

令和 8 年度

第 2 種 理 論

(第 1 時限目)

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。

氏 名	
生年月日	
カナ氏名 (字数制限の省略あり)	印字あり
試験地	印字あり

受	験	番	号
印	字	あ	り

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、マークシートの間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)

問 1					問		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)
●	○	○	○	○	○	○	○
○	●	○	○	○	○	○	○
○	○	●	○	○	○	○	○
○	○	○	●	○	○	○	○
○	○	○	○	●	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○

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])

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。

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, 静電力を利用した振動子に関する記述である。文中の 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は体積電荷密度 ρ で一様に正に帯電した誘電率 ϵ_0 (真空の誘電率) の球 S (半径 R) と, これを貫く通路 AB を示している。S は真空中に置かれている。通路 AB は十分細く滑らかな直線状であり, 周囲からは絶縁されて点電荷がここを自由に摩擦なく動くことができる。図2はこの通路と球の中心 C を含む断面を示している。

通路は図1の A と B に表面開口部を持ち, 時刻 $t=0$ において, A に質量が m で電荷 $-q$ を持つ負の点電荷をそっと置く。通路は非常に細く q は微小なので系に生じる電界には影響を与えない。最初, 点電荷は球の中心に向けて引かれるので通路の中に引き込まれる。静電力が作用し位置が変わると受ける静電力も変化する。点電荷がどのような運動を行うか検討しよう。

点電荷が図2の点 P (通路内の任意の点で, 球の中心からの距離 r) に位置するとき働く静電力 $\boldsymbol{F}$ を計算する。この静電力は図3の半径 r の球面より内側の領域 S_1 の電荷から受ける力 $\boldsymbol{F}_1$, 外側の領域 S_2 の電荷から受ける力 $\boldsymbol{F}_2$ のベクトル和として計算できる。ガウスの法則を用いると, $\boldsymbol{F}_1$ の大きさ F_1 と $\boldsymbol{F}_2$ の大きさ F_2 を計算でき, $F_1 = \text{ (1) }$ 及び $F_2 = \text{ (2) }$ である。ここで x の正方向を図4の一点鎖線矢印のとおり右向きとし, C に最も近い点 O を原点にとると, 点電荷が球全体から受ける力 $\boldsymbol{F}$ の x 方向成分は (3) と書ける。点電荷の運動方程式は

$$\text{ (4) }$$

と書けるので, この点電荷は単振動することが分かる。

単振動の性質より, 点電荷の振動周期 T は (5) のように書け, 通路の位置や向き及び最初に点電荷を置く位置によらないことが分かる。

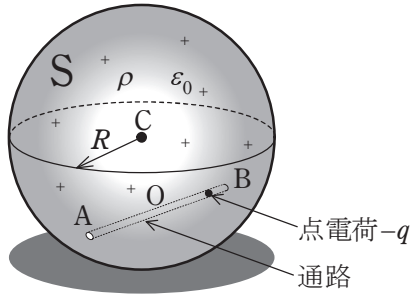


図 1

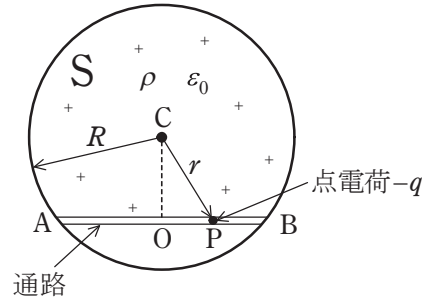


図 2

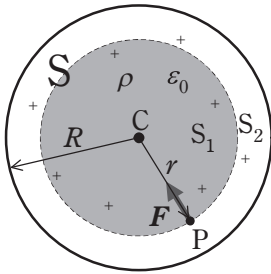


図 3

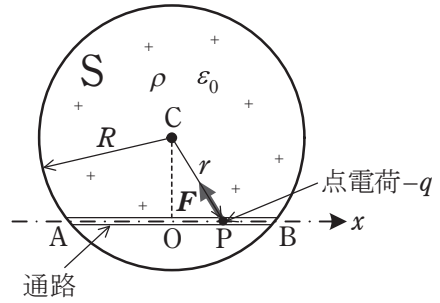


図 4

[問 1 の解答群]

$$(イ) \quad m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{4\rho q}{3\varepsilon_0} x$$

$$(ロ) \quad 2\pi \sqrt{\frac{3\varepsilon_0 m}{\rho q}}$$

$$(ハ) \quad 2\pi \sqrt{\frac{4\varepsilon_0 m}{\rho q}}$$

$$(ニ) \quad \frac{4\rho q}{3\varepsilon_0} r$$

$$(ホ) \quad -\frac{\rho q}{3\varepsilon_0} x$$

$$(ヘ) \quad m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{3\rho q}{\varepsilon_0} x$$

$$(ト) \quad 4\pi r^3 \rho q$$

$$(チ) \quad 4\pi r^2 \rho q$$

$$(リ) \quad 0$$

$$(ヌ) \quad 2\pi \sqrt{\frac{3\varepsilon_0 m}{4\rho q}}$$

$$(ル) \quad -\frac{3\rho q}{\varepsilon_0} x$$

$$(ヲ) \quad m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{\rho q}{3\varepsilon_0} x$$

$$(リ) \quad -\frac{4\rho q}{3\varepsilon_0} x$$

$$(ハ) \quad \frac{\rho q}{3\varepsilon_0} r$$

$$(ヱ) \quad \frac{\rho q}{4\varepsilon_0} r$$

問2 次の文章は、リング状電荷を回転させてできる磁界に関する記述である。文中の 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、線電荷密度 $\lambda(\lambda>0)$ で一様に帯電した半径 r のリング状電荷が真空中において角速度 ω で回転している。リング状電荷の中心を原点とし、リング状電荷に垂直な回転軸を x 軸とする。ただし、真空の透磁率を μ_0 とし、 $\omega>0$ のときに x 軸上の磁束密度が x 軸正の向きになるように回転の向きを定義する。

このとき空間に生じる磁束は、リング状電荷の置かれた部分に円電流 (1) が流れているとしたときと等価である。したがって、 x 軸上の座標 a にある点Pの磁束密度は、ビオ・サバールの法則を用いて求めることができる。図2のように、リング状電荷上に点Qを取り、そこにある微小区間 dl の等価電流を考えたとき、この等価電流が点P上につくる磁束密度の大きさは (2) , 向きは (3) である。これをリング状電荷上で周回積分することによって、点Pの磁束密度は次式のように計算できる。

$$\frac{\mu_0 r^2}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}} \times \text{ (1) }$$

ここで、図1に示された十分小さく薄い円形コイル(巻数 N 、断面積 S)を、リング状電荷と平行にかつコイルの中心が x 軸上の座標 a の点Pに来るように置く。このとき、回転するリング状電荷により発生して円形コイルに鎖交する総磁束数は (4) である。ただし、円形コイル内部の磁束密度は一様で、円形コイルに流れる電流は十分小さいとみなしてよい。

ω が時刻 t の関数として変化するとき、ファラデーの電磁誘導の法則により、円形コイルに生じる誘導起電力は (5) である。

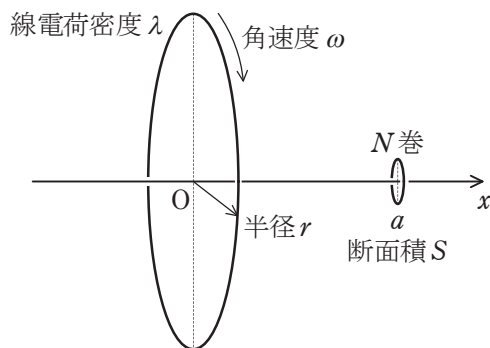


図 1

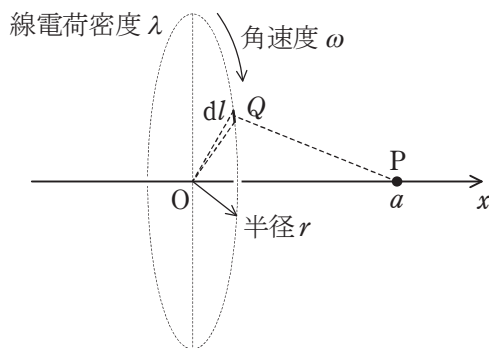


図 2

[問 2 の解答群]

- (イ) dl に平行
- (ロ) $-\frac{\mu_0 N^2 S r \lambda}{2\sqrt{a^2 + r^2}} \frac{d\omega}{dt}$
- (ハ) $-\frac{\mu_0 N S r^3 \lambda}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}} \frac{d\omega}{dt}$
- (ニ) $-\frac{\mu_0 N S r^3 \lambda}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}} \omega t$
- (ホ) $\frac{\lambda \omega}{r}$
- (ヘ) QP に平行
- (ト) $\lambda \omega$
- (チ) $\frac{\mu_0 a \lambda \omega}{4\pi(a^2 + r^2)} dl$
- (リ) $\frac{\mu_0 r \lambda \omega}{4\pi(a^2 + r^2)} dl$
- (ヌ) $\frac{\mu_0 N^2 S r \lambda \omega}{2\sqrt{a^2 + r^2}}$
- (ル) $r \lambda \omega$
- (レ) $\frac{\mu_0 \lambda \omega}{4\pi\sqrt{a^2 + r^2}} dl$
- (ロ) $\frac{\mu_0 N S r \lambda \omega}{2\sqrt{a^2 + r^2}}$
- (ハ) $\frac{\mu_0 N S r^3 \lambda \omega}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}$
- (ニ) dl と QP の両方に垂直

問3 次の文章は抵抗ブリッジ回路の電流に関する記述である。文中の 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のスイッチSを閉じたときの電流 I_0 を求めたい。

まず、図1のSが開いている場合を考える。閉路電流 I_a 、 I_b が満たす方程式は (1) となる。 I_a 、 I_b はクラメルの公式などを用いて求められる。 I_a 、 I_b を用いると、節点aを基準とする節点bの電位は、二つの抵抗 R_2 の枝での電圧降下の和から (2) となる。(公式 $x^2 - y^2 = (x+y)(x-y)$ を利用せよ)

図1のSを閉じたときの電流 I_0 は、Sを開いたときの節点a、b間の抵抗を R_{ab} とおくと、テブナンの定理により (2) を R_{ab} で割って得られる。

I_0 を求める方法は他にもある。図1のSを閉じて枝acの電圧源 E を短絡除去し、枝abに挿入すると図2となる。線形回路の (3) 性により、Sを閉じたときの図1の電流 I_0 は、図2の電流 (4) と一致する。図2のブリッジは平衡していることから (4) は求められる。 I_0 を E の式で表すと、 $I_0 =$ (5) となる。

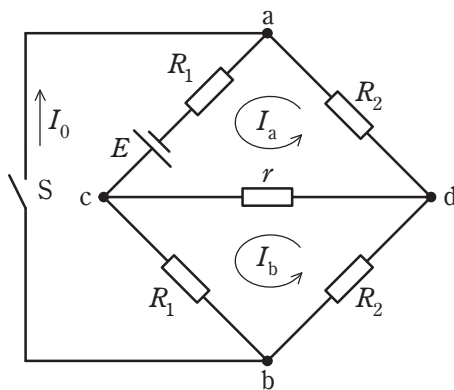


図1

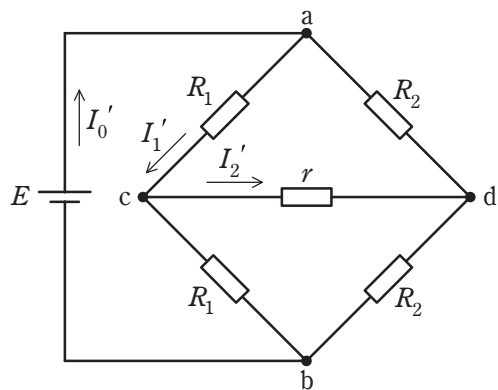


図2

[問3の解答群]

(イ) I_2'

(ロ) I_1'

(ハ) $\frac{Er}{R_1 + R_2 + r}$

(ニ) $\frac{ER_2}{R_1 + R_2}$

(ホ) $\frac{E}{2R_1}$

(ヘ) 相似

(ト) $\frac{E}{2R_2}$

(チ) $\frac{ER_1}{R_1 + R_2}$

(リ) 相反

(ス) 双対

(ル) $\frac{E}{2} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$

(ヲ) I_0'

(ヅ) $\begin{bmatrix} 2R_1 + r & -r \\ -r & 2R_2 + r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix}$

(カ) $\begin{bmatrix} 2R_1 + r & r \\ r & 2R_2 + r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix}$

(コ) $\begin{bmatrix} R_1 + R_2 + r & -r \\ -r & R_1 + R_2 + r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix}$

問4 次の文章は、静電容量の校正回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

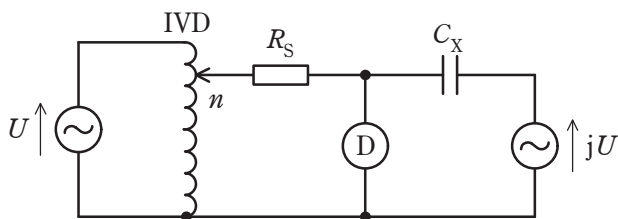
図は、二つの電源、誘導分圧器 (IVD) , 検流計 (D) , 標準抵抗 R_S からなる、コンデンサの静電容量 C_X を校正するためのブリッジ回路である。なお、電源電圧は U 及び jU , つまり位相が 90° 異なっており、周波数 f は可変である。また、IVD は 8 個のタップを持つ理想的な装置であり、分圧比 $\frac{n}{8}$ ($n=1, 2, \dots, 8$) を選択できる。

この校正回路は、 (1) ブリッジと呼ばれ、ブリッジが平衡して (D) が零を指示する平衡条件は $f =$ (2) で表される。

ここで、公称値 1 nF の被校正コンデンサを、 $f=1\,000\text{ Hz}$ 近傍で校正する場合を考える。まず、平衡条件 $f =$ (2) に、 $f=1\,000\text{ Hz}$, $C_X=1\times 10^{-9}\text{ F}$ を代入し

て、平衡条件を満たすための R_S と n の適切な組み合わせを解答群の中から選択すると、 $R_S =$ (3) $\text{ k}\Omega$, $n =$ (4) となる。

次に電圧を印加し、 f を調整したところ、 $1\,010\text{ Hz}$ で平衡した。したがって、被校正コンデンサの校正値は、 (5) nF となる。



[問4の解答群]

(イ) 0.985

(ロ) 0.995

(ハ) 1.000

(ニ) 3

(ホ) 5

(ヘ) 7

(ト) 10.00

(チ) 50.00

(リ) 100.0

(ヌ) $\frac{n}{8R_S C_X}$

(ル) ウィーン

(ヲ) シェーリング

(リ) $\frac{n}{16\pi R_S C_X}$

(カ) 直角相

(ヱ) $\frac{n}{2\pi R_S C_X}$

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, 交流回路の共振現象に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図の回路は電圧 $\dot{V} = V\angle 0$ で角周波数 ω の正弦波交流電源, 抵抗 R , インダクタ L , キャパシタ C から構成される RLC 直列回路である。回路には電流 $\dot{I}$ が流れており, 角周波数 ω は可変である。

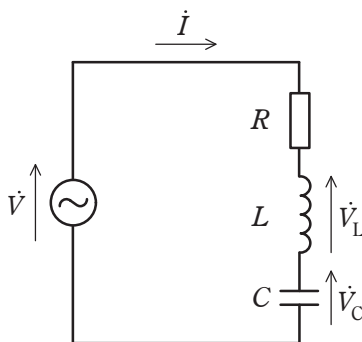
この回路が角周波数 $\omega = \omega_0$ において共振状態にあるとする。このとき, インダクタの電圧 $\dot{V}_L$ とキャパシタの電圧 $\dot{V}_C$ の大きさは等しく, 位相差は (1) [rad] となり, 回路には大きさ $I_0 =$ (2) の電流が流れる。

この回路の Q 値 (Quality Factor) の定義として,

$$Q = \frac{\text{共振時のインダクタの無効電力}}{\text{共振時の抵抗の有効電力}}$$

を用いれば, $Q =$ (3) となる。

また, 共振状態では, インダクタの電圧の大きさ V_L は, V , R , L 及び ω_0 を用いて $V_L =$ (4) と表され, R , L 及び C が (5) の条件を満たすとき, $V_L > V$ となる。



[問 5 の解答群]

(イ) $\frac{V}{\omega_0 L}$

(ロ) $\frac{\omega_0 L}{R}$

(ハ) $\frac{R}{\omega_0 L} V$

(ニ) $\omega_0 C V$

(ホ) $\frac{\pi}{2}$

(ヘ) 0

(ト) $\frac{V}{R}$

(チ) $\frac{\omega_0 L}{R} V$

(リ) $R\sqrt{\frac{L}{C}} > 1$

(ス) $\frac{R}{\omega_0 L}$

(ル) $\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} > 1$

(ヲ) π

(ヰ) $\frac{1}{R}\sqrt{\frac{C}{L}} > 1$

(カ) $\frac{1}{\omega_0 R L}$

(ケ) $\frac{1}{\omega_0 R L} V$

問6 次の文章は、電気回路の過渡現象に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

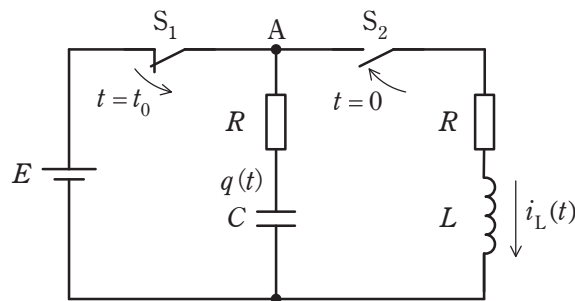
直流電圧 E の電圧源，抵抗値 R の二つの抵抗，静電容量 C のコンデンサ，インダクタンス L のコイル，スイッチ S_1 ， S_2 で構成された回路があり，図に示すように，回路は S_1 : 閉， S_2 : 開の状態 で定常状態にある。

時刻 $t=0$ において S_2 を閉じ，その後， $t=t_0$ において S_1 を開いた。 $0 \leq t < t_0$ においてコンデンサに流れる電流 $i_C(t)$ は (1) ，コイルに流れる電流 $i_L(t)$ は (2) と表される。

$t \geq t_0$ において， $i_L(t)$ とコンデンサの上側電極における電荷 $q(t)$ とは (3) の

関係があることから， $i_L(t)$ を求めるための回路方程式は (4) となる。

t_0 が十分に大きい場合， S_1 を開いてから十分な時間が経過する間に二つの抵抗で消費されるエネルギーは (5) と表される。



[問6の解答群]

$$(イ) \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{1}{CR}t} \right)$$

$$(ロ) i_L(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$$(ハ) L \frac{di_L(t)}{dt} + \frac{q(t)}{C} = 0$$

$$(ニ) \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$(ホ) \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

$$(ヘ) i_L(t) = \frac{1}{C} \frac{dq(t)}{dt}$$

$$(ト) 0$$

$$(チ) i_L(t) = -\frac{dq(t)}{dt}$$

$$(リ) \frac{1}{2}CE^2 + \frac{1}{2}L \left(\frac{E}{R} \right)^2$$

$$(ヌ) \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{CR}t}$$

$$(ル) \frac{E}{L} e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$(ヲ) \frac{1}{2}CE^2$$

$$(ワ) \frac{1}{2}CE^2 - \frac{1}{2}L \left(\frac{E}{R} \right)^2$$

$$(ヰ) 2Ri_L(t) + L \frac{di_L(t)}{dt} + \frac{q(t)}{C} = 0$$

$$(ヱ) 2Ri_L(t) + L \frac{di_L(t)}{dt} - \frac{q(t)}{C} = 0$$

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。
両方解答すると採点されません。

(選択問題)

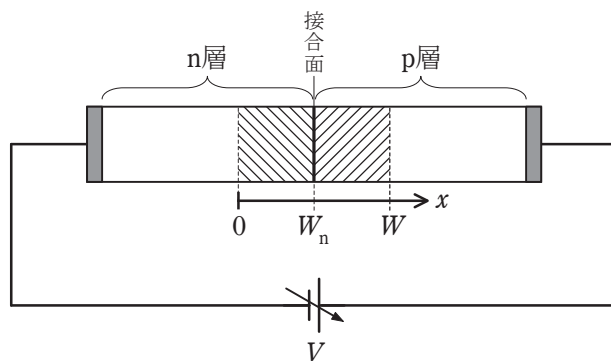
問 7 次の文章は、半導体 pn 接合で形成されるダイオードに関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。なお、電子及び正孔の電荷の絶対値を e とし、半導体の誘電率は一様に ϵ とする。

n 層と p 層とを接合させ、図のように電圧源 V を接続した。電子及び正孔の拡散と再結合により、接合部には、電子も正孔もほとんど存在しない (1) と呼ばれる領域が生じる。図のように、 x 軸を定め、 (1) 領域全体の幅を W とし、n 層側の (1) 領域の幅を W_n とする。まず電圧 $V=0$ とし、n 層側の領域 ($0 \leq x \leq W_n$) について考える。この領域では電子がなくなっているため、電子を供出した不純物であるドナーが陽イオンとなり、電界 E が生じる。n 層の不純物濃度が一様に N_D であると仮定すると、ガウスの法則から、 $\frac{dE}{dx} =$ (2) が成り立つ。

その結果、 E は x の (3) 次関数として表される。

同様に p 層側 ($W_n < x \leq W$) でも、正孔がなくなることにより電界が生じる。これらの電界により、 (1) の両端には電位差が生じる。この電位差は電子及び正孔の流れを妨げる障壁としてはたらき、これを拡散電位と呼んでいる。拡散電位により、p 層側の領域 ($W < x$) の電位は、n 層側の領域 ($x < 0$) の電位に対して (4) なる。

電圧 V を正にすると、拡散電位は低くなり、拡散電位の障壁を超える運動エネルギーを持った電子及び正孔による電流が流れる。半導体中の電子や正孔の濃度が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場合には、電流は V の増加に対して (5) 関数的に増加する。



[問 7 の解答群]

(イ) 一

(ロ) 二

(ハ) 三

(ニ) 高く

(ホ) 対数

(ヘ) $\frac{eN_D}{\varepsilon}$

(ト) 蓄積層

(チ) $e\varepsilon N_D$

(リ) 指数

(ヌ) 三角

(ル) 空乏層

(ヲ) 反転層

(ワ) 等しく

(カ) $\frac{N_D}{e\varepsilon}$

(ヱ) 低く

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。
両方解答すると採点されません。

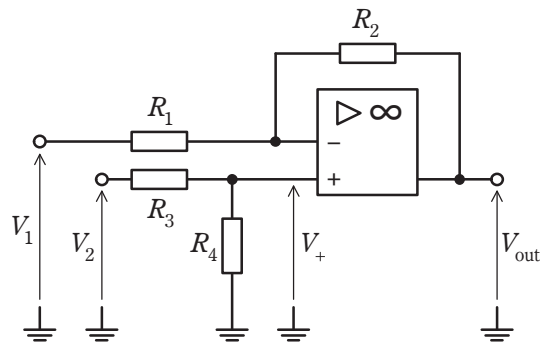
(選択問題)

問 8 次の文章は，減算回路に関する記述である。文中の 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，演算増幅器は理想的であり，各抵抗の抵抗値は図に示す変数で表されるとする。

図に示す減算回路の出力電圧 V_{out} を重ねの理を用いて求める。まず， $V_2 = 0$ とし， V_1 のみが加えられた場合を考える。このときの出力電圧を V'_{out} とする。 $V_2 = 0$ であるから $V_+ = 0$ となり，非反転入力端子は接地とみなせる。このとき回路は反転増幅回路として動作するから， $V'_{\text{out}} = \text{ (1) }$ となる。

次に， $V_1 = 0$ とした場合を考える。このときの出力電圧を V''_{out} とする。この回路は， V_2 を R_3 と R_4 で分圧した電圧を非反転増幅回路に入力しているとみなせる。よって $V''_{\text{out}} = \text{ (2) }$ となる。重ねの理より，回路に V_1 と V_2 がともに加えられたときの V_{out} は $V_{\text{out}} = \text{ (3) }$ となる。

$V_1 = V_2$ が入力されたときに $V_{\text{out}} = 0$ となるためには，各抵抗が (4) を満たせばよい。 (4) を満たすとき，出力電圧 V_{out} を R_3 と R_4 を用いずに表すと， $V_{\text{out}} = \text{ (5) }$ となる。



[問 8 の解答群]

$$(イ) \quad -\frac{R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

$$(ロ) \quad \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1$$

$$(ハ) \quad -\frac{R_1}{R_2} (V_1 - V_2)$$

$$(ニ) \quad -\frac{R_2}{R_1} V_1$$

$$(ホ) \quad \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 1$$

$$(ヘ) \quad -\frac{R_1}{R_2} V_1$$

$$(ト) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$(チ) \quad R_1 R_2 = R_3 R_4$$

$$(リ) \quad -\frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

$$(ヌ) \quad -\frac{R_2}{R_1} \left(V_1 - \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 \right)$$

$$(ル) \quad -\frac{R_2}{R_1} \left(V_1 - \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2 \right)$$

$$(ヲ) \quad \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

$$(ヅ) \quad -\frac{R_2}{R_1} \left(V_1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_3} V_2 \right)$$

$$(ヰ) \quad \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_3} V_2$$

$$(ヱ) \quad \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$