

問 120 ☆

2 Ω の電熱線に 2 A の電流を 1 分間流した。
発生する熱量はどれか。

1. 2 J
2. 4 J
3. 16 J
4. 120 J
5. 480 J

〔注解〕 抵抗体に電流が流れたときに発生する熱量（エネルギー消費）を求めるためには、ジュールの法則を活用する。つまり、 $R(\Omega)$ の電熱線に $I(A)$ の電流を $t(\text{秒})$ 流したときの発生する熱エネルギー $J(J)$ は次の式で表される。

$$J = R \times I^2 \times t (= \text{消費電力 } P \times t)$$

したがって、発生する熱エネルギーは

$$J = 2(\Omega) \times (2(A))^2 \times 60(\text{sec}) = 480 \text{ J} \text{ となる。} \quad \text{答 5}$$

電力 P (Power) 単位 ワット $W = J / \text{sec}$

電気抵抗をもつものは、電流(直流でも交流でも)が流れると電気エネルギーを消費し、エネルギーは、熱(ジュール熱)になる。

ジュールの法則 Joule's law

1秒間、 I (A) の電流を電圧 E (V) で流した時の発熱(ジュール熱) P (W) は、

$$P = EI \quad E = IR \text{ を代入すると } P = RI^2$$

(P : 電力(W) E : 電圧(V) I : 電流(A) R : 抵抗(Ω))

t 秒間、電流を流した時の発熱量は、 Pt (J)

光導電効果を利用したトランスデューサはどれか。

1. フォトダイオード
2. 太陽電池
3. CdSe セル
4. 光電管
5. フォト・カプラ



光導電効果

(コウドウデンコウカ : photoconductive effect)

CdS, CdSe などに光をあてたときに生じる
電気伝導度 (コンダクタンス) の変化。

問 119 ☆

正しい組合せはどれか。2つ選べ。

1. 超音波ドプラ血流計 ————ゼーベック効果
2. 熱電子対 —————ファラデーの法則
3. 圧電素子 —————ピエゾ効果
4. ホール素子 —————ドプラ効果
5. フォトダイオード —————光起電力効果

1. 超音波ドプラ血流計はドプラ効果を利用している。
2. 熱電子対はゼーベック効果を利用している。
3. 圧電素子はピエゾ効果を利用している。
4. ホール素子はファラデーの法則を利用している。
5. フォトダイオードは光起電力効果を利用している。

光センサ

CdS素子 光導電効果

光センサ。光伝導(導電)セル。

硫化カドミウム CdS を使った抵抗で、
光が当たると、抵抗値が小さくなる。

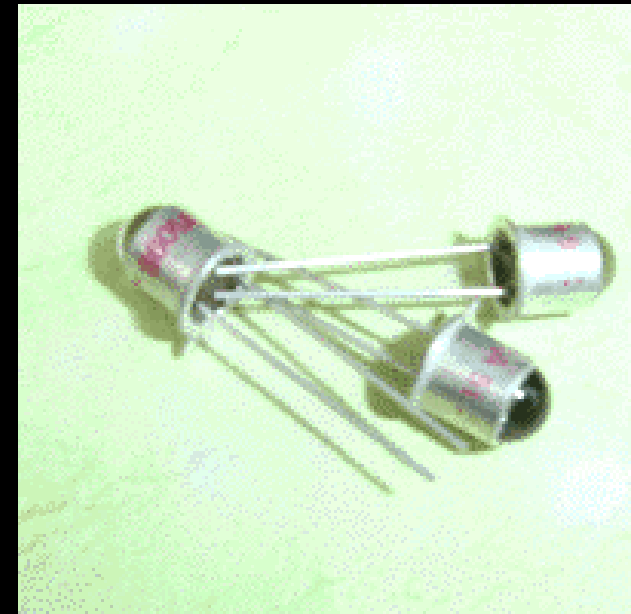
車のヘッドライトの点灯確認装置などに利用。



フォトダイオード、フォトランジスタ 光起電力効果

光が半導体のPN接合部に当たると
電子が接合部を通りやすくなる性質を
利用した光センサ。

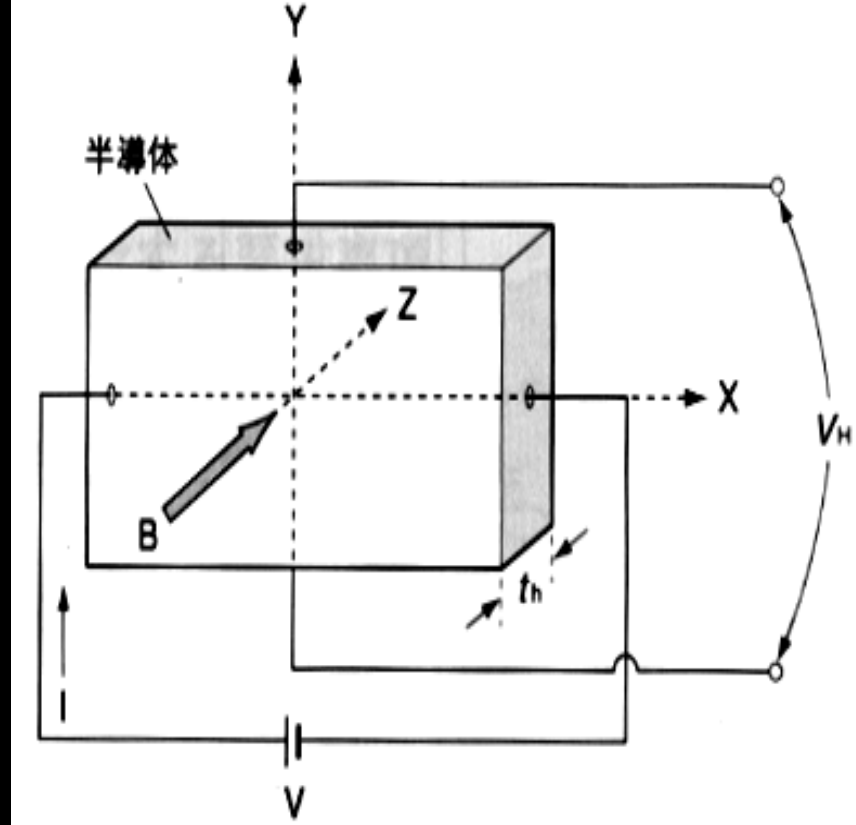
CdSより小型で、光に対する反応が速い。



磁気センサ

ホール効果

電流を流した物体に電流と直行する磁場をかけると、電流と磁場に直行する方向に別の電場が発生する。



ホール素子

この現象を半導体の中で行うと、半導体に加わった磁力を測定するセンサを作ることができる。
磁場計測用のトランスデューサ。

商用交流で働くヒーターの定格電圧が200 V
で電力が800 Wであった。

このヒーターを100 Vの商用交流で使
用したときの電力(W)はどれか。

1. 100
2. 200
3. 400
4. 800
5. 1,600

ヒータ は、電子素子としては抵抗器と同じ。

その抵抗値を R (Ω) とすると、

$$\text{電力 } P = EI = E \cdot E / R \quad (\text{オームの法則 } E = IR)$$

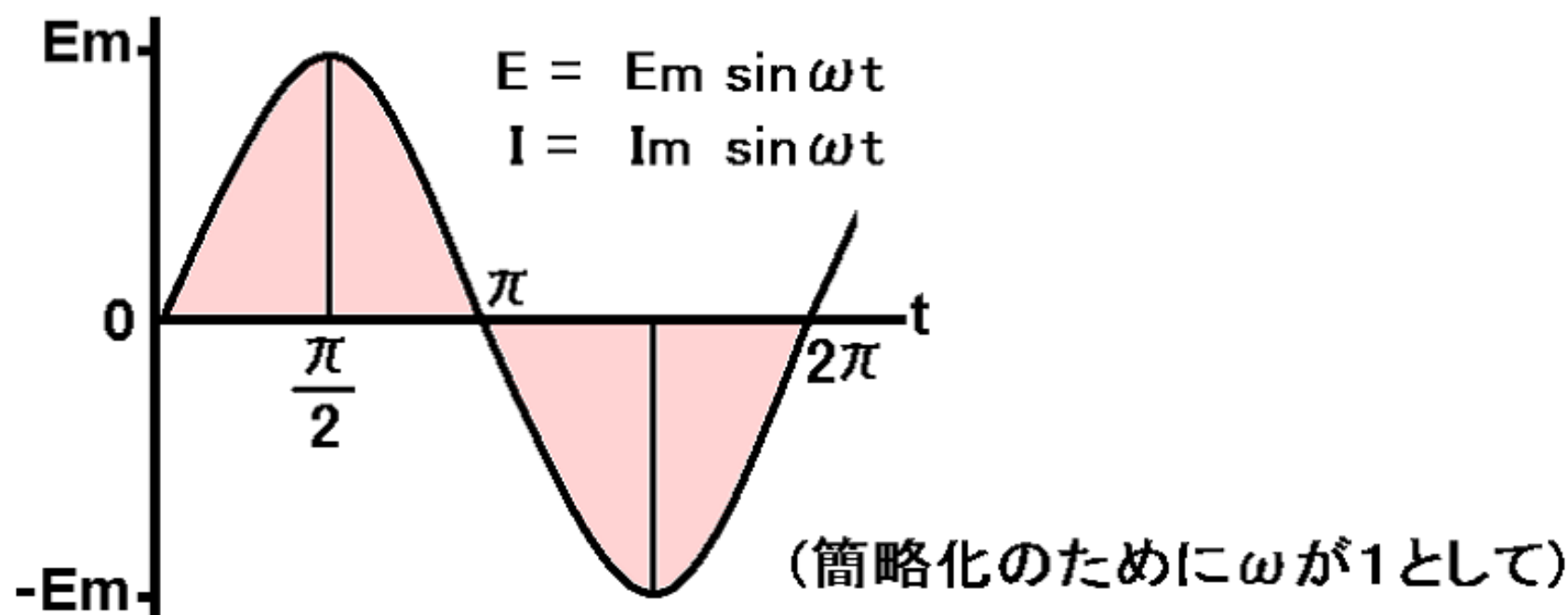
$$R = E \cdot E / P = 200 \cdot 200 / 800 = 50 \text{ } (\Omega)$$

100 V の 商用交流とは、実効値が 100 V の交流電圧。

$$\text{電力 } P = E \cdot E / R = 100 \cdot 100 / 50 = 200 \text{ (W)}$$

100 V の商用交流 とは 何か。 実効値とは何か。

交流電圧、交流電流の実効値



2 π 秒間に交流電圧 E と交流電流 I が運ぶ電力は、

$$\int_0^{2\pi} E I \, dt = E_m I_m \int_0^{2\pi} \sin \omega t \sin \omega t \, dt = \pi E_m I_m \quad \left(\int_0^{2\pi} \sin^2 \omega t \, dt = \pi \right)$$

1秒間に運ぶ電力 P は、

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E I \, dt = \frac{E_m I_m}{2} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} = (0.707 E_m) \cdot (0.707 I_m)$$

交流電圧の実効値 $E_e = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m$ ($E_m = \sqrt{2} E_e$)

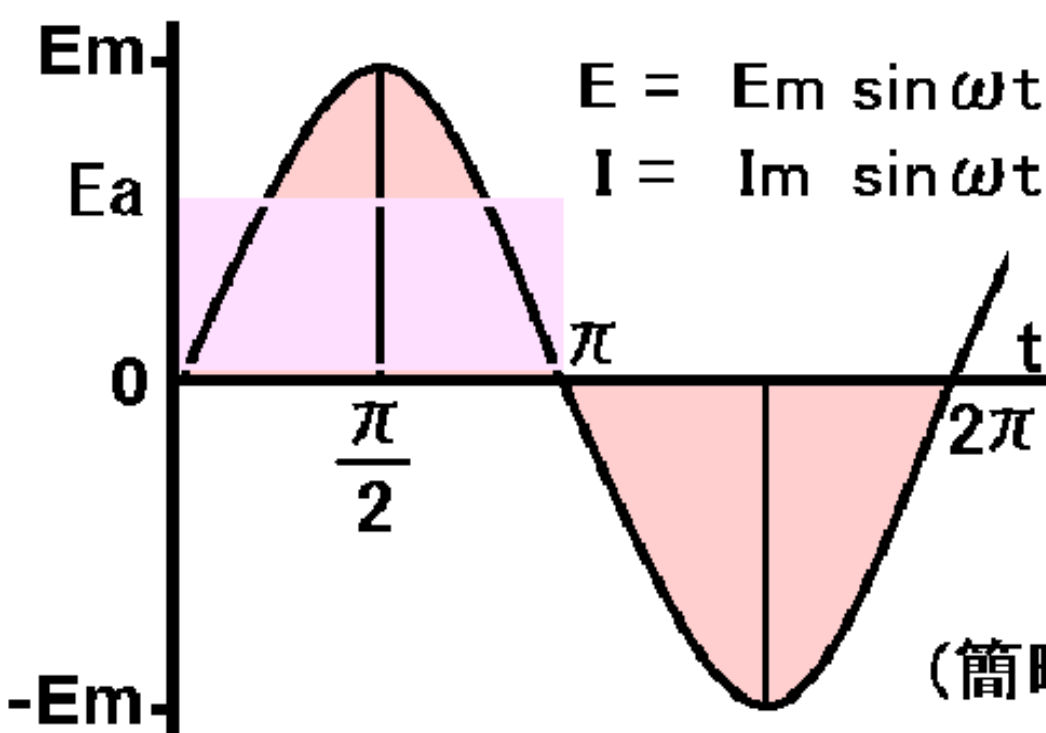
交流電流の実効値 $I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$ ($I_m = \sqrt{2} I_e$)

交流電圧、交流電流の実効値（ effective value ）とは、
その交流と同じ電力をもつ（同じ電氣的な仕事をする）
直流電圧、直流電流に換算した値。

実効値を使うと、**交流の電力計算が簡単になる。**

家庭電源（商用交流）の 100V も、実効値の表示。

家庭電源の電圧最大値は、141 V である。



交流の実効値と
平均値は異なる。

実効値 = エネルギー平均値
 平均値 = 算術平均値

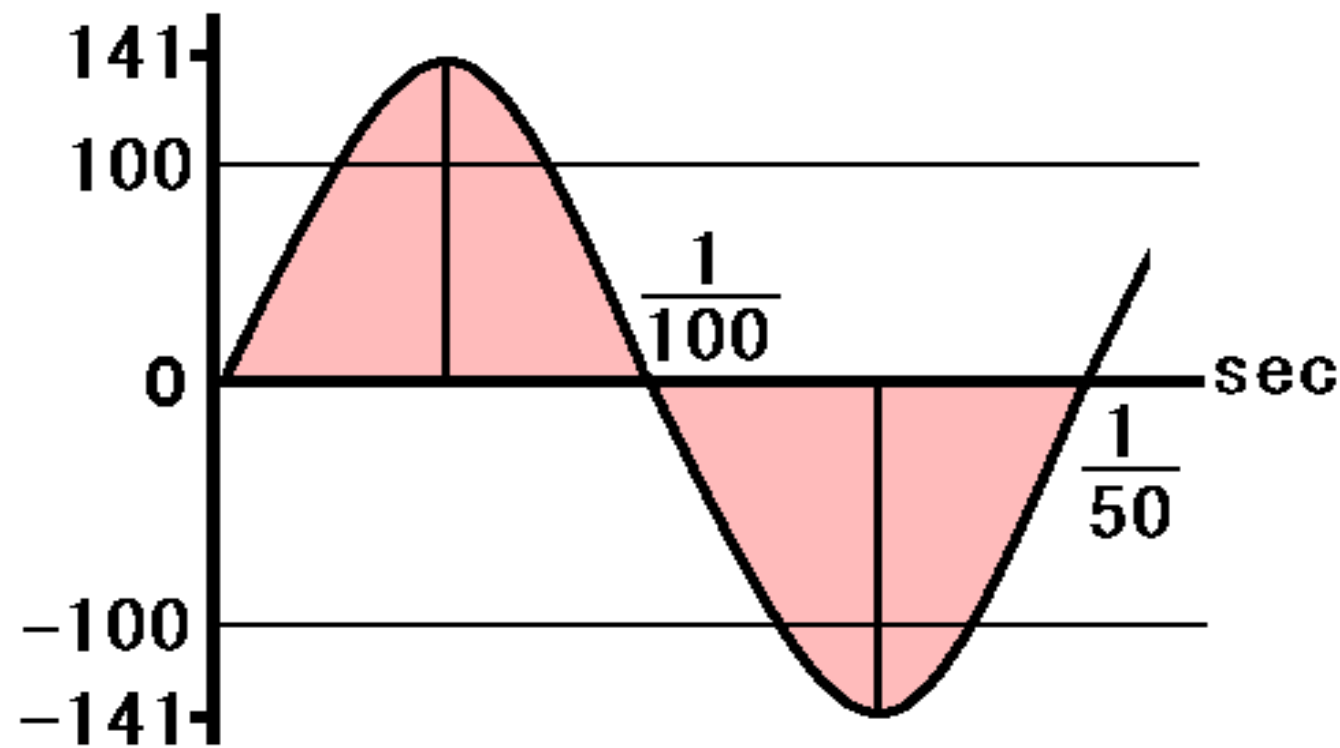
(簡略化のために ω が1として)

時間0から π 秒の間の、電圧平均値 (average) E_a は、

$$E_a = E_m \int_0^{\pi} \sin \omega t \, dt / \pi = \frac{2}{\pi} E_m \quad \left(\int_0^{\pi} \sin \omega t \, dt = 2 \right)$$

$$= 0.637 E_m$$

同様に、電流平均値 I_a は、 $I_a = \frac{2}{\pi} I_m = 0.637 I_m$



周波数 $f = 50$ (Hz) の商用交流電圧

$$E = E_m \sin(2\pi ft) = \boxed{141 \sin(100\pi t) \text{ (V)}}$$

電圧最大値 (max) $E_m = 141 \text{ V} = \text{電圧振幅}$

電圧実効値 (effective) $E_e = 100 \text{ V}$

電圧平均値 (average) $E_a = 90 \text{ V}$

電圧尖頭値 (Peak to Peak) $E_{pp} = 282 \text{ V}$

図 203 ☆

(既出問題)

商用交流 100 V について正しいのはどれか。

1. 振幅が 100 V である。
2. 実効値の $1/\sqrt{2}$ 倍が 100 V である。
3. 尖頭 (pp) 値が約 282 V である。
4. 振幅の $\sqrt{2}$ 倍が 100 V である。
5. 平均値が 100 V である。

〔注解〕 商用交流 100 V とは実効値を指している。
すなわち，正弦波交流に対しては実効値 E ，最大値 E_m ，平均値 E_a との間には，

$$E_m = \sqrt{2} E, \quad E_m = \frac{\pi}{2} E_a \quad \text{の関係がある。}$$

したがって， $E = 100 \text{ V}$ の時， $E_m = 141 \text{ V}$ ，尖頭 (pp) 値は
 $141 \text{ V} \times 2 = 282 \text{ V}$ になる。

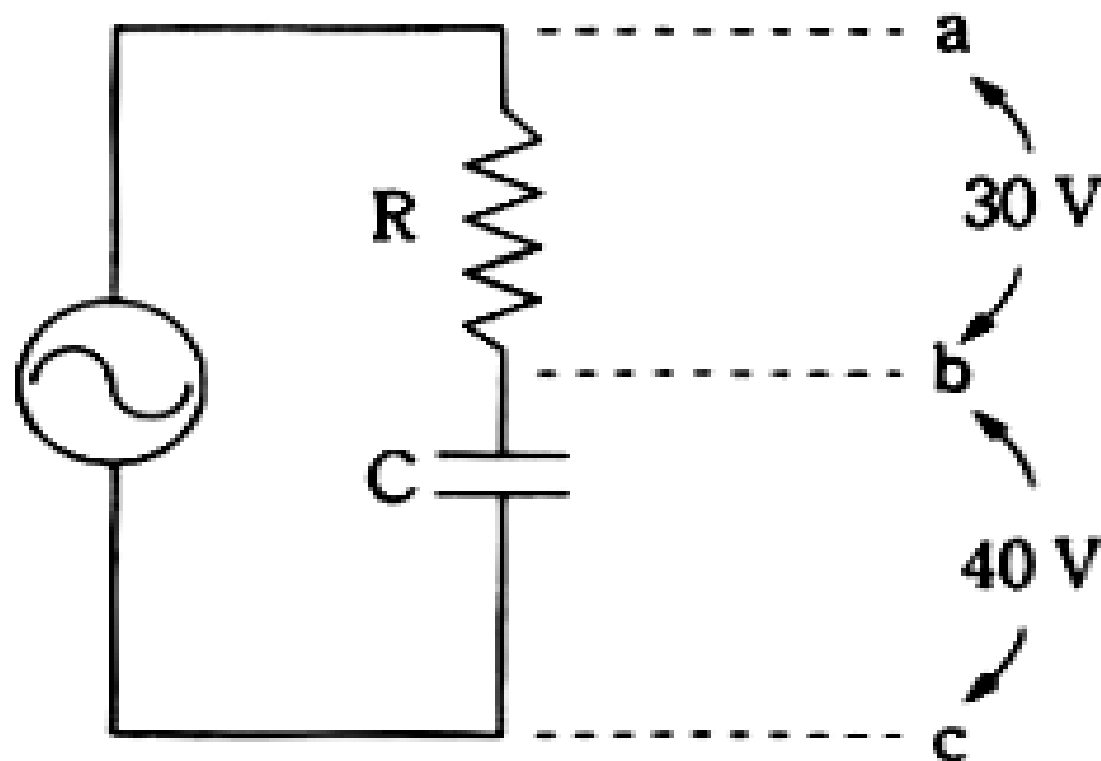
また

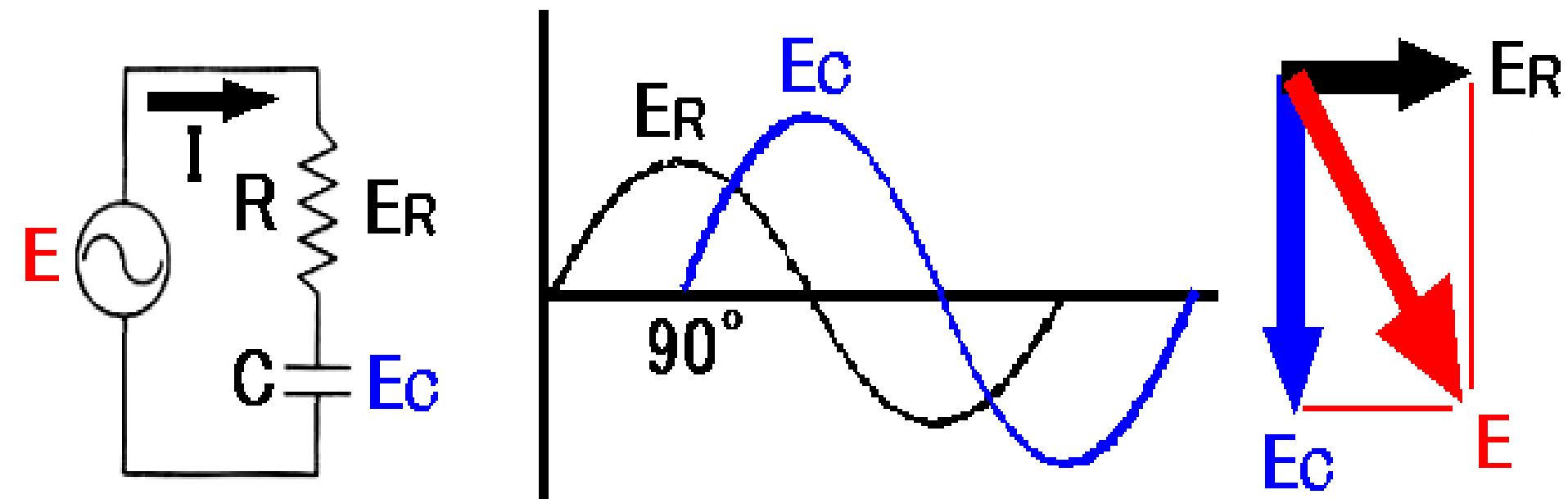
$$E_a = 141 \text{ V} \times \frac{2}{\pi} \simeq 90 \text{ V}$$

図の回路でa-c間は何Vか。

1. 10 V
2. 50 V
3. 70 V
4. 100 V
5. 140 V

正弦波交流





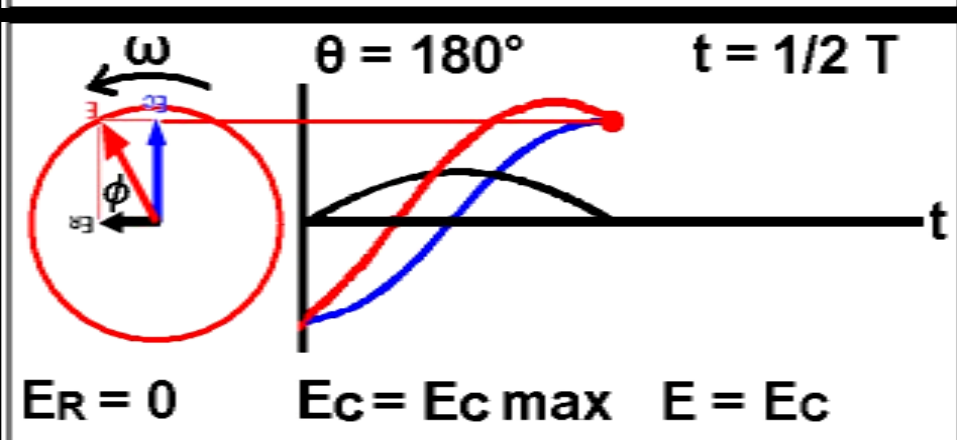
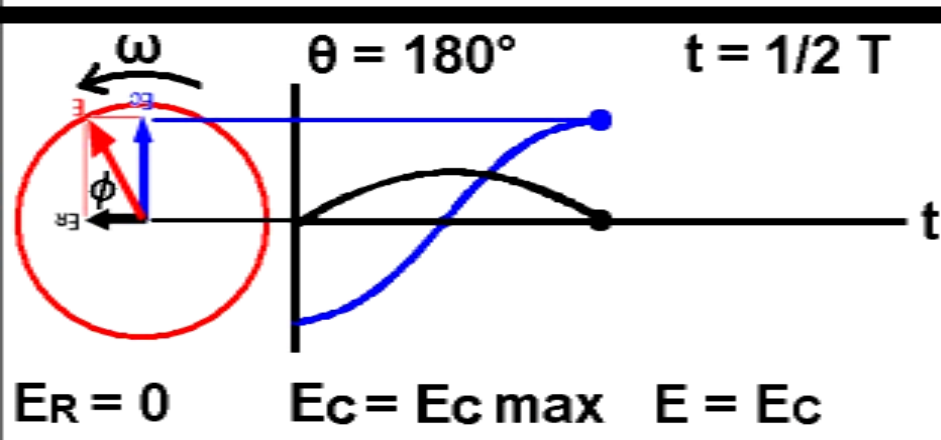
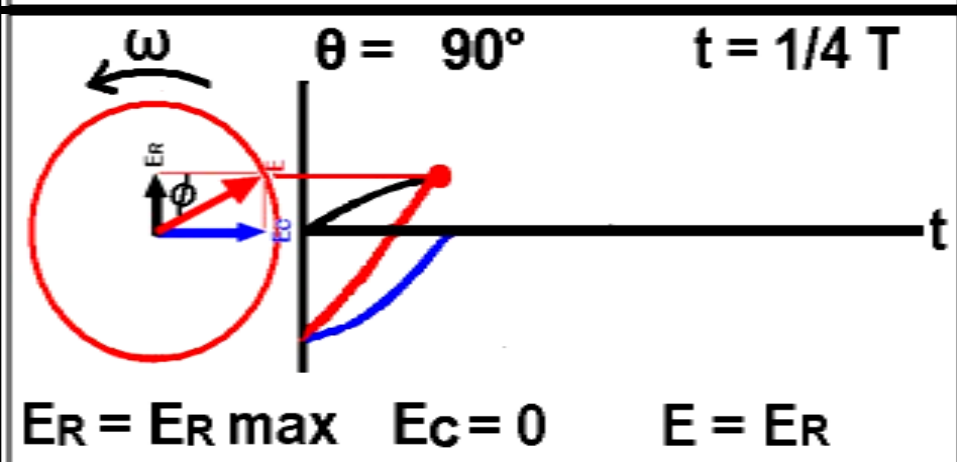
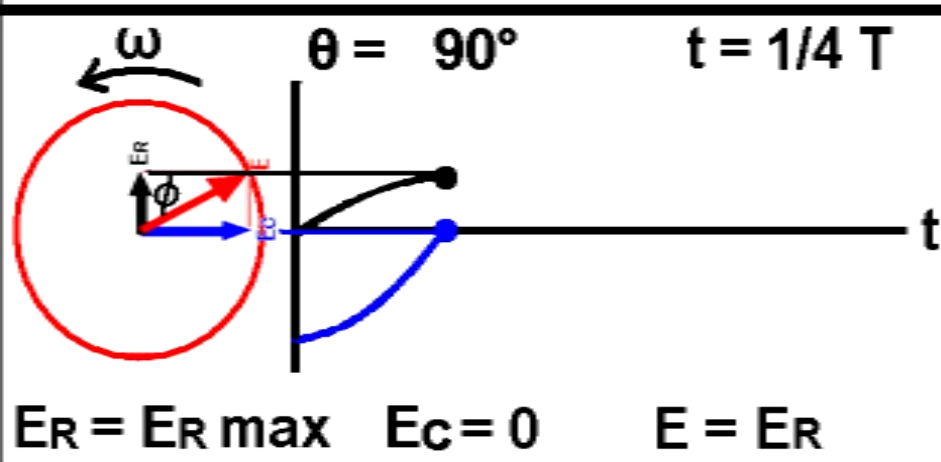
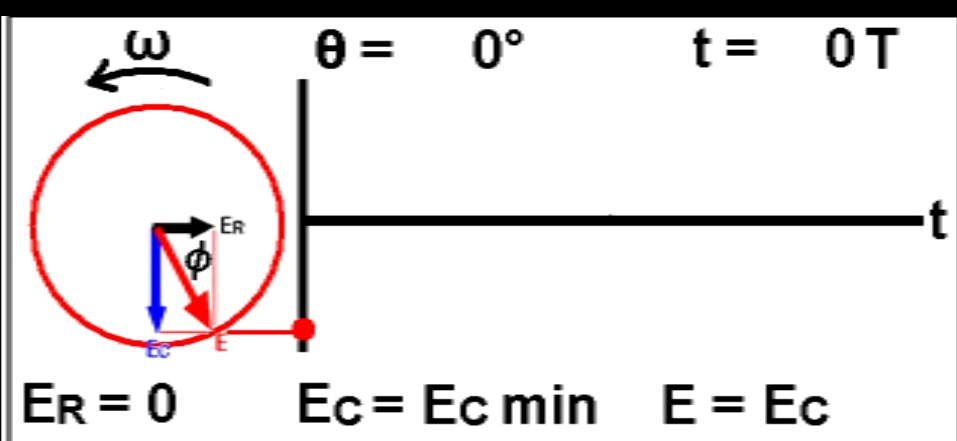
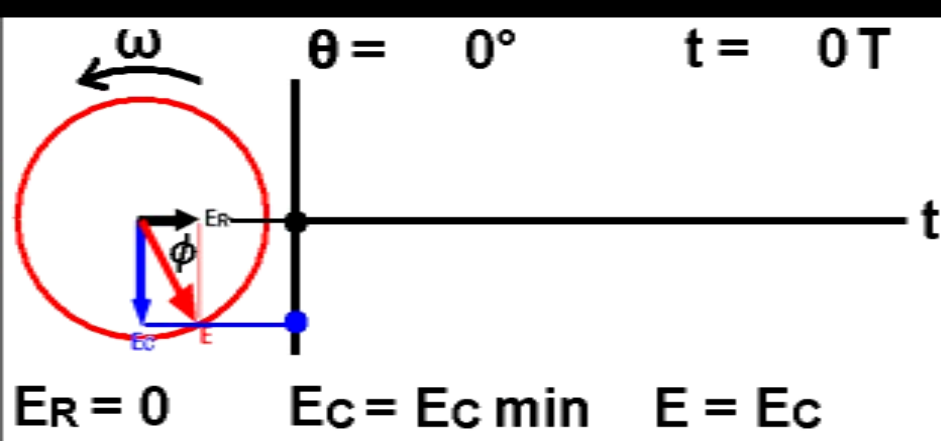
抵抗 R とコンデンサ C は 直列接続なので
 R と C に流れる電流 I は等しい。

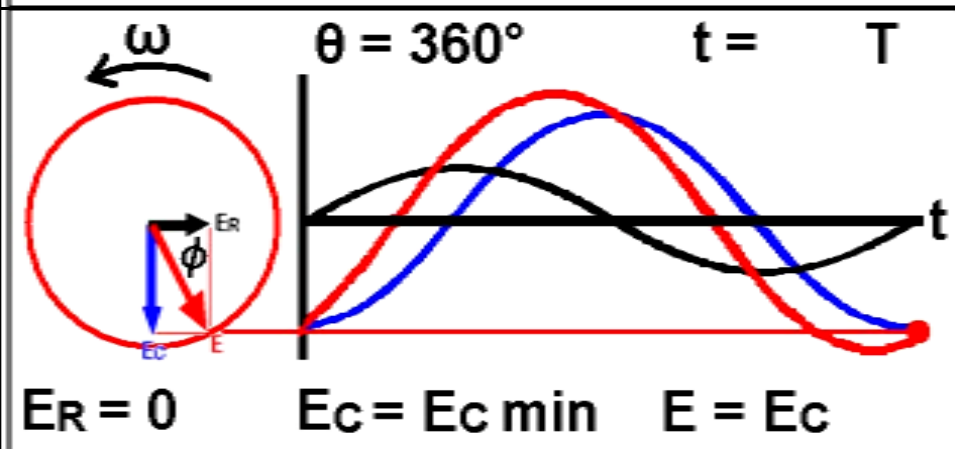
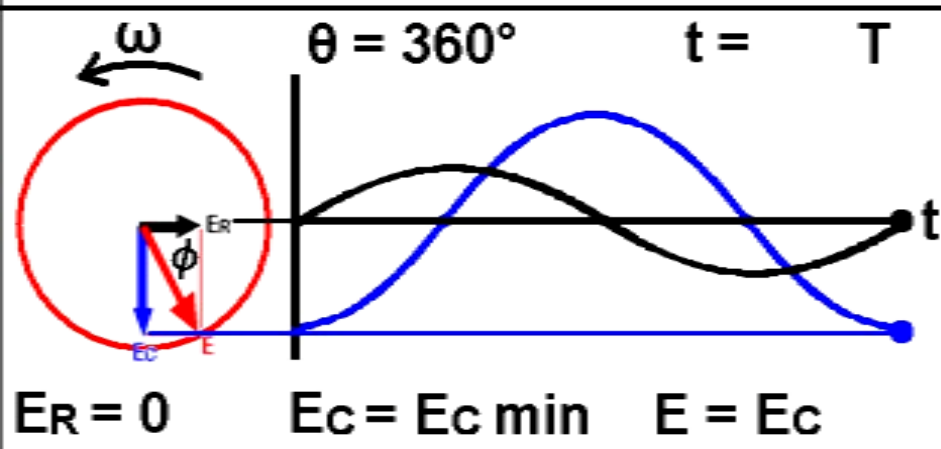
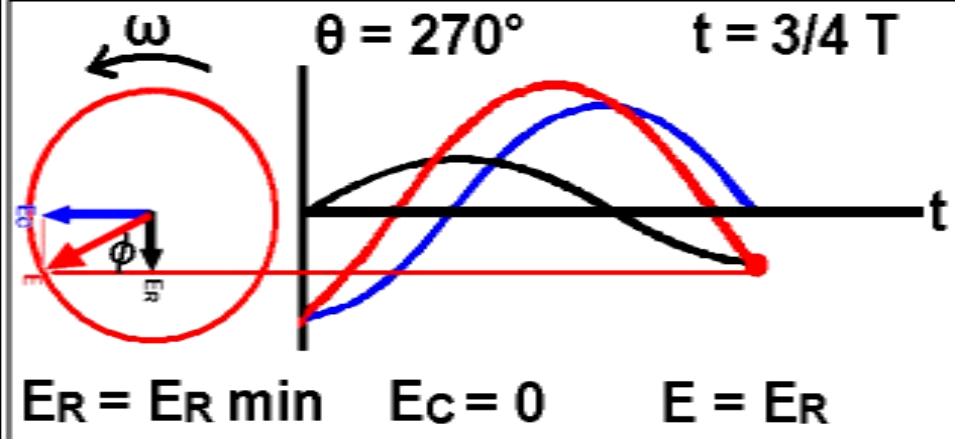
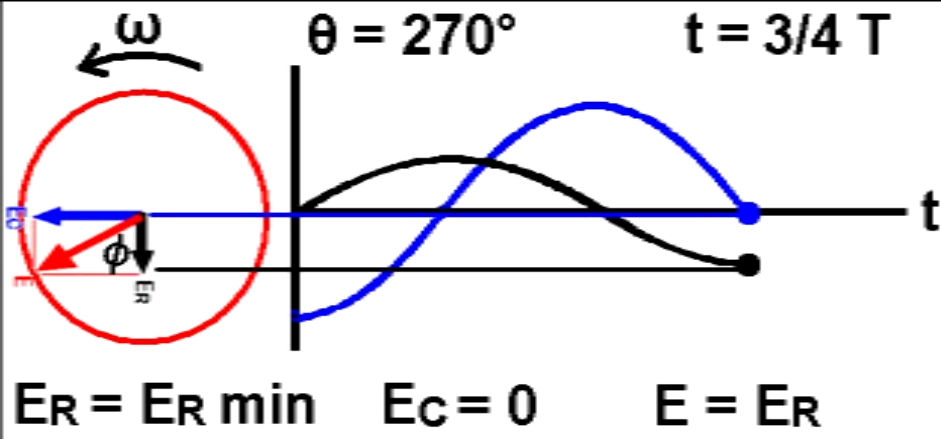
E_R と I の位相は同じ。

E_C の位相は I から 90° 遅れている。

$$E = \sqrt{E_R^2 + E_C^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ (V)}$$

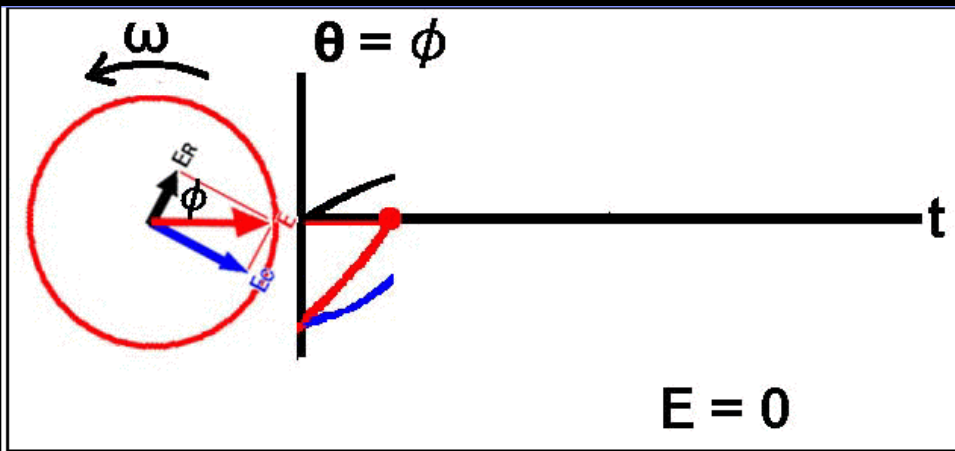
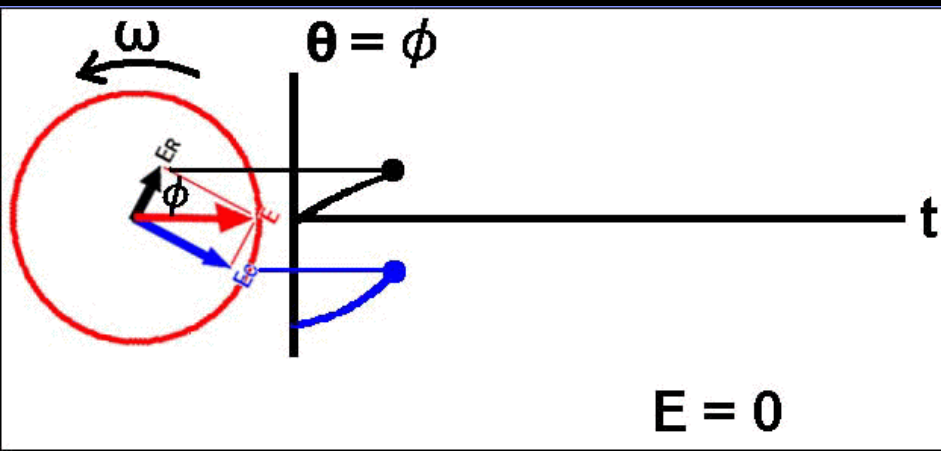
ベクトル図は、回転して 射影で、交流信号を表現している。



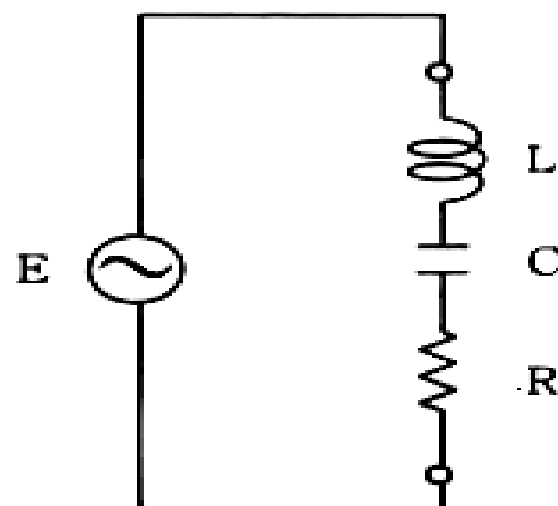


ϕ 位相角 $\tan \phi = E_C / E_R$

$\phi = \tan^{-1} (E_C / E_R)$



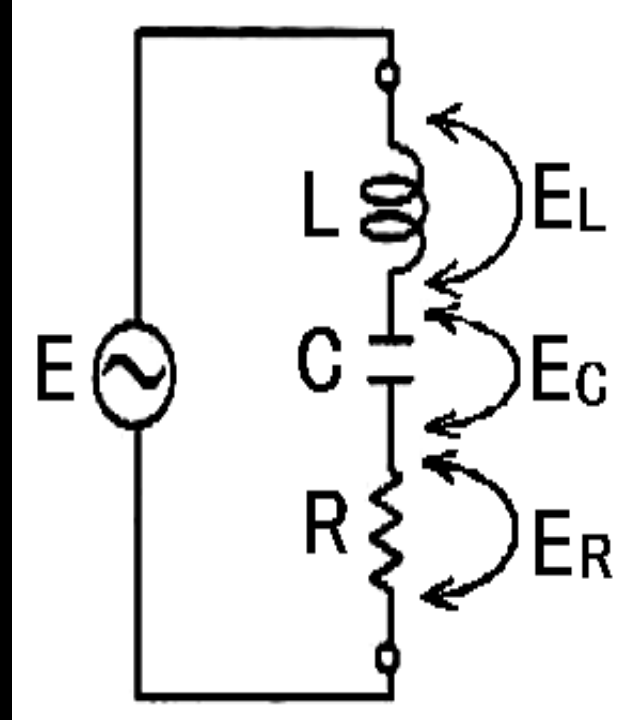
誤っているのはどれか。



- a 直列共振回路と呼ばれる。
- b インピーダンスの絶対値は、 $\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ で得られる。
- c $\omega L = \omega C$ の時を共振状態と呼ぶ。
- d 共振周波数は $\frac{1}{2\pi\sqrt{RC}}$ で表される。
- e 回路を流れる電流は、 $\frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$ で得られる。

LCR 直列回路（直列共振回路）

インダクタンス(コイル) L (H)、
キャパシタンス(コンデンサ) C (F)、
レジスタンス(抵抗) R (Ω) が
直列に接続された回路。



入力交流信号（電圧 E ）の周波数を解析、弁別することができる。

ラジオの周波数設定（選局、チューニング）、
周波数解析装置などに利用される回路。

入力交流信号 E (周波数 f , 角速度 $\omega=2\pi f$) が加わると、
 L 、 C 、 R の各素子は直列なので、**等しい電流 I** が
各素子に流れる ($I=I_L=I_C=I_R$) が、
各素子に発生する電圧 E_L 、 E_C 、 E_R は **位相が異なる**。

E_L の大きさは **$I X_L = I \omega L$**

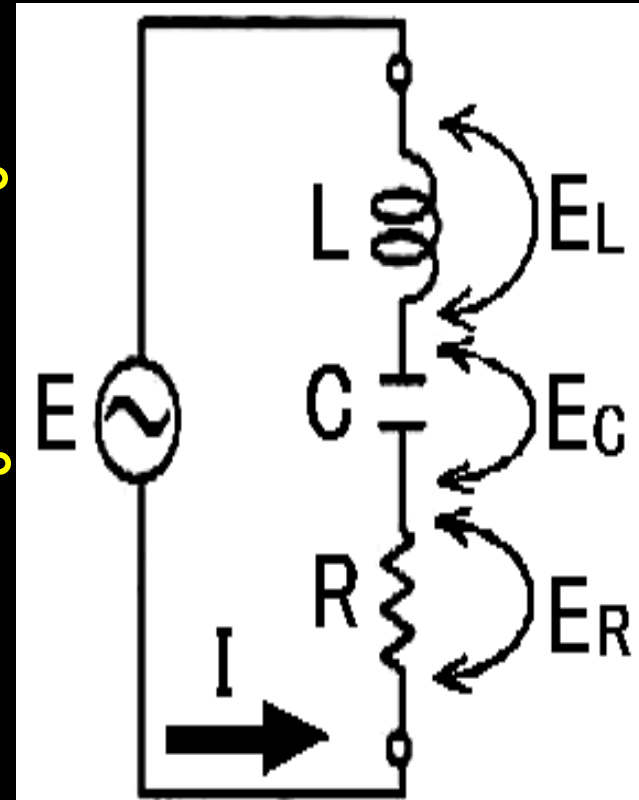
位相は電流より **$\pi/2 (90^\circ)$** 進んでいる。

E_C の大きさは **$I X_C = I / \omega C$**

位相は電流より **$\pi/2 (90^\circ)$** 遅れている。

E_R の大きさは **$I R$**

位相は、電流と同じ。



コンデンサに交流電流が流れるときの現象

静電容量(キャパシタンス)が C (F) のコンデンサに、交流電流 I が流れ込むと、コンデンサの電荷 Q が増加する。電流とは1秒あたりの電荷の移動量なので

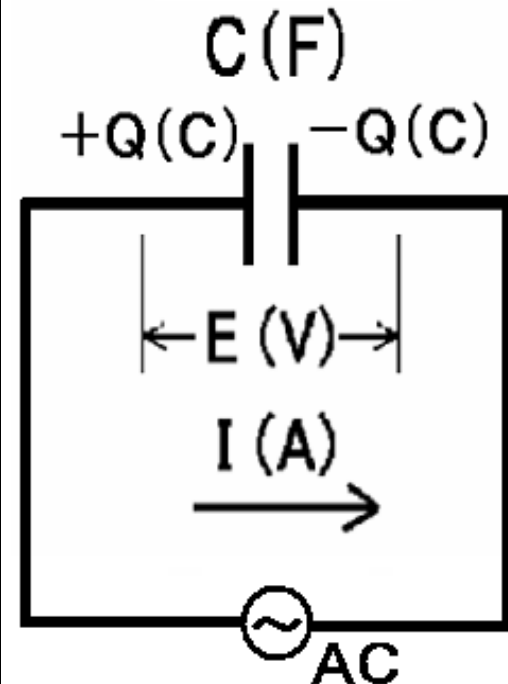
$$I = dQ / dt$$

コンデンサに発生する電圧 E (V) と電流 I (A) の関係は、 $Q = CE$ より、 $I = C dE/dt$

$I = I_m \sin(\omega t)$ とすると、

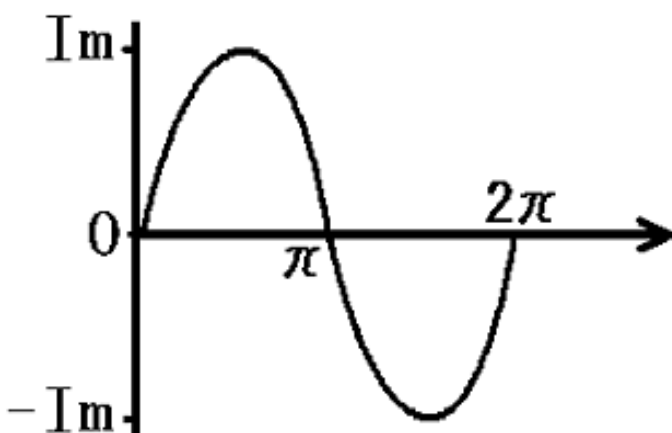
$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{C} \int I dt = \frac{I_m}{C} \int \sin(\omega t) dt \\ &= -\frac{I_m}{\omega C} \cos(\omega t) = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{aligned}$$

$$E = E_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (E_m = \frac{I_m}{\omega C})$$

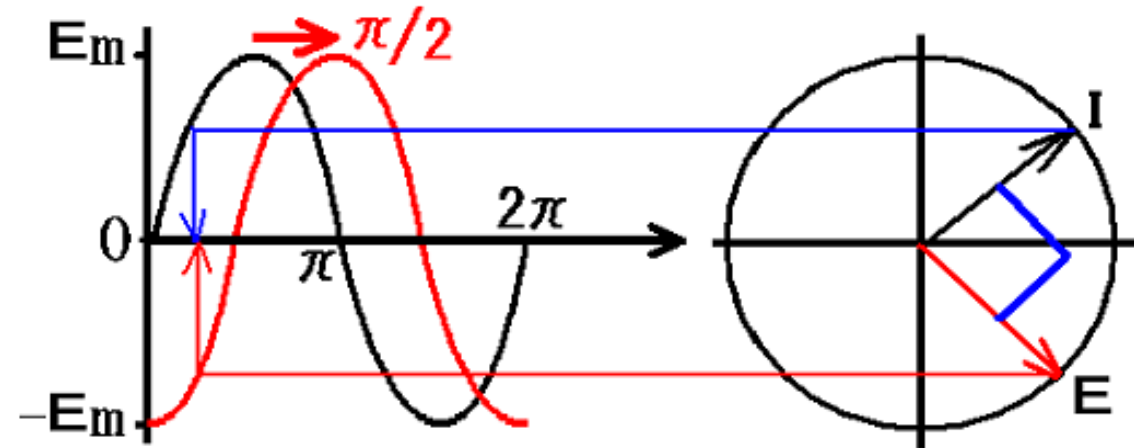


コンデンサに発生する交流電圧は、電流より $\pi/2$ 位相が遅れている。

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



$$E = -E_m \cos(\omega t) = E_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



コンデンサに電流が流れ込んでから電圧が発生し、電流が流出した後に電圧が減衰する。風船に出し入れする空気量と圧力の関係と同じ。

オームの法則(電圧＝電流 x 抵抗)と、 $E_m = I_m / \omega C$ から、交流電流に対するコンデンサの抵抗(インピーダンス) X_C は、 $X_C = 1 / \omega C$ (単位 Ω)。これを容量リアクタンスという。静電容量Cが大きいほど、 X_C は小さい。

(大きい風船ほど発生する圧力が小さい) reactance 【名】〔電気〕誘導抵抗。

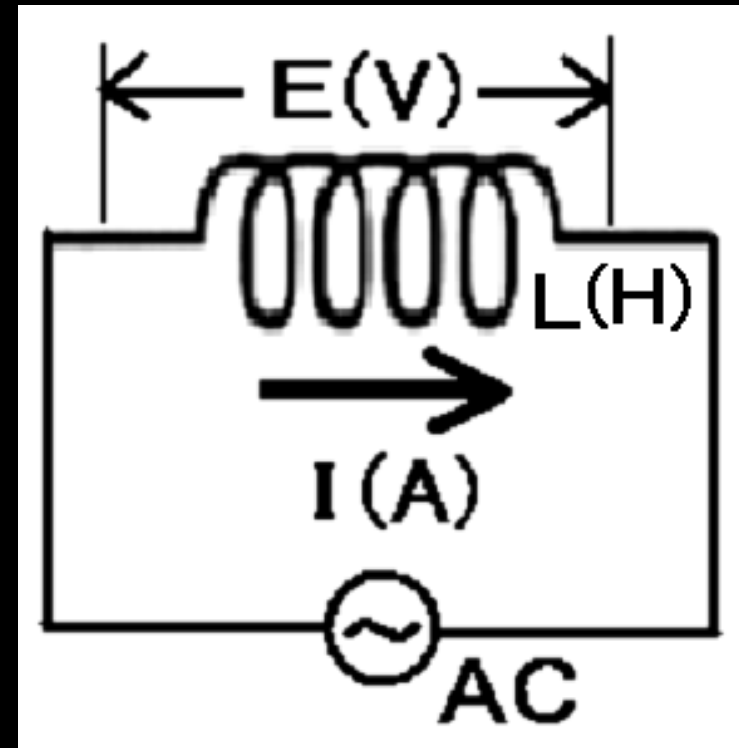
インダクタンス(コイル)に交流電流が流れるときの現象

インダクタンス L (H) のコイルに (n 回巻きの総和で L とする)、交流電流 I (A) を流したとき、発生する電圧 E (V) は、

$$E = L \, dI / dt$$

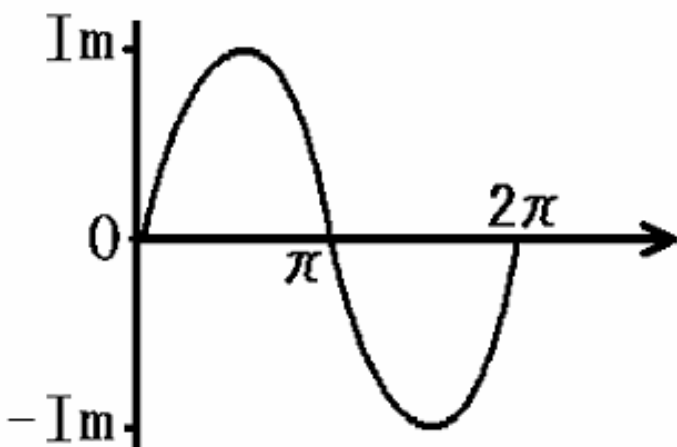
$I = I_m \sin(\omega t)$ を代入すると、

$$\begin{aligned} E &= I_m \omega L \cos(\omega t) \\ &= I_m \omega L \sin(\omega t + \pi/2) \\ &= E_m \cos(\omega t) \\ &= E_m \sin(\omega t + \pi/2) \\ &\quad (E_m = I_m \omega L) \end{aligned}$$

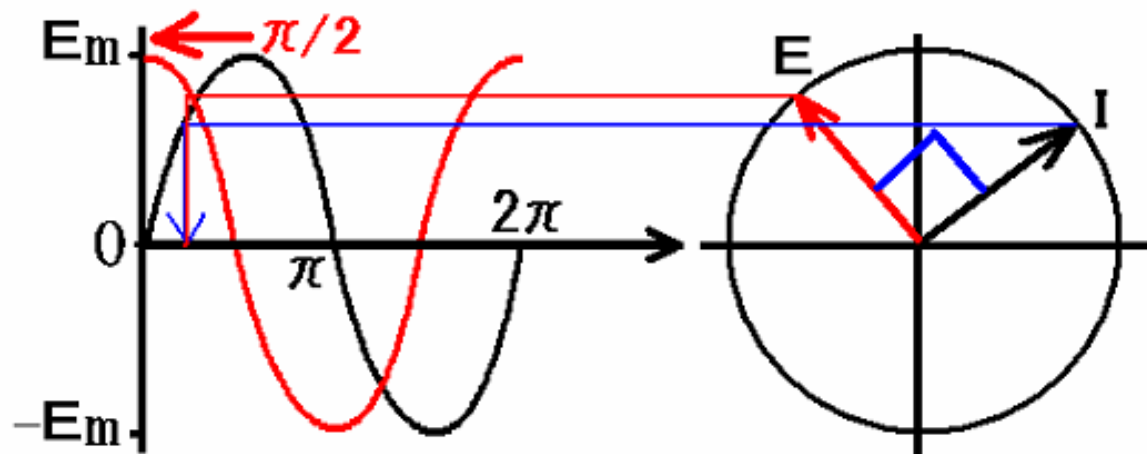


コイルに発生する交流電圧は、電流より $\pi/2$ 位相が進んでいる。

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



$$E = E_m \cos(\omega t) = E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$



コイルに電流が流れ始めると、それを阻止する方向に電圧が発生し、電流の増加率が下がると、それを阻止する方向に逆電圧が発生する。電磁誘導は、自然が変化を嫌うために生じる現象。

オームの法則(電圧＝電流 $\times$ 抵抗)と、 $E_m = I_m \omega L$ から、交流電流に対するコイルの抵抗(インピーダンス) X_L は、 $X_L = \omega L$ (単位 Ω)。これを誘導リアクタンスという。巻き数が多い(誘導係数 L が大きい)ほど、 X_L は大きい。

抵抗に交流電流が流れるときの現象

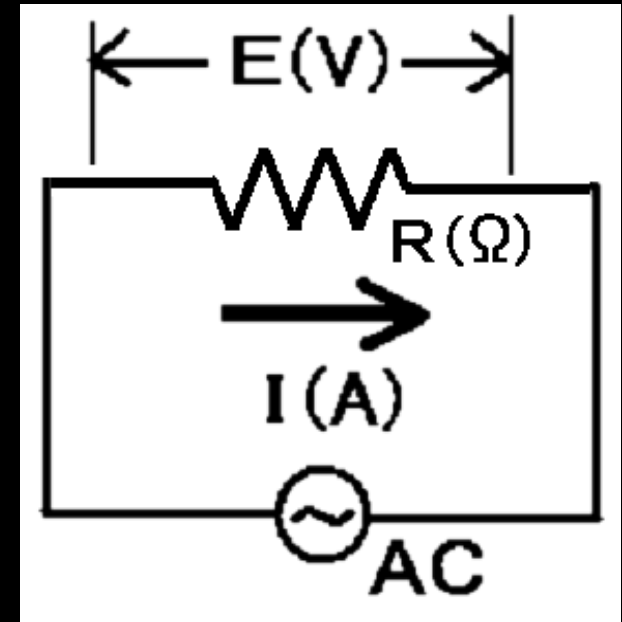
抵抗値 R (Ω) の抵抗に、交流電流 I (A) を流したとき発生する電圧 E (V) は、**直流電流と同じで**

$$E = I R$$

$I = I_m \sin(\omega t)$ を代入すると、

$$\begin{aligned} E &= I_m R \sin(\omega t) \\ &= E_m \sin(\omega t) \end{aligned}$$

$$(E_m = I_m R)$$



抵抗に発生する交流電圧の位相は、電流と同じ。

交流電流に対する抵抗のインピーダンスは、
直流電流に対する抵抗値(レジスタンス) R (Ω) と同じ値。

電子回路のインピーダンスは、
抵抗の レジスタンス R (Ω)と、
コンデンサの 容量リアクタンス X_C (Ω)と、
コイルの 誘導リアクタンス X_L (Ω)の 和 であるが、
それぞれ 発生電圧の位相が異なるので
単純な加算(スカラー和)では計算できない。

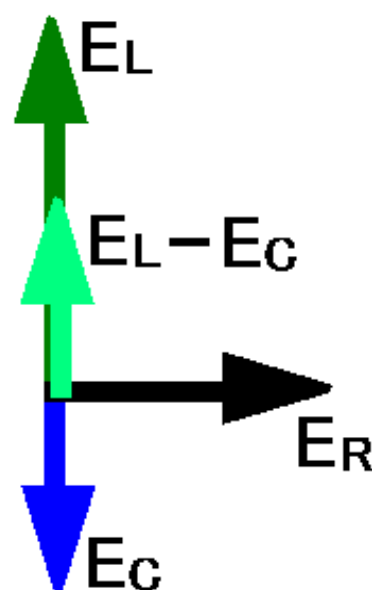
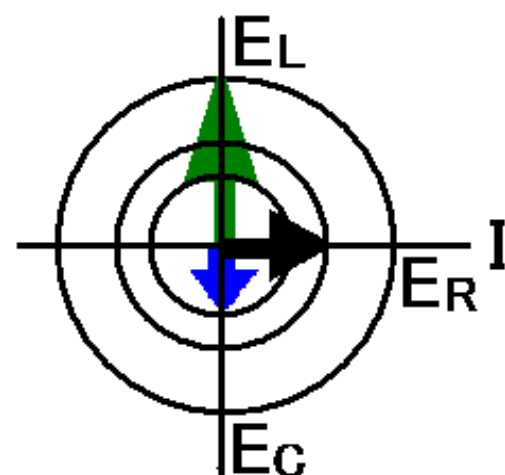
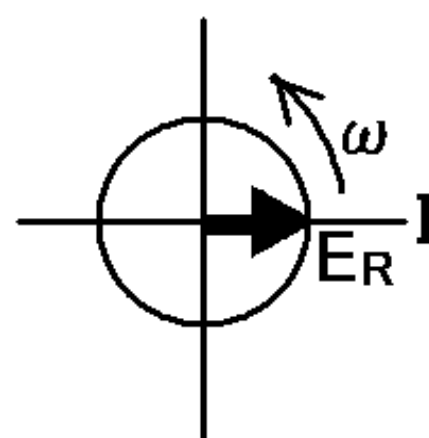
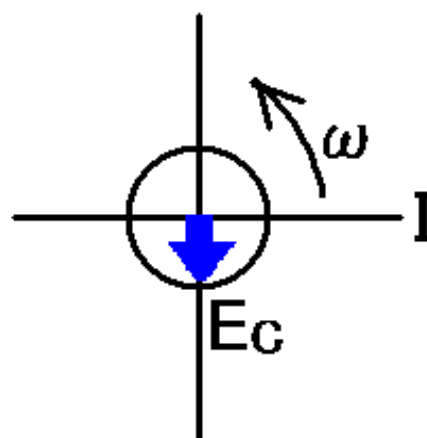
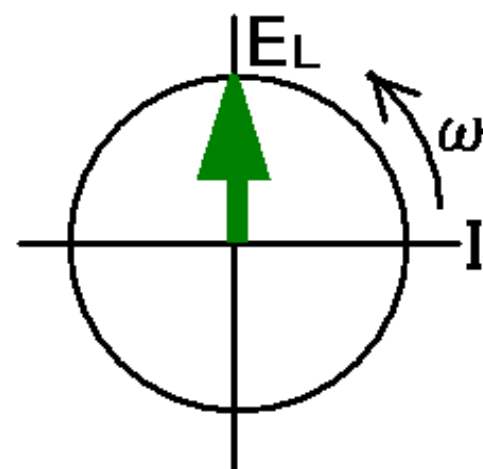
ベクトル和 を計算する。

(スカラー scalar : 方向を持たない数値)

(ベクトル vector : 方向を持つ数値)

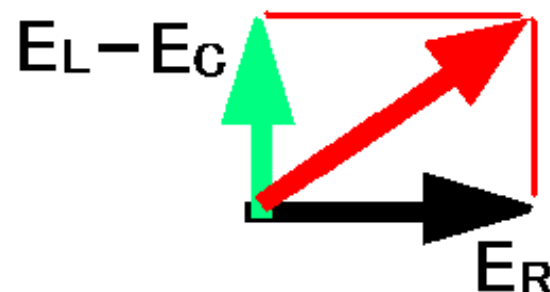
LCR直列回路に流れる交流電流 I を、円運動の射影と考えると、

E_L は 90° 進んでいる。 E_C は 90° 遅れている。 E_R は 電流と同じ位相。



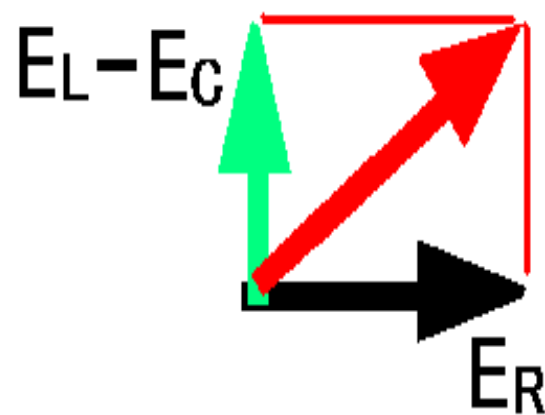
電圧のベクトル和

$$\sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2}$$



電圧のベクトル和

$$\sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2}$$



$$E_R = I R$$

$$E_L = I \omega L$$

$$E_C = I / \omega C \quad \text{を代入すると}$$

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

LCR直列回路のインピーダンス Z は、

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

resonator【名】〔電気〕共振回路.

resonance【名】〔電気〕(波長の)同調,共振;

$\omega L - \frac{1}{\omega C}$ が 0 になる周波数で、回路のインピーダンスが最小になる。

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

共振周波数 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

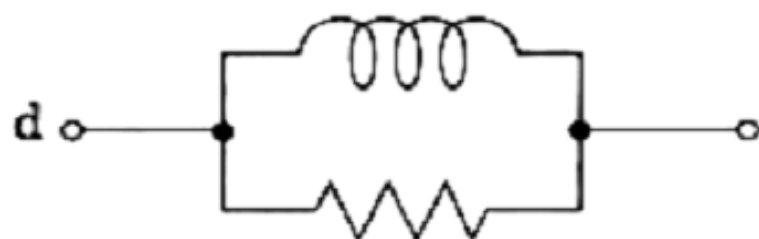
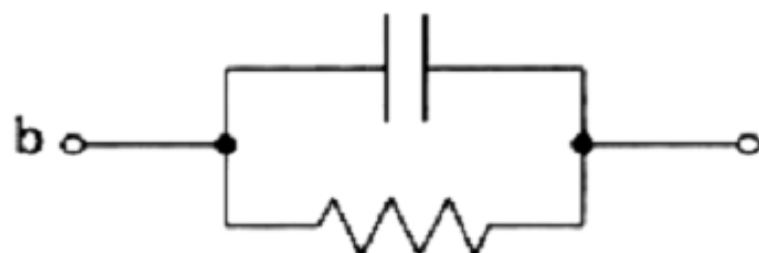
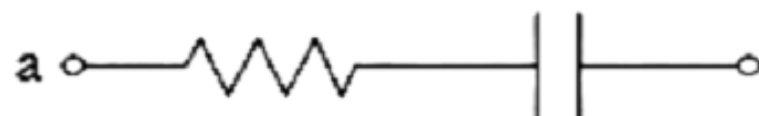
数種類の周波数の交流電気信号が入っているとき、

周波数 $f (= 1/(2\pi\sqrt{LC}))$ の交流信号にのみ、インピーダンスが低い。

LCR直列回路は、特定の周波数 f の交流信号だけよく通す。

これを共振周波数という。(Resonant Frequency)

周波数が増加するとインピーダンスが単調に減少するのはどれか。



単純な考え方としては、

コンデンサは周波数の高い交流を通しやすい。

コイルは周波数の高い交流を通しにくい。

だから、周波数が増加してインピーダンスの減る回路にコイルは入っていないはず。

1. a, b

2. a, e

3. b, c

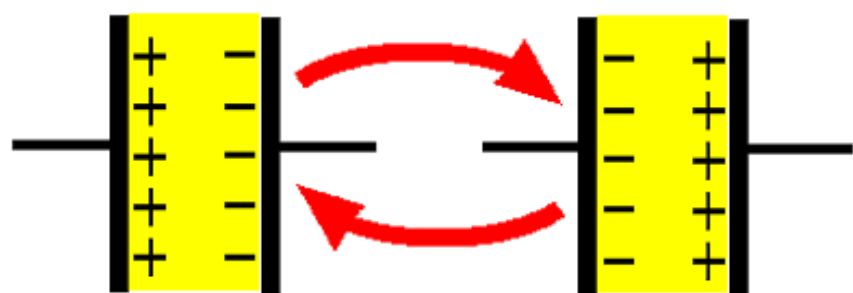
4. c, d

5. d, e

コンデンサは直流電流を通さない。
(周波数 $f = 0$ の交流を通さない)

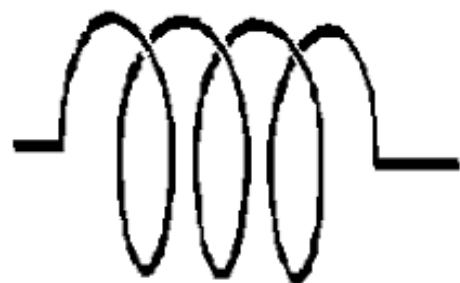


周波数の高い交流電流は、よく通す。
電流の向きが頻繁に変わると、
絶縁体に生じる静電気が頻繁に交換される。

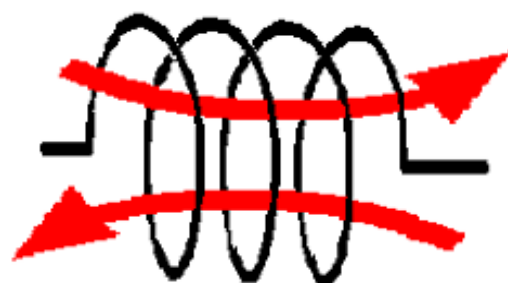


$$\text{容量リアクタンス } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

コイルは直流電流をよく通す。
(周波数 $f = 0$ の交流は、よく通す)

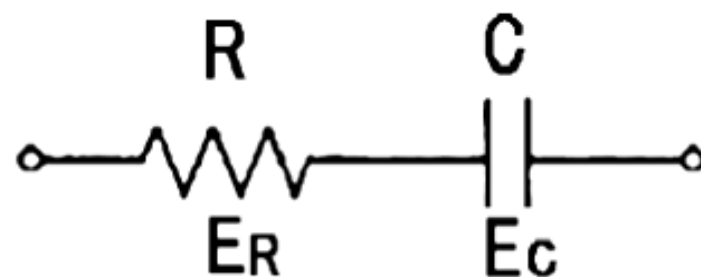


周波数の高い交流電流は、通しにくい。
電流の変化が多いと、
電流の変化を阻止する磁力線が多く生じる。



$$\text{誘導リアクタンス } X_L = \omega L = 2\pi fL$$

CR 直列回路



直列なので、C と R に同じ電流 I が流れる。

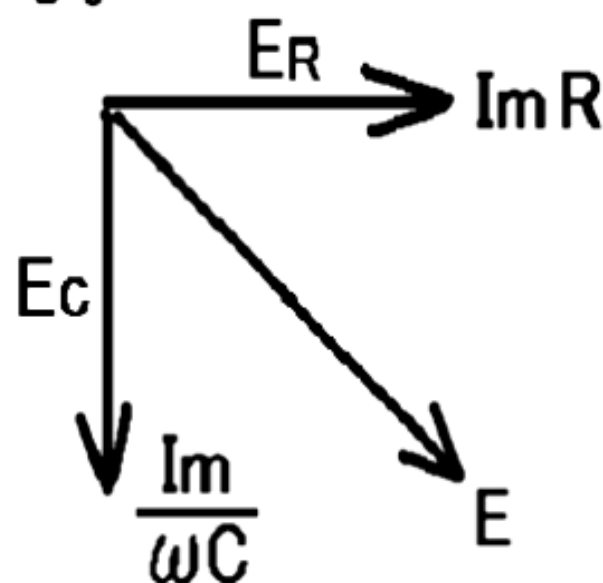
$$I = I_m \sin(\omega t)$$

$$E_R = I_m R \sin(\omega t)$$

$$E_C = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

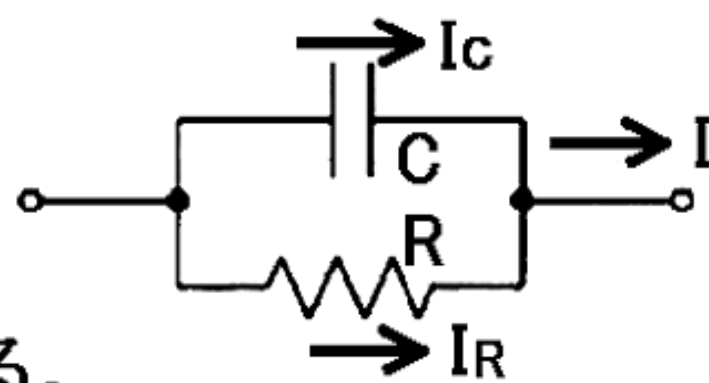
$$E = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{インピーダンス } Z \text{ は、} \omega \text{ と反比例する。}$$



コンデンサの電圧の位相は、
電流より 90° 遅れる。

CR 並列回路



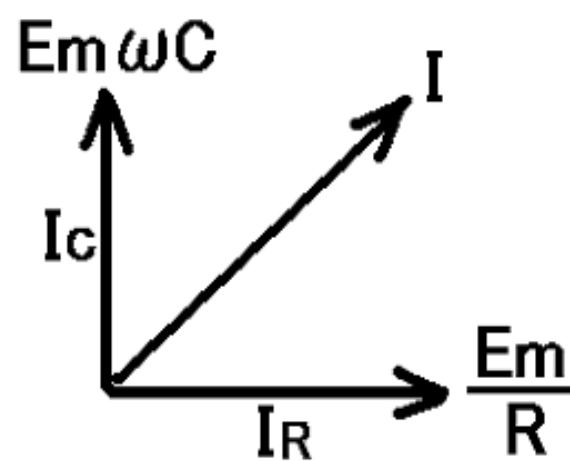
並列なので、同じ電圧 E が、 R と C にかかる。

$$E = E_m \sin(\omega t)$$

$$I_R = E/R = \frac{E_m}{R} \sin(\omega t)$$

$$I_C = E/(1/\omega C) = E_m \omega C \sin(\omega t + 90^\circ)$$

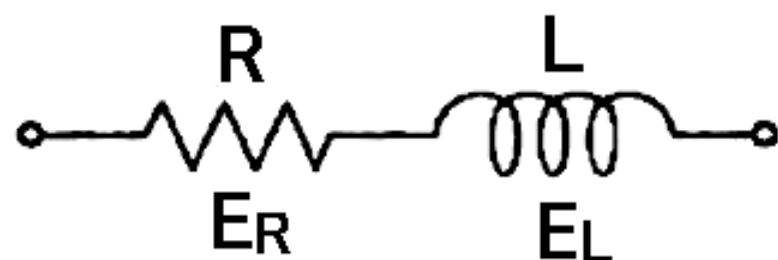
コンデンサに流れる交流電流の位相は
電圧よりも 90° 進んでいる。



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

インピーダンス Z は、 ω と反比例する。

LR 直列回路



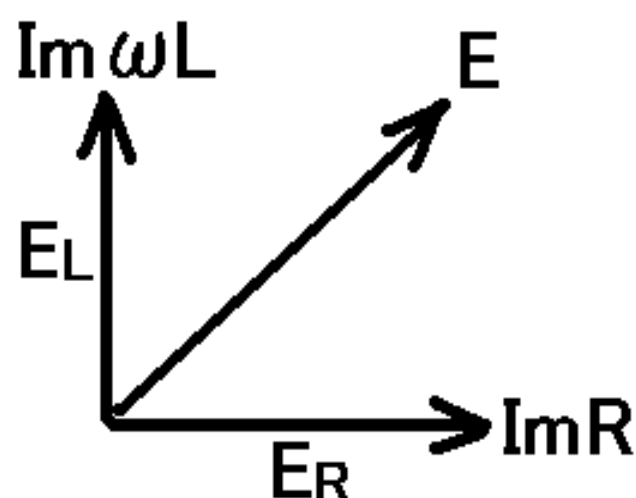
直列なので、R と L に同じ電流 I が流れる。

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

$$E_R = IR = I_m R \sin(\omega t)$$

$$E_L = I\omega L = I_m \omega L \sin(\omega t + 90^\circ)$$

コイルに生じる電圧の位相は、
電流より 90° 進んでいる。

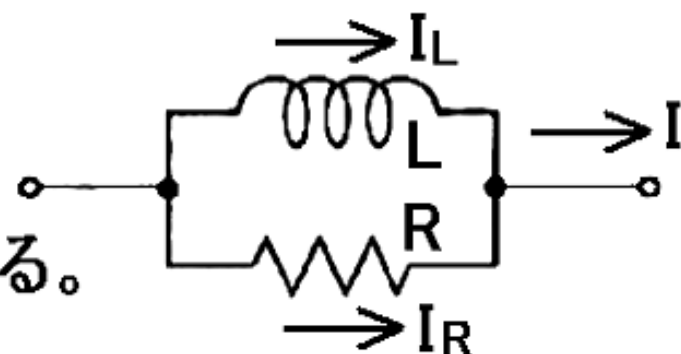


$$E = I_m \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad \text{インピーダンス } Z \text{ は、} \omega \text{ と比例する。}$$

LR 並列回路

並列なので、R と L に同じ電圧 E がかかる。

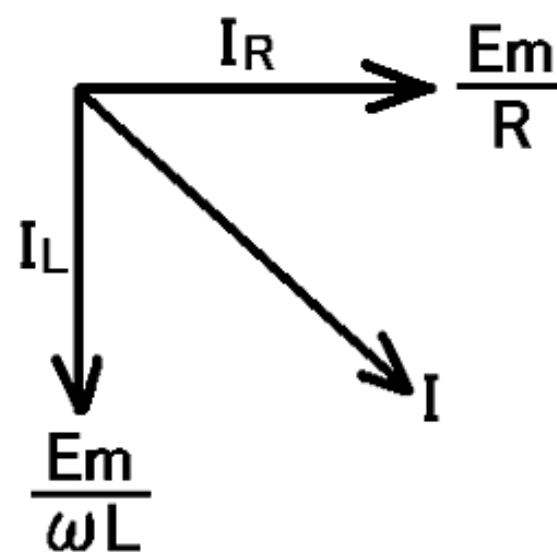


$$E = E_m \sin(\omega t)$$

$$I_R = E/R = \frac{E_m}{R} \sin(\omega t)$$

$$I_L = E/\omega L = \frac{E_m}{\omega L} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

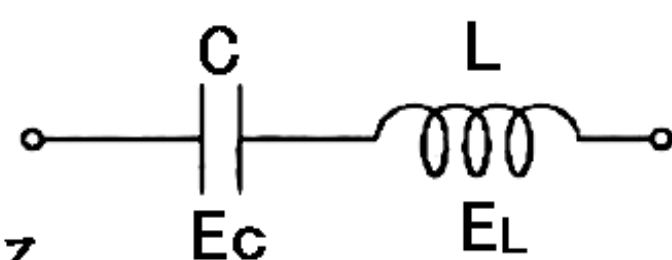
コイルに流れる電流の位相は、
電圧より 90° 遅れている。



$$I = E_m \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L}\right)^2}$$

$$Z = E_m/I = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad \text{インピーダンス } Z \text{ は、} \omega \text{ と比例する。}$$

LC 直列回路



直列なので、L と C に同じ電流 I が流れる。

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

$$E_c = \frac{I}{\omega C} = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$E_L = I \omega L = I_m \omega L \sin(\omega t + 90^\circ)$$

コンデンサの電圧は 90° 遅れる。
コイルの電圧は 90° 進む。

$$E = E_L - E_c = I_m \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

$Z = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ インピーダンス Z は、 ω が $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ のとき 0 になる。

したがって LC 直列回路は、共振回路である。



図AのCR回路の入力に図Bの信号を加えたときの出力信号波形は次のどれか。

図 A

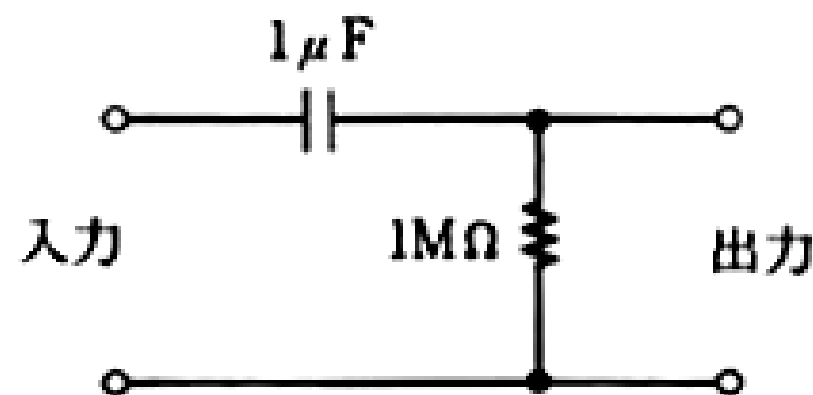
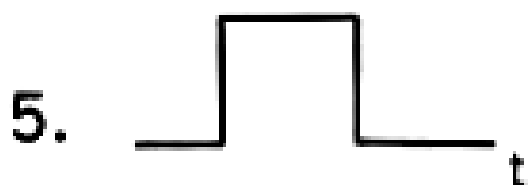
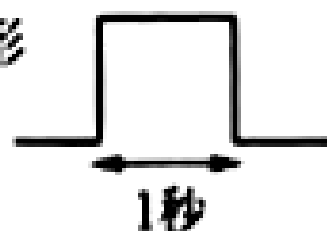
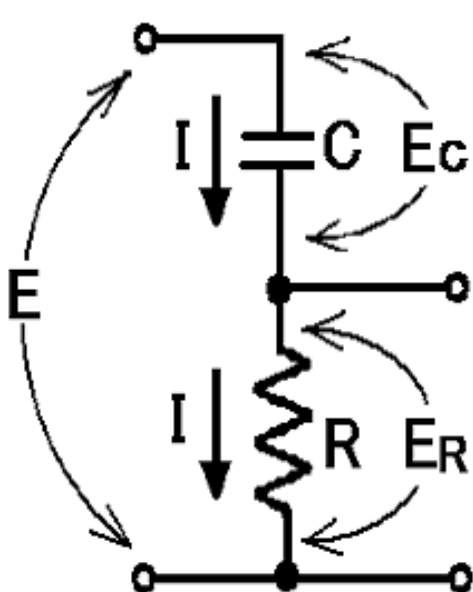


図 B

入力信号波形



CR 結合回路



コンデンサCと抵抗Rは直列なので、
流れる電流 I は同じ。

コンデンサに流れる電流 I と、生じる電圧 E_C
の関係は、

$$I = C \frac{dE_C}{dt}$$

$$(I = \frac{dQ}{dt}, Q = CE_C)$$

(コンデンサに流れる電流は、コンデンサに蓄積する電荷Qの1秒間の変化率。)

(コンデンサの静電容量 C (F ファラッド) は、

1V(ボルト) が加わったときの電荷量と定義されているので、 $Q = CE_C$)

$E = E_C + E_R$ 、 $E_R = IR$ を代入して、 $E = E_C + CR \frac{dE_C}{dt}$

$$CR \frac{dE_C}{dt} + E_C = E$$

が、この回路の方程式(線形微分方程式)。

このスライドは、数学での微分方程式を解く方法の話。
数学が嫌いな人は無視してOK.

線形微分方程式 $CR \frac{dE_c}{dt} + E_c = E$ の解き方。

求めたい値(変数)は、 E_c 。

左辺に、求めたい変数および変数の微分の項だけがあって、
右辺に、求めたい変数を含まない項だけの微分方程式を
線形微分方程式という。

線形微分方程式の解は、

右辺が0の時の解 $E_c = E_{c0}$ (過渡解) と、

右辺が0でない時の解 $E_c = E_{c1}$ (定常解) の、和になる。

$$E_c = E_{c0} + E_{c1}$$

(入力電圧 E が0の場合と、そうでない場合の合計になる。)

(E が0のときの E_c の値が、 E が0でなくなったときにも影響を及ぼすため。)

このスライドも、数学での微分方程式を解く方法の話。 数学が嫌いな人は無視してOK.

右辺が 0 のときの解。($E = 0$) (過渡解)

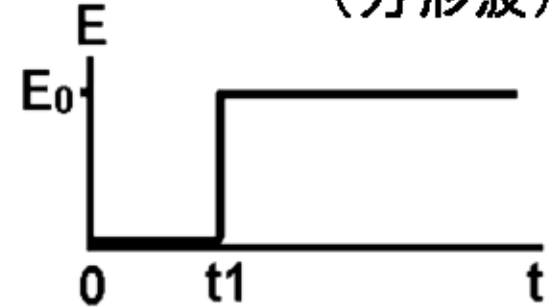
$$CR \frac{dE_c}{dt} + E_c = 0 \rightarrow \frac{dE_c}{dt} = -\frac{1}{CR} E_c$$

微分して $-\frac{1}{CR}$ 倍になる変数の式は、

$$E_c = k e^{-\frac{1}{CR} t}$$

$$E_{c0} = k e^{-\frac{1}{CR} t}$$

ステップ電圧 (矩形波)
(方形波)



右辺が 0 でない時の解。(定常解)

E_c が定数でも右辺 = E が成り立つ。

$$CR \frac{dE_c}{dt} + E_c = E \quad \text{に、} E_c = A \text{ (定数) を代入してみると、}$$

$$0 + A = E \rightarrow A = E \rightarrow E_{c1} = E$$

$$E_c = E_{c0} + E_{c1} = k e^{-\frac{1}{CR} t} + E$$

$t=0$ のとき $E_c = 0$ を代入すると、 $k = -E$

$$E_c = -E e^{-\frac{1}{CR} t} + E$$

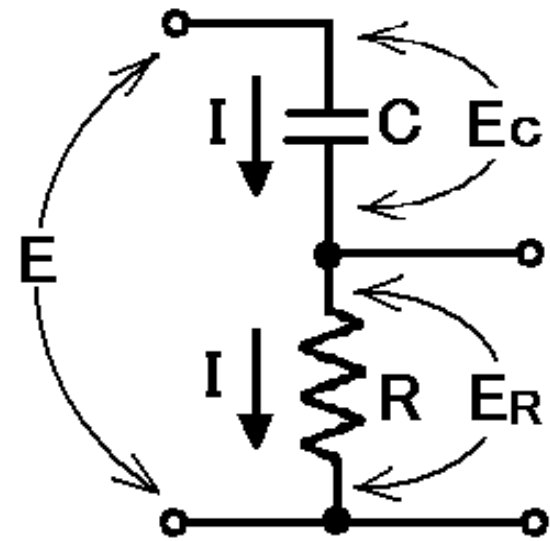
このスライドも、数学での微分方程式を解く方法の話ですが、CR結合回路の式は重要なので数学嫌いな人は丸暗記しましょう。

$E_R = E - E_C$ に、

$E_C = -E e^{-\frac{1}{CR}t} + E$ を代入して

$$E_R = E e^{-\frac{1}{CR}t}$$

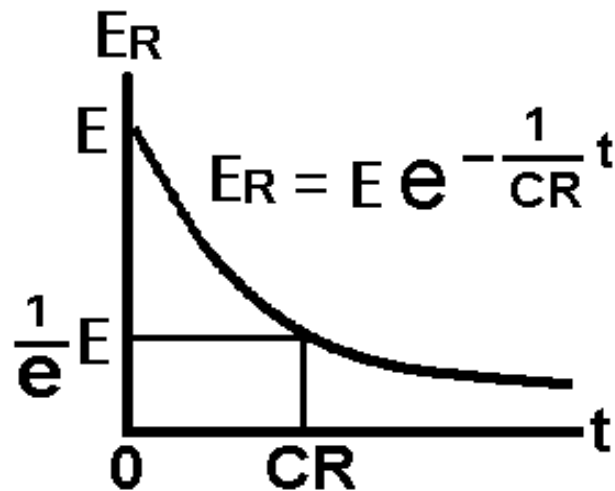
CR結合回路の式



CとRの積を、時定数 τ (タウ) という。

時定数 $\tau = CR$ (単位は秒)

F(ファラッド) x Ω (オーム)
= sec(秒)



τ 秒後の E_R の値は、
初期値の $1/e$ (37%) になる。

($e \doteq 2.718$ 、 $1/e \doteq 0.37$)

静電容量 C (F ファラッド) と 抵抗値 R (Ω オーム) の積がなぜ 時間の次元 τ (sec) になるのか。

次元解析 ([] は、次元、単位をあらわす。)

コンデンサに流れる電流は、コンデンサに蓄積する電荷 Q の 1 秒間の変化率。

$$I = dQ / dt$$

コンデンサの静電容量 C (F ファラッド) は、
1V (ボルト) が加わったときの電荷量と定義されているので、 $Q = CE$ 。

$$I = C \, dE / dt \rightarrow [A] = [F] [V] / [sec]$$

オームの法則 (1A の電流が流れたとき 1V の電圧を生じる
電気抵抗を 1 Ω とする。)

$$R = E / I \rightarrow [\Omega] = [V] / [A]$$

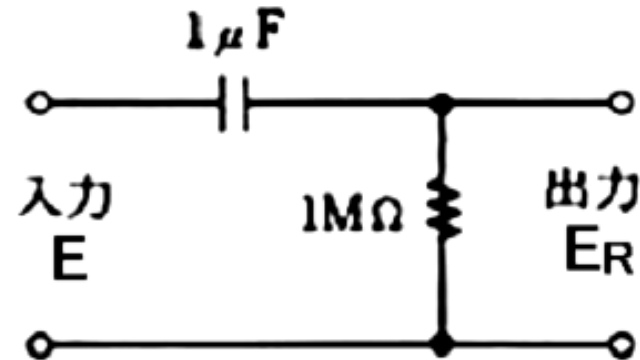
$$= [V] \cdot \frac{[sec]}{[F] [V]} = \frac{[sec]}{[F]}$$

$$[F] [\Omega] = [sec]$$

$$\text{時定数 } \tau = CR \text{ (秒)}$$

右図の CR 結合回路の時定数 τ は、

$$\begin{aligned}\tau &= CR = 1(\mu F) \times 1(M\Omega) \\ &= 1 \times 10^{-6}(F) \times 1 \times 10^6(\Omega) = 1(sec)\end{aligned}$$

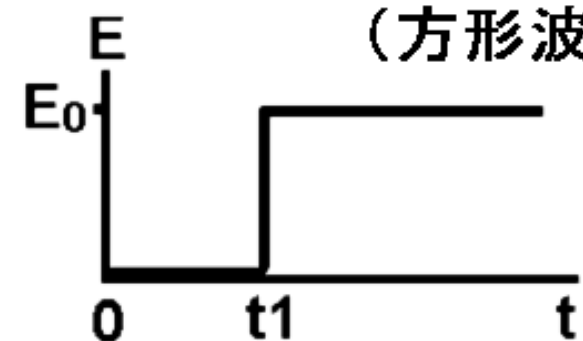


時間 t_1 で、入力電圧が 0 から E_0 に上がると、急激な電流の変化で、時間 t_1 の一瞬だけコンデンサの電気抵抗(容量リアクタンス)は 0 になる。

(電圧が加わる直前まで、コンデンサには電荷が 0 なので容易に電流が流れ込む。)

(極めて周波数の高い交流が一瞬流れるのと同様な現象。)

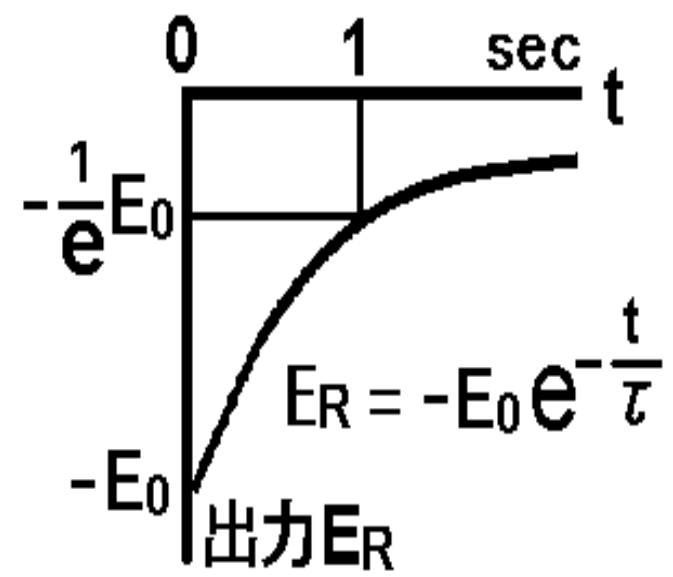
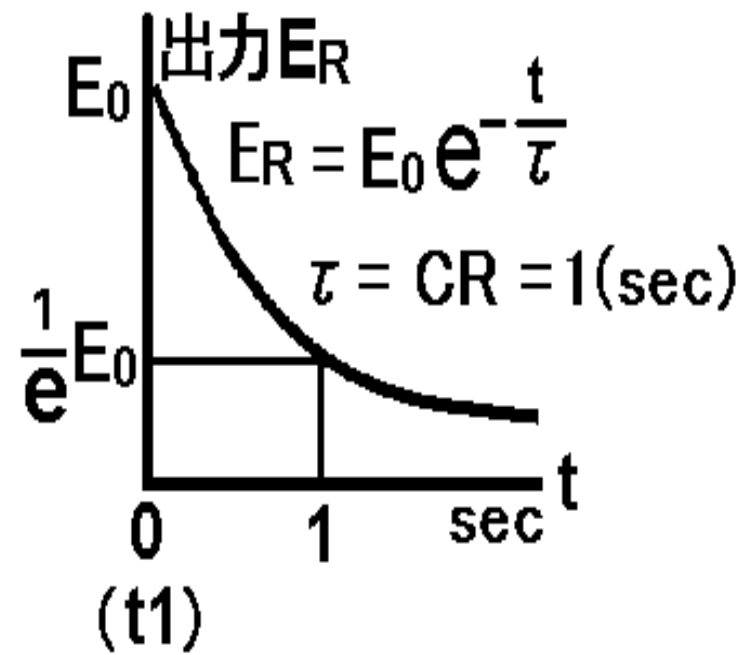
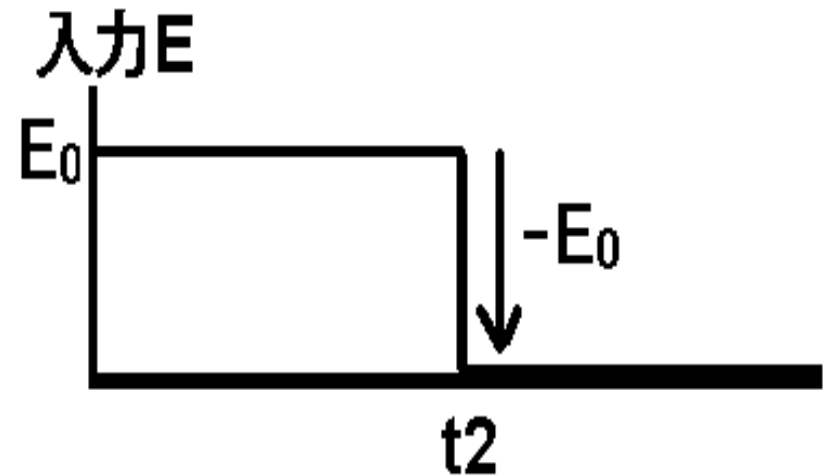
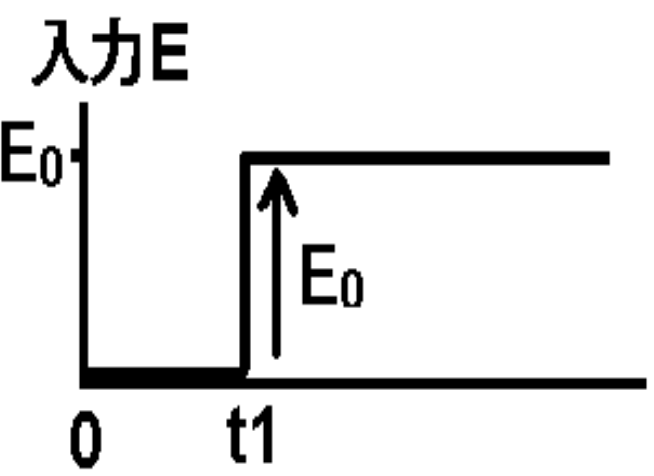
ステップ電圧(矩形波)
(方形波)



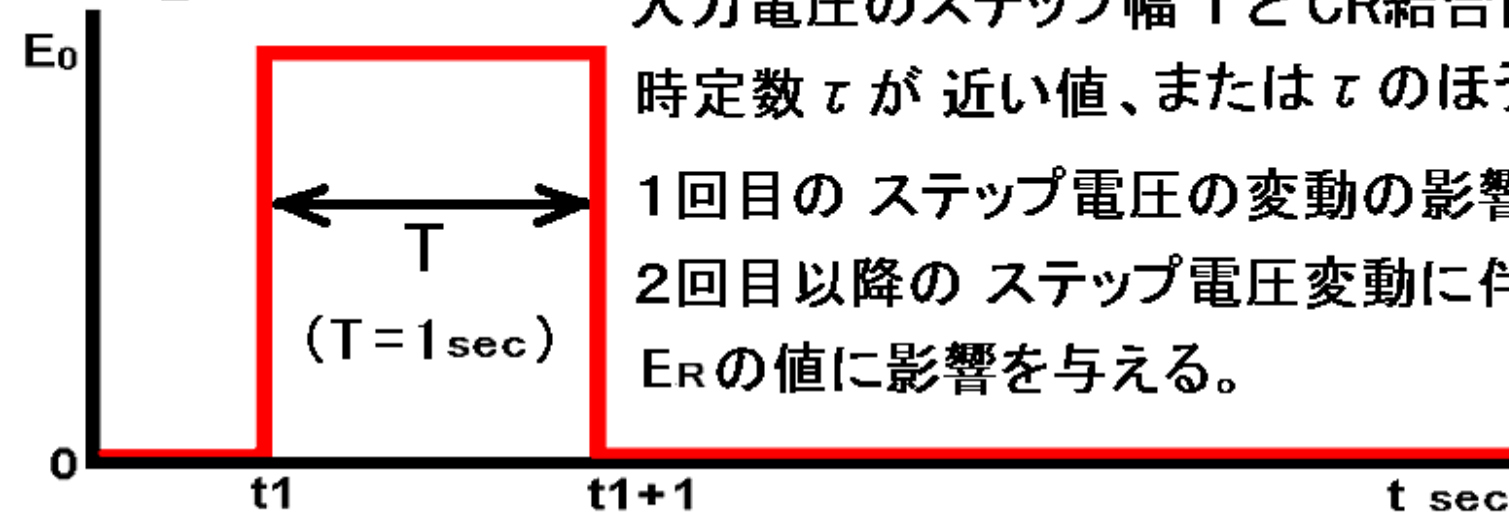
時間 t_1 での出力電圧は、コンデンサの抵抗が 0 なので入力電圧と同じ。
時間 t_1 から継続的にコンデンサに電荷が蓄積されていくので、次第に抵抗に流れる電流が減少し、オームの法則で、出力電圧も減少。
このときの出力電圧の減衰曲線が、時定数 1 秒の指数曲線になる。

電圧の急激な上昇 E_0

電圧の急激な減少 $-E_0$ が生じると
出力電圧は逆方向で、同じ現象が起きる。



入力電圧 E



入力電圧のステップ幅 T と CR 結合回路の時定数 τ が近い値、または τ のほうが長い場合は、1回目のステップ電圧の変動の影響が長時間続き、2回目以降のステップ電圧変動に伴う出力電圧 E_R の値に影響を与える。

出力電圧 E_R $\tau = CR = 1(\text{sec})$

