

周波数や虚数が絡んで
わかりにくい問題を一挙解決!

フレッシューズに贈る インピーダンスすっきり講座

鈴木 雅臣
Masaomi Suzuki

電子回路を生業(なりわい)とするエンジニア、特にアナログ回路を扱っているエンジニアの会話には頻りに「インピ」という単語が飛び交っています。これは「インピーダンス」を略した言葉で、電子回路や電子部品、電子材料などの特性を表す、とても重要なパラメータです。

ところが、電子回路のビギナにとっては、インピーダンスの概念はわかっている、その値や周波数変化がどのような形で回路に反映されるのかが、今ひとつはっきりとしたイメージで捉えられていないところかと思えます。

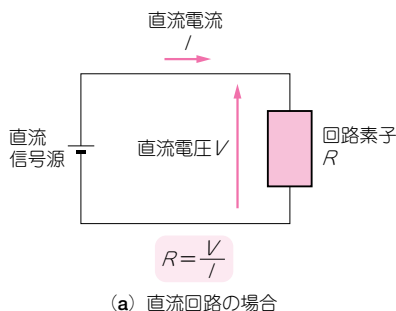
ここでは言葉や数式だけではなく、周波数によってダイナミックに変化するイメージを交えながら、インピーダンスを説明します。また、実際の回路素子のインピーダンスや、回路図に表れないインピーダンスについて、具体例を挙げながら説明します。

インピーダンスのおさらい

■ インピーダンスとは

● 直流回路にも交流回路にも使える抵抗のこと

図1(a)のように、ある回路素子に信号源から直流電圧 V を加えたときに、直流電流 I が流れたとすると、直流抵抗 R は、 V と I の比で求めることができます。これが電気回路の基本の基本、**オームの法則**です。



オームの法則は、図1(b)のように信号源が交流の場合でも使えます。直流回路の抵抗に相当するパラメータをインピーダンス Z として、抵抗と同じく交流電圧 v を交流電流 i で割った値になります。

つまり**インピーダンスとは、直流回路の抵抗を交流回路へ拡張した「交流抵抗」のこと**です。

● インピーダンスは交流信号の流れをじゃまする抵抗だ!

インピーダンス (impedance) という単語は、impede (じゃまする) という動詞を名詞化したもので、「交流信号をじゃまするもの」という意味です。言葉の意味としては「抵抗」と大差ありません。

抵抗とコンデンサ、インダクタ(コイル)のインピーダンスの記号と大きさを座標軸に表すと図2のようになります。コンデンサのインピーダンスは容量 C に反比例します。またインダクタのインピーダンスは、インダクタンス L に比例します。

■ 虚数なんて難しくない!

図2の中にある j とは、虚数を表す記号です。インピーダンスが電子回路のビギナを混乱させる最大の要因は、虚数が出てくるということでしょう。

しかし、虚数についてはそれほど難しく考えることはありません。

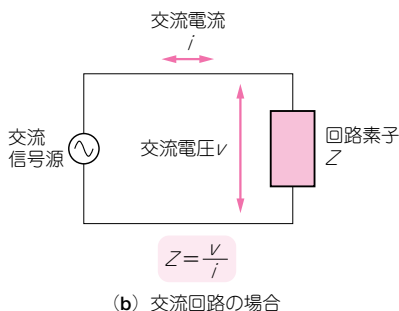


図1 オームの法則

ある回路素子に直流電圧 V を加えたときに直流電流 I が流れたとすると、直流抵抗 R は V と I の比から求まる。交流電圧 v を加えたときも、インピーダンスを Z とすれば、同様にオームの法則を適用できる

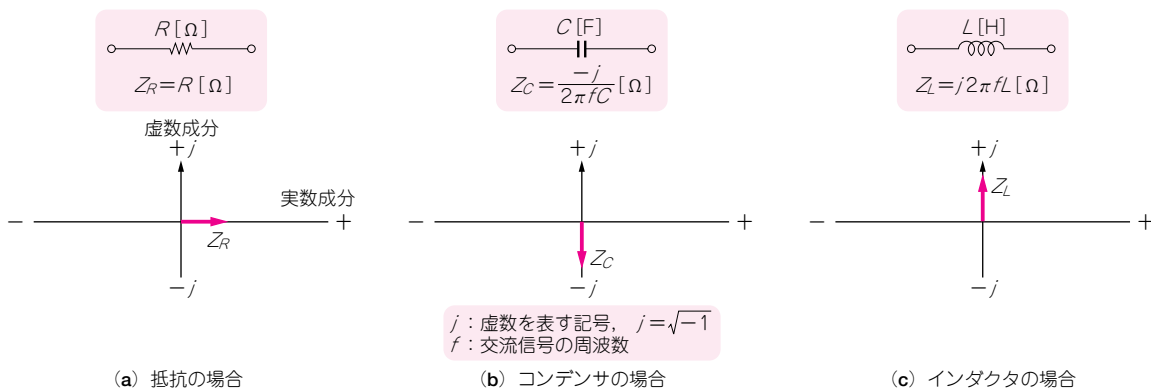


図2 抵抗/コンデンサ/インダクタの記号とインピーダンスの大きさ表現
 抵抗の場合は実数成分だけだが、純粋なコンデンサやインダクタのインピーダンスは虚数成分だけになる

● レジスタンスとリアクタンスって何だ？

実数成分は抵抗成分で、直流回路と同じレジスタンス (resistance) と呼びます。レジスタンスは、resist (抵抗する) という動詞を名詞化したものです。

虚数成分はリアクタンス (reactance) と呼ばれるもので、これは react (反動する) という動詞を名詞化したものです。リアクタンスを表すには、一般に X という記号を使います。単位は Ω です。

コンデンサやインダクタは電気エネルギーを蓄える機能があります。電気回路では、これらの素子に蓄えられたエネルギーの放出、つまりエネルギーの反動を利用していることからこのような名前になりました。

● リアクタンス成分は電圧-電流間の位相を表している

図3を見てください。インピーダンスの値が +j にあるとき、つまりリアクタンスが正のときは、そのインピーダンスの両端に発生している電圧に対して、流れる電流の位相が遅れます。また -j の範囲にあるとき、つまりリアクタンスが負のときは、逆に位相が進むことを表しています。

インピーダンスの値には、大きさと角度の情報をもたせなければならぬので、図3のように1周360°の2次元平面を使って表します。つまり、虚数(リアクタンス)とは2次元平面のY軸成分を表しているだけとシンプルに考えればよいのです。

インピーダンスの周波数特性

■ インピーダンスは周波数によって変化する

● 抵抗, コンデンサ, インダクタのインピーダンスの周波数特性

インピーダンスをイメージするときのポイントは、

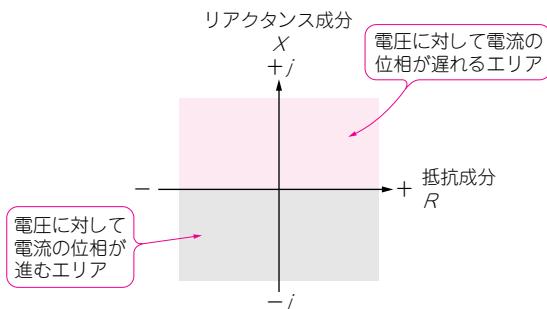


図3 虚数と位相の関係
 インピーダンスが+jの領域にあるときは電圧に対して電流の位相が遅れ、逆に-jの領域にあるときは電圧に対して電流の位相が進む

その値が周波数によって変化するということです。

図2の式からもわかるように、コンデンサのインピーダンスは周波数(f)に反比例しますから、周波数が高くなるほど小さくなります。また、インダクタのインピーダンスは周波数に比例するので、周波数が高くなるほどインピーダンスが大きくなります。これが基本です。

実際の回路ではほとんどの場合、抵抗やコンデンサ、インダクタの組み合わせでインピーダンスが構成されています。したがって、インピーダンスの周波数変化は、さらにバリエーションに富んだ興味深いものになります。

● 2次元でのインピーダンスのイメージ

図4に、抵抗とコンデンサを並列接続したCR並列回路のインピーダンスを示します。周波数の変化によって、インピーダンスが原点からの大きさと角度(正確には偏角)を刻々と変えながら変化しているようすがわかります。

この図で周波数変化によってインピーダンスが動い