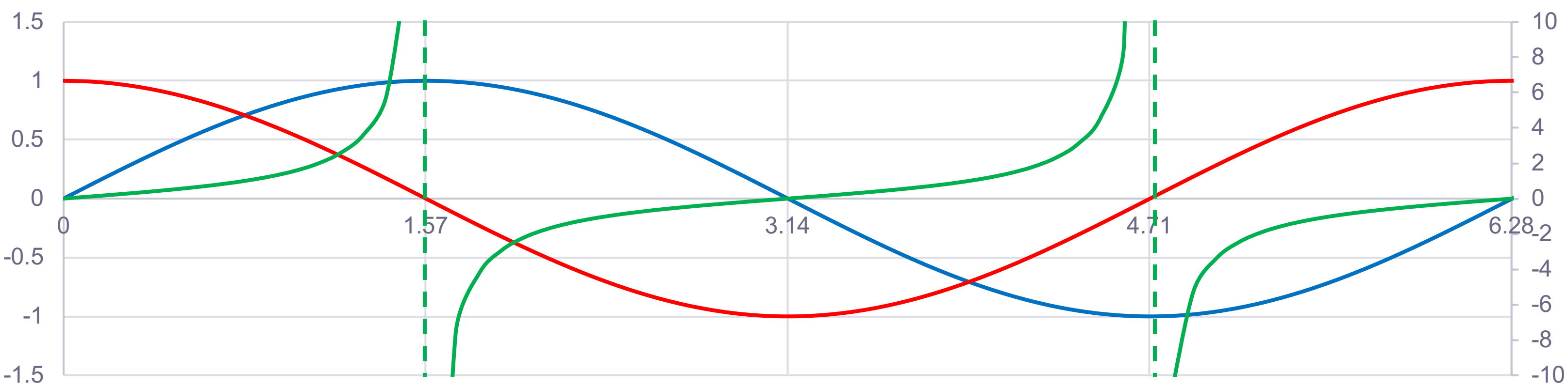
自然科学Ⅱ（物理学）

第5回

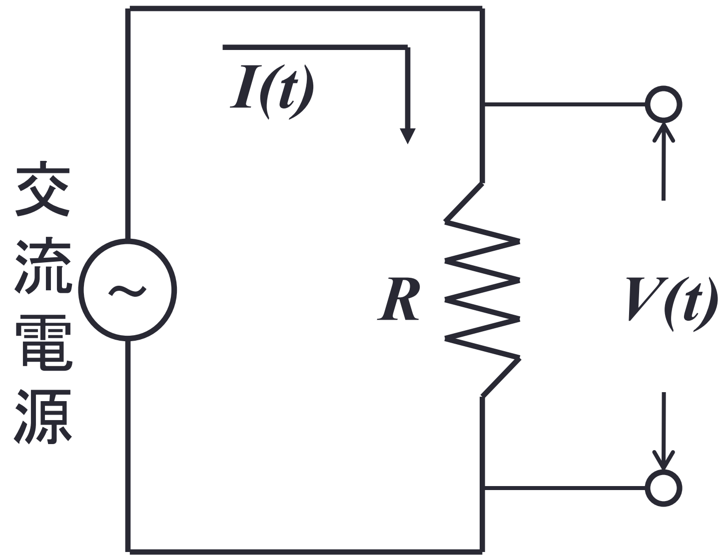
白倉 尚貴

θ	$0°$	$30°$	$45°$	$60°$	$90°$	$120°$	$135°$	$150°$	$180°$
rad	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	π
$\sin\theta$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\cos\theta$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1
$\tan\theta$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	$(\pm\infty)$	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	0



抵抗だけの交流回路

交流発電機によって得られた
交流電源を～であらわし、抵抗R
を接続した回路を右図に示す

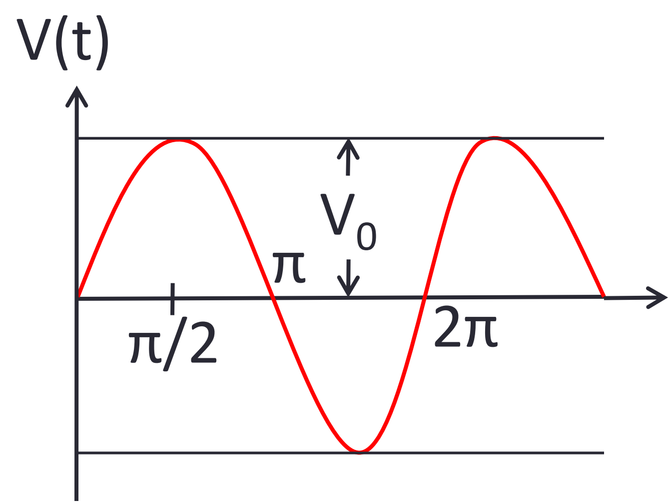


このときRの両端の電圧$V(t)$は

$$V(t) = V_0 \sin \omega t \ \ (\omega = 2\pi f)$$

抵抗Rに流れる電流$I(t)$はオームの
法則より

$$I(t) = \frac{V(t)}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t$$

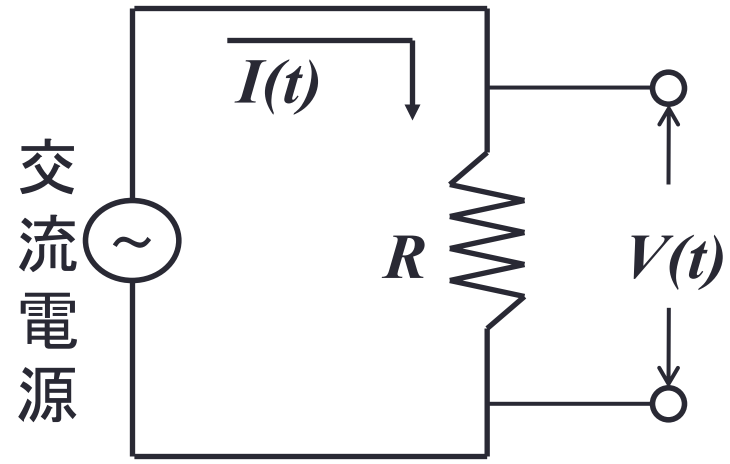


復習1

右図のような回路に、交流電源が接続されている。以下の①~④の場合について、時刻が開始点より$\pi/6$[s]進んだ時の電流の値はいくらか。

① 交流電源の最大値V_0を8[V]、周波数fを$1/2\pi$[Hz]、抵抗Rを4[Ω]

② 交流電源の最大値V_0を7[V]、周波数fを$1/2\pi$[Hz]、抵抗Rを1[Ω]



復習1解答

解答

①

$$I(t) = \frac{V_0 \sin \omega t}{R} = \frac{8 \sin\left(\frac{2\pi}{2\pi} \times \frac{\pi}{6}\right)}{4} = 2 \times \frac{1}{2} = 1.0[\mathrm{A}]$$

②

$$I(t) = \frac{V_0 \sin \omega t}{R} = \frac{7 \sin\left(\frac{2\pi}{2\pi} \times \frac{\pi}{6}\right)}{1} = 7 \times \frac{1}{2} = 3.5[\mathrm{A}]$$

今回の授業

5/14　交流回路2

- コンデンサ

- コンデンサの交流回路

- RLC回路

今回の授業

5/14　交流回路2

- コンデンサ

- コンデンサの交流回路

- RLC回路

導体と絶縁体

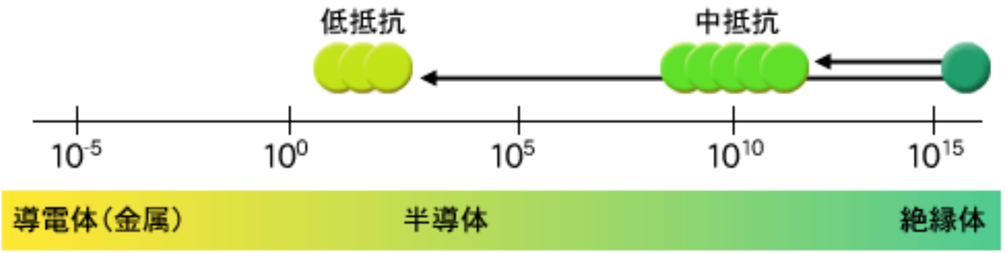
電気を通す物質　⇒　導体

電気を通さない物質　⇒　絶縁体

導体と絶縁体の中間　⇒　半導体

半導体はすごく低い温度だと絶縁体

室温だと若干電気を通す



抵抗率による物質の分類（単位：Ω･cm）

金属

半導体

絶縁体

静電気

絶縁体を布等でこする　⇒　静電気が発生

二つの物質がこすれることで一方が＋に、一方がーに帯電
次のような帯電列に沿って＋に帯電するかーに帯電するか決定

＋側　毛皮→フランネル→水晶→ガラス→木綿→絹→木材
→プラスチック→発泡スチロール→ポリエチレン→金属　ー側

帯電列は基本的にはどれだけ物質の表面に電子（電気の素）が飛び出しやすいかによって決まる。

コンデンサ

コンデンサ（キャパシタ ）

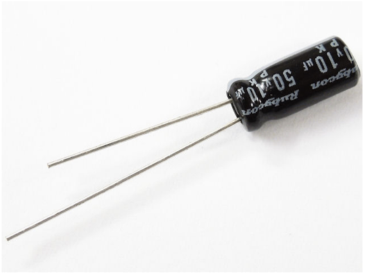
　二つの導体間に絶縁体を挟んだ構造で、電気を蓄える作用がある

キャパシタンス(静電容量)

　コンデンサ（キャパシタ）に電圧を加えたとき、1Vあたりどれだけの電気を 電荷 としてを蓄えることができるかを表す量

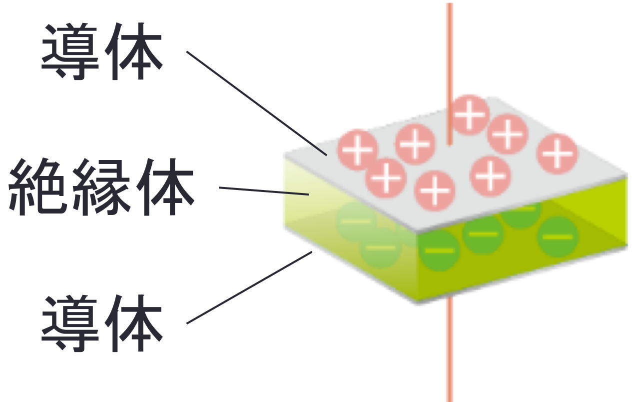
単位[F ファラド]

積層セラミックコンデンサ



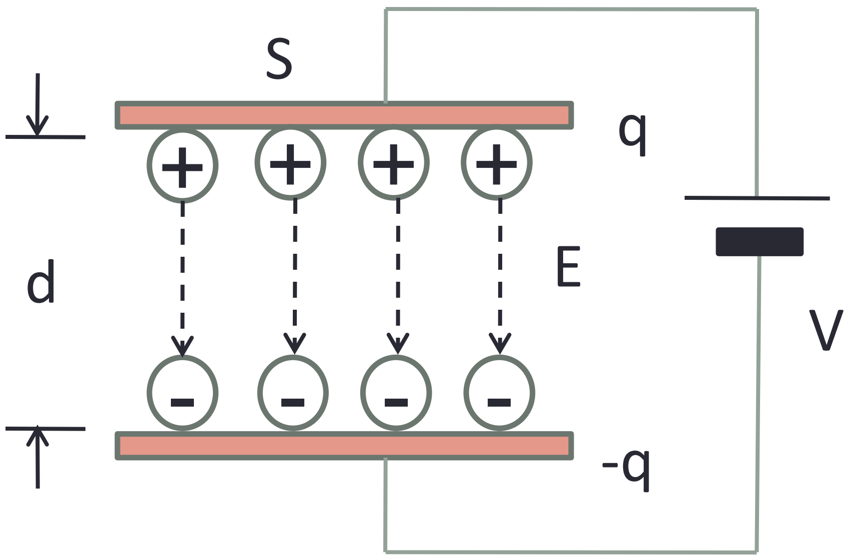
電解コンデンサ

コンデンサ



静電容量

右図の様に2枚の平らな金属板に電圧Vを与えると両端に電荷$\pm q$が発生



このとき金属板間の電界Eは

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 S}$$

ε_0: 真空中の誘電率
S: 面積

電圧VはV=Edを用いて

$$V = \frac{qd}{\varepsilon_0 S}$$

静電容量

以上から電荷*q*は

$$q = \frac{\varepsilon_0 VS}{d}$$

となり、電圧*V*と面積*S*に比例し、距離*d*に反比例する

電圧が1Vのときにコンデンサにたまる電荷は

$$\frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

となり、これをC_0とすると、電荷*q*は

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$ より $$q = C_0 V$$

C_0を**静電容量**といい、単位はF: ファラッド

F: ファラッド = C / V

今回の授業

5/14　交流回路2

- コンデンサ

- コンデンサの交流回路

- RLC回路

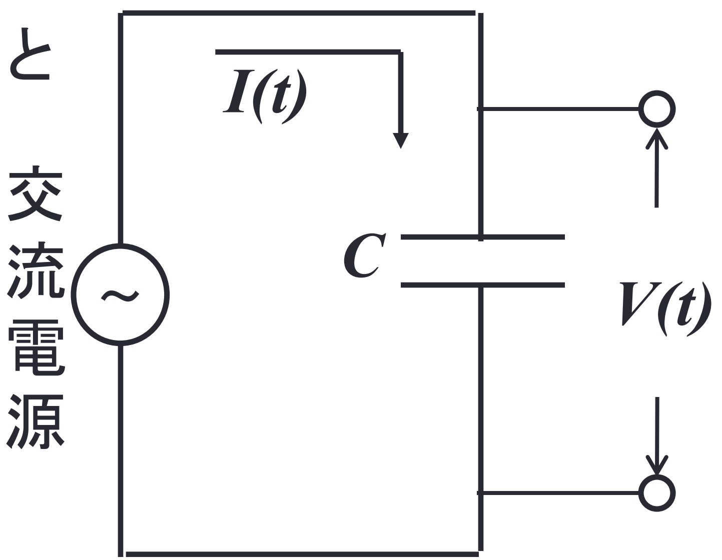
コンデンサだけの交流回路

右図のようにコンデンサが接続されると、
交流に対するコンデンサCのインピーダンス
(抵抗)の大きさ$|Z|$は周波数が大きくなると
減少する。
すなわちCの$|Z|$は

C:静電容量

$$|Z| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$\omega = 2\pi f$



コンデンサだけの交流回路

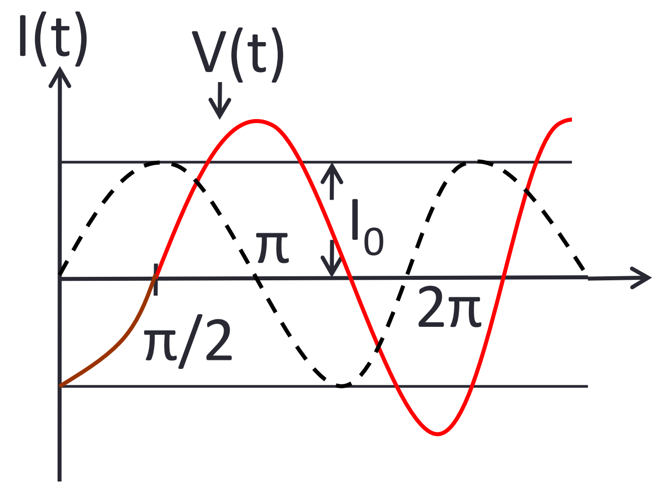
電圧$V(t) = V_0 \sin\omega t$に対し

コンデンサに流れる交流の電流は

$$I(t) = \frac{V(t)}{|Z|}$$

$$= \frac{V_0}{\frac{1}{\omega C}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

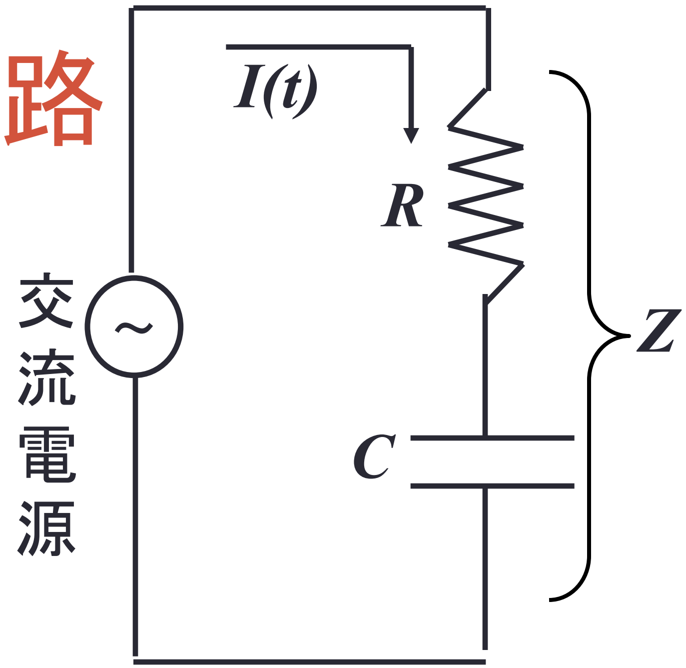
$$= V_0 \omega C \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$



交流電流は電圧より$\pi/2(=90°)$

位相が進む

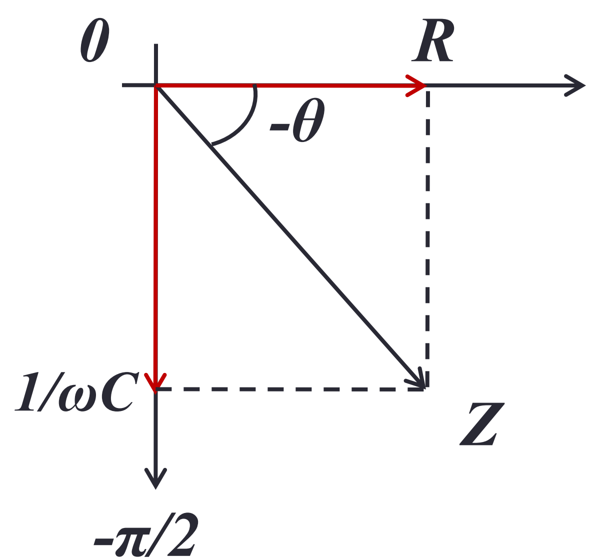
コンデンサと抵抗の交流回路



一方、右図のように抵抗RとコンデンサCが接続されると、この回路のインピーダンス$|Z|$は右下図より

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

ZはRと$-90°$をなす$1/\omega C$でつくられる角度$-\theta$をもつ合成ベクトルで示される



コンデンサと抵抗の交流回路

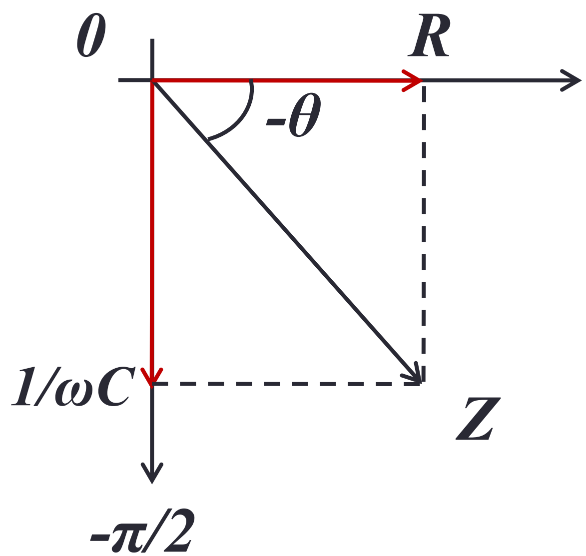
したがって、電圧$V(t) = V_0 \sin\omega t$に対し

電流$I(t)$は

$$I(t) = \frac{V(t)}{|Z|}$$

$$= \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \theta)$$

ただし $\theta = \mathrm{Tan}^{-1} \dfrac{1}{R\omega C}$



逆に交流電流に対して交流電圧は

位相がθだけ遅れた電圧が生じる

$|Z| = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$

$\theta = \tan^{-1} 1/R\omega C$

おさらい

コンデンサのインピーダンス

$$|Z| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

コンデンサだけの回路に流れる電流

$$I(t) = \frac{V(t)}{|Z|} = V_0 \omega C \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

コンデンサと抵抗のインピーダンス

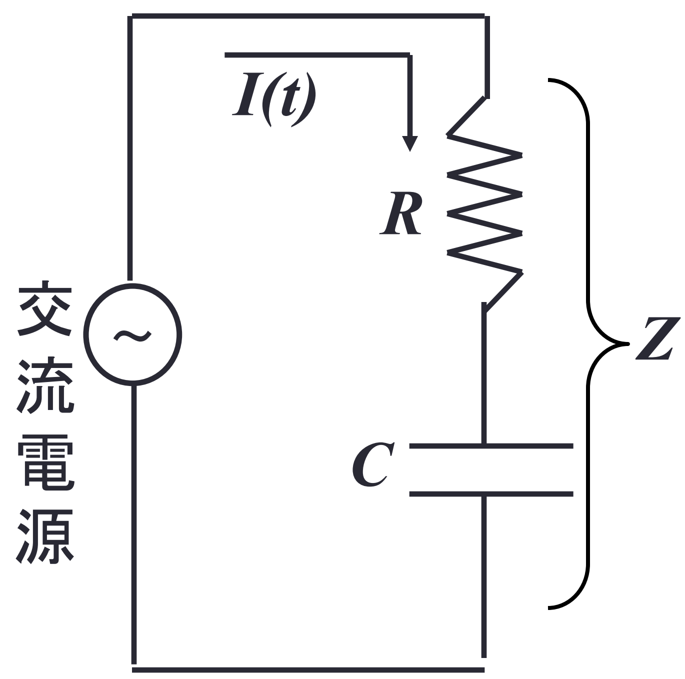
$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

コンデンサと抵抗の回路に流れる電流

$$I(t) = \frac{V(t)}{|Z|} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \theta)$$ ただし $\theta = \mathrm{Tan}^{-1} \frac{1}{R\omega C}$

例題1

右図のように抵抗RとコンデンサCを交流電源に接続する。
抵抗Rを5 [Ω], 静電容量Cを1/4 [F]とし、交流電源の周波数fを1/2π [Hz]、最大電圧V_0を5 [V]とする。
回路の合成インピーダンス$|Z|$を求めよ。
電流$I(t)$を式で記述せよ。



例題1解答

解答

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{5^2 + \left(\frac{1}{2\pi \times \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{4}}\right)^2} = \sqrt{25+16} = \sqrt{41}$$

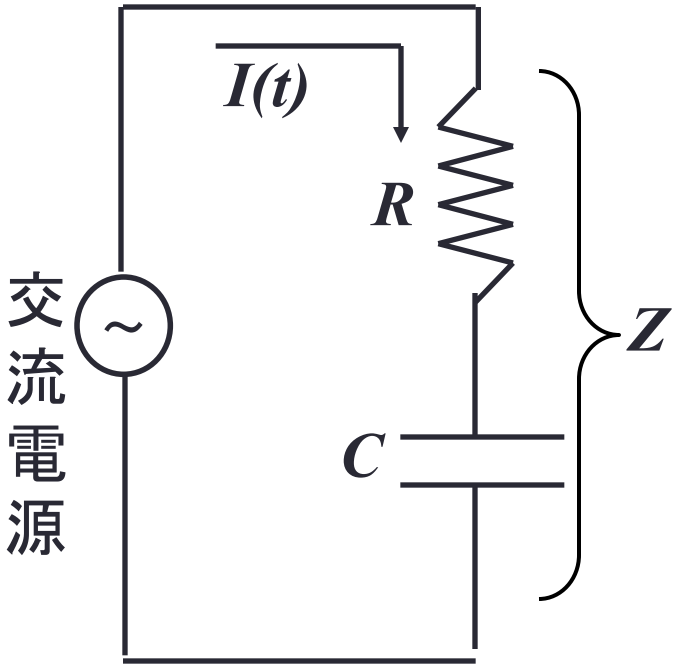
$$I(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \theta)$$

$$= \frac{5}{\sqrt{41}} \sin\left(\frac{2\pi}{2\pi} t + \theta\right) = \frac{5}{\sqrt{41}} \sin(t+\theta) = \frac{5\sqrt{41}}{41} \sin(t+\theta)$$

ただし　$\theta = \mathrm{Tan}^{-1} \frac{1}{R\omega C} = \mathrm{Tan}^{-1} \frac{4}{5}$

演習1

右図のように抵抗RとコンデンサCを交流電源に接続する。
抵抗Rを4 [Ω], 静電容量Cを1/3 [F]とし、交流電源の周波数fを1/2π [Hz]、最大電圧V_0を10 [V]とする。
回路の合成インピーダンス$|Z|$を求めよ。
電流$I(t)$を式で記述せよ。



演習1解答

解答

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{4^2 + \left(\frac{1}{2\pi \times \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{3}}\right)^2} = \sqrt{16+9} = 5$$

$$I(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \theta)$$

$$= \frac{10}{5} \sin\left(\frac{2\pi}{2\pi} t + \theta\right) = 2\sin(t + \theta)$$

ただし　$\theta = \mathrm{Tan}^{-1} \frac{1}{R\omega C} = \mathrm{Tan}^{-1} \frac{3}{4}$

今回の授業

5/14　交流回路2

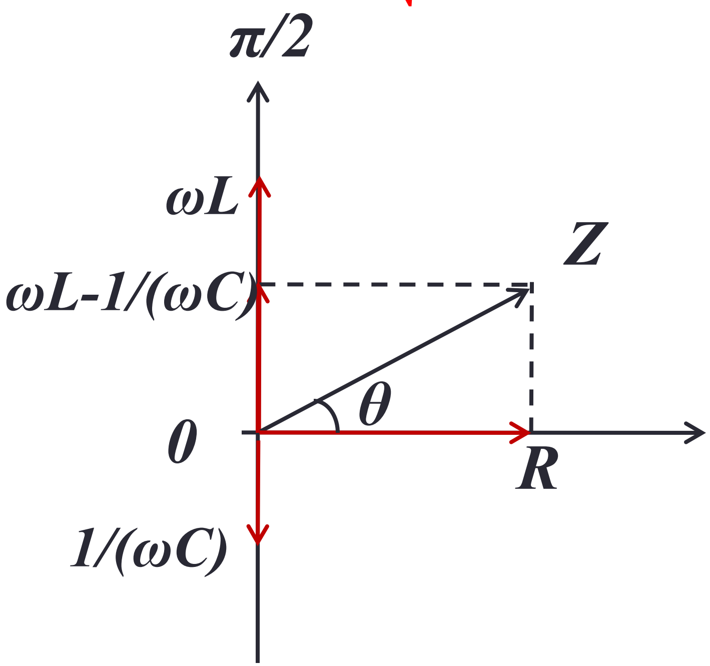
- コンデンサ
- コンデンサの交流回路
- RLC回路

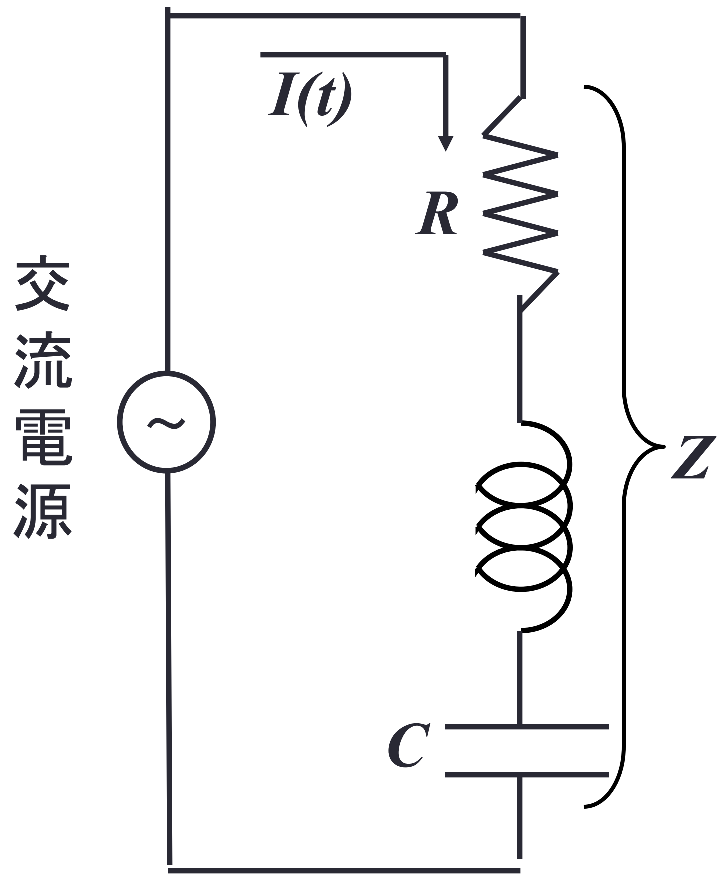
R,L,Cの直列接続に対する交流回路

右図のように*R*,*L*,*C*を直列に接続

インピーダンス|*Z*|は

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$





R,L,Cの直列接続に対する交流回路

$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ これは右図のように抵抗RにたいしてωLと$1/\omega C$をプロットして、合成インピーダンス$(\omega L-1/\omega C)$とRでなす角度θを求める

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

したがって、

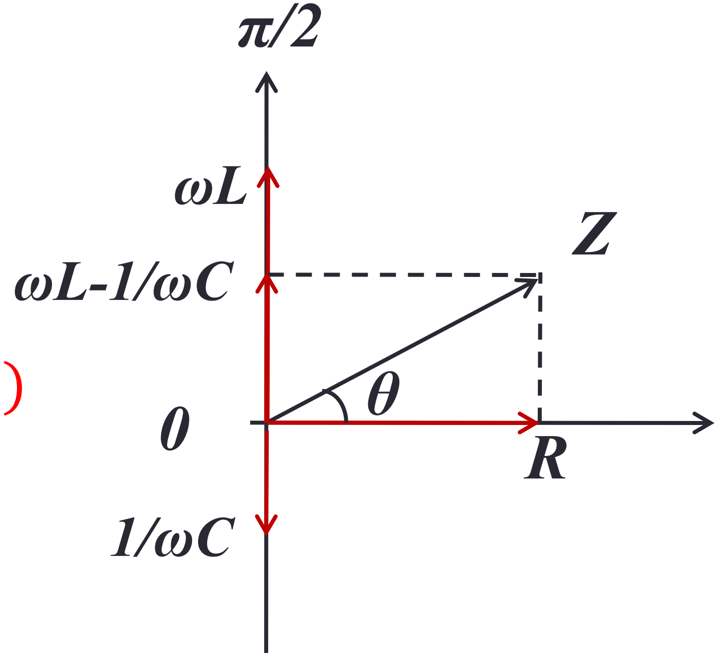
$$I(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}\sin(\omega t - \theta)$$

ただし

$$\theta = \mathrm{Tan}^{-1}\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$

$\theta = \tan^{-1}(\omega L - 1/\omega C)/R$



おさらい

R,L,Cを直列に接続したときの合成インピーダンス

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

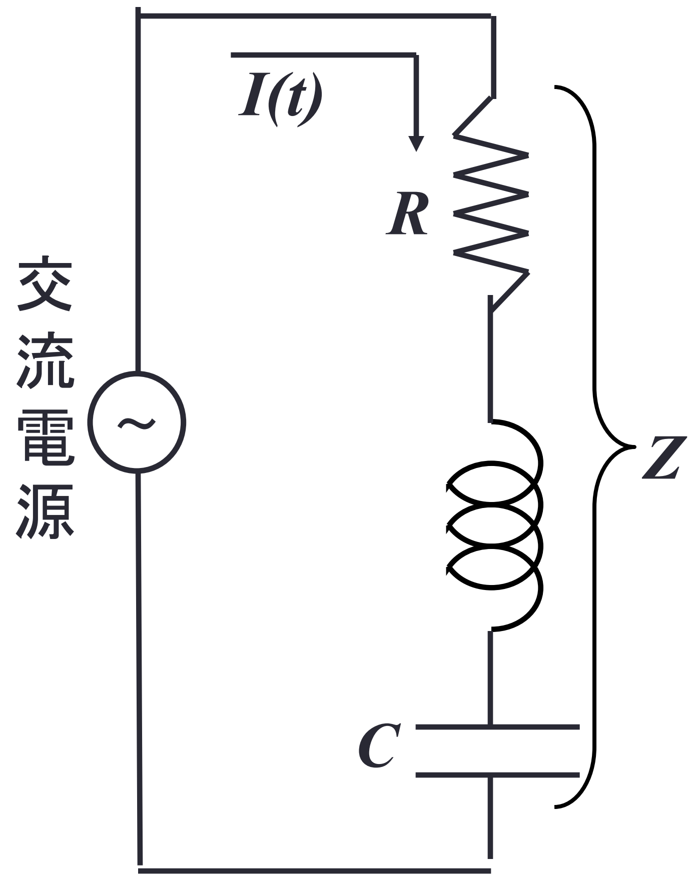
回路に流れる電流

$$I(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t - \theta)$$

ただし　$\theta = \mathrm{Tan}^{-1} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$

例題2

右図のように抵抗*R*と自己インダクタンスL, コンデンサCを交流電源に接続する。
抵抗*R*を**4** [Ω]、自己インダクタンスLを**6**[H]、静電容量Cを**1/3** [F]とし、交流電源の周波数*f*を**1/2π**、最大電圧V_0を**10** [V]とする。
回路の合成インピーダンス|*Z*|を求めよう。
電流*I(t)*はどのようになるか（式で書ける）



例題2

インピーダンス|*Z*|は

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{4^2 + \left(\frac{2\pi}{2\pi}\times 6 - \frac{1}{\frac{2\pi}{2\pi}\times\frac{1}{3}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{4^2 + (6-3)^2} = \sqrt{16+9} = 5$$

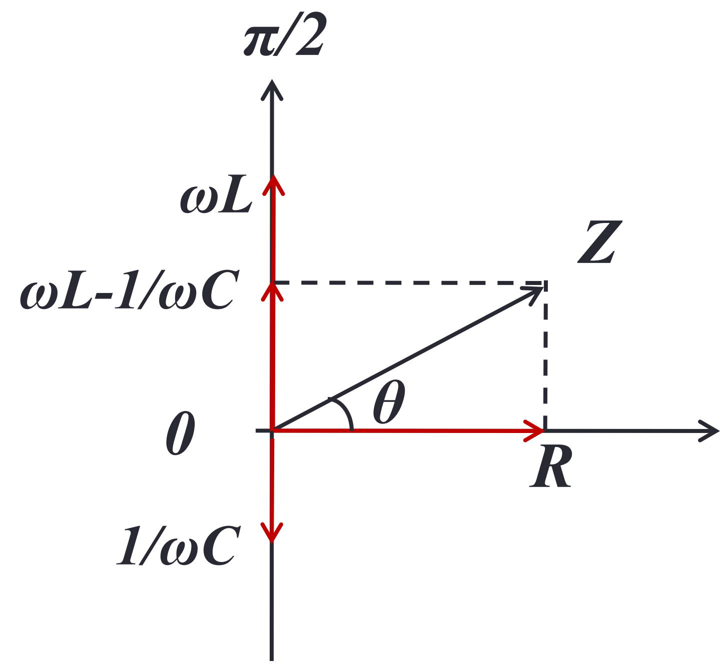
電流***I(t)***は

$$I(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}\sin(\omega t - \theta)$$

$$= \frac{10}{5}\sin\left(\frac{2\pi}{2\pi}t + \theta\right) = 2\sin(t - \theta)$$

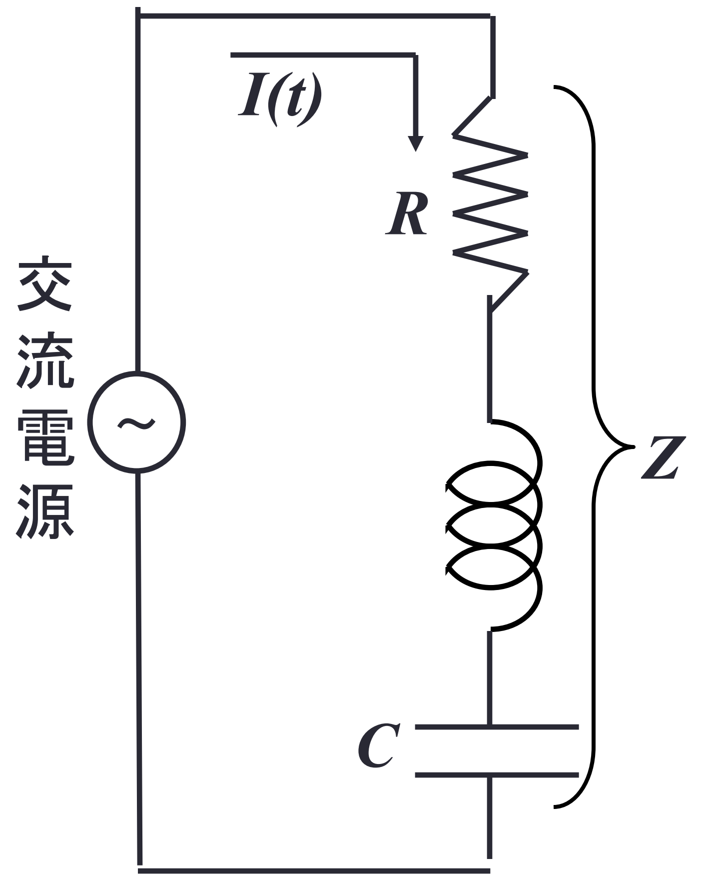
ただし

$$\theta = \mathrm{Tan}^{-1}\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \mathrm{Tan}^{-1}\frac{3}{4}$$



演習2

右図のように抵抗Rと自己インダクタンスL,
コンデンサCを交流電源に接続する。
抵抗Rを**8** [Ω]、自己インダクタンスLを
4[H]、静電容量Cを**1/2** [F]とし、交流電源
の周波数fを$1/2\pi$[Hz]、最大電圧V_0を**16** [V]
とする。
回路の合成インピーダンス$|Z|$を求めよう。
電流$I(t)$はどのようになるか（式で書ける）



演習2解答

解答

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{8^2 + \left(\frac{2\pi}{2\pi}\times 4 - \frac{1}{\frac{2\pi}{2\pi}\times\frac{1}{2}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{8^2 + (4-2)^2} = \sqrt{64+4} = 2\sqrt{17}$$

$$I(t) = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}\sin(\omega t - \theta)$$

$$= \frac{16}{2\sqrt{17}}\sin\left(\frac{2\pi}{2\pi}t + \theta\right) = \frac{8}{\sqrt{17}}\sin(t-\theta) = \frac{8\sqrt{17}}{17}\sin(t-\theta)$$

ただし

$$\theta = \mathrm{Tan}^{-1}\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \mathrm{Tan}^{-1}\frac{1}{4}$$

RLC直列回路の電力

Rだけの交流回路の平均電力

$$P = \frac{V_0 I_0}{2} = V_e I_e$$

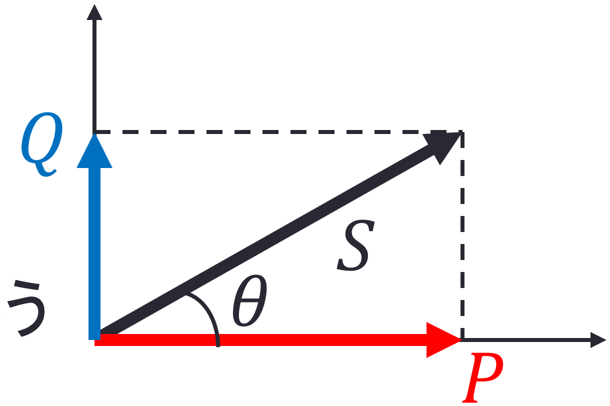
RLC直列回路の電力

$$P = \frac{V_0 I_0}{2}\cos\theta = V_e I_e \cos\theta \ [\mathrm{W}]$$

$$S = V_e I_e [\mathrm{VA}]$$

$$Q = V_e I_e \sin\theta \ [\mathrm{var}]$$

$\cos\theta$を **力率** という



Pは**有効電力**を表し、実際に負荷によって消費される電力を表す

Sは**皮相電力**を表し、ベクトル図における見かけ上の電力を表す

Qは**無効電力**を表し、電源と負荷を往復するだけの電力を表す

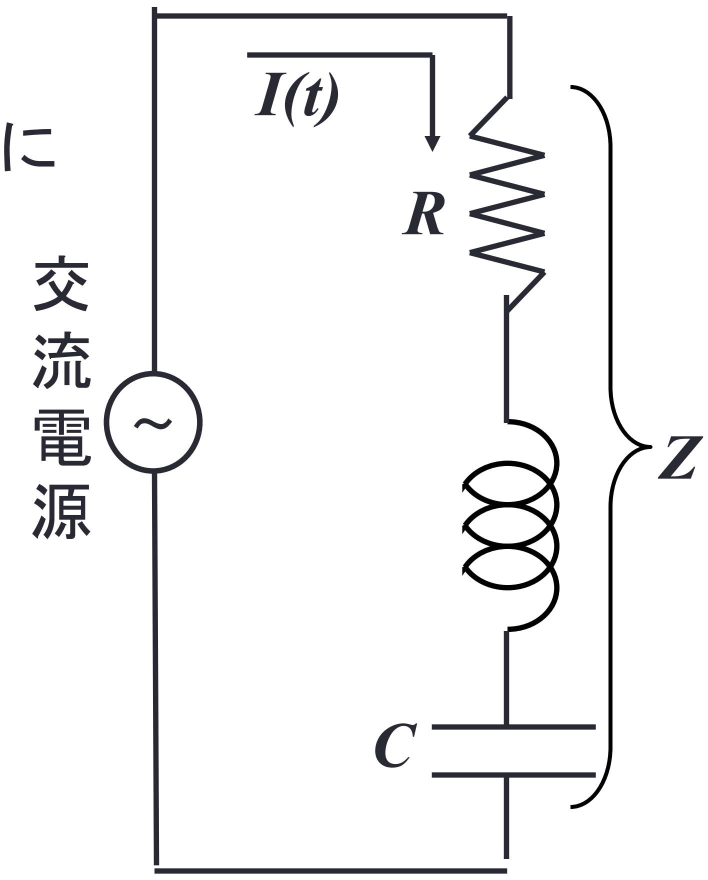
交流回路において単に消費電力という時は**有効電力**をさす。

例題3

図の交流回路において、電源の最大電圧が11[V]、周波数が$\frac{1}{2\pi}$ [Hz]、$R = 10[\Omega]$、$L = 22[\mathrm{H}]$、$\mathrm{C} = 1$ [F]のとき、次の問いに答えよ。

①インピーダンスを求めよ

②消費電力(有効電力)を求めよ



例題3 解答

①インピーダンス

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$= \sqrt{10^2 + \left(\frac{2\pi}{2\pi} \times 22 - \frac{1}{\frac{2\pi}{2\pi} \times 1}\right)^2}$$

$$= \sqrt{100 + (22 - 1)^2}$$

$$= \sqrt{121}$$

$$= 11\ [\Omega]$$

$$\theta\ = Tan^{-1}\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right) = Tan^{-1}\left(\frac{21}{10}\right)\ [\mathrm{rad}]$$

例題3 解答

②消費電力

$$P = V_e I_e cos\theta = \frac{V_0 I_0}{2} cos\theta$$
$$= \frac{V_0}{2} \cdot \frac{V_0}{|Z|} cos\theta$$
$$= \frac{{V_0}^2}{2|Z|} cos\theta$$
$$= \frac{11^2}{2 \times 11} cos\theta$$
$$= \frac{11}{2} cos\theta$$

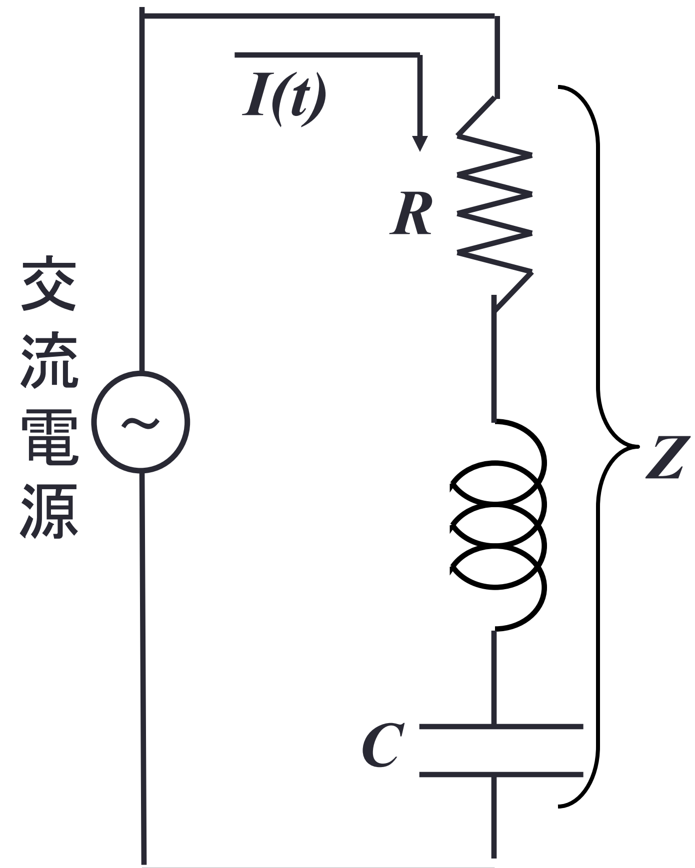
ただし$\theta = Tan^{-1}\left(\frac{21}{10}\right)$ [rad]

演習3

図の交流回路において、電源の最大電圧が12[V]、周波数が$\frac{1}{2\pi}$ [Hz]、$R = 5[\Omega]$、$L = 12[\mathrm{H}]$、$\mathrm{C} = 1$ [F]のとき、次の問いに答えよ。

①インピーダンスを求めよ

②消費電力(有効電力)を求めよ



演習3 解答

①インピーダンス

$$
\begin{aligned}
|Z| &= \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \\
&= \sqrt{5^2 + \left(\frac{2\pi}{2\pi}\times 12 - \frac{1}{\frac{2\pi}{2\pi}\times 1}\right)^2} \\
&= \sqrt{25 + (12-1)^2} \\
&= \sqrt{36} \\
&= 6\ [\Omega]
\end{aligned}
$$

$$
\theta = Tan^{-1}\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right) = Tan^{-1}\left(\frac{11}{5}\right)\ [\mathrm{rad}]
$$

演習3 解答

②消費電力

$$P = V_e I_e cos\theta = \frac{V_0 I_0}{2} cos\theta$$
$$= \frac{V_0}{2} \cdot \frac{V_0}{|Z|} cos\theta$$
$$= \frac{{V_0}^2}{2|Z|} cos\theta$$
$$= \frac{12^2}{2\times 6} cos\theta$$
$$= 12cos\theta$$

ただし$\theta = Tan^{-1}\left(\frac{11}{5}\right)$ [rad]

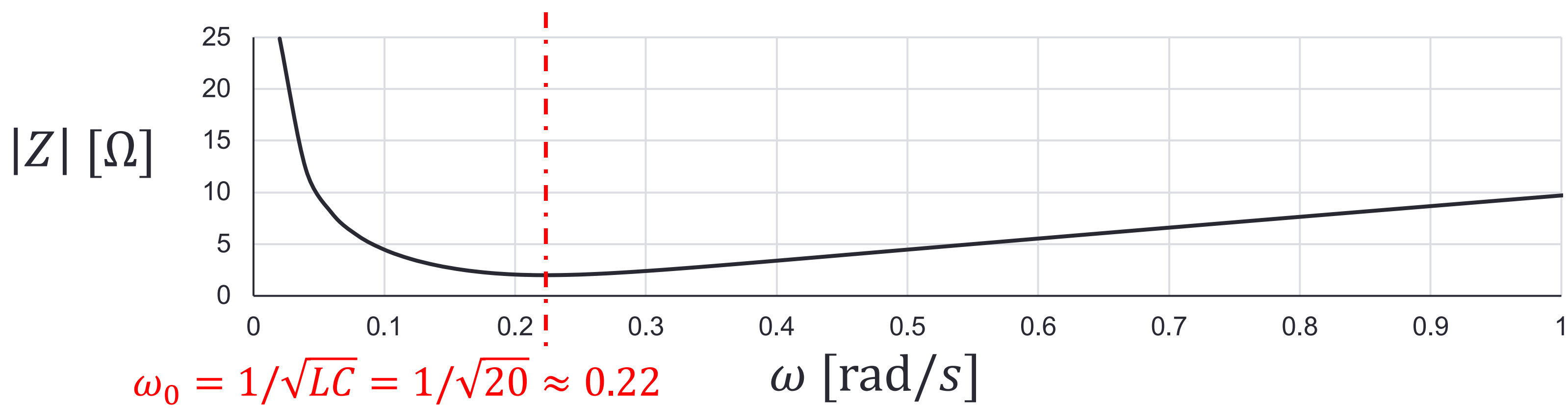
共振

RLC直列回路で、角周波数ωを変化させていったとき、インピーダンスが最小となる瞬間がある。

この時の角周波数を **共振角周波数** 、周波数を**共振周波数** といい、それぞれ次の式で表す。

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

共振周波数の時、交流回路の消費電力は **最大** になる



$R = 2, L = 10, C = 2$の時のRLC直列回路のインピーダンス

共振周波数とインピーダンス

共振周波数の時、インピーダンスのLとCの成分が打ち消し合い、0になる

そのため、共振周波数の時のインピーダンスは抵抗Rの成分のみとなる

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{\sqrt{LC}} - \frac{\sqrt{LC}}{C}\right)^2}$$

$$= \sqrt{R^2 + \left(\frac{L}{\sqrt{LC}}\frac{\sqrt{LC}}{\sqrt{LC}} - \frac{\sqrt{LC}}{C}\frac{L}{L}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{L\sqrt{LC}}{LC} - \frac{L\sqrt{LC}}{LC}\right)^2}$$

$$= \sqrt{R^2 + 0^2} = \sqrt{R^2} = R$$

また、位相差も $\theta = Tan^{-1}\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = Tan^{-1}\frac{0}{R} = 0$ になる

例題4

RLC直列回路において、$R = 10[\Omega]$、$L = 5[H]$、$C = 0.1[F]$の時、次の問いに答えよ。

①消費電力が最大となる時の電源の周波数を答えよ

② ①の時のインピーダンスの大きさ$|Z|$を答えよ

例題4 解答

①消費電力が最大となる時の電源の周波数を答えよ

消費電力が最大となる時の周波数とは共振周波数のことである

したがって

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{8\times0.5}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4}} = \frac{1}{2\pi\times2} = \frac{1}{4\pi}\,[\mathrm{Hz}]$$

② ①の時のインピーダンスの大きさ$|Z|$を答えよ

$$|Z| = \mathrm{R} = 10\ [\Omega]$$

演習4

RLC直列回路において、$R = 2[\Omega]$、$L = 64[H]$、$C = \frac{1}{4}[F]$
の時、次の問いに答えよ。
①消費電力が最大となる時の電源の周波数を答えよ
② ①の時のインピーダンスの大きさ$|Z|$を答えよ

演習4 解答

①消費電力が最大となる時の電源の周波数を答えよ

消費電力が最大となる時の周波数とは共振周波数のことである

したがって

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{64\times\frac{1}{4}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{16}} = \frac{1}{2\pi\times4} = \frac{1}{8\pi}\,[\mathrm{Hz}]$$

② ①の時のインピーダンスの大きさ$|Z|$を答えよ

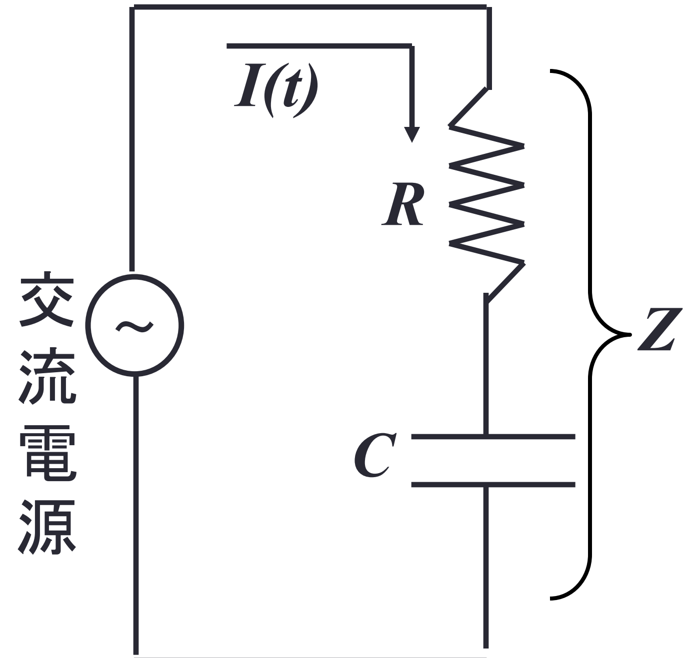
$$|Z| = \mathrm{R} = 2\ [\Omega]$$

練習1

右図のような回路に、抵抗*R*とコンデンサCを交流電源に接続する。(1)回路の合成インピーダンス|*Z*| (2)電流*I(t)*の式を記述せよ。

① 交流電源の最大値V_0を26[V]、周波数*f*を1/2π[Hz]、抵抗*R*を5[Ω]、静電容量Cを**1/12** [F]

② 交流電源の最大値V_0を25[V]、周波数*f*を1/2π[Hz]、抵抗*R*を3 [Ω]、静電容量Cを1/4[F]



練習1（解答）

①(1) １３　　　(2) $I(t) = 2\sin(t-\theta)$

ただし $\theta = \tan^{-1}$ -12/5

②(1) ５　　　(2) $I(t) = 5\sin(t-\theta)$

ただし $\theta = \tan^{-1}$ -4/3

練習2

交流電源の最大値を$16\sqrt{2}$[V]周波数を1 [Hz]、R=8[Ω]、L=15/2π[H]、C=1/14π[F]とする。

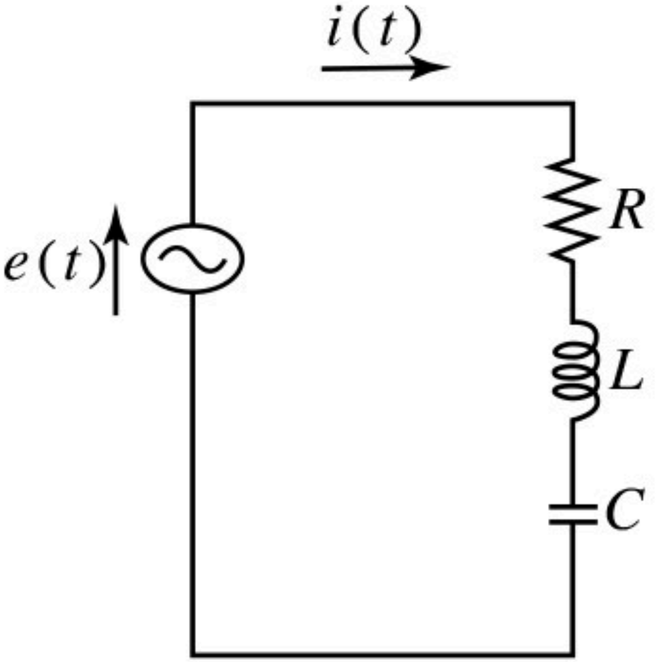
（1）インピーダンスを求めよ。

（2）電流の式を求めよ。

（3）有効電力、皮相電力を
　それぞれ求めよ。

（4）共振周波数を求めよ。

（5）共振周波数の時のインピーダンスを
　求めよ。



練習2　解答

（1）インピーダンス

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$= \sqrt{8^2 + \left(2\pi \times \frac{15}{2\pi} - \frac{1}{2\pi \frac{1}{14\pi}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{64 + (15 - 7)^2}$$

$$= \sqrt{64 + 64}$$

$$= 8\sqrt{2}\ [\Omega]$$

$$\theta = Tan^{-1}\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right) = Tan^{-1}\left(\frac{8}{8}\right) = Tan^{-1}\left(\frac{1}{1}\right) = \frac{\pi}{4}\ [rad]$$

練習2　解答

（2）電流

$$\frac{E_m}{|Z|}\sin\left(2\pi t-\frac{\pi}{4}\right)=\frac{16\sqrt{2}}{8\sqrt{2}}\sin\left(2\pi t-\frac{\pi}{4}\right)=2\sin\left(2\pi t-\frac{\pi}{4}\right)$$

（3）電力

皮相電力 $P_a=\frac{I_m V_m}{2}=\frac{2\times16\sqrt{2}}{2}=16\sqrt{2}$ [VA]

有効電力 $P_e=P_a\cos(\phi)=16\sqrt{2}\times\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)=16\sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=16\ [W]$

（4）共振周波数

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{15}{2\pi}\times\frac{1}{14\pi}}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{15}{28\pi^2}}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{15}{7}\times\frac{1}{4\pi^2}}}$$

$$=\frac{1}{2\pi\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{15}{7}}}=\frac{1}{\sqrt{\frac{15}{7}}}=\sqrt{\frac{7}{15}}=\frac{\sqrt{105}}{15}$$