

アナログ回路を設計できるようになろう

川田 章弘
Akihiro Kawata

みなさんは、回路設計をするとき、回路を先に考えますか？それとも信号を先に考えますか？

これは、回路設計以前の問題ですが、とてもたいせつな問題です。なぜたいせつなのかというと、それは、何が目的で、何が手段なのかを考えていることになるからです。

答えを言ってしまうと、電子回路の目的は信号を処理することです。その代表的な処理には、増幅やフィルタリングがあります。信号の周波数成分の分析(どんな周波数の成分が、どのくらいのレベルで含まれているのかを分析すること)は、極端に言えば、フィルタリングの応用です。

電子回路の目的は、信号を処理することですが、一方で電子回路を使用する目的も存在するはず。このように「上流の目的は何か？」を考えていくことで、最終的に、「やりたいこと」という頂点に到達します。

この頂点の「やりたいこと」から、下流の「手段」へと進んでいく設計手法を「トップ・ダウン設計」と言います。現在の種々の大規模システム設計は、多くの場合、このトップ・ダウン設計という思想に基づいて行われています。回路設計という行為が、ただ技術力を誇示したいためだけの自慰行為になってしまわないように気をつけたいものです。

● アナログ回路とデジタル回路

液晶テレビや、DVDレコーダなどのデジタル家

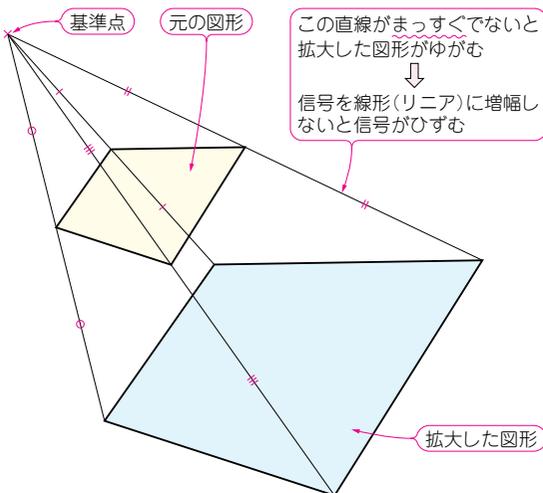


図1 信号増幅のポイントは相似な図形の作り方と似ている

電や携帯電話に代表される世の中の便利な製品には、デジタル回路技術が使われています。

デジタル回路技術全盛の現代において、アナログ回路技術の存在意義は何でしょうか？

逆説的な質問ですが、みなさんは、デジタル回路とは何だと思えますか？

私は、デジタル信号の本質が理解できている人は、アナログ回路がたいせつなことを理解できている人だと思っています。なぜなら、一般的なデジタル回路もその中を流れている電気信号はアナログだからです。

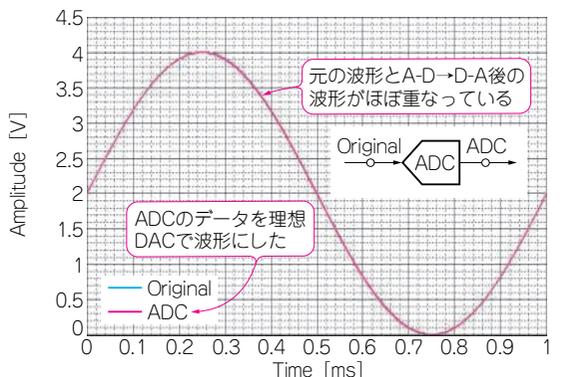
デジタルというのは概念であって、デジタルな信号というのは自然界には存在しません。言うなれば、デジタル回路もアナログ回路も同じ電子回路であり、これらは自然の法則に従って動いているのです。

電子回路は、物理学の原理・原則に基づいて動作します。物理学は、自然の摂理を表現するための学問です。つまり、古典物理学で表現されるような自然界で生じているマクロな現象がアナログなのです。当然、自然界の信号であるデジタル信号もアナログなのです。

自然界のマクロな現象って何？と思った人は、ちょっと考えてみてください。みなさんの中で「時間」は指折り数えるように刻まれていますか？

そんなことはないでしょう。「時間」は、私たちの意識の外で滑らかに連続的に流れているものです。これこそが、まさにアナログなのです。

自然界のマクロな現象はアナログですから、デジタル回路技術が使われている製品のなかからアナログ



(a) Amplitude=4Vとしたときのシミュレーション結果

図2⁽⁴⁾ 入力振幅が小さくなると本来の波形が保たれない

回路技術が無くなることは当分の間はないでしょう。なぜなら、デジタル信号を正確に伝送する技術や、自然界のアナログ信号をデジタル信号に変換する技術や、デジタルに変換する前に行うアナログ信号処理などは、いずれもアナログ回路技術なくしては語れないからです。

アナログ回路とはどんな回路か

● アナログ回路は繊細な回路

アナログ回路では、0.1 V と 0.12 V は別の電圧として取り扱うと言いました。言い替えると、アナログ回路はデジタル回路よりも感度が高く繊細ということになります。繊細ということは、雑音に弱くて悪いことしかないんじゃないか？と思ってしまう。しかし、繊細ということは、言い替えば、それだけ小さな信号を扱うことができるということです。

詩の心を理解するには、繊細な心が必要です。おおざっぱで鈍感な人は、おそらく四季の移り変わりに応じて、空気の匂いが変わるなんて言われてもピンとこないでしょう。

繊細な感性は、決して無意味ではないのと同じように、繊細な信号を感じ取れる、繊細な回路も必要なのです。アナログ回路はその繊細さゆえに、微小信号を扱うことができます。そのかわり、雑音や高調波ひずみといった目的とする信号以外の成分をいかに少なくするかという技術が問われます。

デジタルでは、機能が重視されることが多いのですが、**アナログでは質が重視される**のです。

● 増幅とは

増幅とは、外部から供給されたエネルギーを使って、信号の振幅を大きくすることです。従って、トランスのように、入力信号のエネルギー(電圧×電流)の比率

を変えて出力信号を得るような場合は、増幅とは言いません。

また、信号を増幅するときの基本的なポリシーは、波形の形や周波数成分が変わらないように、信号だけを大きくすることです。これは、みなさんが中学生のときに数学で習った「相似な図形」をイメージしてもらえば良いでしょう。

念のため、**図1**に相似な図形の作り方を示します。**図1**の二つの図形は、辺の長さが2倍になっているだけで、対応する角の大きさは変わりません。つまり、対応する相似な図形は、元の図形と比較して、対応する辺の比や角度が変わってはいけません。増幅するときのポリシーも基本的にはこれと同じです。

さて、増幅とは何かについては、なんとなくでもイメージできたかと思います。

● 雑音よりも信号を大きくするためには増幅回路が必要になる

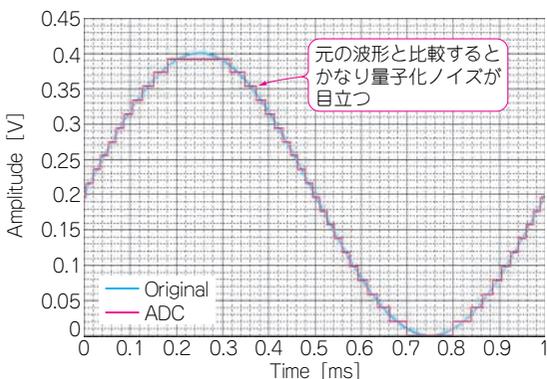
みなさんは、周囲の騒音が大きな環境で会話する必要があるとき、どうしますか？

たぶん、声を大きくすると思います。アナログ回路の一つである増幅回路が必要な理由も、これとまったく同じです。

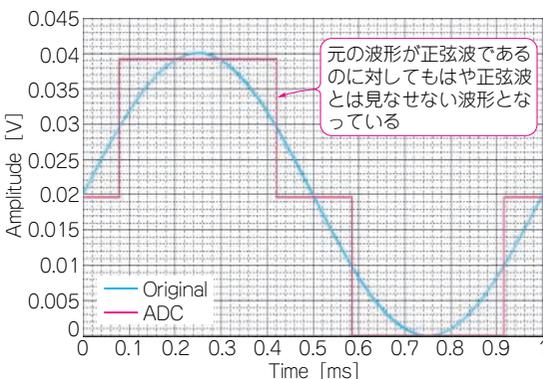
つまり、なぜ増幅回路が必要なのかというと、**伝えるべき信号を雑音よりも大きくする必要がある**からです。自然界に普遍的に存在する雑音(熱雑音)もありますが、A-Dコンバータから原理的に発生する量子化雑音と呼ばれる雑音も存在します。ここで少し、量子化雑音について考えてみましょう。

● 増幅しないとたいせつな信号が雑音まみれになる

A-Dコンバータ(ADC)による変換をイメージ波形として見ることで、「増幅しなければ信号が雑音にまみれてしまう」ということをより具体的に体験できます。



(b) Amplitude=0.4Vとしたときのシミュレーション結果



(c) Amplitude=0.04Vとしたときのシミュレーション結果