

第4章 アナログからデジタル、そしてソフトウェアへの流れを振り返る

デジタル回路の 必要性と成り立ち

大中 邦彦
Kunihiko Ohnaka

なぜ、デジタル回路か

■ 電子回路でやりたいのは「計算」

● 携帯電話もMP3プレーヤも計算している

誤解を恐れずに言うと、**技術者が電子回路を使ってやりたいことは計算です。**

図1を見てください。これはゲイン n 倍の増幅回路の働きを示しています。増幅回路は、入力された信号の振幅を n 倍にして出力します。

正確に動作する増幅回路をどうやって作るかという問題は、昔から多くの技術者が取り組んでおり、その解決のためにさまざまな方法が考え出されてきました。しかし、完璧なものはまだ作られていない奥の深い回路です。

この増幅回路で何をやりたいのかを式で表すと、

$$\text{出力} = \text{入力} \times n$$

というとても簡単なものです。良い増幅回路を設計するとは、この乗算を正確に実現するアナログ回路を作ることだと言えます。

電子回路には増幅回路しかないわけではありませんが、多くの回路の入力と出力の関係は計算式で表すことができます。つまり「**電子回路は電気を扱いながら**

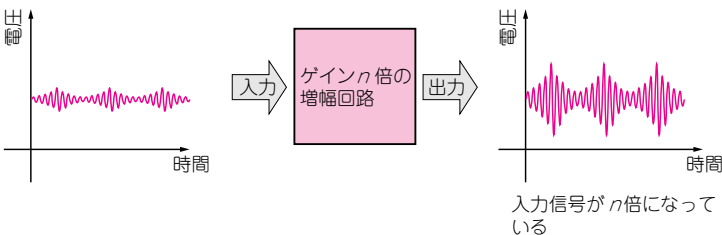


図1 増幅回路は、入力された信号の振幅を n 倍にして出力する計算回路

計算をする装置」ということができます。

皆さんの身の回りにある電子回路を眺めてみてください。パソコンや電卓が計算機だというのは一目瞭然ですが、携帯電話、電子辞書、FAX、MP3プレーヤなどの電子回路も、内部でさまざまな計算をしています。

図2と図3に示すのは、携帯電話で通話をしているようすを模式的に表したものです。

アンテナで受信した信号は電圧となって受信回路に入力されます。受信回路の中ではこの入力信号にいろいろな計算を施し、「こんにちは」という音声信号として出力します。その出力信号も電圧で表され、スピーカに入力すると音となって出力されます。マイクから入力された音声信号は電圧となって送信回路に入力されます。送信回路の中ではやはりこの信号にさまざまな計算を施し、電波として送信できる信号に変換され、アンテナから送信されています。

● アナログ回路で作られた計算機も存在する

アナログ回路が計算機だという証拠に、過去にはアナログ回路で計算機を作っていた時代もあり、アナログ計算機とかアナログ・コンピュータなどと呼ばれて

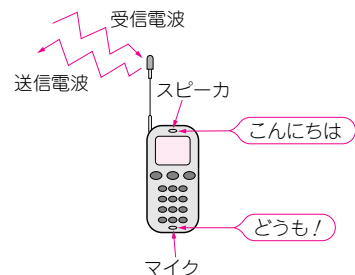


図2 音声信号を電波に乗せたり受信する携帯電話の中の回路は計算機

Keywords

デジタル回路、マイコン、論理ゲート、2進数、NOT、OR、AND、XOR、NOR、NAND、Dフリップフロップ、D-FF、レジスタ、CPLD

いました。

計算機といえば、図4(a)に示すようなボタンを押して数字を入力すると、結果がディスプレイに数値で表示される電卓のようなものを思い浮かべるかもしれませんが、アナログ計算機の入力や出力は電圧や電流でした。

図4(b)に示すのは、アナログ回路で作られた加算機で、 $5 + 3$ を計算しているところです。入力1と入力2に加えられた電圧を足し合わせて、その電圧を出力端子に出力します。入力に5Vと3Vを入力すると、出力端子から計算結果(8V)が出力されます。結果は、電圧計で確認するというしくみです。

■ デジタル回路なら精度の高い計算機を簡単に作れる

● アナログ計算機で精度の高い計算をするのはたいへん

アナログ回路で、精度が必要な計算をしたい場合は少々神経質になる必要があります。

例えば、5.010ちょうどの数値を入力したいと思った場合は、正確に5.010Vを作らなければなりません。何らかの原因で電源が変動したりノイズが乗ったりして、この入力電圧が5.012Vになってしまったら、期待した結果は得られません。

アナログ計算機にはこのような不安定さがあるのですが、人間よりもすばやく計算できるので、おおよその結果がわかる範囲では有効に活用されたようです。過去には、大砲を敵艦に命中させるために発射角度や火薬の量を計算するのに利用されたそうです。

● 1桁の数値どうしの計算に分解すれば精度を上げるのが簡単になる

アナログ計算機の精度を高くできない理由は、ノイズや部品の誤差などの影響を受けやすいからです。かといって、ノイズや部品の誤差をゼロにすることはできません。

誤差が0.00001V以下しかない高精度なアナログ計算機で円周率を計算し、3.14159Vという結果が出力されたとしましょう。0.00001Vの誤差があるので、結果は3.14160Vになったり、3.14158Vになったりします。この計算機で円周率を計算できるのは、小数点以下4桁くらいまでです。

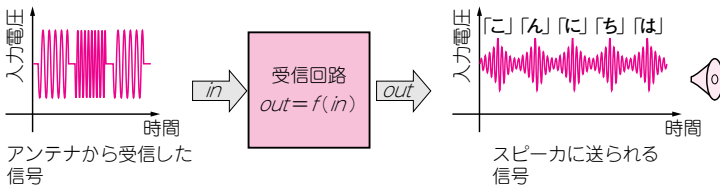
しかし目的が「もっと精度の高い計算がしたい」ということであれば、解決策があります。

手作業で多桁の計算ができるようになる「筆算」にヒントがあります。筆算を使えば、九九を知っているだけで、10桁の数値どうしを掛け合わせることができてしまいます。つまり、**1桁の数値どうしの計算さえできれば、この作業を繰り返すことで、高精度な多桁の計算が可能になる**というわけです。

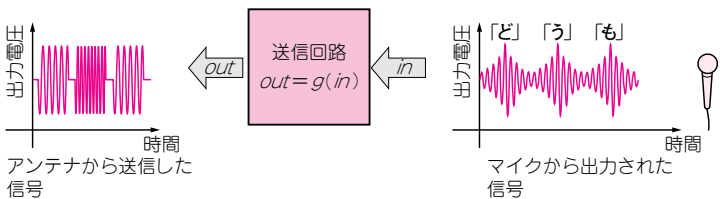
図5に示すのは、 3×25 を10の位と1の位に分けて掛け合わせる回路です。

結果の1の位は、 3×5 の結果の1の位を計算すれば求まります。10の位は、 3×2 に1の位からの繰り上がりを加えれば求まります。繰り上がりの数は、1の位の計算結果(15)を10で割れば、おおよその値(1.5)が求まります。

このようにすれば計算機は、1桁程度の精度、つまり0～9の数字を扱えばよいので作りやすくなります。

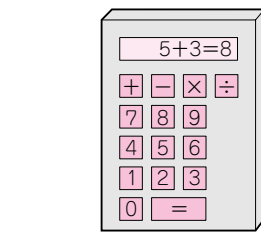


(a) 受信回路の計算処理と入出力

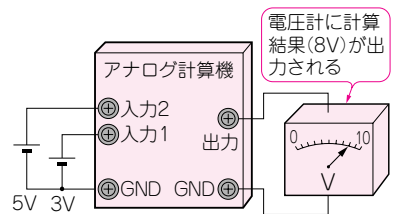


(b) 送信回路の計算処理と入出力

図3 携帯電話の中身もやはり計算機



(a) よく見かけるデジタル式の計算機



(b) アナログ計算機で $5+3$ を計算しているようす

図4 アナログ回路で作られた計算機も存在する