

平成 21 年度

第 1 種
理 論

(第 1 時限目)

答案用紙記入上の注意事項

この試験は、A問題とB問題に分かれており、それぞれ解答方式が異なります。答案用紙にはマークシートと記述用紙とがあり、A問題の解答はマークシートに、B問題の解答は問題冊子に折り込まれている記述用紙に記入してください。

以下は、答案用紙記入上の注意事項です。

1. マークシート記入上の注意事項（A問題、問1から問4まで）

(1) マークシート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しっかり記入してください。ペン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正しくマークしてください。（次ページの「受験番号記入例」参照）

(3) マークシートの解答欄には、各小問につき一つマークしてください。二つ以上マークした場合には、採点されません。

(4) マークシートの記入欄以外の余白及び裏面には、何も記入しないでください。

(5) 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。

（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。）

2. 記述用紙記入上の注意事項（B問題，問5から問7まで）

- (1) 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を使用してください。
- (2) 記述用紙には，各問ごとに試験地，受験番号及び生年月日を記入してください。
- (3) 問6と問7はどちらか1問を選択してください。記述用紙の選択欄で，選択する場合には「選択する」に，選択しない場合には「選択しない」に○を付けてください。2問とも選択した場合は採点されません。
- (4) 記述用紙は「選択する」「選択しない」のいずれの場合でも，また，白紙解答であっても，3枚とも必ず提出してください。

（受験番号記入例）

受験番号0141W0123Aの場合

受 験 番 号										
数 字		記号		数 字		記号		記号		
0	1	4	1	W	0	1	2	3	A	
●					●	0	0	0	●	A B C K L M N
①	●	①	●		①	●	①	①	●	
②		②	②		②	②	●	②	●	
③		③	③		③	③	③	●	●	
④		●	④		④	④	④	④	●	
⑤			⑤		⑤	⑤	⑤	⑤	●	
⑥			⑥		⑥	⑥	⑥	⑥	●	
⑦					⑦	⑦	⑦	⑦	●	
⑧				●	⑧	⑧	⑧	⑧	●	
⑨					⑨	⑨	⑨	⑨	●	

以 上

第 1 種

理 論

A 問題 (配点は 1 問題当たり小問各 2 点, 計 10 点)

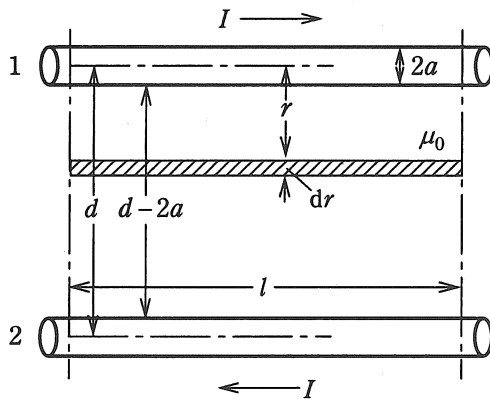
問 1 次の文章は, 2 本の導線より成る平行往復回路の外部自己インダクタンスに関する記述である。文中の に当てはまる式又は語句を解答群の中から選び, その記号をマークシートに記入しなさい。なお, 空気の透磁率を μ_0 とする。

図のように, 半径が a で, 無限に長い 2 本の導線が線間距離 d を隔てて構成される一つの平行往復回路がある。ただし, $a \ll d$ とする。このとき, 導線外部の磁束による自己インダクタンスは次のように求めることができる。

$a \ll d$ であるから, 電流は導線の中心軸に集中しているとしてよい。したがって, 導線 1 の電流 I による導体外の磁界は, r をその中心軸からの距離とすれば, $r > a$ として, (1) となる。そこで, 中心軸から r のところにあつて, 幅が dr , 長さが l の帯状面積 $l dr$ を貫く磁束 $d\phi$ は (2) となる。

平行往復回路の外部自己インダクタンスは 2 本の導線間を通過している磁束から計算できる。したがって, 導線 1 の電流 I による長さ l の部分に関する外部磁束 ϕ は $d\phi$ を r について (3) まで積分すれば, $a \ll d$ として (4) となる。同じく導線 2 の電流 I による長さ l の部分に関する外部磁束も (4) と大きさも方向も全く相等しいことに注意すれば, 結局, 求める外部磁束は (4) の 2 倍となる。

したがって, 無限に長い 2 本の平行往復回路の長さ l についての導線外部の磁束による導線外部自己インダクタンスは (5) となる。



[問 1 の解答群]

(イ) $\frac{\mu_0 I}{2\pi r} l dr$

(ロ) $\frac{\mu_0 l I}{2\pi} \log_e \frac{d}{a}$

(ハ) $\frac{\mu_0 l}{3\pi d^3}$

(ニ) $\frac{\mu_0 l}{\pi} \log_e \frac{d}{a}$

(ホ) $\frac{I}{2\pi r}$

(ヘ) $\frac{I}{\pi r^2}$

(ヒ) $\frac{2\mu_0 l}{3\pi d^3}$

(フ) $\frac{\mu_0 I}{3\pi d^3}$

(リ) $\frac{I}{2\pi r^2}$

(ス) $\frac{\mu_0 I}{2\pi r^2} l dr$

(ル) a から $d - 2a$

(レ) a から $d - a$

(ヲ) 0 から $d - a$

(カ) $\frac{\mu_0 I}{\pi r^2} l dr$

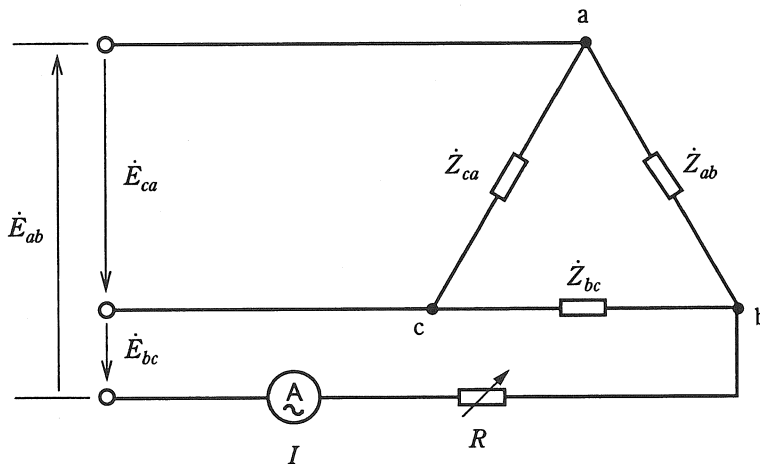
(ケ) $\frac{\mu_0 I}{6\pi d^3}$

問2 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数値を解答群の中から選び、その記号をマークシートに記入しなさい。

図のように、実効値が 220 [V] である対称三相電源 $\dot{E}_{ab} = 220\angle 0^\circ$ [V] , $\dot{E}_{bc} = 220\angle -120^\circ$ [V] , $\dot{E}_{ca} = 220\angle -240^\circ$ [V] が、 Δ 形三相負荷と一つの可変抵抗からなる回路に接続されている。この Δ 形三相負荷の各相のインピーダンスは $\dot{Z}_{ab} = \dot{Z}_{bc} = 66 + j54$ [Ω] , $\dot{Z}_{ca} = 106 + j50$ [Ω] である。この回路には、実効値を指示する 1 個の理想的な交流電流計が図のように接続されており、その指示値を I とする。

いま、可変抵抗値を $R=0$ [Ω] とした場合、電流計の指示値は、 $I = \text{ (1)}$ [A] となり、負荷の三相電力は (2) [kW] となる。

次に、可変抵抗を調整したところ、各線電流の大きさは同じ値となり、回路は全体で平衡状態となった。この場合、可変抵抗の調整値は、 $R = \text{ (3)}$ [Ω] であり、電流計の指示値は、 $I = \text{ (4)}$ [A] である。また、可変抵抗と Δ 形三相負荷からなる回路の総電力は、 (5) [kW] である。



[問2の解答群]

(イ) 6.29

(ロ) 0.396

(ハ) 3.63

(ニ) 15

(ホ) 4.47

(ヘ) 7.5

(ト) 0.461

(チ) 12

(リ) 1.25

(ヌ) 0.521

(ル) 1.19

(ヲ) 30

(ド) 0.185

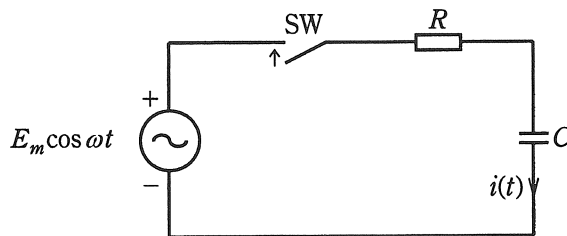
(カ) 8.36

(コ) 2.08

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 に当てはまる式を解答群の中から選び、その記号をマークシートに記入しなさい。

図の回路において、時刻 $t=0$ でスイッチ SW を投入した後の電流 $i(t)$ をラプラス変換を用いて求めたい。ただし、最大電圧 $E_m=100$ [V]、静電容量 $C=0.001$ [F]、抵抗 $R=100$ [Ω]、角周波数 $\omega=10$ [rad/s] とし、 C の初期電荷を 0 [C] とする。また、 $u(t)$ は単位ステップ関数とする。

この回路を解析するに当たり、計算を簡単化するため交流電源 $E_m \cos \omega t$ を複素交流電源 $E_m e^{j\omega t}$ に置き換えて考える。過渡現象を解析するための回路は $t > 0$ の状態の回路であるから、スイッチを投入した状態でキルヒホッフの電圧則を適用することにより、回路に流れる複素電流 $i^*(t)$ に関する方程式 (1) が得られる。複素電流 $i^*(t)$ のラプラス変換を $I^*(s)$ で表し、式 (1) の両辺をラプラス変換し、 s 領域の方程式を求めることにより $I^*(s) =$ (2) が得られる。さらにこれに各素子と電源に与えられた数値を代入し部分分数に展開すると $I^*(s) =$ (3) となる。次に (3) をラプラス逆変換することにより $i^*(t)$ は (4) と求められる。電流 $i(t)$ は $i^*(t)$ の実部であるから $i(t) =$ (5) となる。



[問3の解答群]

$$(イ) E_m e^{j\omega t} \cdot u(t) = R i^*(t) - \frac{1}{C} \int_0^t i^*(t') dt'$$

$$(ウ) \frac{E_m}{R} \cdot \frac{s}{(s+j\omega)(s-\frac{1}{RC})}$$

$$(ハ) \frac{1}{1-j} \cdot \frac{1}{s-j10} + \frac{1}{1+j} \cdot \frac{1}{s+10}$$

$$(ニ) \frac{1}{1+j} e^{-j10t} \cdot u(t) - \frac{1}{1+j} e^{10t} \cdot u(t)$$

$$(ホ) \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(10t - \frac{\pi}{4}\right) \cdot u(t) + \frac{1}{2} e^{-10t} \cdot u(t)$$

$$(ヘ) E_m e^{j\omega t} \cdot u(t) = R i^*(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i^*(t') dt'$$

$$(ト) \frac{E_m}{R} \cdot \frac{s}{(s+j\omega)(s+\frac{1}{RC})}$$

$$(フ) \frac{1}{1+j} \cdot \frac{1}{s+j10} + \frac{1}{1-j} \cdot \frac{1}{s+10}$$

$$(ヨ) \frac{1}{1-j} e^{j10t} \cdot u(t) + \frac{1}{1+j} e^{-10t} \cdot u(t)$$

$$(マ) \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(10t - \frac{\pi}{4}\right) \cdot u(t) + \frac{1}{2} e^{10t} \cdot u(t)$$

$$(ル) E_m e^{j2\omega t} \cdot u(t) = R i^*(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i^*(t') dt'$$

$$(メ) \frac{E_m}{R} \cdot \frac{s}{(s-j\omega)(s+\frac{1}{RC})}$$

$$(リ) \frac{1}{1-j} \cdot \frac{1}{s+j10} + \frac{1}{1+j} \cdot \frac{1}{s-10}$$

$$(ム) \frac{j}{1-j} e^{-j10t} \cdot u(t) + \frac{1}{1+j} e^{-10t} \cdot u(t)$$

$$(ロ) \frac{1}{\sqrt{2}} \cos\left(10t + \frac{\pi}{4}\right) \cdot u(t) + \frac{1}{2} e^{-10t} \cdot u(t)$$

問4 次の文章は、ケルビンダブルブリッジに関する記述である。文中の に当てはまる式を解答群の中から選び、その記号をマークシートに記入しなさい。

図において、 R_s は既知の抵抗、 R_x は未知の抵抗、 R は R_s と R_x を接続する導体の抵抗、 E は直流電源の電圧、 r は電源の内部抵抗とし、 \textcircled{G} は検出器であるとする。いま、 R_1 、 R_2 、 R_3 及び R_4 を適当な値に調整し、検出器 \textcircled{G} の指示が零となりブリッジが平衡したとすると、 R_1 と R_3 、 R_2 と R_4 及び R_s と R_x に流れる電流はそれぞれ等しくなり、以下の式が成立する。ただし、各電流は矢印の方向に流れるものとする。

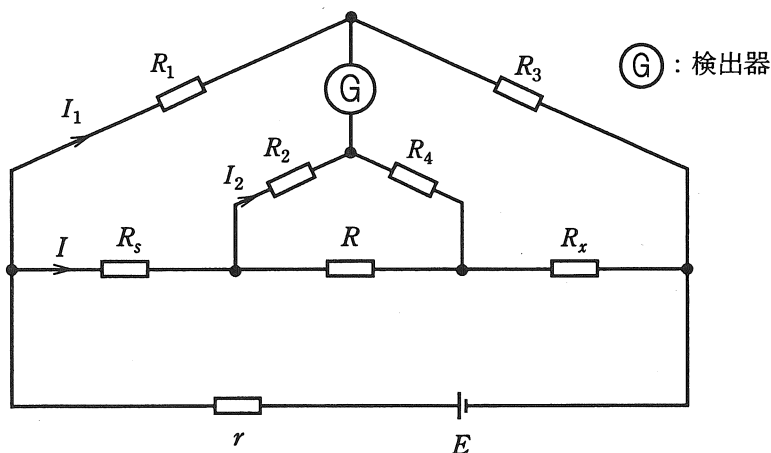
$R_1 I_1 =$ (1)①

$R_3 I_1 =$ (2)②

また、 I_2 は

$I_2 =$ (3) $\times I$ ③

したがって、①式～③式より、 R_x は (4) となる。ここで、 $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$ となるように各抵抗を調整すれば、 R_x は (5) となる。



[問4の解答群]

$$(イ) \frac{R_3}{R_1} R_s$$

$$(ロ) \frac{R_2}{R_3} R_s$$

$$(ハ) \frac{R}{R_2 + R_4 + R}$$

$$(ニ) R_s I + R_2 I_2$$

$$(ホ) \frac{R_2}{R_3} R_s + \frac{R}{R_2 + R_4} \left(\frac{R_2 R_3}{R_1} - R_4 \right)$$

$$(ヘ) \frac{R_1}{R_3} R_s$$

$$(ト) \frac{R}{R_2}$$

$$(チ) R_x I + R_4 I_2$$

$$(リ) R_s I + \frac{R_2 + R_4 + R}{R} I_2$$

$$(ツ) R_x I + \frac{R_2 + R_4 + R}{R} I_2$$

$$(ル) \frac{R_3}{R_1} R_s + \frac{R}{R_2 + R_4 + R} \left(\frac{R_2 R_3}{R_1} - R_4 \right)$$

$$(レ) \frac{R_1}{R_3} R_s + \frac{R}{R_2 + R_4 + R} \left(\frac{R_2 R_3}{R_1} - R_4 \right)$$

$$(ヲ) R_s I + \frac{R_2}{R_2 + R_4} I_2$$

$$(ト) R_x I + \frac{R_4}{R_2 + R_4} I_2$$

$$(ヱ) \frac{R}{R_2 + R_4}$$

B問題（配点は1問題当たり20点）

問5 次の文章は、二つの誘電体が平面で接しているとき、一方の誘電体中にある点電荷と他方の誘電体との間の力に関する記述である。文中の に当てはまる式を解答群の中から選び、その記号を記述用紙の解答欄に記入しなさい。なお、図1は誘電体中の点電荷と電気力線の概略図を表した図である。また、図2、図3は影像電荷による電界を示す。

図1のように、誘電率が ϵ_1 と ϵ_2 ($\epsilon_2 > \epsilon_1$ とする)の誘電体が無限に広がる平面で接しているとする。境界面から距離が a である点 A に点電荷 $+Q$ が存在しているときに境界面での電束密度、電位を考える。この場合、誘電率が ϵ_1 の誘電体内の電界は、境界面に関する点 A の影像点を点 B としたとき、図2のように全空間が ϵ_1 の誘電体で満たされているとして、点 A、点 B にそれぞれ点電荷 $+Q$ 、未知の点電荷 $-Q_1$ がある場合の電界に等しい。図2で、点 A、点 B から距離が r である境界面上の点 P の $+Q$ 、 $-Q_1$ の点電荷による電界をそれぞれ E (ベクトル)、 E_1 (ベクトル) とする。この場合、点 P の電位 V_{p1} は (1) である。また、この点における電束密度の境界面に垂直な成分 D_{h1} は (2) である。

次に、図1の ϵ_2 の誘電体内の電界は図3のように全空間が ϵ_2 の誘電体で満たされているとし、点 A に未知の点電荷 $+Q_2$ があるとしたときの電界 E_2 (ベクトル) に等しい。この場合、点 P の電束密度で、境界面に垂直な成分 D_{h2} は (3) である。ここで、未知量 Q_1 、 Q_2 は次の境界条件によって求めることができる。すなわち、境界面で電束は連続でなければならないから $D_{h1} = D_{h2}$ である。また、境界面で電位は連続でなければならない。

この二つの条件から Q_1 及び Q_2 は (4) となる。また、点 A にある点電荷 $+Q$ と誘電率 ϵ_2 の誘電体との間の力の大きさは点電荷 $+Q$ と $-Q_1$ との間の力 F の大きさに等しい。したがって、その力の大きさは (5) となる。

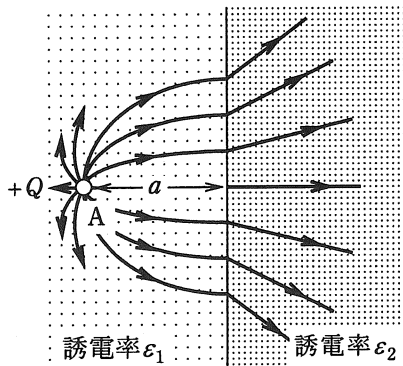


図1 点電荷と電気力線

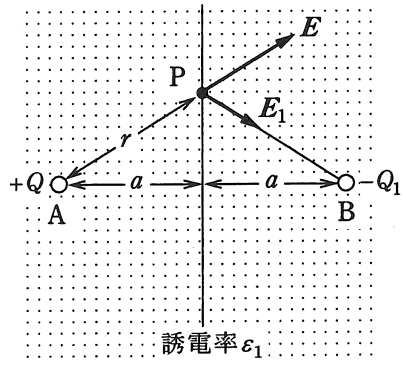


図2 点電荷+Q, -Q₁による点Pの電界

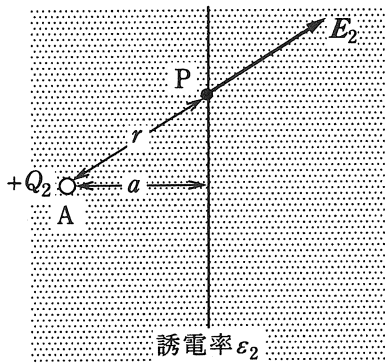


図3 点電荷+Q₂による点Pの電界

[問5の解答群]

- (イ) $\frac{Q_2 a}{4\pi r^2}$ (ロ) $\frac{Q-Q_1}{4\pi \epsilon_1 r}$ (ハ) $\frac{Q+Q_1}{4\pi r^2}$ (ニ) $\frac{(Q+Q_1)a}{4\pi r^3}$
- (ホ) $\frac{Q+Q_1}{4\pi \epsilon_1 r}$ (ヘ) $\left| \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)Q^2}{8\pi \epsilon_1 (\epsilon_1 + \epsilon_2)a^2} \right|$ (ヒ) $\frac{Q_2 a}{4\pi r^3}$ (フ) $\frac{Q_2}{4\pi r^2}$
- (リ) $\left| \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)Q^2}{16\pi \epsilon_1 (\epsilon_1 + \epsilon_2)a^2} \right|$ (ル) $\left| \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2)Q^2}{16\pi \epsilon_1 (\epsilon_1 - \epsilon_2)a^2} \right|$ (レ) $\frac{Q+Q_1}{4\pi \epsilon_1 r^2}$ (ヲ) $\frac{Q-Q_1}{4\pi r^2}$
- (7) $\begin{cases} Q_1 = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} Q \\ Q_2 = \frac{2\epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} Q \end{cases}$ (カ) $\begin{cases} Q_1 = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} Q \\ Q_2 = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} Q \end{cases}$ (キ) $\begin{cases} Q_1 = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_2} Q \\ Q_2 = \frac{2\epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} Q \end{cases}$

解答欄は、別紙です。必ず、試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。

問6及び問7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。

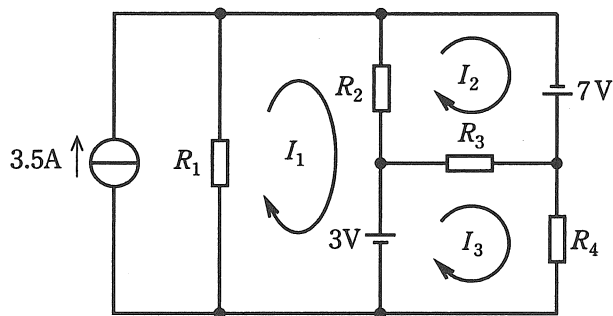
(選択問題)

問6 次の文章は、直流抵抗回路に関する記述である。文中の に当てはまる数値を解答群の中から選び、その記号を記述用紙の解答欄に記入しなさい。

図のように、抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 及び電圧源、電流源を接続した回路がある。図のように網目電流（閉路電流） I_1, I_2, I_3 をとる。これらに関する方程式を求めると次式のようにになった。

$$\begin{pmatrix} 6 & \text{(1)} & \text{(3)} \\ \text{(1)} & 5 & \text{(2)} \\ \text{(3)} & \text{(2)} & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 7 \\ 3 \end{pmatrix}$$

このとき、電流 I_2 は (4) [A], I_3 は (5) [A] となる。



[問6の解答群]

(イ) 4

(ロ) $\frac{43}{25}$

(ハ) 3

(ニ) 2

(ホ) $\frac{139}{29}$

(ヘ) 0

(ヒ) -2

(フ) $-\frac{40}{7}$

(ヨ) -1

(エ) $-\frac{44}{29}$

(ル) 5

(ヲ) 1

(ヲ) $\frac{5}{7}$

(カ) -4

(ヱ) $\frac{8}{25}$

解答欄は、別紙です。必ず、試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。

(選択問題)

問7 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 に当てはまる式を解答群の中から選び、その記号を記述用紙の解答欄に記入しなさい。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。

R_f が 0 $[\Omega]$ のとき、図1の増幅回路の入力抵抗は $\frac{v_{in}}{i_{in}} = \text{ (1)}$ であり、電圧利得は $\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m R_L$ である。

次に、 R_f が 0 $[\Omega]$ でなく、正の値のときを考える。バイポーラトランジスタのベース・エミッタ間の抵抗 R_i に流れる電流は、電流源 $g_m v_{be}$ の電流よりも十分小さく無視できるものとする、

$$i_f = g_m \times (\text{ (2)})$$

と表すことができる。また、 $v_e = R_f i_f$ なので

$$v_e = \text{ (3)} \times v_{in}$$

となる。これらの結果を使うと、電圧利得 $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ が求められる。 $A = g_m R_L$ とおくと、電圧利得は

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-A}{1 + AH}$$

と表される。ただし、

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

である。さらに、 $i_{in} = \frac{\text{ (2)}}{R_i}$ であるので、入力抵抗は

$$\frac{v_{in}}{i_{in}} = R_i \times (\text{ (5)})$$

となる。

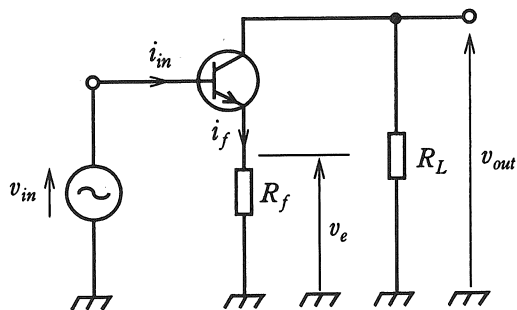


図 1

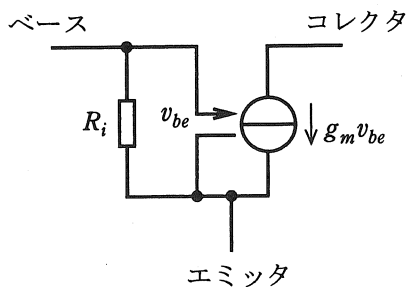


図 2

[問 7 の解答群]

(イ) $-1 + AH$

(ロ) $1 - AH$

(ハ) $\frac{g_m R_L}{1 + g_m R_f}$

(ニ) $v_e - v_{out}$

(ホ) $\frac{g_m R_f}{1 + g_m R_f}$

(ヘ) R_f

(ト) $v_{in} - v_e$

(フ) $\frac{R_f}{R_L}$

(リ) $\frac{R_i}{R_L}$

(ス) $\frac{R_L}{R_f}$

(ル) $v_{in} - v_{out}$

(レ) R_L

(ツ) $\frac{g_m R_i}{1 + g_m R_f}$

(チ) R_i

(ヲ) $1 + AH$

解答欄は、別紙です。必ず、試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。