

N型パワーMOS-FETによる 市販ブラシレスモータ駆動・プログラム

宮城障害者職業能力開発校 情報システム科 新妻 幹也

1. はじめに

フロッピーディスクやハードディスク、DVD、CDドライブなど多くの分野で利用されているブラシレスモータが最近、ラジコン用に市販されている従来のDCブラシモータと同じ大きさ、スペックで置き換え可能な物が入手できるようになってきました。文字どおり、ブラシがないモータであるため、寿命が長い、メンテナンスフリーであることは当然ですが、正転、逆転を繰り返すような用途にも幅広く使えることから、大変魅力的なものです。しかし、ブラシがないため、単純に2つの端子に電池をつなげば回り出すというようなものではなく、何をおいてもまずモータを回すための回路が絶対に必要になってきます。そのことは、決して利用しやすいモータとはいえない一因にもなっています。そこで、今回は、ラジコン用に市販されている比較的ハイパワーなブラシレスモータを駆動する回路およびプログラムを作成してみましたので紹介します。

2. DCブラシモータとDCブラシレスモータ

改めて、DCブラシモータとDCブラシレスモータを比較してみたいと思います。図1が従来から使われ今でも多く利用されているラジコン用のDCブラシモータです。図2は最近見かけるようになったDCブラシレスモータです。この写真でもおわかりのようにその違いは線の数にも現れていますが、最も大き

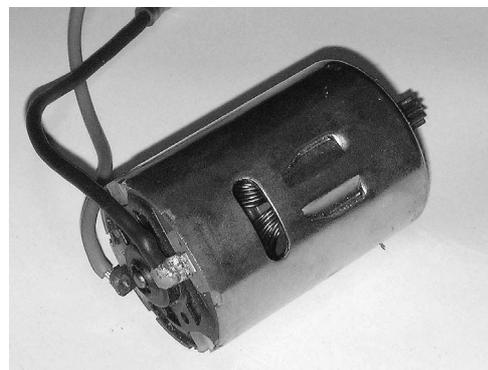


図1 ブラシモータ



図2 ドイツ LRP社 ブラシレスモータ

く違う点は、回転するロータにコイルが巻いてあるものがDCブラシモータであり、回転するロータが磁石であり、その回りにコイルが固定されている（インナーロータ型）のがブラシレスモータということになります。DCブラシモータのブラシは、回転するコイルに電気を供給しさらにコミュタで極性を変えなければならないため、必ず必要になります。

しかし、ブラシレスモータでは、コイルが固定されていて回転しないため、ブラシは必要ありません

が、連続的に磁石であるロータを回転させるためには、コイルに流す電流をタイミングよく切り替えてやる必要があります。詳しくは、専門書などを参照していただくことにして、今回作成した回路とプログラムについて解説していきたいと思います。

3. ブラシレスモータ駆動回路

今回、取り上げたブラシレスモータ（LRP社製 LR50380 ERASER）はラジコンカーのDCブラシモータではポピュラーなRS540タイプと外形サイズ同じモータで、2極3相でコイルの巻数が15.5ターンとかなりハイパワーなものです。そこで、駆動回路には、N型のパワーMOS-FETのみを使って作成することにしました。

ブラシレスモータ駆動回路の写真を図3、回路図を図4として表示します。本回路は、昇圧回路と制御回路で構成されています。通常は、P型とN型でブリッジを構成するところですが、P型のFETはN型に比べ内部抵抗が高いため駆動効率が落ちてしまいます。そこで、ブリッジの上流側と下流側の両方にN型のFETを使います。この場合、上流側のFETには、ゲートに下流と同じゲート電圧を加えても、ソースが下流側のようにグラウンドではないため十分なON信号とはなりません。そこで、上流側のゲートには、規格表のON電圧よりも高い電圧をかける必要があるため、DC-DCコンバータを使って昇圧し、

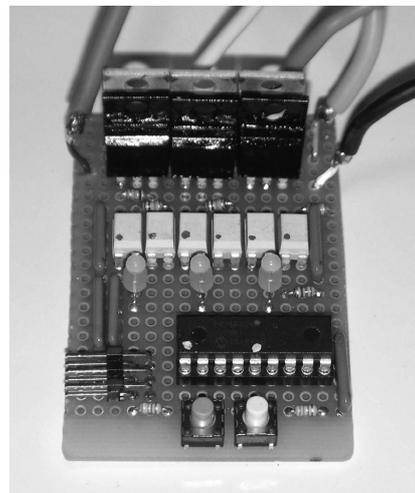


図3 ブラシレスモータ駆動回路（写真）

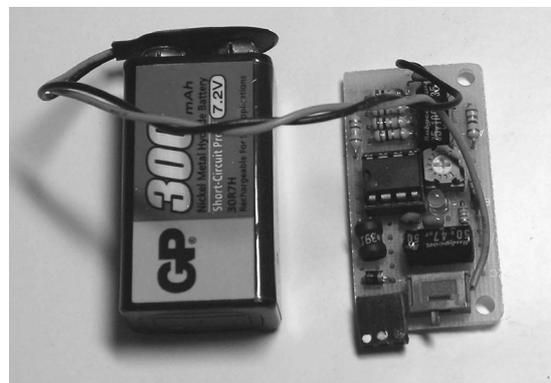


図5 MC34063を使った昇圧回路

フォトカプラを使って18Vの電圧を加えることにします。昇圧回路にはステップアップコンバータのMC34063を使ったキットを使用しました（図5）。

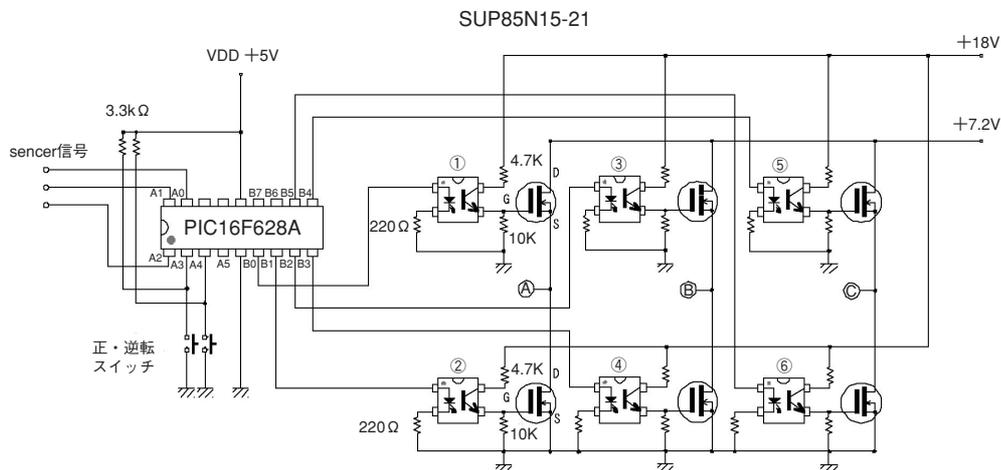


図4 ブラシレスモータ駆動回路

制御回路および昇圧回路の電源には7.2VのNiMHの006Pタイプの充電電池を使用しました。

制御回路（PIC16F628マイコンを使用）にはレギュレータICを使い、電圧を7V→5Vにして使用しました。昇圧回路には充電電池の電圧をそのまま使用し、またモータ駆動用の電源として、充電電池とは別に7.2Vのパックバッテリーを使用しました。制御回路および昇圧回路の電源とモータの駆動バッテリーを分けたのは、モータの起動時の電圧降下で、マイコンが誤動作するのを防ぐためです。駆動モータがそれほど大きくなければ兼用することも可能ですが、今回のようなハイパワーなモータの場合はマイコン誤動作の原因になります。

4. ブラシレスモータのロータ位置検知センサ

ブラシモータではなく、ブラシレスモータを駆動させるために重要な役目をしているものに、ロータ位置検知センサがあります。前述したようにブラシレスモータでは、コイルに流す電流をロータの位置によって次々に切り替えていく必要があります。もちろん、センサの信号などは使わずに、一定の時間ごとにコイルに流す電流を切り替えていくだけでも、モータを回すことはできます。しかし、これでは、モータに負荷がかかったときに十分なトルクも回転数も得られず、実用になりません。授業などで、学生に実験をさせるときには、この様子も体験してもらい、その上で、センサーからの信号を処理して回すことがなぜ必要なのかを理解してもらうことがよいと思います。

5. センサ信号の解析

今回使用したモータはラジコンカー用に最近売られるようになったものです。しかし、その性質上、モータとそれを駆動するためのFETアンプを使うことを前提として売られているため、モータを購入しても、センサ端子の情報などは何もついてきません。そこで、センサ信号を解析することから始めました。一般的にセンサ付きのブラシレスモータの場合、回

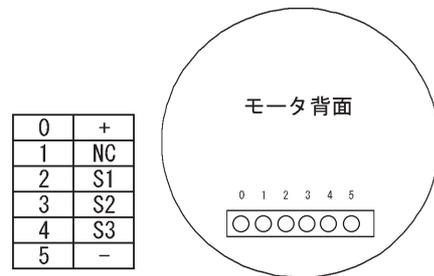


図6 センサ端子の信号情報

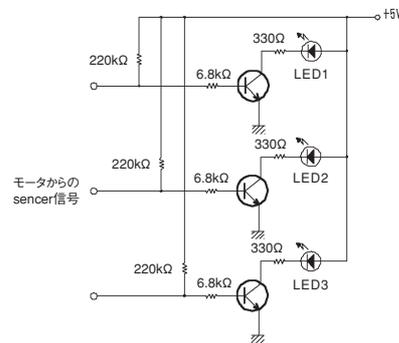
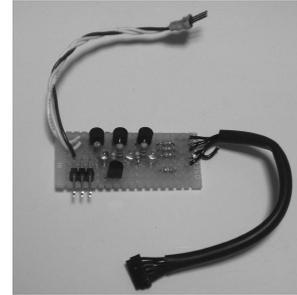


図7 LEDモニター回路

転するロータの磁力を検知するホールセンサ、もしくはホールICが使われていますが、今回のモータにもホールICが使われています。

センサがホールICであれば、ほぼそのまま信号を利用することができます。今回使用したモータのセンサ端子は、6端子あり、解析の結果、図6のようになっていることがわかりました。図6の信号端子から得られる信号がどのようなになっているのかを知るために、図7のようなLEDモニター回路を作りました。

この回路をモータのセンサ端子に接続して、モータ軸を手で360度回転させて得られた結果が次の表のようなものでした。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
LED 1	○	○	○				○	○	○			
LED 2	○				○	○	○				○	○
LED 3			○	○	○				○	○	○	

6. ブラシレスモータ駆動シーケンス

Y結線2極3相コイルのブラシレスモータを回す駆動シーケンスは図8のようになります。

図内のA, B, Cはモータのコイルです。逆回転をさせるためのデータは、正回転データを単純に逆にたどればよいだろうと安易に考え実験したところなかなかうまくいきませんでした。センサ、モータ線の状態によって、データの順番が変わってきますので、必ずしも参考書どおりのデータ順になるとは限りません。

+ ON -	gate-ON	senser			FET Gate 信号						HEX	
		A2	A1	A0	B5	B4	B3	B2	B1	B0	正	逆
		s3	s2	s1	⑥	⑤	④	③	②	①		
B-A	③②	0	0	1	0	0	0	1	1	0	06	18
C-B	⑤④	0	1	0	0	1	1	0	0	0	18	06
C-A	⑤②	0	1	1	0	1	0	0	1	0	12	12
A-C	①⑥	1	0	0	1	0	0	0	0	1	21	21
B-C	③⑥	1	0	1	1	0	0	1	0	0	24	09
A-B	①④	1	1	0	0	0	1	0	0	1	09	24
ブレーキ	②④⑥				1	0	1	0	1	0	2A	

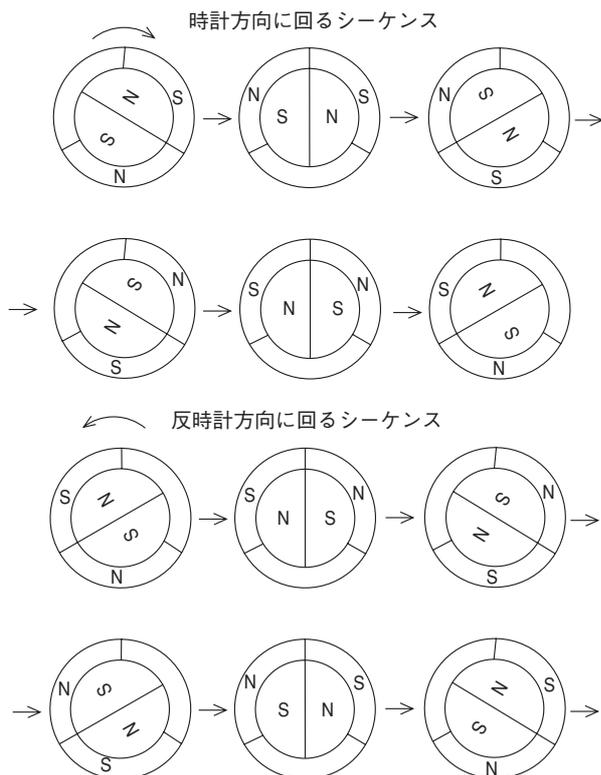


図8 2極3相コイルブラシレスモータ駆動シーケンス

7. センサ信号を使った駆動プログラム

センサ信号を使って、現在のロータの位置を考慮して正転・逆転を行うプログラムを示します。今回のプログラムにはCSS社製のCコンパイラを使用しました。実際にプログラムするに当たっては、センサ信号とコイルに流すシーケンスをぴったり合わせなくてははいけませんが、回路を組んだときとの兼ね合いで、3個のセンサ位置とコイル位置との関係が必ずしもこのプログラムデータと一致するとは限りません。6つのデータであることはわかっていますが、順番が変わる可能性があります。すべてのパターンを列挙すると、 $6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 = 720$ パターンあることになります。このすべてを1つひとつ試していくのは容易ではありませんが、うまく回らないときはすべて試してみるのも以外に近道だったりします。センサ、モータ線をどの順番でつないでも、720とおりの中に必ず2つだけ正解のシーケンスデータがありますが、その順番は違ってきます。

はずれデータの場合は明らかにおかしな音がしてきちんと回っていないと気づきます。しかし、その場合でもモータにはかなりの電流（2桁のアンペア）が流れますので、長く流さないようにしてください。モータやドライブ回路が壊れる可能性があります。

私の場合、大容量の電流の流れる可能性があり、実験用の電源が使えない場合の回路チェックには図9のような5Aの電流計とスイッチをつけた電源BOXを使っています。スイッチを入れたときに初めて回路に電流が流れるという至極単純なものです。その際、ショートやトラブルで予想外の電流が流れているときは針が振り切れるのですぐにスイッチを切ります。これまでの経験で、スイッチを入れたときに何も反応がない場合、電流が流れていなくて動いていないのか、電流が流れているのに（ショート等）動かないのかでは、全く違った結果になり、後者の場合はFETなどから煙が出て初めてトラブルに気づき、部品を損傷してしまいます。

データが正しい場合にはモータは勢いよく回りますが、モータ軸が無負荷の場合流れる電流は1A程度です。

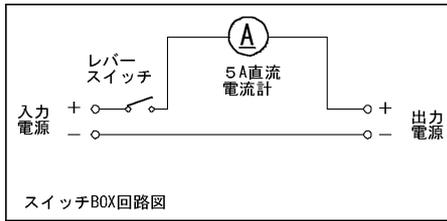


図9 スイッチと電流計をつけたスイッチBOX

```
//ブラシレスモータ 駆動プログラム
#include <16F628. h>
#fuses
INTRC_IO, NOWDT, NOPROTECT, NOBROWNOUT,
PUT, NOMCLR, NOCPD, NOLVP
#use delay (clock=4000000)
#byte RA = 5
#byte RB = 6
#bit sw_0 = RA. 3//正転スイッチ
#bit sw_1 = RA. 4//逆転スイッチ
void main ()
{
//{0x09,0x12,0x18,0x24,0x21,0x06},
//{0x24,0x09,0x21,0x12,0x06,0x18}
byte motor[ 2 ][ 6 ]={0x18,0x21,0x09,
0x06,0x12,0x24},
{0x21,0x06,0x24, 0x18,0x09,0x12};
byte data;//センサからの信号データ
byte fbsw;//正転・逆転を決めるスイッチデータ
set_tris_a (0x1f) ;
set_tris_b (0x00) ;
RA= RB = 0;
while(1){
while (sw_0 == 1 && sw_1 == 1) { //ブレーキ
RB=0x2A;
```

```
continue;
}
data =RA & 7;
fbsw=RA & 0x18;
fbsw>>= 3;
RB=motor[fbsw- 1 ][data- 1 ];
}
}
```

8. マイコン駆動とTTL駆動

ブラシレスモータを回すにはそのシーケンスをTTLで組むこともできますが、必要となるパーツが増えること、また、今回のように逆回転シーケンスデータをプログラムで書き換えて探る処理をする必要があるため、PICマイコンを使うことにしました。プログラムはC言語で行いますので、マイコン特有の記述部分を除けば、H8マイコン等でも利用できます。PICには多くの種類がありますが、今回の場合は動作のスイッチを含めて入力で5ポート、出力で6ポートを使いますので、最低でも11ポートが必要となりますので、それ以上のI/Oポートを備えたPICならば使うことができます。PIC16F628は、18ピンのフラッシュタイプのもので、I/Oは16ポートあります。内部クロック4MHzを使用すればレゾネータを省略できるのでこれにしました。18ピンタイプではPIC16F84Aがよく使われますのでそれを使ってもよいでしょう。

9. 駆動に使用するFETの性能について

今回駆動したブラシレスモータは、かなりのパワーを必要とするため、その駆動にはN型のパワーMOSFETを使用しました。SUP85N15-21という一見N型のFETとは思えないものですが、通常2SK***と表現されるN型のFETと同様のものです。そして、その性能の概略は次のようなものです。

VDSS	150V
ON抵抗	17.5mΩ
ID	85A (300W TC=25°C)

この性能からすると、今回のブラシレスモータにも十分耐えうると考えて平行接続はせずに使いましたが、実際の使用では、負荷もかかり電流も相当流れる可能性があるため、もう1個か2個平行接続した方がよいかもしれません。

モータに図9のようなスリットをつけて7.2Vのバッテリーで回し、オシロスコープで回転数を計測したところ、330Hzぐらいの周波数を示しており、約20000rpmぐらいの回転になっていることがわかりました。この値は、モータ付属のデータ値と一致しています。

10. おわりに

2端子のDCモータは小学校の理科にも出てくるほど仕組みや使用法がやさしく使いやすいものです。10年ほど前までホビー用のモータのコントロールには、巻き線抵抗が使われていました。それは、特別なコントロール回路を必要としないため、効率の悪

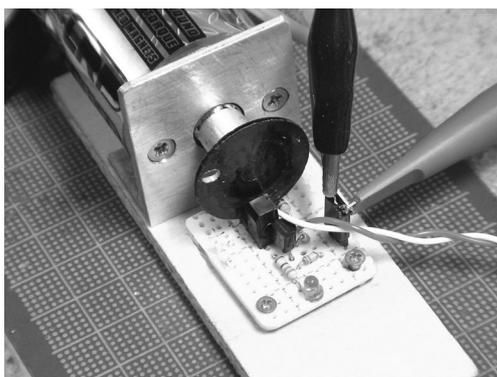


図10 モータの回転数の計測

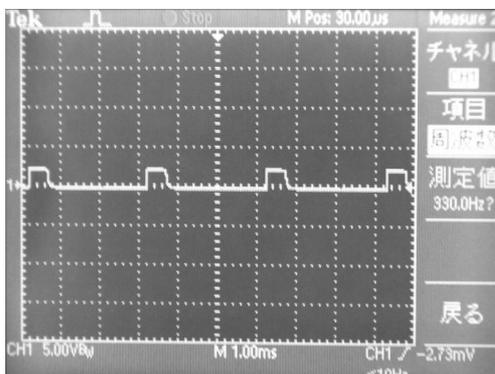


図11 オシロスコープによる回転数計測
(1マスが1/1000秒)

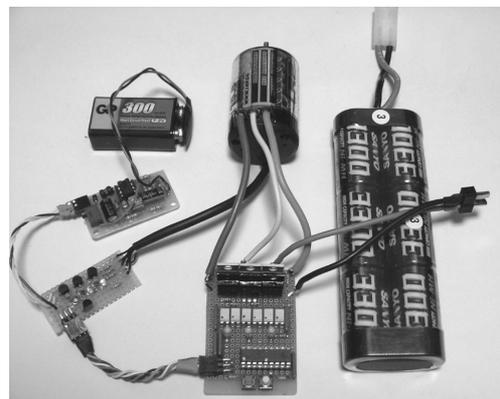


図12 今回作成した駆動回路全体

さはあってもお手軽でした。それが、徐々にFETアンプなどによる製品にシフトし、DCブラシモータも電子回路制御によるものになりました。そうした延長線上に今回取り上げたブラシレスモータもあります。電子制御回路を使ってモータを回すのであれば、使い勝手という点ではブラシモータもブラシレスモータもそれほど違いはありませんが、ブラシレスモータにはメンテナンスフリーや高いパフォーマンスを得られるなどメリットがかなりあります。

「参考書を見ればすぐに回せるだろう」と思い取り組んだ今回の課題ですが、実際に回すまでにはかなり苦労することになりました。完成した駆動プログラムは大変短いものですが、最も時間を要したのが、正転・逆転2つのシーケンスデータの割り出しでした。

電池を2端子につなぎさえすれば回り、逆回転はプラスとマイナスを入れ替えるだけのブラシモータと比べると大がかりな駆動回路が必要なブラシレスモータですが、今後も多くの場所で使われ続けると思います。

単純には回すことができないブラシレスモータを駆動するプロセスは、ハードウェア、ソフトウェアを含めて電子科や電子制御科等の訓練にも最適であると思いますので、ぜひ、訓練の中で取り上げてみてください。

<参考資料>

- 1) 手作りブラシレスモータ協会Webサイト、
<http://www.cityfujisawa.ne.jp/~iijima-p/BRA.htm>
- 2) 見城尚志・佐渡友茂：「小型モータのすべて」、技術評論社