電験三種　理論模試

2023 年 3 月

（第三回　解答）

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

問１　Ans.　(2)

a. 誘電体を挿入したとき、各領域の電界の大きさ

各領域の静電容量をそれぞれC_1、C_2、C_3とすると、

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{S}{d/2} = \varepsilon_0 \frac{2S}{d} = C_0\,, \qquad C_2 = 2\varepsilon_0 \frac{S}{d/4} = 4C_0, \qquad C_3 = \varepsilon_0 \frac{S}{d/4} = 2C_0$$

となる。（数式を見やすくするためC_0という定数を導入）

各領域に加わる電圧をそれぞれV_1、V_2、V_3とすると、

$$V_1 : V_2 : V_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_0} : \frac{1}{4C_0} : \frac{1}{2C_0} = 1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{2} = 4 : 1 : 2$$

$$V_1 = 4V_0, \qquad V_2 = V_0\,, \qquad V_3 = 2V_0$$

となる。（数式を見やすくするためV_0という定数を導入）

各領域の静電容量をそれぞれE_1、E_2、E_3とすると、

$$E_1 = \frac{V_1}{d/2} = 8\frac{V_0}{d}$$

$$E_2 = \frac{V_2}{d/4} = 4\frac{V_0}{d}$$

$$E_2 = \frac{V_3}{d/4} = 8\frac{V_0}{d}$$

従って、領域２の電界E_2が最も小さくなる。

b. 誘電体を挿入したとき、領域２と領域３の電束密度の大きさ

充電されている電荷量が等しい電極内の電束密度は一様なので、

領域１、領域２、領域３の電束密度は全て等しくなる。

c. 面Ｑと極板Ｂ間の電位差V_{PQ}の大きさ

領域３に加わる電圧を電位差V_{PQ}と考えることができる。

平行平板コンデンサに印加するVを用いて、誘電体挿入時の領域３の電圧V_3を表すと、各領域の電圧の比の式より、

$$V_3 = \frac{2}{4+1+2}V = \frac{2}{7}V = 0.286V$$

となる。

導体を挿入する場合、領域 2 の電圧は 0V となり、領域 1 と領域 3 に全ての電圧が加わる。従って、導体挿入時の領域 1 と領域 3 の電圧をそれぞれV_1'、V_3'とすると、

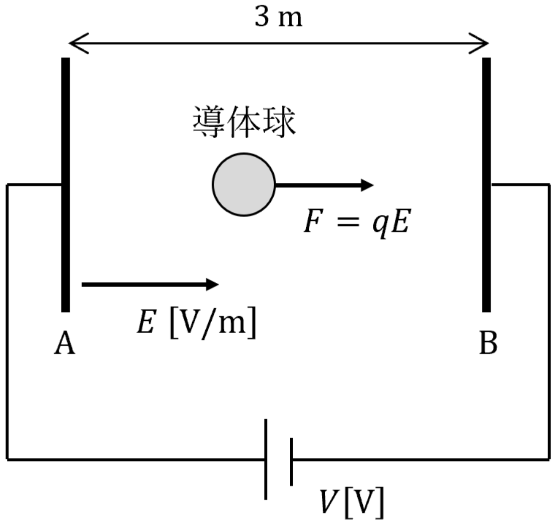
$$V_1' : V_3' = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_3} = 1 : \frac{1}{2} = 2 : 1$$

となる。先と同様に、平行平板コンデンサに印加するVを用いて、導体挿入時の領域 3 の電圧V_3'を表すと、

$$V_3' = \frac{1}{2+1}V = \frac{1}{3}V = 0.333V$$

となりV_3とV_3'をくらべると、V_3'の方が大きくなることから、導体を挿入した場合の方が電位差は大きくなる。

問２　Ans.　(3)



導体球に加わるクーロン力Fは

$$F = QE = Q\frac{V}{d} = 2 \times \frac{V}{3} = \frac{2}{3}V$$

となる。

運動方程式より、クーロン力により生じる導体球の加速度a [m/s^2]は、

$$F = ma \rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{2}{3}V \times \frac{1}{0.5} = \frac{4}{3}V$$

となる。

一定の加速度をもった物体の距離と時間の関係は、

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

で表せる。従って、印加電圧Vは以下のように求めれる。

$$3 = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3}V \times 1^2$$

$$V = 3 \times 2 \times \frac{3}{4} = \frac{9}{2}\ \mathrm{V} = 4.5\ \mathrm{V}$$

となる。

問 3　Ans.　(5)

磁気抵抗と自己インダクタンスの関係より、

$$L_1 = \frac{N_1^2}{R_m} \rightarrow R_m = \frac{N_1^2}{L_1} = \frac{10^2}{1 \times 10^{-2}} = 1 \times 10^4 \text{ A/Wb}$$

となる。

同様に自己インダクタンスL_2は、

$$L_2 = \frac{N_2^2}{R_m} = \frac{100^2}{1 \times 10^4} = 1 \text{ H}$$

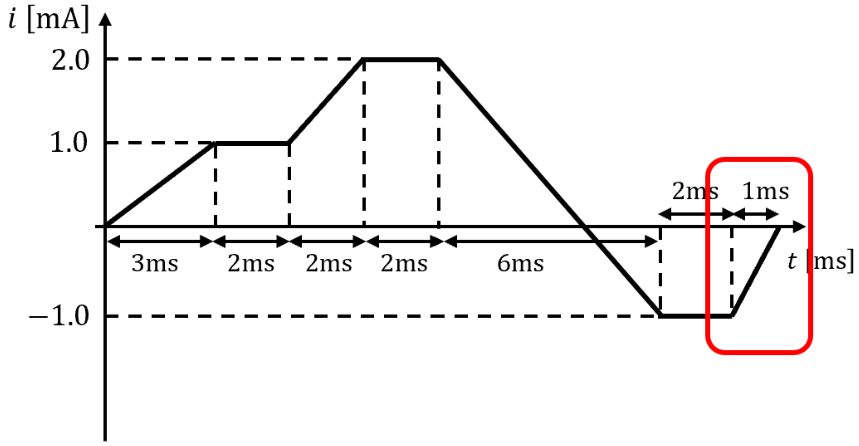
従って、相互相互インダクタンスMは、

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} = 1 \times \sqrt{1 \times 10^{-2} \times 1} = 1 \times 10^{-1} \text{ H}$$

となる。

ここで、コイル及び鉄心の漏れ磁束は無いことから、結合係数は$k = 1$とした。

問 4　Ans.　(2)



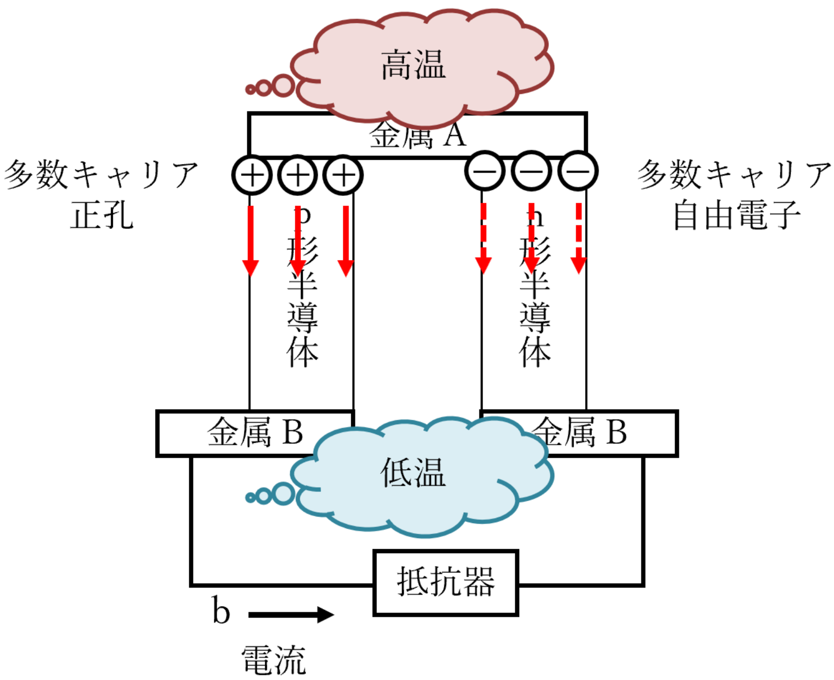
電流の時間変化量が最も大きくなるのは、図中の赤枠部分である。

ファラデーの法則より、誘導起電力vは

$$v = L\frac{\Delta I}{\Delta t} = 2 \times \frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = 2\ \mathrm{V}$$

となる。

問 5　Ans.　(4)



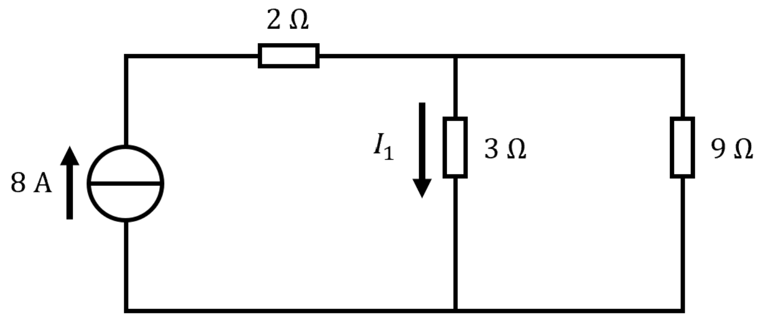
金属 A の周辺温度が高く、金属 B の周辺温度が低いと、半導体中に温度勾配が生じる。温度勾配により熱拡散が生じ、高温部から低温部に多数キャリアが移動するため、p 形半導体中では正孔、n 形半導体中では自由電子が、上から下へ移動する。n 形半導体中では、自由電子が上から下に移動するため、**少数キャリアの正孔は相対的に下から上に移動する**。

熱拡散により各半導体でキャリアの移動が生じるため、温度勾配が起電力としての役割を果たし、回路中に **b の方向に**電流が流れる。このような現象を**ゼーベック効果**という。

問 6　Ans.　(3)

重ね合わせの理を用いて、抵抗3 Ωに流れる電流Iを求める。

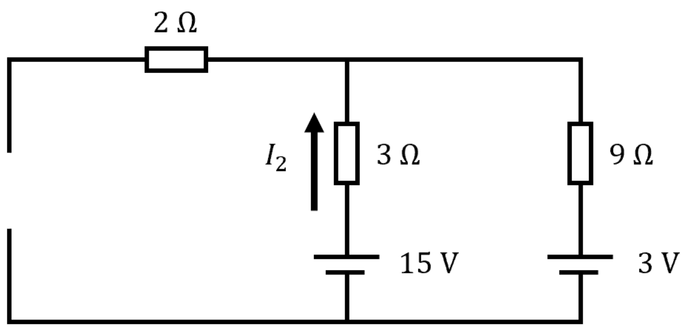
○電圧源を短絡する



電流源のみの回路から抵抗 3Ωに流れる電流I_1を求める。

$$I_1 = \frac{9}{3+9} \times 8 = 6\ \mathrm{A}$$

○電流源を開放する



電圧源のみの回路から抵抗3 Ωに流れる電流I_2を求める。

キルヒホッフの電圧則より、

$$15 - 3 = 3I_2 + 9I_2$$
$$12 = 12I_2$$
$$I_2 = 1\ \mathrm{A}$$

従って、抵抗3 Ωに流れる電流Iは

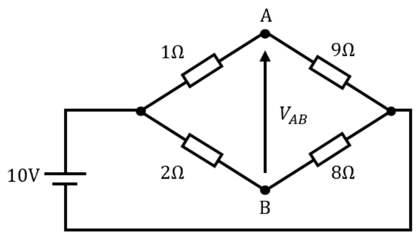
$$I = I_1 - I_2 = 6 - 1 = 5\ \mathrm{A}$$

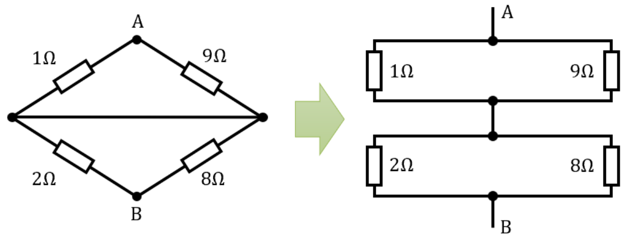
そして、抵抗3 Ωで生じる電力Pは、

$$P = 3 \times 5^2 = 75\ \mathrm{W}$$

となる。

問 7　Ans.　(2)





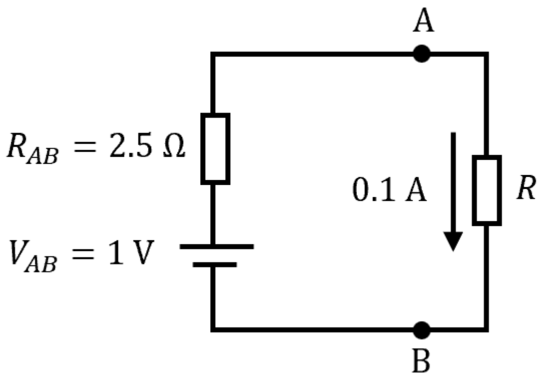
テブナンの定理を用いる。図より端子 AB 間の電圧は、

$$V_{AB}=\frac{9}{1+9}\times 10-\frac{8}{2+8}\times 10=9-8=1\ \mathrm{V}$$

となる。抵抗R_{AB}は、

$$R_{AB}=\frac{1\times 9}{1+9}+\frac{2\times 8}{2+8}=\frac{9}{10}+\frac{16}{10}=2.5\ \Omega$$

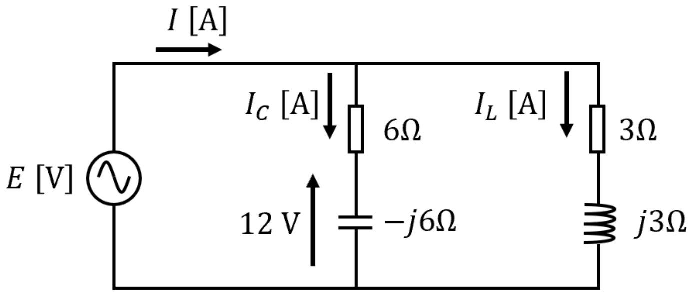
となる。従って、以下の等価回路より、抵抗Rを求めると、



$$0.1=\frac{1}{2.5+R}\rightarrow 2.5+R=\frac{1}{0.1}=10\rightarrow R=7.5\ \Omega$$

となる。

問 8　Ans.　(4)



容量性リアクタンスに流れる電流の大きさI_Cは、

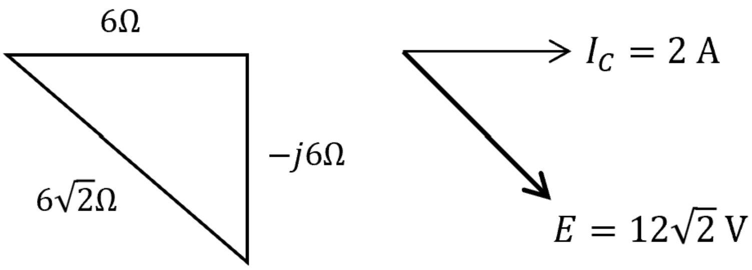
$$I_C = \frac{12}{6} = 2\ \mathrm{A}$$

抵抗 6Ωと容量性リアクタンスの部分に生じる電圧降下と電源電圧は一致するので、電源電圧Eは

$$E = \sqrt{6^2 + 6^2} \times 2 = 12\sqrt{2}\ \mathrm{V}$$

となる。

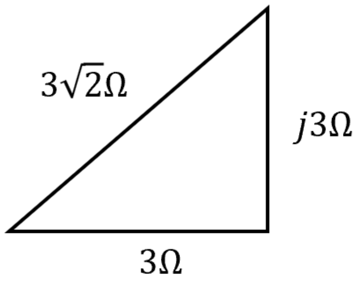
このとき、抵抗 6Ωと容量性リアクタンスのインピーダンス三角形と電流と電圧のフェーザ図は以下のようになる。

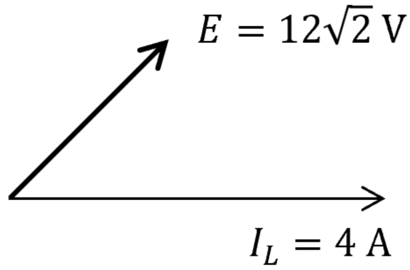


抵抗 3Ωと誘導性リアクタンスに流れる電流の大きさI_Lは、

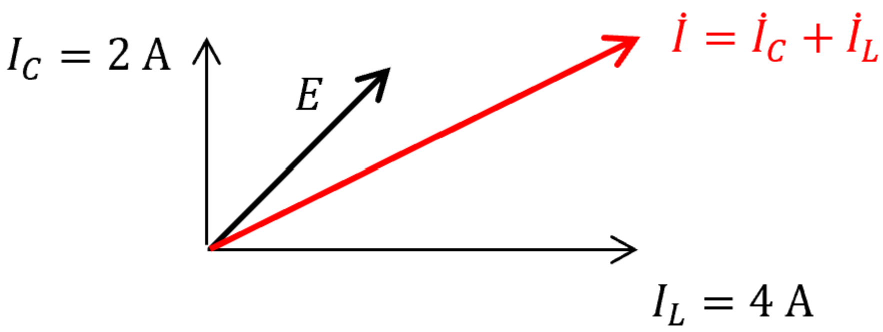
$$I_L = \frac{E}{\sqrt{3^2 + 3^2}} = \frac{12\sqrt{2}}{3\sqrt{2}} = 4\ \mathrm{A}$$

このとき、抵抗 3Ωと誘導性リアクタンスのインピーダンス三角形と電流と電圧のフェーザ図は以下のようになる。





それぞれのフェーザ図において、電源電圧Eは共通なので、電源電圧Eを基準に電流I_LとI_Cのベクトルを並べると以下のようになる。



電流I_LとI_Cのベクトルは互いに直交することから２つのベクトル和である電流Iは、

$$I = \sqrt{I_L^2 + I_C^2} = \sqrt{4^2 + 2^2} = 2\sqrt{5} = 4.5 \text{ A}$$

となる。

問 9　Ans.　(3)

(1) 実効値は正弦波の最大値（振幅）の$1/\sqrt{2}$（0.707）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。

$$V_{ave} = \frac{2}{\pi}V_{max} = 0.637V_{max}$$

(3) RLC直列回路のインピーダンス$\dot{Z}$は

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

共振周波数より高周波の場合、

$$\omega L > \frac{1}{\omega C} \rightarrow \dot{Z} = R + jX$$

となり、誘導性リアクタンスとなるため、電流は遅れとなる。(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、

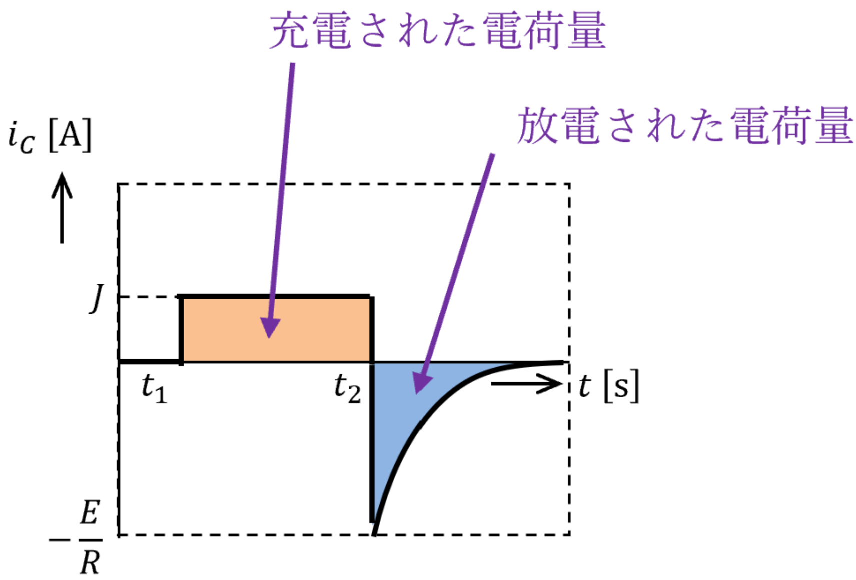
$$\dot{Y} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = \frac{1}{R} + j0 = \frac{1}{R} \rightarrow \dot{Z} = R$$

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 となるため、電源の皮相電力と有効電力は一致するので、無効電力は零（ゼロ）となる。

問 10　Ans.　(4)

スイッチ S を接点①側に閉じるとき、電流源からコンデンサに向かって電流が供給される。電流源は負荷の大きさに関わらず一定の電流を供給するため、コンデンサの充電状況によらず常に一定値となる。

スイッチ S を接点②側に閉じるとき、コンデンサの放電により抵抗 R へ電流が流れる。電流は時間とともに減衰していく。
このとき、充電された電荷量と放電される電荷量は一致するはずであり、充電時の電荷量は「電流 J×時間$(t_2 - t_1)$」で表される面積と一致する。この面積と、放電時の電流波形が作る面積が一致する必要があるため、(4) が正解となる。

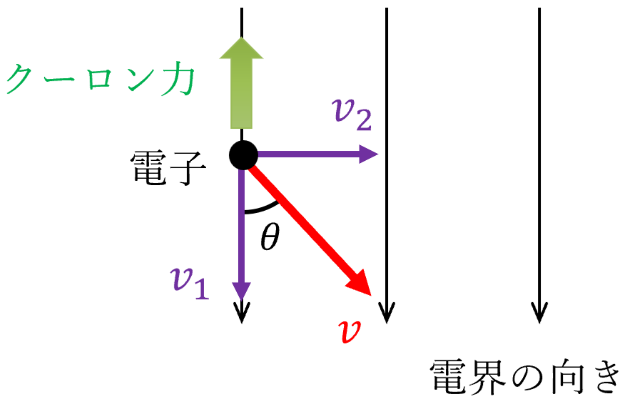


問 11　Ans.（2）

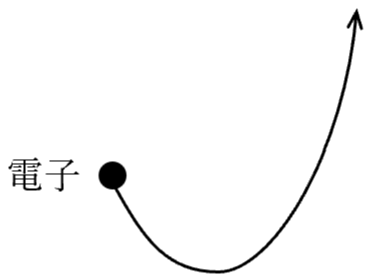
バイポーラトランジスタ
ベースに**少数キャリア**を注入して、エミッターコレクタ間の電流を制御する。**電流駆動形**の半導体デバイス

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。電圧駆動形の半導体デバイス。
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.　(2)



電子の初速度vを電界と水平成分v_1と垂直成分v_2に分解する。
電子は負の電荷をもつため、電子が受けるクーロン力は電界と反対の向き（図の上向き）に発生する。このクーロン力はv_1に対して影響し、v_2に影響しない。
その結果、v_1の大きさは時間とともに小さくなり、ある時刻で反対向きに変化し、どんどん加速していく。一方、v_2はクーロン力の影響を受けないので、電界の垂直方向（図の右方向）に進みながら、上下方向の運動の向きは変化することになる。
その結果、電子の運動は放物線を描くため、電子の運動の軌跡は（2）となる。



電子の運動の軌跡（放物線）

問 13　Ans.（3）

増幅回路の発振条件は以下の 2 つである。

1．増幅回路の入力電圧V_iと帰還回路の出力電圧V_fが同相である。

2．増幅回路の増幅度をA、帰還回路の帰還率をβで示すとき、$A\beta \geq 1$である。

この条件を満たす増幅回路は正帰還回路ともいい、回路に電源を投入することにより上記 1，２の条件の満たし雑音等の信号成分が循環し発振する。

また、発振周波数は$A\beta$の虚数成分が零（ゼロ）となる条件の周波数で発振する。

問 14　Ans.　(2)

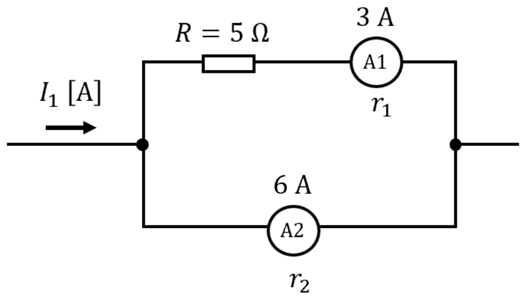


図 1

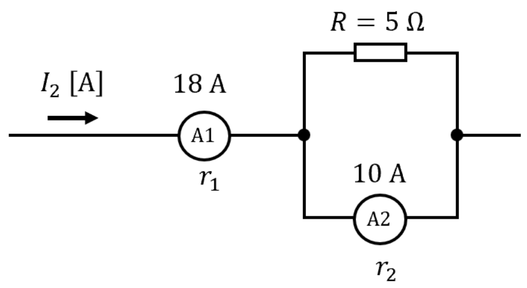


図 2

図 1 の回路について、並列部分に加わる電圧は同じなので、

$$3 \times (5 + r_1) = 6 \times r_2$$

$$5 + r_1 = 2r_2 \quad \cdots ①$$

の関係が得られる。

図 2 の回路について、抵抗 R に流れる電流I_Rは

$$I_R = 18 - 10 = 8\ \mathrm{A}$$

となる。先と同様に、並列部分に加わる電圧は同じなので、

$$10 \times r_2 = 8 \times 5$$

$$r_2 = 4\ \mathrm{A} \quad \cdots ②$$

となる。

式②を式①に代入すると、

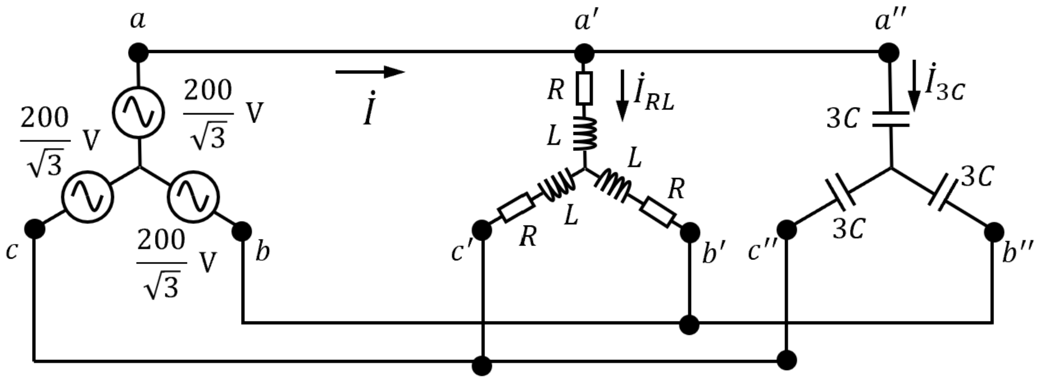
$$5 + r_1 = 2 \times 4$$

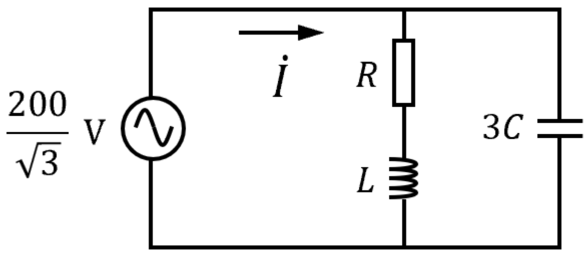
$$r_1 = 3\ \mathrm{A}$$

となる。

問 15　(a) Ans.　(2)

電源部分とコンデンサ部分を Y 結線に変換し、単相回路を取り出す。





単相の回路のアドミタンス（$\dot{Y} = 1/\dot{Z}$）を式で表すと、

$$\dot{Y} = \frac{1}{\dot{Z}} = \frac{1}{R + j\omega L} + \frac{1}{\frac{1}{j3\omega C}}$$

この式を整理し、実部と虚部に分解すると以下のようになる。

$$\begin{aligned}
\dot{Y} &= \frac{1}{R + j\omega L} + \frac{1}{\frac{1}{j3\omega C}} \\
&= \frac{1}{R + j\omega L} + j3\omega C \\
&= \frac{1 \times (R - j\omega L)}{(R + j\omega L)(R - j\omega L)} + j3\omega C \\
&= \frac{R - j\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} + j3\omega C \\
&= \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} + j\left(3\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}\right)
\end{aligned}$$

この式の虚数成分が零となる静電容量Cは以下のようになる。

$$3\omega C-\frac{\omega L}{R^2+(\omega L)^2}=0$$

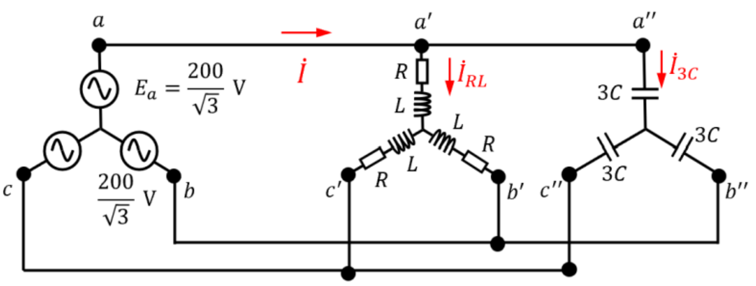
$$3\omega C=\frac{\omega L}{R^2+(\omega L)^2}$$

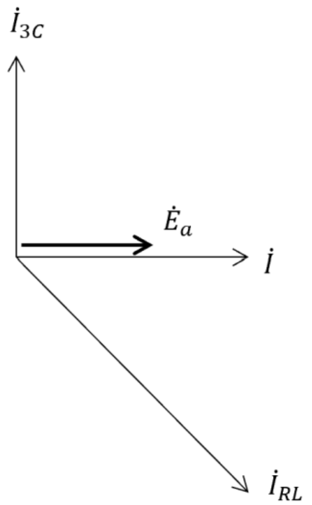
$$\begin{aligned}C&=\frac{1}{3}\frac{L}{R^2+(\omega L)^2}\\&=\frac{1}{3}\times\frac{31.9\times10^{-3}}{20^2+(2\times\pi\times50\times31.9\times10^{-3})^2}\\&=\frac{1}{3}\times\frac{31.9\times10^{-3}}{20^2+(10)^2}=21.3\times10^{-6}\ \mathrm{F}\end{aligned}$$

$$\therefore C=21\ \mu\mathrm{F}$$

(b) Ans.　(3)

Y 結線の回路の線電流$\dot{I}$と負荷電流$\dot{I}_{RL}$、コンデンサ電流$\dot{I}_C$のフェーザ図は以下のようになる。





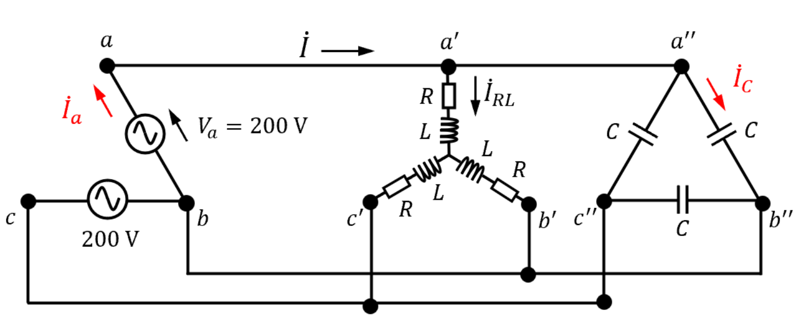
回路をもとに戻すと、

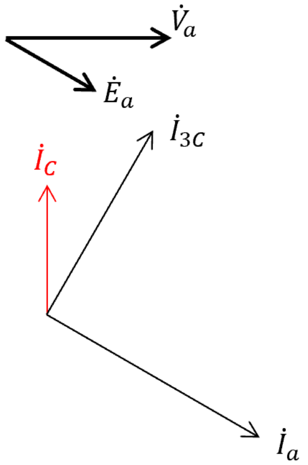
・V 結線の a 相の相電流は線電流と一致する。($\dot{I} = \dot{I}_a$)

・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。

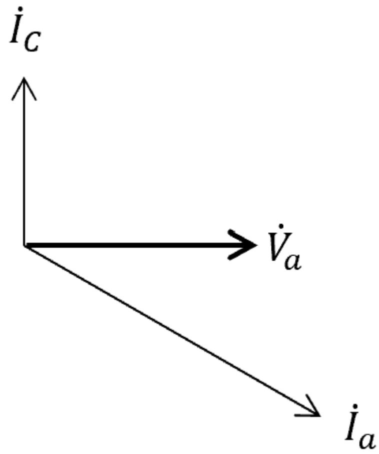
（$I_C = 1/\sqrt{3} \times I_{3C}$、$\dot{I}_C$は$\dot{I}_{3C}$より 30°進み）

となり、ab 間の線間電圧$\dot{V}_a$を基準すると以下のようになる。

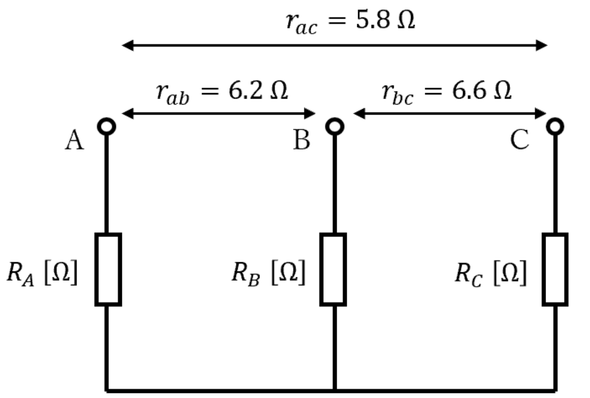




従って、適切なフェーザ図は（3）となる。



問 16　(a) Ans.　(2)



３つの接地極の等価回路は図のようになる。この図から、各抵抗の関係は以下のようになる。

$$r_{ab} = R_A + R_B = 6.2 \ \cdots ①$$

$$r_{bc} = R_B + R_C = 6.6 \ \cdots ②$$

$$r_{ac} = R_A + R_c = 5.8 \ \cdots ③$$

式①－式②＋式③とすると、

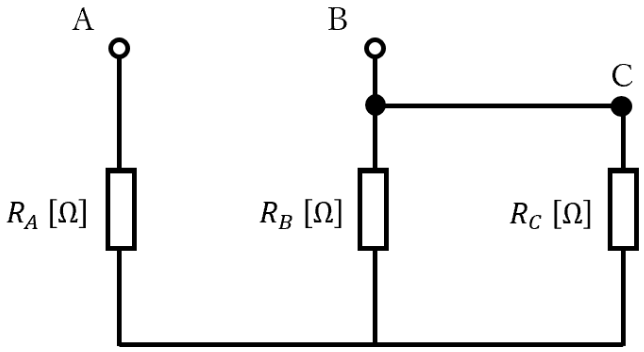
$$R_A + R_B - R_B - R_C + R_A + R_C = 6.2 - 6.6 + 5.8$$
$$2R_A = 5.4$$
$$R_A = 2.7\ \Omega$$

同様の手順で、R_B、R_Cを求めると、

$$R_B = 3.5\ \Omega$$
$$R_C = 3.1\ \Omega$$

となる。

(b) Ans.　(2)



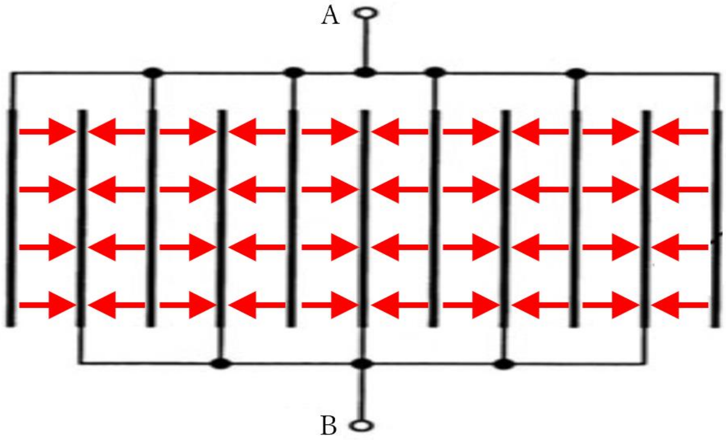
B 点と C 点を短絡すると図のようになる。

AB 間の抵抗r'_{ab}は、

$$r'_{ab} = R_A + \frac{R_B R_C}{R_B + R_C} = 2.7 + \frac{3.5 \times 3.1}{3.5 + 3.1} = 4.3\ \Omega$$

となる。

問 17　(a) Ans.　(4)



各領域の電気力線（赤矢印）を書きこむと図のようになる。

この図から 10 個の領域がコンデンサとして振舞ることが分かる。

各コンデンサは並列接続されるので、全体の静電容量は、

$$C = 10 \times \varepsilon_0 \frac{S}{d} = 10 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{0.8}{2 \times 10^{-3}}$$

$$C = 35.4 \times 10^{-9} = 35.4\ \mathrm{nF}$$

となる。

(b)Ans.　(3)

電流源により充電される電荷Qは、

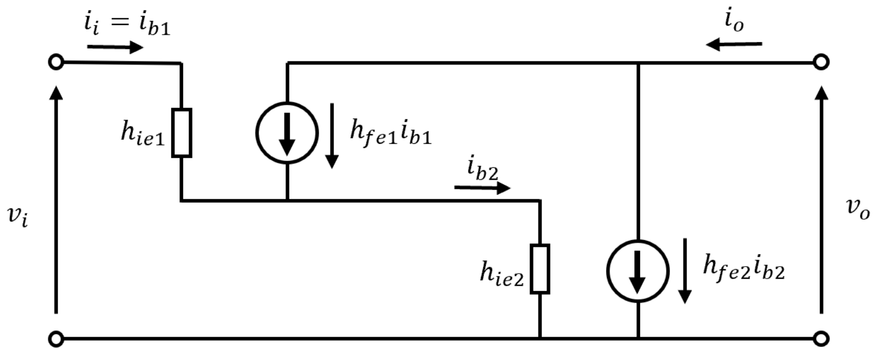
$$Q = 1 \times 10^{-3} \times 2 = 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{C}$$

コンデンサに蓄えられるエネルギーWは

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \times \frac{(2 \times 10^{-3})^2}{35.4 \times 10^{-9}} = \frac{1}{2} \times \frac{4 \times 10^{-6}}{35.4 \times 10^{-9}}$$

$$W = \frac{2}{35.4} \times 10^3 = 56.497\ \mathrm{J}$$

問 18　(a) Ans.　(4)



出力電流i_oを式で表すと、

$$i_o = h_{fe1}i_{b1} + h_{fe2}i_{b2}$$
$$i_{b2} = i_{b1} + h_{fe1}i_{b1}$$

$$i_o = h_{fe1}i_{b1} + h_{fe2}\left(i_{b1} + h_{fe1}i_{b1}\right)$$
$$i_o = h_{fe1}i_{b1} + h_{fe2}i_{b1} + h_{fe2}h_{fe1}i_{b1}$$
$$\therefore i_o = \left(h_{fe1} + h_{fe2} + h_{fe2}h_{fe1}\right)i_{b1}$$

従って、電流増幅率A_iは、

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{\left(h_{fe1} + h_{fe2} + h_{fe2}h_{fe1}\right)i_{b1}}{i_b} = h_{fe1} + h_{fe2} + h_{fe2}h_{fe1}$$

となる。

(b)Ans.　(1)

入力電圧v_iを式で表すと、

$$v_i = h_{ie1}i_{b1} + h_{ie2}i_{b2}$$
$$v_i = h_{ie1}i_{b1} + h_{ie2}\left(i_{b1} + h_{fe1}i_{b1}\right)$$

$$v_i = h_{ie1}i_{b1} + h_{ie2}i_{b1} + h_{fe1}h_{ie2}i_{b1}$$
$$v_i = \left(h_{ie1} + h_{ie2} + h_{fe1}h_{ie2}\right)i_{b1}$$

従って入力インピーダンスZ_iは、

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{\left(h_{ie1} + h_{ie2} + h_{fe1}h_{ie2}\right)i_{b1}}{i_{b1}}$$

$$\therefore Z_i = h_{ie1} + h_{ie2} + h_{fe1}h_{ie2}$$

値を代入すると、

$$Z_i = 3 + 2 + 120 \times 2 = 245\ \mathrm{k\Omega}$$

となる。