

合点！電子回路入門

石井 聡

Satoru Ishii

第5回 位相を理解してインピーダンスの本質に迫る(後半)

今回はひきつづき「位相」について説明します。位相は範囲が広いので、2回に分けています。前回では位相を「同じ周期の二つの波形の時間的な位置ずれ」として、その視点から説明してきました。今回は、この位相と「交流回路で電流を妨げる抵抗に相当する量」すなわちインピーダンス(impedance)との関係、周波数という点も含めて、さらに深く掘り下げてみます。

ピタゴラスの定理による電流合成から位相の周波数変化を理解する

「並列回路で説明している」「並列回路は電圧波形が位相の基準」「位相の異なる電流の合成」という視点が、以降の説明を理解する重要ポイントです。

図5-1の回路は、実効値10Vの交流電圧源に、抵抗220Ωとコンデンサ33μFがつながっています。

- 二つの電流波形は位相が異なるため瞬間ごとの足し算(合成)になる

▶ 並列回路は電圧波形を位相の基準にして考えよう

図5-1と図5-2を見ながら読んでください。交流電圧源Vの周波数を50Hzとします。抵抗に流れる電流の実効値 I_R は0.045Aです。コンデンサに流れる電流の実効値 I_C は0.10Aです。

図を見るときは、並列回路では電流ではなく電圧波形を位相の基準にして考えます。図5-2に示すように I_C は、V、 I_R と比較して位相が90°進んでいます。また、

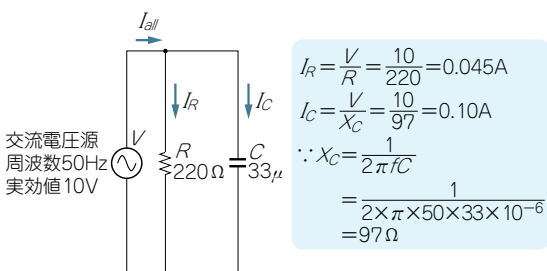


図5-1 抵抗(220Ω)とコンデンサ(33μF)の並列回路

- リアクタンス X_C は周波数 f の関数なので周波数に反比例して小さくなる [式(5-1)]

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \dots\dots\dots (5-1)$$

- したがって、電流量 I_C は周波数に比例して大きくなる
- $I_R = 0.045A$ 、 $I_C = 0.10A$ は実効値であり、図中のピークの大きさは、それぞれの $\sqrt{2}$ 倍などのことに注意が必要です。なお、損失は生じないが電流を妨げる量であるリアクタンスは、一般的に記号 X が用いられます。

▶ 瞬間、瞬間の足し算(合成)を時間波形のうえて計算してみる

図5-1の回路全体の電流 I_{all} は、図5-2のように

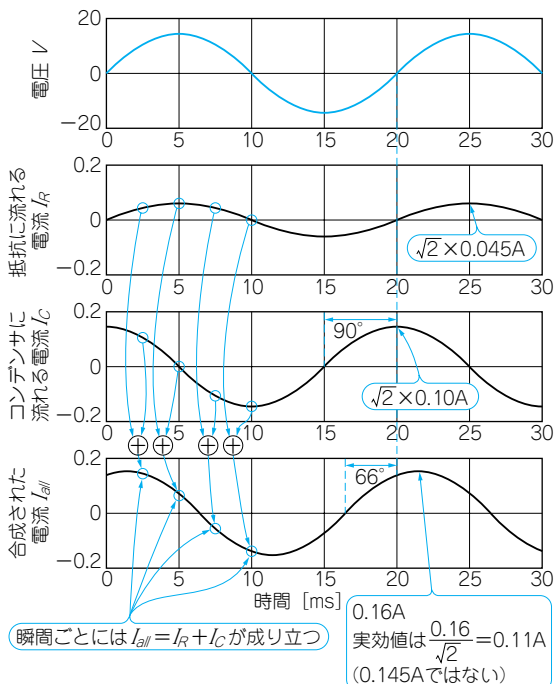


図5-2 交流電圧源の正弦波の電圧V、抵抗に流れる電流 I_R 、コンデンサに流れる電流 I_C (時間波形)

インピーダンス(impedance) ▶ 交流における抵抗量(電流を妨げる量)に相当する。その要素は抵抗(純抵抗成分)/コイル/コンデンサ(それぞれリアクタンス成分)に分けられる。

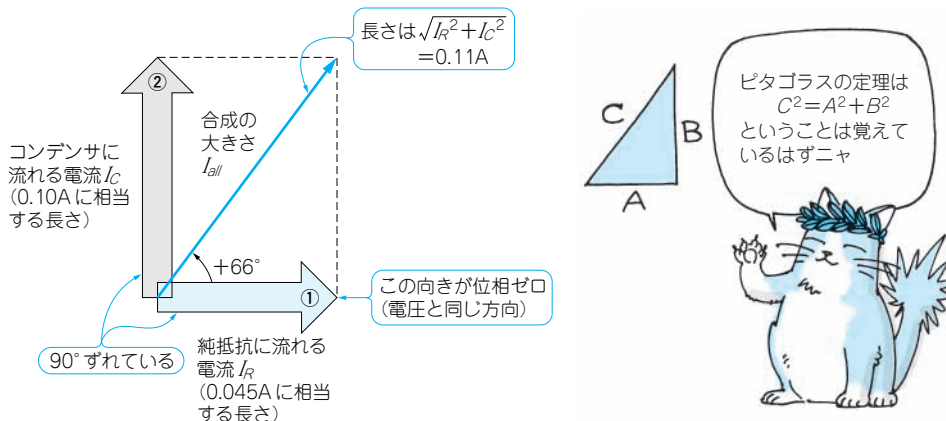


図5-3 直角に交わる I_R の矢印①と I_C の矢印②が作る合成の大きさが I_{all} …これはピタゴラスの定理そのものだ

表5-1 図5-1の回路での周波数ごとの各種の大きさを計算する(有効数字は2桁)

周波数 f [Hz]	純抵抗 R [Ω]	コンデンサのリアクタンス量 X_C [Ω]	抵抗の電流量 I_R [A]	コンデンサの電流量 I_C [A]	全体の電流量 I_{all} [A]	位相 [$^\circ$]
0.5	220	9600	0.045	0.001	0.045	1.3
5	220	960	0.045	0.01	0.047	12
50	220	96	0.045	0.1	0.11	66
500	220	9.6	0.045	1	1	87
5000	220	0.96	0.045	10	10	90

「瞬間ごとの足し算」で求められます。この実効値は 0.11 A で(図中の電流ピーク値は実効値の $\sqrt{2}$ 倍なので 0.16 A), 実効値同士の足し算の 0.145 A ではありません。

なお、図5-1の回路は並列回路なので、合成されるものは電流ということもポイントです。

▶瞬間、瞬間の足し算(合成)をピタゴラスの定理として考えてみる

この I_{all} は、図5-3のような直角に交わる矢印①(電流 I_R ; 矢印の長さは 0.045 A に相当する)、矢印②(電流 I_C ; 矢印の長さは 0.10 A に相当する)が作る合成の大きさに相当します。この場合、位相は $+66^\circ$ になります。

このように、抵抗に流れる電流 I_R と、コンデンサに流れる電流 I_C との合成 I_{all} は、ピタゴラスの定理そのものです。

● どういうときに位相が変わるのか

二つの矢印 I_R 、 I_C のどちらかの長さが変われば、 I_{all} の位相と電流量は変化します。交流でこの長さが変わるの、下記の条件のときです。

- 純抵抗の大きさが変わる
- リアクタンス(コンデンサの容量)が変わる
- 周波数が変わる

上の二つは当然でしょうが、この「周波数が変わる」についてももう少し考えてみましょう。

周波数が増えると電流の大きさと位相が変化するインピーダンスも変化する

もう一步踏み込んで、周波数が増えたときに、電流 I_{all} の位相がどのように変化するのか、さらにインピーダンスとの関係を考えてみましょう。この話は後述の「周波数特性」と深く関係しています。さて、

- ① 抵抗に流れる電流 I_R の位相は $+0^\circ$ (電圧と同じ位相)
- ② コンデンサに流れる電流 I_C の位相は $+90^\circ$ (周波数が増えても $+90^\circ$ のまま)

ですが、この抵抗/コンデンサはそれぞれ、電流を妨げる要素であるインピーダンスのうち、

- ① 抵抗 \Rightarrow 純抵抗相当量
- ② コンデンサ \Rightarrow リアクタンス相当量になります。

● 周波数が増えたときに合成電流 I_{all} の位相はどのように変化するのか

図5-1では交流電圧源の周波数を 50 Hz だとしました。これが 0.5 Hz、5 Hz、50 Hz、500 Hz、5 kHz (5000 Hz) となったときの純抵抗量、コンデンサのリアクタンス量、電流量 $I_R/I_C/I_{all}$ 、そして I_{all} の位相について、表5-1に計算してみました。ポイントは下記のとおりです。

- 周波数が増えっても純抵抗量は変化しない

純抵抗 ▶ 直流/交流(さらに周波数)に関わりなく、電流を妨げる量がいつも一緒で、電圧と抵抗に流れる電流との間の位相関係も 0° となるもの。電力を消費する。