

---

# 第1章

## インピーダンスと整合

---

この章では、インピーダンスとは何かを説明します。電気回路の勉強を始めると、インダクタンスやキャパシタンスなど沢山の「タンス」が出てきます。回路技術者の中で普通に使われるインピーダンスを解説します。それと整合になぜこだわるのかについても考えます。唐突に整合などと言われても何のことやら、それほど重要ではないと思いたいところですが、我々を取り巻く電子装置の中身はそれらが配慮されています。本章では、少し伝送線路もかじります。計算をせずに逃げたいという気持ちを抑えながら高周波技術屋の仲間入りをしましょう。

# 1

## インピーダンスとは何？

### インピーダンスとは何？

電気、電子回路の勉強を始めると、最初は直流から学び始めます。次に交流回路、そして高周波回路と進んでいきます。一般的に交流回路になるとインピーダンスが現れます。直流回路では抵抗Rが主ですが、交流回路になると抵抗やインダクタンス（コイル）、キャパシタンス（コンデンサ）との直列、並列回路をインピーダンスと言います。直流回路でもインダクタンスやキャパシタンスを扱うこともあります。例えば過度現象などです。これは電気回路のスイッチのオン、オフのときの解析に出てきます。本書では高周波回路での抵抗R、インダクタンスL、そしてキャパシタンスCを含む合成回路をインピーダンスと考えます。図1-1はアンテナやそれと等価な抵抗とインダクタンスの直列インピーダンスです。

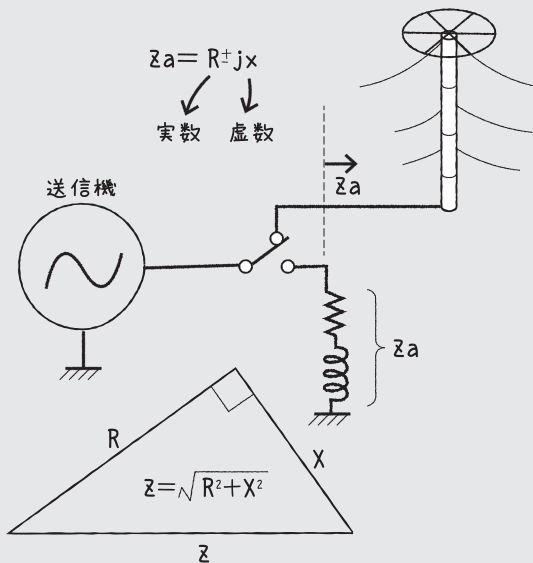


図1-1 回路のインピーダンスは抵抗Rとリアクタンスの合成

## インピーダンス回路の電流と電圧ベクトル

図1-2 (a) は、抵抗 $R$ とインダクタンス $L$ を直列にしたインピーダンス回路です。その回路に交流電源を加えたときの電流によって現れる抵抗の端子電圧、同図 (b) にインダクタンスの端子電圧をベクトルで示しています。

交流電源には、低周波である電源などの50Hz、60Hzの周波数から音声信号などのオーディオ信号は約20Hzから20,000Hz信号もあります。さらに高周波では数十kHzから3THz ( $10^{12}$ Hz) くらいまでの電波も扱います。インダクタンスやキャパシタンスは使用する周波数が異なるとこれらのリアクタンス値は異なります。リアクタンスは周波数の関数です。またインピーダンスを皮相抵抗と呼ぶこともあります。

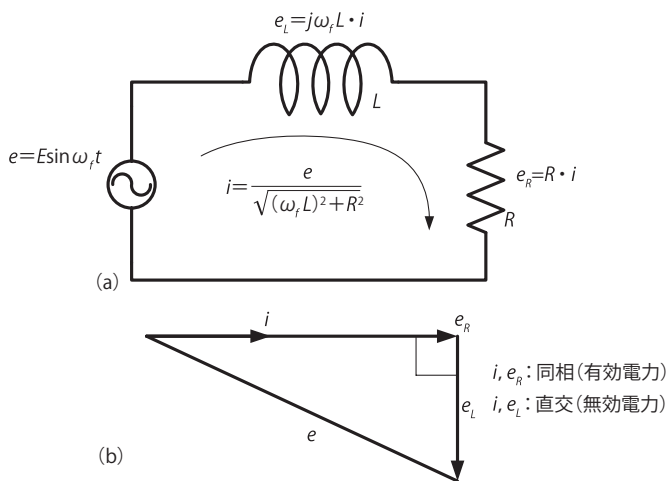


図1-2 インピーダンス回路を流れる電流と電圧

## 電気素子のリアクタンスとインピーダンス

抵抗は周波数によって値は変化しませんが、インダクタンスやキャパシタンスは周波数の関数です。そのリアクタンスは、 $X_L = j\omega L$ 、 $X_C = 1/j\omega C$ で表します。それと抵抗を組み合わせるとインピーダンスの値を持ちます。ここで $\omega$ は $2\pi f$ で角周波数と呼びます。表1-1は $R$ 、 $L$ 、 $C$ のそ

表 1-1 電気素子のリアクタンスとインピーダンス

	名称	Reactance ( $\Omega$ )	Impedance ( $\Omega$ )
R	抵抗 ( $\Omega$ )		$Z = R \pm j0$
L	Inductance (H)	$jX_L = j\omega L$ $\omega L = 2\pi fL$	$Z = r + jX_L$ $Z = R // jX_L$ // : 並列
C	Capacitance (F)	$jX_C = \frac{1}{j\omega C}$ $\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$	$Z = R - j\frac{1}{\omega C}$ $Z = R // -j\frac{1}{X_C}$

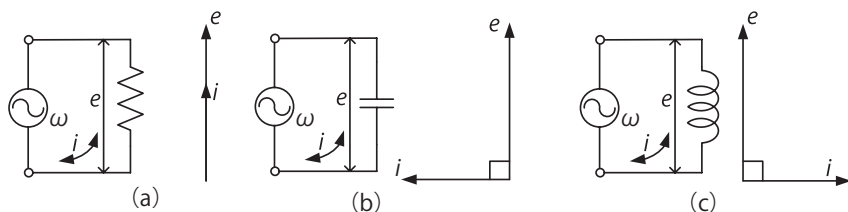


図 1-3 素子に高周波を流した時の電圧と電流の位相

それぞれの組合せによるリアクタンスとインピーダンスを表現しました。

## 回路素子の電圧と電流ベクトル

図 1-3 は、抵抗素子、キャパシタンス、インダクタンスに高周波電圧を与えたときの電圧と電流をベクトルで示します。抵抗負荷では電圧と電流の位相は同位相です。コンデンサやコイルでは電圧と電流の位相が 90 度異なります。このような条件では素子による電力損失は発生しません。インピーダンスは、抵抗、キャパシタンス、そしてインダクタンスの合成回路、組み合わせを言うことが多いようです。

## インピーダンスと周波数

図 1-4 は LCR のインピーダンス回路です。ここでは回路を L 形に組

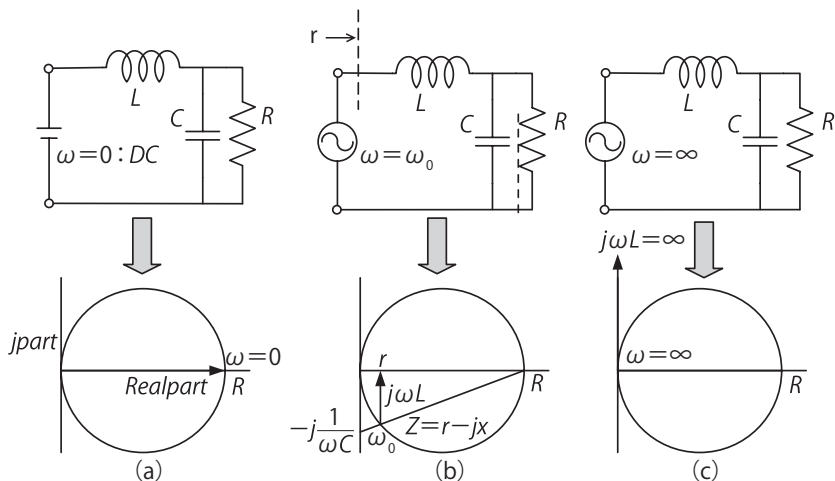


図 1-4 周波数とインピーダンス軌跡の動き

み合わせました。本書では整合回路の議論を進めていきますから、多少でもインピーダンス回路が実際の整合回路に近い方が役に立つと考えます。このL形整合回路に周波数が0即ち直流を印加したときを同図 (a) に示します。少し周波数を高くして行く過程の合成インピーダンスを同図 (b) に表現します。たまたま周波数の条件が抵抗  $r$  に見える状態を示しましたがこの状態が整合ということもできます。後段で詳述したいと思います。さらに周波数を高したときに同図 (c) のようにキャパシタンス  $C$  のリアクタンスは0となり、インダクタンス  $L$  だけの  $j\omega L$  のリアクタンスとなってしまいます。周波数が  $\infty$  であればリアクタンスも  $\infty$  となります。インピーダンスはこのように周波数によって変わることが分かります。

参考ですが、インピーダンスは電力の世界では電源の内部インピーダンスやパーセント・インピーダンスなどが使われます。オーディオの世界ではスピーカの入力インピーダンスやアンプの負荷インピーダンスが議論されます。高周波の世界では、伝送路のインピーダンスやアンテナのインピーダンス、そして自由空間の電波インピーダンスなどが使われます。インピーダンスは複素数の世界です。抵抗は実数部で表現してリアクタンスは虚数部で表現します。虚数部には正と負があります。

## インピーダンス整合は面倒で嫌い

### エネルギーの橋渡しが整合の基本

インピーダンス整合の本をみると、最初に伝送線路の複雑な式が出てきて、戦意を喪失させられます。エネルギーの物理的な流れを邪魔することなくスムーズに繋ぐことができればすべてが整合と言えます。本項では<sup>はしけ</sup>舟を例にとって説明を行いますが、人間ドックの超音波検査のときにお腹に塗るゼリーも試験器具と人体との間の整合のように考えることもあります。整合はエネルギーのロスを極力減らすことが求められますし、硬軟部分の橋渡しといったところでしょうか。

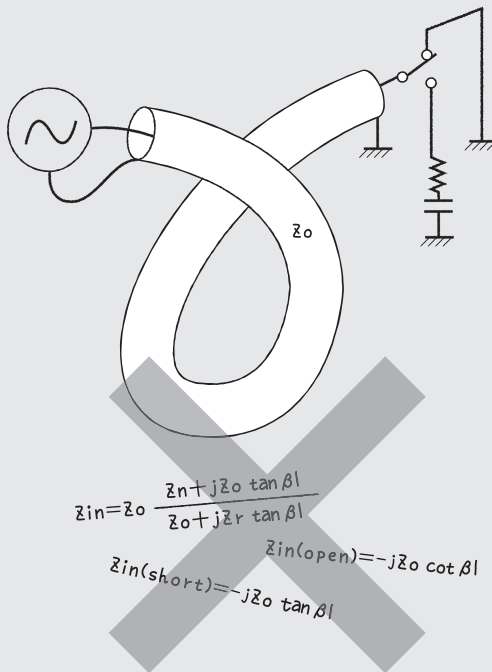


図 2-1 伝送線路のインピーダンスは式が多くて嫌い