

「図解 わかる実践アナログ回路」の内容を一部紹介します。

<はじめに>,<第1章>,<第4章>,<第6章>,<電子工作を始めよう!>

はじめに

「ハードウェアのないところにソフトウェアはない」

この話を始めるとどうしても懐古的な郷愁話になり、このことが現在のハードウェア業界を象徴しているかのようです。

今、サイエンスに目覚めた少年達、勉くんと学くん(勉学大好き少年の勉くんと学くんです)が最初に手にするものは何でしょうか？

現在は先ずパソコンが思い浮かびます。これが 20 年前ならばマイコントレーニングボードで、30 年前であれば 5 球スーパーラジオです。パソコンの画面上でビジュアルなバーチャル体験が容易にできる現在において、一世代前の電気大好き少年が心をときめかした手作りハードウェアの世界は失せてしまったようです。Windows と intel の席捲後はこの傾向は特に顕著になり、今ではハード関係書籍を探すのも苦勞する有様です。

ところが、ハードウェア設計の需要が少なくなったわけではありませんから、慢性的に技術者が不足する事態になっています。特に組込機器の業界では深刻です。また、ハードウェアの技術書においても、日本国内では販売不振ですが、これを韓国語や中国語に翻訳するとそれぞれの国で販売好調とのことです。

このままの状態が続けば、日本国内ではハードウェアの設計、製作ができなくなります。誇張した言い方をすれば、このことは国威の衰退にもつながる由々しき事態なのです。

このような状況下においてハードエンジニアを志すことはきわめて賢明な選択です。しかし、ハードウェアエンジニアの養成には実践経験を必要としますから、ソフトウェアエンジニアに比べ多くの時間を要します。また、ハードウェアの技術書は最近のソフトウェアのものと比べ表現が堅く、必要以上に理論武装した一時代前のものが目立ちます。これらのことがハードウェアエンジニアへの敷居を高くしています。

本書はこのことを踏まえ、徹底した実践主導で電気大好き少年の好奇心を満足させうるための基礎知識をやさしく解説します。例えば、回路の説明などにおいても理論的な説明だけに留まらず、できるだけ実用回路を使い具体例に基づく説明を行っています。本書を手にすることで一人でも多くの方々がハードウェアの世界に興味を持ち、実践して頂くことが筆者のささやかな願いです。



勉



学



ひとみお姉さん

2001年 晩秋 著者

第 1 章 電子回路を学ぶための基礎知識

この章ではこれから電子回路設計を行うにあたり、最低限必要な直流電気理論を解説します。内容は高校物理程度の簡単なもので、すでに何度か勉強したのですが、第 3 章以降を理解するにあたり重要なものばかりです。改めておさらいをします。



1.1 電気単位

われわれが一般的に言う「電気」とは電荷(電子)の移動を意味します。実は電子の移動方向と電流の方向は逆になります。これは最初に電流方向の約束ごとを作ったときの問題です。

A 地点から B 地点への電子の移動は、
B 地点から A 地点への電流です。

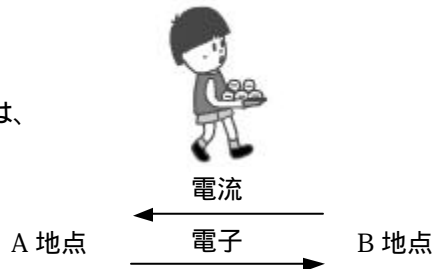


図 1.1 電流方向と電子の移動方向

1.1.1 電流単位

この電荷の量をきちんと測るところから電気単位が定められます。現在国際的に取り決められている電気単位の基準は図 1.2 のように、平行な 2 本直線に流れる電流に作用する力 $F[N]$ の大きさで定義しています。

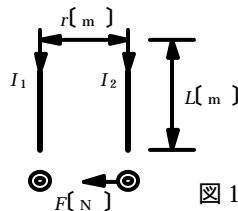


図 1.2 平行な直線電流に作用する力

平行2直線の電流 I と電線に作用する力 F [N] は次式で表されます。

$$F = \mu_0 H I L \quad \text{[N]} \quad (1.1)$$

透磁率 ———— | | ———— 単位電線長
 磁界 ———— | | ———— 電流

無限平行コイルの磁界 H は $H = \frac{I_1}{2\pi r}$ [AT/m] ですから

$$F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_1}{2\pi r} \cdot I_2 \cdot L \quad \text{[N]} \quad (1.2)$$

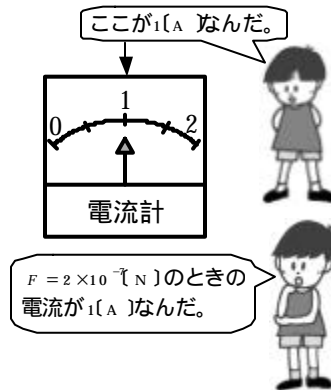
$I_1, I_2 = 1$ [A], $r = 1$ [m], $L = 1$ [m] とすると

$$F = 2 \times 10^{-7} \text{ [N]}$$

μ_0 は真空中の透磁率といい、 $4\pi \times 10^{-7}$ [H/m] です。

すなわち 1m 間隔に置かれた電線に電流を流し、長さ 1m ごとに作用する力が 2×10^{-7} [N] のときの電流が 1 [A] アンペアとなります。また 1 [A] の電流が 1 秒間に 1 [C] クーロンの電荷を移動させます。

しかし我々が電気を扱う上で、この国際基準はあまり意味を持ちません。実際は電流計が 1 [A] を指したところが 1 [A] です。ただし電気関係のいろいろな単位の中で、絶対単位として扱われるのはこの電流単位 [A] アンペアだけです。これは覚えておきましょう。



電気単位の基準はアンペア

次は電流単位 [A] アンペアから導かれる誘導単位です。電気によく使う次の3つの単位を順次紹介します。

- ・ 電力単位 …… [W] ワット
- ・ 電圧単位 …… [V] ボルト
- ・ 抵抗単位 …… [Ω] オーム

1.1.2 電力単位〔w〕

電力単位は一定時間にどれだけの仕事をするかという仕事率単位です。

$$\text{仕事単位} \longrightarrow 1[\text{J}] = 1[\text{N}] \cdot 1[\text{m}] \quad (1.3)$$

仕事単位 $1[\text{J}]$ ジュールは $1[\text{N}]$ ニュートンの力で $1[\text{m}]$ メートル移動したもののこれだけの仕事を1秒間で行う仕事率 $P[\text{w}]$ は $P = 1[\text{J}] / 1[\text{秒}] = 1[\text{w}]$ となります。

重要です

コラム カロリー

$$1[\text{J}] = \frac{1}{4.2}[\text{cal}] \quad 0.24[\text{cal}] \text{ (カロリー)}$$

カロリーコントロールに注意しましょう。



1 カロリーは水 $1[\text{g}]$ を1 上昇させる熱量です。

$w = \text{J/s}$ ですから、 $1[\text{w}]$ の発熱は $1[\text{cm}^3]$ の水を毎秒 0.24 上昇させます。料理で使うカロリーは大カロリーといい、水 $1[\text{kg}]$ を1 上昇させる熱量です。 $[\text{kcal}]$ 〔Cal〕と書き、小カロリーと区別します。

具体例を示します。

質量 $60[\text{kg}]$ のものを $10[\text{m}]$ 持ち上げる仕事 $E_p[\text{J}]$ は

$$E_p = mgh[\text{J}] \quad (1.4)$$

$$= 60 \cdot 9.8 \cdot 10 = 5880[\text{J}] \text{ となります。}$$

これを5秒間で行うと、このときの仕事率 $P[\text{w}]$ は

$$P = \text{J/s}[\text{w}] \quad (1.5)$$

$$= 5880 / 5 = 1176[\text{w}]$$

コラム 馬力

参考までに、1馬力 $= 735[\text{w}]$ ですから、 $1176[\text{w}]$ は約1.6馬力です。この仕事を家庭用の $100[\text{v}]$ コンセントで作動するモータで行うと、 $11.76[\text{A}]$ の電流が必要となり、コンセントから駆動できる限界です(注: 効率100%の場合)。



そうすると、280馬力の車ってすごいパワーですね。



びっくり!

280馬力の車は $1500[\text{kg}]$ の車重を毎秒 $14[\text{m}]$ 持ち上げます。これは45度の坂道を $7[\text{km/h}]$ で登ることになります。

第4章 電子回路部品の使い方

電子回路の3大要素である抵抗 R 、コイル L 、コンデンサ C は前章で勉強しました。本章では R 、 L 、 C 以外の電子部品を実践回路に即した内容で説明します。ただしトランジスタ、FET、オペアンプは次章以降に説明枠を用意しています。また各部品の説明にあたり、本誌の性格上その構造、製法に関するものはできるだけ省かせていただき、部品の使用者の立場で説明します。

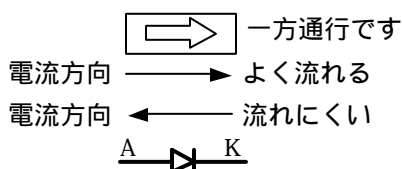


4.1 ダイオード

ここでは整流ダイオード、ショットキバリアダイオード、ツェナダイオード、および可変容量ダイオードなど、よく使われるダイオードを紹介します。

4.1.1 ダイオードの基礎知識

ダイオードはアノード A からカソード K 方向に電流がよく流れ、その逆方向へは電流が流れにくくなっています。

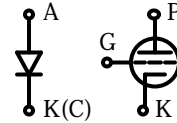


ダイオードの回路記号例	
	ダイオード
	ツェナダイオード
	可変容量ダイオード
	発光ダイオード
	受光ダイオード

ダイオードの回路記号はまとめて ですが、種類や製造メーカーによっていろいろな表現をします。このダイオード記号例以外にも数多くありますが、あまり意識して区別する必要はありません。ただし、例えば一般整流ダイオードとツェナダイオードでは使用目的が違いますから区別は必要です。

— コラム 陽極 Anode , 陰極 Cathode —

電子管の電流の入口を陽極 Anode、電流の出口を陰極 Cathode と呼びます。古い昔の真空管の場合は、プレート P(陽極 Anode でなく板 Plate)、グリッド G、カソード K と呼んでいました。ダイオードでは(+)電極をアノード A、(-)電極をカソード K と表します。しかし、どうして陰極カソード Cathode を 'C' ではなく 'K' で表すのでしょうか? 少し疑問を感じて調べてみたところ、ドイツ語の Kathode に語源があるようです。一般的にはアノード A、カソード K で表しますが、カソード C としている書物も少し見受けられます。



・ダイオードの整流実験

ダイオードに流れる電流と電圧降下の規定を、図 4.1 のダイオード静特性図を使い説明します。

I_F (順電流) : ダイオードの順方向(よく流れる方向)の電流

V_F (順電圧) : 順電流が流れているときのダイオード両端電圧

I_R (逆電流) : ダイオードの逆方向(流れていく方向)の電流

V_R (逆電圧) : 逆電流が流れているときのダイオード両端電圧

降伏電圧とは

逆方向の電圧が阻止できなくなり、急に電流が流れ始める電圧(負けましたの電圧)。この値はダイオードにより異なる。ツェナダイオードは点線のように切れが良い。

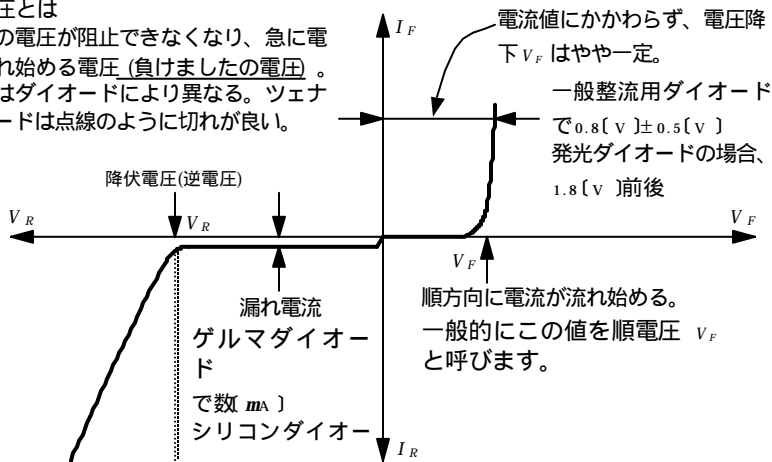


図 4.1 ダイオード静特性図

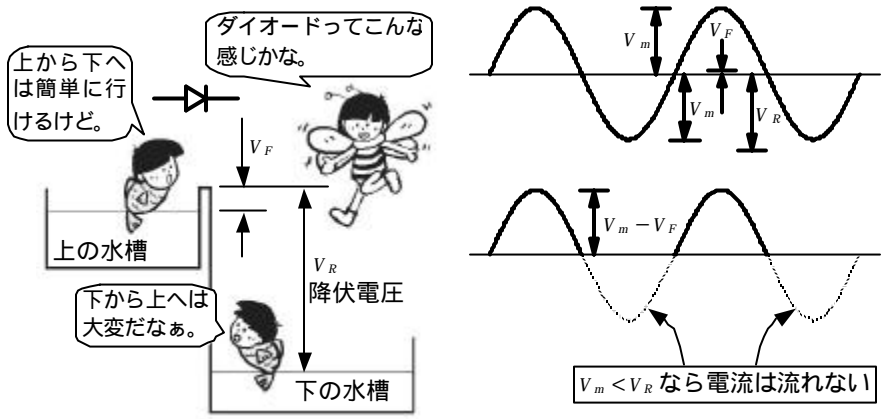


図 4.2 整流の説明(1)

整流ダイオードは図 4.2 のように V_F と V_R の差で整流します。図 4.3 の回路でダイオードに交流を流し、整流実験を行います。この実験で使用する整流ダイオード 1S1585 の場合、 $V_F = 0.7[\text{V}]$ $V_R = 80[\text{V}]$ となっていますから、 $160[\text{V}_{pp}]$ 以下の交流であれば整流できます。しかし、この実験では電圧が

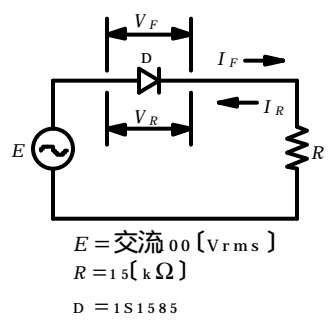
$$100[\text{V}_{rms}] = 282[\text{V}_{pp}]$$


図 4.3 整流実験

です。この場合、図 4.4 のように V_R が降伏電圧を超えたところから整流できなくなります。シンクロスコープで電圧波形観察を行うと、この様子が読みとれます。

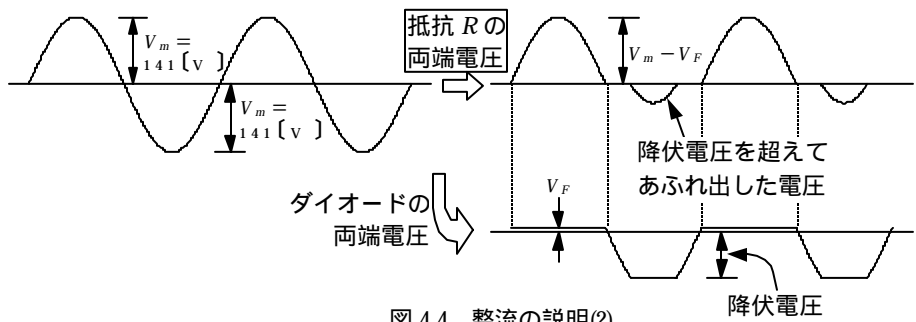


図 4.4 整流の説明(2)

第6章 オペアンプ

アナログ回路の主役は何といってもオペアンプです。やっと真打ち登場となりました。本章ではオペアンプの基本的な演算回路と、オペアンプ回路でよく使われる基本モジュールの説明を行います。前章で説明したトランジスタ、FETと本章のオペアンプを組み合わせることで、すべてのアナログ回路となります。

6.1 オペアンプの基本動作

オペアンプの語源は、演算増幅器(Operational Amplifier)に始まります。1965年にフェアチャイルド社から μ A709が汎用オペアンプとして発売されて以来この呼び方が一般的なり、通常OPアンプと書いてオペアンプと読んでいます。本書でも以後OPアンプと記述します。

6.1.1 OPアンプの概要

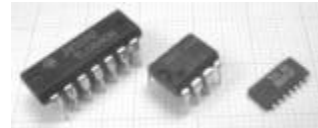
OPアンプは写真のパッケージに、図6.2に示すような差動増幅回路が1~4回路組み込まれています。OPアンプの回路記号を図6.2のように表すと複雑になりますから、図6.1のような三角形を使い2本の入力と1本の出力端子で表します。

(-)側入力は反転入力と呼ばれ、出力側と逆位相になります。

(+)側入力は非反転入力と呼ばれ、出力側と同位相になります。

電源端子の記述は省略もできます。OPアンプは入力A(-)と入力B(+)の電位差を差動増幅し、オープンループゲインで100[dB]、すなわち約100000倍増幅し出力します。

OPアンプのパッケージ



左:1パッケージにOPアンプが4回路入っている。

中:オフセット端子が付く精密型。

右:フラットパッケージ4回路入り。

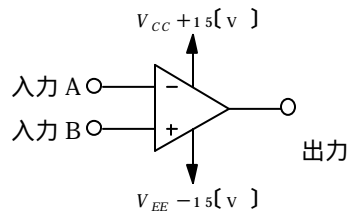


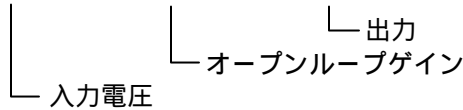
図6.1 OPアンプの回路記号

増幅倍率を利得またはゲイン
といいます。



例えば(+)側入力が $0.1[V]$ のとき、(-)側入力に $+0.1[V]$ を入力すると出力は

$$\text{出力} = 0.1[V] \times (-)100000 \text{ 倍} = (-)10000[V] \quad (6.1)$$



(-)側入力は逆位相ですから出力は $-10000[V]$ になろうとしますが、OP アンプに供給している電源が $\pm 15[V]$ ですから、 $-13.5[V]$ あたりで飽和します。

次は(-)側入力 $0[V]$ 、(+)側に $0.1[V]$ を入力してみます。(+)側は同位相ですから出力は $+10000[V]$ になろうとして $+13.5[V]$ あたりで飽和します。この位相の関係を表 6.1 に整理してみます。

表 6.1 OP アンプの入出力

(-)入力[V]	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	+0.1	+0.1	+0.1
(+)入力[V]	-0.1	0	+0.1	-0.1	0	+0.1	-0.1	0	+0.1
出力[V]	0	+13.5	+13.5	-13.5	0	+13.5	-13.5	-13.5	0



OP アンプの位相方向とオープンループゲインが大きいことが理解できましたか？



(-)入力に - 電圧が入ると出力は + なんだ。

100000 倍ってすごいっ。10 円入れたら 100 万円だ。



・OP アンプの等価回路

図 6.2 は OP アンプ内部を少し簡略化した等価回路です。OP アンプはトランジスタを巧みに組み合わせることで、高性能を引き出しています。

構成は入力部分、バイアス部分、出力部分に分かれ、それらは全段直結になっていますから、直流増幅から行えます。

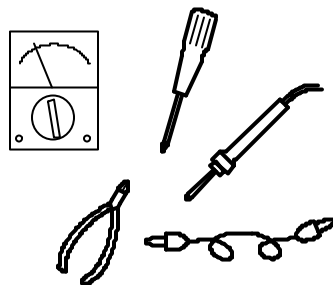
入力は低電流回路とカレントミラーの付いた差動増幅です。出力はコンプリメンタリのプッシュプル増幅になっています。電源は通常 $\pm 15[V]$ の両電源を使い、出力電圧を $\pm 12[V]$ あたりまでリニア保証しています。実は OP アンプのユーザにとって OP アンプ内部の理解はこの程度で十分です。OP アンプは内部回路の理解よりも、使い方の理解の方が優先されるデバイスです。

電子工作を始めよう!

1. 用意するもの

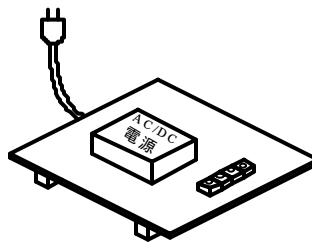
半田ゴテ、半田、ニッパー、ラジオペンチ、ピンセット、ドライバー、ハンドドリル、金ノコ、ヤスリ、アナログテスタ、デジタルテスタ、みの虫クリップ線、ピンククリップ線、電線いろいろ。

工具は大切に扱えば一生使えます。輸入高級工具でなく、国産の中程度のものを揃えましょう。



2. 実験用電源を用意しましょう。

デジタル用の $\pm 5[V]$ 電源と、アナログ用の $\pm 15[V]$ 電源はよく使います。あらかじめ用意しておく则便利です。図のように市販の AC/DC 電源をユニバーサル基板に取付け、DC 電源出力を端子に引き出します。



3. 部品をお譲りできます。

個人の方、初心者の方にとって少量の部品を集めるのは大変な作業です。本書の説明に使った回路の部品、前述の実験用電源の部品など、原価 + 送料程度で用意できます。このほかに 8 ビットから 32 ビットのコンピュータボードもあります。個人、団体を問わず、本書を片手にロボコンなど電子工作を志す方に最大限の協力をしたいと思います。

詳しくは下記へ E-mail または FAX で連絡して下さい。

タマデン工業株式会社 システム開発課
〒706-0014 岡山県玉野市玉原 3-7-2
TEL 0863-31-5617 FAX 0863-32-4321
E-mail : sys@tama-den.co.jp
Home Page : <http://www.tama-den.co.jp>