

第 2 章

交流回路素子とその性質：抵抗，コイル，コンデンサ

ここから時間的に正弦波振動する電圧や電流，即ち交流を扱う．直流の場合，コイルは単なる導線，コンデンサは絶縁体である．これに対し，時間的に変動する電圧や電流の場合には，コイルやコンデンサは単なる導線や絶縁体とはならないことを既に電磁気学で学んでいるはずである．

本章では，電圧や電流の時間的変動を正弦波の場合に特化した場合，即ち一般的に言われている交流電圧や交流電流に特化した場合に，これらの回路素子の電流と電圧の関係が次のようになることを学ぶ．即ち，周波数を ω ^{*1}，電圧波形の振幅を V_m ，電流波形の振幅 I_m とすると，

- 抵抗 R の場合，振幅は，

$$V_m = R I_m$$

となる．また，電圧波形は電流波形と同じ位相 (同相) となる．

- コイル L の場合，振幅は，

$$V_m = \omega L I_m$$

となる．また，電圧波形は電流波形よりも位相が 90° 進んだ波形となる．

- コンデンサ C の場合，振幅は，

$$V_m = \frac{I_m}{\omega C}$$

となる．また，電圧波形は電流波形よりも位相が 90° 遅れた波形となる．

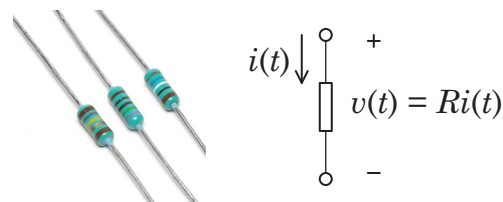


図 2.1 抵抗 [1].

2.1 各種の回路素子

2.1.1 抵抗 (resistor)

抵抗 (resistor) は，図 2.1 の写真に示すような回路素子であり [1]，電流に比例した電圧が端子間に現れる回路素子である．抵抗の両端に印加された電圧 $v(t)$ と抵抗に流れる電流 $i(t)$ の間には，以下の関係があり，オームの法則と呼ばれている．

$$v(t) = R i(t). \quad (2.1)$$

ここで， R を抵抗値 (resistance) という．単位は， Ω (オーム, Ohm) である．日本語では，抵抗値のことを単に抵抗と称する場合が多い．

既に紹介したように，抵抗値の逆数をコンダクタンス (conductance) という (単位は S (ジーメンズ, Siemens)). コンダクタンスで表した素子はコンダクタと呼ぶべきかもしれないが，一般には，この場合も抵抗と呼ばれている．

2.1.2 コイル (inductor)

コイル (inductor) は，図 2.1 の写真に示すような回路素子であり [2]，電流の微分に比例した電圧が端子間に現れる素子である．日本語ではコイルであるが，英語で

^{*1} 厳密には，「角周波数」と言うべきであるが， ω という記号を使って「周波数」と言った場合には，角周波数のことだと思って欲しい．

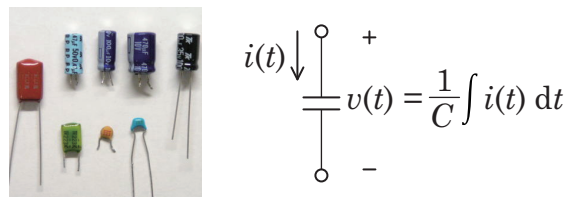


図 2.3 コンデンサ (キャパシタ) [3].

費電力が負である，とは，電力がその回路素子から供給されることを意味する．無から電力が供給されることは無いので，この状況は，回路素子に投入した電力がその回路素子で反射されてしまうことを意味する．本節では，抵抗，コイル，コンデンサの各素子に対してこのことを検証する．

なお、交流回路では、この反射を抑制し、効率良く電力を負荷に供給するための方策をとることになる。この方策を理解するためには、本講義で学ぶ交流回路理論の学習が必要なのである。

2.2.1 抵抗

抵抗 R に流れる電流を $i(t)$ とするとき，抵抗での消費電力 $p_R(t)$ は次式で与えられる．

$$p_{\text{R}}(t) = Ri(t)^2. \quad (2.4)$$

従って、抵抗での消費電力は常に正であることがわかる。

2.2.2 コイルとコンデンサ

コイル L に流れる電流を $i(t)$ とするとき，コイルでの消費電力 $p_L(t)$ は，天下りの的であるが，次式で与えられる．

また、コンデンサ C の電圧を $v(t)$ とするとき、コンデンサでの消費電力 $p_C(t)$ は、天下り的であるが、次式で与えられる。

これらの式より，具体的な $i(t)$ や $v(t)$ の波形がわかっていなくても，コイルとコンデンサについては，抵抗と異なり， $i(t)$ や $v(t)$ の時間的変化の仕方によっては消費電力が負になり得る，ということが読み取れると思う．即ち，抵抗では交流の場合も電力は消費だけであるが，コ

2.2 回路素子における電力とエネルギー

抵抗の場合には、電力は消費されるだけ、即ち電力は常に正であるが、コイルとコンデンサの場合には、電力が消費されるだけとは限らず、負になることもある。消

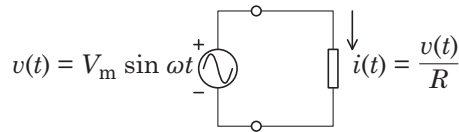


図 2.4 正弦波交流電圧が印加された抵抗.

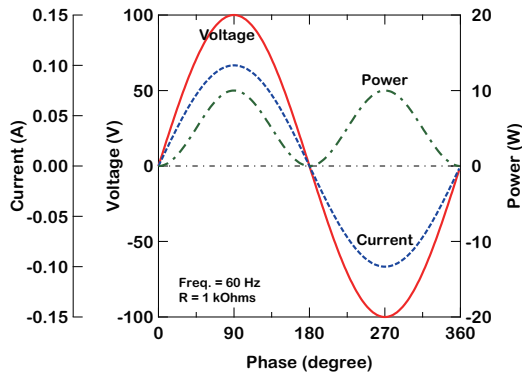


図 2.5 抵抗の電圧・電流波形. 参考までに, 電力の波形も示してある. $V_m = 100 \text{ V}$, $f = \omega/(2\pi) = 60 \text{ Hz}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$ とした.

イルとコンデンサについては, 交流の場合には, 電力の反射が起こり得るのである.

2.3 回路と微分方程式～回路素子が一つの場合～

2.3.1 正弦波交流における抵抗の電流と電圧の関係

図 2.4 に示すような回路において, 電源電圧 $v(t)$ が

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (2.7)$$

で与えられるとき, 流れる電流 $i(t)$ は,

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} \quad (2.8)$$

$$= \frac{V_m}{R} \sin \omega t \quad (2.9)$$

$$= I_m \sin \omega t \quad (2.10)$$

となる. この挙動をまとめると, 以下のようになる.

周波数 ω (変化しない)

振幅 $I_m = \frac{V_m}{R}$

電圧に対する電流の位相差 $\theta = 0$

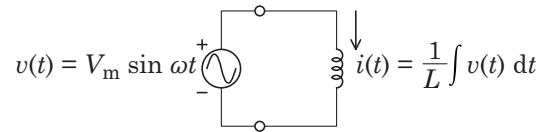


図 2.6 正弦波交流電圧が印加されたコイル.

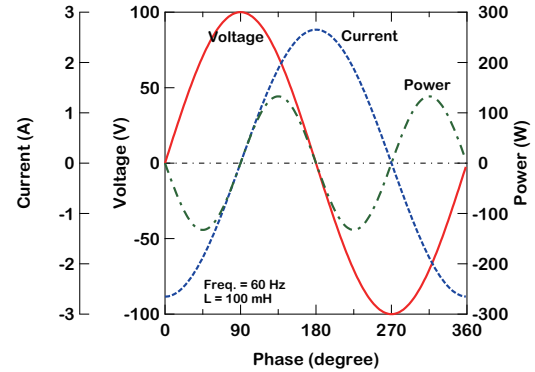


図 2.7 コイルの電圧・電流波形. 参考までに, 電力の波形も示してある. $V_m = 100 \text{ V}$, $f = \omega/(2\pi) = 60 \text{ Hz}$, $L = 100 \text{ mH}$ とした.

このように位相差がゼロであることを電気回路学では「同相である」と表現する.

以上の結果を図示すると, 図 2.5 のようになる. 電圧波形と電流波形に位相差が無いため, 振幅のみが異なる. なお, 単位が異なる物理量の波形を比べているため, 振幅が異なる, ということ自体には実際には意味が無い, ということに留意されたい.

2.3.2 正弦波交流におけるコイルの電流と電圧の関係

図 2.6 に示すような回路において, 電源電圧 $v(t)$ が

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (2.11)$$

で与えられるとき, 流れる電流 $i(t)$ は,

$$i(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt \quad (2.12)$$

$$= -\frac{V_m}{\omega L} \cos \omega t \quad (2.13)$$

$$= I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.14)$$

となる. ここで, $\cos$ を $\sin$ に直したのは, 電圧と電流を同じ関数で表したときの位相差を見るためである. この挙動をまとめると, 以下のようになる.

周波数 ω (変化しない)

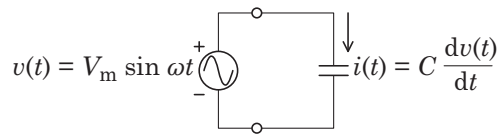
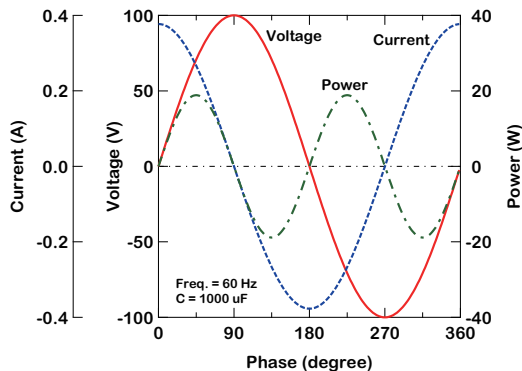


図 2.8 正弦波交流電圧が印加されたコンデンサ。

図 2.9 コンデンサの電圧・電流波形．参考までに，電力の波形も示してある． $V_m = 100 \text{ V}$ ， $f = \omega/(2\pi) = 60 \text{ Hz}$ ， $C = 1000 \mu\text{F}$ とした．

$$\text{振幅 } I_m = \frac{V_m}{\omega L}$$

$$\text{電圧に対する電流の位相差 } \theta = -\frac{\pi}{2} = -90^\circ$$

このように位相差が負の場合を電気回路学では「位相が遅れている」と表現する．即ち，コイルの場合，電流波形は，電圧波形に対して 90° 位相が遅れている，という．逆に，コイルの場合，電圧波形は，電流波形に対して 90° 位相が進んでいる，ということもできる．

この関係を実際の波形で図示すると，図 2.7 のようになり，電圧に対して，電流波形が 90° だけ位相が遅れていることがわかる．

消費電力に注目すると，電圧，電流の両方が正，または両方が負の場合には，電圧と電流の積で計算される電力は正となり電力の消費が行われているが，電圧と電流が異符号の場合には，その積が負となるため電力がコイルから電源に戻っていることを意味する．理論式を時間的に平均すれば，コイルでの電力消費は無いことが確認できるが，図からもそのことが読み取れる．但し，これは理想的なコイルの場合である．現実のコイルの場合には，巻き線の抵抗（極めて小さい直列抵抗）による電力消費がともなう．

2.3.3 正弦波交流におけるコンデンサの電流と電圧の関係

図 2.8 に示すような回路において，電源電圧 $v(t)$ が

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (2.15)$$

で与えられるとき，流れる電流 $i(t)$ は，

$$i(t) = C \frac{d}{dt} v(t) \quad (2.16)$$

$$= \omega C V_m \cos \omega t \quad (2.17)$$

$$= I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.18)$$

となる．ここで， $\sin$ を $\cos$ に直したのは，電圧と電流を同じ関数で表したときの位相差を見るためである．この挙動をまとめると，以下ようになる．

周波数 ω (変化しない)

振幅 $I_m = \omega C V_m$

電圧に対する電流の位相差 $\theta = +\frac{\pi}{2} = +90^\circ$

位相に着目すると，コンデンサの場合，電流波形は，電圧波形に対して 90° 位相が進んでいる，或いは，コンデンサの場合，電圧波形は，電流波形に対して 90° 位相が遅れているとなる．

この関係を実際の波形で図示すると，図 2.9 のようになり，電圧に対して，電流波形が 90° だけ位相が進んでいることがわかる．*2

この場合も，消費電力に注目すると，電圧，電流の両方が正，または両方が負の場合には，電圧と電流の積で計算される電力は正となり電力の消費が行われているが，電圧と電流が異符号の場合には，その積が負となるため電力がコンデンサから電源に戻っている．この場合も，電力の理論式を時間的に平均すれば，コンデンサでの電力消費が無いという結論を得ることができる．但し，これもまた理想的なコンデンサの場合である．現実のコンデンサの場合には，コンデンサの電極間に存在する抵抗（極めて大きい並列抵抗）による電力消費がともなう．

*2 二つの波形の位相の「遅れ」と「進み」を，右側の波形が進んでいる，という風に間違える人がいる（筆者も）．間違えないようにするには，例えば，電圧や電流の値が正のピークを迎える位相（時刻に対応）を比較する．図 2.9 の場合，電流は，位相が 0° でそうなる．一方，電圧は，位相が $+90^\circ$ まで進展した後にそうなる（ $t=0$ ではまだそうになってない）．即ち，電圧より電流の方が進んでいる，となる．

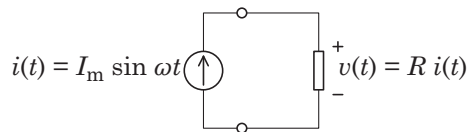
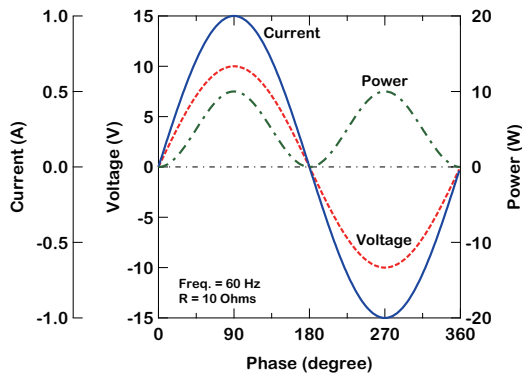


図 2.10 正弦波交流電流を流された抵抗.

図 2.11 抵抗の場合の電流に対する電圧と電力の波形.
 $I_m = 1 \text{ A}$, $f = \omega/(2\pi) = 60 \text{ Hz}$, $R = 10 \Omega$ とした.

2.4 「電流に対する電圧」で見た場合

前節までは、電源として電圧源を設定し、その電圧に対して素子に流れる電流がどうなるか、を示した. ここでは、電源として電流源を設定し、その電流に対して素子にかかる電圧がどうなるか、を示す. 電圧波形と電流波形の関係は相対的なものであるから、「電圧に対する電流」と「電流に対する電圧」は、全く同じである. 従って、記憶するのであれば、好きな方を記憶すればよい^{*3}.

2.4.1 抵抗 R

図 2.10 に示すような回路において、電流源の電流が

$$i(t) = I_m \sin \omega t \quad (2.19)$$

で与えられるとき、抵抗に印加される電圧 $v(t)$ は、

$$v(t) = R i(t) \quad (2.20)$$

$$= R I_m \sin \omega t \quad (2.21)$$

$$= V_m \sin \omega t \quad (2.22)$$

となる. このように位相差がゼロであることを電気回路学では「同相である」と表現する. この関係をまとめ

^{*3} 読めばわかるが、ほとんど先の場合のコピペとなる. 筆者の場合は、どちらかという「電流に対する電圧」の関係の方が自分の記憶内容を支配しているようである.

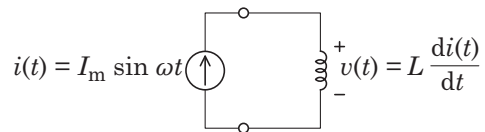
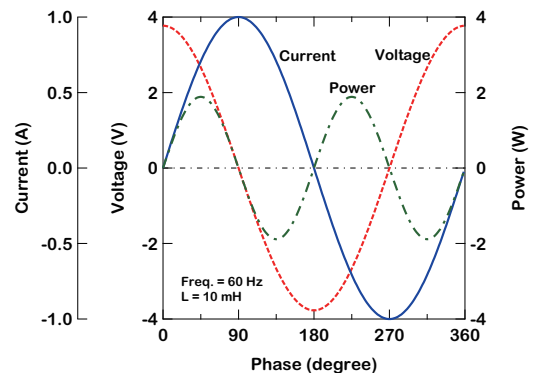


図 2.12 正弦波交流電流を流されたコイル.

図 2.13 コイルの場合の電流に対する電圧と電力の波形.
 $I_m = 1 \text{ A}$, $f = \omega/(2\pi) = 60 \text{ Hz}$, $L = 10 \text{ mH}$ とした.

ば、以下のようになる.

周波数 ω (変化しない)

振幅 $V_m = R I_m$

電流に対する電圧の位相差 $\theta = 0 = 0^\circ$

以上の結果を図示すると、図 2.11 のようになる. 電圧波形と電流波形に位相差が無いと、振幅のみが異なる. なお、単位が異なる物理量の波形を比べているため、振幅が異なる、ということ自体には実際には意味が無い、ということに留意されたい.

2.4.2 コイル L

図 2.12 に示すような回路において、電流源の電流が

$$i(t) = I_m \sin \omega t \quad (2.23)$$

で与えられるとき、コイルに印加される電圧 $v(t)$ は、

$$v(t) = L \frac{d}{dt} i(t) \quad (2.24)$$

$$= \omega L I_m \cos \omega t \quad (2.25)$$

$$= V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.26)$$

となる. ここで、 $\cos$ を $\sin$ に直したのは、電圧と電流を同じ関数で表したときの位相差を見るためである. この関係をまとめれば、以下のようになる.

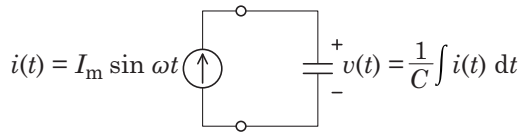


図 2.14 正弦波交流電流を流されたコンデンサ.

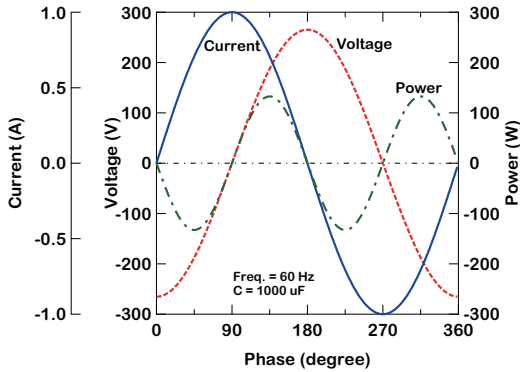


図 2.15 コンデンサの場合の電流に対する電圧と電力の波形. $I_m = 1 \text{ A}$, $f = \omega/(2\pi) = 60 \text{ Hz}$, $C = 10000 \mu\text{F}$ とした.

周波数 ω (変化しない)

振幅 $V_m = \omega L I_m$

電流に対する電圧の位相差 $\theta = +\frac{\pi}{2} = +90^\circ$

波形の関係を図示すれば，図 2.13 のようになる．即ち，

コイルの電圧波形は，電流波形に対して位相が 90° 進んだ波形

となる．

2.4.3 コンデンサ C

図 2.14 に示すような回路において，電流源の電流が

$$i(t) = I_m \sin \omega t \quad (2.27)$$

で与えられるとき，抵抗に印加される電圧 $v(t)$ は，

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (2.28)$$

$$= -\frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t \quad (2.29)$$

$$= V_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.30)$$

となる．ここで， $\cos$ を $\sin$ に直したのは，電圧と電流を同じ関数で表したときの位相差を見るためである．この関係をまとめれば，以下ようになる．

周波数 ω (変化しない)

振幅 $V_m = \frac{I_m}{\omega C}$

電流に対する電圧の位相差 $\theta = -\frac{\pi}{2} = -90^\circ$

波形の関係を図示すれば，図 2.15 のようになる．即ち，

コンデンサの電圧波形は，電流波形に対して位相が 90° 遅れた波形

となる．

2.5 回路と微分方程式～回路素子が複数の場合～

前節では，回路素子が一つだけの場合を取り扱った．ここでは，図 2.16 のように複数の回路素子が接続された場合を取り扱う．但し，本節の目的は，微分積分が混在する回路方程式を解くことがどれだけ煩雑で面倒くさいことであるか，ということを知ることである，ということを知りたい．次の章では，正弦波交流のみを扱う場合には，フェーザと呼ばれる概念を導入することによって，こうした複雑な微分積分方程式を解かずに，四則演算のみで必要とする回路の諸量を算出することができる，ということを学ぶ．フェーザというものの御利益を認識して頂くために，どれくらい面倒くさいのかを知って頂くのが本節の目的である．

図 2.16 において，正弦波電流 $i(t)$ が回路に流れるときに，回路全体の電圧 $v(t)$ が如何なる波形になるか，という問題を設定してみる．

回路素子を直列接続すれば，それぞれの素子の電圧の和が全体の電圧であるから，次式が成り立つ．

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{d}{dt} i(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt. \quad (2.31)$$

この式において， $i(t) = I_m \sin \omega t$ が与えられたときに， $v(t)$ がどうなるかを知ることが回路方程式を解く，という作業になる．

このタイプの微分方程式は，一般に以下のような解を持つことが数学的にわかっている．

$$v(t) = v_f + v_s. \quad (2.32)$$

ここで，

$$v_f = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \quad (2.33)$$

$$v_s = V_m \sin(\omega t + \theta) \quad (2.34)$$

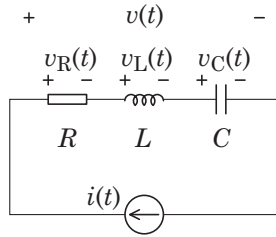


図 2.16 正弦波交流電流源が接続された抵抗，コイル，コンデンサの直列回路.

である． v_f は自由振動項と呼ばれ，通常は $t \rightarrow \infty$ で 0 となる．いわゆる「過渡状態」を表す項である．この項を重点的に扱うのが「過渡現象論」であるが，前期の電気回路学基礎ではこの単位にはまだ触れない． v_s は強制振動項と呼ばれ， $t \rightarrow \infty$ でも残る項である．これは「定常状態」を表す項であり，電気回路学基礎ではこの定常状態のみを扱う．

定常状態を求めることに限定すると， $v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$ の V_m と θ を求める問題に帰着する． $i(t)$ を式 (2.31) に代入すると，解くべき式は，以下のようになる．

$$v(t) = I_m \left[R \sin \omega t + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \cos \omega t \right]. \quad (2.35)$$

この形にすることによって，電圧の振幅 V_m と，電流に対する電圧の位相差 θ を求めることができる．即ち，

$$V_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}, \quad (2.36)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \right) \quad (2.37)$$

となる．途中をすっ飛ばしているが，それでも煩雑な計算をしている．フェーザを導入することによって，こうした複雑な数学的作業が全て四則演算という作業で済む，ということを次の章で学ぶ．

豆知識

豆知識

何故，コイル（インダクタンス）は L で表すのか？ [4]

The term 'inductance' was coined by Oliver Heaviside in February 1886. It is customary to use the symbol L for inductance, in honor of the physicist Heinrich Lenz. In the SI system the measurement unit for inductance is the henry, H, named in honor of the scientist who discovered inductance, Joseph Henry.

豆知識

何故，電流 (**current**) は I や i で表すのか？ [5]

The conventional symbol for current is I , which originates from the French phrase *intensité de courant*, or in English *current intensity*. This phrase is frequently used when discussing the value of an electric current, but modern practice often shortens this to simply *current*. The I symbol was used by Andre-Marie Ampere, after whom the unit of electric current is named, in formulating the eponymous Ampere's force law which he discovered in 1820. The notation travelled from France to Britain, where it became standard, although at least one journal did not change from using C to I until 1896.

豆知識

sin と cos の復習

もしも三角関数を三角形の辺の比率であるという定義で習った場合には，その定義の仕方は捨てて欲しい。本来， $\sin, \cos$ は半径 1 の円周を図 2.17 のように所定の角度だけ回転したときの座標の x 軸と y 軸の値なのである。ここから派生的に三角形の辺の比率となっているに過ぎない。電気回路では上記の定義の方が，位相の遅れや進みを理解し易いと思う。

$\sin$ 関数を微分すると以下のように $\cos$ になる。

$$\frac{d}{d\theta} \sin \theta = \cos \theta = \sin \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.38)$$

これは，位相が 90° 進むことに相当する。

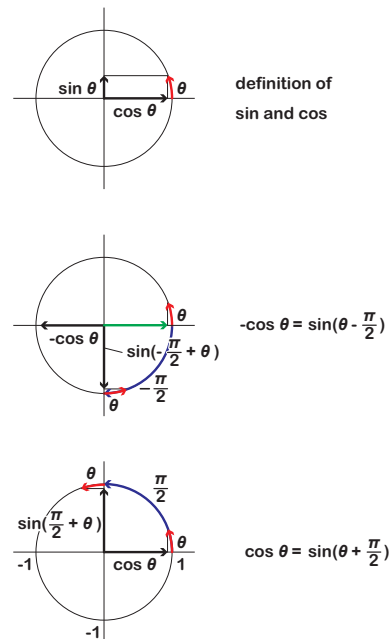


図 2.17 $\cos$ は $\sin$ の 90° 位相が進んだ関数である。

$\sin$ 関数を積分すると以下のように $-\cos$ になる。

$$\int \sin \theta \, d\theta = -\cos \theta = \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.39)$$

これは，位相が 90° 遅れることに相当する。

豆知識

日本のカタカナ学術用語はガラパゴス

ゲルマン語圏，ラテン語圏ではない日本人にとって，英語の発音をきちっとするためには，訓練が必要である。しかし，訓練ではどうにもならないのが，「そもそも，それ違うし…」という間違いである。

これは，日本で学習したカタカナ学術用語が，英語と同じゲルマン系だがドイツやオランダなどの発音が少し異なる国から輸入されたり，ゲルマン系とは異なるポルトガルなどのラテン系から輸入されたりしているためである。したがって，英語ではスペルまで違うのに，頑張って英語風に発音しても，それは全く意味が無い。

電気回路のコイルやコンデンサがそれに該当する。これらはドイツ語から来た外来語である。英語では，それぞれ，**inductor**, **capacitor** である。

表 2.1 に代表的なものを列挙したので参考にして欲しい。

表 2.1 日本人が間違えやすいカタカナ学術用語の英語.

日本語	英語	擬似発音 *1	参考
コイル	inductor	インダクター	*2
コンデンサ	capacitor	キャパシター	condensare (オランダ語) から. 英語圏の condenser は液化器を指す.
カリウム	potassium	ポタシウム ポタシウムにあ らず	kalium (ドイツ語) から.
ナトリウム	sodium	ソディウム	natrium (ドイツ語, オランダ語).
チタニウム	titanium	タイテイニウム	*3
アルミニウム	aluminum	アルミナム	*3
マグネシウム	magnesium	マグネージウム	*3
ゲルマニウム	germanium	ジャーメイニウム	*3
ネオン	neon	ニオン	*3
キセノン	xenon	ジノン	*3
ウラン	uranium	ユーレイニウム	*3
イオン	ion	アイオン	同スペルのドイツ語発音から
アニオン	anion	アナイオン	同スペルのドイツ語発音から
カチオン	cation	カタイオン	類似スペルのドイツ語 (kation) から

*1 表中の英語のカタカナ発音は, あくまでも参考までに記したものであり, 正しい発音を耳で聞いて身につけて下さい.

*2 日本語と英語で異なることになってしまった原因をまだ知らない.

*3 元素名を決めるときにラテン語系で名前が付けられたが, それを英語発音するようになってしまっているのだと推測.

事前基盤知識確認事項

[1] コイルの誘導電圧

インダクタンスが L のコイルに時間変動する電流 $i(t)$ を流したとき，コイルの両端に現れる電圧 $v(t)$ を表す式を書け．

略解

前提となる知識は以下の通りである．

- コイルには電流の時間変化（時間微分）に比例した電圧が発生する．その比例係数がインダクタンスである．

これを式で表せば以下ようになる．

$$v(t) = L \frac{d}{dt} i(t). \quad (2.40)$$

自己誘導の更に詳しい説明については，第8章の豆知識を参照されたし．

[2] コンデンサの充電電圧

キャパシタンスが C のコンデンサに時間変動する電流 $i(t)$ を流したとき，コンデンサの両端に現れる電圧 $v(t)$ を表す式を書け．

略解

前提となる知識は以下の二つである．

- コンデンサの端子間の電圧 $v(t)$ は，蓄積された電荷量 $q(t)$ に比例したものとなる．その比例係数がキャパシタンスである．これを式で書けば以下のようなになる．

$$q(t) = Cv(t). \quad (2.41)$$

- 電流とは，ある断面を単位時間あたりに通過する電荷量である．従って，電流を時間で積分すれば，通過した全電荷量となる．これを式で書けば以下のようなになる．

$$q(t) = \int i(t) dt. \quad (2.42)$$

これらより，次式が得られる．

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt. \quad (2.43)$$

[3] 正弦波の微分と積分

$\sin \omega t$ を t で微分，あるいは積分した関数は $\cos$ で表される関数になることは受験勉強でやっていると思う．電気回路では， $\sin$ の微分や積分が $\cos$ や $-\cos$ になるという見方をするのではなく， $\sin$ の位相が 90° 進んだものになる，あるいは 90° 遅れたものになる，という見方をする．そうなることを確認せよ．

略解

$$\frac{d}{dt} \sin \omega t = \omega \cos \omega t = \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.44)$$

$$\int \sin \omega t dt = -\frac{1}{\omega} \cos \omega t = \frac{1}{\omega} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.45)$$

本章では位相の進みと遅れとして現れるのは $\pm 90^\circ$ だけであるが，回路素子が組み合わせられれば，様々な位相のずれが発生する．これについては，次の章以降で学習する．

事後学習内容確認事項

1. 回路素子の電圧と電流の関係 (一般形)

抵抗 R , コイル L , コンデンサ C にかかる電圧 $v(t)$ と流れる電流 $i(t)$ の関係を書け.

略解

抵抗 R の場合,

$$v(t) = Ri(t)$$

となる.

コイル L の場合,

$$v(t) = L \frac{d}{dt} i(t)$$

となる.

コンデンサ C の場合,

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

となる.

2. 回路素子の電圧と電流の関係 (正弦波)

正弦波交流の場合に, 抵抗 R , コイル L , コンデンサ C にかかる電圧の波形と流れる電流の波形の関係を書け. また, 電圧波形に対する電流波形の位相のずれがどうなるかを示せ.

略解

回路素子に流れる電流の波形を

$$i(t) = I_m \sin \omega t$$

とすると,

抵抗 R の場合,

$$v(t) = RI \sin \omega t$$

となり, 電圧波形は電流波形と同相となる.

コイル L の場合,

$$v(t) = \omega L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

となり, 電圧波形は電流波形に対して 90° だけ位相が進んでいる.

コンデンサ C の場合,

$$v(t) = \frac{1}{\omega C} I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

となり, 電圧波形は電流波形に対して 90° だけ位相が遅れている.

参考文献

- [1] <http://ja.wikipedia.org/wiki/抵抗器>
- [2] <http://ja.wikipedia.org/wiki/インダクタ>
- [3] <http://www51.tok2.com/home/toosts/mame.htm>
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Inductance>
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_current