平成 23 年度

第 1 種

理　　　論

（第 1 時限目）

第 1 種

理　　　　論

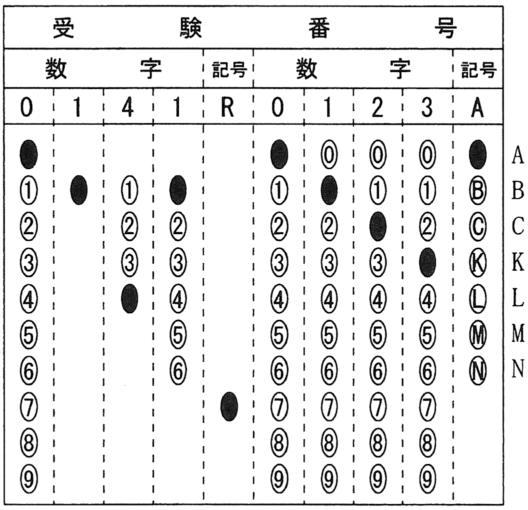
答案用紙記入上の注意事項

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（又はＢ）のしん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：０１４１Ｒ０１２３Ａの場合）



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。

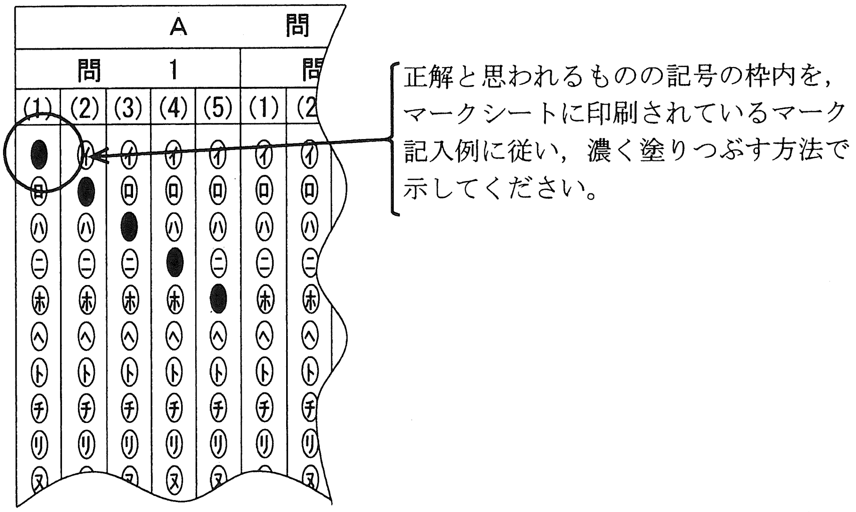
4．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

５．解答は，マークシートの問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。**

（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。**

第 1 種

理　　　論

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，相互インダクタンスに関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図のような，直線状の無限長導体に流れる電流と正三角形状の導体ABCに流れる電流を考える。ここで，辺 AC は無限長導体と平行で，無限長導体との距離を a，頂点Bの無限長導体との距離を b，正三角形の一辺の長さを l とする。このとき，二つの導体間の相互インダクタンスを求めたい。なお，無限長導体と正三角形状の導体ABCは同一平面上に存在し，導体の太さは無視できるものとする。

三角形ABCは正三角形で，辺 AC は無限長導体と平行であるから，b を a 及び l で表すと，次式となる。

$$b = \boxed{(1)}$$

また，辺 AB 及び辺 BC 上に，無限長導体から距離 $x(a \leqq x \leqq b)$ の位置の点 A′ 及び C′ を考えると，線分 A′C′ の長さ l' は，次式で表される。

$$l' = \boxed{(2)}$$

これより，無限長導体に流れる電流 I による磁束のうち，図中の斜線部分（長さ l'，幅 $\mathrm{d}x$）に鎖交する磁束 $\mathrm{d}\Phi$ は次式で表される。ここで，空間の透磁率を μ_0 とする。

$$\mathrm{d}\Phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\left(\boxed{(3)}\right)\mathrm{d}x$$

これを x について a から b まで積分することで，無限長導体に流れる電流が作る磁束のうち，正三角形ABCの内部に鎖交する磁束 Φ は次式で与えられる。

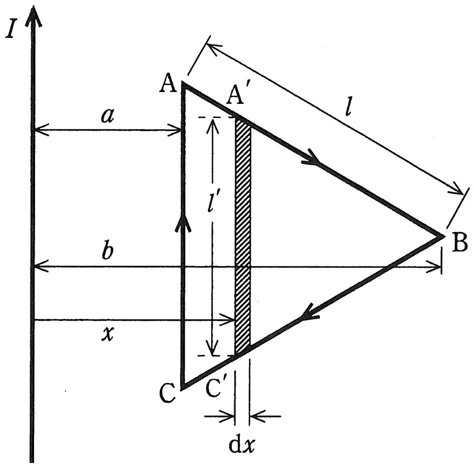
$$\Phi = \int_a^b \frac{\mu_0 I}{2\pi}\left(\boxed{(3)}\right)\mathrm{d}x = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\left(\boxed{(4)}\right)$$

相互インダクタンス M は，Φ と I を用いた定義式

$$M = \boxed{(5)}$$

より，求めることができる。

●F1－R004



〔問１の解答群〕

(イ) $\left(l+\dfrac{2}{\sqrt{3}}a\right)\ln\left(1+\dfrac{\sqrt{3}l}{2a}\right)-l$　(ロ) $\dfrac{2}{\sqrt{3}}-\dfrac{2a}{\sqrt{3}x}$　(ハ) $\dfrac{1}{x^2}\left(l-\dfrac{2}{\sqrt{3}}x+\dfrac{2}{\sqrt{3}}a\right)$

(ニ) $\dfrac{\sqrt{3}l}{2}\left(l+\dfrac{2}{\sqrt{3}}a-\dfrac{2}{\sqrt{3}}x\right)$　(ホ) $a+\dfrac{\sqrt{3}}{2}l$　(ヘ) $\dfrac{1}{x}\left(l+\dfrac{2}{\sqrt{3}}a\right)-\dfrac{2}{\sqrt{3}}$

(ト) $\dfrac{1}{2}\Phi I^2$　(チ) $\dfrac{2}{\sqrt{3}}a+l$　(リ) ΦI

(ヌ) $l-\dfrac{2}{\sqrt{3}}(x-a)$　(ル) $\dfrac{2}{\sqrt{3}}(x-a)$　(ヲ) $a+\dfrac{1}{2}l$

(ワ) $\left(l+\dfrac{2}{\sqrt{3}}a\right)\ln\left(1+\dfrac{\sqrt{3}l}{2a}\right)-\dfrac{l}{\sqrt{3}}$　(カ) $\dfrac{\Phi}{I}$　(ヨ) $\dfrac{al}{x}$

問2　次の文章は，直流回路に関する記述である。文中の $\boxed{\quad\quad}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図 1 に示す平衡条件を満たすブリッジ回路において，抵抗 R_2 に抵抗 $3R_2$ を直列又は並列に接続したときに，電流計に流れる電流を補償定理を使って求めてみよう。ただし，E は直流電圧源の大きさであり，電圧源と電流計の内部抵抗は無視できるものとする。

図 1 では電流計には電流は流れていない。したがって，題意の電流を求めるとき，$3R_2$ を接続したことによる変化分を考えればよい。

補償定理によれば，$3R_2$ を直列に接続したことによる電流の変化分は，図 2 に示す回路で計算できる。R_2 と $3R_2$ に接続される電圧源の大きさ E' は $\boxed{\quad(1)\quad}$ となるから，電流計に流れる電流 I_1 は $\boxed{\quad(2)\quad}$ となる。

同様に，R_2 と並列に $3R_2$ を接続したときに電流計に流れる電流 I_2 は，図 3 に示す回路で計算できる。R_2 に $3R_2$ を並列に接続したことによる R_2 に対する抵抗の変化分の絶対値は $\boxed{\quad(3)\quad}$ となる。したがって，電圧源の大きさ E'' は $\boxed{\quad(4)\quad}$ となり，I_2 は $\boxed{\quad(5)\quad}$ となる。

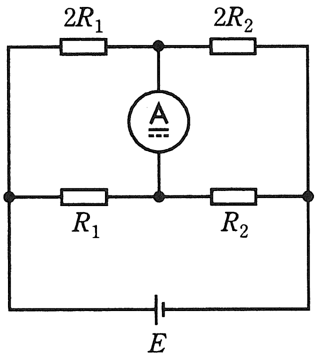


図 1

●F1－R006

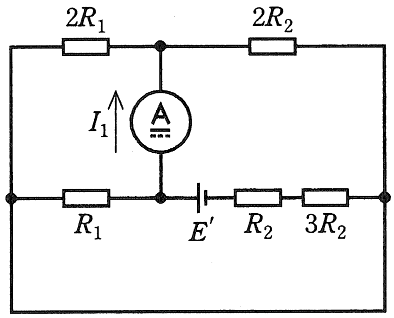


図 2

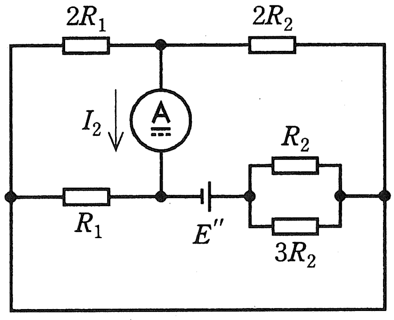


図 3

〔問 2 の解答群〕

(イ) $\dfrac{E}{11R_1+9R_2}$　(ロ) $\dfrac{E}{16R_1+12R_2}$　(ハ) $\dfrac{E}{R_1+2R_2}$

(ニ) $\dfrac{3R_2}{R_1+4R_2}E$　(ホ) $\dfrac{E}{2R_1+4R_2}$　(ヘ) $\dfrac{E}{8R_1+6R_2}$

(ト) $\dfrac{R_2E}{2R_1+4R_2}$　(チ) $\dfrac{R_2}{4}$　(リ) $\dfrac{3}{4}E$

(ヌ) $\dfrac{3R_2}{R_1+R_2}E$　(ル) $2R_2$　(ヲ) $\dfrac{3R_2}{4}$

(ワ) $\dfrac{R_2E}{11R_1+9R_2}$　(カ) $\dfrac{2R_2E}{R_1+R_2}$　(ヨ) $\dfrac{R_2E}{4(R_1+R_2)}$

問3　次の文章は，三相回路に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図に示すように，抵抗 R，容量性リアクタンス X，誘導性リアクタンス X からなる不平衡三相負荷と二つの単相電力計1と2を接続した回路がある。ただし，単相電力計は理想的とする。

端子 a，b，c に相回転が abc の順で線間電圧 V の対称三相電圧を印加した。このとき，$\dot{V}_{ab}$ を基準（$\dot{V}_{ab}=V\angle 0°$）とすると線電流 $\dot{I}_a$，$\dot{I}_b$，$\dot{I}_c$ はそれぞれ

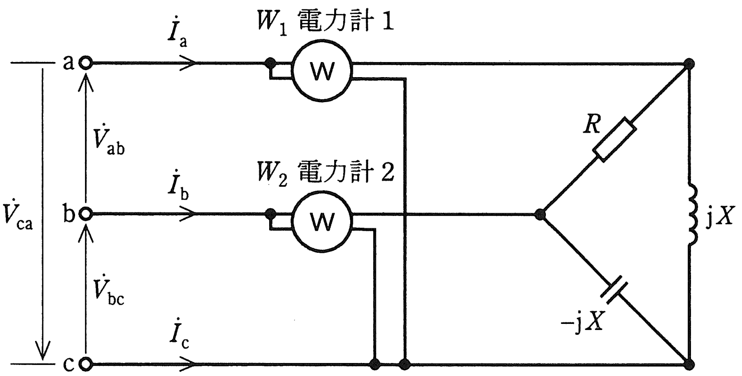
$\dot{I}_a = \boxed{(1)}$

$\dot{I}_b = \boxed{(2)}$

$\dot{I}_c = \boxed{(3)}$

となる。

次に，抵抗 R を変化させ，R を $\boxed{(4)}$ にしたところ，対称三相の線電流 $\dot{I}_a$，$\dot{I}_b$，$\dot{I}_c$ が流れた。このとき，電力計1，2の指示 W_1，W_2 は $\boxed{(5)}$ となる。



●F1－R008

〔問３の解答群〕

(イ) $\sqrt{3}X$

(ロ) $\left[\left(\frac{1}{R}-\frac{\sqrt{3}}{2X}\right)-\mathrm{j}\frac{1}{X}\right]V$

(ハ) $\left[-\left(\frac{1}{R}-\frac{\sqrt{3}}{2X}\right)-\mathrm{j}\frac{1}{2X}\right]V$

(ニ) $\frac{1}{\sqrt{3}}X$

(ホ) $\left[\left(\frac{1}{R}-\frac{\sqrt{3}}{2X}\right)+\mathrm{j}\frac{1}{2X}\right]V$

(ヘ) $\frac{2}{\sqrt{3}}X$

(ト) $\left[-\left(\frac{1}{R}-\frac{\sqrt{3}}{2X}\right)+\mathrm{j}\frac{1}{2X}\right]V$

(チ) $-\mathrm{j}\frac{1}{X}V$

(リ) $W_1=\frac{\sqrt{3}}{2X}V^2$, $W_2=\frac{\sqrt{3}}{2X}V^2$

(ヌ) $\left[-\left(\frac{1}{R}-\frac{\sqrt{3}}{2X}\right)-\mathrm{j}\frac{1}{X}\right]V$

(ル) $W_1=\frac{2\sqrt{3}}{X}V^2$, $W_2=-\frac{\sqrt{3}}{X}V^2$

(ヲ) $\left[\left(\frac{1}{R}-\frac{\sqrt{3}}{2X}\right)-\mathrm{j}\frac{1}{2X}\right]V$

(ワ) $\mathrm{j}\frac{1}{X}V$

(カ) $W_1=\frac{\sqrt{3}}{X}V^2$, $W_2=0$

(ヨ) $\mathrm{j}\frac{1}{2X}V$

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 $\boxed{}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図１(a)の方形パルス電圧 $e(t)$（パルス幅 a，大きさ E_0）を図１(b)に示す抵抗 R とインダクタンス L の直列回路に加えたときに流れる電流 $i(t)$ をラプラス変換によって求め，その波形の概略を描きたい。ただし，回路の初期電流は零とする。

図１(b)よりキルヒホッフの電圧則に従って回路方程式を求め，これをラプラス変換すると $\boxed{(1)}$ が得られる。ただし，$I(s)=\mathcal{L}[i(t)]$，$E(s)=\mathcal{L}[e(t)]$（$\mathcal{L}[\ ]$は，ラプラス変換を表す。）とする。次に，$e(t)$は単位ステップ関数 $u(t)$ を用いて表すことができ，これをラプラス変換すると $E(s)=\boxed{(2)}$ となる。これを式 $\boxed{(1)}$ に代入し，$I(s)$を求めると $\boxed{(3)}$ となる。以上より，$I(s)$を部分分数に展開し，逆ラプラス変換を行うことにより $i(t)$は $\boxed{(4)}$ と求められる。

一例として，$R=1$〔Ω〕，$L=100$〔mH〕，$E_0=10$〔V〕，$a=1$〔s〕として，この波形の概略を描くと $\boxed{(5)}$ となる。

なお，$\mathcal{L}[f(t)]=F(s)$とすると，次の関係が成り立つ。

$\mathcal{L}[f(t-\alpha)]=F(s)\mathrm{e}^{-\alpha s}$

$\mathcal{L}[f(t)\mathrm{e}^{\beta t}]=F(s-\beta)$

ただし，$\alpha>0$，$f(t)=0$（$t<0$）とする。

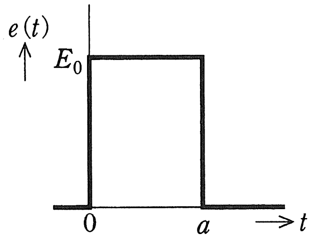


図 1(a)

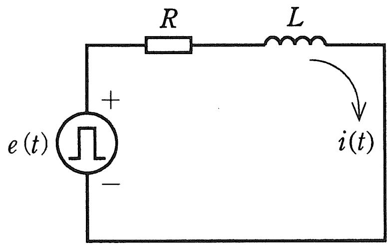


図 1(b)

●F1−R010

〔問４の解答群〕

(イ) $I(s)=\dfrac{E(s)}{R}+\dfrac{E(s)}{sL}$

(ロ) $\dfrac{E_0}{R}\left[\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t}\right)u(t)-\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}(t-a)}\right)u(t-a)\right]$

(ハ) $E(s)=RI(s)-sLI(s)$

(ニ) $\dfrac{E_0}{R}\left[\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{L}{R}t}\right)u(t)-\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{L}{R}(t-a)}\right)u(t-a)\right]$

(ホ) $\dfrac{E_0}{s}(1-\mathrm{e}^{-as})$

(ヘ) $\dfrac{E_0}{R}\left[(1-\mathrm{e}^{-RLt})u(t)-(1-\mathrm{e}^{-RL(t-a)})u(t-a)\right]$

(ト) $\dfrac{E_0(1-\mathrm{e}^{-as})}{Ls\left(s+\dfrac{R}{L}\right)}$

(チ) $E_0(1-\mathrm{e}^{-as})$

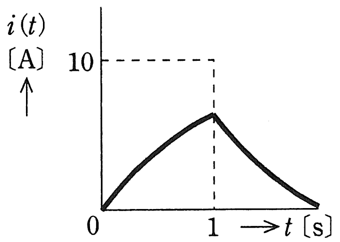
(リ) $\dfrac{E_0(1-\mathrm{e}^{-as})}{s\left(s+\dfrac{R}{L}\right)}$

(ヌ) $\dfrac{E_0}{s}$

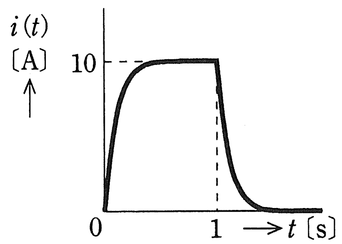
(ル) $E(s)=RI(s)+sLI(s)$

(ヲ) $\dfrac{E_0(1-\mathrm{e}^{-as})}{L\left(s+\dfrac{R}{L}\right)}$

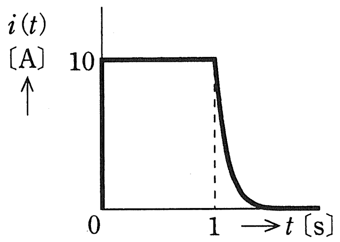
(ワ)



(カ)



(ヨ)



B問題（配点は1問題当たり20点）

問5　次の文章は，静電容量と接地抵抗に関する記述である。文中の $\boxed{}$ 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1で示すように，半径 a の導体球の周囲は，誘電率 ε の一様な誘電体で満たされている。導体球は電荷 $+Q$ に帯電している。球の周囲の電界 $\boldsymbol{E}$ は，球の中心からの距離を $r(r>a)$ とすると， $\boxed{(1)}$ であり，無限遠を零としたときの導体球の電位 V は $\boxed{(2)}$ と求められるから，無限遠と導体球間の静電容量 C は $\boxed{(3)}$ である。これらの式の導出は，以下の三つの基本式

$$Q=CV \qquad Q=\int_S \boldsymbol{D}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} \qquad \boldsymbol{D}=\varepsilon\boldsymbol{E}$$

のもとに導出される結果である。ただし，$\boldsymbol{D}$ は電束密度ベクトル，$\boldsymbol{E}$ は電界ベクトルであり，導体球を囲む任意の閉曲面 S 上の面素ベクトルを $\mathrm{d}\boldsymbol{S}$ とする。

次に，図2に示すように，導体球の周囲が導電率 σ の一様な抵抗体で満たされているとすると，抵抗体には以下の三つの基本式が成り立つ。

$$V=RI \qquad I=\int_S \boldsymbol{J}\cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} \qquad \boldsymbol{J}=\sigma\boldsymbol{E}$$

ただし，R は抵抗，I は電流，$\boldsymbol{J}$ は電流密度ベクトルである。これらの基本式の相似性から，無限遠と導体球間の抵抗 R は $\boxed{(4)}$ と求めることができる。

この結果より，導電率 2.0×10^{-2}〔S/m〕の大地表面に図3のように半径1.25〔m〕の導体半球電極を埋め込んだときの接地抵抗は $\boxed{(5)}$〔Ω〕である。半球の場合，有効な表面積は半分になることに注意せよ。

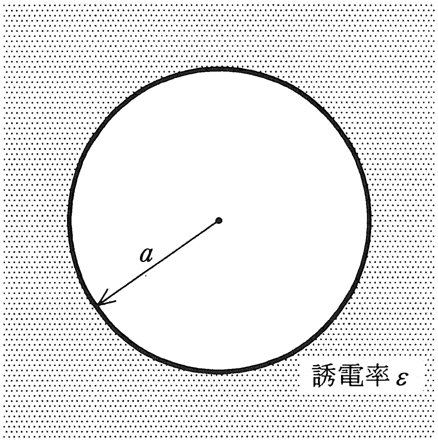


図 1

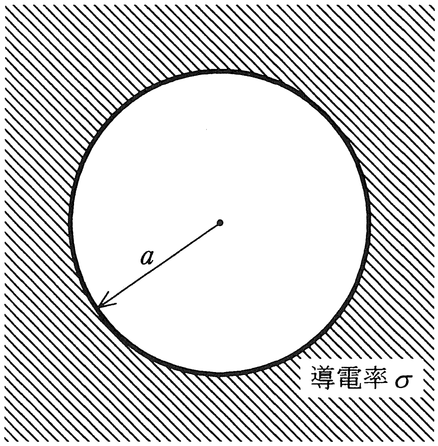


図 2

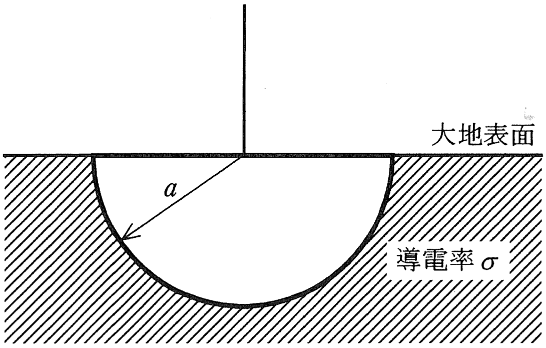


図 3

〔問5の解答群〕

(イ) $\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon a}$　　(ロ) $\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon}\ln\dfrac{r}{a}$　　(ハ) $4\pi\varepsilon a$

(ニ) 6.4　　(ホ) $4\pi\sigma a$　　(ヘ) $\dfrac{1}{4\pi\sigma a}$

(ト) $2\pi\varepsilon\ln\dfrac{r}{a}$　　(チ) $\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon r}$　　(リ) $\dfrac{1}{2\pi\sigma a}$

(ヌ) $\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon r^2}$　　(ル) $2\pi\varepsilon a$　　(ヲ) 3.2

(ワ) $\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon r^2}$　　(カ) 0.16　　(ヨ) $\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon a}$

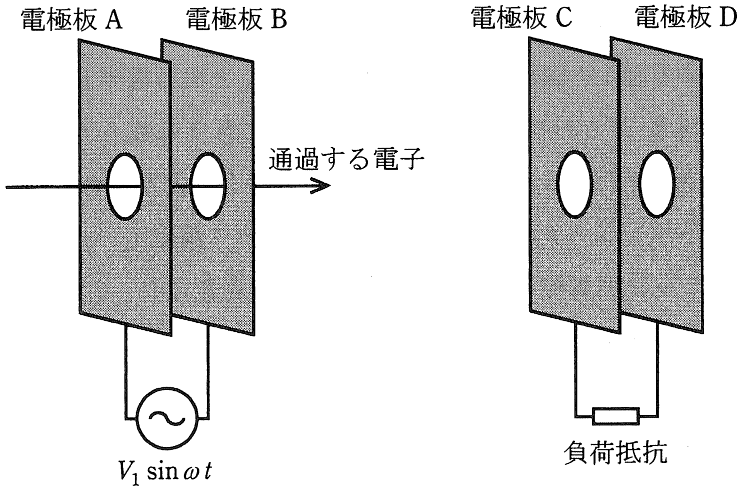
問６及び問７は選択問題です。問６又は問７のどちらかを選んで解答してください。（両方解答すると採点されませんので注意してください。）

（選択問題）

問６　次の文章は，クライストロンと呼ばれるマイクロ波真空管に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

単位電荷を q，電子の質量を m とすると，エネルギー qV_0 をもって一様な速度で一方向に進む電子ビームの速度は，$v_0 = \sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$ で表される。この電子ビームが，図のように，穴が空いた 2 枚の電極板 A，B の間を通過する。2 枚の電極板 A−B 間に $V_1 \sin\omega t$ の交流電圧が印加されているとする。電極板 A−B 間を通過する時間が，交流電圧の周期に対して無視できるほど短いとすると，電子の速度は 2 枚の電極板を通過した後に $\boxed{(1)}$ となる。したがって，電子ビームが速度変調される。交流電圧の振幅 V_1 は上記の V_0 より十分小さいと仮定し，(注)に示した近似式を用いると，電極板 B を通過後の電子の速度は $\boxed{(2)}$ となる。ここで，電極板 B を出たあとも電子が走行を続けるとすると，一番遅い電子に一番速い電子が追いつく集群が起こる。電子同士の反発などは無視すると，一番遅い電子が電極板 B を出てから次の速い電子がそこを出るまでの時間 $\varDelta t$ は $\boxed{(3)}$ である。遅い電子が出てから時間 t が経ったところで最初の集群が起こるとしよう。集群を起こしたところの位置では遅い電子の走行距離と速い電子の走行距離が等しいことから $\boxed{(4)}$ という $\varDelta t$ を用いた関係が導出できる。さらに $\varDelta t$ と $\dfrac{V_1}{V_0}$ の積は微小で無視できるとすると，集群の起こる位置の電極板 B からの距離は $\boxed{(3)}$ を用いて $\boxed{(5)}$ と近似できる。図のように，集群する位置に穴が空いた 2 枚の電極板 C，D を置いて，その間に負荷抵抗を挿入し発生する誘導電流を取り出すと，集群して電子密度の濃くなった部分と薄くなった部分が繰り返し通過することから，時間変化する電流が取り出せる。

(注) $\sqrt{1+x} \fallingdotseq 1+\dfrac{x}{2}$（ただし，$|x| \ll 1$）



〔問６の解答群〕

(イ) $\sqrt{\dfrac{2q(V_0+V_1\sin\omega t)}{m}}$

(ロ) $\dfrac{\pi}{2\omega}$

(ハ) $\dfrac{\pi}{2\omega}\cdot\dfrac{V_0}{V_1}v_0$

(ニ) $v_0\left(1+\dfrac{V_1}{2V_0}\right)(t-\Delta t)=v_0\left(1-\dfrac{V_1}{2V_0}\right)t$

(ホ) $v_0(t-\Delta t)=v_0\left(1-\dfrac{V_1}{2V_0}\right)t$

(ヘ) $v_0\left(1+\dfrac{2V_1}{V_0}\sin\omega t\right)$

(ト) $\dfrac{\pi}{\omega}\cdot\dfrac{V_0}{V_1}v_0$

(チ) $\sqrt{\dfrac{q(V_0+V_1\sin\omega t)}{2m}}$

(リ) $\sqrt{\dfrac{q(V_0+V_1\sin\omega t)}{m}}$

(ヌ) $\dfrac{2\pi}{\omega}$

(ル) $\dfrac{\pi}{\omega}$

(ヲ) $v_0\left(1+\dfrac{V_1}{2V_0}\sin\omega t\right)$

(ワ) $\dfrac{2\pi}{\omega}\cdot\dfrac{V_0}{V_1}v_0$

(カ) $v_0\left(1+\dfrac{V_1}{V_0}\sin\omega t\right)$

(ヨ) $v_0\left(1+\dfrac{V_1}{2V_0}\right)(t-\Delta t)=v_0 t$

（選択問題）

問７　次の文章は，同一特性を有する４個のバイポーラトランジスタを用いた直流で動作する図１の回路について，入力電流 I_{in} と出力電流 I_{out} の関係を求める過程に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。ただし，直流電圧源 V_{CC} の値は十分大きいものとする。また，バイポーラトランジスタのコレクタ電流 I_C，ベース電流 I_B，エミッタ電流 I_E，ベース･エミッタ間電圧 V_{BE} は図２のとおりに定義され，I_B は零，I_E は I_C に等しく，I_C は熱電圧 V_T，逆方向飽和電流 I_S によって，

$$I_C = I_S \, e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \quad \cdots\cdots ①$$

と表されるものとする。

図１の回路において，i 番目($i = 1 \sim 4$)のバイポーラトランジスタ Q_i のベース･エミッタ間電圧を V_{BEi}，コレクタ電流を I_{Ci} とすると，四つのベース･エミッタ間電圧 $V_{BE1} \sim V_{BE4}$ の間には

$\boxed{(1)}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ②

という関係が成り立つ。①式から V_{BEi} を I_{Ci} と V_T，I_S で表すと

$\boxed{(2)}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ③

となる。この式を②式に代入すると，四つのコレクタ電流 $I_{C1} \sim I_{C4}$ の間の関係として

$\boxed{(3)}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ④

が得られる。Q_1 と Q_2 のコレクタ電流が I_{in}，Q_3 のコレクタ電流が $\boxed{(4)}$ ，Q_4 のコレクタ電流が I_{out} であることから，I_{out} は

$\boxed{(5)}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ⑤

となる。

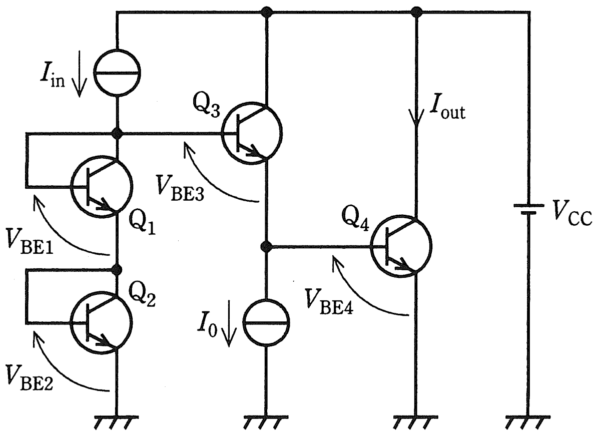


図 1

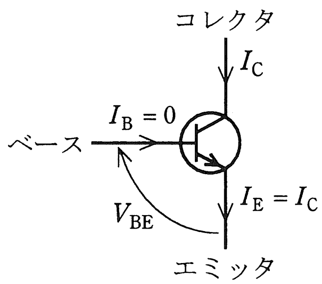


図 2

〔問 7 の解答群〕

(イ) I_{in}　　(ロ) $I_{C1}I_{C2} = I_{C3}I_{C4}$　　(ハ) $V_{BEi} = V_T \ln\left(\frac{I_S}{I_{Ci}}\right)$

(ニ) $I_{out} = \sqrt{I_{in}I_0}$　　(ホ) $V_{BEi} = V_T \frac{I_S}{I_{Ci}}$　　(ヘ) I_0

(ト) $I_{out} = I_{in}$　　(チ) $V_{BE1} + V_{BE2} = V_{BE3} + V_{BE4}$

(リ) $\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{I_{C3}}{I_{C4}}$　　(ヌ) $I_{out} = \frac{{I_{in}}^2}{I_0}$　　(ル) I_{out}

(ヲ) $I_{C1}I_{C3} = I_{C2}I_{C4}$　　(ワ) $V_{BE1} - V_{BE2} = V_{BE3} - V_{BE4}$

(カ) $V_{BEi} = V_T \ln\left(\frac{I_{Ci}}{I_S}\right)$　　(ヨ) $V_{BE1} + V_{BE3} = V_{BE2} + V_{BE4}$