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２６年度入学試験問題

【平成２５年８月２２日（木）、２３日（金）】

平成２６年度　九州大学大学院システム情報科学府 情報学専攻<br>情報知能工学専攻<br>電気電子工学専攻

修士課程　入学試験問題

# 数 学 (Mathematics)

（7 枚中の 1）

---

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).

3. 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 |

4. 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.

5. 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 back of the answer sheets when you run out of space. If you do so, indicate it clearly on the sheet.

# 数 学 (Mathematics)



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】

以下では，$n \times n$ の実行列についてのみ考える．行列 $A$ の対角成分の和を $A$ のトレースと呼び，$\mathrm{Tr}(A)$ と表す．以下の各問に答えよ．

(1) 任意の行列 $A$ と $B$ に対し，$\mathrm{Tr}(AB) = \mathrm{Tr}(BA)$ が成り立つことを示せ．

(2) 任意の行列 $A$ と任意の正則行列 $B$ に対し，$\mathrm{Tr}(B^{-1}AB) = \mathrm{Tr}(A)$ が成り立つことを示せ．

(3) 固有値がすべて非負の対称行列 $A$ に対し，$\mathrm{Tr}(A^2) \leq \mathrm{Tr}(A)^2$ が成り立つことを示せ．

(4) 任意の 2 つの対称行列 $A$ と $B$ に対し，$\mathrm{Tr}(AB)^2 \leq \mathrm{Tr}(A^2)\mathrm{Tr}(B^2)$ が成り立つことを示せ．

In what follows, we only consider $n \times n$ real matrices. The diagonal sum of a matrix $A$ is called the trace of $A$ and denoted by $\mathrm{Tr}(A)$. Answer the following questions.

(1) Show that $\mathrm{Tr}(AB) = \mathrm{Tr}(BA)$ holds for any matrices $A$ and $B$.

(2) Show that $\mathrm{Tr}(B^{-1}AB) = \mathrm{Tr}(A)$ holds for any matrix $A$ and any regular matrix $B$.

(3) Show that $\mathrm{Tr}(A^2) \leq \mathrm{Tr}(A)^2$ holds for any symmetric matrix $A$ whose eigenvalues are all non-negative.

(4) Show that $\mathrm{Tr}(AB)^2 \leq \mathrm{Tr}(A^2)\mathrm{Tr}(B^2)$ holds for any symmetric matrices $A$ and $B$.

修士課程　入学試験問題

# 数 学 (Mathematics)



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) $3y' + \dfrac{y}{x} = \dfrac{x}{y^2}$

(2) $y'' = \sqrt{4 + (y')^2}$

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) $3y' + \dfrac{y}{x} = \dfrac{x}{y^2}$

(2) $y'' = \sqrt{4 + (y')^2}$

# 数 学 (Mathematics)



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 $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$ とする．次の各問に答えよ．

(1) ベクトル場を $\boldsymbol{F} = 3u\boldsymbol{i} + u^2\boldsymbol{j} + (u+2)\boldsymbol{k}$, および $\boldsymbol{V} = 2u\boldsymbol{i} - 3u\boldsymbol{j} + (u-2)\boldsymbol{k}$ とする．
$\displaystyle\int_0^2 (\boldsymbol{F} \times \boldsymbol{V})\mathrm{d}u$ を計算せよ．

(2) ベクトル場 $\boldsymbol{A} = 18z\boldsymbol{i} - 12\boldsymbol{j} + 3y\boldsymbol{k}$ について，次の面 $S$ に対する $\boldsymbol{A}$ の面積分を計算せよ．

$S:\ \ 2x + 3y + 6z = 12 \qquad (x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$

The unit vectors on $x$, $y$ and $z$ axes of Cartesian coordinates are denoted $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$ and $\boldsymbol{k}$, respectively. Answer the following questions.

(1) Let the vector field $\boldsymbol{F} = 3u\boldsymbol{i} + u^2\boldsymbol{j} + (u+2)\boldsymbol{k}$ and $\boldsymbol{V} = 2u\boldsymbol{i} - 3u\boldsymbol{j} + (u-2)\boldsymbol{k}$.
Evaluate $\displaystyle\int_0^2 (\boldsymbol{F} \times \boldsymbol{V})\mathrm{d}u$.

(2) Evaluate the surface integral for the vector field $\boldsymbol{A} = 18z\boldsymbol{i} - 12\boldsymbol{j} + 3y\boldsymbol{k}$, along the following surface $S$.

$S:\ \ 2x + 3y + 6z = 12 \qquad (x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$

平成２６年度　九州大学大学院システム情報科学府　情報学専攻
情報知能工学専攻
電気電子工学専攻

修士課程　入学試験問題

# 数 学 (Mathematics)



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】

正則関数 $f(z)$ を考える．ただし $z$ は複素数，$i = \sqrt{-1}$ とする．次の各問に答えよ．

(1) $\mathrm{Re}(f(z))$ は，$f(z)$ の実部である．$\mathrm{Re}(f(z)) = \sin x \cosh y$ で表されるとき，$f(z)$ を求めよ．ただし，$z = x + iy$，$x$ と $y$ は実数である．

(2) 問 (1) で求めた $f(z)$ について考える．方程式 $f(z) = 0$ を解け．

Consider the holomorphic function $f(z)$, where $z$ is the complex number and $i = \sqrt{-1}$. Answer the following questions.

(1) Let $\mathrm{Re}(f(z))$ be the real part of the function $f(z)$. Suppose $\mathrm{Re}(f(z)) = \sin x \cosh y$, where $z = x + iy$, and $x$ and $y$ are real numbers. Then, find a formula for the function $f(z)$.

(2) Consider the function $f(z)$ which is obtained in Question (1). Then, solve the equation $f(z) = 0$.

# 数 学 (Mathematics)



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】

連続確率変数 $X$ の確率密度関数は

$$f(x) = \begin{cases} \lambda \mathrm{e}^{-\lambda(x+2)} & (x \geq -2) \\ 0 & (x < -2) \end{cases} \tag{i}$$

で与えられるものとする．ただし $\lambda \geq 1$ とする．以下の各問に答えよ．

(1) $X$ の期待値および分散を求めよ．

(2) $X$ の値が負となる確率を求めよ．

(3) (i) 式の確率密度関数に従う試行を独立に 10 回行う．10 回の試行において，負の値が 2 回以上出現する確率は 0.99 以上であるか否か，理由とともに答えよ．

Let $X$ be a continuous random variable of which the probability density function is given by

$$f(x) = \begin{cases} \lambda \mathrm{e}^{-\lambda(x+2)} & (x \geq -2) \\ 0 & (x < -2) \end{cases} \tag{i}$$

where $\lambda \geq 1$. Answer the following questions.

(1) Derive the expectation and variance of $X$.

(2) Derive the probability that $X$ is negative.

(3) Consider 10 independent trials according to the probability density function (i). Establish if negative values appear at least twice in the 10 trials with probability at least 0.99.

# 数 学 (Mathematics)



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) シーケント $\neg(A \to B) \to C, \neg C \vdash \neg A \vee B$ を自然演繹法で証明せよ．

(2) $F = \forall x(P(x) \vee Q(x)) \wedge \neg(\exists x \neg Q(x) \to \exists x P(x))$ とする．

(a) $x$ の領域を $\{1, 2\}$ とするとき，$F$ を命題論理式で表せ．

(b) 求めた命題論理式の充足不能性を導出法により証明せよ．

(3) 単位節 $L$ を含む命題節集合 $S$ に対し，$S$ から $L$ を含む節を全て除去し，残りの節から $\neg L$ の出現を除去した結果を $S(L)$ とする．

(a) 命題節集合 $S_1 = \{A \vee B, \neg A \vee C, A, D \vee E\}$ に対し，$S_1(A)$ を求めよ．

(b) $S_1$ が充足可能 $\Leftrightarrow$ $S_1(A)$ が充足可能であることを示せ．

(1) Prove by natural deduction the sequent $\neg(A \to B) \to C, \neg C \vdash \neg A \vee B$.

(2) Let $F = \forall x(P(x) \vee Q(x)) \wedge \neg(\exists x \neg Q(x) \to \exists x P(x))$.

(a) Let the domain of $x$ be $\{1, 2\}$. Represent $F$ by an equivalent propositional formula.

(b) Show by resolution that the obtained propositional formula is unsatisfiable.

(3) For a propositional clause set $S$ containing a unit clause $L$, let $S(L)$ be like $S$ except that all clauses containing $L$ have been removed, and from the remaining clauses, all occurrences of $\neg L$ have been deleted.

(a) Given a propositional clause set $S_1 = \{A \vee B, \neg A \vee C, A, D \vee E\}$, obtain $S_1(A)$.

(b) Show that $S_1$ is satisfiable $\Leftrightarrow$ $S_1(A)$ is satisfiable.

平成 26 年度　九州大学大学院システム情報科学府　電気電子工学専攻
修士課程　入学試験問題

# 専門科目 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 8 枚、解答用紙は 3 枚である.
   You are given 8 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 problems.

| | 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. 解答用紙の全部に，志望するコース名，選択分野名，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 course name, selected field name, your examinee number and your name.

5. 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, please indicate this clearly.

# 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，次の各問いに答えよ．ただし，図中の数値の単位はΩである．

(1) 電源電圧 $E$ と電流 $I_c$ の位相差 $\arg\left(\dfrac{E}{I_c}\right)$ を $\theta$ とする．$\tan\theta$ の値を求めよ．

(2) 端子対1-1'間にインピーダンス $Z$ を接続すると，電源電圧 $E$ と電流 $I$ の位相が等しくなり，回路全体での平均電力が接続する前の値の3倍になった．インピーダンス $Z$ の値を求めよ．

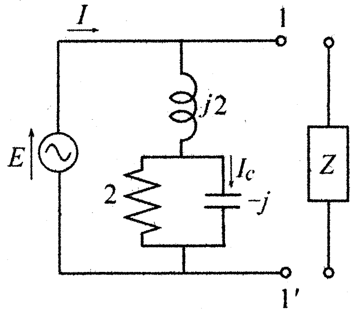


図1

【問2】 図2の回路において，次の問いに答えよ．

(1) 端子対1-1′および2-2′を持つ2端子対回路 $N$（点線で囲まれた部分）のアドミタンス行列 $Y$ を求めよ．

(2) 2端子対回路 $N$ のインピーダンス行列 $Z$ を求めよ．

(3) $J_1 = 10\sin t$ [A]，$J_2 = 5\sin\left(t+\frac{\pi}{2}\right)$ [A] であるとき，2端子対回路 $N$ で消費される平均電力を求めよ．

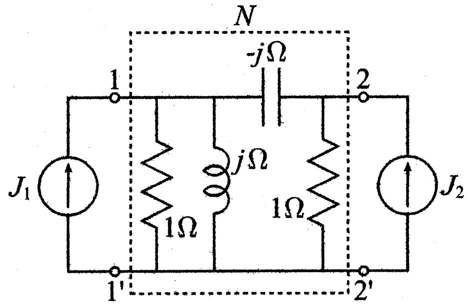


図2

【問3】 図3の回路について，以下の問いに答えよ．ただし，電源の角周波数 $\omega = 500$ rad/s，$R_1 = 1\ \Omega$，$L_1 = 0.002$ H，$C_1 = 0.002$ F とする．

(1) 端子対1-1′間を，開放電圧 $V_0$，内部インピーダンス $Z_0$ の等価回路と考えるとき，$Z_0$ を求めよ．

(2) 端子対1-1′間に，抵抗 $R_2$ と容量 $C_2$ を直列に接続するとき，$R_2$ で消費される電力が最大となる $R_2$ と $C_2$ を求めよ．

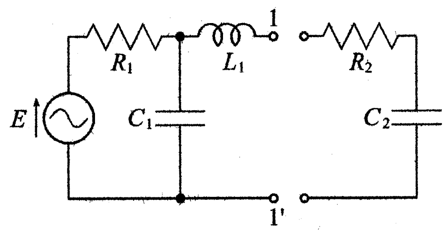


図3

【問4】 図4の回路について，以下の問いに答えよ．

(1) スイッチ $S_2$ を開いた状態で，$t=0$ でスイッチ $S_1$ を閉じる．$t>0$ における電流 $i(t)$ を求めよ．ただし，$i(0)=0$ とする．

(2) スイッチ $S_2$ を開いた状態で，$t=0$ でスイッチ $S_1$ を閉じた後，定常状態となる前の時刻 $t=t_1$ においてスイッチ $S_2$ を閉じると，電流 $i(t)$ は即座に定常状態となった．このときの抵抗 $R_3$ を求めよ．

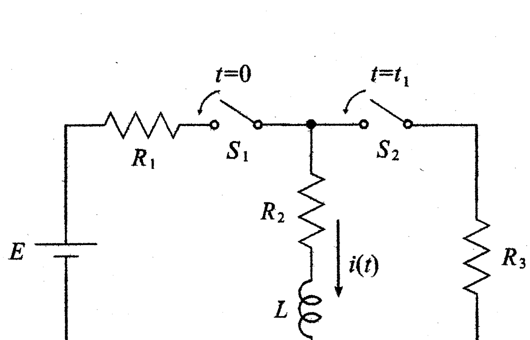


図4

## 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 values of elements in the figure are in Ohms.

(1) In the figure, let the phase difference $\arg\left(\frac{E}{I_c}\right) = \theta$. Find the value of $\tan\theta$.

(2) If the impedance $Z$ is connected to the terminal pair 1-1', the phase difference $\arg\left(\frac{E}{I}\right) = 0$, and the average power consumption in the whole circuit becomes three times of that the $Z$ was not connected. Find the value of $Z$.

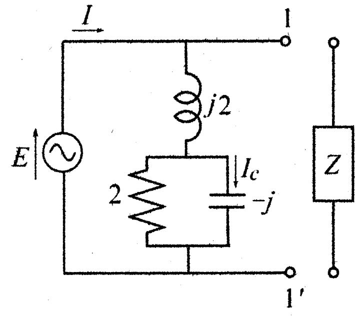


Fig. 1

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

(1) Find admittance matrix $Y$ between terminal pairs 1-1', 2-2' which is inside the broken lines $N$.

(2) Find impedance matrix $Z$ between terminal pairs 1-1', 2-2'.

(3) Suppose that $J_1 = 10\sin t$ [A] and $J_2 = 5\sin(t + \frac{\pi}{2})$ [A]. Find the average power absorbed by the two-port circuit $N$.

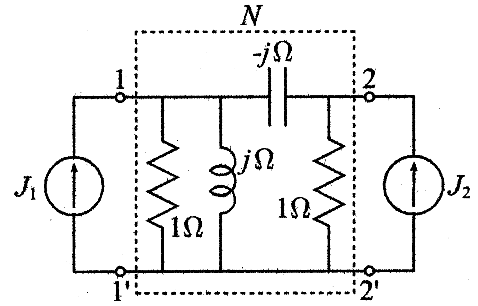


Fig. 2

**[Q3]** Consider the circuit shown in Fig. 3, where the angular frequency $\omega = 500$ rad/s, $R_1 = 1\ \Omega$, $L_1 = 0.002$ H, and $C_1 = 0.002$ F.

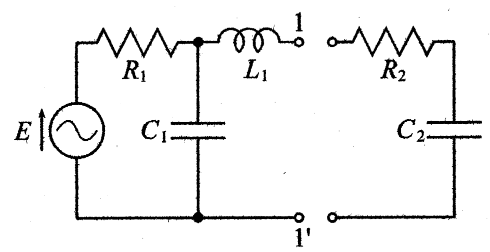


Fig. 3

(1) Find the internal impedance $Z_0$ when the one-port circuit with terminals 1-1' is equivalent to the voltage source with the open voltage $V_0$ and the internal impedance $Z_0$.

(2) The resistive load $R_2$ and the capacitance $C_2$ are connected in series between the terminals 1-1'. Find the values of $R_2$ and $C_2$ when the effective power at $R_2$ is maximized.

**[Q4]** Consider the circuit shown in Fig. 4.

(1) At $t = 0$, switch $S_1$ is closed while switch $S_2$ is left open. Find $i(t)$ for $t > 0$ under the assumption of $i(0) = 0$.

(2) After switch $S_1$ is closed at $t = 0$ while switch $S_2$ is left open, switch $S_2$ is closed at $t = t_1$ while switch $S_1$ is left closed. Find $R_3$ when the circuit reaches steady state just after the switch $S_2$ is closed.

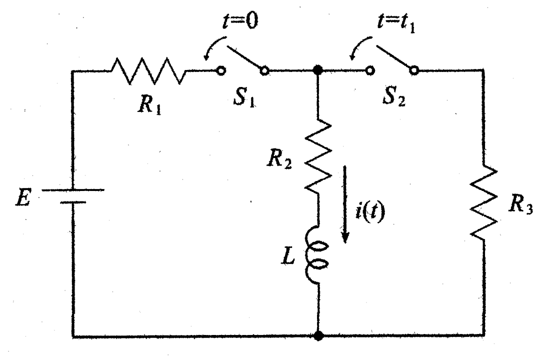


Fig. 4

平成２６年度　九州大学大学院システム情報科学府　修士課程入学試験

電子回路　試験問題　平成２５年８月２２日（木）

次の各問（1，２）に答えよ。

1．図１に示す回路の伝達関数 $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$を求めよ。また，図２の場合について，$G(s)$ の表式を導き，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。

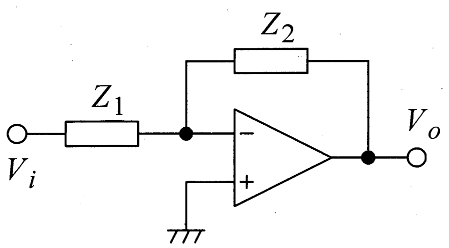


図１

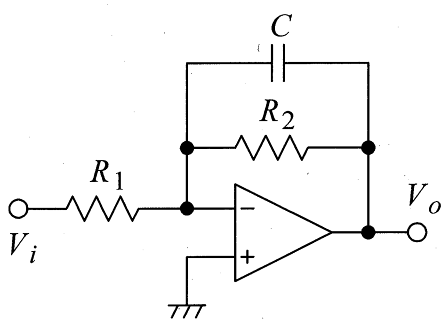


図２

２．図３に示すRC正弦波発振器について，次の問に答えよ。但し，演算増幅器は理想的であるとする。

（１）Aの非反転増幅器の部分の利得 $G_A$ を求めよ。

（２）BのRC回路の部分の利得（減衰率）$G_B$ を求めよ。

（３）RC正弦波発振器のループ利得 $T$ を求めよ。但し，$T = G_A G_B$ である。

（４）発振が定常状態にある時の発振角周波数と振幅条件を求めよ。

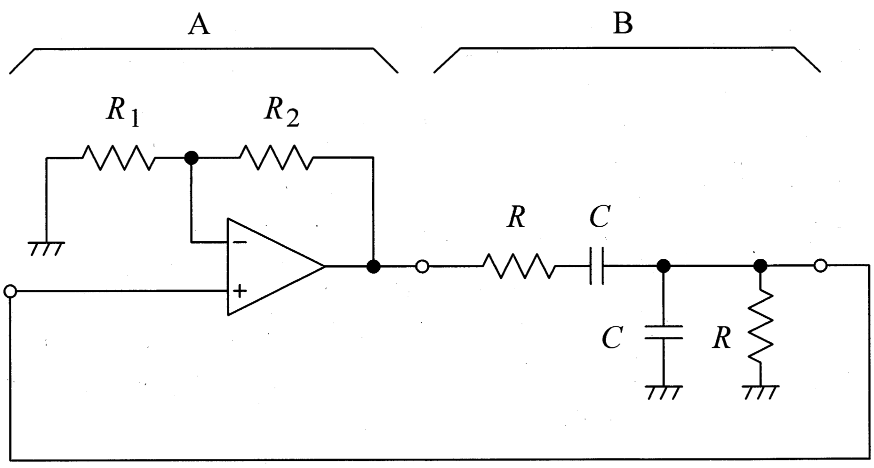


図３

**Electronic circuits**

**Aug. 22, 2013**

Answer the following questions (1, 2).

1. Derive the transfer function $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$ for the circuit shown in Fig. 1. Then, derive $G(s)$ for the circuit shown in Fig. 2, and sketch the frequency characteristics of the voltage gain and the phase. The operational amplifiers are assumed to be ideal.

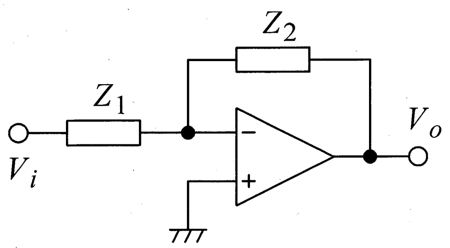


Fig. 1

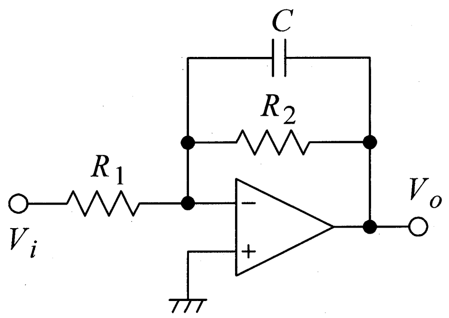


Fig. 2

2. Solve the following problems on the RC sinusoidal oscillator shown in Fig. 3. It is assumed that the operational amplifier is ideal.

(1) Derive the voltage gain $G_A$ of the non-inverting amplifier (part A).

(2) Derive the voltage gain $G_B$ of the RC network (part B).

(3) Derive the loop gain $T$ of the RC sinusoidal oscillator, where $T = G_A\, G_B$ .

(4) Obtain the oscillation frequency and the condition of the amplitude for steady-state oscillation.

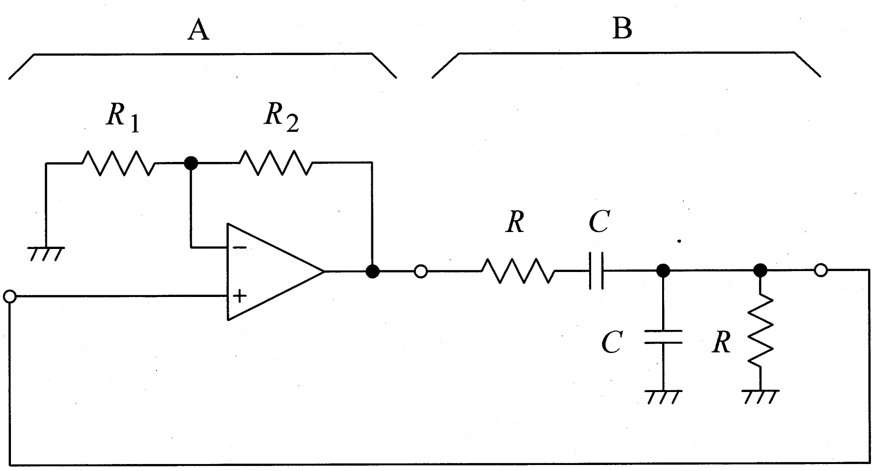


Fig. 3

## 制御工学 Control Engineering

次の各問（[1]，[2]，[3]）に答えよ．
Answer the following questoins ([1], [2] and [3]).

### [1]

あるシステムの出力 $y(t)$ は次のように表される．

$$y(t) = \int_0^t g(t-\tau)u(\tau)d\tau$$

ここで $t$ は時刻，$u(t)$ は入力，$g(t)$ $(t \geq 0)$ はある関数である．

1. このシステムは線形システムであることを示せ．
2. このシステムの伝達関数を求めよ．
3. $u(t)$ を単位ステップ関数としたとき，$\lim_{t\to\infty} y(t) = 1$ となる条件を述べよ．

The output of a system is expressed as follows:

$$y(t) = \int_0^t g(t-\tau)u(\tau)d\tau,$$

where $t$ is the time, $u(t)$ is the input of the system, and $g(t)$ $(t \geq 0)$ is a function.

1. Show that the system is linear.
2. Answer the transfer function of the system.
3. Let $u(t)$ is a unit step function. Answer the condition such that $\lim_{t\to\infty} y(t) = 1$.

[2]

フィードフォワード制御系とフィードバック制御系についての以下の問いに答えよ．ただし，2.，3.，4. についてはそれぞれ5行以内で解答せよ．

1. フィードフォワード制御系とフィードバック制御系それぞれの代表的なブロック線図を描け．
2. 制御系に外乱が加わる場合について，この2種の制御系を比較せよ．
3. 制御対象が不安定である場合について，この2種の制御系を比較せよ．
4. 制御対象が非最小位相である場合（不安定零点をもつ場合）について，この2種の制御系を比較せよ．

Answer the following questions regarding feed-forward control systems and feedback control systems. State answers to the questions 2., 3. and 4. within five lines each.

1. Draw a typical block diagram for each of a feed-forward control system and a feedback control system.
2. Compare these two types of control systems when a disturbance exists in the control system.
3. Compare these two types of control systems when the plant to be controlled is unstable.
4. Compare these two types of control systems when the plant to be controlled is non-minimum-phase (having unstable zero(s)).

[3]

次の状態方程式と出力方程式で表されるシステムがある．

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ 0 & -1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t), \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}$$

ただし，$t$ は時刻，$u(t)$ は入力，$x_1(t), x_2(t)$ は状態変数，$y(t)$ は出力であり，$a$ と $b$ はいずれも正の定数である．

1. このシステムは可制御であるか，また可観測であるか．

2. このシステムに次の状態フィードバック入力を加える．

$$u(t) = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}$$

ただし，$k_1$ と $k_2$ は定数である．このとき，$k_1$ と $k_2$ の値を適切に設定して，状態変数の任意の初期値 $x_1(0), x_2(0)$ に対して，$\lim_{t\to\infty} x_1(t) = 0$ かつ $\lim_{t\to\infty} x_2(t) = 0$ とすることは可能か．可能な場合は，これを可能とする $k_1$ と $k_2$ の値についての条件を理由とともに示せ．不可能な場合はその理由を述べよ．

Consider a system expressed by the following state and output equations:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ 0 & -1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t), \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix},$$

where $t$ is the time, $u(t)$ is the input, $x_1(t)$ and $x_2(t)$ are the state variables, $y(t)$ is the output, and $a$ and $b$ are positive constants.

1. Determine if the system is controllable. Also determine if it is observable.

2. Suppose that the following state feedback control is applied to the system:

$$u(t) = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix},$$

where $k_1$ and $k_2$ are constants. Then is it achievable that $\lim_{t\to\infty} x_1(t) = 0$ and $\lim_{t\to\infty} x_2(t) = 0$ for any initial values of the state variables, $x_1(0)$ and $x_2(0)$, by setting the values of $k_1$ and $k_2$ appropriately? If your answer is yes, show the conditions on the values of $k_1$ and $k_2$ together with the reasons. If your answer is no, state its reason.

平成 26 年度　九州大学大学院システム情報科学府　電気電子工学専攻
修士課程　入学試験問題

# 専門科目 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 4 枚である.
   You are given 19 problem sheets including this cover sheet, and 4 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 problems.

| | 分野 | field | page |
|---|---|---|---|
| 1 | 電磁気学 | Electromagnetism | 2 ～ |
| 2 | 半導体デバイス | Semiconductor device | 6 ～ |
| 3 | 計算機工学 | Computer engineering | 14 ～ |

4. 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 course name, selected field name, your examinee number and your name.

5. 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, please indicate this clearly.

平成２６年度大学院入学試験問題　電磁気学　　　　　（平成２５年８月２２日）

次の各問（問１ 問２ 問３）に答えよ。

問１　以下の問いに答えよ。

(1) 図１(a) のように真空中に置かれた無限に広い導体前面の点$(x_0,\ 0, 0)$に点電荷$q$が置かれている。真空中の電位分布，点電荷に働く力，導体表面の電荷分布を求めよ。

(2) 図１(b) のように真空中に置かれた無限に広い導体前面の点$(x_0,\ y_0, 0)$に点電荷$q$が置かれている。真空中の電位分布と導体表面の全電荷を求めよ。

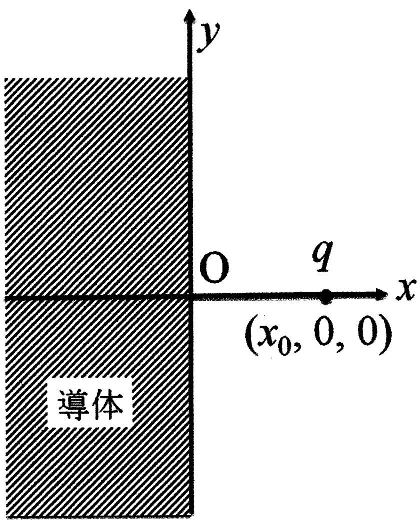


図１(a)

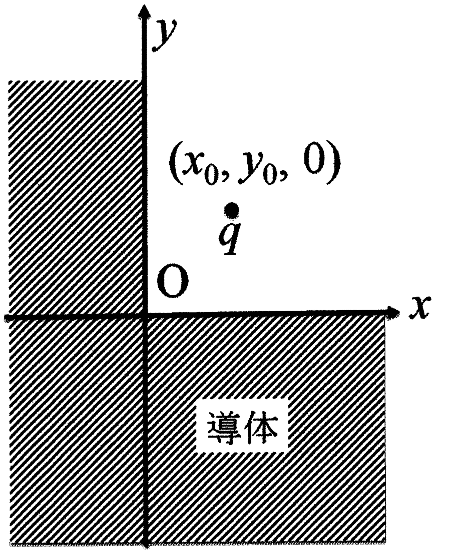


図１(b)

問２　図２のように，半径$a$の導体球の表面が半径$b$の領域まで誘電体で一様に覆われている。誘電体の誘電率は$\varepsilon$である。導体球は電荷$Q$に帯電しており，誘電体中には電荷密度$-\rho$で電荷が一様に分布している。誘電体外の誘電率は$\varepsilon_0$とする。以下の問いに答えよ。

(1) 電界の大きさを球導体中心からの距離$r$の関数として表せ。

(2) 誘電体外（$b<r$）の電界がゼロであるとき，電荷量$Q$と電荷密度$\rho$の関係を求めよ。また，このときの，この系の静電エネルギーを求めよ。

(3) 導体の電荷量をゼロとした時，誘電体外表面の分極電荷密度の大きさを求めよ。

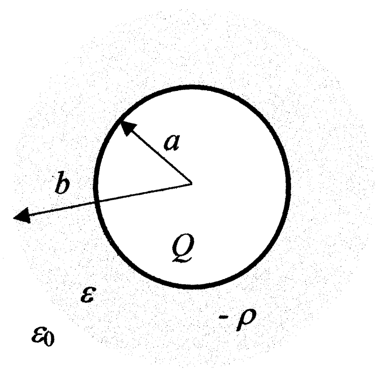


図２

問３　図３に示すように形状の等しい二つの磁性体を用いた平均半径 $a$、断面積 $S$ のドーナツ状コアに巻数 $N_1$ と $N_2$ の導線が巻かれ，コイル１と２を形成している。ただし，左右のコア（コア１，２）の透磁率を $\mu_1, \mu_2$ とする。また，$a >> S^{1/2}$ とし漏れ磁束は無いとする。コイル１に時間的に変化する電流 $I_1(t)$ を流した時，以下の問いに答えよ。

(1) コイル２の端子 P-Q 間を解放した。コア１とコア２内の磁界の強さ $H$ と磁束密度 $B$ を求めよ。

(2) コイル１とコイル２の間の相互インダクタンス $M$ を求めよ。

(3) コイル２の自己インダクタンス $L_2$ を求めよ。

(4) コイル２の端子 P-Q 間に抵抗 $R$ を接続した。この時，コイル２に流れる電流 $I_2$ に対する回路方程式を $M$ と $L_2$ を用いて表せ。

(5) コイル２の端子 P, Q を短絡した ($R = 0$) 時，コイル２に流れる電流 $I_2$ を求めよ。また，この時にコイル２に鎖交する磁束 $\Phi$ を求めよ。

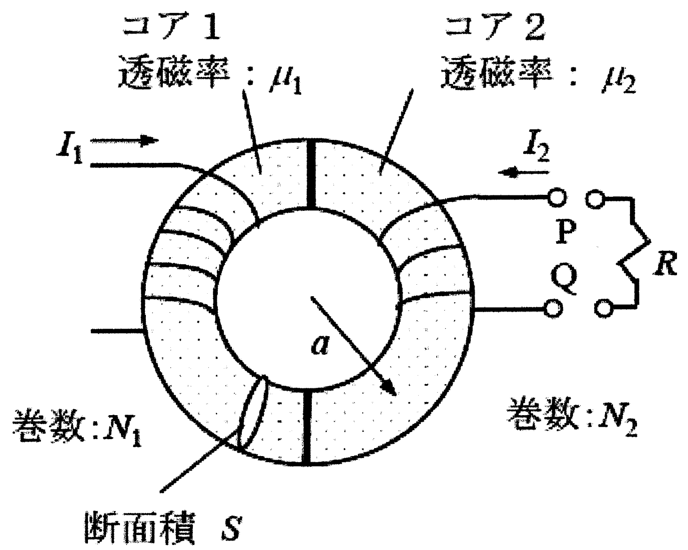


図３

2014 Entrance Examination for ISEE (Electromagnetism) (August 22, 2013)

**Answer the following questions ( [Problem 1] [Problem 2] [Problem 3] ).**

[Problem 1] Answer the following questions.

(1) In vacuum, a point charge $q$ is set at a position of $(x_0, 0, 0)$ in front of the conductor as shown in Fig. 1(a). Give electric potential in vacuum, force exerted on the point charge, and charge distribution on the conductor surface.

(2) In vacuum, a point charge $q$ is set at a position of $(x_0, y_0, 0)$ in front of the conductor as shown in Fig. 1(b). Give electric potential in vacuum and total charge on the conductor surface.

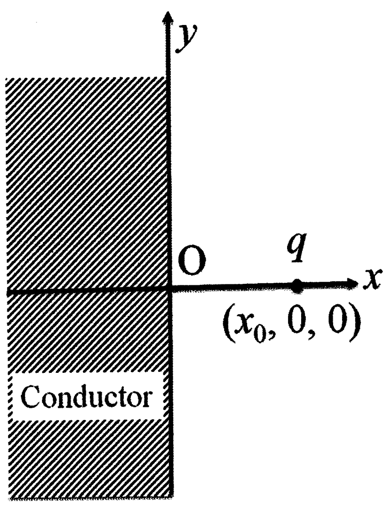


Fig. 1(a)

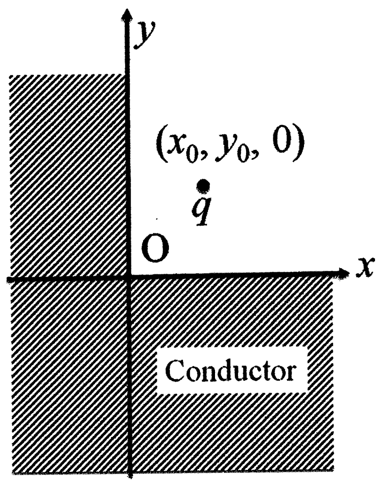


Fig. 1(b)

[Problem 2] A spherical conductor with a radius of $a$ is covered by a dielectrics whose outer radius is $b$, as shown in Fig. 2. The permittivity of the dielectrics is $\varepsilon$. The spherical conductor is charged with a charge of $Q$, and charges are uniformly distributed within the dielectrics with a charge density of $-\rho$. The permittivity outside the dielectrics is $\varepsilon_0$. Answer the following questions.

(1) Give the electric field strength as a function of the radius $r$ from the center of the conductor.

(2) When the electric field strength outside the dielectrics ( $r > b$ ) is zero, give the relationship between $Q$ and $\rho$. Give the electrostatic energy of this system under this condition.

(3) When the charge $Q$ on the conductor is zero, give the surface density of the polarization charge at the outer surface of the dielectrics.

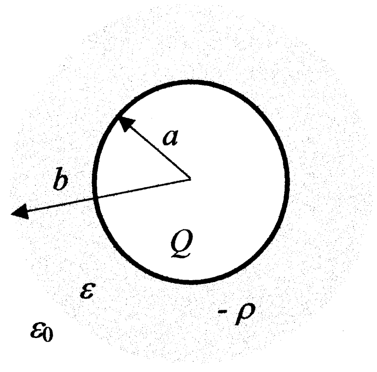


Fig. 2

[Problem 3] As shown in Fig. 3, there is a toroidal core made of two magnetic materials. Half of the toroidal core (core 1) has a permeability $\mu_1$, while the other half of the core (core 2) has a permeability $\mu_2$. The mean diameter and cross sectional area of the core are $a$ and $S$, respectively. Two coils with number of turns $N_1$ and $N_2$ are wound. We assume that $a >> S^{1/2}$ and that there is no leakage flux from the core. A time varying current $I_1$ $(t)$ is supplied to the coil 1. Answer the following questions.

(1) Give the magnetic field strength $H$ and the magnetic flux density $B$ in two cores when the terminal P and Q of the coil 2 is opened.

(2) Give the mutual inductance $M$ between the coil 1 and coil 2.

(3) Give the self inductance $L_2$ of the coil 2.

(4) A resistor $R$ is connected between the terminal P and Q of the coil 2. Give the circuit equation for the current $I_2$ flowing in the coil 2 by using $M$ and $L_2$.

(5) Give the current $I_2$ when $R = 0$. Give also the magnetic flux $\Phi$ interlinking the coil 2 in this case.

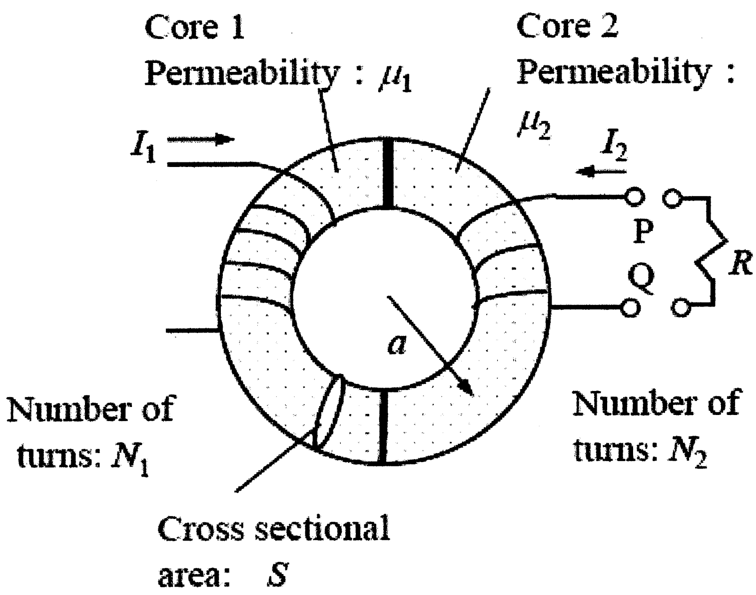


Fig. 3

# 半導体デバイス

次の各問（ 1 2 3 4 ）に答えよ。

## 1

図 1 の(A)及び(B)は，半導体の代表的なエネルギー・バンド構造の模式図である．これらに関して，以下の設問に答えよ．

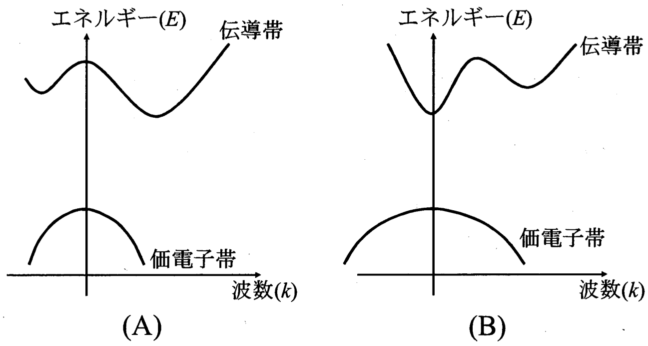


図 1

(1) (A)のバンド構造を有する半導体における正孔の有効質量は，(B)のバンド構造を有する半導体における正孔に比べ，小さいか，大きいか，理由と共に答えよ．

(2) (A)および(B)は，直接遷移型バンド構造，間接遷移型バンド構造のいずれに対応するか，(A)および(B)のそれぞれについて答えよ．

(3) (A)および(B)に該当する半導体の化学式を各々一つずつ挙げよ．

(4) 発光デバイスの材料として適しているのは，(A)または(B)のいずれか，理由と共に答えよ．

(5) (B)に該当する半導体の電気抵抗を，印加電界を大きくしながら測定したところ，印加電界の上昇に伴い，抵抗値が大きくなった．この現象が発現した理由を述べよ．

**2**

p 型半導体 (アクセプタ密度：$N_A$)，および n 型半導体 (ドナー密度：$N_D$) で構成される pn 接合に関し，下記の設問に答えよ．ただし，絶対温度を $T$，真性キャリヤ密度を $n_i$，電気素量を $q$ とする．

(1) n 型側の中性領域における自由電子密度，および正孔密度を答えよ．

(2) n 型半導体のドナー密度を 10 倍に増やした．pn 接合の拡散障壁(内蔵電位)は，ドナー密度を増やす前と比べ，大きくなるか，小さくなるか，理由と共に答えよ．

(3) この pn 接合に順方向バイアスを印加したい．p 型半導体に印加すべきバイアスの極性 (正, 負) を答えよ．

(4) この pn 接合に順方向バイアス (バイアス電圧：$V_F$) を印加したまま，十分に長い時間が経過した．図 2 のように $x$ 座標を定義し，n 型半導体側の空乏層端を $x$=0，n 型半導体の端を $x$=$L$ とする．$x$=0 および $x$=$L$ における正孔密度を与える式を示せ．ただし，ボルツマン定数を $k$ とせよ．なお，n 型半導体の中性領域の長さ $L$ は，正孔の拡散長 $L_p$ に比べて十分に大きいものとする．

(5) n 型半導体の中性領域における正孔密度の分布のグラフを模式的に示すと共に，点 $x$ (0≦$x$≦$L$)での正孔密度を与える式を示せ．正孔密度の分布のグラフは，縦軸を正孔密度，横軸を $x$ とすること．

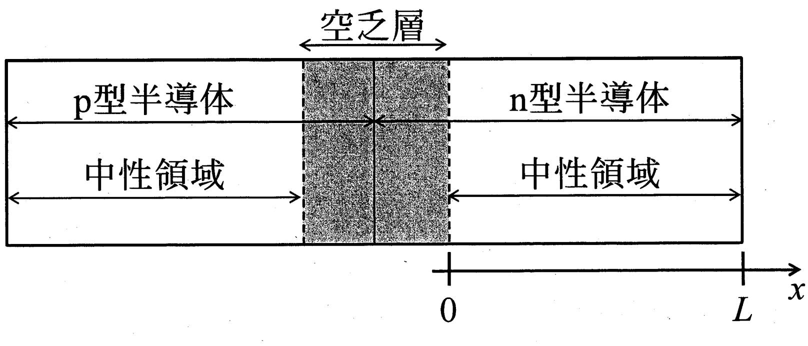


図 2

**3** シリコン製バイポーラ接合トランジスタがある．このトランジスタに図3中の電池記号で示す方向のバイアスを加えて活性状態動作させた．エミッタ，ベース，コレクタのドーピング密度は位置によらず一定であり，電流と垂直方向の断面積もトランジスタ全体を通して一定であるとする．以下の問に答えよ．

(1) このトランジスタは npn 型，pnp 型のいずれかを答えよ．

(2) エミッタからベースに注入されるキャリヤの種類は何かを答えよ．

(3) このようにバイアスした状態でのエミッタ〜コレクタにわたるエネルギーバンド図を描け．ただし，エミッタ-ベース間，コレクタ-ベース間の電圧をそれぞれ $V_{EB}$，$V_{CB}$ とし，これらの値も伝導帯下端 $E_C$，価電子帯上端 $E_V$，フェルミ準位 $E_f$，真性シリコンのフェルミ準位 $E_i$ とともに書き入れよ．

(4) エミッタからベースに注入されたキャリヤがベース中性領域 (図3中の $0 \leq x \leq W_B$ の領域) 中を流れることによる電流の密度 $J(x)$ を表す式を示せ．ここでベース中性領域中の過剰自由電子密度 $n_B(x)$，過剰正孔密度 $p_B(x)$，自由電子の移動度 $\mu_n$，正孔の移動度 $\mu_p$，電気素量 $q$，ボルツマン定数 $k$，絶対温度 $T$ のうち必要なものを用いよ．ただし，$\mu_n$，$\mu_p$ は位置によらず一定とする．

(5) ベース中性領域中の過剰少数キャリヤ密度が

$$n_B(x) = K \sinh\left(\frac{W_B - x}{L_n}\right)$$

であるとする．ここで $K$ は定数，$L_n$ は少数キャリヤの拡散長であり，$L_n \gg W_B$ であるとする．ベース輸送効率 (単に，輸送効率とも呼ぶ)$\alpha_T$ を求めよ．$x \ll 1$ のとき，$\cosh x \approx 1+(x^2/2)$ の関係を用いよ．

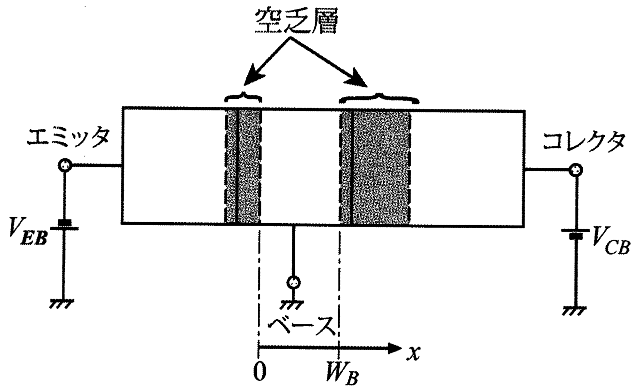


図3

**4** 図4に示す断面構造をもつMOSFETについて以下の問に答えよ．ただし，ゲート絶縁膜の厚さと比誘電率をそれぞれ$t_{OX}$，$\varepsilon_{OX}$とし，真空の誘電率を$\varepsilon_0$，しきい電圧を$V_{th}$，チャネル内のキャリヤ移動度を$\mu$，チャネル幅を$W$とする．また，ゲート電圧，ドレイン電圧をそれぞれ$V_G$，$V_D$とし，ソースと基板は接地するものとする．$V_G$，$V_D$，$V_{th}$はいずれも正である．以下の(1)〜(3)はスイッチSをA側に閉じた状態での設問である．

(1) 位置$x$におけるチャネルの電位を$V_c(x)$とするとき，反転層電荷密度$Q_I(x)$を表す式を示せ．

(2)$Q_I(x)$はドレインに近づくにつれて小さくなる．その理由を述べよ．

(3) チャネル長を$L$とするとき，ドレイン電流$I_D$を表す式を求めよ．

(4) このMOSFETはエンハンスメント型かデプレッション型か，その判定理由とともに述べよ．

(5) 次にスイッチSをB側に閉じた状態について問う．この状態での$V_D$と$I_D$の関係を図示せよ．

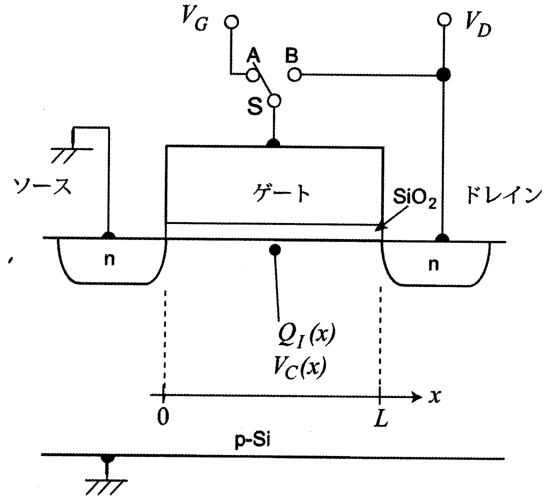


図4

# Semiconductor device

Answer the following questions ( 1  2  3  4 ).

## 1

Typical energy band diagrams (A) and (B) for semiconductors are shown in Fig. 1. Answer the following questions concerning these band diagrams.

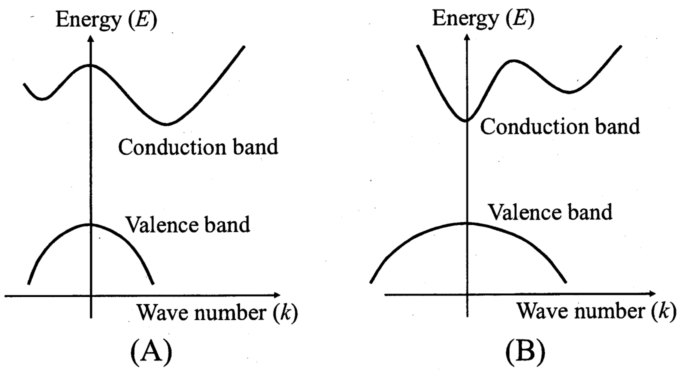


Fig. 1

(1) Is the effective mass of holes in the semiconductor, whose energy band diagram is (A), lighter or heavier compared with that for (B)? Answer with a reason.

(2) Which do the energy band diagrams (A) and (B) correspond to, a direct band-gap semiconductor or indirect band-gap semiconductor? Answer for both of (A) and (B).

(3) Give a chemical formula of a semiconductor having an energy band diagram of (A) and that of (B).

(4) Which is suitable for application to light-emission devices, (A) or (B)? Answer with a reason.

(5) The resistivity of a semiconductor having an energy band diagram of (B) measured under a high electric field is higher than that under a low electric field. Answer the reason.

## 2

Answer the following questions concerning a pn junction diode, composed of a p-type semiconductor (acceptor concentration: $N_A$) and an n-type semiconductor (donor concentration: $N_D$). The absolute temperature, the intrinsic carrier concentration, and the elementary charge are represented as $T$, $n_i$, and $q$, respectively.

(1) Answer the concentrations of free electrons and holes in the neutral region of the n-type semiconductor.

(1) The donor concentration in the n-type semiconductor is increased by ten times. Is the diffusion barrier (built-in potential) increased or decreased compared with that before the increase. Answer with a reason.

(2) Answer the polarity (positive or negative) of a bias voltage applied to the p-type semiconductor in order to apply a forward bias to the pn junction.

(1) A forward bias (bias voltage: $V_F$) was applied to the pn junction, and a long time has passed. An $x$-axis is defines as shown in Fig. 2, where the edge of the depletion region in n-type semiconductor is $x$=0, and the edge of the neutral region in n-type semiconductor is $x$=$L$. Show equations for hole concentration at $x$=0 and $x$=$L$. Boltzmann's constant is represented as $k$. The length $L$ of the neutral region of the n-type semiconductor is very longer compared with the diffusion length $L_p$ of holes.

(5) Sketch a profile of the hole concentration in the neutral region of p-type semiconductor. In addition, show an equation for the hole concentration at position $x$ ($0 \leqq x \leqq L$). In the sketch, the hole concentration and $x$ should be plotted along the ordinate and abscissa, respectively.

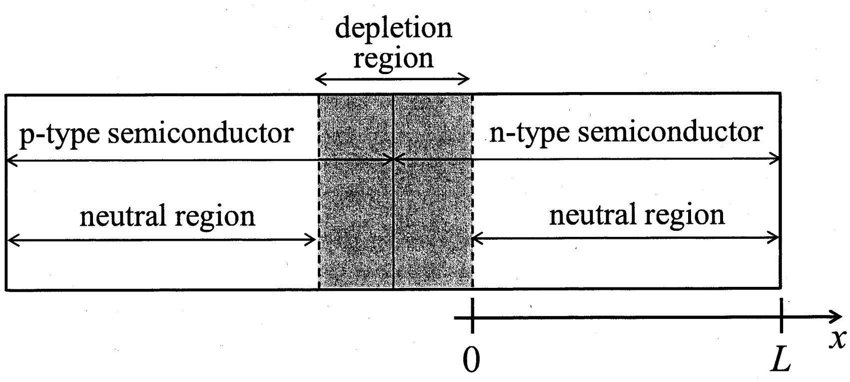


Fig. 2

**3** Consider a bipolar junction transistor made of Si. The transistor is operated in a forward active mode by biasing it with voltage sources shown in Fig. 1. Assume that the dopant concentrations in the emitter, base, and collector are constant and that the area of the cross section perpendicular to the current flow is constant through the transistor. Answer the following questions.

(1) Determine whether the transistor is either npn or pnp type.

(2) What is the carrier injected from the emitter to the base?

(3) Draw an energy band diagram from the emitter to the base. Indicate in the diagram the followings; the bias between the emitter and the base $V_{EB}$, the bias between the collector and the base $V_{CB}$, the bottom of the conduction band $E_C$, the top of the valence band $E_V$, the Fermi level $E_f$, the Fermi level of intrinsic silicon $E_i$.

(4) The region $0 \leq x \leq W_B$ in Fig. 3 is the base neutral region. Express the current density $J(x)$ using some of the following parameters; the excess electron density in the base $n_B(x)$, the excess hole density in the base $p_B(x)$, mobility of free electrons $\mu_n$, mobility of holes $\mu_p$, elemental charge $q$, the Boltzmann constant $k$, the absolute temperature $T$. Assume that $\mu_n$ and $\mu_p$ is independent of position.

(5) Assume that the excess electron density in the base neutral region is

$$n_B(x) = K \sinh\left(\frac{W_B - x}{L_n}\right)$$

where $K$ is a constant and $L_n$ is the diffusion length of the minority carriers in the base and $L_n \gg W_B$. Derive expression for the base transport efficiency $\alpha_T$. Use approximation $\cosh x \approx 1 + (x^2/2)$ when $x \ll 1$.

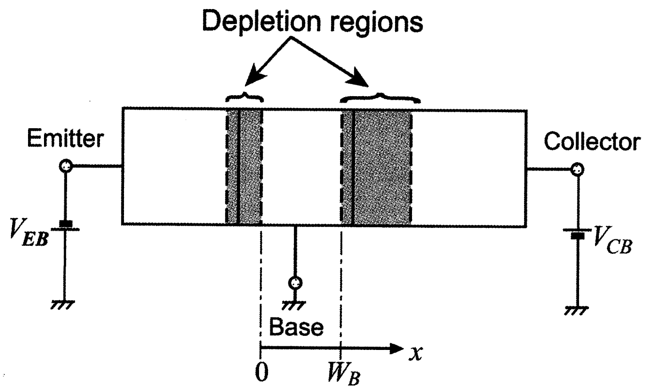


Fig. 3

**4** Answer the questions on the MOSFET whose cross-section is schematically shown in Fig. 4. Use the following parameters as needed; thickness of the gate insulator $t_{OX}$, relative dielectric constant of the gate insulator $\varepsilon_{OX}$, the dielectric constant of vacuum $\varepsilon_0$, threshold voltage of the MOSFET $V_{th}$, mobility of carriers in the channel $\mu$, channel length $L$, channel width $W$, gate voltage $V_G$, and drain voltage $V_D$. $V_G$, $V_D$, and $V_{th}$ are all positive. The source and the substrate are grounded. In the following, the questions (1)~(3) are for the case where the switch S is turned to the side A.

(1) The potential in the channel at the position $x$ is $V_c(x)$. Express the charge density in the inversion layer, $Q_I(x)$.

(2) $Q_I(x)$ decreases with increasing $x$. Explain why.

(3) Derive expression for drain current $I_D$.

(4) Determine whether this MOSFET is either enhancement type or depletion type. Describe the reason why you determine so.

(5) The switch S is turned to the side B. Under this condition, draw a graph which shows the relation between $V_D$ and $I_D$.

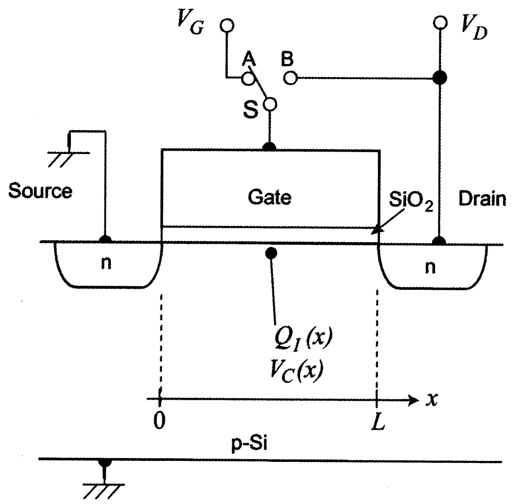


Fig. 4

1. 次の各問 ( **【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 $f$ の最簡積和表現を求めよ．表中の*はドントケアを表す．ただし，最簡積和表現とは，その関数を表す積和表現のうち，積項数最小 (積項数が同数のものが複数ある場合にはその中でリテラル数最小) のもののことである．

論理関数 $f$ の真理値表

| $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | $f$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | $f$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | * |
| 0 | 0 | 1 | 0 | * | 1 | 0 | 1 | 0 | * |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | * |
| 0 | 1 | 0 | 0 | * | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | * | 1 | 1 | 1 | 0 | * |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

**【問 2】** あるプロセッサにおいて，以下の 4 種類の命令タイプを実装することを考える．各命令タイプの命令実行の各ステップにおける所要時間は下表の通りとする．

| 命令タイプ | ステップ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 命令フェッチ | レジスタ読出し | ALU 演算 | データメモリアクセス | レジスタ書込み |
| ロード命令 | Y ps | X ps | 600 ps | Y ps | X ps |
| ストア命令 | Y ps | X ps | 600 ps | Y ps | |
| 演算命令 | Y ps | X ps | 700 ps | | X ps |
| 分岐命令 | Y ps | X ps | 800 ps | | |

(a) このプロセッサの構成方式としてシングルサイクル・データパス方式 (1 命令の実行を 1 クロックサイクルで実行する方式) を採用した場合のクロックサイクル時間は 3.6ns になった．また，命令パイプライン処理方式 (上記の各ステップを 1 パイプラインステージとし，1 ステージを 1 クロックサイクルで実行する方式) を採用した場合のクロックサイクル時間は 1.0ns になった．レジスタアクセスよりもメモリアクセスの方がアクセス時間が長いと仮定して，上記の X と Y を求めよ．

(b) シングルサイクル・データパス方式および命令パイプライン処理方式を採った場合の各命令タイプの実行所要時間（単位はns）および実行所要クロックサイクル数を求めよ．

(c) 上記2種類の異なるプロセッサ構成方式を採用したプロセッサにおいて以下のプログラムを実行した際のプログラム実行時間（単位はns）を求めよ．なお，命令パイプライン処理においてデータハザードを考慮する必要はない．

```
 lw $2,  20($1)   (R2 ← Memory[R1+20])
and $12, $2, $5   (R12 ← R2 ∧ R5)
 or $13, $6, $2   (R13 ← R6 ∨ R2)
add $14, $2, $2   (R14 ← R2 + R2)
 sw $15, 100($13)   (R15 → Memory[R13+100])
```

平成２６年度　九州大学大学院システム情報科学府電気電子工学専攻
修士課程　入学試験問題

専門科目 (計算機工学) / Special subjects (Computer Engineering)



**【問 3】** 配列 "A" の中で、入力値 "key" の場所を見つける二分探索プログラムを以下に示す。

```
int binary_search(int A[], int key, int imin, int imax)
{
 // continue searching while [imin,imax] is not empty
 while (imax >= imin)
   {
     /* calculate the midpoint for roughly equal partition */
     int imid = midpoint(imin, imax);

     // determine which subarray to search
     if (A[imid] < key)
       // change min index to search upper subarray
       imin = imid + 1;
     else if (A[imid] > key)
       // change max index to search lower subarray
       imax = imid - 1;
     else
       // key found at index imid
       return imid;
   }
 // key not found
 return KEY_NOT_FOUND;
}
```

[出典：WIKIPEDIA]

以下の問に答えよ。

(1) この二分探索プログラムについて、その入力パラメタに関して成立つべき前提条件（事前条件）を次の二通りで記述せよ。

1-1) その前提条件を日本語で書け。

1-2) その前提条件を論理式で書け。

(2) while 文の条件判定の直前で、変数や入力パラメタとの間に成立つ条件（ループ不変式）を次の二通りで記述せよ。

2-1) その条件を日本語で書け。

2-2) その条件を論理式で書け。

(3) このプログラムの実行結果が満足すべき条件（事後条件）、すなわち、出力結果と入力パラメタとの間に成立つ条件を日本語で記述せよ。

Answer the following questions ( 【Q1】 ~ 【Q3】 ).

【Q1】 Show the minimum sum-of-products expression for logic function $f$ that is given in the following truth table. '*' in the table stands for "don't care". Sum-of-products expression is called minimum when the number of product terms is minimum among all the expressions representing the same logic function. If there are more than one expressions having the same number of product terms, an expression with minimum number of literals becomes the minimum sum-of-products expression.

Truth table for $f$

| $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | $f$ | $a$ | $b$ | $c$ | $d$ | $f$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | * |
| 0 | 0 | 1 | 0 | * | 1 | 0 | 1 | 0 | * |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | * |
| 0 | 1 | 0 | 0 | * | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | * | 1 | 1 | 1 | 0 | * |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

【Q2】 Let us consider that we implement the following four types of instructions for a processor. Assume that each step of the instruction execution requires the following time.

| Instruction Types | Steps | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Instruction fetch | Register read | ALU operation | Data memory access | Register write |
| Load | Y ps | X ps | 600 ps | Y ps | X ps |
| Store | Y ps | X ps | 600 ps | Y ps | |
| ALU | Y ps | X ps | 700 ps | | X ps |
| Branch | Y ps | X ps | 800 ps | | |

(a) If the single-cycle datapath implementation, where each instruction is executed in a single clock cycle, is used for implementing the processor above, the clock-cycle time is 3.6ns. On the other hand, if the pipelined datapath implementation, where each step of the instruction execution corresponds to a pipeline stage and each stage is performed in a single clock cycle and in a pipelining fashion, is used for implementing the processor, the clock-cycle time is 1.0ns. Compute X and Y, assuming that the memory access time is longer than the register access time.

(b) For the single-cycle datapath and pipelined datapath implementations, compute the execution time for each instruction type (unit: ns) and the number of clock cycles required for each instruction type.

(c) For the two processor implementations above, compute the program execution time (unit: ns) for the following program. Ignore any data hazards which could occur in the pipelined datapath.

```
 lw $2,  20($1)    (R2 ← Memory[R1+20])
and $12, $2, $5    (R12 ← R2 ∧ R5)
 or $13, $6, $2    (R13 ← R6 ∨ R2)
add $14, $2, $2    (R14 ← R2 + R2)
 sw $15, 100($13)    (R15 → Memory[R13+100])
```

平成２６年度　九州大学大学院システム情報科学府電気電子工学専攻
修士課程　入学試験問題

専門科目 (計算機工学) / Special subjects (Computer Engineering)



**【Q3】** The following is a binary search program which finds the position of a special input value "key" within an array "A."

```
int binary_search(int A[], int key, int imin, int imax)
{
 // continue searching while [imin,imax] is not empty
 while (imax >= imin)
   {
     /* calculate the midpoint for roughly equal partition */
     int imid = midpoint(imin, imax);

     // determine which subarray to search
     if (A[imid] < key)
       // change min index to search upper subarray
       imin = imid + 1;
     else if (A[imid] > key)
       // change max index to search lower subarray
       imax = imid - 1;
     else
       // key found at index imid
       return imid;
   }
 // key not found
 return KEY_NOT_FOUND;
}
```

[Quoted from WIKIPEDIA]

Answer the following questions.

(1) Describe a precondition on the input parameters for this binary search program in the following two ways.

1-1) Write the precondition in English.

1-2) Write the precondition as a logical expression.

(2) Describe a loop-invariant which holds just before the loop condition of the while statement in the following two ways.

2-1) Write the loop-invariant in English.

2-2) Write the loop-invariant as a logical expression.

(3) Describe an assertion for the result of this program (postcondition) in English which is required to hold on the return value and the input parameters.