

令和 7 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。

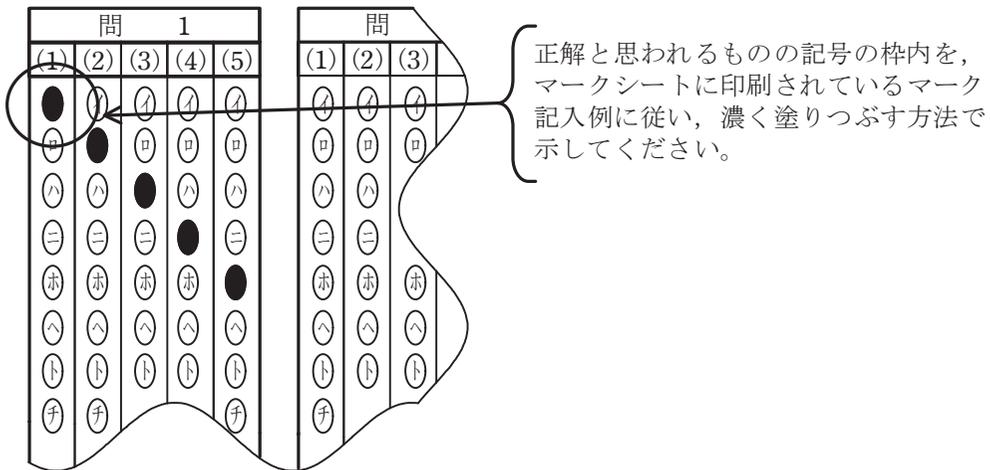
例えば、問1の

(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)



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])

(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せん。)

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。

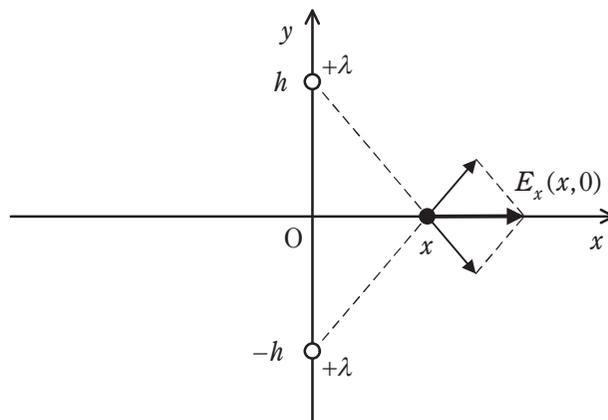
A問題(配点は1問題当たり小問各2点, 計10点)

問1 次の文章は, 直線電荷が作り出す電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べ。

真空中に線電荷密度 $+\lambda$ ($\lambda > 0$) の無限長直線電荷 1 本が距離 r 離れた点に作る電界の大きさ $E(r)$ は (1) と求められる。ただし, 真空中の誘電率を ϵ_0 とする。

次に, 真空中の xyz 座標空間上に線電荷密度 $+\lambda$ の無限長直線電荷 2 本を置く。それらはともに z 軸に平行で, $x=0, y=\pm h$ の位置にある。図は xy 平面上での断面を表し, 以降は xy 平面で考える。

ここで, x 軸上の電界を考える。図のように二つの線電荷が x 軸上に作る電界の x 成分 $E_x(x,0)$ は (2) となる。 $E_x(x,0)$ が最大となるのは $x =$ (3) のときで, その最大値は (4) である。原点 O を電位の基準とすると, 点 $(x_0, 0)$ における電位 $V(x_0, 0)$ は (5) である。



[問 1 の解答群]

$$(イ) \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{x_0 h}{x_0^2 + h^2}$$

$$(ロ) \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$(ハ) \frac{\lambda}{\pi\epsilon_0} \frac{hx}{(x^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$(ニ) \frac{\lambda}{\pi\epsilon_0} \frac{x}{x^2 + h^2}$$

$$(ホ) \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

$$(ヘ) \frac{h}{\sqrt{3}}$$

$$(ト) \frac{\lambda}{6\pi\epsilon_0 h}$$

$$(チ) \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{h^2}{x_0^2 + h^2}$$

$$(リ) \frac{\lambda}{\pi\epsilon_0} \frac{h}{x^2 + h^2}$$

$$(ヌ) \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 h}$$

$$(ル) h$$

$$(ヲ) \frac{\lambda}{3\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$(ヱ) \sqrt{3}h$$

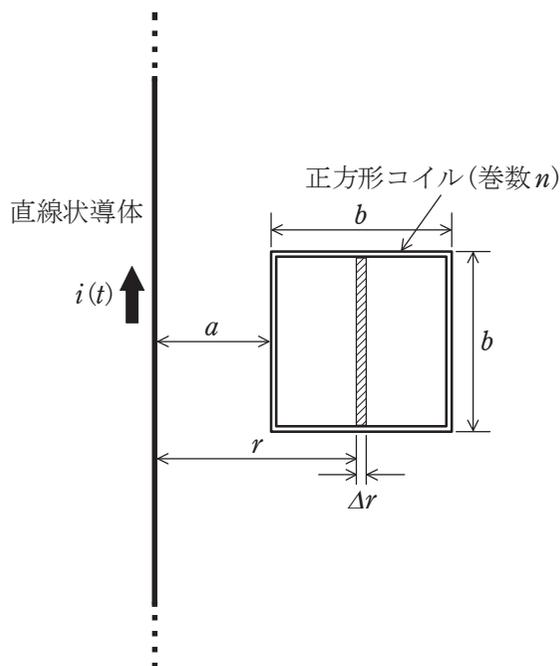
$$(カ) \frac{3\lambda}{2\pi\epsilon_0 h}$$

$$(ク) \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{x_0^2}{x_0^2 + h^2}$$

問2 次の文章は、誘導起電力によって正方形コイルに生じる誘導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。

図のように、透磁率 μ_0 の空間の同一平面上に、一辺の長さ b 、巻数 n の正方形コイルと無限に長い直線状導体とが置かれている。正方形コイルの導体及び直線状導体の太さは無視でき、正方形コイルの一辺は直線状導体に平行で、距離 a だけ離れている。時刻 $t=0$ において直線状導体及び正方形コイルには電流は流れていない。

$0 \leq t \leq t_1$ において、直線状導体に流れる電流 $i(t)$ を 0 から I_0 に一定の割合で増加させた。 $t=t_1$ において、 $i(t)$ によって直線状導体から距離 r の位置に生じる磁界の大きさは (1) ，この位置で長さ b 、幅 Δr の面(図中のハッチング部)を貫く磁束の大きさは (2) と表される。したがって、 $i(t)$ が正方形コイル内につくる磁束の大きさは、 $0 \leq t \leq t_1$ において 0 から (3) まで増加する。この間、正方形コイルに生じる誘導起電力の大きさは (4) となる。正方形コイルが短絡されている場合、誘導起電力によって誘導電流が流れ、その際に正方形コイルに働く力の向きは (5) である。



[問2の解答群]

$$(イ) \frac{n^2 \mu_0 I_0 b}{2\pi t_1} \ln\left(\frac{a+b}{a}\right) \quad (ロ) \frac{n\mu_0 I_0 b}{2\pi r} \Delta r \quad (ハ) \frac{n\mu_0 I_0 b}{2\pi} \ln\left(\frac{a+b}{a}\right)$$

$$(ニ) \frac{\mu_0 I_0 b}{2\pi} \ln\left(\frac{a+b}{a}\right) \quad (ホ) \frac{I_0}{2\pi r} \quad (ヘ) \frac{I_0}{2\pi r^2}$$

$$(ト) \frac{I_0}{\pi r} \quad (チ) \frac{\mu_0 I_0 b}{2\pi r} \Delta r \quad (リ) \frac{n\mu_0 I_0 b}{2\pi t_1} \ln\left(\frac{a+b}{a}\right)$$

$$(ヌ) \frac{n\mu_0 I_0 b}{\pi t_1} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (ル) \frac{\mu_0 I_0 b}{\pi r} \Delta r \quad (レ) \frac{\mu_0 I_0 b}{\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

(リ) 直線状導体と引き合う向き

(カ) 直線状導体と反発し合う向き

(ヨ) 直線状導体を中心軸として回転する向き

問3 次の文章は、時分割形乗算器の動作原理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に示す回路は、直流電圧の X 及び Y の積に比例した電圧 P を出力する時分割形乗算器である。また、図2は回路内の各信号波形を表す。

図1の破線枠内の回路は、一般に (1) 変調回路と呼ばれる。 (1) 変調回路では、三角波発振器から図2(A)に示す振幅が $\pm V_T$ である三角波を出力し、コンパレータは、 X と三角波の大小関係に応じて、図2(B)に示す論理値0又は1の変調信号を出力する。ただし、 $-V_T < X < +V_T$ とする。

ここで、図2(A)の $\triangle abc$ と $\triangle dec$ が相似であることを利用すれば、 $\frac{T_1}{T_0} =$ (2)

となる。これを X について解けば、 $X =$ (3) が得られる。

スイッチは変調信号に応じて接点が切り替わり、その出力波形は図2(C)に示す矩形波で表される。ここで、ローパスフィルタが直流のみを通過させる特性であるなら、 P はスイッチ出力の平均電圧になる。そこで、面積 S_0 と面積 S_1 に注目すれば、 Y 、 T_0 及び T_1 を用いて、 $P =$ (4) が得られる。

さらに、 (3) 及び (4) から T_0 及び T_1 を消去すれば、 $P =$ (5) XY となるから、本回路は積 XY に比例する P を出力する乗算器であることが分かる。

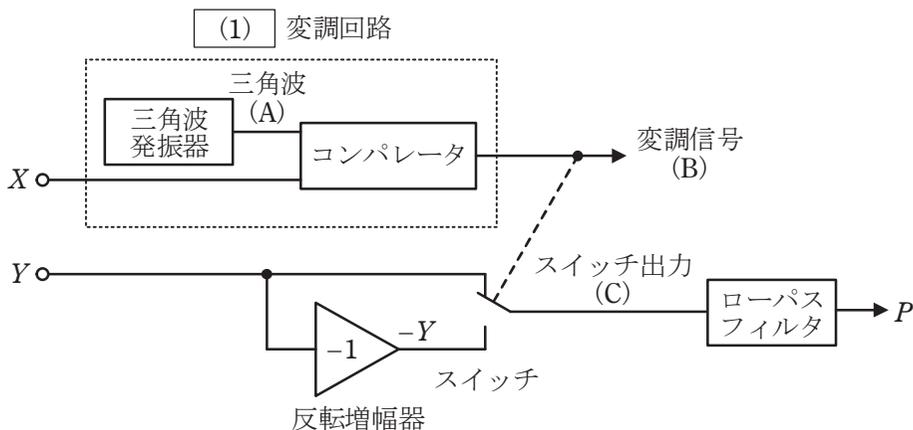


図1

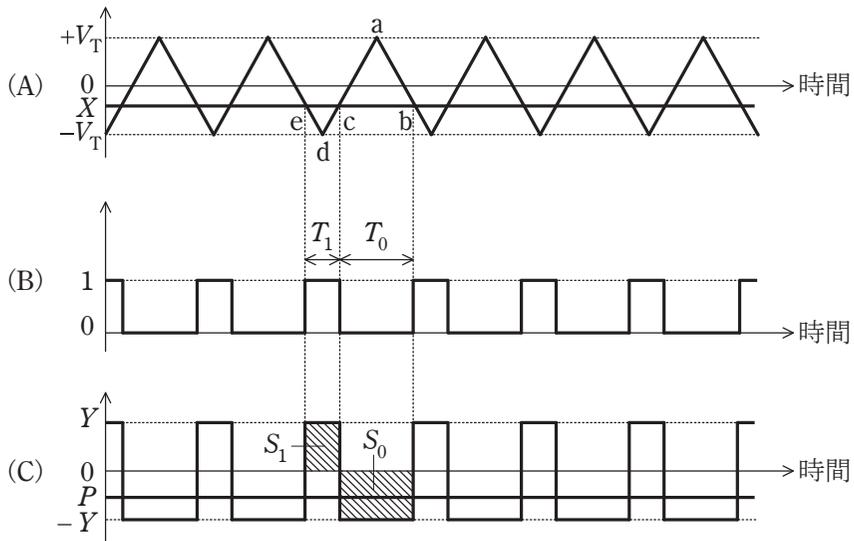


図 2

[問 3 の解答群]

- | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| (イ) $(T_1 + T_0)(T_1 - T_0)V_T$ | (ロ) $\frac{1}{V_T}$ | (ハ) $\frac{V_T + X}{V_T - X}$ |
| (ニ) $\frac{V_T - X}{V_T + X}$ | (ホ) $(V_T + X)(V_T - X)$ | (ヘ) 振幅 |
| (ヒ) V_T | (ト) 周波数 | (リ) $\frac{T_1 - T_0}{T_1 + T_0} V_T$ |
| (ス) $\frac{T_1 + T_0}{T_1 - T_0} V_T$ | (ル) $\frac{T_1 - T_0}{T_1 + T_0} Y$ | (レ) $(T_1 + T_0)(T_1 - T_0)Y$ |
| (ヲ) $2V_T$ | (カ) パルス幅 | (ヱ) $\frac{T_1 + T_0}{T_1 - T_0} Y$ |

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べ。

図に示す直流電圧源 E 、インダクタンス L のコイル、静電容量 C のコンデンサ、抵抗値 R の抵抗、スイッチからなる回路を考える。時刻 $t < 0$ でスイッチは開いており、コイルの磁束とコンデンサの電荷は零とする。 $t = 0$ でスイッチを閉じた。

$t \geq 0$ でのコイルの電流を $i(t)$ 、コンデンサの電圧を $v(t)$ とすると、回路図より $i(t)$ と $v(t)$ との間には次の関係式が成立する。

$$L \frac{d}{dt} i(t) = \text{} \dots\dots\dots \text{①}$$

$$C \frac{d}{dt} v(t) = \text{} \dots\dots\dots \text{②}$$

回路の初期条件と②式から $t = 0$ では $\left. \frac{d}{dt} v(t) \right|_{t=0} = \text{}$ である。

②式を微分した式に①式を代入すると $v(t)$ の二階の微分方程式が得られる。 $v(t)$ の過渡解が減衰振動となるのは、その特性多項式の根が共役複素根となるときであり、条件 (4) が成立するときである。

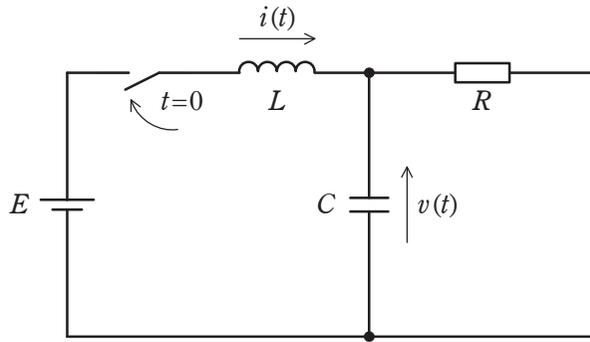
次に、 $t > 0$ で $v(t)$ が満たす不等式を導く。ここでは、詳細な導出は省略するが、①式と②式を利用して回路のエネルギー収支の式

$$\int_0^t E i(\tau) d\tau = \frac{1}{2} L [i(t)]^2 + \frac{1}{2} C [v(t)]^2 + \frac{1}{R} \int_0^t [v(\tau)]^2 d\tau$$

を変形してゆくと、以下の式が得られる。

$$C \left\{ E v(t) - \frac{1}{2} [v(t)]^2 \right\} = \frac{1}{2} C^2 L \left[\frac{d}{dt} v(t) \right]^2 + \frac{CL}{R} \int_0^t \left[\frac{d}{d\tau} v(\tau) \right]^2 d\tau \dots\dots\dots \text{③}$$

③式の右辺の符号に注意すると、左辺のコンデンサの電圧 $v(t)$ は $t > 0$ で不等式 (5) を満たすことが分かる。



[問4の解答群]

(イ) $\frac{1}{R^2} - \frac{4C}{L} > 0$

(ロ) $E + v(t)$

(ハ) $i(t) - \frac{2v(t)}{R}$

(ニ) $0 < v(t) < 2E$

(ホ) 0

(ヘ) $\frac{E}{CR}$

(ヒ) $i(t) - \frac{v(t)}{R}$

(ト) $-\frac{E}{CR}$

(リ) $E - v(t)$

(ヌ) $0 < v(t) < \frac{1}{2}E$

(ル) $i(t) + \frac{v(t)}{R}$

(レ) $-E < v(t) < E$

(ヘ) $\frac{1}{R^2} - \frac{4C}{L} < 0$

(ホ) $\frac{1}{R^2} - \frac{4C}{L} = 0$

(ロ) $2E - v(t)$

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の回路は、Y結線の対称三相電源にY結線の不平衡三相負荷が接続された不平衡三相回路である。不平衡負荷は、一つの誘導性負荷及び二つの等しい純抵抗負荷(電灯)から構成されている。ただし、誘導性負荷のリアクタンスは X_a 、抵抗負荷の抵抗値は R_b 、 R_c であり、 $X_a = R_b = R_c = R$ とする。

ここで、対称三相電源の相回転の順が $\dot{V}_a \rightarrow \dot{V}_b \rightarrow \dot{V}_c$ であるとき、以下の手順に従って、対称三相電源の相回転の順(相順)と電灯の明暗の関係を考察する。

図1の不平衡三相回路は、図2に示す等価回路に変換できる。ミルマンの定理より、図2の等価回路における中性点O-P間の電圧 \dot{V}_p は、

$$\dot{V}_p = \frac{\frac{\dot{V}_a}{jR} + \frac{\dot{V}_b}{R} + \frac{\dot{V}_c}{R}}{\frac{1}{jR} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \text{ } \dots\dots\dots \text{ (1) } \quad \text{①}$$

となる。ここで対称三相電源であることから、 $\dot{V}_b + \dot{V}_c = -\dot{V}_a$ の関係が成り立つので、①式の \dot{V}_p は、 \dot{V}_a を用いて、

$$\dot{V}_p = \text{ } \dots\dots\dots \text{ (2) } \quad \text{②}$$

と表すことができる。

図3は、相回転の順が $\dot{V}_a \rightarrow \dot{V}_b \rightarrow \dot{V}_c$ である対称三相電源のベクトル図を示したものであり、②式の \dot{V}_p を表すベクトルは図3の (3) である。

ここで、 $X_a = R_b = R_c = R$ であることに注意すれば、二つの電灯に流れる電流の大きさは $|\dot{V}_b - \dot{V}_p|$ と $|\dot{V}_c - \dot{V}_p|$ に比例する。また、図3のベクトル図より、 $|\dot{V}_b - \dot{V}_p|$ と $|\dot{V}_c - \dot{V}_p|$ の間には、 (4) の関係が成立する。したがって、二つの電灯 R_b と R_c の明るさの関係は、 (5) 。

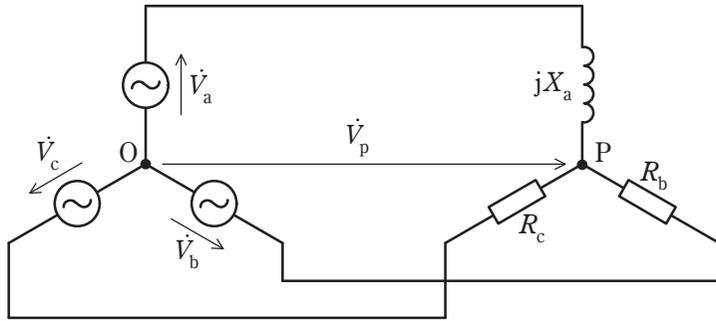


図1

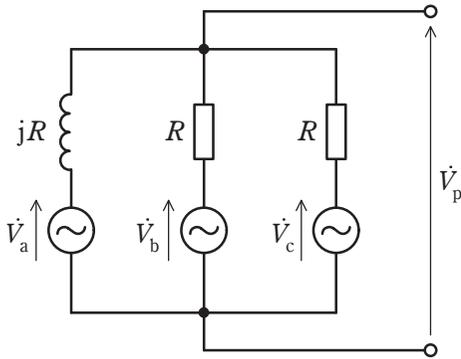


図2

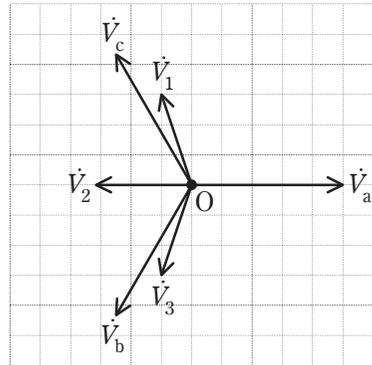


図3

[問5の解答群]

(イ) $\frac{j\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c}{2-j}$

(ロ) $|\dot{V}_b - \dot{V}_p| > |\dot{V}_c - \dot{V}_p|$

(ハ) \dot{V}_2

(ニ) $|\dot{V}_b - \dot{V}_p| < |\dot{V}_c - \dot{V}_p|$

(ホ) $\frac{-j\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c}{2-j}$

(ヘ) $-\frac{1-j3}{5}\dot{V}_a$

(ヒ) \dot{V}_3

(ト) $-\frac{1+j3}{5}\dot{V}_a$

(リ) $|\dot{V}_b - \dot{V}_p| = |\dot{V}_c - \dot{V}_p|$

(ヌ) $\frac{1+j3}{5}\dot{V}_a$

(ル) $\frac{-j\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c}{2+j}$

(レ) \dot{V}_1

(リ) 電灯 R_b が電灯 R_c よりも明るくなる

(ロ) 電灯 R_b が電灯 R_c よりも暗くなる

(ハ) 電灯 R_b と電灯 R_c は同じ明るさになる

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、電界効果トランジスタの原理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形半導体とp形半導体を、左からn-p-nの順に接合させた構造に対して、距離 d を隔てて平行に金属ゲート電極を配置する。n-p-n構造及びゲート電極の、紙面の奥行き方向の長さを W とする。p形半導体の長さを L とし、電極及びn形半導体中の抵抗は無視する。また、ゲート電極と半導体間の誘電率を ϵ とする。

図の回路において、 $V_D = 0$ とし、 $V_G > 0$ を印加した場合を考える。平行平板導体間の静電誘導によって、ゲート電極下面に正の面電荷密度 $+\sigma$ が、半導体側には負の面電荷密度 $-\sigma$ が誘起される。ただし、 $L \gg d$ 、 $W \gg d$ と仮定し、端部効果は無視する。ゲート電極と半導体間の電界の x 方向成分を E_x と定義すると、 σ は E_x と ϵ を用いて次のように表される。

$$\sigma = \text{} \dots\dots\dots \text{①}$$

半導体側に誘起される負の電荷は電子の流入によって生じるが、p形半導体には多数の正孔が存在するため、流入した電子は正孔との再結合で消滅する。表面における正孔の面電荷密度を $\frac{\epsilon}{d}V_{th}$ と仮定すると、p形半導体表面に誘起される電子の面電荷密度の大きさ σ_e は、 σ から正孔の面電荷密度を減じた大きさになる。すなわち、

$$\sigma_e = \sigma - \frac{\epsilon}{d}V_{th} \dots\dots\dots \text{②}$$

ただし、 V_{th} は、p形半導体表面の正孔を打ち消すのに必要な V_G に相当し、しきい値電圧と呼ばれる。

次に、 $V_G > 0$ 、 $V_D > 0$ の場合を考える。図に示す z 座標を用いてp形半導体表面の電位を $V_C(z)$ と定義する。位置 z における E_x は、 $V_C(z)$ 、 V_G 、 d を用いて次のように表される。

$$E_x = \text{} \dots\dots\dots \text{③}$$

②式に、①式、③式を代入すると、 σ_e は次のように表される。

$$\sigma_e = \frac{\epsilon}{d} \left(\text{} \right) \dots\dots\dots \text{④}$$

p形半導体表面に電子が誘起されている状況では、p形半導体表面がn形に反転していることから、構造全体としてn-n-n接合となり、 $V_D > 0$ の印加により、電流が流れる。面電荷密度 $-\sigma_e$ の電子が電界により平均速度 v でドリフト運動する場合の電流 i_D は、奥行き長さ W を考慮し、 $+z$ 方向を正として次のように表される。

$$i_D = -\sigma_e W v \dots\dots\dots ⑤$$

v は、電子の移動度 μ と、 z 方向の電界 E_z を用いて次のように表される。ただし、 μ は場所によらず一定とする。

$$v = -\mu E_z \dots\dots\dots ⑥$$

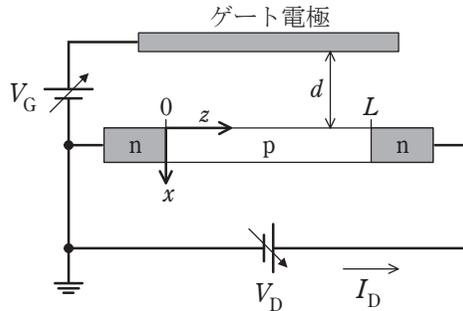
E_z は $V_C(z)$ を用いて次のように表される。

$$E_z = -\frac{\partial V_C(z)}{\partial z} \dots\dots\dots ⑦$$

⑤式に、④式、⑥式、⑦式を代入し、 $I_D = -i_D$ の関係を用いると、 I_D は次のように表される。

$$I_D = \frac{\varepsilon\mu W}{d} \left(\boxed{(3)} \right) \frac{\partial V_C(z)}{\partial z} \dots\dots\dots ⑧$$

定常状態では、電流の連続性から、 I_D は位置 z によらない定数となる。また、 V_{th} も z によらない定数であると仮定して、⑧式の両辺を $z=0$ から L まで z で積分すると、左辺の積分の値は $\boxed{(4)}$ となる。右辺の積分も実行して、 $V_C(0)=0$ 及び $V_C(L)=V_D$ を適用すると、 I_D は V_D の関数として $I_D = \boxed{(5)}$ のように表される。



[問6の解答群]

- | | | | |
|---|---|------------------------------|-----------------------------|
| (イ) $I_D L$ | (ロ) $\frac{d}{V_G - V_C(z)}$ | (ハ) εE_x | (ニ) $V_G - V_{th} - V_C(z)$ |
| (ホ) $\frac{I_D}{L}$ | (ヘ) $\frac{\varepsilon E_x}{2}$ | (ト) $2\varepsilon E_x$ | (フ) $V_G + V_{th} - V_C(z)$ |
| (リ) $\frac{V_G - V_C(z)}{d}$ | (セ) $\frac{I_D^2 L}{2}$ | (ル) $\frac{V_G + V_C(z)}{d}$ | (七) $V_G - V_{th} + V_C(z)$ |
| (リ) $\frac{\varepsilon\mu WL}{2d} [2(V_G - V_{th})V_D - V_D^2]$ | (カ) $\frac{\varepsilon\mu W}{2dL} [2(V_G - V_{th})V_D - V_D^2]$ | | |
| (ヨ) $\frac{\varepsilon\mu W}{2dL} [2(V_G - V_{th})V_D + V_D^2]$ | | | |

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、エミッタ接地増幅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。ただし、npn トランジスタの直流等価回路は図1で表せるとする。図2及び図3に示すエミッタ接地増幅回路はいずれも入力電圧を加えない状態($v_{in}=0$)とし、そのバイアス電流及び電圧について考える。

図2の回路において、トランジスタのベース・エミッタ間電圧 V_{BE} を用いてベース電流を求め、トランジスタの直流における電流増幅率 h_{FE} を用いてコレクタ電流を求めると (1) が得られる。このため、図2のコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} は (2) となる。

一方、図3のベース電流はコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} を用いて (3) と表せる。 $I_B \ll I_C$ のとき R_C を流れる電流は I_C と近似できることを用いて、図3のコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} を求めると (4) となる。

以上の結果を用いて、 $V_{CC}=20\text{V}$ 、 $V_{BE}=0.6\text{V}$ 、 $R_C=1\text{k}\Omega$ 、 $h_{FE}=200$ であるとき図2及び図3において $V_{CE}=10\text{V}$ となるように R_B を定める。図2の R_B は $388\text{k}\Omega$ となり、図3の R_B は (5) $\text{k}\Omega$ となる。この状態でそれぞれの回路の h_{FE} が200から220に変化したとき、図2の V_{CE} は 9.0V となるのに対して、図3の V_{CE} はおおよそ (6) V となるため、図3の方が h_{FE} の変動がバイアス電位に与える影響を抑えることができる構成といえる。

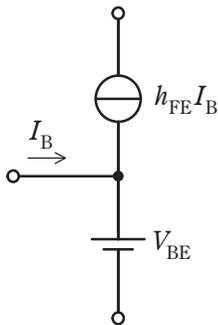


図1

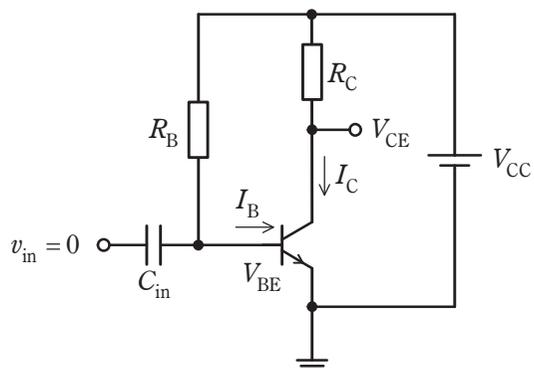


図2

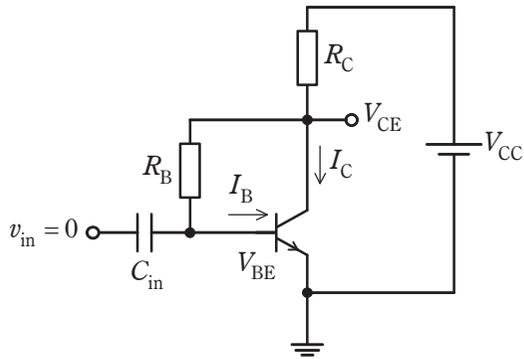


図 3

[問 7 の解答群]

(イ) 9.24

(ロ) 9.54

(ハ) 9.84

(ニ) 88

(ホ) 188

(ヘ) 288

(ト) $\frac{V_{CE}}{R_C}$

(チ) $R_C \frac{h_{FE}(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + h_{FE}R_C}$

(リ) $V_{CC} - h_{FE} \frac{R_C}{R_B} V_{BE}$

(ツ) $\frac{V_{CE} - V_{BE}}{R_B}$

(ル) $\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$

(レ) $\frac{V_{BE} - V_{CE}}{R_B}$

(ヲ) $h_{FE} \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$

(ヲ) $h_{FE} \frac{R_C}{R_B} (V_{CC} - V_{BE})$

(ヱ) $h_{FE} \frac{V_{CE} - V_{BE}}{R_B}$

(ヲ) $V_{CC} - R_C \frac{h_{FE}(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + h_{FE}R_C}$

(ヅ) $V_{CC} - h_{FE} \frac{R_C}{R_B} (V_{CC} - V_{BE})$

(ヅ) $V_{CC} - R_C \frac{h_{FE}V_{BE}}{R_B + h_{FE}R_C}$