定される。

【0095】

10

ステップ S 141 において、PWM 信号のオンタイム PWM_ON が最大デューティ設定値 MAX_DUTY よりも大きいと判断された場合、繰越 PWM オンタイム CRY_PWM_ON に PWM 信号のオンタイム PWM_ON から PWM 周期 PWM_TRM を減じた値を設定する（ステップ S 142）。その後、PWM 信号のオンタイム PWM_ON として PWM 周期 PWM_TRM を設定する（ステップ S 143）。つまり、ステップ S 142 の処理により PWM 信号のオンタイム PWM_ON が生成された場合、次周期の PWM 信号はオフステートにはならない。

【0096】

一方、ステップ S 141 において、PWM 信号のオンタイム PWM_ON が最大デューティ設定値 MAX_DUTY よりも小さいと判断された場合、PWM 信号のオンタイム PWM_ON と最小デューティ設定値 MIN_DUTY との比較処理を行う（ステップ S 144）。ステップ S 144 において、PWM 信号のオンタイム PWM_ON が最小デューティ設定値 MIN_DUTY よりも小さいと判断された場合、繰越 PWM オンタイム CRY_PWM_ON として PWM 信号のオンタイム PWM_ON を設定する（ステップ S 145）。その後、PWM 信号のオンタイム PWM_ON をゼロに設定する（ステップ S 146）。つまり、ステップ S 146 の処理により PWM 信号のオンタイム PWM_ON が生成された場合、次周期の PWM 信号はオンステートにはならない。

20

【0097】

一方、ステップ S 144 において、PWM 信号のオンタイム PWM_ON が最小デューティ設定値 MIN_DUTY 以上であると判断された場合、繰越 PWM オンタイム CRY_PWM_ON としてゼロを設定する（ステップ S 147）。つまり、ステップ S 147 の処理により PWM 信号のオンタイム PWM_ON が生成された場合、次周期の PWM 信号は PWM 信号のオンタイム PWM_ON の値に応じた長さのオンステートを有する。

30

【0098】

上記説明では、モータ駆動制御装置 1、つまり、モータ駆動制御プログラムによる動作について説明した。以下では、具体的な波形を示してモータ駆動制御装置 1 の動作について説明する。

【0099】

まず、図 16 に、モータ駆動制御装置 1 がモータ 4 を停止状態から回転状態とするモータ駆動制御の初期の挙動を説明するタイミングチャートを示す。図 16 に示すタイミングチャートでは、PWM 信号の状態が遷移する毎にハイレベルとローレベルが切り替わる信号としてステート信号で示した。このステート信号がハイレベルである期間は、ステータの駆動相が奇数番目、つまり、PWM 信号が奇数番目の状態であることを示し、ローレベルである期間は、ステータの駆動相が偶数番目、つまり、PWM 信号が偶数番目の状態であることを示す。また、PWM 信号が 6 状態を経る毎にハイレベルとローレベルが切り替わる信号として 6 ステート信号を示した。また、図 16 では、ロータの回転状態を示すために有効スタートアップフラグ STUP を示した。なお、図 16 に示すタイミングチャートは、回転開始の動作を示す一例として、ロータが状態 0 に対応する位置で静止している状態から回転を開始する例について示すものである。

40

【0100】

50

まず、実施の形態 1 にかかるモータ駆動装置 1 は、変数初期化処理（ステップ S 1）において、電流誤差積分値 $CRNT_ERR_INTG$ 及び回転速度誤差積分値 ROT_REE_INTG をゼロにリセットした状態でモータの制御を開始する。そのため、実施の形態 1 にかかるモータ駆動装置 1 は、モータを制御する PWM 信号の状態を状態 0 としてモータ制御を開始するが、この制御開始時点での駆動電流はゼロである。このようなことから、図 16 に示すように、駆動制御が開始された直後の状態 0 では、モータ 4 のロータに回転トルクが生じず停止したままの状態となる。また、ロータが回転していないことから、非通電相の駆動信号とセンタータップ電圧 CT との間でゼロクロスが生じない。また、図 16 に示す例では、ロータの位置が駆動対象のステータ（以下、励磁ステータと称す）の位置とよりも位相が遅れた状態であり、かつ、ゼロクロスが発生しないため、コンパ
10
レータ積分値 CMP_INTG がゼロに達することはない。そして、最初の状態 0 においては、コンパレータ積分値 CMP_INTG が最大パルスカウント値 $MAXCNT$ に達したことに応じて、モータ駆動制御装置 1 は、PWM 信号の状態を状態 0 から状態 1 に遷移させる（図 9 のステップ S 7 4 以降の処理）。このようにコンパレータ積分値 CMP_INTG が最大パルスカウント値 $MAXCNT$ に達する状態を、以下では、タイムアウト検出と称す。そして、モータ駆動制御装置 1 は、PWM 信号の状態を遷移させる毎に駆動電流を増加させながら、モータ 4 の起動処理を継続する。

【0101】

ここで、モータ 4 の起動時における駆動電流の増加手順について説明する。まず、最初の状態 0 では、回転速度指示値 ROT_SET はゼロを維持するのに対して、駆動電流 MI がゼロであるため駆動電流 MI と定電流制御設定値 $CONST_CRNT_SET$ との誤差は最大駆動電流の大きさに一致する。そのため、最初の状態 0 では、レギュレーションループ調停処理（ステップ S 4 6、及び、図 1 4 の処理）により電流誤差積分値 $CRNT_ERR_INTG$ はゼロに維持される。
20

【0102】

続いて、タイムアウト検出により PWM 信号の状態が状態 0 から状態 1 に遷移すると、モータ駆動制御装置 1 では、ステップ S 9 2 及び図 1 1 の処理が行われ、回転速度誤差積分値 ROT_INTG の値として、回転速度指示値 ROT_SET を最大許容加速度 MAX_ALLW_ACL で制限した値を設定する。これに対して、状態 1 では、駆動電流 MI に対する電流誤差積分値 $CRNT_INTG$ として、駆動電流 MI と定電流制御設定値 $CONST_CRNT_SET$ との誤差値が算出される。このとき、最初の状態 1 では駆動電流 MI は、当初ゼロであり、電流誤差積分値 $CRNT_INTG$ は最大駆動電流の大きさに一致する。そのため、回転モータ駆動制御装置 1 では、レギュレーションループ調停処理（ステップ S 4 6、及び、図 1 4 の処理）により、電流誤差積分値 $CRNT_INTG$ に
30
回転速度誤差積分値 ROT_INTG の値を代入する。つまり、PWM 信号の状態が遷移した場合に増加する駆動電流の増加量は、最大許容加速度 ROT_ALLW_ACL で制限された値になる。

【0103】

このように、PWM 信号の状態が遷移させた場合の駆動電流の増加量は、最大許容加速度 ROT_ALLW_ACL で制限された値になるため、モータ 4 の始動制御においては、
40
回転速度誤差積分値 ROT_ERR_INTG が電流誤差積分値 $CRNT_ERR_INTG$ よりも小さい状態が続く。つまり、モータ 4 の回転が開始されるまでの期間は、PWM 信号の状態が遷移する度に増加させる駆動電流は、最大許容加速度 ROT_ALLW_ACL により制限され、駆動電流は、徐々に大きくなる。

【0104】

このように、モータ駆動制御装置 1 は、ロータに印加する駆動トルクを徐々に大きくする。そして、ロータに印加される駆動トルクがロータの静止トルクを上回るとロータの回転が開始される。しかし、ロータが回転しても、ロータの回転周波数及び回転位相と、励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相と、が一致しなければ、モータの回転は持続しない。
50

【 0 1 0 5 】

例えば、駆動トルクが不十分である場合、ロータが回転しない状態が発生する。また、駆動トルクが十分であって、ロータが回転する状態であっても、励磁ステータの駆動位相とロータの回転位相とが不一致であった場合、ロータに印加する駆動トルクが不適切な状態となり、ロータが逆回転又は次状態の励磁ステータの駆動対象位置を通過する位置まで回転してしまい、モータの回転が持続しない状態となる。さらに、励磁ステータの駆動周波数とロータの回転周波数とが不一致である場合、連続して適切な駆動トルクをロータに印加できないため、モータの回転は持続しない。

【 0 1 0 6 】

このように、モータ4の回転を持続させるためには、十分な駆動トルクと、励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相とロータの回転周波数及び回転位相とを一致させることと、が必要になる。そこで、実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置1では、駆動電流をPWM信号の状態を遷移させる毎に徐々に増加させると共に、PWM信号の状態を遷移させて励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相がロータの回転周波数及び回転位相と一致する状態を探る。より具体的には、実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置1は、フライバックパルスフィルタ処理と、コンパレータ積分値CMP_INTGと、最大パルスカウント数MAXCNTと、を用いて、励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相とロータの回転周波数及び回転位相とが一致する状態を探る。

【 0 1 0 7 】

まず、モータ駆動制御装置1は、PWM信号の状態を遷移させた直後は、フライバックパルスフィルタ処理（図6のステップS44、S45及び図8の処理）により、コンパレータ積分値CMP_INTGを増加、又は、減少させる。そして、フライバックパルスフィルタ処理の終了後に、駆動トルクが静止トルク以上、かつ、励磁ステータの駆動位相に対するロータの回転位相差が $\pm 30^\circ$ 未満の位置である場合は、ロータが回転してゼロクロスが検出できる可能性がある。そこで、タイムアウト検出期間経過前（ステートPWMパルス数ST_PWM_PLSが最大パルスカウント値MAXCNT以下である期間）にコンパレータ積分値CMP_INTGがゼロに達したことを検出できれば、モータ駆動制御装置1は、ゼロクロスが生じたと判定して、PWM信号を次状態に遷移させる。

【 0 1 0 8 】

しかし、フライバックパルスフィルタ処理終了後の状態が、励磁ステータの駆動位相に対してロータの回転位相が 30° 以上進んでいた状態である場合は、フライバックパルスフィルタ処理が終了した時点でコンパレータの出力が期待する論理レベルとは逆の論理レベルとなっているため、タイムアウト検出期間経過前にコンパレータ積分値CMP_INTGがゼロに達する。つまり、このような場合は、モータ駆動制御装置1は、フライバックパルスフィルタ処理が終了する前にゼロクロスが発生したと判断し、タイムアウト検出期間の経過を待たずにPWM信号の状態を状態に遷移させる。このような動作に相当する状態は、例えば、図16において「コンパレータ積分値に基づく状態遷移」で示される状態である。なお、モータ駆動制御装置1では、変数初期化処理（図3のステップS1、及び図4の処理）において、有効スタートアップフラグSTUPがFALSEからTRUEに切り替えるまでのフライバックパルス継続PWMパルス数FB_MASKを小さく（例えば、最大回転速度に相当する6ステートPWMパルス数の6分の1）に設定しているため、フラバックパルスフィルタ処理終了前にゼロクロスが発生したと判断される状態の期間は後述するタイムアウト検出に基づく状態遷移が行われる場合に比べて極端に短くなる。

【 0 1 0 9 】

また、フライバックパルスフィルタ処理終了後の状態が、励磁ステータの駆動位相に対してロータの回転位相が 30° 以上遅れた状態である場合は、フライバックパルスフィルタ処理が終了した時点でコンパレータの出力が期待する論理レベルとなっているため、コンパレータ積分値CMP_INTGの絶対値が増加する。しかし、励磁ステータの駆動位相に対してロータの回転位相が 30° 以上遅れた状態である場合、ロータに適切な負荷トルクを印加することができないため、ロータが回転しない。そのため、タイムアウト検出

10

20

30

40

50

期間が経過してもコンパレータの出力が反転せずコンパレータ積分値 CMP_INTG の絶対値が減少に転じることがない。つまり、このような場合は、モータ駆動制御装置 1 は、タイムアウト検出がなされるまでゼロクロスの発生を待ち、タイムアウト検出期間が経過した時点で PWM 信号の状態を状態に遷移させる。このような動作に相当する状態は、例えば、図 16 において「タイムアウト検出に基づく状態遷移」で示される状態である。

【0110】

なお、フライバックパルスフィルタ処理終了後に、実際にはゼロクロスが生じている場合であっても、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達する前にロータがさらに回転してロータの回転位相が現状態に対応する回転位相とは異なる状態に対応する回転位相の位置まで到達した場合にはコンパレータ積分値 CMP_CMP_INTG がゼロに達する前にタイムアウト検出期間が経過してしまうことがある。そのため、このような場合においてもモータ駆動制御装置 1 は、タイムアウト検出に基づき PWM 信号の状態を遷移させる。

【0111】

このように、モータ駆動制御装置 1 では、ゼロクロスの発生が既に発生したと判断した場合には、即座に PWM 信号を次状態に移行させる。また、モータ駆動制御装置 1 は、ゼロクロスの発生の可能性がある場合には、タイムアウト検出期間の間コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達することを待つ。そして、タイムアウト検出期間中に、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達しない場合、モータ駆動制御装置 1 は、ロータの回転周波数がタイムアウト検出期間を一周期とする駆動周波数よりも遅いと判断し、タイムアウト検出期間の経過に応じて PWM 信号を次状態に移行させる。また、モータ駆動制御装置 1 は、タイムアウト検出期間中にコンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達したことを検出できた場合、ロータの回転周波数がタイムアウト検出期間を一周期とする駆動周波数よりも速いと判断して、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達したことに応じて PWM 信号の状態を次状態に遷移させる。

【0112】

そして、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達したことに応じた状態遷移（図 9 のステップ S78）が 6 回連続して発生したことに応じて、モータ駆動制御装置 1 は、有効スタートアップフラグ $STUP$ を $FALSE$ から $TRUE$ に切り換える（ステップ S82）。このように、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達したことに応じた状態遷移が 6 回連続して発生したことは、即ち、ロータの回転周波数及び回転位相と、励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相と、が一致したことを意味する。なお、有効スタートアップフラグ $STUP$ が $TRUE$ となる直前の期間（図 16 のゼロクロス検出アンバランス回転）では、モータは加速状態であって、ステート PWM パルス数 ST_PWM_PLS が移動平均ステート PWM パルス数 $ST_PWM_PLS_AVE$ に達する前に、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達する状態が継続する。そのため、有効スタートアップフラグ $STUP$ が $TRUE$ となる直前の期間では、各状態の一期間が徐々に短くなる。また、このゼロクロス検出アンバランス回転の状態は、ステート間の長さは不均一であるが、ロータと励磁ステータとは周波数及び位相が一致した安定した回転状態であると判定できる。

【0113】

そして、有効スタートアップフラグ $STUP$ が $TRUE$ に切り替った後は、モータ駆動制御装置 1 は、定電流制御指示値 $CNST_CRNT_SET$ を最大電流値 MAX_CRNT の 3 分の 1 から最大電流値 MAX_CRNT に増加させる（図 14 のステップ S120、S121）と共に、フライバックパルス継続 PWM パルス数 FB_MASK を移動平均ステート PWM パルス数 $ST_PWM_PLS_AVE$ の 4 分の 1 に設定する。そして、モータ駆動制御装置 1 は、定電流制御によりモータ 4 の回転速度を回転速度指示値 ROT_SET まで上昇させる。

【0114】

実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御装置 1 では、上記処理によりモータ 4 を起動する

10

20

30

40

50

ことでモータ 4 が逆回転状態を継続することを防止することができる。

【 0 1 1 5 】

まず、モータ駆動制御装置 1 では、モータ 4 を駆動する駆動電流をゼロとして起動制御を開始する。そして、モータ駆動制御装置 1 は、駆動電流を徐々に増加させながら状態遷移を進める。これにより、ロータの静止トルクよりも遙かに大きな駆動トルクが急に印加されることを防止する。このように、駆動電流を徐々に大きくすることで、ロータと励磁ステータとの位相関係がロータを逆回転（意図しない回転方向）させる関係である場合であっても、ロータが逆回転方向に過剰に回転することを防止する。

【 0 1 1 6 】

また、モータ駆動制御装置 1 では、コンパレータ 1 5 の出力状態から、フライバックパルスフィルタ処理が終了する前にゼロクロスが発生したと判断される場合には、タイムアウト検出期間の経過を待たずに即座に P W M 信号の状態を次状態に遷移させる。このとき、有効スタートアップフラグ S T U P が F A L S E である期間において、モータ駆動制御装置 1 では、フライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K の値を小さく設定することで逆回転方向の駆動トルクがロータに印加される期間を短くする。一方、モータ駆動制御装置 1 は、フライバックパルスフィルタ処理が終了した後にゼロクロスの発生が期待できる場合には、タイムアウト検出期間が経過するまでコンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロ達することを待つ。つまり、モータ駆動制御装置 1 では、ロータに正回転（意図した回転方向）の駆動トルクが印加される状態ではロータの回転位相が次状態の回転位置に達することをできる限り待ち、ロータに逆回転の駆動トルクが印加される状態ではロータに駆動トルクが印加される期間を短くする。

【 0 1 1 7 】

また、モータ駆動制御装置 1 は、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロに達したことに応じた P W M 信号の状態遷移が 6 回連続して発生したことに応じてモータ 4 が正常な回転状態となったと判断する（有効スタートアップフラグ S T U P を T R U E とする）。例えば、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロに達したことに応じた P W M 信号の状態遷移が 6 回連続して発生しない場合、いずれかの駆動相において、ロータの回転周波数及び回転位相と、励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相とが不一致となっている。このような状態で、駆動電流を最大電流値まで増加させた場合、不一致な駆動位相において意図した駆動トルクがロータに印加されず、回転が停止又は逆回転する可能性がある。一方、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロに達したことに応じた P W M 信号の状態遷移が 6 回連続して発生している状態は、ロータの回転周波数及び回転位相と、励磁ステータの駆動周波数及び駆動位相とが一致していることを意味する。従って、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G がゼロに達したことに応じた P W M 信号の状態遷移が 6 回連続して発生したことに応じて、モータ 4 が有効な回転状態となったことを判断することで、モータ 4 に逆回転方向の過剰な駆動トルクが印加されることを防止し、モータ 4 が逆回転する状態が継続することを防止することができる。

【 0 1 1 8 】

続いて、モータ 4 が回転状態になった後のモータ駆動制御プログラムの動作について説明する。実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムは、P W M 信号の周期毎にオフステートとしてハイサイドオフステートとローサイドオフステートとを切り換えるオルタネート P W M 方式でモータ 4 を制御する。そこで、まず、モータ駆動制御プログラムが行うオルタネート P W M 方式について説明する。モータ駆動制御プログラムは、デューティ比により P W M 信号のオンステートとオフステートとの比を決定する。そして、モータ駆動制御プログラムは、P W M 信号のオンステート時に電源からモータ 4 に駆動電流を与える。また、モータ駆動制御プログラムは、P W M 信号のオフステート時は、モータ 4 のコイルに流れる電流をドライバ回路 3 内のトランジスタ及びコイルの寄生抵抗により消費する。

【 0 1 1 9 】

このオフステートにおいて、ハイサイドオフステートとローサイドオフステートとのい

ずれか一方のみを採用した場合、センタータップ電圧C T及び非通電相の駆動信号の電圧レベルが電源電圧側又は接地電圧側のいずれか一方に偏る。そして、この電圧レベルの偏りに起因してセンタータップ電圧C Tと非通電相の駆動信号との電圧関係が逆転するゼロクロス点が時間的に前又は後ろにずれる問題が生じる。一方、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムは、オルタネートP W M方式を採用することで、センタータップ電圧C T及び非通電相の駆動信号の電圧レベルが電源電圧側又は接地電圧側のいずれか一方に偏ることを防止する。具体的には、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムでは、センタータップ電圧C T及び非通電相の駆動信号の電圧レベルが電源電圧側に偏る周期と接地電圧側に偏る周期がP W M信号の周期毎に繰り返され、一方に偏ることが防止される。さらに、入力されるセンタータップ電圧C Tと比較対象検出信号S P（非通電相の駆動信号）との電圧レベルがP W M信号の周期毎に上下の偏りを持たせることで、モータ駆動制御装置1のコンパレータ15が入力オフセットを有していても、入力オフセットによる誤差は、コンパレータ積分値C M P _ I N T Gを算出する段階で相殺される。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムは、オルタネートP W M方式を採用することでコンパレータ積分値C M P _ I N T Gに基づくP W M信号の状態遷移タイミングの精度を向上させることができる。

10

【0120】

モータ4は、3相駆動のモータであり、6状態のP W M信号により制御される。そして、オルタネートP W M方式による動作を行う場合、回転動作を行うために、ドライバ回路3を構成するトランジスタのいずれをオンさせるかが状態毎に異なる。そこで、図17～図22に状態0～状態5の各状態のオンステートとオフステートの制御状態を説明するドライバ回路3の回路図を示す。

20

【0121】

ここで、オンステートとオフステートのドライバ回路の制御状態を説明する前に、図17～図22を参照してドライバ回路3の回路について説明する。図17～図22に示すように、ドライバ回路3は、U相、V相、W相の3つの駆動信号を生成するために、3組の駆動段回路を有する。図17～図22に示す例では、3組の駆動段回路は、P M O Sトランジスタによりハイサイドトランジスタが形成され、N M O Sトランジスタによりローサイドトランジスタが形成される。

【0122】

そして、図17～図22に示すように、U相の駆動信号を生成する駆動段回路は、ハイサイドトランジスタP UとローサイドトランジスタN Uとが電源配線と接地配線との間に直列に接続される。また、ハイサイドトランジスタP UのゲートにはP W M信号U Hが入力され、ローサイドトランジスタN UのゲートにはP W M信号U Lが入力される。V相の駆動信号を生成する駆動段回路は、ハイサイドトランジスタP VとローサイドトランジスタN Vとが電源配線と接地配線との間に直列に接続される。また、ハイサイドトランジスタP VのゲートにはP W M信号V Hが入力され、ローサイドトランジスタN VのゲートにはP W M信号V Lが入力される。W相の駆動信号を生成する駆動段回路は、ハイサイドトランジスタP WとローサイドトランジスタN Wとが電源配線と接地配線との間に直列に接続される。また、ハイサイドトランジスタP WのゲートにはP W M信号W Hが入力され、ローサイドトランジスタN WのゲートにはP W M信号W Lが入力される。

30

40

【0123】

続いて、オンステートとオフステートのドライバ回路の制御状態を説明する。図17は、状態0におけるオンステートとオフステートのドライバ回路3の制御状態を示す回路図である。図17に示すように、状態0のオンステートでは、ハイサイドトランジスタP UとローサイドトランジスタN Vがオン状態となる。そして、モータ4のU相のコイルL UからV相のコイルL Vに駆動電流が流れる。また、ハイサイドオフステートでは、ハイサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Uが属する駆動段回路のローサイドトランジスタN Uと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Vと、がオン状態となる。そして

50

、コイルL U、L Vに流れていたフライバック電流はローサイドトランジスタN U、N Vにより消費される。また、ローサイドオフステートでは、ローサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Uと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Vが属する駆動段回路のハイサイドトランジスタP Vと、がオン状態となる。そして、コイルL U、L Vに流れていたフライバック電流はハイサイドトランジスタP U、P Vにより消費される。

【0124】

図18は、状態1におけるオンステートとオフステートのドライバ回路3の制御状態を示す回路図である。図18に示すように、状態1のオンステートでは、ハイサイドトランジスタP UとローサイドトランジスタN Wがオン状態となる。そして、モータ4のU相のコイルL UからW相のコイルL Wに駆動電流が流れる。また、ハイサイドオフステートでは、ハイサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Uが属する駆動段回路のローサイドトランジスタN Uと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Wと、がオン状態となる。そして、コイルL U、L Wに流れていたフライバック電流はローサイドトランジスタN U、N Wにより消費される。また、ローサイドオフステートでは、ローサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Uと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Wが属する駆動段回路のハイサイドトランジスタP Wと、がオン状態となる。そして、コイルL U、L Wに流れていたフライバック電流はハイサイドトランジスタP U、P Wにより消費される。

【0125】

図19は、状態2におけるオンステートとオフステートのドライバ回路3の制御状態を示す回路図である。図19に示すように、状態2のオンステートでは、ハイサイドトランジスタP VとローサイドトランジスタN Wがオン状態となる。そして、モータ4のV相のコイルL VからW相のコイルL Wに駆動電流が流れる。また、ハイサイドオフステートでは、ハイサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Vが属する駆動段回路のローサイドトランジスタN Vと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Wと、がオン状態となる。そして、コイルL V、L Wに流れていたフライバック電流はローサイドトランジスタN V、N Wにより消費される。また、ローサイドオフステートでは、ローサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Vと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Wが属する駆動段回路のハイサイドトランジスタP Wと、がオン状態となる。そして、コイルL V、L Wに流れていたフライバック電流はハイサイドトランジスタP V、P Wにより消費される。

【0126】

図20は、状態3におけるオンステートとオフステートのドライバ回路3の制御状態を示す回路図である。図20に示すように、状態3のオンステートでは、ハイサイドトランジスタP VとローサイドトランジスタN Uがオン状態となる。そして、モータ4のV相のコイルL VからU相のコイルL Uに駆動電流が流れる。また、ハイサイドオフステートでは、ハイサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Vが属する駆動段回路のローサイドトランジスタN Vと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Uと、がオン状態となる。そして、コイルL V、L Uに流れていたフライバック電流はローサイドトランジスタN V、N Uにより消費される。また、ローサイドオフステートでは、ローサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタP Vと、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタN Uが属する駆動段回路のハイサイドトランジスタP Uと、がオン状態となる。そして、コイルL U、L Vに流れていたフライバック電流はハイサイドトランジスタP U、P Vにより消費さ

れる。

【 0 1 2 7 】

図 2 1 は、状態 4 におけるオンステートとオフステートのドライバ回路 3 の制御状態を示す回路図である。図 2 1 に示すように、状態 4 のオンステートでは、ハイサイドトランジスタ P W とローサイドトランジスタ N U がオン状態となる。そして、モータ 4 の W 相のコイル L W から U 相のコイル L U に駆動電流が流れる。また、ハイサイドオフステートでは、ハイサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタ P W が属する駆動段回路のローサイドトランジスタ N W と、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタ N U と、がオン状態となる。そして、コイル L U 、 L W に流れていたフライバック電流はローサイドトランジスタ N U 、 N W により消費される。また、ローサイドオフステートでは、ローサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタ P W と、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタ N U が属する駆動段回路のハイサイドトランジスタ P U と、がオン状態となる。そして、コイル L U 、 L W に流れていたフライバック電流はハイサイドトランジスタ P U 、 P W により消費される。

10

【 0 1 2 8 】

図 2 2 は、状態 5 におけるオンステートとオフステートのドライバ回路 3 の制御状態を示す回路図である。図 2 2 に示すように、状態 5 のオンステートでは、ハイサイドトランジスタ P W とローサイドトランジスタ N V がオン状態となる。そして、モータ 4 の W 相のコイル L W から V 相のコイル L V に駆動電流が流れる。また、ハイサイドオフステートでは、ハイサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタ P W が属する駆動段回路のローサイドトランジスタ N W と、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタ N V と、がオン状態となる。そして、コイル L V 、 L W に流れていたフライバック電流はローサイドトランジスタ N V 、 N W により消費される。また、ローサイドオフステートでは、ローサイドトランジスタをすべてオフ状態とし、オンステートにおいてオン状態であったハイサイドトランジスタ P W と、オンステートにおいてオン状態であったローサイドトランジスタ N V が属する駆動段回路のハイサイドトランジスタ P V と、がオン状態となる。そして、コイル L V 、 L W に流れていたフライバック電流はハイサイドトランジスタ P V 、 P W により消費される。

20

30

【 0 1 2 9 】

なお、オフステートにおいて、オフされたトランジスタと対になる反対側のトランジスタをオンする動作は、同期整流動作と呼ばれる。つまり、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムにおけるオルタネート P W M 方式の動作は、同期整流動作を含む。このような同期整流動作を行うことで、従来は、オフ状態のトランジスタのボディダイオードで消費されたフライバック電流を、オン状態のトランジスタにおいて消費することが可能になり電力効率を向上させることができる。そこで、同期整流動作の有無による入出力特性を比較するグラフを図 2 3 に示す。図 2 3 に示すように、同期整流動作を行った場合、入力される電力が小さい場合の出力（回転速度×トルク）が同期整流動作を行わない場合に比べて低くなっていることがわかる。また、入力電力の範囲が同じである場合、出力の範囲が同期整流動作を行った場合の方が広がっていることがわかる。

40

【 0 1 3 0 】

上記説明より、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラムでは、オルタネート P W M 方式により P W M 信号のオフステートの状態を制御する。オフステートの制御としては、オルタネート P W M 方式の他に、ハイサイドオフステートとローサイドオフステートとのいずれか一方の状態のみの制御を行うことも考えられる。しかし、オフステートとしてハイサイドオフステートとローサイドオフステートとのいずれか一方しか行わない場合、センタータップ電圧 C T 及び非通電相の駆動信号の電圧レベルが電源電圧側又は接地電圧側のいずれか一方に偏る。また、モータ 4 の回転速度が低い場合、ハイインピーダンス

50

状態となる非通電相の電位変化の傾きが緩やかになる。そのため、オフステートとしてハイサイドオフステートとローサイドオフステートとのいずれか一方しか行わない場合、モータ4の回転速度が低い状態で、センタータップ電圧CT及び非通電相の駆動信号の電圧関係が逆転するゼロクロスタイミングのずれが顕著になりゼロクロス点のずれが顕著になる問題がある。

【0131】

しかし、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムでは、オルタネートPWM方式を採用することで、センタータップ電圧CT及び非通電相の駆動信号の電圧レベルのずれ方向がPWM信号の周期毎に上下する。これにより、コンパレータ15が入力オフセットを有する場合であっても、入力オフセットに起因するコンパレータ積分値CMP__INTGのずれが、センタータップ電圧CT及び非通電相の駆動信号の電圧レベルのずれ方向の変動により相殺される。また、コンパレータ15は、入力ノイズの影響により誤判定を生じることがあるが、オルタネートPWM方式を採用することでセンタータップ電圧CT及び非通電相の駆動信号の電圧レベルの上下方向の変動が入力ノイズを相殺する。そのため、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムを用いた場合、コンパレータ15にヒステリシス特性を持たせる必要がない。これにより、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムでは、モータ4の回転速度が遅くセンタータップ電圧CTと非通電相の駆動信号との傾きが緩やかな状態であっても、コンパレータ15の入力オフセット及びヒステリシス特性に起因するゼロクロス検出タイミングのずれの影響を受けることない。そして、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムでは、コンパレータ積分値CMP__INTGにより精度の高いタイミングでPWM信号の状態を遷移させることができる。即ち、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムは、低回転速度領域におけるモータの制御性を高めることができる。また、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラムは、低回転速度側の制御性を高めることで、広い回転速度範囲でモータの制御性を高めることができる。

【0132】

このようなオルタネートPWM方式による動作は、PWM信号のデューティ比が100%未満の状態で行われる。そこで、オルタネートPWM方式による動作が行われるPWM信号のデューティ比が50%である状態を例にモータ駆動制御プログラムの動作について説明する。なお、以下の説明では、モータ駆動制御プログラムの動作に基づき生成されるPWM信号は、モータ駆動制御装置1から出力されるものであるため、モータ駆動制御プログラムの動作としてモータ駆動制御装置1の動作を説明する。

【0133】

ここでは、PWM信号の波形と、モータ4を駆動する駆動信号の波形及び駆動信号に応じたモータ駆動制御装置1の動作をより詳細に説明するために、状態0の動作状態を例に、モータ駆動制御装置1の動作について説明する。

【0134】

まず、図24に、モータ駆動制御装置1が生成するPWM信号、当該PWM信号に応じて生成されるモータ4の駆動信号及びモータ4のセンタータップ電圧CTのタイミングチャートを示す。図24に示すように、モータ駆動制御装置1では、デューティ比が50%となる基準PWM信号を生成する。そして、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号に基づき3相の駆動信号を生成するための6つのPWM信号UH、UL、VH、VL、WH、WLを生成する。

【0135】

状態0は、U相からV相に向かって駆動電流を流す状態である。また、状態0では、W相の駆動信号はハイインピーダンス状態(Zステート)となる。そこで、状態0では、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオンステート(ハイレベルの期間)においてPWM信号UH、ULをローレベルとする。また、状態0では、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオンステートにおいてPWM信号VH、VLをハイレベルとする。さらに、状態0では、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオンステートにおいてPW

M信号WHをハイレベル、PWM信号WLをローレベルとする。これにより、基準PWM信号のオンタイムにおいて、U相の駆動信号はハイレベルとなり、V相の駆動信号はローレベルとなる。そして、U相からV相に対して駆動電流が流れる。また、W相の駆動信号はハイインピーダンス状態であるため、U相の駆動信号とV相の駆動信号との間の電圧値になる。このW相の駆動信号の電圧値は、ロータの回転位置に従って電圧値が徐々に低下する。

【0136】

また、実施の形態1では、オルタネートPWM方式による動作を行うため、基準PWM信号のオフステートとしてハイサイドオフステートと、ローサイドオフステートと、を有する。そして、図24に示すように、実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置1は、ハイサイドオフステートとローサイドオフステートとをPWM信号の周期毎に切り換える。

10

【0137】

そこで、まず、状態0におけるハイサイドオフステート時のPWM信号UH、UL、VH、VL、WH、WLについて説明する。状態0では、U相からV相に向かって駆動電流を流し、W相の駆動信号はハイインピーダンス状態となる。そこで、状態0のハイサイドオフステートでは、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオフステート（ローレベルの期間）においてPWM信号UH、ULをハイレベルとする。また、状態0のハイサイドオフステートでは、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオフステートにおいてPWM信号VH、VLをハイレベルとする。さらに、状態0のハイサイドオフステートでは、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオフステートにおいてPWM信号WHをハイレベル、PWM信号WLをローレベルとする。これにより、基準PWM信号のオフタイムにおいて、U相の駆動信号、V相の駆動信号及びW相の駆動信号はローレベルとなる。そして、U相とV相との間において電流が流れる。

20

【0138】

続いて、状態0におけるローサイドオフステート時のPWM信号UH、UL、VH、VL、WH、WLについて説明する。状態0では、U相からV相に向かって駆動電流を流し、W相の駆動信号はハイインピーダンス状態となる。そこで、状態0のローサイドオフステートでは、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオフステート（ローレベルの期間）においてPWM信号UH、ULをローレベルとする。また、状態0のローサイドオフステートでは、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオフステートにおいてPWM信号VH、VLをローレベルとする。さらに、状態0のローサイドオフステートでは、モータ駆動制御装置1は、基準PWM信号のオフステートにおいてPWM信号WHをハイレベル、PWM信号WLをローレベルとする。これにより、基準PWM信号のオフタイムにおいて、U相の駆動信号、V相の駆動信号及びW相の駆動信号はハイレベルとなる。そして、U相とV相との間において電流が流れる。

30

【0139】

上記説明のように、モータ駆動制御装置1は、PWM信号の周期毎にオンステートとオフステートとを切り替える。さらに、モータ駆動制御装置1は、オフステートの制御状態を、PWM信号の周期毎にハイサイドオフステートとローサイドオフステートとに切り換える。このような制御を行うことで、モータ駆動制御装置1は、オンステートにおいてU相からV相に駆動電流を流す。そして、ハイインピーダンス状態となる非通電相（状態0ではW相の駆動信号）の電圧は、ハイレベルからローレベルに向かって変化する。この非通電相の電圧変化は、ロータの回転位置に応じて変化する。なお、PWM信号の状態が変化した直後は、非通電相にフライバックパルスが生じる。センタータップ電圧CTは、U相、V相、W相の駆動信号の電圧値に基づき生成される。このとき、オンステートにおいてU相の駆動信号はハイレベルであり、V相の駆動信号はローレベルであるため、センタータップ電圧CTは、非通電相のW相の駆動信号の電圧に応じた変動を示す。

40

【0140】

続いて、状態0におけるモータ駆動制御装置1のPWM信号制御処理について説明する。図25に、デューティ比が50%のPWM信号を生成した場合の状態0のモータ駆動制

50

御装置 1 の動作を説明するタイミングチャートを示す。図 2 5 に示すように、P W M 信号のデューティ比が 5 0 % である場合、モータ駆動制御装置 1 は、B E M F タイマ割り込みが生じたことに応じて、P W M 信号をオンステートからオフステートに切り換える。この動作は、図 5 のステップ S 3 2 の動作に相当するものである。また、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 周期割り込みに応じて、P W M 信号をオフステートからオンステートに切り換える。この動作は、図 5 のステップ S 3 6 の動作に相当するものである。なお、モータ駆動制御装置 1 は、一状態の中で P W M 信号のデューティ比を P W M 信号の周期毎に更新するが、図 2 5 では、説明を簡単にするために全期間に亘り P W M 信号のデューティ比を 5 0 % とした。

【 0 1 4 1 】

10

状態 0 では、非通電相は W 相の駆動信号である。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、W 相の駆動信号を比較対象検出信号 S P として選択する。つまり、モータ駆動制御装置 1 のコンパレータ 1 5 には、W 相の駆動信号を比較対象検出信号 S P とセンタータップ電圧 C T とが入力される。そして、コンパレータ 1 5 は、比較対象検出信号 S P がセンタータップ電圧 C T よりも高い場合、出力信号 C M P _ O U T をハイレベルとし、比較対象検出信号 S P がセンタータップ電圧 C T よりも低い場合、出力信号 C M P _ O U T をローレベルとする。

【 0 1 4 2 】

そして、モータ駆動制御装置 1 は、B E M F 割り込みが発生するとコンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T の値をサンプリングする。この動作は、図 5 のステップ S 2 3 の動作に相当するものである。図 2 5 に示す例では、コンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T として、P W M デモジュレータ 2 1 によりサンプリングされた出力信号 C M P _ O U T を示した。

20

【 0 1 4 3 】

なお、図 2 5 に示す例では、コンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T が比較対象検出信号 S P とセンタータップ電圧 C T との電圧関係を誤判定する期間（例えば、コンパレータ 1 5 の出力信号がパルス状の波形となる期間）が存在する。この現象は、コンパレータ 1 5 に入力されるノイズ、或いは、オルタネート P W M 方式の動作に起因して生じるものである。

【 0 1 4 4 】

30

また、モータ駆動制御装置 1 は、サンプリングされたコンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T の値に基づきコンパレータ積分値を増減させる。より具体的には、モータ駆動制御装置 1 は、フライバックパルスフィルタ処理がなされる期間（例えば、フライバックパルス継続 P W M パルス数 F B _ M A S K で示す期間）においては、比較対象検出信号 S P とセンタータップ電圧 C T との電圧関係に関わらずコンパレータ積分値 C M P _ I N T G を増加させる。この動作は、図 6 のステップ S 4 4 及び図 8 のステップ S 6 3 の動作に相当するものである。また、モータ駆動制御装置 1 は、フライバックパルスフィルタ処理がなされる期間が終了すると、コンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T がハイレベルである場合コンパレータ積分値 C M P _ I N T G を増加させ、コンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T がローレベルである場合コンパレータ積分値 C M P _ I N T G を減少させる。この動作は、図 9 のステップ S 7 0 ~ S 7 2 の動作に相当するものである。

40

【 0 1 4 5 】

また、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 周期タイマ割り込みが発生する毎にステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S を増加させる。この動作は、図 6 のステップ S 4 1 の動作に相当するものである。モータ駆動制御装置 1 は、第 1 の条件と第 2 の条件のいずれか一方を満たした場合、P W M 信号の状態を次状態に遷移させる。ここで、第 1 の条件とは、現状態（例えば、状態 0 ）のステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S [0] が移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E に達したことである。なお、また、移動平均ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S _ A V E は、前状態（例えば、状態 0 ）のステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S [0] と、前状態より

50

も前の5つの状態のステートPWMパルス数 $ST_PWM_PLS[5] \sim ST_PWM_PLS[1]$ との合計値を状態数である6で除算して得られる値である。また、第2の条件は、コンパレータ積分値 CMP_INTG がカウント初期値（例えば、ゼロ）に達したことである。第1の条件に応じて生じる状態の遷移は、図9のステップS84及びステップS85の動作に相当するものである。第2の条件に応じて生じる条件の遷移は、図9のステップS77及びステップS78の動作に相当するものである。図25に示す例では、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達したこと、つまり、第2の条件を満たしたことに応じてPWM信号の状態遷移が行われた例を示した。

【0146】

続いて、モータ駆動制御装置1がモータ4を一回転させる期間の動作について説明する。モータ駆動制御装置1は、モータ4を一回転させる間にPWM信号を6回状態遷移させる。そこで、図26に、モータ駆動制御装置1においてデューティ比が50%のPWM信号を生成した場合の状態0～状態5の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートを示す。なお、PWM信号UH、UL、VH、VL、WH、WLの信号波形は、図24で説明した状態0の信号波形と同等の波形が状態の遷移に対応したものであるため、ここでは信号波形についての詳細な説明は省略する。

【0147】

図26に示すように、モータ駆動制御装置1は、状態0において、PWM信号WHをハイレベル、PWM信号WLをローレベルとすることでW相の駆動信号を非通電相とする。一方、モータ駆動制御装置1は、PWM信号UH、UL、VH、VLを制御してオンステートにおいてU相からV相に向かって駆動電流を流し、オフステートにおいてU相とV相の駆動信号をハイサイドオフステート状態又はローサイドオフステート状態とする。これにより、センタータップ電圧CTは、W相の駆動信号の電圧変動に対応した電圧変動を生じる。

【0148】

また、モータ駆動制御装置1は、状態1において、PWM信号VHをハイレベル、PWM信号VLをローレベルとすることでV相の駆動信号を非通電相とする。一方、モータ駆動制御装置1は、PWM信号UH、UL、WH、WLを制御してオンステートにおいてU相からW相に向かって駆動電流を流し、オフステートにおいてU相とW相の駆動信号をハイサイドオフステート状態又はローサイドオフステート状態とする。これにより、センタータップ電圧CTは、V相の駆動信号の電圧変動に対応した電圧変動を生じる。

【0149】

また、モータ駆動制御装置1は、状態2において、PWM信号UHをハイレベル、PWM信号ULをローレベルとすることでU相の駆動信号を非通電相とする。一方、モータ駆動制御装置1は、PWM信号VH、VL、WH、WLを制御してオンステートにおいてV相からW相に向かって駆動電流を流し、オフステートにおいてV相とW相の駆動信号をハイサイドオフステート状態又はローサイドオフステート状態とする。これにより、センタータップ電圧CTは、U相の駆動信号の電圧変動に対応した電圧変動を生じる。

【0150】

また、モータ駆動制御装置1は、状態3において、PWM信号WHをハイレベル、PWM信号WLをローレベルとすることでW相の駆動信号を非通電相とする。一方、モータ駆動制御装置1は、PWM信号UH、UL、VH、VLを制御してオンステートにおいてV相からU相に向かって駆動電流を流し、オフステートにおいてV相とU相の駆動信号をハイサイドオフステート状態又はローサイドオフステート状態とする。これにより、センタータップ電圧CTは、W相の駆動信号の電圧変動に対応した電圧変動を生じる。

【0151】

また、モータ駆動制御装置1は、状態4において、PWM信号VHをハイレベル、PWM信号VLをローレベルとすることでV相の駆動信号を非通電相とする。一方、モータ駆動制御装置1は、PWM信号UH、UL、WH、WLを制御してオンステートにおいてW相からU相に向かって駆動電流を流し、オフステートにおいてW相とU相の駆動信号をハ

10

20

30

40

50

イサイドオフステート状態又はローサイドオフステート状態とする。これにより、センタータップ電圧CTは、V相の駆動信号の電圧変動に対応した電圧変動を生じる。

【0152】

また、モータ駆動制御装置1は、状態5において、PWM信号UHをハイレベル、PWM信号ULをローレベルとすることでU相の駆動信号を非通電相とする。一方、モータ駆動制御装置1は、PWM信号VH、VL、WH、WLを制御してオンステートにおいてW相からV相に向かって駆動電流を流し、オフステートにおいてW相とV相の駆動信号をハイサイドオフステート状態又はローサイドオフステート状態とする。これにより、センタータップ電圧CTは、U相の駆動信号の電圧変動に対応した電圧変動を生じる。

【0153】

続いて、図27に、モータ駆動制御装置1においてデューティ比が50%のPWM信号を生成した場合の状態0～状態5のモータ駆動制御装置1の動作を説明するタイミングチャートを示す。なお、フライバックパルスフィルタ、コンパレータ積分値CMP__INTG、ステートPWMパルス数ST__PWM__PLSに関する動作は、図25で説明した状態0の動作と同等の動作であるため、ここでは、これらの動作に関する詳細な説明は省略する。

【0154】

図27に示すように、モータ駆動制御装置1は、状態0において比較対象検出信号SPとしてW相の駆動信号を選択し、状態1において比較対象検出信号SPとしてV相の駆動信号を選択し、状態2において比較対象検出信号SPとしてU相の駆動信号を選択し、状態3において比較対象検出信号SPとしてW相の駆動信号を選択し、状態4において比較対象検出信号SPとしてV相の駆動信号を選択し、状態5において比較対象検出信号SPとしてU相の駆動信号を選択する。そして、各状態において、コンパレータ15により、比較対象検出信号SPとセンタータップ電圧CTとを比較する。

【0155】

そして、コンパレータ15の出力信号CMP__OUTの値に基づきコンパレータ積分値CMP__INTGを算出する。このとき、コンパレータ積分値CMP__INTGは、偶数番目の状態では増加後に減少する変動を示し、奇数番目の状態では減少後に増加する変動を示す。なお、図27に示す例では、いずれの状態においても、コンパレータ15が2つの入力信号間の電圧関係を誤判定する状態が生じている。しかし、モータ駆動制御装置1では、コンパレータ積分値CMP__INTGがゼロになったことにより比較対象検出信号SPとセンタータップ電圧CTとの間のゼロクロスを検出して、ロータの位置検出を行うことができる。

【0156】

また、モータ駆動制御装置1は、現状態と現状態より以前の5つの状態のステートPWMパルス数ST__PWM__PLSの合計値から次状態で利用される移動平均ステートPWMパルス数ST__PWM__PLS__AVEを算出する。そして、モータ駆動制御装置1は、ステートPWMパルス数ST__PWM__PLSが移動平均ステートPWMパルス数ST__PWM__PLS__AVEに達したこと、又は、コンパレータ積分値CMP__INTGがゼロに達したことのいずれか一方の条件が満たされたことに応じてPWM信号の状態を遷移させる。

【0157】

続いて、PWM信号のデューティ比を100%とした場合のモータ駆動制御装置1の動作について説明する。図28に、デューティ比が100%のPWM信号を生成した場合の状態0～状態5の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートを示す。図28に示すように、状態0では、モータ駆動制御装置1は、駆動電流の経路となるハイサイドトランジスタPU及びローサイドトランジスタNVを導通状態とする。そのため、モータ駆動制御装置1は、PWM信号UH及びPWM信号VLのみをオンステートとし、その他のPWM信号はオフステートとする。これにより、非通電相となるW相の駆動信号にロータ位置に従った電位変動が生じる。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 8 】

状態 1 では、モータ駆動制御装置 1 は、駆動電流の経路となるハイサイドトランジスタ P U 及びローサイドトランジスタ N W を導通状態とする。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 信号 U H 及び P W M 信号 W L のみをオンステートとし、その他の P W M 信号はオフステートとする。これにより、非通電相となる V 相の駆動信号にロータ位置に従った電位変動が生じる。

【 0 1 5 9 】

状態 2 では、モータ駆動制御装置 1 は、駆動電流の経路となるハイサイドトランジスタ P V 及びローサイドトランジスタ N W を導通状態とする。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 信号 V H 及び P W M 信号 W L のみをオンステートとし、その他の P W M 信号はオフステートとする。これにより、非通電相となる U 相の駆動信号にロータ位置に従った電位変動が生じる。

10

【 0 1 6 0 】

状態 3 では、モータ駆動制御装置 1 は、駆動電流の経路となるハイサイドトランジスタ P V 及びローサイドトランジスタ N U を導通状態とする。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 信号 V H 及び P W M 信号 U L のみをオンステートとし、その他の P W M 信号はオフステートとする。これにより、非通電相となる W 相の駆動信号にロータ位置に従った電位変動が生じる。

【 0 1 6 1 】

状態 4 では、モータ駆動制御装置 1 は、駆動電流の経路となるハイサイドトランジスタ P W 及びローサイドトランジスタ N U を導通状態とする。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 信号 W H 及び P W M 信号 U L のみをオンステートとし、その他の P W M 信号はオフステートとする。これにより、非通電相となる V 相の駆動信号にロータ位置に従った電位変動が生じる。

20

【 0 1 6 2 】

状態 5 では、モータ駆動制御装置 1 は、駆動電流の経路となるハイサイドトランジスタ P W 及びローサイドトランジスタ N V を導通状態とする。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、P W M 信号 W H 及び P W M 信号 V L のみをオンステートとし、その他の P W M 信号はオフステートとする。これにより、非通電相となる U 相の駆動信号にロータ位置に従った電位変動が生じる。

30

【 0 1 6 3 】

続いて、図 2 9 に、モータ駆動制御装置 1 においてデューティ比が 1 0 0 % の P W M 信号を生成した場合の状態 0 ~ 状態 5 のモータ駆動制御装置 1 の動作を説明するタイミングチャートを示す。なお、フライバックパルスフィルタ、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G、ステート P W M パルス数 S T _ P W M _ P L S に関する動作は、図 2 5 で説明した状態 0 の動作と同等の動作であるため、ここでは、これらの動作に関する詳細な説明は省略する。

【 0 1 6 4 】

図 2 9 に示すように、モータ駆動制御装置 1 は、状態 0 において比較対象検出信号 S P として W 相の駆動信号を選択し、状態 1 において比較対象検出信号 S P として V 相の駆動信号を選択し、状態 2 において比較対象検出信号 S P として U 相の駆動信号を選択し、状態 3 において比較対象検出信号 S P として W 相の駆動信号を選択し、状態 4 において比較対象検出信号 S P として V 相の駆動信号を選択し、状態 5 において比較対象検出信号 S P として U 相の駆動信号を選択する。そして、各状態において、コンパレータ 1 5 により、比較対象検出信号 S P とセンタータップ電圧 C T とを比較する。

40

【 0 1 6 5 】

そして、コンパレータ 1 5 の出力信号 C M P _ O U T の値に基づきコンパレータ積分値 C M P _ I N T G を算出する。このとき、コンパレータ積分値 C M P _ I N T G は、偶数番目の状態では増加後に減少する変動を示し、奇数番目の状態では減少後に増加する変動を示す。なお、図 2 9 に示す例では、いずれの状態においても、コンパレータ 1 5 は 2 つ

50

の入力信号間の電圧関係について誤判定を生じることなく正しく判定している。これは、モータ4の回転速度が高く、一状態の時間が短い(すなわちステートPWMパルス数 ST_PWM_PLS が小さい)ため、非通電相の電位変化の傾きが大きい。そのため、コンパレータ15に入力される2つの信号の電位差が小さな期間が小さい。このようなことから、モータ4の回転速度が高い場合、コンパレータ15が入力信号の電圧関係を誤判定確率が小さくなる。また、非通電相の電位変化の傾きが大きい場合、コンパレータ15の入力オフセットがコンパレータ積分値 CMP_INTG に与える影響も少なくなる。なお、モータ駆動制御装置1では、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロになったことにより比較対象検出信号 SP とセンタータップ電圧 CT との間のゼロクロスを検出するため、モータ4の回転速度によらず、ロータの位置検出精度を保つことができる。

10

【0166】

また、モータ駆動制御装置1は、現状態と現状態より以前の5つの状態のステートPWMパルス数 ST_PWM_PLS の合計値から次状態で利用される移動平均ステートPWMパルス数 $ST_PWM_PLS_AVE$ を算出する。そして、モータ駆動制御装置1は、ステートPWMパルス数 ST_PWM_PLS が移動平均ステートPWMパルス数 $ST_PWM_PLS_AVE$ に達したこと、又は、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達したことのいずれか一方の条件が満たされたことに応じてPWM信号の状態を遷移させる。

【0167】

続いて、実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置1におけるPWM信号の生成方法について具体的な波形を示して説明する。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御装置1における図15で示したPWMプリモジュレーション処理についてここで説明する。モータ駆動制御装置1は、図14のレギュレーションループ調停処理において決定されたPWM信号のオンタイム PWM_ON に基づきPWM信号のデューティ比を決定する。

20

【0168】

まず、レギュレーションループ調停処理において決定されたPWM信号のデューティ比が最大デューティ設定値よりも大きな場合のPWM信号のオンタイム PWM_ON の決定手順を示すタイミングチャートを図30に示す。図30に示すように、この場合、レギュレーションループ調停処理により決定されたPWM信号のデューティ比に基づき生成されるオリジナルPWM信号は、PWM信号のオンタイム PWM_ON が最大デューティ設定値 MAX_DUTY よりも長くなる。そのため、PWM信号のオンタイム PWM_ON からPWM信号の周期 PWM_TRM を引いた値を繰越オンタイム CRY_PWM_ON として算出する。そして、周期 $TRM1$ のPWM信号のオンタイム PWM_ON としてPWM信号の周期 PWM_TRM と同じ値を設定する。この場合、モータ駆動制御装置1は、周期 $TRM1$ の $BEMF$ タイマ割り込みを周期タイマ割り込みの少し前に発生させることになる。そして、周期 $TRM1$ の次の周期 $TRM2$ において、PWM信号のオンタイム PWM_ON に周期 $TRM1$ で算出された繰越オンタイム CRY_PWM_ON を加算して周期 $TRM2$ のPWM信号のオンタイム PWM_ON を算出する。

30

【0169】

図30で示したようにPWM信号のオンタイム PWM_ON を決定することで、ハードウェアの限界により決定される最大デューティ比よりも大きなデューティ比のPWM信号を生成することができる。なお、この処理は、図15のステップ $S140 \sim S142$ の処理に該当するものである。

40

【0170】

続いて、レギュレーションループ調停処理において決定されたPWM信号のデューティ比が最小デューティ設定値よりも小さな場合のPWM信号のオンタイム PWM_ON の決定手順を示すタイミングチャートを図31に示す。図31に示すように、この場合、レギュレーションループ調停処理により決定されたPWM信号のデューティ比に基づき生成されるオリジナルPWM信号は、PWM信号のオンタイム PWM_ON が最小デューティ設定値 MIN_DUTY よりも短くなる。そのため、PWM信号のオンタイム PWM_ON を繰越

50

オンタイム $C R Y_P W M_O N$ として算出する。そして、周期 $T R M 2$ の $P W M$ 信号のオンタイム $P W M_O N$ としてゼロを設定する。この場合、モータ駆動制御装置 1 は、周期 $T R M 2$ においてオンタイムがないため $B E M F$ タイマ割り込みを発生させない。そして、周期 $T R M 2$ の次の周期 $T R M 3$ において、 $P W M$ 信号のオンタイム $P W M_O N$ に周期 $T R M 2$ で算出された繰越オンタイム $C R Y_P W M_O N$ を加算して周期 $T R M 2$ の $P W M$ 信号のオンタイム $P W M_O N$ を算出する。

【 0 1 7 1 】

図 3 1 で示したように $P W M$ 信号のオンタイム $P W M_O N$ を決定することで、ハードウェアの限界により決定される最小デューティ比よりも小さなデューティ比の $P W M$ 信号を生成することができる。なお、この処理は、図 1 5 のステップ $S 1 4 3 \sim S 1 4 5$ の処理に該当するものである。

10

【 0 1 7 2 】

続いて、レギュレーションループ調停処理において決定された $P W M$ 信号のデューティ比が最小デューティ設定値以上、且つ、最大デューティ設定値以下の場合の $P W M$ 信号のオンタイム $P W M$ の決定手順を示すタイミングチャートを図 3 2 に示す。図 3 2 に示すように、この場合、レギュレーションループ調停処理により決定された $P W M$ 信号のデューティ比に基づき生成されるオリジナル $P W M$ 信号は、 $P W M$ 信号のオンタイム $P W M_O N$ が最小デューティ設定値 $M I N_D U T Y$ よりも長く、かつ、最大デューティ設定値よりも短くなる。そのため、モータ駆動制御装置 1 は、繰越オンタイム $C R Y_P W M_O N$ にゼロを設定し、オリジナル $P W M$ 信号と同じオンタイムの $P W M$ 信号を生成する。なお、この処理は、図 1 5 のステップ $S 1 4 6$ の処理に該当するものである。

20

【 0 1 7 3 】

上記説明より、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、コンパレータ積分値 $C M P_I N T G$ に基づきロータの位置検出を行う。そして、ロータの位置検出結果に基づき $P W M$ 信号の状態を遷移させる。ここで、コンパレータ 1 5 は、一般的に、入力オフセット及び入力ノイズ等の誤判定要因を有する。しかし、コンパレータ積分値 $C M P_I N T G$ では、コンパレータ 1 5 において誤判定が生じたとしても、 $P W M$ 信号がオルタネート $P W M$ 方式で生成されることによって交流化された複数の誤判定の成分により誤判定の成分が互いに相殺される。そのため、コンパレータ積分値 $C M P_I N T G$ に基づきロータの位置を検出することで、コンパレータ 1 5 の誤判定要因によらず精度の高いロータの位置検出を行うことができる。特に、モータ 4 が低速で回転している場合、非通電相の電圧変化が緩やかであり、誤判定が生じる頻度が多くなる。しかし、コンパレータ積分値 $C M P_I N T G$ に基づきロータの位置を検出することで、モータ 4 の回転速度が低い場合であっても、ロータの位置検出精度を低下させることがない。このようなことから、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、モータ 4 の回転速度によらず、精度の高いロータ位置検出を行うことが可能であり、モータ 4 に対する制御性を向上させることができる。

30

【 0 1 7 4 】

また、従来のモータ駆動方法では、モータを一回転させる間に利用される複数の状態間の時間差を解消することが難しい問題があった。例えば、従来のモータ駆動方法では、コンパレータを用いてセンタータップ電圧 $C T$ と駆動信号とのゼロクロス、又は、基準電圧と駆動信号とのゼロクロスを検出し、当該検出結果に基づき $P W M$ 信号の状態遷移タイミングを算出していた。例えば、コンパレータを用いてセンタータップ電圧 $C T$ と駆動信号とのゼロクロスを検出した場合、コンパレータの入力オフセット電圧等に起因して奇数番目の状態と偶数番目の状態とでゼロクロスの検出タイミングがずれて、状態間に時間差が生じる。また、コンパレータを用いて基準電圧と駆動信号とのゼロクロスを検出した場合、ステート毎に動的に基準電圧を変化させることでゼロクロスの検出タイミングのずれを解消できるが、この基準電圧の調整には再帰的な挙動を伴うため安定した状態に収束させることが難しい問題がある。状態間の時間差がある場合、相対的に長い状態では平均電力が大きくなり、相対的に短い状態では平均電力が小さくなるという現象が生じる。そして

40

50

、このような現象が発生すると、モータが一回転する間の回転トルク及び回転速度が不安定になり、ビートが発生する問題が発生する問題が生じる。また、状態間の時間差がある場合、最大回転トルク又は最大回転速度が相対的に長い状態で発生するが、相対的に短い状態においては最大回転トルク又は最大回転速度を発生できない。つまり、一回転を通じて最大回転トルク又は最大回転速度を発生できず、一回転を通じて発生される平均最大トルク又は最大回転速度が低下する問題が生じる。

【 0 1 7 5 】

しかし、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、現状態を含む 6 状態の合計値から次状態で利用される移動平均ステート P W M パルス数 $ST_PWM_PLS_AVE$ を算出する。そして、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、ステート P W M パルス数 ST_PWM_PLS が移動平均ステート P W M パルス数 $ST_PWM_PLS_AVE$ に達した場合、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達していなくても P W M 信号を次状態に遷移させる。このように強制的に P W M 信号の状態を遷移させることで、コンパレータ積分値 CMP_INTG がゼロに達するまでの時間がそれ以前の 6 状態の平均値よりも長い場合にも、P W M 信号の状態を遷移させ、状態間の時間差を解消することができる。つまり、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、コンパレータ積分値 CMP_INTG に基づく制御だけでは相対的に長くなる状態の期間を強制的に短くし、それに伴って、コンパレータ積分値 CMP_INTG に基づく制御だけでは相対的に短くなる状態の期間を長くする。このように、状態間の時間差を解消することで、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、モータをより低速まで安定して駆動することが可能になる。また、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、一回転を通じて一定の回転トルク又は回転速度を維持できるため、ビートの発生を防止することができる。さらに、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、状態間の時間差を解消できるため、一回転を通じて最大回転トルク又は最大回転速度を発揮することができる。モータの回転効率を向上させることができる。

【 0 1 7 6 】

また、オルタネート P W M 方式による動作を行うことで、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、コンパレータ 15 の入力オフセット及び入力ノイズがコンパレータ積分値 CMP_INTG に及ぼす影響を低減することができる。これにより、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、モータ 4 が低速で回転している場合における P W M 信号の状態遷移タイミングの精度をさらに向上させることが可能である。なお、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 のオルタネート P W M 方式の動作は、同期整流動作を含み、電力効率を向上させる効果がある。

【 0 1 7 7 】

また、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、P W M 信号のデューティ比がハードウェア上の最大デューティ比又は最小デューティ比を超えたものであったとしても、複数の周期の P W M 信号を利用して一つのパルスを生成する。これにより、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、ハードウェア上の最大デューティ比又は最小デューティ比の制限を超えたデューティ比の P W M 信号を生成することができる。また、P W M 信号のデューティ比の設定範囲が広いことから、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は従来の一般的なモータ制御装置よりもモータ 4 の制御範囲を拡大することができる。

【 0 1 7 8 】

また、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、ロータのスタッキングを防止することができる。スタッキングは、ロータの加速量が高すぎると、ロータの回転速度が速度制御を超えてオーバーシュートしロータ回転とステー

タ回転磁界の位相差が 180° となる状態で発生する。 180° 位相差を持つ信号が利得1以上で負帰還すると異常発振（ロータスタック）の原因となる。減速時も同様である。しかし、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、図11のステップS101で示したように、現在の回転速度に係数を乗じて得られた最大許容加速度又は最大許容減速度に応じて速度誤差の負帰還量を制限する。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、加速度又は減速度を一定に制限する。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、加速度/減速度を制限することで、負帰還量を制限し、制御速度から回転速度のオーバーシュート/アンダーシュートを防ぐことができる。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、ロータがスタックする原因を除去し、ロータのスタッキングを防止することができる。

10

【0179】

さらに、また、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、ロータのスタッキングに伴うモータの唸りを防止することができる。スタッキング発生後の唸り音防止は、速度制御ループによって実施される。スタッキング発生中は、本来の回転速度範囲を超えて回転磁界が発生する（ステータが短時間で高速に変化する）。この時、速度制御ループは、PWMデューティを低下させる事で回転速度を低下させようとし（ロータが無損失で回転している事と等価なので、実際にはスタッキング中の回転磁界の回転速度は低下しない）、結果としてPWMデューティが限りなくゼロに近づき、駆動電力が低下し唸り音が低下する結果となる。

20

【0180】

また、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、スタックロータ検出設定値よりも6ステータ合計PWMパルス数 $TTL_ST_PWM_PLS$ が小さくなったことに応じて、スタッキングが発生したことを検出する。そして、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、モータ4のスタッキングが検出された場合は、再度初期状態から制御を再開することができる（図3のステップS7）。これにより、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、モータ4をスタッキング状態から脱出させることができる。

【0181】

また、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、タイマ割り込みのみ（上記説明では、BEMFタイマ割り込みと周期タイマ割り込み）でPWM信号のオンステータとオフステータ切り換え及びPWM信号の周期の切り換えを行う。より具体的には、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、PWM信号の周期を次周期に移行させる周期タイマ割り込みの発生に応じて、次周期のPWM信号のデューティ比の決定と、状態を遷移させるか否かについて判断する。また、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、BEMFタイマ割り込みに応じて、コンパレータ15の出力信号 CMP_OUT の値のサンプリング及びPWM信号のオンステータからオフステータへの切り換えを行う。このように、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、割り込み要因をタイマ割り込みだけとすることで、演算コア10に要求される演算能力の小さくすることができる。つまり、演算能力の高い演算コアを必要としないため、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1は、より多くのマイクロコンピュータにおいて実行又は実現することができる。

30

40

【0182】

さらに、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、BEMFタイマ割り込みに応じてコンパレータ15の出力信号 CMP_OUT をサンプリングする。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、常に、PWM信号のオンステータに最も近い時点においてコンパレータ15の出力信号 CMP_OUT をサンプリングすることができる。一般的に、PWM信号

50

のオンステートの終期が最もセンタータップ電圧CT及び比較対象検出信号SPの値が安定する時点であり、このタイミングでコンパレータ15の出力信号CMP__OUTをサンプリングすることで、より精度の高いゼロクロス検出を行うことが可能である。

【0183】

ここで、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、BEMFタイマ割り込みに応じてコンパレータ15の出力信号CMP__OUTをサンプリングするが、これは、PWMデモジュレーション処理の動作に相当する。このように、PWMデモジュレーション処理によりコンパレータ15の出力信号CMP__OUTをサンプリングすることで、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、PWM信号のパルスをデジタルサンプリングによるバンドノッチフィルタリングしているためアナログフィルタを必要としない。これは、BEMFタイマ割り込みが発生するタイミングは、PWM信号のオンステートの終期の直前であるため、PWM信号のオフステートで生成されるパルスの影響がサンプリングする値に影響を与えないためである。このようなことから、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1によれば、PWM信号のパルスをフィルタリングするアナログフィルタ等を設ける必要がないため、回路設計の容易化、実装面積の小面積化を実現することができる。

10

【0184】

また、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、セクタ14により3つの駆動信号のうち非通電相となる駆動信号を比較対象駆動信号SPとして選択し、1つのコンパレータにより比較対象駆動信号SPとセンタータップ電圧CTとの比較処理を行う。つまり、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1では、3相の駆動信号に対する比較動作においてチャンネル間誤差が生じない。このようなことから、実施の形態1にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置1によれば、比較対象駆動信号SPとセンタータップ電圧CTとの比較精度を高めることができる。

20

【0185】

また、従来のモータの制御方法では、PWM信号のオンステートからオフステートへの切り換えは、駆動電流のモニタ結果に応じて行われる。例えば、従来のモータの制御方法では、駆動電流が基準電流値を超えたことに応じてPWM信号をオンステートからオフステートに移行させる。このとき、一般的な制御ループでは、駆動電流をモニタした後、そのモニタ結果が出力に反映されるまでの間に所定の遅延時間が発生する。そして、PWM生成を行う場合、この遅延時間により、PWM信号の最小デューティ比が決定される。

30

【0186】

ここで、定電流駆動制御を行う場合は、負荷トルクが重くなった場合パルス入力電流を一定に維持しながら平均入力電流を減少させます。このとき、平均出力駆動電流は一定であるためロータの永久磁石が減磁される可能性を防止できます。また、負荷の静止トルクが一定の駆動電流で賄える駆動トルクよりも重い場合、モータ4を回転始動させることは出来ません。また、ロータが機械的に拘束された場合、最小デューティ比よりも短いパルス幅の電流を作ることが出来ない場合、電流制限が機能しなくなる問題が生じます。電流制限が機能しない場合、パワーMOSFETが焼損する原因となります。また、この状態が継続された場合、ロータの温度上昇により永久磁石が減磁される問題があります。

40

【0187】

また、駆動電流のモニタ結果に基づきPWM信号をオフステートとする場合、電流制限によるパワーMOSFETのターンオフタイミングがいつ発生するかが負荷状態により変化する。そのため、非通電相の駆動信号の電圧値をいつのタイミングでサンプリングするのかが不確定となるもう一つ問題点が生じる。結果として定電流駆動制御がアクティブとなったとたん、センサレス回転制御を継続させることが出来なくなり、モータ4の回転が検出できなかった場合、一旦駆動を停止させて時間を置いて再起動させるシーケンスが必要となります。

50

【 0 1 8 8 】

一方、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 における定電流駆動制御では、負荷トルクが重くなった時にパルス入力電流が増加しますが平均入力電流を一定に維持することが可能です。そして、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、平均出力駆動電流を増加させて定電力でモータ 4 を回転させる。これにより、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 では、重い静止トルクが負荷となった場合であってもロータを回転させることが可能になる。

【 0 1 8 9 】

また、モータ 4 が機械的に拘束され最小デューティ比よりも短いパルス幅の電流が要求された時、実施の形態 1 にかかるモータ駆動制御プログラム及びモータ駆動制御装置 1 は、PWM プリモジュレータが 0% デューティのスキップパルスを挿入することにより、結果として平均入力電流が一定に保持される様に制御を行う。これにより、パワー MOS FET が焼損される可能性を防ぐことができる。

【 0 1 9 0 】

また、PWM デモジュレータ 2 1 が PWM モジュレータ 2 2 を駆動する設計では、パワー MOS FET を何時ターンオフさせるかが確定的である為、定電流駆動制御がアクティブとなった状態においても非通電相の駆動信号の電圧を適切なタイミングでサンプリングさせることが可能であり、回転を継続させることが出来ます。

【 0 1 9 1 】

実施の形態 2

実施の形態 2 では、実施の形態 1 で説明したオルタネート PWM 方式の動作の変形例について説明する。そこで、実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御プログラムが生成する PWM 信号に基づくオルタネート PWM 方式の動作を説明するための図を図 3 3 ~ 図 3 8 に示す。なお、図 3 3 ~ 図 3 8 は、図 1 7 ~ 図 2 2 の回路図に対応するものであり、図 3 3 ~ 図 3 8 において図 1 7 ~ 図 2 2 に対応するものについては同じ符号を付して説明を省略する。

【 0 1 9 2 】

図 3 3 は、実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 0 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。図 3 3 に示すように、実施の形態 2 では、状態 0 のハイサイドオフステートにおいてローサイドトランジスタ NU、NV に加えてローサイドトランジスタ NW をオンさせる。また、実施の形態 2 では、状態 0 のローサイドオフステートにおいてハイサイドトランジスタ PU、PV に加えてハイサイドトランジスタ PW をオンさせる。

【 0 1 9 3 】

図 3 4 は、実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 1 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。図 3 4 に示すように、実施の形態 2 では、状態 1 のハイサイドオフステートにおいてローサイドトランジスタ NU、NW に加えてローサイドトランジスタ NV をオンさせる。また、実施の形態 2 では、状態 1 のローサイドオフステートにおいてハイサイドトランジスタ PU、PW に加えてハイサイドトランジスタ PV をオンさせる。

【 0 1 9 4 】

図 3 5 は、実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 2 におけるオルタネート PWM 方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。図 3 5 に示すように、実施の形態 2 では、状態 2 のハイサイドオフステートにおいてローサイドトランジスタ NV、NW に加えてローサイドトランジスタ NU をオンさせる。また、実施の形態 2 では、状態 2 のローサイドオフステートにおいてハイサイドトランジスタ PV、PW に加えてハイサイドトランジスタ PU をオンさせる。

【 0 1 9 5 】

図 3 6 は、実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御装置の状態 3 におけるオルタネート P

10

20

30

40

50

WM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。図36に示すように、実施の形態2では、状態3のハイサイドオフステートにおいてローサイドトランジスタNV、NUに加えてローサイドトランジスタNWをオンさせる。また、実施の形態2では、状態3のローサイドオフステートにおいてハイサイドトランジスタPV、PUに加えてハイサイドトランジスタPWをオンさせる。

【0196】

図37は、実施の形態2にかかるモータ駆動制御装置の状態4におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。図37に示すように、実施の形態2では、状態4のハイサイドオフステートにおいてローサイドトランジスタNW、NUに加えてローサイドトランジスタNVをオンさせる。また、実施の形態2では、状態4のローサイドオフステートにおいてハイサイドトランジスタPW、PUに加えてハイサイドトランジスタPVをオンさせる。

10

【0197】

図38は、実施の形態2にかかるモータ駆動制御装置の状態5におけるオルタネートPWM方式の動作を説明するためのドライバ回路のブロック図である。図37に示すように、実施の形態2では、状態5のハイサイドオフステートにおいてローサイドトランジスタNV、NWに加えてローサイドトランジスタNUをオンさせる。また、実施の形態2では、状態5のローサイドオフステートにおいてハイサイドトランジスタPV、PWに加えてハイサイドトランジスタPUをオンさせる。

【0198】

20

このようなオルタネートPWM方式の動作を行うことで、実施の形態1では、オフ状態であった非通電相に対応した駆動段回路のトランジスタのボディダイオードで消費されたフライバック電流を、オン状態のトランジスタにおいて消費することが可能になる。このような動作は、ロータに対する回生ブレーキとして機能する。そこで、回生ブレーキ動作の有無による入出力特性を比較するグラフを図39に示す。図39に示すように、回生ブレーキ動作を行った場合、入力される電力が小さい場合の回転速度が回生ブレーキ動作を行わない場合に比べて低くなっていることがわかる。また、入力電力の範囲が同じである場合、モータ4の回転速度の制御範囲が回生ブレーキ動作を行った場合の方が広がっていることがわかる。

【0199】

30

ここで、回生ブレーキ動作を伴うオルタネートPWM方式の動作を行った場合のPWM信号について説明する。そこで、実施の形態2にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が50%のPWM信号を生成した場合の状態0の駆動信号及びセンタータップ電圧を説明するタイミングチャートを図40に示す。図40に示すように、回生ブレーキ動作を行う場合、状態0において非通電相となるW相の駆動信号に対応するPWM信号WH、WLにもパルスを与える。より具体的には、PWM信号WHは、ローサイドオフステートの期間においてローレベルとなり、その他の期間はハイレベルを維持する。また、PWM信号WLは、ハイサイドオフステートの期間においてハイレベルとなり、その他の期間はローレベルを維持する。これにより、ハイサイドオフステート期間とローサイドオフステート期間において回生ブレーキ動作が行われる。

40

【0200】

続いて、実施の形態2にかかるモータ駆動制御装置においてデューティ比が50%のPWM信号を生成した場合の状態0～状態5の駆動信号及びセンタータップ電圧の動作を説明するタイミングチャートを図41に示す。図41に示すように、状態1～状態5においても状態0と同様に非通電相となる駆動信号に対応するPWM信号に回生ブレーキ動作のためのパルスが与えられる。

【0201】

上記説明より、実施の形態2にかかるモータ駆動制御プログラムによれば、ハイサイドオフステート期間においてローサイドトランジスタをすべてオンさせ、ローサイドオフステート期間においてハイサイドトランジスタをすべてオンさせる。これにより、実施の形

50

態 2 にかかるモータ駆動制御プログラムは、ハイサイドオフステート期間とローサイドオフステート期間において回生ブレーキ動作を行う。そして、この回生ブレーキ動作により、モータ 4 の回転速度が抑制されるため、同じ入力電力に対してより低い回転速度でモータ 4 を回転させることができる。このとき、回生ブレーキの効力は、P W M 信号のデューティ比が小さいほど大きくなる。つまり、回生ブレーキ動作を行うことで、モータ 4 の回転速度は、低速側においてより低回転になり、高速側では回生ブレーキ動作がない場合と同等となる。従って、実施の形態 2 にかかるモータ駆動制御プログラムによれば、同じ入力電力の範囲に対して、モータ 4 の回転速度の制御範囲を広げることができる。

【 0 2 0 2 】

なお、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、本願発明は、別の観点から以下の発明を含む。

【 0 2 0 3 】

(付 記 1)

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる演算コアと、
ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、
前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した比較対象検出信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、
前記 P W M 信号の現状態の前記 P W M 信号のパルス数をカウントした P W M 信号カウント数が、前記モータを一回転させる間に遷移した各状態における前記 P W M 信号の平均パルス数を示す平均 P W M 信号パルス数に達したことに応じて前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、

当該検出結果に応じて、前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させるモータの駆動制御プログラム。

【 0 2 0 4 】

(付 記 2)

前記コンパレータの出力が前記比較対象検出信号よりも前記センタータップ電圧の方が低いことを示す場合はコンパレータ積分値をカウントアップし、前記コンパレータの出力が前記比較対象検出信号よりも前記センタータップ電圧の方が高いことを示す場合はコンパレータ積分値をカウントダウンし、

前記 P W M 信号の現状態の前記 P W M 信号のパルス数をカウントした P W M 信号カウント数が、前記平均 P W M 信号パルス数に達する前に、前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達した場合、前記コンパレータ積分値に基づき前記モータの回転位置が遷移したことを検出し、

当該検出結果に応じて、前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させる付記 1 に記載のモータの駆動制御プログラム。

【 0 2 0 5 】

(付 記 3)

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる演算コアと、
ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、
前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した比較対象検出信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、
前記ドライバに流れる駆動電流と電流指示値との間の誤差を示す電流誤差又は前記モータの回転速度と回転速度指示値との間の誤差を示す回転誤差から前記 P W M 信号のデューティ比を算出し、

前記デューティ比から計算される前記 P W M 信号のパルス幅が最小パルス幅を下回った場合、複数の周期の前記 P W M 信号のオン期間を合算して 1 つのオンパルスを生成し、最大パルス幅を超えた場合、複数の周期の前記 P W M 信号のオフ期間を合算して 1 つのオフパルスを生成するモータの駆動制御プログラム。

【 0 2 0 6 】

(付 記 4)

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる演算コアと、
ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、
前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した比較
対象検出信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有する
プロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、
前記モータの回転速度と回転速度指示値との間の誤差を示す回転誤差が予め設定される
最大許容加速度を超えた場合、前記回転誤差として前記最大許容加速度とし、
前記回転誤差が予め設定される最大許容減速度よりも小さくなった場合、前記回転誤差
として前記最大許容減速度とし、
前記回転誤差に基づき前記 P W M 信号のデューティ比を算出し、
当該デューティ比を有する前記 P W M 信号を生成するモータの駆動制御プログラム。

10

【 0 2 0 7 】

(付 記 5)

モータの回転位置に応じて生成する P W M 信号の状態を遷移させる演算コアと、
ドライバ回路を介して前記 P W M 信号をモータに出力する出力インタフェースと、
前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した比較
対象検出信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有する
プロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、
前記モータを一回転させる期間に用いられる複数の状態の前記 P W M 信号のパルス数を
示す合計 P W M 信号パルス数が予め設定されたロータスタック検出値よりも小さくなった
ことに応じて前記モータの停止状態を検出するモータの駆動制御プログラム。

20

【 0 2 0 8 】

(付 記 6)

前記ロータスタック検出値は、前記モータに対して規定される最高回転速度で前記モータ
が一回転する期間に生成される前記 P W M 信号のパルス数が設定される付記 5 に記載の
モータ駆動制御プログラム。

【 0 2 0 9 】

(付 記 7)

電源配線と接地配線との間にハイサイドトランジスタとローサイドトランジスタとが直
列に接続される 3 組の駆動段回路を有し、選択された 2 組の前記駆動段回路の前記ハイサ
イドトランジスタと前記ローサイドトランジスタとが排他的に導通状態に制御されるドラ
イバ回路に対して P W M 信号を出力し、モータの回転位置に応じて前記 P W M 信号の状態
を遷移させる演算コアと、

前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号のうち非選択の前
記駆動段回路が出力する比較対象検出信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較す
るコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動
制御プログラムであって、

前記 P W M 信号により、

40

前記 3 組の駆動段回路のうちの 1 組の駆動段回路のハイサイドトランジスタを導通状態
とし、前記 3 組の駆動段回路の他の 1 組の駆動段回路のローサイドトランジスタを導通状
態とするオンステートと、

前記オンステートにおいてハイサイドトランジスタが導通状態される駆動段回路のロー
サイドトランジスタを導通状態とし、前記他の 1 組の駆動段回路のローサイドトランジスタ
を導通状態とするハイサイドオフステートと、

前記 1 組の駆動段回路のハイサイドトランジスタを導通状態とし、前記オンステートに
おいてローサイドトランジスタが導通状態される駆動段回路のローサイドトランジスタを
導通状態とするローサイドオフステートと、に制御し、

前記ハイサイドオフステートと前記ローサイドオフステートとを前記 P W M 信号の生成

50

サイクル毎に切り換えるモータの駆動制御プログラム。

【0210】

(付記8)

前記PWM信号を、

前記ハイサイドオフステート駆動において、前記オンステートにおいてハイサイドトランジスタとローサイドトランジスタとがいずれもオフ状態とされる駆動段回路のローサイドトランジスタを導通状態とし、

前記ローサイドオフステート駆動において、前記オンステートにおいてハイサイドトランジスタとローサイドトランジスタとがいずれもオフ状態とされる駆動段回路のハイサイドトランジスタを導通状態とするように生成する付記7のモータの駆動制御プログラム。

10

【0211】

(付記9)

前記電源配線と前記接地配線との間にハイサイドトランジスタとローサイドトランジスタとが直列に接続され、ハイサイドトランジスタとローサイドトランジスタとが排他的に導通状態に制御される3組の駆動段回路を有するドライバ回路にPWM信号を出力し、モータの回転位置に応じて前記PWM信号の状態を遷移させる演算コアと、

前記ドライバ回路が前記PWM信号に基づき生成した3相の駆動信号から選択した1相の駆動信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、

前記PWM信号により、ドライバ回路を、前記モータに電流が供給されるオンステートと、前記モータへの前記電流の供給を停止するオフステートと、に制御し、

20

前記PWM信号は、前記オフステートにおいて接地配線を介して前記モータに流れる電流を循環させるハイサイドオフステート駆動と、電源配線を介して前記モータに流れる電流を循環させるローサイドオフステート駆動と、を前記PWM信号の生成サイクル毎に切り換えるモータの駆動制御プログラム。

【0212】

(付記10)

モータの回転位置に応じて生成するPWM信号の状態を遷移させる演算コアと、

ドライバ回路を介して前記PWM信号をモータに出力する出力インタフェースと、

前記ドライバ回路が前記PWM信号に基づき生成した3相の駆動信号から選択した比較対象検出信号と前記モータのセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、

30

第1、第2の設定値に応じて第1、第2のタイマ割り込み要求を前記演算コアに出力するタイマと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、

前記モータの回転状態に応じて算出される前記PWM信号のオンタイム期間に対応する値により、前記第1の設定値を更新し、

前記第1の設定値に基づき生成された第1のタイマ割り込み要求に応じて前記PWM信号を前記モータへの駆動電流の供給を指示するオンステートから前記モータへの駆動電流の停止を指示するオフステートに移行させ、

前記第2の設定値に応じて前記PWM信号を前記オフステートから前記オンステートに移行させるモータの駆動制御プログラム。

40

【0213】

(付記11)

前記PWM信号のオンタイム期間が前記PWM信号の一周期の時間よりも長い場合、前記演算コアは、前記PWM信号をオンステートに維持する付記10に記載のモータの駆動制御プログラム。

【0214】

(付記12)

モータの回転位置に応じて生成するPWM信号の状態を遷移させる演算コアと、

ドライバ回路を介して前記PWM信号をモータに出力する出力インタフェースと、

50

前記ドライバ回路が前記 P W M 信号に基づき生成した 3 相の駆動信号から選択した比較対象検出信号と前記 3 相の駆動信号の midpoint 電圧を示すセンタータップ電圧とを比較するコンパレータと、を有するプロセッサにおいて前記演算コアで実行されるモータの駆動制御プログラムであって、

前記コンパレータの出力信号の値に応じてコンパレータ積分値を増減し、

前記 P W M 信号の一状態が継続する最大期間を規定するタイムアウト検出期間中に前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達した場合は、前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させ、前記タイムアウト検出期間中に前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達しなかった場合は、前記タイムアウト検出期間の経過に応じて前記 P W M 信号の状態を次状態に遷移させ、

10

前記モータを駆動する駆動電流の初期値をゼロとし、

前記 P W M 信号の状態を遷移させる毎に前記駆動電流を徐々に増加させ、

前記コンパレータ積分値がカウント初期値に達したことに応じて前記 P W M 信号の状態の遷移が 6 回連続して生じたことに応じて前記モータが有効な回転状態となったと判定するモータ駆動制御プログラム。

【 0 2 1 5 】

(付 記 1 3)

前記モータ駆動制御プログラムは、さらに、

状態遷移後に生成される前記 P W M 信号のパルス数が前記フライバックパルスフィルタ継続パルス数に達するまでの期間に前記コンパレータの出力信号の値によらず、前記コンパレータ積分値を単調増加又は単調減少させるフライバックパルスフィルタ処理を行い。

20

前記モータが有効な回転状態となる前の前記フライバックパルスフィルタ継続パルス数を、前記モータが有効な回転状態となった後よりも小さく設定する付記 1 2 に記載のモータ駆動制御プログラム。

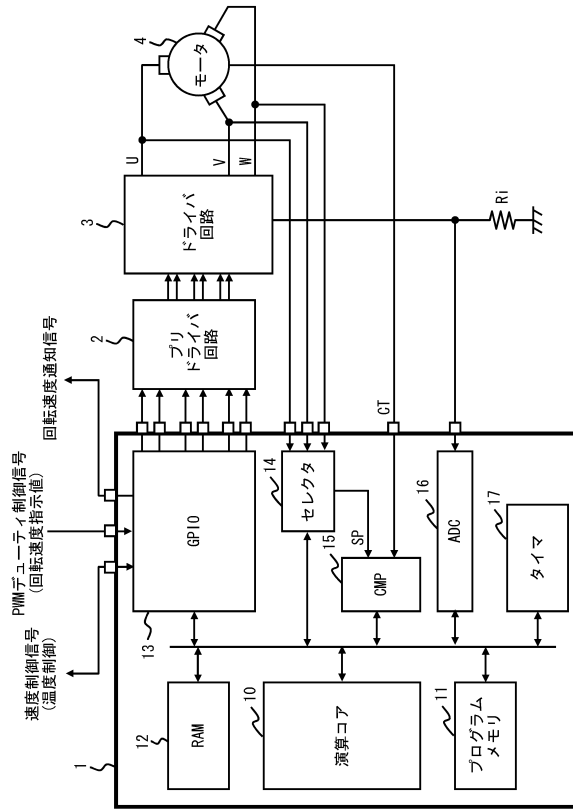
【 符号の説明 】

【 0 2 1 6 】

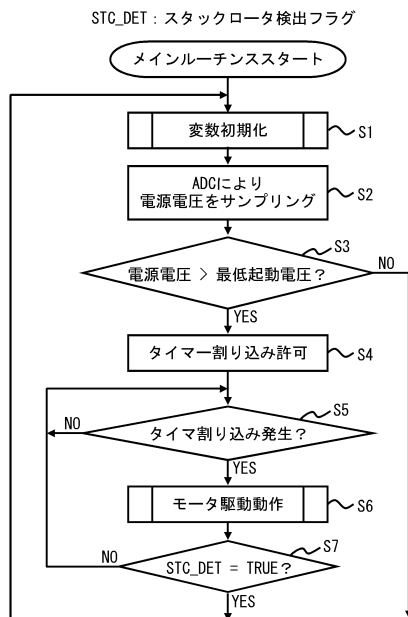
N U、N V、V W：ローサイドトランジスタ、P U、P V、P W：ハイサイドトランジスタ、R i：電流検出抵抗、S P：比較対象検出信号、1：モータ駆動制御装置、2：プリドライバ回路、3：ドライバ回路、4：モータ、1 0：演算コア、1 0：演算コア、1 1：プログラムメモリ、1 2：R A M、1 3：出力インタフェース、1 4：セレクタ、1 5：コンパレータ、1 6：アナログデジタル変換器、1 7：タイマ、2 1：P W M デモジュレータ、2 2：P W M モジュレータ、2 3：定電流駆動制御部、2 4：ロータ位置検出部、2 5：回転制御部、2 6：回転速度制御部、2 7：P W M デューティ制御部

30

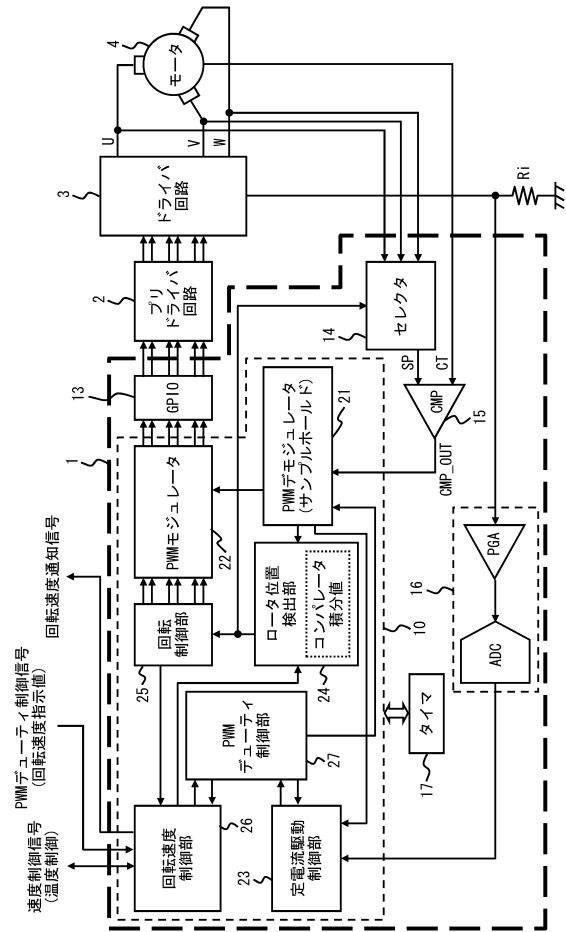
【図 1】



【図 3】

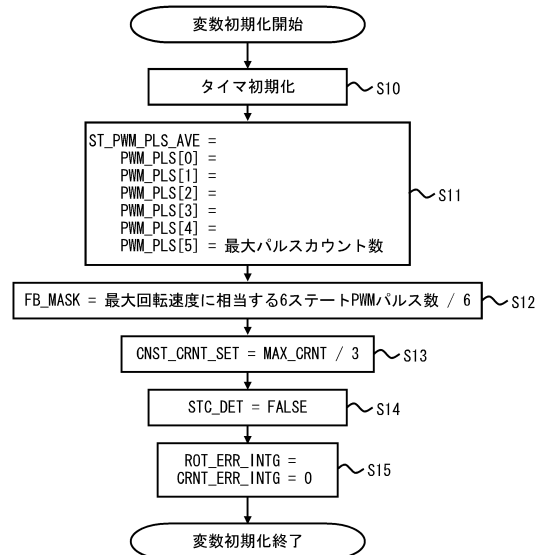


【図 2】

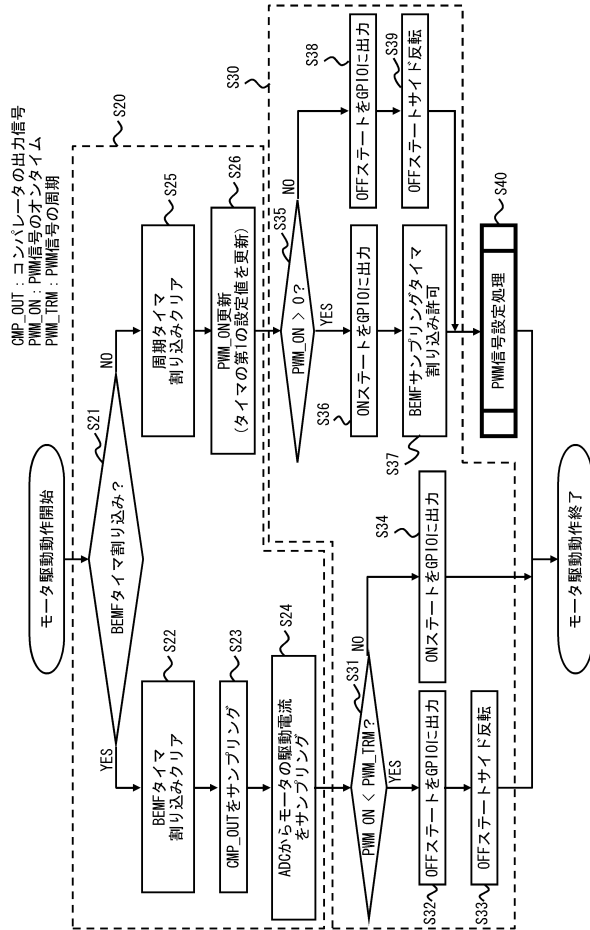


【図 4】

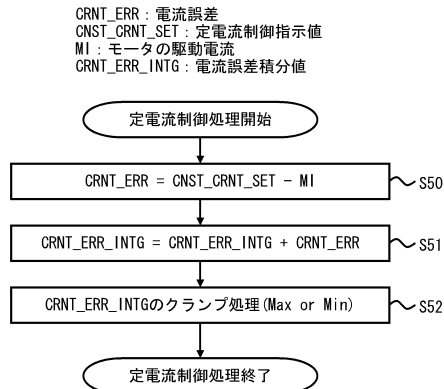
ST_PWM_PLS_AVE : 移動平均ステートPWMパルス数
 PWM_PLS[ST_CNT]=PWMパルス数[スタートカウント値]
 CNST_CRNT_SET : 定電流制御指示値
 FB_MASK : フライバックパルス継続PWMパルス数
 MAX_CRNT : 最大電流値
 STC_DET : スタックロータ検出フラグ
 ROT_ERR_INTG : 回転速度誤差積分値
 CRNT_ERR_INTG : 電流誤差積分値



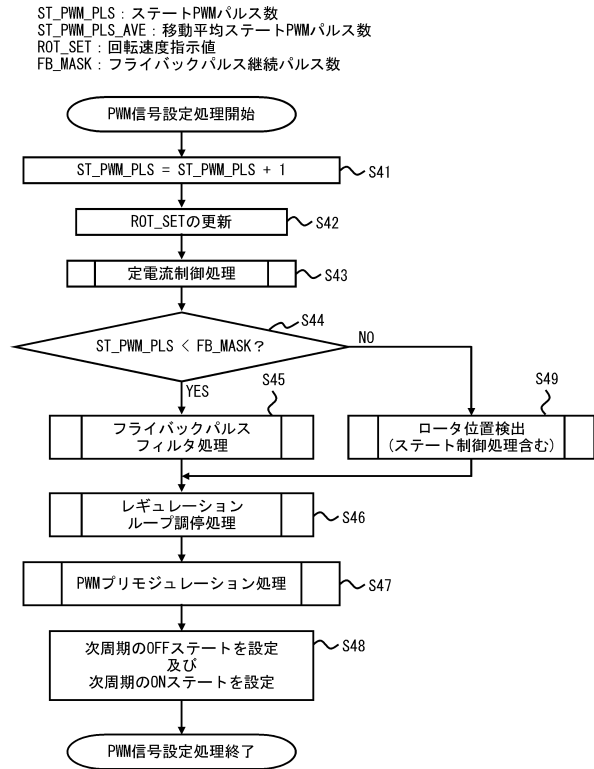
【図5】



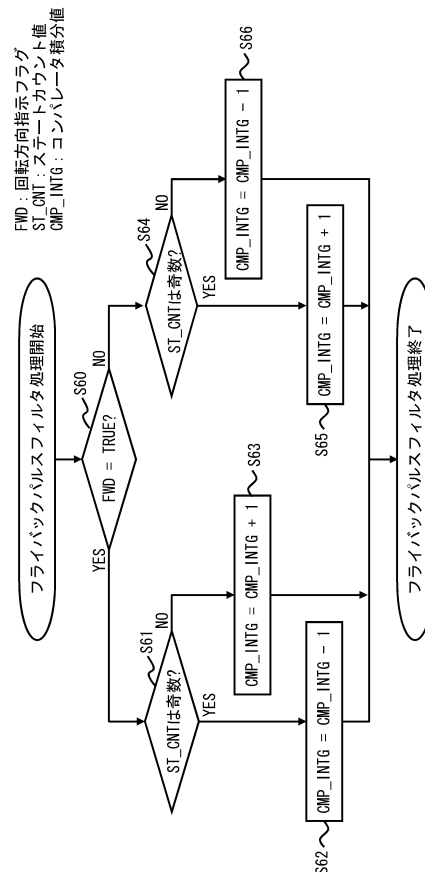
【図7】



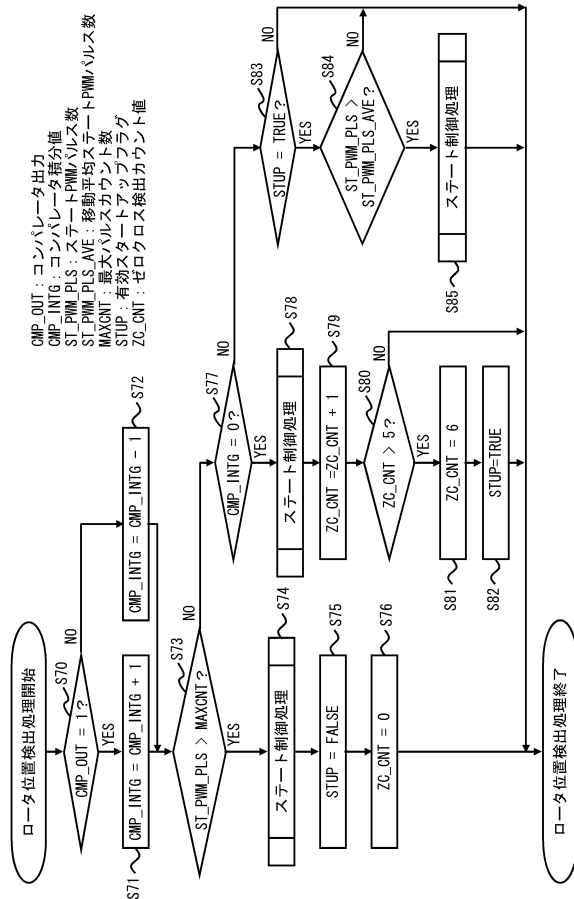
【図6】



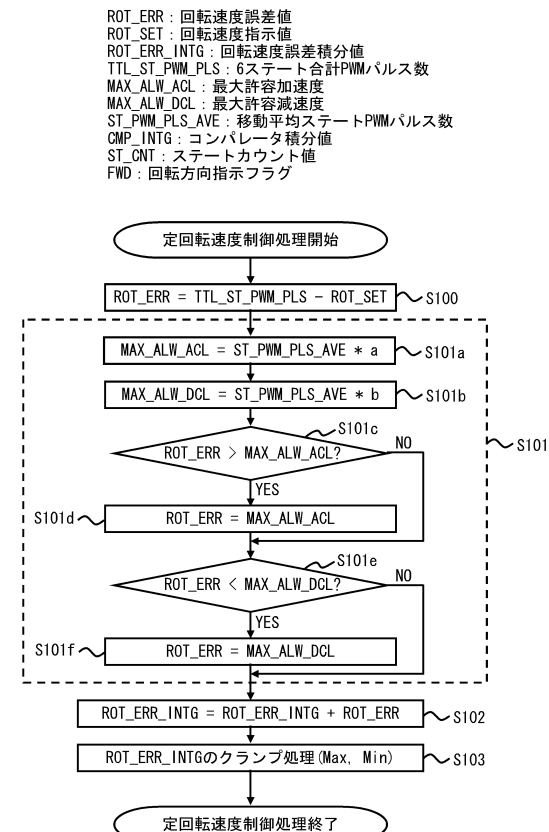
【図8】



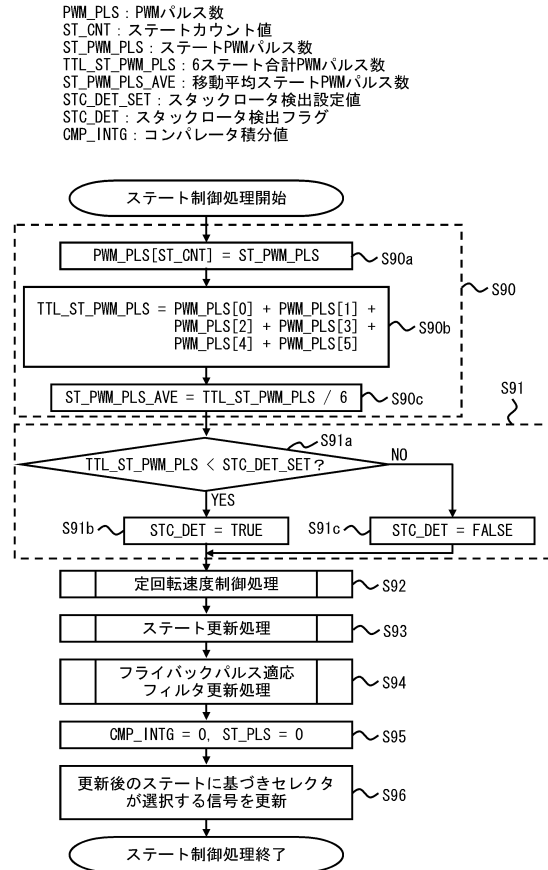
【図 9】



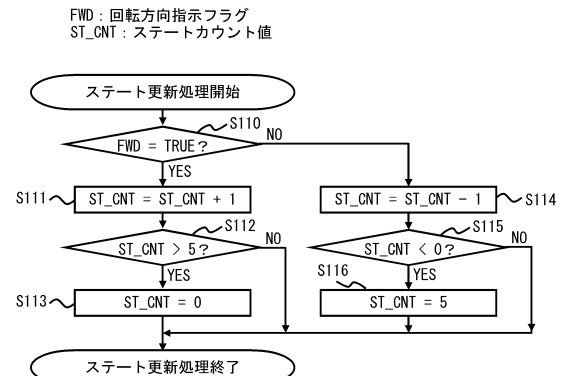
【図 11】



【図 10】

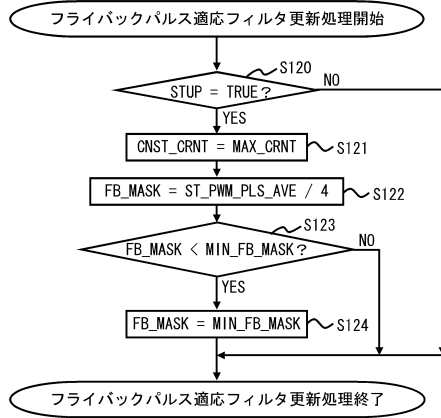


【図 12】



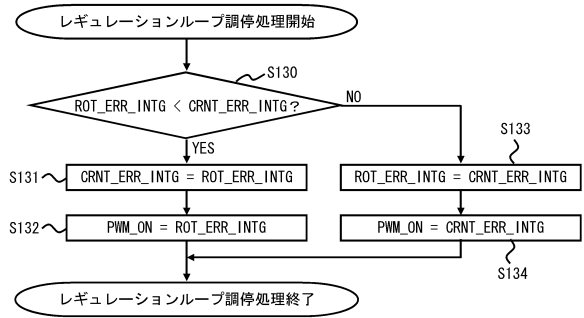
【図 13】

STUP : 有効スタートアップフラグ
 CNST_CRNT_SET : 定電流制御指示値
 MAX_CRNT : 最大電流値
 FB_MASK : フライバックパルス継続PWMパルス数
 ST_PWM_PLS_AVE : 移動平均ステートPWMパルス数
 MIN_FB_MASK : フライバックパルス継続PWMパルス数の最低値



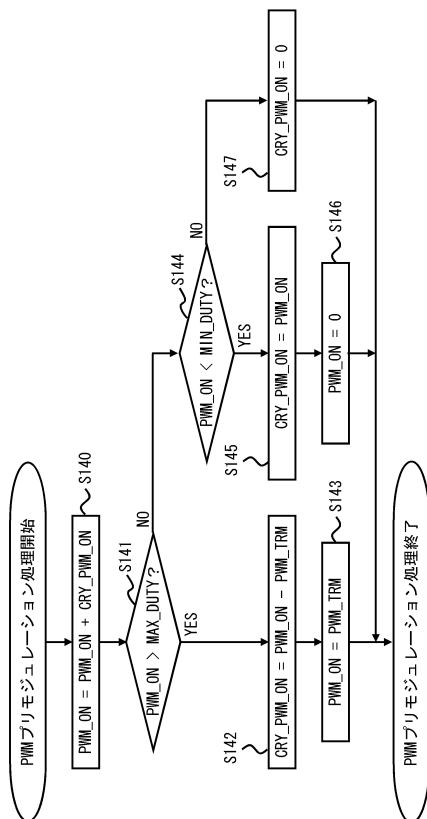
【図 14】

ROT_ERR_INTG : 回転速度誤差積分値
 CRNT_ERR_INTG : 電流誤差積分値
 PWM_ON : PWM信号のオンタイム

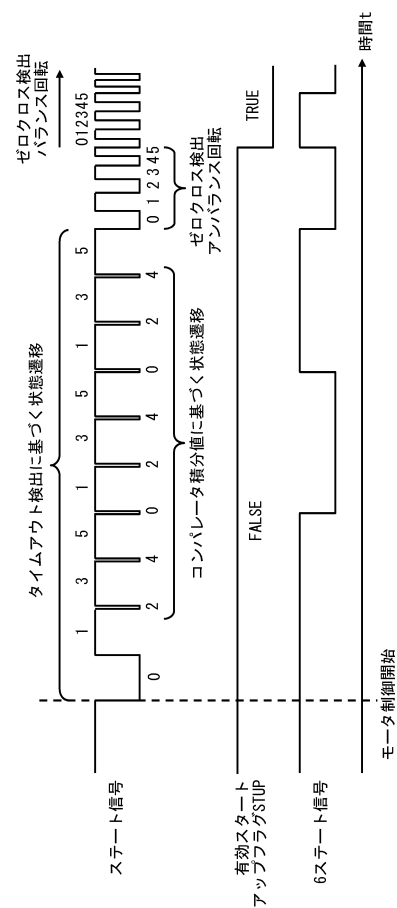


【図 15】

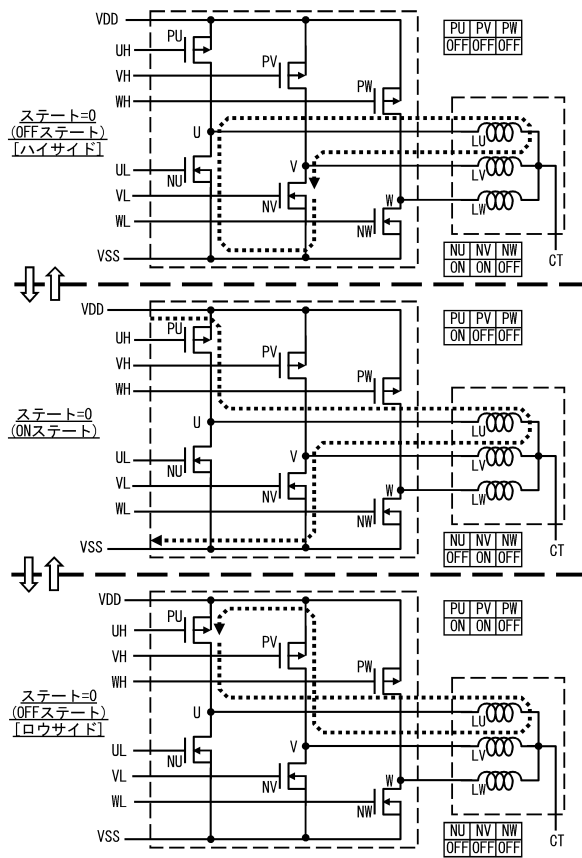
CRY_PWM_ON : 継続PWMオンタイム
 PWM_ON : PWM信号のオンタイム
 PWM_TRM : PWM信号の周期
 MAX_DUTY : 最大デューティ設定値
 MIN_DUTY : 最小デューティ設定値



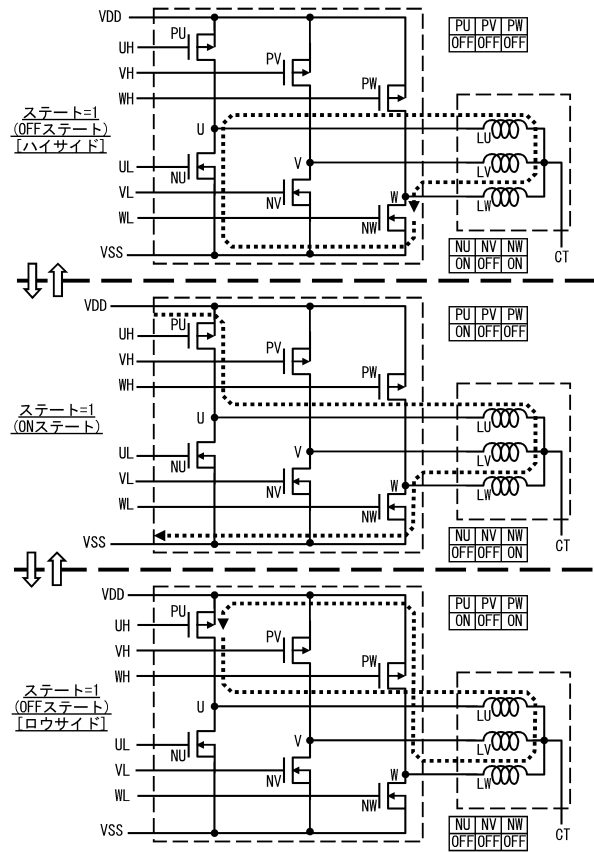
【図 16】



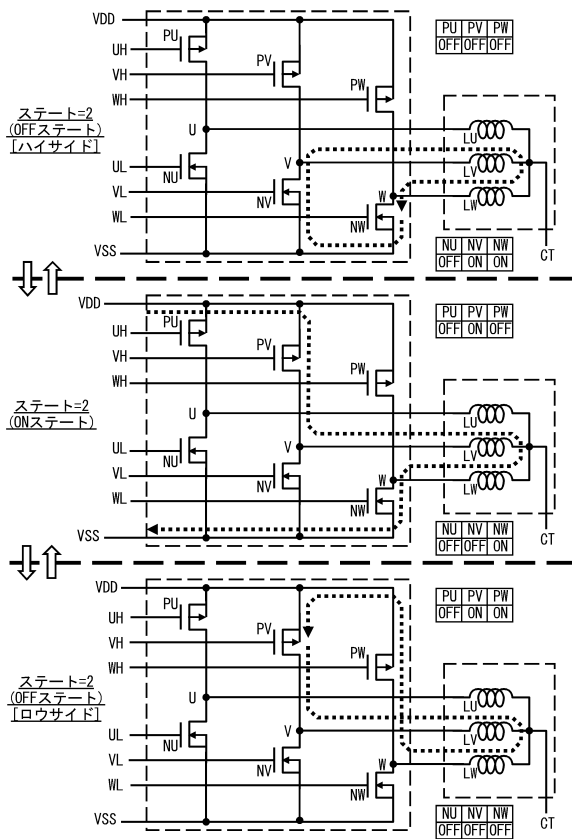
【図 17】



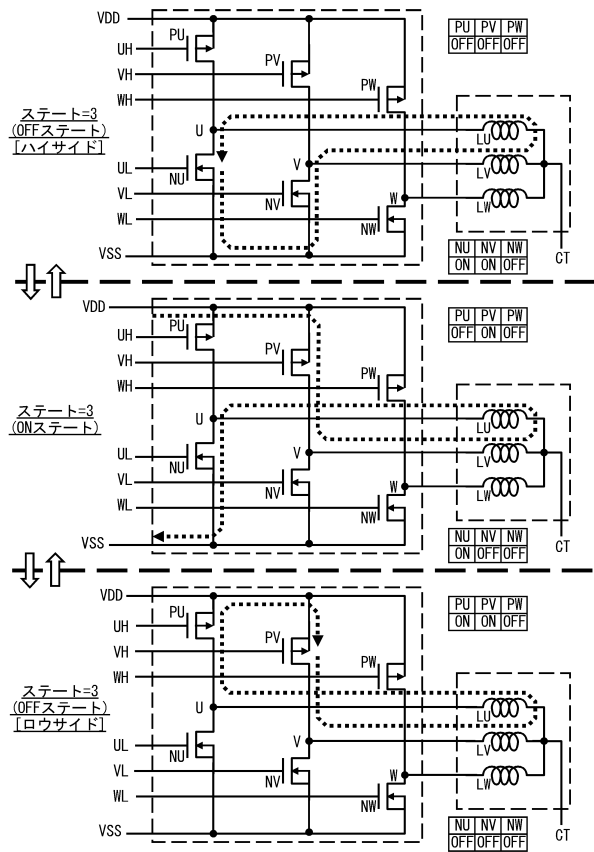
【図 18】



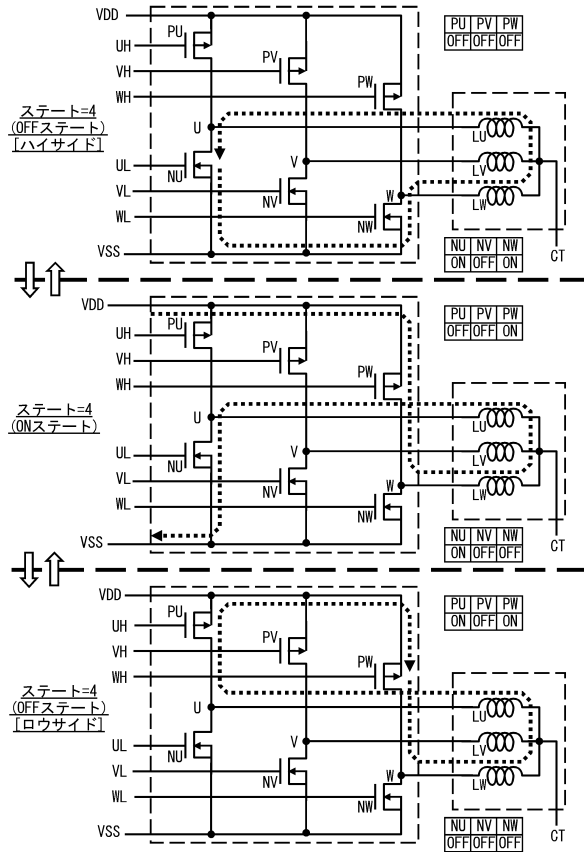
【図 19】



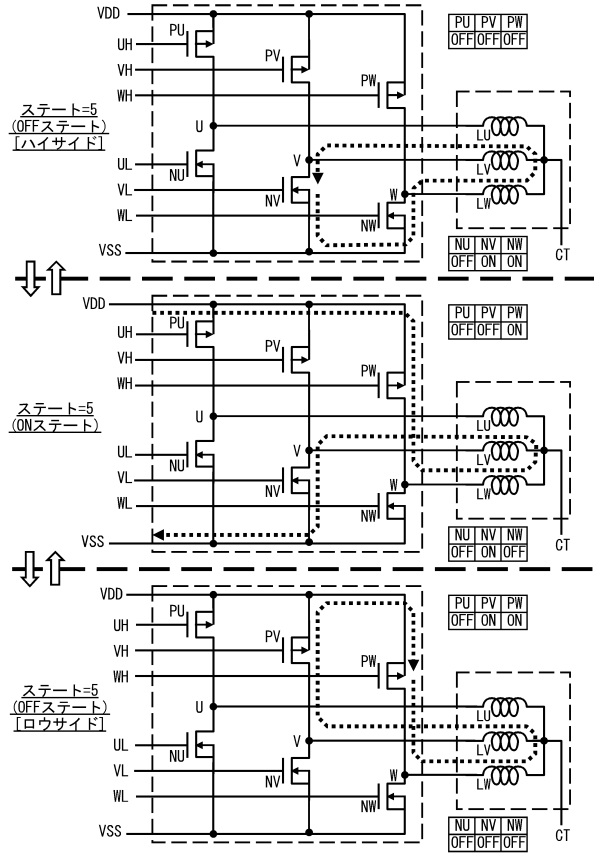
【図 20】



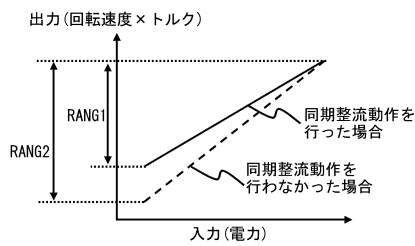
【図 2 1】



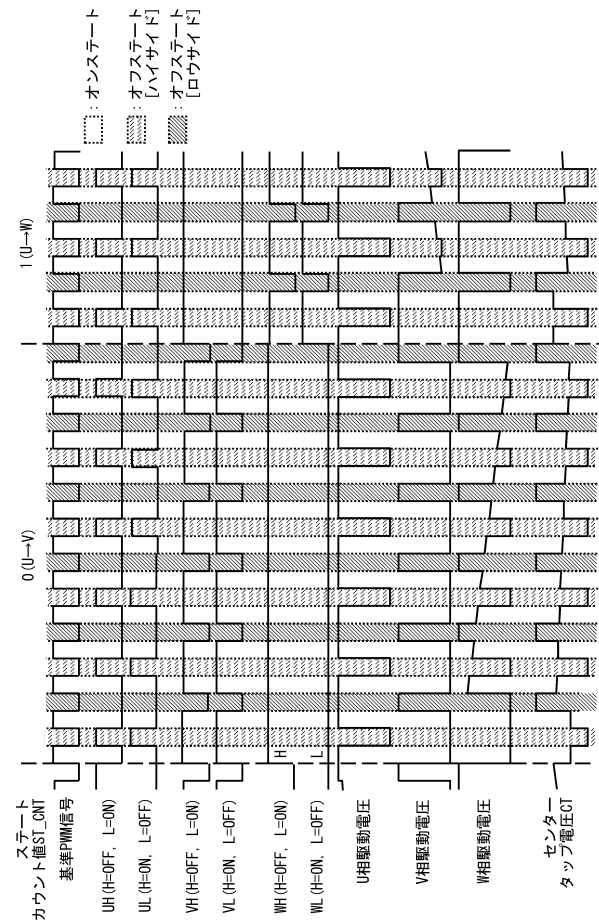
【図 2 2】



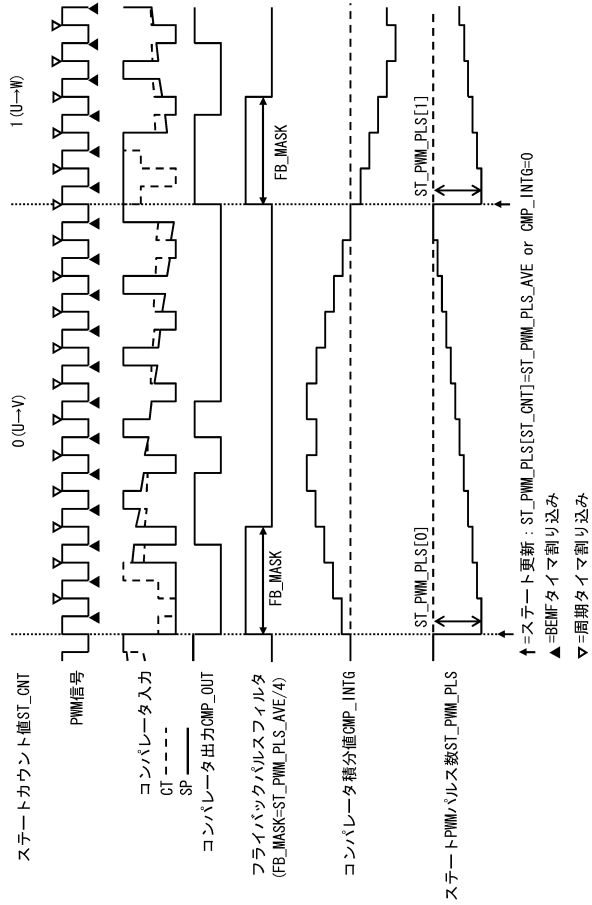
【図 2 3】



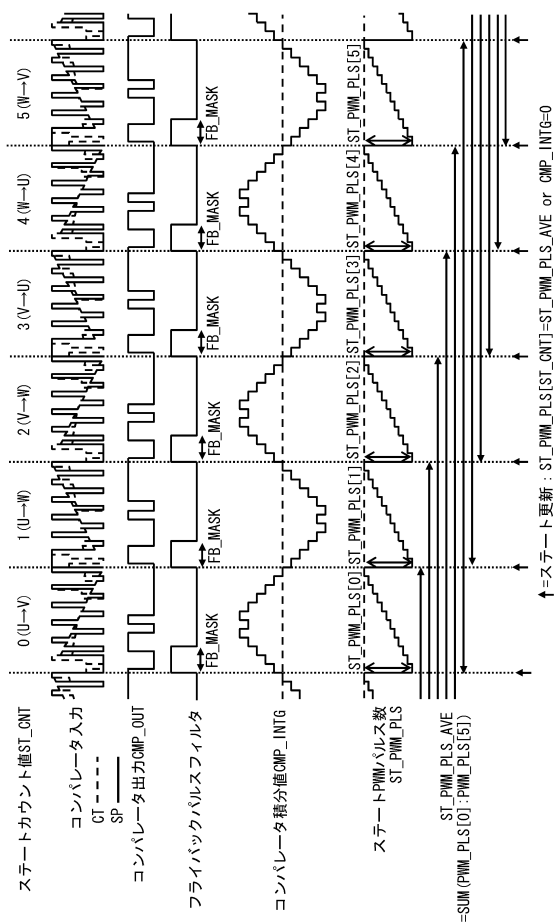
【図 2 4】



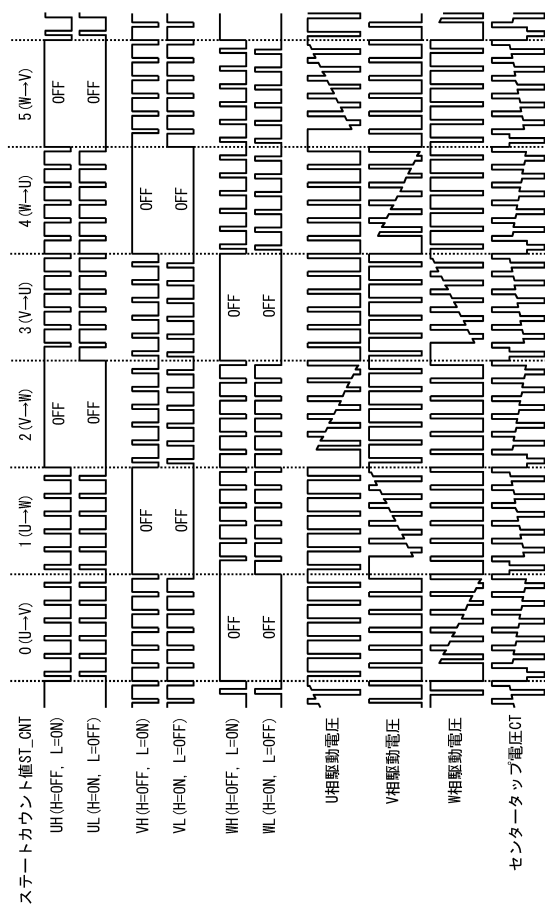
【図 25】



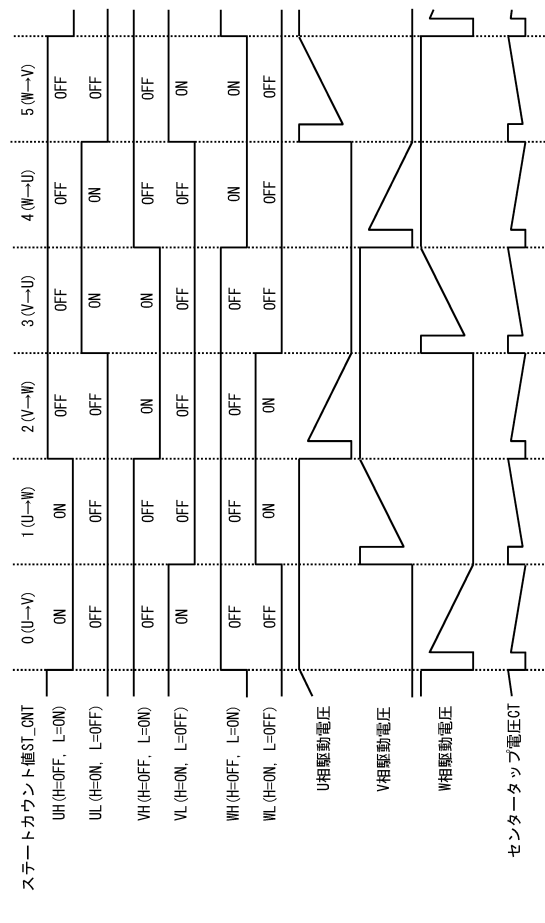
【図 27】



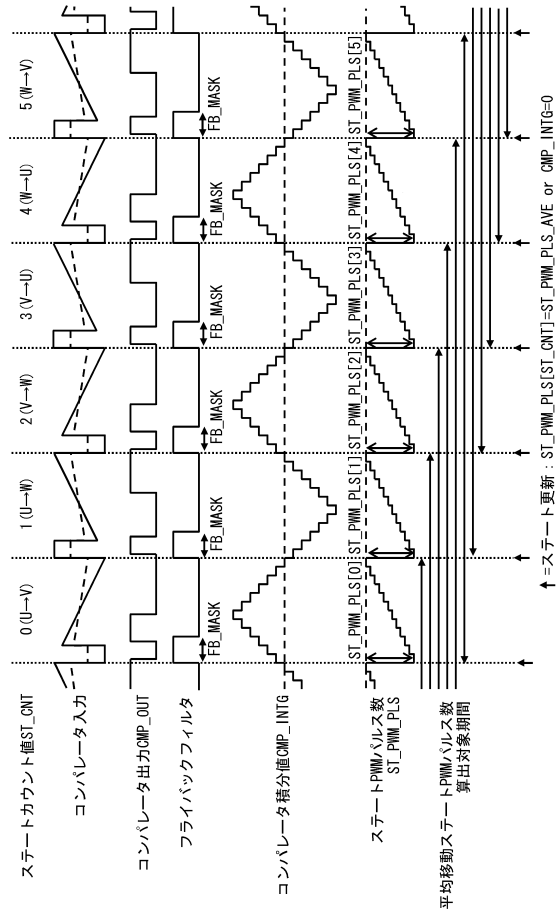
【図 26】



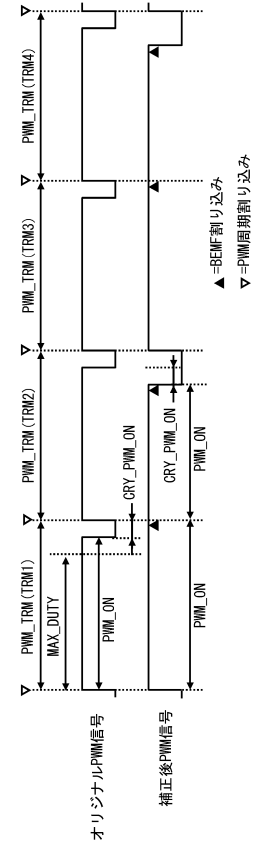
【図 28】



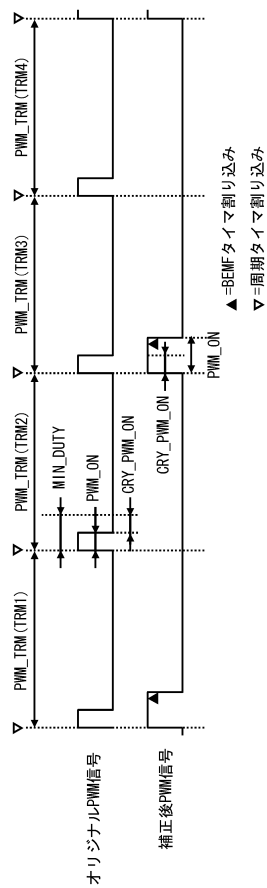
【図 29】



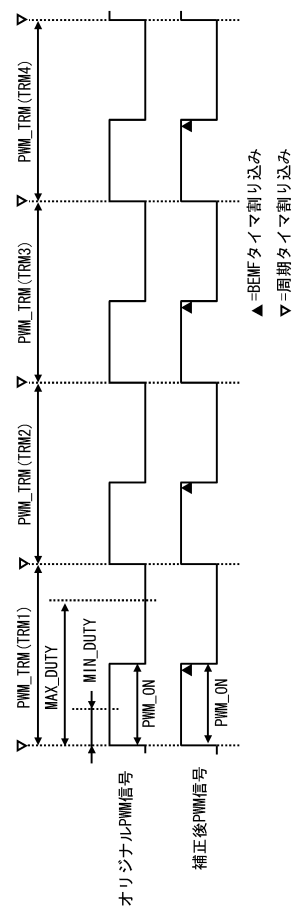
【図 30】



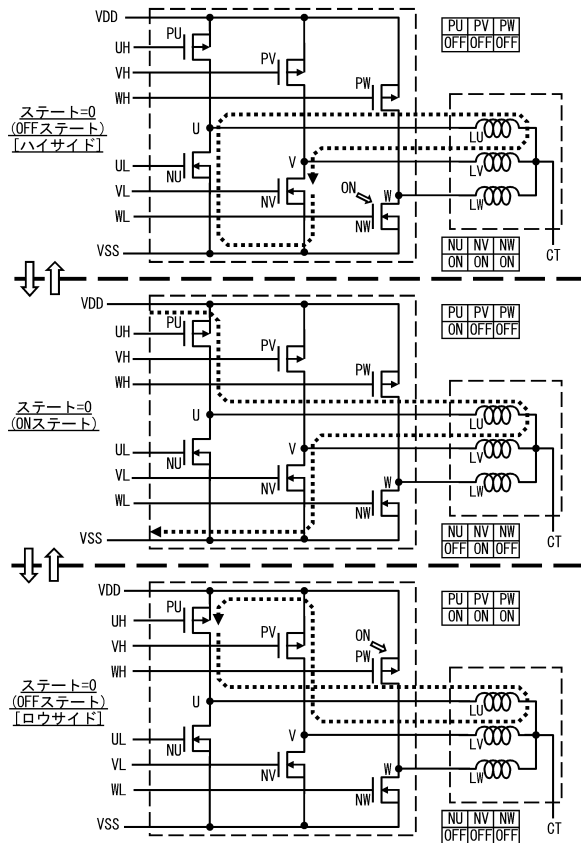
【図 31】



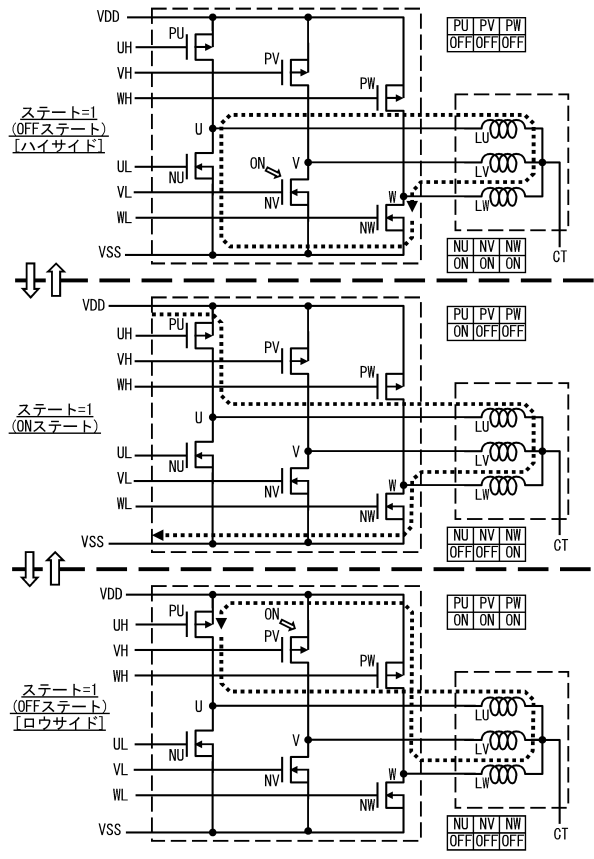
【図 32】



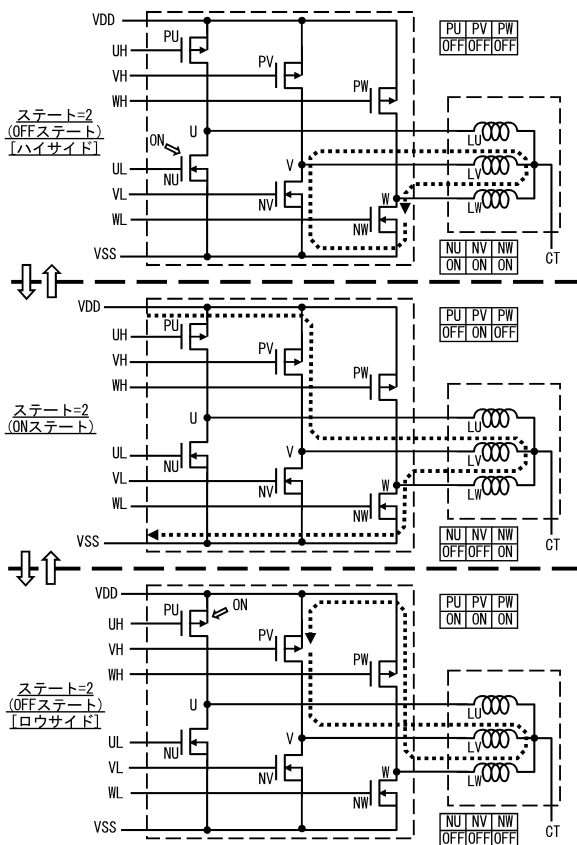
【図 33】



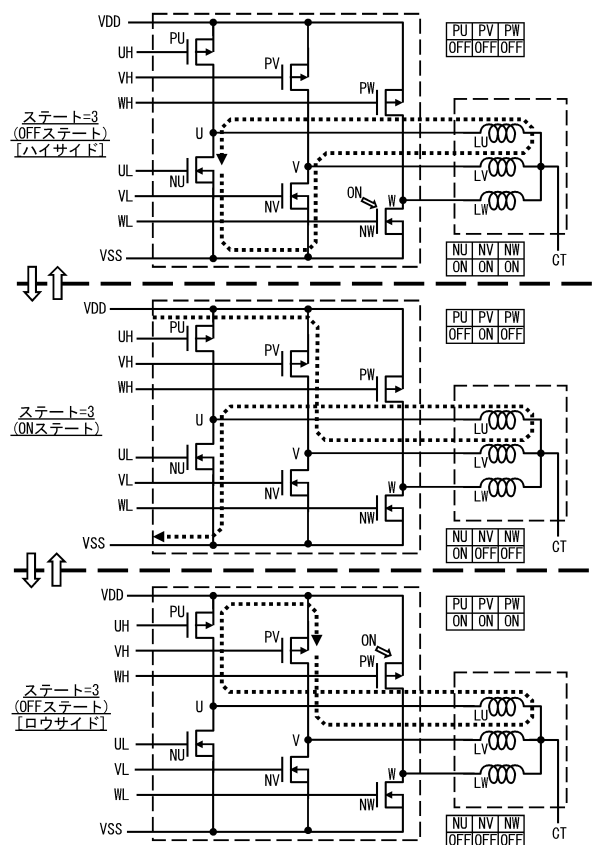
【図 34】



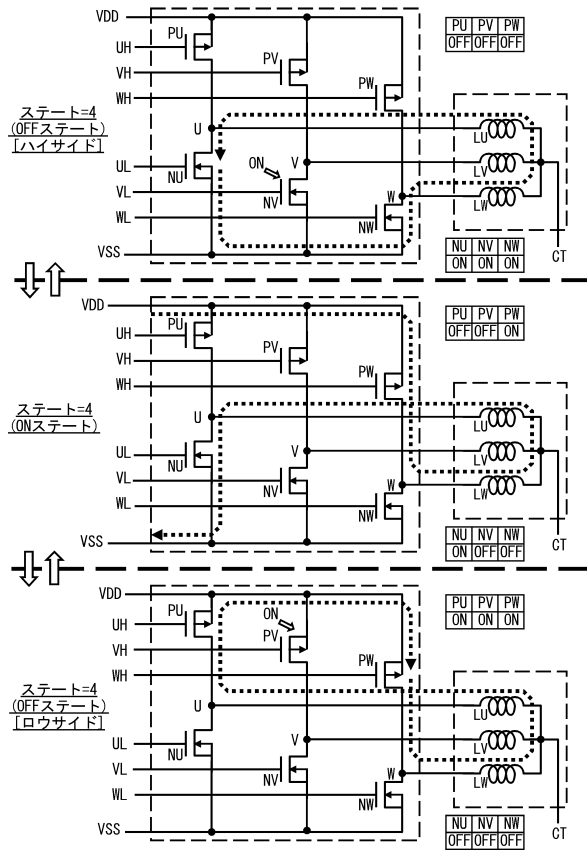
【図 35】



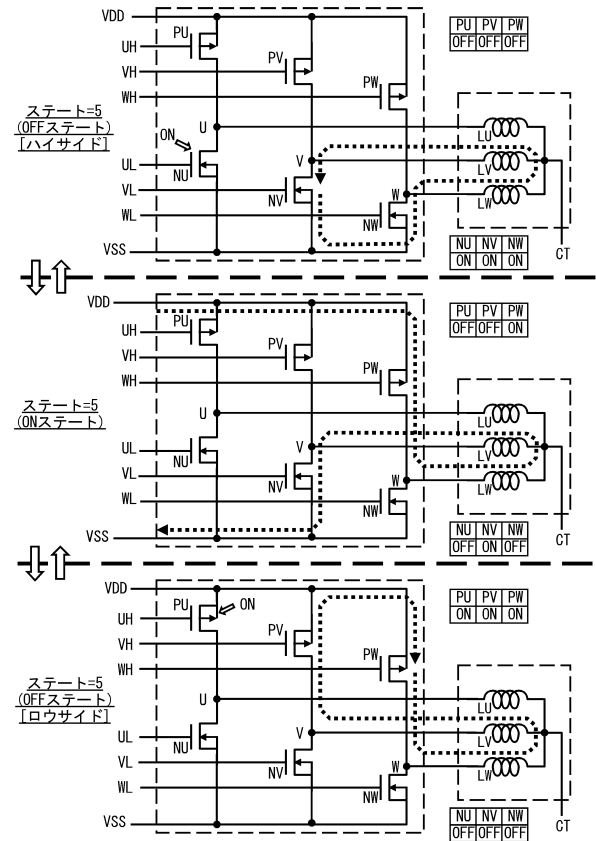
【図 36】



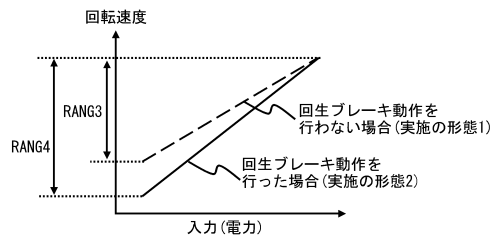
【図 37】



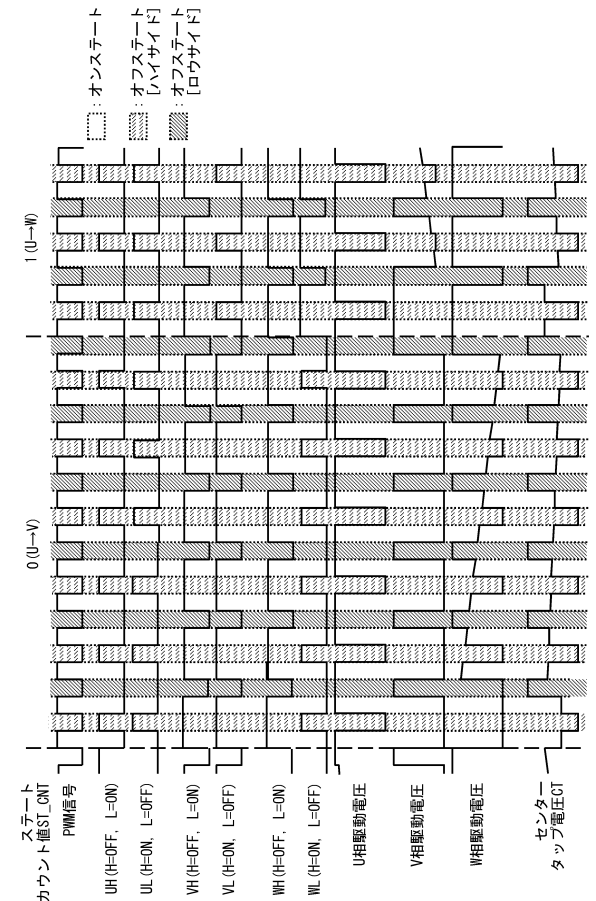
【図 38】



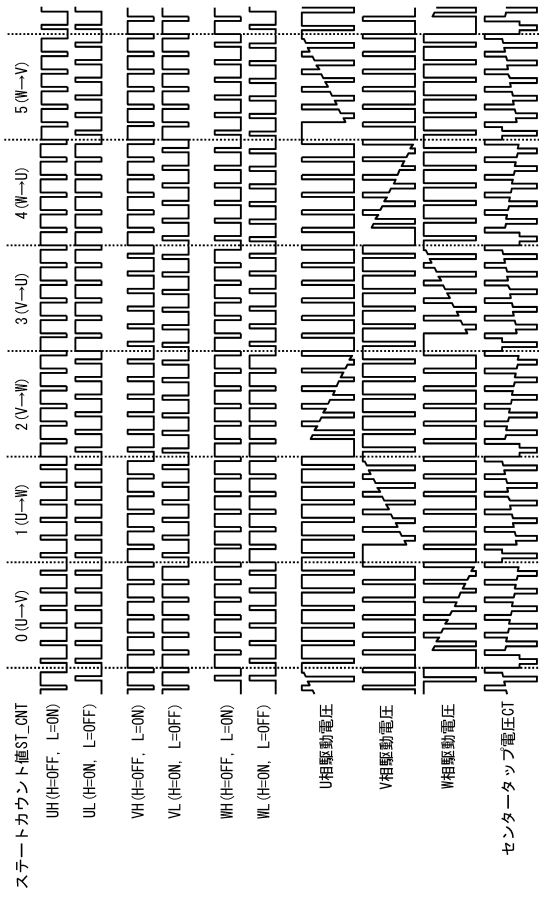
【図 39】



【図 40】



【図 4 1】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-113506(JP,A)
特開2005-333689(JP,A)
特開2008-005632(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 1/00-31/00