

# 電験三種 理論模試

2023 年 3 月

(第一回 解答)

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

問1 Ans. (5)

空气中、誘電体 A、誘電体 B の電界の大きさをそれぞれ  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  とする。どの領域でも電束密度  $D$  は等しいため、

$$\begin{aligned} D &= \varepsilon_{r1}\varepsilon_0 E_1 = \varepsilon_{r2}\varepsilon_0 E_2 = \varepsilon_{r3}\varepsilon_0 E_3 \\ \varepsilon_{r1}E_1 &= \varepsilon_{r2}E_2 = \varepsilon_{r3}E_3 \\ 1 \times E_1 &= 2 \times E_2 = 4 \times E_3 \end{aligned}$$

空气中、誘電体 A、誘電体 B の各領域の電位差をそれぞれ  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  とする。各領域の長さは等しいことから長さを  $d$  で表すと、

$$E_1 d = 2E_2 d = 4E_3 d = V_1 = 2V_2 = 4V_3$$

従って、

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{2}V_1 \\ V_3 &= \frac{1}{2}V_2 = \frac{1}{4}V_1 \end{aligned}$$

となり、電位差の大きさは「空气中 > 誘電体 A > 誘電体 B」となる。

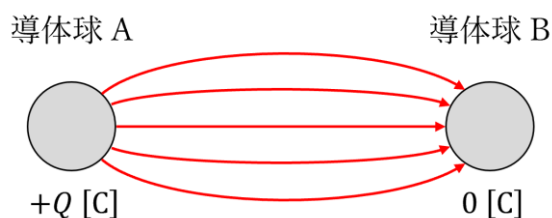
従って、等電位線の密度も同様に、「空气中 > 誘電体 A > 誘電体 B」となる。

各領域中で電界の強さは一様であることから、等電位線は等間隔に並ぶ。

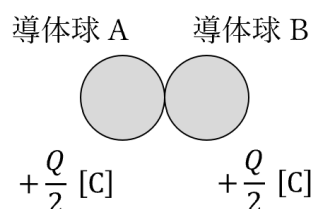
以上から、等電位線の分布は (5) となる。

問2 Ans. (5)

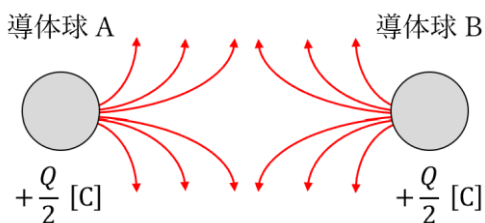
導体球 A の近くに導体球 B を配置すると、電気力線は導体球 A から導体球 B へ向かう。電気力線は導体球 B の表面に対して垂直に交わる。導体球内では電気力線を打ち消すように電荷の分布が変化する。その結果、導体球内部の電界は零の状態が維持される。



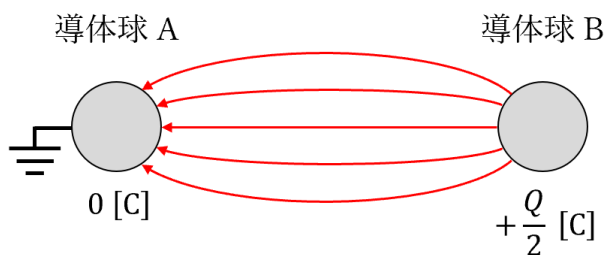
導体球 A と導体球 B を接触させると、導体球 A の電荷が移動し、導体球 A と導体球 B の電荷はいずれも  $+Q/2$  [C] となる。



この状態で導体球 A と導体球 B を引き離すと、それぞれの電気力線の分布は下図のようになり、互いの導体球には引き離す力が発生する。

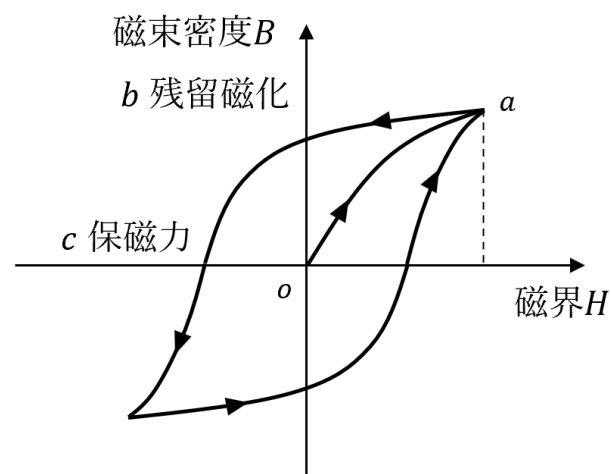


導体球 A を接地すると、導体球 A の電荷は零となる。従って、電気力線は導体球 B から導体球 A へ向かう。



問3 Ans. (1)

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。変圧器鉄心の材料においては保磁力が小さいものが適している。



問 4 Ans. (2)

直線電流が作る磁界は以下の式で表すことができる。

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

導体 A が点 P に作る磁界 $H_A$ は、

$$H_A = \frac{I_A}{2\pi r}$$

導体 B が点 P に作る磁界 $H_B$ は、

$$H_B = \frac{I_B}{2\pi(r+l)}$$

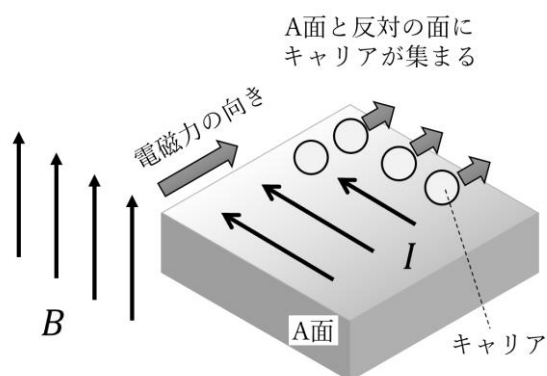
点 P の合成磁界は零になることから、

$$\begin{aligned} H_A &= H_B \\ \frac{I_A}{2\pi r} &= \frac{I_B}{2\pi(r+l)} \rightarrow r+l = \frac{I_B}{I_A}r \end{aligned}$$

$$l = \frac{I_B}{I_A}r - r = \frac{4}{3} \times 1.2 - 1.2 = 1.6 - 1.2 = 0.4 \text{ m}$$

問5 Ans. (4)

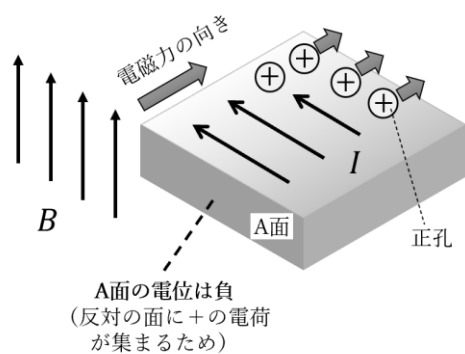
磁界中を電流が流れるため、半導体中のキャリアには電磁力が加わる。電磁力の向きはフレミング左手の法則で決まる。この場合、電磁力はx軸の正の方向に加わるため、半導体中のキャリアはA面と反対の面に多く分布することになる。このような現象をホール効果という。



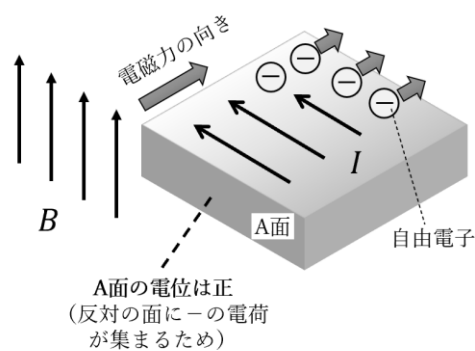
ここで、半導体中の多数キャリアはドーピングされた不純物により異なり、

- ・ 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

半導体にドーピングされたリン (P) は V 族の原子なので、この半導体は n 形半導体である。従って、電圧計の指示は A 面の電位が+（プラス）となる。

©電験どうでしょう

問 6 Ans. (3)

抵抗 $R = 1.0 \Omega$ のとき、

$$E = (1.0 + r)I_1 = (1.0 + r) \times 3$$

抵抗 $R = 1.6 \Omega$ のとき、

$$E = (1.2 + r)I_2 = (1.6 + r) \times 2$$

従って、電池の内部抵抗 $r$ は、

$$\begin{aligned}(1.0 + r) \times 3 &= (1.6 + r) \times 2 \\ 3 + 3r &= 3.2 + 2r \\ r &= 0.2 \Omega\end{aligned}$$

電池の起電力 $E$ は、

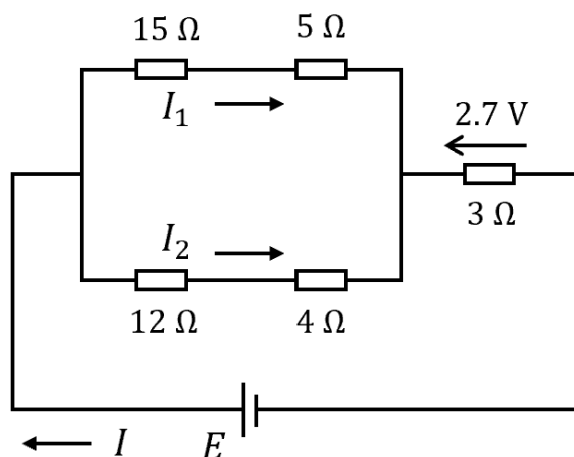
$$E = (1.0 + 0.2) \times 3 = 3.6 \text{ V}$$

となる。



問7 Ans. (4)

ブリッジの平衡条件が成り立つので、抵抗 $9\Omega$ をはずすことができる。以下の等価回路から各電流を求める。



電流 $I$ を抵抗 $3\Omega$ の電圧降下から導出する。

$$I = \frac{2.7}{3} = 0.9 \text{ A}$$

電流 $I_1$ 、 $I_2$ は抵抗の逆比で求めることができる。

$$I_1 : I_2 = \frac{1}{15 + 5} : \frac{1}{12 + 4} = \frac{1}{20} : \frac{1}{16} = 16 : 20 = 4 : 5$$

従って、

$$I_1 = 0.4 \text{ A}$$

$$I_2 = 0.5 \text{ A}$$

並列部分の電圧降下は、

$$V = (15 + 5) \times I_1 = 20 \times 0.4 = 8 \text{ V}$$

電源電圧 $E$ は、

$$E = 8 + 2.7 = 10.7 \sim 11 \text{ V}$$

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、

$$\frac{E}{I} = \frac{120}{12} = 10 = \sqrt{R^2 + X^2}$$
$$100 = R^2 + X^2 \dots \textcircled{1}$$

同様に、図 2 の条件よりインピーダンスの式をたてると、

$$\frac{E}{I} = \frac{120}{8} = 15 = \sqrt{(R + 8)^2 + X^2}$$
$$225 = (R + 8)^2 + X^2 \dots \textcircled{2}$$

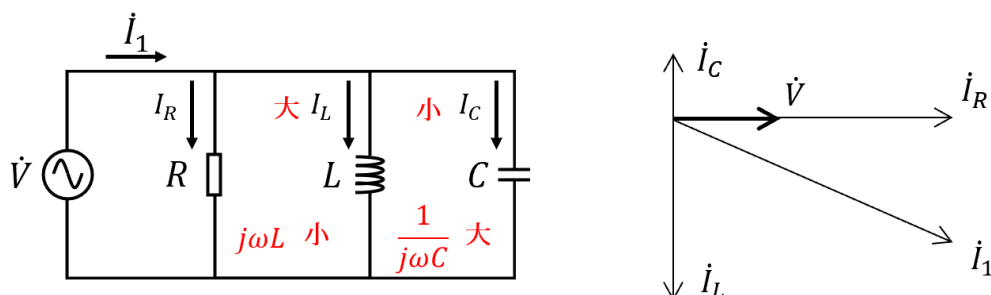
②－①は、

$$125 = (R + 8)^2 - R^2$$
$$125 = R^2 + 16R + 64 - R^2$$
$$16R = 125 - 64$$
$$R = \frac{61}{16} \sim 3.8 \Omega$$

となる。

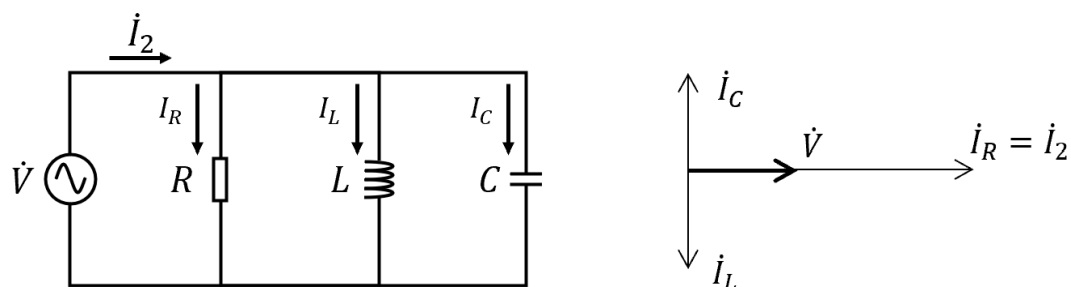
問9 Ans. (1)

角周波数 $\omega < \omega_0$ のときの各素子に流れる電流 $I_1$ は以下になる。



各素子には電源電圧  $V$  が印加され、角周波数が小さいため、コイルのリアクタンスは小さく、コンデンサのリアクタンスは大きくなる。従って、コイルに流れる電流 $I_L$ はコンデンサに流れる電流 $I_C$ よりも大きくなる。従って、電流 $I_1$ は電源電圧 $\dot{V}$ に比べて遅れとなる。

角周波数 $\omega = \omega_0$ のときの各素子に流れる電流 $I_2$ は以下になる。



共振条件ではコイルに流れる電流 $I_L$ とコンデンサに流れる電流 $I_C$ の大きさが一致する。従って、電流 $I_2$ は抵抗に流れる電流 $I_R$ と一致する。

また、二つの条件で抵抗に流れる電流 $I_R$ の大きさは変わらないため、この問題の答えは、(1) となる。

問 10 Ans. (3)

充電時の時定数 $\tau_1$ は、

$$\tau_1 = C(R_1 + R_3)$$

放電時の時定数 $\tau_2$ は、

$$\tau_2 = C(R_2 + R_3)$$

それぞれの時定数の関係より

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{1}{2} = \frac{C(R_2 + R_3)}{C(R_1 + R_3)} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_3}$$

となり、

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} &= \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_3} \\ R_1 + R_3 &= 2R_2 + 2R_3\end{aligned}$$

$$2R_2 + R_3 = R_1$$

の関係を満たす選択肢を選べばよい。

従って、

$$\begin{aligned}R_1 &= 40 \, \Omega \\ R_2 &= 10 \, \Omega \\ R_3 &= 20 \, \Omega\end{aligned}$$

となる。

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）<br>ホウ素（B）<br>アルミニウム（Al）<br>ガリウム（Ga）<br>インジウム（In）など | Ⅴ族の元素（ドナー）<br>リン（P）<br>ヒ素（As）<br>アンチモン（Sb）など |
| 多数キャリア  | 正孔（+の電荷）<br>（電子の穴ができる）                                          | 自由電子（-の電荷）<br>（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。接合面に光をあてると電子正孔対が発生し、空乏層の電位差により電流が流れる。この現象を光起電力効果といい、太陽電池の原理となる。

問 12 Ans. (4)

領域 A の電界で加速された電荷の速度  $v_A$  [m/s] (領域 A の境界面) は、運動エネルギーと位置エネルギーの関係から以下の式で表せる。

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = QE_AL_1 \cdots \textcircled{1}$$

導体球は領域 A を抜けると導体は速度  $v_A$  で等速直線運動し、領域 B に突入すると減速する。

領域 B 中で速度が零になるまでの距離  $x$  [m] は、運動エネルギーと位置エネルギーの関係から以下の式で表せる。

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = QE_Bx \cdots \textcircled{2}$$

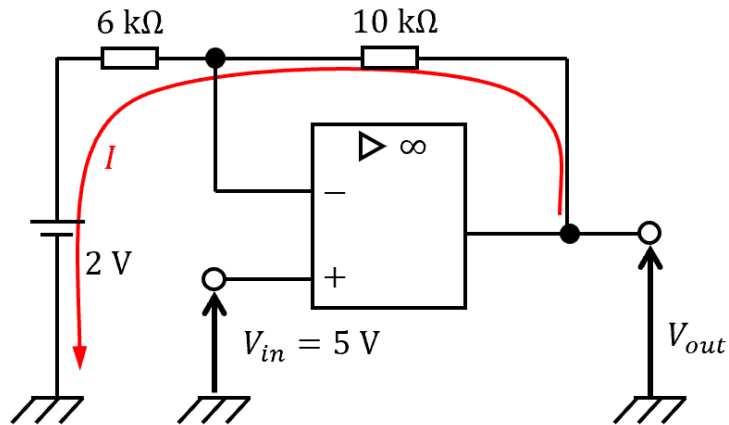
式①と②より、

$$QE_AL_1 = QE_Bx \rightarrow E_AL_1 = E_Bx$$

$$x = \frac{E_A}{E_B}L_1 = \frac{1}{0.5} \times 4 = 8 \text{ m}$$

となる。

問 13 Ans. (4)



回路に流れる電流 $I$ は以下の式で表せる。

$$I = \frac{V_- - 2}{6 \text{ k}\Omega} = \frac{V_{out} - V_-}{10 \text{ k}\Omega}$$

また、演算増幅器のイマジナリーショート の性質より、

$$\begin{aligned} V_- &= V_+ \\ V_+ &= V_{in} = 5 \text{ V} \end{aligned}$$

従って、

$$\begin{aligned} V_{out} - V_- &= \frac{10}{6} (V_- - 2) \rightarrow V_{out} = \frac{10}{6} (V_- - 2) + V_- \\ V_{out} &= \frac{10}{6} (5 - 2) + 5 = \frac{5}{3} \times 3 + 5 \end{aligned}$$

$$\therefore V_{out} = +10 \text{ V}$$

となる。

問 14 Ans. (2)

電圧計 V1 の最大許容電流 $I_1$ は、

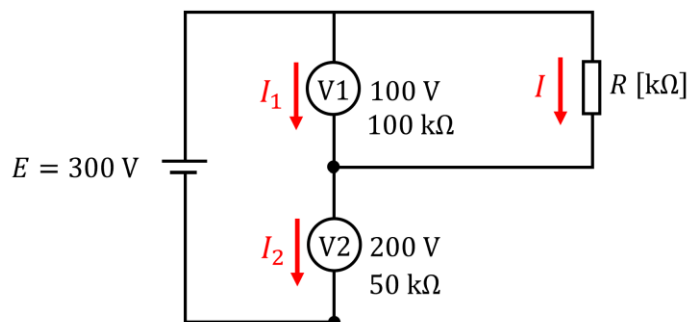
$$I_1 = \frac{100 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA}$$

電圧計 V2 の最大許容電流 $I_2$ は、

$$I_2 = \frac{200 \text{ V}}{50 \text{ k}\Omega} = 4 \text{ mA}$$

従って、2つの電圧計を直列につなぐ場合、1mA までしか電流を流すことができないので、電圧 300V を測定することができない。

以下のように、電圧計 V1 に並列に抵抗器 $R$ を接続することで、電圧計 V1 の最大許容電流を越えないようにし、電圧 300V を印加することができる。



抵抗器 $R$ に流れる電流は2つの電圧計の最大許容電流の差分であり、

$$I = I_2 - I_1 = 4 - 1 = 3 \text{ mA}$$

100V 印加時に 3mA 流すために必要な抵抗 $R$ は、

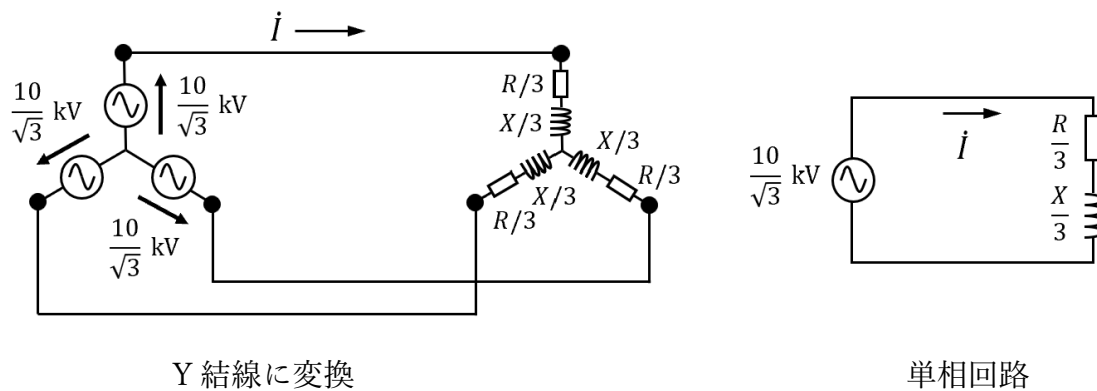
$$R = \frac{100 \text{ V}}{3 \text{ mA}} = 33.3 \text{ k}\Omega$$

となる。



問 15 (a) Ans. (3)

$\Delta$  結線から Y 結線に変換し、 $R$  と  $X$  を単相回路から導出する。



$$Z = \sqrt{\left(\frac{R}{3}\right)^2 + \left(\frac{X}{3}\right)^2} = \frac{10000/\sqrt{3}}{19.3} = 299 \sim 300 \, \Omega$$

力率が 0.8 なので、

$$\frac{R}{3} = Z \cos \theta = 300 \times 0.8 = 240 \, \Omega$$

$$R = 720 \, \Omega$$

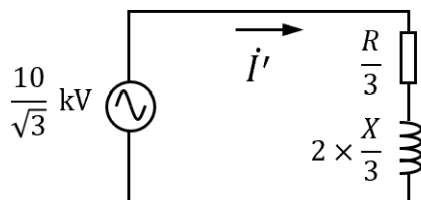
$$\frac{X}{3} = Z \sin \theta = 300 \times 0.6 = 180 \, \Omega$$

$$X = 540 \, \Omega$$

となる。

(b) Ans. (5)

電源の周波数が2倍になると、誘導性リアクタンスは2倍になる。従って、単相回路は以下ようになる。



単相回路に流れる電流 $I'$ は、

$$I' = \frac{\frac{10000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(\frac{R}{3}\right)^2 + \left(2 \times \frac{X}{3}\right)^2}} = \frac{\frac{10000}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(240)^2 + (2 \times 180)^2}} = \frac{\frac{10000}{\sqrt{3}}}{433} = 13.3 \text{ A}$$

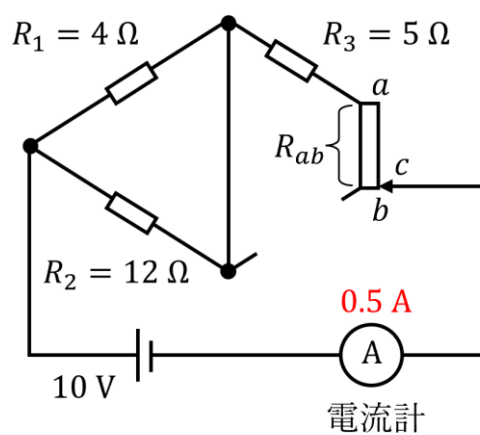
有効電力は

$$P = 3 \times \frac{R}{3} \times I'^2 = RI'^2 = 720 \times 13.3^2 = 128,205 \sim 128 \text{ kW}$$

となる。

問 16 (a) Ans. (2)

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、以下のようなになる。

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

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

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

(b) Ans. (1)

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 17 (a)Ans. (4)

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。

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

また磁気抵抗とインダクタンスの関係は以下の式で表せる。

$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2 \mu S}{l}$$

$$L = \frac{300^2 \times 2.0 \times 10^{-4} \times 0.5}{0.3} = 30 \text{ H}$$

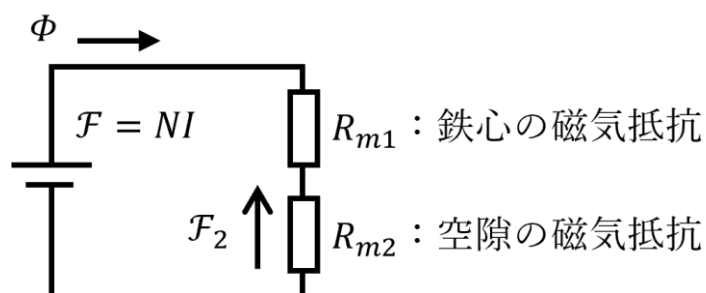
ファラデーの法則より、発生する誘導起電力 $E$ は、

$$E = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 30 \times \frac{5}{3} = 50 \text{ V}$$

となる。

(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<br>[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。

$$R_{m1} = \frac{l - l_2}{\mu S} = \frac{0.3 - 0.005}{2.0 \times 10^{-4} \times 0.5} = 2950 \text{ A/Wb}$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0 S} = \frac{0.005}{4\pi \times 10^{-7} \times 0.5} = 7962 \text{ A/Wb}$$

従って、磁気回路中に生じる磁束は、

$$\Phi = \frac{NI}{R_{m1} + R_{m2}} = \frac{300 \times 5}{2950 + 7962} = 0.1375 \text{ Wb}$$

となる。空隙に加わる起磁力 $\mathcal{F}_2$ は、

$$\mathcal{F}_2 = R_{m2}\Phi = 7962 \times 0.1375 = 1095 \text{ A}$$

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、

$$H = \frac{\mathcal{F}_2}{l_2} = \frac{1095}{0.005} = 218,901 \sim 2.2 \times 10^5 \text{ A/m}$$

問 18 (a) Ans. (3)

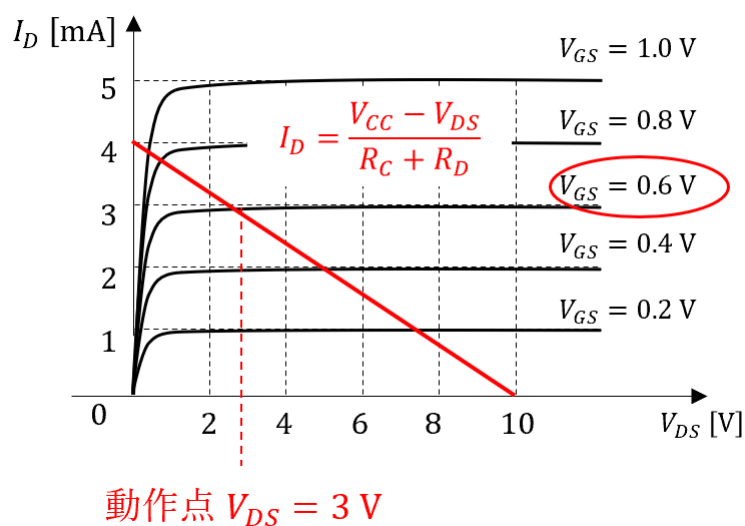
1. 図 1 の増幅回路のトランジスタは、n チャンネルの MOSFET である。
2. バイパスコンデンサは  $C_2$  である。  
 $C_1, C_3$  は結合コンデンサ (カップリングコンデンサ) という。
3. 抵抗  $R_c$  は温度変化に対する安定性向上の役割を果たしている。

(b) Ans. (1)

電源電圧  $V_{CC}$  と抵抗  $R_C, R_D$  より直流負荷線は以下の式で表せる。

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_{DS}}{R_C + R_D} = \frac{10 - V_{DS}}{2.5k}$$

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になる。



ゲート電圧  $V_{GS} = 0.6$  V のときの静特性のグラフと直流負荷線の交点における  $V_{DS}$  の値が動作点となり、動作点は  $V_{DS} = 3$  V となる。