

コンピュータ工学 講義プリント(2月5日)

今回は、パルスモータ(ステッピングモータ)の制御法を学ぶ。

パルスモータは、電圧のパルスを入力すると、そのパルスの数に比例した角度だけ回転する性質を持っている。そのため、回転角のセンサを用いることなく、回転角を制御用のマイコンが把握できる事となり、マイコン制御に向けたモータといえる。

・パルスモータの原理(教科書 P.134 参照)

パルスモータにはコイルに流れる電流の方向が変わるバイポーラ型と、コイルに流れる電流の方向が常に同一方向のユニポーラ型があるが、この講義ではユニポーラ型のパルスモータに限定して説明する。

図 1 は、ユニポーラ型でかつ PM 型のパルスモータの基本原理図である。(VR 型や HB 型と呼ばれるパルスモータもあるが、ここでは触れない) 図 1(a)の様に、このパルスモータは永久磁石でできたロータと、4 つの電磁石からなるステータから構成されている。(DC モータの場合、ロータが電磁石で、ステータが永久磁石だった事に注意) L0~L3 までの 4 つの電磁石に、順に直流電圧を加えると、電磁石が発生する磁界の影響で、図 2(c)~(f)の様に、ロータの永久磁石が 90° ごとに回転する。つまり、図 2(b)の制御回路において、SW0~SW3 のスイッチを、順々に ON していけば、モータは 90° ごとに回転する。

図 2 で示したパルスモータは、パルスを入力するたびに(スイッチを切り替えるたびに)90° ずつ回転した。これをステップ角が 90° であるというが、実際のパルスモータでは、構造を工夫してステップ角をもっと小さくしている。

・パルスモータの特徴(教科書 P.133 参照)

パルスモータは、DC モータに比べて、次の様な長所を持っている。

- (1) 回転角センサなどを用いることなく、正確な回転角の設定ができる。(オープンループ制御)
- (2) 静止時に保持力がある。

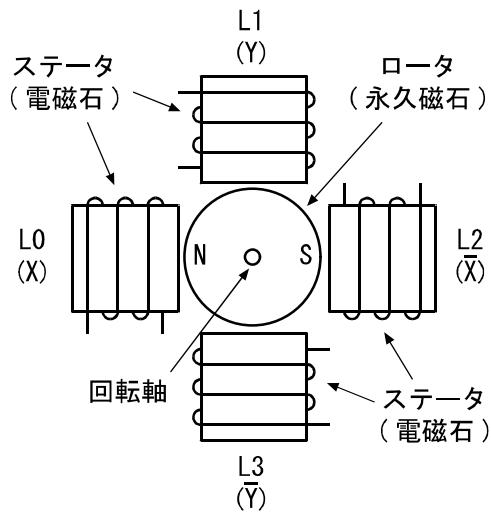
正確な制御が必要な場合に、現在の状態を調べるセンサを設け、そのセンサの出力が目標値になる様に制御する方法を、クローズドループ制御という。一方で、センサからの情報を使うことなく、出力を一方方向に送る制御方式をオープンループ制御という。パルスモータは、パルスの数に比例した角度だけ回転する構造を持っているので、オープンループ制御で正確な回転角が得られるのが特徴で、制御系の設計を容易にできるメリットがある。

一方で、次の様な欠点を持っている。

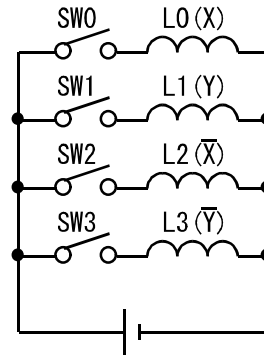
- (1) 大きなトルクが得られない。
- (2) 高速回転に向かない。
- (3) エネルギー効率が悪い。
- (4) 複雑な制御回路が必要になる。

・励磁方式(教科書 P.135 参照)

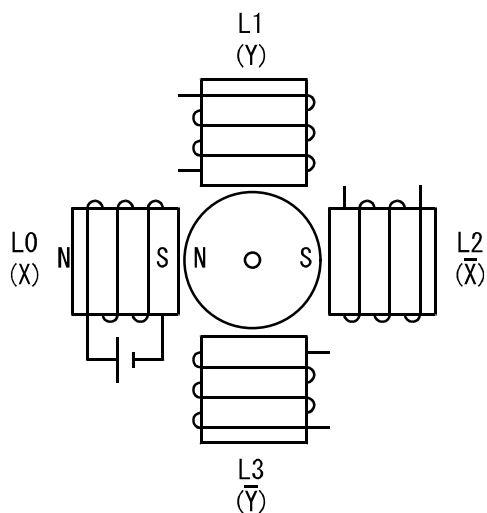
図 1 (c)~(f)に示した様に、常に 1 つのコイルに電圧を印加する制御方式を、1 相励磁方式と呼ぶ。他に



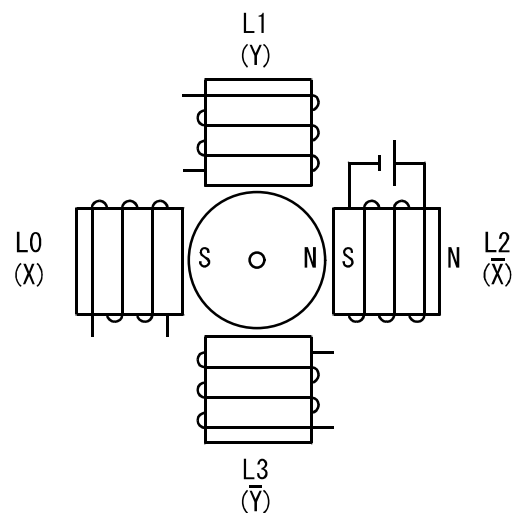
(a) パルスモータの構造



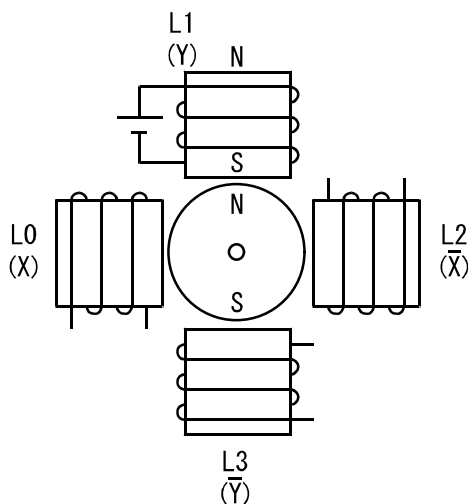
(b) 制御回路



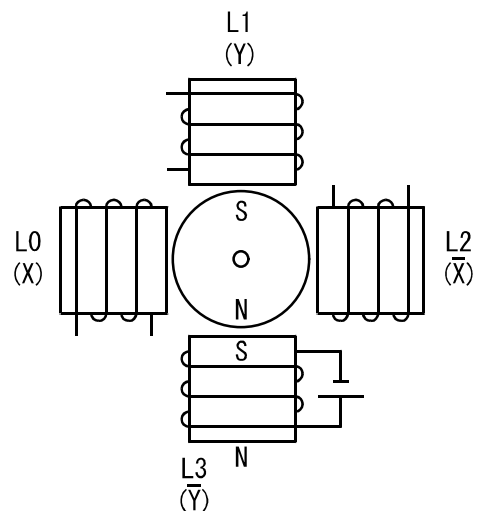
(c) L0 に電圧をかけた場合 (SW0 を ON)



(e) L2 に電圧をかけた場合 (SW2 を ON)



(d) L1 に電圧をかけた場合 (SW1 を ON)



(f) L3 に電圧をかけた場合 (SW3 を ON)

図 1、パルスモータの構造と、動作原理 (1 相励磁方式)

も、常に 2 つのコイルに電圧を印加する 2 層励磁方式や、1 つのコイルと 2 つのコイルに交互に電圧を印

加する 1-2 層励磁方式がある。

図 2(a)にパルスモータの回路記号を示す。また図 2(b)~(d)に、それぞれ 1 相励磁方式、2 層励磁方式、1-2 層励磁方式の電圧印加パターンを示す。

図 3 に示すように、隣接する 2 つのコイルに同時に電圧を印加する場合は、図 1(c)~(f)の様に 1 つのコイルに電圧を印加する場合と比べ、 45° ロータが傾く。

常に 2 つのコイルに電圧を加える 2 相励磁方式は、1 相励磁方式と同じステップ角(図 3 の場合 90°)が得られ、電力は 1 相励磁方式の 2 倍消費する。ただし、得られるトルクは 1 相励磁方式より大きい。

1-2 相励磁方式は、ステップ角が 1 相励磁方式と比較すると半分(45°)となり、より細かな角度調整が行える。電力は、1 相励磁方式の 1.5 倍消費する。

・パルスモータの制御回路(教科書 P.134 参照)

教科書 P.134 の図 5.43 がパルスモータの制御回路である。

教科書では、ステップ角 7.5° で、公称電圧が 5V のパルスモータを制御している。モータの駆動電圧がマイコンと同じ 5V であるので、マイコンとモータの電源回路を共有できる。

モータのコイルには、1 相当たり 220mA もの大電流が流れるため、マイコンでは、直接ドライブできない。そのため、2SD880 という NPN 型のバイポーラトランジスタで電流増幅を行っている。

各トランジスタのコレクタと 5V 電源の間に、ダイオードが逆方向バイアスで接続されているが、これはモータが発生する逆起電力を処理するためのものである。

PIC16F84A の RB3 に X 層、RB2 に Y 層、RB1 に \bar{X} 相、RB0 に \bar{Y} 相の制御用のトランジスタを接続している。RB0~RB3 の出力を 1 にすれば、それぞれに対応する相のコイルに電圧が印加される。

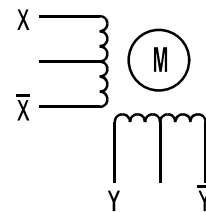
・1 相励磁方式のモータ制御プログラム(教科書 P.136 参照)

1 相励磁方式で、モータを回転させるプログラムを考える。パルスは、0.5 秒ごとに送るものとする。

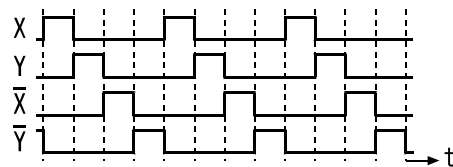
1 相励磁方式でモータを駆動するには、RB3(MSB)~RB0(LSB)の値を 1000B、0100B、0010B、0001B、1000B、0100B、...という順番に、切り替えていけばよい。

そのためには初期値 1000B を PORTB レジスタに出力し、0.5 秒待った後に RRF 命令で PORTB レジスタを 1 つ右ローテイトし、0.5 秒待った後に RRF 命令で PORTB を 1 つ右ローテイトし...という風に、ループ処理すればよい。ただし、0001B を右に 1 つローテイトすると、0000B となるので、この時は PORTB レジスタの初期化が必要になる。初期化が必要になる際には、C フラグがセットされているので、それを条件に初期化ルーチンへ分岐すればよい。

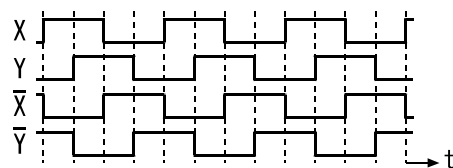
この様な考え方で作ったフローチャートが教科書 P.137 の図 5.48 である。また、このフローチャートに



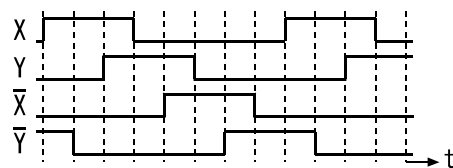
(a) パルスモータの回路記号



(b) 1 相励磁方式の電圧印加パターン



(c) 2 相励磁方式の電圧印加パターン



(d) 1-2 相励磁方式の電圧印加パターン

図 2、パルスモータの回路記号と励磁方式

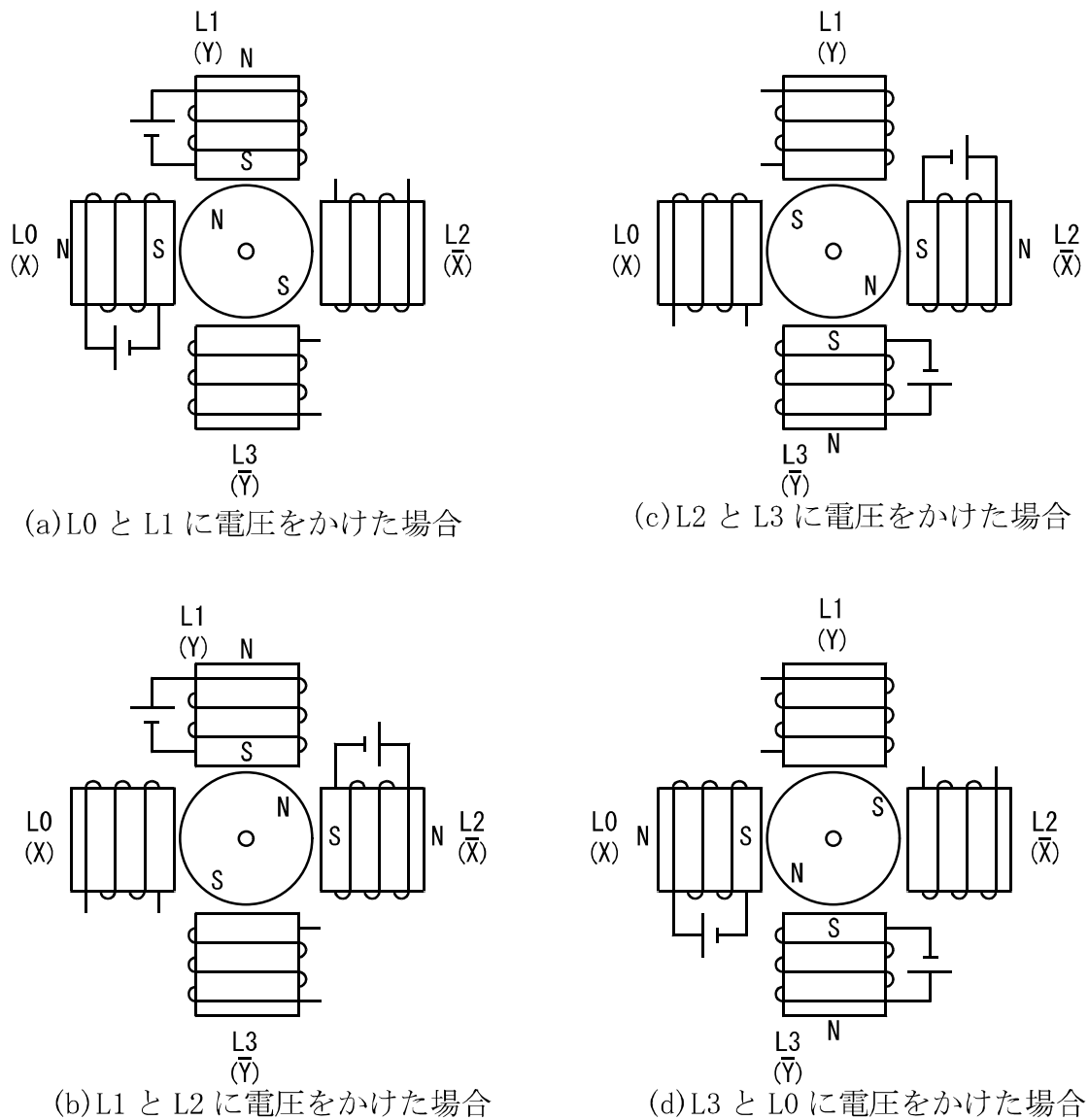


図 3、2 相励磁方式の場合のロータの動き

従って作ったプログラムが、同じページのリスト 5.10 である。

0.5 秒のタイマルーチンは、今までに説明したプログラムと同様なので、説明を省略する。

初期設定部分では、次のリスト 1 の様に、ポート B の全ビットを出力に設定し、全ビットに 0 を出力する事で、モータを停止させている。

リスト 1、1 相励磁プログラムの初期設定部分

```
BSF    STATUS, RPO    ; バンク 1 を選択
CLRF   TRISB          ; ポート B を出力モードに設定
BCF    STATUS, RPO    ; バンク 0 を選択
CLRF   PORTB          ; ポート B をクリア(モータ停止)
```

それに続く部分で、PORTB に出力する値を 1000B(08H)に初期化している。C フラグをクリアし、W レジスタを 1000B に初期化し、それをポート B に出力している。この部分をリスト 2 に示す。

リスト 2、1 相励磁プログラムの PORTB レジスタ初期化部分

```

NEW   BCF   STATUS, C      ; C フラグをクリア
      MOVLW PMD          ; 回転初期データの設定 (PMD は 08H)
      MOVWF PORTB       ; 回転データをポート B に出力
    
```

それに続く部分で、0.5 秒待ってから右ローテイトする処理を行っている。ローテイトの結果 C フラグが 0 ならば、そのまま同じ処理の先頭にジャンプする。C フラグが 1 なら、PORTB レジスタの初期化部分(NEW ラベル)にジャンプする。この部分をリスト 3 に示す。

リスト 3、1 相励磁プログラムの本体部分

```

MADA  CALL  TIMER3      ; タイマの呼び出し
      RRF   PORTB       ; ポート B を 1 ビット右ローテイト
      BTFSS STATUS, C   ; C フラグのチェック
      GOTO  MADA        ; 0 ならそのまま回転
      GOTO  NEW         ; 1 ならデータを初期化
    
```

・2 相励磁方式のモータ制御プログラム(教科書 P.138 参照)

2 相励磁方式の場合は、RB3~RB0 の値を、1100B、0110B、0011B、1001B、1100B、0110B、... という順番に、切り替えていけばよい。この時、PORTB レジスタを 1100B と初期化するのではなく、01001100B(4CH)と初期化すると、プログラムが簡単になる。

PORTB レジスタを 01001100B、C フラグを 0 に初期化した場合、RRF PORTB により右ローテイトすると、値がどのように変化していくかが、教科書 P.138 の図 5.49 に記されている。これを見ると、RB3~RB0 の変化は、最初の 4 つに関しては、1100B、0110B、0011B、1001B と、正常な 2 相励磁の電圧パターンとなっている事が分かる。5 つ目には 0100 と異常なパターンが発生しているが、この時のみ RB7 が 1 となるのを利用して、RB7=1 の場合には再び PORTB レジスタを初期化すればよい。

なお、図 5.49 を見ると分かるように、RB7~RB4 にも信号が現れるが、これらのピンには何もつながっていないため、弊害はない。

この考え方によるフローチャートが教科書 P.139 の図 5.50 である。また、このフローチャートに従って作ったプログラムが、同じページのリスト 5.11 である。

リスト 5.11 は、1 相励磁の場合のリスト 5.10 とほぼ同じプログラムであり、コメントの違いを除くと、2 つのプログラムで違うのは、たった 2 行である。

まず、PORTB の初期値が 08H から 4CH に変わっている。そのため、プログラムにも次の様な変更がある。

```

PMD   EQU   08H   →   PMD   EQU   4CH
    
```

また、PORTB レジスタの値を初期化する条件が、1 相励磁の場合には C=1 であったのに対し、2 相励磁の場合は RB7=1 に変更されている。よって、プログラムにも次の様な変更がある。

```

BTFSS STATUS, C   →   BTFSS PORTB, 7
    
```

・ 1-2 層励磁方式のモータ制御プログラム(教科書 P.140 参照)

1-2 相励磁方式の場合は、RB3～RB0 の値を、1000B、1100B、0100B、0110B、0010B、0011B、0001B、1001B、1000B、1100B、0100B、・・・という順番に切り替えてゆけばよい。この場合、1 相励磁や 2 相励磁の場合と違って、右ローテイトを使って簡単にプログラムを組む事ができない。そのため、教科書 P.140 の図 5.51 の様に、RAM の 0CH 番地から 13H 番地までに PORTB レジスタに出力する値の表(つまり 1 次の配列)を書き込んでおき、その表を順々に引く事で PORTB レジスタを制御する事にする。

この際に重要になるのが、間接アドレッシングの考え方である。

今まで作ったプログラムにおいては、RAM に読み書きをする際には、必ずアドレスを定数として与えていた。これを直接アドレッシングという。

それに対し、何かの演算結果をアドレスと解釈して、RAM に読み書きをする場合を、間接アドレッシングという。

PIC16F84A における間接アドレッシングの実現方法は、教科書 P.28 に載っているが、04H 番地の FSR というレジスタに値を書き込むと、00H 番地の INDF というレジスタが、FSR で指定したアドレスの RAM のエイリアス(分身)となる。例えば、FSR レジスタに 0CH を書き込んでおくと、INDF レジスタに ABH を書き込めば、実際には 0CH 番地の RAM に ABH が書き込まれる。また、INDF レジスタの内容を読めば、実際には 0CH 番地の RAM の内容が読み出される。

この様に FSR レジスタは、C 言語における、ポインタ変数として働く。ポインタに適切な演算を施す事で、配列に対するアクセスが実現できる。

教科書 P.141 の図 5.52 は、1-2 相励磁プログラムのフローチャートである。また、同じページのリスト 5.12 は、このフローチャートに従って作成した 1-2 相励磁プログラムである。

このプログラムでは、最初にポート B を全ビット出力に設定し、0 を出力する。この部分のリストをリスト 4 に示す。

リスト 4、1-2 相励磁プログラムの初期設定部分(リスト 1 に同じ)

BSF	STATUS, RPO	;	バンク 1 を選択
CLRF	TRISB	;	ポート B を出力モードに設定
BCF	STATUS, RPO	;	バンク 0 を選択
CLRF	PORTB	;	ポート B をクリア(モータ停止)

次に、コイルに印加する電圧のパターンを配列に書き込み、初期化する。この部分をリスト 5 に示す。

リスト 5、1-2 相励磁プログラムの配列初期化部分

MOVLW	08H	;	回転データの格納
MOVWF	WORK0		
MOVLW	0CH		
MOVWF	WORK1		
(中略)			
MOVLW	09H		
MOVWF	WORK7		

次に、配列の先頭からアクセスするため、ポインタ(FSR)に配列の先頭アドレス(WORK0)を書き込む。この部分をリスト 6 に示す。

リスト 6、1-2 相励磁プログラムのポインタ初期化部分

```
NEW    MOVLW   WORK0      ; WORK0 をアドレスとして読み取る
        MOVWF  FSR       ; FSR にアドレスを書き込む
```

次に、配列にアクセスしてコイルに印加する電圧パターンを取り出し、PORTB に出力する。この部分をリスト 7 に示す。

リスト 7、1-2 相励磁プログラムの、配列データ出力部分

```
MADA   MOVF    INDF, 0    ; INDF レジスタを読み取る
        MOVWF  PORTB     ; 回転データをポート B に出力
```

次に、タイマルーチン呼び出し、0.5 秒待つ。この際、W レジスタの値を後で使うのに備えて、退避・復帰処理を行う。この部分をリスト 8 に示す。

リスト 8、1-2 相励磁プログラムの、0.5 秒ウェイト処理

```
MOVWF  TMP      ; W レジスタの退避
CALL   TIMER3   ; タイマの呼び出し
MOVF   TMP, 0   ; W レジスタの回復
```

次に、配列を最後まで読み取ったかをチェックし、最後まで読み取ったなら、ラベル NEW にジャンプして、ポインタを配列の先頭に戻す。まだ最後まで読み取っていないなら、ポインタを一つ進め(FSR に 1 を足し)、配列の次の要素に進んで、ラベル MADA に戻る。この部分をリスト 9 に示す。

リスト 9、1-2 相励磁プログラムのポインタ更新部分

```
SUBWF  WORK7, 0  ; 最後の回転データとの照合
BTFSC  STATUS, Z ; 照合結果チェック
GOTO   NEW      ; 最後まで行っていれば最初から
INCF   FSR, 1   ; まだなら、FSR を 1 番地進める
GOTO   MADA     ; 次の WORK 領域を読み取る
```