

# 第1章

ツール1  
オームの法則

## 電気が部品や配線を通るようすを体で覚える 電圧/電流/抵抗の 三つともえ関係を実体験

この章では最初のツール、回路理論の基本中の基本であるオームの法則と、電圧・電流との関係をみていきましょう。

回路のことをある程度わかっている人は、「何を単純なことを」と思うかもしれませんが、この単純に見える関係こそが、これから先のとても複雑(にも思える)な回路理論や計算、そして実際の回路の動きの、とても大切な土台/基本になっています。

そのような視点に立って、きちんとこの土台/基本を理解し、自分の本当の力にしていきたいと思います。

### 1-1 回路とは回る路である

#### ●回路が回る路であることを最初に理解しよう

初心者が最初に犯しそうなミスは、回路が「回る路」であることを理解していないことから起こります。この章ではツール1である、オームの法則と電圧/電流/抵抗との関係について説明しますが、そのオームの法則が成立する根本原則/基本概念というものが、「回路とは回る路である」ということです。このことを最初に説明しておきます。

図1-1を見てください。電池から電線が伸びており、抵抗につながっています。電池のプラス端子が抵抗の片側に、マイナス端子がもう一方の側に接続されています。このように1周するループ(抵抗に対して向かう路と抵抗から戻る路)ができていなければ、回路は成り立ちません。以降に説明する電圧と電流についても、この考えが基本になります。

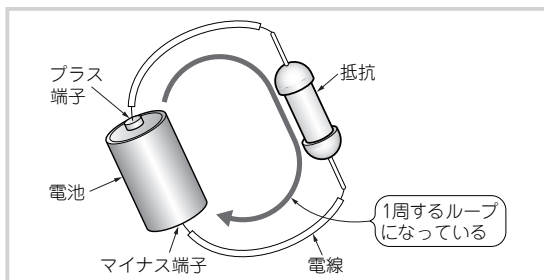


図1-1 電池と電線と抵抗…1周するループになっている抵抗に対して向かう路と、抵抗から戻る路がなければ回路は成り立たない。だからこそ回・路(まわる・みち)と呼ばれる。

だから回・路(まわる・みち)と呼ばれるわけですし、英語でも回路は“circuit”と呼ばれ、レース場のサーキットと同じ表現なのです。

#### ●ちょっと複雑になると回路ということを忘れがち

図1-1の例であれば、「ループになっていればいいんだ」と、中学校のころの電池と豆電球の実験同様に、直感的に理解できるでしょう。

しかし初心者が、図1-2のような二つの大きな回路ブロックの間をつなぐ場合、意外と信号を伝える配線だけ(上記でいう「向かう路」)を結線して、ループ



図1-2 初心者が二つの大きな回路ブロックの間をつなごうとしている

信号配線だけを結線して、ループとすべき「戻る路」を接続しないミスをしてしまうことが意外とある。これでは回路は動かない。

とすべき「戻る路」を接続しないミスをしてしまうことがあります。

これでは回路は動きません。二つの回路の間で「まわる・みち」になっていないからです。特にプロの電子回路設計は、この「戻る路」を非常に重要視します。詳しくは以降に「グラウンド」という点で説明します。

## 1-2 回る路で動き回る電圧と電流の基準位置

次の章で、コイルとかコンデンサとか、回路につながる要素を増やして、交流 (Alternating Current ; AC) 電圧/交流電流に発展させますが、この章では、回路につながる要素は、直流電源と抵抗だけに限定しておきます。電圧も電流も、一定方向に一定量だけ流れる直流 (Direct Current ; DC) であると限定しておきます。

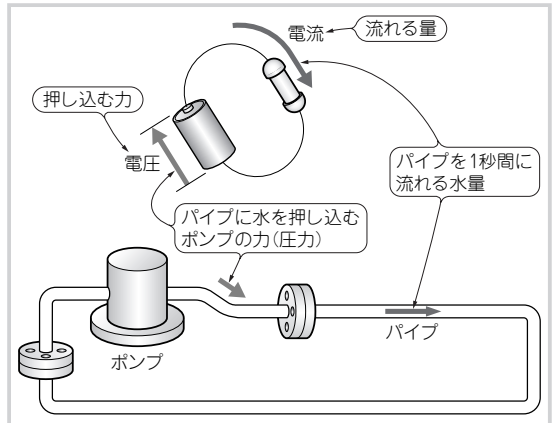
### ●イメージだけで電圧と電流を理解する

電圧と電流を、スパッとイメージで(図1-3も参照して)言い切ってしまうと、

**電圧:** パイプに水を押し込むポンプの力(圧力)に相当する

**電流:** パイプを1秒間に流れる水量に相当する  
つまり、電圧は「圧: 押し込む力」であり、電流は「流: 流れる量」であることがわかります。よくテレビや雑誌で「電流が高い」とか「電圧が流れる」とか見聞きすることがありますが、ここまでの説明で間違った用法であることがわかりますね。

電圧の別のたとえとして「電流という水を流すため



**図1-3** ポンプとパイプで電圧と電流を理解する  
電圧はパイプに水を押し込むポンプの力(圧力)に相当し、電流はパイプを1秒間に流れる水量に相当する。

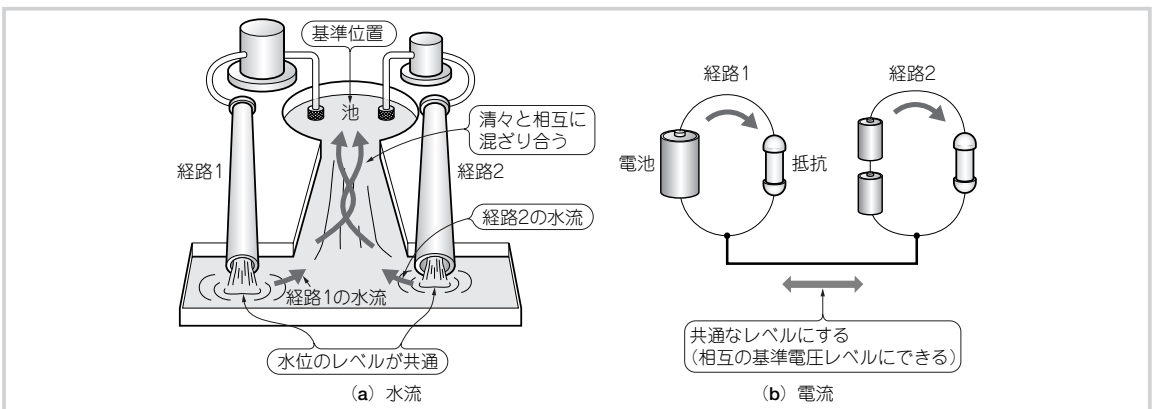
の水の落差(高低差)」と表現されます。水が落ちる高低差(電圧)が大きいと、そこからパイプに流れる水の勢い(電流)が強くなるので、水がたくさん流れますね。これは結局は「パイプに水を押し込む圧力が高い」とこと同じなのです。

### ●プロはグラウンドという電圧の基準位置を大切に

1-1節および図1-2での「初心者が…」の説明のように、二つの回路間をつなぐときのループとすべき「戻る路」という意味がどういうことかを、もう少し考えてみます。

▶相互に混ざり合う流れは相互に圧力なしである…それが共通の基準電圧レベル

図1-4を見てください。二つの水の流れと二つの回路の図が並べて示されています。



**図1-4** 二つの水の流れと二つの回路を比較して考える

基準位置は池の水位レベル。このレベルを共通にすると経路1と経路2それぞれの水流は、清々と相互に混ざり合う。つまり圧力ゼロということ。電圧も共通の電圧レベルを設定し相互の基準レベルにする。

## 第2章

ツール1  
オームの法則

# 流れ方が一定じゃない交流信号を頭に描く 電圧が正や負に変化する交流信号

直流は電圧量/電流量が時間で変化しない、それらの大きさが一定のものです。しかし実際の電子回路では、回路内の電圧/電流が直流であることは、それほど多くありません(一部の電源回路とかセンサ回路程度)。実際の電子回路の応用例を考えてみても、その多くが回路内の電圧/電流が時間で変化する「交流」を使ったものです。

しかし交流であっても、第1章で説明した電流/電圧/抵抗の関係は、ほぼ同じように取り扱うことができます。単純にオームの法則というツールを交流用に拡張すればよいだけなのです。逆に言うとそれだけ「オームの法則は奥深いもの」であることに気がつくと思います。

本章では最初に交流の概念を説明し、この交流回路でもオームの法則が成り立つことを説明していきます。

### 2-1

## 実は身近な交流をまず理解しておこう

### ●現実の製品はほぼすべてが交流回路

図2-1のように現実のモノ、つまり電子製品に应用される電子回路、オーディオ回路/ビデオ回路/高周波回路/その他もろもろ…、アナログ回路のほぼすべてが交流回路であるといえるでしょう。電子回路を設計するには、この交流回路の考え方の理解が必須です。

### ●「交流」っていうけど「交流」って何？

当たり前のようですが、交流回路は直流以外の回路です。電圧がプラスとマイナスを交互に繰り返したり、電流の流れが行ったり来たりするもの、それが交流です。電圧と電流を図2-2のように、

電圧：パイプに水を押し込むポンプの力(圧力)に相当する

電流：パイプを1秒間に流れる水量に相当する  
だと考えれば、これを交流に適用してみると、図2-3

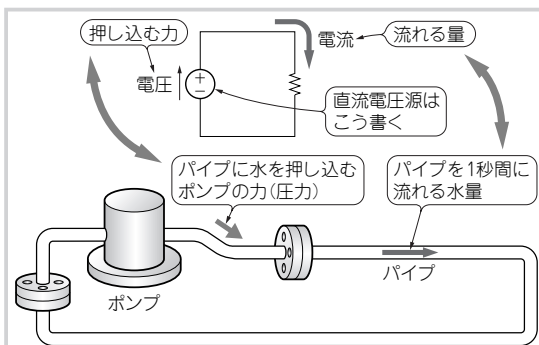


図2-2 ポンプとパイプで電圧と電流を考える

図1-3の再掲。電圧はパイプに水を押し込むポンプの力(圧力)に相当し、電流はパイプを1秒間に流れる水量に相当する。

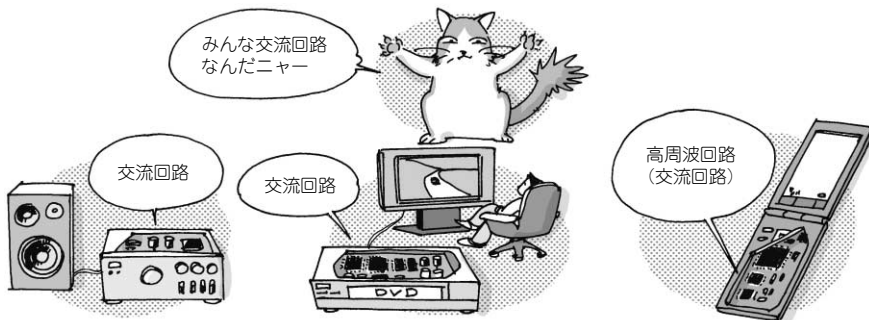
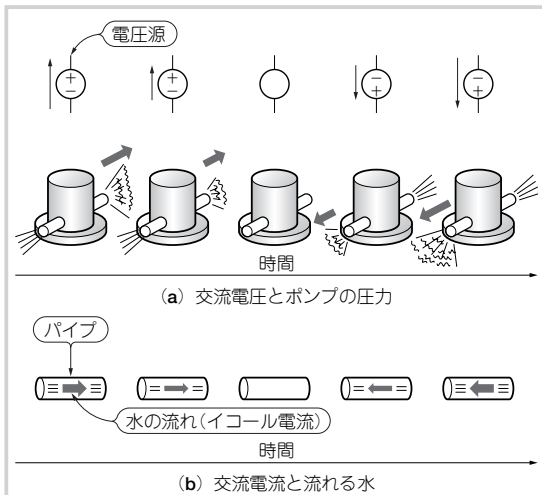


図2-1 電子製品の中の回路はほぼすべて交流回路

電子製品に应用される電子回路、オーディオ回路/ビデオ回路/高周波回路/その他もろもろ……、アナログ回路のほぼすべてが交流回路。



**図2-3** ポンプとパイプで交流電圧と交流電流を理解する  
交流電圧は圧力が時間に応じて変化し、さらに圧力の向きも逆になって動作するポンプと同じ。交流電流はこの圧力でパイプ中の水量が時間で変化し、向きも逆になっていくものと同じ。

(a)のように、交流電圧は押し込む力が時間に応じて変化し、さらに力の向きも逆になって動作するポンプだと言えるでしょう。大きさ/向きが変化するといっても、その波形の形状は「正弦波(サイン波)」になっています。

一方、交流電流は図2-3(b)のようにパイプの中を流れる水量が時間に応じて変化し、流れの向きも逆になっていくものだと言えるでしょう。ここでも波形形状は正弦波です。

また、抵抗を「水が通りにくいパイプ」と考えてみれば、電圧(ポンプの圧力)が変化すればそれに比例して電流(パイプの中を流れる水量)も変化することは直感的にもわかると思います。

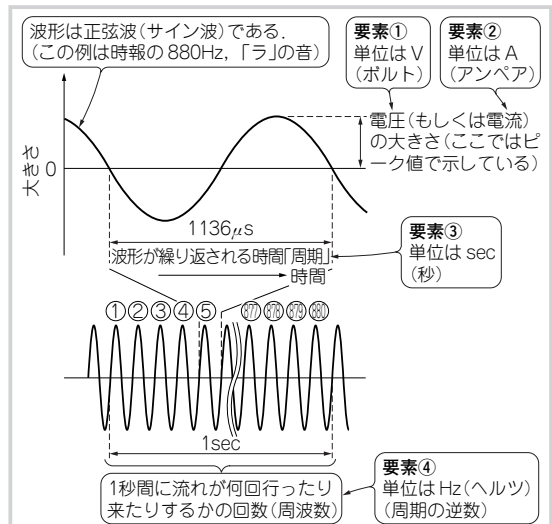
これが交流電圧/交流電流のイメージです。実際の動作もこのイメージのとおりと言えるでしょう。

▶交流電圧/交流電流を定義する四つの要素

交流電圧/交流電流は図2-4に示すように四つの要素があります。

- ①「電圧」の大きさ(単位:ボルト[V])
- ②「電流」の大きさ(単位:アンペア[A])
- ③ 繰り返し表れる同じ波形の一つぶんの時間「周期」(単位:秒[sec])
- ④ 1秒間に流れが行ったり来たりする回数「周波数」(単位:ヘルツ[Hz])

図中のように時報の「ポーン」という音、周波数



**図2-4** 交流を定義する四つの要素(位相は含めない)  
電圧の大きさ、電流の大きさ、波形の繰り返す「周期」、1秒間の往来回数「周波数」…が四つの要素。「位相」という考えも必要だがまだ説明しない。

880 Hzの信号(「ラ」の音)は、周期は $1/880 = 1136 \mu\text{s}$ となります。

別に、波形の時間的遅れである「位相」という考えも必要ですが、簡単に交流を理解してもらうために、まだこの章では説明をしないことにしておきます。

●「交流」イコール「ACコンセント」という固定観念から脱却しよう

交流と聞くと、ACコンセントの100Vを思い浮かべると思います(強電/電力関連での意味…私も電気/電子回路を勉強しはじめたころはそう感じていた)。

ところが実は回路理論の視点で考えてみると、説明したように電子回路として私たちが取り扱う多くの回路の動作もまた交流なのです。「交流回路」とか「交流理論」という本が多数出版されていますが、これから社会人フレッシュャーズとしてやっていく仕事が「実は交流」なのであれば、学生の方も敷居が低く感じられるのではないのでしょうか。

▶実際の電子回路を交流回路としてみたときの電圧源と抵抗に相当するもの

「電子回路も交流回路だ」と説明しました。実際の電子回路では交流電源自体があるのではなく、図2-5のようにオーディオ信号の信号源であったり、発振回路の出力や、高周波(無線通信)の信号だったりします。私たちが取り扱う回路に入力される信号(つまり

# 第3章

ツール1  
オームの法則

## 流れに影響する抵抗, コンデンサ, コイルと電圧・電流を関係付ける「抵抗/インピーダンス/リアクタンス」のトリオは電流を妨げる

インピーダンスは交流での抵抗量で, 抵抗と同じく電流の流れを妨げるものです。「はて? 何が違うの?」と思うでしょうが, 一つ一つ紐解いていきましょう。まずは「抵抗と関連している量である」という理解でOKです。

インピーダンスはプロの回路設計現場では絶対に知っておくべき知識です。この概念(実際は以降の章で説明する位相と複素数も含む)を理解していないと, まともな回路設計ができません。「電子回路シミュレータを使えばいい」と言う人もいますが, 実際には回路がどのように動いているかを直感的に考えられないと(回路理論がわからないと), シミュレータは意味をなしません。

本章では話題をインピーダンスについて踏み込み, その一要素であるリアクタンスについて交流の概念を踏まえたうえで詳しく説明します。ここでも実用ツール1のオームの法則は健在なのです。

### 3-1 交流で電流を妨げる要素について 理解する

まず図3-1に, 本章の説明の順序と相互関係を示します。内容が少し入り組んでいますので, この図で話のあらすじと相互関係をまずつかんでください。

#### ●語源からインピーダンスを考えてみよう

交流での抵抗量「インピーダンス(impedance)」は

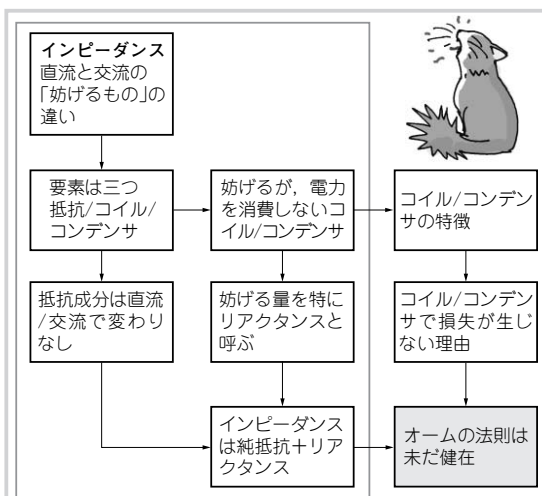


図3-1 本章でインピーダンスを説明していくフロー図  
説明するには意外とやっかいなインピーダンス。説明が入り組  
んでいるので, まずはあらすじと相互関係をつかんでほしい。

英語の“impede”という単語(「妨げる, 妨害する」という意味の動詞)からきており, impede + ance(名詞化する接尾語)と, 複合名詞化したものです。

抵抗(量)も英語では「レジスタンス(resistance)」と言い, 動詞の“resist”(「抵抗する」)が resist + ance(接尾語)と複合し, 名詞化したものです。

▶流れを妨げる要素が直流とは異なっている  
かたや「妨げるもの」, かたや「抵抗するもの」で

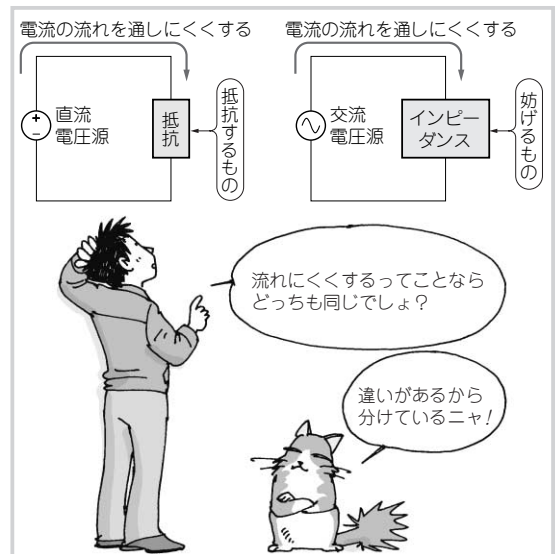


図3-2 どちらも「流れにくくする大きさ」のことだったら同じではないか

交流における電流を妨げる(“impede”する)成分は, 直流での抵抗より少し複雑な(異なる)振る舞いをするから明確に区別したいため用語を分けている。

すから、ほとんど意味としては同じような気がします。なぜ直流/交流の抵抗量の違いを、用語も変えて明確にしたかったのでしょうか。同じ「通さないもの」という意味なら、同じ単語を使っても良いと思いますね。

それは交流における電流の流れを妨げる(impedeする)成分は、直流での抵抗より少し複雑な(異なる)ふるまいをするから、明確に区別したいために用語を分けたのです(図3-2)。

## ●交流で電流を妨げる3要素を理解しよう

impedeする、つまり流れを妨げる要素に何があり、どのようにふるまうかを示してみましよう。少し難しい話が絡んでくるので、今の段階では「こういうものだ」とだけ理解してもらうために、特徴による理解を図るようにします(次章以降の位相と複素数で詳しく説明する)。

### ▶要素は三つ…抵抗とコイルとコンデンサ

交流で電流を妨げる要素は、抵抗とコイルとコンデンサの3要素(電子部品)だけです(図3-3)。

皆さんが実際の回路と向き合うと、「いろいろな素子が複雑に組み合わせられているし、素子一つをとっても想像を越える動きもするのではないかと、回路/素子に対して不安感/恐怖感を感じるかもしれません。ところが実際はすべて「抵抗/コイル/コンデンサ」でモデル化できるのです(なおトランジスタなど能動素子のモデルは、上記3要素に電圧/電流駆動源が追加になる)。これだけなのです！

### ▶抵抗成分は直流でも交流でもいつでも同じ

抵抗成分は、直流でも交流でも妨げる量はいつでも変わりません。そのため「純抵抗」と呼ばれます。

実際の抵抗の例を写真3-1に示します。種類がたくさんあるのは、周波数特性や許容電力など、それぞ

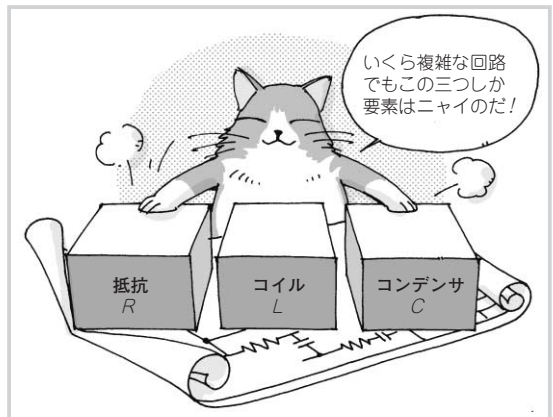


図3-3 交流で電流を妨げる要素は抵抗/コイル/コンデンサの3部品しかない

「いろんな素子ごとに想像を超える複雑な動きがあるのではないかと回路/素子に対して思うかもしれない。ところが実際はすべて「抵抗/コイル/コンデンサ」でモデル化できる。

れ性能などの優劣があり、適材適所で使われるからです。純抵抗では直流でも交流でもまったく同じにオームの法則( $V = IR$ )が当てはまります。

## ●インピーダンスは純抵抗成分とリアクタンス成分から成り立っている

ここまでで、インピーダンスは交流での抵抗量に相当し、その妨げる要素は抵抗/コイル/コンデンサの三つだと説明してきました。そして純抵抗成分は直流/交流に関わりなく、いつでも一緒ということも示しました。この純抵抗では、第2章の説明のように、電力が消費され熱が生じることもポイントです。

引き続き、もうひとつの成分「リアクタンス成分」を説明していきましょう。

### ▶コイル/コンデンサは交流を妨げるが電力を消費しない

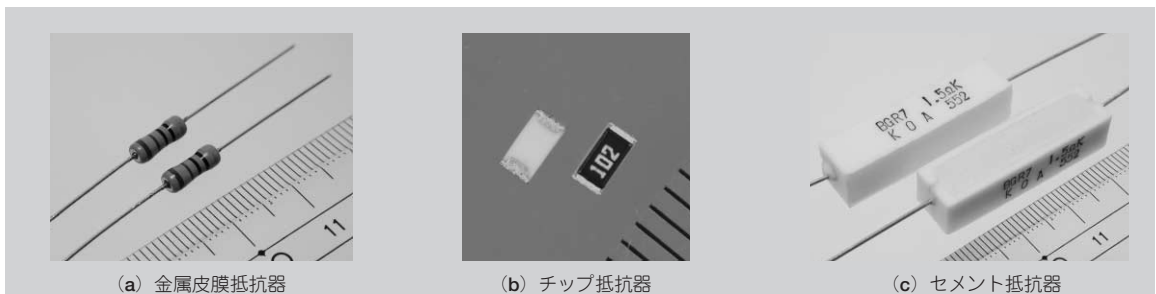


写真3-1 直流/交流でもまったく同じように妨げる量を示す抵抗の例

純抵抗と呼ばれ直流でも交流でも妨げる量は変わらない。種類がたくさんあるのは、周波数特性・許容電力などそれぞれ性能などの優劣があり、適材適所で使われるから。

# 第4章

## ツール2 位相

# コンデンサやコイルの性質を知り、電子回路の動きをイメージする 位相を知って大きさと位相を同時に 変えるインピーダンスをもっと知る

本章では二つめの実用ツール、「位相」について説明します。位相がわかると、現場での会話によく出てくる「インピーダンス」の意味合いをより深く理解できます。まずは位相を理解して、インピーダンスの本質に迫ってみましょう。

なおこの「位相」については範囲が広いので、二つの章に分けて説明することにしました。

実際の設計現場でも、位相とインピーダンスの関係を「体で理解していること」が実はとても重要です。

また位相は、別の応用もあります。回路の2カ所の波形の相互関係を位相で表すことです(この理解も設計現場ではとても重要。次の章で説明する)。

しかし「位」と「相」だなんて、なんで「位相」などという不思議な言葉を使うのでしょうか。回路設計の経験が長いと当たり前を使う用語ですが、初めて出くわすと本当に不思議な気がするかもしれません。でもその内容は、これから説明していくとおりの単純な話なのです。

### 4-1

## 二つの波形の位置のずれが位相である

### ●位相を二つの交流波形の時間的な位置ずれとして理解する

位相は、同じ周期の二つの交流波形の時間的な位置のずれです。位相をイメージで示してみると、図4-1のような二つのドラム(太鼓)が考えられます。一つのドラムはテンポを変えず同じビートで打たれています

(主奏)。図4-1(a)は主奏に伴なって打ち鳴らされるもう一つの伴奏ドラムが、同じタイミングで打たれています。同図(b)は伴奏ドラムが少し遅れて打たれています。

この周期的な、主/伴の二つのドラムの音どうしの時間的ずれ、それが位相の差そのものです。これから説明していくように、主奏ドラムのタイミングを基準とし、伴奏ドラムから出る音のタイミングずれが「位相」であると考えればよいと言えます。

▶二つの交流波形の相対的位置ずれが位相である

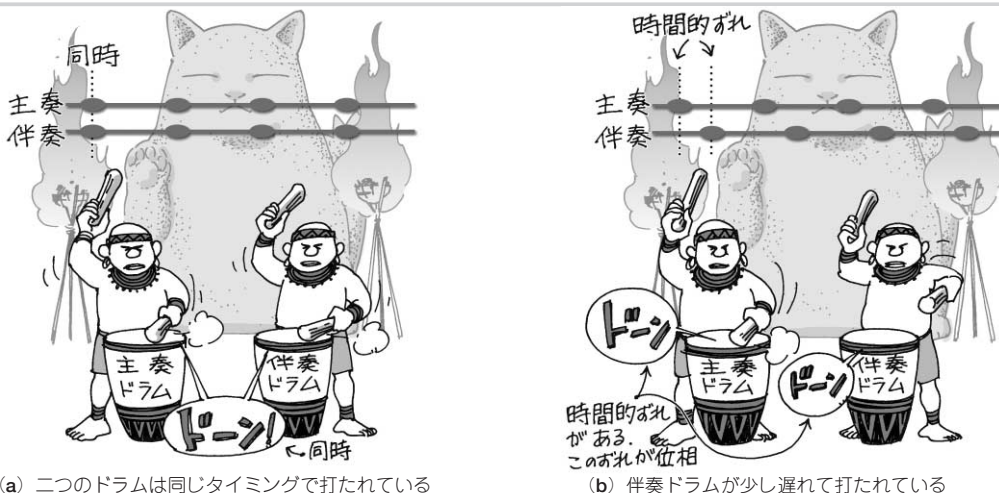


図4-1 周期的な二つの音どうしの時間的ずれが位相である

周期的な主奏/伴奏二つのドラムの音どうしの時間的ずれ、それが位相の差そのもの。主奏ドラムのタイミングを基準とし、伴奏ドラムの音のタイミングずれが位相。

ツールとして実際の回路設計において位相を考えるのは、交流電圧と交流電流の時間的な相互関係を表すことが一番多いと言えるでしょう。これはインピーダンスの考え方にもつながっています。

同じように、回路のある部分の波形(電圧波形で考えることが多い)を基準として、別の部分の波形との、周波数ごとの相対関係を「周波数特性」として示すことにも使われます(例えば入力波形対出力波形など。詳細は次の章で示す)。

ところで位相という量は、絶対的な量、例えば1 mとか1 kgとかいう量ではありません。二つの同周期の波形間の相対的な差(時間的な位置ずれ)を示す量です。そのため「位相差」とか「位相ずれ」とか言われることがありますが、すべて同じことを言っています。

図4-2(a)のような交流波形(正弦波、電圧でも電流でもよい)を考えます。横軸は時間で、

交流波形がゼロ・レベルを下から上に横切るところを基準として考えてみましょう。横切るところ②から横切るところ①までを(角度と同じ区切り方で)360等分してみます。なお、①を基準とするので①から過去の時間②に向かって目盛りを振っていきます。

▶ 同じ周期のもう一つの交流波形を重ねて考える  
図4-2(a)の交流波形を基準として考えます。ここ

に、時間的に位置ずれした同じ周期の交流波形を図4-2(b)のように重ね合わせてみます。

位置のずれた波形1は、③のところでゼロ・レベルを下から上に横切っています。このとき360等分した目盛りで、この位置③を読んでみると30になります。同じく波形2は④のところで横切っています。位置④は360等分した目盛りだと120になります。

これが位相なのです。もう一度言います。「同じ周期の二つの交流波形の時間的な位置ずれ」を考えるのです。一つの波形だけで位相を考えることはできません。

360に区切る理由はコラム4-1やコラム4-2に示しますが、いずれにしても角度と同じ考え方で、③は30°、④は120°と言います。

▶ 位相には遅れと進みがある

図4-3を見てください。同図(a)は図4-2(b)の再掲です。横軸はもともと時間軸ですから、波形1が横切る時間③から基準波形の①までの時間関係になります。つまり③が先に横切っているので「波形1は位相が30°進んでいる」と言います。

一方、図4-3(b)のように、①と③が時間的に逆の関係で後で横切っている場合、目盛りが330(つまり360-30)であれば、③は「30°遅れている」と言いま

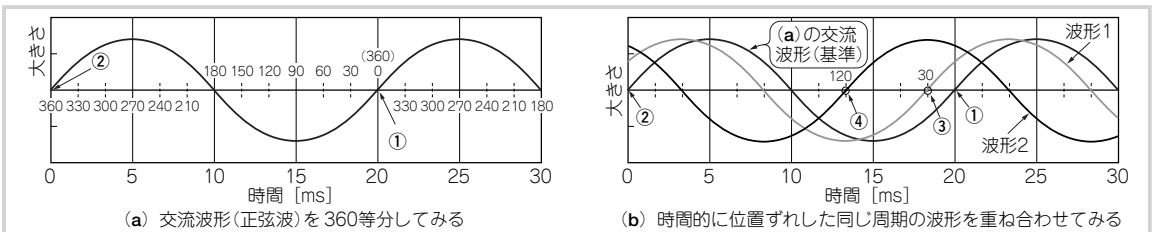


図4-2 目盛りを振って二つの波形を比較する。それが位相になる

①から②までを360等分する。波形1の位置③は30、波形2の位置④は120。これが位相(波形の周波数は50 Hz、周期で20 msとしてある)。

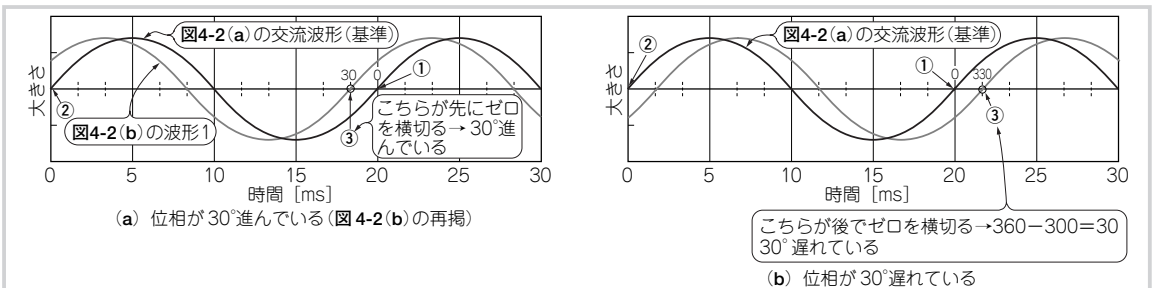


図4-3 位相には遅れと進みがある

波形1の時間③は先に横切っているので「位相が30°進んで」いる。(b)の波形の時間③は時間関係が逆であり「位相が30°遅れて」いる。進み、遅れは180°を境にする(波形の周波数は50 Hz、周期で20 msとしてある)。