

平成 24 年度

第 1 種
理 論

(第 1 時限目)

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：0141W0123Aの場合）

受 験 番 号										
数 字			記号	数 字			記号			
0	1	4	1	W	0	1	2	3	A	
●					●	○	○	○	●	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	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)
●	イ	イ	イ	イ	イ	イ
○	●	○	○	○	○	○
△	△	●	△	△	△	△
□	□	□	●	□	□	□
◇	◇	◇	◇	●	◇	◇
○	○	○	○	○	○	○
△	△	△	△	△	△	△
□	□	□	□	□	□	□
◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
○	○	○	○	○	○	○
△	△	△	△	△	△	△
□	□	□	□	□	□	□
◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇

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。

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, 線電荷周囲の電界に関する記述である。文中の に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。ただし, 空間の誘電率は ϵ_0 とし, 各図は断面図である。

図1のように, 線電荷密度の大きさが λ であり, 極性が異なる2本の無限長線電荷が互いに平行に距離 $2a$ を隔てて置かれている場合, 中間点 P での電界の大きさは (1) である。またこのとき, 線電荷に生じる単位長さ当たりの力の大きさは (2) となる。

次に, 図2のように, 線電荷密度が λ である無限長線電荷が, 接地平面と平行に距離 a を隔てて置かれている場合を考える。このとき, 電界の境界条件より, 接地面には電気力線が面に垂直に入射することに留意して, 影像線電荷を考えると, 線電荷と接地面との中間点 Q での電界の大きさは (3) と求めることができる。

さらに, 図3のように直交する2枚の接地平面があり, 両平面と平行に距離 a を隔てて, 線電荷密度が λ である無限長線電荷が置かれている。この場合, 電界の境界条件を考えると, 点 O における電界の大きさは (4) になる。この場合の境界条件を満たす影像線電荷を考えると, 線電荷に生じる単位長さ当たりの力の大きさは (5) と求めることができる。

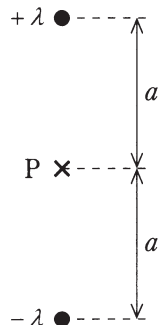


図 1

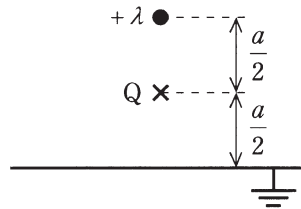


図 2

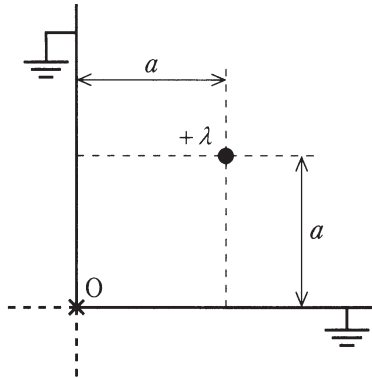


図 3

[問 1 の解答群]

(イ) $\frac{2\lambda}{3\pi\epsilon_0 a}$

(ロ) $\frac{\lambda}{\pi\epsilon_0 a}$

(ハ) $\frac{3\lambda}{4\pi\epsilon_0 a}$

(ニ) $\frac{\sqrt{2}\lambda^2}{8\pi\epsilon_0 a}$

(ホ) $\frac{\sqrt{2}\lambda^2}{4\pi\epsilon_0 a}$

(ヘ) $\frac{\sqrt{2}\lambda}{2\pi\epsilon_0 a}$

(ト) $\frac{\lambda^2}{2\pi\epsilon_0 a}$

(チ) $\frac{\sqrt{2}\lambda^2}{2\pi\epsilon_0 a}$

(リ) $\frac{4\lambda}{3\pi\epsilon_0 a}$

(ヌ) $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a}$

(ル) $\frac{\lambda^2}{8\pi\epsilon_0 a}$

(レ) 0

(ヲ) $\frac{\sqrt{2}\lambda}{4\pi\epsilon_0 a}$

(カ) $\frac{\lambda^2}{4\pi\epsilon_0 a}$

(コ) $\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a}$

問2 次の文章は、直流回路に関する記述である。文中の に当てはまる最も近いものを解答群の中から選びなさい。

図1及び図2において、電流源の電流を J とする。いま、図1の端子cdeからなる Δ 接続をY接続に変換すると図2のように表され、 r は (1) $[\Omega]$ となる。

次に、図2の端子bcfからなる Δ 接続をY接続に変換して I_1 及び I_2 を求めれば、 $I_1 =$ (2) $\times J$ 、 $I_2 =$ (3) $\times J$ となる。

一方、図2の経路acbとafbの電圧降下は等しいことから、 I_3 は $I_3 =$ (4) $\times J$ となる。また、端子a-b間の電圧 V_{ab} は、 $V_{ab} =$ (5) $\times J$ となる。

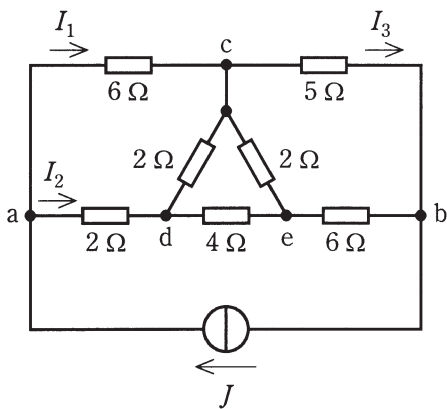


図 1

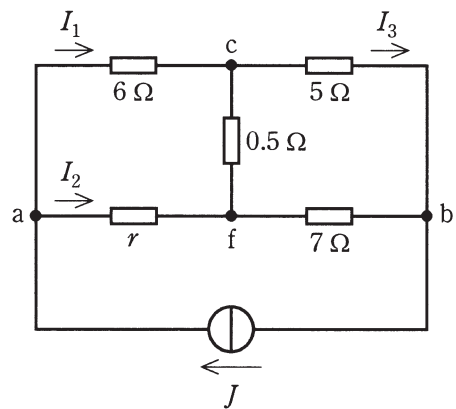


図 2

[問 2 の解答群]

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (イ) 0.271 | (ロ) 0.346 | (ハ) 0.355 | (ニ) 0.548 |
| (ホ) 0.574 | (ヘ) 0.630 | (ト) 0.645 | (チ) 0.654 |
| (リ) 0.728 | (ヌ) 1 | (ル) 2.59 | (ヲ) 3 |
| (ワ) 4 | (カ) 4.87 | (ヨ) 4.95 | |

問3 次の文章は、分布定数回路に関する記述である。文中の に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図のように、特性インピーダンスがそれぞれ Z_1 、 Z_2 と Z_3 の3本の無損失線路が接続されている。 Z_1 と Z_2 、 Z_3 の関係を求めたい。線路間に電氣的・磁氣的結合はなく、また、A、B、C それぞれの端子では反射がないものとする。

A、B それぞれの端子から接続点 D に向かって波頭が階段状で波高値 E の電圧波が進入したとき、以下の現象が見られた。

- (a) 図1のようにA端子のみから電圧波が進入したとき、接続点Dで反射が生じた。
- (b) 図2のようにB端子のみから電圧波が進入したとき、接続点Dでは反射が生じなかった。

現象(a)に対して、A端子からの入射波による電流 i 、接続点Dでの反射により生じる電圧 E_1 、電流 i_1 、また、 Z_2 側、 Z_3 側への透過波による電圧 E_2 、電流 i_2 、電圧 E_3 、電流 i_3 を図のようにとる。電流は入射波が接続点Dに向かって進行する方向及び透過波が接続点Dから離れる方向を正とする。

接続点Dの電圧、電流の関係はそれぞれ次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} E + E_1 &= E_2 = E_3 \\ i + i_1 &= i_2 + i_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{①}$$

ここで、 $Y_1 = \frac{1}{Z_1}$ 、 $Y_2 = \frac{1}{Z_2}$ 、 $Y_3 = \frac{1}{Z_3}$ とおき、それらを用いて E_1 、 E_2 と E の関係を表すと、次のようになる。

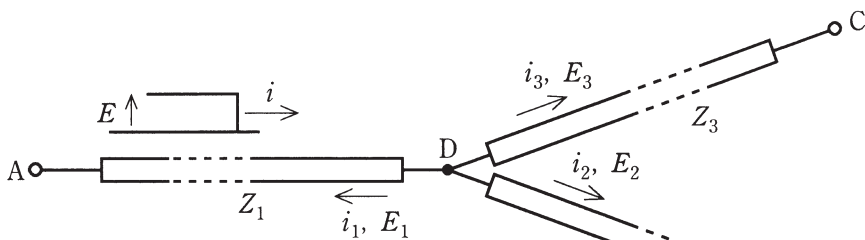
$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \text{ (1) } \times E \\ E_2 &= \text{ (2) } \times E \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{②}$$

次に現象(b)について考える。接続点Dで反射が生じないことから、 Y_2 は Y_1 と Y_3 を用いると次式で表される。

$$Y_2 = \text{ (3) } \dots\dots\dots \text{③}$$

現象(a)において反射が生じたときの接続点Dの電位が $\frac{2}{3}E$ であったとき、 Z_2 、 Z_3 と Z_1 の関係は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= \text{ (4) } \\ Z_3 &= \text{ (5) } \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{④}$$



i_1, E_1 は反射波のみとする。

電流は、 $A \rightarrow D, D \rightarrow B, D \rightarrow C$ の向きを正とする。

図 1

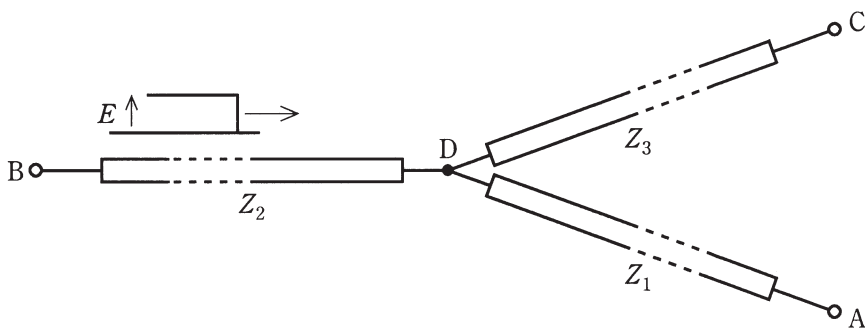


図 2

[問 3 の解答群]

(イ) $\frac{1}{2}Z_1$

(ロ) $\frac{Y_1+Y_3}{Y_1Y_3}$

(ハ) $2Z_1$

(ニ) $\frac{Y_1+Y_2+Y_3}{Y_1-Y_2-Y_3}$

(ホ) $\frac{2Y_1}{Y_1+Y_2+Y_3}$

(ヘ) $\frac{3}{2}Z_1$

(ト) $\frac{Y_1Y_3}{Y_1+Y_3}$

(フ) $\frac{2Y_1}{Y_1-Y_2-Y_3}$

(リ) Y_1+Y_3

(ス) $\frac{1}{\sqrt{2}}Z_1$

(ル) $\frac{Y_1-Y_2-Y_3}{Y_1+Y_2+Y_3}$

(レ) $3Z_1$

(ヲ) $\frac{2Y_2Y_3}{Y_1Y_2+Y_2Y_3+Y_3Y_1}$

(カ) $\frac{2}{3}Z_1$

(ヰ) $\frac{Y_2Y_3-Y_1(Y_2+Y_3)}{Y_1Y_2+Y_2Y_3+Y_3Y_1}$

問4 次の文章は、nチャネルのMOSトランジスタに関する記述である。文中の に当てはまる最も近いものを解答群の中から選びなさい。なお、 SiO_2 の誘電率 3.4×10^{-13} [$\text{F} \cdot \text{cm}^{-1}$]、単位電荷 1.6×10^{-19} [C]、シリコンでの電子移動度 1.0×10^3 [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$] を計算に用いること。

MOSトランジスタでは、ゲート電圧 V_G をしきい値電圧 V_T より大きくするとチャネルが反転状態になる。ゲート電圧としきい値電圧間の電位差 ($V_G - V_T$) をオーバードライブ電圧と呼ぶ。電子の熱分布を無視すれば、MOS構造を SiO_2 を絶縁物とした平行平板コンデンサとして考えることができる。このとき、反転状態にある単位面積当たりの電子の面電荷密度は、面積当たりの容量とオーバードライブ電圧との積となる。 SiO_2 の膜厚が 1.0×10^{-6} [cm] であるとした場合、反転層にある電子の面電荷密度を -5.0×10^{-7} [$\text{C} \cdot \text{cm}^{-2}$] とするために必要なオーバードライブ電圧は (1) [V] である。この面電荷密度は電子のキャリア濃度にする (2) [cm^{-2}] である。

いまドレイン-ソース間の電圧が小さいときチャネル内の電子がドレインへ向かうための電界の大きさは一様と考えてよいとする。チャネルの長さが 5.0×10^{-4} [cm]、ドレイン-ソース間電圧が 0.10 [V] であるとするれば、チャネル内の電子がドレインへ向かうための電界の大きさは (3) [$\text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$] である。ここで、電子の速度は、電子移動度と電界の積となることから、電子の速度は (4) [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$] となる。

電流密度は、流れる電荷密度と速度の積で表されることから、オーバードライブ電圧が (1) [V] で、ドレイン-ソース間電圧が 0.10 [V] のときにMOSトランジスタに流れる単位幅当たりの電流密度は (5) [$\text{A} \cdot \text{cm}^{-1}$] となる。

[問4の解答群]

(イ) -3.1×10^{12}

(ロ) -1.5×10^0

(ハ) 3.1×10^{-7}

(ニ) 1.0×10^{-4}

(ホ) 2.0×10^{-2}

(ヘ) 1.0×10^{-1}

(ト) 1.5×10^0

(チ) 2.0×10^0

(リ) 5.0×10^0

(ヌ) 2.0×10^1

(ル) 2.0×10^2

(ヲ) 1.0×10^4

(ヅ) 2.0×10^5

(カ) 2.0×10^6

(コ) 3.1×10^{12}

B問題（配点は1問題当たり20点）

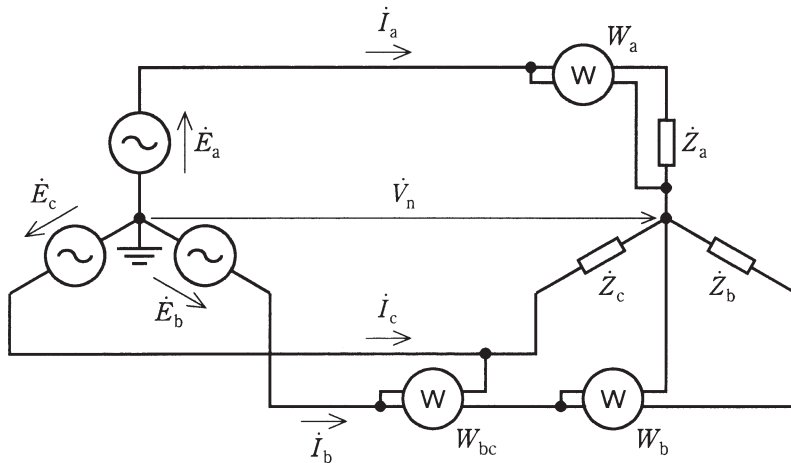
問5 次の文章は、三相交流回路に関する記述である。文中の に当てはまるものを解答群の中から選びなさい。

図に示すように、対称三相交流電源にY形不平衡負荷及び3個の電力計を接続した。 $\dot{E}_a = 100\angle 0^\circ$ [V] であり、相回転は $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ の順とする。このとき線電流 \dot{I}_a, \dot{I}_b はそれぞれ \dot{E}_a, \dot{E}_b と同相となり、 $\dot{I}_a = 5\angle 0^\circ$ [A] であった。また、電力計の値は $W_a = 250$ [W], $W_b = 500$ [W], $W_{bc} = 1500$ [W] であった。 $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ とおくと、線電流 \dot{I}_b の条件から $\dot{I}_b = |\dot{I}_b| \times$ (1) である。 $W_{bc} = \text{Re}[(\dot{E}_b - \dot{E}_c)\overline{\dot{I}}_b]$ 及び $a^3 = 1$ を利用すると、 $\dot{I}_b =$ (2) [A] となり、 \dot{I}_c も \dot{I}_a と \dot{I}_b から計算できる。このとき、各負荷の消費電力の総和は $\text{Re}[(\dot{E}_a - \dot{V}_n)\overline{\dot{I}}_a + (\dot{E}_b - \dot{V}_n)\overline{\dot{I}}_b + (\dot{E}_c - \dot{V}_n)\overline{\dot{I}}_c] = \text{Re}[($ (3) $)\overline{\dot{I}}_a] + W_{bc}$ となる。この式の右辺第一項の複素数の計算を行うと、 $W_{bc} = 1500$ [W] であるからY形負荷全体の消費電力は (4) [W] と求められる。

以上のことから、各負荷の消費電力と電流の大きさを考えることにより、各負荷の抵抗成分の総和 $\text{Re}[\dot{Z}_a] + \text{Re}[\dot{Z}_b] + \text{Re}[\dot{Z}_c]$ は (5) [Ω] と求まる。

(注) $\text{Re}[\dot{Z}]$ は複素数 \dot{Z} の実部を表す。

$\overline{\dot{Z}}$ は複素数 \dot{Z} の共役複素数を表す。



[問5の解答群]

(イ) $50a$

(ロ) 35

(ハ) 2200

(ニ) $20a$

(ホ) $\dot{E}_a - \dot{E}_b$

(ヘ) 2000

(ト) $\dot{E}_a - \dot{E}_c$

(フ) 1

(リ) 2250

(ヌ) 40

(ル) a^2

(ヲ) $\dot{E}_b - \dot{E}_c$

(ワ) $10a^2$

(カ) 50

(コ) a

問 6 及び問 7 は選択問題です。問 6 又は問 7 のどちらかを選んで解答してください。(両方解答すると採点されませんので注意してください。)

(選択問題)

問 6 次の文章は、磁気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びなさい。

図 1 に示すように、断面が半径 10 [mm] の円形で、内半径が 100 [mm]、外半径が 120 [mm] の環状鉄心があり、中心に 1 [kA] の電流が流れているとする。真空の透磁率を $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]、鉄の比透磁率を 800 とするとき、環状鉄心中の磁束を求める。

環状鉄心の磁路長として、半径 110 [mm] の位置の円周の長さを考えると、環状鉄心の磁気抵抗 R_m は (1) [A/Wb] である。よって、環状鉄心中の磁束 Φ は (2) [Wb] と求まる。

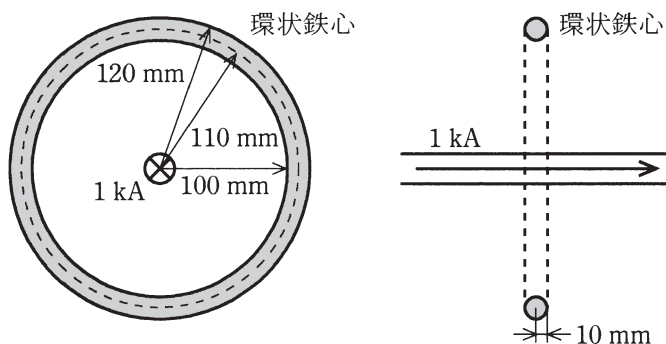


図 1

次に、図 2 に示すようにこの環状鉄心を平均磁路長が 110π [mm] の二つの鉄心に分割し、2 [mm] の空げきを 2 箇所設ける。空げきの磁路も、半径 10 [mm] の円形の断面を想定し、磁束の膨らみや漏れは考慮しない。これにより、中心を流れる電流が 1 [kA] のときの環状鉄心中の磁束密度 B は (3) [T] と求まる。

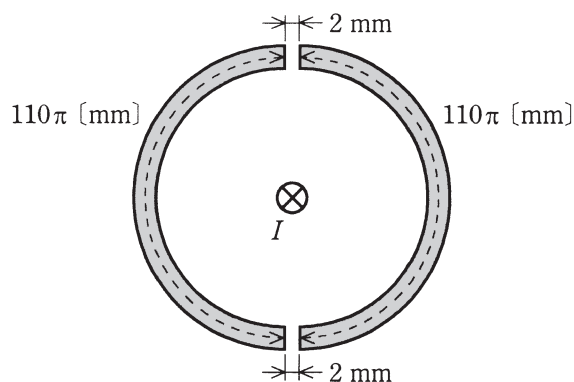


図 2

中心を流れる電流が増していくと、環状鉄心中の磁束密度はそれに比例して増加し、いずれ飽和する。環状鉄心の飽和磁束密度を 1.50 [T] とし、飽和磁束密度に達するまでは環状鉄心中の磁界は電流値に比例して増加していくとすると、中心を流れる電流 I が [A] のときに環状鉄心中の磁束密度は飽和磁束密度に達する。

このような鉄心の空けき部に磁界を測定するセンサを配置することで電流を測定する方法が広く用いられている。例えば磁界センサとしては、 効果により磁界を測定するものなどが実用化されている。

鉄心を用いず空心コイルを電流の周りに配置し、交流電流の電磁誘導による誘起電圧から電流波形を計測する コイルなども、磁界から電流を測定する方法として普及している。

[問 6 の解答群]

- | | | | |
|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| (イ) 5.81×10^3 | (ロ) 2.28×10^{-4} | (ハ) 2.75 | (ニ) 2.58×10^{-1} |
| (ホ) 3.14×10^{-1} | (ヘ) ペテルゼン | (ト) ペルチエ | (チ) 1.16×10^4 |
| (リ) 4.52×10^2 | (ヌ) ホール | (ル) 2.21 | (フ) ポッケルス |
| (ワ) 1.45 | (カ) ヘルムホルツ | (ヨ) 2.19×10^6 | (ク) 4.77×10^3 |
| (レ) ログウスキー | (コ) 4.57×10^{-4} | | |

(選択問題)

問7 次の文章は、差動増幅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びなさい。ただし、図1から図3は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4で表されるものとする。ここで、 r_b はエミッタを接地してベースからバイポーラトランジスタをみたときの抵抗値、 β はエミッタ接地電流増幅率であり、ベース電流の β 倍がコレクタ電流になることを表している。

図1の差動増幅回路において入力電圧 v_{in1} と v_{in2} を

$$v_{in1} = v_c + v_d \quad \dots\dots\dots ①$$

$$v_{in2} = v_c - v_d \quad \dots\dots\dots ②$$

と表すことができる。ただし、 v_c と v_d はそれぞれ同相入力電圧、差動入力電圧であり、

$$v_c = \frac{v_{in1} + v_{in2}}{2} \quad \dots\dots\dots ③$$

$$v_d = \frac{v_{in1} - v_{in2}}{2} \quad \dots\dots\dots ④$$

である。

v_c だけが存在する場合は図2の回路を、 v_d だけが存在する場合は図3の回路をそれぞれ解析し、さらに重ね合わせの理を用いれば、 v_{in1} と v_{in2} を入力した場合の解析結果を得ることができる。図2の出力電圧 v_{outc} は

$$v_{outc} = \boxed{(1)} \times v_c \quad \dots\dots\dots ⑤$$

であり、図3の出力電圧 v_{outd} は

$$v_{outd} = \boxed{(2)} \times v_d \quad \dots\dots\dots ⑥$$

である。これらの式に、 $R_L = R_S = 1.0$ [k Ω]、 $r_b = 5.0$ [k Ω]、 $\beta = 49$ を代入し、重ね合わせの理を用いると、 v_{in1} と v_{in2} を入力したとき、図1の v_{out1} と v_{out2} はそれぞれ

$$v_{out1} = \boxed{(3)} \times v_{in1} + \boxed{(4)} \times v_{in2} \quad \dots\dots\dots ⑦$$

$$v_{out2} = \boxed{(4)} \times v_{in1} + \boxed{(3)} \times v_{in2} \quad \dots\dots\dots ⑧$$

となる。さらに、 $v_{out} = v_{out1} - v_{out2}$ とすると、 v_{out} は

$$v_{out} = \boxed{(5)} \quad \dots\dots\dots ⑨$$

となる。

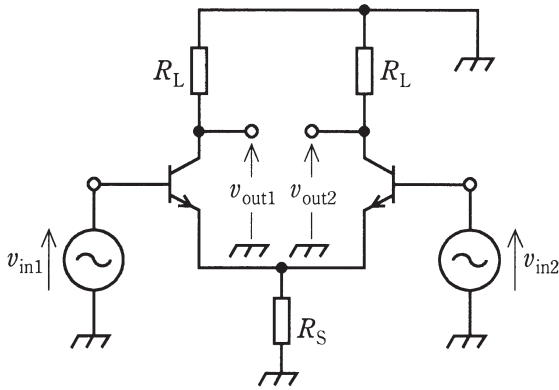


図 1

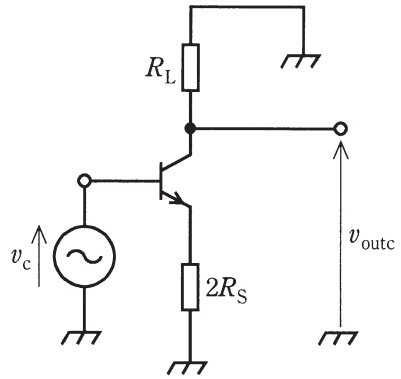


図 2

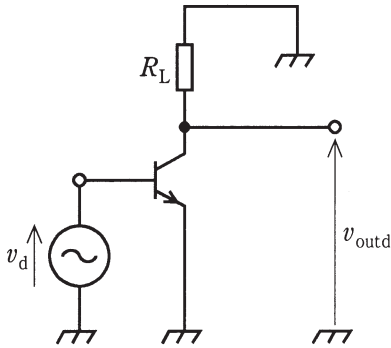


図 3

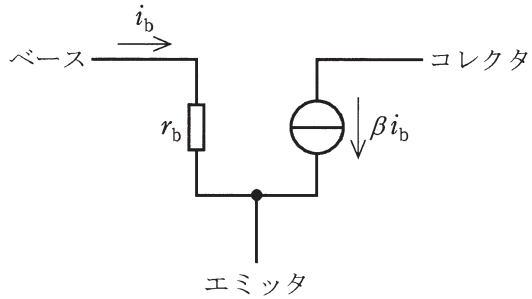


図 4

[問 7 の解答群]

- | | | | |
|--|------------|--|------------------------------|
| (イ) $9.8v_{in1} - 9.8v_{in2}$ | (ロ) -4.7 | (ハ) $\frac{-\beta R_L}{r_b + (1 + \beta)R_S}$ | (ニ) 5.1 |
| (ホ) $-9.8v_{in1} + 9.8v_{in2}$ | (ヘ) -5.1 | (ト) $\frac{-\beta R_L}{2(1 + \beta)R_S}$ | (チ) $\frac{-\beta R_L}{r_b}$ |
| (リ) $\frac{-\beta R_L}{(1 + \beta)R_S}$ | (ヌ) 9.8 | (ル) $9.8v_{in1} + 9.8v_{in2}$ | (テ) 0.47 |
| (リ) $\frac{-\beta R_L}{2r_b + (1 + \beta)R_S}$ | (カ) 4.7 | (コ) $\frac{-\beta R_L}{r_b + 2(1 + \beta)R_S}$ | |