

電験三種 理論模試

2023 年 3 月

(第二回 解答)

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

問1 Ans. (3)

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、分母の値が小さくなるため、静電容量は増加する。

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、電極間距離が小さくなると、静電エネルギーは減少する。

問2 Ans. (5)

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、

$$\begin{aligned}(\text{仕事}) &= Q \times (\text{電界}) \times (\text{電界に逆らって移動した距離}) \\W &= QEx = Q \times 4 \times 4 = 80 \\Q &= \frac{80}{16} = 5.0 \text{ C}\end{aligned}$$

となる。

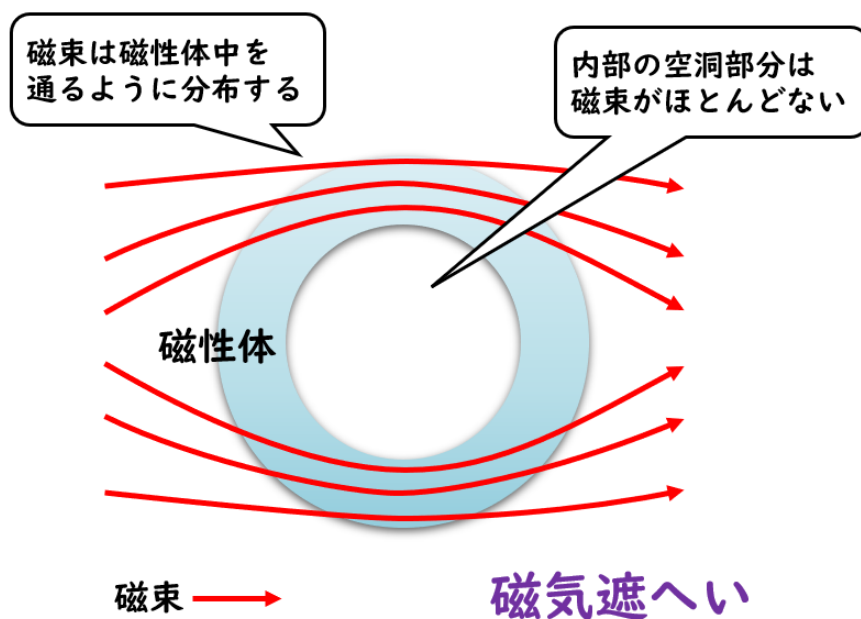
問3 Ans. (3)

導体球が磁性体の場合、磁気遮へいが生じるため、内部の空洞にはほとんど磁束が存在しなくなる。従って、強磁性体である鉄は磁気遮へいの影響により導体ループの鎖交磁束は常に零（ゼロ）となり、棒磁石を近づけても電流は流れない。

一方、非磁性体である銅は磁気遮へいが起こらず、棒磁石の磁束が導体ループを貫くため、棒磁石を近づけると電流が流れる。

導体球を接地することで、導体の電位が常に零（ゼロ）となるため、電気力線を遮断する静電遮へいが生じるが、磁束に対しては遮へい効果はない。

従って、導体球の材料として非磁性体である銅を使う条件1と条件2の場合のみ、導体ループに電流が流れる。



問4 Ans. (1)

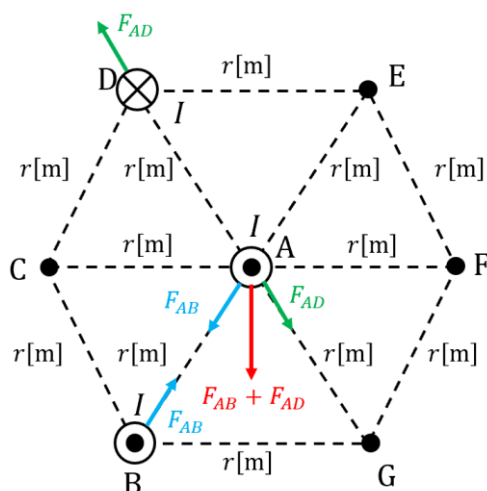
2つの直線電流による力はアンペール力といい、

・電流の向きが同じときは『引き付ける力（引力）』

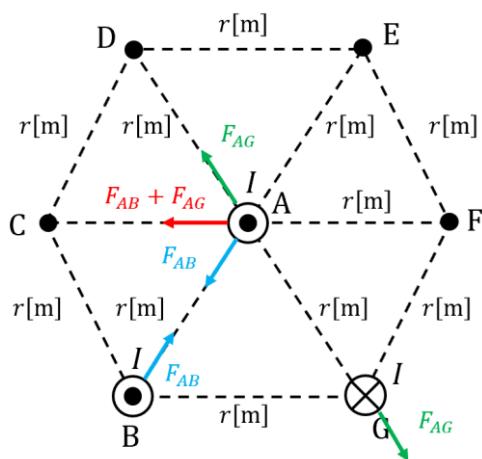
・電流の向きが反対のときは『引き離す力（斥力）』

となる。

点Aの導体と点Bの導体の間で生じるアンペール力 F_{AB} は引き付ける力となり、点Aの導体に生じる F_{AB} は点Bの方を向く。点Aの導体に生じるアンペール力を下向きにするためには、導体Xを点Dに配置する。力の合成は以下の図となる。

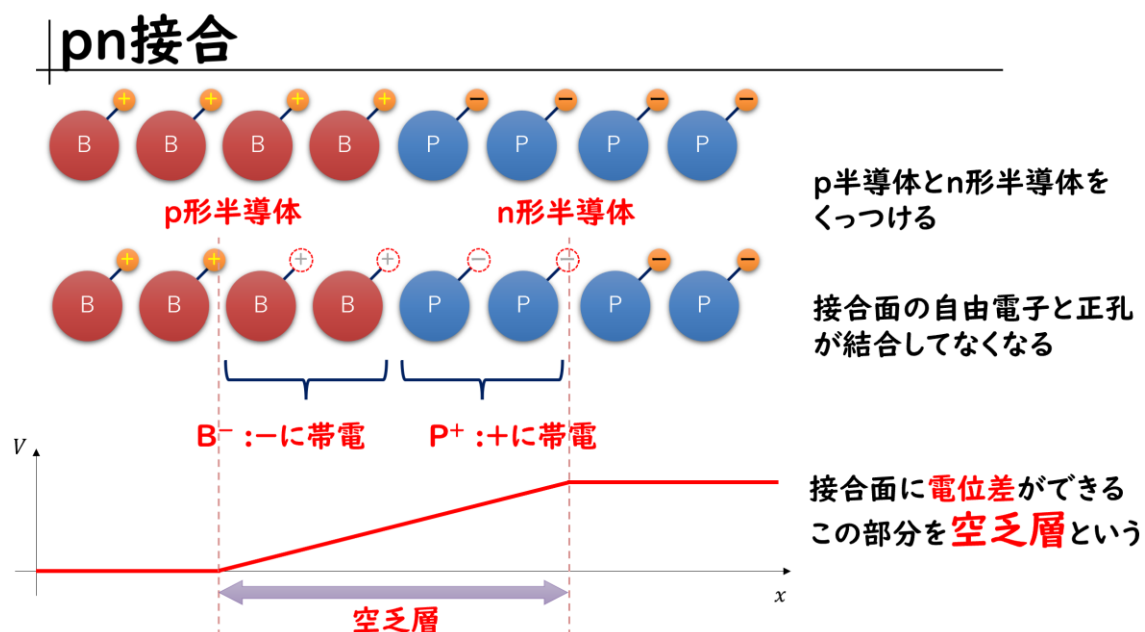


点Aの導体に生じるアンペール左向きにするためには、導体Xを点Gに配置する。力の合成は以下の図となる。



問5 Ans. (5)

p 形半導体と n 形半導体を接合することで、その接合面に空乏層が発生する。接合面では p 形半導体中の正孔と n 形半導体中の自由電子が再結合し、それぞれのキャリアが消滅する。再結合により、キャリアを失ったことで、p 形半導体には陰イオン、n 形半導体には陽イオンが発生し、各領域のイオンにより n 形から p 形の方に電界が発生する（下図では、n 形から p 形に下り坂となる電位が形成されており、この下り坂の勾配が電界を表している）。この電界がキャリアの移動を抑制し、空乏層の幅が決まる。



問6 Ans. (4)

スイッチ S を開いたとき、電源から見ると、抵抗 R_1 、 R_2 が直列に接続される。

このときの電流と電圧の関係はオームの法則より、

$$E = (R_1 + R_2)I_1 \cdots \textcircled{1}$$

となる。

スイッチ S を②側に閉じたとき、電源から見ると、抵抗 R_1 のみが接続される。

このときの電流と電圧の関係はオームの法則より、

$$E = R_1 I_2 \cdots \textcircled{2}$$

となる。

スイッチ S を①側に閉じたとき、電源から見ると、抵抗 R_2 と r の並列回路が抵抗 R_1 に直列に接続される。

このときの電流と電圧の関係はオームの法則より、

$$E = \left(R_1 + \frac{R_2 r}{R_2 + r} \right) I_3 \cdots \textcircled{3}$$

となる。

②式より抵抗 R_1 の値を求める。

$$R_1 = \frac{E}{I_2} = \frac{10}{5} = 2 \, \Omega$$

①式より抵抗 R_2 の値を求める。

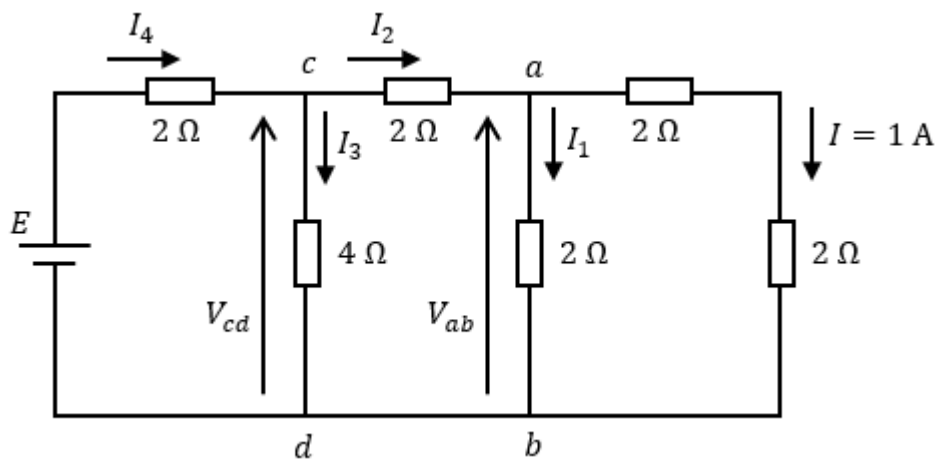
$$R_2 = \frac{E}{I_1} - R_1 = \frac{10}{2} - 2 = 5 - 2 = 3 \, \Omega$$

③式より抵抗 r の値を求める。

$$\begin{aligned} \frac{E}{I_3} &= R_1 + \frac{R_2 r}{R_2 + r} \rightarrow \frac{10}{2.5} = 2 + \frac{3r}{3 + r} \\ 4 - 2 &= \frac{3r}{3 + r} \rightarrow 2(3 + r) = 3r \rightarrow 6 + 2r = 3r \\ &\therefore r = 6 \, \Omega \end{aligned}$$

問7 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。



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

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

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

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

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

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

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

となる。

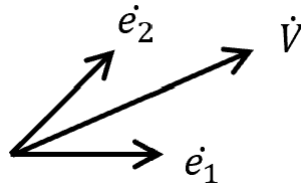
問8 Ans. (1)

負荷の両端電圧 $\dot{V}$ は

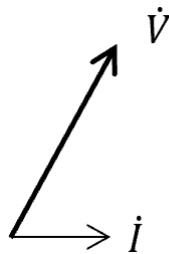
$$\dot{V} = \dot{e}_1 + \dot{e}_2$$

と表せる。

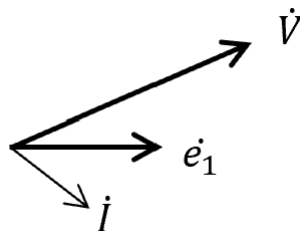
このとき、電圧のフェーザ図は以下のようなになる。



負荷は誘導性負荷で力率 0.5 であることから、負荷の両端電圧 $\dot{V}$ に対して、負荷電流 $\dot{I}$ は $\pi/3$ だけ遅れとなる。



従って、交流電源 $\dot{e}_1$ と負荷の両端電圧 $\dot{V}$ 、負荷に流れる電流 $\dot{I}$ の関係を表すフェーザ図は以下のようにある。



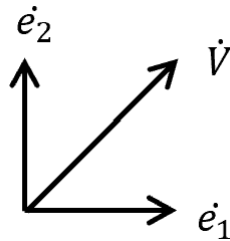
問 8(おまけ) Ans. (2)

負荷の両端電圧 $\dot{V}$ は

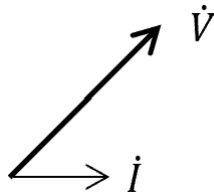
$$\dot{V} = \dot{e}_1 + \dot{e}_2$$

と表せる。

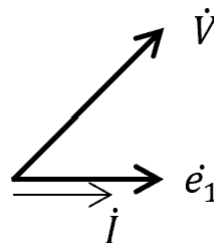
このとき、電圧のフェーザ図は以下のようなになる。



負荷は誘導性負荷で力率 $1/\sqrt{2}$ であることから、負荷の両端電圧 $\dot{V}$ に対して、負荷電流 $\dot{i}$ は $\pi/4$ だけ遅れとなる。



従って、交流電源 $\dot{e}_1$ と負荷の両端電圧 $\dot{V}$ 、負荷に流れる電流 $\dot{i}$ の関係を表すフェーザ図は以下のようにある。

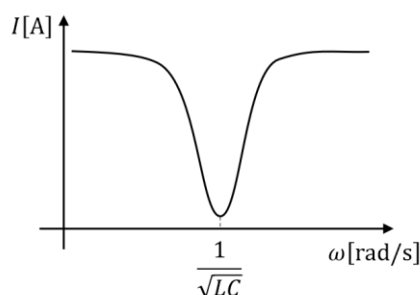


問9 Ans. (1)

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 ωC 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となる。

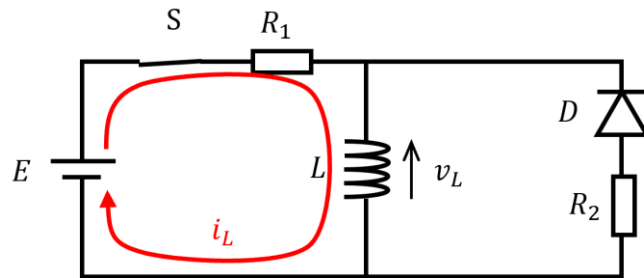
電源の周波数が共振周波数よりも大きくなると、アドミタンスの虚部が零（ゼロ）より大きくなる（虚部は正）。電流と電圧の関係は $i = \dot{Y}\dot{V}$ で表されることから、アドミタンスの虚部が正となると、電圧の位相に対して電流の位相は進みとなる。

問 10 Ans. (1)

スイッチ S を閉じて、定常状態となったときのコイルに流れる電流 i_L は、

$$i_L = \frac{E}{R_1} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$

となる。



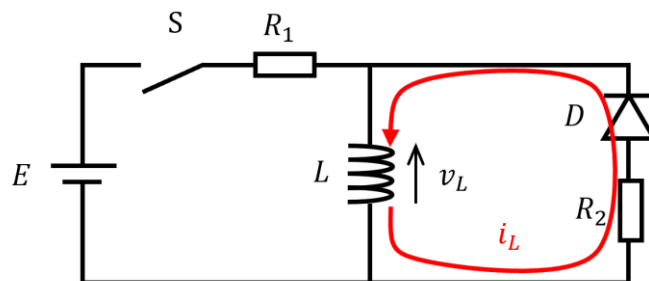
スイッチ S を開くと、コイルが電源となり（逆起電力を発生させ）、電流の流れを維持しようとする。このとき抵抗 R_2 とダイオード D で発生する電圧降下 v は、

$$v = R_2 i_L + V_D = 1 \times 2 + 0.5 = 2.5 \text{ V}$$

コイルは電流を流すために、この電圧降下に相当する電圧を供給する必要がある。起電力の向きは下向きであることから、

$$v_L = -v = -2.5 \text{ V}$$

となる。



問 11 Ans. (1)

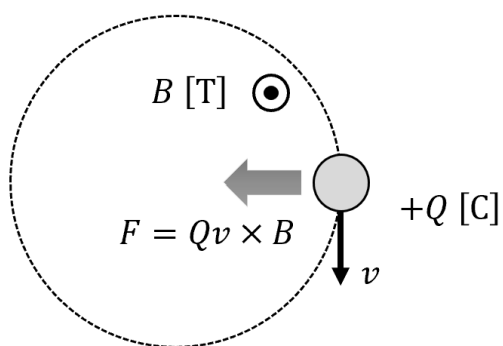
1. 発光ダイオードは pn 接合に順方向バイアスを印加した際に流れる電流の一部が再結合することで発光現象が起こる。

2. 可変容量ダイオードは、pn 接合に逆方向の電圧を印加することで空乏層幅が変化し、その静電容量を変化させることができる。通信機器の同調回路などに利用される。

3. ショットキーバリアダイオードは半導体と金属を接合して得られるショットキー接触による整流作用を利用したダイオードである。pn 接合に比べて順方向と逆方向の電圧切り替えに対するキャリアの応答性が良く、周波数の高いスイッチング回路に利用される。

問 12 Ans. (5)

フレミングの左手則より、下図のように進行方向に対して、右方向にローレンツ力が加わるため、時計回りに等速円運動する。



導体球に加わるローレンツ力（向心力）は、

$$F = QvB$$

等速円運動により導体球に加わる遠心力は、

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

となる。遠心力と向心力が釣り合うことから、

$$QvB = mv\omega \rightarrow QB = m\omega \rightarrow \omega = \frac{QB}{m} \dots \textcircled{1}$$

周期は、

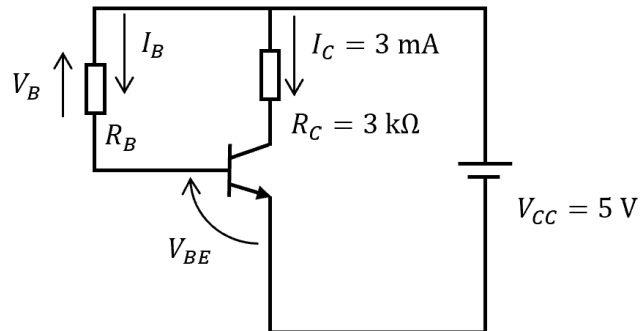
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{QB} \dots \textcircled{2}$$

等速円運動の軌跡の半径は、

$$v = r\omega \rightarrow r = \frac{v}{\omega} = \frac{mv}{QB} \dots \textcircled{3}$$

式③より、磁束密度 B が半分になると、半径 r は2倍になることから(5)が誤り。

問 13 Ans. (3)



ベース電流 I_B は、

$$I_C = h_{FE} I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{3}{300} = 0.01\text{ mA}$$

となる。

ベース抵抗で発生する電圧降下 V_B は、

$$V_B = R_B I_B$$

となる。従って、ベース抵抗 R_B は、

$$V_{CC} = V_B + V_{BE} = R_B I_B + V_{BE}$$
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0.7}{0.01\text{ m}} = 430\text{ k}\Omega$$

となる。

問 14 Ans. (3)

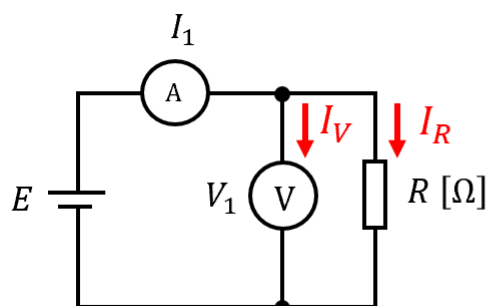


図 1

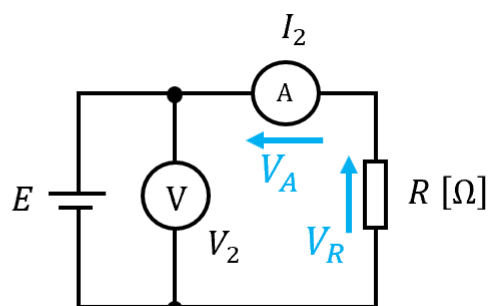


図 2

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。

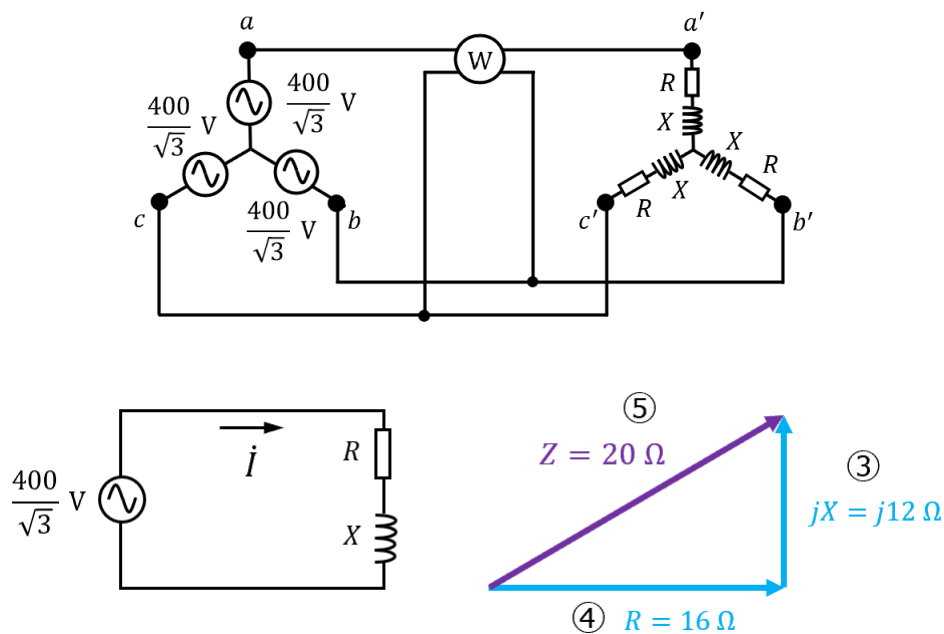
負荷抵抗 R が小さい値のとき、

- ・ 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 (a) Ans. (3)

電源部分を Δ 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。



$$I = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{400/\sqrt{3}}{20} = \frac{20}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

Δ 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。

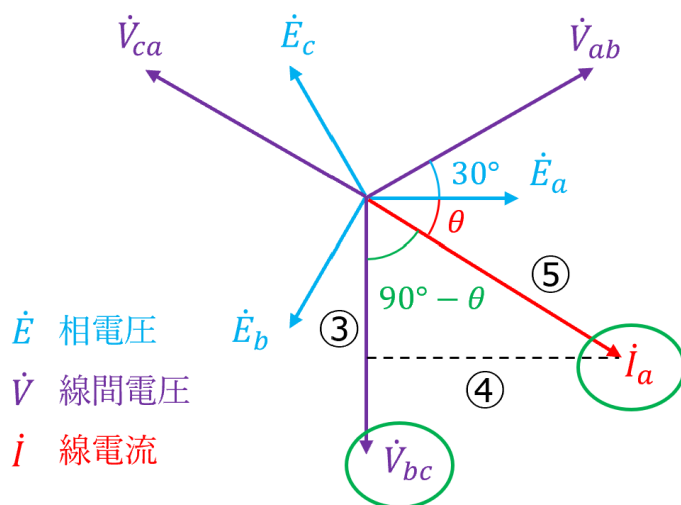
- ・ 相電流の大きさは線電流の $1/\sqrt{3}$ 倍となる
- ・ 相電流の位相は線電流より 30° 進みとなる

この回路の電源部分は Δ 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、

$$I_{ab} = \frac{1}{\sqrt{3}} I = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{20}{\sqrt{3}} = \frac{20}{3} = 6.7 \text{ A}$$

(b) Ans. (3)

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、

$$P = V_{bc} I_a \cos \theta = 400 \times \frac{20}{\sqrt{3}} \times \frac{3}{5} = 2771 = 2.8 \text{ kW}$$

となる。

問 16 (a) Ans. (3)

電圧実効値と最大磁束の関係は、

$$E = \frac{\omega \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = kf\Phi_m \quad (k \text{ は定数})$$

実効値が 1.5 倍になると、最大磁束は 1.5 倍になる。

磁束と巻線数の関係は

$$\Phi_m = LI = \frac{N^2}{R_m} I$$

となる。巻数が 2 倍になると、インダクタンスが 4 倍になる。インダクタンスが増加した分、電流が減少するため、巻数により磁束は変化しない。（この問題では電圧源を接続しているので、このような結果になる）

従って、最大磁束は 1.5 倍になる。

(b) Ans. (5)

交流電圧の実効値 E [V] を 2.0 倍にし、さらに周波数を 0.5 倍にしたとき

$$\begin{aligned} E' &= kf'\Phi'_m = 2E = k(0.5f)\Phi'_m \\ \Phi'_m &= \frac{4E}{kf} = 4\Phi_m \left(\because \Phi_m = \frac{E}{kf} \right) \end{aligned}$$

従って、最大磁束は 4 倍になる。

問 17 (a) Ans. (4)

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、

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

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、

$$\begin{aligned}W_1 &= \frac{1}{2}C_1V_1^2 = \frac{1}{2}C_0V_1^2 \\W_2 &= \frac{1}{2}C_2V_2^2 = \frac{6}{2}C_0V_1^2 = 3C_0V_1^2 \\W_3 &= \frac{1}{2}C_3V_3^2 = \frac{1}{2} \times \frac{5}{2}C_0(2V_1)^2 = 5C_0V_1^2\end{aligned}$$

となることから、静電エネルギーの大小関係は、

$$W_3 > W_2 > W_1$$

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、

$$\begin{aligned}Q_1 &= C_1V_1 = C_0V_1 \\Q_2 &= C_2V_2 = 6C_0V_1 \\Q_3 &= C_3V_3 = 5C_0V_1\end{aligned}$$

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、

$$Q' = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_0V_1 + 6C_0V_1 + 5C_0V_1 = 12C_0V_1$$

◎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、

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = C_0 + 6C_0 + \frac{5}{2}C_0 = \frac{19}{2}C_0$$

接続変更後の静電エネルギー W' は、

$$W' = \frac{1}{2} \frac{Q'^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{(12C_0V_1)^2}{\frac{19}{2}C_0} = \frac{1}{2} \times \frac{2 \times 144}{19} C_0V_1^2 = \frac{144}{19} C_0V_1^2$$

接続変更前の静電エネルギー W は、

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = \frac{1}{2} C_0V_1^2 + 3C_0V_1^2 + 5C_0V_1^2$$
$$W = \frac{17}{2} C_0V_1^2$$

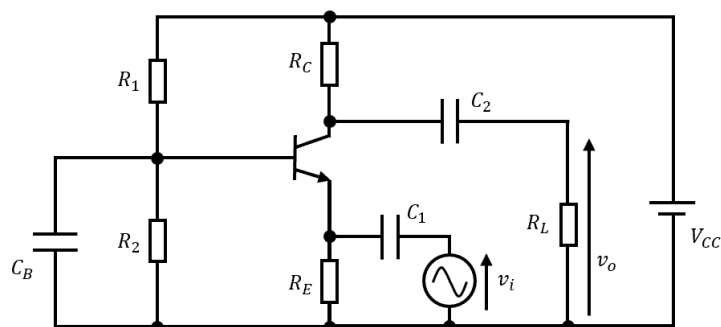
従って、エネルギーの変化量は、

$$\frac{W'}{W} = \frac{\frac{144}{19} C_0V^2}{\frac{17}{2} C_0V_1^2} = \frac{144 \times 2}{19 \times 17} = 0.891$$

となる。

問 18 (a) Ans. (3)

- ・結合コンデンサは接続部に対して直列に接続する。



- ・ベース接地増幅回路の電流増幅率は 1 より小さい。

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_c}{i_e} = \frac{i_e - i_b}{i_e} < 1$$

- ・ベース接地増幅回路は電流用バッファ回路として用いられる。

(b) Ans. (4)

抵抗 h_{ie} に流れる電流 i_b は、

$$i_b = i_e - \alpha i_e = (1 - \alpha) i_e$$

となる。よって v_i は、

$$v_i = h_{ie} i_b = (1 - \alpha) h_{ie} i_e$$

と表せる。 v_o は、

$$v_o = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \alpha i_e$$

となる。従って、電圧増幅率 A_V は、

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \alpha i_e}{(1 - \alpha) h_{ie} i_e}$$

$$A_V = \frac{\alpha R_C R_L}{(1 - \alpha) h_{ie} (R_C + R_L)}$$

となる。