電験三種　理論模試
（第三回　解答）

問題	解答
問 1	(2)
問 2	(3)
問 3	(3)
問 4	(4)
問 5	(1)
問 6	(2)
問 7	(4)
問 8	(5)
問 9	(3)
問 10	(2)
問 11	(2)
問 12	(1)
問 13	(5)
問 14	(4)
問 15(a)	(3)
問 15(b)	(2)
問 16(a)	(4)
問 16(b)	(1)
問 17(a)	(3)
問 17(b)	(2)
問 18(a)	(1)
問 18(b)	(4)

問 1　Ans.　(2)

各コンデンサに充電された電荷をそれぞれQ_1、Q_2、Q_3とすると、

$$Q_1 = C_1V_1 = 4 \times 4 = 16\ \mu\mathrm{C}$$
$$Q_2 = C_2V_2 = 2 \times (-5) = -10\ \mu\mathrm{C}$$
$$Q_3 = C_3V_3 = 1 \times 8 = 8\ \mu\mathrm{C}$$

全てのスイッチを閉じると、3 つのコンデンサは並列に接続される。

全体の電荷は各コンデンサの電荷の総和で決まるので、

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 16 - 10 + 8 = 14\ \mu\mathrm{C}$$

合成の静電容量は、並列接続なので各静電容量の和となり、

$$C = 4 + 2 + 1 = 7\ \mu\mathrm{F}$$

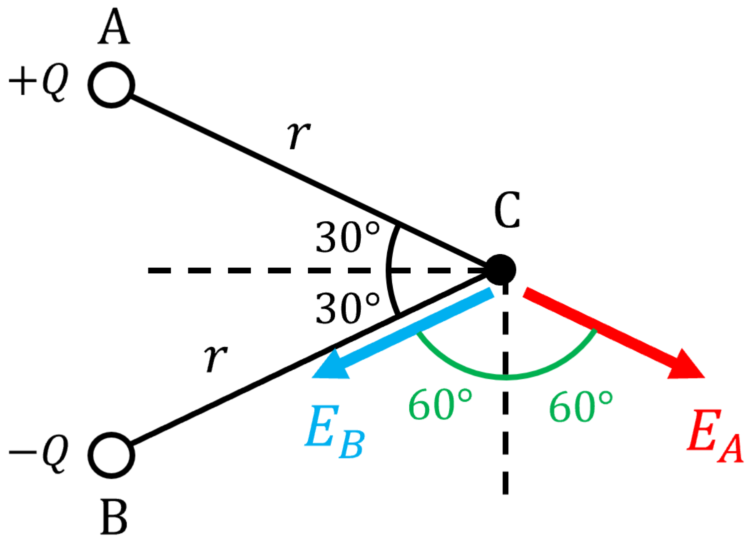
従って、端子 A-B 間の電圧V_{AB}は、

$$V_{AB} = \frac{Q}{C} = \frac{14}{7} = 2\ \mathrm{V}$$

となる。

問 2　Ans.　(3)

点 A の電荷$+Q$が点 C に作る電界をE_A、点 B の電荷$-Q$が点 C に作る電界をE_Bとすると、2 つの電界は以下の図のようになる。



2 つの電界のベクトル和を考えると、水平方向の成分は打ち消し合い、垂直方向の成分のみが残る。従って、

$$E = E_A \cos 60° + E_B \cos 60°$$
$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \times \frac{1}{2} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \times \frac{1}{2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

となる。

点 A の電荷$+Q$が点 C に作る電位をV_A、点 B の電荷$-Q$が点 C に作る電位をV_Bとすると、点 C の電位は

$$V = V_A + V_B = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} + \frac{-Q}{4\pi\varepsilon_0 r} = 0$$

となる。

問 3　 Ans. （3）

自己インダクタンスは以下の関係式を満たす。

（鎖交磁束）＝（自己インダクタンス）×（電流）

また、鎖交磁束は

（鎖交磁束）＝（巻数）×（磁束）

となる。従って、巻線 1 の自己インダクタンスL_1は

$$N_1\Phi_1 = L_1 I_1 \to L_1 = \frac{N_1\Phi_1}{I_1}$$
$$L_1 = \frac{5\times 8}{20} = 2\ \mathrm{H}$$

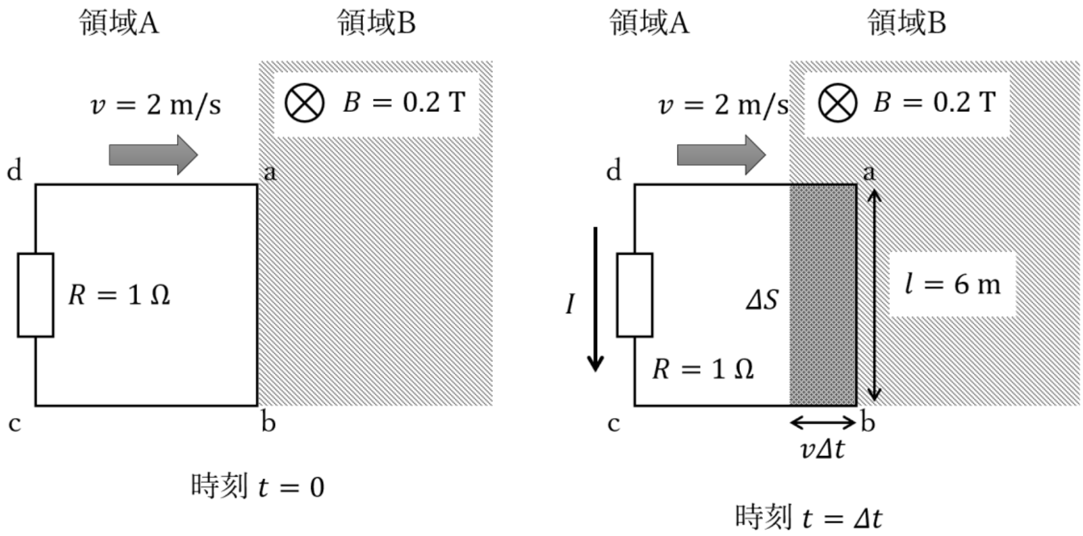
となる。同様に、巻線 2 の自己インダクタンスL_2は

$$N_2\Phi_2 = L_2 I_2 \to L_2 = \frac{N_2\Phi_2}{I_2}$$
$$L_2 = \frac{4\times 18}{12} = 6\ \mathrm{H}$$

相互インダクタンスMは以下の式となる。

$$M_{12} = k\sqrt{L_1 L_2}$$
$$M_{12} = 0.8\times\sqrt{6\times 2} = 0.8\times\sqrt{12} = 2.77\ \mathrm{H}$$

問 4　Ans.　(4)



時刻$t = 0$sからΔt経過した時刻$t = \Delta t$を考える。Δtの間に導体ループが領域 B と交わる面積ΔSは

$$\Delta S = lv\Delta t$$

と表せる。このとき発生する逆起電力はファラデーの法則より、

$$V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = Blv$$
$$V = 0.2 \times 6 \times 2 = 2.4\ \mathrm{V}$$

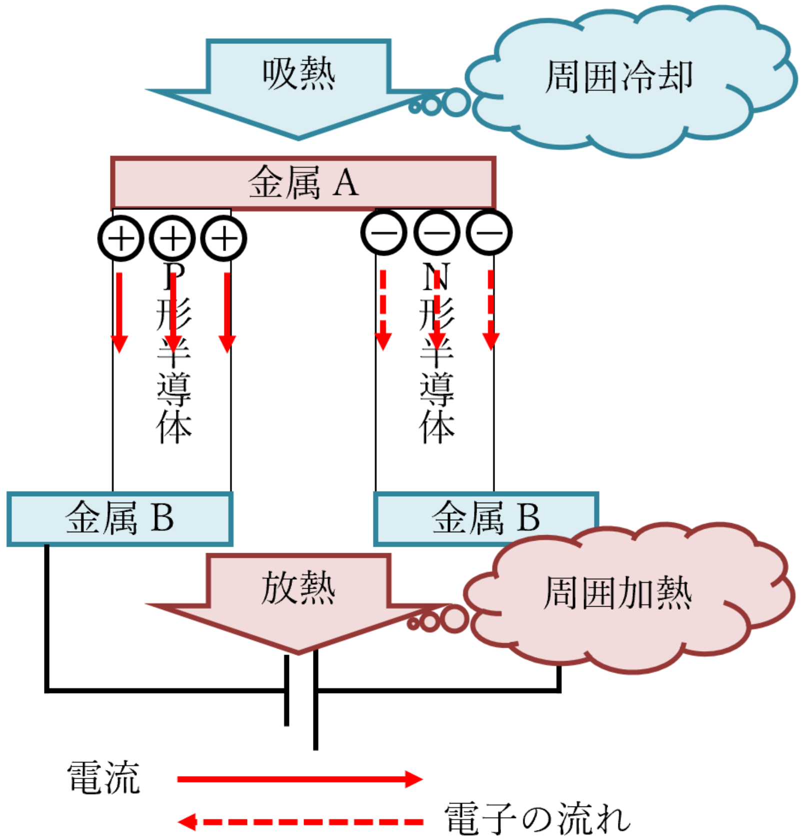
となる。このとき起電力（電流）は磁束の変化を妨げる向きに発生することから、導体ループに対して半時計まわりの向きに電流は流れる（右ねじの法則で親指（磁界の向き）を紙面奥から手前にたてると、その他の指（電流の向き）は反時計まわりとなる）。従って、電流の向きは問題の②の向きとなる。

このとき、電流Iの大きさは、

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2.4}{1} = 2.4\ \mathrm{A}$$

となる。

問 5　Ans.　(1)



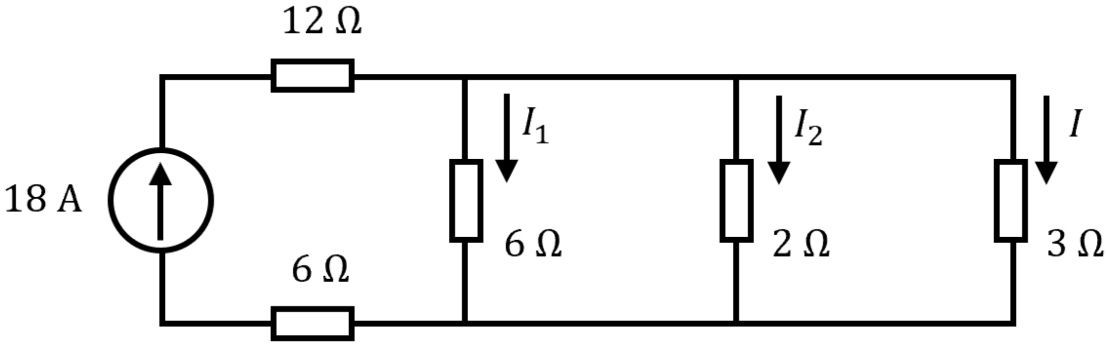
この問題では、p 形半導体中の多数キャリアの正孔は金属 A から金属 B へ向かって移動し、n 形半導体中の多数キャリアの電子も金属 A から金属 B へ向かって移動する。半導体に電流を流すと、キャリアの移動の向きに対して、キャリアの移動先が疎になるようにキャリアの密度勾配ができる。従って、金属 A 付近のキャリア密度が密、金属 B 付近のキャリア密度が疎になる。このようなキャリア密度分布を形成することで、半導体中で温度差が発生する。

キャリア密度が密の部分の温度は高くなり、キャリア密度が疎の部分の温度は低くなる。従って、金属 A の温度が高く、金属 B の温度が低くなる。

この温度変化に必要なエネルギーは外部からの授受により成り立つ。従って金属 A の温度上昇は周辺の空気からの吸熱、金属日の温度低下は周囲の空気への放熱によってなされる。その結果、金属 A の周辺の空気の温度は吸熱により低くなり、金属 B の周辺の空気の温度は放熱により高くなる。

このように、半導体に電流流すことで、その周辺温度が変化する現象をペルチェ効果という。

問 6　Ans.　(2)



並列接続された部分の電流の分布は抵抗の逆比で決まる。6 Ωに流れる電流I_1を、2 Ωに流れる電流をI_2とすると、

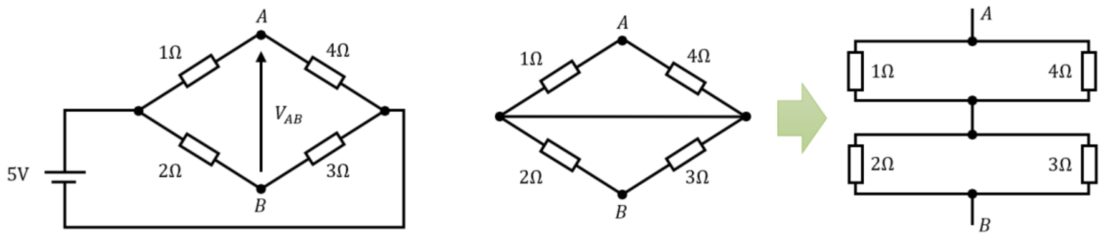
$$I_1 : I_2 : I = \frac{1}{6} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 1 : 3 : 2$$

従って3 Ωに流れる電流Iは、

$$I = \frac{2}{6} \times 18 = 6\ \mathrm{A}$$

となる。

問 7　Ans.　(4)



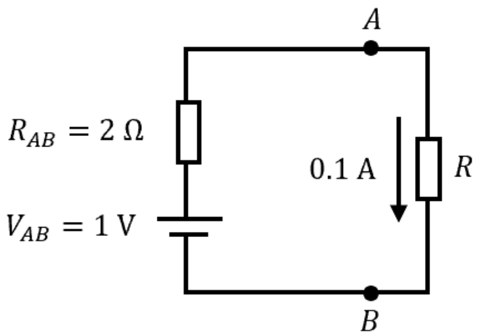
テブナンの定理を用いる。図より端子 AB 間の電圧は、

$$V_{AB} = \frac{4}{1+4} \times 5 - \frac{3}{2+3} \times 5 = 4 - 3 = 1\ \mathrm{V}$$

となる。抵抗R_{AB}は、

$$R_{AB} = \frac{1 \times 4}{1+4} += \frac{2 \times 3}{2+3} = \frac{4}{5} + \frac{6}{5} = 2\ \Omega$$

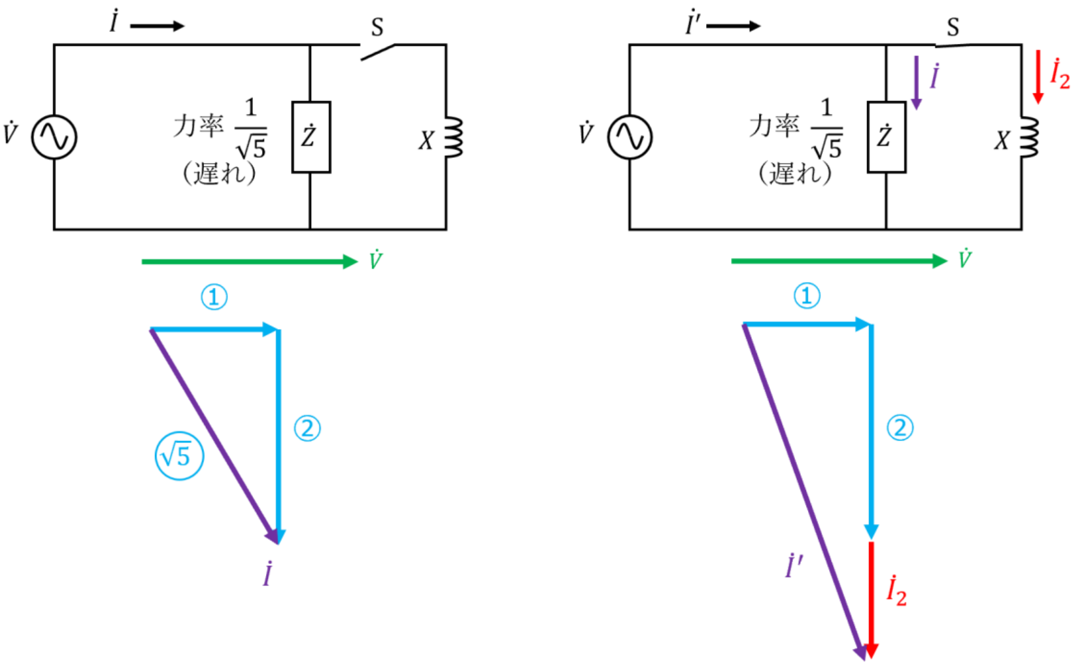
となる。従って、以下の等価回路より、抵抗Rを求めると、



$$0.1 = \frac{1}{2+R} \to 2 + R = \frac{1}{0.1} = 10 \to R = 8\ \Omega$$

となる。

問 8　Ans.　(5)



スイッチの開閉による電流のベクトルの変化を図に示す。

$$I_{①} = \frac{1}{\sqrt{5}} \times 13.4 = 5.99\ \mathrm{A}$$

$$I_{②} = \frac{2}{\sqrt{5}} \times 13.4 = 11.99\ \mathrm{A}$$

$$I' = \sqrt{I_{①}^2 + \left(I_{②} + I_2\right)^2} = 17$$

$$17^2 = 5.99^2 + (11.99 + I_2)^2$$

$$(11.99 + I_2)^2 = 17^2 - 5.99^2 = 253.12$$

$$11.99 + I_2 = 15.91$$

$$I_2 = 3.92\ \mathrm{A}$$

$$X = \frac{V}{I_2} = \frac{100}{3.92} = 25.5\ \Omega$$

となる。

問 9　Ans.（3）

(1) 実効値は正弦波の最大値（振幅）の$1/\sqrt{2}$倍なので、正しい。

(2) 正弦波の平均値は以下の式で表すことができる。

$$V_{ave} = \frac{2}{\pi} V_{max} = 063 V_{max}$$

(3) RLC直列回路のインピーダンス$\dot{Z}$は

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

共振周波数より低周波の場合、

$$\omega L < \frac{1}{\omega C} \rightarrow \dot{Z} = R - jX$$

となり、容量性リアクタンスとなるため、電流は進みとなる。（3）は誤り。

(4)、（5）

RLC並列回路の共振周波数でのアドミタンスは、

$$\dot{Y} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = \frac{1}{R} + j0 = \frac{1}{R} \rightarrow \dot{Z} = R$$

となり、最小となる。従って、インピーダンスは共振条件で最大となる。またこのとき力率は 1 となり、皮相電力と有効電力は一致する。

問 10　Ans.　(2)

時刻t_1でスイッチ S を①側にすると電源からコンデンサに向かって電流i_Cが流れる。このときの電流$i_C(t_1)$は、

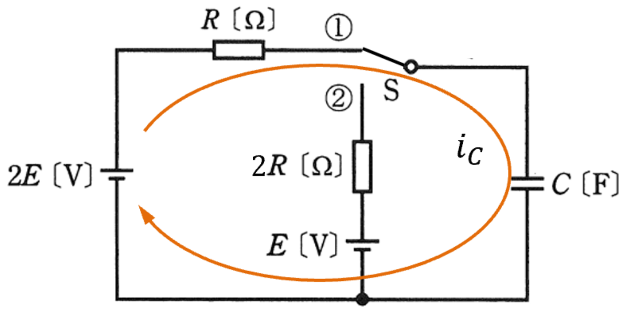
$$i_c(t_1) = \frac{2E}{R}$$

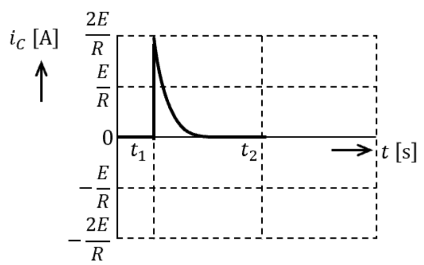
となる。コンデンサの充電が進むと、電流はどんどん小さくなっていく。この電流の変化を表す時定数τ_1は、

$$\tau_1 = RC$$

と表せる。

$t_1 < t < t_2$





時刻t_2において、コンデンサの充電は完了しており、このときコンデンサの電圧は$2E$となる。ここでスイッチ S を②側にすると、コンデンサから電源Eに向かって放電が行われるため、コンデンサから電源Eに向かって電流i_Cが流れる。時刻t_2の電流は$i_C(t_2)$は、

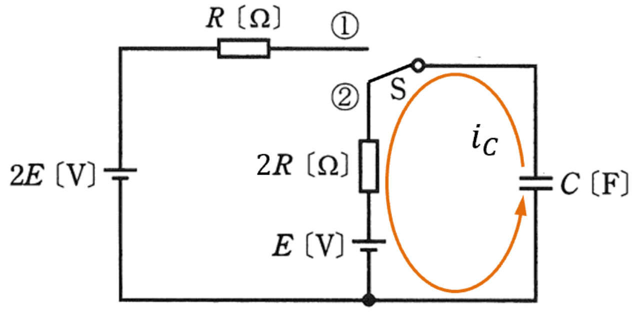
$$i_c(t_2) = \frac{\mathit{\Delta} E}{2R} = \frac{2E - E}{2R} = \frac{E}{2R}$$

となる。ここで、電流i_Cの向きスイッチ S を切り替える前に比べて逆向きになる。また、時定数τ_2は、

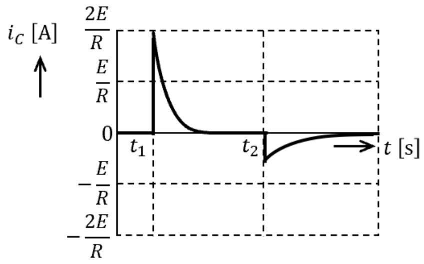
$$\tau_2 = 2RC$$

となり、時刻t_1からt_2までの変化に比べて時定数は 2 倍となるため、電流の変化はゆっくり減衰していく。時刻t_2以降の逆起電力i_Cの変化は以下の図のようになる。

$t > t_2$



R〔Ω〕
①
②
S
i_C
2E〔V〕
2R〔Ω〕
C〔F〕
E〔V〕



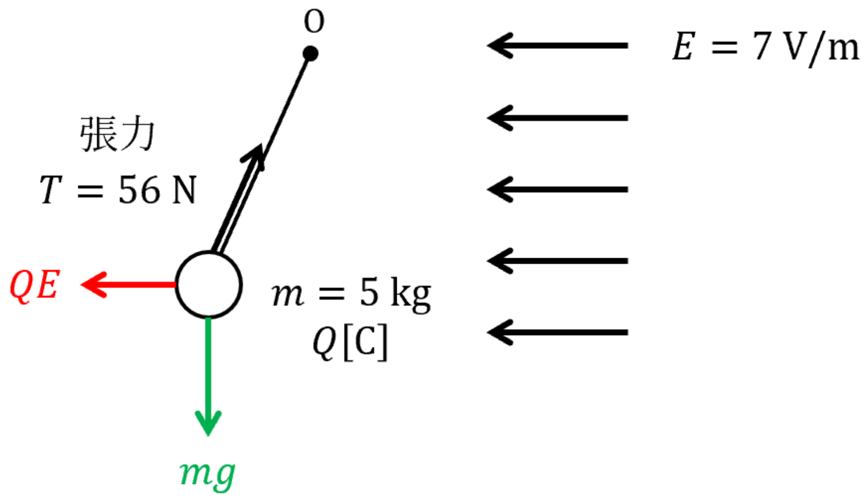
i_C [A]
$\frac{2E}{R}$
$\frac{E}{R}$
0
t_1
t_2
t [s]
$-\frac{E}{R}$
$-\frac{2E}{R}$

問 11　Ans.（2）

バイポーラトランジスタ
ベースに少数キャリアを注入して、エミッターコレクタ間の電流を制御する。電流制御型の半導体デバイス

MOSFET
ゲートに電圧を印加し、少数キャリアを集めチャネルを形成する。このチャネルによりソースードレイン間の電流を制御する。電圧制御型の半導体デバイス。
MOSFET はゲート端子が、電極（Metal）、酸化膜（Oxide）、半導体（Semiconductor）により構成される。

問 12　Ans.　(1)



張力Tに対して、クーロン力と重力が釣り合うことから、ベクトル和より

$$T^2 = (QE)^2 + (mg)^2$$

の関係が成り立つ。この式より、電荷Qは、

$$56^2 = (7Q)^2 + (9.8 \times 5)^2$$

$$Q^2 = \frac{56^2 - 49^2}{7^2} = 15$$

$$Q = \sqrt{15} = 3.87\ \mathrm{C}$$

となる。

問 13　Ans.　(5)

図のように電流I_1、I_2を定義し、電流の式を立てると、

$$I_1 = \frac{2-0}{6\mathrm{k}} = \frac{1}{3\mathrm{k}}\ \mathrm{A}$$

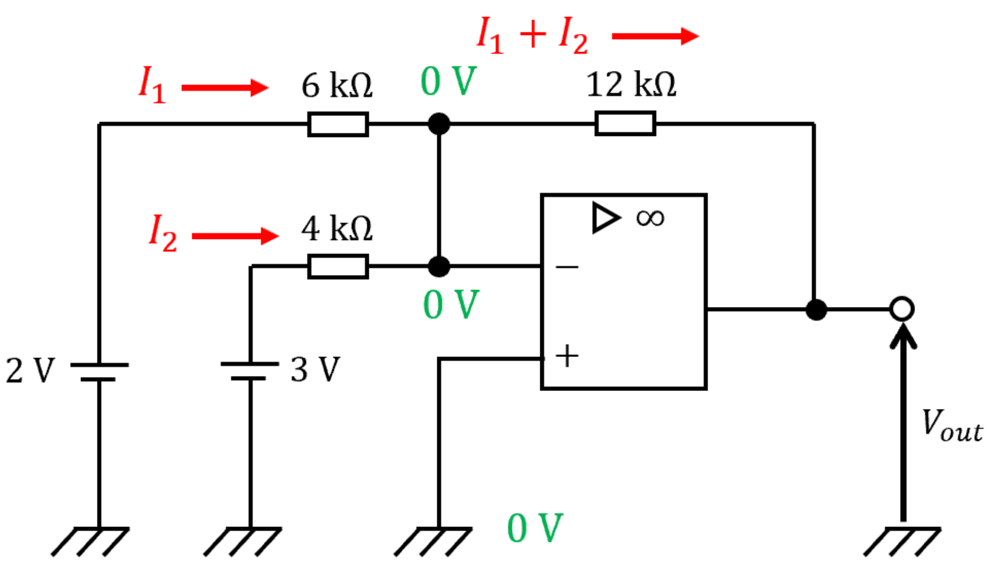
$$I_2 = \frac{3-0}{4\mathrm{k}} = \frac{3}{4\mathrm{k}}\ \mathrm{A}$$

$$I_1 + I_2 = \frac{0 - V_{out}}{12k}$$

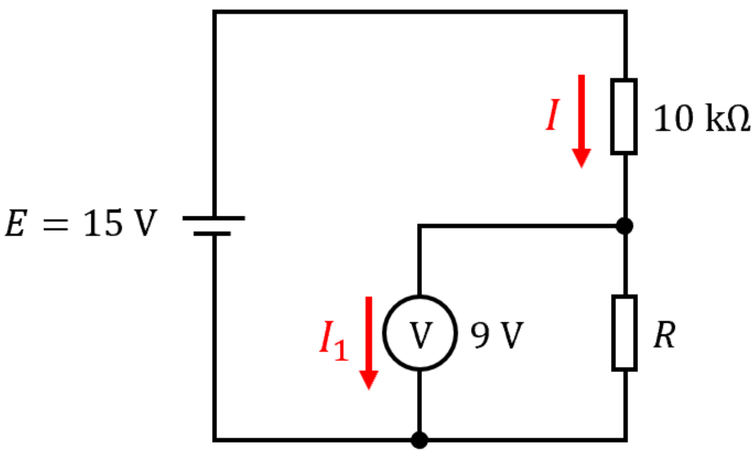
$$\frac{1}{3\mathrm{k}} + \frac{3}{4\mathrm{k}} = -\frac{V_{out}}{12\mathrm{k}}$$

$$4 + 3 \times 3 = -V_{out}$$

$$V_{out} = -13\ \mathrm{V}$$



問 14　Ans.　(4)



抵抗 10 kΩで生じる電圧降下は

$$V_1 = 15 - 9 = 6\ \mathrm{V}$$

よって、抵抗 10 kΩに流れる電流Iは、

$$I = \frac{6}{10\ \mathrm{k}} = 0.6\ \mathrm{mA}$$

となる。電圧計に流れる電流I_1は

$$I_1 = \frac{9}{20\ \mathrm{k}} = 0.45\ \mathrm{mA}$$

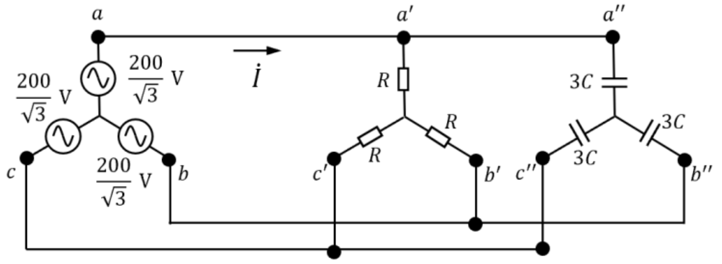
従って、抵抗Rの大きさは、

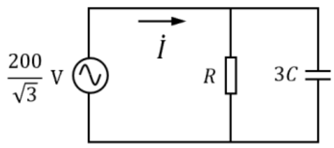
$$R = \frac{9}{I - I_2} = \frac{9}{0.15\ \mathrm{m}} = 60\ \mathrm{k\Omega}$$

となる。

問 15　(a) Ans.　(3)

電源部分とコンデンサ部分を Y 結線に変換し、単相回路から取り出す。





単相回路より、単相分の有効電力Pは以下となる。

$$P=\frac{\left(\frac{200}{\sqrt{3}}\right)^2}{R}=\frac{40000}{3\times 12}=1111\ \mathrm{W}$$

従って、三相分の有効電力P_3は、

$$P_3=3P=3\times 1111=3333=3.3\ \mathrm{kW}$$

となる。

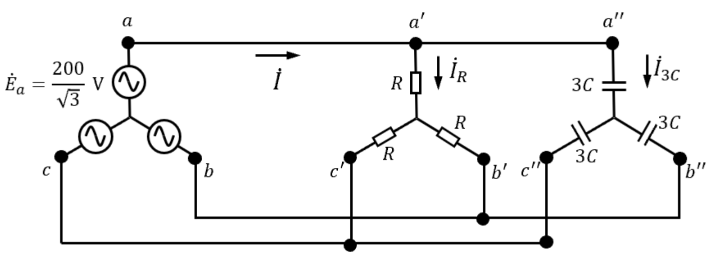
(b) Ans.　(2)

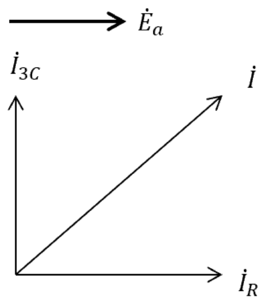
単相回路より抵抗に流れる電流I_Rとコンデンサに流れる電流I_{3C}はそれぞれ、

$$\dot{I}_R=\frac{200}{\sqrt{3}}\times\frac{1}{R}=\frac{200}{\sqrt{3}}\times\frac{1}{12}=9.62\ \mathrm{A}$$

$$\dot{I}_{3C}=\frac{200}{\sqrt{3}}\times j\omega C=\frac{200}{\sqrt{3}}\times j2\times\pi\times 60\times 3\times 73.7\times 10^{-6}=j9.62\ \mathrm{A}$$

従って Y 結線の回路において、a 相の相電圧$\dot{E}_a$を基準にとして、電流$\dot{I}$、$\dot{I}_R$、$\dot{I}_{3C}$をベクトル図で表すと以下のようになる。





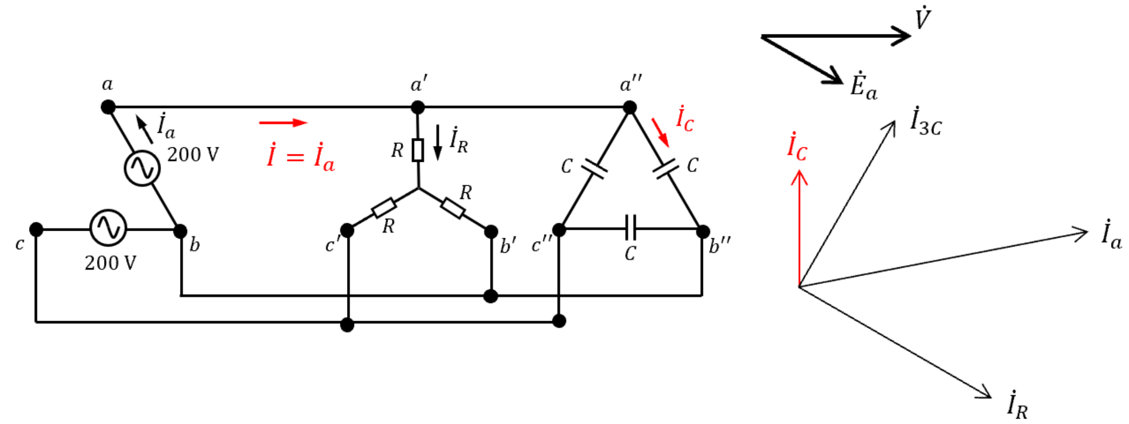
回路をもとに戻すと、

・V 結線の a 相の相電流は線電流と一致する。($\dot{I} = \dot{I}_a$)

・Δ結線の相電流は Y 結線の相電流に対して、大きさは$1/\sqrt{3}$倍で位相は30°進む。

($I_C = 1/\sqrt{3} \times I_{3C}$、$\dot{I}_C$は$\dot{I}_{3C}$より 30°進み)

となり、ab 間の線間電圧$\dot{V}$を基準すると以下のようになる。



問 16　(a) Ans.　(4)

各領域の電束密度Dは一致することから、

$$D = \varepsilon_0 E_1 = 3\varepsilon_0 E_2 = 4\varepsilon_0 E_3$$

$$3\varepsilon_0 E_2 = 4\varepsilon_0 E_3$$
$$\frac{E_2}{E_3} = \frac{4}{3} = 1.33$$

電圧V_2とV_1の関係は、

$$\varepsilon_0 E_1 = 3\varepsilon_0 E_2$$
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{E_2 \times (d/4)}{E_1 \times (d/2)} = \frac{1}{2}\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6} = 0.167$$

(b) Ans.　(1)

各領域の静電容量をそれぞれC_1、C_2、C_3とすると、

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{S}{d/2} = 2\varepsilon_0 \frac{S}{d} = 2C_0$$
$$C_2 = 3\varepsilon_0 \frac{S}{d/4} = 12\varepsilon_0 \frac{S}{d} = 12C_0$$
$$C_3 = 4\varepsilon_0 \frac{S}{d/4} = 16\varepsilon_0 \frac{S}{d} = 16C_0$$

合成の静電容量はCは、

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2C_0} + \frac{1}{12C_0} + \frac{1}{16C_0}$$
$$= \frac{24}{48C_0} + \frac{4}{48C_0} + \frac{3}{48C_0} = \frac{31}{48C_0}$$
$$C = \frac{48}{31}C_0$$

誘電体挿入後の領域１の静電容量C_1'および合成の静電容量Cは、

$$C_1' = 6\varepsilon_0 \frac{S}{d/2} = 12\varepsilon_0 \frac{S}{d} = 12C_0$$

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1'} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{12C_0} + \frac{1}{12C_0} + \frac{1}{16C_0}$$

$$= \frac{4}{48C_0} + \frac{4}{48C_0} + \frac{3}{48C_0} = \frac{11}{48C_0}$$

$$C' = \frac{48}{11}C_0$$

変更前後の静電エネルギーをそれぞれW，W'とすると、

$$\frac{W'}{W} = \frac{\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C'}}{\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}} = \frac{C}{C'} = \frac{\frac{48}{31}C_0}{\frac{48}{11}C_0} = \frac{11}{31} = 0.35$$

となる。

問 17　(a)Ans.　(3)

磁気回路より電流と磁束の関係は、

$$NI = R_m \Phi$$

ここでR_mは磁気抵抗を意味しており、磁気抵抗はコイルの構造より以下の式で表せる。

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

鉄心の磁気抵抗R_{m1}と空隙の磁気抵抗R_{m2}はそれぞれ、この 2 つの式から、

$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu S} = \frac{0.6}{7.2 \times 10^{-4} \times 0.4} = 2083\ \mathrm{A/Wb}$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0\, S} = \frac{0.001}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.4} = 1990\ \mathrm{A/Wb}$$

合成の磁気抵抗R_mは、

$$R_m = R_{m1} + R_{m2} = 2083 + 1990 = 4073\ \mathrm{A/Wb}$$

自己インダクタンスと磁気抵抗の関係より

$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{200^2}{4073} = 9.82\ \mathrm{H}$$

(b)Ans.　(2)

ファラデーの法則より、

$$V = L\frac{\Delta I}{\Delta t} = 9.82 \times \frac{12-0}{4} = 29.5 = 2.95 \times 10\ \mathrm{V}$$

となる。

問 18　(a) Ans.　(1)

抵抗R_2に加わる電圧V_2は、

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{30\mathrm{k}}{70\mathrm{k} + 30\mathrm{k}} \times 12 = 3.6\ \mathrm{V}$$

となる。抵抗R_Eで生じる電圧降下の式より、

$$R_E I_E = V_2 - V_{BE}$$
$$R_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{I_E} = \frac{3.6 - 0.6}{2\mathrm{m}} = 1.5\ \mathrm{k\Omega}$$
$$V_3 = E2d = 2V_1$$

となる。

(b)Ans.　(4)

抵抗に流れる電流i_bは、

$$i_b = i_e - \alpha i_e = (1 - \alpha) i_e$$

となる。よってv_iは、

$$v_i = h_{ie} i_b = (1 - \alpha) h_{ie} i_e$$

と表せる。v_oは、

$$v_o = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \alpha i_e$$

となる。従って、電圧増幅率A_Vは、

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \alpha i_e}{(1 - \alpha) h_{ie} i_e}$$

$$A_V = \frac{\alpha R_C R_L}{(1 - \alpha) h_{ie} (R_C + R_L)}$$

となる。