電験三種　理論模試

2024 年 3 月

（第二回　解答）

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

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.　(3)

(1) Qを一定としてdを小さくすると、Cは上昇する。

$$C=\varepsilon\frac{S}{d}$$

より、dを小さくすると、Cは大きくなる。

(2) Qを一定としてdを小さくすると、Vは減少する。

$$V=\frac{Q}{C}$$

より、（1）でCが上昇することから、Vは減少する。

(3) Qを一定としてdを小さくすると、Eは減少する。

$$E=\frac{V}{d}=\frac{Q}{C}\times\frac{1}{d}=\frac{Q}{\varepsilon\frac{S}{d}}\times\frac{1}{d}=\frac{Q}{\varepsilon S}$$

より、Qが一定の場合、Eはdに依存せず、一定となる。

(4) Vを一定としてdを小さくすると、Eは上昇する。

$$E=\frac{V}{d}$$

より、dを小さくすると、Eは上昇する。

(5) Vを一定としてdを小さくすると、Qは上昇する。

$$Q=CV=\varepsilon\frac{S}{d}V$$

より、dを小さくすると、Qは上昇する。

従って、（3）が誤り

問３　Ans.　(5)

コイル１の自己インダクタンスLと磁気抵抗R_mの関係は、

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

同様にコイル２の自己インダクタンスは、

$$L_2 = \frac{(2N)^2}{R_m} = \frac{4N^2}{R_m}$$

２つの式より、

$$\frac{L_2}{L} = \frac{\frac{4N^2}{R_m}}{\frac{N^2}{R_m}} = 4 \to L_2 = 4L$$

となる。

問 4　Ans.　(2)

導体 A が点Oに作る磁界H_Aは

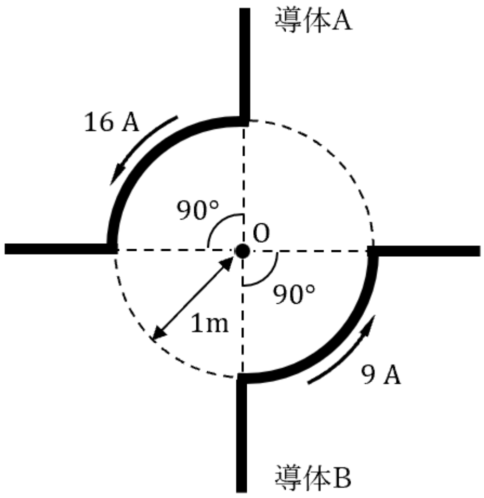
$$H_A = \frac{I_A}{2r} \times \frac{90°}{360°} = \frac{16}{2 \times 1} \times \frac{1}{4} = \frac{16}{8} = 2\ \mathrm{A/m}$$

同様に、導体 B が点Oに作る磁界H_Bは

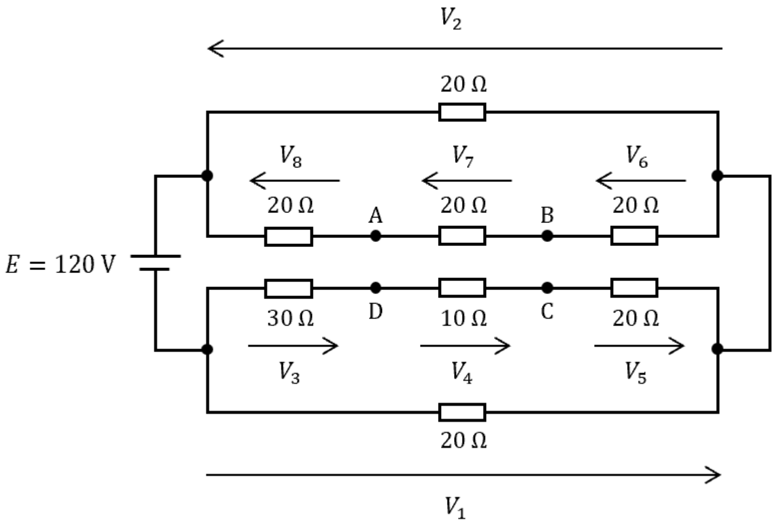
$$H_B = \frac{I_B}{2r} \times \frac{90°}{360°} = \frac{9}{2 \times 1} \times \frac{1}{4} = \frac{9}{8}\ \mathrm{A/m}$$

従って、２つの導体が点Oに作る磁界Hは、

$$H = H_A + H_B = \frac{25}{8}\ \mathrm{A/m}$$



問 5　Ans.　(3)



図に示す各点の電圧を考える。２つの並列部分の合成抵抗の大きさは等しいので、

$$V_1 = V_2 = 60\ \mathrm{V}$$

従って、各抵抗の電圧は、

$$V_3 = 30\ \mathrm{V}, V_4 = 10\mathrm{V}, V_5 = 20\ \mathrm{V}$$

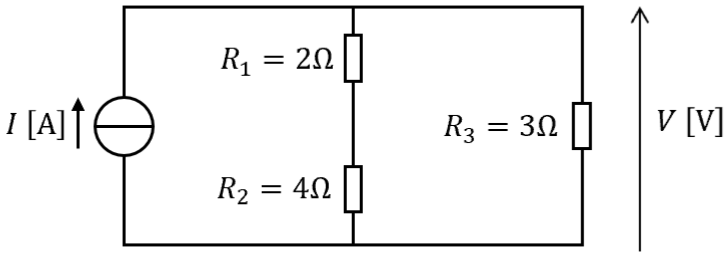
$$V_6 = 20\ \mathrm{V}, V_7 = 20\mathrm{V}, V_8 = 20\ \mathrm{V}$$

２つの点の電位差は

$$V_{AD} = V_4 + V_5 + V_6 + V_7 = 70\ \mathrm{V}$$

$$V_{BC} = V_5 + V_6 = 40\ \mathrm{V}$$

問 6　Ans.　(5)



並列部に印加される電圧をVとすると、

$$P_3 = \frac{V^2}{R_3} = \frac{1}{3}V^2$$

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R_1} = \frac{1}{R_1} \times \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}V\right)^2 = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)^2}V^2$$

$$P_1 = \frac{2}{6^2}V^2 = \frac{2}{36}V^2 = \frac{1}{18}V^2$$

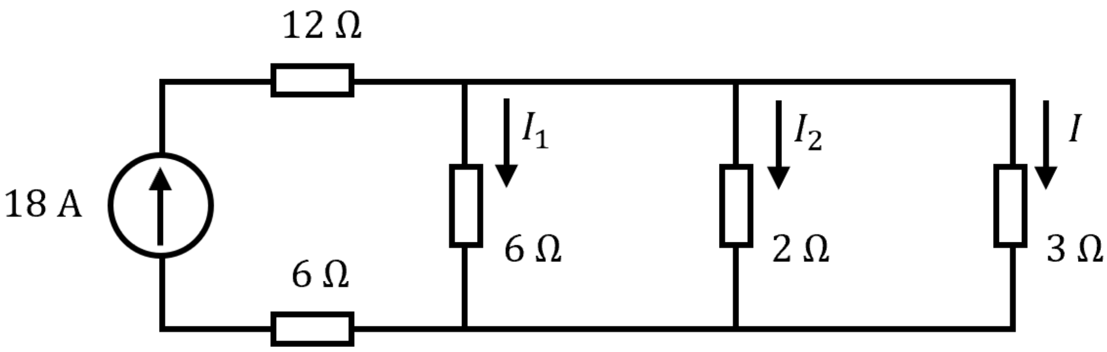
$$P_2 = \frac{V_2^2}{R_2} = \frac{1}{R_2} \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}V\right)^2 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2}V^2$$

$$P_2 = \frac{4}{6^2}V^2 = \frac{4}{36}V^2 = \frac{1}{9}V^2$$

それぞれの式のV^2の前の係数を比べると、

$$P_3 > P_2 > P_1$$

問 7　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、

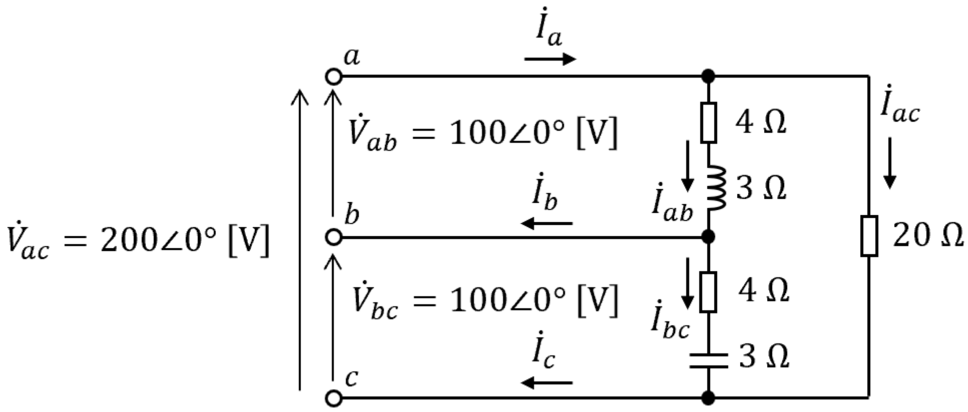
$$I_1 : I_2 : I = \frac{1}{6} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 1 : 3 : 2$$

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 8　Ans.　(3)



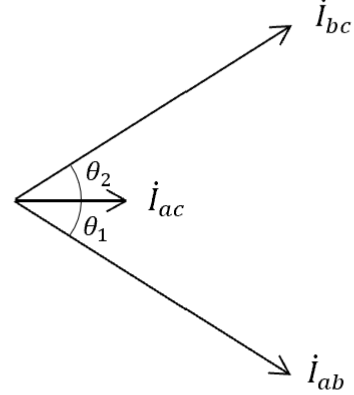
電流$\dot{I}_{ab}$、$\dot{I}_{bc}$、$\dot{I}_{ca}$をフェーザで表すと、それぞれ以下となる。

$$I_{ab} = \frac{100}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = \frac{100}{5} = 20\ \mathrm{A}$$
$$\tan\theta_1 = -\frac{3}{4}$$
$$\dot{I}_{ab} = 20\angle\theta_1$$

$$I_{bc} = \frac{100}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = \frac{100}{5} = 20\ \mathrm{A}$$
$$\tan\theta_2 = \frac{3}{4}$$
$$\dot{I}_{bc} = 20\angle\theta_2 = 20\angle -\theta_1$$

$$I_{ac} = \frac{100}{20} = 5\ \mathrm{A}$$
$$\dot{I}_{ac} = 5\angle 0°$$

従ってベクトル図で表すと、

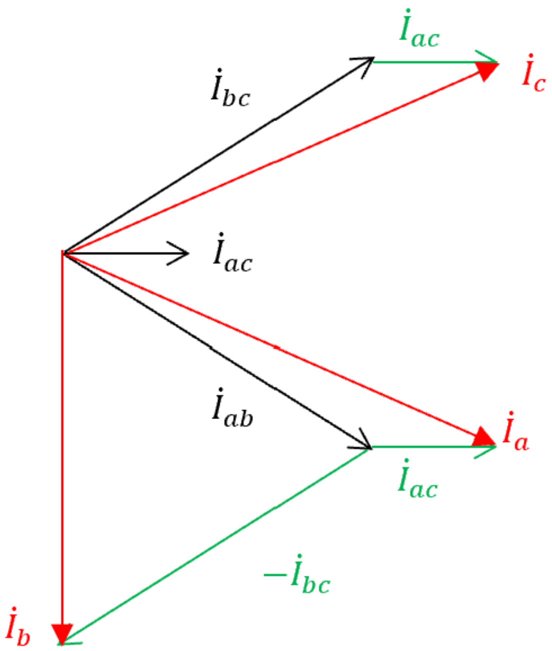


となる。

ここで、

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{ab} + \dot{I}_{ac}$$
$$\dot{I}_b = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{bc}$$
$$\dot{I}_c = \dot{I}_{bc} + \dot{I}_{ac}$$

より、線電流$\dot{I}_a$、$\dot{I}_b$、$\dot{I}_c$のベクトル図は以下のようになる。



問 9　Ans.　(3)

(3) RLC 並列回路に角周波数ω [rad/s]の交流電圧を加えたとき、

$\boldsymbol{\omega L > \frac{1}{\omega C}}$の場合、回路を流れる電流の位相は回路に加えた電圧より進み、

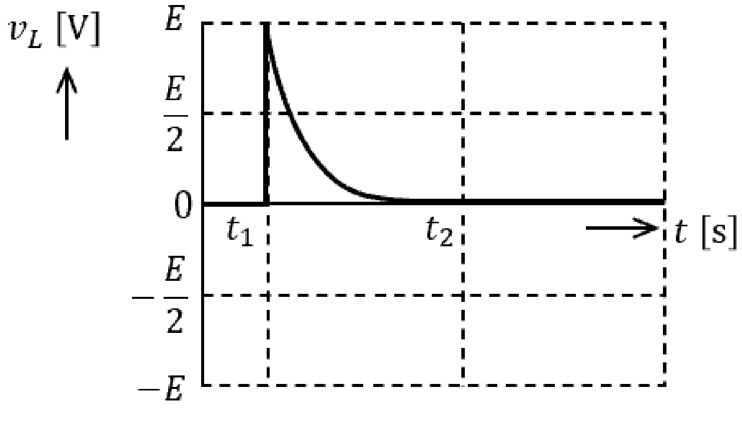
$\boldsymbol{\omega L < \frac{1}{\omega C}}$の場合、回路を流れる電流の位相はは回路に加えた電圧より遅れる。

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)

(3) pn 接合の界面の**空乏層**で生じるキャリアの再結合により発光が生じる。
空乏層ではなく、活性層が正しい。

問 12　Ans.　(2)

電子に生じるクーロン力は、

$$F = eE$$

であり、運動方程式は、

$$m_0 a = eE$$

となる。

等価速度運動において、速度vと距離xは、

$$v = at$$

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

となり、それぞれ時間tの 1 乗と 2 乗に比例する。

また、電子の運動エネルギーKは

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}ma^2t^2$$

となり、時間tの 2 乗に比例する。

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。

$$E_2 = V_{DS} + R_D I_D$$
$$I_D = \frac{E_2 - V_{DS}}{R_D} = \frac{12 - V_{DS}}{1.0}$$

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。

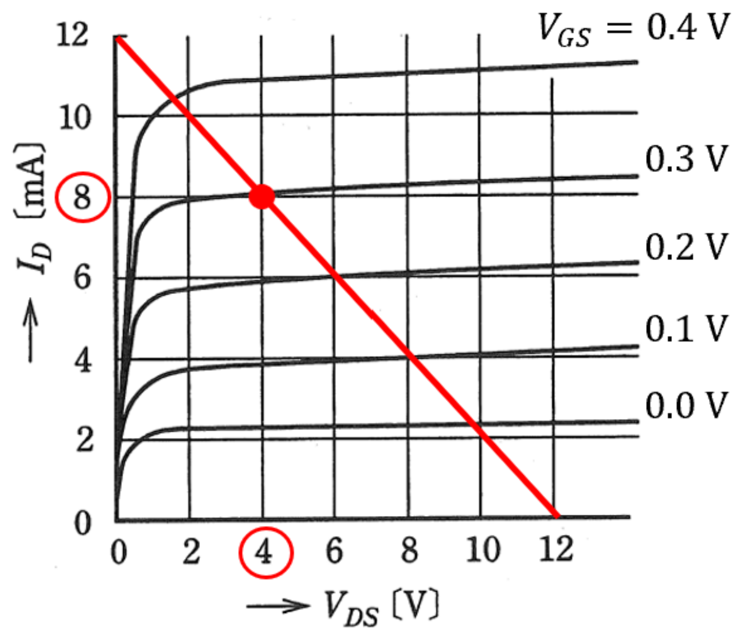


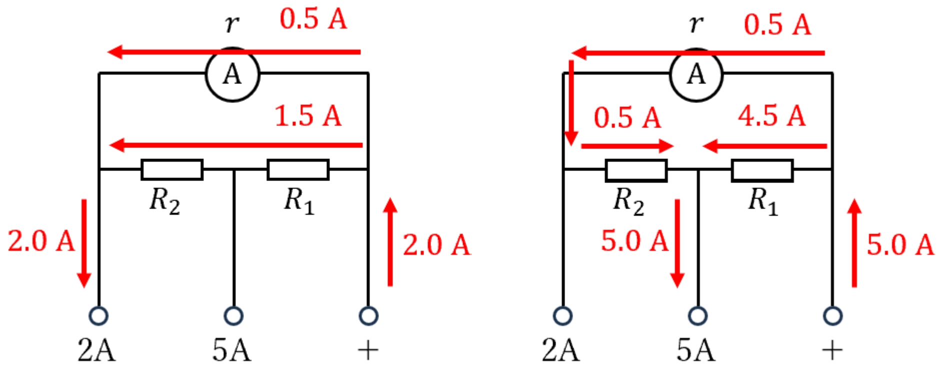
図 2

$V_{GS} = 0.3$ Vの静特性と直流負荷線の交点が動作点となり、

$$V_{DS} = 4\ \mathrm{V}$$
$$I_D = 8\ \mathrm{mA}$$

となる。

問 14　Ans.　(1)



2A 動作と 5A 動作時の電流の経路を図に示す。

2A 端子を使う場合、

$$r : R_1 + R_2 = \frac{1}{0.5\ \mathrm{A}} : \frac{1}{1.5\ \mathrm{A}} = 3 : 1$$

$$3(R_1 + R_2) = r$$

5A 端子を使う場合、

$$r + R_2 : R_1 = \frac{1}{0.5\ \mathrm{A}} : \frac{1}{4.5\ \mathrm{A}} = 9 : 1$$

$$r + R_2 = 9R_1 \ \rightarrow \ r = 9R_1 - R_2$$

それぞれの式より、

$$3(R_1 + R_2) = 9R_1 - R_2 \ \rightarrow \ 3R_1 + 3R_2 = 9R_1 - R_2$$

$$R_2 = \frac{3}{2}R_1$$

$$3\left(R_1 + \frac{3}{2}R_1\right) = r \rightarrow R_1 = \frac{2}{15}r = \frac{2}{15} \times 300 = 40\ \mathrm{m\Omega}$$

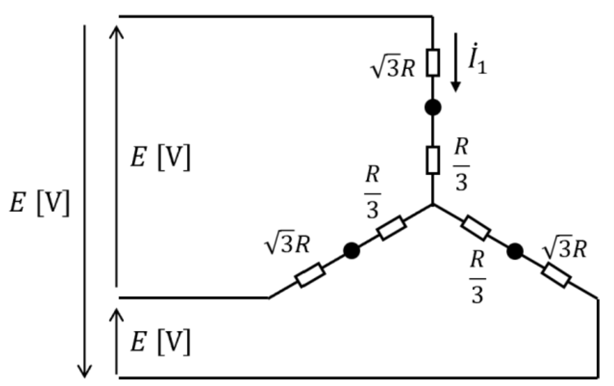
$$\therefore R_1 = 40\ \mathrm{m\Omega}$$

$$R_2 = \frac{3}{2} \times 40 = 60\ \mathrm{m\Omega}$$

$$\therefore R_2 = 60\ \mathrm{m\Omega}$$

問 15　Ans.　(a)-(4)、(b)-(2)

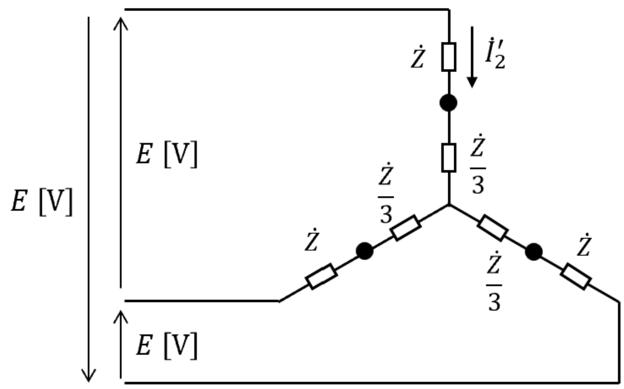
(a)



Δ結線部分を Y 結線に変換すると図のようになる。

$$I_1 = \frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{\sqrt{3}R + \frac{R}{3}} = \frac{E}{\sqrt{3}\left(\sqrt{3}R + \frac{R}{3}\right)} = \frac{E}{3R + \frac{R}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3}E}{\left(3\sqrt{3} + 1\right)R}$$

(b)



Δ結線部分を Y 結線に変換すると図のようになる。

$$Z = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25\ \Omega$$

$$I_2' = \frac{\frac{E}{\sqrt{3}}}{Z + \frac{Z}{3}} = \frac{E}{\sqrt{3}\left(Z + \frac{Z}{3}\right)} = \frac{\sqrt{3}E}{(3+1)Z} = \frac{\sqrt{3}}{4}\frac{E}{Z} = \frac{\sqrt{3}}{4}\frac{200}{25} = 2\sqrt{3}\ \mathrm{A}$$

相電流は線電流の$1/\sqrt{3}$倍なので、

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}I_2' = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 2\sqrt{3} = 2\ \mathrm{A}$$

問 16　Ans.　(a)-(1)、(b)-(3)

(a)

導体表面の電界の大きさは、

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

(b)

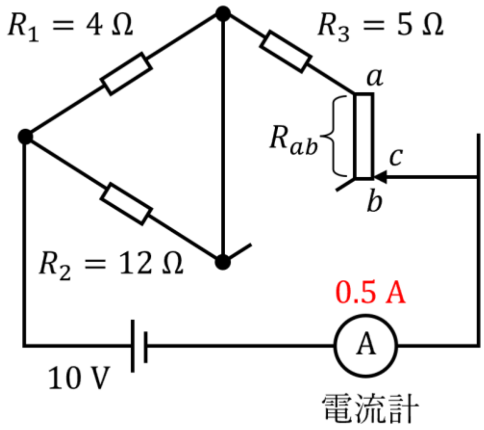
$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \to Q = 4\pi\varepsilon_0 r^2 E$$

$$Q = 4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.015^2 \times 2 \times 10^6$$
$$Q = 5.0 \times 10^{-8}\ \mathrm{C}$$

問 17　Ans.　(a)-(2)、(b)-(1)

(a)

未知抵抗を外し、すべり抵抗器の接点 c を点 b とすると、以下のような回路になる。



このときの電流と電源電圧の関係を式で表すと、以下のようになる。

$$10\ \mathrm{V} = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_{ab}\right) \times 0.5\ \mathrm{A}$$

$$20 = \frac{12 \times 4}{12 + 4} + 5 + R_{ab} = 3 + 5 + R_{ab}$$

$$R_{ab} = 12\ \Omega$$

(b)

ブリッジの平衡条件より以下の式が成り立つ。

$$R_1(R_x + R_{bc}) = R_2(R_3 + R_{ac})$$

$$R_1\left(R_x + \frac{8}{12} \times R_{ab}\right) = R_2\left(R_3 + \frac{4}{12} \times R_{ab}\right)$$

$$4 \times \left(R_x + \frac{8}{12} \times 12\right) = 12 \times \left(5 + \frac{4}{12} \times 12\right)$$

$$R_x + 8 = 3 \times 9 = 27$$

$$R_x = 19\ \Omega$$

となる。

問 18　Ans.　(a)-(5)、(b)-(5)

(a)

ベース電圧V_Bを求める。

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{18}{62 + 18} \times 12 = 2.7\ \mathrm{V}$$

抵抗R_Eの両端電圧V_Eを求める。

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2.7 - 0.7 = 2.0\ \mathrm{V}$$

以上から、抵抗R_Eは、

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{2.0\ \mathrm{V}}{1\ \mathrm{mA}} = 2\ \mathrm{k\Omega}$$

(b)

v_iをベース電流i_bを含む式で表す。

$$v_i = h_{ie} i_b + R_E i_e = h_{ie} i_b + R_E \left(1 + h_{fe}\right) i_b$$

同様に、v_oをベース電流i_bを含む式で表す。

$$v_o = R_E i_e = R_E \left(1 + h_{fe}\right) i_b$$

以上から、電圧増幅率は、

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_E\left(1 + h_{fe}\right) i_b}{h_{ie} i_b + R_E \left(1 + h_{fe}\right) i_b} = \frac{R_E\left(1 + h_{fe}\right)}{h_{ie} + R_E\left(1 + h_{fe}\right)}$$