

組み込みマイコンの基礎

知っておきたい知識 ~ マイコンのプログラム製作、ハード設計の前に ~

「パソコンのC言語はよくわかるのだが、組み込みが分からない」という場合、その分からない理由の1つに「ハードウェアのことが分からないから」ということがあるケースも多いのではないかと思います。このカリキュラムが、その辺りの理解の一助になれば幸いです。

◇ 情報の単位 ~ ビット、ニブル、バイト ~

ビットとは情報の最小単位です。1ビットは一桁を使い、0と1で表現します。4ビットで1ニブル、8ビットで1バイト、16ビットで1ワード、32ビットでロングワード、ダブルワードと言った表現をします。C言語では8ビットのことを「char」型、16ビットを「short」型と表現したりします。

◇ 位取り ~ 2進数、16進数、10進数 ~

マイコンで扱う信号は0と1です。2進数といいます。2進数は数字の末尾にBをつけて表記し、なにもつけない10進数と区別します。BはBinary(2進)の意味です。2進数を4つにまとめて表現するのが16進数です。16進数は数字の先頭に0xをつけて表記します。0xはヘキサデシマルナンバー(16進数)の意味です。ルネサステクノロジでは数値の先頭にH'をつけて表記します。例えば8ビットポートのビット0を1にしたい場合、2進数では00000001B、16進数では0x01、ルネサステクノロジではH'01と表現します。(表1)参照。

(表1) 進数別表現表

2進数	10進数	16進数
0	0	0
1	1	1
10	2	2
11	3	3
100	4	4
101	5	5
110	6	6
111	7	7
1000	8	8
1001	9	9
1010	10	A
1011	11	B
1100	12	C
1101	13	D
1110	14	E
1111	15	F

普通、我々は数の進数を意識せず判別して生活しています。ものの売り買いは10進数、時計を見るときは12進数、または60進数ですね。それに対して、マイコンの世界では2進数、または16進数が一般的です。少し大きな数になると変換が大変なので、マイコン技術者には10進数 16進数が計算できる関数電卓が必須です。

進数別の、扱うことのできる数値の範囲は、それぞれ

8ビットでは、00000000 ~ 11111111 B = 0 x FF = 0 ~ 255の数値、

16ビットでは、0 x FFFF = 65535の数値です。

◇ オームの法則

V:電圧 I:電流 R:抵抗

ドイツの物理学者オームが電流、電圧、抵抗の関係を明瞭な式で表現しています。この法則を知らずして電気の機器を扱うことはできませんので要チェックです。

$V = IR$ [V] :電圧は電流と抵抗をかけたもの
 $I = V / R$ [I] :電流は電圧を抵抗で割ったもの
 $R = V / I$ [] :抵抗は電圧を電流で割ったもの

電圧の単位はV:ボルトです。電流の単位はI:アンペアです。抵抗の単位は:オームです。1000を1K:キロオーム、1000K = 1M:メガ(メグ)オームと
いいます。単位ごとの呼称は、(表2)参照。

(表2) 単位呼称

1 / 1,000,000	1 / 1,000	× 1,000	× 1,000,000
μV マイクロボルト 10 ⁻⁶ V	mV ミリボルト 10 ⁻³ V		
μA マイクロアンペア 10 ⁻⁶ A	mA ミリアンペア 10 ⁻³ A		
		K キロオーム 10 ³	M メガ(メグ)オーム 10 ⁶

10³は0が3つ付くという意味です。例えば2000 = 2K = 2 × 10³です。なぜこのような表現をするかというとおそらく、演算を行うときに間違えにくい、計算が速くできる、といった理由です。関数電卓のボタンでいう「EXP」です。関数電卓を使用するときも「EXP」を使用した計算のほうが0を全て入力するより間違えにくいし、速くできます。

指数10ⁿの計算の法則

$$A = B / C \times 10^n = B \times 10^{-n} / C$$

割り算で指数 10^n が分母側→分子側、分子側→分母側に移動する場合、指数部のプラスマイナスを反転するだけです。

$$A = B \times 10^m / C \times 10^n = B \times 10^{(m-n)} / C$$

割り算で指数部 10^n が分母側、分子側ともにある場合、指数の引き算が行えます。例えば分母、分子が同じ指数では指数部の演算は不要であり、無いものとしてよいこととなります。次に例題と計算方法を示します。

[例題 1] 5 K の抵抗両端に 5 V の電圧をかけたときの電流値を求めよ。

式)

$$I [A] = 5 V / 5 \times 10^3$$

計算)

10^3 の部分は計算する必要ありません。この部分が分母側→分子側、分子側→分母側に行く場合、プラスマイナスを反転するだけです。つまり $5 \div 5$ を行い指数部の符号を反転させます。

解)

$I [A] = 1 \times 10^{-3}$ となります。1 かける 10 のマイナス 3 乗アンペアと言います。mA で表現すれば 1 ミリアンペアとなります。

[例題 2] 1 M の抵抗両端に 1 K V の電圧を印加させたときに流れる電流値を求めよ。

式・計算)

$$\begin{aligned} I [A] &= 1 \times 10^3 / 1 \times 10^6 \\ &= 1 \times 10^{(3-6)} / 1 \\ &= 1 \times 10^{-3} A \end{aligned}$$

解)

$$I [A] = 1 \times 10^{-3}$$

(1 ミリアンペア)

◇ 直流と交流

電流 (電圧) には直流 (DC) と交流 (AC) があります。直流は電流方向が時間とともに変動しないもの、交流は電流方向が時間で交互に変動するものを言います。交流では変動の周期 (秒) の逆数を周波数と言います。

$$1 / T = f \quad T : \text{周期} \quad f : \text{周波数}$$

[例題 3] 20 msec (ミリ秒) で繰り返している交流の周波数を求めよ。

$$1 / 20 \times 10^{-3} = 0.05 \times 10^3 = 50 \text{ Hz} \quad \text{です。}$$

10^3 は小数点を右に 3 つずらせば指数部を取り外せます。もし、 10^{-2} の場合、左に 2 つずらせば良いのです。

◇ インピーダンス

例として H8 / 3052 の A / D 入力で、許容信号源インピーダンスという規格があります。H8 / 3052 の場合、 $\text{max} = 10 \text{ K}$ です。条件は、 $V_{CC} = 4.0 \text{ V} \sim 5.5 \text{ V}$ 、 12 MHz です。許容信号源インピーダンスとは、H8 / 3052 の A / D につなげてもいい回路の出力インピーダンスの許容値という意味です。そのときの条件として、H8 /

3052の電源はVcc 4.0V~5.5V、CPU動作クロック 12MHz以下の場合最大10K までいいということです。

ちなみに12MHz >、AVcc = 3.3~4.0Vの場合はmax = 5K に下がります。

AVcc = A/Dコンバータ回路部の電源です。

マイコンのA/Dにはコンデンサが接続されていて周波数で入力インピーダンスが変わります。周波数が高くなると入力インピーダンスも低下すると思われます。

入力インピーダンスとはなんでしょう？上記の場合、条件を外れるとA/Dの精度が保障されません。10K 以下のものとはなんでしょう？例えばよく出来たポリウムは直流から低い周波数まで抵抗値は変動しません。ですので、10K のポリウムをA/Dの入力に直接つなげることはぎりぎりセーフと言えます。また、5K や1K の方が10K より精度的にいいだろうと予想されます。マイコンでは接続する素子の出力インピーダンスを極力下げて、入力インピーダンスの影響を極力下げる方法が一般的です。出力インピーダンスを下げるデバイス（素子）として有名なのがオペアンプです。一般のオペアンプは入力インピーダンスは極力高く、出力インピーダンスは極力低くという発想で設計されています。これをA/D入力とポリウムの間に入れることにより100K のポリウムも使うことができるようになります。

◇ 抵抗

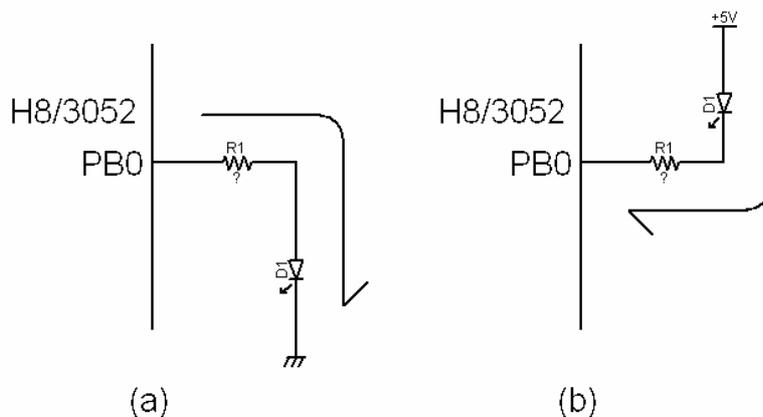
抵抗は回路の電流を決める素子です。また複数の抵抗は回路の電圧を決めるのにも使用されます。なぜ電流を決定する必要があるのでしょうか？おおよそ以下の3つの理由によります。

部品には最大定格電流が規定されていて、それ以上の電流を流してしまうと部品が破壊してしまうから。

回路として意図する電流があるから。

+

例としてマイコンのポートでLEDを点灯させる回路の設計をしてみましょう。



- 図の(a)、(b)共H8/3052のポートBで直接LED D1を駆動する回路です。
- (a)はポートから流れ出る電流がLEDを点灯させる回路です。

- (b) はポートに流れ込む電流がLEDを点灯させる回路です。
- H8 / 3052 Bポートは出力に流れ出せる電流がmax 2.0mAです。流れ込む電流はmax 10mAです。つまり上記回路は目的は同じでも(b)回路のほうが(a)回路に比べLEDの明るさが明るく設計できる可能性があります。
- 抵抗値の設計はD1の順方向降下電圧VFを2.0V、H8 / 3052の電源を5Vとして計算してみます。

(a) は最大2mAしか出力できませんから、

$$R1 = (5 - 2.0) / 2\text{mA} = 3 / 2 \times 10^{-3} = 1.5 \times 10^3 = 1.5\text{K}$$

となります。

(b) では10mA流すと仮定します。

$$R1 = (5 - 2.0) / 10\text{mA} = 3 / 10 \times 10^{-3} = 0.3 \times 10^3 = 300$$

となります。

ポートの出力許容電流値は1端子あたりと総和の上限がありますので、注意が必要です。

◇ コンデンサ

コンデンサの構造は2枚の導体が絶縁されて向かい合っている形をしています。直流を通しません。導体と導体の間に入っている絶縁物の違いでセラミック、フィルム、電解コンデンサ等、呼び名が変わります。

導体：電気を流す物質。例えば金属。半導体とは「電気を流したり流さなかったりする物質」の意味。

<使用例>

平滑コンデンサ：交流をダイオードで整流した後に直流にさせる為に使用。

パソコン：電源ラインのインピーダンス低減用に部品の電源端子そばに配置。

リセット回路：電源投入時0Vから上昇していく時間をリセット時間に利用。

◇ ダイオード、LED

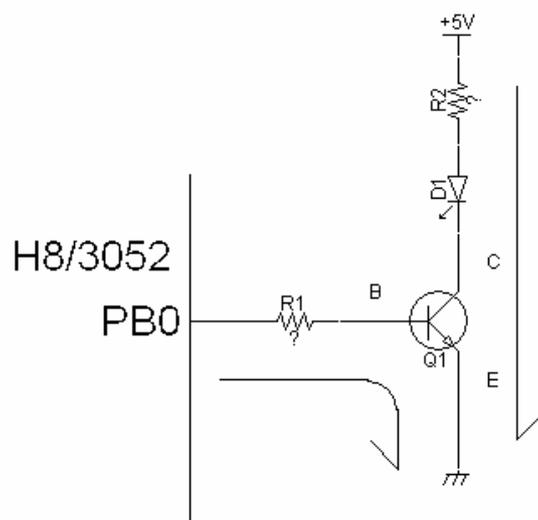
電流を一方方向にしか流さない素子です。LEDはそれに加えて電流により発光するという特徴を持っています。技術的には比較的古くからありますが、近年、青色LEDが発明され光の3原色、赤・青・緑がLEDのみで構成することが可能となり、容易にフルカラー表示が出来るようになりました。電球、蛍光灯の置き換え、液晶バックライトなど、使用される分野と市場規模が拡大しています。

◇ トランジスタ

ダイオードはPN接合という構造をしています。ポジティブ半導体とネガティブ半導体がかっついています。それにさらにもうひとつ加えてPNP接合、あるいはNPN接合にしたものがトランジスタです。トランジスタは電流増幅素子として使用されます。例えば先にLEDをマイコンのポートで直接駆動しましたが、LEDは通常20mA程度までは電流を連続で流すことが出来るのでH8 / 3052のポートでは能力いっぱいまで(明るさ)使用できないこととなります。

その他にも1Aとかそれ以上の電流をマイコンのポートで制御したいことは組み込み

マイコンの世界では日常的に起きます。そのときに使用するのが電流増幅器であるトランジスタです。



(a)

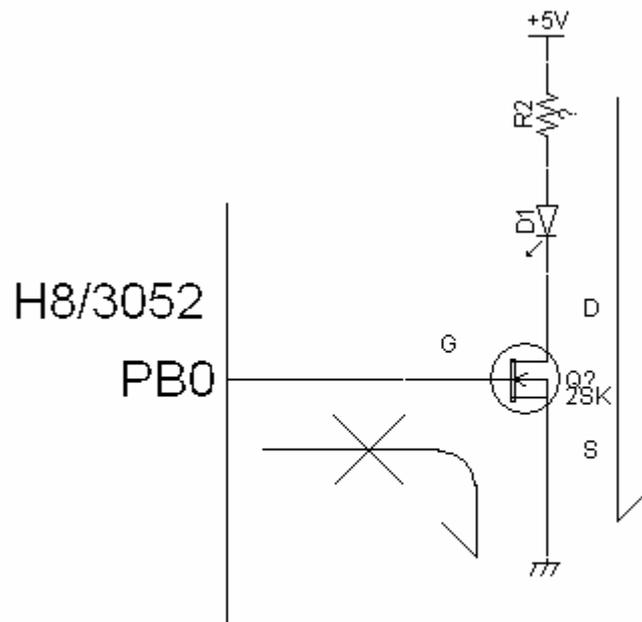
- Q1はNPNタイプのトランジスタでここでは東芝の2SC1815GRとします。B：ベース、C：コレクタ、E：エミッタといいます。設計はR1とR2の数値を求めることとなります。
- 動作はPB0に1を出力すると電流がBE間に流れQ1がONしてコレクタ電流が流れLEDが光ることとなります。このときのベース電流とコレクタ電流の比を直流電流増幅率(hFE)といい2SC1815GRの場合、200~400(25)です。あたかも入力された電流がhFE倍されて出力されるような印象を与えます。
- LED D1を定格最大の明るさで発光するように流す電流を20mAとします。トランジスタのCE間はONになっていても多少の電圧ロスが発生します。VCE(sat)といいます。ここでは0.1Vとします。
- $R2 = (5 - 2.0 - 0.1)V / 20\text{mA} = 2.9 / 20 \times 10^{-3} = 0.145 \times 10^3 = 145$ となります。実際は145 という抵抗は標準では無く、近い数値のものを使用します。
- R1の設計ですが、PB0から出力される電圧からトランジスタのBE間の電圧を引いた電圧が抵抗R1にかかります。電流はどのくらいを想定すればよいのでしょうか？ $20\text{mA} / 200$ (hFEの下限) = $100 \times 10^{-6} \text{A} = 100 \mu\text{A}$ あればよいこととなります。H8/3052のポートにとって見れば楽勝の値です。
- トランジスタがONしているときにBE間に電圧が発生します。通常0.7Vで計算します。
- $R1 = (5 - 0.7)V / 100 \mu\text{A} = 4.3 / 100 \times 10^{-6} = 0.$

$0.43 \times 10^6 = 43 \times 10^3 = 43 \text{ K}$ となります。

- 但し、hFEはメーカーよりダウンロードできるhFE - ICのグラフにより温度が25 から -25 まで下がると50くらい下がることが読み取れるので、使用環境温度で安全をみる必要がある場合は20K 前後でいいでしょう。

☆ FET(フィールドエフェクトトランジスタ)

FETはトランジスタによく似た素子ですが、一番大きな違いは電圧増幅素子であるということです。トランジスタは大きな電流を制御するのに小さな電流を使用しますが、FETは電圧の変化でそれを行います。特に大きな電力を扱うものはパワーMOS FETといえます。



(a)

- 端子名はG : ゲート、D : ドレイン、S : ソースと言います。NチャンネルとPチャンネルの2種類あります。
- 回路はトランジスタと同じようにPB0でLEDを駆動するものですが、R1が無い点が違います。電流はほとんど流れません。GS間の電圧の高低でDS間の電流が変化します。R2の設計はトランジスタのときと同じです。VCE(sat)をVDS(sat)に変えて計算します。sat = サチュレーション = 飽和という意味です。
- 最近のパワーMOSFETはドレイン電流が飽和するまで使用することは珍しく、実際はRDS(ON) = ドレイン - ソース間抵抗という表現が多いです。たとえばVGS = 4.5V、ID = 3Aのときにドレイン - ソース間の抵抗が28m ある、といった表記です。ドレイン - ソース間で消費する電力 $W = I^2 R = 3 \times 3 \times 28 \times 10^{-3} = 0.252 \text{ W}$ となります。この抵抗が

低ければ低いほど素子が発熱しにくいことは想像できますね。

- F E Tはマイコンポートの電流をほとんど消費せずL E Dの電流が制御できますからトランジスタに比べ発熱しない、低消費電流な素子といえます。
- マイコンの中はこのNチャンネルとPチャンネルを1組としたC - M O S F E T (コンプリメンタリーメタルオキシドセミコンダクタ フィールドエフェクトトランジスタ) が数万個とか数十万個とか入っている世界です。
- 初期のマイコンはNチャンネルM O Sで構成されていましたが、より低消費電流、低発熱の必要性によりC - M O Sとなりました。トランジスタで汎用マイコンが作られない理由は原理的に発熱しやすく、高消費電力であることが大きいと思います。1個あたりは微々たるものでも数万個集積されれば数万倍になります。

以上、組み込みマイコンは外部に色々な素子(デバイス)を付けるのが一般的ですが、多くのケースで上記説明の法則やデバイスの応用で設計していけると思います。

-
- 文章に記載された内容は弊社有限会社ビーリバーエレクトロニクスの調査結果です。
 - 本文章に記載された情報の内容、使用結果に対して弊社はいかなる責任も負いません。
 - 本文章に記載された情報に誤記等問題がありましたらご一報いただけますと幸いです。
 - 本文章は許可なく転載、複製することを堅くお断りいたします。

- 〒350-1213 埼玉県日高市高萩 1 1 4 1 - 1
- TEL 042 (985) 6982
- FAX 042 (985) 6720
- Homepage:<http://beriver.co.jp>
- e-mail:support@beriver.co.jp
- 有限会社ビーリバーエレクトロニクス