

# 電験三種 理論模試 (第二回 解答)

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

問1 Ans. (1)

平行平板の静電容量は以下の式で表せる。

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{l}$$

電極間距離を $l$ から $l + \Delta l$ に変化させることを考える。このとき、静電容量は、

$$C' = \epsilon_0 \frac{A}{l + \Delta l}$$

となり、分母の値が大きくなるため、静電容量は減少する。

電極間距離は変化しても、平板に蓄えられる電荷量 $Q$ は変化しない。

電極間距離変更後の電極間の電圧 $V'$ は

$$V' = \frac{Q}{C'} = \frac{Q}{\epsilon_0 \frac{A}{l + \Delta l}} = \frac{Q(l + \Delta l)}{\epsilon_0 A}$$

となる。このとき、電極間の電界 $E'$ は

$$E' = \frac{V'}{l + \Delta l} = \frac{1}{l + \Delta l} \times \frac{Q(l + \Delta l)}{\epsilon_0 A} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

となり、電界 $E'$ は電極間距離に依存しないことから、変化しない。

また、静電エネルギーは、

$$W' = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{\epsilon_0 \frac{A}{l + \Delta l}} = \frac{1}{2} \frac{Q^2(l + \Delta l)}{\epsilon_0 A}$$

となり、電極間距離が大きくなると、静電エネルギーは増加する。

問2 Ans. (3)

仕事と電気の物理量の関係を以下にまとめる。

$$\begin{aligned}(\text{仕事}) &= (\text{力}) \times (\text{力に逆らって移動した距離}) \\ &= (\text{クーロン力}) \times (\text{力に逆らって移動した距離}) \\ &= qE \times (\text{力に逆らって移動した距離}) \\ &= q \times (\text{電界}) \times (\text{電界に逆らって移動した距離}) \\ &\quad \downarrow \\ &= q \times (\text{電位 (差)})\end{aligned}$$

点電荷が電界に逆らって移動した距離は 4m である。

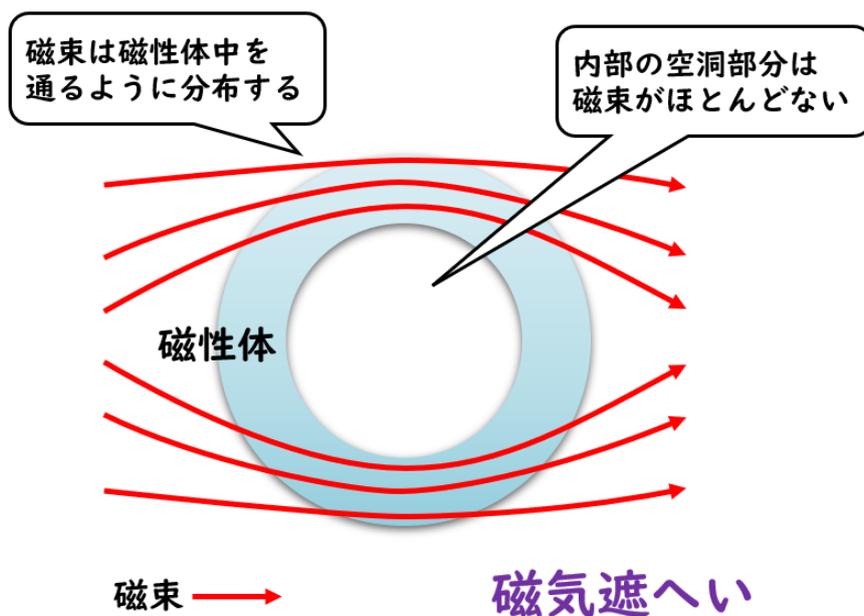
従って、

$$\begin{aligned}(\text{仕事}) &= q \times (\text{電界}) \times (\text{電界に逆らって移動した距離}) \\ W &= qEx = 2 \times E \times 4 = 20 \\ E &= \frac{20}{8} = 2.5 \text{ V/m}\end{aligned}$$

となる。

問3 Ans. (4)

磁束は透磁率に差があると、透磁率が高いほうに多く分布する。従って、一様磁界の空气中に磁性体を配置すると、磁束は磁性体中を通るように分布することになる。磁界の強さ $H$ と磁束密度 $B$ の関係は $B = \mu H$ となることから、磁束の大きさは透磁率に比例する。下図のように、磁性体の形状がその内部が空洞の球体とすると、磁束は内部空洞をほとんど通らない。このような現象を磁気遮へいという。



問4 Ans. (2)

2つの平衡に並んだ導体に電流が流れているとき、それぞれの電流の大きさを $I_0$ と $I_1$ すると、導体に生じる単位長さ当たりの力 $F$ は

$$F = \frac{I_0 I_1}{2\pi\mu_0}$$

となる。

このとき力の向きは、

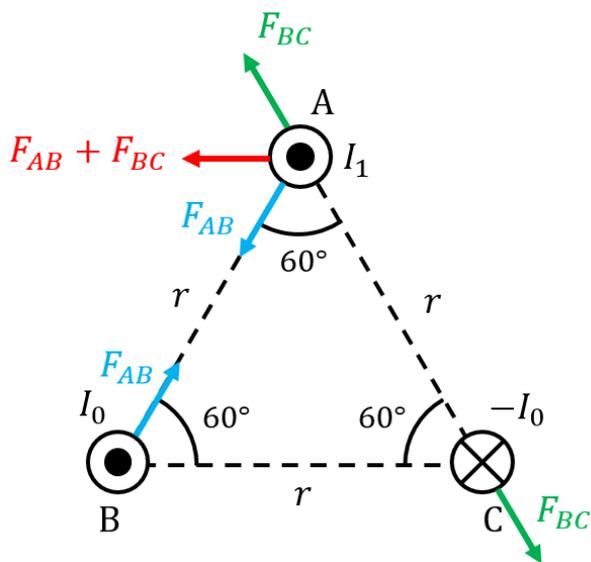
- ・電流の向きが同じ場合は引力（互いを引き寄せる力）
- ・電流の向きが異なる場合は斥力（互いを引き離す力）

となる。

以上から導体Aに生じる力のベクトルは以下の図のようになることから、力の向きはaの方向を向く。Aの導体に生じる単位長さ当たりの力は

$$F = F_{AB} \cos 60^\circ + F_{BC} \cos 60^\circ = \frac{1}{2} \frac{I_0 I_1}{2\pi\mu_0} + \frac{1}{2} \frac{I_0 I_1}{2\pi\mu_0} = \frac{I_0 I_1}{2\pi\mu_0}$$

となる。



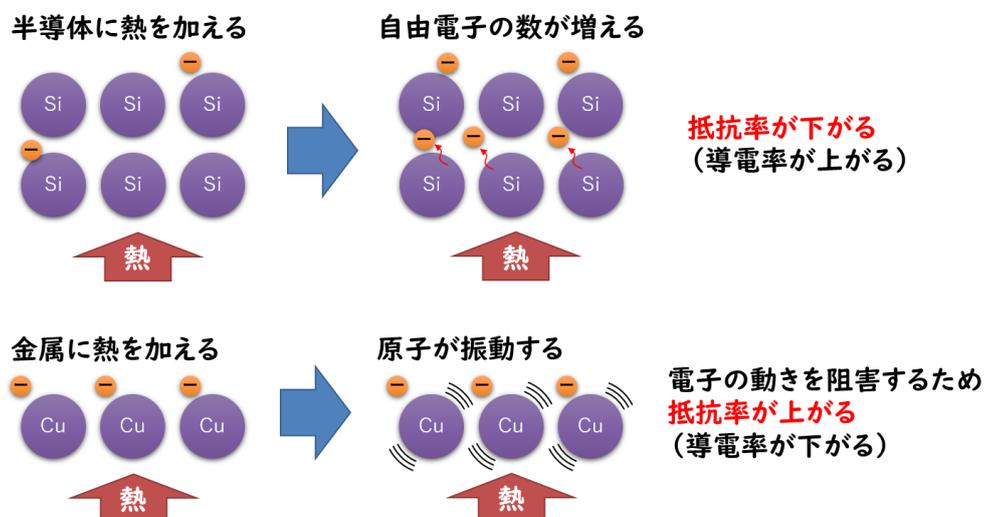
問5 Ans. (2)

導体は温度が上昇すると、電気抵抗が増加する。

これは、導体中の原子核が熱エネルギーを吸収した熱振動が大きくなることで、電子の運動を抑制するためである。

半導体は温度が上昇すると、電気抵抗が減少する。

これは、半導体の最外殻電子が熱エネルギーを吸収し、原子核から離れ自由電子となるためである。このとき、離れた電子の穴が正孔となり、電子正孔対が生成される。



半導体素子を並列に接続し、一つの素子に少し多めに電流が流れると、その素子だけ温度上昇が大きくなる。ここで、温度上昇により、その素子の抵抗が下がると、素子に流れる電流はさらに大きくなる。その結果、温度上昇しながら一つの素子に電流がどんどん集まる。この現象を熱暴走という。

問6 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  $50 \Omega$

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow V_A = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{2} \times 50} = \sqrt{25} = 5 \text{ V}$$
$$I_A = \frac{V_A}{R} = \frac{5}{50} = 0.1 = 100 \text{ mA}$$

・抵抗器 B 許容電力  $1/4$  W、抵抗値  $100 \Omega$

$$V_B = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 100} = \sqrt{25} = 5 \text{ V}$$
$$I_B = \frac{V_B}{R} = \frac{5}{100} = 50 \text{ mA}$$

・抵抗器 C 許容電力  $1/4$  W、抵抗値  $400 \Omega$

$$V_C = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 400} = \sqrt{100} = 10 \text{ V}$$
$$I_C = \frac{V_C}{R} = \frac{10}{400} = \frac{1}{40} = 25 \text{ mA}$$

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7 Ans. (4)

重ね合わせの理を利用し、電流源  $J$  のみの回路の電流を考える。

抵抗  $3\ \Omega$  に流れる電流  $I'$  は、

$$I' = 6 - 4 = 2\ \text{A}$$

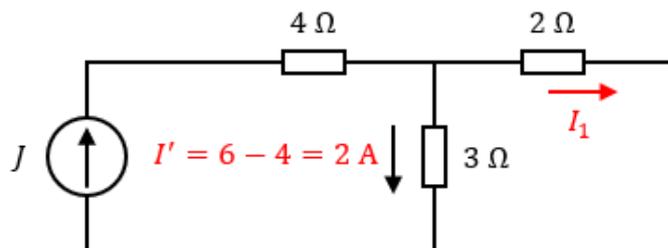
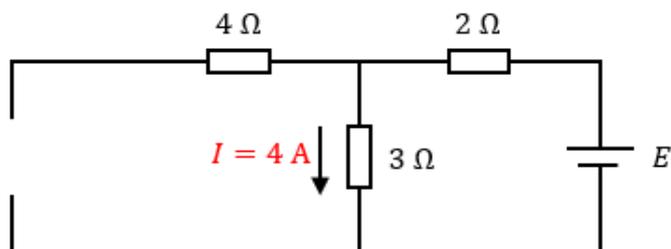
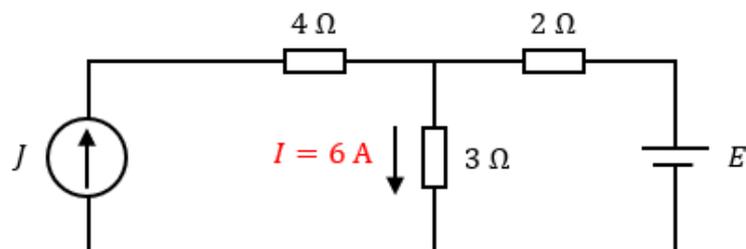
抵抗  $3\ \Omega$  と  $2\ \Omega$  の並列部分に流れる電流は、

$$I' : I_1 = 2 : 3$$
$$I_1 = \frac{3}{2} \times I' = \frac{3}{2} \times 2 = 3\ \text{A}$$

電流源  $J$  に流れる電流は

$$J = I' + I_1 = 2 + 3 = 5\ \text{A}$$

となる。



問8 Ans. (3)

回路全体の抵抗 $\dot{Z}_{all}$ をとすると、

$$\dot{Z}_{all} = R + \dot{Z}$$

と表せる。 $\dot{Z}_{all}$ の大きさは、

$$Z_{all} = \frac{V}{I} = \frac{100}{4} = 25 \Omega$$

インピーダンス $\dot{Z}$ は力率が $45^\circ$ であることから、実部と虚部の大きさは同じであり、

$$\dot{Z} = A + jA$$

と表せる。従って、

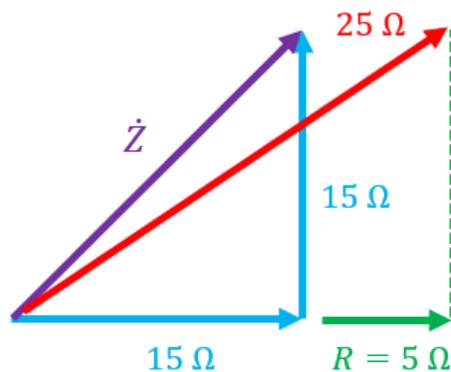
$$\begin{aligned}\dot{Z}_{all} &= R + A + jA \\ 25^2 &= (R + A)^2 + A^2 = (5 + A)^2 + A^2 \\ 625 &= A^2 + 10A + 25 + A^2 \\ 2A^2 + 10A - 600 &= 0 \\ A^2 + 5A - 300 &= 0 \\ (A - 20)(A + 15) &= 0 \\ A &= -20, 15\end{aligned}$$

となり、解は正の数となる $A = 15 \Omega$ である。

以上から、インピーダンス $\dot{Z}$ の大きさは、

$$\begin{aligned}\dot{Z} &= 15 + j15 \\ Z &= \sqrt{15^2 + 15^2} = 15\sqrt{2} = 21.2 \Omega\end{aligned}$$

となる。

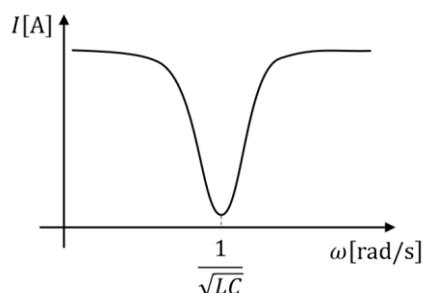


問9 Ans. (5)

並列回路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。



従って、共振周波数でインピーダンスは最大となる。

共振周波数でのインピーダンスは、

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

となり、虚数成分が零となることから、電源から見ると純抵抗に見える。従って、力率は1となり、電源から供給する無効電力は零となる。

問 10 Ans. (4)

コイルは電流の一定にするように逆起電力を発生する。時刻 $t_1$ でスイッチ S を閉じると電流が零の状態を維持しようとコイルは逆起電力 $v_L$ を発生する。このとき、逆起電力 $v_L$ は電源電圧 $E$ と一致する。逆起電力 $v_L$ は時間とともに減衰していき、その時定数 $\tau_1$ は、

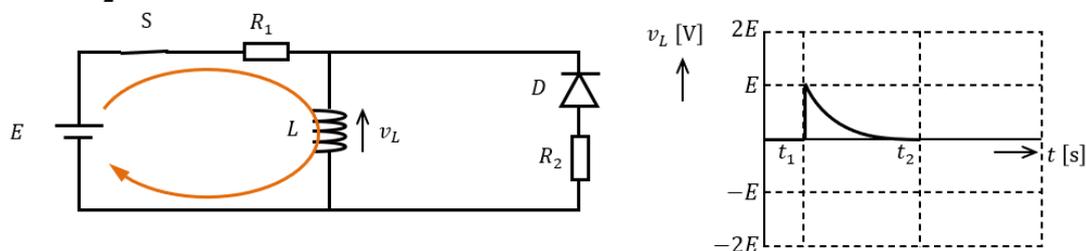
$$\tau_1 = \frac{L}{R_1}$$

と表せる。また、時刻 $t_2$ では定常状態となり、コイルの逆起電力 $v_L$ は零となる。このとき回路に流れる電流 $i$ は、

$$i = \frac{E}{R_1}$$

となる。

$t_1 < t < t_2$



時刻 $t_2$ でスイッチ S を開くと、コイルは電流 $i$ を維持するように逆起電力を発生する。この値は、

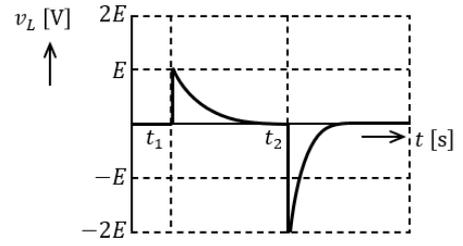
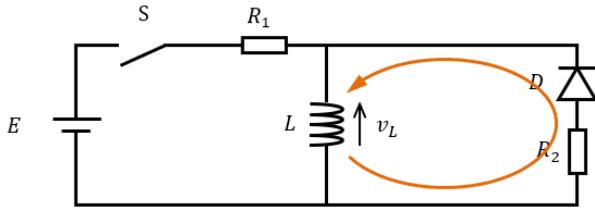
$$v_L = R_2 i = R_2 \frac{E}{R_1} = 2R_1 \frac{E}{R_1} = 2E$$

となる。また、S を開くと、電流のループ状に電源が無くなるため、コイルが電源となって逆起電力を出力する。その結果電圧の向きは回路図中の下向き（負の方向）となる。また、時定数 $\tau_2$ は、

$$\tau_2 = \frac{L}{R_2} = \frac{L}{2R_1} = \frac{\tau_1}{2}$$

となり、時刻 $t_1$ から $t_2$ までの変化に比べてスイッチ S を開いた後の逆起電力 $v_L$ の減衰は短い時間で零に近づく。従って、時刻 $t_2$ 以降の逆起電力 $v_L$ の変化は以下の図のようになる。

$t > t_2$



問 11 Ans. (1)

発光ダイオードは通常のダイオードと同様に pn 接合を基本構造とする。順方向バイアスを加えることで電流が流れ、その電流の一部が pn 接合付近で再結合する。このとき、余剰エネルギーが光となって放出される。光の発光色と発光効率 は半導体材料に依存し、AlGaAs や InGaN などといった化合物半導体 が利用される。光がもつエネルギーは光の波長に反比例することから、波長が長い赤色 (625～780 nm) に比べ波長が短い青色 (380～450 nm) の方が光エネルギーは大きくなる。

問 12 Ans. (2)

以下の図より、電磁力（ローレンツ力）は、

$$F = -evB$$

と表せる。ここで電子がもつ電荷は $-e = -1.6 \times 10^{-19}\text{C}$  ( $e$ は電気素量)とする。電磁力により電子が等速円運動をする場合、電磁力が向心力として働き、（電磁力）＝（遠心力）の関係を満たすことから、

$$evB = m \frac{v^2}{r}$$
$$r = \frac{mv}{eB}$$

という式が得られる。従って、遠心力は電子の速度の二乗に比例する。そして、等速円運動の半径は電子の初速度に比例する。

速度 $v$ と角速度 $\omega$ の関係は $v = r\omega$ であることから、

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \frac{r}{v}$$
$$T = 2\pi \frac{1}{v} \frac{mv}{eB} = 2\pi \frac{m}{eB}$$

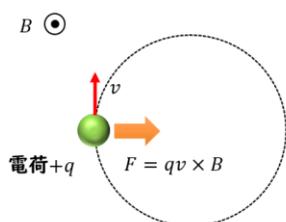
という式が得られる。従って、周期は、電子の初速度に依存しないことから、選択肢 (2) が誤りとなる。

また、以下の関係より、磁束密度が大きくなると角周波数は大きくなる。

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{eB}{m}$$

**電磁力（ローレンツ力）**

**電荷と磁束の間で生じる力  $F = qv \times B$**



**遠心力**  
**円運動により物体が受ける慣性力**

$$F = mr\omega^2 = m \frac{v^2}{r} = mv\omega$$

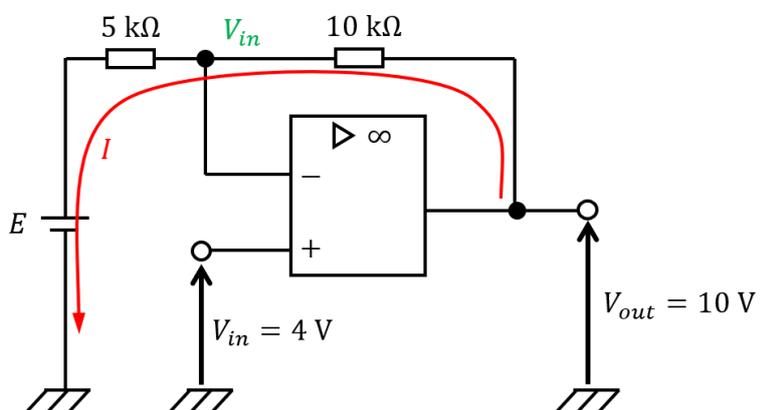
$\omega$  : 角速度  $r$  : 円運動の半径

- ・ 進行方向と垂直な方向に力が加わると物体は“円運動”する
- ・ このとき、中心へ向かう力（向心力）がローレンツ力となり、この力は遠心力と釣り合う

問 13 Ans. (1)

図のように電流  $I$  を定義し、電流  $I$  の式を立てると、

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_{in} - E}{5k} = \frac{V_{out} - V_{in}}{10k} \\ \frac{4 - E}{5k} &= \frac{10 - 4}{10k} \\ 4 - E &= \frac{5k}{10k} \times 6 \\ 4 - E &= 3 \\ E &= 1 \text{ V} \end{aligned}$$



問 14 Ans. (5)

測定値から見積もることができる抵抗の大きさは、

$$R_{mes} = \frac{60.00}{3.000} = 20.00 \Omega$$

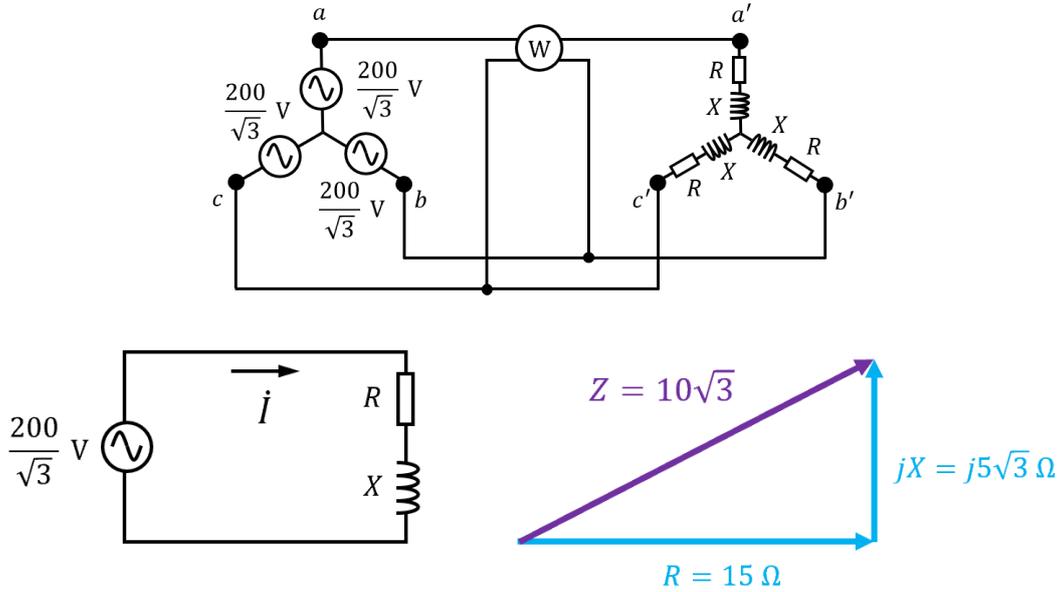
誤差率は以下の式となる。

$$\text{誤差率}[\%] = \frac{|\text{測定値} - \text{真値}|}{\text{真値}} \times 100 = \frac{R_{mes} - R_{act}}{R_{act}} \times 100$$

$$\frac{|20.00 - 20.35|}{20.35} \times 100 = \frac{0.35}{20.35} \times 100 = 1.72 \%$$

問 15 (a) Ans. (1)

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。



$$I = \frac{200/\sqrt{3}}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{200/\sqrt{3}}{10\sqrt{3}} = \frac{20}{3} \text{ A}$$

$\Delta$  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。

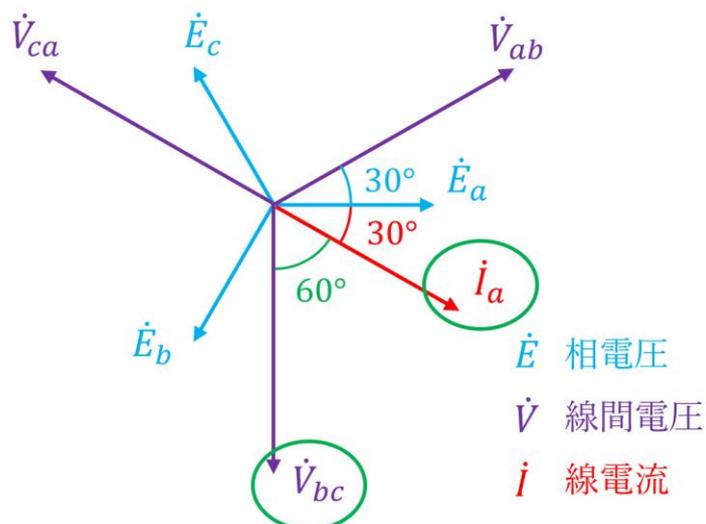
- ・ 相電流の大きさは線電流の  $1/\sqrt{3}$  倍となる
- ・ 相電流の位相は線電流より  $30^\circ$  進みとなる

この回路の電源部分は  $\Delta$  結線になっており、相電流  $I_{ab}$  は線電流  $I$  の  $1/\sqrt{3}$  倍となる。従って、

$$I_{ab} = \frac{1}{\sqrt{3}} I = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{20}{3} = 3.84 \text{ A}$$

(b) Ans. (2)

電圧と線電流のベクトル図は以下のようなになる。



単相電力計の電流コイルは a 相に接続され、電圧コイルは b-c 相間に接続されることから、測定される電力  $P$  は、

$$P = V_{bc} I_a \cos 60^\circ = 200 \times \frac{20}{3} \times \frac{1}{2} = 667 = 0.67 \text{ kW}$$

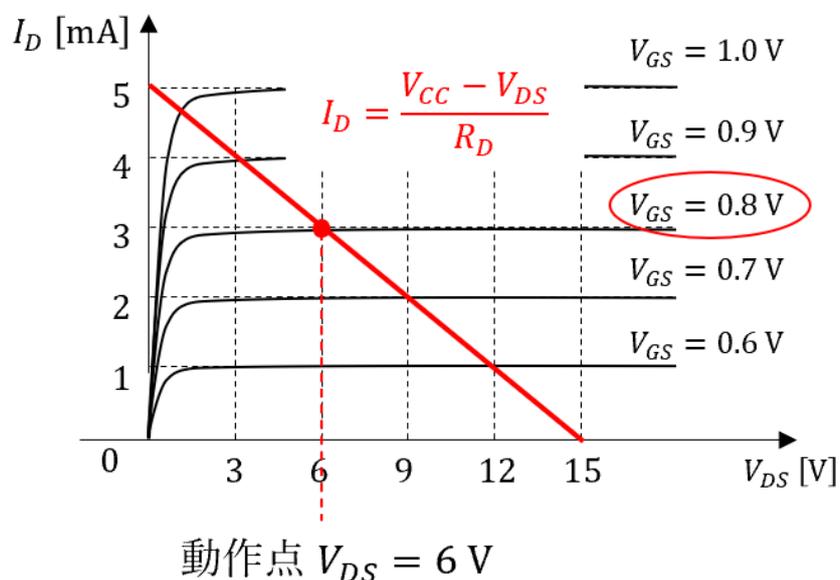
となる。

問 16 (a) Ans. (3)

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

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_{DS}}{R_D} = \frac{15 - V_{DS}}{3k}$$

この直流負荷線を図 2 の MOSFET の静特性に書き込むと以下のようなになる。



ゲート電圧 $V_{GS} = 0.8$  V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 $V_{DS} = 6.0$  Vとなる。

(b) Ans. (2)

交流等価回路より $v_i$ に対してゲート-ソース端子は並列接続となるので、

$$v_i = v_{gs}$$

となる。従って、出力電圧 $v_o$ は、

$$\begin{aligned} v_o &= g_m v_{gs} \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} = g_m v_i \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \\ &= 0.015 \times 0.4 \times \frac{3k \cdot 2k}{3k + 2k} = 7.2 \text{ V} \end{aligned}$$

となる。

問 17 (a)Ans. (1)

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、

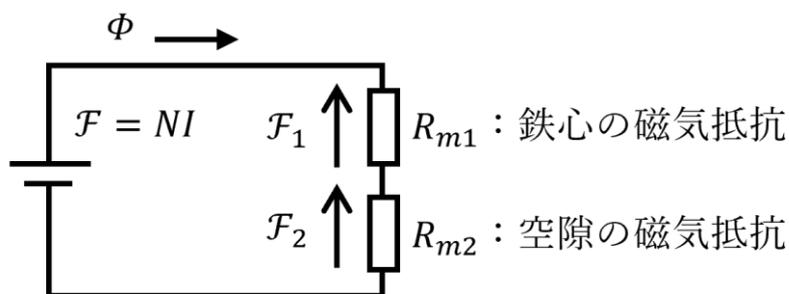
$$NI = \frac{l}{\mu S} \Phi = \frac{l \Phi}{\mu S} = \frac{l}{\mu} B$$

$$B = \frac{\mu NI}{l} = \frac{5.4 \times 10^{-4} \times 250 \times 10}{0.4} = 3.375 \text{ T}$$

となる。(ここで $B = \Phi/S$ の関係を用いた)

(b)Ans. (2)

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 $R_m$ [ $H^{-1}$ ]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。

$$R_{m1} = \frac{l - l_2}{\mu S}$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0 S}$$

従って、磁気回路中に生じる磁束は、

$$\Phi = \frac{NI}{R_{m1} + R_{m2}}$$

となる。鉄心に加わる起磁力 $\mathcal{F}_1$ と空隙に加わる起磁力 $\mathcal{F}_2$ は、

$$\mathcal{F}_1 = R_{m1}\Phi$$

$$\mathcal{F}_2 = R_{m2}\Phi$$

磁界の強さは（起磁力）÷（磁路の長さ）で決まることから、鉄心中の磁界 $H_1$ と、空隙の磁界 $H_2$ は、

$$H_1 = \frac{\mathcal{F}_1}{l - l_2} = \frac{R_{m1}\Phi}{l - l_2} = \frac{\frac{l - l_2}{\mu S}\Phi}{l - l_2} = \frac{\Phi}{\mu S}$$

$$H_2 = \frac{\mathcal{F}_2}{l_2} = \frac{R_{m2}\Phi}{l_2} = \frac{\frac{l_2}{\mu_0 S}\Phi}{l_2} = \frac{\Phi}{\mu_0 S}$$

従って、

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{\frac{\Phi}{\mu_0 S}}{\frac{\Phi}{\mu S}} = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{5.4 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7}} = 429.9 = 4.3 \times 10^2$$

となる。

問 18 (a) Ans. (5)

コンデンサ A、B、C の静電容量をそれぞれ  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  とすると、

$$\begin{aligned}C_1 &= 5\varepsilon_0 \frac{S}{d} = 5C_0 \\C_2 &= 3\varepsilon_0 \frac{2S}{d} = 6\varepsilon_0 \frac{S}{d} = 6C_0 \\C_3 &= 2\varepsilon_0 \frac{S}{2d} = \varepsilon_0 \frac{S}{d} = C_0\end{aligned}$$

電極間の電界の強さを  $E$  とし、コンデンサ A、B、C の電圧をそれぞれ  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  とすると、

$$\begin{aligned}V_1 &= Ed \\V_2 &= Ed = V_1 \\V_3 &= E2d = 2V_1\end{aligned}$$

となる。

従って、各コンデンサの静電エネルギー  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  は、

$$\begin{aligned}W_1 &= \frac{1}{2} C_1 V_1^2 = \frac{5}{2} C_0 V_1^2 \\W_2 &= \frac{1}{2} C_2 V_2^2 = \frac{6}{2} C_0 V_1^2 \\W_3 &= \frac{1}{2} C_3 V_3^2 = \frac{1}{2} C_0 (2V_1)^2 = \frac{4}{2} C_0 V_1^2\end{aligned}$$

となることから、静電エネルギーの大小関係は、

$$W_2 > W_1 > W_3$$

となる。

(b) Ans. (2)

接続変更前の各コンデンサに蓄えられる電荷をそれぞれ  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$  とすると、

$$\begin{aligned}Q_1 &= C_1 V_1 = 5C_0 V_1 \\Q_2 &= C_2 V_2 = 6C_0 V_1 \\Q_3 &= C_3 V_3 = 2C_0 V_1\end{aligned}$$

となる。

接続変更前後でコンデンサに蓄えられた電荷の総量は変化しないので、接続変更後の電荷の総量  $Q'$  は、

$$Q' = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 5C_0 V_1 + 6C_0 V_1 + 2C_0 V_1 = 13C_0 V_1$$

©電験どうでしょう

となる。並列接続したコンデンサ A、B、C の合成の静電容量  $C$  は、

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 5C_0 + 6C_0 + C_0 = 12C_0$$

接続変更後の静電エネルギー  $W'$  は、

$$W' = \frac{1}{2} \frac{Q'^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{(13C_0V_1)^2}{12C_0} = \frac{1}{2} \times \frac{169}{12} C_0V^2 = \frac{169}{24} C_0V^2$$

接続変更前の静電エネルギー  $W$  は、

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = \frac{5}{2} C_0V_1^2 + \frac{6}{2} C_0V_1^2 + \frac{4}{2} C_0V_1^2$$
$$W = \frac{15}{2} C_0V_1^2$$

従って、エネルギーの変化量は、

$$\frac{W'}{W} = \frac{\frac{169}{24} C_0V^2}{\frac{15}{2} C_0V_1^2} = \frac{169 \times 2}{24 \times 15} = 0.939$$

となる。