

令和 8 年度

第 1 種 理 論

(第 1 時限目)

答案用紙記入上の注意事項等

1. マークシート（答案用紙）は機械で読み取りますので、濃度HBの鉛筆又はHBの芯を用いたシャープペンシルで濃く塗りつぶしてください。

色鉛筆やボールペンでは機械で読み取ることができません。

なお、訂正は「プラスチック消しゴム」できれいに消し、消しくずを残さないでください。

2. マークシートには、カナ氏名、受験番号、試験地が印字されています。受験票と照合の上、氏名、生年月日を記入してください。

マークシートに印字してある

- ・カナ氏名
- ・受験番号
- ・試験地

を受験票と照合の上、記入してください。

氏 名	
生年月日	
カナ氏名 (字数制限の省略あり)	印字あり
試験地	印字あり

受	験	番	号
印	字	あ	り

3. マークシートの余白及び裏面には、何も記入しないでください。

4. マークシートは、折り曲げたり汚したりしないでください。

5. 解答は、マークシートの間番号に対応した解答欄にマークしてください。

例えば、問1の

(1)

 と表示のある問に対して(イ)と解答する場合は、下の例のように問1の(1)の(イ)をマークします。

なお、マークは各小問につき一つだけです。二つ以上マークした場合には、採点されません。

(マークシートへの解答記入例)

問 1				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
●	○	○	○	○
○	●	○	○	○
○	○	●	○	○
○	○	○	●	○
○	○	○	○	●
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○

問		
(1)	(2)	(3)
○	○	○
○	○	○
○	○	○
○	○	○
○	○	○
○	○	○
○	○	○
○	○	○
○	○	○

正解と思われるものの記号の枠内を、マークシートに印刷されているマーク記入例に従い、濃く塗りつぶす方法で示してください。

6. 問6と問7は選択問題です。どちらか1問を選択してください。選択問題は両方解答すると採点されません。

7. 問題文で単位を付す場合は、次のとおり表記します。

① 数字と組み合わせる場合

(例: 350 W $f=50$ Hz 670 kV・A)

② 数字以外と組み合わせる場合

(例: I [A] 抵抗 R [Ω] 面積は S [m^2])

白紙部分はメモ用紙として使用できます。

次ページ以降は試験問題になっていますので、試験開始の合図があるまで、開いてはいけません。

試験問題に関する質問にはお答えできません。

A問題(配点は1問題当たり小問各2点, 計10点)

問1 次の文章は直流回路の電圧源と電流に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図1のように電圧源 E に網目抵抗回路が接続されている。枝 bc の電流 I_2 を求めたい。ただし、網目抵抗回路の点線より左側の抵抗の値は未知とする。

図1の電流 I_2 を求めるために、図2のように図1の電圧源 E を短絡除去して枝 bc に挿入した。線形回路では相反性により、電圧源を挿入する枝と電流を計測する枝を交換しても、電流の計測値は符号を除けば等しくなる。電圧源 E の向きに注意すると、図1の枝 bc の電流 I_2 と図2の枝 ae の電流 I'_0 の間では等式 (1) が成立する。

図2の回路は、もし点線より左側の抵抗の枝をすべて開放除去すると、図3の平衡ブリッジ回路となり、節点 a , e と節点 i は同電位となる。これら三つの節点が同電位であるため、回路復元すると、図2の点線より左側の抵抗の枝電流はすべて零となることが分かる。ゆえに、図2の電流 I'_0 と I'_1 の関係は (2) であり、抵抗 λR_3 ($\lambda > 0$) から節点 e に流れ込む電流も I'_1 となる。 I'_1 と I'_2 で図2の経路 $a-b-c-d-e$ と $a-b-i-d-e$ の電圧降下の式を表すと、それぞれ以下となる。

$$\lambda \left(\text{ (3) } \right) I'_1 + 2R_2 I'_2 - E = 0 \cdots \cdots \cdots \text{ (1) }$$

$$\lambda \left(\text{ (3) } \right) I'_1 + \left(\text{ (3) } \right) (I'_1 - I'_2) = 0 \cdots \cdots \cdots \text{ (2) }$$

$\lambda = 1$ のときの図1の I_2 は、①式と②式を解くと、 (1) と (2) より

$$I_2 = \text{ (4) } \times E \text{ である。}$$

最後に、図2の枝 bc の電圧源 E を短絡除去して点線より左側の抵抗の枝に挿入した。いずれの枝に挿入したとしても、枝 ab と枝 bc の新たな電流をそれぞれ I''_1 , I''_2 とすると、相反性により $I''_2 = \text{ (5) }$ となる。 I''_2 は回路の等価変換で導くこともできる。テブナンの定理を用いると、その等価回路は図4の平衡ブリッジ回路となる。

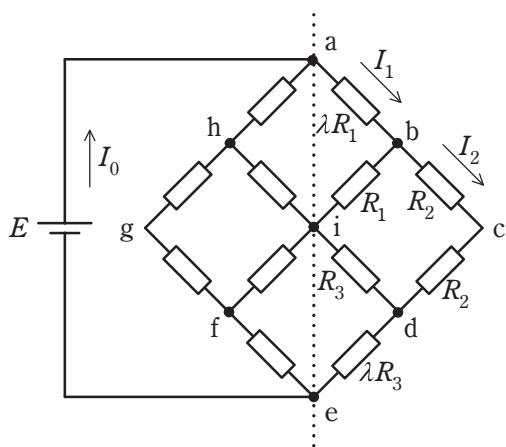


図 1

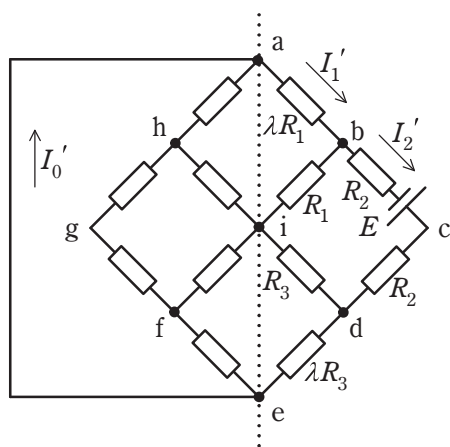


図 2

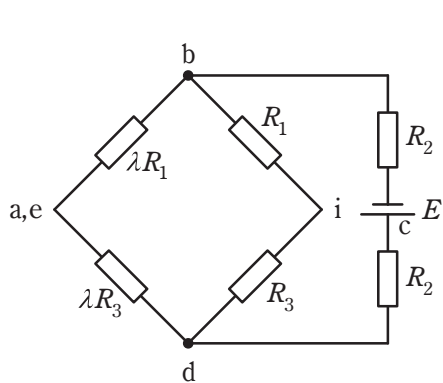


図 3

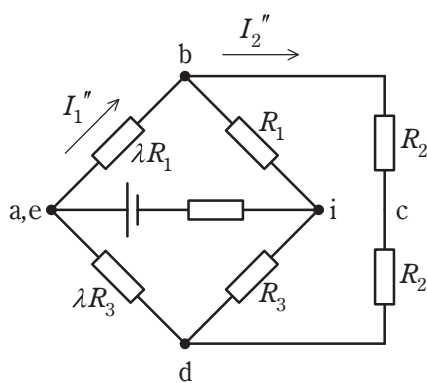


図 4

[問 1 の解答群]

- | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| (イ) $R_1 + R_3$ | (ロ) $\frac{1}{R_1 + 2R_2 + R_3}$ | (ハ) $R_2 + R_3$ |
| (ニ) $R_1 + R_2$ | (ホ) $\frac{1}{R_1 + R_3}$ | (ヘ) $I_2 = -I'_0$ |
| (ヒ) $I_2 = I'_0$ | (フ) $-\frac{E}{R_1 + R_3}$ | (ヨ) $\frac{E}{2R_2}$ |
| (ヌ) $\frac{1}{R_1 + 4R_2 + R_3}$ | (ル) 0 | (ケ) $I_2 = 2I'_0$ |
| (コ) $I'_0 = I'_1$ | (カ) $I'_0 = 2I'_1$ | (ク) $I'_0 = -I'_1$ |

問2 次の文章は、 n 形半導体中の電子濃度及びキャリア輸送機構に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように、 n 形半導体中の電子濃度 n が x 軸に沿って一様ではない場合、電子濃度の高い方から低い方へ向けて電子の流れが生じる。この電流を (1) 電流と呼ぶ。この大きさが濃度勾配 $\frac{dn}{dx}$ に比例すると仮定すると、電流密度の式は次のように表される。

$$eD_e \frac{dn}{dx} \cdots \cdots \cdots \text{①}$$

ただし、 e は電気素量、 D_e は電子の (1) 定数と呼ばれる比例定数である。

一方、半導体中の電界を E とすると、電界から受ける力と、散乱等による摩擦力のつり合いにより、定常状態では電子は一定の平均速度 v で運動する。 v と E の関係は次の式で表される。

$$v = -\mu_e E \cdots \cdots \cdots \text{②}$$

ただし、 μ_e は電子の (2) と呼ばれる。この場合の電流密度は、 v 、 n 及び e を用いて次の式で表される。

$$\text{③} \cdots \cdots \cdots \text{③}$$

熱平衡状態においては、①式と③式で表される電流密度の和が 0 であることから、 D_e 、 μ_e 、 E 等を用いた次の式が成り立つ。

$$\frac{dn}{dx} = - \text{④} n \cdots \cdots \cdots \text{④}$$

電位 V と電界 E の関係は次のように表される。

$$E = -\frac{dV}{dx} \cdots \cdots \cdots \text{⑤}$$

熱平衡状態における半導体中の電子のエネルギー分布をボルツマン分布と仮定すると、 n と V の関係は次のように表される。

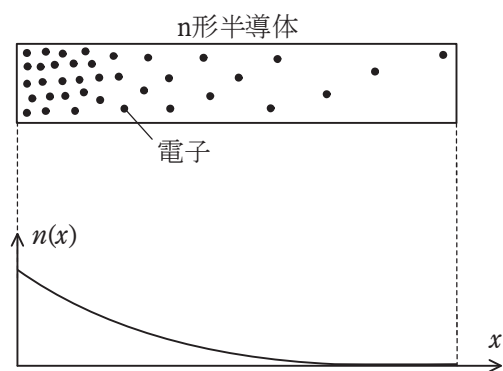
$$n = N_F \exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) \cdots \cdots \cdots \text{⑥}$$

ただし、 T は絶対温度、 k_B はボルツマン定数であり、 N_F は定数と考えてよい。

④式に、⑤式及び⑥式を適用すると、 D_e と μ_e の間に次の関係があることが導かれる。

$$\frac{D_e}{\mu_e} = \boxed{(5)}$$

この関係はアインシュタインの関係式と呼ばれる。



〔問 2 の解答群〕

(イ) $\frac{k_B T}{e}$

(ロ) 拡散

(ハ) $-\frac{env}{2}$

(ニ) 摩擦係数

(ホ) $-env$

(ヘ) 移動度

(ト) $-\frac{nv}{e}$

(チ) 透磁率

(リ) $ek_B T$

(ヌ) $\frac{\mu_e}{D_e E}$

(ル) $\frac{D_e E}{\mu_e}$

(ヲ) 再結合

(リ) ドリフト

(カ) $\frac{\mu_e E}{D_e}$

(ヨ) $\frac{e}{k_B T}$

問3 次の文章は、発振回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図1の回路はヒステリシスコンパレータと積分回路からなる発振回路である。各素子の値は図内に示した変数で表され、電圧、抵抗値及び静電容量の単位はそれぞれ[V], [Ω], [F]である。また、演算増幅器の非反転入力端子の電位 V_+ と反転入力端子の電位 V_- の電位差 $V_+ - V_-$ と出力電圧 V_o の間には図2の関係があり、その他の特性は理想とする。

まず、ヒステリシスコンパレータの動作を考える。演算増幅器1の非反転入力端子の電位 $V_{+,1}$ は、節点Aの電位 V_A と節点Bの電位 V_B を R_1 と R_2 で分圧した電圧であるから、 $V_{+,1} = \text{(1)}$ となる。演算増幅器1の出力 V_B は、 $V_{+,1}$ の値に応じて $-V_L$ または V_H となる。まず $V_B = -V_L$ のときに V_A が負の値から時間とともに増加する場合を考える。 V_A が (2) となると $V_{+,1}$ は0Vとなるため、 (2) は V_B が $-V_L$ から V_H に変化するしきい値であることがわかる。同様に、 $V_B = V_H$ の状態で V_A が正の値から減少する場合を考える。 V_A が (3) となると、 V_B は V_H から $-V_L$ に変化する。以上より、ヒステリシスコンパレータは、現在の出力に応じて、しきい値が変わることがわかる。

ヒステリシスコンパレータの出力 V_B は積分回路に入力される。積分回路の入力電圧を V_B とすると積分回路の出力電圧 V_A は傾き $-\frac{V_B}{CR_3}$ [V/s]で時間とともに変化する。

以上の性質を用いて図1の発振回路の発振周期を求める。回路は安定した発振動作をしており、ある時刻でヒステリシスコンパレータの出力 V_B が V_H から $-V_L$ に変化したとする。このときの V_A は (3) である。 $V_B = -V_L$ であるとき、 V_A は $\frac{V_L}{CR_3}$ の傾きで増加するため V_A が (3) から (2) まで変化するために要する時間は (4) [s]となる。 V_A が (2) となると V_B は $-V_L$ から V_H に変化するため V_A は減少に転じ、その傾きは $-\frac{V_H}{CR_3}$ となる。この発振回路の周期は、 V_A が (2) から再び (3) まで変化するために要する時間と (4) の和から、 (5) [s]と求まる。

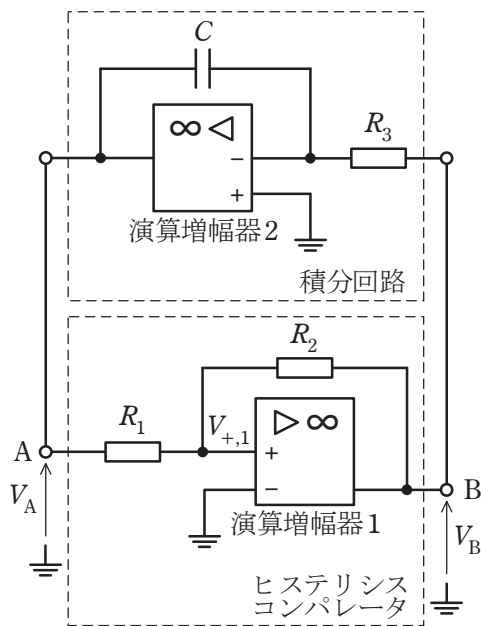


図1

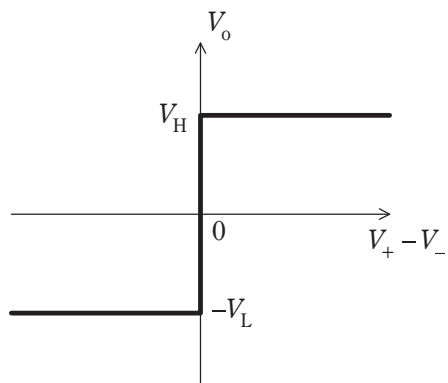


図2

〔問3の解答群〕

- | | | |
|---|---|---|
| (イ) 0 | (ロ) $\frac{CR_2R_3}{R_1} \frac{(V_H + V_L)^2}{V_H V_L}$ | (ハ) $\frac{R_1}{R_2} V_L$ |
| (ニ) $\frac{CR_1R_3}{R_2V_L} (V_H - V_L)$ | (ホ) $-\frac{R_1}{R_2} V_L$ | (ヘ) $\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_A + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_B$ |
| (ヒ) $\frac{R_1}{R_2} V_H$ | (フ) $\frac{CR_2R_3}{R_1V_L} (V_H + V_L)$ | (リ) $-\frac{R_2}{R_1} V_H$ |
| (ヌ) $\frac{CR_1R_3}{R_2} \frac{(V_H + V_L)^2}{V_H V_L}$ | (ル) $\frac{R_2}{R_1} V_L$ | (レ) $\frac{CR_1R_3}{R_2V_L} (V_H + V_L)$ |
| (ロ) $\frac{CR_1R_3}{R_2} \frac{(V_H - V_L)^2}{V_H V_L}$ | (ハ) $-\frac{R_1}{R_2} V_H$ | (セ) $\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_A + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_B$ |

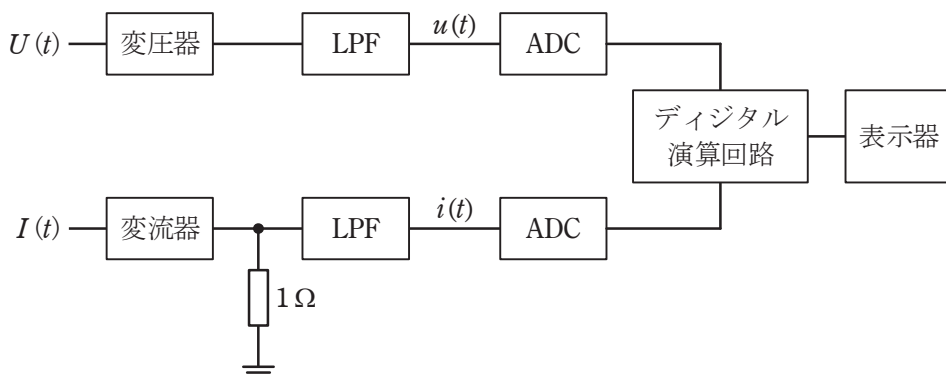
問4 次の文章は、アナログーデジタル変換器(ADC)と、ADCを用いた交流用のデジタル計測器に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図は、ADCを用いた交流用のデジタル計測器で、絶縁のための変圧器(変圧比 1:1)及び変流器(変流比 1:1)、 $R=1\Omega$ のシャント抵抗、カットオフ周波数 f_c [Hz] を超える周波数の信号を遮断する理想ローパスフィルタ(LPF)、理想ADC、デジタル演算回路及び表示器で構成されている。

一般に、ADCの前段にLPFを設けるが、その目的は、(1) である。そのため、 f_c とADCのサンプリング周波数 f_s [Hz] は、(2) の関係を満たす必要がある。

ここで、時刻 t における入力電圧を $U(t)$ [V]、入力電流を $I(t)$ [A] とし、それらの周期を T [s] とする。なお、入力に含まれる交流の最大周波数 $f_{\max}$ は、 $f_{\max} < f_c$ を満たしており、ADCへの入力電圧 $u(t)$ 及び $i(t)$ は、 $u(t)=U(t)$ 、 $i(t)=RI(t)$ となる。

サンプリング周波数 f_s で、1周期当たり M 回 ($M>3$) サンプルし、得られたサンプル値を順に $u_1, u_2, u_3, \dots, u_M$ 及び $i_1, i_2, i_3, \dots, i_M$ とすると、電圧実効値は、 $u(t)$ のサンプル値の二乗平均の平方根をとった値なので (3) [V] となる。また、平均電力は、瞬時電力の平均値であるから、(4) [W] となる。さらに、1周期における電力量は、(5) [J] で求められる。



[問4の解答群]

$$(イ) \quad M \sum_{k=1}^M u_k i_k$$

(ロ) 量子化誤差の低減

$$(ハ) \quad MT \sum_{k=1}^M u_k i_k$$

$$(ニ) \quad \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^M u_k^2}$$

$$(ホ) \quad \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M u_k^2}$$

(ヘ) 折り返し誤差の防止

$$(ト) \quad \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M u_k i_k$$

$$(チ) \quad f_c > \frac{f_s}{2}$$

$$(リ) \quad \frac{T}{M} \sum_{k=1}^M u_k i_k$$

$$(ヌ) \quad f_c < \frac{f_s}{2}$$

$$(ル) \quad \frac{1}{T} \sum_{k=1}^M u_k i_k$$

$$(ヲ) \quad f_c = f_s$$

$$(リ) \quad T \sum_{k=1}^M u_k i_k$$

(カ) 感度の向上

$$(ヱ) \quad \sqrt{M \sum_{k=1}^M u_k^2}$$

B問題(配点は1問題当たり計20点)

問5 次の文章は、三相交流回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図1のように、負荷1と負荷2が対称三相交流電源に接続されている。電源の線間電圧は $|\dot{E}_{ab}| = |\dot{E}_{bc}| = |\dot{E}_{ca}| = E$ であり、 $\dot{E}_{ab}$ を基準とすれば、複素数 $\alpha = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ を用いて、 $\dot{E}_{bc} = \alpha^2 \dot{E}_{ab}$ 、 $\dot{E}_{ca} = \alpha \dot{E}_{ab}$ と表される。

負荷1は三相消費電力 P_1 、力率0.8(遅れ)のY形平衡負荷であり、一相あたりの負荷アドミタンス $\dot{Y}_1 = \text{ (1) }$ と表される。端子 a-b 間にのみ接続するアドミタンス $\dot{Y}_2$ の負荷2は、消費電力 P_2 の抵抗負荷であり、 $6P_2 = P_1$ の関係がある。

負荷1と負荷2を合成して図2のように一つのΔ形不平衡負荷として表すと、 $\dot{Y}_{ab} = \text{ (2) }$ 、 $\dot{Y}_{bc} = \dot{Y}_{ca} = \text{ (3) }$ となる。これより、a相の線電流 $\dot{I}_a = \text{ (4) }$ と求めることができる。また、負荷1と負荷2を合成して図3のように一つのY形不平衡負荷として表すと、 $\dot{Y}_a = \text{ (5) }$ となる。 E 、 $\dot{I}_a$ 及び $\dot{Y}_a$ を用いて、対称三相交流電源の中性点からみたd点の電圧は $\dot{V}_d = \text{ (6) }$ と求めることができる。

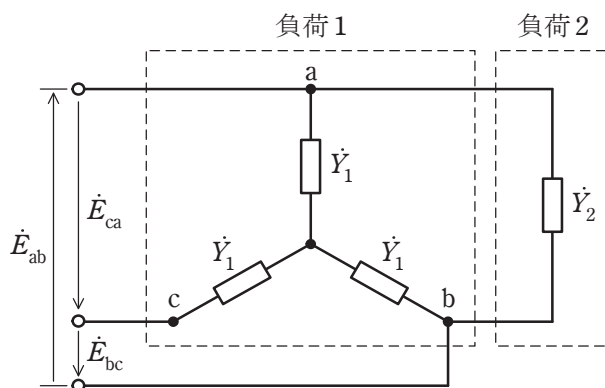


図1

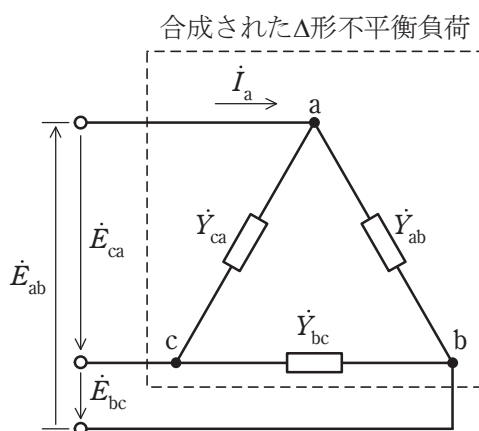


図 2

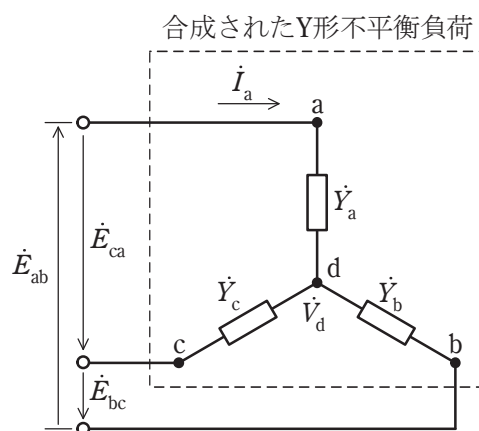


図 3

〔問 5 の解答群〕

- | | | |
|---|--|--|
| (イ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{19}{3} + j\frac{1}{4} \right)$ | (ロ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{41}{15} - j\frac{2}{15} \right)$ | (ハ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{1}{3} - j\frac{4}{9} \right)$ |
| (ニ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{4}{3} + j\frac{3}{4} \right)$ | (ホ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{19}{3} - j\frac{1}{4} \right)$ | (ヘ) $\frac{P_1}{E^2} \left(1 - j\frac{4}{3} \right)$ |
| (ヒ) $\frac{P_1}{E^2} \left(1 - j\frac{3}{4} \right)$ | (ト) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{1}{3} - j\frac{1}{4} \right)$ | (リ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{1}{2} - j\frac{1}{4} \right)$ |
| (ヌ) $\frac{P_1}{E^2} \left(1 + j\frac{3}{4} \right)$ | (ル) $\frac{\sqrt{3}E}{3} - \frac{I_a}{Y_a}$ | (レ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{4}{3} - j\frac{3}{4} \right)$ |
| (ヲ) $E - \frac{I_a}{Y_a}$ | (カ) $\frac{P_1}{E^2} \left(\frac{1}{3} + j\frac{1}{4} \right)$ | (エ) $\left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{6} \right) E - \frac{I_a}{Y_a}$ |
| (ク) $\frac{P_1}{E} \left[\frac{1}{3} + \frac{\sqrt{3}}{8} - j \left(\frac{1}{8} - \frac{\sqrt{3}}{6} \right) \right]$ | | |
| (コ) $\frac{P_1}{E} \left[\frac{2}{3} - \frac{\sqrt{3}}{8} - j \left(\frac{3}{8} + \frac{\sqrt{3}}{6} \right) \right]$ | | |
| (セ) $\frac{P_1}{E} \left[\frac{\sqrt{3}}{8} - \frac{2}{3} + j \left(\frac{3}{8} + \frac{\sqrt{3}}{6} \right) \right]$ | | |

問 6 及び問 7 は選択問題であり、問 6 又は問 7 のどちらかを選んで解答すること。

両方解答すると採点されません。

(選択問題)

問 6 次の文章は、平行板コンデンサに関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように、距離 $2d$ で正対する一辺 $2a$ の正方極板 A と B からなる平行板コンデンサがある。AB 間には、極板 A に接するように誘電率 ε の誘電体が挿入されており、誘電体の極板 B 側の表面には厚さの無視できる極板 C が張り付けられている。ただし、残りの部分は誘電率 ε_0 の真空であるとし、端効果は無視する。

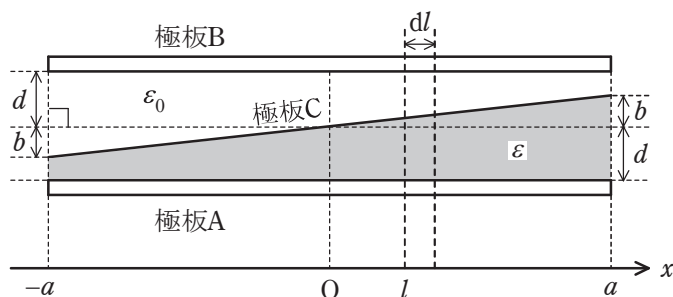
図では、極板 A と B に垂直で 1 辺に対して平行な任意の断面が描かれており、紙面に平行な任意の断面に対して誘電体の断面は同じである。図の左端と右端の誘電体の厚さは、それぞれ $d-b$ と $d+b$ ($0 \leq b \ll d$) であるため、誘電体が極板間の体積のちょうど半分だけ封入されていることになる。

図の x 軸方向の区間 $l \leq x \leq l+dl$ において、 x 軸に垂直な平面でこのコンデンサを仮想的に切り取った細長い平行板コンデンサを考える。なお、 dl は十分小さくその中で誘電体の厚さは同じものとする。このとき、切り取った部分における AC 間の静電容量は、(1) である。

(1) を $-a \leq l \leq a$ の範囲で積分すると、AC 間全体の静電容量が (2) と計算できる。また、対称性から CB 間全体の静電容量は (3) である。

よって、AB 間全体の静電容量は (4) である。ここで、対数関数について成り立つ下の近似式を用いると、AB 間全体の静電容量は (5) のように近似できる。この式から、 b をゼロから増やしたとき、AB 間全体の静電容量は (6) ことがわかる。

$$\begin{cases} \ln(1+\Delta) \approx \Delta - \frac{\Delta^2}{2} + \frac{\Delta^3}{3} \\ \ln(1-\Delta) \approx -\Delta - \frac{\Delta^2}{2} - \frac{\Delta^3}{3} \end{cases} \quad (\Delta \ll 1)$$



[問 6 の解答群]

(イ) $\varepsilon \frac{2a}{d + \frac{b}{a}l} dl$

(ロ) 減る

(ハ) $4(\varepsilon + \varepsilon_0) \frac{a^2}{d}$

(ニ) 変わらない

(ホ) $\varepsilon \frac{2a}{d - \frac{b}{a}l} dl$

(ヘ) 増える

(ト) $2 \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d+b}{d-b} \right)$

(チ) $4 \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \frac{a^2}{d} \left(1 + \frac{b^2}{3d^2} \right)$

(リ) $2(\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d-b}{d+b} \right)$

(ヌ) $2\varepsilon \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d-b}{d+b} \right)$

(ル) $2\varepsilon_0 \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d}{b} \right)$

(ヲ) $4 \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \frac{a^2}{d} \left(1 - \frac{b}{2d} \right)$

(リ) $\varepsilon \frac{2ab}{d + \frac{dl}{a}l}$

(ホ) $2\varepsilon \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d+b}{d-b} \right)$

(ヱ) $2\varepsilon \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d}{b} \right)$

(ヲ) $2(\varepsilon + \varepsilon_0) \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d+b}{d-b} \right)$

(ロ) $2\varepsilon_0 \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d-b}{d+b} \right)$

(ヲ) $2\varepsilon_0 \frac{a^2}{b} \ln \left(\frac{d+b}{d-b} \right)$

問6及び問7は選択問題であり、問6又は問7のどちらかを選んで解答すること。
両方解答すると採点されません。

(選択問題)

問7 次の文章は、単極誘導に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。ただし、時間を t 、磁束密度と磁界の強さをそれぞれ $\mathbf{B}$ と $\mathbf{H}$ 、電界を $\mathbf{E}$ と表すことにする。

まず、一様な磁束密度 $\mathbf{B}$ の存在する空間を、 $\mathbf{B}$ と垂直に速度 $\mathbf{v}$ で動いている導体(図1)には電界 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ が生じることを導く。考えている領域には電流も電荷もないものとする。電磁界で成り立つファラデーの電磁誘導の法則(微分形)は

$$\text{(1)} \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

である。磁束密度を z 軸正方向、速度 $\mathbf{v}$ を x 軸正方向とする静止直交座標において $\mathbf{B} = (0, 0, B_z)$ 、 $\mathbf{v} = (v_x, 0, 0)$ を用い、電界や磁界については、 $\mathbf{E} = (E_x, E_y, E_z)$ のようにベクトルの成分を表すと、①式は次のように書き換えられる。

$$\text{(2)} \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

さて、運動する導体において②式がどのように表されるか検討したい。運動座標系の位置や時間(静止座標系と同じ)、電界や磁界は「'」付きの量で区別して示すことにすると、空間座標 x について変換式 (3) が成立する。電磁気学の基本方程式は座標変換に対して不変であるので、②式は全ての変数に「'」を付けても変わらず成立する(これを②'式とする)。②'式に含まれる磁束密度の時間微分を変換式に基づいて変形すれば、

$$\frac{\partial B'_z}{\partial t'} = \frac{\partial B'_z}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial t'} + \frac{\partial B'_z}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t'} + \frac{\partial B'_z}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t'} + \frac{\partial B'_z}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t'} = \frac{\partial B'_z}{\partial t} + \frac{\partial B'_z}{\partial x} v_x \dots\dots\dots \text{③}$$

となる。一方、②'式の他の項はそのままの形でよく、結局②'式は以下のように変形される。

$$\text{(4)} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

これと②式を比較すると、運動座標系と静止座標系で観測された電界の間の関係は (5) と表せることが分かる。これは速度 $\mathbf{v}$ で運動すると電界 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ が生じることを意味している。

以上をもとに半径 R の導電性永久磁石 $\mathbf{M}$ が中心軸 A (導体)の周りを一定角速度 ω で回転している場合(図2)に生じる誘導起電力を計算する。 $\mathbf{B}$ は永久磁石内部で

軸方向成分のみを持ち、一様かつ一定である。中心軸 A と外周部のすべり接触子 C_1 、 C_2 が電圧計 V に接続されているが、電流は無視できるとする。

この場合、M 内部の各点の速度は中心軸からの距離 r によって変わる。したがって起電力の大きさ U を求めるには永久磁石上面にて $r=0$ から $r=R$ まで電界を積分すればよい。 U は、 $\mathbf{B}$ と $\mathbf{v}$ が直交するので次式のようにして計算できる。

$$U = \int_0^R |\mathbf{v}| |\mathbf{B}| dr = \int_0^R r\omega |\mathbf{B}| dr = \quad (6)$$

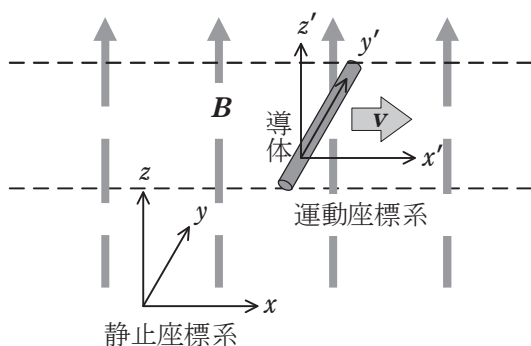


図 1

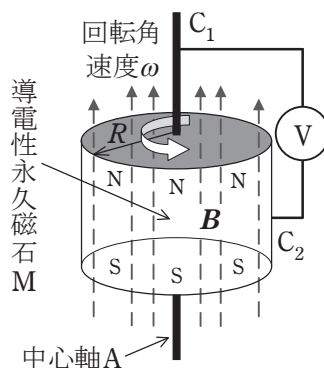


図 2

[問 7 の解答群]

- | | | |
|--|---|---|
| (イ) $x' = x + v_x t$ | (ロ) $E'_y + v_x B'_z = E_y$ | (ハ) $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ |
| (ニ) $\frac{\omega R^3 \mathbf{B} }{3}$ | (ホ) $\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = 0$ | (ヘ) $x' = x - v_x t$ |
| (ト) $E'_y - v_x B'_z = E_y$ | (チ) $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{0}$ | (リ) $\frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y} = 0$ |
| (ス) $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$ | (ル) $\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = 0$ | (レ) $\frac{\omega R^2 \mathbf{B} }{2}$ |
| (ヲ) $\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\frac{\partial B_z}{\partial t}$ | (ル) $\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial (E'_y + v_x B'_z)}{\partial y} = 0$ | |
| (ヱ) $\frac{\partial}{\partial x} (E'_y + v_x B'_z) - \frac{\partial E'_x}{\partial y} = -\frac{\partial B'_z}{\partial t}$ | | |