

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 30 Ω の回路に流れる電流はいくらか
- 2) 電流 3A, 抵抗値 50 Ω 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, 30 Ω の抵抗 R1 と 20 Ω 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, 40 Ω の抵抗 R1 と 90 Ω 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

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

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。そこら辺についてはそこら辺の本を参照。

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

- 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。
- 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。

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

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

- 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 $0.01\mu F$ 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。

- 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。

2.2.4 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。

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のも、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。

³フィルタやパワー回路に用いられる

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。

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。

⁴鉄心がないコイルのこと

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。

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。

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

2.7.2 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。
- 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。

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

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=npn、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。っと言うことは 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。

っと言うように、FET は説明することが多く、また、パワー回路においても重要な鍵を握っているのでパワー回路入門で詳しく説明する。

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

coming soon...