

## EM2 02 交流素子

壁のコンセントからは 100 V, 50(60) Hz の交流電圧が供給される。建物の設備や工場には 6600 V の交流が供給される。ジェット旅客機では 400 Hz の交流を用いる。こうした環境のために、交流回路がひろく利用されている。交流回路で用いるコンデンサーやコイルなどの素子の作用と、交流の基本を学ぶのが本節の目的である。

### 【交流】

「交流」は「交番電流」の略語で、時間的に流れの向きが交代する電流を指す。ふつうは電流がサイン関数的に振動するときに交流電流という。電流がある一定値（0 でなくてもよい）のまわりにサイン関数で振動することもある。このとき、振動の中心の値を直流成分といい、サイン関数的な変化をする部分を交流成分という。

電流に限らず、信号波形に対しても交流成分・直流成分ということもある。電圧の交流成分・直流成分という言い方をする。また交流電圧は電圧波形が 0 のまわりにサイン関数的に変化する。

交流は AC と略し(alternating current), 直流は DC と略す(direct current).

### 【サイン波形】

ある時刻 $t$ における電流の値が

$$I(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi)$$

のとき、 $I_0$  を振幅、 $\omega$  を角周波数、 $\phi$  を初期位相という。 $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$  となる $\nu$ (ニュー)は周波数、 $T$  は周期である。同じ波形をコサイン関数で表すこともできる。そのときの初期位相はサイン関数の初期位相と 90 度ずれる。

### 【実効値】

交流の振幅の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍を実効値という。電気関係の分野では、交流の大きさを表現するとき実効値を用いるのが普通である。たとえば 100V の交流といえば、振幅が 141V の交流電圧である。

実効値のことを rms 値ということもある。rms は 2 乗平均 (2 乗してから平均をとったもの, root mean square) の略である。実際、 $I(t) = I_0 \sin(\omega t) = I_0 \sin(\frac{2\pi}{T}t)$  を 2 乗し 1 周期にわたって平均する (1 周期の積分を  $T$  で割る) と

$$\frac{1}{T} \int_0^T I(t)^2 dt = \frac{I_0^2}{T} \int_0^T \sin^2 \frac{2\pi}{T}t dt = \frac{I_0^2}{2}$$

である。

### 【交流電力】

どのような素子であっても、両端に加えた電圧と流れた電流の積は、その瞬間に投入される電氣的なパワーに等しい。パワーはある瞬間の値として定義されるので、電流や電圧が時間的に変動していても適用できる：

$$P(t) = I(t)V(t)$$

本節で学ぶ交流素子 (コンデンサー, コイル, 抵抗とそれらの組み合わせ) では、純抵抗の場合を除いて、加わる電圧と流れる電流に位相差がある。位相差を  $\delta$  と書くと

$$P(t) = I_0 V_0 \sin(\omega t) \sin(\omega t + \delta)$$

位相差の値により、素子に投入されるパワーが正にも負にもなる。パワーを 1 周期にわたり積分して正となれば、その素子に投入された電氣的エネルギーの正味が正である。

### 【抵抗】

抵抗は、どの瞬間にもオームの法則が成り立つとする。したがって

$$V(t) = R I(t)$$

であり、抵抗に加わる電圧と抵抗を流れる電流の位相が等しい。このため抵抗に供給されるパワーは常に正となる。

実際の抵抗は、その構造にもよるが、コイルのように自己インダクタンスをもつこともある。しかし回路図に記載するものは純粋な抵抗である。

抵抗は、抵抗値と定格電力 (ジュール熱による発熱を何ワットまで許容できるか) により適正なものを選択する。

### 【コンデンサー】

コンデンサーの電極間を電流が流れることはない（使用法を誤ると流れて破壊に至ることがある）。だが、電極の電荷が時間的に変化するとき、電荷保存則により外部から電流の流入がある。各電極が電荷 $\pm Q$ をもち、その時間的変化の割合が $\pm \frac{dQ}{dt}$ のとき、片方の電極から $I = \frac{dQ}{dt}$ が流出し他方の電極には同じ量の電流が入る。こうしてコンデンサーの電極間をあたかも電流が流れているように見える。コンデンサーを「流れる」電流と蓄積される電荷の間には

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

の関係がある。コンデンサーの容量が

$$C = \frac{Q}{V}$$

のとき、コンデンサーの両端に加わる電圧 $V$ と流れる電流 $I$ の関係は

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

となる。

コンデンサーに加わる交流電圧が

$$V(t) = V_0 \sin(\omega t)$$

のとき、流れる交流電流は

$$I(t) = \omega C V_0 \cos \omega t = I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \quad I_0 = \omega C V_0$$

電流と電圧は位相が 90 度異なる。

電流と電圧の振幅を比較すると  $I_0 = \omega C V_0$ 。「抵抗」と比較するために、電圧÷電流を計算すると $\frac{1}{\omega C}$ となる。コンデンサーに角周波数 $\omega$ の交流を流すとき、加える電圧が同じなら $\omega \times C$ の値が小さいほど $\frac{1}{\omega C}$ が大きくなり電流は流れにくい（直流すなわち $\omega=0$ ならば電流は流れない）。 $\frac{1}{\omega C}$ をコンデンサーのリアクタンスと呼ぶ。容量の単位は F(ファラド)、角振動数の単位は(1/s あるいは rad/s)、このときリアクタンスの単位は $\Omega$ （オーム）である。

抵抗では電氣的なエネルギーが消費されるが、コンデンサーではエネルギーの消費が 0 である。実際、パワーの瞬時値は

$$P(t) = I(t)V(t) = \frac{1}{2} \omega C V_0^2 \sin(2\omega t)$$

であり、1 周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ に間に $P(t)$ は 2 回振動し、蓄えられるエネルギーが正のときと負のときがあり、その両方が等しいので、コンデンサーに電流が流れても時間平均をとると消費される電力が 0 である。

### 【コイル】

コイルは導線を巻いたものだから、直流を通し、理想的には直流抵抗が 0 となる。交流では、発生する誘導起電力を打ち消すために電圧を加えないと電流が流れない。コイルの自己インダクタンスを $L$ とする（単位は H(ヘンリー)）と、流れる電流と加える電圧の関係は

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

である。交流電流が $I_0 \cos \omega t$ のとき、両端の交流電圧は

$$V = -L\omega I_0 \sin \omega t = I_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

となる。

コンデンサーのリアクタンスに対応して、 $\omega L$ をコイルのリアクタンスという。 $\omega$ が大きいかほど電流が流れにくい。

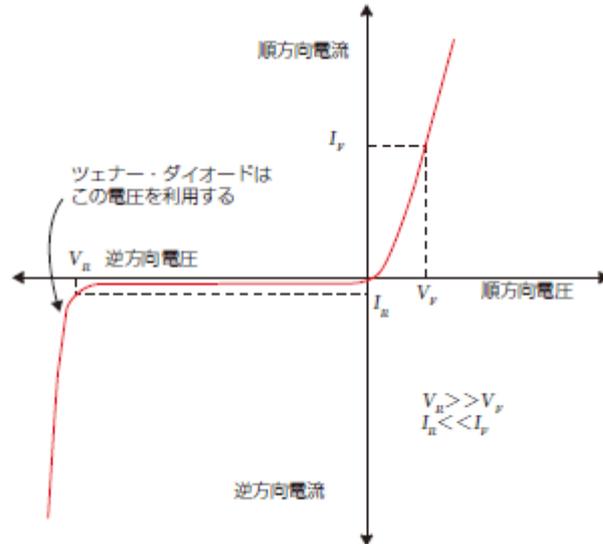
コイルの電流と電圧は 90 度位相がずれているが、コンデンサーの場合と反対向きのずれである。

1 周期にわたりコイルに蓄積されるエネルギーを計算すると 0 となる。

### 【ダイオード】

半導体ダイオードは2種類の半導体を接合した構造となっており、素子を通過する電流の向きにより抵抗が著しく異なる（順電流と逆電流）。整流用ダイオードは、交流から直流を作り出すために用いる。発光ダイオード（LED）は、ダイオードの接合面からの発光を用いる。トランジスタはダイオードを組み合わせた構造となっていて、制御用の端子から注入する電流により素子を通過する電流を変える。

定電圧ダイオード（ツェナーダイオード）は、逆方向の電圧が一定値を超えると急激に抵抗が下がることを利用して定電圧源に用いる。



### 【回路図中の記号】

	1セルの電池		ダイオード
	スイッチ		電流計
	電球		電圧計
	抵抗		サーミスター (温度で抵抗が変わる)
	可変抵抗		光依存性抵抗 (LDR)
	ヒューズ		発光ダイオード (LED)
	発熱体		表示ランプ
	電池		

<http://homepage1.nifty.com/x6/elecmake/parts/elecpart2.htm>

### 【注意】

電流計は、ある枝を流れる電流を測定する装置で、その枝の他の素子と直列に接続する。理想的な電流計は抵抗が0であるが、実際には抵抗が無視できない。

電圧計は、ある2点間の電圧を測定する装置で、その2点間の回路網と並列に接続する。理想的な電圧計は抵抗が無量大。