平成 23 年度

第 2 種

理　　論

（第 1 時限目）

第　２　種

理　　　　　　論

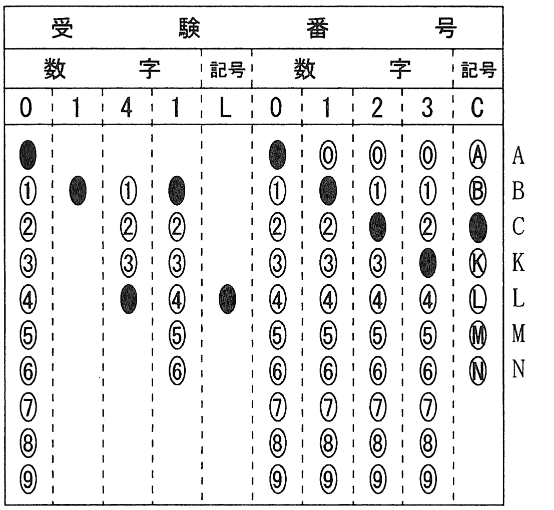
答案用紙記入上の注意事項

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**：０１４１Ｌ０１２３Ｃ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。

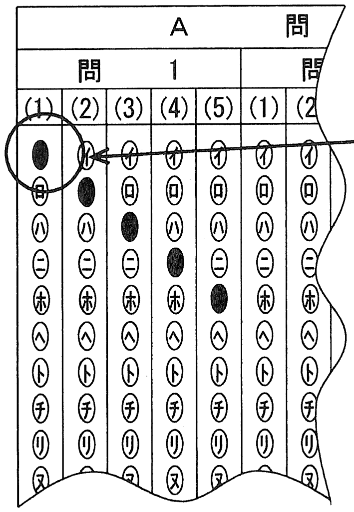
４．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

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 $\boxed{\text{(1)}}$ 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 ⓘ 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７と問８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 2 種

理　　　論

A問題（配点は1問題当たり小問各3点，計15点）

問1　次の文章は，同軸円筒導体中の電界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。

図のような同軸円筒導体を想定し，内部導体の外半径を a，外部導体の内半径を b，内外導体間の誘電体の誘電率を ε とする。外部導体を接地し，内部導体に電圧 V を印加する場合を考える。このとき，誘電体内の最大電界を最小にする内部導体の外半径 a の条件を求めたい。

まず，単位長さ当たりに内部導体に蓄えられている電荷 q を求めることを考える。このとき，半径 r の位置における電界の強さ E_r と q との関係を求めると，次式のように表される。

$$E_r = \boxed{(1)} \qquad \cdots\cdots \quad ①$$

これを r について a から b まで積分した値が，円筒間の電位差 V に等しい。これにより V と q の関係が得られるため，内部導体に単位長さ当たりに蓄えられている電荷 q は次式のように求められる。

$$q = \boxed{(2)} \qquad \cdots\cdots \quad ②$$

①及び②式から，内外導体間の電界の強さ E_r の最大値 E_{max} は次式のように表される。

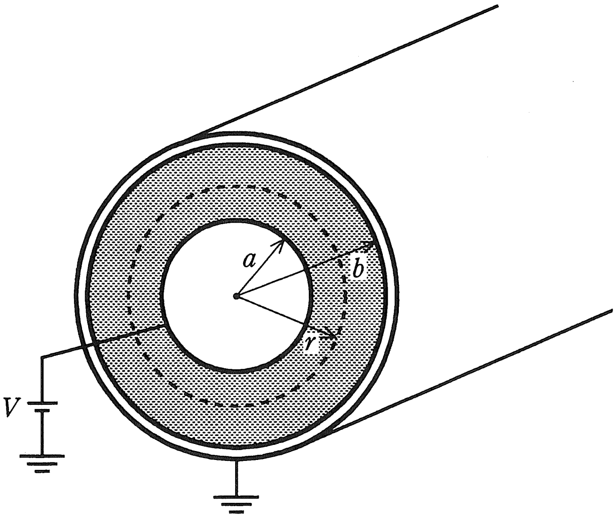
$$E_{max} = \boxed{(3)}$$

次に，b を一定としたときに，E_{max} を最小にする内部導体の外半径 a を求める。E_{max} を最小にするには，この場合，$\boxed{(3)}$ の分母を最大にする a を求めればよい。すなわち，$\boxed{(3)}$ の分母を a で微分して，次式が成り立つ a を求めればよい。

$$\boxed{(4)} = 0$$

よって，求める a の値は，次式で与えられる。ここで，自然対数の底を $e = 2.718$ とする。

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



〔問１の解答群〕

(イ) $\dfrac{V}{b\ln\dfrac{b}{a}}$ (ロ) $\dfrac{q}{2\pi\varepsilon r^2}$ (ハ) $b\ln\dfrac{b}{a}+\dfrac{a^2}{b}$

(ニ) $0.368b$ (ホ) $\dfrac{2\pi\varepsilon Va^2b^2}{b^2-a^2}$ (ヘ) $\ln\dfrac{b}{a}-1$

(ト) $\dfrac{q}{2\pi\varepsilon r}$ (チ) $\dfrac{4\pi\varepsilon Vab}{b-a}$ (リ) $\dfrac{Vb}{a(b-a)}$

(ヌ) $0.5b$ (ル) $\dfrac{2\pi\varepsilon V}{\ln\dfrac{b}{a}}$ (ヲ) $b^{0.368}$

(ワ) $\dfrac{V}{a\ln\dfrac{b}{a}}$ (カ) $b-2a$ (ヨ) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon r^2}$

問2　次の文章は，三相リアクトル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 のように，継鉄(横方向)部分の透磁率が無限大，脚(縦方向)部分の透磁率が μ，長さが l，断面積が S である三相変圧器用三脚鉄心に，U，V，W の三相巻線が施されている。巻数はすべて N 回である。U 相巻線のみに電流 I を流したとき，U，V，W 相鉄心に生じる磁界の強さをそれぞれ H_1，H_2，H_3 とする。継鉄部分の磁界の強さは $\boxed{(1)}$ と見なせる。U 相巻線と鎖交する磁束は 2 分され，それぞれが V，W 相巻線と逆方向に鎖交して戻ると考えられるので，$H_2 = H_3$ である。したがって，図 1 の破線で示した積分路について，アンペールの周回積分の法則を適用すると，

$\boxed{(2)}$ ……………………………… ①

が与えられる。U 相鉄心に生じる磁束密度を B_1，V，W 相鉄心に生じる磁束密度を B_2 とすると，

$$B_1 = \mu H_1$$
$$B_2 = \mu H_2$$
$$B_1 = 2B_2$$

の関係が成り立つ。これらの関係から①式を B_1 について解くと，

$B_1 = \boxed{(3)}$

が得られる。U 相鉄心の磁束は $\phi_1 = B_1 S$，U 相巻線との総鎖交磁束は $\Phi_1 = N\phi_1$ であるから，この巻線の自己インダクタンス L は

$L = \boxed{(4)}$

である。

また，同様に 2 巻線間の相互インダクタンス M は

$M = \frac{1}{2}L$ ……………………………… ②

である。

図 2 のように，このリアクトルを Y 結線とし，対称三相交流電源に接続した場合，各相の電圧をそれぞれ $\dot{V}_{\mathrm{U}}$，$\dot{V}_{\mathrm{V}}$，$\dot{V}_{\mathrm{W}}$，各相の電流をそれぞれ $\dot{I}_{\mathrm{U}}$，$\dot{I}_{\mathrm{V}}$，$\dot{I}_{\mathrm{W}}$ とすると，

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{\mathrm{U}} \\ \dot{V}_{\mathrm{V}} \\ \dot{V}_{\mathrm{W}} \end{bmatrix} = \mathrm{j}\omega \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\mathrm{U}} \\ \dot{I}_{\mathrm{V}} \\ \dot{I}_{\mathrm{W}} \end{bmatrix}$$

の関係が成り立つ。ただし，巻線の抵抗は無視できるものとする。$\dot{V}_{\mathrm{U}}$ についての関係式は，

$$\dot{V}_{\mathrm{U}} = \mathrm{j}\omega(L\dot{I}_{\mathrm{U}} + M\dot{I}_{\mathrm{V}} + M\dot{I}_{\mathrm{W}})$$

であり，②式より，

$$\dot{V}_{\mathrm{U}} = \mathrm{j}\omega L\left(\dot{I}_{\mathrm{U}} + \frac{1}{2}\dot{I}_{\mathrm{V}} + \frac{1}{2}\dot{I}_{\mathrm{W}}\right)$$

と変形できる。相間の位相差が $\frac{2\pi}{3}$ であることに注意してベクトル合成すると，

$$\dot{V}_{\mathrm{U}} = \boxed{\quad(5)\quad}\ \mathrm{j}\omega L\dot{I}_{\mathrm{U}}$$

となる。

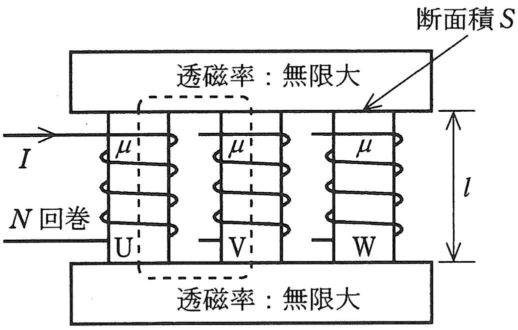


図 1

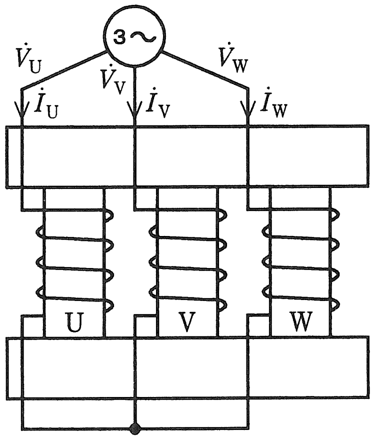


図 2

〔問２の解答群〕

(イ) $H_1 l + H_2 l = N^2 I$　　(ロ) $\frac{3\mu NI}{2l}$　　(ハ) $\frac{2\mu NS}{3l}$

(ニ) H_1　　(ホ) $\frac{2\mu N^2 S}{3l}$　　(ヘ) ∞

(ト) $\frac{1}{\sqrt{3}}$　　(チ) $H_1 l + H_2 l = NI$　　(リ) $\frac{\mu N^2 S}{l}$

(ヌ) $\frac{2\mu NI}{3l}$　　(ル) $\frac{1}{\sqrt{2}}$　　(ヲ) 0

(ワ) $\frac{\mu NI}{l}$　　(カ) $\frac{1}{2}$　　(ヨ) $H_1 l = NI$

問３　次の文章は，RL 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。

図のように，抵抗値が R_1，R_2，インダクタンスが L である素子，スイッチ及び直流電流源からなる回路がある。電流及び電圧を図のように定める。

時間 $t<0$ ではスイッチは a 側にあり，回路は定常状態である。$t=0$ において，スイッチを a から b に切り替えた。$t>0$ における電圧 v_{R1} 及び v_{L} の時間的変化について考える。$t>0$ において，それぞれの電流，電圧の関係から次式が得られる。

$i_1+i_2=I$ ……………………… ①

$v_{\mathrm{R1}}=v_{\mathrm{L}}+v_{\mathrm{R2}}$ ……………………… ②

$R_1 i_1=\boxed{(1)}+R_2 i_2$ ……………………… ③

$t=0$ における i_2 は $\boxed{(2)}$ であるので，これらの式より i_2 について解くと，

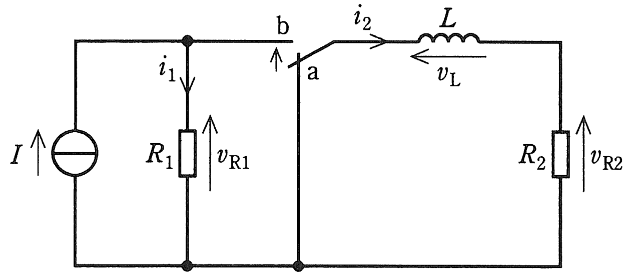
$i_2=\boxed{(3)}$

となる。また，

$v_{\mathrm{L}}=\boxed{(4)}$

となる。

$t=\infty$ における v_{R1} は $\boxed{(5)}$ となる。



●S1－R008

〔問３の解答群〕

(イ) $\dfrac{R_1}{R_1+R_2}I$

(ロ) $R_1 I$

(ハ) $\dfrac{R_1}{R_1+R_2}I\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{R_1+R_2}{L}t}\right)$

(ニ) $L\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}$

(ホ) $R_2 I\,\mathrm{e}^{-\frac{R_1+R_2}{L}t}$

(ヘ) $\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}I$

(ト) $\dfrac{1}{L}\cdot\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}$

(チ) I

(リ) 0

(ヌ) $\dfrac{R_1}{R_1+R_2}I\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{L}{R_1+R_2}t}\right)$

(ル) $R_1 I\,\mathrm{e}^{-\frac{R_1+R_2}{L}t}$

(ヲ) $\dfrac{{R_1}^2}{R_1+R_2}I$

(ワ) $R_1 I\,\mathrm{e}^{-L(R_1+R_2)t}$

(カ) $\dfrac{R_1}{R_1+R_2}I\left[1-\mathrm{e}^{-L(R_1+R_2)t}\right]$

(ヨ) $L\int i_2\,\mathrm{d}t$

問４　次の文章は，npn バイポーラトランジスタに関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も近いものを解答群の中から選びなさい。

平衡状態にある半導体の正孔濃度 p と電子濃度 n には pn 積一定という関係が成立する。この問題では $p = n$ の平衡状態では電子も正孔も真性キャリヤ濃度 1.4×10^{10}〔cm^{-3}〕の場合を考える。

そこで，不純物をドーピングすると多数キャリヤ濃度がドーピング濃度と等しいと近似できるので，$p \neq n$ となる。しかし，pn 積一定の関係は維持されるので，多数キャリヤ濃度が決まると平衡時の少数キャリヤ濃度も決まる。

いま，ベースのドーピング濃度が 1.0×10^{18}〔cm^{-3}〕としよう。するとベースの少数キャリヤ濃度は $\boxed{(1)}$〔cm^{-3}〕となる。エミッタ・ベース間に電圧を印加しないときはベースの少数キャリヤ濃度はエミッタの多数キャリヤ濃度と拡散電位によって釣り合っている。ここで，ベース電位を零とし，エミッタ電位を負にすると，エミッタに隣接した場所でのベース内の少数キャリヤ濃度である電子濃度は，エミッタからの電子の注入により大きくなる。エミッタ電位が 60〔mV〕負の方向に変化するごとにこの電子濃度が 10 倍になる(120〔mV〕の変化では 100 倍)とし，エミッタ電位を -780〔mV〕とした場合，エミッタに隣接した場所でのベース内少数キャリヤ濃度は $\boxed{(2)}$〔cm^{-3}〕となる。

このとき，エミッタに隣接した場所では少数キャリヤ濃度は非平衡であり，ベース内での他の場所よりも少数キャリヤ濃度が高いことから電子は拡散してコレクタ側へ向かう。ベース中の再結合を無視できるとすると，電子の流れる量は濃度勾配の大きさ(単位長さ当たりの電子濃度の減少率)に拡散定数を掛けたものとなる。コレクタに隣接した場所ではベース内少数キャリヤ濃度が平衡時と等しいと考えると，これはエミッタに隣接した場所でのベース内少数キャリヤ濃度に比べて十分小さいので零と近似できる。ベース層の厚さを 1.0×10^{-5}〔cm〕とすると濃度勾配の大きさは $\boxed{(3)}$〔cm^{-4}〕となる。拡散係数が 25〔$cm^2 \cdot s^{-1}$〕であるとすると，電子の流れる量は $\boxed{(4)}$〔$cm^{-2} \cdot s^{-1}$〕となる。ベースから流れ出た電子の流れはコレクタ電流に相当するので，単位電荷 1.6×10^{-19}〔C〕を掛けるとコレクタ電流密度は $\boxed{(5)}$〔$A \cdot cm^{-2}$〕となる。

〔問４の解答群〕

(イ) 1.0×10^{2}	(ロ) 2.0×10^{2}	(ハ) 3.0×10^{2}	(ニ) 5.0×10^{2}
(ホ) 8.0×10^{2}	(ヘ) 1.0×10^{10}	(ト) 1.0×10^{15}	(チ) 2.0×10^{15}
(リ) 1.0×10^{16}	(ヌ) 1.0×10^{20}	(ル) 2.0×10^{20}	(ヲ) 1.0×10^{21}
(ワ) 3.0×10^{21}	(カ) 5.0×10^{21}	(ヨ) 1.0×10^{23}	

B問題（配点は1問題当たり小問各2点，計10点）

問5　次の文章は，電流源と抵抗とからなる直流回路の電圧に関する記述である。文中の $\boxed{\qquad}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図1(a)の回路において，端子1-2間に現れる電圧 V(端子2を基準にした端子1の電圧)をノートンの定理を使って求めたい。

まず，図1(b)の回路において端子1，2を短絡したときに端子1から端子2に向かって流れる電流 I は，各抵抗に流れる電流から求めることができる。例えば，3〔Ω〕の抵抗に下向きに流れる電流は $\boxed{\quad(1)\quad}$〔A〕であり，その他の抵抗に流れる電流をそれぞれ求めることにより，$I=\boxed{\quad(2)\quad}$〔A〕となる。次に電流源の大きさを零として，端子1，2よりみたコンダクタンス g_{i} を求める。電流源の大きさを零にするということは電流源を $\boxed{\quad(3)\quad}$ することを意味している点に注意すると，$g_{\mathrm{i}}=\boxed{\quad(4)\quad}$〔S〕となる。以上より，ノートンの定理により $V=\boxed{\quad(5)\quad}$〔V〕となる。

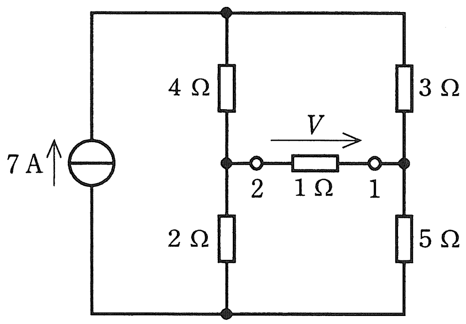


図 1(a)

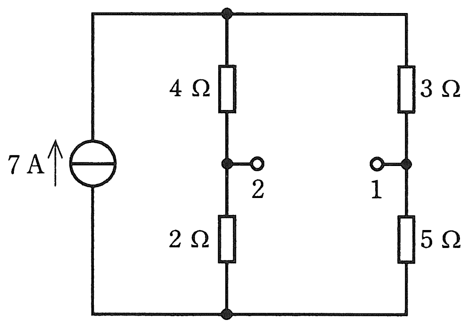


図 1(b)

〔問５の解答群〕

(イ) $\frac{2}{7}$	(ロ) 1	(ハ) そのまま保持	(ニ) 2
(ホ) 3	(ヘ) $\frac{7}{3}$	(ト) $\frac{14}{9}$	(チ) 短絡除去
(リ) $\frac{15}{8}$	(ヌ) 5	(ル) 開放除去	(ヲ) $\frac{77}{24}$
(ワ) 4	(カ) $\frac{7}{9}$	(ヨ) $\frac{1}{2}$	

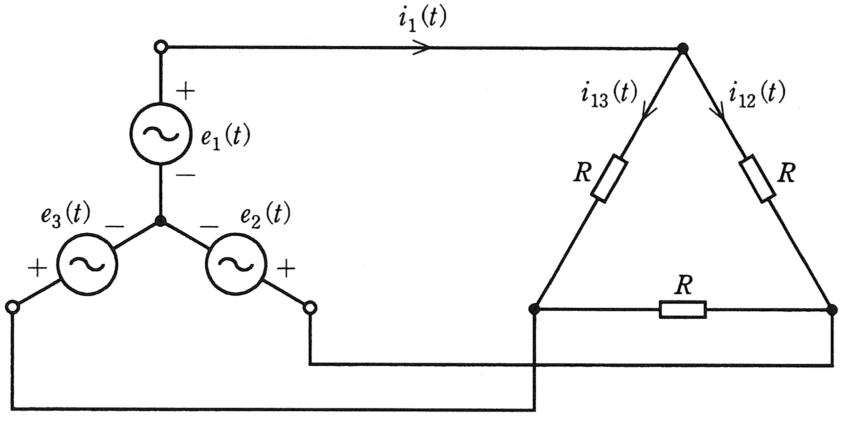
問６　次の文章は，三相回路に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図に示す回路において，定常状態における $i_1(t)$，$i_{12}(t)$，$i_{13}(t)$ の実効値を求めたい。ただし，$e_1(t)=\sqrt{2}E\cos\omega t$，$e_2(t)=\sqrt{2}E\cos\left(\omega t-\dfrac{2}{3}\pi\right)$，$e_3(t)=\sqrt{2}E\cos\left(\omega t-\dfrac{4}{3}\pi\right)$ とする。

まず，電源 $e_1(t)$，$e_2(t)$ の電圧ベクトルを，それぞれ $\dot{E}_1=E\mathrm{e}^{\mathrm{j}0}$，$\dot{E}_2=E\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{2}{3}\pi}$ と書き表すと，$e_3(t)$ の電圧ベクトルは $\dot{E}_3=\boxed{(1)}$ と表される。次に，$i_1(t)=\sqrt{2}I_1\cos(\omega t+\varphi_1)$，$i_{12}(t)=\sqrt{2}I_{12}\cos(\omega t+\varphi_{12})$，$i_{13}(t)=\sqrt{2}I_{13}\cos(\omega t+\varphi_{13})$ とおき，それぞれの電流ベクトルを $\dot{I}_1$，$\dot{I}_{12}$，$\dot{I}_{13}$ とする。このとき，

$\dot{I}_{12}=\boxed{(2)}$，$\dot{I}_{13}=\boxed{(3)}$，$\dot{I}_1=\boxed{(4)}$ となり，これより

$I_{12}=\left|\dot{I}_{12}\right|=\boxed{(5)}$，$I_{13}=\left|\dot{I}_{13}\right|=\boxed{(5)}$，$I_1=\left|\dot{I}_1\right|=\boxed{(4)}$ となる。



●S1−R014

〔問６の解答群〕

(イ) $\dfrac{E}{R}\left(2-e^{-j\frac{\pi}{3}}-e^{-j\frac{2}{3}\pi}\right)$	(ロ) $Ee^{-j\frac{4}{3}\pi}$	(ハ) $\dfrac{E}{R}\left(1-e^{-j\frac{\pi}{3}}\right)$
(ニ) $Ee^{-j\pi}$	(ホ) $\dfrac{3E}{R}$	(ヘ) $Ee^{-j2\pi}$
(ト) $\dfrac{E}{R}\left(1-e^{-j\frac{5}{3}\pi}\right)$	(チ) $\dfrac{E}{R}(1-e^{-j0})$	(リ) $\dfrac{E}{R}\left(1-e^{-j\frac{4}{3}\pi}\right)$
(ヌ) $\dfrac{E}{R}\left(2-e^{-j\pi}-e^{-j\frac{4}{3}\pi}\right)$	(ル) $\dfrac{\sqrt{6}E}{R}$	(ヲ) $\dfrac{E}{R}\left(1-e^{-j\frac{2}{3}\pi}\right)$
(ワ) $\dfrac{\sqrt{2}E}{R}$	(カ) $\dfrac{E}{R}(1-e^{-j\pi})$	(ヨ) $\dfrac{\sqrt{3}E}{R}$

問７及び問８は選択問題です。問７又は問８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７　次の文章は，抵抗の測定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。

図の回路は既知の抵抗 R_{s} を標準として，未知の抵抗 R_{x} を測定するものである。図において，スイッチを R_{s} 側に倒し，可変抵抗 R_{h} を $R_{\mathrm{h}}=R_1$ に設定したところ電流計の読みが M_1 となった。次に，スイッチを R_{x} 側に倒し，電流計の読みが M_1 になるように可変抵抗 R_{h} を調整したところ，$R_{\mathrm{h}}=R_2$ となった。ただし，電流計の内部抵抗を r_{g} とし，直流電圧源 E の内部抵抗は無視できるものとする。

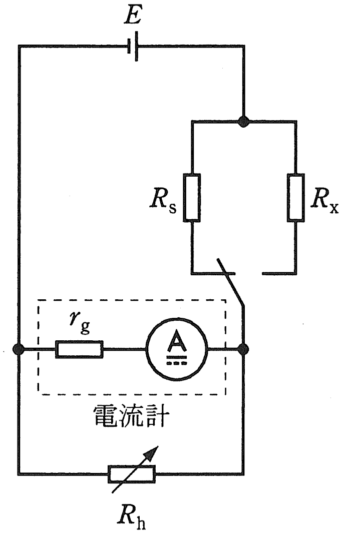
いま，スイッチを R_{s} 及び R_{x} 側に倒したときの電流計に流れる電流を I_{s} 及び I_{x} とすれば，

$I_{\mathrm{s}}=\boxed{\ (1)\ }$ .... ①

$I_{\mathrm{x}}=\boxed{\ (2)\ }$ .... ②

となる。電流計の読みが等しいので，①及び②式より R_{x} は $\boxed{\ (3)\ }$ となる。

次に，R_{x} が既知，r_{g} が未知の場合に対して，上記と同じ測定を行い r_{g} を求めることを考える。電流計の読みが等しい場合には，①及び②式より r_{g} は $\boxed{\ (4)\ }$ となる。ここで，$r_{\mathrm{g}}>0$ であるので，電流計の読みが等しくなるように R_{h} を調整すれば，測定に用いる R_{s} と R_{x} の抵抗値が $R_{\mathrm{s}}>R_{\mathrm{x}}$ である場合には，R_1 と R_2 の大きさの関係は $\boxed{\ (5)\ }$ となる。



〔問７の解答群〕

(イ) $\dfrac{R_2 R_s (R_1 + r_g)}{R_1 (R_2 + r_g)}$

(ロ) $\dfrac{R_2 r_g}{R_x (R_2 + r_g) + R_2 r_g} E$

(ハ) $R_1 < R_2$

(ニ) $\dfrac{r_g}{R_s (R_1 + r_g) + R_1 r_g} E$

(ホ) $\dfrac{R_2 R_s (R_1 - r_g)}{R_1 (R_2 + r_g)}$

(ヘ) $\dfrac{R_2}{R_x (R_2 + r_g) + R_2 r_g} E$

(ト) $\dfrac{R_1 R_2 (R_x - R_s)}{R_1 R_s - R_2 R_x}$

(チ) $\dfrac{R_1}{R_s (R_1 + r_g) + R_1 r_g} E$

(リ) $\dfrac{R_1 r_g}{R_s (R_1 + r_g) + R_1 r_g} E$

(ヌ) $R_1 = R_2$

(ル) $\dfrac{R_1 R_2 (R_s - R_x)}{R_1 R_x - R_2 R_s}$

(ヲ) $\dfrac{R_1 R_s r_g}{R_2 (R_1 + r_g)}$

(ワ) $\dfrac{R_1 R_2 (R_s - R_x)}{R_2 R_x - R_1 R_s}$

(カ) $R_1 > R_2$

(ヨ) $\dfrac{r_g}{R_x (R_2 + r_g) + R_2 r_g} E$

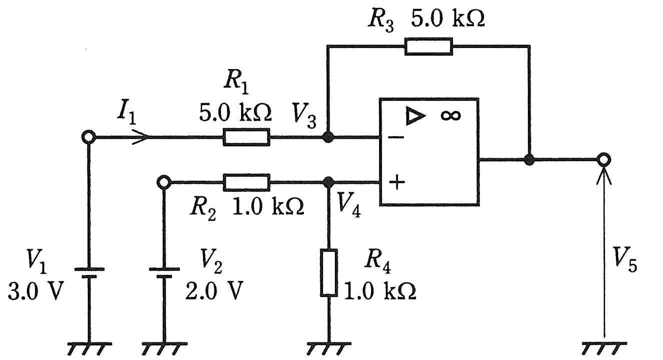
（選択問題）

問 8　次の文章は，演算増幅器を用いた回路に関する記述である。文中の □ に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図の回路において，入力電圧 V_1 が 3.0〔V〕，入力電圧 V_2 が 2.0〔V〕のときの出力電圧 V_5 を求める。

まず，演算増幅器の入力端子には電流は流れ込まないので V_4 は □(1)□〔V〕であり，V_3 も □(1)□〔V〕である。このことから，I_1 は □(2)□〔mA〕となる。I_1 はすべて抵抗 R_3 に流れ込むので R_3 の電圧降下は □(3)□〔V〕である。V_3 が □(1)□〔V〕であるので，V_5 が □(4)□〔V〕と求められる。

また，入力電圧 V_1 を 3.0〔V〕のままに保ち，もう一つの入力電圧 V_2 を □(5)□〔V〕とすると，出力電圧 V_5 は 0〔V〕となる。



〔問８の解答群〕

(イ) －5.0	(ロ) －3.0	(ハ) －2.0	(ニ) －1.0
(ホ) 0.20	(ヘ) 0.25	(ト) 0.40	(チ) 0.50
(リ) 0.80	(ヌ) 1.0	(ル) 2.0	(ヲ) 3.0
(ワ) 4.0	(カ) 5.0	(ヨ) 6.0	