

合点！電子回路入門

石井 聡

Satoru Ishii

第16回

信号を波と意識すべき回路に必要な
「特性インピーダンス」【前編】

特性インピーダンス (characteristic impedance) は、交流の電気信号がケーブルやプリント基板上のパターンを「波」として伝わっていくときの、電圧の波と電流の波の大きさ同士を「比」として関連づけるものです。オームの法則やインピーダンスで説明した「電流を妨げるもの」という考え方とは、だいぶ異なる概念です。

プロの電子回路設計では、この特性インピーダンスを理解し、そして電気信号がケーブルや、プリント基板上の長いパターン上でどのように「波」としてふるまうのかを理解することは、(特に最近では多くの回路設計分野において)非常に重要なことです。

今回と次回は、この特性インピーダンスについて、ケーブルやプリント基板のパターン上で、電圧の波と電流の波がどのように動いているかを示しながら、考えていきます。

● 特性インピーダンスは単純な抵抗値ではない

特性インピーダンスが50Ωとか75Ωの同軸ケーブルを現場ではよく用います。しかしこれは、図16-1のようなケーブル自体が「単純な抵抗値(例えば50Ωとか)をもっている」という概念とは異なります。この点を認識して読んでいってください。

特性インピーダンスは純抵抗値(50Ωなど)ですが、

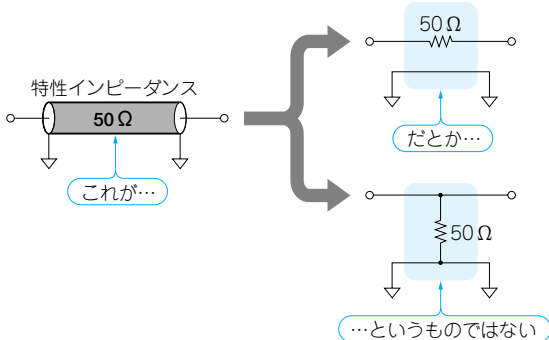


図16-1 ケーブル自体が単純な抵抗値をもっているというわけではない

電圧/電流の波がふるまうようすにより、ケーブル/パターン上に現れるインピーダンスは複素数の大きさにもなります(次回に詳しく説明)。

長さのある線を交流という波が伝わっていく

● 長いロープの端をゆすることで波の動きを考える

図16-2(a)のように、とても長いロープの端を1回ゆする(スナップさせる)と、ゆすったときのロープの端の動きがそのままロープを伝わっていきます。同じく同図(b)のように、連続してロープをゆすれば、ゆすった状態がそのまま連続してロープを伝わっていきます。

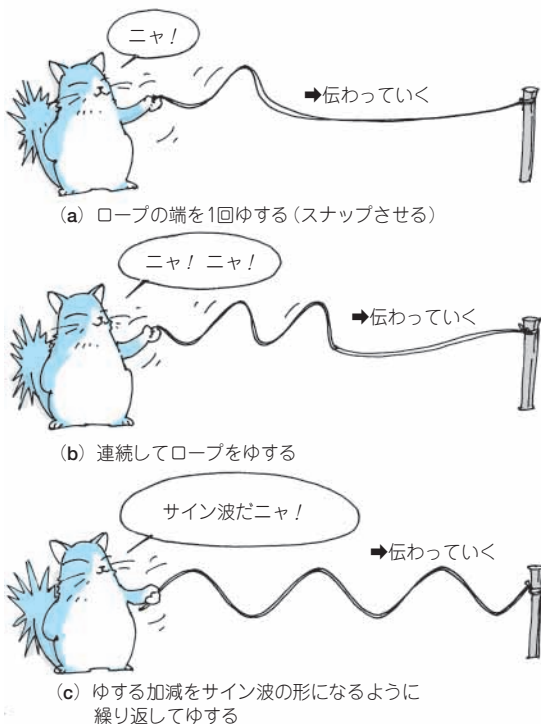


図16-2 ロープをゆする動きから波が伝わるようすを考える

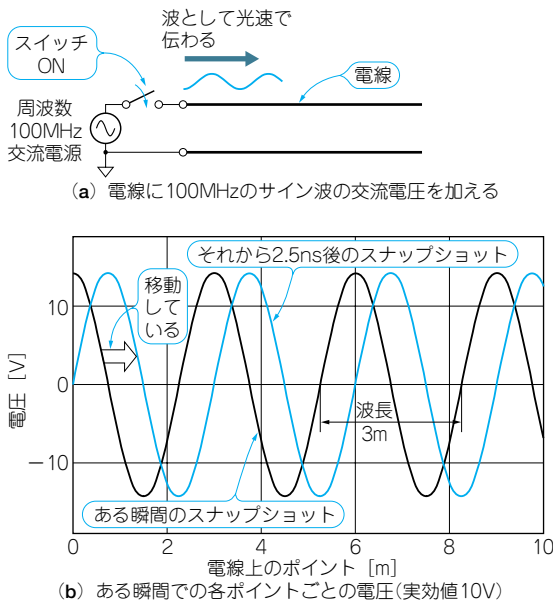


図16-3 まるでロープを波が伝わっていくように電圧のサイン波が電線上を伝わっていく

この「連続してロープをゆする」ということを、もう少し電子回路的に考えてみると、図16-2(c)のように、サイン波の形になるように連続してゆすり、同じように繰り返せば、ロープを伝わる波の形は図中のようにサイン波になります。これは現実として実感できることでしょう。

● 実際の電気信号で考えてみよう

例えば、これが交流電気信号だったとしましょう。図16-3(a)のような電線に、100 MHz(100,000,000 Hz)のサイン波の交流電圧(実効値10 V)を加えたとします*。

この電線上を、そこに加えた100 MHzの電圧のサイン波が、まるでロープを波が伝わっていくように、光速(300,000,000 m/s。後半で説明するように実際に伝わる速度は光速より若干低速なのだが)で電線上を伝わっていくとしましょう。そうすると、ある瞬間では図16-3(b)のような各ポイントごとの電圧になっていますし、それから2.5 ns(100 MHzの周期の1/4に相当する)経過した時間では、同図に青色の線で重ねたような電圧になっています。

ロープを伝わる波と同様に、各ポイントの電圧も時間とともに加えた点から離れ去るように移動していきます。また、図中のように、このサイン波の1周期の

*：本稿では明快に説明するため、信号源インピーダンスはゼロとしてある。次回に説明するように、実際は特性インピーダンスと同じ信号源インピーダンスをもつ信号源を用いる。

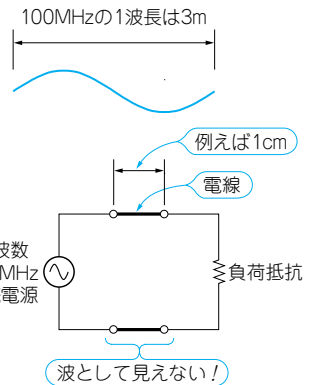


図16-4 電線の長さが短い場合には電圧の波として見るができない

長さは3 m(= 300,000,000 m/s ÷ 100,000,000 Hz)になります。

● 長さのある電線を伝わる交流信号は「波」である
 このように、電線上の交流信号は「波」として見る事ができるわけです。もし、図16-4のように電線の長さが短い場合には、電圧の波として見ることはできません。ここで大切なのは、波として見えるためには「電線の長さは、交流信号が波として認識できる程度の長さが必要だ」ということです。

このことは、図16-2に立ち戻っても「ロープの長さが短ければ波として見えない」ということで直感的にもわかると思います。

電気信号として見た場合、「波として信号が伝わる」ことを考えるべき電線の長さは、波長の1/20以上程度と言われています(これより短くても「波として」扱えないわけではないが、一般的に無視できる長さになる)。

以降を読んでいくうえで注意してもらいたいことは、電線を電気が伝わっていく速度は「光速ではない(それより遅い)」ということです。そのため、上記では「波長の…」という表現を使っています。

プロの設計現場で出くわす 波を意識することが必要な電線

● 波を意識する電線は同軸ケーブルが一番ポピュラー
 一般的に「波を意識する」電線は、写真16-1の同軸ケーブルのような電気信号を伝える電線(伝送線路)が例として言えるでしょう。

よく見る同軸ケーブルは、テレビのアンテナからテレビ受像機に繋がっている特性インピーダンス75 Ωの同軸ケーブルです。テレビの高周波信号は、第1チャンネルの周波数が93 MHzで先に説明した100 MHzに近いので、その「波」のようすは理解してもらえかと思ひます。