平成 27 年度

第 2 種

理　　論

（第 1 時限目）

第 2 種

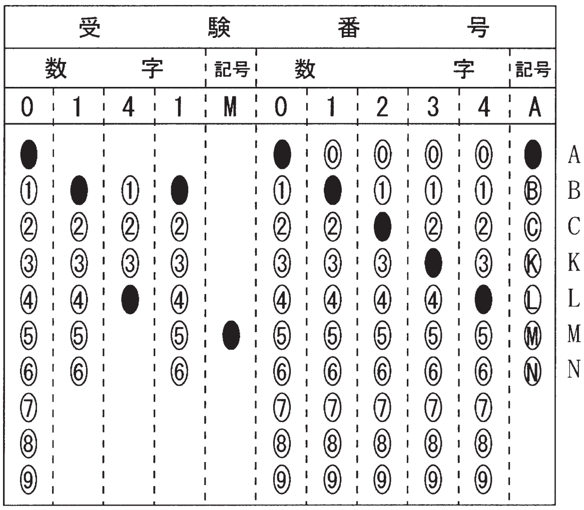
理　　　　論

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**：０１４１Ｍ０１２３４Ａ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。

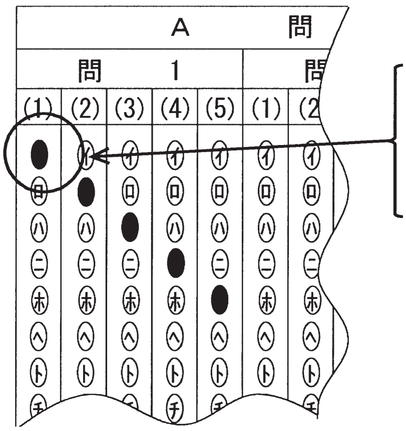
4．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

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 $\boxed{\ (1)\ }$ 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 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，誘電体又は導電体に満たされた同軸円筒導体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。

無限に長い同軸円筒導体を想定し，図に示した断面のように，内部導体の外半径を a，外部導体の内半径を b とする。この同軸円筒導体の外部導体を接地し，内部導体に電圧 V を印加したときの半径 r の位置における電界の強さを $E(r)$ とする。

まず，内外導体間（$a < r < b$）を誘電率 ε で導電率零の誘電体で満たす。このとき，単位長さ当たりの内部導体に蓄えられている電荷を Q とし，半径 r の位置における電束密度の大きさ $D(r)$ と Q との関係を求めると，①式のようになる。

$D(r) = \boxed{(1)}$ ……………………………………… ①

また，$E(r)$ と $D(r)$ との間には②式の関係がある。

$D(r) = \varepsilon E(r)$ ……………………………………… ②

$E(r)$ 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 に等しいことから，V と Q の関係が得られる。よって，この同軸円筒導体の単位長さ当たりの静電容量 C は③式のようになる。

$C = \boxed{(2)}$ ……………………………………… ③

次に，誘電体を除去したのち，内外導体間を誘電率 ε_0（真空と同じ）で導電率 σ の導電体で満たす。内外導体間に流れる単位長さ当たりの定常電流を I とすると，半径 r の位置において電流密度の大きさ $J(r)$ は一様であり，④式で表される。

$J(r) = \boxed{(3)}$ ……………………………………… ④

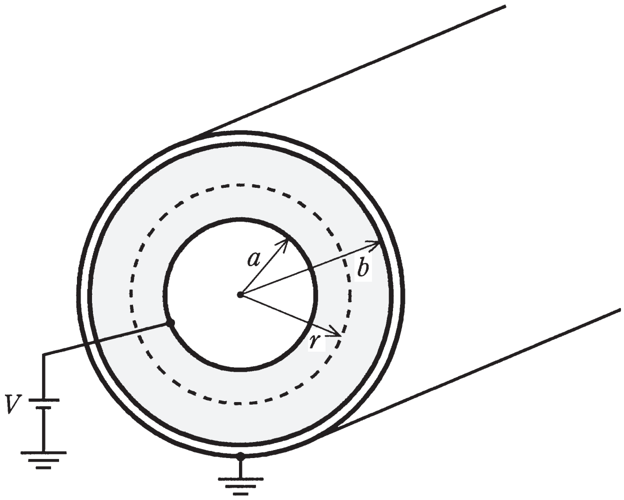
$J(r)$ と $E(r)$ との間に成り立つオームの法則は，⑤式で表される。

$J(r) = \boxed{(4)}$ ……………………………………… ⑤

●S1－R004

①式と④式，②式と⑤式とを比べると，導電体における I，$J(r)$，σ は，誘電体における Q，$D(r)$，ε と対応させられる。このようなアナロジーを利用して，③式から導電体で満たされた同軸円筒導体の単位長さ当たりのコンダクタンス G は⑥式のように求められる。

$G = \boxed{\quad (5) \quad}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ⑥



〔問１の解答群〕

(イ) $\dfrac{Q}{4\pi r^2}$	(ロ) $\dfrac{2\pi\varepsilon a^2 b^2}{3(b^2-a^2)}$	(ハ) $\varepsilon_0 \sigma E(r)$	(ニ) $\dfrac{2\pi\sigma a^2 b^2}{3(b^2-a^2)}$
(ホ) $\dfrac{I}{2\pi r}$	(ヘ) $\sigma E(r)$	(ト) $\dfrac{E(r)}{\sigma}$	(チ) $\dfrac{3I}{4\pi r^3}$
(リ) $\dfrac{Q}{2\pi r}$	(ヌ) $\dfrac{2\pi\varepsilon}{\ln\frac{b}{a}}$	(ル) $\dfrac{2\pi\sigma}{\ln\frac{b}{a}}$	(ヲ) $\dfrac{4\pi\sigma ab}{b-a}$
(ワ) $\dfrac{I}{4\pi r^2}$	(カ) $\dfrac{4\pi\varepsilon ab}{b-a}$	(ヨ) $\dfrac{3Q}{4\pi r^3}$	

問２　次の文章は，交流回路の電流及び電圧の計算方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びなさい。

図の回路において，重ね合わせの理（重ねの理）を用いて，抵抗に流れる電流 $i_{\mathrm{R}}(t)$，キャパシタの両端の電圧 $v_{\mathrm{C}}(t)$ を求めたい。

ただし，交流電圧源 $e(t) = E_{\mathrm{m}}\cos\omega_1 t$，交流電流源 $i(t) = I_{\mathrm{m}}\sin\omega_2 t$ とする。

抵抗に流れる電流 $i_{\mathrm{R}}(t)$ は，電流の向きを考えると，

$$i_{\mathrm{R}}(t) = I_{\mathrm{e}}\cos(\omega_1 t + \varphi_{\mathrm{e}}) - I_{\mathrm{i}}\sin(\omega_2 t + \varphi_{\mathrm{i}})$$

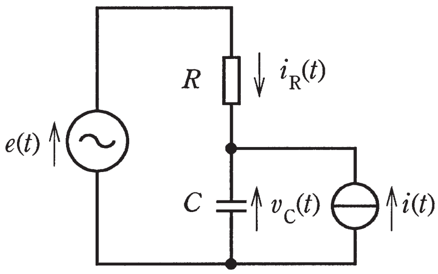
と表すことが出来る。電圧源のみで考えると $I_{\mathrm{e}} = \boxed{(1)}$ ，電流源のみで考えると $I_{\mathrm{i}} = \boxed{(2)}$ となる。

同様に，キャパシタの両端の電圧 $v_{\mathrm{C}}(t)$ を，電圧源，電流源それぞれについて求めると，

$$v_{\mathrm{C}}(t) = V_{\mathrm{e}}\cos(\omega_1 t + \phi_{\mathrm{e}}) + V_{\mathrm{i}}\sin(\omega_2 t + \phi_{\mathrm{i}})$$

と表すことができる。ここで， $-\dfrac{\pi}{2} < \phi_{\mathrm{e}} < \dfrac{\pi}{2}$ とする。

このとき，$V_{\mathrm{e}} = \boxed{(3)}$ ，$\phi_{\mathrm{e}} = \boxed{(4)}$ ，$V_{\mathrm{i}} = \boxed{(5)}$ となる。



●S1－R006

〔問２の解答群〕

(イ) $\dfrac{\omega_1 C E_m}{1+\omega_1 CR}$　(ロ) $\dfrac{\omega_2 CRI_m}{\sqrt{1+(\omega_2 CR)^2}}$　(ハ) $\dfrac{\pi}{2}-\tan^{-1}\omega_1 CR$　(ニ) $\dfrac{RI_m}{\sqrt{1+(\omega_2 CR)^2}}$

(ホ) $\dfrac{\omega_1 C E_m}{\sqrt{1+(\omega_1 CR)^2}}$　(ヘ) $\omega_1 C E_m$　(ト) $\dfrac{E_m}{R}$　(チ) $\dfrac{I_m}{\sqrt{1+(\omega_2 CR)^2}}$

(リ) $\dfrac{I_m}{\omega_2 C}$　(ヌ) $\dfrac{I_m}{1+\omega_2 CR}$　(ル) $-\tan^{-1}\dfrac{1}{\omega_1 CR}$　(ヲ) $\dfrac{RI_m}{1+\omega_2 CR}$

(ワ) $\dfrac{E_m}{\sqrt{1+(\omega_1 CR)^2}}$　(カ) $\dfrac{E_m}{1+\omega_1 CR}$　(ヨ) $-\tan^{-1}\omega_1 CR$

問３　次の文章は，回路の過渡現象に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選びなさい。

図１のように，片側矩形波電流を供給する電流源 $i_s(t)$ と並列内部抵抗 R で表される電源に，インダクタンス L のコイルとスイッチ S を接続し，$t=0$ でスイッチ S を閉じた。スイッチを閉じる前のコイルの磁束は零とする。電流源 $i_s(t)$ の波形は図２のように $t>T$ で周期的であり，$0<I<I_0$ である。

$0<t<T$ でコイルの電流 $i(t)$ が満たす微分方程式は，

$$L\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}i(t)=\boxed{\quad(1)\quad}$$

である。よって次式が得られる。

$$i(T)=I_0\times\boxed{\quad(2)\quad}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad①$$

次に $T<t<2T$ では，$i_s(t)=0$ であることから，

$$i(2T)=i(T)\times\boxed{\quad(3)\quad}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad②$$

同様に，電流源 $i_s(t)$ の波形に注意すれば，

$$i(3T)=i(2T)\times\boxed{\quad(3)\quad}+I\times\boxed{\quad(2)\quad}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\quad③$$

$$i(4T)=i(3T)\times\boxed{\quad(3)\quad}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad④$$

が得られる。

$i(T)+i(2T)=I$ が成立するとき，②式と③式の左辺の和を，各式の右辺の和で表すと

$$i(2T)+i(3T)=\left[i(T)+i(2T)\right]\times\boxed{\quad(3)\quad}+I\times\boxed{\quad(2)\quad}=\boxed{\quad(4)\quad}$$

となる。この結果を利用すると，③式と④式の左辺の和に対しても

$$i(3T)+i(4T)=\boxed{\quad(4)\quad}$$

が成立する。このときコイルの電流 $i(t)$ は，$i_s(t)$ と同じように $t>T$ で周期 $2T$ の電流となる。$i(T)+i(2T)=I$ が成立するのは，①式と②式より，I と I_0 の関係が $\boxed{\quad(5)\quad}$ のときである。

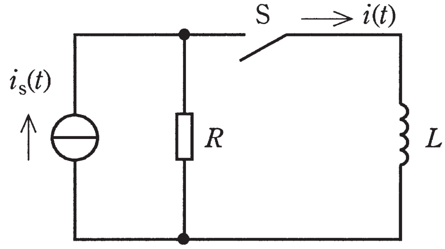


図 1

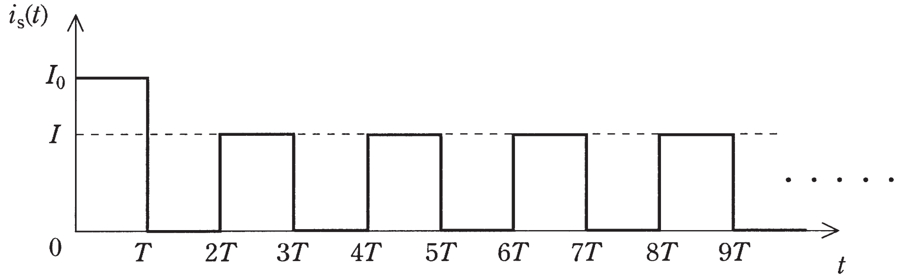


図 2

〔問 3 の解答群〕

(イ) $R\left[i(t)-I_0\right]$　(ロ) $\left(\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}T}-1\right)$　(ハ) $\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{L}{R}T}\right)$

(ニ) $I=I_0\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}T}\right)$　(ホ) $I=I_0\,\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}T}$　(ヘ) $R\left[I_0-i(t)\right]$

(ト) $I\,\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}T}$　(チ) $I=I_0\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{2R}{L}T}\right)$　(リ) $\mathrm{e}^{-\frac{2R}{L}T}$

(ヌ) $R\left[I_0+i(t)\right]$　(ル) $\mathrm{e}^{-\frac{L}{R}T}$　(ヲ) $\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}T}$

(ワ) $I\,\mathrm{e}^{-\frac{2R}{L}T}$　(カ) I　(ヨ) $\left(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}T}\right)$

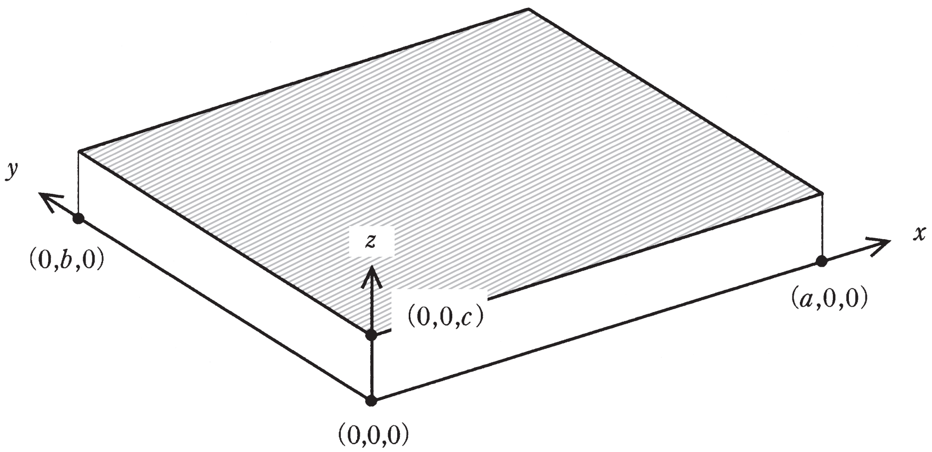
問４　次の文章は，ホール測定に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選びなさい。

図のような，x 方向に a，y 方向に b，z 方向に c の大きさをもった直方体の試料がある。ただし，試料は正孔がキャリヤの多数を占める p 形半導体とする。

いま $y=0$ の面が正に，$y=b$ の面が負になるように電圧 V_y を掛けたとすると，一様な y 方向の電界 E_y の大きさは $\boxed{(1)}$ となり，電流が流れる。y 方向のキャリヤの平均速度 v_y は，散乱がある半導体においては $v_y=\mu E_y$ という比例関係が成り立つ。この μ は $\boxed{(2)}$ と呼ばれる。

ここで，垂直な z 方向（図中で上向き）に磁束密度 B_z を加えると，磁界中を平均速度 v_y で y 方向に動くキャリヤは，電荷量が単位電荷 q であることから，x 方向に大きさ $\boxed{(3)}$ のローレンツ力 F_L を受ける。すると，$x=a$ の面では正孔が溜まり，正に帯電し，$x=0$ の面で正孔不足となり負に帯電して，x 方向に電界 E_x が発生する。キャリヤが x 方向の電界から受ける力 qE_x とローレンツ力 F_L は打ち消し合い，平衡状態となるので，E_x の大きさは $\boxed{(4)}$ となる。そこで $x=0$ の面と $x=a$ の面の間に発生する電圧 V_H と y 方向に印加した電圧 V_y の比の大きさは $\boxed{(5)}$ である。

以上の関係から磁束密度が分かっている場合には μ を求めることができ，また μ が分かった試料は，磁気センサとして用いることができる。



〔問 4 の解答群〕

(イ) $|\mu E_{y} B_{z}|$　(ロ) $\left|\dfrac{V_{y}}{b}\right|$　(ハ) $|q\, v_{y} B_{z} a|$　(ニ) $\left|\dfrac{\mu E_{y} B_{z}}{c}\right|$

(ホ) $\left|\dfrac{\mu B_{z} a}{b}\right|$　(ヘ) $|q\, \mu E_{y} B_{z}|$　(ト) $\left|\dfrac{\mu B_{z}}{c}\right|$　(チ) 抵抗率

(リ) $|q\, v_{y} B_{z} b|$　(ヌ) 伝導度　(ル) $\left|\dfrac{V_{H}}{b}\right|$　(ヲ) $\left|\dfrac{\mu E_{y} B_{z}}{a}\right|$

(ワ) $\left|\dfrac{V_{y}}{a}\right|$　(カ) $\left|\dfrac{\mu B_{z}}{a}\right|$　(ヨ) 移動度

B問題（配点は1問題当たり10点）

問5　次の文章は，変圧器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。

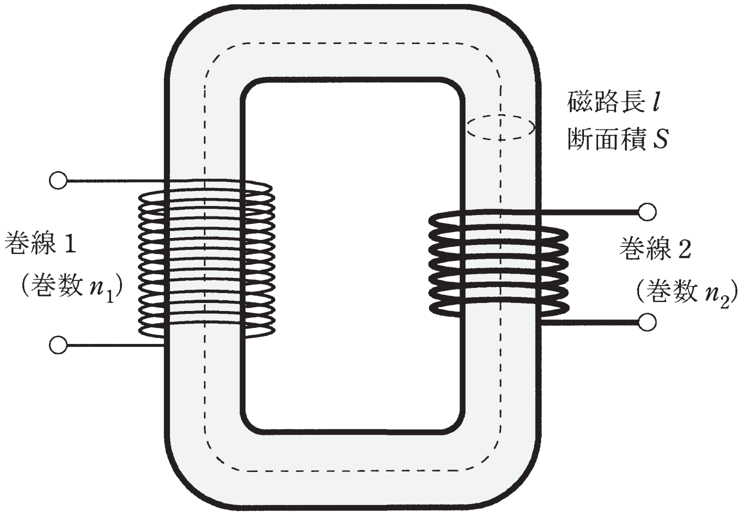
図に示すような単相変圧器がある。ここで，鉄心の比透磁率を μ_r，磁路長を l，断面積を S とし，巻数が n_1 の巻線1と巻数が n_2 の巻線2が巻かれている。また，真空の透磁率を μ_0 とし，磁束の漏れは無視できるものとする。

巻線1に周波数 f の交流電流 i を流したとき，鉄心の磁気回路を考えることで，鉄心中の磁束 Φ は $\Phi = \boxed{(1)}$ と表される。

鉄心中の磁束 Φ を用いると，巻線2に発生する起電力 U は $U = \boxed{(2)}$ と表される。

例えば，交流電流の周波数を50 Hz，実効値を1Aとすると，交流電流 i は三角関数を用いて $i = \boxed{(3)} \sin\left(\boxed{(4)}\, t\right)$ [A] と表すことができるため，$\Phi = \boxed{(1)}$ と $U = \boxed{(2)}$ の関係を用いて，巻線2の両端に発生する電圧を求めることができる。

例えば，$n_1 = 100$，$n_2 = 20$，$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]，$\mu_r = 1\,000$，$S = 3.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}^2$，$l = 0.5\ \mathrm{m}$ とすると，巻線2の両端には実効値で $\boxed{(5)}$ V の電圧が発生することになる。



〔問５の解答群〕

(イ) $-n_2\dfrac{\mathrm{d}^2\Phi}{\mathrm{d}t^2}$	(ロ) $\dfrac{n_1 i\mu_0\mu_r S}{2\pi l}$	(ハ) $\dfrac{n_1 i\mu_0\mu_r S}{l}$	(ニ) $\sqrt{2}$
(ホ) 4.73	(ヘ) 2	(ト) 3.46	(チ) $-n_2\Phi^2$
(リ) 100π	(ヌ) 50	(ル) $\dfrac{n_1 i\mu_0\mu_r S}{2\pi l^2}$	(ヲ) 2.82
(ワ) $-n_2\dfrac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$	(カ) $\sqrt{3}$	(ヨ) 50π	

問６　次の文章は，直流電源と抵抗からなる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びなさい。

図１に示すように直列内部抵抗 r と直流電圧源 E_0 で表される電源，並列内部抵抗 r と直流電流源 I_0 で表される電源，及び負荷抵抗 R を直列接続した回路を考える。ただし，$E_0 = rI_0$ とする。このとき図１の回路の電流 I_1 と I_2 はそれぞれ $I_1 = \boxed{(1)} \times I_0$，$I_2 = \boxed{(2)} \times I_0$ である。図１の回路の二つの内部抵抗 r と負荷抵抗 R で消費される電力の総和を P_1 とおくと $P_1 = \boxed{(3)} \times {I_0}^2$ である。

次にテブナンの定理とノートンの定理を使って，図１の回路の電源の等価変換を行った。

(a) 図１の回路の二つの電源を一つの電圧源に等価変換した回路を図２とする。

(b) 図１の回路の二つの電源を一つの電流源に等価変換した回路を図３とする。

図１の回路の電流 I_2 と図３の回路の電流 I_3 の関係は，$I_3 = \boxed{(4)} \times I_2$ である。三つの回路の消費電力が同じになるのは，$I_3 = I_1$ となるときである。そのとき図１の回路の内部抵抗 r と負荷抵抗 R の関係は $\boxed{(5)}$ となる。

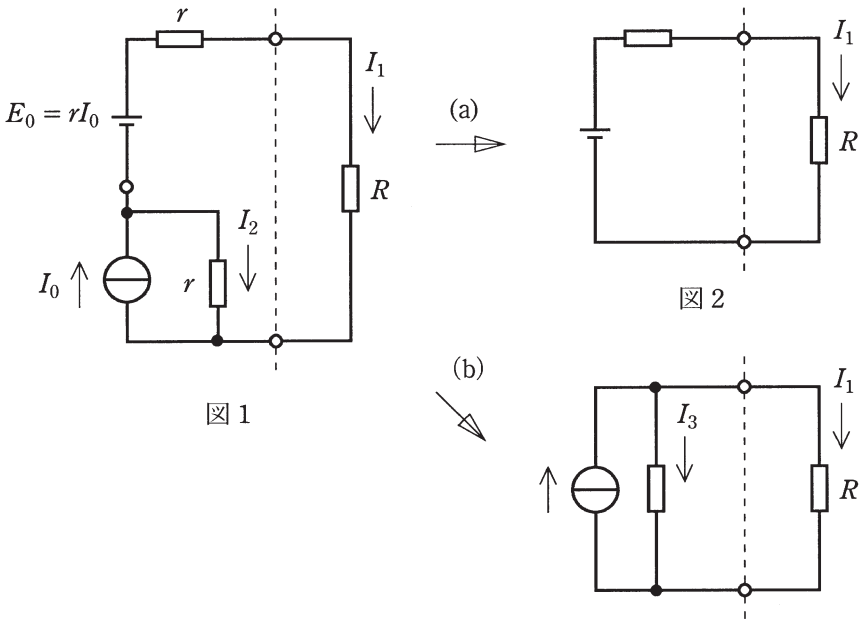


図１

図２

図３

●S1－R014

〔問６の解答群〕

(イ) $R=r$	(ロ) $\dfrac{r}{R+2r}$	(ハ) 1	(ニ) $\dfrac{Rr}{(R+2r)^2}$
(ホ) $\dfrac{r}{R}$	(ヘ) $\dfrac{R}{R+2r}$	(ト) $\dfrac{R}{r}$	(チ) $\dfrac{2R}{R+2r}$
(リ) $(R+r)$	(ヌ) $2R=r$	(ル) $\dfrac{R+r}{R+2r}$	(ヲ) $\dfrac{2r}{R+2r}$
(ワ) R	(カ) $R=2r$	(ヨ) r	

問７及び問８は選択問題であり，問７又は問８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７　次の文章は，図１に示す MOSFET を用いた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びなさい。ただし，図 1 は増幅回路の交流成分のみを考慮しており，MOSFET の交流等価回路は図２で表されるものとする。また，抵抗 R_L を 25 kΩ，伝達コンダクタンス g_m を 1.0 mS とする。

図２の MOSFET の交流等価回路を使って得られる図１の増幅回路の交流等価回路において，v_{gs} は $v_{gs} = \boxed{(1)}$ であるので，電流 i_{in} は $i_{in} = \boxed{(2)}$ となる。この結果に数値を代入すると，図１の増幅回路の入力抵抗が $\dfrac{v_{in}}{i_{in}} = \boxed{(3)}$ kΩ であることが分かる。さらに，i_L は i_{in} に等しいので，v_{out} を R_L，g_m，v_{in} を用いて表すと，$v_{out} = \boxed{(4)}$ であることが分かる。この結果に数値を代入すると，増幅度 $\dfrac{v_{out}}{v_{in}}$ は $\dfrac{v_{out}}{v_{in}} = \boxed{(5)}$ 倍となる。

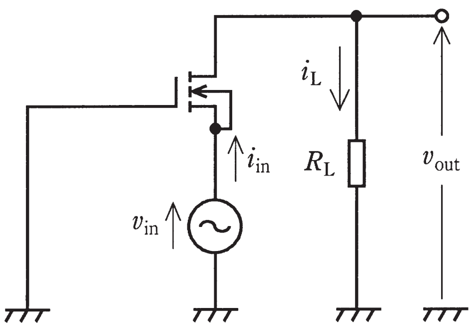


図１

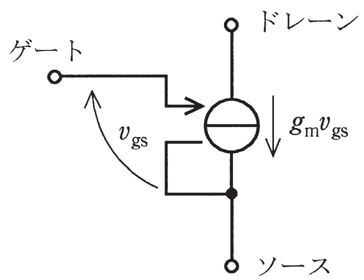


図２

〔問 7 の解答群〕

(イ) 1.0	(ロ) $-v_{\mathrm{in}}$	(ハ) $-g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{L}}v_{\mathrm{in}}$
(ニ) $-g_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{in}}$	(ホ) $g_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{in}}$	(ヘ) $g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{L}}v_{\mathrm{in}}$
(ト) $2v_{\mathrm{in}}$	(チ) 5.0	(リ) v_{in}
(ヌ) $\dfrac{g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{L}}v_{\mathrm{in}}}{2}$	(ル) $\dfrac{g_{\mathrm{m}}v_{\mathrm{in}}}{2}$	(ヲ) -25
(ワ) 2.0	(カ) 25	(ヨ) -1.0

（選択問題）

問８　次の文章は，接地抵抗計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。

図のように，測定対象の接地電極をE，補助電極をP_1及びP_2とし，その接地抵抗値をそれぞれR_e，R_1及びR_2とする。また，交流電源の電圧をV，固定抵抗器の抵抗値をR，滑り抵抗器の抵抗値（A−C間）をR_Sとする。ただし，各電極は互いに影響がないように十分離して接地されている。

図に示す接地抵抗値の測定において，電流Iが図のように流れ，スイッチSが1側に閉じているときの電極E及びP_2間の地中の電位分布を図に表すと $\boxed{(1)}$ のようになる。

いま，スイッチSを1側に閉じ，滑り抵抗器のA−B間の抵抗値がr_1，B−C間の抵抗値がr_2を示したときに検出器 D の読みが零になり回路が平衡したとすれば，①式が得られる。

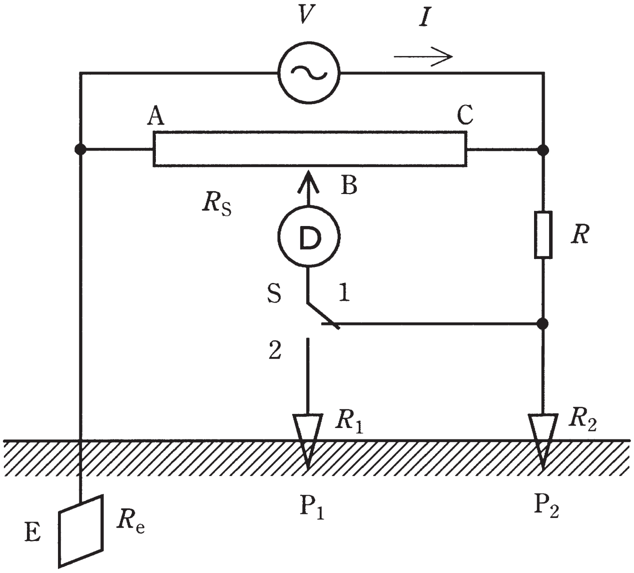
$r_1R = \boxed{(2)}$ ・・ ①

次に，スイッチSを2側に閉じ，同様に滑り抵抗器のA−B間の抵抗値がr_3，B−C間の抵抗値がr_4を示したときに回路が平衡したとすれば，②式が得られる。

$r_4R_e = \boxed{(3)}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ②

以上の測定から，①式及び②式よりR_2を消去して接地抵抗値R_eを求めれば，r_1，r_2，r_3，r_4及び $\boxed{(4)}$ の値を用いて，$R_e = \boxed{(5)}$ となる。

ただし，$r_1+r_2=r_3+r_4=R_S$である。



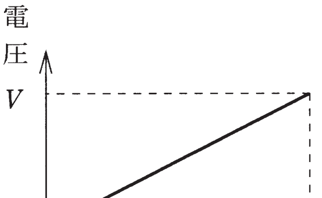
〔問８の解答群〕

(イ) R　　(ロ) $r_2(R_e+R_2)$　　(ハ) R_1　　(ニ) $r_2(R_1+R_2)$

(ホ) $\dfrac{r_3}{r_2}R_1$　　(ヘ) $\dfrac{r_3}{r_2}R$　　(ト) $r_3(R_1+R_2)$　　(チ) r_1R_2

(リ) $\dfrac{R_2}{R_1}$　　(ヌ) $r_3(R_2+R)$　　(ル) $\dfrac{r_4}{r_2}R$　　(ヲ) r_3R_2

(ワ)



(カ)

(ヨ)