電験三種　理論模試

2024 年 8 月

（第一回　解答）

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

問 1　Ans.　(3)

点電荷Qが位置xの位置に作る電位$V(x)$は、

$$V(x)=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 x}$$

となる。

領域 a の電位V_aがゼロになる点は

$$V_a=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 x}+\frac{-4Q}{4\pi\varepsilon_0(x+l)}=0$$
$$\frac{1}{x}-\frac{4}{(x+l)}=0$$
$$x-l-4x=0$$
$$3x=l\rightarrow x=\frac{l}{3}$$

従って、点 A より左$\frac{l}{3}$の点となる。

領域 ab の電位V_{ab}がゼロになる点は

$$V_{ab}=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 x}+\frac{-4Q}{4\pi\varepsilon_0(l-x)}=0$$
$$\frac{1}{x}-\frac{4}{(l-x)}=0$$
$$l-x+4x=0$$
$$5x=l\rightarrow x=\frac{l}{5}$$

従って、点 A より右$\frac{l}{5}$の点となる。

領域 b は点 B の電荷$-4Q$の影響が大きく、必ず電位は負となるため、零になる点は無限遠のみとなる。

問 2　Ans.　(5)

(1) 平板間の静電容量は、固体誘電体挿入後の方が大きくなる。

誘電体が挿入されると静電容量は大きくなる。

(2) 平板間に蓄えられる電荷は、固体誘電体挿入後の方が大きくなる。。

静電容量が大きくなるので、同じ電圧を印加したときに蓄えられる電荷は大きくなる。

(3) 平板間の電束密度は、固体誘電体挿入後の方が大きくなる。

蓄えられる電荷が多くなるので、電束密度が大きくなる。

(4) 固体誘電体挿入後、領域 1 に比べて領域 2 の電界の方が小さくなる。

領域 1 と領域 2 の電束密度Dは等しいので、

$$D = \varepsilon_0 E_1 = \varepsilon_r \varepsilon_0 E_2$$
$$E_1 = \varepsilon_r E_2$$
$$E_1 > E_2$$

(5) 領域 1 の領域 2 の境界 P の電位は、固体誘電体挿入後の方が高くなる。

領域 1 と領域 2 の静電容量を比べると、$C_1 < C_2$

それぞれの電圧降下を比べると、

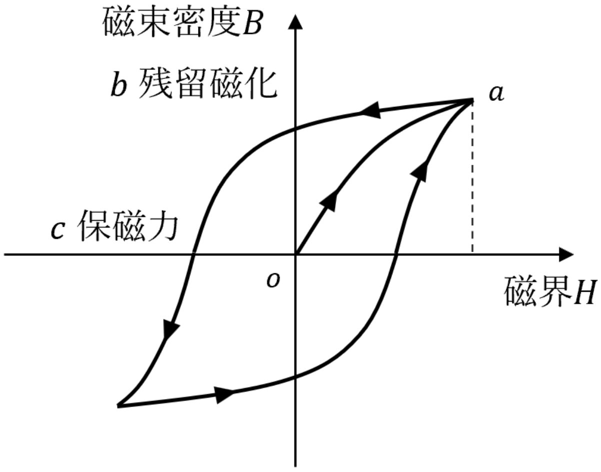
$$V_1 : V_2 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} \rightarrow \ V_1 > V_2$$

領域 P の電位は誘電体挿入後の方が低くなる。

従って、（5）が誤り

問3　Ans.　(3)

ヒステリシスループは横軸を磁界の強さ、縦軸を磁束密度である。透磁率は点o付近のグラフの傾きである。グラフ中のb点（縦軸との交点）を残留磁化といい、c点（横軸との交点）を保磁力という。永久磁石の材料においては保磁力が大きいものが適している。



問 4　Ans.　(4)

図のように正三角形の辺と重心Oまでの距離は$a=\sqrt{3}$ mとなる。

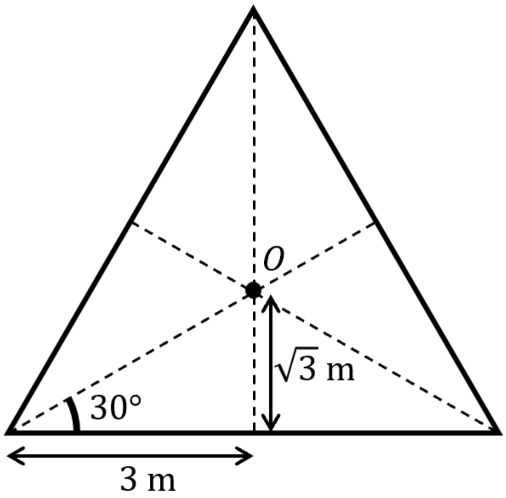
このとき、1 つの辺が重心Oに作る磁界hは、

$$h=\frac{I}{4\pi a}(\cos\theta_1+\cos\theta_2)=\frac{10\pi}{4\pi\times\sqrt{3}}(\cos 30°+\cos 30°)=\frac{10\pi}{4\pi\times\sqrt{3}}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

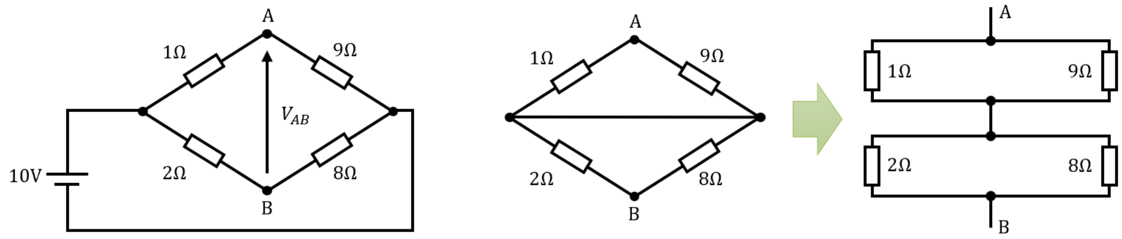
$$h=\frac{5}{2}\ \mathrm{A}$$

従って、3 つの辺が重心Oに作る磁界Hは、

$$H=3h=3\times\frac{5}{2}=\frac{15}{2}\ \ \mathrm{A/m}$$



問 5　Ans.　(2)



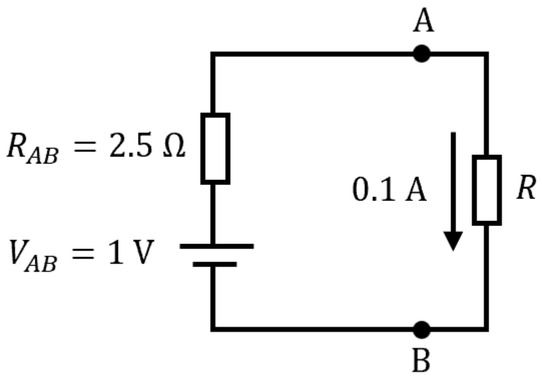
テブナンの定理を用いる。図より端子 AB 間の電圧は、

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

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、

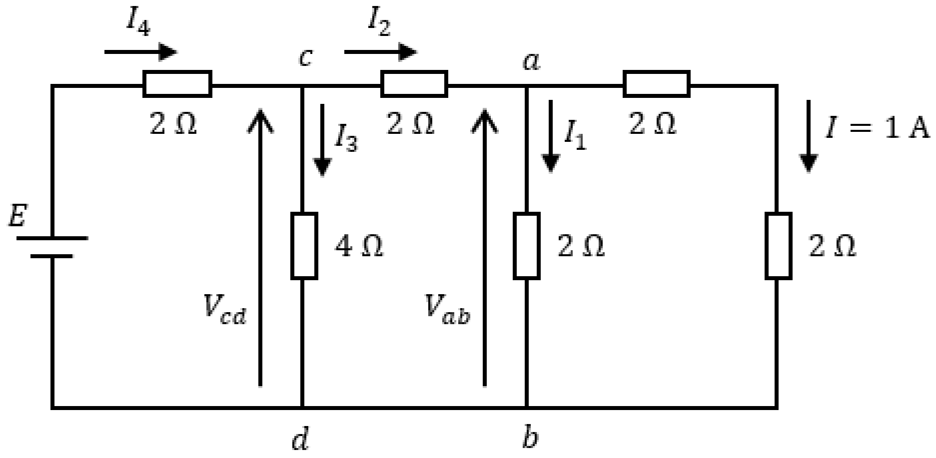


$$0.1=\frac{1}{2.5+R}\rightarrow 2.5+R=\frac{1}{0.1}=10\rightarrow R=7.5\ \Omega$$

となる。

問 6　Ans.　(2)

回路中の各点における電流と電圧を以下のように定義し、それぞれの電流と電圧を順に導出していく。



$$V_{ab} = (2 + 2) \times I = 4 \times 1 = 4\ \mathrm{V}$$

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{2} = \frac{4}{2} = 2\ \mathrm{A}$$

$$I_2 = I + I_1 = 1 + 2 = 3\ \mathrm{A}$$

$$V_{cd} = 2 \times I_2 + V_{ab} = 2 \times 3 + 4 = 10\ \mathrm{V}$$

$$I_3 = \frac{V_{cd}}{4} = \frac{10}{4} = 2.5\ \mathrm{A}$$

$$I_4 = I_2 + I_3 = 3 + 2.5 = 5.5\ \mathrm{A}$$

$$E = 2 \times I_4 + V_{cd} = 2 \times 5.5 + 10 = 21\ \mathrm{V}$$

となる。

問 7　Ans.　(3)

各抵抗の許容電圧と許容電流を求める。

・抵抗器 A　許容電力 1/2 W 、抵抗値 50 Ω

$$P = \frac{V^2}{R} \to V_A = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{2} \times 50} = \sqrt{25} = 5\ \mathrm{V}$$

$$I_A = \frac{V_A}{R} = \frac{5}{50} = 0.1 = 100\ \mathrm{mA}$$

・抵抗器 B　許容電力 1/4 W 、抵抗値 100 Ω

$$V_B = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 100} = \sqrt{25} = 5\ \mathrm{V}$$

$$I_B = \frac{V_B}{R} = \frac{5}{100} = 50\ \mathrm{mA}$$

・抵抗器 C　許容電力 1/4 W 、抵抗値 400 Ω

$$V_C = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 400} = \sqrt{100} = 10\ \mathrm{V}$$

$$I_A = \frac{V_A}{R} = \frac{10}{400} = \frac{1}{40} = 25\ \mathrm{mA}$$

並列接続時、印加できる電圧は抵抗器 A と B の許容電圧 5V が上限となる。

このとき

抵抗器 A に流れる電流は 100 mA

抵抗器 B に流れる電流は 50 mA

抵抗器 C に流れる電流は 12.5 mA

となり、合計電流は 162.5 mA となる。

問８　Ans.　(2)

図１の条件よりインピーダンスの式をたてると、

$$\frac{E}{I}=\frac{120}{12}=10=\sqrt{R^2+X^2}$$

$$100=R^2+X^2\ \cdots①$$

同様に、図２の条件よりインピーダンスの式をたてると、

$$\frac{E}{I}=\frac{120}{8}=15=\sqrt{(R+8)^2+X^2}$$

$$225=(R+8)^2+X^2\ \cdots②$$

②－①は、

$$125=(R+8)^2-R^2$$

$$125=R^2+16R+64-R^2$$

$$16R=125-64$$

$$R=\frac{61}{16}\sim 3.8\ \Omega$$

となる。

問 9　Ans.　(2)

並列部分のアドミタンス$\dot{Y}$を求める。

$$\dot{Y}=j\omega C_1+\frac{1}{j\omega L+\frac{1}{j\omega C_2}}=j\omega C_1+\frac{j\omega C_2}{1-\omega^2 LC_2}$$

$$\dot{Y}=\frac{j\omega C_1+j\omega C_2-j\omega^3 LC_1C_2}{1-\omega^2 LC_2}$$

アドミタンスの分子が 0 のとき、インピーダンスは最大となるので、

分子が 0 になる角周波数が並列共振角周波数ω_2である。

$$\omega_2 C_1+\omega_2 C_2-\omega_2^3 LC_1C_2=0$$

$$\omega_2=\sqrt{\frac{C_1+C_2}{LC_1C_2}}=3.1\times 10^4\ \mathrm{rad/s}$$

アドミタンスの分母が 0 のとき、インピーダンスは最小となるので、

分母が 0 になる角周波数が直列共振角周波数ω_1である。

$$1-\omega_1^2 LC_2=0$$

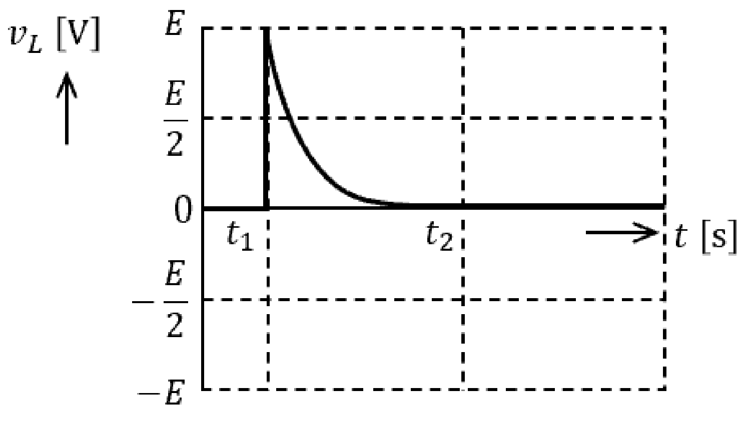
$$\omega_1=\frac{1}{\sqrt{LC_2}}=2.5\times 10^4\ \mathrm{rad/s}$$

問 10　Ans.　(5)

スイッチS_1を閉じた瞬間に、左側のコイルLの両端には逆起電力が発生し、電流の変化を抑えようとする。

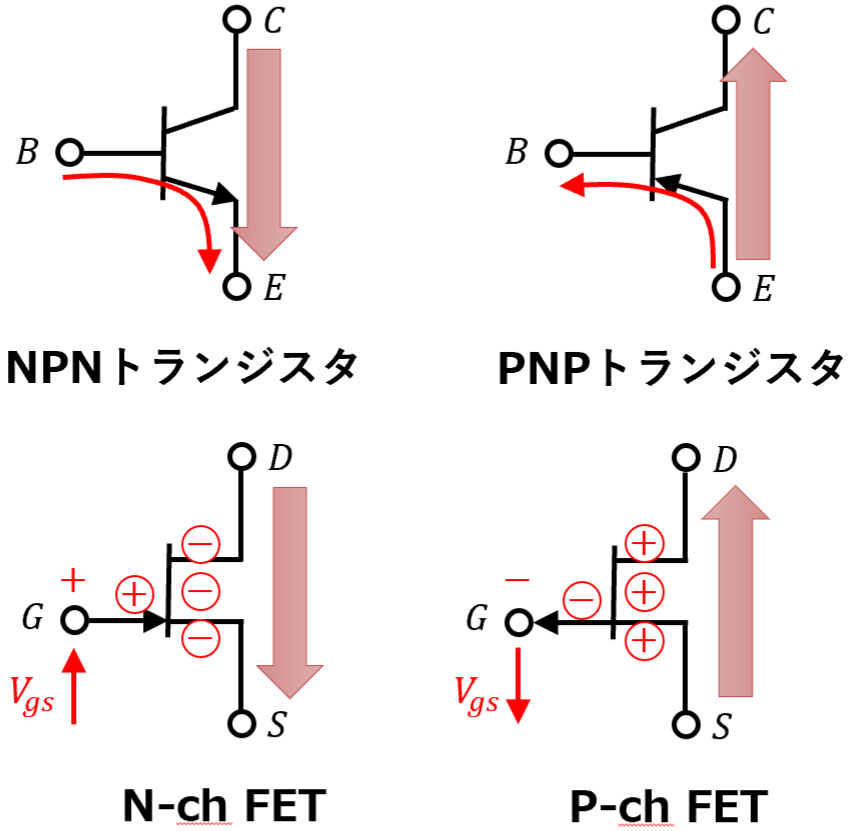
その後、時間経過とともに、逆起電力は減少し、十分時間が経過すると、コイルの両端電圧$v_L = 0$となる。このとき、コイルのインピーダンスは0Ωになったと考えることができる。

スイッチS_2を閉じた瞬間、左側のコイルLに並列に負荷が接続されることになるが、このとき、このコイルのインピーダンスは0Ωであるため、コイルに流れる電流は変化せず、接続された負荷側の電流は零のままとなる。従って、スイッチS_2の開閉により、v_Lは影響を受けず、零のままとなる。



問 11　Ans.　(3)

pnp トランジスタの電流は、エミッタからコレクタへ流れる。



問 12　Ans.　(4)

（ア）電子は負極から正極へ放出されるため、電極 K が負極となる必要があり、電源は**B の向き**に接続される必要がある。

（イ）空間に放出された電子が正極へ到達するためには、移動中に他の粒子と衝突する確率が低い方がよい。そのため、電極周辺の**真空度は高い**ほうがよい。

（ウ）電極 K で電子がもつ位置エネルギーが電極 P で全て運動エネルギーに変換されたと考えればよい。
電子に加わるクーロン力は、

$$F = eE = e\frac{V}{d}$$

電極 K－電極 P 間の位置エネルギーは、

$$U = F\Delta d = e\frac{V}{d} \times d = eV$$
$$U = 2000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-16}\ \mathrm{J}$$

問 13　Ans.　(2)

ドレーン－ソース間電圧V_{DS}とドレーン電流I_Dの関係は以下のようになる。

$$E_2 = V_{DS} + R_D I_D$$
$$I_D = \frac{E_2 - V_{DS}}{R_D} = \frac{10 - V_{DS}}{1.0}$$

図 2 にこの式を表すグラフを書き込むと以下のようになり、グラフを直流負荷線という。

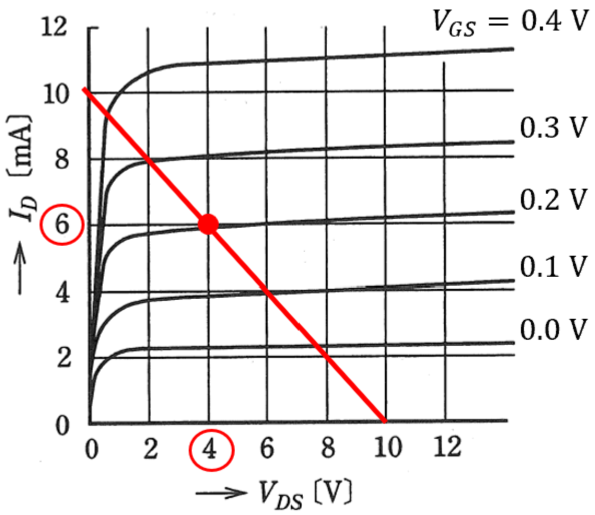


図 2

$V_{GS} = 0.3$ Vの静特性と直流負荷線の交点が動作点となり、

$$V_{DS} = 4 \text{ V}$$
$$I_D = 6 \text{ mA}$$

となる。

問 14　Ans.　(3)

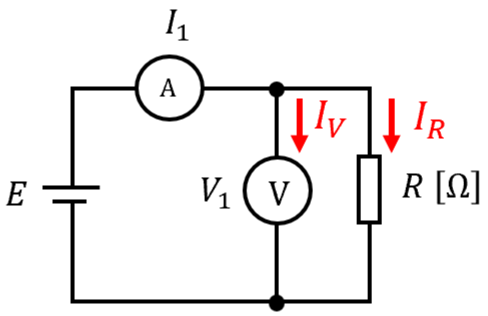


図 1

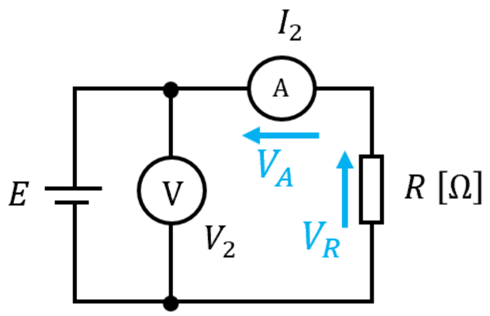


図 2

図 1 の回路で負荷抵抗に流れる電流I_R は、

$$I_R = I_1 - I_V$$

測定できる負荷抵抗の値R_1は、

$$R_1 = \frac{V_1}{I_1} < R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_1}{I_1 - I_V}$$

となり、真値に比べて小さい値となる。

図 2 の回路で負荷抵抗に加わる電圧V_R は、

$$V_R = V_2 - V_A$$

測定できる負荷抵抗の値R_2は、

$$R_2 = \frac{V_2}{I_2} > R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_2 - V_A}{I_2}$$

となり、真値に比べて大きく値となる。

負荷抵抗Rが小さい値のとき、

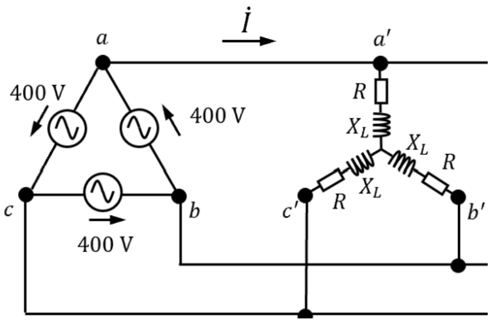
・図 1 の回路では、電圧計に流れる電流I_Vが小さくなる。

・図 2 の回路では、電流計で生じる電圧降下V_Aが大きくなる。

従って、負荷抵抗Rが小さい値のときは、図 2 だと誤差が大きくなり、図 1 だと誤差が小さくなる。

問 15　Ans.　(a)-(1)、(b)-(4)

(a)



線電流$\dot{I}$の大きさを求める。

$$P = S\cos\theta \to S = \frac{P}{\cos\theta} = \frac{8}{0.8} = 10\ \mathrm{kVA}$$

$$S = \sqrt{3}VI \to I = \frac{S}{\sqrt{3}V} = \frac{10000}{\sqrt{3}\times 400} = 14.43\ \mathrm{A}$$

コイルで生じる無効電力Q_Lは、

$$Q_L = S\sin\theta = 10\times\sqrt{1-\cos^2\theta} = 10\times 0.6 = 6\ \mathrm{kvar}$$

となる。コイルのリアクタンスX_Lは、

$$Q_L = 3X_LI^2 \to X_L = \frac{Q_L}{3I^2} = \frac{6000}{3\times 14.43^2}$$

$$\therefore X_L = 9.6\ \Omega$$

(b)

変化後の力率 0.9（進み）より、そのときの無効電力Q'を求める。

$$P = S'\cos\theta' \to S' = \frac{P}{\cos\theta'} = \frac{8000}{0.9} = 8.889\ \mathrm{kVA}$$

$$Q' = S'\cos\theta' = S'\sqrt{1-\cos^2\theta'} = 8.889\times\sqrt{1-0.9^2}$$
$$Q' = 3.875\ \mathrm{kvar}$$

無効電力は遅れから進みに変化しており、スイッチSが開いているときのコイルに生じる無効電力Q_Lは遅れ、スイッチSを閉じて追加されたコンデンサの無効電力Q_Cが進みであることから、

$$Q' = Q_C - Q_L \rightarrow Q_C = Q' + Q_L$$
$$Q_C = 3.875 + 6 = 9.875\ \mathrm{kvar}$$

無効電力Q_CとコンデンサのリアクタンスX_Cの関係より、

$$Q_C = 3\frac{V^2}{X_C} \rightarrow X_C = 3\frac{V^2}{Q_C} = 3 \times \frac{400^2}{9875}$$

$$X_C = 48.61\ \Omega$$

従って、コンデンサの静電容量Cは、

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 48.61}$$

$$\therefore C = 65.6\ \mu\mathrm{F}$$

となる。

問 16　Ans.　(a)-(3)、(b)-(2)

(a)

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、

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

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

合成の磁気抵抗R_mは、

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

自己インダクタンスと磁気抵抗の関係より

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

(b)

ファラデーの法則より、

$$V = L\frac{\Delta I}{\Delta t} = 9.82 \times \frac{12-0}{4} = 29.5 = 3.0 \times 10^1 \text{ V}$$

となる。

問 17　Ans.　(a)-(2)、(b)-(3)

(a)

$\mathrm{A_1}$に加えることができる最大電圧V_1は、

$$V_1 = 10 \times 10^{-3} \times 1.5 = 15\ \mathrm{mV}$$

$\mathrm{A_2}$に加えることができる最大電圧V_2は、

$$V_2 = 15 \times 10^{-3} \times 2 = 30\ \mathrm{mV}$$

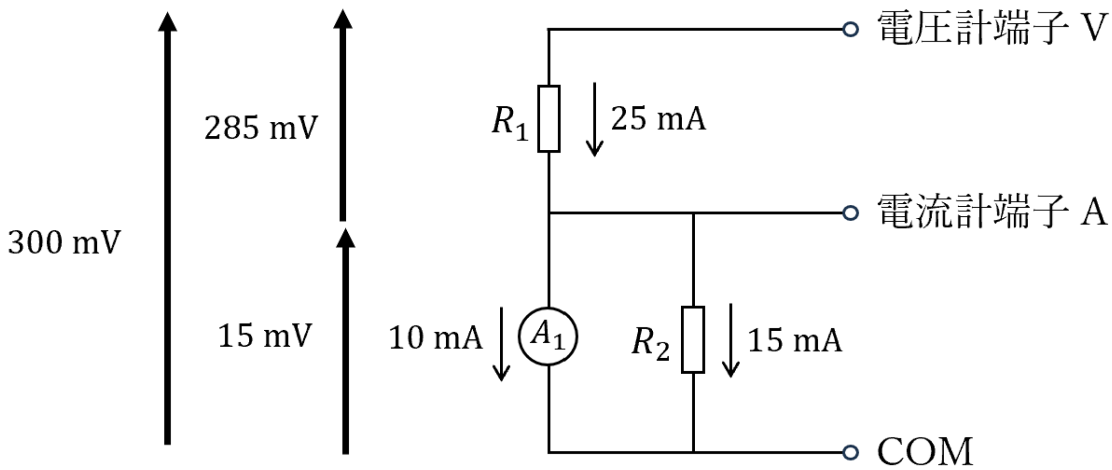
２つの電流計を並列接続するとき、加えることができる電圧は15mVとなるので、

$$I_2' = \frac{15 \times 10^{-3}}{2} = 7.5\ \mathrm{mA}$$
$$I_1 + I_2' = 10 + 7.5 = 17.5\ \mathrm{mA}$$

(b)

各部分の電圧と電流が以下の図のようになればよい。

$$R_1 = \frac{285\ \mathrm{mV}}{25\ \mathrm{mA}} = 11.4\ \Omega$$
$$R_2 = \frac{15\ \mathrm{mV}}{15\ \mathrm{mA}} = 1.0\ \Omega$$



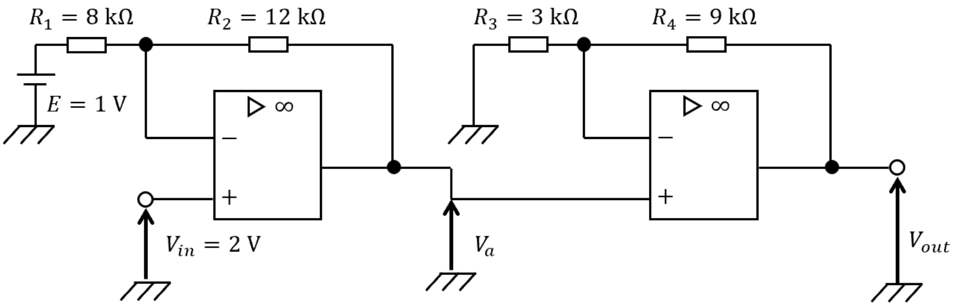
問 18　Ans.　(a)-(3)、(b)-(3)

(a)

(3) 出力インピーダンスが非常に**大きい**。

演算増幅器の出力インピーダンスは非常に小さいので、(3)が誤りである。

(b)



イマジナリーショートより、

$$v_+ = v_- = V_{in}$$

抵抗R_1とR_2に流れる電流に関する式を立てると、

$$\frac{V_{in} - E}{R_1} = \frac{V_a - V_{in}}{R_2}$$

$$\frac{R_2}{R_1}(V_{in} - E) = V_a - V_{in}$$

$$V_a = V_{in} + \frac{R_2}{R_1}(V_{in} - E)$$

$$V_a = 2 + \frac{12\mathrm{k}}{8\mathrm{k}} \times (2 - 1) = 3.5\ \mathrm{V}$$

同様に、抵抗R_3とR_4に流れる電流に関する式を立てると、

$$\frac{V_a}{R_3} = \frac{V_{out} - V_a}{R_4}$$

$$\frac{R_4}{R_3}V_a = V_{out} - V_a$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_4}{R_3} + 1\right) V_a$$

$$V_{out} = \left(\frac{9\mathrm{k}}{3\mathrm{k}} + 1\right) \times 3.5 = 14\ \mathrm{V}$$