

平成 28 年度

第 1 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：0141N01234Aの場合）

受 験 番 号										
数 字				記号	数 字				記号	
0	1	4	1	N	0	1	2	3	4	A
●					●	○	○	○	○	●
①	●	①	●		①	●	①	①	①	Ⓑ
②	②	②	②		②	②	●	②	②	Ⓒ
③	③	③	③		③	③	③	●	③	Ⓓ
④	④	●	④		④	④	④	④	●	Ⓔ
⑤	⑤		⑤		⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	Ⓜ
⑥	⑥		⑥	●	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	Ⓝ
⑦					⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	
⑧					⑧	⑧	⑧	⑧	⑧	
⑨					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)

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

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。

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, 三つの導体からなる同心球コンデンサ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。

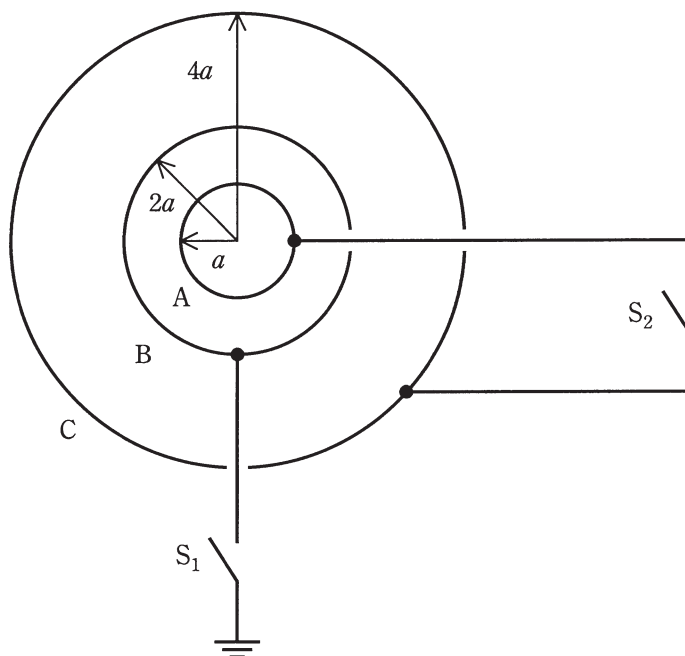
図のように, 半径 a , $2a$, $4a$ の三つの導体球面 A, B, C が同心となるように真空中に置かれている。その厚さは無視できる。導体 B 及び C には穴が開けられてそこから導線が引き出されていて, スイッチ S_1 を閉じると導体 B が接地され, スイッチ S_2 を閉じると導体 A 及び C が短絡されるようになっている。

ただし, 穴は十分小さく, かつ導線及びスイッチは周りの空間と絶縁されており, その影響は無視できるものとする。また, 真空中の誘電率は ϵ_0 とする。

最初に, スイッチ S_1 及び S_2 はともに開いており, 導体 A には電荷 Q が与えられている。このとき, 無限遠を接地電位(零)としたときの導体 A の電位は (1) であり, 静電容量は (2) である。また, 導体 A より内側の空間における電界の大きさは (3) である。

次に, スイッチ S_1 を閉じて十分時間が経ったとき, 導体 A の電位は (4) になる。

さらに, スイッチ S_1 を閉じたままスイッチ S_2 も閉じて十分時間が経ったとき, 導体 A に存在する電荷は (5) である。



[問 1 の解答群]

(イ) $\frac{Q}{16\pi\epsilon_0 a}$

(ロ) $\frac{1}{3}Q$

(ハ) $4\pi\epsilon_0 a$

(ニ) 0

(ホ) $\frac{3Q}{8\pi\epsilon_0 a}$

(ヘ) $\frac{1}{5}Q$

(ト) $\frac{4}{3}\pi\epsilon_0 a$

(チ) $\frac{Q}{8\pi\epsilon_0 a}$

(リ) $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a}$

(ヌ) $\frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 a}$

(ル) $\frac{1}{4}Q$

(ツ) $\frac{16}{3}\pi\epsilon_0 a$

(リ) $\frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$

(ハ) $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$

(三) $\frac{3Q}{16\pi\epsilon_0 a}$

問2 次の文章は、ベクトルポテンシャル、磁界及び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。

なお、ベクトルポテンシャルとは磁束密度 \mathbf{B} に対して $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$ を満たすベクトル \mathbf{A} のことであり、円筒座標系では、

$$\begin{pmatrix} B_r \\ B_\theta \\ B_z \end{pmatrix} = \nabla \times \begin{pmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{r} \frac{\partial A_z}{\partial \theta} - \frac{\partial A_\theta}{\partial z} \\ \frac{\partial A_r}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial r} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial(rA_\theta)}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \end{pmatrix}$$

と与えられる。

図のような円筒座標系において、以下の①式及び②式のように半径 r の関数として定義されたベクトルポテンシャル \mathbf{A} を考える。なお、 k は定数であり、 μ_0 は真空の透磁率である。

$$A_r(r, \theta, z) = A_z(r, \theta, z) = 0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$A_\theta(r, \theta, z) = \begin{cases} kr & (r \leq a) \\ \frac{ka^2}{r} & (r > a) \end{cases} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$r < a$ における磁束密度は、

$$B_r = 0, B_\theta = \text{ (1) }, B_z = \text{ (2) }$$

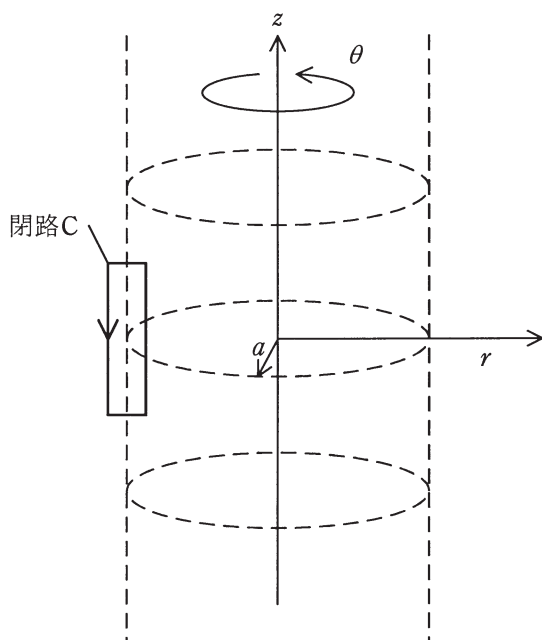
$r > a$ における磁束密度は、

$$B_r = 0, B_\theta = \text{ (1) }, B_z = \text{ (1) }$$

となる。

次に、このような磁界分布を形成する電流を考える。図中の閉路 C についてアンペールの法則を適用すると、電流は $r = a$ の円筒面を (3) 方向に流れていることになり、上記の分布は (4) に流れる電流が作り出す磁界を表していることが分かる。

z 方向単位長さ当たりの電流密度が J である (4) に流れる電流の内部には磁束密度 $\mu_0 J$ の一様な磁界が形成されることから、ベクトルポテンシャル \mathbf{A} は z 方向単位長さ当たりの電流密度 (5) の (3) 方向電流によって形成されていることが分かる。



[問 2 の解答群]

- | | | |
|---------------------|-----------------|---------------------------|
| (イ) $\frac{1}{k}$ | (ロ) θ | (ハ) $\frac{2k}{\mu_0}$ |
| (ニ) 直線状 | (ホ) $\mu_0 k$ | (ヘ) r |
| (ト) $2k$ | (フ) k | (ヨ) $\frac{k}{r}$ |
| (ヌ) $\frac{k}{r^2}$ | (ル) 無限長直線状ソレノイド | (ヲ) $\frac{k}{2\pi\mu_0}$ |
| (ワ) 0 | (カ) 円環状ソレノイド | (ヱ) z |

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 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に示す回路の合成抵抗を求めたい。まず、節点 a-b-c からなる Δ 接続部分に「 Δ -Y変換」を施すと、図1の a-d 間の抵抗は図2のように表すことができる。

図2の R_a, R_b, R_c は、 R_x を用いて $R_a =$ (1) $[\Omega]$, $R_b =$ (2) $[\Omega]$, $R_c =$ (3) $[\Omega]$ となる。

したがって、回路全体の合成抵抗 R_{ad} は $R_{ad} =$ (4) $[\Omega]$ と表され、 $R_x =$ (5) Ω において最大となる。

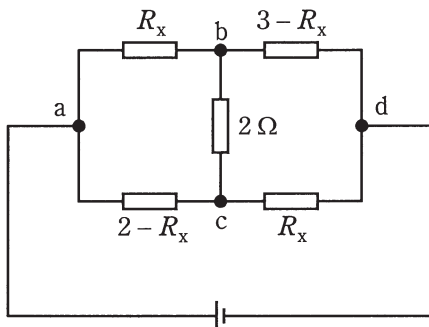


図1

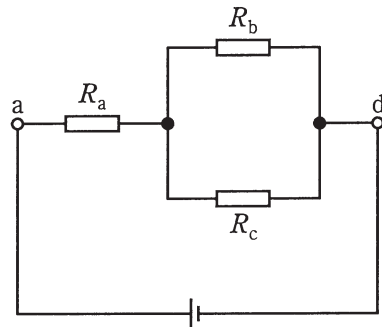


図2

[問3の解答群]

$$(イ) \frac{R_x + 6}{2}$$

$$(ニ) \frac{-R_x + 2}{2}$$

$$(ホ) \frac{-R_x + 3}{4}$$

$$(ヘ) \frac{-5R_x^2 + 12R_x + 12}{16}$$

$$(ト) \frac{-R_x + 6}{2}$$

$$(チ) \frac{R_x + 2}{2}$$

$$(ツ) 0.5$$

$$(テ) \frac{R_x^2}{2}$$

$$(ト) \frac{R_x + 2}{4}$$

$$(タ) \frac{11R_x^2 + 44R_x + 12}{4}$$

$$(カ) \frac{-R_x^2 + 2R_x}{4}$$

$$(キ) 1.2$$

$$(ク) 2$$

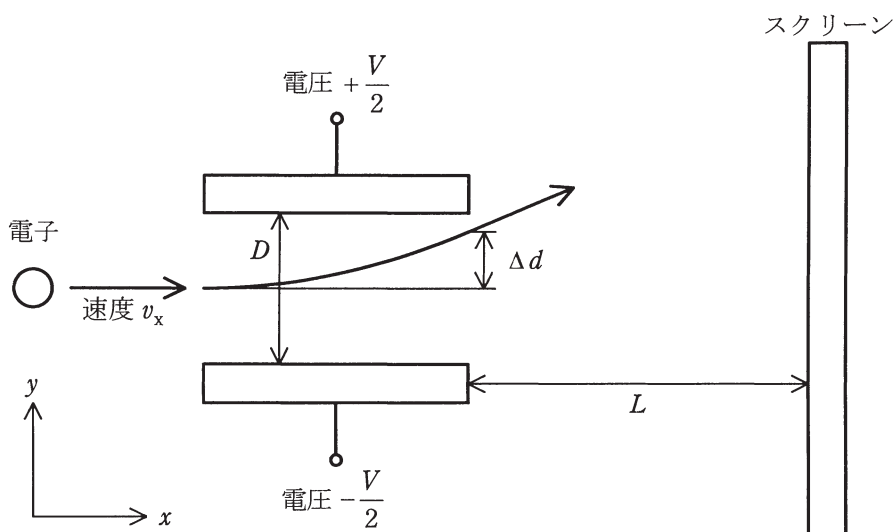
$$(ケ) \frac{R_x^2}{R_x + 1}$$

$$(コ) \frac{11R_x^2 + 12R_x + 12}{4}$$

問4 次の文章は、電界内での電子の動き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、電子の質量を m_0 、電荷量を $-e$ とする。ただし、電子の速度は電子の質量 m_0 が変化しない範囲とする。

図のように、真空中に置かれた、上側に $+\frac{V}{2}$ 、下側に $-\frac{V}{2}$ の電圧を印加した平行二枚板電極がある。その間隔は D である。この平行二枚板電極間の中央に、横方向から x 方向の速度 v_x のみの速度をもつ電子を入射したところ、図のように平行二枚板電極間を通過した。平行二枚板電極間の電界は端部においても同様とすると、平行二枚板電極間を通過する時間 t_1 の間だけ、一定電界により上側 (y 方向) への力 (1) を受ける。このときの電子の加速度は $\frac{d^2y}{dt^2}$ であるから、電子の y 方向に関する運動方程式を立てれば、 $\frac{d^2y}{dt^2} =$ (2) で表せる微分方程式が得られる。平行二枚板電極間を通り過ぎた直後の y 方向の変位を Δd 、 y 方向の速度を v_y とすると、 y 方向の初期速度が零であることに注意して、時間 t_1 と変位 Δd の間には $\Delta d =$ (3) の関係があり、同様に v_y を t_1 を用いて表してから Δd の式を用いて t_1 を消去すると、 $v_y =$ (4) が得られる。

このあと、電子は等速度で運動し続けるので、平行二枚板電極から x 方向に L だけ離れた位置の yz 平面にスクリーンを置くと、平行二枚板電極間を通り過ぎた後からスクリーンにたどり着くまでの y 方向への変位は (5) である。



[問 4 の解答群]

$$(イ) \sqrt{\frac{2eV}{m_0}}$$

$$(ロ) \frac{eVt_1^2}{2m_0D}$$

$$(ハ) \frac{eVt_1^2}{m_0D}$$

$$(ニ) \frac{v_x}{v_y}L$$

$$(ホ) \frac{eVD}{m_0}$$

$$(ヘ) eVD$$

$$(ト) \sqrt{\frac{2eV\Delta d}{m_0D}}$$

$$(チ) \frac{eV}{m_0}$$

$$(リ) \frac{v_y}{v_x}L$$

$$(ス) eV$$

$$(ル) \frac{eV}{m_0D}$$

$$(ヲ) \sqrt{\frac{2eV}{m_0}} \frac{L}{v_x}$$

$$(ワ) \frac{eVt_1}{m_0D}$$

$$(カ) \sqrt{\frac{eV\Delta d}{m_0D}}$$

$$(コ) \frac{eV}{D}$$

B問題(配点は1問題当たり20点)

問5 次の文章は、三相交流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、 $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ であり、 $1+a+a^2=0$ に注意する。

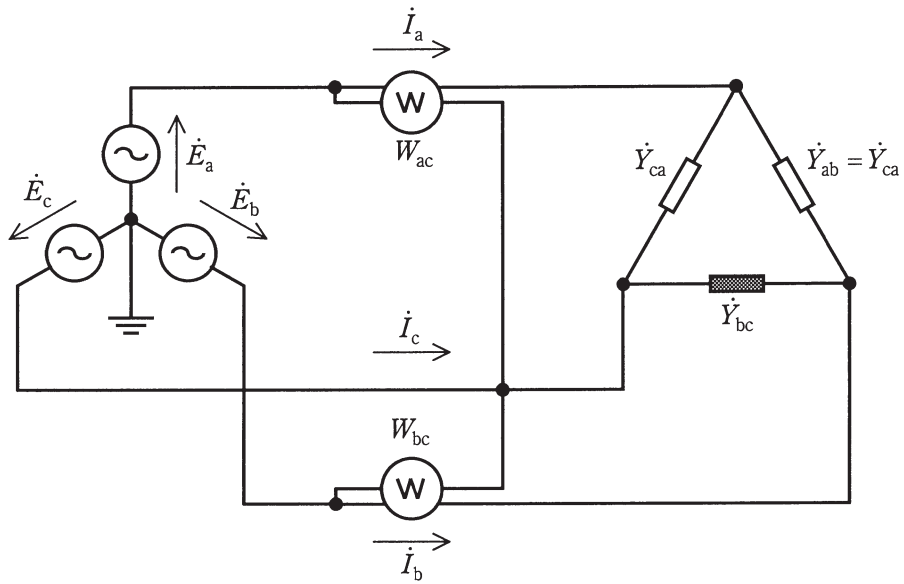
図に示すように、対称三相交流電圧源に Δ 形不平衡負荷を接続し、単相電力計を2か所に接続した。 $\dot{E}_a = 100\angle 0^\circ \text{V}$ であり、相回転は $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ の順($\dot{E}_b = a^2\dot{E}_a, \dot{E}_c = a\dot{E}_a$)とする。 Δ 形不平衡負荷のアドミタンスは $\dot{Y}_{ab} = \dot{Y}_{ca}$ であり、アドミタンス \dot{Y}_{bc} は取り外し可能となっている。単相電力計の動作は理想的とし、その接続の仕方は指示が逆振れしない接続とする。このとき、以下の(a), (b), (c)の結果を得た。

- (a) アドミタンス \dot{Y}_{bc} を除去したとき、線電流 \dot{I}_a は $\dot{I}_a = -3a \text{ [A]}$ であった。
- (b) アドミタンス \dot{Y}_{bc} を接続したとき、線電流 \dot{I}_b は $\dot{I}_b = a \text{ [A]}$ であった。
- (c) 単相電力計の指示 W_{ac} と W_{bc} のそれぞれの値は、(a)と(b)で同じであった。

ただし、単相電力計の接続の仕方は、指示値 W_{ac} を読むときと指示値 W_{bc} を読むときでは、極性が逆となった。

(a)のとき、 $\dot{Y}_{ab} = \dot{Y}_{ca}$ 及び $\dot{I}_a = (\dot{E}_a - \dot{E}_b)\dot{Y}_{ab} + (\dot{E}_a - \dot{E}_c)\dot{Y}_{ca}$ に注意すると、 $\dot{Y}_{ab} = \dot{Y}_{ca} = \text{ (1) [S]}$ となる。図の三相回路の線電流 \dot{I}_a の値は \dot{Y}_{bc} と無関係であるから、単相電力計の指示値 W_{ac} は(a)でも(b)でも $W_{ac} = \text{ (2) W}$ を示す。

\dot{Y}_{bc} を除去することは、 $\dot{Y}_{bc} = 0 \text{ S}$ とすることと等価であるから、(a)のときの線電流 \dot{I}_b は、 $\dot{I}_b = (\dot{E}_b - \dot{E}_a)\dot{Y}_{ab}$ より $\dot{I}_b = \text{ (3) [A]}$ となる。(c)の結果からアドミタンス \dot{Y}_{bc} は電力を消費しないことが分かる。したがって、図の Δ 形不平衡負荷の消費電力は \dot{Y}_{ab} と \dot{Y}_{ca} から求めることができ、(a)でも(b)でも (4) Wを得る。以上の結果と W_{ac} の値の大きさに注意すると、 W_{bc} が指示するのは負荷から電源に戻る回生電力の値であることが分かる。したがって、(a)でも(b)でも $W_{bc} = \text{ (5) W}$ を得る。 W_{bc} の値は、(a)又は(b)のときの線電流 \dot{I}_b から求めることもできる。



[問 5 の解答群]

- | | | | |
|-------------------------|-------------------|---------|----------|
| (イ) 300 | (ロ) $\sqrt{3}a^2$ | (ハ) 150 | (ニ) 0.01 |
| (ホ) $\sqrt{3}(a^2 - 1)$ | (ヘ) $a - 1$ | (ト) 600 | (チ) 750 |
| (リ) 200 | (ヌ) $-0.01a^2$ | (ル) 450 | (フ) 100 |
| (ワ) 400 | (ホ) $-0.01a$ | (エ) 250 | |

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、分布定数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。

図のように特性インピーダンスが Z の半無限長無損失線路の終端Aに、負荷として抵抗 r とインダクタンス L のコイルが接続されている。

波頭がステップ状で波高値 E の電圧波 e と、それに伴い波高値 I の電流 i が図の左側から終端Aに向かって入射した。入射波は時刻 $t=0$ のとき終端Aに達した。このときの終端Aでの電流 i と反射による電流 i_1 及び負荷に流れる電流 i_0 との関係及び負荷の両端の電圧 e_A を求めたい。電流 i_1 、電流 i_0 及び電圧 e_A 、終端Aでの反射により生じる電圧 e_1 を図のようにとる。電流は入射波が終端Aに向かって進行する方向を正とする。

入射波到達後において、終端Aでの電圧、電流の関係は次式で表される。

$$e + e_1 = Zi + (-Zi_1) = e_A$$

$$i + i_1 = i_0$$

e_A と i_0 の関係は次式で表される。

$$e_A = \text{ } (1)$$

これらの式より、 i_0 の時間的変化を表す微分方程式が得られる。この式を初期値を考慮して解くと、

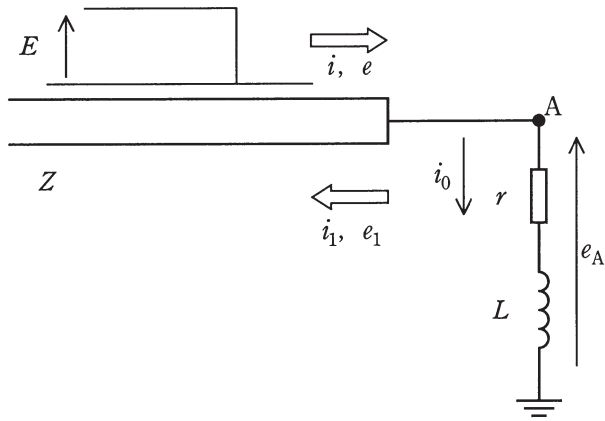
$$i_0 = \text{ } (2)$$

となり、時間的変化を表す図は (3) である。

また、 e_A を E を用いて表すと次式となり、

$$e_A = \text{ } (4)$$

その時間的変化を表す図は (5) である。



[問 6 の解答群]

(イ) $\frac{2E}{r+Z} \left(1 - e^{-\frac{r+Z}{L}t} \right)$

(ロ) $\frac{2E}{r+Z} \left[r + Ze^{-(r+Z)Lt} \right]$

(ハ) $L \frac{di_0}{dt} + ri_0$

(ニ) $2E \left(\frac{r}{Z} + e^{-\frac{r+Z}{L}t} \right)$

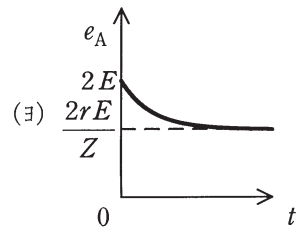
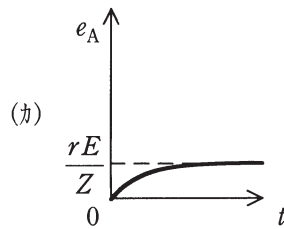
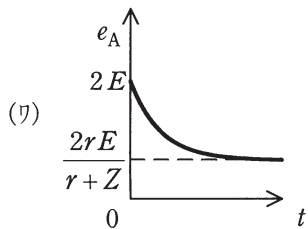
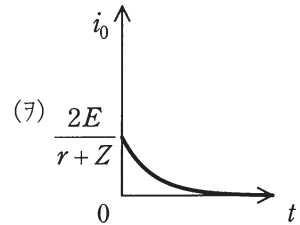
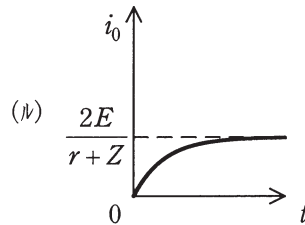
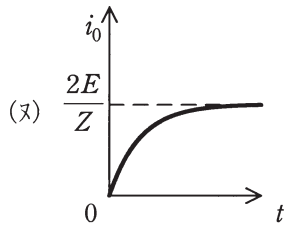
(ホ) $\frac{2E}{r+Z} \left(r + Ze^{-\frac{r+Z}{L}t} \right)$

(ヘ) $L \frac{di_0}{dt}$

(ヒ) $\frac{2E}{Z} \left(1 - e^{-\frac{r+Z}{L}t} \right)$

(フ) $\frac{2E}{r+Z} \left[1 - e^{-(r+Z)Lt} \right]$

(ロ) $\frac{1}{L} \frac{di_0}{dt} + ri_0$



(選択問題)

問7 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、演算増幅器の電圧増幅度(差動利得)と入力インピーダンスはそれぞれ無限大であり、出力インピーダンスは零であるとする。

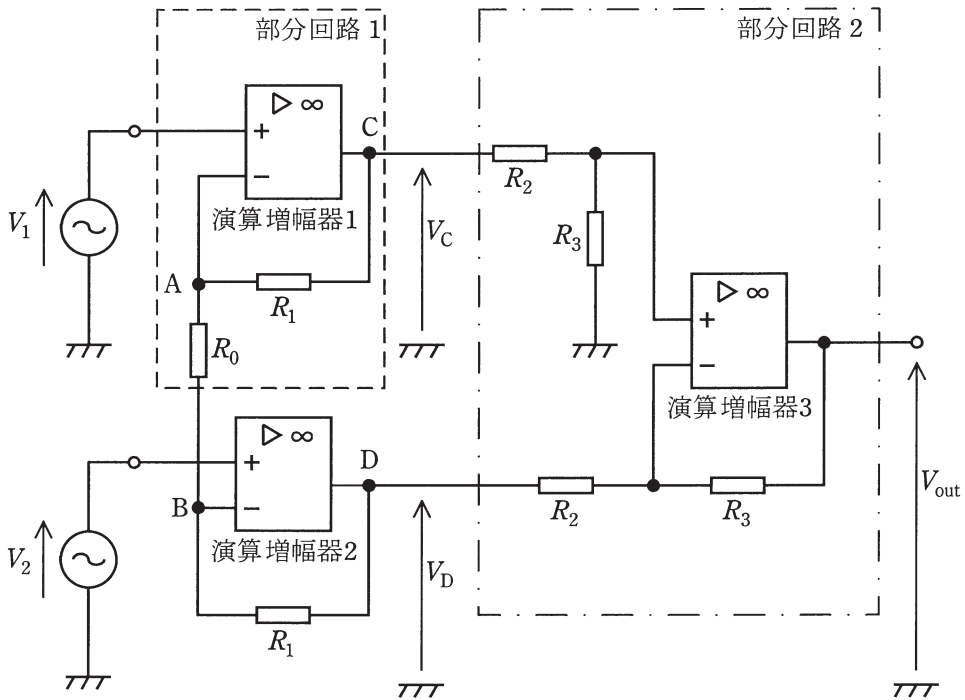
まず、入力電圧として V_1 のみが存在し、 V_2 が零のときを考える。このとき、B点の電位は (1) となる。これより破線で囲まれた部分回路1は、 V_1 を入力とした非反転増幅回路として動作することが分かる。このときのC点の電位 V_C' は (2) $\times V_1$ となる。また、A点の電位は V_1 であり、 V_2 は零であるため、演算増幅器2はA点を入力端子とした反転増幅回路として動作する。つまり、D点の電位 V_D' は (3) $\times V_1$ となる。

次に、入力電圧として V_2 のみが存在し、 V_1 が零であるときのC点の電位 V_C'' とD点の電位 V_D'' を求める。 V_C'' と V_D'' は先の結果と回路の対称性を考慮すると求められる。

最後に、 V_1 と V_2 の両方が存在するときのC点の電位 V_C とD点の電位 V_D は、重ねの理を用いることでそれぞれ (4) と求まる。

一点鎖線で囲まれた部分回路2は V_C と V_D を入力とする減算回路であり、出力電圧 V_{out} は $V_{out} = \frac{R_3}{R_2} \times (V_C - V_D)$ である。

以上の結果から図の回路は、出力電圧 V_{out} が (5) $\times (V_1 - V_2)$ で表される差動増幅回路であることが分かる。



[問7の解答群]

- | | | |
|--|-------------------------------------|---|
| (イ) $-\frac{R_3}{R_2} \left(\frac{R_0 + R_1}{R_0} \right)$ | (ロ) $V_C' - V_C''$ と $V_D' - V_D''$ | (ハ) $\frac{R_3}{R_2} \left(\frac{R_0 + 2R_1}{R_0} \right)$ |
| (ニ) $-\frac{R_2}{R_3} \left(\frac{R_0 + 2R_1}{R_0} \right)$ | (ホ) $-V_1$ | (ヘ) 0 |
| (ト) V_1 | (フ) $\frac{R_1}{R_0}$ | (ロ) $-\frac{R_1 R_3}{R_0 R_2}$ |
| (ヌ) $V_C' + V_C''$ と $V_D' + V_D''$ | (ル) $-\frac{R_1}{R_0}$ | (ヲ) $V_C' + V_D'$ と $V_C'' + V_D''$ |
| (リ) $\frac{R_0 + R_1}{R_0}$ | (ヲ) $\frac{R_0 + 2R_1}{R_0}$ | (ヲ) $-\frac{R_0}{R_1}$ |