

平成 26 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. マークシートには氏名、生年月日、試験地及び受験番号を記入し、受験番号のマーク欄にはマークシートに印刷されているマーク記入例に従い、正しくマークしてください。

（受験番号記入例：0141R01234Aの場合）

受 験 番 号										
数 字 記号					数 字 記号					
0	1	4	1	R	0	1	2	3	4	A
●					●	○	○	○	○	●
○	●	○	●		○	●	○	○	○	○
○	○	○	○		○	○	●	○	○	○
○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
○	○	●	○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○	●	○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○
○	○		○		○	○	○	○	○	○

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。

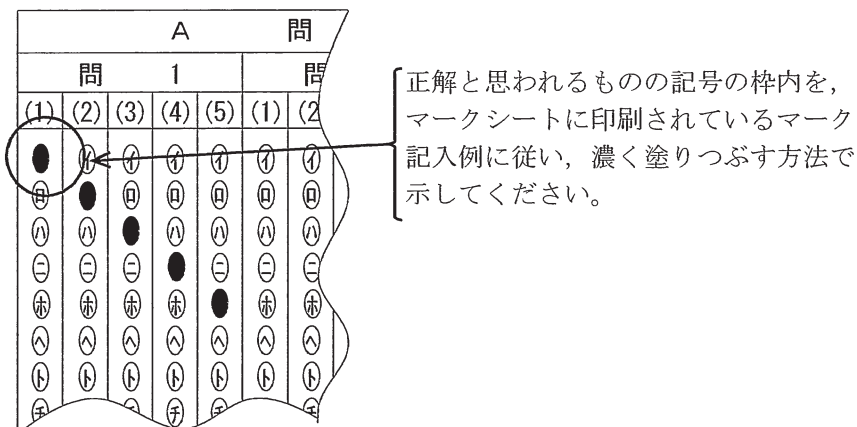
4. マークシートは、折り曲げたり汚したりしないでください。

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)



6. 問6と問7はどちらか1問を選択してください。選択した問題は、マークシートの「選択問題マーク欄」にマークしてください。2問とも選択した場合は採点されません。

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])

(この問題は持ち帰ってください。また、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，誘電体が挿入された平行平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びなさい。

真空中に平行平板コンデンサがある。極板は一辺の長さが a の十分薄い正方形の導体平板であり，その極板間の距離は d である。なお，空気の誘電率を真空と同じ ϵ_0 とし，端効果はないものとする。

このコンデンサに，図1のように，各辺が $a, a, \frac{d}{3}$ の直方体で比誘電率が4の誘電体を，極板からはみ出さないように挿入したものをコンデンサ A とする。

また，図2のように，コンデンサ A の誘電体と同体積かつ同種の誘電体を使って，各辺が $a, \frac{a}{3}, d$ の直方体の誘電体を極板からはみ出さないように挿入したものをコンデンサ B とする。ただし，図1, 2とも横から見た図である。

コンデンサ A に電荷を与えたとき，誘電体中と空気中において (1) が等しくなる。また，コンデンサ A と B の静電容量は，それぞれ (2) と (3) である。

ここで，電界強度が E を超えると，使用した誘電体では絶縁破壊が起きるが，空気では絶縁破壊が起きないものとする。このとき，コンデンサ A と B の中の誘電体が絶縁破壊を起こさずに端子間に印加できる最大電圧は，それぞれ (4) と Ed である。したがって，各コンデンサに最大電圧を与えた際に蓄えられる静電エネルギーは， (5) 。

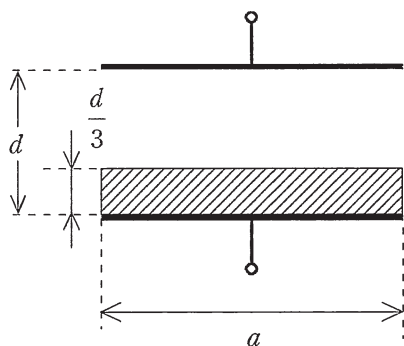


図 1 コンデンサ A

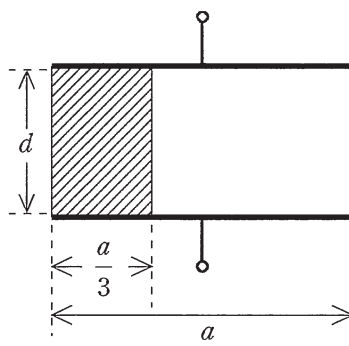


図 2 コンデンサ B

[問 1 の解答群]

(イ) $\frac{4\varepsilon_0 a^2}{d}$

(ロ) $\frac{4\varepsilon_0 a^2}{3d}$

(ハ) Bの方が大きい

(ニ) Ed

(ホ) 分極

(ヘ) 電束密度

(ト) $3Ed$

(チ) 同じである

(リ) $\frac{3\varepsilon_0 a^2}{d}$

(ヌ) $\frac{2\varepsilon_0 a^2}{d}$

(ル) $\frac{6\varepsilon_0 a^2}{5d}$

(ヲ) $4Ed$

(リ) 電界

(カ) $\frac{3\varepsilon_0 a^2}{2d}$

(ヱ) Aの方が大きい

問2 次の文章は、導体及び抵抗体周辺における電界・磁界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びなさい。

導体 A と導体 B の間に円柱状の抵抗体が挿入されており、導体 A から導体 B に向けて直流電流 I が一様に流れている図 1 のような状態を考える。ここで、導体 A の電位 V_A と導体 B の電位 V_B は $V_A > V_B > 0$ とし、導体 A, B での電圧降下は零とする。

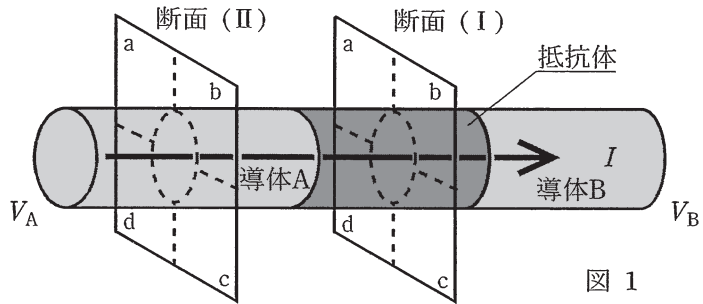


図 1

このとき、図中の断面 (I) において、断面と垂直な方向の電界成分を模式的に描いたものとしてふさわしいのは (1) である。また、断面と平行な方向の磁界成分を磁力線を用いて模式的に描いたものとしてふさわしいのは (2) である。

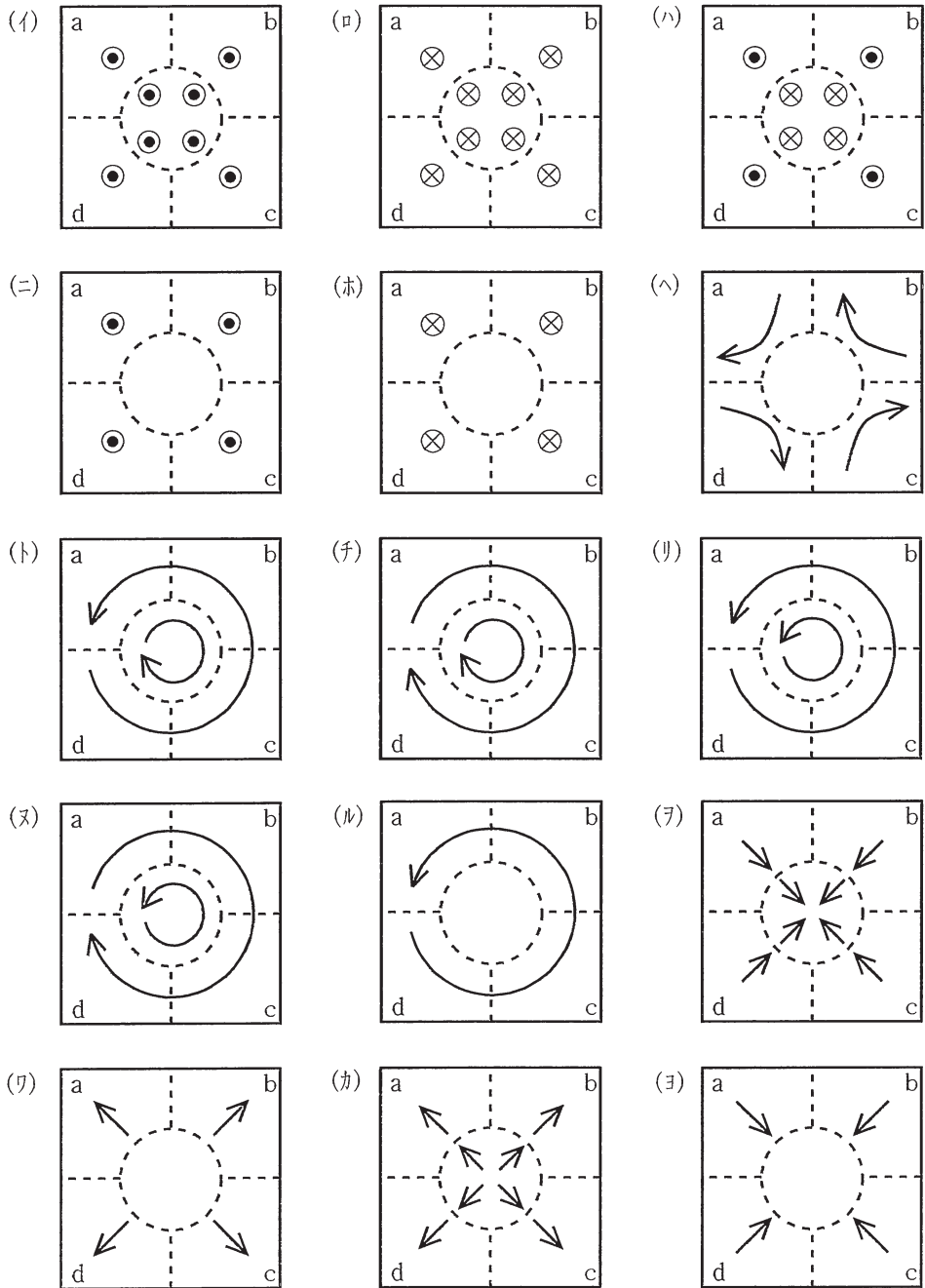
ポインティングベクトル \vec{S} は電界 \vec{E} 及び磁界 \vec{H} を用いて $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ と表されるため、断面 (I) における断面と平行な方向のポインティングベクトルの様子を模式的に描くと、 (3) のようになる。

次に、断面 (II) における断面と平行な方向の電界成分を電気力線を用いて模式的に描いたものとしてふさわしいのは (4) である。断面と平行な方向の磁界成分を磁力線を用いて模式的に描いたものとしてふさわしいのは (2) なので、断面と垂直な方向のポインティングベクトルの様子を模式的に描くと (5) のようになる。

このように、ポインティングベクトルを用いてエネルギーの流れを考察すると、抵抗体周辺の空間から抵抗体に向けてエネルギーの一部が流入していることが分かる。

なお、解答群 (イ)～(㉓) の図において、 \otimes は図 1 において左から右に断面を横切る向きを、 \odot は図 1 において右から左に断面を横切る向きを示す。また、円の内部に何も記していないものは、その成分が導体内あるいは抵抗体内で零であることを意味している。導体 A, B は十分長いものとし、電位 V_A, V_B の基準としては、導体 A, B と同軸で半径が十分大きい円筒の電位を零とする。

[問2の解答群]

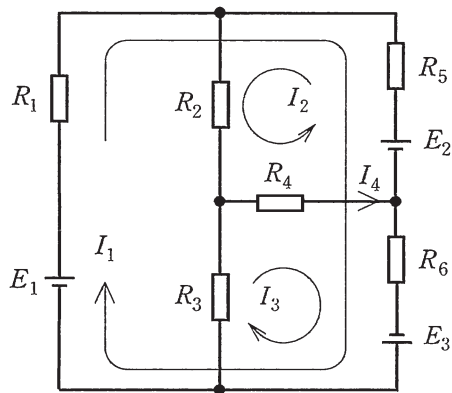


問3 次の文章は、直流回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選びなさい。

図に示す電圧源 E_1, E_2, E_3 及び抵抗 $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ を接続した回路において、網目電流（閉路電流） I_1, I_2, I_3 を図のようにとると、これらに関する網目方程式は次式のように表される。

$$\begin{pmatrix} \boxed{(1)} & -R_5 & R_6 \\ -R_5 & R_2 + R_4 + R_5 & \boxed{(2)} \\ R_6 & \boxed{(2)} & \boxed{(3)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 - E_2 + E_3 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix}$$

次に、 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$ として、このときの電流 I_1 及び R_4 に流れる電流 I_4 を E_1, E_2, E_3 及び R を用いて表せば、 $I_1 = \boxed{(4)}$, $I_4 = \boxed{(5)}$ となる。



[問3の解答群]

$$\begin{array}{llll} (イ) R_3 + R_4 + R_6 & (ロ) R_1 + R_5 + R_6 & (ハ) \frac{E_2 - E_3}{4R} & (ニ) \frac{4E_1 - E_2 - E_3}{8R} \\ (ホ) \frac{2E_1 - E_2 + E_3}{8R} & (ヘ) R_1 - R_5 + R_6 & (ト) \frac{E_1 - E_2 + E_3}{4R} & (チ) R_3 + R_4 \\ (リ) -R_4 & (ス) -R_1 + R_5 + R_6 & (ル) \frac{2E_1 - E_2 + E_3}{4R} & (フ) R_4 \\ (ワ) R_3 - R_4 + R_6 & (カ) \frac{E_2 + E_3}{4R} & (コ) R_3 + R_4 - R_6 & \end{array}$$

問4 次の文章は、回路の過渡現象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びなさい。

図のようにスイッチ S と直流電流源 I 、インダクタンス L のコイル、抵抗 R 及び r が接続されている。ただし $r > R$ である。 L に流れる電流 i を、スイッチの動作が次の二つの場合においてそれぞれ求めたい。 L の両端の電圧 v を図のように定める。

a. 時間 $t < 0$ では、スイッチ S は a 側であり、回路は定常状態である。 $t = 0$ において S を b 側に切り替えた。

$t > 0$ における i の時間的変化について考える。このとき、 R と L は閉路になっている。よって、

$$Ri + v = 0 \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

ここで、 $v = L \frac{di}{dt}$ より

$$L \frac{di}{dt} + Ri = 0 \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

$t = 0$ のとき $i = \text{ (1) }$ より、②式を解くと

$$i = \text{ (2) }$$

b. 時間 $t < 0$ では、スイッチ S は b 側であり、回路は定常状態である。 $t = 0$ において S を a 側に切り替えた。 r に流れる電流を i_1 とする。

$t > 0$ において

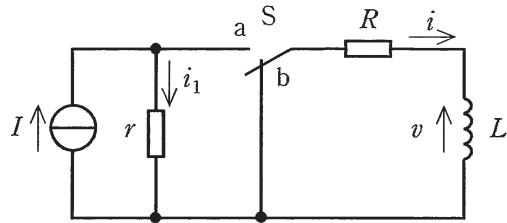
$$\left. \begin{array}{l} i_1 + i = I \\ Ri + v = \text{ (3) } \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots \text{③}$$

が成り立つ。 $t = 0$ のときの i を考慮して $t > 0$ における i を求めると

$$i = \text{ (4) }$$
 となる。

また、 $i = i_1$ となる時刻 T は

$$T = \text{ (5) }$$
 となる。



[問4の解答群]

- | | | |
|---|--|--|
| (イ) $\frac{r}{R+r} I e^{-\frac{R+r}{L} t}$ | (ロ) $\frac{r}{r+R} I e^{-\frac{R}{L} t}$ | (ハ) $\frac{R}{r+R} I$ |
| (ニ) $r(I - i_1)$ | (ホ) $\frac{L}{R+r} \ln \frac{2r}{r-R}$ | (ヘ) $r(I + i_1)$ |
| (ト) $\frac{r}{R+r} I \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L} t} \right)$ | (フ) $r i_1$ | (コ) $\frac{r}{r+R} I$ |
| (セ) $\frac{R}{r+R} I e^{-\frac{R}{L} t}$ | (ケ) $I e^{-\frac{R}{L} t}$ | (サ) $\frac{2r}{R+r} I \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L} t} \right)$ |
| (シ) $\frac{1}{(R+r)L} \ln \frac{2r}{r-R}$ | (カ) I | (ジ) $\frac{L}{R+r} \ln \frac{R+r}{r}$ |

B問題（配点は1問題当たり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びなさい。ただし、 a は複素数で $a = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ とする。

図1のように対称三相交流電圧源にY形不平衡負荷を接続した。

$\dot{E}_a = 120 \text{ V} \angle 0^\circ$ であり、相回転は $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ の順とする。この相回転の順を式で表すと

$$\dot{E}_b = a^2 \dot{E}_a, \quad \dot{E}_c = a \dot{E}_a \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

となる。いま、回路の線電流 $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ も対称三相であり、

$$\dot{I}_b = a^2 \dot{I}_a, \quad \dot{I}_c = a \dot{I}_a \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

の関係式を満たしているものとする。このとき、Y形不平衡負荷の各相の電圧平衡の式は

$$\dot{I}_a \dot{Z}_a = \dot{E}_a - \text{[(1)]}, \quad \dot{I}_b \dot{Z}_b = \dot{E}_b - \text{[(1)]}, \quad \dot{I}_c \dot{Z}_c = \dot{E}_c - \text{[(1)]} \quad \dots \text{③}$$

であるから、①式と②式を利用すると、③式よりY形不平衡負荷のインピーダンスは

$$\begin{pmatrix} \dot{Z}_a \\ \dot{Z}_b \\ \dot{Z}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{\dot{E}_a}{\dot{I}_a} - \text{[(2)]} \frac{\dot{V}_n}{\dot{I}_a} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

と表すことができる。ただし、 $a^3 = 1$ に注意する。

ここで、①式と②式が成立して、 $\dot{Z}_b = 11 - j\sqrt{3} \Omega$ 、 $\dot{Z}_c = 11 + j\sqrt{3} \Omega$ であるときを考える。④式に従って $\dot{Z}_a, \dot{Z}_b, \dot{Z}_c$ を複素平面上にプロットすると、これらは中心が $\frac{\dot{E}_a}{\dot{I}_a}$ である正三角形の頂点をなし、図2のどちらかになる。なお、 \dot{Z}_a と $\frac{\dot{E}_a}{\dot{I}_a}$ は実軸上に位置している。図2の二つの三角形のうち、④式と整合する正三角形を利用すると $\dot{Z}_a = \text{[(3)]} \Omega$ 、 $\dot{I}_a = \text{[(4)]} \text{ A}$ 、 $\dot{V}_n = \text{[(5)]} \text{ V}$ であることが分かる。

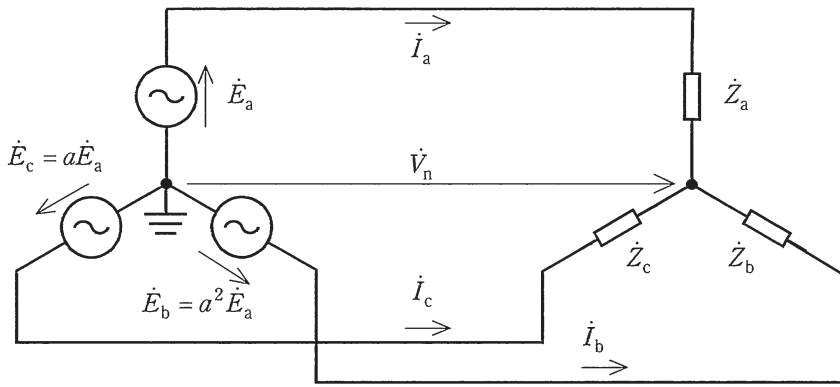


図 1

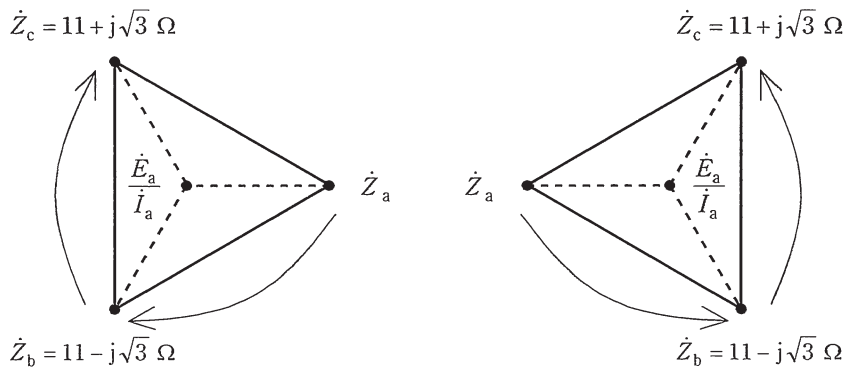


図 2

[問 5 の解答群]

- | | | | |
|---|---|---|-------------------|
| (イ) $a^2 \dot{V}_n$ | (ロ) 14 | (ハ) 13 | (ニ) 16 |
| (ホ) 8 | (ヘ) 24 | (ト) \dot{V}_n | (フ) $a \dot{V}_n$ |
| (リ) 32 | (ヌ) -20 | (ル) 12 | (ヘ) 10 |
| (リ) $\begin{pmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{pmatrix}$ | (ル) $\begin{pmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{pmatrix}$ | (ロ) $\begin{pmatrix} a \\ a^2 \\ 1 \end{pmatrix}$ | |

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。
 なお、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、MIS構造におけるしきい値に関する記述である。文中の

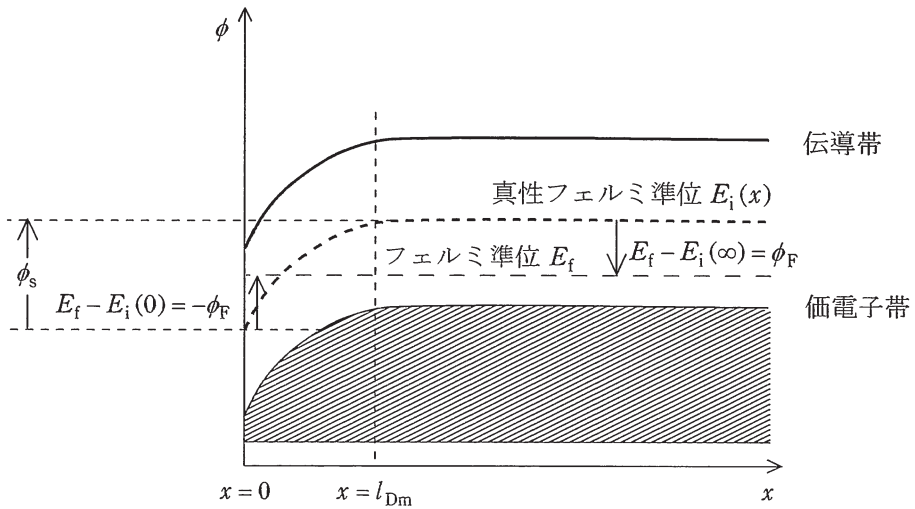
に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選びなさい。なお、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_s は半導体の比誘電率、 ϵ_{ox} は絶縁体の比誘電率とする。

金属-絶縁物-p形半導体からなるMIS構造において、電圧を印加しないときに半導体内のバンドが一直線であるフラットバンド状態になっているとする。そこからゲートに正方向に電圧を加えると、正孔は半導体表面近傍から存在しなくなり空乏層になる。このときp形半導体のキャリア濃度を N_A 、空乏層の厚さを l_D とすると、空乏層内の厚さ方向 x における電位 ϕ の勾配は、絶縁物-半導体の界面を $x=0$ として

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{qN_A}{\epsilon_s\epsilon_0}(x-l_D)$$

で与えられる。 $x=l_D$ において電位が零として式を解くと $\phi(x) = \text{ (1)}$ と表され、 $x=0$ での電位(表面電位)は $\phi_s = \text{ (2)}$ となる。ここで、空乏状態となった領域でのアクセプタによる単位面積当たりの電荷は $Q = -qN_A l_D$ であり、この電荷が絶縁物内に電位差を作る。絶縁物層厚を t_{ox} とすると、この電位差は (3) である。 (2) と (3) の和がゲート電圧である。

ゲートに印加される電圧が大きくなると、表面電位 ϕ_s も大きくなる。図右側に示す様にp形半導体での平衡状態($x=\infty$)においてフェルミ準位 E_f と真性フェルミ準位 $E_i(\infty)$ の差の電位がフェルミポテンシャル ϕ_F であるが、表面電位 ϕ_s が $2\phi_F$ となった図のようなバンド構造のときに、電子の濃度は半導体の濃度 N_A と等しくなる。このときのゲート電圧をしきい値と呼ぶ。しきい値よりもゲート電圧が大きくなっても、それに伴い増える電荷は半導体表面の電荷のみであり、空乏層の厚さは変化しない。このしきい値で最大になる空乏層厚さ l_{Dm} は (4) である。しきい値は、表面電位に厚さ l_{Dm} の空乏層の電荷が絶縁層に作る電位差を足したものとなり、 (5) となる。



しきい値でのバンド構造の模式図

[問6の解答群]

- | | | |
|---|--|--|
| (イ) $\frac{Qt_{ox}}{\epsilon_{ox}\epsilon_0}$ | (ロ) $\sqrt{\frac{\phi_F\epsilon_{ox}\epsilon_0}{qN_A}}$ | (ハ) $\frac{qN_A}{2\epsilon_s\epsilon_0}(x-l_D)^2$ |
| (ニ) $\frac{qN_A}{\epsilon_s\epsilon_0}x^2$ | (ホ) $2\phi_F + \frac{qN_A l_{Dm} t_{ox}}{\epsilon_{ox}\epsilon_0}$ | (ヘ) $\frac{qN_A}{2\epsilon_s\epsilon_0}l_D$ |
| (ヒ) $\frac{qN_A}{\epsilon_s\epsilon_0}l_D^2$ | (フ) $\frac{qN_A}{2\epsilon_s\epsilon_0}l_D^2$ | (ル) $\frac{Q\epsilon_{ox}\epsilon_0}{t_{ox}}$ |
| (エ) $2\phi_F + \frac{qN_A l_{Dm} t_{ox}}{2\epsilon_{ox}\epsilon_0}$ | (リ) $\frac{qN_A}{2\epsilon_s\epsilon_0}(x-l_D)$ | (レ) $\sqrt{\frac{4\phi_F\epsilon_{ox}\epsilon_0}{qN_A}}$ |
| (ケ) $\frac{Qt_{ox}}{2\epsilon_{ox}\epsilon_0}$ | (ル) $2\phi_F + \frac{qN_A l_{Dm} \epsilon_{ox}\epsilon_0}{t_{ox}}$ | (ロ) $\sqrt{\frac{4\phi_F\epsilon_s\epsilon_0}{qN_A}}$ |

(選択問題)

問 7 次の文章は、図 1 に示す MOSFET と抵抗を用いた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びなさい。ただし、MOSFET のゲート-ソース間電圧 V_{GS} とドレーン-ソース間電圧 V_{DS} は図 2 のとおりに定義され、両者が

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_T > 0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

を満足するとき、ドレーン電流 I_D は

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

で表されるものとする。ここで、 K や V_T は MOSFET の特性を表す定数であり、また、ゲート電流 I_G は常に零であるとする。

図 1 の回路において、MOSFET の K と V_T をそれぞれ、 $K = 40 \mu\text{S}/\text{V}$ 、 $V_T = 0.50 \text{ V}$ とし、抵抗 R_L を $50 \text{ k}\Omega$ 、電源電圧 V_{DD} を 3.0 V とする。

まず、入力信号 v_{in} が 0.0 V のときを考える。図 1 の MOSFET が①式の間係を満足するためには、 V_B は (1) $\text{V} \geq V_B > \text{input type="text"/> (2) \text{ V}$ でなければならない。

次に、 v_{in} の大きさが十分に小さいとき、 V_{out} は

$$V_{out} = V_{DD} - R_L K (V_B + v_{in} - V_T)^2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

となる。

ここで、 v_{in} が 0.0 V のときの V_{out} を V_0 とし、 v_{in} を加えたときに V_{out} が V_0 から変化した分を $\Delta V_{out} = V_{out} - V_0$ とする。③式から ΔV_{out} を求めると、③式において v_{in} の大きさが十分に小さいので v_{in} の 2 乗の項を無視すると、 ΔV_{out} は (3) となる。

以上の結果を踏まえて、 V_B を 1.0 V とすると、 V_0 は (4) V となる。このとき、 ΔV_{out} を出力信号とすれば、図 1 の回路の増幅率 $\frac{\Delta V_{out}}{v_{in}}$ が (5) であることが分かる。

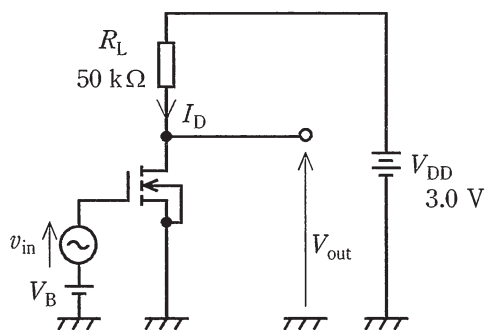


図 1

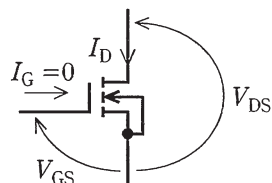


図 2

[問 7 の解答群]

- | | | |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------|
| (イ) 0.25 | (ロ) 1.5 | (ハ) 2.0 |
| (ニ) -2.0 | (ホ) 4.0 | (ヘ) 0.0 |
| (ト) 3.0 | (チ) $-2R_L K V_B v_{in}$ | (リ) -4.0 |
| (ヌ) 0.50 | (ル) 2.5 | (レ) $2R_L K (V_B - V_T) v_{in}$ |
| (フ) -0.50 | (カ) $-2R_L K (V_B - V_T) v_{in}$ | (エ) 1.0 |