

九州大学大学院システム情報科学府

電気電子工学専攻

平成30年度入学試験問題

【平成29年8月17日（木）、18日（金）】

# 数学 (Mathematics)

(7枚中の1)

## 解答上の注意 (Instructions):

- 問題用紙は、『始め』の合図があるまで開いてはならない。  
Do not open this cover sheet until the start of examination is announced.
- 問題用紙は表紙を含め7枚、解答用紙は3枚つづり (1分野につき1枚) である。  
You are given 7 problem sheets including this cover sheet, and 3 answer sheets (1 sheet for each field).
- 以下の6分野から3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。  
Select 3 fields out of the following 6 fields and answer the questions. You must use a separate answer sheet for each of the fields you selected.

	分野	field	page
1	線形代数	Linear algebra	2
2	微分方程式	Differential equation	3
3	ベクトル解析	Vector analysis	4
4	複素関数論	Complex function theory	5
5	確率・統計	Probability and statistics	6
6	記号論理学	Symbolic logic	7

- 解答用紙の全部に、専攻名、コース名（情報学専攻を除く）、選択分野番号（○で囲む）、受験番号および氏名を記入すること。  
Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the department name, course name (except the department of informatics), the selected field number (mark with a circle), your examinee number and your name.
- 解答は解答用紙に記入すること。スペースが足りない場合は裏面を用いても良いが、その場合は、裏面に解答があることを明記すること。  
Write your answers on the answer sheets. You may use the backs of the answer sheets when you run out of space. If you do so, indicate it clearly on the sheet.

# 数学 (Mathematics)

(7枚中の2)

6分野のうちから3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。  
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

## 1. 【線形代数 (Linear algebra) 分野】

正方行列  $A$  が交代적であるとは、 $A^T = -A$  を満たすことである。ここで、 $A^T$  は  $A$  の転置を表す。以下の各問に答えよ。

- (1) 任意の  $n$  次正方行列  $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$  と整数  $i, j$  ( $1 \leq i, j \leq n$ ) に対し、ベクトルの組  $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbf{R}^n$  が存在し、 $\mathbf{x}^T A \mathbf{y} = A_{ij}$  を満たすことを示せ。ただし、 $A_{ij}$  は  $A$  の  $(i, j)$  成分である。
- (2)  $n$  次正方行列  $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$  が交代적であるための必要十分条件は、

$$\mathbf{y}^T A \mathbf{x} = -\mathbf{x}^T A \mathbf{y} \quad (\forall \mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbf{R}^n)$$

が成り立つことであることを示せ。

- (3) 交代적な行列  $A$  が固有値  $\lambda$  を持つとき、 $A$  は  $-\lambda$  も固有値として持つことを示せ。

ヒント：任意の正方行列  $X$  の行列式  $|X|$  について、 $|X| = |X^T|$  が成り立つ。

A square matrix  $A$  is said to be alternative if  $A$  satisfies  $A^T = -A$ , where  $A^T$  denotes the transpose of  $A$ . Answer the following questions.

- (1) For any  $n$  by  $n$  square matrix  $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$  and any integers  $i, j$  ( $1 \leq i, j \leq n$ ), find a pair of vectors  $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbf{R}^n$  that satisfies  $\mathbf{x}^T A \mathbf{y} = A_{ij}$ , where  $A_{ij}$  is the  $(i, j)$  entry of  $A$ .
- (2) Show that an  $n$  by  $n$  square matrix  $A \in \mathbf{R}^{n \times n}$  is alternative if and only if

$$\mathbf{y}^T A \mathbf{x} = -\mathbf{x}^T A \mathbf{y} \quad (\forall \mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbf{R}^n).$$

- (3) Assume that an alternative matrix  $A$  has an eigenvalue  $\lambda$ . Then, show that  $A$  has the eigenvalue  $-\lambda$  as well.

Hint: Any square matrix  $X$  satisfies  $|X| = |X^T|$ , where  $|X|$  is the determinant of  $X$ .

# 数学 (Mathematics)

(7枚中の3)

6分野のうちから3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。  
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

## 2. 【微分方程式 (Differential equation) 分野】

次の微分方程式の一般解を求めよ。なお、 $y'$  は関数  $y(x)$  の  $x$  に関する1階導関数を表している。

$$(1) y' = \frac{9(y^2 + 1)}{x^3 - 3x + 2}$$

$$(2) y'' - 3y' + 2y = e^{2x}$$

Find general solutions to the following differential equations. Here,  $y'$  denotes the derivative of first order with respect to  $x$  for a function  $y(x)$ .

$$(1) y' = \frac{9(y^2 + 1)}{x^3 - 3x + 2}$$

$$(2) y'' - 3y' + 2y = e^{2x}$$

# 数学 (Mathematics)

(7枚中の4)

6分野のうちから3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。  
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

## 3. 【ベクトル解析 (Vector analysis) 分野】

直交座標系において,  $x, y, z$  軸方向の単位ベクトルをそれぞれ  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  とする.  $S$  を以下の面とし,  $C$  をその外周とするとき, ベクトル場  $\mathbf{A} = y\mathbf{i} - 2x\mathbf{j} + xz\mathbf{k}$  に対し, 線積分  $\oint_C \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}$ , および面積分  $\int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S}$  をそれぞれ計算せよ. なお, 線積分は  $z$  軸正方向からみて反時計回りに沿って行うものとし,  $S$  の法線ベクトルの  $z$  成分は非負とする.

$$S : x^2 + y^2 + z^2 = 1 \quad (z \geq 0)$$

Let  $\mathbf{i}, \mathbf{j}$  and  $\mathbf{k}$  denote the unit vectors on  $x, y$  and  $z$  axes of Cartesian coordinates, respectively. Calculate the line integral  $\oint_C \mathbf{A} \cdot d\mathbf{r}$  and the surface integral  $\int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{S}$  for the vector field  $\mathbf{A} = y\mathbf{i} - 2x\mathbf{j} + xz\mathbf{k}$ , where  $S$  is the following surface and  $C$  is its boundary. Here, the path of the line integral is oriented counterclockwise viewed from the  $z$ -axis positive side, and  $z$  component of the normal vector of  $S$  is non-negative.

$$S : x^2 + y^2 + z^2 = 1 \quad (z \geq 0)$$

# 数学 (Mathematics)

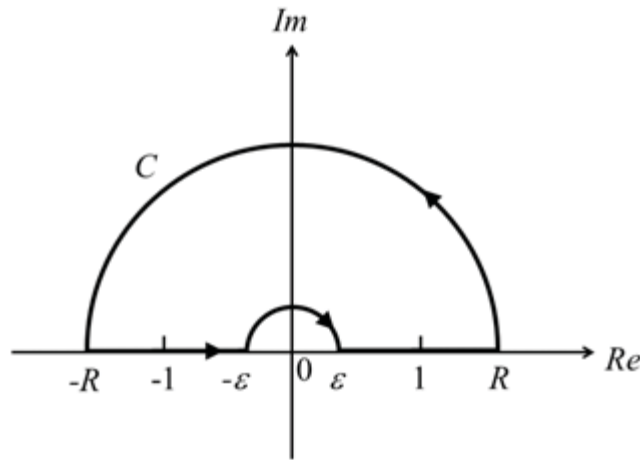
(7枚中の5)

6分野のうちから3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。  
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

4. 【複素関数論 (Complex function theory) 分野】

図に示す曲線  $C$  に沿った複素積分  $\oint_C \frac{(\ln z)^2}{z^2 + 1} dz$  を考える。ただし、 $R > 1, \varepsilon < 1$  とする。次の各問に答えよ。

- (1)  $\oint_C \frac{(\ln z)^2}{z^2 + 1} dz$  の値を求めよ。
- (2)  $\oint_C \frac{(\ln z)^2}{z^2 + 1} dz$  の値を用いて、 $\int_0^\infty \frac{(\ln x)^2}{x^2 + 1} dx = \frac{\pi^3}{8}$  を示せ。



Consider the integral of the complex function  $\oint_C \frac{(\ln z)^2}{z^2 + 1} dz$ , where  $C$  is a curve as shown in the figure,  $R > 1$ , and  $\varepsilon < 1$ . Answer the following questions.

- (1) Find the value of  $\oint_C \frac{(\ln z)^2}{z^2 + 1} dz$ .
- (2) Using the value of  $\oint_C \frac{(\ln z)^2}{z^2 + 1} dz$ , prove that  $\int_0^\infty \frac{(\ln x)^2}{x^2 + 1} dx = \frac{\pi^3}{8}$ .

# 数学 (Mathematics)

(7枚中の6)

6分野のうちから3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。  
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

5. 【確率・統計 (Probability and statistics) 分野】

$n$  ( $n \geq 1$ ) 個の独立した連続確率変数  $X_1, \dots, X_n$  は、开区間  $(0, 1)$  の一様分布に従うものとする。また  $Y = \min\{X_1, \dots, X_n\}$  とする。以下の各問に答えよ。

- (1) 実数  $y$  ( $0 < y < 1$ ) に対して、確率  $\Pr[Y > y]$  を求めよ。
- (2) 期待値  $E[Y]$  を求めよ。
- (3) 分散  $\text{Var}[Y]$  を求めよ。
- (4)  $Z = 1/Y$  とする。 $Z$  の期待値が存在する場合は期待値を求め、存在しない場合はその理由を述べよ。

Let  $X_1, \dots, X_n$  ( $n \geq 1$ ) be independent continuous random variables uniformly distributed over the open interval  $(0, 1)$ . Then, let  $Y = \min\{X_1, \dots, X_n\}$ . Answer the following questions.

- (1) Find the probability  $\Pr[Y > y]$  for a real  $y$  ( $0 < y < 1$ ).
- (2) Find the expectation  $E[Y]$ .
- (3) Find the variance  $\text{Var}[Y]$ .
- (4) Let  $Z = 1/Y$ . Find the expectation of  $Z$  if it exists, otherwise explain the reason why it does not exist.

## 数学 (Mathematics)

(7枚中の7)

6分野のうちから3分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。

Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

## 6. 【記号論理学 (Symbolic logic) 分野】

- (1)  $\psi_1 = (p \rightarrow (q \vee r)) \wedge (q \rightarrow (r \vee p)) \wedge (r \rightarrow (p \vee q))$ ,  $\psi_2 = ((p \wedge q) \rightarrow r) \wedge ((q \wedge r) \rightarrow p) \wedge ((r \wedge p) \rightarrow q)$ ,  $\psi_3 = (p \wedge q \wedge r) \vee \neg(p \vee q \vee r)$  とする.  $\psi_1$  と  $\psi_2$  の前提から  $\psi_3$  が帰結することを resolution 法により示せ.
- (2) 人を要素とする集合を議論領域とし, 四つの文  $S_1 = \text{「}x, y, z \text{ が誰であれ, } x \text{ が } y \text{ を好きで, かつ } x \text{ が } z \text{ を好きならば, } y \text{ が } z \text{ を信用する」}$ ,  $S_2 = \text{「}y \text{ が誰であれ, } y \text{ を信用する誰かが存在するのは } y \text{ を好きな誰かが存在するときに限る」}$ ,  $S_3 = \text{「『全員が全員を信用しない』ということはない」}$ ,  $S_4 = \text{「}x, y \text{ が誰であれ, } x \text{ が } y \text{ を信用するならば, } y \text{ が } x \text{ を信用する」}$  について考える.
- (a)  $S_1, S_2, S_3, S_4$  から翻訳された述語論理式をそれぞれ  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  とする. 「 $x$  が  $y$  を好きである」を表す述語  $L(x, y)$  と 「 $x$  が  $y$  を信用する」を表す述語  $B(x, y)$  を用いて  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  を書け.
- (b)  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  の前提から  $\phi_4$  が帰結するか否かについて, 理由とともに述べよ.
- (1) Let  $\psi_1 = (p \rightarrow (q \vee r)) \wedge (q \rightarrow (r \vee p)) \wedge (r \rightarrow (p \vee q))$ ,  $\psi_2 = ((p \wedge q) \rightarrow r) \wedge ((q \wedge r) \rightarrow p) \wedge ((r \wedge p) \rightarrow q)$ , and  $\psi_3 = (p \wedge q \wedge r) \vee \neg(p \vee q \vee r)$ . Show that  $\psi_3$  follows from the premises  $\psi_1$  and  $\psi_2$  by the resolution method.
- (2) Let the domain of discourse be a set of persons. Consider the four sentences:  $S_1 = \text{“For any } x, y, \text{ and } z, \text{ if } x \text{ likes } y \text{ and } x \text{ likes } z \text{ then } y \text{ believes in } z\text{,”}$   $S_2 = \text{“For any } y, \text{ there exists someone who believes in } y \text{ only if there exists someone who likes } y\text{,”}$   $S_3 = \text{“It is not the case that everyone believes in no one,”}$  and  $S_4 = \text{“For any } x \text{ and } y, \text{ if } x \text{ believes in } y \text{ then } y \text{ believes in } x\text{.”}$
- (a) Let  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$ , and  $\phi_4$  be the predicate logic formulas translated from  $S_1, S_2, S_3$ , and  $S_4$ , respectively. Write  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$ , and  $\phi_4$  using the predicate  $L(x, y)$  for “ $x$  likes  $y$ ” and the predicate  $B(x, y)$  for “ $x$  believes in  $y$ .”
- (b) State, with a reason, whether or not  $\phi_4$  follows from the premises  $\phi_1, \phi_2$ , and  $\phi_3$ .



## 専門 I (Special subjects I)

---

解答上の注意 (Instructions):

1. 問題用紙は、『始め』の合図があるまで開いてはならない。  
Do not open this cover sheet until the start of examination is announced.
2. 問題用紙は表紙を含め 7 枚，解答用紙は 3 枚である。  
You are given 7 problem sheets including this cover sheet, and 3 answer sheets.
3. 以下の 3 分野から 1 分野を選び解答すること。  
Select 1 out of the following 3 fields and answer the questions.

	分野	field	page
1	電気回路	Circuit theory	2 ～
2	電子回路	Electronic circuits	4 ～
3	制御工学	Control engineering	6 ～

4. 解答は解答用紙に記入すること。大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。スペースが足りない場合は裏面を用いても良いが，その場合は，裏面に解答があることを明記すること。  
Your answers should be written on the answer sheets. Use one sheet for each question. You may continue to write your answer on the back of the answer sheets if you need more space. In such a case, indicate this clearly.
5. 解答用紙の全部に，志望するコース名，受験番号，氏名および問題番号を記入し，選択分野名を○で囲むこと。
6. Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the course name, your examinee number, your name and the question number, and circle your selected field name,

## 電気回路

4 問中 3 問を選び、解答用紙欄に解答した問題番号を記入すること。

【問 1】 図 1 の回路について、以下の問いに答えよ。ただし、電源電圧  $E$  の角周波数を  $\omega$  とする。

- (1) 電源から見たインピーダンス  $Z$  を求めよ。
- (2) 電流  $I$  を求めよ。
- (3) 位相差  $\arg(I/E)$  が  $\pi/2$  となる条件を求めよ。

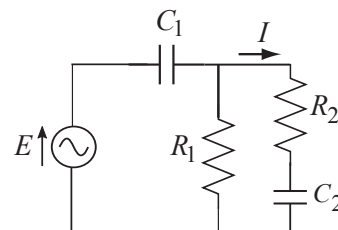


図 1

【問 2】 2 端子対回路  $N$  と電圧  $E$  の電源、インピーダンス  $Z_G$  からなる図 2(a) の回路と、図 2(b) の回路が等価であるとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 2 端子対回路  $N$  のインピーダンス行列  $Z$  が、

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$

で与えられるとき、 $E_0$  および  $Z_0$  を求めよ。

- (2) 2 端子対回路  $N$  が図 2(c) で与えられるとき、 $E_0$  および  $Z_0$  を求めよ。

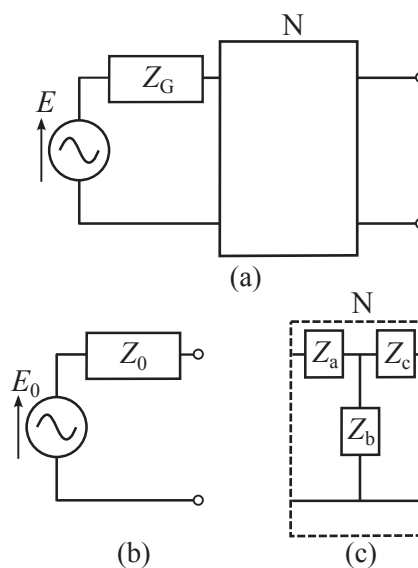


図 2

【問 3】 図 3 の回路について、以下の問いに答えよ。ただし、電源電流  $J$  の角周波数を  $\omega$  とする。

- (1) 抵抗  $R_L$  の電流  $I$  と消費電力  $P$  を求めよ。
- (2) 次の 3 つの場合についてそれぞれ、消費電力  $P$  が最大となる条件を求めよ。
  - (a)  $X_1, X_2$  がともに可変である。ただし、 $R_L < R_0$  とする。
  - (b)  $X_1$  が固定で、 $X_2$  が可変である。
  - (c)  $X_1$  が可変で、 $X_2$  が固定である。

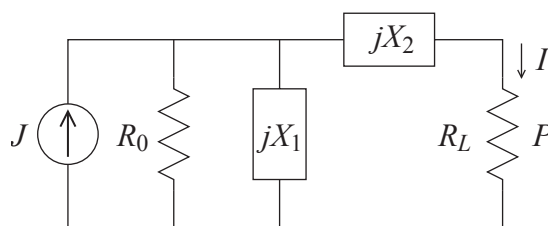


図 3

【問 4】 図 4 の回路について、以下の問いに答えよ。ただし、 $R = 2 \Omega$ ,  $C = 1/6 \text{ F}$ ,  $L = 3 \text{ H}$  とする。

- (1) 電源電圧  $E$  が  $0 \text{ V}$  で回路が定常状態に達した後、時刻  $t = 0$  で  $E$  を  $2 \text{ V}$  に変化させた。 $t > 0$  における電流  $i(t)$  を求めよ。
- (2) 電源電圧  $E$  が  $4 \text{ V}$  で回路が定常状態に達した後、時刻  $t = 0$  で  $E$  を  $8 \text{ V}$  に変化させた。 $t > 0$  における電流  $i(t)$  を求めよ。

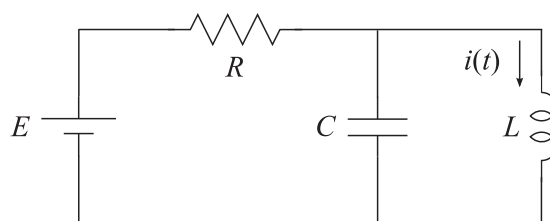


図 4

## Circuit Theory

Choose three out of the four questions and write the chosen question number on each answer sheet.

**【Q1】** Consider the circuit shown in Fig. 1, where the source voltage  $E$  has the angular frequency  $\omega$ . Answer the following questions.

- (1) Find the impedance  $Z$  seen from the source.
- (2) Find the current  $I$ .
- (3) Determine the condition when the phase difference  $\arg(I/E)$  is  $\pi/2$ .

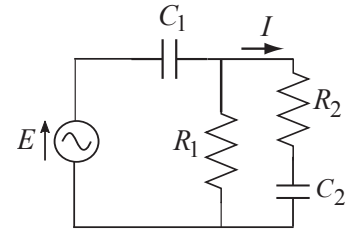


Fig. 1

**【Q2】** Consider the circuit shown in Fig. 2(a) consisting of 2-port circuit N, source with voltage  $E$  and impedance  $Z_G$ , and the circuit shown in Fig. 2(b) equivalent to Fig. 2(a). Answer the following questions.

- (1) Find the voltage  $E_0$  and the impedance  $Z_0$  when the impedance matrix for 2-port circuit N is defined by

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}.$$

- (2) Find the voltage  $E_0$  and the impedance  $Z_0$  when the 2-port circuit N is given by Fig. 2(c).

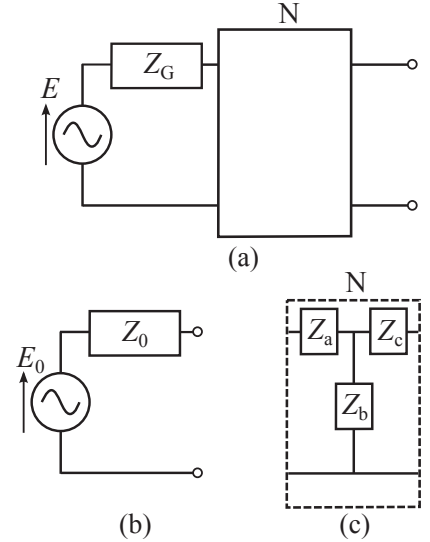


Fig. 2

**【Q3】** Consider the circuit shown in Fig. 3, where the source current  $J$  has the angular frequency  $\omega$ . Answer the following questions.

- (1) Find the current  $I$  and the effective power  $P$  in the resistance  $R_L$ .
- (2) In the following cases, find the requirements under which the effective power  $P$  is maximized.
  - (a) Both  $X_1$  and  $X_2$  are variable for  $R_L < R_0$ .
  - (b)  $X_1$  is fixed, and  $X_2$  is variable.
  - (c)  $X_1$  is variable, and  $X_2$  is fixed.

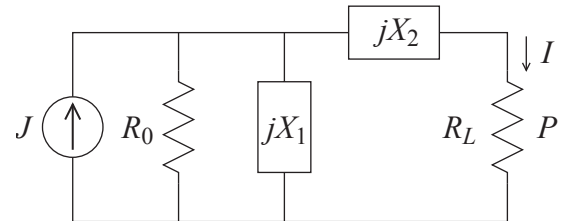


Fig. 3

**【Q4】** Consider the circuit shown in Fig. 4, where  $R = 2 \Omega$ ,  $C = 1/6 \text{ F}$  and  $L = 3 \text{ H}$ . Answer the following questions.

- (1) The source voltage  $E$  changes to 2 V at the time  $t = 0$  after the steady state for  $E = 0 \text{ V}$ . Find the current  $i(t)$  for  $t > 0$ .
- (2) The source voltage  $E$  changes to 8 V at the time  $t = 0$  after the steady state for  $E = 4 \text{ V}$ . Find the current  $i(t)$  for  $t > 0$ .

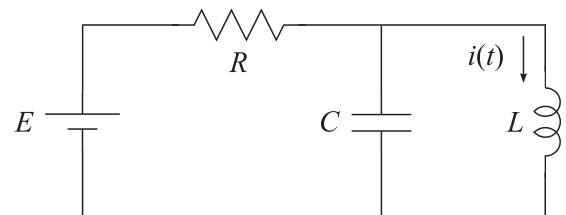


Fig. 4

次の各問(1, 2, 3)に答えよ。解答はすべて解答用紙に記入すること。

1. 図1(a)に示す回路の伝達関数  $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$  を求めよ。また、同図(b)の場合について  $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$  を導き、 $G(j\omega)$  について電圧利得および位相のボーデ図の概形を描け。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

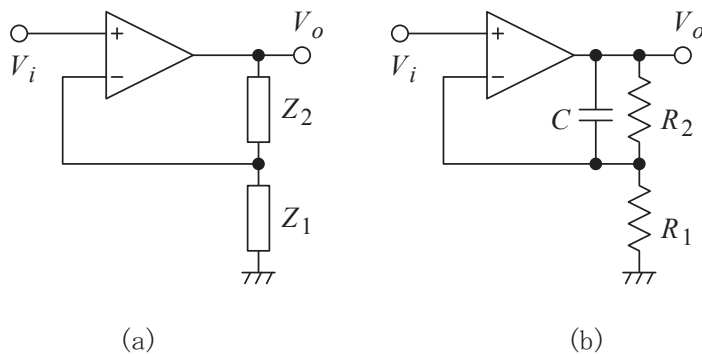


図1

2. 図2(a)に示す特性を持つツェナーダイオード  $Z$  を用い、同図(b)に示すように抵抗  $R$  と組み合わせてリミッタを作った。この回路の入出力電圧特性を同図(c)に示した座標系に図示せよ。次に、入力電圧  $V_i$  として同図(d)に示すような正弦波を与えたときの出力電圧  $V_o$  の波形を図示せよ。

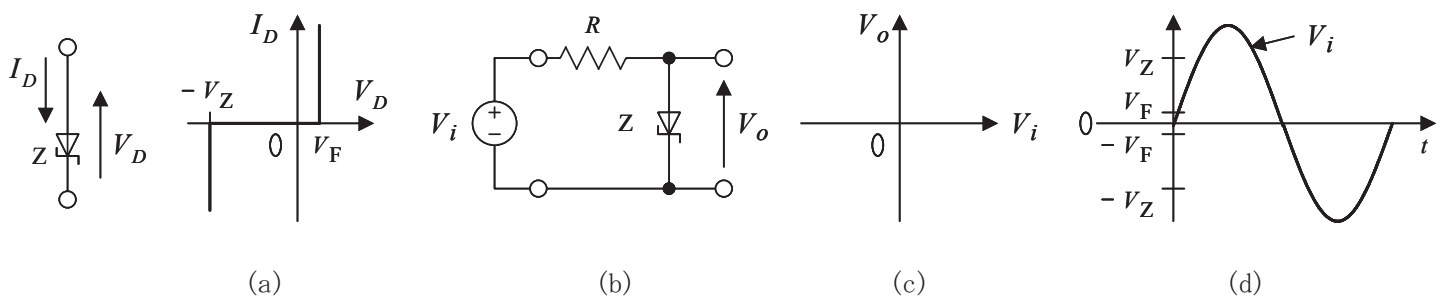


図2

3. 図3に示すRC発振回路において、発振周波数と振幅条件を導出せよ。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

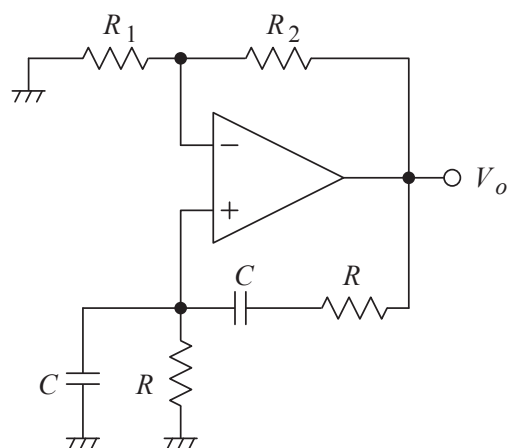


図3

Answer the following questions (1, 2, 3). **All answers should be written on the answer sheets.**

- Derive the transfer function  $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$  for the circuit shown in Fig. 1 (a). Then, derive  $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$  for the circuit shown in Fig. 1 (b), and sketch the Bode plots of the voltage gain and the phase for  $G(j\omega)$ . The operational amplifiers are assumed to be ideal.

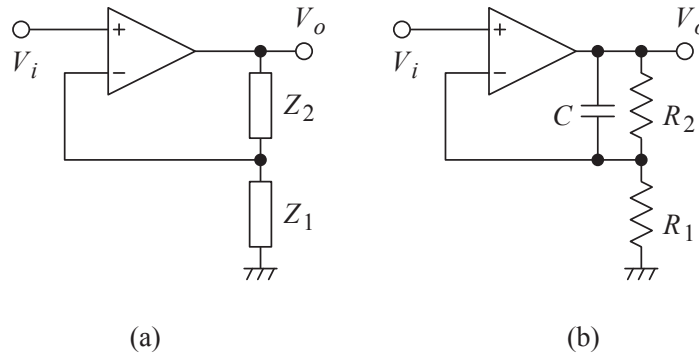


Fig. 1

- By using a Zener diode with its voltage-current characteristic shown in Fig.2 (a), a limiter circuit as shown in Fig. 2 (b) has been constructed with a resistor  $R$ . Sketch the input-output voltage characteristic of the limiter circuit on the coordinate plane as shown in Fig.2 (c). Sketch the waveform of the output voltage  $V_o$  when the sinusoidal input voltage  $V_i$  is applied as shown in Fig. 2 (d).

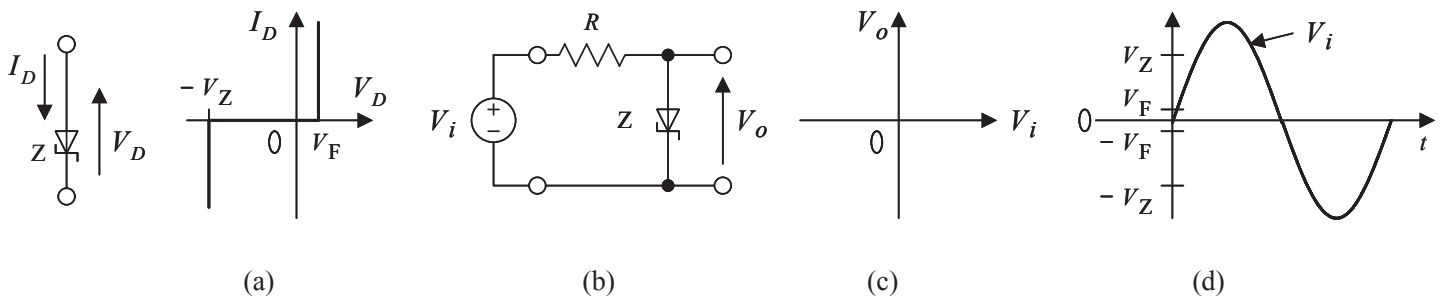


Fig. 2

- Fig. 3 shows an RC oscillator circuit, where the operational amplifier is assumed to be ideal. Derive the oscillation frequency and the condition for the amplitude of the loop gain.

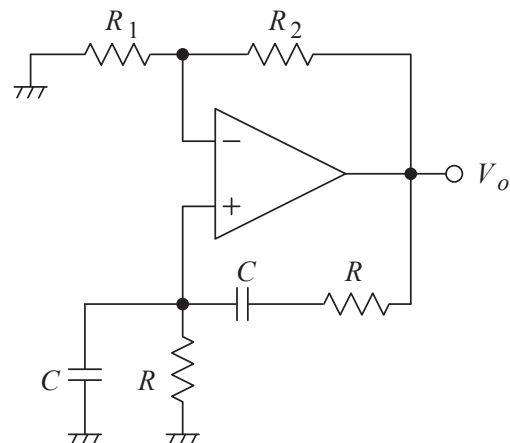


Fig. 3

## 制御工学

次の各問（[1], [2], [3]）に答えよ.

[1] 1次遅れ要素と PID 調節計について以下の問に答えよ.

- (1) 1次遅れ要素と PID 調節計の伝達関数をそれぞれ示せ. ただし, 伝達関数に含まれるパラメータは適宜適切な文字を使って表せ.
- (2) 1次遅れ要素と PI 動作時の PID 調節計のそれぞれについて, ゲインの周波数特性の折れ線近似を図示せよ. 図の横軸は角周波数 (対数目盛), 縦軸は dB で表されたゲインとする. 折れ線の傾き, および, 線が折れ曲がる点における角周波数を, 図に書き入れること.

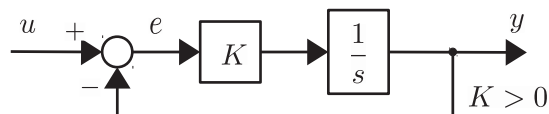
[2] あるシステムの入力  $u(t)$ , 出力  $y(t)$ , およびシステム内部の信号  $v(t), w(t), z(t)$  について, 以下の関係がある. ただし, 入力, 出力も含め信号はすべてスカラーであり,  $a, b, c, d, e, f, g$  は 0 でない定数である.

$$\frac{d}{dt}w(t) = -aw(t) + bu(t), \quad v(t) = cw(t) + du(t), \quad \frac{d^2}{dt^2}z(t) = ev(t), \quad y(t) = fv(t) + gz(t)$$

このシステムについて以下の問いに答えよ.

- (1) このシステムの入力  $u$  から出力  $y$  までの伝達関数を求めよ.
- (2) 状態変数を適切に定義し, このシステムを状態方程式と出力方程式を用いて表せ.

[3] 下のブロック線図で表されるシステムについて, 以下の問いに答えよ. ただし,  $s$  はラプラス演算子である.



- (1)  $t \geq 0$  において入力  $u(t) = 1$  を入力したとき, 十分に時間が経過した後の偏差  $e_1(t)$  を求めよ. 同様に,  $u(t) = t, u(t) = \sin t$  を各々入力したときの, 十分に時間が経過した後の偏差  $e_2(t), e_3(t)$  を示せ. ただし, 入力はいずれも  $t < 0$  では 0 であり, すべての初期値は 0 とする.
- (2) 上で求めた  $e_1(t), e_2(t), e_3(t)$  のそれぞれについて, システム中のパラメータ  $K$  の値を調整することによって  $|e_i(t)| < \varepsilon$  とすることができるかどうか答えよ. また, できるものについてはその方法を示せ. できないものについてはその理由を説明せよ. パラメータ値を調整せずとも  $|e_i(t)| < \varepsilon$  が満たされている場合はその旨を記せ. ここで,  $\varepsilon$  は任意の正の定数である.

## Control engineering

Answer the following questions ([1], [2] and [3]).

[1] Answer the following questions regarding a first-order lag element and a PID controller.

- (1) Show transfer functions of a first-order lag element and a PID controller, respectively. Use appropriate symbols to denote parameters in the transfer functions.
- (2) Sketch, by broken-line approximation, frequency-gain characteristics of the first-order lag element and the PID controller in a PI operation mode, respectively. Set the horizontal axis as angular frequency in logarithmic scale, and the vertical axis as gain in dB. Write down, in the sketches, the slope of each line segment and the angular frequency at which the lines break.

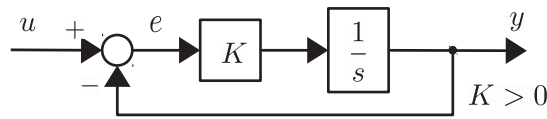
[2] The input  $u(t)$  and the output  $y(t)$  of a system and the other signals in the system,  $v(t)$ ,  $w(t)$  and  $z(t)$ , have the following relationships:

$$\frac{d}{dt}w(t) = -aw(t) + bu(t), \quad v(t) = cw(t) + du(t), \quad \frac{d^2}{dt^2}z(t) = ev(t), \quad y(t) = fv(t) + gz(t).$$

Here the signals including the input and the output are all scalars, and  $a, b, c, d, e, f$  and  $g$  are non-zero constants. Answer the following questions.

- (1) Determine the transfer function from the input  $u$  to the output  $y$ .
- (2) Define state variables appropriately and express the system with a state equation and an output equation.

[3] Consider a system depicted by a block diagram below, where  $s$  denotes the Laplace operator.



Answer the following questions.

- (1) Suppose that the input  $u(t) = 1$  is fed to the system when  $t \geq 0$ . Find the error  $e_1(t)$  when a sufficiently long time has passed. Similarly, find the errors  $e_2(t)$  and  $e_3(t)$  when a sufficiently long time has passed for the inputs  $u(t) = t$  and  $u(t) = \sin t$ , respectively. Here every input is 0 when  $t < 0$  and all the initial values are 0.
- (2) For each of  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  and  $e_3(t)$  obtained above, determine if  $|e_i(t)| < \varepsilon$  is achieved by adjusting the parameter  $K$  in the system. In addition, if it is achievable, describe how the parameter should be adjusted. If not, explain its reason. If  $|e_i(t)| < \varepsilon$  is already satisfied without adjusting the parameter, state so. Here  $\varepsilon$  is an arbitrary positive constant.

## 専門Ⅱ (Special subjects Ⅱ)

---

解答上の注意 (Instructions):

1. 問題用紙は、『始め』の合図があるまで開いてはならない.  
Do not open this cover sheet until the start of examination is announced.
2. 問題用紙は表紙を含め 19 枚、解答用紙は 3 枚である.  
You are given 19 problem sheets including this cover sheet, and 3 answer sheets.
3. 以下の 3 分野から 1 分野を選び解答すること.  
Select 1 out of the following 3 fields and answer the questions.

	分野	field	page
1	電磁気学	Electromagnetism	2 ～
2	半導体デバイス	Semiconductor device	8 ～
3	計算機工学	Computer engineering	16 ～

4. 解答は解答用紙に記入すること. 大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ. スペースが足りない場合は裏面を用いても良いが, その場合は, 裏面に解答があることを明記すること.

Your answers should be written on the answer sheets. Use one sheet for each question. You may continue to write your answer on the back of the answer sheets if you need more space. In such a case, indicate this clearly.

5. 解答用紙の全部に, 志望するコース名, 受験番号, 氏名および問題番号を記入し, 選択分野名を○で囲むこと.

Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the course name, your examinee number, your name and the question number, and circle your selected field name,



次の各問（問1 問2 問3）に答えよ.

問1 図1(a)のように, キャパシタが半径  $a, b$  ( $b > a$ ) の2つの同心導体球殻から構成されている. 2つの導体間の電位差は  $V$  である. 導体間の空間は誘電率  $\varepsilon$  の物質で満たされている.

- (1) このキャパシタの静電容量  $C$  を求めよ.
- (2) このキャパシタに蓄えられる静電エネルギー密度  $u$  を求めよ.  $u$  をキャパシタの全空間で積分し, キャパシタに蓄えられるエネルギー  $U$  を求めよ. また, 外側の導体球の単位面積に働く力を求めよ.

次に, 図1(b)のように2つの導体間の誘電体を導電率  $\sigma$  の物質に置き換えた.

- (3) このとき, 導体球殻の中心からの距離  $r$  の球面を通過する電流  $I$  を求めよ. ただし,  $a < r < b$  とする.
- (4) (3) の結果を用い, この2つの導体間の電気抵抗  $R$  を求めよ.

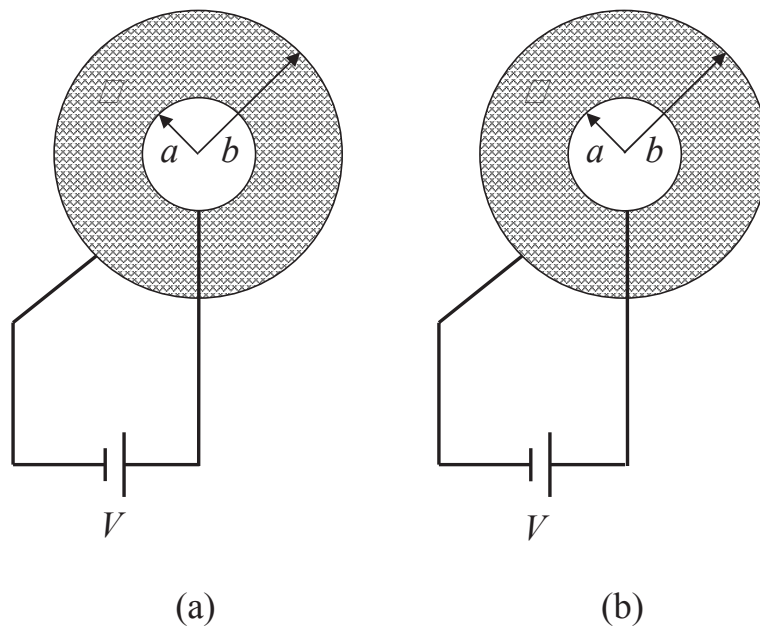


図1

[Question 1] As shown in Fig. 1 (a), a capacitor consists of two concentric spherical shell conductors of radii  $a$  and  $b$  ( $b > a$ ). The potential difference between the two conductors is  $V$ . The space between two conductors is filled with a dielectric material of permittivity  $\epsilon$ .

- (1) Give the capacitance  $C$  of the capacitor.
- (2) Give the electrostatic energy density  $u$  stored in the capacitor. Give the electrostatic energy  $U$  stored in the capacitor by integrating  $u$  over the whole space of the capacitor. Give the force exerted on the unit area of outer conductor.

Next, as shown in Fig. 1 (b), the dielectric material between the two conductors is exchanged with a material of conductivity  $\sigma$ .

- (3) Give the electric current  $I$  passing through a spherical surface of radius  $r$ . Here  $r$  is the distance from the center of the spherical shell conductors, where  $a < r < b$ .
- (4) Give the resistance  $R$  between the two conductors using the result of (3).

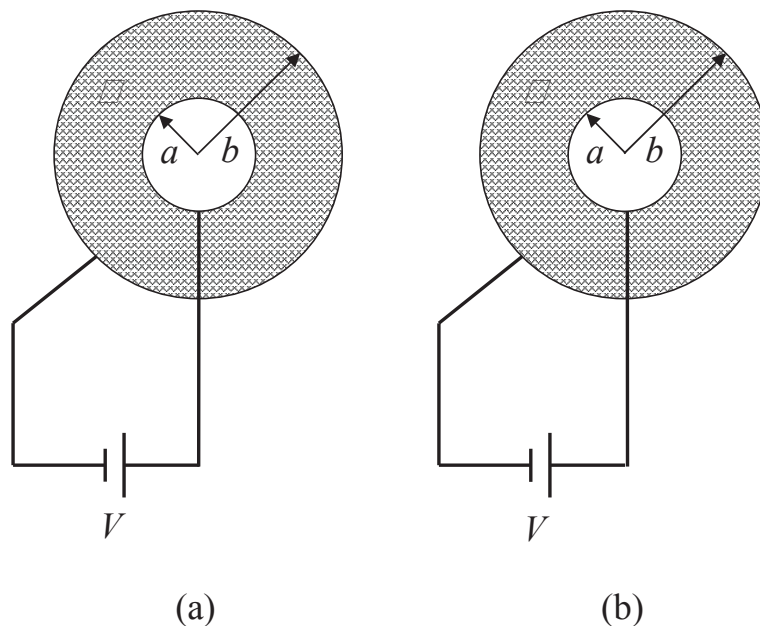


Fig. 1

問2 図2(a)に示すような磁気回路が真空中に置かれている．鉄心の断面積はどこも $S$ とする．3脚の鉄心のうちの左右2脚に巻数 $N_1$ のコイル1と巻数 $N_2$ のコイル2が巻かれている．磁路長は $AB = BC = DE = EF = l_1$ ， $AF = BE = CD = l_2$ である．真空中の透磁率を $\mu_0$ ，鉄心の透磁率を $\mu$ とし，漏れ磁束は無視出来るものとする．

- (1) 磁路BAFE, BCDE, BEにおけるそれぞれの磁気抵抗 $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \mathcal{R}_3$ を求めよ．
- (2) コイル1に電流 $I_1$ を流したときの，磁路AF, CDにおける磁束 $\Phi_1, \Phi_2$ を求めよ．
- (3) コイル1の自己インダクタンス $L$ と，コイル1と2の間の相互インダクタンス $M$ を求めよ．
- (4) 次に，磁気回路の中央脚に図2(b)に示すような長さ $d$ の間隙を設ける．左右のコイルにそれぞれ電流 $I_1$ および $I_2$ を流すとき，中央の間隙部分に生ずる磁束密度 $B$ の大きさを求めよ．ただし，フリンジ効果は無視できるとする．

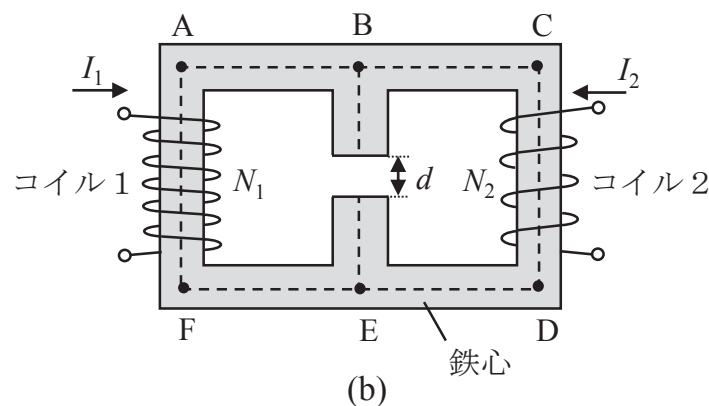
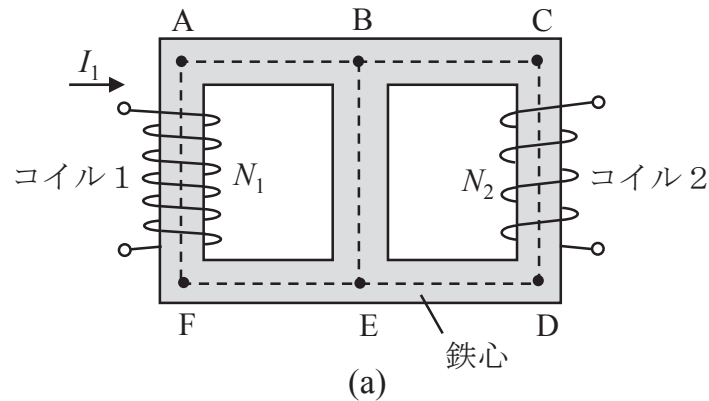


図2

[Question 2] A magnetic circuit is placed in vacuum, as shown in Fig. 2(a). The cross-sectional area of the iron core  $S$  is the same everywhere. Coils 1 and 2 with  $N_1$  and  $N_2$  turns are wound on the left leg and the right leg of the 3 legged core, respectively. The magnetic path lengths are  $AB = BC = DE = EF = l_1$  and  $AF = BE = CD = l_2$ . The permeability of vacuum and the iron core are  $\mu_0$  and  $\mu$ , respectively. Assume that the leakage magnetic flux is negligible.

- (1) Give the reluctance  $\mathcal{R}_1$ ,  $\mathcal{R}_2$ , and  $\mathcal{R}_3$  of the magnetic paths BAFE, BCDE, and BE, respectively.
- (2) Give the magnetic flux  $\Phi_1$  and  $\Phi_2$  in the magnetic paths AF and CD, respectively, when coil 1 carries current  $I_1$ .
- (3) Give the self-inductance  $L$  of coil 1, and the mutual inductance  $M$  between coils 1 and 2.
- (4) Next, let the magnetic circuit have an air gap of length  $d$  in the center leg, as shown in Fig. 2(b). Give the magnitude of the magnetic flux density  $B$  in the air gap when the coils 1 and 2 carry current  $I_1$  and  $I_2$ , respectively. Assume that the fringing effect is negligible.

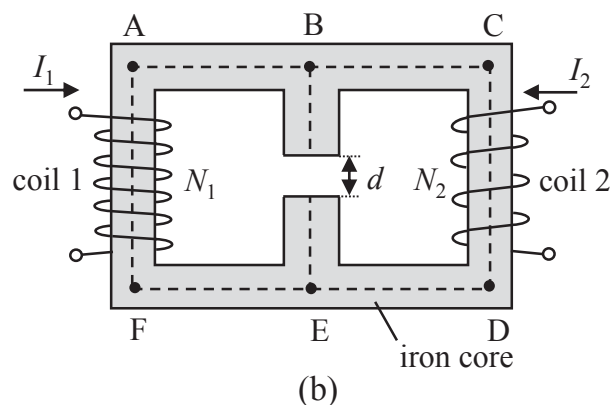
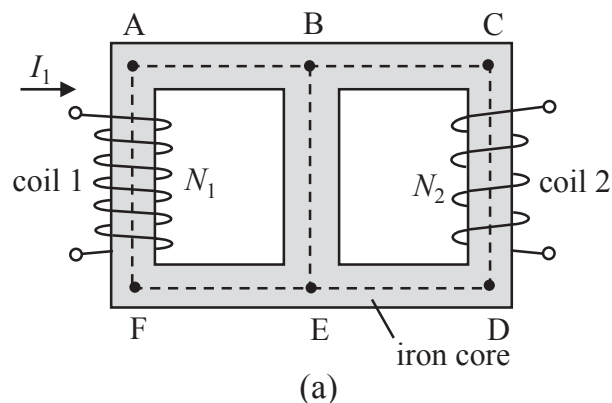


Fig. 2

問3 図3(a)に示すように半径  $a$  の二つの円板導体が距離  $d$  離れて平行に配置され、導体間には誘電率  $\varepsilon$ 、透磁率  $\mu$ 、導電率  $\sigma$  の物質が挿入されている。また、導体間には図3(b)に示すような電圧  $V(t)$  が印加されている。ただし、時刻  $t=0$  において円板導体には電荷はないものとする。また、 $a \gg d$  であり端効果は無視できるとする。

- (1) 時刻  $t$  ( $0 < t < T$ ) での円板導体間の電界  $E$ 、変位電流密度  $J_d$ 、及び伝導電流密度  $J$  の大きさを求めよ。
- (2) 点  $R$  ( $r=a$ ) における円板導体間の磁界  $H$  の大きさを電流密度  $J_d$  と  $J$  を用いてアンペアの法則から求めよ。ただし、 $r$  は中心からの距離である。
- (3) 時刻  $t$  ( $0 < t < T$ ) において、点  $R$  ( $r=a$ ) におけるポインティングベクトル  $S$  の向きと大きさを求めよ。また、 $r=a$  の側面から円板導体間の内部に伝達される電力  $P$  を求めよ。
- (4) 上記の電力  $P$  の一部は電気エネルギーとして導体間に蓄えられ、他は物質内で消費される。時刻  $t=0$  から  $t=T$  の間に導体間に蓄えられる電気エネルギー  $U_e$ 、及び物質内で消費されるエネルギー  $U$  を求めよ。

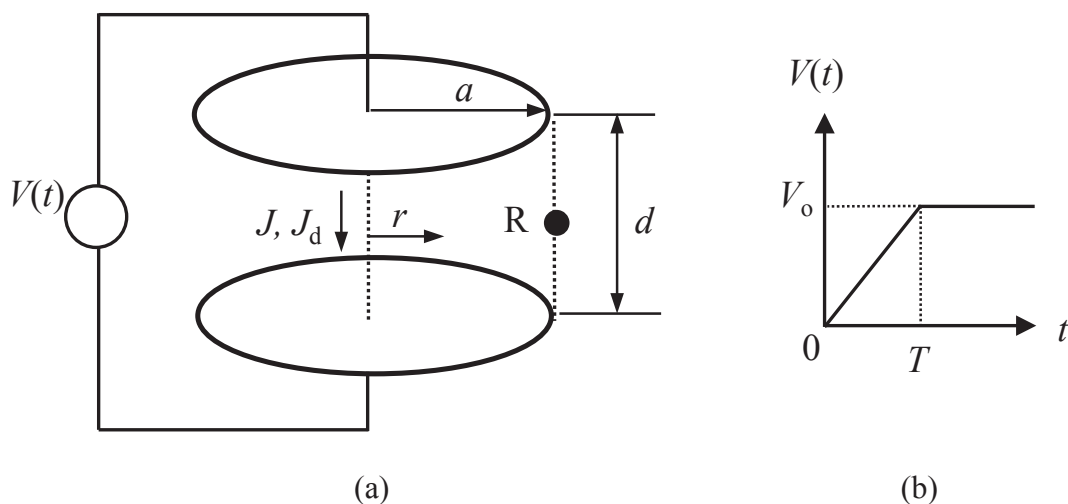


図3

[Question 3] As shown in Fig. 3(a), two circular-plate conductors with radius  $a$  are placed in parallel with spacing  $d$ . A material with permittivity  $\epsilon$ , permeability  $\mu$ , and conductivity  $\sigma$  is inserted between the conductors. The voltage  $V(t)$  shown in Fig. 3(b) is supplied between the conductors. Here, we assume that no charge is stored in the conductors at  $t = 0$ . We also neglect edge effect by assuming  $a \gg d$ .

- (1) Give the electric field  $E$ , the displacement current density  $J_d$ , and the conducting current density  $J$  inside the material for  $0 < t < T$ .
- (2) Give the magnetic field strength  $H$  at the point R for  $0 < t < T$  using  $J_d$  and  $J$  by applying the Ampere's law. Here, the point R is located at a distance  $r = a$  from the center.
- (3) Give the direction and strength of the Poynting vector  $S$  at the point R( $r = a$ ) for  $0 < t < T$ . Also, give the electric power  $P$  that is entering into the region between the two conductors through the side surface at  $r = a$ .
- (4) A part of  $P$  is stored as electric energy between the conductors, while the remaining is consumed in the material. Give the electric energy  $U_e$  that is stored between  $t = 0$  and  $t = T$ . Also, give the energy  $U$  that is consumed in the material between  $t = 0$  and  $t = T$ .

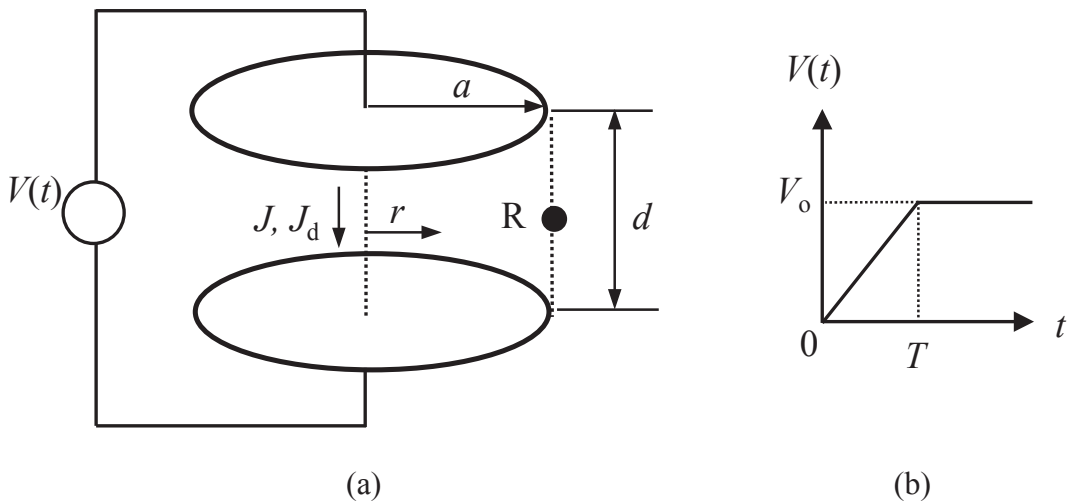


Fig. 3

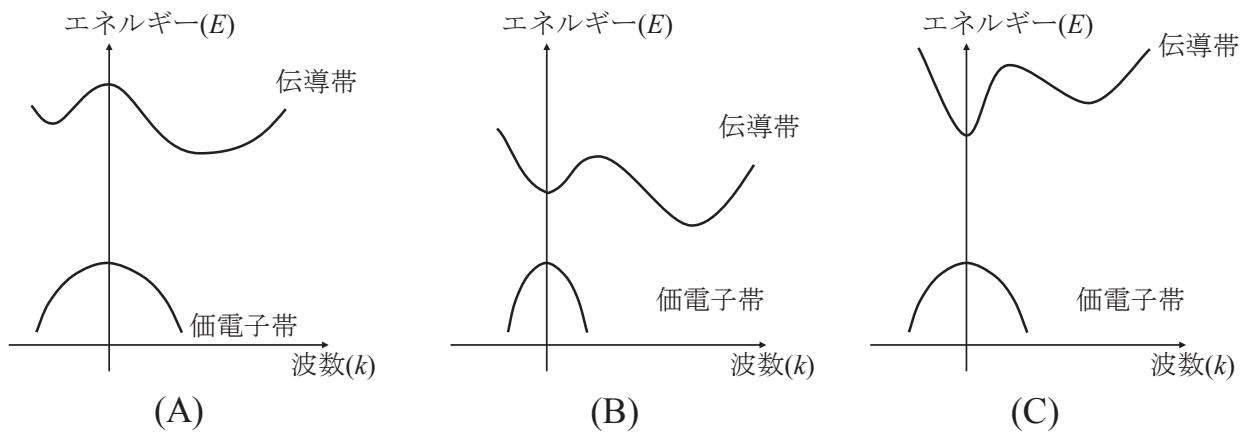
# 半導体デバイス

次の各問（**1** **2** **3**）に答えよ．

**1**

半導体に関する下記の設問に答えよ．

- (1) 自由電子のドリフト移動度  $\mu$  を，自由電子の有効質量  $m^*$ ，平均自由時間  $\tau$ ，電気素量  $q$  を用いて式で表せ．
- (2) 下図のようなエネルギー・バンド構造を有する半導体 A, B, C がある．自由電子のドリフト速度が最も大きいものから順にその名前(A, B, C)を答えよ．ただし，これらの半導体における自由電子の平均自由時間  $\tau$  は同一である．



- (3) 前項(2)に示す半導体 A, B, C のそれぞれについて，直接遷移型，間接遷移型のいずれかを答えよ．
- (4) 半導体 A の伝導帯および価電子帯の有効状態密度  $N_C$ ,  $N_V$  は，それぞれ半導体 B の伝導帯および価電子帯の有効状態密度と等しいと仮定する．半導体 A と B の真性キャリア密度は，いずれの方が大きいか．理由とともに答えよ．
- (5) 半導体 C の抵抗率を印加電界の関数として測定したところ，低電界領域の抵抗率よりも高電界領域の抵抗率の方が高かった．この現象が生じた理由を説明せよ．

2

シリコン(Si)の pn 接合に関する下記の設問に答えよ。ただし、Si の自由電子および正孔の移動度を  $0.15 \text{ m}^2/\text{Vs}$  および  $0.05 \text{ m}^2/\text{Vs}$ 、真性キャリア密度を  $1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$  とし、電気素量を  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  とする。

- (1) p 型 Si の中性領域の抵抗率が  $1.25 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$  である。この領域における正孔の密度を求めよ。
- (2) 上記の p 型 Si の中性領域における自由電子密度を求めよ。
- (3) pn 接合の拡散電位  $V_d$  を、p 型領域のアクセプター密度  $N_A$ 、n 型領域のドナー密度  $N_D$ 、真性キャリア密度  $n_i$ 、絶対温度  $T$ 、ボルツマン定数  $k$ 、電気素量  $q$  を用いて式で表せ。
- (4) pn 接合の順方向バイアス状態(バイアス電圧:  $V_F$ )におけるバンド図を描け。バンド図には、価電子帯の頂  $E_V$ 、伝導帯の底  $E_C$ 、フェルミ・エネルギー  $E_F$ 、pn 接合の拡散電位  $V_d$ 、および印加バイアスの大きさ  $V_F$  を記入すること。ただし、電気素量を  $q$  とせよ。
- (5) pn 接合の順方向バイアス状態(バイアス電圧:  $V_F$ )における p 型領域の空乏層端での自由電子密度  $n_p$  を、順方向バイアス  $V_F$ 、p 型中性領域における熱平衡自由電子密度  $n_{p0}$ 、絶対温度  $T$ 、ボルツマン定数  $k$ 、電気素量  $q$  を用いて式で表せ。さらに、 $n_p$  は  $n_{p0}$  に比べて大きい、小さいかを答えよ。



**3** 図1(a)に示す構造をもつバイポーラ接合トランジスタがある．ここでC, B, Eはそれぞれコレクタ, ベース, エミッタである．それぞれの領域は図1(b)に示す分布をもつようにリン(P), ホウ素(B), ヒ素(As)をドーピングして作製されている．これらの領域の電子物性諸元を表1に示す．下記(1)から(8)の設問に答えよ．

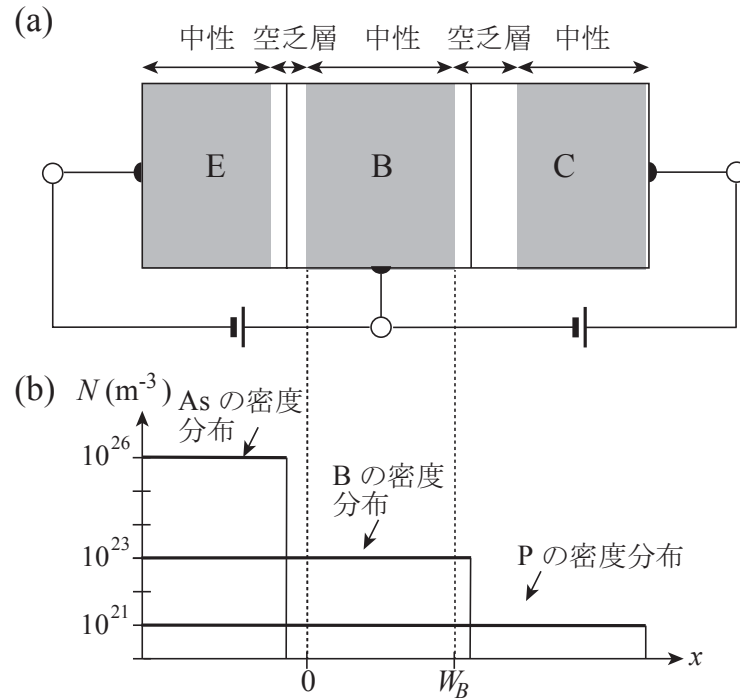


図1

表1：トランジスタ諸元

諸元	記号	値
エミッタ中の正孔の寿命	$\tau_{pE}$	$10^{-9}$ s
エミッタ中の正孔の移動度	$\mu_{pE}$	$10^{-2}$ m <sup>2</sup> /Vs
ベース中の電子の寿命	$\tau_{nB}$	$4 \times 10^{-8}$ s
ベース中の電子の移動度	$\mu_{nB}$	$0.1$ m <sup>2</sup> /Vs
ベース中性領域の幅	$W_B$	500 nm
動作温度での熱エネルギー	$kT$	0.025 eV
動作温度での真性キャリア密度	$n_i$	$1.5 \times 10^{16}$ m <sup>-3</sup>

- (1) C, B, E 領域それぞれの多数キャリアの種類と密度を記せ．
- (2) 熱平衡状態におけるベース中の少数キャリア密度  $n_{B0}$  はいくらか．
- (3) エミッタ／ベース接合に順方向バイアスを加えたときに接合面に流れる電子電流と正孔電流は，それぞれのキャリアを注入する側の多数キャリア密度のみに比例すると仮定してエミッタ注入効率  $\alpha_E$  の値を求めよ．数値は小数点以下3桁までとせよ．
- (4) トランジスタを通常動作させているときのベース中の過剰少数キャリア密度分布  $n'_B(x)$  は，拡散方程式

$$\frac{\partial^2 n'_B(x)}{\partial x^2} = \frac{n'_B(x)}{L_{nB}^2}$$

を解くことによって求めることができる．ここで  $L_{nB}$  はベース中の少数キャリアの拡散長， $x$  は図 1(a) に示すようにベース中性領域のエミッタ側の端からコレクタに向かう方向の距離である．なお，ベース中性領域の幅を  $W_B$  とする．このトランジスタが， $n'_B(0) = Kn_{B0}$  ( $K \gg 1$ ) となるようにバイアスされてトランジスタ動作しているきの  $n'_B(x)$  を表す式を上記方程式を解いて求めよ．なお， $n'_B(W_B) = 0$  と仮定してよい．答は双曲線関数  $\sinh$  を用いて表せ．

- (5) このトランジスタでは  $L_{nB} \gg W_B$  であることを示せ．
- (6) 設問 (4) の解を利用してベース輸送効率  $\alpha_B$  を表す式を導出せよ．導出するにあたり，ベース中性領域の電界はゼロであると仮定して良い．なお答は， $y$  が 0 に近いとき  $\cosh y \approx 1 + \frac{y^2}{2}$  と近似できることを利用して簡単化して表せ．
- (7) このトランジスタの電流伝達率 (ベース接地電流増幅率とも呼ぶ)  $\alpha$  の値を求めよ．なお，コレクタ効率は 1 として良いものとする．数値は小数点以下 3 桁までとせよ．
- (8) エミッタ接地電流増幅率  $\beta$  の値を求めよ．

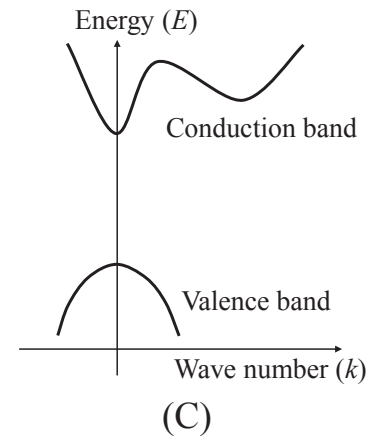
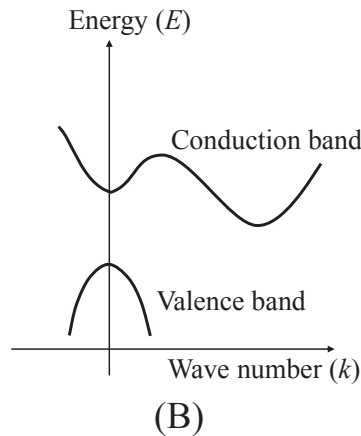
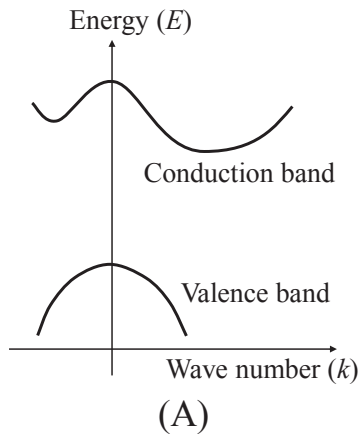
## Semiconductor devices

Answer the following questions ( 1 2 3 ).

1

Answer the following questions concerning semiconductors.

- (1) Give an equation for the drift mobility of free electrons  $\mu$  using the effective mass  $m^*$ , the mean free time  $\tau$ , and the elementary charge  $q$ .
- (2) There are three semiconductors A, B, and C, whose energy band structures are schematically shown below. Write the labels, namely A, B, and C, in the order from that with the highest free electron mobility to that with the lowest free electron mobility. Here, the value of the mean free time  $\tau$  of free electrons is the same for these semiconductors.



- (3) Answer which of direct band-gap or the in-direct band-gap each of semiconductors A, B, and C shown in the previous question (2) has.
- (4) Assume that the effective density of states in the conduction band  $N_C$  and the effective density of states in the valence band  $N_V$  of semiconductor A are the same as those of semiconductor B. Which has the larger intrinsic carrier concentration, semiconductor A or B? Answer with the reason.
- (5) When the resistivity of semiconductor C was measured as a function of the electric field, the resistivity under a high electric field was higher than that under a low electric field. Answer the reason.

2

Answer the following questions about a pn junction consisting of silicon (Si). Here, the drift mobilities of electrons and holes are 0.15 and 0.05 m<sup>2</sup>/Vs, respectively, the intrinsic carrier concentration is 1.5×10<sup>16</sup> m<sup>-3</sup>, and the elementary charge is 1.6×10<sup>-19</sup> C.

- (1) The resistivity of the neutral region of the p-type Si is 1.25×10<sup>-3</sup> Ωm. Evaluate the concentration of holes in this neutral region.
- (2) Evaluate the concentration of free electrons in the neutral region of the p-type Si described above.
- (3) Give an equation for built-in potential  $V_d$  using acceptor concentration  $N_A$  in p-type region, donor concentration  $N_D$  in n-type region, intrinsic carrier concentration  $n_i$ , absolute temperature  $T$ , the Boltzmann constant  $k$ , and elementary charge  $q$ .
- (4) Sketch the band diagram for the pn junction under the forward bias condition (bias voltage:  $V_F$ ). The energy positions of the top of the valence band  $E_V$ , the bottom of the conduction band  $E_C$ , the Fermi level  $E_F$ , the built-in potential  $V_D$ , and the applied voltage  $V_F$  should be given in the drawing. The elementary charge is represented as  $q$ .
- (5) Give an equation for the free electron concentration  $n_p$  at the edge of the depletion layer in the p-type region, using the forward bias voltage  $V_F$ , the free electron concentration  $n_{p0}$  in the p-type neutral region under thermal equilibrium, absolute temperature  $T$ , the Boltzmann constant  $k$ , and elementary charge  $q$ . Furthermore, answer whether  $n_p$  is larger or smaller compared with  $n_{p0}$ .

**3** Consider a bipolar junction transistor shown in Fig. 1(a). The regions C, B, and E are emitter, base, and collector, respectively. These regions were doped with phosphorous, boron, and arsenic. The doping profiles of these dopant are shown in Fig. 1(b). Table 1 shows physical parameters of the regions. Answer the following questions (1) - (8).

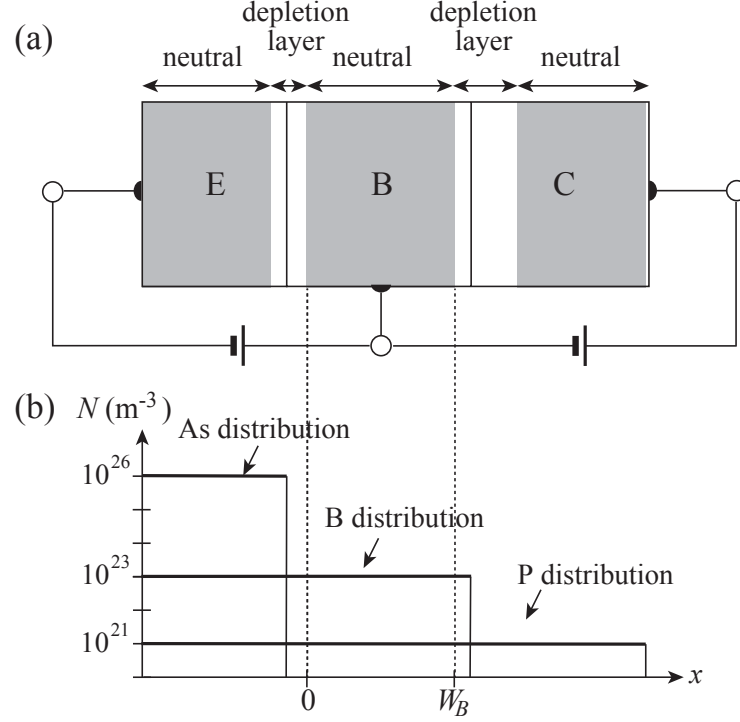


Fig. 1

Table 1 : Physical parameters of the transistor

Parameter	Symbol	Value
Hole lifetime in the emitter	$\tau_{pE}$	$10^{-9}$ s
Hole mobility in the emitter	$\mu_{pE}$	$10^{-2}$ m <sup>2</sup> /Vs
Electron lifetime in the base	$\tau_{nB}$	$4 \times 10^{-8}$ s
Electron mobility in the base	$\mu_{nB}$	$0.1$ m <sup>2</sup> /Vs
Width of the base neutral region	$W_B$	500 nm
Thermal energy at operation temperature	$kT$	0.025 eV
Intrinsic carrier concentration at operation temperature	$n_i$	$1.5 \times 10^{16}$ m <sup>-3</sup>

- (1) Describe the majority carrier and its density in each of the three regions, C, B, and E.
- (2) Evaluate the minority carrier density  $n_{B0}$  in the base region.
- (3) Assuming that the electron current and the hole current flowing through the emitter/base junction are proportional only to the carrier densities in the regions which inject the carriers, evaluate the emitter injection efficiency  $\alpha_E$ . Answer to the third decimal place.
- (4) When the transistor is in the normal operation, the minority carrier distribution in the base is obtained by solving the diffusion equation

$$\frac{\partial^2 n'_B(x)}{\partial x^2} = \frac{n'_B(x)}{L_{nB}^2},$$

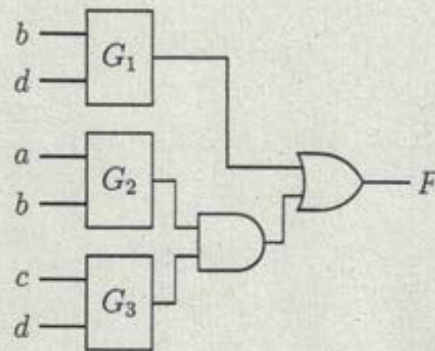
where  $L_{nB}$  is the diffusion length of minority carriers in the base,  $x$  is the distance in the base from the edge of the emitter side along the axis toward the collector as shown in Figs. 1(a) and 1(b). Assume the width of the base to be  $W_B$ . Obtain a solution  $n'_B(x)$  of the above diffusion equation for the case where the emitter/base junction is biased to have  $n'_B(0) = Kn_{B0}$  ( $K \gg 1$ ). You may assume  $n'_B(W_B) = 0$ . Use hyperbolic function,  $\sinh$ , to answer.

- (5) Prove  $L_{nB} \gg W_B$  for this transistor.
- (6) Using the answer for the question (4) obtain an expression of the base transport efficiency  $\alpha_B$  of the transistor. You may assume that the electric field in the base is zero. Use the approximation  $\cosh y \approx 1 + \frac{y^2}{2}$  when  $y$  is close to zero to simplify the expression.
- (7) Evaluate the current transport efficiency (i.e., the base-common current-amplification factor)  $\alpha$  of the transistor. Answer to the third decimal place. Assume that the collector efficiency is unity.
- (8) Evaluate the emitter-common current-amplification factor  $\beta$  of this transistor.

次の各問い (【問1】～【問3】) に答えよ。

【問1】 以下の真理値表で与えられた論理関数  $F(a, b, c, d)$  を図で示されるように3つの関数  $G_1(b, d)$ ,  $G_2(a, b)$ ,  $G_3(c, d)$  および AND ゲートと OR ゲートを使って実現することを考える。関数  $G_1$ ,  $G_2$  および  $G_3$  の真理値表を示せ。

$a$	$b$	$c$	$d$	$F$
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0





【問2】コンピュータのメモリシステムについて、以下の各問いに答えよ。

- (1) マイクロプロセッサに搭載されたダイレクトマップ・キャッシュについて考える。ワードサイズは4バイト、キャッシュ・サイズは16バイト、ブロックサイズは8バイト、アドレス長は4ビットであり、キャッシュの初期状態は空とする。以下に示すワードアドレス(2進表現)に対してメモリアクセスが順次発生した場合のキャッシュ・ミス率を答えよ。

1100  $\Rightarrow$  1010  $\Rightarrow$  1101  $\Rightarrow$  0101  $\Rightarrow$  1100  $\Rightarrow$  0101  $\Rightarrow$  1010  $\Rightarrow$  0101  $\Rightarrow$  0011  $\Rightarrow$  0101

- (2) 初期参照ミスとは何か答えよ。また、初期参照ミス回数を削減する方法を述べよ。

【問3】図1に示すソーティングアルゴリズムの疑似コードについて、次の各問いに答えよ。疑似コードはC言語に準拠しており、//で始まる行はコメントである。Aはサイズnの配列である。

```

1: for(gap=n/2; gap>=1; gap=gap/2){
2:   for(i=gap; i<n; i=i+1){
3:     for(j=i; (j>=gap) && (A[j-gap] > A[j]); j=j-gap){
4:       temp = A[j-gap];
5:       A[j-gap] = A[j];
6:       A[j] = temp;
7:     }
8:   }
9:   // (X)
10: }
```

図1. ソーティングアルゴリズムの疑似コード

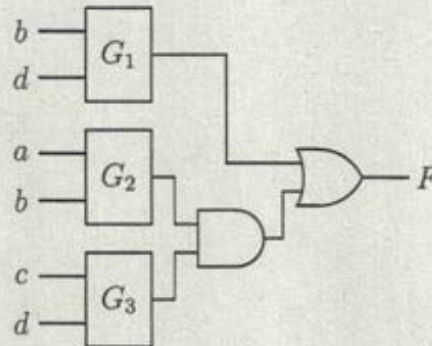
- (1) 配列A[]={1, 8, 4, 2, 3, 6, 5, 7}に対して図1のアルゴリズムを実行した場合の、各繰返し処理における(X)の時点(9行目)での配列Aを示せ。この記法では配列のインデックスは0から始まり、例えば今回はA[0]=1, A[7]=7, n=8となることに注意せよ。
- (2) 安定なソーティングアルゴリズムでは、同じ値を有する複数の要素に関して、元の列の順序が常に保存される。このソーティングアルゴリズムは安定であるか説明せよ。



Answer the following questions ( [Q1] ~ [Q3] ).

[Q1] Let  $F(a, b, c, d)$  be a logic function whose truth table is shown below. Consider that  $F$  is composed of other subfunctions  $G_1(b, d)$ ,  $G_2(a, b)$ ,  $G_3(c, d)$  and an AND gate and an OR gate as shown in the below figure. Show the truth tables of  $G_1$ ,  $G_2$  and  $G_3$ .

$a$	$b$	$c$	$d$	$F$
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0





**[Q2]** Answer the following questions relating to computer memory systems.

- (1) Consider a direct-mapped cache memory implemented in a microprocessor chip. Assume that the word size is 4 bytes, the cache size is 16 bytes, the block size is 8 bytes, and the address width is 4 bits. Suppose the cache is initially empty. Find the cache miss rate for the following sequence of memory references given as word addresses (represented in the binary numeral system).

1100  $\Rightarrow$  1010  $\Rightarrow$  1101  $\Rightarrow$  0101  $\Rightarrow$  1100  $\Rightarrow$  0101  $\Rightarrow$  1010  $\Rightarrow$  0101  $\Rightarrow$  0011  $\Rightarrow$  0101

- (2) Explain what the “Compulsory Miss” is, and show how to reduce the number of compulsory misses.

**[Q3]** Answer the following questions about the pseudo code of a sorting algorithm shown in Fig.1. The pseudo code is based on the C language and a line starting with “//” is a comment. A is an array of size n.

```
1: for(gap=n/2; gap>=1; gap=gap/2){
2:   for(i=gap; i<n; i=i+1){
3:     for(j=i; (j>=gap) && (A[j-gap] > A[j]); j=j-gap){
4:       temp = A[j-gap];
5:       A[j-gap] = A[j];
6:       A[j] = temp;
7:     }
8:   }
9:   // (X)
10: }
```

Fig.1. A pseudo code of a sorting algorithm

- (1) When the algorithm in Fig.1 is applied to array  $A[] = \{1, 8, 4, 2, 3, 6, 5, 7\}$ , show array A at the point of (X) (line 9) in each iteration. Note that the first element of array A is  $A[0]$ , i.e.,  $A[0]=1$ ,  $A[7]=7$ , and  $n=8$  in this case.
- (2) A sorting algorithm is stable if for multiple elements with the same value, the order of the original input is always preserved. Show whether the above sorting algorithm is stable or not.