

# PM形ステップモータの駆動回路に関する研究

## —ユニポーラ駆動とバイポーラ駆動との比較—

Study on Driving Circuits for PM Step Motors

— Comparison between Unipolar Drive and Bipolar Drive —

樋口 俊郎\*  
Toshiro HIGUCHI

### 1. はじめに

ステップモータにはその動作原理によって可変リラクタンス形 (VR形) と永久磁石形 (PM形) の2つの形式がある。後者のPM形ステップモータを駆動するには、VR形ステップモータの場合と異なり、ステータの各ポールの極性を励磁のシーケンスに従って反転させることが不可欠であり、このための手法として、ユニポーラ駆動(1個のポールについて一対の励磁巻線を重ねて巻き、巻線の一方を順次選択することによってポールの極性を反転させる方法) とバイポーラ駆動(励磁巻線にかかる電圧の方向を反転させる方法) の2通りの駆動方式を用いることができる。本研究の対象とするステップモータは我国で一般にハイブリッド形ステップモータと呼ばれ、広く用いられているものであり、これはPM形ステップモータの一種である。現在このハイブリッド形ステップモータのほとんどのものはユニポーラ駆動を前提とした形で供給されており、これは、ユニポーラ駆動の方が励磁回路が簡単になることによるものと言える。しかし、高速度性能やモータの小形軽量化の要求に対してはバイポーラ駆動の方が適していると考えられる。本報では、ユニポーラ駆動とバイポーラ駆動における励磁相切換え時の巻線電流の過渡現象の相違を明らかにすることによって、バイポーラ駆動の方が高速性能に優れていることを示す。さらに、従来のユニポーラ駆動の回路に若干の変更を加えることによって、バイポーラ駆動と等価的な特性を有する励磁回路を見出したのでこれについても報告する。

### 2. ハイブリッド形ステップモータの駆動方式

いわゆる4相ハイブリッド形ステップモータとして供給されているステップモータの巻線は図1に示すようになっており、巻線Aと巻線Cおよび巻線Bと巻線Dはそれぞれ対になって巻かれている。これら一対の巻線間では、一方の巻線を励磁したときと他方の巻線を励磁した

ときの起磁力の向きが逆になるようになっている。ユニポーラ駆動の基本的な励磁回路を図2に示す。

一方、バイポーラ駆動では、基本的には両極性電源が必要となるが、一般には図3に示すようにブリッジ回路を組むことにより、単一極性電源を用いる方法がとられている。この場合巻線としては、図3に示すように各対の一方ずつを用いれば良い。また、同一ポールに巻かれ

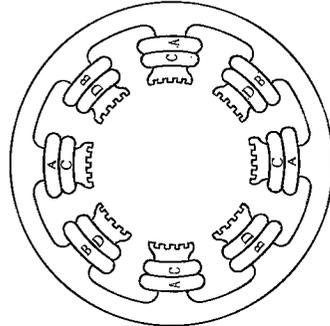


図1 4相ハイブリッド形ステップモータのステータ巻線の様子

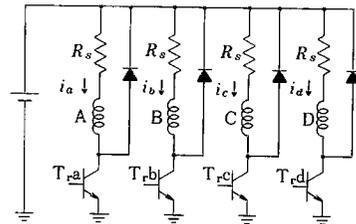


図2 ユニポーラ駆動の励磁回路

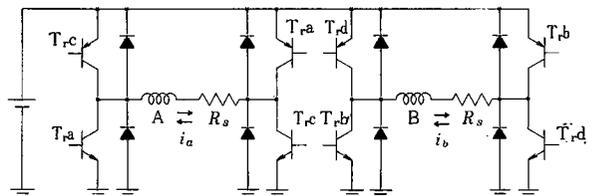


図3 バイポーラ駆動の励磁回路

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

た各対の巻線を起磁力の方向が一致するように並列あるいは直列に結合して、これを1つの相として利用しても良い。図2および図3の駆動回路でモータを回転させる場合の励磁相切換のための各トランジスタのON状態のシーケンスを1相励磁、2相励磁、1-2相励磁の各励磁法について表1に示す。

3. 励磁電流の過渡現象

ステップモータの高速域における特性改善のためには励磁相切換えにおける励磁および消磁をすみやかに行うことが必要であり、抵抗付加法、2電源法、定電流法などの励磁法が用いられている。ここでは、ユニポーラ駆動とバイポーラ駆動との励磁電流の過渡現象の相違を基本的な励磁回路である図2および図3の回路について検討する。

励磁電流を正しく論じるには、ロータの運動に伴う逆起電力を考慮しなければならないが、ここではこれを無視する。いま、図2および図3のトランジスタaに注目して、このON、OFF時の過渡現象を調べてみる。4相ハイブリッド形ステップモータにおいては、その構造から、巻線AとCおよび巻線BとDの間には大きさが1の結合係数の相互インダクタンスがあり、巻線AとBなどの他の組合せには相互インダクタンスが無いものと見なして良い。

1例として、ユニポーラ1相励磁駆動についてトランジスタaをONにするときの過渡現象を取り上げてみる。 $i_a$ と $i_c$ について次の微分方程式が成り立つ。

表1 励磁相切換えのシーケンス

1相励磁	$\leftrightarrow a \leftrightarrow b \leftrightarrow c \leftrightarrow d \leftrightarrow a \leftrightarrow$
2相励磁	$\leftrightarrow ab \leftrightarrow bc \leftrightarrow cd \leftrightarrow da \leftrightarrow ab \leftrightarrow$
1-2相励磁	$\leftrightarrow a \leftrightarrow ab \leftrightarrow b \leftrightarrow bc \leftrightarrow c \leftrightarrow cd \leftrightarrow$

$$\begin{cases} R i_a + L \frac{d i_a}{d t} - M \frac{d i_c}{d t} = E \\ R i_c + L \frac{d i_c}{d t} - M \frac{d i_a}{d t} = 0 \end{cases}$$

ただし M: 巻線AとCの間の相互インダクタンス  
E: 電源電圧  
R: 巻線抵抗と付加抵抗の和  
L: 巻線の自己インダクタンス

このような式をユニポーラ駆動とバイポーラ駆動の各励磁方式について導きトランジスタaのON時、OFF時の過渡現象求めた解を表2に示す。

ユニポーラ駆動の場合、巻線Aに流れる電流を $i_a$ 、Cのそれを $i_c$ とすると、巻線AとCが巻かれているポールに働く起磁力は $(i_a - i_c)$ に比例する。

一方、バイポーラ駆動では、巻線Cを用いていないことから、 $i_a$ だけについての方程式が得られ、巻線Aが巻かれたポールに働く起磁力は $i_a$ に比例する。

4. 実験結果

実験に用いたステップモータの諸元を表3に示す。このモータのロータを回転しないように固定したときの巻線電流波形の観察結果を図4に示す。これらの波形は表2に示した解と一致している。ユニポーラ駆動の $(i_a - i_c)$ とバイポーラ駆動の $i_a$ の波形を比較することにより、バイポーラ駆動の方がユニポーラ駆動に比べて励磁と消磁がすみやかに行われていることが分かる。このことか

表3 実験に使用したモータの諸元

型名	KP6M2 (日本サーボ)
ステップ角	1.8° (1-2相励磁では0.9°)
巻線の抵抗	20 Ω
巻線の自己インダクタンス	44 mH

表2 巻線電流の過渡応答

	ユニポーラ駆動		バイポーラ駆動	
	ON時	OFF時	ON時	OFF時
1相励磁 および 1-2相励磁	$i_a = \frac{E}{R} \left( 1 - \frac{1}{2} e^{-\frac{R}{2L}t} \right)$ $i_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{2L}t}$ $i_a - i_c = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{2L}t} \right)$	$i_a = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$ $i_c = 0$ $i_a - i_c = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$	$i_a = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$	$i_a = -\frac{E}{R} \left( 1 - 2e^{-\frac{R}{L}t} \right)$ ただし $t \geq \ln 2 \cdot \frac{E}{R}$ では、 $i_a = 0$
2相励磁	$i_a = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{2L}t} \right)$ $i_c = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{2L}t}$ $i_a - i_c = \frac{E}{R} \left( 1 - 2e^{-\frac{R}{2L}t} \right)$	$i_a = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{2L}t}$ $i_c = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{2L}t} \right)$ $i_a - i_c = -\frac{E}{R} \left( 1 - 2e^{-\frac{R}{2L}t} \right)$	$i_a = \frac{E}{R} \left( 1 - 2e^{-\frac{R}{L}t} \right)$	$i_a = -\frac{E}{R} \left( 1 - 2e^{-\frac{R}{L}t} \right)$

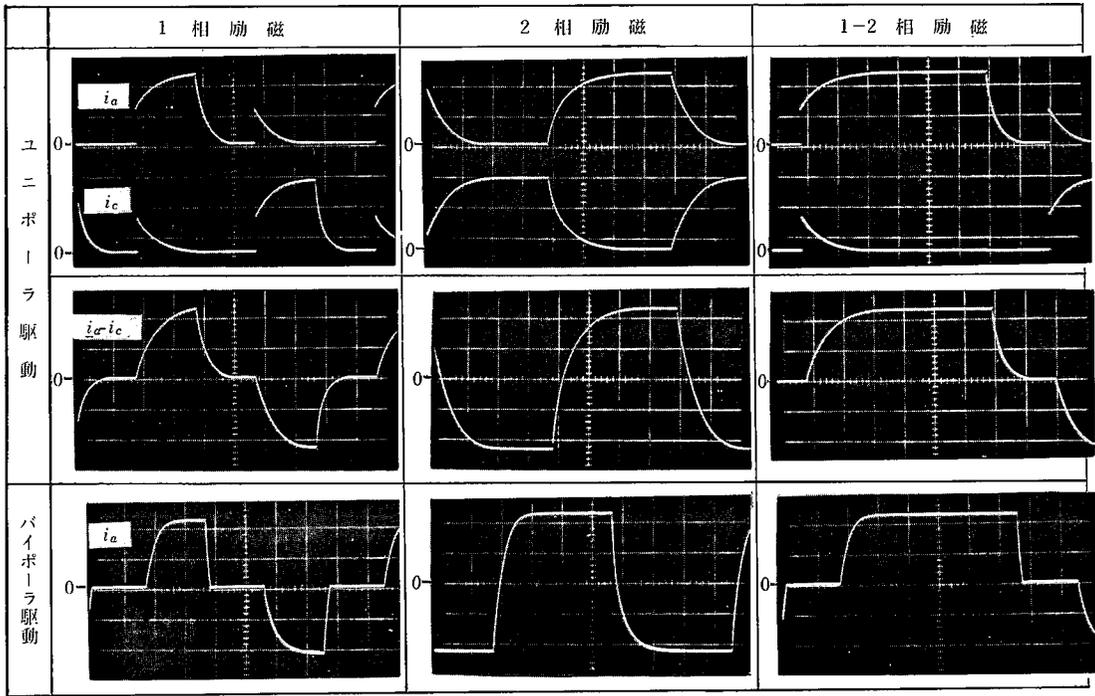


図4 ユニポーラ駆動とバイポーラ駆動とのロータ固定時の励磁電流波形の比較  
(入力パルス周波数 100pps, 縦軸 0.25 A/div, 横軸 5msec/div)

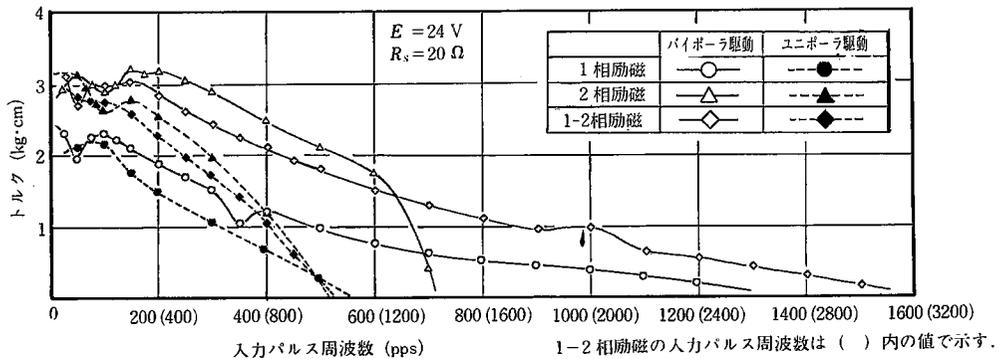


図5 バイポーラ駆動とユニポーラ駆動とのプルアウトトルク特性の比較

ら、バイポーラ駆動の方が高入力パルス周波数域での出力トルクが大きいことが予想でき、実際に図5のプルアウトトルク特性を調べた結果が示すように、明らかにバイポーラ駆動の方が高速性に優れている。

5. ユニポーラ駆動の改良

バイポーラ駆動の方がユニポーラ駆動に比べてプルアウトトルク特性が優れているが、一方において励磁回路が複雑になるという欠点がある。バイポーラ駆動で励磁消磁がすみやかにされる要因をユニポーラ駆動と比較してみると、

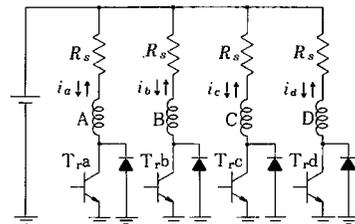


図6 バイポーラ駆動と等価な効果が得られる励磁回路

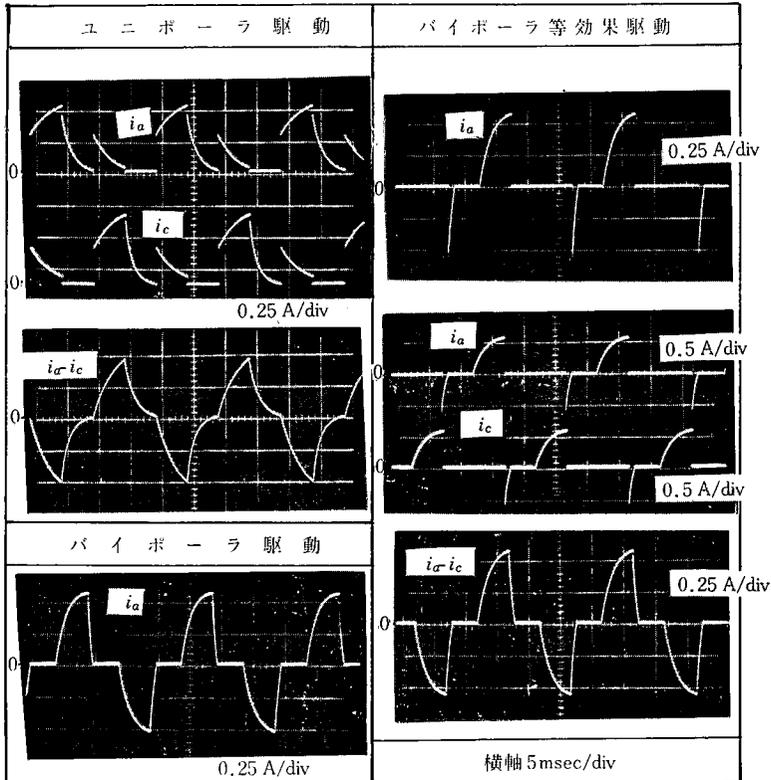


図7 バイポーラ駆動と等価な効果が得られる励磁回路による励磁電流 (入力パルス周波数 200 pps, 1 相励磁)

- 1) 相互誘導の影響が無い。
- 2) 消磁が電源を介して行われる。

の2点である。したがって、ユニポーラ駆動においても、これらを満足できるようにすれば、バイポーラ駆動と同等の特性が得られることが考えられる。そして、これは図6に示す励磁回路によって実現することが可能となる。つまり、この回路では、トランジスタaをONにしたとき、巻線Cには電流が誘導されず、またトランジスタaのOFF時には巻線AとCが巻かれたポールの磁気エネルギーは巻線Cを介して電源にもどされる。

図6の励磁回路による励磁電流の波形を従来のユニポーラ駆動およびバイポーラ駆動によるものと比較して図7に示す。これから分かるように、改良したユニポーラ駆動ではバイポーラ駆動と等しい起磁力を生ずる電流波形を得ている。図6の起磁回路によるプルアウトトルク特性を調べた結果は図8のようになり、バイポーラ駆動とほとんど等しい特性が得られることが分かる。ここで、バイポーラ駆動の方が若干プルアウトトルクが小さいのは、トランジスタによる損失が改良したバイポーラ駆動のそれに比べて大きいことによるものである。

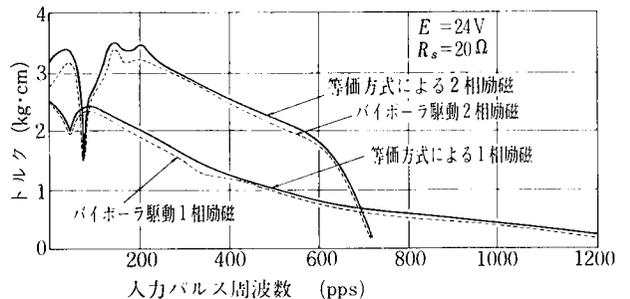


図8 バイポーラ駆動と等価な励磁回路によるプルアウトトルク特性

### 6. あとがき

バイポーラ駆動はユニポーラ駆動に比べて高速域で良好な出力トルク特性が得られることから、これを積極的に利用すべきであると考えられる。また、従来のユニポーラ駆動の回路に若干の変更を加えることによって、バイポーラ駆動と等価な特性を得ることが可能であることを明らかにすることができた。

おわりに、実験に協力いただいた元受託研究員渡辺和俊氏 (日本サーボ株式会社) に厚く感謝いたします。

(1980年8月14日受理)