令和 4 年度

第 1 種

理　論

（第 1 時限目）

第　１　種

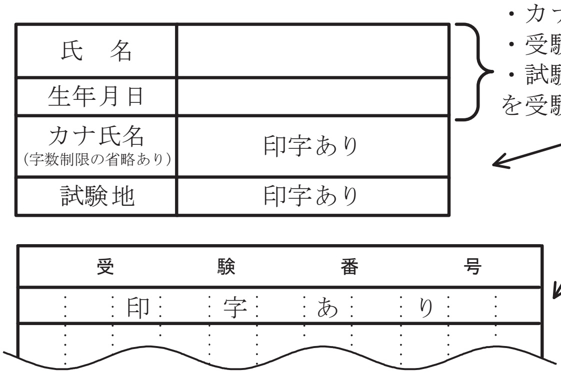
理　　　　　論

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。



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。

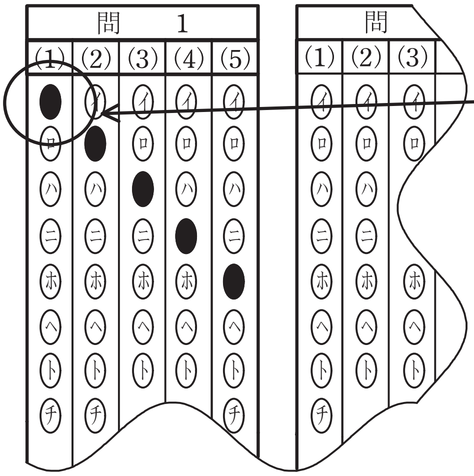
４．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

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 $\boxed{(1)}$ 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）



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]）

（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，複素数を用いて 2 次元の電界を解析的に求める手法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べ。

図 1 のように，$z=x+\mathrm{j}y$ で表される複素平面上で，$y=0$，$x \geqq 0$ で記述される原点が端で無限に長く細い電極に電圧が印加されているとき，等角写像法を用いて平面上の電界及び電位を解析的に求めることができる。

等角写像法では，電気力線と等電位線が既知である別の複素平面 $w=u+\mathrm{j}v$ を考え，z に写像する写像関数 $z=f(w)$ を与える。$f(w)$ が連続で微分可能であれば，電気力線と等電位線が $\boxed{(1)}$ という関係が，写像を行っても保たれる。

ここで，図 2 のように，複素平面 w の $v \geqq 0$ の範囲において，u 軸上に置かれた無限に長い電極は，$f(w)=w^2$ により，$x+\mathrm{j}y=(u+\mathrm{j}v)^2$ の関係が成り立つことより，z 上において図 1 に示す電極に写像される。w には，u 軸と平行に等電位線が，v 軸と平行に電気力線が構成されるので，それらを z 上に写像すれば z 上での等電位線と電気力線が解析的に求められることになる。

例えば，図 3 において $v=1$ の式で表される等電位線は，z 上では $\boxed{(2)}$ の式で表される。また，$u=0$ 及び $u=1$ の式で表される 2 本の電気力線は，z 上ではそれぞれ $\boxed{(3)}$ 及び $\boxed{(4)}$ の式で表される。ただし，各図において，実線の矢印は電気力線，破線は等電位線を表す。

これらのことにより，図 3 に描かれた電気力線と等電位線を z 上に写像すると $\boxed{(5)}$ の図が得られる。

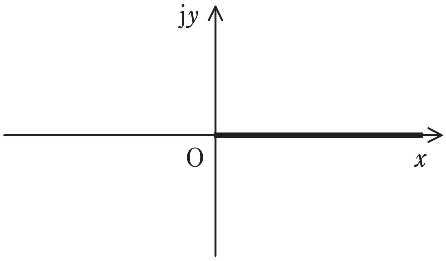


図1

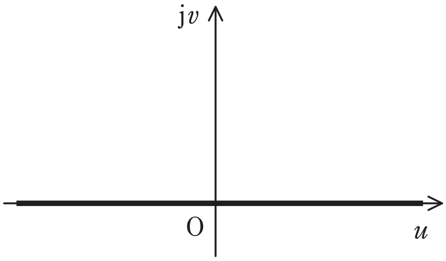


図2

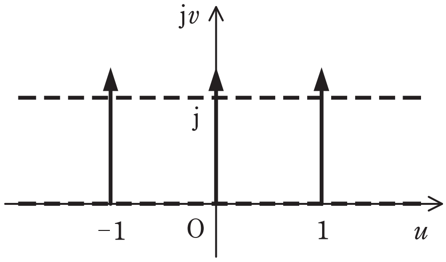


図3

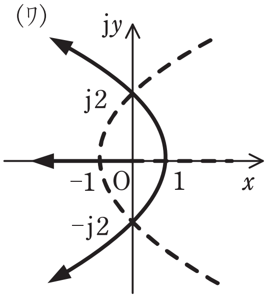
〔問１の解答群〕

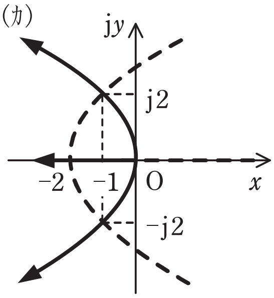
(イ) １点に収束する　(ロ) $x=\left|y\right|-2$　(ハ) $x=-\left|y\right|+2,\ y\geqq 0$

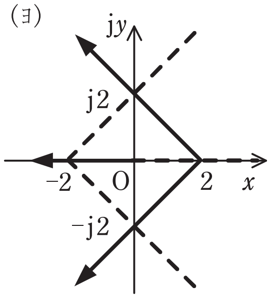
(ニ) $x=\dfrac{y^2}{4}-1$　(ホ) $x=1-\dfrac{y^2}{4},\ y\geqq 0$　(ヘ) $x=-\dfrac{y^2}{4},\ y\geqq 0$

(ト) $y=0,\ x\leqq -1$　(チ) $x=\dfrac{y^2}{4}-2$　(リ) $y=0,\ x\leqq 0$

(ヌ) 直交する　(ル) $x=-\left|y\right|$　(ヲ) 交わらない

(ワ)


(カ)


(ヨ)


問２　次の文章は，電磁誘導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べ。ただし，$\boldsymbol{E}$，$\boldsymbol{B}$ はそれぞれ電界ベクトル及び磁束密度ベクトルを表す。

一般に，空間に固定されたループ(閉曲線)C に発生する起電力 V は，

$$V = \oint_C \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \quad \cdots\cdots ①$$

と表される。ここで，$\mathrm{d}\boldsymbol{l}$ はループに沿った線素ベクトルである。$\boxed{(1)}$ の定理を適用すると，①式は，

$$V = \int_S (\nabla \times \boldsymbol{E}) \cdot \boldsymbol{n}\,\mathrm{d}S \quad \cdots\cdots ①'$$

と変形できる。ただし，S はループ C に囲まれた面，$\boldsymbol{n}$ はその面の単位法線ベクトル，$\mathrm{d}S$ は面素である。磁束密度 $\boldsymbol{B}$ が時間 t に応じて変化する場合には，マクスウェル方程式

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = \boxed{(2)} \quad \cdots\cdots ②$$

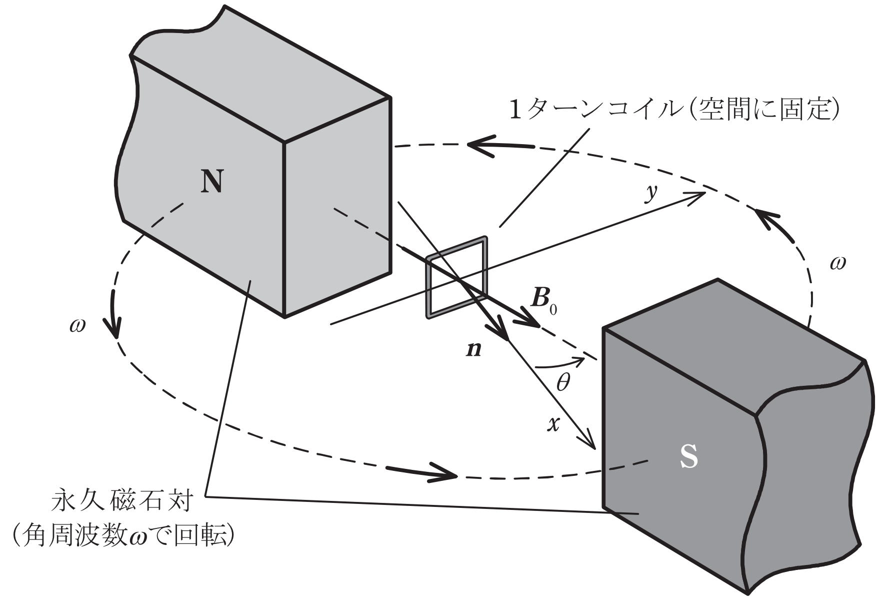
を①'式に代入し，面 S を貫く磁束は $\Phi = \int_S \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{n}\,\mathrm{d}S$ と表せることを用いると，

$$V = \boxed{(3)} \quad \cdots\cdots ①''$$

のようにファラデーの法則が得られる。

図のように，座標原点を中心として対向する永久磁石が形成する一様な磁束密度 B_0 の中に，一辺の長さが a の正方形状の１ターンコイルが設置されており，コイル面の法線ベクトルは x 軸の方向を向いている。永久磁石対は座標原点を中心として xy 平面内を角速度 ω で回転しており，磁界と x 軸とのなす角は $\theta = \omega t$ と表される。このとき，磁束密度のコイル面法線方向成分は $\boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{n} = \boxed{(4)}$ となるので，上記の関係式を用いてコイルに発生する交流起電力を求めることができる。

例えば，1 T の磁束密度を発生する永久磁石対が毎分 3 000 回転している場合を考えると，一辺の長さ $a = 10$ cm の正方形状の１ターンコイルに発生する交流起電力の振幅はおよそ $\boxed{(5)}$ V となる。



〔問2の解答群〕

(イ) $B_0 \sin\omega t$	(ロ) $\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B}$	(ハ) $B_0 \cos\omega t$
(ニ) $B_0 \tan\omega t$	(ホ) 300	(ヘ) ガウス
(ト) 3	(チ) $-\int \Phi \,\mathrm{d}t$	(リ) $-\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$
(ヌ) $\nabla\cdot\boldsymbol{B}$	(ル) ストークス	(ヲ) ヘルムホルツ
(ワ) $\nabla\times\boldsymbol{B}$	(カ) 0.03	(ヨ) $-\dfrac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$

問３　次の文章は，直流回路の合成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べ。

図１において，電源側から見た回路全体の合成抵抗 R を求めたい。なお，抵抗 R_a は 60 W の電力を消費しており，5 Ω より小さいことが分かっている。

まず，抵抗 4 Ω，8 Ω 及び 12 Ω からなるΔ形抵抗に対してΔ-Y 変換を施し，図２の等価回路に変換すると，$R_b = \boxed{(1)}$ Ω，$R_c = \boxed{(2)}$ Ω，$R_d = \boxed{(3)}$ Ω が得られる。

次に，R は，回路を流れる電流 I と電源電圧から得られるので，I を求めることとする。

I を求めると，$I = \boxed{(4)}$ A となる。したがって，電源側から見た回路全体の合成抵抗は，$R = \boxed{(5)}$ Ω となる。

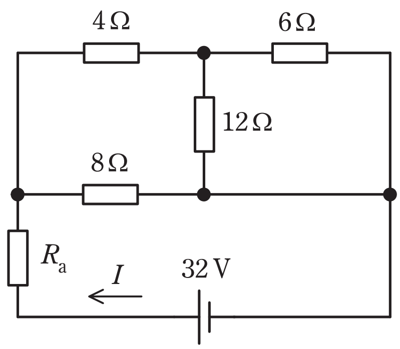


図１

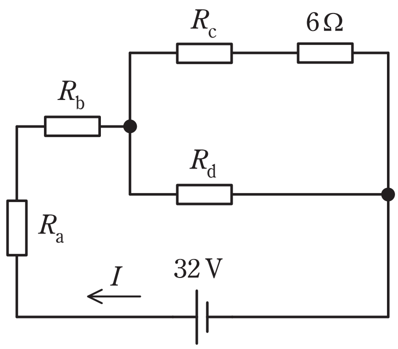


図２

〔問３の解答群〕

(イ) $\frac{4}{3}$	(ロ) 2.4	(ハ) 6.4
(ニ) $\frac{3}{4}$	(ホ) $\frac{1}{3}$	(ヘ) 4
(ト) $\frac{2}{3}$	(チ) 3	(リ) 8
(ヌ) 3.2	(ル) 2	(ヲ) 10
(ワ) 12	(カ) 5	(ヨ) 6

問４　次の文章は，三相交流回路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べ。

図１の回路は，不平衡三相電源に不平衡三相負荷が接続されたＹ結線不平衡三相回路である。

ミルマンの定理より，図１の回路は交流電流源 $\dot{J}_1$, $\dot{J}_2$, $\dot{J}_3$ 及び三相負荷のアドミタンス $\dot{Y}_1=\dfrac{1}{\dot{Z}_1}$， $\dot{Y}_2=\dfrac{1}{\dot{Z}_2}$， $\dot{Y}_3=\dfrac{1}{\dot{Z}_3}$ を用いて，図２に示す等価回路に変換できる。ただし，図２の等価回路において，交流電流源 $\dot{J}_m=$ $\boxed{(1)}$ ，$m=1, 2, 3$ である。

図１の中性点 N_1-N_2 間の電圧を $\dot{V}_4$ とすれば，図１の各相の線電流 $\dot{I}_m=$ $\boxed{(2)}$ ， $m=1, 2, 3$ となる。また，図２の等価回路から電圧 $\dot{V}_4=$ $\boxed{(3)}$ となる。ただし，電圧 $\dot{V}_4$ は図１及び図２の向きを正とする。

図１において，電源電圧を平衡三相である $\dot{V}_1=100\,\mathrm{V}$， $\dot{V}_2=100\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{2}{3}\pi}$ [V]， $\dot{V}_3=100\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{4}{3}\pi}$ [V]とし，三相負荷のインピーダンス $\dot{Z}_1=\mathrm{j}$ [Ω]， $\dot{Z}_2=1\,\Omega$， $\dot{Z}_3=1\,\Omega$とする。このとき，中性点 N_1-N_2 間の電圧 $\dot{V}_4=$ $\boxed{(4)}$ [V]となる。なお，$\dot{V}_2+\dot{V}_3=$ $\boxed{(5)}$ となることに注意せよ。

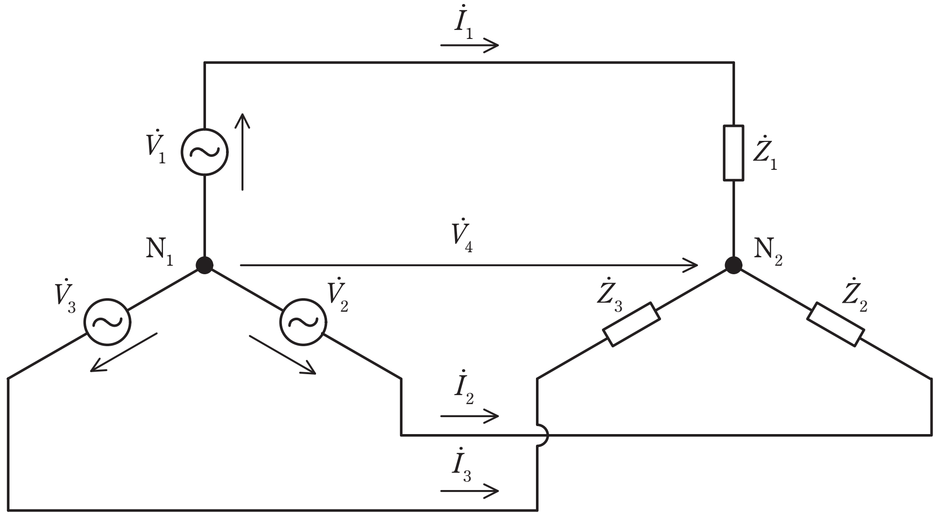


図1

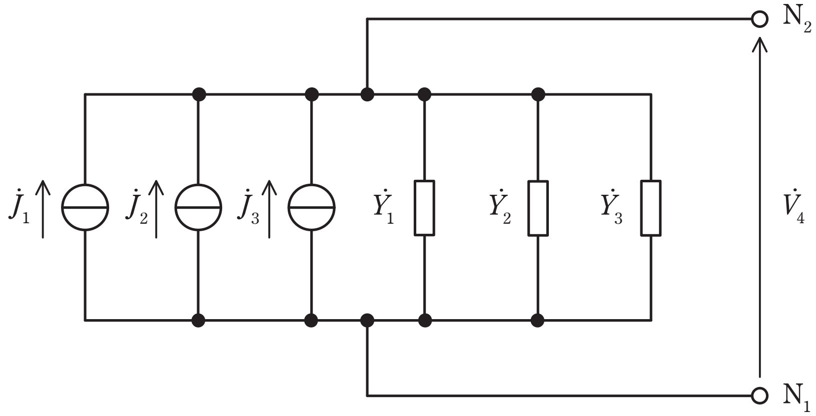


図2

〔問４の解答群〕

(イ) $-\dfrac{100+\mathrm{j}100}{2+\mathrm{j}}$　　(ロ) $\dot{Y}_m\dot{V}_m$　　(ハ) $\left(\dot{V}_m-\dot{V}_4\right)\dot{Y}_m$

(ニ) $\dot{V}_1+\dot{V}_2+\dot{V}_3$　　(ホ) $\sqrt{\dot{Y}_m\dot{V}_m}$　　(ヘ) $-\dot{V}_1$

(ト) $\dfrac{\dot{Y}_1\dot{V}_1+\dot{Y}_2\dot{V}_2+\dot{Y}_3\dot{V}_3}{\dot{Y}_1+\dot{Y}_2+\dot{Y}_3}$　　(チ) $-\dfrac{100-\mathrm{j}100}{2-\mathrm{j}}$　　(リ) $\dot{V}_1$

(ヌ) $\left(\dot{V}_1+\dot{V}_2+\dot{V}_3\right)\dot{Y}_m$　　(ル) 0　　(ヲ) $\left(\dot{V}_m+\dot{V}_4\right)\dot{Y}_m$

(ワ) $-\dfrac{100+\mathrm{j}100}{2-\mathrm{j}}$　　(カ) $\dfrac{\dot{Y}_m\dot{V}_m}{2}$　　(ヨ) $\dfrac{\dot{Y}_1+\dot{Y}_2+\dot{Y}_3}{\dot{Y}_1\dot{V}_1+\dot{Y}_2\dot{V}_2+\dot{Y}_3\dot{V}_3}$

B問題（配点は1問題当たり小問各4点，計20点）

問５　次の文章は，RC回路の過渡現象に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，一次側と二次側に直流電圧源 E が接続された抵抗 R と静電容量 C，スイッチからなる回路を考える。時刻 $t<0$ ではスイッチは開いており，回路は定常状態にあるものとする。時刻 $t=0$ でスイッチを閉じた。

節点 a と節点 b において，キルヒホッフの電流則を適用すると，$t \geqq 0$ で静電容量 C を流れる電流 $i(t)$ と三つの抵抗 R をそれぞれ流れる電流 $i_1(t)$，$i_2(t)$，$i_3(t)$ との関係は，

$$i(t) = i_1(t) + \boxed{(1)} \quad \cdots\cdots \quad ①$$

となる。①式の左辺に静電容量 C の電圧 $v(t)$ と電流 $i(t)$ の関係式 $i(t) = C\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}v(t)$ を代入し，右辺を $v(t)$ と E の式に書き直すと，

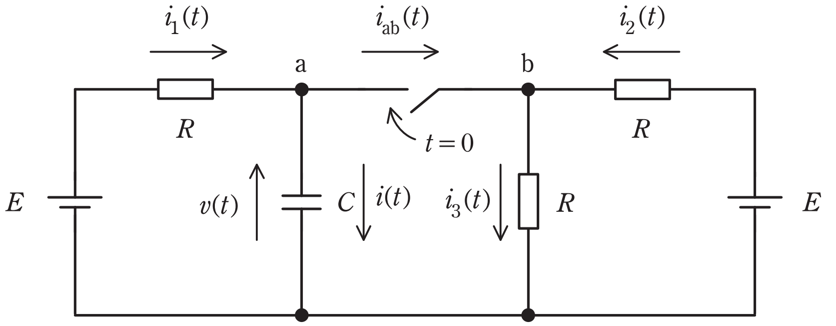
$$C\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}v(t) = \boxed{(2)} \quad \cdots\cdots \quad ②$$

を得る。回路の初期条件から $v(t)$ の初期値 $v(0)$ を決定すると，②式の解は，

$$v(t) = \boxed{(3)} \quad \cdots\cdots \quad ③$$

となる。

このとき，節点 a と節点 b の電位に注意すると，直流電圧源 E から流れる電流 $i_1(t)$ と $i_2(t)$ は，$t=0$ では $\boxed{(4)}$ であり，①式より静電容量 C の電流 $i(t)$ は，$t=0$ では $i(0) = \boxed{(5)}$ となることが分かる。



〔問５の解答群〕

(イ) $i_1(0)=i_2(0)=0$　　(ロ) $-\dfrac{3}{R}v(t)+\dfrac{3E}{R}$　　(ハ) $E\mathrm{e}^{-\frac{3}{CR}t}+\dfrac{2E}{3}\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{3}{CR}t}\right)$

(ニ) $i_1(0)=i_2(0)=\dfrac{E}{3R}$　　(ホ) $-\dfrac{E}{R}$　　(ヘ) $\dfrac{E}{3}\mathrm{e}^{-\frac{3}{CR}t}+E\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{3}{CR}t}\right)$

(ト) $i_3(t)-i_2(t)$　　(チ) $i_2(t)+i_3(t)$　　(リ) $\dfrac{E}{2}\mathrm{e}^{-\frac{3}{CR}t}+\dfrac{E}{3}\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{3}{CR}t}\right)$

(ヌ) $\dfrac{E}{3R}$　　(ル) $-\dfrac{3}{R}v(t)+\dfrac{E}{R}$　　(ヲ) $-\dfrac{3}{R}v(t)+\dfrac{2E}{R}$

(ワ) $\dfrac{2E}{3R}$　　(カ) $i_2(t)-i_3(t)$　　(ヨ) $i_1(0)=0$ かつ $i_2(0)=\dfrac{E}{2R}$

■ F1－R 013

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，真空中において交流電界から力を受けた電子の運動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べ。

真空中で図のように，位置 $x=-d$ の電子源から電子が初速度 v_{i} で一定の時間間隔 Δt ごとに x 軸の正方向に次々と放出されている状況を考える。n 番目に放出される電子の放出時刻を $t=n\Delta t$ と定義する。ただし，$n=0,1,2,\ldots$である。また，電子間に働くクーロン反発などの相互作用は無視し，電子の質量は一定とする。

領域 A$\left(-d \leqq x \leqq 0\right)$ には，x 軸の負方向に $E=E_0\sin\left(\omega t\right)$ の電界が印加されており，電子の電荷を $-e\,(e>0)$ とすると，電子は電界から力を受けて運動する。電子の質量を m とすると，運動の第 2 法則より電子の速度 v に関して，次の方程式が成り立つ。

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\boxed{\ (1)\ }\ \sin\left(\omega t\right) \cdots\cdots ①$$

電子が領域 A を通過する時間が十分短いとみなせる場合，電子が領域 A の右端 $\left(x=0\right)$ に到達した際の速度 v_{x0} は，通過時間 δt を用いて次のように表される。

$$v_{x0}=v_{\mathrm{i}}+\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\delta t \cdots\cdots ②$$

したがって，n 番目に放出された電子の $x=0$ における速度 v_n は，①式に $t=n\Delta t$ を代入して左辺の $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ を②式に代入すると，次の式で表される。ただし，$\delta t=\frac{d}{v_{\mathrm{i}}}$ と仮定する。

$$v_n=v_{\mathrm{i}}+\boxed{\ (2)\ }\ \sin\left(\omega n\Delta t\right) \cdots\cdots ③$$

n 番目に放出された電子は，$x>0$ の領域では速度 v_n で等速直線運動するので，時刻 t における電子の位置 x_n は，次のように表される。なお，通過時間 δt は無視する。

$$x_n=v_n\left(t-n\Delta t\right) \cdots\cdots ④$$

③式の $\omega n\Delta t$ が十分小さい場合には，sin 関数は次のように近似できる。

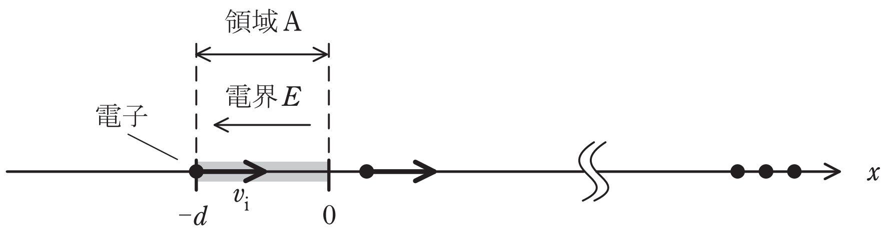
$$\sin\left(\omega n\Delta t\right)\approx\omega n\Delta t \cdots\cdots ⑤$$

遅れ時間 $n\Delta t$ に比例した大きさの電界で加速されるため，後から出発した電子が先に出発した電子に追いつくことができる。追いつく位置を求めよう。

③式に⑤式を適用して④式に代入し，Δt の 2 乗の項を無視すると次式を得る。

$$x_n \approx v_i t + (\boxed{\quad(3)\quad})\, n\Delta t \quad \cdots\cdots \quad ⑥$$

⑥式に，$\boxed{\quad(3)\quad} = 0$ となる条件を課すと，ある時刻 $t = \boxed{\quad(4)\quad}$ において，x_n が n に依存しないことが導かれる。このことは，⑤式を満たす複数の n の電子群が，同じ時刻に，同一の位置に集群することを意味する。この集群位置は，$x_n \approx \boxed{\quad(5)\quad}$ である。このようにして電子流に密度の濃淡が形成される。この現象は，高周波発振や増幅などの機能を有する電子管等に応用されている。



〔問 6 の解答群〕

(イ) $\dfrac{eE_0 d}{mv_i} - \omega t$　　(ロ) $\dfrac{eE_0 d}{v_i}$　　(ハ) $\dfrac{eE_0 v_i}{md}\omega t - v_i$

(ニ) $\dfrac{E_0}{em}$　　(ホ) $\dfrac{eE_0 d}{mv_i}$　　(ヘ) $\dfrac{mv_i^2}{eE_0 d\omega}$

(ト) $\dfrac{md}{eE_0\omega}$　　(チ) $\dfrac{eE_0}{m}$　　(リ) eE_0

(ヌ) $\dfrac{eE_0 v_i}{md}$　　(ル) $\dfrac{mv_i^3}{eE_0 d\omega}$　　(ヲ) $\dfrac{mv_i^2 d}{eE_0\omega}$

(ワ) $\dfrac{mv_i}{eE_0 d\omega}$　　(カ) $\dfrac{eE_0 d}{mv_i}\omega t - v_i$　　(ヨ) $\dfrac{mv_i}{eE_0 d\omega^2}$

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 $\boxed{}$ 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に示す回路において，まず $v_{\mathrm{in}} = 0$ として各節点のバイアス電位を求める。バイポーラトランジスタのベース電流 I_{B} が十分に小さく零とみなせるとき，ベース電位 V_{B} は $\boxed{(1)}$ となる。バイポーラトランジスタのベース・エミッタ間電圧を V_{BE} とすると，エミッタ電位 V_{E} は $\boxed{(1)}$ $-V_{\mathrm{BE}}$ となり，コレクタ電位 V_{C} は，V_{E} を用いて $\boxed{(2)}$ となる。

次に，図１に微小な交流電圧 v_{in} を入力した際のコレクタ電位の変化量 v_{C} を求める。図２は図１の交流等価回路である。図２の破線部はバイポーラトランジスタの交流等価回路であり，h_{ie} と h_{fe} はそれぞれバイポーラトランジスタの出力短絡入力インピーダンスとエミッタ接地電流増幅率である。また，各容量は，信号の周波数においてインピーダンスが十分に小さいため短絡とみなせるとする。v_{in} を加えた際のコレクタ電位の変化量 v_{C} は，図２の v_{C} を求めることで $\boxed{(3)}$ $\times v_{\mathrm{in}}$ と求まる。増幅回路の出力電圧 v_{out} は v_{C} と等しいため増幅回路の電圧増幅率 $\dfrac{v_{\mathrm{out}}}{v_{\mathrm{in}}}$ は $\boxed{(3)}$ となる。

v_{in} として正弦波電圧を加える場合を考える。ここで，図１の回路はコレクタ電位が V_{E} から V_{CC} の間にあるとき，ひずみなく動作するとする。図１の回路に v_{in} を加えた際のコレクタ電位は $V_{\mathrm{C}} + v_{\mathrm{C}}$ であるから，v_{out} として振幅 V_1 の正弦波電圧をひずみなく出力するためには，V_{C} は $\boxed{(4)}$ を満たさなければならない。次に，一定の振幅の正弦波電圧 v_{in} を加えた状態で，出力電圧波形を観察しながら，R_{C} を $V_{\mathrm{C}} = \dfrac{V_{\mathrm{CC}} + V_{\mathrm{E}}}{2}$ となる値から徐々に増加させた。R_{C} の増加に伴い出力電圧の振幅は増加するが，V_{C} は $\boxed{(2)}$ であるため，R_{C} を更に増加させると，やがて正弦波状の出力電圧波形は $\boxed{(5)}$ ひずむ。

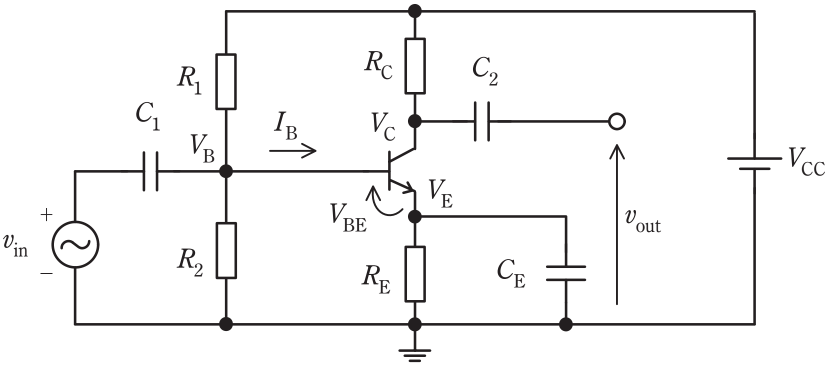
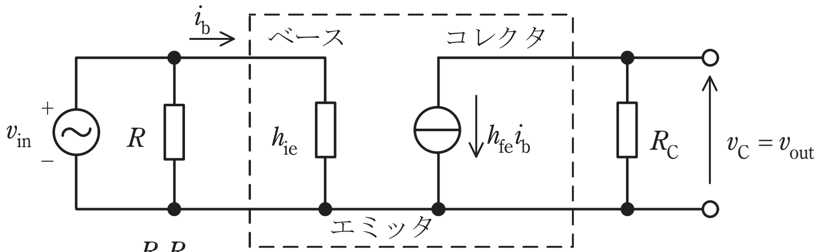


図 1



$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

図 2

〔問７の解答群〕

(イ) V_{BE}　　(ロ) $\dfrac{R_2}{R_1 + R_2}V_{CC}$　　(ハ) 上側から

(ニ) $-h_{ie}h_{fe}R_C$　　(ホ) 下側から　　(ヘ) $V_E - V_1 \leqq V_C \leqq V_{CC} - V_1$

(ト) $V_{CC} - \dfrac{R_C}{R_E}V_E$　　(チ) $-\dfrac{h_{fe}R_C}{h_{ie}}$　　(リ) $V_E + V_1 \leqq V_C \leqq V_{CC} - V_1$

(ヌ) $\dfrac{R_C}{R_E}V_E$　　(ル) $\dfrac{R_1}{R_1 + R_2}V_{CC}$　　(ヲ) $V_E \leqq V_C \leqq V_{CC}$

(ワ) $-\dfrac{h_{ie}R_C}{h_{fe}}$　　(カ) $V_{CC} - R_C V_E$　　(ヨ) 上側と下側が同時に