平成 22 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：０１４１Ｋ０１２３Ｃの場合）

受験番号										
数字				記号	数字				記号	
0	1	4	1	K	0	1	2	3	C	
●					●	⓪	⓪	⓪	Ⓐ	A
①	●	①	●		①	●	①	①	Ⓑ	B
②		②	②		②	②	●	②	●	C
③		③	③	●	③	③	③	●	Ⓚ	K
④		●	④		④	④	④	④	Ⓛ	L
⑤			⑤		⑤	⑤	⑤	⑤	Ⓜ	M
⑥			⑥		⑥	⑥	⑥	⑥	Ⓝ	N
⑦					⑦	⑦	⑦	⑦		
⑧					⑧	⑧	⑧	⑧		
⑨					⑨	⑨	⑨	⑨		

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。

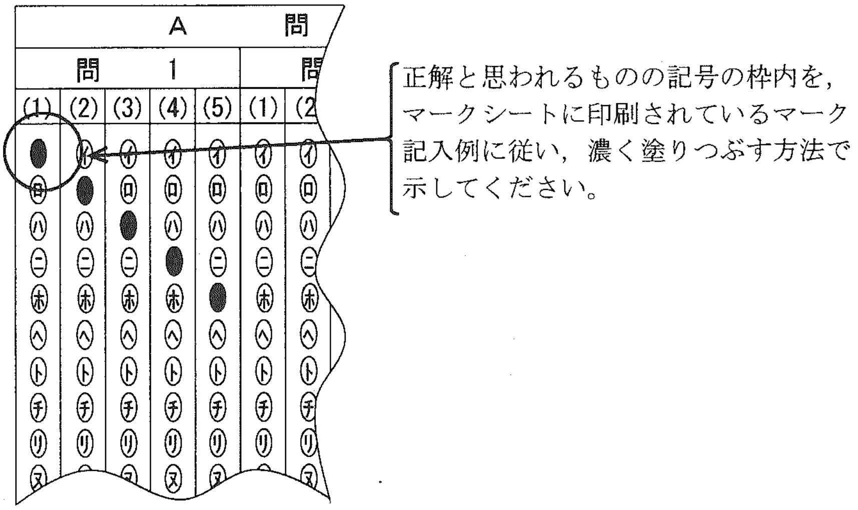
4．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

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 $\boxed{\quad (1) \quad}$ 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）



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，2 導体間及び大地に平行に張られた電線の静電容量に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる語句又は式を解答群の中から選びなさい。ただし，空気の誘電率を ε_0 とする。

図 1 に示すように，空気中に半径 a，導体間距離 d の 2 本の無限長平行導体があり，各導体に単位長さ当たり $+\rho$，$-\rho$ の電荷を与えた場合を考える。ここで，$d \gg a$ とする。

このとき，2 本の導体の軸を結ぶ平面上，単位長さ当たり $+\rho$ の電荷を与えた導体の中心軸から x の点の電界の強さは，

$$E(x) = \boxed{(1)} \quad \cdots\cdots ①$$

となる。

したがって，導体間の電位差は，

$$V = \int_a^{d-a} E(x)\mathrm{d}x = \boxed{(2)} \quad \cdots\cdots ②$$

と求まる。

よって，単位長さ当たりの導体間の静電容量は，

$$C = \boxed{(3)} \quad \cdots\cdots ③$$

と計算できる。

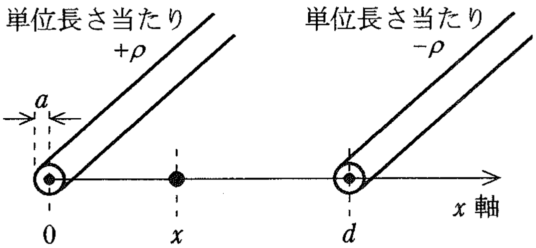


図 1

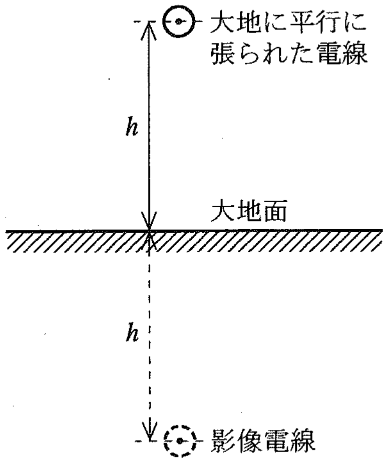


図 2

次に，図２に示すように，平たんな大地面上の高さ h に大地と平行に張られた半径 a の電線の大地に対する単位長さ当たりの静電容量を，影像法を用いて求める。ここで，$h \gg a$ とする。

まず，大地面上の高さ h の電線と平行に，大地中の深さ h に張られた半径 a の影像電線を想定する。このとき，③式において $d = 2h$ を代入することで２電線間の単位長さ当たりの静電容量を求めることができる。この静電容量は，大地面と電線間の静電容量と，大地面と影像電線との間の仮想的な静電容量とが直列接続されたものである。したがって，電線の大地に対する単位長さ当たりの静電容量は，電線と影像電線とからなる２電線間の場合の $\boxed{\quad(4)\quad}$ となる。よって，電線の大地に対する単位長さ当たりの静電容量は，

$$C = \boxed{\quad(5)\quad} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad ④$$

と求めることができる。なお，ここで，大地は完全導体であるとする。

〔問１の解答群〕

(イ) 4 倍

(ロ) $\dfrac{\rho\varepsilon_0}{2\pi}\left[\dfrac{1}{x^2}+\dfrac{1}{(d-x)^2}\right]$

(ハ) $\dfrac{\pi\varepsilon_0}{2\ln\dfrac{2h-a}{a}}$

(ニ) $\dfrac{\rho}{\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{d-a}\right)$

(ホ) $\dfrac{\pi\varepsilon_0}{\ln\dfrac{d-a}{a}}$

(ヘ) $\dfrac{\rho^2}{\pi\varepsilon_0}\ln\dfrac{h-a}{a}$

(ト) $\dfrac{\pi\varepsilon_0 a(d-a)}{d-2a}$

(チ) $\dfrac{\rho}{2\pi\varepsilon_0}\left[\dfrac{1}{x^2}+\dfrac{1}{(d-x)^2}\right]$

(リ) $\dfrac{1}{2}$ 倍

(ヌ) $\dfrac{\rho}{2\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{x}+\dfrac{1}{d-x}\right)$

(ル) $\dfrac{\rho\varepsilon_0}{\pi}\left(\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{d-a}\right)$

(ヲ) $\dfrac{\rho}{\pi\varepsilon_0}\ln\dfrac{d-a}{a}$

(ワ) 2 倍

(カ) $\dfrac{\rho^2}{\pi\varepsilon_0}\ln\dfrac{d-a}{a}$

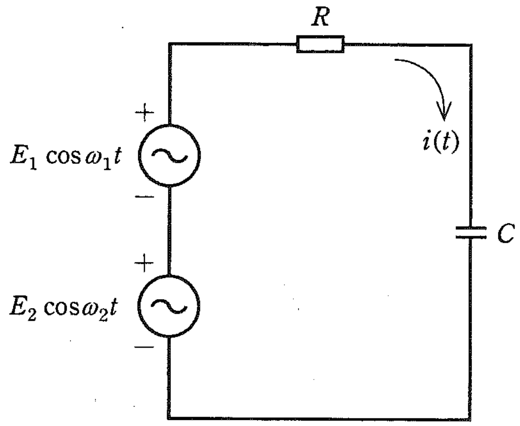
(ヨ) $\dfrac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\dfrac{2h-a}{a}}$

問２　次の文章は，回路の電流と消費電力に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる数値を解答群の中から選びなさい。

図に示す交流回路において，回路に流れる電流と消費される電力を求めたい。ただし，$R = 1$〔Ω〕，$C = 5$〔μF〕，$E_1 = 10$〔V〕，$E_2 = 16$〔V〕，$\omega_1 = 10^5$〔rad/s〕，$\omega_2 = 2\times10^5$〔rad/s〕とする。

回路に流れる電流 $i(t)$ は，重ねの理より，電圧源 $E_1\cos\omega_1 t$ が単独で存在するときに流れる電流 $I_1\cos(\omega_1 t+\varphi_1)$ と電圧源 $E_2\cos\omega_2 t$ が単独で存在するときに流れる電流 $I_2\cos(\omega_2 t+\varphi_2)$ とを足し合わせたものとなる。ここに $I_1 = \boxed{(1)}$〔A〕，$I_2 = \boxed{(2)}$〔A〕，$\tan\varphi_1 = \boxed{(3)}$ となる。

次に消費電力は，周波数の異なる二つの電圧源の間の相互干渉はないから，回路を電圧源 $E_1\cos\omega_1 t$ のみで励振したときの消費電力 $\boxed{(4)}$〔W〕と電圧源 $E_2\cos\omega_2 t$ のみで励振したときの消費電力との和で表すことができ，$\boxed{(5)}$〔W〕となる。



●S1－R006

〔問２の解答群〕

(イ) $\frac{10\sqrt{3}}{3}$	(ロ) $\frac{8\sqrt{3}}{3}$	(ハ) 2	(ニ) $4\sqrt{2}$
(ホ) 15	(ヘ) 10	(ト) 58	(チ) $8\sqrt{2}$
(リ) 20	(ヌ) 74	(ル) $2\sqrt{5}$	(ヲ) 86
(ワ) $5\sqrt{2}$	(カ) 3	(ヨ) 4	

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 $\boxed{}$ に当てはまる式又は図を解答群の中から選びなさい。

図のように，抵抗 R_1, R_2, R_3, 静電容量 C_1, C_2, 電圧源 E 及びスイッチ S_1, S_2 からなる回路がある。スイッチを次のように開閉したとき，抵抗 R_2 に流れる電流 i と静電容量 C_1, C_2 の両端の電圧 v_1, v_2 の時間的変化を求めたい。静電容量 C_1, C_2 にある電荷をそれぞれ q_1, q_2 とする。

時間 $t < 0$ ではスイッチ S_1, S_2 は閉じた状態にあり，回路は定常状態であるとする。$v_1 = \boxed{(1)}$，$v_2 = \boxed{(2)}$ である。このときの q_1, q_2 をそれぞれ Q_{10}, Q_{20} とする。

時刻 $t = 0$ において，スイッチ S_1, S_2 を同時に開いた。時間 $t > 0$ における電流 i と電圧 v_1, v_2 の時間的変化を考える。

C_1 から C_2 への電荷の移動量を q とすると，v_1, v_2 は

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= \frac{q_1}{C_1} = \frac{Q_{10} - q}{C_1} \\ v_2 &= \frac{q_2}{C_2} = \frac{Q_{20} + q}{C_2} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots ①$$

となる。また，次の v_1 と v_2，電流 i と電荷 q の関係式

$$v_1 = v_2 + R_2 i \quad \cdots\cdots ②$$

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \quad \cdots\cdots ③$$

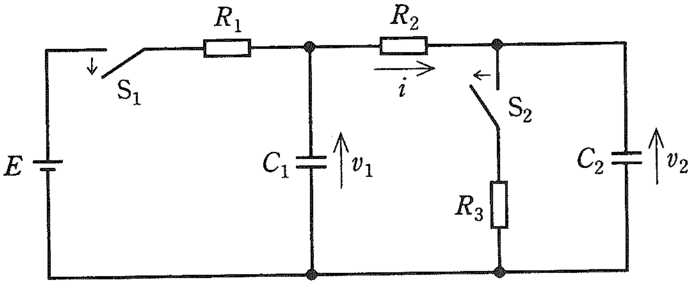
より，q についての微分方程式を求めると，

$$R_2 \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) q = \frac{Q_{10}}{C_1} - \frac{Q_{20}}{C_2} \quad \cdots\cdots ④$$

となる。この式を初期条件を考慮して解くと，q は次式で表される。

$$q = \boxed{(3)} \times \left(1 - \mathrm{e}^{\boxed{(4)} \times t}\right) \quad \cdots\cdots ⑤$$

この q を③式に代入すると i, ①式に代入すると v_1, v_2 が求まる。ここで，v_1, v_2 の時間的変化を表す図は $\boxed{(5)}$ である。



〔問３の解答群〕

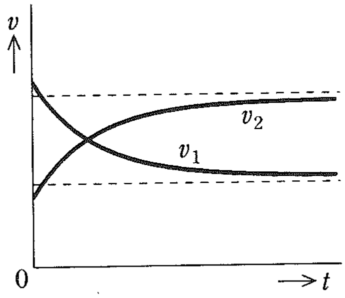
(イ) $\dfrac{C_2Q_{10}-C_1Q_{20}}{C_1+C_2}$ (ロ) $\dfrac{C_1Q_{10}-C_2Q_{20}}{C_1+C_2}$ (ハ) $\dfrac{C_2Q_{10}+C_1Q_{20}}{C_1+C_2}$

(ニ) $\dfrac{R_3}{R_1+R_2+R_3}E$ (ホ) $-\dfrac{C_1+C_2}{R_2C_1C_2}$ (ヘ) $\dfrac{R_3}{R_2+R_3}E$

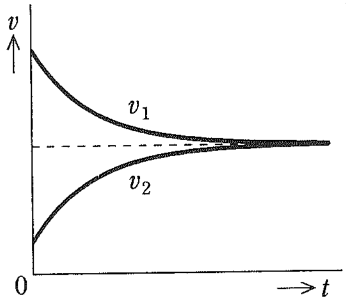
(ト) E (チ) $\dfrac{C_1-C_2}{R_2C_1C_2}$ (リ) $\dfrac{R_2+R_3}{R_1+R_2+R_3}E$

(ヌ) $\dfrac{R_1+R_2}{R_1+R_2+R_3}E$ (ル) $-\dfrac{C_1-C_2}{R_2C_1C_2}$ (ヲ) $\dfrac{R_1}{R_1+R_2+R_3}E$

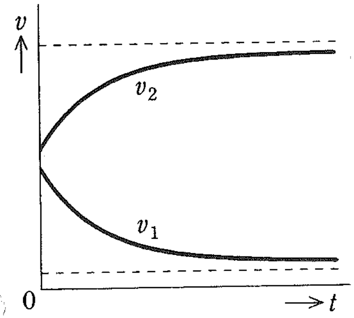
(ワ)



(カ)



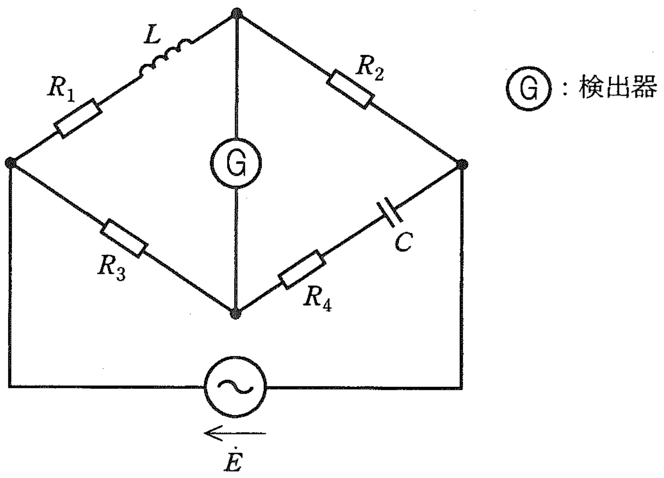
(ヨ)



問4　次の文章は，ヘイブリッジに関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切な式を解答群の中から選びなさい。

図において，交流電源の電圧を $\dot{E}$，その角周波数を $\omega(\omega = 2\pi f)$ とし，R_2，R_3 及び R_4 は既知の抵抗，C は既知の静電容量，Ⓖは検出器であるとする。いま，角周波数 ω が既知であり，インダクタンス L とその抵抗 R_1 が未知の場合を考える。検出器Ⓖの指示が零となりブリッジが平衡しているとすれば，平衡条件式の実数部より $\dfrac{L}{C} = \boxed{(1)}$，虚数部より $\omega^2 = \boxed{(2)}$ が成立する。したがって，未知のインダクタンス L とその抵抗 R_1 はそれぞれ，$L = \boxed{(3)}$，$R_1 = \boxed{(4)}$ で求められる。

次に，ブリッジの各素子 R_2，R_3，R_4，C 及びインダクタンス L とその抵抗 R_1 が既知であり，角周波数 ω が未知である場合を考える。平衡条件式の虚数部に着目し，ブリッジに接続された交流電源の周波数 f を求めれば，$f = \boxed{(5)}$ となる。



●S1−R010

〔問４の解答群〕

(イ) CLR_1R_4

(ロ) $\dfrac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{CLR_4}}$

(ハ) $R_2R_3-R_1R_4$

(ニ) $\dfrac{CR_2R_3}{1-\omega^2C^2{R_4}^2}$

(ホ) $\dfrac{\omega^2C^2R_2R_3R_4}{1-\omega^2C^2{R_4}^2}$

(ヘ) $\dfrac{\sqrt{R_1}}{2\pi\sqrt{CLR_4}}$

(ト) $\omega^2C^2R_2R_3R_4$

(チ) $\dfrac{CR_2R_3}{1+\omega^2C^2{R_4}^2}$

(リ) $2\pi\sqrt{CL}$

(ヌ) $\dfrac{R_4}{CLR_1}$

(ル) CR_2R_3

(ヲ) R_2R_3

(ワ) $\dfrac{\omega^2C^2R_2R_3R_4}{1+\omega^2C^2{R_4}^2}$

(カ) $R_1R_4-R_2R_3$

(ヨ) $\dfrac{R_1}{CLR_4}$

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，円筒導体及び円柱導体の磁界分布及び電界分布に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる式又は数値を解答群の中から選びなさい。ただし，真空の透磁率を μ_0，真空の誘電率を ε_0 とする。

a．図1に示すように，無限長で半径 a の，厚さが無視できる円筒導体に一様に直流電流 I が流れている。このとき，中心軸から r 離れた点Pにおける磁束密度の大きさは，円筒内部 $(r<a)$ では $\boxed{(1)}$ であり，円筒外部 $(a<r)$ では $\boxed{(2)}$ である。

b．図2に示すように，無限長で半径 a の円柱導体（透磁率 μ_0）の内部に一様に直流電流 I が流れている。このとき，中心軸から r 離れた点Pにおける磁束密度の大きさは，円柱内部 $(r<a)$ では $\boxed{(3)}$ であり，円柱外部 $(a<r)$ では上記a．の円筒導体の場合と同じ $\boxed{(2)}$ である。

c．図3に示すように，半径が異なり厚さが無視できる十分長い円筒導体が二つあり，同心に配置されている。その一端に電圧 V の直流電源，他端に抵抗 R の負荷が接続されている。内側円筒導体の半径を a，外側円筒導体の半径を b とするとき，中心軸から r 離れた点Pにおける周方向の磁界の強さは導体間 $(a<r<b)$ において，$\boxed{(2)}$ を μ_0 で除し，$I=\dfrac{V}{R}$ の関係を用いて I を消去することにより $\boxed{(4)}$ である。ただし，電流は円筒導体中を軸方向に一様に流れるものとする。

d．図3の場合，内側導体と外側導体には電位差 V が存在するため，向かい合う両導体には誘導電荷が生じ，導体間には電界が生じる。ここで，単位長さ当たり λ の電荷密度を仮定すると，中心軸から r 離れた点Pにおける径方向の電界の大きさ E_{r} は，導体間 $(a<r<b)$ で $E_{\mathrm{r}}=\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$ となる。$V=-\displaystyle\int_b^a E_{\mathrm{r}}\,\mathrm{d}r=\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln\dfrac{b}{a}$ の関係を用いて λ を消去すると，E_{r} は $\boxed{(5)}$ である。

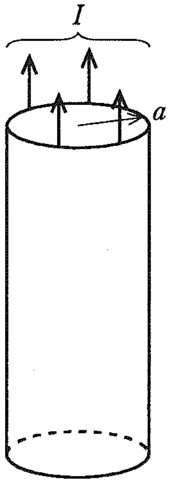


図 1

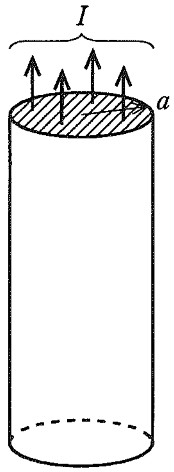


図 2

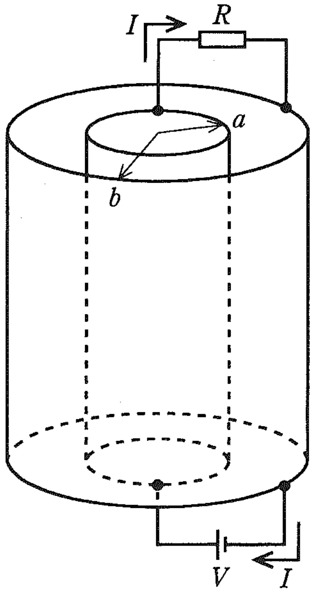


図 3

〔問５の解答群〕

(イ) $\dfrac{I}{2\pi r}$　　(ロ) $\dfrac{V}{4\pi r^2 R}$　　(ハ) $\dfrac{\mu_0 I}{4\pi r^2}$

(ニ) $\dfrac{V}{r\ln\dfrac{b}{a}}$　　(ホ) $\dfrac{3\mu_0 I r^2}{4\pi a^3}$　　(ヘ) $\dfrac{r\ln\dfrac{b}{a}}{4\pi\varepsilon_0 V}$

(ト) $\mu_0 I$　　(チ) $\dfrac{V}{2\pi r R}$　　(リ) 0

(ヌ) $\dfrac{\mu_0 I r}{2\pi a^2}$　　(ル) $\dfrac{V}{\pi r^2 R}$　　(ヲ) $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$

(ワ) $\dfrac{V r}{4\pi^2 \varepsilon_0{}^2 \ln\dfrac{b}{a}}$　　(カ) $\dfrac{\mu_0 I}{\pi r^2}$　　(ヨ) $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi r^2}$

問６　次の文章は，直流回路の電流に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる数値を解答群の中から選びなさい。

図１に示す直流回路において，5〔Ω〕の抵抗に流れる電流 I をテブナンの定理によって求めたい。

まず，5〔Ω〕の抵抗を取り除いた図２の回路において端子 1－2 間に現れる電圧 V_{12} を求めると，V_{10} が $\boxed{(1)}$〔V〕，V_{20} が $\boxed{(2)}$〔V〕となることより，$V_{12} = \boxed{(3)}$〔V〕となる。ただし，V_{10} 及び V_{20} はそれぞれ端子０を基準とした端子１の電圧及び端子２の電圧である。

次に，図２の回路において回路内のすべての電圧源の電圧を零とした回路について端子１－２間の抵抗を求めると $\boxed{(4)}$〔Ω〕となる。

以上より，端子１－２間に５〔Ω〕の抵抗を接続したときに流れる電流 I はテブナンの定理により $\boxed{(5)}$〔A〕となる。

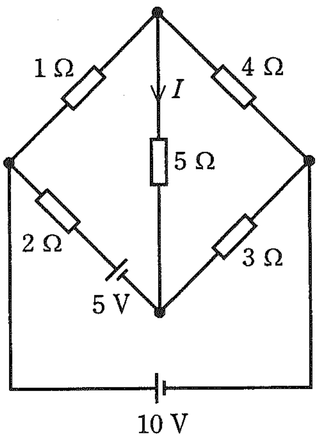


図 1

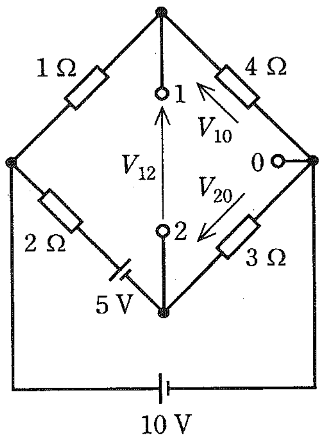


図 2

●S1－R014

〔問６の解答群〕

(イ) $-\dfrac{2}{15}$	(ロ) 9	(ハ) 5	(ニ) 7
(ホ) 10	(ヘ) $\dfrac{7}{6}$	(ト) 2	(チ) 1
(リ) 6	(ヌ) 8	(ル) 16	(ヲ) 3
(ワ) -2	(カ) 4	(ヨ) $\dfrac{5}{7}$	

問７及び問８は選択問題ですから，このうちから１問を選んで解答してください。

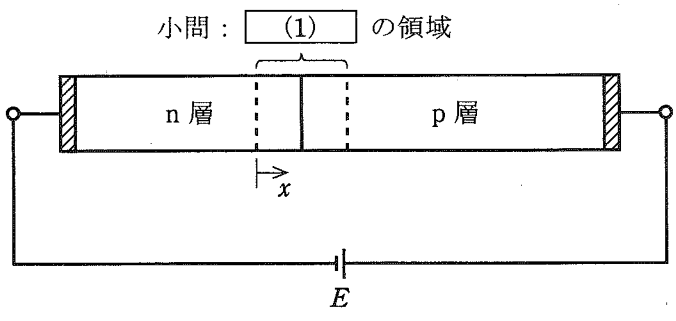
（選択問題）

問７　次の文章は，pn 接合で形成されるダイオードに関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる語句を解答群の中から選びなさい。

p 層と n 層とを接合させ，図のように電圧源 E を接続した。p 層と n 層との接合部には電子も正孔もほとんど存在しない $\boxed{(1)}$ と呼ばれる領域が生じる。まず電圧 $E=0$ とし，n 層側の $\boxed{(1)}$ 領域を考える。この領域では電子がなくなるため，電子を作り出した不純物であるドナーが $\boxed{(2)}$ となり，電子の流れに対して電位の障壁を作る。不純物分布が一様であるとすれば，n 層の $\boxed{(1)}$ が始まる境界からの距離を x とするとき，この障壁のポテンシャル関数は x の $\boxed{(3)}$ 関数として表される。

同様に p 層側では正孔がなくなることで同様に電位の障壁を作る。この二つの障壁の高さの合計を拡散電位と呼んでいる。

電圧 E を正にすると，この二つの障壁の高さの合計は $\boxed{(4)}$ ，電流が流れる。半導体中での電子や正孔の量はその運動エネルギーに対してボルツマン分布を持つと近似できるので，電流量は p 層と n 層間の電圧の増加に対して $\boxed{(5)}$ 関数的に増加する。



●S1－R016

〔問7の解答群〕

(イ) 負の電荷	(ロ) 空乏層	(ハ) 三　次	(ニ) 蓄積層
(ホ) 対　数	(ヘ) 正の電荷	(ト) 変化せず	(チ) 中性粒子
(リ) 指　数	(ヌ) 線　形	(ル) 低くなり	(ヲ) 正弦波
(ワ) 反転層	(カ) 二　次	(ヨ) 高くなり	

（選択問題）

問８　次の文章は，図１に示すバイポーラトランジスタを用いた増幅回路に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる数値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，バイポーラトランジスタの交流等価回路は図 2 で表されるものとする。また，β はエミッタ接地電流増幅率であり，ベース電流の β 倍がコレクタ電流となることを表している。

図１の電流 i_{in} はバイポーラトランジスタのベース電流 i_{b} に等しく，また，図 2 のバイポーラトランジスタの交流等価回路から $\beta = 99$ なので，抵抗 R_{L} に流れる電流 i_{L} は i_{in} の $\boxed{(1)}$ 倍であることがわかる。このこととベース抵抗 r_{b} と抵抗 R_{L} が共に 1.0〔kΩ〕であることから，図１の増幅回路の入力抵抗は $\dfrac{v_{\mathrm{in}}}{i_{\mathrm{in}}} = \boxed{(2)}$〔kΩ〕であることがわかる。同じく，$i_{\mathrm{L}}$ は i_{in} の $\boxed{(1)}$ 倍であることから，ベース抵抗 r_{b} に生じる電圧 v_{b} は抵抗 R_{L} に生じる電圧 v_{out} の $\boxed{(3)}$ 倍である。したがって，電圧利得 $\dfrac{v_{\mathrm{out}}}{v_{\mathrm{in}}}$ は $\boxed{(4)}$ 倍となる。さらに，β を 99 よりも大きくしていくと，電圧利得 $\dfrac{v_{\mathrm{out}}}{v_{\mathrm{in}}}$ は $\boxed{(5)}$ 倍に近づいていく。

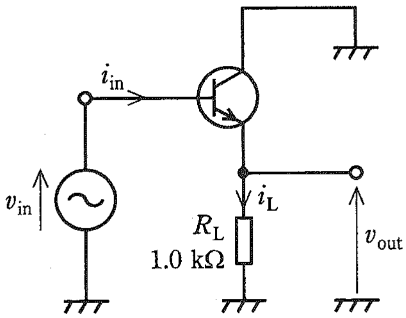


図 1

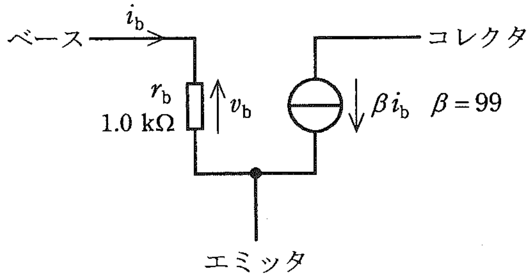


図 2

●S1－R018

〔問8の解答群〕

(イ) -101 (ロ) 101 (ハ) $\dfrac{1}{100}$ (ニ) $\dfrac{1}{99}$

(ホ) 99 (ヘ) $-\dfrac{99}{100}$ (ト) 1 (チ) 0

(リ) $\dfrac{100}{101}$ (ヌ) -1 (ル) $\dfrac{99}{101}$ (ヲ) -100

(ワ) 100 (カ) $\dfrac{1}{101}$ (ヨ) -99