

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 2 9 年度入学試験問題

【平成 2 8 年 8 月 1 8 日（木）、1 9 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事。  
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】

1 次独立な  $n$  次元ベクトルの組  $\{v_1, v_2, \dots, v_k\} \subseteq \mathbf{R}^n$  が張る部分空間  $K$  に対し, 写像  $f: K \rightarrow \mathbf{R}^k$  を次のように定義する. 任意の  $x = \sum_{i=1}^k \alpha_i v_i \in K$  に対し,  $f(x) = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_k \end{pmatrix}$ .

以下の各問に答えよ.

- (1) 任意の  $x, y \in K$  に対し,  $f(x + y) = f(x) + f(y)$  が成り立つことを示せ.
- (2) 任意の  $x \in K$ , 任意の実数  $c$  に対し,  $f(cx) = cf(x)$  が成り立つことを示せ.
- (3)  $\{x_1, x_2, \dots, x_l\} \subseteq K$  が 1 次独立のとき,  $\{f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_l)\}$  も 1 次独立であることを示せ.

For a subspace  $K$  spanned by a linearly independent set of  $n$  dimensional vectors  $\{v_1, v_2, \dots, v_k\} \subseteq \mathbf{R}^n$ , we define a function  $f: K \rightarrow \mathbf{R}^k$  as  $f(x) = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_k \end{pmatrix}$  for any  $x = \sum_{i=1}^k \alpha_i v_i \in K$ .

Answer the following questions.

- (1) Show that  $f(x + y) = f(x) + f(y)$  for any  $x, y \in K$ .
- (2) Show that  $f(cx) = cf(x)$  for any  $x \in K$  and any real number  $c$ .
- (3) Show that if  $\{x_1, x_2, \dots, x_l\} \subseteq K$  is linearly independent, then so is  $\{f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_l)\}$ .

# 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。

(1)  $\frac{dy}{dx} + \frac{y}{x} = \frac{1}{1+x^2}$

(2)  $(\sqrt{xy} - x) \frac{dy}{dx} = -y$

Find general solutions to the following differential equations.

(1)  $\frac{dy}{dx} + \frac{y}{x} = \frac{1}{1+x^2}$

(2)  $(\sqrt{xy} - x) \frac{dy}{dx} = -y$

# 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】

次の各問に答えよ。ただし  $(x, y, z)$  は三次元空間の直交座標を表す。

- (1) スカラー場  $\phi = x^2yz^3 + xy^2z$  について、点  $(1, 3, 2)$  における  $\nabla \cdot (\nabla \phi)$  を計算せよ。
- (2) スカラー場  $V = xyz$  について、次の面  $S$  に対する  $V$  の面積分を計算せよ。

$$S: x^2 + y^2 = 4, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0, \quad 3 \geq z \geq 0$$

Answer the following questions, where  $(x, y, z)$  denotes Cartesian coordinates.

- (1) For the scalar field  $\phi = x^2yz^3 + xy^2z$ , determine  $\nabla \cdot (\nabla \phi)$  at the point  $(1, 3, 2)$ .
- (2) Evaluate the surface integral for the scalar field  $V = xyz$ , over the following surface  $S$ .

$$S: x^2 + y^2 = 4, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0, \quad 3 \geq z \geq 0.$$

# 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】

複素関数  $w(z) = \frac{z-1}{z+1}$  を考える。ただし,  $z = x + iy$ ,  $i = \sqrt{-1}$ ,  $x$  と  $y$  は実数である。  
次の各問に答えよ。

- (1)  $w(z) = u(x, y) + iv(x, y)$  で表されるとき,  $u(x, y)$  と  $v(x, y)$  を求めよ。  
ただし,  $u(x, y)$  と  $v(x, y)$  は実数値関数である。
- (2) 以下の領域  $A$  の関数  $w(z)$  による像  $w(A) = \{w(z) \mid z \in A\}$  を複素平面上に図示せよ。  
(a)  $A = \{z \in \mathbb{C} \mid x = 0\}$ , (b)  $A = \{z \in \mathbb{C} \mid x = 1\}$ , (c)  $A = \{z \in \mathbb{C} \mid y = 0, x \geq 0\}$

Consider the complex function  $w(z) = \frac{z-1}{z+1}$ , where  $z = x + iy$ ,  $i = \sqrt{-1}$ , and  $x$  and  $y$  are real numbers. Answer the following questions.

- (1) Denote the function  $w(z)$  as  $w(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ , where the functions  $u(x, y)$  and  $v(x, y)$  are real-valued. Then, find the functions  $u(x, y)$  and  $v(x, y)$ .
- (2) Illustrate in the complex plane the images  $w(A) = \{w(z) \mid z \in A\}$  of the following regions  $A$  through the function  $w(z)$ .  
(a)  $A = \{z \in \mathbb{C} \mid x = 0\}$ , (b)  $A = \{z \in \mathbb{C} \mid x = 1\}$ , (c)  $A = \{z \in \mathbb{C} \mid y = 0, x \geq 0\}$ .

# 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】

離散確率変数  $X_1, \dots, X_n$  は独立に、確率分布

$$\Pr[X_i = k] = \left(\frac{1}{2}\right)^k \quad (k = 1, 2, \dots)$$

に従うものとする。以下の各問に答えよ。

- (1)  $\sum_{i=1}^n X_i$  の期待値を求めよ。
- (2)  $\Pr[X_i \leq k]$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) を求めよ。
- (3)  $Z = \max_{i \in \{1, \dots, n\}} X_i$  とする。  $\Pr[Z \leq k]$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) を求めよ。
- (4)  $n$  が十分に大きいとき、 $\Pr[Z \leq \log_2 n - 1] \geq 1/2$  が成り立つか否か、理由と共に述べよ。  
ただし自然対数の底  $e$  に対して、 $1/e < 0.37$  が成り立つことを用いてよい。

Let  $X_1, \dots, X_n$  be independent discrete random variables with probability

$$\Pr[X_i = k] = \left(\frac{1}{2}\right)^k \quad (k = 1, 2, \dots).$$

Answer the following questions.

- (1) Find the expectation of  $\sum_{i=1}^n X_i$ .
- (2) Find  $\Pr[X_i \leq k]$  ( $k = 1, 2, \dots$ ).
- (3) Let  $Z = \max_{i \in \{1, \dots, n\}} X_i$ . Find  $\Pr[Z \leq k]$  ( $k = 1, 2, \dots$ ).
- (4) Establish whether or not  $\Pr[Z \leq \log_2 n - 1] \geq 1/2$  holds for sufficiently large  $n$ . You can use the fact that  $1/e < 0.37$  for  $e$ , the base of the natural logarithm.

# 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)  $(p \rightarrow (q \rightarrow (r \wedge s))) \rightarrow (\neg((\neg s \vee \neg r) \rightarrow \neg q) \rightarrow \neg p)$  がトートロジーであることをタブロー法により示せ。
- (2) 赤や緑の電球がいくつかある。以下の問いに答えよ。
- (a) 以下の文章  $\psi_1, \psi_2, \phi$  のそれぞれを論理式で表せ。ただし、「 $x$  は赤電球」を  $R(x)$ 、「 $x$  は緑電球」を  $G(x)$ 、「 $x$  が点灯中」を  $L(x)$  で表せ。
- $\psi_1$ : 点灯中でない緑電球があるならば、点灯中の赤電球がある。
- $\psi_2$ : 点灯中の緑電球があるのは、点灯中でない赤電球があるとき、かつそのときに限る。
- $\phi$ : 点灯中の赤電球があるならば、点灯中の緑電球はない
- (b) 上の  $\phi$  は  $\psi_1$  と  $\psi_2$  からの論理的帰結か否かを答えよ。もし論理的帰結ならば、理由を説明せよ。そうでないならば、反例を示せ。

- (1) Prove by the tableaux method that  $(p \rightarrow (q \rightarrow (r \wedge s))) \rightarrow (\neg((\neg s \vee \neg r) \rightarrow \neg q) \rightarrow \neg p)$  is a tautology.
- (2) There are some red bulbs and green bulbs. Answer the following questions.
- (a) Express each of the following sentences  $\psi_1, \psi_2$  and  $\phi$  in a logical formula using the predicates  $R(x), G(x)$ , and  $L(x)$  which represent “ $x$  is a red bulb,” “ $x$  is a green bulb,” and “ $x$  is on,” respectively.
- $\psi_1$ : There exists a red bulb which is on if there exists a green bulb which is not on.
- $\psi_2$ : There exists a green bulb which is on if and only if there exists a red bulb which is not on.
- $\phi$ : There exists no green bulb which is on if there exists a red bulb which is on.
- (b) Is  $\phi$  a logical consequence of  $\psi_1$  and  $\psi_2$ ? If so explain the reason, otherwise give a counter example.



## 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 9 枚，解答用紙は 3 枚である。  
You are given 9 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，選択分野名，受験番号，氏名および問題番号を記入すること。  
Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the course name, your selected field name, your examinee number, your name and the question number.

## 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の回路において、電源電圧  $E$  と電流  $I$  の位相差は  $\arg\left(\frac{E}{I}\right) = 0$  であり、かつ  $X_1 \neq X_2$  である。以下の問いに答えよ。

- (1)  $R, X_1, X_2$  の関係を示せ。
- (2)  $|E| = 8 \text{ V}, |I| = 2 \text{ A}, \frac{|I_1|}{|I_2|} = 2$  のとき,  $R, X_1, X_2$  の値を求めよ。

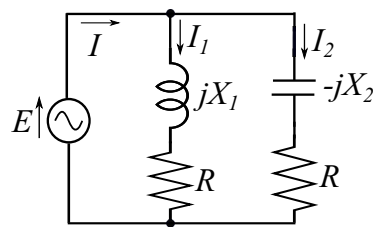


図1

【問2】 図2の回路について、以下の問いに答えよ。

- (1)  $\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$  のとき,  $Z$  と  $Y$  を用いて行列  $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$  を表せ。
- (2) 端子対 2-2' にインピーダンス  $Z_K$  をつないだところ, 端子対 1-1' から右側を見たインピーダンスも  $Z_K$  となった。  $Z$  と  $Y$  を用いて  $Z_K$  を表せ。

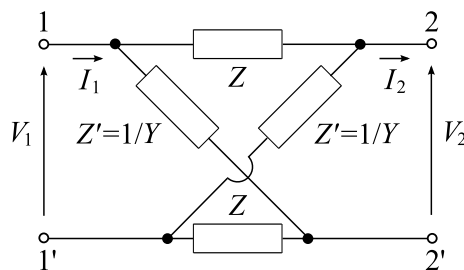


図2

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

- (1) 節点電位  $V_a, V_b, V_c$  に対する回路方程式を立てよ。
- (2)  $V_b = V_c$  のとき,  $R_0 \sim R_5, C_3, C_4, \omega$  が満たすべき条件を求めよ。

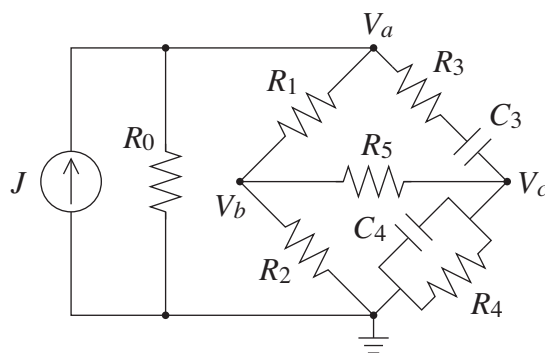


図3

【問4】 図4の回路において、時刻  $t = 0$  でスイッチを  $S_1$  から  $S_2$  に切り替えらる。ただし、 $t < 0$  の回路は定常状態にあるとする。また、 $e_1(t) = 4 \sin 2t \text{ V}, E_2 = 8 \text{ V}, R_1 = 2 \Omega, R_2 = 4 \Omega, L = 1 \text{ H}, C = 0.125 \text{ F}$  とする。以下の問いに答えよ。

- (1) スイッチを切り替える前の電荷  $q(t)$  ( $t < 0$ ) を求めよ。
- (2) スイッチを切り替えた後の電荷  $q(t)$  ( $t > 0$ ) を求めよ。

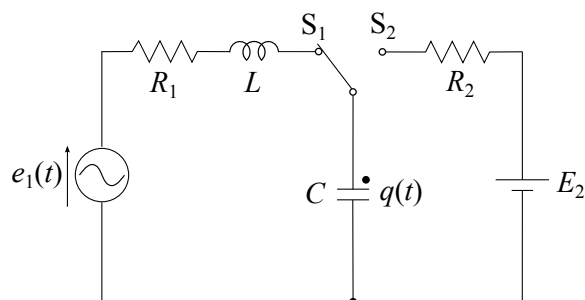


図4

## 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 phase difference  $\arg\left(\frac{E}{I}\right) = 0$  and  $X_1 \neq X_2$ .

- (1) Find the equation representing the relation among  $R$ ,  $X_1$  and  $X_2$ .
- (2) Find the values of  $R$ ,  $X_1$  and  $X_2$ , where  $|E| = 8$  V,  $|I| = 2$  A and  $\frac{|I_1|}{|I_2|} = 2$ .

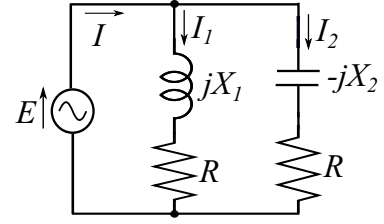


Fig. 1

**[Q2]** Consider the circuit shown in Fig. 2.

- (1) Find the matrix  $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$  for  $\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$  using  $Z$  and  $Y$ .
- (2) When the terminal pair 2-2' is connected by an impedance  $Z_K$ , the impedance between the terminal pair 1-1' also becomes  $Z_K$ . Find  $Z_K$  using  $Z$  and  $Y$ .

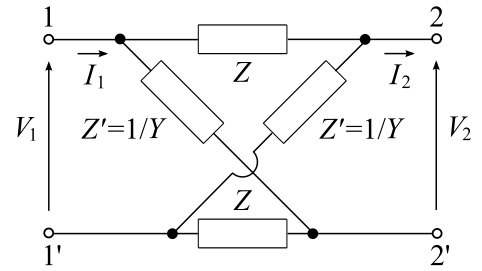


Fig. 2

**[Q3]** Consider the circuit shown in Fig. 3, where the source has the angular frequency  $\omega$ . Answer the following questions.

- (1) Write the circuit equations using the node potentials  $V_a$ ,  $V_b$  and  $V_c$  as variables.
- (2) Derive the requirements to be satisfied by  $R_0$  to  $R_5$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  and  $\omega$  if  $V_b = V_c$ .

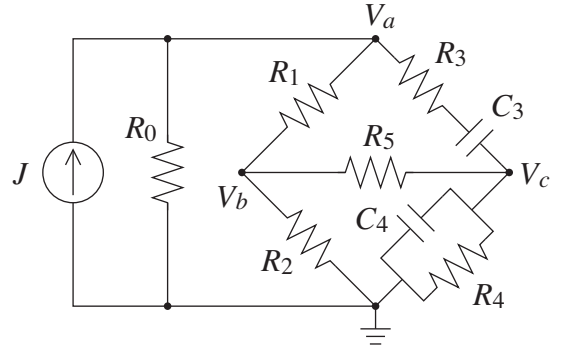


Fig. 3

**[Q4]** In Fig. 4, the switch is connected to  $S_1$ , and the circuit is in steady state. Then, the switch is changed from  $S_1$  to  $S_2$  at the time  $t = 0$ . Answer the following questions when  $e_1(t) = 4 \sin 2t$  V,  $E_2 = 8$  V,  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$ ,  $L = 1$  H and  $C = 0.125$  F.

- (1) Find the charge  $q(t)$  ( $t < 0$ ) before changing the switch.
- (2) Find the charge  $q(t)$  ( $t > 0$ ) after changing the switch.

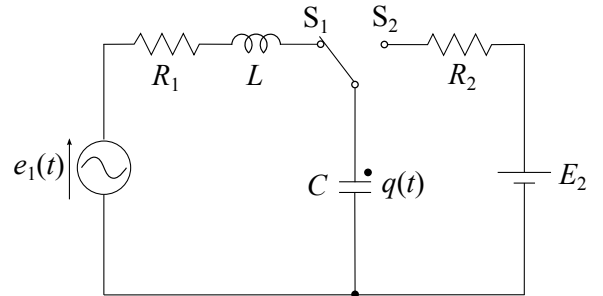


Fig. 4

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、 $G(s)$  を導き、電圧利得および位相の周波数特性の概形を描け。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

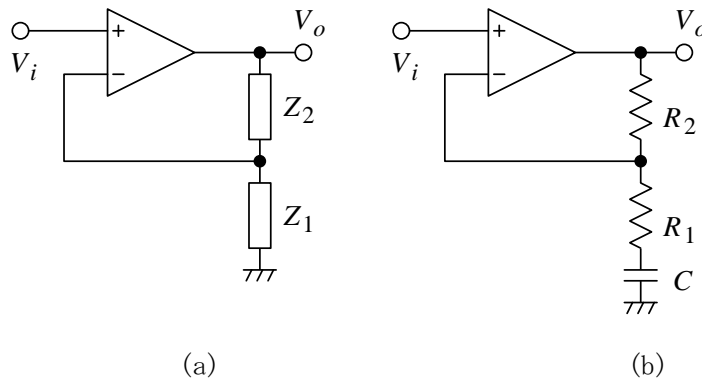


図1

2. 図2に示す差動増幅回路の出力電圧  $V_o$  を求めよ。但し、すべての演算増幅器は理想的であるとする。

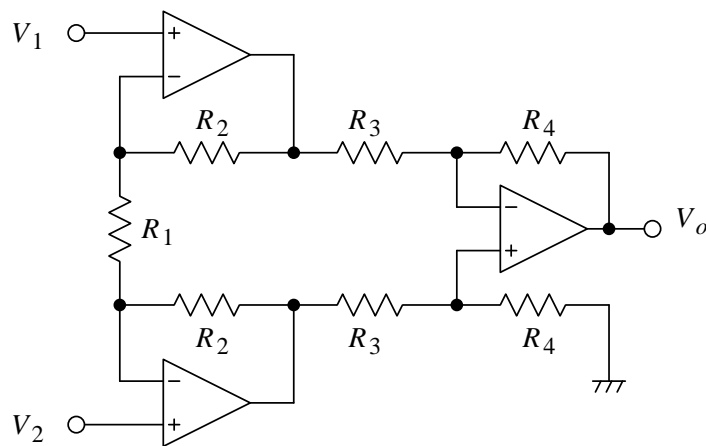


図2

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。

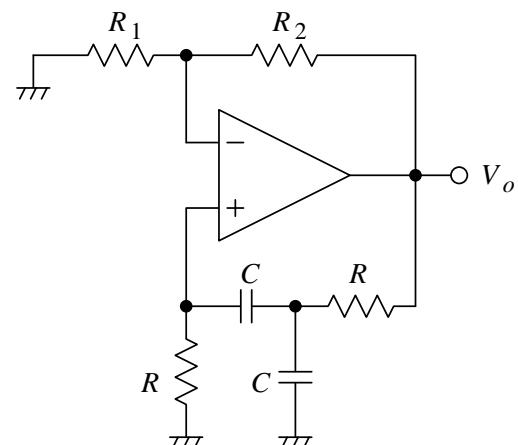


図3

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  $G(s)$  for the circuit shown in Fig. 1 (b), and sketch the frequency characteristics of the voltage gain and the phase. The operational amplifiers are assumed to be ideal.

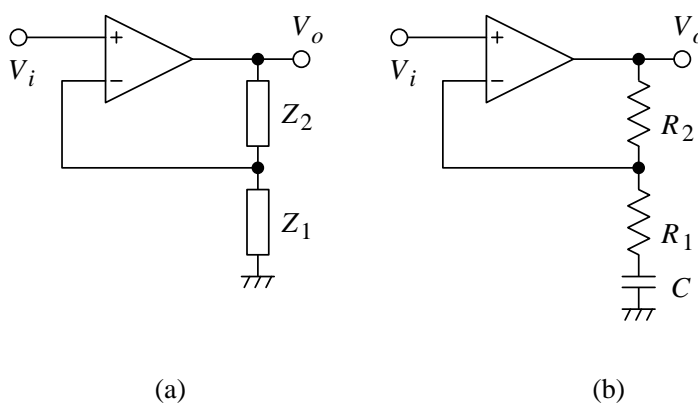


Fig. 1

- Derive the output voltage  $V_o$  of the differential amplifier circuit shown in Fig. 2. All operational amplifiers are assumed to be ideal.

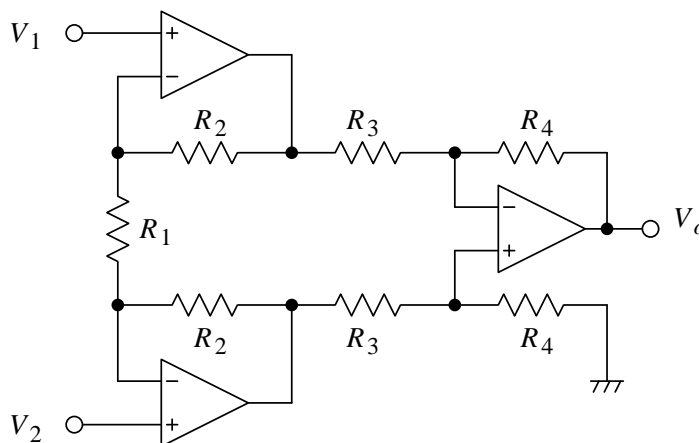


Fig. 2

- 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.

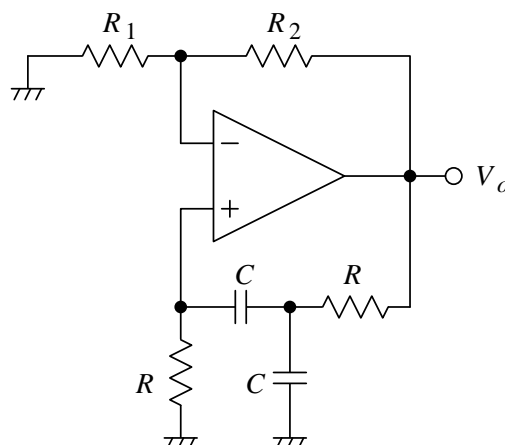


Fig. 3

## 制御工学

次の各問（[1]，[2]，[3]）に答えよ．

[1]

次のように表されるシステムを考える．

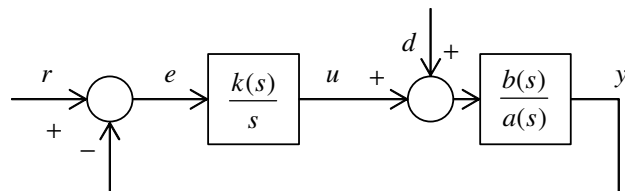
$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} u(t), \\ y(t) &= \begin{bmatrix} e & f \end{bmatrix} x(t)\end{aligned}$$

ここで， $a, b, c, d, e, f$  は実数， $x$  は状態ベクトル， $y$  は出力ベクトル， $u$  は入力ベクトルである．

1.  $u$  と  $y$  の次元を答えよ．
2. このシステムの双対システムを示せ．
3. この双対システムが可制御となるための必要十分条件を示せ．
4. この双対システムの伝達関数と，もとのシステムの伝達関数とは一致することを示せ．

[2]

下に示すブロック図で表されるフィードバック系について考える．



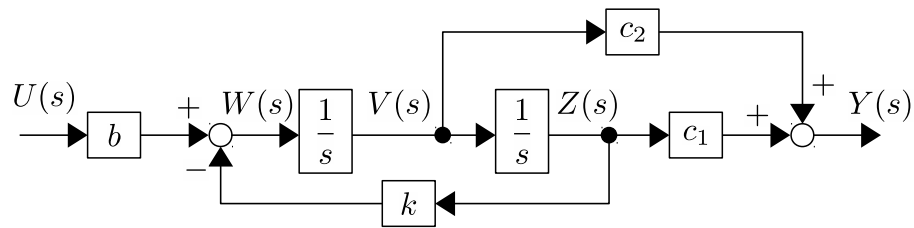
ここで  $r$  は参照信号， $d$  は外乱． $k(s)$ ， $a(s)$ ， $b(s)$  は実係数の  $s$  の多項式， $s$  はラプラス演算子． $k(0) \neq 0$  かつ  $b(0) \neq 0$  である．

1.  $r(s) = 1/s$ ， $d(s) = e^{-s}/s$  とする． $e$  が 0 に収束する条件を語句“複素平面”を用いて説明せよ．
2. 前問の条件下で， $e$  の収束に対応した  $u$  の極限值を計算せよ．

[3]

下に示すブロック線図で表されるシステムを考える．このシステムの入力は  $u(t)$ ，出力は  $y(t)$  である．図ではすべての信号をそのラプラス変換で表示している．ただし，信号  $f(t)$  のラプラス変換は  $F(s)$  で表すものとする．

1. このシステムの状態変数ベクトルを適切に定義し，このシステムを表す状態方程式と出力方程式を導け．ただし，状態変数ベクトルの次元は最小のものとする．
2. このシステムの BIBO 安定性を判別せよ．



## Control Engineering

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

[1]

Consider a system represented as follows:

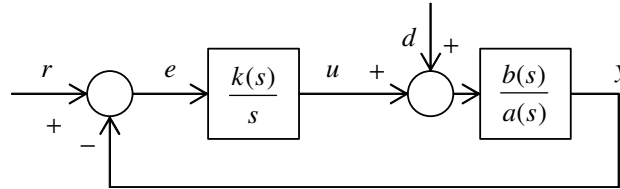
$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} u(t)$$
$$y(t) = \begin{bmatrix} e & f \end{bmatrix} x(t),$$

where  $a, b, c, d, e, f$  are real,  $x$  is the state vector,  $y$  is the output vector, and  $u$  is the input vector.

1. Answer the dimensions of  $u$  and  $y$ .
2. Answer the dual system of the system.
3. Answer the necessary and sufficient condition under which the dual system is controllable.
4. Show that the transfer function of the dual system coincides with that of the original system.

[2]

Consider a feedback system shown in the following block diagram:



where  $r$  is the reference and  $d$  is the disturbance.  $k(s)$ ,  $a(s)$  and  $b(s)$  are polynomials of  $s$  with real coefficients, and  $s$  is the Laplace operator.  $k(0) \neq 0$  and  $b(0) \neq 0$ .

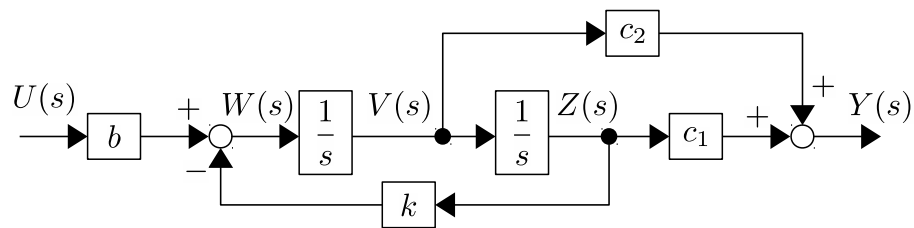
1. Let  $r(s) = 1/s$ ,  $d(s) = e^{-s}/s$ . Explain the condition under which  $e$  converges to 0 using a term 'complex plane'.
2. Calculate the limit value of  $u$  corresponding to convergence of  $e$  under the condition of the question above.



[3]

Consider a system depicted by the block diagram below. The input to the system is  $u(t)$  and the output is  $y(t)$ . In the figure, each signal is indicated by its Laplace transform. Here the Laplace transform of an arbitrary signal  $f(t)$  is represented by  $F(s)$ .

1. Define a state variable vector of the system appropriately, and derive a state transition equation and an output equation that describe the system. Here make the dimension of the state variable vector minimal.
2. Determine the BIBO stability of the system.



## 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 17 枚、解答用紙は 3 枚である.  
You are given 17 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	14 ~

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, 選択分野名, 受験番号, 氏名および問題番号を記入すること.  
Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the course name, your selected field name, your examinee number, your name and the question number.

次の各問（問 1 問 2 問 3）に答えよ。

問 1 図 1 に示すように、面積  $A$  の 2 つの平板導体が間隔  $x_2$  で設置された平行平板コンデンサがある。導体間は比誘電率  $\epsilon_{r1} = 3$ ,  $\epsilon_{r2} = 2$  の 2 種類の誘電体で図のように満たされている。上部導体に  $+Q$  の電荷を、下部導体に  $-Q$  の電荷を与えた。ただし、真空の誘電率を  $\epsilon_0$  とし、端効果は無視する。

- (1) 導体間の電束密度の大きさ  $D(x)$ , 電界の大きさ  $E(x)$ , 分極の大きさ  $P(x)$  を求めよ。
- (2) 誘電体境界面 ( $x = x_1$ ) における分極面電荷密度を求めよ。
- (3) 誘電体中の静電エネルギー密度  $u(x)$  を求めよ。また、コンデンサに蓄積されるエネルギーと静電容量を求めよ。
- (4) 2 つの導体に働く力を求めよ。
- (5) 比誘電率  $\epsilon_{r1}$  の誘電体を導体間から取り出すのに要する仕事を求めよ。

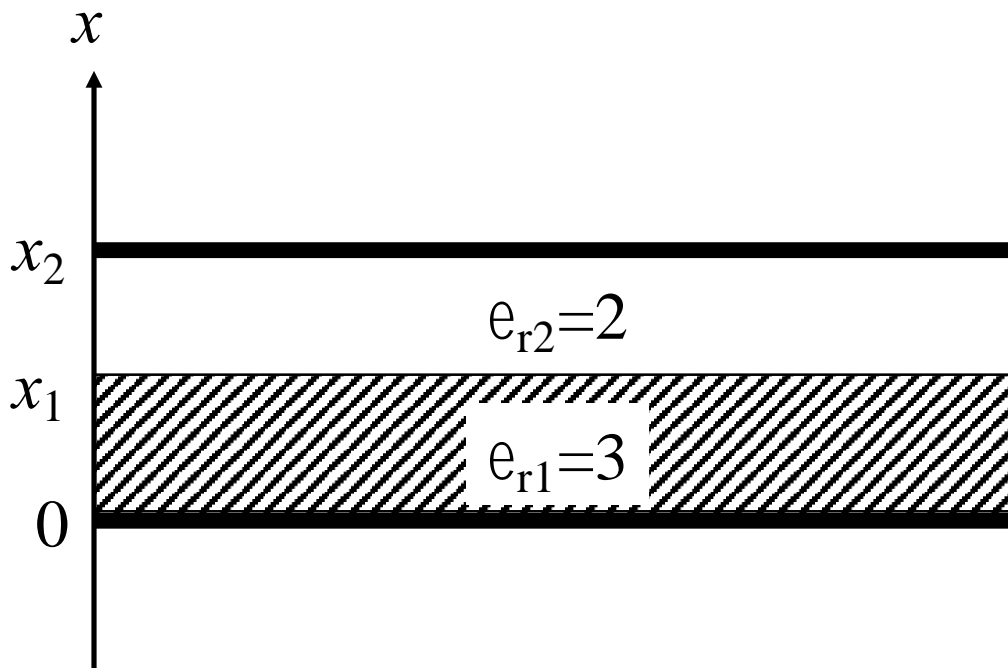


図 1

問 2 同心球殻導体 (内側球殻の半径  $r_1$ , 外側球殻の半径  $r_2$ ) について以下の問いに答えよ.

- (1) 図 2 (a)に示すように, 両球殻間が導電率  $\sigma_0$  の物質で満たされている場合, 両球殻間の抵抗  $R_a$  を求めよ.
- (2) 図 2 (b)に示すように, 両球殻間の半径  $r_1 < r < d$  の領域が導電率  $\sigma_1$  の物質で, 半径  $d < r < r_2$  の領域が導電率  $\sigma_2$  の物質でそれぞれ満たされている場合, 両球殻間の抵抗  $R_b$  を求めよ.
- (3) 図 2 (c)に示すように, 両球殻間の右半分の半球殻が導電率  $\sigma_1$  の物質で, 左半分の半球殻が導電率  $\sigma_2$  の物質でそれぞれ満たされている場合, 両球殻間の抵抗  $R_c$  を求めよ.

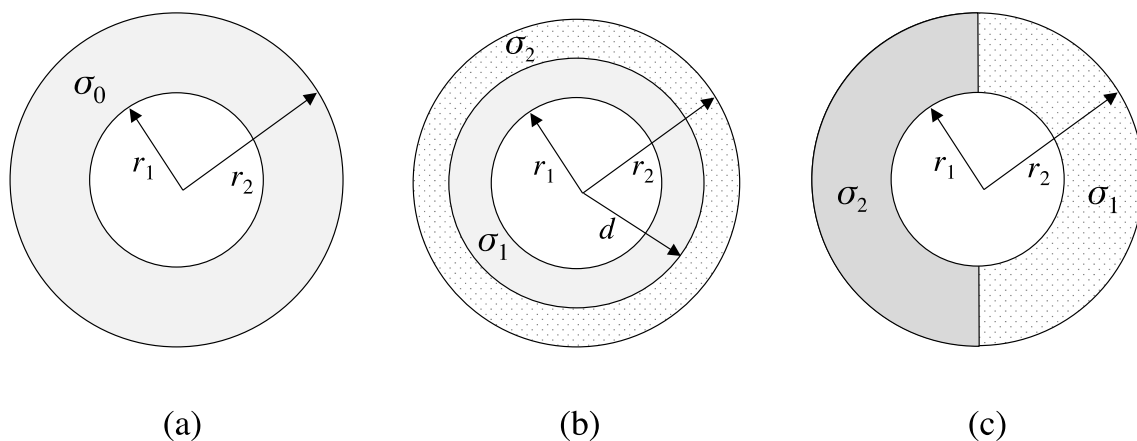


図 2

問 3 図 3 に示すように直線導体と一辺が  $a, b$  の角型コイルが距離  $d$  離れて同一平面上に配置されている。直線導体を固定し直流電流  $I_{dc}$  を流した。全ての領域で透磁率を  $\mu$  とする。

- (1) コイルの端子 S, T 間を開放した場合、コイルに鎖交する磁束  $\Phi$  を求めよ。
- (2) 端子 S, T 間に抵抗  $R$  を接続し、距離  $d$  が  $d(t) = d_0 + vt$  となるようにコイルを速度  $v$  で移動した。ただし、 $t$  は時間であり  $v > 0$  とする。この時、コイルに流れる電流  $I_{coil}$  の大きさを求めよ。また、電流  $I_{coil}$  によりコイルに働く磁気力  $F_m$  を求めよ。ただし、電流  $I_{coil}$  によって発生する磁界は無視できるとする。
- (3) コイルを速度  $v$  で動かすために必要な外力  $F_{ex}$  と外力  $F_{ex}$  が単位時間当たりになす仕事  $W$  を求めよ。また、抵抗  $R$  で消費される電力  $P$  を求め、 $W$  と等しいことを示せ。

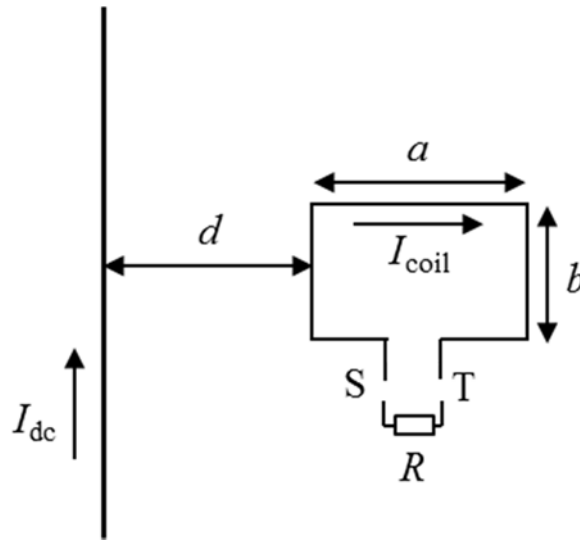


図 3

[Question 1] A parallel plate capacitor consists of two conductors of the area  $A$ , which are set with the separation  $x_2$  as shown in Fig. 1. Two dielectrics of the relative permittivity  $\epsilon_{r1} = 3$  and  $\epsilon_{r2} = 2$  fill the space between the conductors as shown in the figure. A charge  $+Q$  is placed on the upper conductor and a charge  $-Q$  on the lower conductor. The permittivity of the vacuum is  $\epsilon_0$ . Neglect the edge effect.

- (1) Give the magnitude of the electric flux density  $D(x)$ , the magnitude of the electric field  $E(x)$ , and the magnitude of the polarization  $P(x)$  between the conductors.
- (2) Give the polarization charge density at the interface,  $x = x_1$ , between two dielectrics.
- (3) Give the electrostatic energy density  $u(x)$  stored in the dielectrics. Give the stored energy and the capacitance of the capacitor.
- (4) Give the force acting on the conductors.
- (5) Give the work for extracting the dielectric of the relative permittivity  $\epsilon_{r1}$  from the space between the conductors.

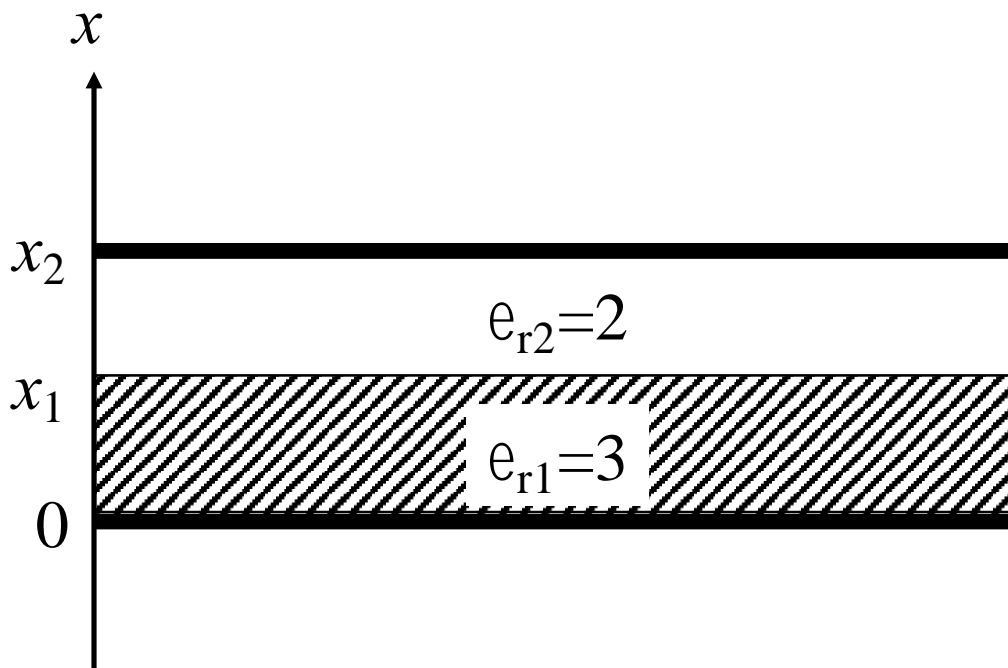


Fig. 1

[Question 2] A concentric spherical shell electrode system consists of an inner spherical shell (radius  $r_1$ ) and an outer spherical shell (radius  $r_2$ ).

- (1) As shown in Fig. 2 (a), the space between the two spherical shells is filled with material with electrical conductivity  $\sigma_0$ . Give the electrical resistance  $R_a$  between the two spherical shells.
- (2) As shown in Fig. 2 (b), the space between the two spherical shells is divided into two regions according to radial distance. The inner region ( $r_1 < r < d$ ) is filled with material with electrical conductivity  $\sigma_1$ , whereas the outer region ( $d < r < r_2$ ) is filled with material with electrical conductivity  $\sigma_2$ . Give the electrical resistance  $R_b$  between the two spherical shells.
- (3) As shown in Fig. 2 (c), the space between the two spherical shells is divided into two hemispherical shells. The right hemispherical shell is filled with material with electrical conductivity  $\sigma_1$ , whereas the left hemispherical shell is filled with material with electrical conductivity  $\sigma_2$ . Give the electrical resistance  $R_c$  between the two spherical shells.

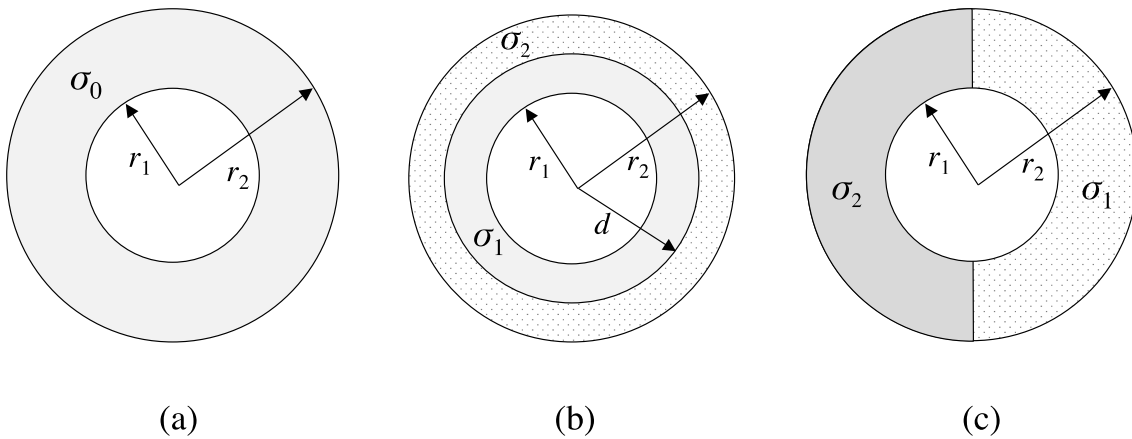


Fig. 2

[Question 3] A line conductor and a rectangular coil with side length  $a$  and  $b$  are placed on the same plane with spacing  $d$ , as shown in Fig. 3. The line conductor is fixed, and a DC current  $I_{dc}$  is supplied to the line conductor. The permeability is  $\mu$  in all space.

- (1) Give the magnetic flux  $\Phi$  interlinking the coil when the terminals S and T of the coil are opened.
- (2) The resistance  $R$  is connected between the terminals S and T, and the coil is moved with velocity  $v$  so that the distance  $d$  becomes  $d(t) = d_0 + vt$ , where  $t$  is time and  $v > 0$ . Give the current  $I_{coil}$  flowing in the coil. Also give the magnetic force  $F_m$  acting on the coil. Here, we neglect the magnetic field caused by the current  $I_{coil}$ .
- (3) It is necessary to apply an external force  $F_{ex}$  to keep the velocity  $v$  constant. Give the value of  $F_{ex}$  and the work  $W$  done per second by the external force. Also show that the power  $P$  dissipated in the resistance  $R$  is equal to  $W$ .

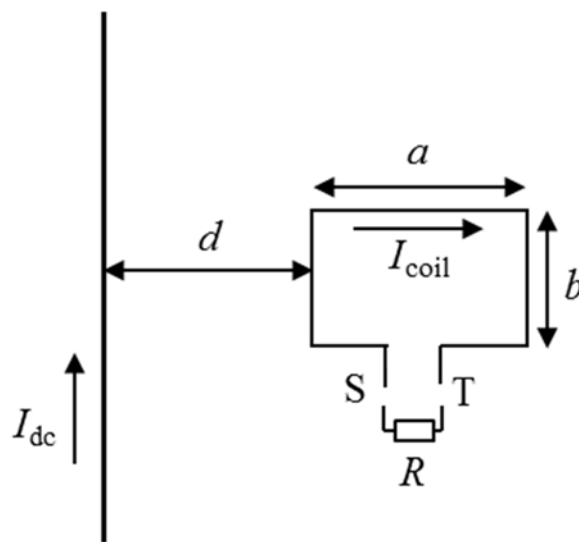


Fig. 3



## 半導体デバイス

次の各問（ **1** **2** **3** ）に答えよ．

**1**

半導体結晶(A, B, C)に関する下記の設問に答えよ．ただし，半導体結晶 A, B, C はすべて p 型伝導を示し，室温における正孔密度は，それぞれ  $p$ ,  $p$ ,  $100p$  である．A のバンドギャップは，B および C よりも大きく，B のバンドギャップは C と等しい．また，A, B, C の伝導帯および価電子帯の有効状態密度はすべて等しい．

- (1) 半導体結晶 A および B について，正孔密度の温度依存性を示すグラフを模式的に描け．グラフには，キャリア密度  $C$  の対数表示を縦(y)軸，絶対温度  $T$  の逆数を横(x)軸に取り，正孔密度を実線で描け．また，温度依存性の様子に応じ，低温，中温，高温の領域を図示せよ．
- (2) 半導体結晶 A の自由電子密度の温度依存性を，前項(1)で求めたグラフに破線で示せ．
- (3) 中温領域において，半導体結晶 A および C の正孔移動度の温度依存性は，それぞれ，温度  $T_A$  及び  $T_C$  でピークをもつ山型の曲線となる．正孔移動度  $\mu$  の対数表示を縦(y)軸，絶対温度  $T$  の対数表示を横(x)軸に取り，A および C の移動度の温度変化を模式的に比較して示せ．ただし，格子散乱および不純物散乱で規定される移動度  $\mu_L$  および  $\mu_I$  は，それぞれ次式で与えられる．

$$\mu_L = P T^{-2}, \quad \mu_I = \frac{Q}{N_I} T^{3/2}$$

ここで， $P$ ,  $Q$  は定数であり，半導体結晶 A, B, C で全て等しい．また， $N_I$  はイオン化した不純物の密度である．

- (4) 中温領域内の低温側( $T < T_A$ )における半導体結晶 A の抵抗率は，半導体結晶 C と比べて大きいのか，小さいのか，または同等か？理由とともに答えよ．
- (5) 中温領域内の高温側( $T > T_C$ )における半導体結晶 A の抵抗率は，半導体結晶 C と比べて大きいのか，小さいのか，または同等か？理由とともに答えよ．

## 2

p 型(アクセプター密度:  $N_A$ )と n 型(ドナー密度:  $N_D$ )のシリコン(Si)からなる pn 接合に関して、下記の設問に答えよ。

- (1) p 型 Si および n 型 Si のフェルミ・エネルギーの位置が、それぞれ、価電子帯の頂 ( $E_V$ )から  $0.30\text{eV}$  だけ上( $E_V+0.30\text{eV}$ )、および伝導帯の底( $E_C$ )から  $0.15\text{eV}$  だけ下 ( $E_C-0.15\text{eV}$ )であった。この時の pn 接合の拡散電位  $V_d$ を求めよ。ただし、Si のバンドギャップは  $1.12\text{eV}$  とせよ。
- (2) p 型 Si のアクセプター密度を  $100 N_A$ , n 型 Si のドナー密度を  $10 N_D$ に増加させる。これにより、pn 接合の拡散電位は増加するか、減少するか?理由と共に答えよ。
- (3) 順方向バイアス状態(バイアス電圧  $V_F$ )及び逆方向バイアス状態(バイアス電圧  $V_R$ )の pn 接合(p 型 Si のアクセプター密度:  $N_A$ , n 型 Si のドナー密度:  $N_D$ )のバンド図を描け。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  $V_d$ を記載すること。さらに、p 型領域および n 型領域の空乏層端の位置  $-x_p$ ,  $x_n$ を示せ。ただし、電気素量を  $q$  とし、pn 接合界面の位置を  $x=0$  とせよ。
- (4) 逆方向バイアス状態のバイアス電圧  $V_R$ の大きさを上記(3)より増加した。接合界面から p 型側への空乏層領域の幅  $x_p$ , n 型側への空乏層領域の幅  $x_n$ は、いずれが大きくなるか?理由と共に答えよ。
- (5) 逆方向バイアス電圧  $V_R$ を印加したまま、pn 接合の温度を上昇する。pn 接合を流れる電流は増えるか、減るか?理由と共に答えよ。

**3** 図1に示す構造をもつ MOSFET がある．この MOSFET はエンハンスメント型動作をするものとし、しきい電圧は  $V_{th}$  である．チャンネル長、チャンネル幅をそれぞれ  $L$ ,  $W$  とする．ソースと基板は接地され、ゲートには  $V_{GS}$ 、ドレインには  $V_{DS}$  の電圧が加えられているものとする．なお、 $V_{GS}$ ,  $V_{DS}$  はともに正である．以下の設問に答えよ．

- (1) チャンネルを流れるキャリアの種類を記せ．
- (2) ソース端から距離  $x$  の点におけるチャンネル電位を  $V_c(x)$  とするとき、 $x$  におけるチャンネル内の単位面積当たりのキャリア密度  $Q_I(x)$  を表せ．ただし、ゲート絶縁膜の単位面積当たりの容量を  $C_{OX}$  とする．
- (3) 位置  $x$  における  $x$  方向のキャリアの速度  $v_x(x)$  を表せ．ただし、キャリアの移動度を  $\mu$  とする．
- (4) キャリアの拡散による流れは無視できる程度に小さいと仮定して、ドレイン電流  $I_D$  を  $V_{GS}$  および  $V_{DS}$  の関数として表せ．(ヒント：チャンネル内の電流は位置  $x$  に依らず  $I_D$  で一定である．)
- (5) ドレイン電圧  $V_{DS}$  をゼロから徐々に大きくしていくと  $V_{GS} - V_{th} = V_{DS} \equiv V_p$  でドレイン電流が飽和する．飽和したときのドレイン電流  $I_{Dsat}$  を  $V_p$  の関数として表せ．
- (以下 (6)~(10) の設問は、全て上記 (5) のバイアス条件下での動作に関するものである．)
- (6)  $Q_I(0)$  を表せ．
- (7)  $Q_I(L)$  はいくらか．
- (8)  $V_c(x)$  を  $V_p$  の関数として表せ．(ヒント：チャンネル内の電流は位置  $x$  に依らず  $I_{Dsat}$  で一定である．)
- (9)  $Q_I(x)$  を  $V_p$  の関数として表せ．
- (10)  $x = 0 \sim x = L$  の範囲における  $|Q_I(x)|$  を図示せよ．

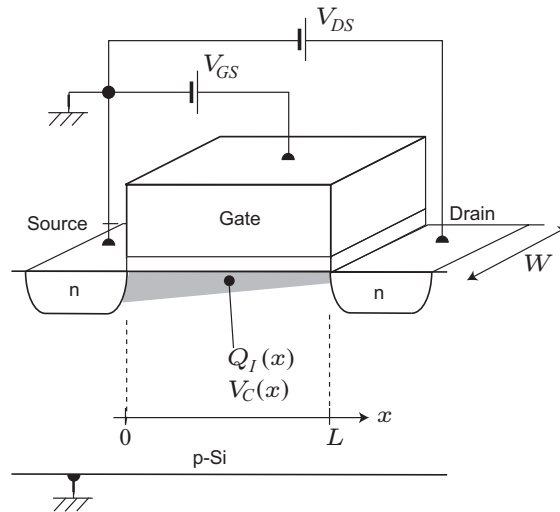


図 1

## Semiconductor devices

Answer the following questions ( 1 2 3 ).

1

Answer the following questions concerning semiconductor crystals A, B, and C. All of semiconductor crystals A, B, and C show p-type conduction and have hole concentration of  $p$ ,  $p$ , and  $100p$ , respectively, at room temperature. The band gap of A is larger than those of B and C, where the band gap of B is the same as that of C. In addition, all of effective density of states of the conduction bands and valence bands of A, B, and C are the same value.

- (1) Draw schematically a graph showing the temperature dependence of hole concentration in semiconductor crystals A and B. In the graph, take the logarithmic carrier concentration as the  $y$ -axis and the inverse of the absolute temperature ( $T$ ) as the  $x$ -axis, and draw the hole concentration with solid lines. In addition, indicate the low, middle, and high temperature regions, based on the temperature dependence.
- (2) Draw the temperature dependence of free electron concentration in semiconductor crystals A with a broken line in the graph obtained by the previous question (1).
- (3) The temperature dependence of hole mobility in semiconductor crystals A and C show convex curves with peaks at temperatures  $T_A$  and  $T_C$ , respectively. Draw schematically the temperature dependence of the hole mobility in A and C, taking the logarithmic hole mobility  $\mu$  as the  $y$ -axis and the logarithmic absolute temperature  $T$  as the  $x$ -axis. The mobilities limited by the lattice scattering  $\mu_L$  and impurity scattering  $\mu_I$  are given by the following equations:

$$\mu_L = P T^{-3/2}, \quad \mu_I = \frac{Q}{N_I} T^{3/2},$$

where  $P$  and  $Q$  are constant and have the same values for semiconductor crystals A, B, and C.

$N_I$  is the ionized impurity concentration.

- (4) At a lower temperature ( $T < T_A$ ) in the middle temperature region, is the resistivity of semiconductor crystal A larger, smaller, or almost equal compared with that of semiconductor crystal C? Answer with the reason.
- (5) At a higher temperature ( $T > T_C$ ) in the middle temperature region, is the resistivity of semiconductor crystal A larger, smaller, or almost equal compared with that of semiconductor crystal C? Answer with the reason.

2

Answer the following questions concerning a pn junction diode, composed of p-type (acceptor concentration:  $N_A$ ) and n-type Si (donor concentration:  $N_D$ ).

- (1) The energy positions of the Fermi level in the p-type and n-type Si are above the top of the valence band ( $E_V$ ) by 0.30eV ( $E_V + 0.30\text{eV}$ ) and below the bottom of the conduction band ( $E_C$ ) by 0.15eV ( $E_C - 0.15\text{eV}$ ), respectively. Evaluate the built-in potential  $V_d$  of the pn junction. Assume that the energy band gap of Si is 1.12eV.
- (2) The acceptor concentration in p-type Si and the donor concentration in n-type Si are increased to  $100 N_A$  and  $10 N_D$ , respectively. Does the built-in potential increase or decrease? Answer with the reason.
- (3) Draw a band diagram for the pn junction (acceptor concentrations in p-type Si:  $N_A$ , donor concentration in n-type Si:  $N_D$ ) under the forward bias condition (bias voltage:  $V_F$ ) and that under the reverse bias condition (bias voltage:  $V_R$ ). The energy positions of the top of the valence band  $E_V$ , the bottom of the conduction band  $E_C$ , the Fermi energy  $E_F$ , and the built-in potential  $V_d$  should be given in the drawing. Moreover, show the edge positions  $-x_p$  and  $x_n$  of the depletion region in p-type and n-type semiconductors, respectively. Here, the elementary charge is represented as  $q$ , and  $x=0$  at the pn junction interface.
- (4) The absolute value of the reverse bias  $V_R$  is increased compared with the previous question (3). Which increases more largely,  $x_p$  or  $x_n$ ? Answer with the reason.
- (5) Under the reverse bias  $V_R$ , the temperature of the pn junction is increased. Does the current through the pn junction increase or decrease? Answer with the reason.

**3** Consider a MOSFET shown in Fig. 1. The MOSFET is enhancement mode type having the threshold voltage  $V_{th}$ . The channel length and the channel width are  $L$  and  $W$ , respectively. The source and the substrate are grounded. The gate and the drain are biased at  $V_{GS}$  and  $V_{DS}$ , respectively, where  $V_{GS}$  and  $V_{DS}$  are both positive. Answer the following questions.

- (1) What is the carrier flowing in the channel?
- (2) Express the carrier density per unit area at position  $x$ ,  $Q_I(x)$ , using the channel potential  $V_c(x)$ . Use  $C_{OX}$ , capacitance of the gate insulator per unit area, to answer.
- (3) Express the speed of carriers along the  $x$  direction at position  $x$ ,  $v_x(x)$ . Use carrier mobility  $\mu$  to answer.
- (4) Derive the drain current  $I_D$  as a function of  $V_{GS}$  and  $V_{DS}$ . Assume that diffusion of carriers is negligibly small. (Hint: Current flowing in the channel is independent of  $x$  and equals to  $I_D$ .)
- (5) When the drain voltage  $V_{DS}$  is increased from zero, drain current saturates at  $V_{GS} - V_{th} = V_{DS} \equiv V_p$ . Derive the saturated drain current  $I_{Dsat}$  as a function of  $V_p$ .

(The following questions (6) - (10) are all under the bias condition described in the question (5).)

- (6) Express  $Q_I(0)$ .
- (7) How much is  $Q_I(L)$ ?
- (8) Express  $V_c(x)$  as a function of  $V_p$ . (Hint: Current flowing in the channel is independent of  $x$  and equal to  $I_{Dsat}$ .)
- (9) Derive  $Q_I(x)$  as a function of  $V_p$ .
- (10) Draw  $|Q_I(x)|$  in the range from  $x = 0$  to  $x = L$ .

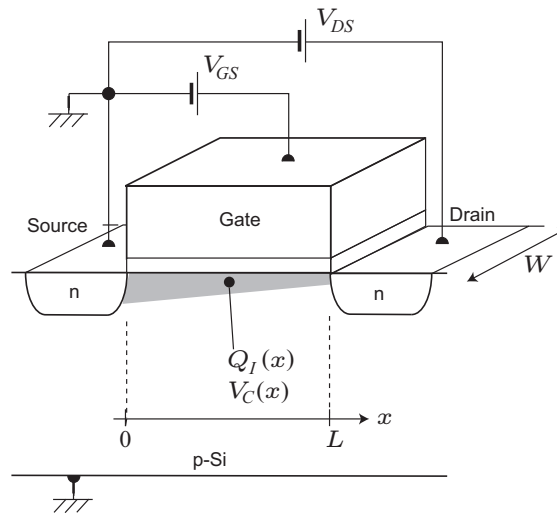


Fig. 1

【計算機工学 (Computer Engineering ) 分野】

次の各問い（【問 1】～【問 3】）に答えよ.

【問 1】 クイックソートの擬似コードが図 1 のように記述されている. このとき, 次の各問いに答えよ.

```
QUICKSORT( $A, p, r$ )
1  if  $p < r$ 
2      then  $q \leftarrow \text{PARTITION}(A, p, r)$ 
3          QUICKSORT( $A, p, q$ )
4          QUICKSORT( $A, q + 1, r$ )

PARTITION( $A, p, r$ )
1   $x \leftarrow A[p]$ 
2   $i \leftarrow p - 1$ 
3   $j \leftarrow r + 1$ 
4  while TRUE
5      do repeat  $j \leftarrow j - 1$ 
6          until  $A[j] \leq x$ 
7          repeat  $i \leftarrow i + 1$ 
8          until  $A[i] \geq x$ 
9          if  $i < j$ 
10             then exchange values  $A[i] \leftrightarrow A[j]$ 
11             else return  $j$ 
```

図 1: クイックソートの擬似コード

- (1) 配列  $A(= [4, 3, 7, 8, 6, 2])$  に対して,  $\text{PARTITION}(A, 1, 6)$  を実行した場合に  $\text{PARTITION}$  の返す値, および実行後の配列の状態を示せ. この記法では, 配列のインデックスは 1 から始まる (上の例では,  $A[1]=4$  となる) ことに注意.
- (2) すべての 6 要素の配列に対して,  $\text{QUICKSORT}$  が終了するまでに, 手続き  $\text{PARTITION}$  が 呼び出される回数の最小値を求めよ.
- (3) 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.  $\text{QUICKSORT}$  は安定でないことを示せ.
- (4)  $q < r$  が必ず成立する理由を簡潔に示せ.

【問 2】以下の真理値表で与えられた論理関数  $H(a, b, c, d)$  を図で示されるように 3 つの関数  $G_1(a, b, c)$ ,  $G_2(a, b, c)$  および  $F(d, g_1, g_2)$  を使って実現することを考える. 図に示されるように,  $g_1, g_2$  はそれぞれ関数  $G_1, G_2$  の出力に接続しているものとする. 関数  $G_1$  の真理値表が以下の表で与えられる時,  $F$  および  $G_2$  の真理値表を示せ.

表 1:真理値表

$a$	$b$	$c$	$d$	$H$	$a$	$b$	$c$	$d$	$H$	$a$	$b$	$c$	$G_1$
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

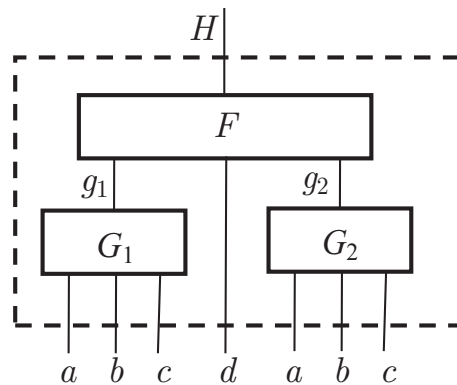


図 2:関数  $H$  の構成

【問 3】計算機の数値表現について以下の問いに答えよ.

- (1)  $n$  ビットの 2 進数の補数表現について, 補数変換式  $-A = 2^n - A$  を用いる利点を述べよ. また, 10 進数  $-75$  を 8 ビットの 2 進数の補数表現で示せ.
- (2) 固定小数点表現と浮動小数点表現の違いを説明し, それぞれの利点・欠点を挙げて比較せよ. また, 10 進数  $213.53$  を, 8 ビットの整数部と 8 ビット的小数部を持つ固定小数点の 2 進数表現で示せ. 必要であれば, 小数部は 8 ビットになるように丸めること.
- (3) IEEE754 における単精度浮動小数点表現の 32bit 形式では, 符号ビットは 1 ビット, 指数部が 8 ビット補数表現 ( $-128 \sim 127$ ), 仮数部が 23 ビットと規定されている. 10 進数  $11.375$  をこの形式に変換する手順を示せ.



Answer the following questions ( **【Q1】** - **【Q3】** ).

**【Q1】** A pseudo code for quicksort can be described as shown in Fig. 1.

```
QUICKSORT( $A, p, r$ )
1  if  $p < r$ 
2      then  $q \leftarrow \text{PARTITION}(A, p, r)$ 
3          QUICKSORT( $A, p, q$ )
4          QUICKSORT( $A, q + 1, r$ )

PARTITION( $A, p, r$ )
1   $x \leftarrow A[p]$ 
2   $i \leftarrow p - 1$ 
3   $j \leftarrow r + 1$ 
4  while TRUE
5      do repeat  $j \leftarrow j - 1$ 
6          until  $A[j] \leq x$ 
7          repeat  $i \leftarrow i + 1$ 
8          until  $A[i] \geq x$ 
9          if  $i < j$ 
10             then exchange values  $A[i] \leftrightarrow A[j]$ 
11             else return  $j$ 
```

Fig. 1: Pseudo code for quicksort

- (1) Let us assume  $\text{PARTITION}(A, 1, 6)$  is applied to array  $A(= [4, 3, 7, 8, 6, 2])$ . Note that we assume the first element of the array is  $A[1]$ , i.e.,  $A[1] = 4$  in this case. Describe the return value of  $\text{PARTITION}$  and the state of array  $A$ .
- (2) Find the smallest total number of calls of  $\text{PARTITION}$  in order to complete  $\text{QUICKSORT}$  for any array of size 6.
- (3) A sorting algorithm is stable if for multiple elements with the same value, the order of the original input is always preserved. Show that  $\text{QUICKSORT}$  is not stable.
- (4) Describe the reason why  $q < r$  always holds.

**【Q2】** Let  $H(a, b, c, d)$  be a logic function whose truth table is shown below. Consider that  $H$  is composed of other subfunctions  $G_1(a, b, c)$ ,  $G_2(a, b, c)$  and  $F(d, g_1, g_2)$  as shown in the figure below. Inputs of  $F$ ,  $g_1$  and  $g_2$  are connected to the output of  $G_1$  and  $G_2$ , respectively. When the truth table for  $G_1$  is given below, show the truth tables of  $F$  and  $G_2$ .

Table 1: Truth tables

$a$	$b$	$c$	$d$	$H$	$a$	$b$	$c$	$d$	$H$	$a$	$b$	$c$	$G_1$
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

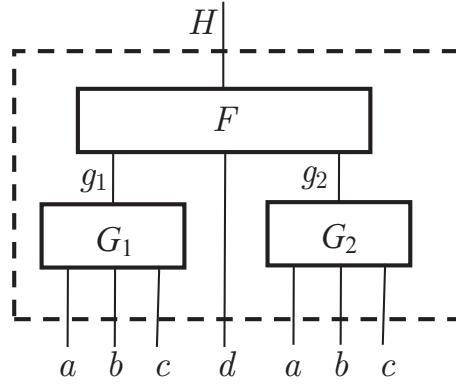


Fig. 2: Structure of function  $H$

**【Q3】** Answer following questions about numerical format of computer.

- (1) The conversion equation  $-A = 2^n - A$  is used in binary complement expression of  $n$  bits length. Explain the advantages of the complement expression. Convert decimal value  $-75$  into the 8-bit binary complement expression.
- (2) Explain the differences between fixed point expression and floating point expression. Give their respective advantages and disadvantages and compare them. Convert decimal value  $213.53$  into binary fixed point expression that has 8 bits for integer part and 8 bits for fractional part. Round the fractional part to 8 bits if needed.
- (3) The single precision 32-bit IEEE754 format adopts 1 bit for sign, 8 bits for complement expression of exponent ( $-127$ - $128$ ), and 23 bits for mantissa. Describe the conversion process of the decimal value  $11.375$  into the IEEE754 format.