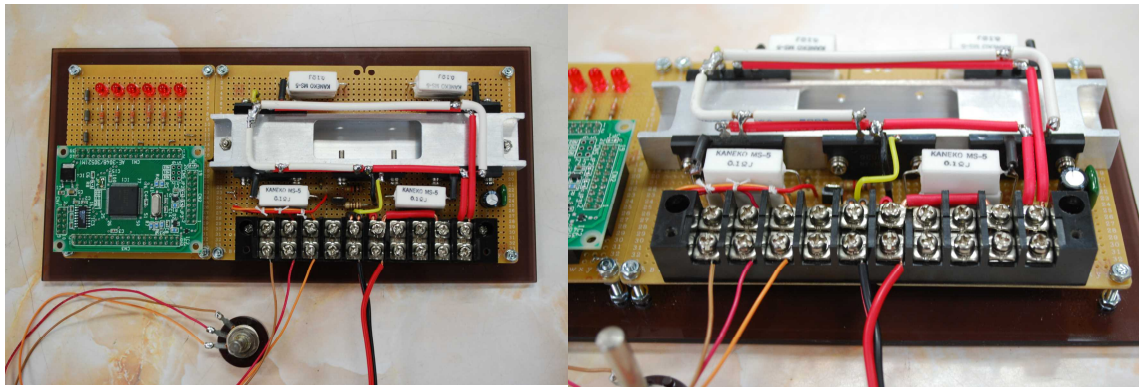


PWM モーター制御回路の設計製作

はじめに

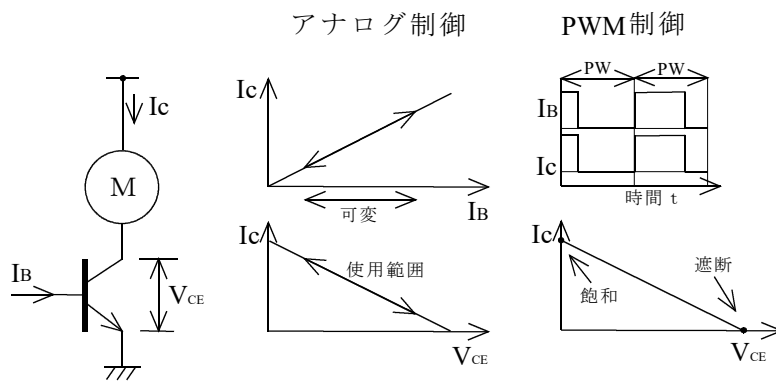
電気自動車などのモーター制御方式にはPWM制御が多く採用されている。機械系の友人からモーターの回転制御の相談を受けたのをきっかけに設計・製作を行った。マイコンを利用することで比較的簡単に製作することができたので紹介する。



PWM 制御とは

PWM(Pulse Width Modulation)制御とは、周期は一定で、入力信号（入力電圧）の大きさに応じて、パルス幅のデューティ比（パルス幅の High と Low の比）を変え、モーターに加える電力を制御する方式である。従来の加える電圧（電流）の大きさを変化させる回転制御にたいして、トランジスタの飽和と遮断の領域を利用するためにトランジスタでの損失が極めて小さく効率も良い。

図はアナログによる制御と PWM 制御を示す。



アナログの場合のコレクタ損失は、 $PC=V_{CE} \times IC$ となり、出力が 1/2 付近で最大となるり、このときの電源効率は次式から、

$$P_{out}/P_{in}=(IC \times (E-V_{CE}))/ (IC \times E) \quad \langle E \text{ は電源電圧} \rangle$$

1/2 (50%) となる。

PWM 制御の場合は、パルスが on の時間と off の時間の比で電力を制御するためにト

ランジスタの動作領域は飽和か遮断の何れかの点になる。つまり、IC が最大の時は VCE がゼロとなり、VCE が最大の時は IC がゼロとなる。コレクタ損失は次式で示され、 $PC=VCE \times IC$

理想的には損失がゼロである。実際には遮断領域と飽和領域に若干の電圧や電流が残るために完全にゼロとはならないが、極めてゼロに近く、電源効率はほぼ 100 %となる。放熱設計においてもアナログ制御は大きな放熱板を必要とするが、PWM 制御では放熱板をほとんど必要としない。理想的である。

回路仕様

DCモーター 13.8V 30A の回転制御
 PWM周期 60ms 1パルス1ms

使用部品

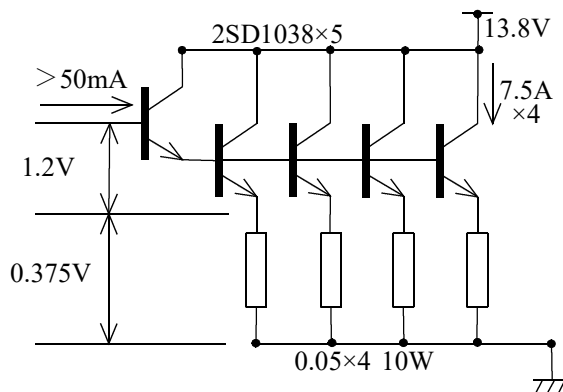
トランジスタ	2SD1036 : VEBO=150V、IC=15A、PC=150W、hFE=35 (IC=5A)
FET	2SK612 : VDSS=100V、ID=2A、PT=20W、DSS=10 μ A
抵抗	100-1/2W、1k-1/2W、10k-1/4W、100k-1/4W、330-1/4W、0.05-10W (0.05-10W は 0.1-5W を 2 個並列で利用)
コンデンサ	100 μ 50V、0.33 μ 50V
ダイオード	10DDA10 : VRPM=100V、IO=1.0A、IFSM=45A
マイコン	AKI-H8-3048
半固定抵抗	10k-B
端子台	10P

回路設計

・電力部

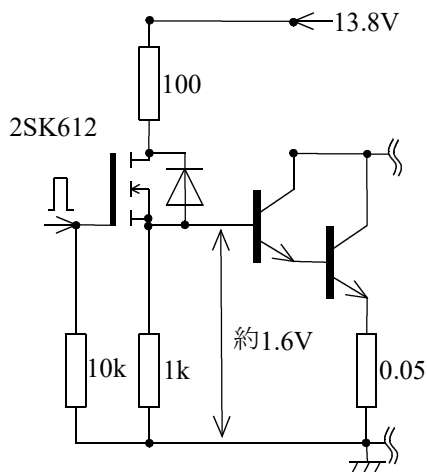
最大制御電流を 30A として設計した。2SD1036 の最大電流は 15A であるので実際の使用電流を半分に抑え一個あたりの負担電流を 7.5A とし、終段を 4 個並列にした。特性のアンバランスを考慮しそれぞれに 0.05 Ω のセメント抵抗をそれぞれに接続した。 $IO=7.5 \times 4=30A$

また、このトランジスタの hFE=35 (測定電流 5A) であり、使用電流 7.5A では若干の低下が考えられるため、同トランジスタをダーリントン接続し、hFE を稼いだ。
 $hFE=35 \times 35=1225$
 となり、仮に半減したとしても 600 程度は維持できる。



• 初段増幅

初段にはFETを用いた。
 $ID=30 \div 600=50\text{mA}$ となり、
 2SK612 で十分にドライブできる。また、FET
 を用いることでマイコンのポート出力電流が
 ほぼゼロとなり、マイコン側の負担を軽減で
 けるなど、緩衝増幅の役割も果たす。
 ただし、使用したFETのリーク電流が $10 \mu\text{A}$ あり、
 $10 \times 600=6\text{mA}$ 以上の電流が出力（モーター）
 にリークすることになり不都合が生じる。その
 ためにFETのソースに $1\text{k}\Omega$ を接続して、リーク
 電流をアースに逃がした。



リークによる電圧は、

$10 \mu\text{A} \times 1\text{k}\Omega=10\text{mV}$ となる。

一方トランジスタの動作電圧は、ダーリントン接続のため、セメント抵抗での電圧降下
 $(0.05 \times 7.5=0.375\text{V})$ とトランジスタのベース電圧 $(0.6 \times 2=1.2\text{V})$ の和となり、約 1.6V
 以上を要する。

つまり、 $10\text{mV} \ll 1.6\text{V}$ となり、余裕で問題を解消できる。

FETのゲートに接続した $10\text{k}\Omega$ は、マイコンからの信号が途絶えるなどの事故が発生
 した場合にゲートはプルダウンされ、モーターを自動停止させる。省略した場合、FET
 の動作が不安定となり、モーターが暴走する危険も考えられる。

100Ω の抵抗は FET の最大電流を制限するために接続している。トランジスタの hFE
 から 50mA 以上を流せると十分なので、

$R=(13.8-1.6)/50=244\Omega$ 以下となる。

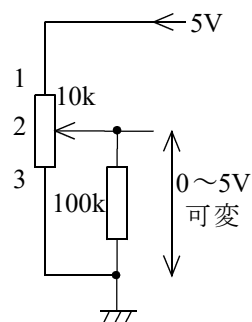
実際には十分にトランジスタを飽和させるために 100Ω とし、必要電流の2倍以上を流
 す値に設定した。

$I=(13.8-1.6)/100=122\text{mA}$ と十分大きな電流値である。

• 速度可変部

速度調整には $10\text{k}\Omega$ 程度（適当な値でよい）の半固定抵抗を
 使用し、マイコンに搭載された 5V を分圧してアナログポー
 ト（AN0）に入力している。

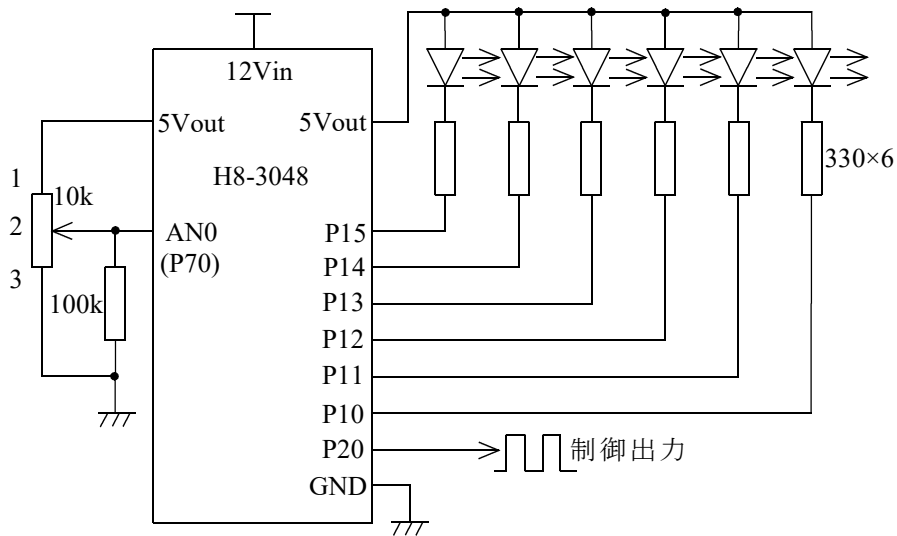
半固定抵抗に取り付けた $100\text{k}\Omega$ は、可変部に接触不良等が生
 じた場合にアナログ入力をプルダウンし、モーターを停止させ
 るために安全保護抵抗として取り付けた。この抵抗も省略する
 とモーター暴走の危険がある。



• モーターの逆起電力による保護

DC モーターの場合はブラシがあり、コイルに断続電流が流れるために大きな逆起電
 力が生じて、トランジスタなどが破壊されるため、その防止として必要箇所にダイオー
 ドを入れた。ここで使用したダイオードは許容電流は 1.0A であるがサージ電流が大き
 いため今回の回路に適している。

・マイコン制御部

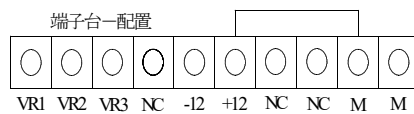
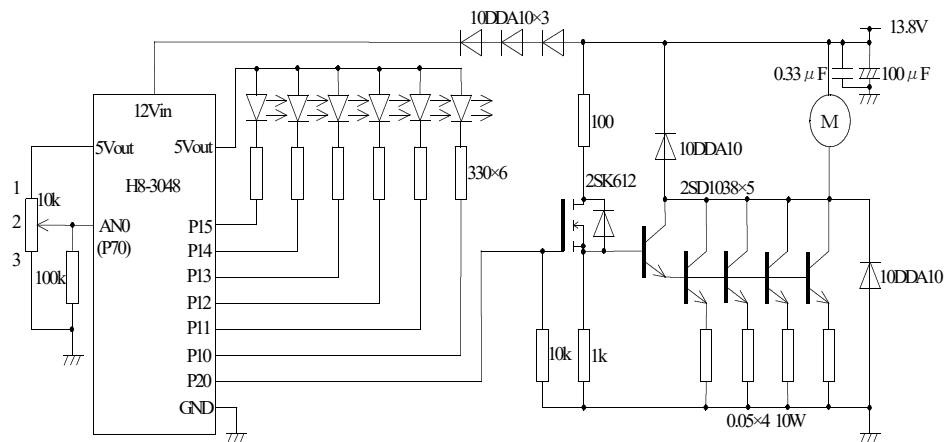


制御用のマイコンとして日立製の H8/3048F の CPU を搭載した秋月電子の AKI-H8 マイコンボードを使用した。このボードには 10 ビット分解能の A/D 変換機能がありとても優れている。

アナログポートは 8 ビット (AN0 ~ AN7) があり AN0 を使用した。

PWM 出力にはポート 2 の P20 を使用。また、出力の様子をモニターするために、ポート 1 を利用し、P10 ~ P15 の 6 ビットに発光ダイオードを取り付けた。330 Ω は発光ダイオードへの電流制限である。

・完成回路



• A/D 変換

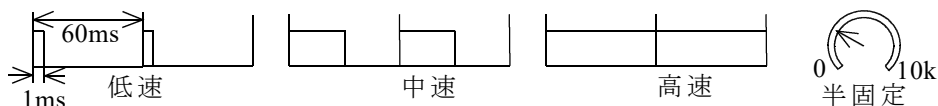
A/D データレジスタは次のような配置になっており、全 16 ビットであるが、下位の 6 ビットが無効で、上位 10 ビットが有効に設計されている。

何ビットを有効にするかは利用者によるが、6 ビット程度(64 階調)で十分と判断したので、下位 10 ビットをシフトし、マスク (&h3F との論理積) をかけることで 6 ビットのデータを有効とした。つまり PWM の変速数は 64 段変速となる。

bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADDRn	AD9	AD8	AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0	—	—	—	—	—	—

このデータは回路の変速状態をモニターするために取り付けられた発光ダイオードに出力するために、そのままポート 1 の P10 ~ P15 に転送している。

• パルス幅の決定



A/D 変換は可変抵抗の抵抗値に依存する。構造を右に示すが、左右に回しきったときに理想では 0 および 10k に達する。実際には高精度の高級品でないかぎり製品にバラツキがあり完全に 0 ~ 10k Ω を可変することが難しく、上下に若干値が残ってしまう。

ここで問題点をこの制御に当てはめると次の症状が考えられる。

① 0 まで下がらない場合

パルスがゼロにならず低速でモーターが回転してしまう。

② 10k まで上がらない場合

最高速に達することができない。

この問題を解消するために取り込んだデータ (0 ~ 63) のデータの上下の値をカットし、60 段階の変速とした。

解決策として

①の解消：変換値が &h03 以下ならば強制的に停止。

②の解消：変換値が &H3C 以上ならば強制的に最高速。

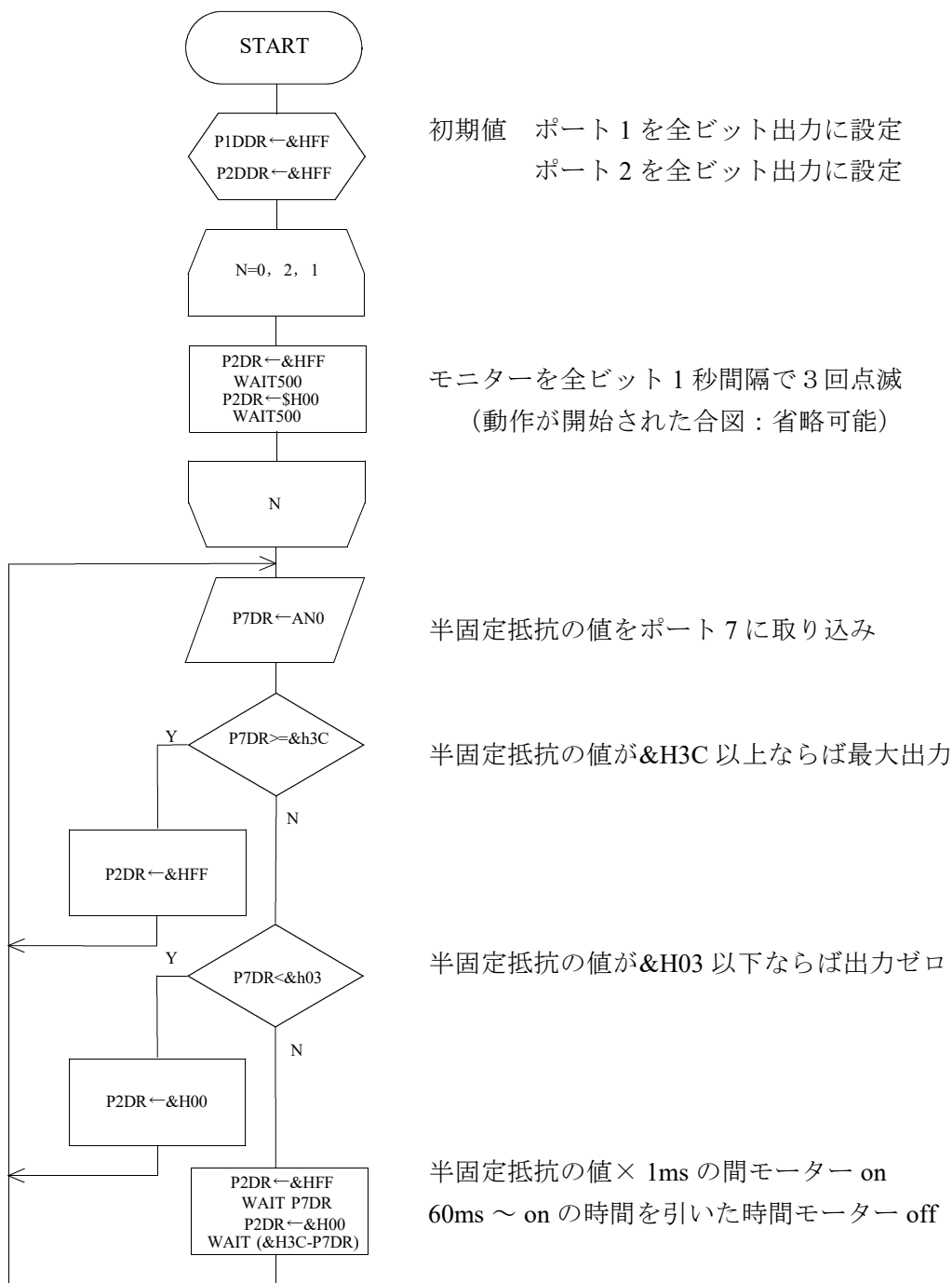
このプログラムで問題を解決した。

変換方法は各種考えられるが、図に示すように最低パルス幅を 1ms に設定し、パルス on を 0 ~ 60 ステップ(全 60ms)にすることで、A/D 変換値をそのまま時間に反映させた。つまり AD 変換値=パルス時間に設定することで、複雑な変換を要することなくプログラムを簡単にすることができた。

• 各ポートの設定

P1DDR	&hFFFC0	ポート 1 全ビット出力	P1DR	&hFFFC2	下位 6 ビット使用
P2DDR	&hFFFC1	ポート 2 全ビット出力	P2DR	&hFFFC3	下位 1 ビット使用
P7		アナログ入力専用	P7DR	&hFFFC4	下位 1 ビット使用

・プログラム



おわりに

PWM 制御装置はマイコンを利用することで簡単に製作することができる。マイコは AKI-H8-3048 を使用したが、特に理由はなく、たまたま手元にあったものを利用した。簡単なプログラムで動作し、ポートも多数必要とされないために、PIC などの小型マイコンを使用した方が装置全体が小型化されて良いのかもしれない。今回は回路の製作に留まったが、これを利用して動作する何かを製作するとおもしろいと思う。