

# ブラシレスDCモータの駆動回路技術

中国職業能力開発大学校 天野 隆  
石部 剛史

Drive Circuit Technology of Brush-less DC Motor

Takashi AMANO, Takeshi ISHIBE

**要約** ブラシレスDCモータは、ブラシとコミュテータの機械的な接点がないため、高速回転、長寿命、低ノイズを実現したモータである。しかし、ステータコイルに流す電流の切り替えを駆動回路側が担うため、DCモータに比べ複雑な回路構成となる。したがって、回路を設計する場合、専用駆動ICを使用するか否かの選択に迫られる。専用駆動ICを使用すれば、回路は簡略化されるが、設計の自由度が制約されることや、モータと専用駆動IC間のインタフェースを考慮することが必要な場合もある。本報告では、専用駆動ICを使用しないディスクリット部品を中心とした回路構成を提案した。ただし、この構成では、回路の複雑化が懸念される。そこで、ステータコイルの励磁パターン生成回路と電力増幅回路を独立させ、励磁パターン生成回路にマイコンを使用することにより、複雑化を軽減させた。

## I はじめに

ブラシレスDCモータは、ハードディスクやファンなど、高速回転、長寿命、低ノイズを要求される機器に多く用いられている。前述したこれら特長は、ブラシとコミュテータの機械的な接触がないことから生じた。しかし、ブラシとコミュテータの役割であったステータコイルに流す電流の切り替えを駆動回路で担う必要性も同時に生じた。したがって、DCモータに比べ、駆動回路の複雑さが欠点といえる。この複雑さを

解消するため、専用の駆動ICも存在はしている。しかし、設計の自由度が制約されることや、専用駆動ICの入力がホールIC出力タイプのモータに対応していない場合も少なくない。以上により、駆動回路をディスクリット部品で構成せざるを得ない状況もありうる。

そこで、本報告ではこのジレンマを解決すべく、ディスクリット構成ではあるが、マイコンを用いることにより駆動回路の複雑化を軽減することを目的とした<sup>1)</sup>。なお、本内容は、平成14年度能力開発セミナーにて、実際におこなった内容をまとめあげたものである。

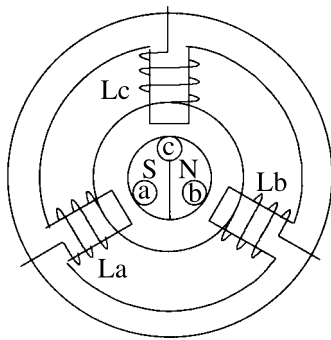


図1 基本的なブラシレスDCモータ内部構成

## II ブラシレスDCモータ概要

現在、ブラシレスDCモータは、単相から多相までの様々な種類が存在しているが、中でも3相タイプが、最も多く用いられている。本報告では、この3相タイプを取り上げた。ここで、3相タイプの例として、説明の便宜上、最も基本的な3スロット2ポールモータ（スター結線）を取り上げた。内部構成を、図1に示す。前項で説明したように、ブラシ、コミュテータが

ない。外側のLa、Lb、Lcはステータコイルである。内側のHa、Hb、Hc（Hを省略して表記）は磁極位置を検出するためのホールセンサである。また、ロータである永久磁石が配置されている。一般に、永久磁石であるロータの磁気を利用してロータの位置を検出するタイプが最も多く、本報告においてもこのタイプのモータを取り上げる。

図2に、ブラシレスDCモータの回転原理を示す。(1)に示すようなロータの状態を電気角 $0^\circ$ とし、LbからLaに向かって、電流が流れると仮定する。すると、右ねじの法則により、Lbは「N」に、Laは「S」に励磁され、磁石であるロータが引力により回転する。さらに、電気角 $60^\circ \sim 300^\circ$ まで、コイルに流れる電流が順次に切り替わり、それに従ってロータも連続的に回転する。最後に、電気角 $0^\circ$ に達したとき1回転したことになる。

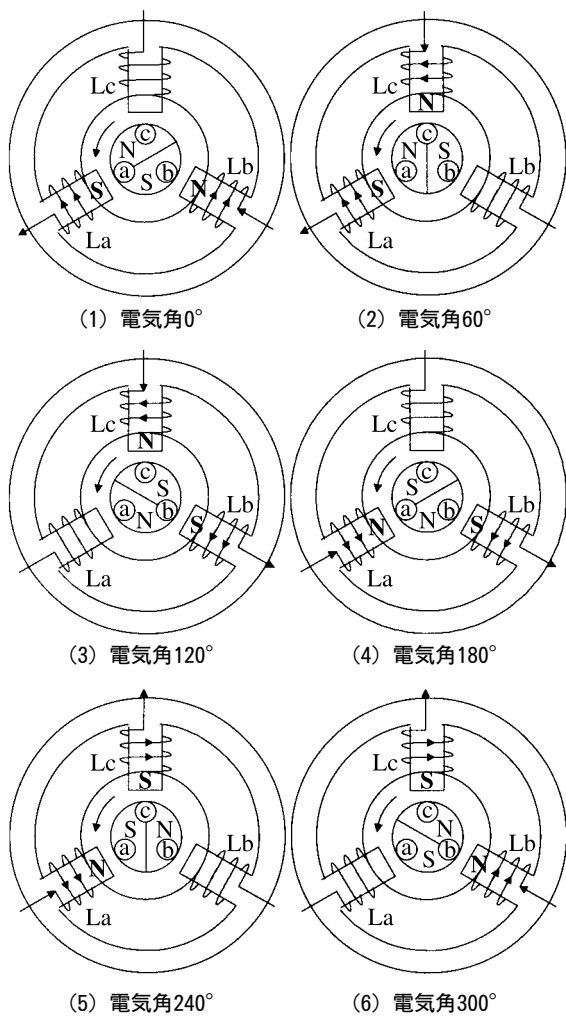


図2 ブラシレスDCモータの回転原理

### III 専用駆動ICを用いた駆動回路例

図3に、ブラシレスDCモータを駆動するための回路の基本構成を示す。なお、ホールセンサは、ブラシレスDCモータに内蔵されており、駆動回路部は、励磁パターン生成回路と電力増幅回路に分かれる。まず、ホールセンサの出力信号が、励磁パターン生成回路に入力される。次に、励磁パターン生成回路で生成されたパターンを電力増幅回路に入力する。最後に、電力増幅された信号をブラシレスDCモータに出力し、ロータが回転する。ロータが回転すると、ホールセンサの出力信号が変化し、励磁パターン生成回路に入力されるということを繰り返すことにより、モータが連続回転する。

駆動回路部をディスクリート部品で構成した場合、DCモータの駆動回路に比べ複雑となる。このことから、専用駆動ICが市販されており、駆動回路部をICに置き換えることで回路の簡略化が図れる。ただし、注意点としては、ホールセンサがホール素子であるのか、またはホールICであるのかを確認する必要がある。一般に、ホール素子の出力信号は、数十mV～百数十mVの微小信号である。一方、ホールICの出力信号は、TTLレベルの信号である。以上を踏まえると、

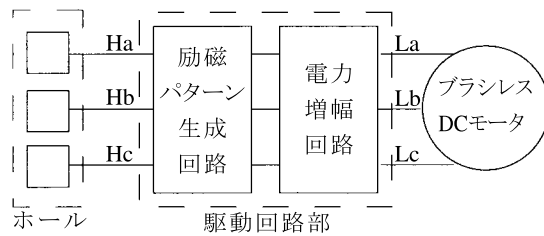


図3 ブラシレスDCモータの駆動回路の基本構成

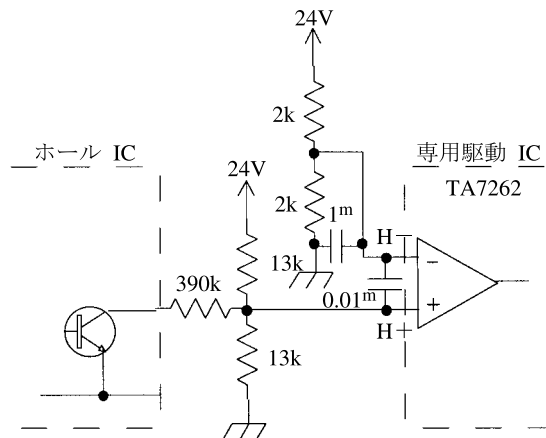


図4 ホール素子信号入力タイプ駆動ICを用いる際のインタフェース回路例

モータに内蔵されているホールセンサに対応した専用駆動ICを用いる場合は、直接接続が可能である。

しかし、著者らが調査した時点では、モータはホールICを内蔵したタイプが、専用駆動ICはホール素子の信号を入力するタイプが少なくなかった。したがって、やむを得ずこの組み合わせで回路を構成する場合も考えられる。この組み合わせの場合、モータと専用駆動IC間で取り扱う信号が異なるため、直接接続することが不可能であり、何らかのインターフェース回路が必要となる。ここで、具体例を述べる。図4に示すように、ホールICは1出力、専用駆動ICは2入力（差動アンプ形式）となっている<sup>2)</sup>。差動アンプのH-ピンには、バイアス電圧（電源電圧の約半分）を入力する。差動アンプのH+ピンには、抵抗比によってホールICのTTL信号を微小信号に変換し入力する。図5に、ホールICのTTL信号を微小信号に変換した波形とバイアス電圧との関係を示す。専用駆動ICの入力は差動アンプ形式なので、H-に入力されているバイアス電圧（約12V）を基準とし、N極の場合は正の値、S極の場合は負の値としてあつかわれる。

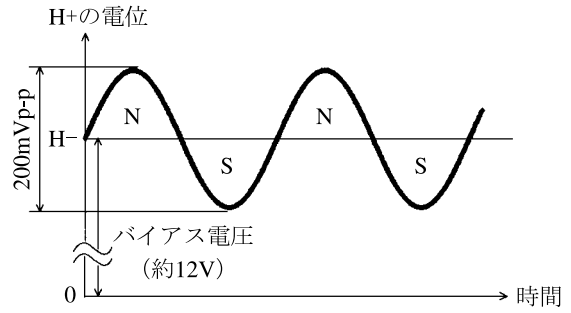


図5 ホールICのTTL信号を微小信号に変換した波形とバイアス電圧との関係

#### IV 製作した駆動回路

図6に製作した駆動回路の回路図を示す<sup>2)</sup>。基本は、3つのホールIC信号をマイコンに入力し、マイコンにおいて6つのトランジスタへの出力パターンを生成および出力している。ホールIC信号パターンからトランジスタへの出力パターンを生成するための励磁パターン生成回路は、マイコンの使用により簡略化された。さらに、モータの通电方式が120°、180°方式<sup>3)</sup>と

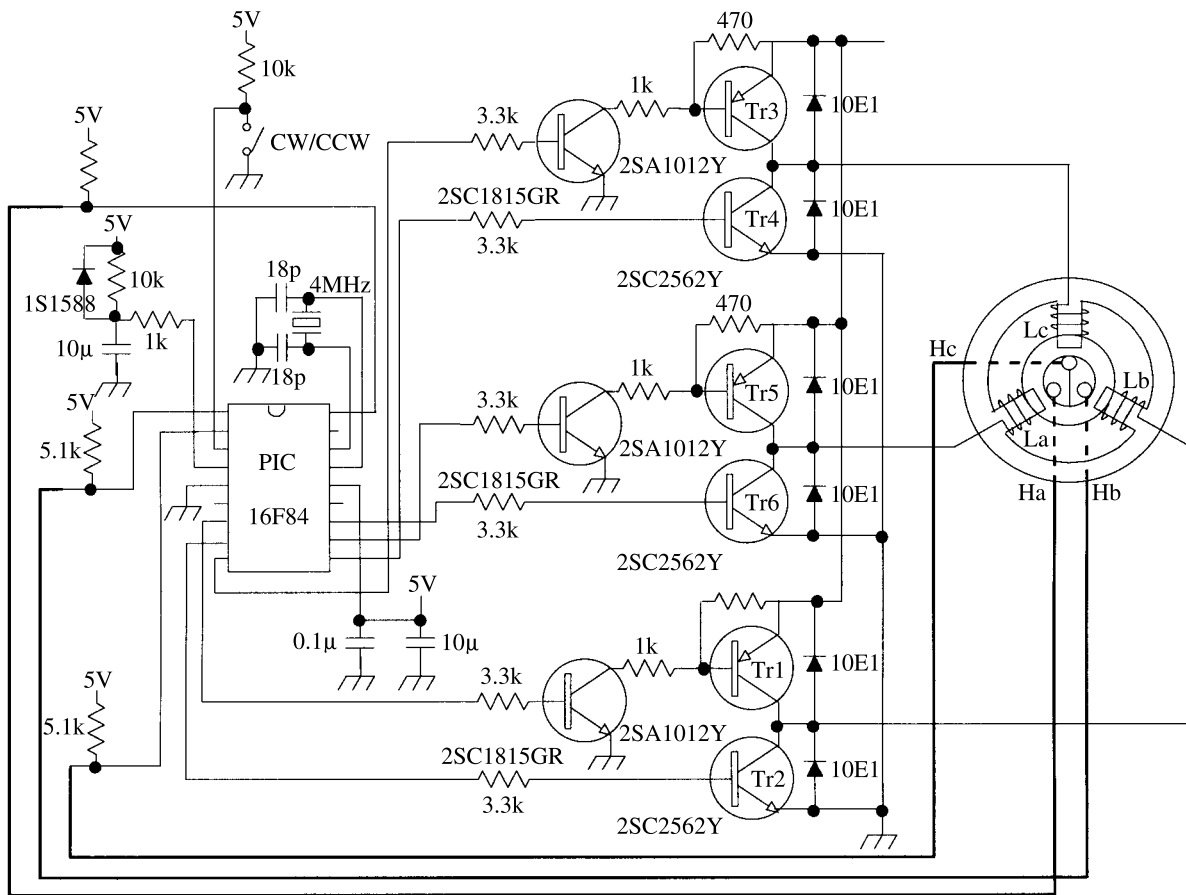
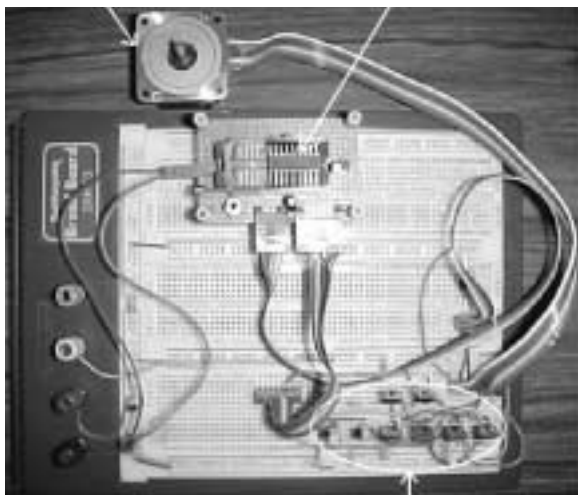


図6 3相バイポーラスター駆動回路

あり、それぞれ励磁パターンも異なる。マイコンを使用すれば、プログラムの変更のみで両方式に対応できるため、汎用的に用いることが可能となる。なお、使用したマイコンは、安価で市場に多く存在するものとして、Microchip社製のPIC16F84を選択した。図7に製作した駆動回路を示す。モータは、日本サーボ製24V、3W、3相12ポール9スロット、120°通電方式を使用した。本回路によって、定格回転数で正逆転制御をさせることができる。

回転数制御は、一般にチョッパ制御が用いられる<sup>4)</sup>。まず、図6内のトランジスタTr2、4、6のベースに入力する励磁パターン信号とPWM波との論理積をとる。次に、これを新たな励磁パターン信号とし、前述したトランジスタのベースに入力することで実現される。例えば、チョッパのデューティ比を小さくすれば、モータに印加される平均電圧が低下するので、巻線電流が小さくなり、その結果トルクが低下し、回転数が低下する。デューティ比を大きくすれば、全て逆の現象となり回転数が上昇する。具体的には、前述したマイコンの上位機種に、PWMモジュールを内蔵するものが存在しているので、これを用いれば容易にチョッパ制御が実現できると考えられ、今後おこなう予定としている。

ブラシレスDCモータ      マイコン (PIC16F84)



電力増幅回路

図7 製作した駆動回路

## V 励磁パターン発生用アルゴリズム

表1に、CW時におけるホールIC出力、およびトランジスタベース入力信号パターンを示す。なお、表中の電気角0°~360°まで、全て図2と対応している。まず、任意の位置に存在するロータの磁極位置をホールICが検出し、電気角0~360°における60°きざみの6パターンのいずれかを出力する。マイコンは、そのパターンを受け取り、表に示す通りに各トランジスタのベースに出力する。さらに、トランジスタがONすることにより、表の右端に示す通りに電流が流れステータの磁極が変化し、ロータが回転する。最後に、回転後ホールICの出力パターンが変化する。以上を繰り返すことにより、連続回転する。

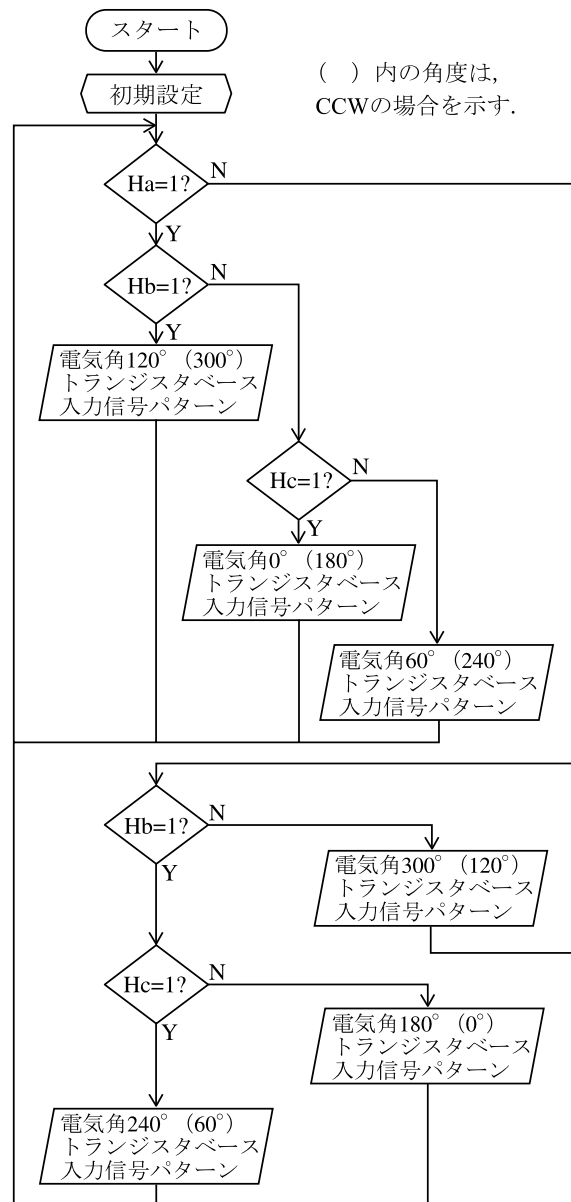


図8 フローチャート

図8に、マイコンプログラムのフローチャートを示す。3つのホールIC信号を順次判別し、電気角 $0^\circ \sim 360^\circ$ の各位置における6通りのパターンを出力する。

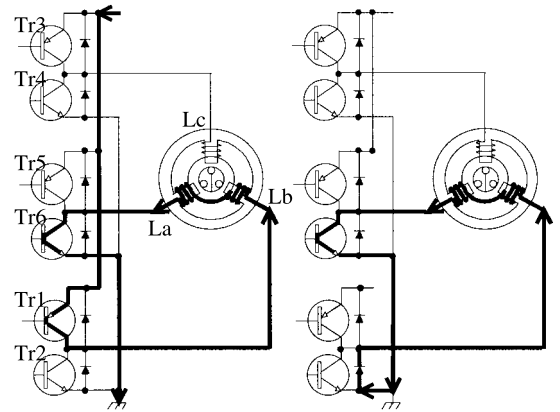
以上を踏まえて、図9(1)、(4)に電気角 $0^\circ$ の力行時におけるモータ、トランジスタに流れる電流ルートの例を示す。(1')、(4')は、電気角が $0^\circ$ から $60^\circ$ へ、 $180^\circ$ から $240^\circ$ への切り替え時に流れる電流ルートである。切り替え時には、モータのインダクタンス成分による遅れ電流を、トランジスタと並列接続されたフリーホイールダイオードが補償している。なお、図9(1)、(4)は、図2(1)、(4)と対応している。

### VI 動作実験と考察

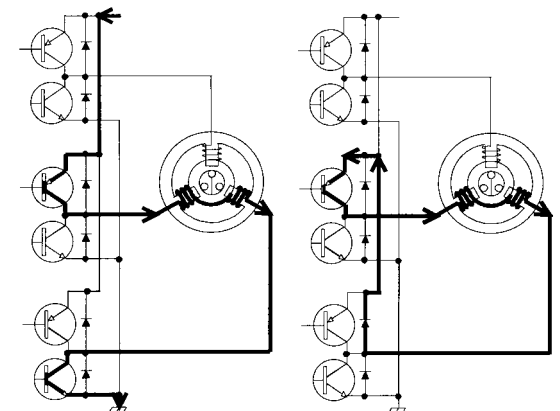
図10にコイルLaを基準としたコイルLa-Lb間の線間電圧およびコイルLaに流れる電流を示す。線間電圧は台形波、電流は矩形波に近い形となる。これは、 $120^\circ$  通電方式のモータであるので、図9に示すTr1とTr2、Tr3とTr4、Tr5とTr6の各ペアが同時にON-OFFすることはないためである。線間電圧が矩形波になる $180^\circ$  通電方式に比べ正弦波に近いため、電流脈動が低減される<sup>3)</sup>。

図11に、線間電圧の各区間におけるモータの動作状態を示す。なお、図中に示す各区間は、図2、9、12、13に全て対応している。この波形は、コイルLa-Lb間を示しており、区間(1)、(4)のときに線間電圧は最

大となる。このとき、コイルLa、Lbは、共に力行状態である。区間(2)、(3)、(5)、(6)では、ロータが回転することによる速度起電力が出現している。区間(1')、(2')、(4')、(5')では、インパルス状の波形がいくつかみられる。この区間は、前項で述べたように、



(1) 電気角 $0^\circ$ の力行時 (1') 電気角 $0^\circ$ から $60^\circ$ への切り替え時



(4) 電気角 $180^\circ$ の力行時 (4') 電気角 $180^\circ$ から $240^\circ$ への切り替え時

表1 ホールIC出力およびトランジスタベース入力信号パターン (CW時)

電気角 ( $\theta$ )	Ha	Hb	Hc	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6	Tr1	Tr2
$0^\circ \leq \theta < 60^\circ$	1	0	1	0	0	0	1	1	0
$60^\circ \leq \theta < 120^\circ$	1	0	0	1	0	0	1	0	0
$120^\circ \leq \theta < 180^\circ$	1	1	0	1	0	0	0	0	1
$180^\circ \leq \theta < 240^\circ$	0	1	0	0	0	1	0	0	1
$240^\circ \leq \theta < 300^\circ$	0	1	1	0	1	1	0	0	0
$300^\circ \leq \theta < 360^\circ$	0	0	1	0	1	0	0	1	0

図9 力行時と電気角切り替え時における電流ルート

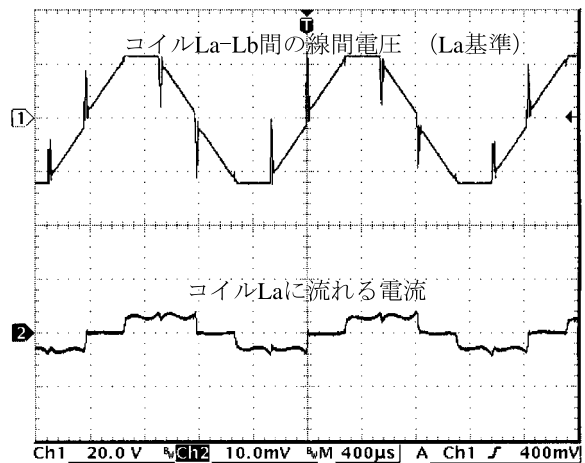


図10 La-Lb間の線間電圧とコイルLaに流れる電流

図9 (1')、(4')に示すトランジスタに並列接続されているフリーホイールダイオードに電流が流れている。図12に3相分を重畳した線間電圧波形を示す。台形波ではあるが、位相が120° ずつずれた三相交流となっている。図11と図12の区間 (2)、(3)、(5)、(6)を比較すると他相<sup>注1)</sup>が力行状態となっていることが理解できる<sup>4)</sup>。図13に、コイルLaに流れる電流における各区間の他相<sup>注1)</sup>の電流パターンを示す。Laに電流の出入りがない区間では0となる。また、線間電圧が台形波であるため、電流に高調波成分が重畳している。

## Ⅶ おわりに

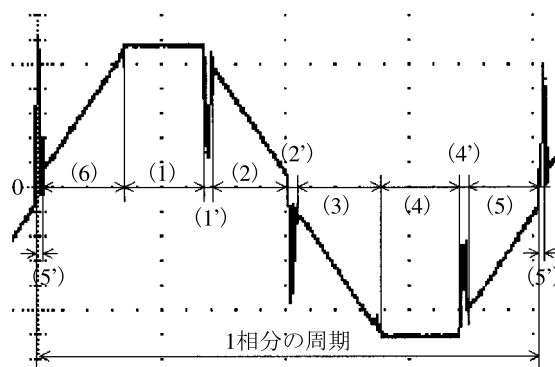
ステータコイルの励磁パターン生成回路と電力増幅回路を独立させ、励磁パターン生成回路としてマイコンを使用することにより、複雑化を軽減することが可能となった。また、ソフトウェアを変更することで、他の通電方式への対応も容易におこなえと考えられる。

今後は、チョップ制御による回転数制御や、コイル電流に重畳する高調波成分を低減させるために、正弦波PWM制御をマイコンで実現する予定である。

### [参考文献]

- (1) 天野、立壁、橋本、石部、ブラシレスDCモータの駆動回路技術、技能と技術、pp.48-55、vol.224、2004.
- (2) ブラシレスモータのサーボ回路技術、トランジスタ技術special、pp.4-75、No.73、CQ出版.
- (3) 見城、永守、新・ブラシレスモーターシステム設計の実際一、総合電子出版社、pp.59-74、2002.
- (4) 海老原他、モータ技術実用ハンドブック、モータ技術実用ハンドブック編集委員会、pp.145-148、2001.

注1) コイルLa-Lb間を基準とした場合のLb-Lc間やLc-La間のことを指す。



- 区間 (1) : 電気角0° のとき (La、Lbが力行)
- 区間 (2) : 電気角60° のとき (Lc、Laが力行)
- 区間 (3) : 電気角120° のとき (Lb、Lcが力行)
- 区間 (4) : 電気角180° のとき (La、Lbが力行)
- 区間 (5) : 電気角240° のとき (Lc、Laが力行)
- 区間 (6) : 電気角300° のとき (Lb、Lcが力行)
- 区間 (1') : 電気角0° から60° への切り替え時
- 区間 (2') : 電気角60° から120° への切り替え時
- 区間 (4') : 電気角180° から240° への切り替え時
- 区間 (5') : 電気角240° から300° への切り替え時

図11 各区間におけるモータの動作状態（線間電圧）

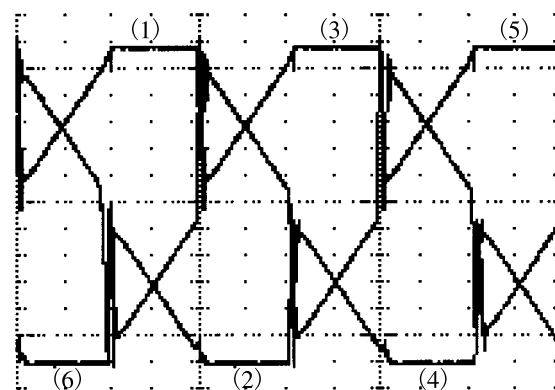


図12 3相分を重畳した線間電圧

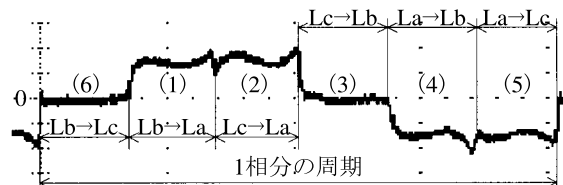


図13 コイルLaに流れる電流における各区間の他相<sup>注1)</sup>の電流パターン