

マイコンでは、直接、高電圧あるいは大電流を扱う機器を制御する事はできない。これらの機器を制御する方法として、リレーを用いる事が考えられる。今回はマイコンでリレーを制御し、リレーにつながった機器を間接的に制御する方法について学ぶ。

・リレーについて(教科書 P.126 参照)

マイコンは通常 5V 以下の電源電圧で動作する。マイコンの GPIO 端子で制御できるのは、マイコンの電源電圧と同じ電圧で動く機器だけであるので、例えば 5V より高い電圧で動作する機器や、交流電源で動作する機器の制御はできない。

また、マイコンの GPIO 端子で扱える電流は、通常数 mA ないし数十 mA しかなく (PIC16F84A の場合は 25mA)、小さな LED を点灯させる程度の電流しか扱えない。

これらの問題を解決するには色々方法があるが、簡単で理解しやすい方法の一つが、リレーを用いる方法である。

リレーは、制御電圧の有無で切り替える事のできる、機械的なスイッチの事である。

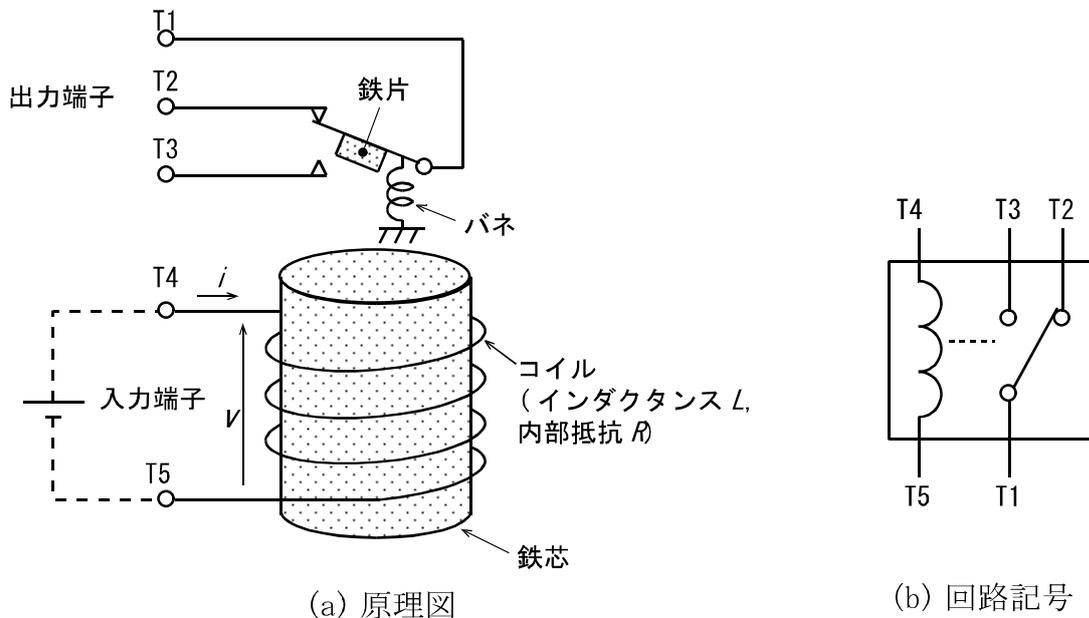


図 1、リレーの動作原理と回路記号

図 1(a)に、リレーの動作原理の説明図を示す。

端子 T1、T2、T3 はスイッチにつながっている。スイッチの可動部には、鉄片が付けられている。また、スイッチの可動部は、バネで上方に押し上げられており、その結果、端子 T1 と T2 が通常導通した状態になっている。

スイッチの下側には、鉄心に巻き線を巻いて作ったコイルがある。端子 T4 と T5 に、外部から電圧を加えると、コイルに電流が流れ、磁束が発生し、コイルは電磁石の働きをするようになる。

そうすると、スイッチの鉄片は、電磁石に吸い寄せられ、バネの反発力に打ち勝って、下側に動く。その結果、スイッチが切り替えられ、端子 T1 と T3 が導通した状態になる。

次に、T4 と T5 に加えていた電圧を取り除くと、コイルが発生していた磁界がなくなり、バネの力により、再びスイッチの状態が、T1 と T2 が導通した状態に戻る。

教科書 P.126 では、コイルに 5V を印加すると約 70mA の電流が流れるリレーが紹介されている。このリレーのスイッチの最大定格は、250V3A であるから、高電圧(250V)、大電流(3A)のスイッチを、低電圧(5V)、小電流(70mA)の制御信号で切り替えられる事が分かる。

リレーは、バイポーラトランジスタをスイッチングに使った場合に比べると、次の様な長所や短所がある。

#### 【長所】

- ・ コイルとスイッチが電氣的に絶縁されている。(バイポーラトランジスタを使う場合、制御回路と被制御回路を絶縁する事ができない)
- ・ 交流電圧で動作する機器を制御できる。
- ・ スwitchが ON になった時の接点の抵抗が低く、大電流を制御した場合でも、ジュール熱の発生による損失がほとんどない。

#### 【短所】

- ・ スwitchの切り替えが遅く、数 ms ないし数十 ms の時間がかかる。
- ・ スwitchの切り替え時にチャタリングが発生する。
- ・ 使用しているうちに接点が摩滅するため、寿命が短い。
- ・ コイルの電流を遮断する時に、サージ電圧(後述)が発生する。

#### ・ リレーをマイコンで制御する方法(教科書 P.126 参照)

リレーをマイコンで制御できれば、大電圧、大電流、あるいは交流電圧で動作する機器を制御できる事が分かった。しかし残念ながら、マイコンの GPIO 端子をリレーのコイルに直接つないで、リレーの制御を行う事はできない。(ただし、リードリレーという特殊なリレーを使えば、マイコンで直接制御できる) これは、リレーのコイルに流れる電流が、GPIO 端子で扱える電流よりも大きいからである。よって、リレーのコイル電流の制御に、補助的に、小型のトランジスタを使う。

図 2 は、NPN 型のバイポーラトランジスタを使って、リレーのコイル電流を制御する回路である。トランジスタのベースにベース電流  $I_B$  を流すと、それを増幅して、大きなコレクタ電流  $I_C$  が流れる。

トランジスタのベースは、抵抗  $R_B$  を介してマイコンの GPIO 端子に接続されている。GPIO 端子に論理 1 が出力されると、ベース電流  $I_B$  が流れるため、コレクタ電流  $I_C$  も流れ、リレーのコイルに電流が流れる。トランジスタには電流増幅作用があるため、コイルの電流(=  $I_C$ )として 70mA 必要な場合でも、マイコンの GPIO 端子が供給する電流(=  $I_B$ )は数 mA で良い。

一方で GPIO 端子に論理 0 が出力されると、ベース電流  $I_B$  が流れなくなるため、コイルにも電流が流れ

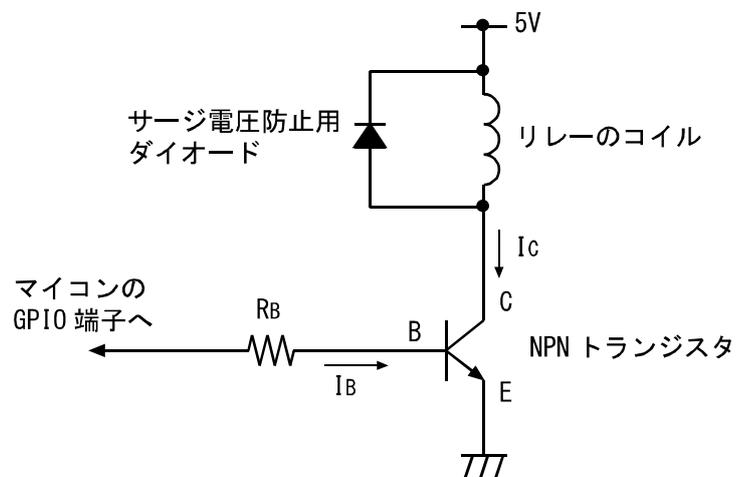


図 2、バイポーラトランジスタを使ったコイル電流の制御

なくなる。(教科書 P.128 の図 5.36 参照)

リレーに並列にダイオードが接続されているが、これはコイルの電流を、流している状態から遮断した状態に変化させる時に、コイルに逆起電力が発生し、サージ電圧と呼ばれる高電圧が発生するのを防止するためである。

・コイルにサージ電圧が発生する原理と、ダイオードによる対策(教科書 P.128 参照)

次のページの図 3 は、リレーのコイルに流れる電流をスイッチで遮断した場合に、コイルの両端にサージ電圧が発生する原理と、ダイオードで、サージ電圧が抑圧できる原理を表わしたものである。

図 3(a)が、原理回路図である。

リレーのコイルは、インダクタンス $L$ と巻き線抵抗 $R$ の直列接続で、ほぼ近似できる。コイルの両端電圧 $v$ は、インダクタンス $L$ の両端電圧 $v_L$ と巻き線抵抗 $R$ の両端電圧 $v_R$ の和で得られる。

$$v = v_L + v_R \quad (1)$$

ただし、 $v_L$ と $v_R$ は、計算上存在する電圧で、オシロスコープなどを使って外部から観測できる電圧ではない。

また、図 3(a)の左上にスイッチがあるが、最初はこのスイッチは ON になっており、時刻 $t = 0$ において OFF に切り替わるとする。便宜的に機械式のスイッチの記号を書いたが、トランジスタなどの電子式のスイッチでも良い。

今、図 3(a)において、ダイオードがついていない場合を考える。

スイッチが ON になっている間は、コイルに $R/E$ なる直流電流が流れるが、時刻 $t = 0$ においてスイッチが OFF になった瞬間に電流は 0 になる。コイル電流 $i$ の時間変化の様子を図 3(b)に示す。

$v_R$ は、オームの法則より

$$v_R = Ri \quad (2)$$

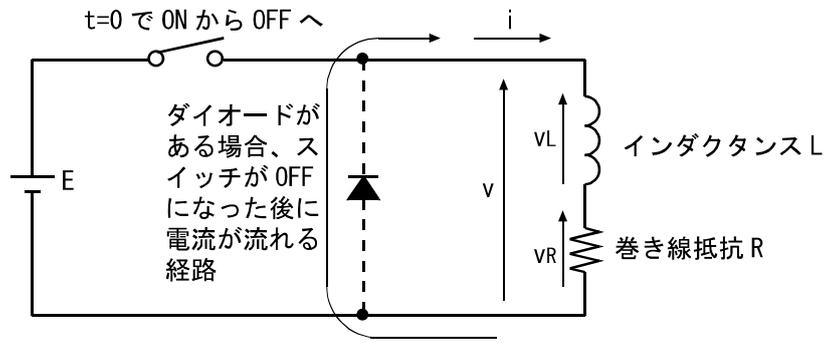
と求まるので、図 3(c)の様に变化する。

$v_L$ については、

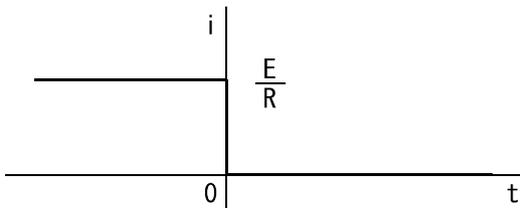
$$v_L = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (3)$$

で求まるが、 $t < 0$ および $t > 0$ において $\frac{di}{dt} = 0$ となり、 $t = 0$ において $\frac{di}{dt} = -\infty$ となる事から、 $v_L$ の時間変化は図 3(d)の様になる。 $-\infty$ はグラフに描けないので、しばしば矢印で表わす。この矢印で描いたような、絶対値が $\infty$ で、幅が 0、時間積分した値が 0 以外の有限値になるような電圧波形をインパルス電圧と呼ぶ。

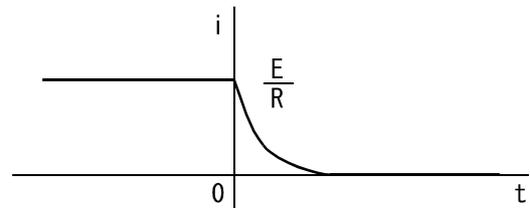
ただし、インパルス電圧は概念上の物で、実際には無限大の電圧というのは存在し得ない。現実の回路では、高電圧が発生した時に、スイッチなどで何らかの異常な現象が起き、スイッチが OFF になろうとしても、電流 $i$ は直ちには 0 にならず、そのため $\frac{di}{dt}$ は有限の値に抑えられる。例えば、機械式のスイッチの場合



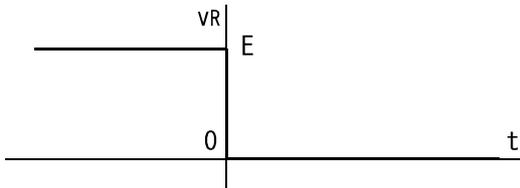
(a) 原理回路図



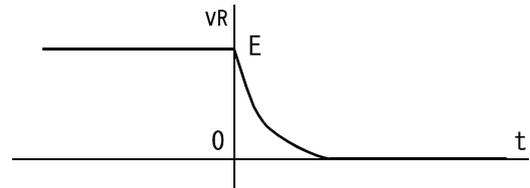
(b) ダイオードがない場合の電流  $i$  の時間変化



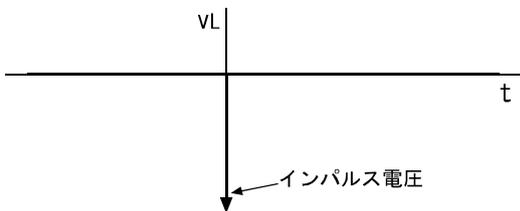
(f) ダイオードがある場合の電流  $i$  の時間変化



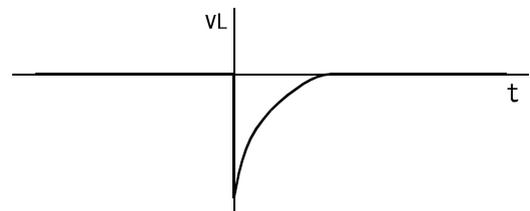
(c) ダイオードがない場合の電圧  $v_R$  の時間変化



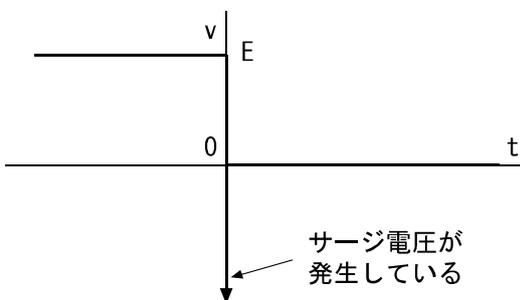
(g) ダイオードがある場合の電圧  $v_R$  の時間変化



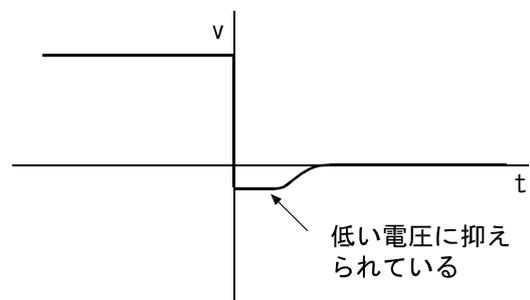
(d) ダイオードがない場合の電圧  $v_L$  の時間変化



(h) ダイオードがある場合の電圧  $v_L$  の時間変化



(e) ダイオードがない場合の電圧  $v$  の時間変化



(i) ダイオードがある場合の電圧  $v$  の時間変化

図 3、コイルにサージ電圧が発生する原理と、ダイオードでサージ電圧を抑圧できる原理

合、接点に高電圧が発生すると、空気の絶縁破壊現象が起き、火花が発生して、しばらく電流が継続する可能性がある。また、トランジスタの場合は、高電圧がかかるとトランジスタが絶縁破壊を起こし、永久的にスイッチが故障してしまう可能性がある。

この様に、現実の回路では、無限大の電圧にはならないものの、高い電圧が短時間発生する事となる。この様な短時間の高電圧をサージ電圧と呼ぶ。

サージ電圧が発生すると、部品の故障や、人が感電するなどの、危険な現象の原因となるので、何らかの対策が必要である。

図 3(a)の点線の配線で描いたように、ダイオードを逆方向バイアスで接続すれば、スイッチが OFF に切り替わる際のサージ電圧の発生を抑圧する事ができる。

図 3(f)は、サージ防止用ダイオードを接続した場合の、コイル電流 $i$ の時間変化を表わしたグラフである。 $t < 0$ においては、ダイオードには逆方向の電圧がかかっており、電流は流れない。しかし、 $t > 0$ においては、 $v_L$ に負の逆起電力が発生するため、ダイオードに順方向の電圧がかかり、ダイオードに電流が流れる。そのため、スイッチが OFF になった以降も、コイル電流 $i$ が流れ続ける事となる。

この電流は、インダクタンスに貯められた磁気エネルギーが、巻き線抵抗やダイオードによってジュール熱として失われるにしたがって、減少してゆく。そのため、 $\frac{di}{dt}$ は負の値となるものの、その絶対値はもはや無限大ではなくなる。

図 3(g)は、 $v_R$ の時間変化を表わしたグラフである。 $v_R$ は $i$ に比例するため、 $t > 0$ においても、しばらく正の値を保つ。

図 3(h)は、 $v_L$ の時間変化を表わしたグラフである。 $t > 0$ において、 $\frac{di}{dt}$ は負の値となるため、 $v_L$ も負の値となるが、やがて $i$ が 0 に収束するため、 $v_L$ も 0 に収束する。

図 3(i)は、 $v$ の時間変化を表わしたグラフである。 $t > 0$ において、 $v_R$ が正、 $v_L$ が負と、逆の符号の値を取るため、打ち消しあい、 $v$ は小さな値となる。この様に、ダイオードを用いる事で、サージ電圧の発生が防げる事が分かった。

今回はリレーのコイルで発生するサージ電圧について議論したが、モーターをトランジスタで制御する場合なども、サージ電圧の発生には注意する必要がある。というのは、モーターもコイルを使った製品であり、リレーと同様の仕組みでサージ電圧が発生するからである。

#### ・リレー制御プログラムの動作(教科書 P.128 参照)

リレーを制御するには、1つの GPIO 端子を出力に設定し、論理 1 を出力するか、論理 0 を出力するかで、リレーに内蔵したスイッチを切り替えればよい。よって、LED の点灯・消灯の制御と、プログラムの観点からは全く同じであり、特に難しいことはない。

教科書 P.127 の図 5.35(a)の回路図では、リレー制御用のトランジスタを RB0 端子に接続しているため、PORTB レジスタの 0 ビット目を書き換えれば、リレーを切り替えられる事が分かる。

教科書 P.128 のリスト 5.8 には、リレーのスイッチを 1 秒ごとに ON および OFF に切り替えるプログラムが載っている。ポート B を出力に設定する初期化ルーチンと、1 秒のウェイトルーチンを除いて、プログラムの処理の中核部分だけを抜き出せば、次のリスト 1 の様になる。

リスト 1、リレー制御プログラムの中核部分

```
REPEAT CLRFB PORTB ; ポート B を 0 にクリア(リレーOFF)
CALL TIMER3 ; 1 秒タイマの呼び出し
MOVLW RELAY ; ON データを W レジスタにセット
MOVWF PORTB ; ON データをポート B に出力
CALL TIMER3 ; 1 秒タイマの呼び出し
GOTO REPEAT ; 繰り返し
```

最初の CLRFB PORTB では、PORTB レジスタに 0 を代入しているため、RB0 を含めて全てのポート B の端子に 0 を出力する。

次の CALL TIMER3 では、1 秒のウェイトルーチン(TIMER3)を呼び出している。

次の MOVLW RELAY と MOVWF PORTB では、PORTB レジスタに 1 を代入し、RB0 に 1 を出力している。(同時に RB1~RB7 には 0 を出力している) 定数 RELAY は、01H と、プログラムの先頭部分で宣言されている。

次に CALL TIMER3 で 1 秒のウェイトをした後、GOTO REPEAT で、最初の行にジャンプして、処理を繰り返している。