

電子回路設計入門

著 thin valley tomo

はじめに introduction

「電子回路ができるようになるにはどうすればよい?」という質問をよく聞く。実に難解な質問である。しかし、その質問に答えるべく、この訳のわからない説明書?を書いた。

思うことには、何をマスターするにしろ、「基礎」と「応用」が必要であるということだ。基礎をしっかり学んだ後、応用を大量に知る。

そして、その応用を元にたくさんアイデアがふくらんでいくと思う。

つまり、基礎少し、応用たくさん、が一番のマスターへの近道である。

そのため、この説明書は基礎だけを集めた「基礎編」と応用例を大量に収録した「応用編」に分かれている。

この説明書が諸君のよき共となることを望む。

thin velly tomo
powerd by L^AT_EX

第1章 回路図の読み方と最小限の電磁気学

ここでは回路図の読み方と、電子回路設計において最低限必要な電磁気学について説明する。

1.1 電子回路図の読み方

電子回路図は読めて当たり前。読めないと回路がどうなっているのかわからない。よって、これを覚えること = 電子回路をマスターしようとするのである。

* 回路図は別紙参照

1.2 SI単位系

SI単位とは国際単位系のことである。普段はこれに合わせるようにすること。

電圧 [V]=V[ボルト] 電流 [I]=A[アンペア] 抵抗 [R]= Ω [オーム]
電荷 [C]=C[クーロン] 電力 [P]=W[ワット] 発熱量 [J]=J[ジュール]
静電容量 (キャパシタンス)[C]=F[ファラド] インピーダンス¹[Z]= Ω [オーム]
インダクタンス [L]=H[ヘンリー]

* これらが何を意味するのか今理解する必要はない。大切なのは、この記号はなんという名のモノであるかを覚えることである。

1.3 SI接頭辞

電気の世界ではとても小さい値、またはとても大きい値を表す場合がよくある。その場合、いちいちたくさんの数字を書いていられない。そこで、接頭辞というモノを使う。

¹波の流れにくさを表す単位。今後大変重要になってくる

10^n	接頭辞	記号	十進法表記
10^{15}	ペタ	P	1 000 000 000 000
10^{12}	テラ	T	1 000 000 000 000
10^9	ギガ	G	1 000 000 000
10^6	メガ	M	1 000 000
10^3	キロ	k	1 000
10^2	ヘクト	h	100
10^0	なし	なし	1
10^{-2}	センチ	c	0.01
10^{-3}	ミリ	m	0.001
10^{-4}	マイクロ	μ	0.000 001
10^{-9}	ナノ	n	0.000 000 001
10^{-12}	ピコ	p	0.000 000 000 001
10^{-15}	フェムト	f	0.000 000 000 000 001

1.4 電磁気学

電気の振る舞いを考える「電磁気学」。もちろん、電子回路を考える上で必要不可欠。よく使うモノをここにあげる。

1.4.1 オームの法則

$$V = IR$$

上式のように回路中にかかる電圧は電流と抵抗値をかけた値である。この式を変形すると、

$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

となるのがわかる。この三つの式を場に応じて使い分ける。

- 例題

- 1) 電圧 3V, 抵抗値 30Ω の回路に流れる電流はいくらか
- 2) 電流 3A, 抵抗値 50Ω の回路にかかる電圧はいくらか

1.4.2 電圧降下

もちろん抵抗によって電圧は下がる。これを電圧降下という。

回路を流れた電気は 0V となって-極へと戻る。つまり、最上位電位からグランドマークへどれくらいの抵抗成分があるかを調べることにより、電圧降下量、流れる電流を調べることができる。その電圧降下の式もオームの法則と同じである。

- 例題

- 1) 電圧 3V, 30Ω の抵抗 R1 と 20Ω の抵抗 R2 が直列に R1, R2 の順につながれている。R1 での電圧降下はいくらか
- 2) 電圧 5V, 40Ω の抵抗 R1 と 90Ω の抵抗 R2 が直列に R1, R2 の順につながれている。R1 での電圧降下はいくらか

1.4.3 ジュールの法則

$$J = RI^2$$

式の通り、抵抗に電流が流れることにより、抵抗は発熱する。その時の発熱量は抵抗値と電流の二乗に比例する。

- 例題

- 1) 電圧 3V, 抵抗値 30Ω の抵抗の発熱量はいくらか
- 2) 電流 3A, 抵抗値 50Ω の抵抗の発熱量はいくらか

1.4.4 電力の求め方

例えば、電圧が高く、電流が低い場合と、電圧が低く、電流が高い場合とではどちらがエネルギーが高いのだろうか。その問いに答えるのが電力である。

$$W = VA$$

これで電力が出る。

第2章 部品の働き

ここでは、それぞれの部品についての働きを説明する。

2.1 抵抗 resister

2.1.1 働き

- 流れる電流の抑制
先のオームの法則で述べた通り回路に流れる電流を抑制する。
- 電圧の降下
先のオームの法則で述べた通り電圧を下げる働きがある。

2.1.2 抵抗値の読み方

- 固定抵抗
それぞれの抵抗の抵抗値を読むには抵抗に描かれている帯を見ればよい。そこから辺についてはそこから辺の本を参照。
- 半固定抵抗
抵抗値を調整できる抵抗。それぞれに上限を持っており、0からその上限の値まで調整できる。しかし、名前の通り半固定な抵抗である。よって常に回す事前提で設計されていないので回す寿命がある。

さらに詳しく言うと、、、

三つのピンがある。端二つの間の抵抗は上限の抵抗値である。真ん中の端子が調整された抵抗値となる。つまり、真ん中と端のどちらか一本の二つの端子で調整できる抵抗となる。

- 可変抵抗 (ポリウム)
半固定抵抗よりも寿命をのばした物。

2.1.3 種類

普通は1/4W カーボン抵抗を使う。その他にも、誤差が少ない金属被膜抵抗や、大電力にも耐えうる1W/2W/5W セメント抵抗など場合によって使い分ける。

2.1.4 使い道

LEDの電流制限抵抗、半導体のI/O保護、電圧を効果させる、センサーの調整、プルアップとプルダウン

- コラム:抵抗に大電流を流したら、、、
抵抗には電圧を下げる効果があると言ったが、下げる電圧量、流れる電流量に注意して抵抗を選ばなくてはならない。
なぜか。ここでのポイントはジュールの法則である。下げる電圧が大きくなればなるほど抵抗中に流れる電流は多くなる ($V = IR$ より)。よって、ジュールの法則 $J = RI^2$ より、抵抗の発熱は電流の二乗に比例する。また、降下させる電圧は同じでも、流れる電流が多いと同じくジュールの法則により発熱量は電流の二乗に等しい。
つまり、抵抗で電圧を下げる時、電流量を抑制する時は電流が少ない場合のみ使うことを推奨する(せいぜいLED程度である)。モーターなどかなりの電流が流れる部品の電圧を抵抗で落とすのは推奨しない(このようなパワーが必要なパーツについてはパワー回路入門で説明する)。

2.2 コンデンサ capacitor

2.2.1 働き

- 電気を貯める
その通り電気を貯める。どれくらい貯めるかは静電容量 F (ファラド) で表す。ある物体に $1V$ の電圧を与えたとき、 $1C$ の電荷を蓄えたならば、その物体の静電容量は $1F$ と定義する。よって、コンデンサにおける容量 C [単位は F] は電荷 Q の蓄積と電極間の電圧 V で

$$C = \frac{Q}{V}$$

と表すことができる。通常、 F は大きすぎるので μF や pF を使う。

- 交流成分のみ通す
コンデンサは直流成分は通さず、交流成分は通す。これは、交流回路を設計する場合においてとても重要になる。

2.2.2 種類

コンデンサには大きく分けて二つの種類がある。

- セラミックコンデンサ
もっとも一般的なコンデンサの一つ。極性が無く、容量が小さい。また、普通のコンデンサに比べ温度特性、周波数特性がよく、ESR¹が低い。
- 積層セラミックコンデンサ
もっとも一般的なコンデンサの一つ。積層させたセラミックコンデンサ。セラミックコンデンサよりも小さく、また、温度特性、周波数特性、許容誤差もよい。もちろん ESR も低い。コスト的に余裕がある場合は必ずこちらにすることを強く推奨する。
*以下、セラミックコンデンサと書いたなら、特に指定がない限り積層セラミックコンデンサのことを指す。

¹等価直列抵抗。コンデンサが回路上でどれくらいの抵抗成分となっているかを表す

- アルミ電解コンデンサ
もっとも一般的なコンデンサの一つ。電極に化学処理を施し、これを誘電体としたもの。極性があり、容量は大きい。しかし、温度特性、周波数特性は最悪であり、ESR も高い²。使い方を誤れば電解液が飛び散り危険。しかし、使い方を正しく守れば使いやすく、またコスト的にも有利。
- 電気二重層コンデンサ
電気二重層という現象を用いたコンデンサ。極性があり、容量はとても大きい。その分、耐圧は低い。

以下、かなりレアな奴たち。普通の回路で使うことは滅多にない。

- タンタル電解コンデンサ
金属タンタル粉末を用いた電解コンデンサ。極性があり、容量は大きい。また、アルミ電解コンデンサに比べ小型であり、温度特性、周波数特性もよく、ESR も低い。
- 酸化ニオブ電解コンデンサ
金属ニオブ粉末を用いた電解コンデンサ。極性があり、容量は大きい。また、アルミ電解コンデンサに比べ小型であり、温度特性、周波数特性もよく、ESR も低い。

2.2.3 静電容量、耐圧の読み方

- セラミック、積層セラミックコンデンサの場合
表面に書かれている三桁の数字を読み取る。その時、上二桁と下一桁に分けて読み取る。上二桁を x 、下二桁を y (ということは、 xy と書かれている) とおくと

$$x \times 10^y$$

となる。例えば、103 と書かれていれば、

$$10 \times 10^3 = 10000(pF)$$

である。10000pF は 0.01μF となる。

耐圧は普通書かれていない。ので、買ったセラミックコンデンサが耐圧何 V かを覚えておかなければならない。しかし、物によっては何 V とそのまま書かれている場合もある。

- 例題
 - 1)207と書いてあった。容量はいくらか。
 - 2)135と書いてあった。容量はいくらか。
- 電解コンデンサ、電気二重層コンデンサの場合
静電容量、耐圧ともにそのまま書かれている。そのまま読めばよい。マイナス側はリード線が短く(電気二重層コンデンサはリード線の長さが同じ)、また、その側の円筒形の本体に白い帯が描かれている。

²最近では、ESR が低い低 ESR 電解コンデンサという物もある

2.2.4 使い道

共通する使い方は、コンデンサの一端は必ず GND へ接続するということである (一部例外あり)。

- IC のバイパスコンデンサ (パスコン) として
後述する IC の電源端子直近に必ずセラミックコンデンサを接続しなければならない。これは、IC へのノイズをカットする目的で接続する。コンデンサの一端を電源端子へ、もう一端を GND へと接続する。
- ノイズフィルタとして
コンデンサは電気を貯める。また、高周波成分のみを通すという特性をいかしてノイズをカットするフィルタとして使える。詳しくはアナログ回路参照。
- 電源バックアップとして
大量の電力を貯めることができる電解コンデンサ、電気二重層コンデンサは、電源のバックアップとして使える。突然電源が切れる (電池など) とデータが消えてしまうデバイスなどに使える。接続方法はパスコンと同じ。ただし、IC 直近に置く必要はない。
- モーターのノイズフィルタとして
モーターを駆動すると必ずノイズがのる。そのノイズを吸収するために $0.1\mu F$ 程度のセラミックコンデンサを使用する。コンデンサの一端をモーターの一端、コンデンサの另一端をモーターの另一端へとつなぐ。
- 電源平滑として
パワー回路入門参照。
- コラム:英語でコンデンサと言うと、、、
もう気づいていると思うが、コンデンサのことを英語ではキャパシタ (capasitor) と言う。では、英語でコンデンサ (condenser) と言うとどうなるか。冷凍機などの凝縮器のことだと思われてしまう。そのためか近年、日本でもキャパシタと言う言い方が広まりつつある。

2.3 コイル inductor

コイル (インダクタ) は使い道によって種類が大変変わるパーツである。よって、ここではそこまで詳細に述べない³。

2.3.1 働き

細長い導体を巻いた物がコイルである。よって、そのコイルはインダクタンス $L[H]$ を持つことになる。

2.4 ダイオード diode

半導体の一種であるダイオード。

³フィルタやパワー回路に用いられる

2.4.1 働き

- 整流
ダイオードは電流をアノード (A) からカソード (K) へと流す。その逆は流れない。
- 定電圧取得
ツェナーダイオードを使うと定電圧を得られる。

2.4.2 種類

- 整流ダイオード
もっとも一般的なダイオード。応答速度はそこまで速くなく、耐圧、耐電流も多種多様。
- ツェナーダイオード
アバランシェ降伏により定電圧を得るダイオード。電流はあまり出せないで、基準電圧や小規模な回路に使われる。
- ファストリカバリダイオード
整流ダイオードの内、応答速度が特に速い物を言う。どれくらい速いのがファストリカバリかというのはグレーゾーン。
- ブリッジダイオード
コンセントからの交流電源を直流に変換する際に用いるダイオード。耐圧、耐電流が非常に高い。が、応答速度は最悪。

2.4.3 使い道

- 整流回路として
しつこいですね。整流作用を用いるだけです。電気信号をこの向きにしか流したくないとか、直流成分のみ通したいとか、交流を直流に変換したいとか言うときに使います。
- 定電圧源として
ツェナーダイオードで定電圧を得ます。出力する電圧は品番によって変わります。
- サージ吸収として
ソレノイド⁴やトランスなどを駆動したときのサージを吸収させるために使用。ダイオードで無理矢理サージ電流を流すことにより、他の回路を保護します。

なお、耐圧や耐電流はダイオード本体に書かれていることは滅多にない。型番や形から調べる必要がある。または、買ったダイオードのキャラを覚えておく必要がある。

2.5 LED

光るダイオード (Light Emitting Diode) である。ダイオードとして使われるより光る物として使われることが専ら。

⁴鉄心がないコイルのこと

2.5.1 働き

- 整流
もうしつこいなー。ダイオードは整流作用があるんだよ。
- 光り物として
LED は実に幅広い波長の光を出すことができる (紫外線～赤外線)。これらは、表示以外にもセンサーのための照明に使われたりもする。もちろん、アノードからカソードに電流を流さないと光りませんよ。

2.5.2 種類

主に $\phi 3mm$ または、 $\phi 5mm$ の砲弾型が用いられる。色や、耐圧、耐電流は書かれていない。また、品番も書かれていない。よって、どんなキャラの LED を買ったかを覚えておかなければならない (ただし、たいていは形や色が似たような物であればそれらの定格も似たような物である)。

2.5.3 使い道

センサーの状態や、電源が入っているか確認のための表示機器として、また、センサーのための照明に使われたりする。通常、リード線が短い方、中身が大きい方 (LED の中をよーく見てみると大小の金属らしき物が見える) が K である。

2.6 発振子 quartz

電圧をかけると発振する部品。それが発振子。

2.6.1 種類

- セラロック
セラミックでできた発振子に負荷容量⁵のコンデンサも一緒にしたもの。ズレが大きいのが安い。ちなみに、セラロックというのは村田製作所の商標。
- クリスタル
水晶を用いた物。HC49 と呼ばれる細長いパッケージや、シリンダという円筒形の物がある。かなり正確であるが、負荷容量は自分で付けなければならない。

2.6.2 働き & 使い道

クロックを生成する作用があることからマイコンなどデジタルデバイスのクロックとして使われることが専ら。

⁵発振子から見た回路全体の等価直列静電容量。通常、 $10pF \sim 20pF$ のセラミックコンデンサが用いられる

2.7 トランジスタ transistor

今日のエレクトロニクスに必要な不可欠なパーツ。
トランジスタには B(ベース)、C(コレクタ)、E(エミッタ) の三つの端子がある。

*以下、特に指定がない限りトランジスタと言えば npn 接合のトランジスタを指す。

2.7.1 働き

B によって C-E の電流をコントロールすることができる。

- スイッチング作用

前述した通り B によって流れる電流をコントロールできる。つまり、B に電気をかけると C-E 間が開く。ただし、電流は C-E の順にしか流れない。

- 増幅作用

こちらも同じく、B によって流れる電流をコントロールできる。つまり、B に増幅したい信号源、C に増幅するための電源、E が出力となる。

ここでもうお分かりだと思うが、スイッチング作用と増幅作用は、全く同じ作用である。B がコントロール線、C がコントロール元、E が出力となっている。

2.7.2 種類

トランジスタには npn 結合の物と pnp 結合の物がある (詳しくはコラム参照)。それぞれの品番はトランジスタ本体の正面に描かれているので、それを読み取ることで、トランジスタの見分けがつく。

また、トランジスタは以下のような法則で品番が決められている。

接合	周波数	型番
pnp	高周波	2SAxxxx
pnp	低周波	2SBxxxx
nnp	高周波	2SCxxxx
nnp	低周波	2SDxxxx

この xxxx の部分にはそれぞれの品番が描かれている。品番によって耐圧、耐電流、オン抵抗⁶、ピン配置が決められている。

2.7.3 使い道

- スイッチング動作

スイッチング作用を生かした使い方、LED やモーターをコントロールするのに使う。流れる電流やかける電圧によって最適なトランジスタを選ばなければならない。

- 増幅

微小信号しか扱えないセンサーからの入力を増幅するときに使う。増幅には通常、2SC1815 を使う。

⁶ トランジスタが電流を流している時、どのくらいの抵抗となっているかを表す

- コラム: pnp と npn の違い
npn は B に電気をかけることで C-E 間が開く。しかし、pnp は電気をかけていない時に E-C 間が開く。そして、電気をかけると E-C 間が閉じる。また、npn の場合、C-E 間電圧が B 電圧よりも低いことが望ましく、pnp の場合、E-C 間電圧が B 電圧とほぼ等しいことが望ましい。

2.8 電界効果トランジスタ FET

本名は Field effect transistor。しかし、FET(フェット)と言われることが専ら。トランジスタは B に電流をかけることで、C-E 間をコントロールしていたのに対し、FET は G(ゲート)の電圧により D(ドレイン)-S(ソース)間電流をコントロールする。

*以下、特に指定がない限り FET と言えば N 型の FET を指す。

2.8.1 働き

前述の通り G により、D-S 間電流をコントロールすることができる。

2.8.2 種類

こちらと同じく P 型 FET と N 型 FET がある (詳しくはコラム参照)。

それぞれの品番は FET 本体の正面に描かれているので、それを読み取ることで、FET の見分けがつく。

P 型は 2SJxxxx、N 型は 2SKxxxx となっており、xxxx の部分にはそれぞれの品番が描かれている。品番によって耐圧、耐電流、オン抵抗、ピン配置が決められている。

2.8.3 使い道

FET はその特性上、大電力スイッチングに専らよく使われる。その他にも、小信号のレベル変換や IC への電源コントロールに使われる。

- コラム:P 型と N 型の違い
FET もトランジスタと同じく P 型と N 型という種類がある。単純に見れば、P 型=pnp、N 型=npn である。つまり、N 型の場合、G に電圧をかけることで D-S 間が開く。P 型の場合、G に電圧をかけていなければ、S-D 間が開き、G に電圧をかけると S-D 間が閉じていく。このとき、N 型は G 電圧が D-S 間電圧よりもはるかに高いことが望ましく、P 型の場合、G 電圧と S-D 間電圧がほぼ同じであることが望ましい。
- コラム:トランジスタと FET の違い
FET はトランジスタの一種である。が、その特性上、トランジスタに比べ耐電圧が低い分オン抵抗が少なく、応答速度、耐電流はものすごく高い。よって、FET はデジタル回路の信号線に使用されたり (レベル変換もこれ)、大電力スイッチング (モーターや、トランスなど) に使用されたりする。

- コラム:寄生ダイオードについて

もう気づいていると思うが、FET には構造上、流れる向きとは逆向きのダイオードがついてしまう (N 型なら D-S 間に電流が流れる。っということとは S がアノード、D がカソードとなっているダイオードがついている)。これを寄生ダイオードという。一見聞くと厄介かも知れないが、大電力スイッチングにおいて発生してしまうサージを吸収する働きがあるため、結果的にラッキーだったといえる。

2.9 IC

トランジスタや FET などの半導体を集めて (集積させて)、ワンパッケージにした物を IC (集積回路) という。規模に応じて LSI、VLSI という名があるが、半導体の塊にすぎない IC という名が一般的である。

2.9.1 働き & 種類 & 使い道

IC の種類は様々。星の数ほどあるし、やろうと思えば自分で作れる。ここでは、IC が何なのかを理解すればそれでよい。今後、たくさんの IC たちを紹介していく。

第3章 デジタル回路入門

ここでは、電子回路を設計するに当たり大切なデジタル回路について説明する。(この章を読む前に数学の「二進数」の項目を学んでおくことを強く推奨する)

3.1 デジタル回路とは

今日の生活はデジタル回路無しには成り立たない。なぜなら、コンピュータはデジタル回路の塊だからである。つまり、デジタル回路を学ぶこと=コンピュータを学ぶことと言っても過言ではない。

さて、そのデジタル回路であるが、デジタル回路では電気が流れているか流れていないか、この二つの状況しか考えない。そして、その二つの状況は二進数で表すことが出来る。電気が流れている場合は1、流れていない場合は0と表す。これを聞いただけでは何もわからないと思うが、とりあえずどんどん読み進んでくれ。

3.2 論理回路

さてさて、ここはこの説明書の中でも一、二を争うとても大切なところである。論理回路とは、先の二進数の計算を電子回路上で実現する電子回路のことである。まずは、原理など無視して各モジュールに注目。

3.2.1 NOT(論理反転)

その名の通り「否定」。1が入力されたなら0を出力。0が入力されたなら1を出力する。

3.2.2 AND(論理積)

その名の通り「積」。1,1入力なら1出力、1,1以外入力なら0出力。

3.2.3 OR(論理和)

その名の通り「和」。どちらか一方に1が入力されたなら1出力。

ここまでのことを表にすると、

種類	A	B	C
NOT	1	-	0
NOT	0	-	1
AND	0	0	0
AND	1	0	0
AND	0	1	0
AND	1	1	1
OR	0	0	0
OR	1	0	1
OR	0	1	1
OR	1	1	1

* A、B は入力、C は出力

っということになる。

基本はこの三つで構成されている。つまり、この三つさえあれば計算は何でも出来ると言うことである。

しかし、ここでよく考えてみよう。AND を通してから NOT に通したいって時にこの三つだけなら不便である。そこで NAND の登場だ。

3.2.4 NAND(否定論理積)

っと言っても AND の結果をすべて反転さしてるだけ。

- コラム:他にもいろいろ

今回は NOT、AND、OR、NAND を紹介した。が、正直 OR は使わない。なぜなら、普通に結線するだけで OR と同じ効果を得ることが出来るからだ(ただたんに、OR は大規模な演算回路において結線をわかりやすくするためにある)。ってことは、よく使うのは NOT、AND、NAND である。他にも、XOR などがあるが、それらの存在は FPGA 入門までおいてもらってかまわない。

3.3 汎用ロジック IC

さて、種類を理解したなら実際にそれらを使ってみよう。汎用ロジック IC とは先に述べた論理回路のモジュールが入った IC のことである。

*以下、AND、NOT、NAND の場合についてのみ

3.3.1 種類

下表のようにロジック IC には構成半導体によって二つの種類がある。

種類	0 レベル	1 レベル	構成半導体	消費電力	速度
CMOS	電源電圧の 3 割まで	電源電圧の 7 割以上	FET	小	速
TTL	0.8V まで	2V から	トランジスタ	多	遅

3.3.2 型番と規格

型番によってそのロジック IC の全てがわかる。

- まずは共通規格

AND、NOT、NAND の全てのロジック IC の共通規規格として、合計 14 ピン、内 7 番ピンは GND、14 番ピンは VDD である。

- 型番について
通常は
74 xx xx
となっている。前者の xx にはロジック IC の半導体構成、後者の xx にはどのモジュールが入っているかを表す。
 - ・前者の xx
ALS,LS,F,S,AS などの TTL タイプ
HC,VHC,AC などの CMOS タイプ
 - ・後者の xx
00 - NAND
04 - NOT
08 - AND
- 例題
74HC00、74VHC08 はどんな種類のロジックか答えよ。
- コラム:バッファ
今までは、入力と出力とが全く異なるモジュールを紹介してきた。しかし、もちろんこの世の中には入力と出力が同じモジュールである「バッファ」と言うやつがある。型番は後者の xx で 34 である。使い道としては電圧レベル変換である。ロジック電源は 5V だが入力に 10V をいれたら出力は 5V っと言う感じで使う。
- コラム:三入力以上
今までは、入力が二つの AND と NAND を紹介してきた。しかし、入力が三本、四本という AND や NAND もある。が、使うことはないだろう、

3.3.3 I/O の状態

入力 I/O の状態には 1(Hi、ハイ)、0(Low、ロー)、そして Z(ハイインピーダンス)がある。前二つの 0,1 は電気的につながった状態、Z は電気的につながっていない状態である。つまり、入力が Z の状態のロジック IC の出力は不安定になる (Z にしておかないといけない IC も一部ある)。不安定になっては困るのであれば、入力をプルアップ、またはプルダウンする必要がある。

第4章 センサー大全

ロボットに必要な不可欠な物、センサー。センサーと言っても様々なセンサーがある。

4.1 光センサー

4.1.1 フォトトランジスタ

フォトなトランジスタ、それがフォトトランジスタ。Bが無くなりその代わりに受光部分がある。つまり、光が増えるとC-E間抵抗が減り、光が減るとC-E間抵抗が増える。つまり、この抵抗値を検出してセンサーとするわけである。

- 感度波長と照射角度

感度波長とはどの波長の光に対してどのくらいの感度を持つか、照射角度とはどのくらいの角度に対してどのくらいの感度を持つか、である。

- 実際に回路製作

感度調整に半固定抵抗を使う。また、フォトトランジスタの出力変動が低ければトランジスタで増幅する。

感度調整で明るさに応じての電圧変動を調整できる。デジタル化したいならバッファかNOTを通せばよい。

4.1.2 フォトIC

先のフォトトランジスタを用いた回路であると様々なパーツを駆使しないとイケない。また、そこまでの性能も望めない。そこで、フォトICの登場だ。

フォトICとはその名の通りフォトなICである。つまり、ICである。受光部をもったICと言うのが適切。で、そのフォトICなのだが、フォトトランジスタ(またはフォトダイオード)、増幅部、デジタル化部などが一つのICに詰め込まれている。つまり、これ一つで使える。以下は代表例

- S7136

光があるか無いかを0,1の出力で表すという超スグレモノ。特に、ラインセンサーなんかに重宝する。また、デジタル出力なのでマイコンにも直結できる。他にも、LED駆動回路が入っており、パルス幅変調をかけることにより外光の影響を最小限にしている。

- S9706

マルチカラーセンサー。RGBの値をデジタルで出力することが出来る。また、感度もデジタルで調整することが出来る。

- TCS230

マルチカラーセンサー。RGBの値をデジタルで出力することが出来る。

- コラム:光センサーの照明
光センサーに照明は必須。なぜなら、光センサーのほとんどの用途が床の色検出、物体検出だからである。それらの照明としてLEDを使う。フォトトランジスタ、フォトICの波長にあった物を使う。また、色を検出する場合を除いて赤外線タイプをとて強く推奨する。
- マルチカラーセンサーとは
マルチカラーセンサーとはRGB各色の値をそれぞれ出すことが出来るセンサーである。例えば、白ならR最大、G最大、B最大、となる。これは緑だけ検出したいとか言う場合に便利である(なぜなら、Gの値がたくさんあるだけでは白か緑か判別できないからである。そこをRとBを使って補正をかける)。

今までは全てパーツ単位の自作が必要であった。これから紹介する物はすべてモジュール化されている。

4.2 加速度

加速度を測るセンサー。ほとんどの場合一つのICになっている。

4.3 磁気

磁気を測るセンサー、すなわち方位がわかる。こちらと同じく一つのICになっている場合がほとんど。

4.4 距離

距離を測るセンサー。

4.4.1 赤外線測距センサー (光位置センサー、PSD)

赤外線で距離を測るセンサー。光位置センサーとしたのは、光重心などで距離を測る場合もあるからであるが、どのみち赤外線であることは変わらない。SHARPのGP2Y0A21YKF6など。

4.4.2 超音波測距センサー (ソナー)

超音波が伝わって跳ね返ってくるまでの時間を計測することで距離を測る。モジュール化されたMaxSonarなど。

なお、これらのセンサーはほとんどの場合がアナログ出力である。よって、マイコンにいれる場合はA/Dコンバータが必要。

第5章 アナログ回路入門

こちらもとても大切。アナログ回路、それは今までの電子回路を支配してきた物であると同時に、これからのデジタル回路を裏で支える物である。

5.1 アナログ回路とは

デジタル回路は1か0すなわち、白黒はっきりした回路であった。しかし、アナログ回路はこころ変わる。アナログ、その名の通り連続的な電圧を用いる。

アナログ回路の特徴

- アナログなのでノイズを受けた場合致命的
- 部品の個体差により回路の特性がこころ変わる
- 単純な仕組みで出来る

以下アナログ回路の様々

5.2 増幅回路

増幅、入力信号を大きくして出力すること。その場合の非を利得という。利得を表すにはゲイン (倍率) とデシベルがある。

入力 A、出力 B の場合のゲイン G は

$$G = \frac{A}{B}$$

デシベルで表すにはこれを対数変換する (ゲインで表す場合に数が多すぎて不便な場合に使う)。

電力増幅の場合

$$dB = 10 \log_{10} \frac{B}{A}$$

となる。ゲイン 10000 倍の場合は 40dB である。

電圧増幅の場合

$$dB = 20 \log_{10} \frac{B}{A}$$

となる。ゲイン 10000 倍の場合は 80dB である。

5.2.1 トランジスタによる増幅

これは説明済み。トランジスタの増幅作用を利用した物。

5.2.2 OP アンプによる増幅

OP アンプ、それは増幅のみならずアナログ回路を支配する IC と言っても過言ではない。

で、その OP アンプなのだが、トランジスタが多数集まった IC である。二入力、一出力のモジュールが多数入っている場合がほとんど。それらのピン配置はそれぞれのデータシートを参照。

その場合、多くの方は電源端子が V+、GND、V-と三つあることに気付くだろう (V-が無いタイプもある)。これは両電源と言われる。通常、電源と言えば GND から何ボルト上か、で表す。ここに、GND よりも何ボルト下、という概念の電圧を加えることにより V+から V-までの幅広い電圧で増幅することが出来る。

以下 OP アンプの使用術

- 非反転増幅

入力信号と出力信号の位相が同じである増幅回路。

$$G = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

- 反転増幅

入力信号と出力信号の位相が逆である増幅回路。

$$G = \frac{R_1}{R_2}$$

- 差動増幅

原則 $R_1 = R_2, R_3 = R_4$ の条件で使い、

$$V_{out} = \frac{(V_2 - V_1)R_3}{R_1}$$

- 加算回路

複数の入力電圧を加算して出力する回路。ただし、出力電圧が OP アンプの定格を超えることはない。

$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ に対して出力電圧は

$$-\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n}\right)R_f$$

- 微分回路

電圧の微分値を出力する。

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

- 積分回路

電圧の積分値を出力する。

$$V_{in} = \frac{-1}{RC} \int V_{in} dt$$

- ボルテージフォロワ

ゲインは 1 倍。だが、出力インピーダンスがほぼ 0 なので、インピーダンス変換回路に使われる。

5.2.3 フィルタ回路

高周波のみ、低周波のみを通すフィルタ。そのフィルタについて

- ローパスフィルタ
ローをパスするフィルタ、すなわち低周波のみ通すフィルタである。コンデンサを GND とに接続することにより、高周波成分を逃す。
IC のアナログ用電源の前に使用。
- ハイパスフィルタ
ハイをパスするフィルタ、すなわち高周波のみ通すフィルタである。抵抗を GND とに接続することにより、低周波成分を逃す。

5.2.4 発振回路

発振にはクリスタルを使う場合と半導体で発振させる場合がある。汎用ロジック IC かタイマー IC555 のどちらかを使う。が、使うことはないだろう、、

第6章 パワー回路入門

今までは小信号を扱う回路ばかりであった。ここでは、大電力を扱う回路を紹介する。

6.1 FET について

さて、パワー回路に必要な不可欠な部品、FET である。パワー回路を学ぶ前にこの FET について十分理解しておこう。

6.1.1 基本的なこと

FET の基本的なことはきに既に述べている、必要ならば、「部品の働き」の章の FET の項目を読み返してもらえばよい。

6.1.2 さらに奥深くー主要なパラメータ

- 最大電圧/最大電流
FET にどれくらいまでの電圧、電流をかけられるかの値。連続供給の場合とパルスの場合とではかなり開きがある。パルスをかけてスイッチングさせる場合はパルスの方の定格に合わせる。が、余裕を持つに越したことはない。
- オン抵抗
FET が前回したときにどれくらいの抵抗成分となるかの値。低いほど良い。
- 許容損失
FET がどれくらいの熱損失に耐えられるかの値。
- 応答速度
FET がどれくらいの早さで D-S 間を開け閉めできるかの速度。
- 寄生容量
G-D、G-S 間にどれくらいのコンデンサ成分が寄生しているかの値。これは高速スイッチング時に敵となる。低いほど良い。

これらのパラメータと価格に応じて FET を選定する。

6.1.3 さらに奥深くー電力損失の計算

FET を動かしたとき、電力損失の値が許容損失の範囲内かを確かめなければならない。これを怠ると火災などの原因になる。

それでは Let's calculate!!(さあ、計算しよう!!)

今回は、10V3Aの電気を使い、オン抵抗10mΩのFETを使う。

まずは、FETのオン抵抗によりどれくらいの電圧降下が生じるかを計算する。 $V = IR$ より、

$$V = 3 \times 0.01$$

よって $V = 0.03$ 。0.03Vの電圧降下が生じる。次に、電力損失を求める。 $W = VA$ より、

$$W = 0.03 \times 3$$

よって $W = 0.09$ 。0.09Wの損失が生じる。これがFETの許容損失の範囲内かを確かめる。

ちなみに、発熱量もついでに出せる。 $J = I^2R$ より

$$J = 3^2 \times 0.01$$

よって $J = 0.09$ 。0.09Jの発熱がある。

6.2 モータードライバ

モーターを動かすための回路、モータードライバ。センサーなどにモーターなど電力が必要なパーツを直接つないでも動くどころか最悪の場合センサーが燃えてしまう。そこでモータードライバの登場だ。モータードライバは各モーターに見合った回路で構成することが出来る。

6.2.1 トランジスタ

トランジスタのスイッチング作用を生かし、モーターをオンオフする。小型のモーターしか扱えない。

6.2.2 モータードライバIC

かなり手っ取り早い方法。モータードライバICというのが売っている。それを買うだけで正転、逆転、ブレーキが出来る。しかし、こちらも動かせるモーターは小型であるし、パルスによる速度制御も出来ない。

6.2.3 FETでモータードライバ

FETを使いモータードライバを自作する。正転、逆転、ブレーキができ、速度制御も出来る。また、FETの性能で動かせるモーターが決まる。おそらくは、このタイプをもっともよく使うだろう。

もっと詳しくは

- 仕組み
ハイ側に P-ch、ロー側に N-ch、さらに制御用に N-ch を使う。これらの回路により正転、逆転、ブレーキができる。
- I/O 保護
もうお気づきかもしれないが、二本ある I/O の内、両方に 1 をいれると FET に貫通電力が流れ燃える。普段はこれが起きないように I/O に入れる信号に気を付ければよいが、ミスはする物。そこで、AND と NAND で作った回路を入れるとどんな信号を入れようとも燃えない。
- 速度制御
モーターはコイルである。コイルにオン時間 t_1 、オフ時間 t_2 (これをオンデューティ比という)、電圧 V の電圧を加えると、 V_{out} は

$$V_{out} = V \frac{t_1}{t_1+t_2}$$

となる。しかも、理論的な損失はゼロで実現できる ($W=VA$ により、電圧が下がったならその分電流がたくさん流れるということである。もちろん損失ゼロなど不可能である。FET などでは必ず損失は起きる。)。つまり任意のオンデューティ比のパルスを送ることで損失を少なく電圧を下げる事が出来る (先にちよこつと述べた抵抗を使わずに電圧を下げる方法である。また、この場合、コイルはパルスを平滑するフィルタとして機能している)。

つまり、入力 I/O にパルスを送ると良い。しかし、普通の I/O から直接パルスを送るのが面倒であれば AND を使えばよい。

6.3 電源回路

各電子デバイスに電源を供給する電源回路。特に最近が多電源製品が増えている。そんな中であろうがなかりが電源回路はとても重要。

電源回路は入力電圧から任意の電圧、電流の電力を供給する。必要な電圧、電流、効率に応じて電源 IC を選定する。

6.3.1 シリーズレギュレータ

降圧のみ。トランジスタの電圧降下により任意の電圧に安定化させる。電圧降下なので余り電流は流せず、流せたとしても損失は大きく、かなり発熱する。また、入力電圧と出力電圧との差もそこそこ必要。しかし、必要な部品は少なく、ノイズがのりにくいめかなり安定する。そのためアナログ回路の電源によく使われる他、小規模な回路にも使われる。

48xx や 78xx などの型番が存在。通常は入力に小容量のセラミックコンデンサ、出力に中容量の電解コンデンサをつなぐ (詳しくは各部品のデータシート参照)。ちなみに、LDO というのは入力電圧と出力電圧の差が少なくても動くレギュレータのことである。

6.3.2 スイッチング電源

降圧、昇圧両方。前述のコイルと FET を使ってスイッチングさせて任意の電圧を得る。スイッチングのため効率は非常に高く、流せる電流も非常に多い。が、スイッチングのためどうしてもノイズがのってしまう。また、構成部品も多く、各部品の値の計算も少し面倒。

こちらはそれぞれのデータシートを見なければ全くわからないほど規格化されていない。たいていは TI か Maxim で多数の種類の IC が製造されている。

6.3.3 チャージポンプ

昇圧のみ。コンデンサを使い電圧を上げる。効率はものすごく高く、ノイズも少ない。が、流せる電流はごくわずか (LED 数個分)。

6.3.4 ノイズ除去方法

スイッチング電源のノイズをとる方法を紹介する。っと言っても、フィルタを紹介するだけであるのだが、、

- ローパスフィルタ
前述したとおり低周波成分だけを通す。すなわちノイズなどの高周波成分をカットする。
- LC フィルタ
L でノイズを平滑し、さらに C でノイズを GND に逃がす方法。

この二つ、どちらかを使う。電流が多い場合は、よっぽどのアナログ回路で無い限りスイッチング電源を推奨する。

また、多電源が必要な場合、これらの電源回路はレベルに応じて使い分ける。例えば、電池などの電源からまず大電流で安定した 3.3V をスイッチング電源で得る。その次に各デバイスへ各電源を通して送る。アナログ部はレギュレータ、そのほか低電圧デバイスはもう一度スイッチング電源で落として供給、、という感じに。また、低電圧電源は基板上での電圧降下が起きるため、出来るだけ供給デバイスの近くに置くことを推奨する。(これを POL と言う。) これは発電所で高電圧、低電流電源を作り、送電線での損失を出来るだけ下げているのと全く同じ原理である。

ここまでお疲れであった。ここから先、マイコン、FPGA とかなり実践的なデバイスへと入る。ここで、ここまでのことを総復習することを強く推奨する。

第7章 マイコン入門

マイコンとはマイクロコントローラの略である。前述した論理回路の塊である

7.1 マイコンとは

命令文(プログラム)に従って仕事をこなしていく電子部品である。っていってもわかりにくいと思うので普通のパソコンと比較してみよう(同じくパソコンも命令をこなしていく機械には変わらない)。

パソコンの場合

- CPU、メモリ、HDD、入力機器(マウス、キーボード)、出力機器(ディスプレイ)がばらばらのパーツで構成されている。
- 消費電力多すぎ
- かなり複雑かつ大型

マイコンの場合

- 全てがたったのワンチップ
- 消費電力少
- 構造が簡単かつ小型

ってな感じでだいたいわかったと思うが、要するに、小さいコンピュータである。携帯、ゲーム機、カメラ、プリンタ、ルータ、炊飯器、、、などなど身の回りにあふれているのでこの世の中で一番多く存在するコンピュータである。(勘違いしないでほしいがマイコンはICである。パソコンのようなケースに収まっている物ではない)

特に、機械で自動操作させたい時なんかによく使う(センサーからの入力を元にモーターの出力を算出したりするなど、、、)。

7.2 基本的な使い方

さて、ここで皆さんはマイコンを使いたがるわけであるが、どのようにして使うのか。流れを説明しよう。

1. 基板の用意
マイコンを搭載した基板を用意する。
2. プログラムを書く
プログラムを書く

7.3 内部回路の説明

次はマイコンの性能を決める内部回路である。これらを良く理解しておかないとマイコン選びの場合ヒジョーに困る。

7.3.1 CPU

中央演算処理器。こいつが二進数の計算を超高速でこなしていく。

7.3.2 RAM

ランダムアクセスメモリ。人間が仕事をこなす時の机だと思ってくれ。これが大きければ大きいほど CPU は大量の情報を処理対象に出来る。

7.3.3 ROM

リードオンリーメモリ。書いたプログラムを入れるメモリ。

7.3.4 PLL

入力クロックを調整する。つまり、マイコンの処理速度を調整することが出来る。

7.3.5 I/O

外部の端子に電気を流す、もしくは入力した電気を見る。

7.3.6 タイマー

パルスやサイン波の出力、もしくは波のカウントに使う。

7.3.7 A/D 変換

アナログ量をデジタルに変える。

7.3.8 D/A 変換

デジタルをアナログに変える。

7.3.9 通信インターフェース

- UART,USART
非同期シリアル通信。パソコンとの通信よく使う。また、書き込みにも使うこと。
- SPI
同期シリアル通信。正直あんまり使わない。
- I2C
同期シリアル通信。よく使う。

7.4 種類

以下にマイクロコントローラをいくつか挙げる。

7.4.1 H8 シリーズ

ルネサス製マイコン。使いやすく、使用例も多い。が、価格は高く、性能もいまいち。

7.4.2 SuperH シリーズ

H8 の拡張版。性能は十分だが、そのぶん消費電力が高い。

7.4.3 ARM アーキテクチャー

最強、低消費電力かつ高性能。しかし、使用例が少ない(個人での使用は少ないが企業での使用は多く、世界で一番多く使われているコンピュータとなっている)。

7.4.4 AVR マイコン

小規模システム向け。超低消費電力。

第8章 FPGA入門

FPGA、それはたくさんの夢が詰まったICである。

8.1 FPGAとは

FPGAもCPLDもPLDも同じ物を指している。要は、中身が論理回路の塊になっており、その論理回路の配線を自分が好きにできるICである。つまり、論理回路であれば、自分のオリジナルのICが出来るのである。

どういうときに便利か。例えば、自分の希望する機能をしてくれるICが無いと言ったときに作ればいい。また、「論理回路」なので、CPUも内部に実装できる。つまり、自分オリジナルのマイクロコントローラも出来てしまうのである。

さあ、君もFPGAが提供する夢の世界へ飛び込もう。

8.2 使い方

FPGAの内部配線は各チップメーカーが提供する開発ソフトで行う。そのソフトでは、ダイアグラムによる配線とVHDLかVerilog HDLというハードウェア記述言語による配線が行える。

ハードで必要な物としては、まずは、FPGA本体、とその基板や周辺パーツ諸々。これには、FPGAの内部配線を記憶しておくコンフィグレーションROM(コンフィグROM)も含まれる(最近では、これが必要でない物も出てきた)。また、パソコンから、データを送るダウンロードケーブルも必要。

8.3 種類

以下にいくつかを挙げる。

8.3.1 Cycloneシリーズ

Altera社の主力FPGA。安く、高性能

8.3.2 MAXシリーズ

Altera社の主力FPGA。コンフィグROMが必要ないが、内部が小規模。

8.3.3 Spartan シリーズ

Xilinx 社の FPGA。

- コラム : FPGA について

これだけでは FPGA についてよく分からないだろう。中には、FPGA をロジック IC の代わりに使おうとしている人もいるのではなかろうか。そんなことでは夢が少ない。筆者も、最初はその程度しか考えることが出来なかった。しかし、日を追っていく内に、FPGA は想像以上なことをやってくれる奴であることがわかった。そう、例えば、CPU をいれたり、、

おわりに

楽しんでいただけたらうか。中には、情報が少なすぎるという方もおられたと思うが、そういう場合は応用編をじゃんじゃん読んで欲しい。また、自分で調べることも大切である。そういう少しずつの積み重ねが経験値となるのである。

Good Luck