

# 電験三種 理論模試 (第一回 解答)

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

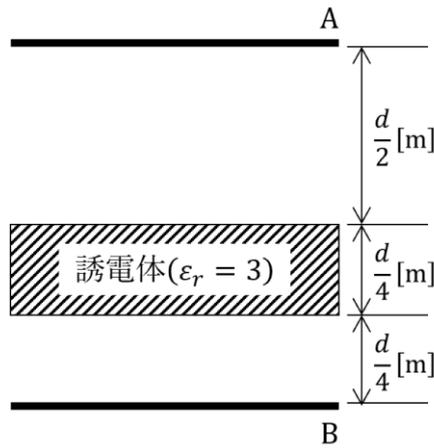
問1 Ans. (4)

固体誘電体を挿入前の静電容量 $C_0$ は以下のように表せる。

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

ここで $S$ は電極の断面積を表す。

固体誘電体挿入後の静電容量を考えるにあたり、下図のように空気-誘電体-空気となっている3つの領域の静電容量をそれぞれ $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ と定義する。



3つの領域の静電容量 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ は以下のように表せる。

$$C_1 = \epsilon_0 \frac{S}{d/2} = 2\epsilon_0 \frac{S}{d} = 2C_0$$

$$C_2 = 3\epsilon_0 \frac{S}{d/4} = 12\epsilon_0 \frac{S}{d} = 12C_0$$

$$C_3 = \epsilon_0 \frac{S}{d/4} = 4\epsilon_0 \frac{S}{d} = 4C_0$$

$C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ が直列に接続されていることから、合成の静電容量 $C'$ は

$$\begin{aligned} \frac{1}{C'} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2C_0} + \frac{1}{12C_0} + \frac{1}{4C_0} \\ &= \frac{6}{12C_0} + \frac{1}{12C_0} + \frac{3}{12C_0} = \frac{10}{12C_0} = \frac{5}{6C_0} \end{aligned}$$

$$C' = \frac{6}{5}C_0$$

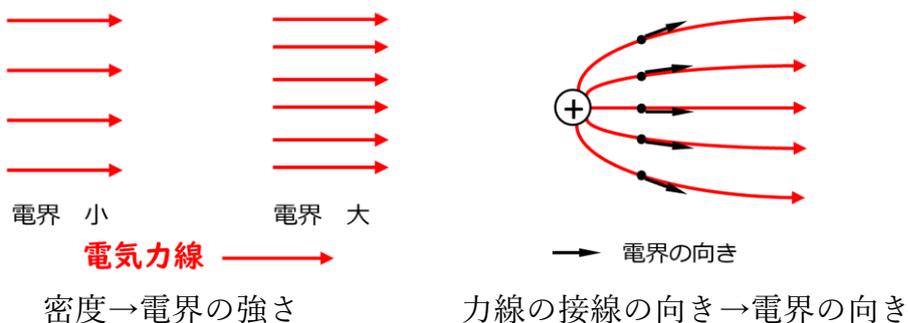
固体誘電体の挿入前後の静電容量の式より、挿入後の倍率は、

$$\frac{C'}{C_0} = \frac{6C_0/5}{C_0} = \frac{6}{5} = 1.20$$

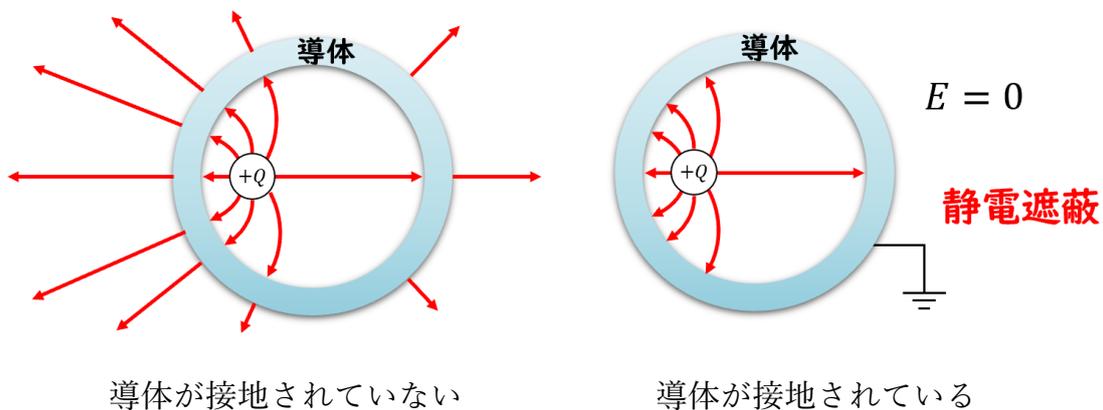
となる。

問2 Ans. (5)

電気力線は空間中の電荷の分布を可視化するために用いられる力線であり、その密度が電界の強さ、力線の接線の向きが電界の向きを表す。

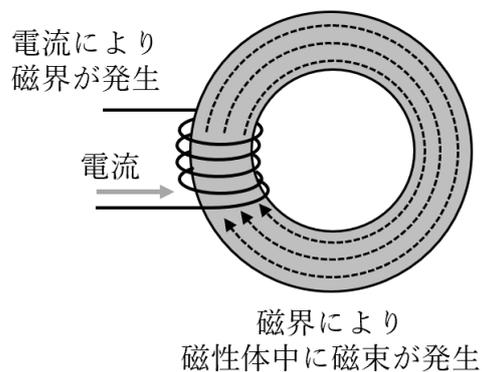
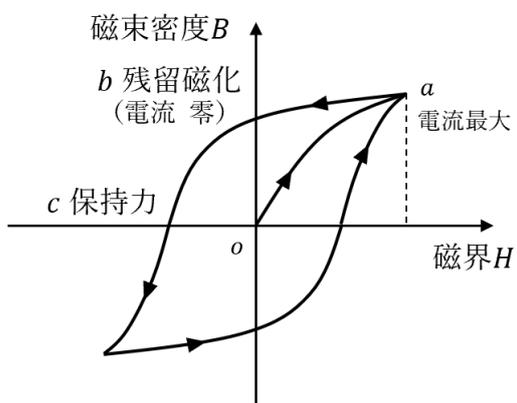


また、電荷から発生する電気力線の数は変化しない。電気力線が発生する空間に導体を配置すると、電気力線は導体と垂直に交わるように導体を貫く。導体中の電荷は電気力線（電界）を打ち消すようにその分布が変化し、特に導体が接地されていると、導体に流入した電気力線は導体内部で消滅し、導体外部に電気力線を漏れ出すことはなく外部電界は零となる。このような現象を静電遮蔽という。



問3 Ans. (5)

ヒステリシスループは横軸を磁界、縦軸を磁束密度とし、磁界の変化に対する磁束密度の変化を示すことが一般的である。磁界は磁性体外部の電流によりその大きさを制御することができ、磁界を変化を電流の変化と読み替えてヒステリシスループを解釈してもよい。従って、電流が最も大きくなる点はグラフ中の点aであり、電流が零となる点は点bとなる。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）を保持力という。



問4 Ans. (1)

図中の直線部分から発生する磁界はそれぞれ、電流を中心に同心円状に空間に分布する。この磁界は電流の直進方向の延長線上になる点Aには影響を及ぼさないため、直線部分の電流による磁界は無視してよい。

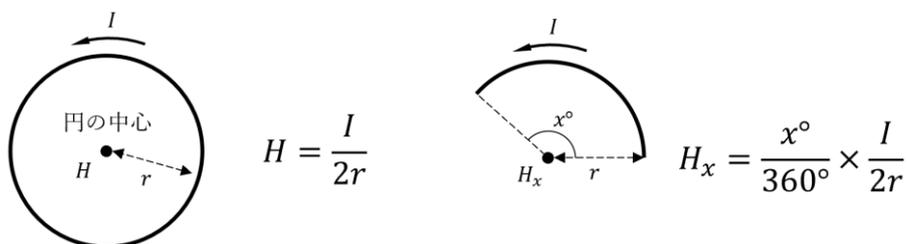
円形ループがその中心に作る磁界は以下の式で表すことができる。

$$H = \frac{I}{2r}$$

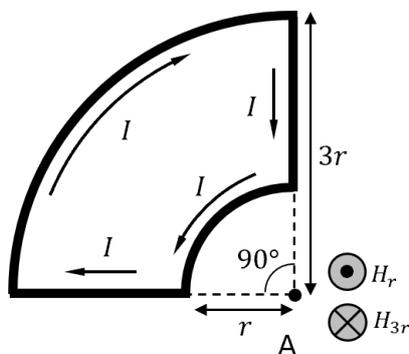
ここで $r$ は円形ループの半径である。また、円形ループの一部（角度 $x^\circ$ の扇形）がその中心に作る磁界は、

$$H_x = \frac{x^\circ}{360^\circ} \times \frac{I}{2r}$$

となる。



扇形部分は半径 $r$ と半径 $3r$ の2箇所があるが、電流ループを考えるとそれぞれの扇形部分の電流が点Aに作る磁界は反対向きなる。



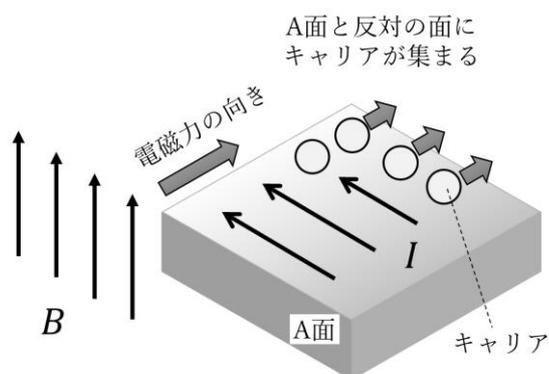
加えて、扇形の角度が $90^\circ$ であることを考慮し、2つの扇形部分が点Aに作る磁界は以下のようなになる。

$$\begin{aligned} H &= H_r - H_{3r} = \frac{90^\circ}{360^\circ} \times \frac{I}{2r} - \frac{90^\circ}{360^\circ} \times \frac{I}{2 \times 3r} = \frac{I}{8r} - \frac{I}{24r} \\ &= \frac{3I}{24r} - \frac{I}{24r} = \frac{2I}{24r} = \frac{I}{12r} \end{aligned}$$

$$\therefore H = \frac{I}{12r}$$

問5 Ans. (1)

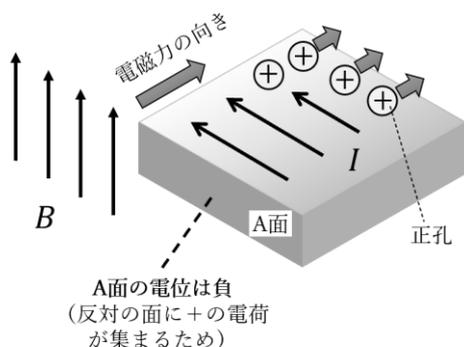
磁界中を電流が流れるため、半導体中のキャリアには電磁力が加わる。電磁力の向きはフレミング左手の法則で決まる。この場合、電磁力はx軸の正の方向に加わるため、キャリアはA面と反対の面に多く分布することになる。このような現象をホール効果という。



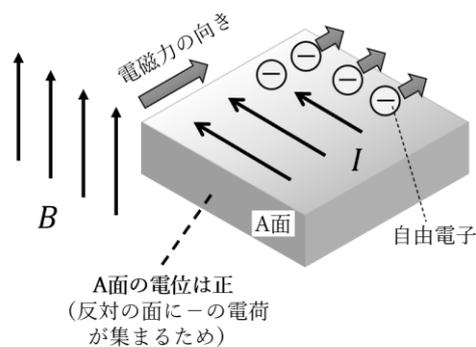
ここで、半導体中の多数キャリアはドーピングされた不純物により異なり、

- ・ p 形半導体の多数キャリアは正孔（正の電荷）
- ・ n 形半導体の多数キャリアは自由電子（負の電荷）

半導体中の多数キャリアにより A 面の電位の極性が変化することになる。p 形半導体の場合、A 面の反対の面に正孔が多く分布するため、A 面が負の電位となる。n 形半導体の場合、A 面の反対の面に自由電子が多く分布するため、A 面が正の電位となる。



p 形半導体の場合



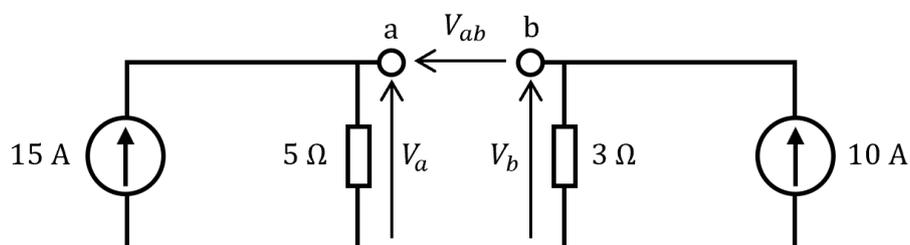
n 形半導体の場合

電圧計の指示は A 面の電位が+となることから、この半導体の多数キャリアは自由電子となる。

問6 Ans. (1)

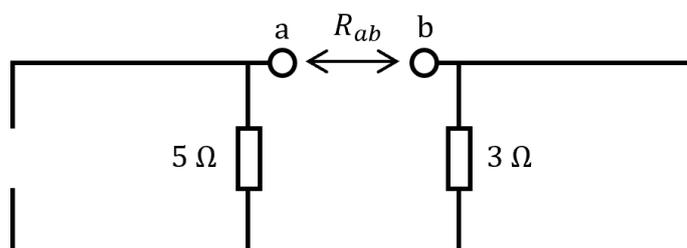
抵抗 $R$ に流れる電流 $I$ を求めるため、テブナンの定理を用いた等価回路を作る。

抵抗 $R$ の両端を端子 a、端子 b としたとき、抵抗 $R$ を外した状態での電圧 $V_{ab}$ は以下のようなになる。



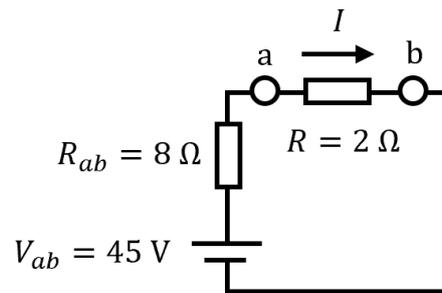
$$\begin{aligned}V_a &= 5 \times 15 = 75 \text{ V} \\V_b &= 3 \times 10 = 30 \text{ V} \\V_a - V_b &= 75 - 30 = 45 \text{ V}\end{aligned}$$

電流源を開放したときの端子 a、端子 b からみた回路の抵抗 $R_{ab}$ は以下のようなになる。



$$R_{ab} = 5 + 3 = 8 \Omega$$

以上からテブナンの定理を用いた等価回路は以下のようなになる。



この回路をもとに抵抗 $R$ に流れる電流 $I$ を

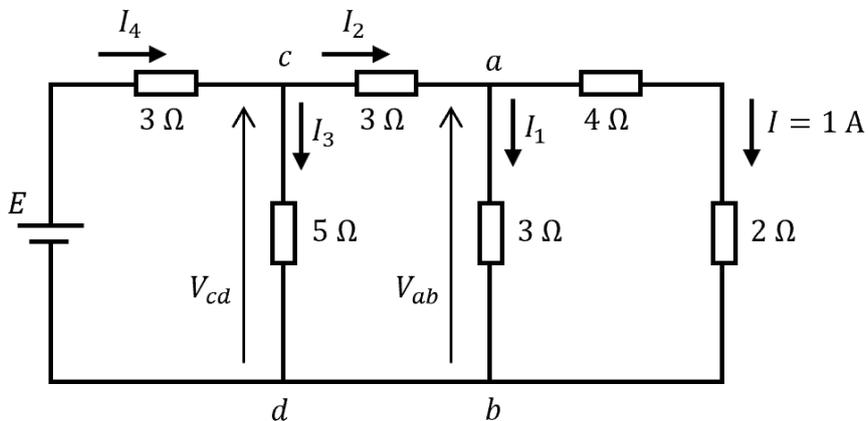
$$I = \frac{V_{ab}}{R_{ab} + R} = \frac{45}{8 + 2} = 4.5 \text{ A}$$

となり、抵抗の消費電力は以下のようなになる。

$$P = RI^2 = 2 \times 4.5^2 = 40.5 \text{ W}$$

問7 Ans. (3)

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。



$$V_{ab} = (4 + 2) \times I = 6 \times 1 = 6 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ A}$$

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

$$V_{cd} = 3 \times I_2 + V_{ab} = 3 \times 3 + 6 = 15 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{V_{cd}}{5} = \frac{15}{5} = 3 \text{ A}$$

$$I_4 = I_2 + I_3 = 3 + 3 = 6 \text{ A}$$

$$E = 3 \times I_4 + V_{cd} = 3 \times 6 + 15 = 33 \text{ V}$$

問8 Ans. (3)

電源電圧  $\dot{V}$  と電流  $i$  が同相であるということは、負荷のインピーダンスまたはアドミタンスの虚数成分が 0 となればよい。

この回路の負荷のアドミタンスを式で表すと以下のようなになる。

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

この式を整理し、実部と虚部に分解すると以下のようなになる。

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

この式の虚数成分が零となる静電容量  $C$  は以下のようなになる。

$$\begin{aligned}\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} &= 0 \\ \omega C &= \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} \\ C &= \frac{L}{R^2 + (\omega L)^2} \\ &= \frac{31.8 \times 10^{-3}}{10^2 + (2 \times \pi \times 50 \times 31.8 \times 10^{-3})^2} \\ &= \frac{31.8 \times 10^{-3}}{10^2 + (10)^2} = 159 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

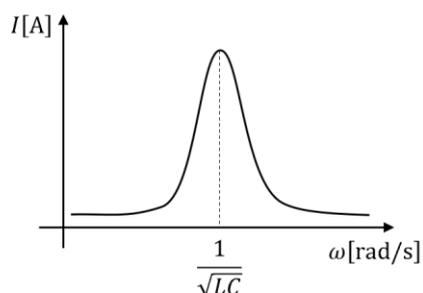
$$\therefore C = 159 \mu\text{F}$$

問9 Ans. (5)

回路Aのインピーダンスは以下のようになる。

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

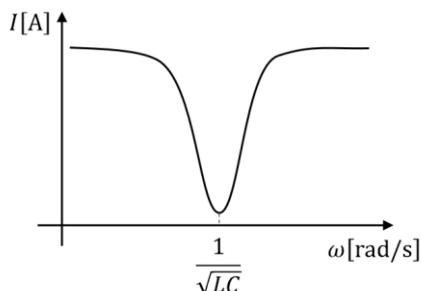
この式より、 $\omega = 1/\sqrt{LC}$ のとき $Z = R$ となる。 $\omega = 0$ に近づくと $1/\omega C$ の項の値が大きくなり、 $\omega = \infty$ に近づくと $\omega L$ の項の値が大きくなる。従って、インピーダンスが大きくなる $\omega = 0$ や $\omega = \infty$ の付近の角周波数ではあまり電流は流れず、 $\omega = 1/\sqrt{LC}$ の付近の角周波数で電流は大きくなる。



回路Bのアドミタンスは以下のようになる。

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

この式より、 $\omega = 1/\sqrt{LC}$ のとき $Y = 1/R$ となる。 $\omega = 0$ に近づくと $1/\omega L$ の項の値が大きくなり、 $\omega = \infty$ に近づくと $\omega C$ の項の値が大きくなる。従って、アドミタンスが大きくなる $\omega = 0$ や $\omega = \infty$ の付近の角周波数では電流が大きくなり、 $\omega = 1/\sqrt{LC}$ の付近の角周波数で電流は小さくなる。

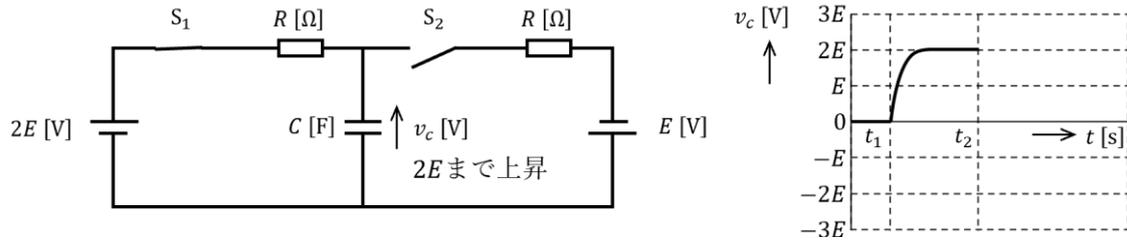


問10 Ans. (1)

コンデンサの電圧 $v_c$ はその両端に接続された電源電圧に一致するように変化すると考えればよい。

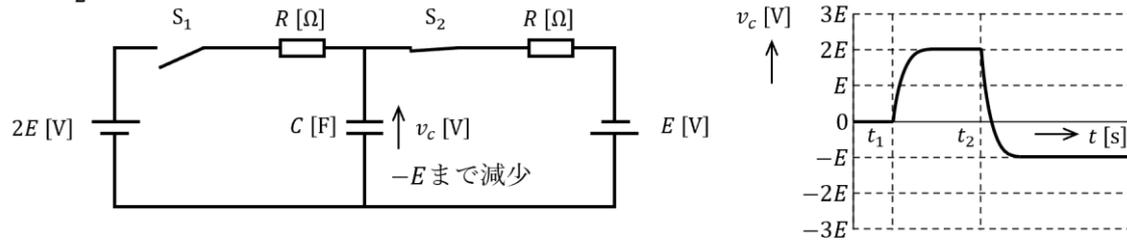
従って、スイッチ $S_1$ を閉じた時刻 $t = t_1$ から  $t = t_2$ の期間は、 $v_c$ は電源電圧 $2E$ と一致するように変化する。

$t_1 < t < t_2$



その後、スイッチ $S_1$ を開き、スイッチ $S_2$ を閉じると、 $v_c$ は電源電圧 $E$ と一致するように変化する。コンデンサから見ると新たに接続された電源電圧 $E$ は電源の向きが反対になることから、 $v_c$ は電圧 $-E$ に向かって変化していく。

$t > t_2$



問 11 Ans. (2)

p 形半導体と n 形半導体の特徴を以下にまとめる。

	p 型半導体	n 型半導体
注入する不純物	Ⅲ族の元素 (アクセプタ) ホウ素 (B) アルミニウム (Al) ガリウム (Ga) インジウム (In) など	Ⅴ族の元素 (ドナー) リン (P) ヒ素 (As) アンチモン (Sb) など
多数キャリア	正孔 (+の電荷) (電子の穴ができる)	自由電子 (-の電荷) (電子が余る)

p 形半導体と n 形半導体を接合すると、その境界面に空乏層という電位差ができる。この電位差がダイオードのもつ整流作用や、太陽電池となる光起電力効果として働く。

問 12 Ans. (5)

時刻 $t = 0$ から $t = t_1$ の期間において、電子は偏向板中で発生する電界 $E$ によりクーロン力を受ける。クーロン力による電子の運動の変化を運動方程式で表すと以下のようなになる。

$$F = eE = ma_x$$
$$a_x = \frac{eE}{m}$$

ここで $a_x$ は電子の $x$ 方向の加速度[m/s<sup>2</sup>]を表す。クーロン力により電子には一定の加速度 $a_x$ が生じることから時刻 $t = t_1$ における $x$ 方向の電子の速度 $v_x$ は、

$$v_x = a_x t_1$$
$$v_x = \frac{eEt_1}{m}$$

と表すことができる。

時刻 $t = t_1$ で偏向板の端部で電子は $x$ 方向に速度 $v_x$ をもつことから、蛍光面にあたるまでの時間を $t_2 - t_1$ とすると、

$$X = v_x(t_2 - t_1)$$
$$X = \frac{eEt_1(t_2 - t_1)}{m}$$

となる。ここで偏向板から蛍光面までの距離は、偏向板の長さ比べて十分長いことから、偏向板中に生じた $x$ 方向への移動距離は無視するものとする。

問 13 Ans. (3)

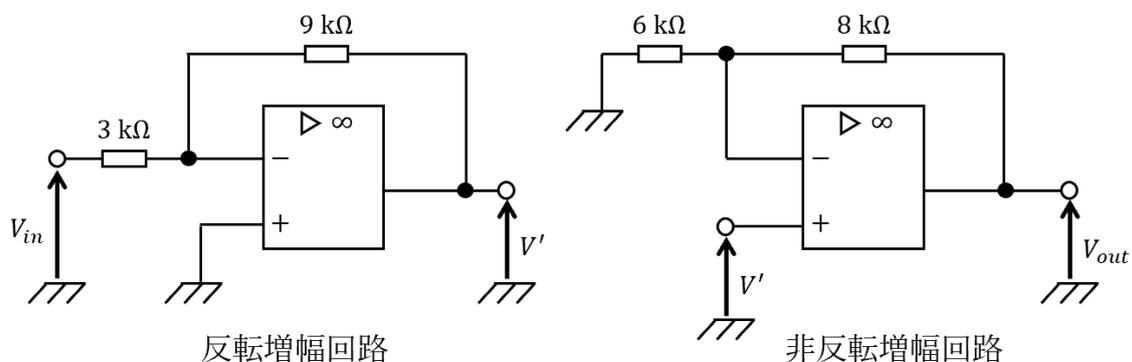
1 段目の演算増幅器の出力電圧を  $V'$  とすると、1 段目の演算増幅器は反転増幅回路となっていることから、

$$V' = -\frac{9}{3}V_{in} = -3V_{in}$$

となる。この  $V'$  は 2 段目の演算増幅器の入力電圧となることと、2 段目は非反転増幅回路となっていることから、出力電圧  $V_{out}$  は以下のように表せる。

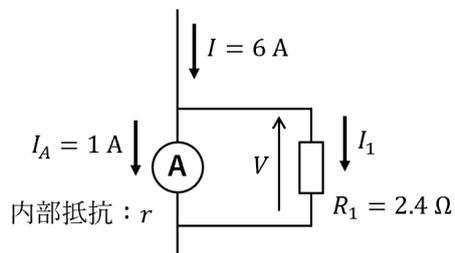
$$V_{out} = \left(1 + \frac{8}{6}\right)V' = \frac{14}{6}V' = \frac{7}{3} \times (-3V_{in})$$

$$\therefore V_{out} = -7V_{in}$$



問 14 Ans. (3)

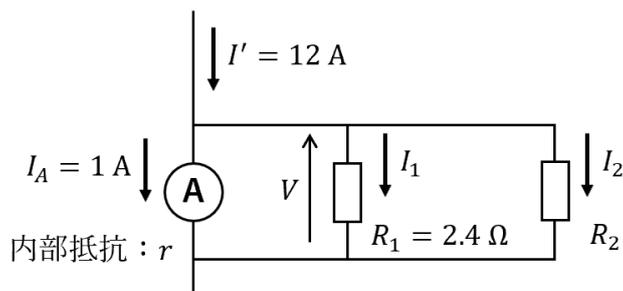
最大目盛6 Aの電流計を作るため、分流器 $R_1 = 2.4 \Omega$ を接続した。この電流計と分流器は電流と電圧の関係は以下の図で表せる。



分流器の両端電圧は

$$\begin{aligned} V &= I_A R_1 = (I - I_A) \times R_1 \\ &= (6 - 1) \times R_1 = 5 \times 2.4 = 12 \text{ V} \end{aligned}$$

となる。この電流計で12 Aを測定するためには追加の分流器 $R_2$ を $R_1$ と並列に接続すると、以下の図のように $R_2$ は増加分の電流 $I_2$ が流れる。



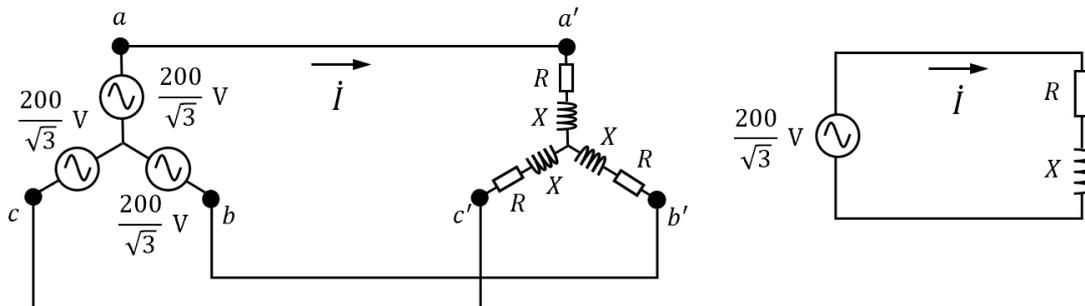
分流器の両端電圧と電流の関係から、

$$\begin{aligned} V &= R_2 \times I_2 = R_2 \times (I' - I_A - I_1) = 12 \text{ V} \\ R_2 &= \frac{12}{12 - 5 - 1} = 2 \Omega \end{aligned}$$

となる。

問 15 (a) Ans. (3)

電源部分を  $\Delta$  結線から Y 結線に変換し、線電流  $I$  を単相回路から導出する。



電源部分を Y 結線に変換

単相回路

$$I = \frac{200/\sqrt{3}}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{200/\sqrt{3}}{\sqrt{5^2 + 7^2}} = \frac{200}{\sqrt{3} \times \sqrt{74}} = 13.4 \text{ A}$$

有効電力は抵抗で生じる電力であることから、単相回路より 1 相分有効電力  $p$  は、

$$p = RI^2 = 5 \times 13.4^2 = 901 \text{ W}$$

となる。回路全体の有効電力は 1 相分の有効電力を 3 倍すればいいので、

$$P = 3p = 3 \times 901 = 2703 = 2.7 \text{ kW}$$

となる。

(b) Ans. (1)

$\Delta$  結線の線電流と相電流の関係は以下の 2 つの特徴がある。

- ・相電流の大きさは線電流の  $1/\sqrt{3}$  倍となる
- ・相電流の位相は線電流より  $30^\circ$  進みとなる

この回路の電源部分は  $\Delta$  結線になっており、電源電流  $i$  は相電流を意味するので、電源電流  $i$  の大きさは線電流の  $1/\sqrt{3}$  倍となる。従って、

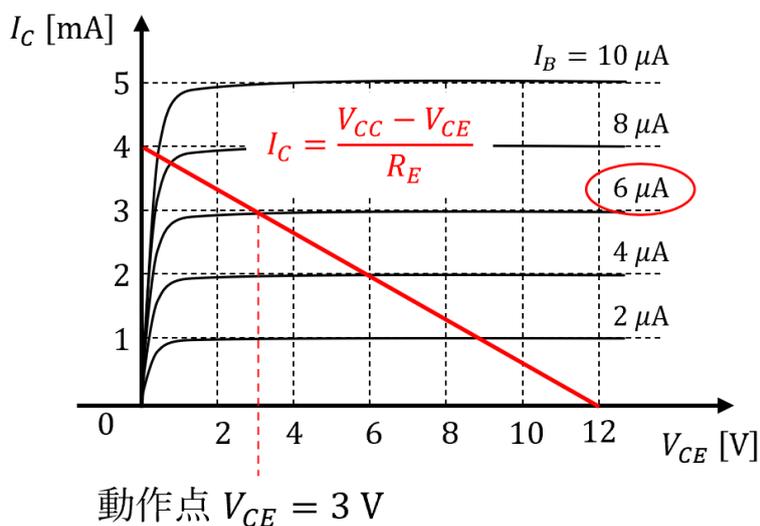
$$i = \frac{1}{\sqrt{3}}I = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 13.4 = 7.74 \text{ A}$$

問 16 (a) Ans. (1)

電源電圧 $V_{CC}$ とコレクタ抵抗 $R_C$ より直流負荷線は以下の式で表せる。

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{12 - V_{CE}}{3k}$$

この直流負荷線を図 2 のトランジスタの静特性に書き込むと以下のようなになる。



ベース電流 $I_B = 6\ \mu\text{A}$ の静特性のグラフと直流負荷線の交点における $V_{CE}$ の値が動作点となり、動作点は $V_{CE} = 3.0\text{ V}$ となる。

(b) Ans. (5)

$v_i$ と $v_o$ をいずれもベース電流 $i_b$ を含む式で表すと、

$$v_i = h_{ie}i_b$$

$$v_o = -\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} i_c = -\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} h_{fe} i_b$$

これらの式を電圧増幅率 $A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right|$ に代入すると、

$$A_v = \left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \left| \frac{-\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} h_{fe} i_b}{h_{ie} i_b} \right| = \frac{h_{fe} R_C R_L}{h_{ie} (R_C + R_L)}$$

となる。

問 17 (a)Ans. (5)

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。

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

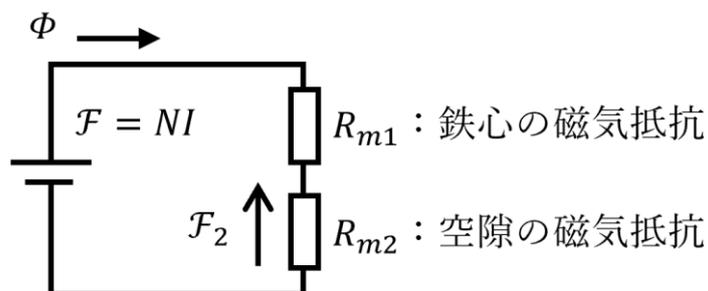
この2つの式から透磁率 $\mu$ を導出すると、

$$NI = \frac{l}{\mu S} \Phi \rightarrow \mu = \frac{l\Phi}{NIS}$$

$$\mu = \frac{0.3 \times 2.4}{300 \times 5 \times 0.5} = 0.00096 = 9.6 \times 10^{-4} \text{ H/m}$$

(b)Ans. (4)

空隙を加えた場合の磁気回路は以下の回路図で表すことができる。



ここで、磁気回路と電気回路の類似性から各物理量を電気回路に置き換えて考えてよい。

電気回路	磁気回路
電圧 $V$ [V]	起磁力 $\mathcal{F}$ [A]
電流 $I$ [A]	磁束 $\Phi$ [Wb]
抵抗 $R$ [ $\Omega$ ]	抵抗 $R_m$ [ $\text{H}^{-1}$ ]または [A/Wb]

従って、空隙を加えた場合の電流と磁束の関係は以下のように表せる。

$$NI = (R_{m1} + R_{m2})\Phi$$

ここで $R_{m1}$ は鉄心部分の磁気抵抗、 $R_{m2}$ は空隙部分の磁気抵抗を表す。 $R_{m1}$ 、 $R_{m2}$ の値は以下のようになる。

$$R_{m1} = \frac{l - l_2}{\mu S} = \frac{0.3 - 0.006}{9.6 \times 10^{-4} \times 0.5} = 606 \text{ A/Wb}$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0 S} = \frac{0.006}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.5} = 9554 \text{ A/Wb}$$

従って、磁気回路中に生じる磁束は、

$$\Phi = \frac{NI}{R_{m1} + R_{m2}} = \frac{300 \times 5}{606 + 9554} = 0.148 \text{ Wb}$$

となる。空隙に加わる起磁力 $\mathcal{F}_2$ は、

$$\mathcal{F}_2 = R_{m2} \Phi = 9554 \times 0.148 = 1414 \text{ A}$$

空隙に発生する磁界の強さは（空隙に加わる起磁力）÷（空隙の距離）で決まることから、

$$H = \frac{\mathcal{F}_2}{l_2} = \frac{1414}{0.006} = 2.36 \times 10^5 \text{ A/m}$$

問 18 (a) Ans. (5)

実験 I の等価回路より、すべり抵抗全体器の抵抗は、

$$R = \frac{E_0}{200 \text{ mA}} = \frac{8}{0.2} = 40 \Omega$$

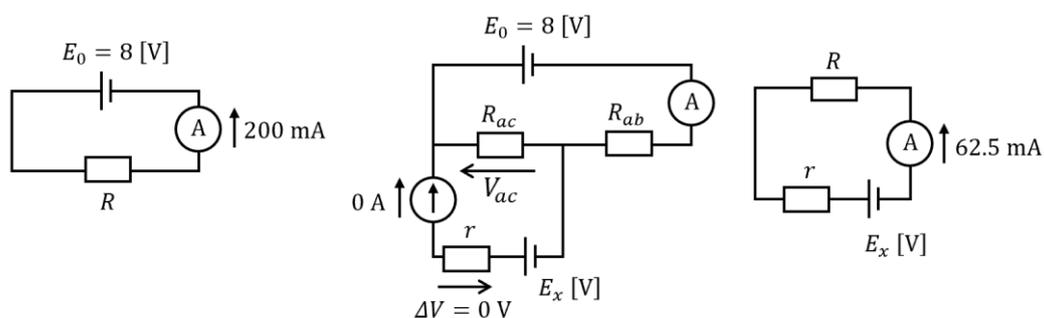
となる。

実験 II の等価回路より、検流計が零となることから、電池から流れる電流は零であり、電池の内部抵抗で電圧降下  $\Delta V$  は零となる。従って、電池の電源電圧  $E_x$  とすべり抵抗器の a-c 間で生じる電圧降下  $V_{ac}$  は一致する。すべり抵抗器の a-c 間の抵抗  $R_{ac}$  は、

$$R_{ac} = \frac{4.5 \text{ cm}}{12 \text{ cm}} \times 40 = 15 \Omega$$

従って、電池の電源電圧  $E_x$  は、

$$E_x = V_{ac} = \frac{R_{ac}}{R} \times E_0 = \frac{15}{40} \times 8 = 3.0 \text{ V}$$



実験 I の等価回路

実験 II の等価回路

実験 III の等価回路

(b) Ans. (4)

電池の内部抵抗を考慮した実験 III の等価回路より、内部抵抗  $r$  は、

$$r + R = \frac{E_x}{I}$$

$$r = \frac{E_x}{I} - R = \frac{3}{0.0625} - 40$$

$$\therefore r = 8 \Omega$$