

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2022-135569  
(P2022-135569A)

(43)公開日

令和4年9月15日(2022. 9. 15)

(51)Int. Cl.

H02P 27/08 (2006.01)  
H02P 21/24 (2016.01)

F I

H02P 27/08  
H02P 21/24

テーマコード(参考)

5H505

審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2021-35474(P2021-35474)  
(22)出願日 令和3年3月5日(2021. 3. 5)

(71)出願人 000005094  
工機ホールディングス株式会社  
東京都港区港南二丁目15番1号  
(74)代理人 100079290  
弁理士 村井 隆  
(74)代理人 100136375  
弁理士 村井 弘実  
(72)発明者 原田 健太  
茨城県ひたちなか市武田1060番地  
(72)発明者 伊藤 達也  
茨城県ひたちなか市武田1060番地  
(72)発明者 富森 智士  
茨城県ひたちなか市武田1060番地  
Fターム(参考) 5H505 AA13 DD08 EE41 EE49 HB01  
LL13 LL22 LL24 LL41

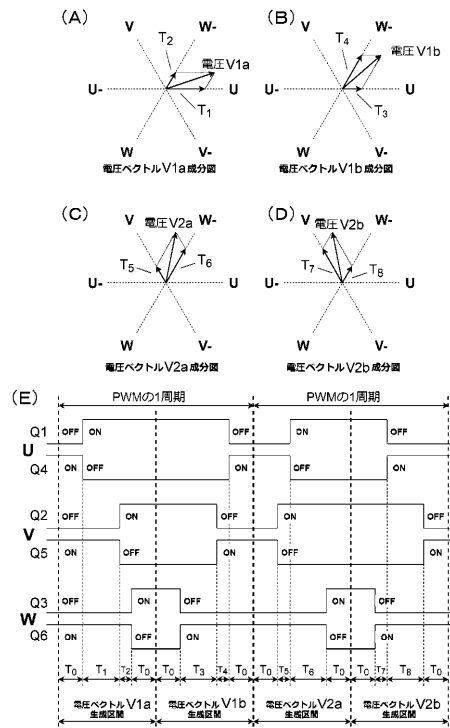
(54)【発明の名称】 ブラシレスモータの制御装置及び電気機器

(57)【要約】

【課題】ベクトル制御を用いてブラシレスモータをより効率的に制御することが可能なブラシレスモータの制御装置及びそれを備えた電気機器を提供する。

【解決手段】ベクトル制御によりブラシレスモータを駆動する制御装置であって、ベクトル制御の1周期の前半と後半で、ベクトル制御のパラメータを変更する。各相の電流は、スイッチング素子Q4～Q6が共にオンのときに行う。各相の電流に基づき、前半と後半のパラメータを決定する。パラメータの変更は、スイッチング素子Q1～Q3が共にオフのとき、及びスイッチング素子Q4～Q6が共にオフのときに行う。

【選択図】 図14



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ロータと、複数のステータコイルを有するステータと、を備えたブラシレスモータと、複数の上側及び下側スイッチング素子を有し、前記複数のステータコイルに複数相の出力電圧を出力する駆動回路と、

前記複数の上側スイッチング素子を共にオフするか又は前記複数の下側スイッチング素子を共にオフする第 1 状態と、前記第 1 状態とは異なる状態である第 2 状態とを、所定の周期で交互に繰り返すよう前記駆動回路を制御するとともに、前記ロータの位置に応じて前記複数相の出力電圧の各々のデューティ比を設定するベクトル制御を実行する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記所定の周期の 1 周期において、前記複数相の出力電圧のうち少なくとも 1 相の出力電圧のデューティ比の設定を複数回実行するよう構成された、ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載のブラシレスモータの制御装置であって、

前記ブラシレスモータの制御装置は、前記制御部に接続されて前記ロータの位置に関する情報であるロータ位置情報を検出するよう構成されたロータ位置検出部を有し、

前記制御部は、前記第 1 状態において、前記ロータ位置検出部によって検出された前記ロータ位置情報に基づいて、前記ロータの位置を特定するとともに、特定された前記ロータの位置に応じて、前記複数相の出力電圧のデューティ比をそれぞれ設定するよう構成された、

ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

**【請求項 3】**

請求項 1 又は 2 に記載のブラシレスモータの制御装置であって、

前記制御部は、前記所定の周期の 1 周期における前半と後半で前記デューティ比が異なるように前記パルス幅変調を実行するよう構成される、

ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

**【請求項 4】**

請求項 2 に記載のブラシレスモータの制御装置であって、

前記制御部は、前記複数相の出力電圧のデューティ比を、前記第 1 状態と、前記第 2 状態と、の双方において変更する、

ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

**【請求項 5】**

請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載のブラシレスモータの制御装置であって、

前記所定の周期の 1 周期を前記 1 周期の中心で二分割した場合、前記複数の上側又は下側スイッチング素子のいずれかのオン時間又はオフ時間が前記中心に対して非対称である、

ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

**【請求項 6】**

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載のブラシレスモータの制御装置であって、

前記所定の周期の 1 周期を前記 1 周期の中心で二分割した場合、前記複数の上側又は下側スイッチング素子のうちいずれかのスイッチング素子がオン状態とオフ状態の一方から他方に切り替わるタイミングから前記中心までの時間が、前記中心から前記いずれかのスイッチング素子がオン状態とオフ状態の他方から一方に切り替わるタイミングまでの時間と異なる、

ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

**【請求項 7】**

請求項 2 に記載のブラシレスモータの制御装置であって、

前記制御部は、前記第 1 状態のときに特定した前記ロータの位置を基に、前記第 1 状態の後の最初の前記第 2 状態における、前記デューティ比を決定する、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする、ブラシレスモータの制御装置。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のブラシレスモータの制御装置と、  
前記ブラシレスモータの制御装置により駆動される出力部と、  
を備える、  
ことを特徴とする、電気機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ブラシレスモータの制御装置及びそれを備えた電気機器に関する。

10

【背景技術】

【0002】

電気機器、例えば電動工具の駆動源として、ブラシレスモータが用いられる。ブラシレスモータの制御方法として、ベクトル制御が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2005 - 102371 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

本発明は、ベクトル制御を用いてブラシレスモータをより効果的に制御することが可能なブラシレスモータの制御装置及びそれを備えた電気機器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明のある態様は、ブラシレスモータの制御装置である。この装置は、  
ロータと、複数のステータコイルを有するステータと、を備えたブラシレスモータと、  
複数の上側及び下側スイッチング素子を有し、前記複数のステータコイルに複数相の出力電圧を出力する駆動回路と、

前記複数の上側スイッチング素子を共にオフするか又は前記複数の下側スイッチング素子を共にオフする第 1 状態と、前記第 1 状態とは異なる状態である第 2 状態とを、所定の周期で交互に繰り返すよう前記駆動回路を制御するとともに、前記ロータの位置に応じて前記複数相の出力電圧の各々のデューティ比を設定するベクトル制御を実行する制御部と、  
を備え、

30

前記制御部は、前記所定の周期の 1 周期において、前記複数相の出力電圧のうち少なくとも 1 相の出力電圧のデューティ比の設定を複数回実行するよう構成された、ことを特徴とする。

この態様によれば、制御パラメータの変更タイミングが増えるため、ブラシレスモータをより効果的に制御することができる。

【0006】

40

前記ブラシレスモータの制御装置は、前記制御部に接続されて前記ロータの位置に関する情報であるロータ位置情報を検出するよう構成されたロータ位置検出部を有し、

前記制御部は、前記第 1 状態において、前記ロータ位置検出部によって検出された前記ロータ位置情報に基づいて、前記ロータの位置を特定するとともに、特定された前記ロータの位置に応じて、前記複数相の出力電圧のデューティ比をそれぞれ設定するよう構成されてもよい。

【0007】

前記制御部は、前記所定の周期の 1 周期における前半と後半で前記デューティ比が異なるように前記パルス幅変調を実行してもよい。

【0008】

前記制御部は、前記複数相の出力電圧のデューティ比を、前記第 1 状態と、前記第 2 状態と、の双方において変更してもよい。

【 0 0 0 9 】

前記所定の周期の 1 周期を前記 1 周期の中心で二分割した場合、前記複数の上側又は下側スイッチング素子のいずれかのオン時間又はオフ時間が前記中心に対して非対称であってもよい。

【 0 0 1 0 】

前記所定の周期の 1 周期を前記 1 周期の中心で二分割した場合、前記複数の上側又は下側スイッチング素子のうちいずれかのスイッチング素子がオン状態とオフ状態の一方から他方に切り替わるタイミングから前記中心までの時間が、前記中心から前記いずれかのスイッチング素子がオン状態とオフ状態の他方から一方に切り替わるタイミングまでの時間と異なってもよい。

10

【 0 0 1 1 】

前記制御部は、前記第 1 状態のときに特定した前記ロータの位置を基に、前記第 1 状態の後の最初の前記第 2 状態における、前記デューティ比を決定してもよい。

【 0 0 1 2 】

本発明の別の態様は、前記ブラシレスモータの制御装置と、前記ブラシレスモータの制御装置により駆動される出力部と、を備える、ことを特徴とする、電気機器である。

【 0 0 1 3 】

なお、以上の構成要素の任意の組合せ、本発明の表現を方法やシステムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

20

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、ベクトル制御を用いてブラシレスモータをより効果的に制御することが可能なブラシレスモータの制御装置及びそれを備えた電気機器を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る電気機器 1 の平面図。

【図 2】電気機器 1 の側断面図。

【図 3】図 2 のブラシレスモータ 6 を、ステータコイル 3 h を省略した状態で軸方向から見た図。

30

【図 4】ブラシレスモータ 6 のステータを軸方向から見た図。

【図 5】ブラシレスモータ 6 の制御装置 4 0 の回路ブロック図。

【図 6】ベクトル制御における d q 座標系の定義を示す模式図。

【図 7】d q 座標系における電流ベクトル  $I_{dq}$  の一例とその電流位相角  $\theta$  の説明図。

【図 8】(A)は、U、V、W の各相の電流ベクトル  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  の一例とそれらを合成した電流ベクトル  $I_{uvw}$  を示す図。(B)は、電流ベクトル  $I_{dq}$  ( $= I_{uvw}$ ) 及びその d 成分と q 成分である電流ベクトル  $I_d$ 、 $I_q$  を示す図。

【図 9】ベクトル制御におけるスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフの組合せのパターン 1 ~ 6 及びそれぞれにおける出力電圧ベクトルの説明図。

40

【図 10】ベクトル制御におけるスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフの組合せのパターン 7 ~ 8 及びそれぞれにおける出力電圧ベクトルの説明図。

【図 11】(A)は、ベクトル制御における目的電圧ベクトル及びその合成方法の一例を示す説明図。(B)は、当該目的電圧ベクトルを生成するためのスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフのタイムチャート。

【図 12】(A)は、比較例のベクトル制御におけるロータ位置 R 1、R 2 と出力電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_2$  の説明図。(B)は、実施の形態のベクトル制御におけるロータ位置 R 1、R 2 と出力電圧ベクトル  $V_{1a}$ 、 $V_{1b}$ 、 $V_{2a}$ 、 $V_{2b}$  の説明図。

【図 13】(A)は、比較例のベクトル制御における出力電圧ベクトル  $V_1$  の成分図。(B)は、比較例のベクトル制御における出力電圧ベクトル  $V_2$  の成分図。(C)は、出力電圧ベ

50

クトル  $V_1$ 、 $V_2$  を生成するためのスイッチング素子  $Q_1 \sim Q_6$  のオンオフのタイムチャート。

【図 1 4】(A)は、実施の形態のベクトル制御における出力電圧ベクトル  $V_{1a}$  の成分図。(B)は、実施の形態のベクトル制御における出力電圧ベクトル  $V_{1b}$  の成分図。(C)は、実施の形態のベクトル制御における出力電圧ベクトル  $V_{2a}$  の成分図。(D)は、実施の形態のベクトル制御における出力電圧ベクトル  $V_{2b}$  の成分図。(E)は、出力電圧ベクトル  $V_{1a}$ 、 $V_{1b}$ 、 $V_{2a}$ 、 $V_{2b}$  を生成するためのスイッチング素子  $Q_1 \sim Q_6$  のオンオフのタイムチャート。

【図 1 5】(A)は、比較例のベクトル制御における、ロータの電気角での 1 周分に対応する出力電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  の説明図。(B)は、出力電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  を生成するためのスイッチング素子  $Q_1 \sim Q_6$  のオンオフのタイムチャート。

10

【図 1 6】(A)は、実施の形態のベクトル制御における、ロータの電気角での 1 周分に対応する出力電圧ベクトル  $V_{1a}$ 、 $V_{1b}$ 、 $V_{2a}$ 、 $V_{2b}$ 、 $\dots$ 、 $V_{6a}$ 、 $V_{6b}$  の説明図。(B)は、出力電圧ベクトル  $V_{1a}$ 、 $V_{1b}$ 、 $V_{2a}$ 、 $V_{2b}$ 、 $\dots$ 、 $V_{6a}$ 、 $V_{6b}$  を生成するためのスイッチング素子  $Q_1 \sim Q_6$  のオンオフのタイムチャート。

【図 1 7】図 1 5 (B) 及び図 1 6 (B) のタイムチャートを相ごとに並べた比較図。

【図 1 8】実施の形態のベクトル制御の概略フローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下において、各図面に示される同一または同等の構成要素、部材等には同一の符号を付し、適宜重複した説明は省略する。実施の形態は、発明を限定するものではなく例示である。実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明の本質的なものであるとは限らない。

20

【0017】

本実施の形態は、電気機器 1 に関する。図 1 により、電気機器 1 における互いに直交する前後、上下、左右方向を定義する。電気機器 1 は、電動工具の一例である AC 駆動のグラインダ (ディスクグラインダ) であり、外部の交流電源 60 (図 5) からの供給電力で動作する。電気機器 1 は、回転具としての砥石 2 を備え、研削作業や切断作業等に用いられる。電気機器 1 は、ハウジング 3 と、ギヤケース 4 と、を備える。

【0018】

30

ハウジング 3 は、全体として略円筒形状を成す例えば樹脂成形体である。ハウジング 3 の後端部から、交流電源 60 (図 5) に接続するための電源コード 62 が延びる。ギヤケース 4 は、例えばアルミ合金等の金属製のケース本体 10 と、ケース本体 10 の開口部を塞ぐパッキングランド 11 と、を有する。ケース本体 10 は、ハウジング 3 の前端部に取り付けられる。

【0019】

電気機器 1 は、ハウジング 3 の内部に、ブラシレスモータ 6 及びファン 8 を備える。ファン 8 は、ブラシレスモータ 6 等の冷却用であって、ブラシレスモータ 6 の出力軸 6a に設けられ、出力軸 6a と一体に回転する。ファン 8 は、ブラシレスモータ 6 の前方に位置する。出力軸 6a の前端部に、第 1 ベベルギヤ 21 が設けられる。

40

【0020】

ギヤケース 4 の内部には、2 つの軸受 (ニードルベアリング 12 及びボールベアリング 13) が設けられ、これら軸受によってスピンドル 20 が回転自在に保持される。スピンドル 20 は、ブラシレスモータ 6 の出力軸 6a と直交する。スピンドル 20 の一端は、パッキングランド 11 を貫通して外部に突出する。スピンドル 20 の他端は、ギヤケース 4 内に位置する。

【0021】

スピンドル 20 の他端には第 2 ベベルギヤ 22 が設けられる。第 2 ベベルギヤ 22 は、第 1 ベベルギヤ 21 と噛み合う。ブラシレスモータ 6 の回転は、第 1 ベベルギヤ 21 及び第 2 ベベルギヤ 22 によって回転方向が 90 度変換されるとともに、回転速度が減速され

50

てスピンドル 20 に伝達される。すなわち、スピンドル 20 はブラシレスモータ 6 によって回転駆動される。

【0022】

砥石 2 は、ホイルワッシャ及びロックナットによってスピンドル 20 に固定され、スピンドル 20 と一体的に回転する。ホイルガード 14 は、パッキングランド 11 に取り付けられて砥石 2 の約半分を覆い、研削作業時に発生する切削粉や火花等の飛散を防止する。スピンドル 20 及び砥石 2 は、出力部の例示である。

【0023】

電気機器 1 は、ブラシレスモータ 6 の駆動、停止をユーザが指示するためのスイッチ 5 を備える。スイッチ 5 は、ハウジング 3 の左部側面に露出する。ユーザがスイッチ 5 を操作すると、交流電源 60 (図 3) からブラシレスモータ 6 に電力が供給され、ブラシレスモータ 6 の出力軸 6a が回転する。出力軸 6a の回転により、第 1 ベベルギヤ 21 及び第 2 ベベルギヤ 22 によって出力軸 6a に連結されているスピンドル 20 が回転し、スピンドル 20 に固定されている砥石 2 が回転する。

10

【0024】

電気機器 1 は、ハウジング 3 内に、基板 9 を備える。基板 9 は、ブラシレスモータ 6 の後方に位置する。基板 9 は、後述のインバータ回路 42 (図 5) を成す複数のスイッチング素子 15 を搭載する。複数のスイッチング素子 15 は、図 5 に示すスイッチング素子 Q1 ~ Q6 に対応する。基板 9 は、図 5 に示す制御装置 40 のうちブラシレスモータ 6 を除く各部材を搭載する。

20

【0025】

ブラシレスモータ 6 は、出力軸 6a の周囲に設けられて出力軸 6a と一体に回転するロータコア 6b、ロータコア 6b に挿入保持された複数のロータマグネット (永久磁石) 6c、ロータコア 6b の外周を囲むように設けられたステータコア 6e、及び、ステータコア 6e に設けられた複数のステータコイル 6h を含む。ロータコア 6b とロータマグネット 6c は、ブラシレスモータ 6 のロータ (回転子) を構成する。ステータコア 6e とステータコイル 6h は、ブラシレスモータ 6 のステータ (固定子) を構成する。ブラシレスモータ 6 は、ここでは 4 極 6 スロット構成であり、ロータマグネット 6c は 4 個、ステータコイル 6h は 6 個である。

【0026】

ステータコア 6e は、図 3 に示すように、円筒状 (環状) のヨーク部 6f と、ヨーク部 6f から径方向内側に突出する複数の突極部 (ティース部) 6g と、を含む。各突極部 6g に、ステータコイル 6h が設けられる。図 4 に示すように、ステータコイル 6h は、U 相コイル U1、U2、V 相コイル V1、V2、及び W 相コイル W1、W2 を有する。ステータコイル 6h は、ブラシレスモータ 6 の軸周り方向において、V 相コイル V2、U 相コイル U1、W 相コイル W2、V 相コイル V1、U 相コイル U2、W 相コイル W1 の順に設けられている。各相のステータコイル 6h は、図 5 に示すように Y 結線 (スター結線) される。

30

【0027】

図 5 は、ブラシレスモータ 6 を制御する制御装置 40 の回路ブロック図である。図 5 では、ブラシレスモータ 6 の各相に 2 つずつ存在するステータコイル 6h を簡略的に 1 つで示している。制御装置 40 は、制御部 41、駆動回路としてのインバータ回路 42、電圧検出回路 43、増幅回路 44、及び整流回路 61 を有する。

40

【0028】

整流回路 61 は、例えばダイオードブリッジ及び平滑コンデンサを含み、交流電源 60 から供給される交流を直流に変換する。電圧検出回路 43 は、整流回路 61 の出力電圧 (インバータ回路 42 の入力側の電圧) を検出し、制御部 41 に送信する。インバータ回路 42 は、整流回路 61 の出力する直流電力を、ブラシレスモータ 6 の駆動電力に変換し、ブラシレスモータ 6 に供給する。インバータ回路 42 は、三相ブリッジ接続されたスイッチング素子 Q1 ~ Q6 を含む。スイッチング素子 Q1 ~ Q3 は上側スイッチング素子であ

50

り、スイッチング素子 Q 4 ~ Q 6 は下側スイッチング素子である。

【 0 0 2 9 】

スイッチング素子 Q 1、Q 4 は、U 相コイルの一端に接続される。スイッチング素子 Q 1 は U 相上側スイッチング素子であり、スイッチング素子 Q 4 は U 相下側スイッチング素子である。スイッチング素子 Q 2、Q 5 は、V 相コイルの一端に接続される。スイッチング素子 Q 2 は V 相上側スイッチング素子であり、スイッチング素子 Q 5 は V 相下側スイッチング素子である。スイッチング素子 Q 3、Q 6 は、W 相コイルの一端に接続される。スイッチング素子 Q 3 は W 相上側スイッチング素子であり、スイッチング素子 Q 6 は W 相下側スイッチング素子である。

【 0 0 3 0 】

シャント抵抗  $R_u$ 、 $R_v$ 、 $R_w$  は、電流検出部の例示であり、それぞれ U、V、W の各相のステータコイル 6 h に流れる電流（各相の電流）の経路の低電位側に設けられ、各相の電流を電圧に変換する。増幅回路 4 4 は、シャント抵抗  $R_u$ 、 $R_v$ 、 $R_w$  の各両端の電圧を増幅し、U、V、W の各相の電流検出信号として制御部 4 1 に送信する。

【 0 0 3 1 】

制御部 4 1 は、例えばマイクロコントローラであり、ユーザによるスイッチ 5 の操作に応じて、整流回路 6 1 の出力電圧及び各相の電流を監視しながら、インバータ回路 4 2 の制御、すなわちスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフの制御を通じて、ブラシレスモータ 6 の駆動を制御する。制御部 4 1 は、ブラシレスモータ 6 のロータ回転位置及び角速度を、インバータ回路 4 2 の入力側の電圧と各相の電流に基づき、センサレスで検出する。制御部 4 1 によるブラシレスモータ 6 の駆動制御は、ベクトル制御である。ベクトル制御は、空間ベクトルパルス幅変調（SVPWM：Space Vector Pulse Width Modulation）とも呼ばれる。

【 0 0 3 2 】

図 6 は、ベクトル制御における d q 座標系の定義を示す模式図である。図 7 は、d q 座標系における電流ベクトル  $I_{dq}$  の一例とその電流位相角の説明図である。なお、ベクトル制御の説明には電気角を用いる。ブラシレスモータ 6 は 4 極 6 スロット構成のため、ブラシレスモータ 6 の機械角 180 度は電気角 360 度に対応する。図 6 では、ブラシレスモータ 6 の機械角 180 度分の構成を 360 度に展開した模式図で示している。図 6 におけるブラシレスモータ 6 の 1 周（電気角 360 度分の回転）は、ブラシレスモータ 6 の機械的な半周（機械角 180 度）に対応する。

【 0 0 3 3 】

ブラシレスモータ 6 は、ロータマグネット 6 c が作る磁束の方向を d 軸、それと磁氣的に直交する方向を q 軸とした d q 座標系（図 6）における、電流ベクトル  $I_{dq}$  の方向（図 7 に示す電流位相角）によって、トルクや回転数の特性が変化する。トルクや回転数の特性が適切になるように電流ベクトル  $I_{dq}$  を制御することができれば、ブラシレスモータ 6 を高効率で駆動することが可能となる。ベクトル制御は、電流ベクトル  $I_{dq}$  を制御することである。

【 0 0 3 4 】

d q 座標系における電流ベクトル  $I_{dq}$  は、図 8 (A) に示す、インバータ回路 4 2 の U、V、W の各相のステータコイル 6 h の中心軸（u 軸、v 軸、w 軸）を三軸とする u v w 座標系上で各相の電流ベクトル  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  を合成した電流ベクトル  $I_{uvw}$  を、図 8 (B) に示すように d q 座標系へ変換した電流ベクトルを指す。このため、ベクトル制御を行うためには、U、V、W の各相の電流の制御が必要である。U、V、W の各相の電流を制御するには、u v w 座標系上で任意方向の電圧ベクトルをブラシレスモータ 6（ステータコイル 6 h）に印加できるように、インバータ回路 4 2（スイッチング素子 Q 1 ~ Q 6）のスイッチング制御を行う必要がある。

【 0 0 3 5 】

インバータ回路 4 2 の通電パターンには、図 9 (A) ~ (F) 及び図 10 (A) ~ (B) に示すように、U、V、W の各相の上側（ハイサイド）、下側（ローサイド）のどちらのスィ

10

20

30

40

50

チング素子を通電させるかによって、8つの通電パターンが存在する。図9(A),(B)では、最終的な電圧ベクトルの元になった各相の電圧成分を併せて示している。

【0036】

図9(A)に示す通電パターン1では、スイッチング素子Q1、Q5、Q6がオンで、それ以外はオフである。この場合、各相の電圧ベクトルを合成するとU軸のプラス方向(U方向)を向いた電圧ベクトルが得られる。

【0037】

図9(B)に示す通電パターン2では、スイッチング素子Q1、Q2、Q6がオンで、それ以外はオフである。この場合、各相の電圧ベクトルを合成するとW軸のマイナス方向(W-方向)を向いた電圧ベクトルが得られる。

10

【0038】

図9(C)に示す通電パターン3では、スイッチング素子Q2、Q4、Q6がオンで、それ以外はオフである。この場合、各相の電圧ベクトルを合成するとV軸のプラス方向(V方向)を向いた電圧ベクトルが得られる。

【0039】

図9(D)に示す通電パターン4では、スイッチング素子Q2、Q3、Q4がオンで、それ以外はオフである。この場合、各相の電圧ベクトルを合成するとU軸のマイナス方向(U-方向)を向いた電圧ベクトルが得られる。

【0040】

図9(E)に示す通電パターン5では、スイッチング素子Q3、Q4、Q5がオンで、それ以外はオフである。この場合、各相の電圧ベクトルを合成するとW軸のプラス方向(W方向)を向いた電圧ベクトルが得られる。

20

【0041】

図9(F)に示す通電パターン6では、スイッチング素子Q1、Q3、Q5がオンで、それ以外はオフである。この場合、各相の電圧ベクトルを合成するとV軸のマイナス方向(V-方向)を向いた電圧ベクトルが得られる。

【0042】

このように、通電パターン1~6では、60度間隔で向きが異なる電圧ベクトルがブラシレスモータ6(ステータコイル6h)に印加される。

【0043】

図10(A)に示す通電パターン7では、下側のスイッチング素子Q4、Q5、Q6がオンで、それ以外はオフである。図10(B)に示す通電パターン8では、上側のスイッチング素子Q1、Q2、Q3がオンで、それ以外はオフである。通電パターン7、8では、0ベクトルがブラシレスモータ6(ステータコイル6h)に印加される。通電パターン7、8の一方が第1状態、他方が第2状態に対応する。

30

【0044】

以下、通電パターン1~8の各々による電圧ベクトルを「基底ベクトル」と呼ぶ。単一の通電パターンで印加できる電圧ベクトルは基底ベクトルの方向に限られるため、任意方向の電圧ベクトルを印加するには、2つ以上の基底ベクトルを合成して出力する必要がある。

40

【0045】

図11(A)は、基底ベクトルの合成による目的電圧ベクトルの生成方法の一例を示す。この例では、目的電圧ベクトルは、U方向の基底ベクトル(通電パターン1)、W-方向の基底ベクトル(通電パターン2)、及び0ベクトルの基底ベクトル(通電パターン7、8)に分解できる。このため、インバータ回路42の通電パターン1、2、7、8を、それぞれの基底ベクトルの長さの割合に応じた時間( $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_7$ 、 $t_8$ )だけ持続すれば、目的電圧ベクトルを出力することができる。0ベクトルの基底ベクトルは、電圧ベクトルの絶対値(長さ)の調整のために必要となる。

【0046】

図11(B)は、図11(A)に示す目的電圧ベクトルを生成するためのスイッチング素子

50



Q 1 ~ Q 6 のオンオフのタイムチャートである。ベクトル制御においては、図 1 1 (B) の左端の時点（すなわち 1 回目の通電パターン 7 の時点）において、U、V、W の各相の電流を検出してロータ位置及びロータ角速度を特定する。そして特定されたロータ位置及びロータ角速度に応じて、ブラシレスモータ 6（ステータコイル 6 h）に印加すべき電圧ベクトルを設定する。電圧ベクトルは、U、V、W の各相に印加される電圧をそれぞれパルス幅変調（PWM：Pulse Width Modulation）することにより設定される。そして図 1 1 (B) の右端の時点（すなわち 2 回目の通電パターン 7 の時点）において、再び U、V、W の各相の電流を検出してロータ位置及びロータ角速度を特定し、特定されたロータ位置及びロータ角速度に応じて、ブラシレスモータ 6（ステータコイル 6 h）に印加すべき電圧ベクトルを設定しなおす。よって、図 1 1 (B) の左端の時点から図 1 1 (B) の右端の時点までがパルス幅変調（PWM）の 1 周期であり、空間ベクトルパルス幅変調（SVPWM）の 1 周期となる。U、V、W の各相を PWM で駆動する場合、図 1 1 (B) のように PWM の 1 周期内の各通電パターンの時間の比率が  $t_1 : t_2 : t_7 : t_8$  となるように各相のデューティ比を設定すれば、図 1 1 (A) に示す目的電圧ベクトルを出力できる。SVPWM では、このようにして任意の目的電圧ベクトルを出力する。

#### 【0047】

図 1 2 (A) は、比較例のベクトル制御におけるロータ位置 R 1、R 2 と出力電圧ベクトル V 1、V 2 の説明図である。図 1 3 (A)、(B) は、出力電圧ベクトル V 1、V 2 の成分図である。図 1 3 (C) は、出力電圧ベクトル V 1、V 2 を生成するためのスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフのタイムチャートである。

#### 【0048】

比較例のベクトル制御では、ある周期の最初におけるロータ位置 R 1 及びロータ角速度に適した出力電圧ベクトル V 1 を、当該周期の間、印加し続ける。そして次の周期では、当該次の周期の最初におけるロータ位置 R 2 及びロータ角速度に適した出力電圧ベクトル V 2 を、当該周期の間、印加し続ける。ロータ位置は、周期の最初に検出したインバータ回路 4 2 の入力側の電圧と各相の電流からセンサレスで検出する。

#### 【0049】

比較例のベクトル制御において出力電圧ベクトルは、図 1 3 (C) に示すように、PWM によるスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフの波形（オン時間又はオフ時間の長さと同期的な位置）が 1 周期の中心、すなわち各相の電流を検出してから次に各相の電流を検出するまでの検出間隔の中心に対して対称となる制御（以下「対称制御」）により生成する。対称制御では、PWM の 1 周期（ベクトル制御の 1 周期）に出力できる電圧ベクトルは 1 方向に限定される。対称制御では、PWM の 1 周期の中心を挟んだ前半と後半で、ベクトル制御のパラメータが同じである。ベクトル制御のパラメータは、各通電パターン、すなわちスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 のオンオフの組み合わせの各々に対する時間配分（各相のデューティ比）を含む。

#### 【0050】

比較例のベクトル制御には、次の課題がある。すなわち、ロータ位置は周期の中でも常に変化するため、周期の最初に決めた出力電圧が、周期の後半では適切ではなくなっている可能性がある。具体的には、ロータ位置に対する電圧ベクトルの角度が周期の後半において最適値からのずれが大きくなる可能性がある。電圧ベクトルの最適値に対する角度ずれは、電流脈動を引き起こし、トルク脈動とそれによる振動の要因となる。ここで、周期を一定とすれば、高速回転になるほど、周期の中でのロータ位置の変化も大きくなり、こうした課題が顕著となる。例えば周期を 0.1ms（周波数を 10kHz）とした場合においてロータ回転数が 30,000rpm のとき、ロータは機械角で約 18 度（電気角で約 36 度）回転する。

#### 【0051】

図 1 2 (B) は、本実施の形態のベクトル制御におけるロータ位置 R 1、R 2 と出力電圧ベクトル V 1 a、V 1 b、V 2 a、V 2 b の説明図である。図 1 4 (A) ~ (D) は、出力電圧ベクトル V 1 a、V 1 b、V 2 a、V 2 b の成分図である。図 1 4 (E) は、出力電圧ベクトル V 1 a、V 1 b、V 2 a、V 2 b を生成するためのスイッチング素子 Q 1 ~ Q 6 の

オンオフのタイムチャートである。本実施の形態のベクトル制御においても、周期の最初に検出したインバータ回路42の入力側の電圧と各相の電流からロータ位置をセンサレスで検出する点は、前述の比較例と同じである。

【0052】

本実施の形態のベクトル制御では、ある周期の最初におけるロータ位置R1及びロータ角速度に適した出力電圧ベクトルV1aを当該周期の前半に印加し、当該周期の後半では出力電圧ベクトルV1bを印加する。出力電圧ベクトルV1bは、出力電圧ベクトルV1aに対して「ロータの角速度×PWMの半周期の時間」の角度だけ位相が進んだ電圧ベクトルである。すなわち、出力電圧ベクトルV1bを導出するために各相の電流を別途検出してロータ位置を導出することはない。

10

【0053】

そして次の周期では、当該次の周期の最初におけるロータ位置R2及びロータ角速度に適した出力電圧ベクトルV2aを当該次の周期の前半に印加し、当該次の周期の後半では出力電圧ベクトルV2bを印加する。出力電圧ベクトルV2bは、出力電圧ベクトルV1bと同様に、出力電圧ベクトルV2aに対して「ロータの角速度×PWMの半周期の時間」の角度だけ位相が進んだ電圧ベクトルである。

【0054】

本実施の形態のベクトル制御において出力電圧ベクトルは、図14(E)に示すように、PWMによるスイッチング素子Q1～Q6の少なくともいずれかのオンオフの波形（オン時間又はオフ時間の長さや時間的な位置）が1周期の中心、すなわち各相の電流を検出してから次に各相の電流を検出するまでの検出間隔の中心に対して非対称となる制御（以下「非対称制御」）により生成する。すなわち、オンオフの波形の1周期の中心に対して前半と後半でオン時間が異なる。各相の電流は、図10(A)に示す通電パターン7でスイッチング素子Q1～Q6を制御しているときに検出する。また、1周期の中心では、図10(B)に示す通電パターン8でスイッチング素子Q1～Q6を制御する。

20

【0055】

非対称制御では、PWMの各周期（ベクトル制御の各周期）において、スイッチング素子Q1～Q6の少なくともいずれかのスイッチング素子がオン状態とオフ状態の一方から他方に切り替わるタイミングから周期の中心までの時間が、前記中心から前記いずれかのスイッチング素子がオン状態とオフ状態の他方から一方に切り替わるタイミングまでの時間と異なる。

30

【0056】

図14(E)の左側の周期では、スイッチング素子Q2がオフ状態からオン状態に切り替わるタイミングから周期の中心までの時間が、前記中心からスイッチング素子Q2がオン状態からオフ状態に切り替わるタイミングまでの時間よりも短い。また、スイッチング素子Q5がオン状態からオフ状態に切り替わるタイミングから周期の中心までの時間が、前記中心からスイッチング素子Q5がオフ状態からオン状態に切り替わるタイミングまでの時間よりも短い。

【0057】

図14(E)の右側の周期では、スイッチング素子Q1がオフ状態からオン状態に切り替わるタイミングから周期の中心までの時間が、前記中心からスイッチング素子Q1がオン状態からオフ状態に切り替わるタイミングまでの時間よりも長い。また、スイッチング素子Q4がオン状態からオフ状態に切り替わるタイミングから周期の中心までの時間が、前記中心からスイッチング素子Q4がオフ状態からオン状態に切り替わるタイミングまでの時間よりも長い。

40

【0058】

非対称制御では、PWMの1周期（ベクトル制御の1周期）の中心を挟んだ前半と後半で、ベクトル制御のパラメータを変更する。ベクトル制御のパラメータは、各通電パターン、すなわちスイッチング素子Q1～Q6のオンオフの組み合わせの各々に対する時間配分（各相のデューティ比）を含む。ベクトル制御のパラメータの変更は、1周期の中心、

50

すなわち図10(B)に示す通電パターン8でスイッチング素子Q1~Q6を制御しているときに行う。非対称制御では、PWMの1周期に出力できる電圧ベクトルは2方向となり、対称制御と比較して電圧ベクトルを細かく変化させることができる。ロータ位置は常に動いているため、電圧ベクトルを細かく変化させたほうが、ロータ位置に対する電圧ベクトルの角度を一定に保ちやすい。

#### 【0059】

このように本実施の形態のベクトル制御によれば、周期の前半と後半でU、V、Wの各相の少なくともいずれかのデューティ比を変更して出力電圧ベクトルを変更することで、周期中でのロータ位置の変化に対応した適切な制御が可能となり、前述の比較例のベクトル制御における課題に好適に対処できる。すなわち、電圧ベクトルの角度がロータ位置に応じた最適値から大きくずれないように抑制でき、電流脈動が抑えられ、それに伴いトルク脈動も小さくなり低振動となる。また、電流ベクトルの角度(図7の電流位相角)を最適値に維持しやすく、同じトルクを発生する場合の電流を低減させることができる。

10

#### 【0060】

本実施の形態のベクトル制御において、PWMの周期を2倍にすると、電圧ベクトルの変化の細かさが比較例のベクトル制御と同等になる。しかしこの場合の本実施の形態のベクトル制御によれば、単位時間当たりのスイッチング回数は比較例の半分となるため、ブラシレスモータ6に電圧が印加されない時間であるデッドタイムが出力電圧ベクトルに及ぼす影響(誤差の増大等)を抑制できる。また、本実施の形態のベクトル制御によれば、各相の電流検出の頻度を比較例の半分にできるため、比較的演算能力の低い安価なマイクロコンピュータを制御部41として採用することで製造コストを低減でき、またブラシレスモータ6の効率を向上させることができる。

20

#### 【0061】

図15(A)は、比較例のベクトル制御における、ロータの電気角での1周分に対応する出力電圧ベクトルV1~V6の説明図である。図15(B)は、出力電圧ベクトルV1~V6を生成するためのスイッチング素子Q1~Q6のオンオフのタイムチャートである。図15(B)に示すように、PWMの6周期のいずれにおいても対称制御となっている。ロータが高速回転する場合、PWMの1周期の間のロータの角度変化が電気角で例えば60度に達することもある。この場合、比較例のベクトル制御では、1周期あたりの出力電圧ベクトルの方向が1方向のため、図15(A)に示すように、隣り合う周期間での出力電圧ベクトルの角度差が60度と大きくなる。そうすると、電圧ベクトルの角度が、ロータ位置に応じた最適値から大きくずれやすい。

30

#### 【0062】

図16(A)は、実施の形態のベクトル制御における、ロータの電気角での1周分に対応する出力電圧ベクトルV1a、V1b、V2a、V2b、・・・V6a、V6bの説明図である。図16(B)は、出力電圧ベクトルV1a、V1b、V2a、V2b、・・・V6a、V6bを生成するためのスイッチング素子Q1~Q6のオンオフのタイムチャートである。図16(B)に示すように、PWMの6周期のいずれにおいても非対称制御となっている。

#### 【0063】

具体的には、1周期目ではスイッチング素子Q3、Q6のオン時間及びオフ時間が前半と後半で異なり、2周期目ではスイッチング素子Q2、Q5のオン時間及びオフ時間が前半と後半で異なり、3周期目ではスイッチング素子Q1、Q4のオン時間及びオフ時間が前半と後半で異なり、4周期目ではスイッチング素子Q3、Q6のオン時間及びオフ時間が前半と後半で異なり、5周期目ではスイッチング素子Q2、Q5のオン時間及びオフ時間が前半と後半で異なり、6周期目ではスイッチング素子Q1、Q4のオン時間及びオフ時間が前半と後半で異なる。

40

#### 【0064】

本実施の形態のベクトル制御では、比較例と同じロータの角速度の場合、図16(A)に示すように、隣り合う周期間での出力電圧ベクトルの角度差が30度となる。よって、電

50

圧ベクトルの角度が、ロータ位置に応じた最適値から大きくずれることを抑制できる。図 17では、対称制御と非対称制御の違いが分かりやすいように、図 15(B)及び図 16(B)のタイムチャートを相ごとに並べて示している。

#### 【0065】

図 18は、実施の形態のベクトル制御の概略フローチャートである。このフローチャートは、スイッチ 5 がオン状態で、ブラシレスモータ 6 が既に回転している状態からスタートする。制御部 41 は、図 10(A)に示す通電パターン 7 でスイッチング素子 Q1 ~ Q6 を制御しているときに、各相の電流を検出し (S1)、インバータ回路 42 の入力側の電圧を検出し (S2)、ロータ位置及び角速度を計算 (演算) する (S3)。センサレスでのロータ位置及び角速度の演算は、既存の手法でよい。S1 ~ S3 の実行タイミングが、PWM の 1 周期の最初 (あるいは最後) となる。ロータ位置及び角速度が計算されると、電流位相角をあらかじめ設定された目的の角度にするために出力すべき電圧ベクトルを計算することができる。

10

#### 【0066】

制御部 41 は、スイッチ 5 のオン信号、すなわち駆動信号が継続している場合 (S4 の「有り」)、S3 で計算したロータ位置及び角速度を基に、周期の前半の電圧ベクトル a を決定し (S5)、電圧ベクトル a を出力するためのスイッチング素子 Q1 ~ Q6 のデューティ比を設定する (S6)。また、制御部 41 は、周期の後半の電圧ベクトル b を決定し (S7)、電圧ベクトル b を出力するためのスイッチング素子 Q1 ~ Q6 のデューティ比を設定する (S8)。周期の後半の電圧ベクトル b を決定するにあたり、ロータ位置は、PWM の半周期分の時間が経過していることを踏まえ、S3 で計算したロータ位置に対して、「ロータ角速度 × PWM の半周期分の時間」だけ進んだ位置として電圧ベクトルを計算する。制御部 41 は、S6、S8 で設定したデューティ比によってスイッチング素子 Q1 ~ Q6 を制御し、ブラシレスモータ 6 を回転駆動する。制御部 41 は、次の電流検出タイミングで S1 に戻る。

20

#### 【0067】

本実施の形態によれば、下記の効果を奏することができる。

#### 【0068】

(1) ベクトル制御の 1 周期の前半と後半で U、V、W の各相の少なくともいずれかのデューティ比を変更して出力電圧ベクトルを変更する構成のため、周期の中でのロータ位置の変化に対応した適切な制御が可能となる。これにより、ロータの高速回転時においても電圧ベクトルの角度をロータ位置に応じた最適値に対して精度良く合わせることができ、電流脈動を抑えられ、それに伴いトルク脈動も小さくなり低振動となる。また、電流ベクトルの角度 (図 7 の電流位相角) を最適値に精度良く合わせることができ、同じトルクを発生する場合の電流を低減でき、効率が良い。

30

#### 【0069】

(2) 上述の効果は、ベクトル制御の周期を短くすることなく得られるため、制御部 41 の性能を高くする必要がなく、コスト上昇を抑制できる。すなわち、ベクトル制御の周期を短くすれば、電圧ベクトルの角度をロータ位置に応じた最適値に近い状態に維持しやすくなるが、周期を短くするほど電流検出間隔が短くなり、制御部 41 の性能を高くする必要がある。この点、本実施の形態によれば、ベクトル制御の周期を短くすることなく、ベクトル制御の周期を半分にしたような効果が得られるため、制御部 41 の性能を高くする必要がなく、コスト上昇を抑制できる。また、単位時間当たりのスイッチング回数は変わらないため、オンオフの切替に伴うデッドタイムが出力電圧ベクトルに及ぼす影響 (誤差の増大等) を抑制できる。

40

#### 【0070】

(3) 各相の電流を図 10(A)に示す通電パターン 7 でスイッチング素子 Q1 ~ Q6 を制御しているときに検出し、デューティ比を図 10(A),(B)に示す通電パターン 7、8 でスイッチング素子 Q1 ~ Q6 を制御しているときにそれぞれ変更するため、デューティ比の変更に伴う追加のスイッチングを行う必要がなく、効率が良い。

50

## 【0071】

以上、実施の形態を例に本発明を説明したが、実施の形態の各構成要素や各処理プロセスには請求項に記載の範囲で種々の変形が可能であることは当業者に理解されるところである。以下、変形例について触れる。

## 【0072】

ステータコイル6hの結線方式は、Y結線に替えて、デルタ結線としてもよい。デルタ結線の場合、Y結線と比較して、図9(A)~(F)及び図10(A)~(B)に示す各通電パターンによって生成される出力電圧ベクトルの方向が変わり、同じ出力電圧ベクトルを生成するための通電パターンの組み合わせは変わるが、同様の効果が得られる。

## 【0073】

ブラシレスモータ6のロータの極数とステータのスロット数、すなわちロータマグネット6cの数とステータコイル6hの数は任意である。例えば、ブラシレスモータ6は、2極3スロット構成でもよい。

## 【0074】

ブラシレスモータ6におけるロータ位置及び角速度の検出は、センサレス方式に限定されず、ロータ近傍に設けた例えば3個のホールICの出力信号を基に検出するセンサ方式でもよい。すなわち、ロータ位置検出部は、各相の電流を検出する電流検出部に替えて、ロータマグネット6cの位置を検出するホール素子で構成されてもよい。

## 【0075】

シャント抵抗Ru、Rv、Rwは、各相の電流経路の高電位側に設けてもよい。この場合、各相の電流は、図10(B)に示す通電パターン8でスイッチング素子Q1~Q6を制御しているときに検出するとよい。

## 【符号の説明】

## 【0076】

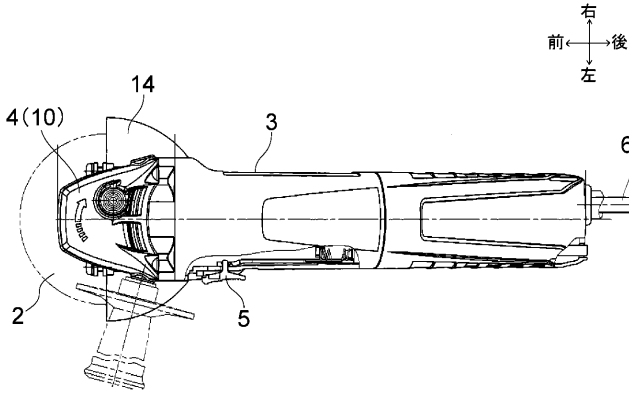
1 電気機器、2 砥石(回転具)、3ハウジング、4ギヤケース、5スイッチ、6ブラシレスモータ、6a出力軸、6bロータコア、6cロータマグネット、6eステータコア、6hステータコイル、6fヨーク部、6g突極部(ティース部)、8ファン、9基板、10ケース本体、11パッキングランド、12ニードルベアリング、13ボールベアリング、14ホイールガード、15スイッチング素子、20スピンドル、21第1のベベルギヤ、22第2のベベルギヤ、40制御装置(ブラシレスモータの制御装置)、41制御部(マイコン)、42インバータ回路(駆動回路)、43電圧検出回路、44増幅回路、60交流電源、61ダイオードブリッジ(全波整流回路)、62電源コード、Q1~Q6スイッチング素子、Ru、Rv、Rwシャント抵抗。

10

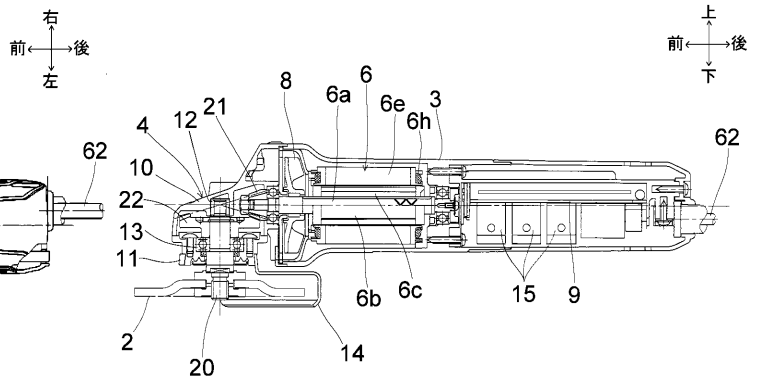
20

30

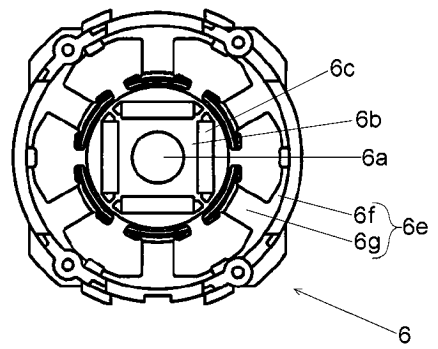
【図1】



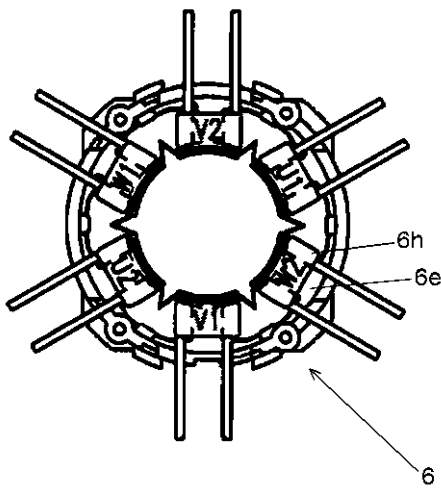
【図2】



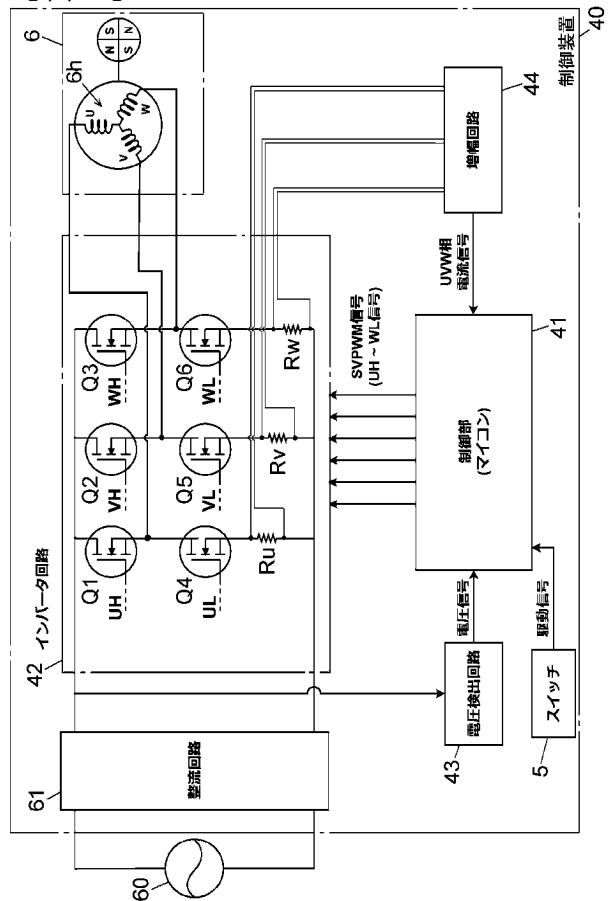
【図3】



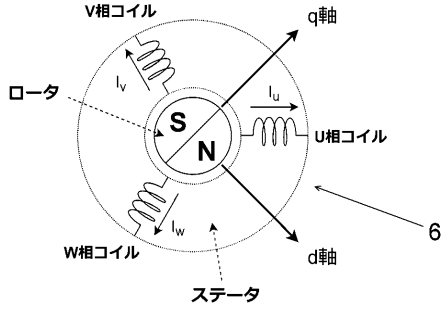
【図4】



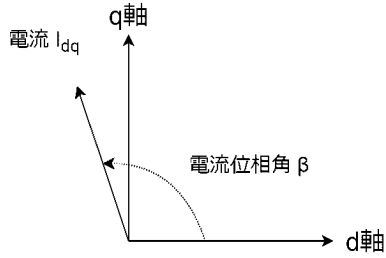
【図5】



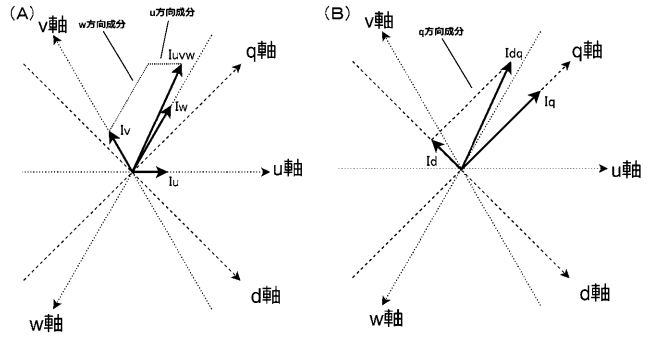
【図6】



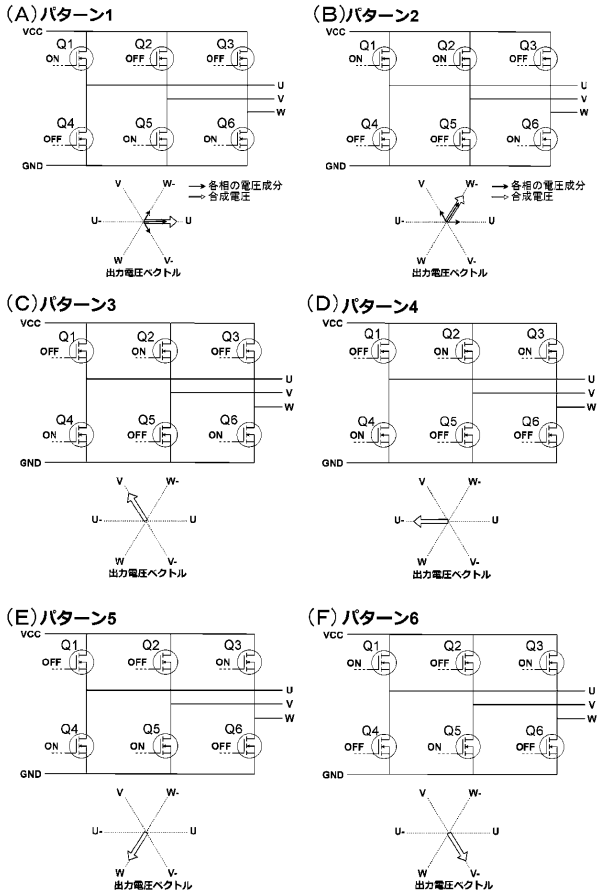
【図7】



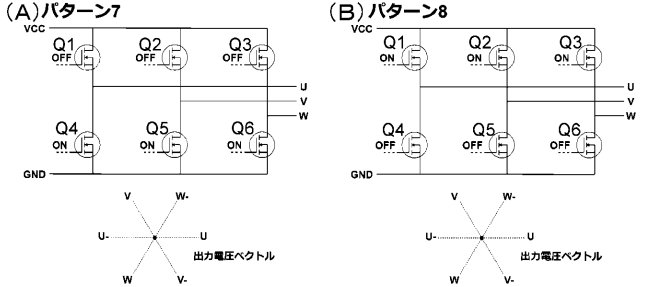
【図8】



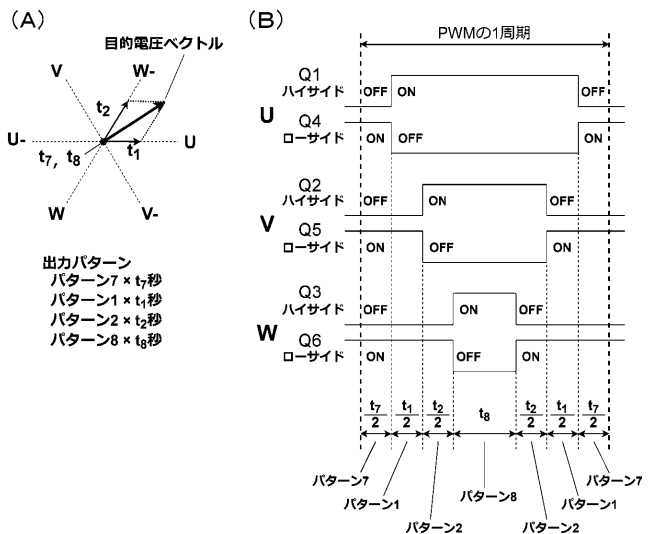
【図9】

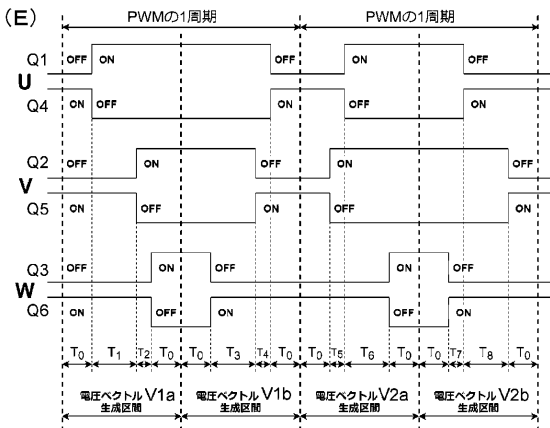
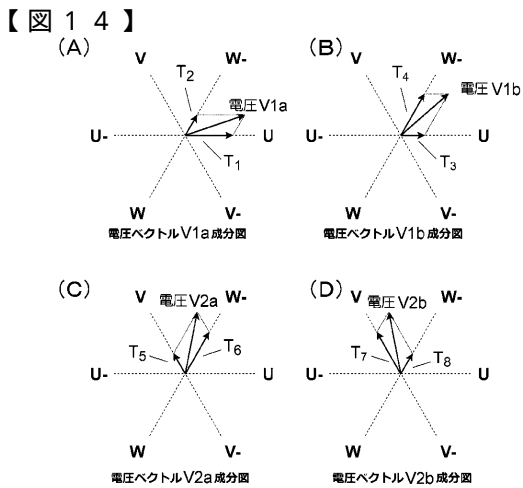
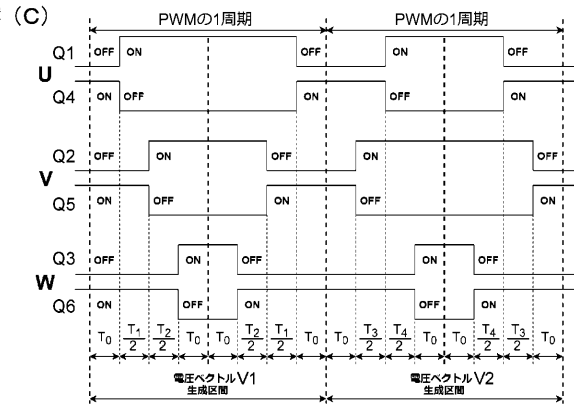
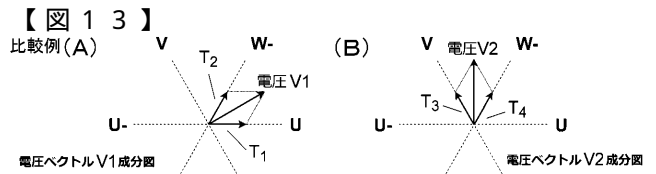
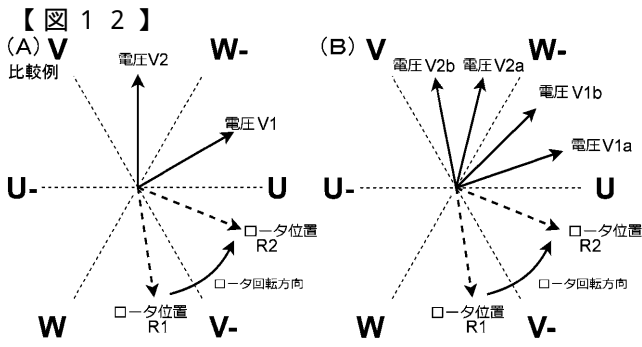


【図10】

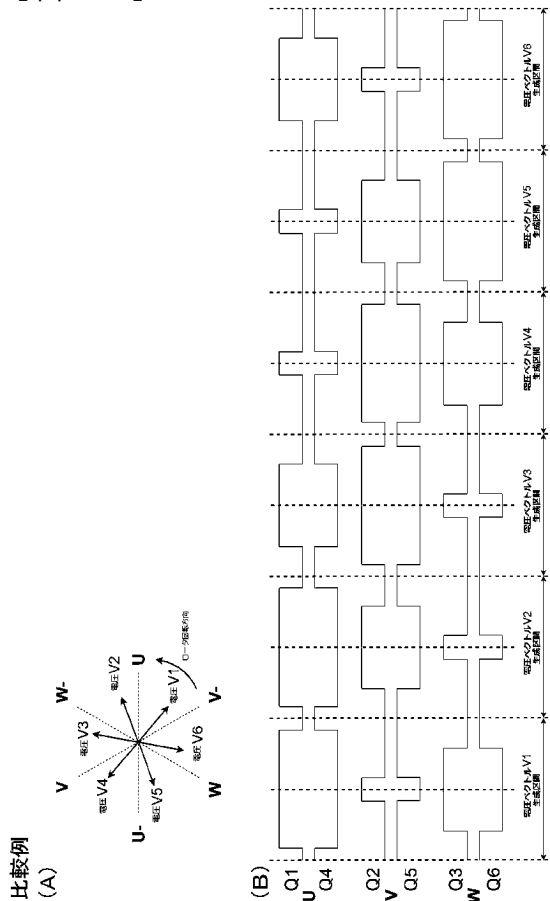


【図11】



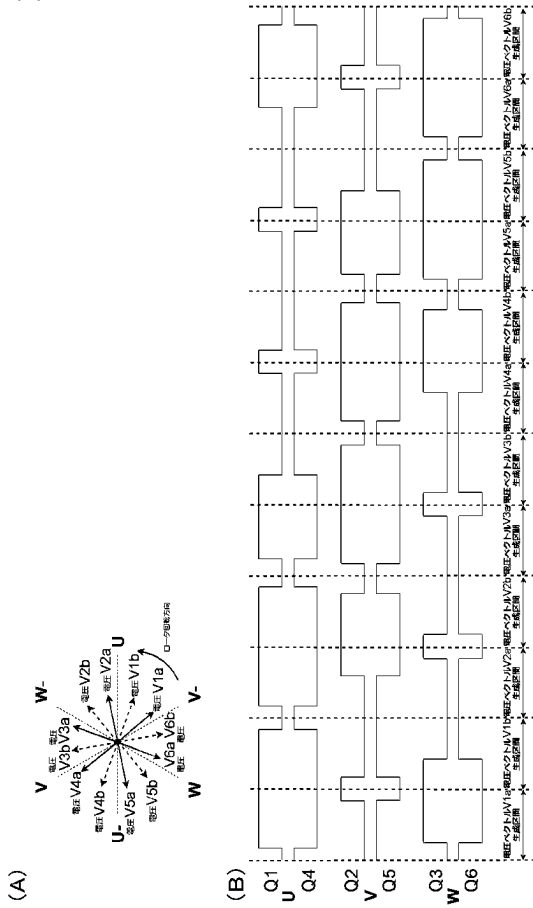


**【図15】**

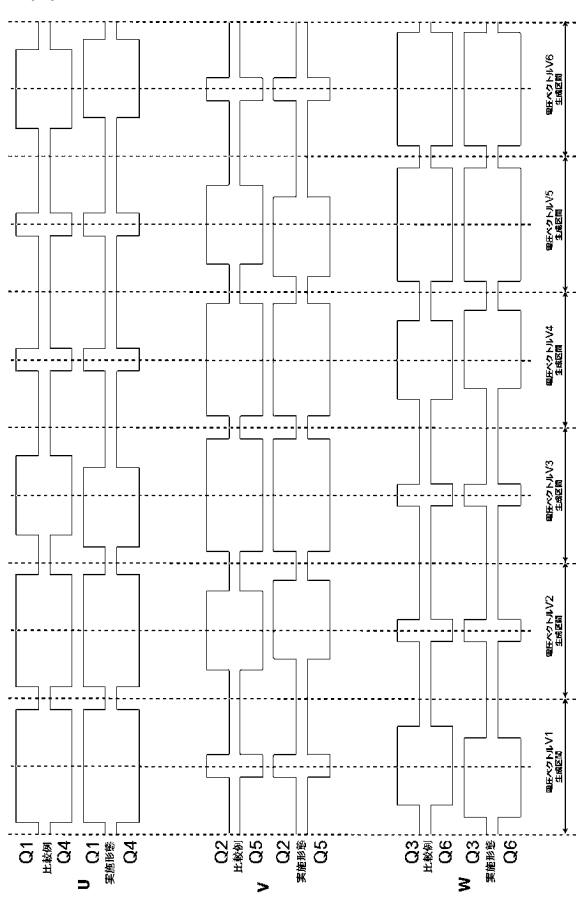




【図 16】



【図 17】



【図 18】

