

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 4 年度入学試験問題

【平成 2 3 年 8 月 2 5 日（木）、2 6 日（金）】

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, the 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)

(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事。
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】

行列 $A = \begin{pmatrix} 0 & x & 0 \\ x & 0 & -x \\ 0 & -x & 0 \end{pmatrix}$ について、以下の各問に答えよ。ただし x は実数である。

- (1) A の固有値をすべて求め、それらに対応する固有ベクトルを求めよ。
- (2) 任意の自然数 n に対して A^n を求めよ。
- (3) $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} A^n$ を求めよ。

Let $A = \begin{pmatrix} 0 & x & 0 \\ x & 0 & -x \\ 0 & -x & 0 \end{pmatrix}$, where x is a real number. Answer the following questions.

- (1) Find all eigenvalues of A and the corresponding eigenvectors.
- (2) Find an expression for A^n for any positive integer n .
- (3) Find an expression for $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} A^n$.

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事。
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】

2 つの関数 $x(t)$, $y(t)$ について, 次の連立微分方程式を解け。

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -2x - y + \cos t \\ \frac{dy}{dt} = -\frac{dx}{dt} - 6x \end{cases}$$

Solve the following simultaneous differential equations for two functions $x(t)$ and $y(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -2x - y + \cos t, \\ \frac{dy}{dt} = -\frac{dx}{dt} - 6x. \end{cases}$$

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事。
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。

(1) スカラー場 $\varphi(x, y, z)$, $\psi(x, y, z)$ について, 以下の式が成り立つことを証明せよ。

(a)
$$\nabla \frac{\psi}{\varphi} = \frac{\varphi \nabla \psi - \psi \nabla \varphi}{\varphi^2}$$

(b)
$$\nabla \times (\varphi \nabla \varphi) = \mathbf{0}$$

(2) 曲線 C を $\mathbf{r}(t) = \cos t \mathbf{i} + \sin t \mathbf{j} + 2t \mathbf{k}$ ($0 \leq t \leq \pi$) で定義する。曲線 C に沿う以下のスカラー場 (a) およびベクトル場 (b) の線積分を計算せよ。

(a)
$$\varphi = z(x^2 + y^2 + 2)$$

(b)
$$\mathbf{A} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j} + z^2 \mathbf{k}$$

Answer the following questions.

(1) Prove the following formulas for scalar fields $\varphi(x, y, z)$ and $\psi(x, y, z)$:

(a)
$$\nabla \frac{\psi}{\varphi} = \frac{\varphi \nabla \psi - \psi \nabla \varphi}{\varphi^2},$$

(b)
$$\nabla \times (\varphi \nabla \varphi) = \mathbf{0}.$$

(2) Let us define a curve C by $\mathbf{r}(t) = \cos t \mathbf{i} + \sin t \mathbf{j} + 2t \mathbf{k}$ ($0 \leq t \leq \pi$). Evaluate the line integrals for the following scalar field (a) and vector field (b) along the curve C :

(a)
$$\varphi = z(x^2 + y^2 + 2),$$

(b)
$$\mathbf{A} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j} + z^2 \mathbf{k}.$$

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事。
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】

次の各問に答えよ。

(1) $f(z) = \frac{1}{z-1}$ を $z=0$ でテイラー展開せよ。

(2) $g(z) = \frac{1}{z(z+1)}$ を $z=-1$ でローラン展開せよ。

Answer the following questions:

(1) Expand the function $f(z) = \frac{1}{z-1}$ in a Taylor series about $z=0$.

(2) Expand the function $g(z) = \frac{1}{z(z+1)}$ in a Laurent series about $z=-1$.

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．
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】

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ を, 平均 0, 分散 $\sigma^2 \in (0, \infty)$ の独立かつ同一の確率分布に従う確率変数であるとする．次の (1) ~ (5) の値を求めよ．ただし, 大数の法則と中心極限定理を用いて良い．また, 必要ならば, 標準正規分布の累積分布関数

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

を用いて良い．

$$(1) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (2) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (3) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \\ (4) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{1 \leq \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i < 2\right\}, \quad (5) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 0\right\}.$$

Let $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ denote independent and identically distributed random variables with mean 0 and variance $\sigma^2 \in (0, \infty)$. Find the values of the following (1) to (5). Here, you can use the law of large numbers and the central limit theorem. Also, if necessary, you can use the cumulative distribution function of the standard normal distribution:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx.$$

$$(1) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (2) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (3) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \\ (4) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{1 \leq \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i < 2\right\}, \quad (5) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 0\right\}.$$

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．
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) 以下のシーケントを自然演繹法で証明せよ．

(a) $A \vee B, \neg B \vdash A$ (DMP)

(b) $p \vee \neg q, \neg r \vee s, q, \neg s \vdash \neg(p \rightarrow r)$

但し，選言除去規則 ($\vee e$) の代わりに上の DMP を推論規則として用いよ．

(2) シーケント $p \rightarrow \neg q, r \rightarrow s \vdash (p \wedge r) \rightarrow (q \wedge s)$ のタブロー証明を試みよ．

証明に失敗すれば，反例を示せ．

(3) 以下の各命題について，(i) 否定形を書け．(ii) 実数の領域で，元の命題の真偽値を決定せよ．また，その理由を述べよ．

(a) $\forall x[x > -1 \rightarrow x^2 > 1]$

(b) $\forall x \forall y \forall z[x - (y - z) \neq (x - y) - z]$

(1) Give natural deduction proofs of the following sequents:

(a) $A \vee B, \neg B \vdash A$ (DMP),

(b) $p \vee \neg q, \neg r \vee s, q, \neg s \vdash \neg(p \rightarrow r)$.

Use the DMP above as an inference rule instead of the \vee -elimination rule ($\vee e$).

(2) Try to prove by tableaux the sequent $p \rightarrow \neg q, r \rightarrow s \vdash (p \wedge r) \rightarrow (q \wedge s)$.

If you fail it, show a counter example.

(3) For each of the following propositions, (i) write down its negation, and (ii) decide the truth value of the original proposition in the domain of real numbers, giving a brief reason.

(a) $\forall x[x > -1 \rightarrow x^2 > 1]$

(b) $\forall x \forall y \forall z[x - (y - z) \neq (x - y) - z]$

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 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 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、解答用紙の問題番号欄に解答した問題番号を記入すること。

【問 1】 図 1 の回路で、電源電圧 $e(t) = 12 \sin 2t$ V, 電流 $i_1(t) = 4 \sin 2t$ A, 容量 $C = \frac{1}{8}$ F である。

- (1) 電流 $i_2(t)$ を求めよ。
- (2) インダクタンス L , 抵抗 R の各値を求めよ。

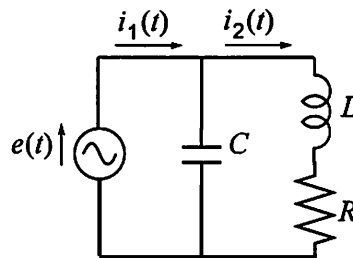


図 1

【問 2】 図 2 の回路において、2 端子対網 N のインピーダンス行列は $Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$ で与えられる。

- (1) 端子 2, 2' 間の開放電圧 V_2 を求めよ。
- (2) 電圧源 E を短絡除去して端子対 2-2' から左側を見たときのインピーダンス Z_{out} を求めよ。
- (3) $R_0 = 1 \Omega$, $z_{11} = 3 \Omega$, $z_{12} = z_{21} = -j \Omega$, $z_{22} = 2 \Omega$ とし、端子 2, 2' 間に 2Ω の抵抗を接続するとき、 V_2/E を求めよ。

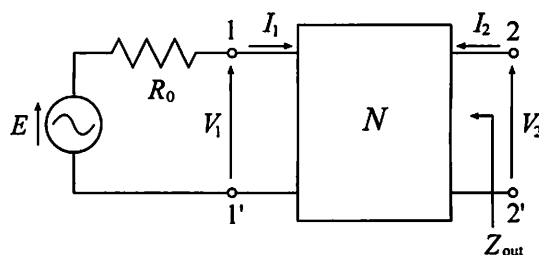


図 2

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

- (1) 端子対 1-1' 間が等価となるように、電圧源 V と内部インピーダンス Z の値を求めよ。
- (2) 端子対 1-1' 間に抵抗負荷 R を接続するとき、 R に流れる電流 I を求めよ。
- (3) 抵抗負荷 R で消費される電力が最大となる R の値を求めよ。

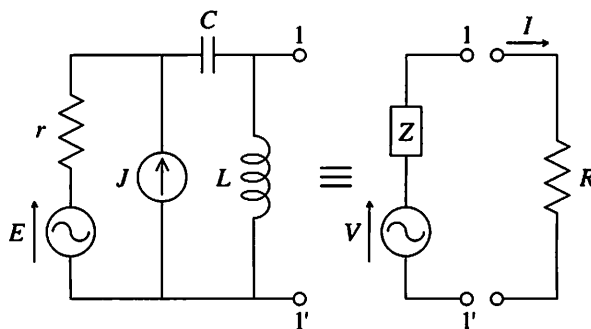


図 3

【問 4】 図 4 の回路において、 $t = 0$ でスイッチ S を開く。また、スイッチ S を開く直前に回路は定常状態にあるとする。このとき、次の問いに答えよ。

- (1) スイッチ S を開いた直後の電荷 $q(+0)$ と電流 $i(+0)$ を求めよ。
- (2) $t > 0$ における電荷 $q(t)$ と電流 $i(t)$ を求めよ。

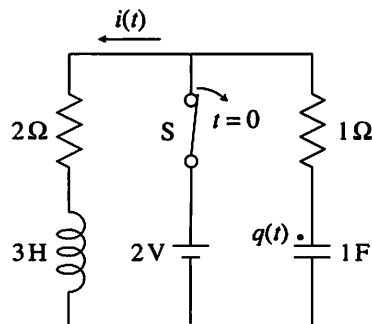


図 4

Circuit Theory

Choose three out of the four questions and fill out the “Chosen Question Number” column on each answer sheet.

【Q1】 Consider the circuit shown in Fig. 1, where the source voltage $e(t) = 12 \sin 2t$ V, the current $i_1(t) = 4 \sin 2t$ A, and the capacitance $C = \frac{1}{8}$ F.

- (1) Find the current $i_2(t)$.
- (2) Find the values of L and R .

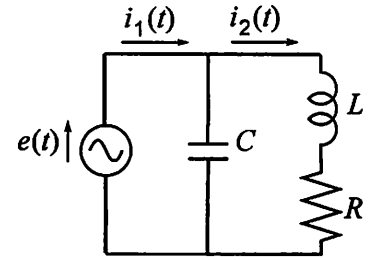


Fig.1

【Q2】 In the circuit shown in Fig. 2, the impedance matrix of the two-port N is given by $Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$.

- (1) Find the open-circuit voltage V_2 .
- (2) Find the impedance Z_{out} seen at terminals 2 and 2' with the voltage source E replaced by short circuit.
- (3) Find V_2/E when $R_0 = 1 \Omega$, $z_{11} = 3 \Omega$, $z_{12} = z_{21} = -j \Omega$, $z_{22} = 2 \Omega$ and a resistor of 2Ω is connected between 2 and 2'.

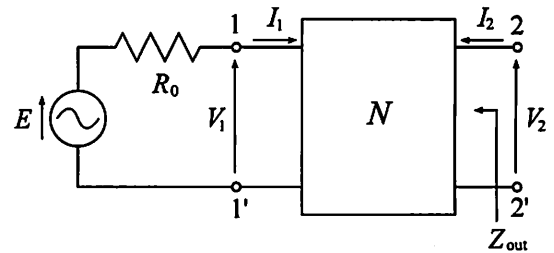


Fig.2

【Q3】 Consider the circuit shown in Fig. 3, where the sources E and J have the same angular frequency ω .

- (1) Find the voltage V and the internal impedance Z so that two one-port circuits with terminals 1-1' are equivalent.
- (2) Find the current I flowing in the resistive load R when R is connected between terminals 1 and 1'.
- (3) Find the value of R for which the effective power in R is maximized.

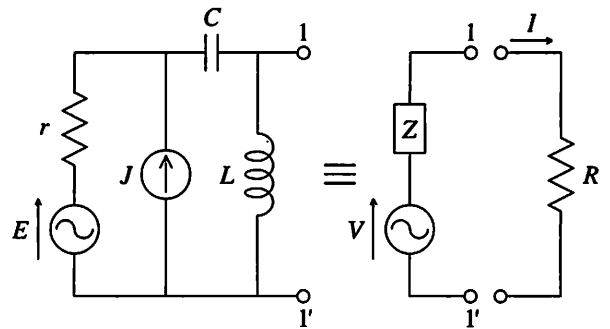


Fig.3

【Q4】 In the circuit shown in Fig.4, the switch S is opened at $t = 0$. Answer the following questions under the assumption that the circuit is in steady state just before the switch S is opened.

- (1) Find the charge $q(+0)$ and the current $i(+0)$ just after the switch S is opened at $t = 0$.
- (2) Find the charge $q(t)$ and the current $i(t)$ for $t > 0$.

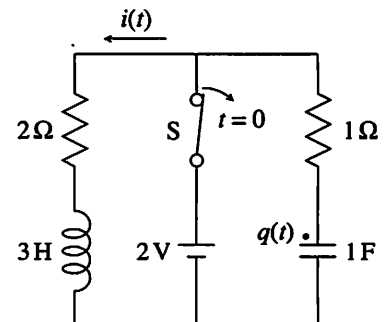


Fig.4

電子回路

試験問題

平成22年8月25日(木)

1. 図1に示す移相回路の伝達関数 $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$ を求めよ。次に、この移相回路の電圧利得および位相の周波数特性(概形)を描け。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

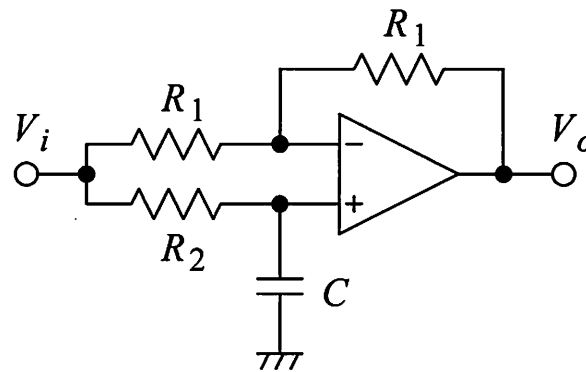


図1

2. 図2に示す4ビットのデジタル入力 (d_0, d_1, d_2, d_3) を持つDA変換器において、アナログ出力電圧 V_o はどのようにあらわされるか。但し、 d_0, d_1, d_2, d_3 は0又は1の値をとるものとし、スイッチ S_0, S_1, S_2, S_3 は各桁の入力に応じ、図に示すように切り替わるものとする。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

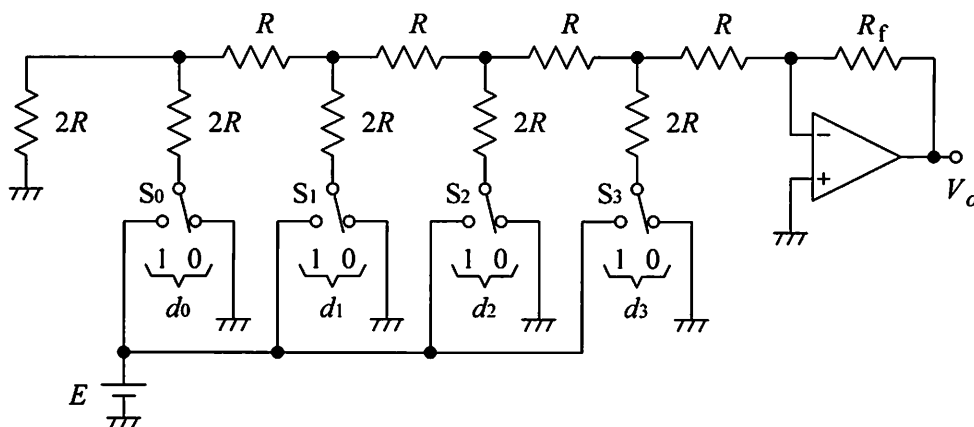


図2

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

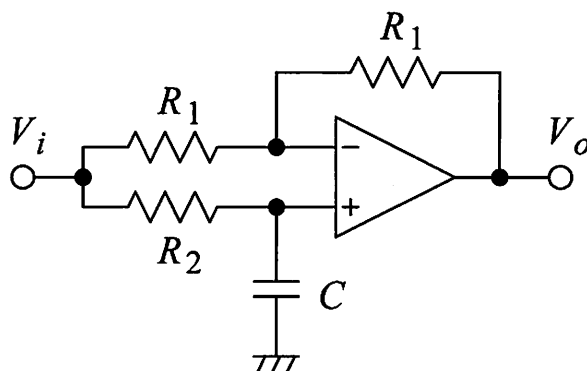


Fig. 1

2. Derive the analog output voltage V_o of the DA converter with 4bit digital inputs (d_0, d_1, d_2, d_3) as shown in Fig. 2. The individual bits d_0, d_1, d_2, d_3 have a value of "0" or "1", and are used to control switches S_0, S_1, S_2, S_3 , respectively as shown in the figure. The operational amplifier is assumed to be ideal.

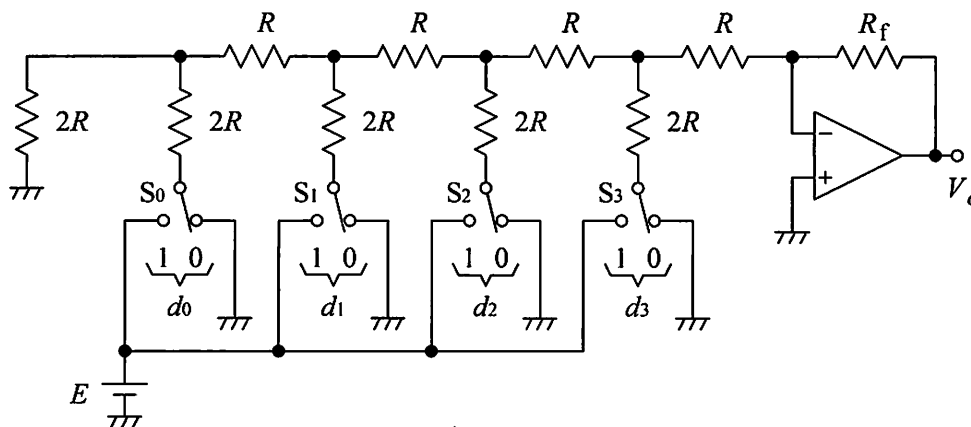


Fig. 2

平成 24 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 ー専門 I (制御工学) ー

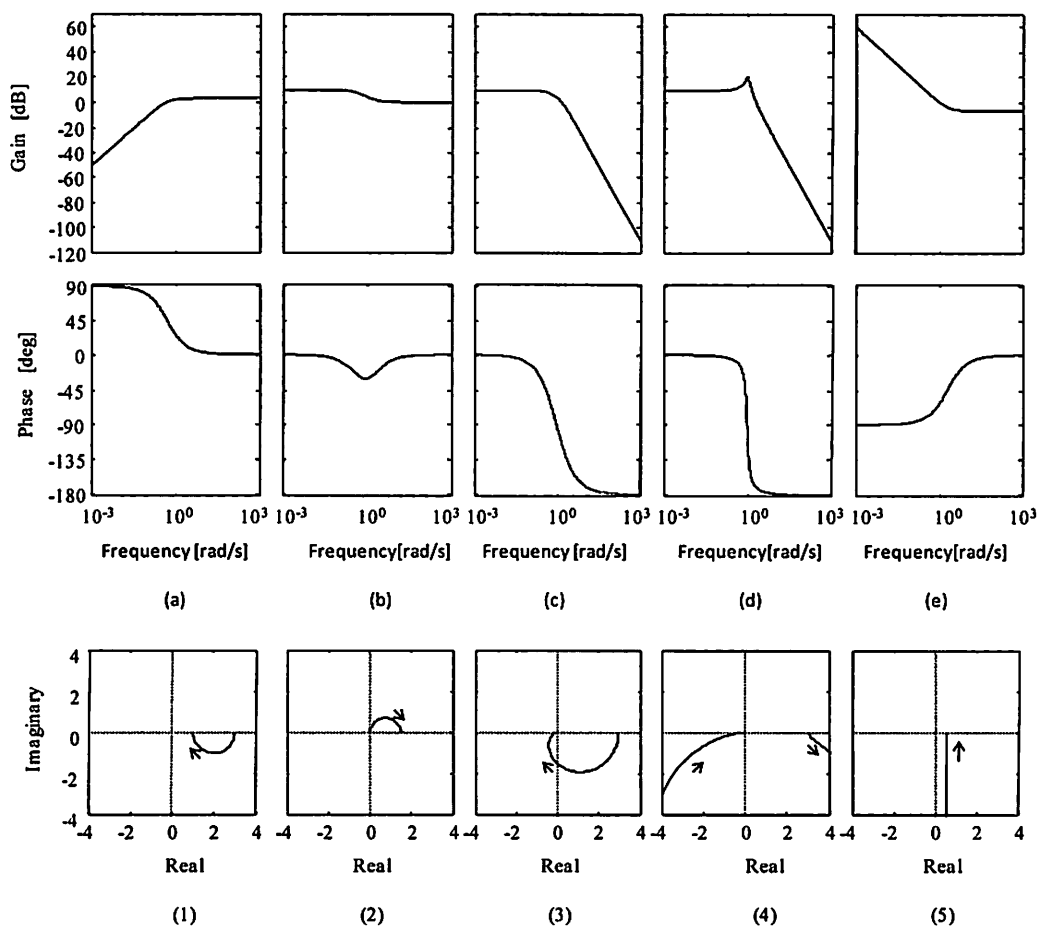
全 3 問

問題 1

次の伝達関数

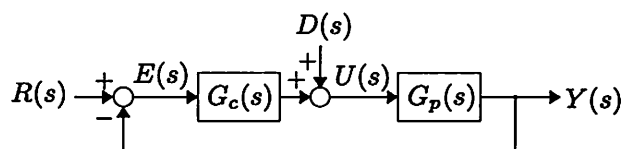
$$G_1(s) = \frac{1.5s}{s+0.5}, \quad G_2(s) = \frac{s+1.5}{s+0.5}, \quad G_3(s) = \frac{3}{s^2+2s+1}, \quad G_4(s) = \frac{3}{s^2+0.3s+1}, \quad G_5(s) = \frac{0.5s+1}{s}$$

のボード線図, ベクトル軌跡を下記の図より選べ.



問題 2

図で表されるフィードバック制御系がある。ここで、 $R(s), U(s), Y(s), D(s), E(s)$ は、それぞれ、目標値、操作量、出力、外乱、偏差のラプラス変換である。次の問いに答えよ。



1. $E(s)$ を $R(s)$ と $D(s)$ を用いて表す式を求めよ。ただし、式中には $R(s), D(s), E(s)$ 以外の信号のラプラス変換は含んではならない。
2. 目標値が単位ステップ関数であって、外乱が 0 のときに、定常偏差が 0 となるための条件を求めよ。
3. 外乱が単位ステップ関数であって、目標値が 0 のときに、定常偏差が 0 となるための条件を求めよ。
4. 目標値と外乱がいずれも単位ステップ関数のときに、定常偏差が 0 となるための条件を求めよ。

問題 3

次の伝達関数で表わされるシステムがある。

$$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{3s^2 + 12s + 11}{(s+1)(s+2)(s+3)}$$

ここで y はシステムの出力、 u は入力である。

- 1) このシステムを状態方程式と出力方程式を用いて次のように表わす。

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$$

行列 A, B, C の要素の値を求めよ。ただし、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ となるようにせよ。

- 2) C の要素が変化したとする。 c_1, c_2, c_3 がどのような値のとき、このシステムは可観測でなくなるか答えよ。

**Questions for Entrance Examination to Master Course, Department of
Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Information
Science and Electrical Engineering, Kyushu University, 2012
– Special Subjects I, Control Engineering –**

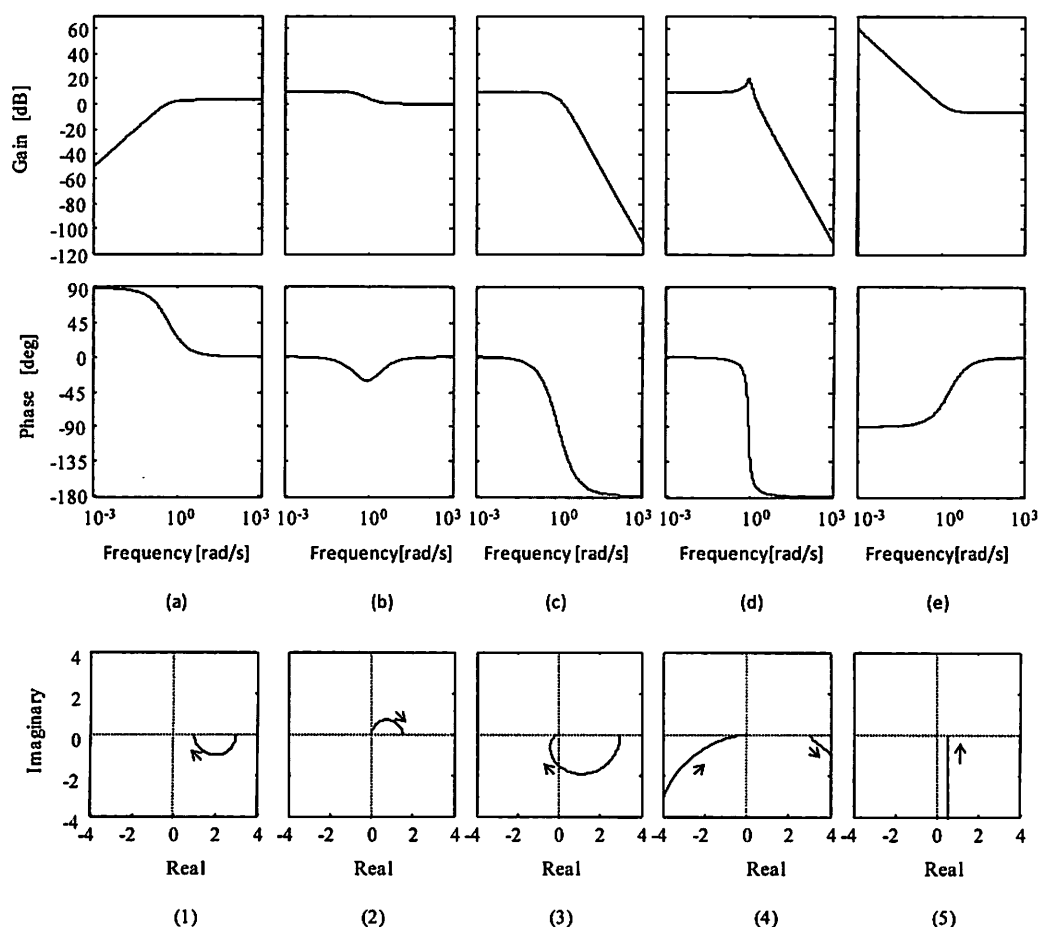
Three questions in total

Question 1

Consider the following transfer functions.

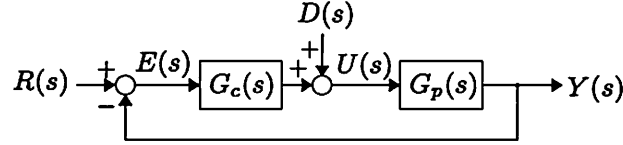
$$G_1(s) = \frac{1.5s}{s+0.5}, \quad G_2(s) = \frac{s+1.5}{s+0.5}, \quad G_3(s) = \frac{3}{s^2+2s+1}, \quad G_4(s) = \frac{3}{s^2+0.3s+1}, \quad G_5(s) = \frac{0.5s+1}{s},$$

where s is the Laplace operator. Choose the Bode plot and the vector locus that represent the frequency response of each transfer function.



Question 2

Consider a feedback control system depicted in the figure below, where $R(s)$, $U(s)$, $Y(s)$, $D(s)$ and $E(s)$ are Laplace transforms of the reference, the control input, the output, the disturbance and the error, respectively. Answer the following questions.



1. Express $E(s)$ in terms of $R(s)$ and $D(s)$. Do not include in the expression any Laplace transforms of signals other than $R(s)$, $D(s)$ and $E(s)$.
2. Determine the condition under which the steady state error becomes 0 when the reference is the unit step function and the disturbance is 0.
3. State the condition for the steady state error to become 0 when the disturbance is the unit step function while the reference is 0.
4. Find the condition that guarantees zero steady state error when both the reference and the disturbance are the unit step function.

Question 3

Consider a system whose relation between the input and the output is represented by the following equation:

$$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{3s^2 + 12s + 11}{(s+1)(s+2)(s+3)},$$

where y is the output of the system, u the input.

- 1) Represent the system by a state equation and an output equation as follows:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx$$

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}.$$

Evaluate all the elements of the matrices A , B and C under the condition $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$.

- 2) Suppose that the values of the elements of C are changed. Find values of c_1 , c_2 and c_3 such that the system is unobservable.

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 21 枚、解答用紙は 4 枚である。

You are given 21 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。

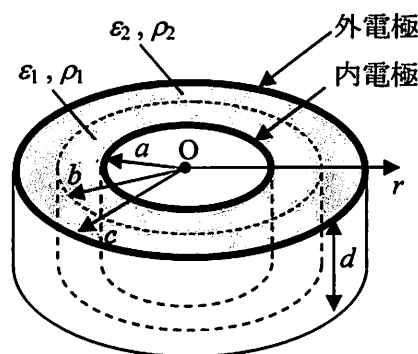
Your answers should be written on the answer sheets. Use one sheet for each question. You may continue to write your answer on the back of the answer sheets if you need more space. In such a case, please indicate this clearly.

問1 半径 2.0 cm の帯電した導体球が真空中にある。導体球の表面は、比誘電率が 2.0 の厚さ 1.0 cm の誘電体で覆われている。導体球の中心から距離 10 cm の位置の電界強度は $1.0 \times 10^2\text{ V/m}$ であった。解答に当たっては単位も明記すること。また、真空の誘電率は $\epsilon_0\text{ [F/m]}$ としてよい。

- (1) 導体表面の面電荷密度を求めよ。
- (2) 導体表面の単位面積あたりに働く力の大きさを求めよ。
- (3) 導体の電位を求めよ。
- (4) 誘電体の外表面の分極面電荷密度を求めよ。
- (5) 静電容量を求めよ。

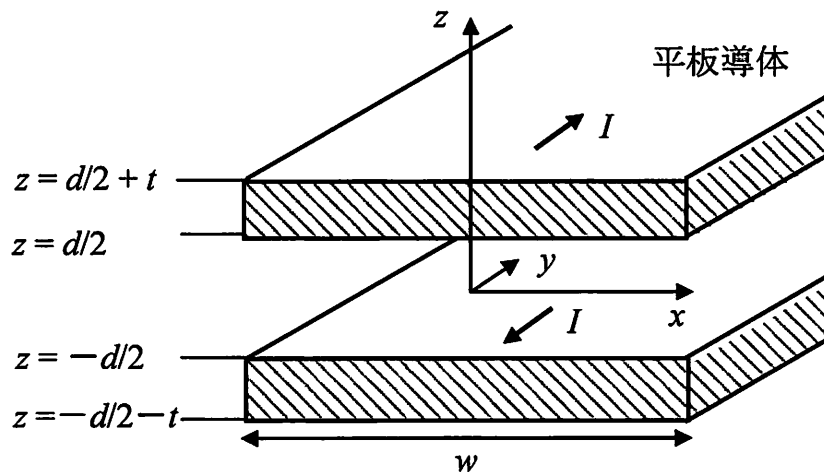
問2 図に示すように、真空中（誘電率 ϵ_0 ）にある同軸円筒状電極（厚さ d ）において、内外電極間は同軸状の2層の導電性誘電体（誘電率、抵抗率はそれぞれ ϵ_1, ρ_1 と ϵ_2, ρ_2 ）で満たされている。外電極に対して内電極に電位差 V を印加した。

- (1) 内外電極間の抵抗を求めよ。
- (2) 内外2層の導電性誘電体内の電流密度 j_1, j_2 と電界 E_1, E_2 をそれぞれ求めよ。
- (3) 内外電極に生じる全電荷 Q_a と Q_c をそれぞれ求めよ。
- (4) 2層の導電性誘電体の境界層 ($r = b$) に生じる全自由電荷 Q_b と全分極電荷 Q_{bp} を求めよ。



問3 図に示すように、厚さ t 、幅 w の無限長平板導体を間隔 d で平行に配置し、平行平板ケーブルを形成する。ただし、導体の抵抗率を ρ とし、透磁率は全ての空間で μ とする。導体には図に示すように一様電流 I が流れている。ただし、 $w \gg d, t$ とし、端の効果は無視できるとする。

- (1) 導体内外の領域 $(-d/2 - t < z < d/2 + t)$ における磁界 $H_x(z)$ を求めよ。ただし、 $|z| > d/2 + t$ では $H_x = 0$ とする。
- (2) 導体内部及び導体間の空間に蓄えられる単位長さ当たりの磁気エネルギー U_{m1} と U_{m2} を求め、この結果からケーブルの単位長さ当たりの内部インダクタンス L_i と外部インダクタンス L_o を求めよ。
- (3) 上部導体の表面 ($z = d/2, z = d/2 + t$) におけるポインティングベクトル \mathbf{S} を求めよ。この結果から上部の平板導体での単位長さ当たり電力損が $P = \rho(wt)^{-1} I^2$ となることを示せ。

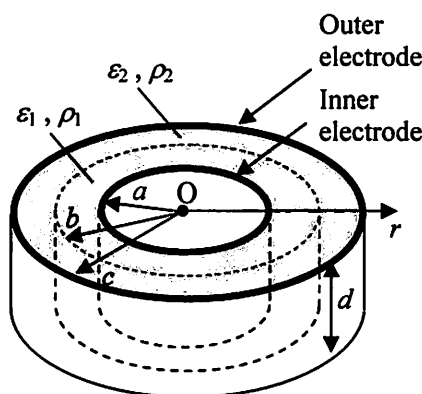


[Problem 1] A spherical conductor with a radius of 2.0 cm is placed in a vacuum. The surface of the conductor is covered by a dielectric material whose relative permittivity is 2.0 and thickness is 1.0 cm. The electric field strength is 1.0×10^2 V/m at 10 cm from the center of the conductor. Clearly show the physical units in the answers. Use ϵ_0 [F/m] for the permittivity of a vacuum.

- (1) Give the charge density per unit area on the surface of the conductor.
- (2) Give the magnitude of the electrostatic force per unit area on the surface of the conductor.
- (3) Give the electric potential of the conductor.
- (4) Give the polarization charge density per unit area on the outer surface of the dielectric material.
- (5) Give the electric capacitance.

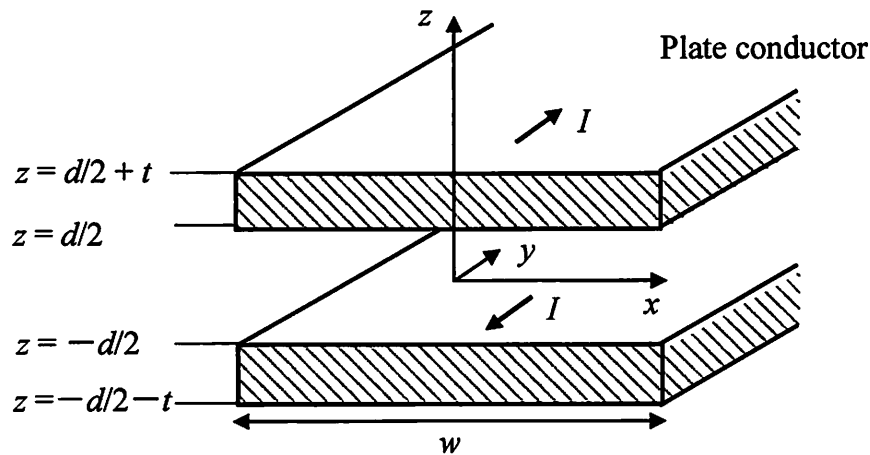
[Problem 2] As shown in the figure, a pair of coaxial cylindrical electrodes (thickness d) in a vacuum with permittivity ϵ_0 is filled with two coaxial layers of electrically conductive dielectric, whose permittivity and resistivity are ϵ_1, ρ_1 for the inner layer and ϵ_2, ρ_2 for the outer layer. A voltage difference V is applied to the inner electrode for the outer one.

- (1) Give the electric resistance between the inner and outer electrodes.
- (2) Give the magnitude of current density and electric field, j_1 and E_1 for the inner dielectric layer, and j_2 and E_2 for the outer one.
- (3) Give the total electric charges Q_a and Q_c induced in the inner and outer electrodes, respectively.
- (4) Give the total electric free charge and polarization one, Q_b and Q_{bP} , generated at the boundary ($r = b$) between the two dielectric layers.



[Problem 3] As shown in the figure, there are two plate conductors with width w and thickness t . They are placed in parallel with distance d , and form a parallel-plate transmission line, where $w \gg d, t$. The resistivity of conductors is ρ , and the permeability is μ in all space. The current I flows uniformly in the conductors. Here, we assume that the edge effect can be neglected.

- (1) Give the magnetic field $H_x(z)$ in the region of $-d/2 - t < z < d/2 + t$. Note that $H_x = 0$ for $|z| > d/2 + t$.
- (2) Give the magnetic energies U_{m1} and U_{m2} per unit length that are stored in the conductors and the space between conductors, respectively. Also give the internal inductance L_i and external inductance L_o of the transmission line per unit length.
- (3) Give the Poynting vector \mathbf{S} at the surface of the upper conductor, i.e. at $z = d/2$ and $z = d/2 + t$. Also show that the loss in the upper conductor is given by $P = \rho (wt)^{-1} I^2$ per unit length by using the Poynting vector \mathbf{S} .



半導体デバイス

1

下記の設問に答えよ。

- (1) 金属、半導体、絶縁体のバンド図を模式的に示し、半導体の導電率が金属と絶縁体の中間の値を有することを説明せよ。
- (2) 外因性半導体では、温度の低下につれて導電率が減少する温度領域が存在する。その理由を説明せよ。
- (3) 3つの半導体 A, B, C がある。これらの電子の有効質量(m_e^*)、正孔の有効質量(m_h^*)、エネルギーギャップ(禁制帯幅)(E_g)の大小関係は以下の表に示すようであった。また、半導体 A と C は直接遷移型、半導体 B は間接遷移型であった。半導体 A, B, C のエネルギーバンド構造を模式的に描け。この場合、縦軸を電子のエネルギー(E)、横軸を波数(k)で表示すること。また、図にはエネルギーギャップ(禁制帯幅)(E_g)を記入せよ。

	半導体 A	半導体 B	半導体 C
m_e^*	大	中	小
m_h^*	小	大	中
E_g	中	小	大
遷移型	直接	間接	直接

- (4) ①直接遷移型半導体、および②間接遷移型半導体にはどのようなものがあるか。各々に対応する半導体の化学式を1つずつ列挙せよ。
- (5) 発光デバイス材料としては、直接遷移型半導体と間接遷移型半導体のいずれが適するか？理由と共に答えよ。

2

リン(P)原子(密度: $1.5 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$)を含むシリコン(Si)結晶がある。この Si に関して、以下の問いに答えよ。ただし、300K における Si の電子及び正孔の移動度を各々 $0.15 \text{m}^2/\text{Vs}$ 、 $0.05 \text{m}^2/\text{Vs}$ 、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) Si 中の自由電子密度、正孔密度を求めよ。
- (2) この Si の抵抗率を求めよ。
- (3) この Si を 1 辺が 1.0cm の立方体に切り出し、1 組の向かい合う 2 面に電極を形成した。電極間の抵抗を求めよ。
- (4) (3)の立方体 Si の電極間に 30V を印加した。Si 中の電子のドリフト速度を求めよ。
- (5) この Si に、さらに $1.0 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$ のボロン(B)原子を添加した。Si の抵抗率を求めよ。

3

(1) 半導体中の正孔の流れによる電流 J_p を表す式を、正孔の流れは x 方向の一次元であると仮定して記せ。ただし、電気素量を q 、正孔の密度を p 、正孔の移動度を μ_p 、電界を E 、正孔の拡散係数を D_p とする。

(2) 図 1(a) のように厚さ x_B の半導体の薄板に、 x 方向に図 1(b) に示す密度分布 $N_a(x)$ をもつアクセプタをドーピングした。以下の問いに答えよ。

(a) 半導体内部には電界が発生する。その理由を説明せよ。なお、適宜、図を用いて記述すること。

(b) 電界は正か負か。(x の正の方向に向かう電界を正とする。)

(c) 電界 E を、図 1(b) 中に定義される λ 、絶対温度 T 、ボルツマン定数 k 、電気素量 q を用いて表せ。ただし、 $p \approx N_a(x)$ と近似できるものとする。

(d) $x = 0 \sim x_B$ の間のエネルギーバンド図を描け。フェルミ準位 E_f 、伝導帯下端のエネルギー E_C 、価電子帯上端のエネルギー E_V を明示せよ。

(3) 図 1(a) の半導体薄板の両側に n 型半導体を接合し、 $x = 0$ 側をエミッタとしてバイポーラ接合トランジスタを作った。ベース層のアクセプタ密度が N_0 で一定のバイポーラ接合トランジスタと比べて、電流増幅率は大きくなるか、小さくなるかを理由とともに述べよ。

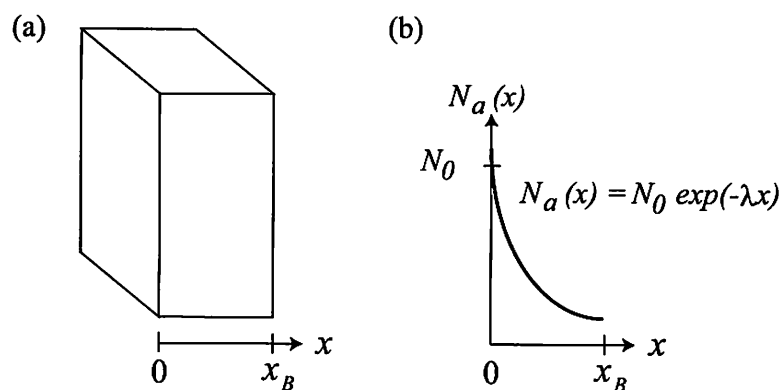


図 1

4

図2に示す断面構造をもち、しきい電圧が V_{th} の MOSFET を $V_G - V_{th} = V_D$ となるようにバイアスしたときのチャネル内電荷密度 $Q_I(x)$ を求めてみよう. なお, V_G , V_D はそれぞれゲート電圧, ドレイン電圧であり, MOSFET の飽和領域における電流-電圧特性は, 以下のよう表せるものとする.

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_{th})^2 \quad (1)$$

ここで I_D はドレイン電流, μ_n はチャネル内の自由電子の移動度, C_{OX} は単位面積当たりのゲート酸化膜の容量, W はチャネル幅, L はチャネル長である.

- (1) $Q_I(0)$ はいくらか.
- (2) $Q_I(L)$ はいくらか.
- (3) 位置 x におけるチャネル電位を $V_c(x)$ とする. x における x 方向の電界 $E(x)$ はいくらか.
- (4) I_D を μ_n , C_{OX} , W , V_G , V_{th} , $V_c(x)$ を用いて表せ.
- (5) 上の (4) で導いた式を x については $0 \sim x$ の範囲で積分して I_D を $V_c(x)$ および x の関数として表せ.
- (6) 飽和領域のドレイン電流が式 (1) で表されることを利用して $V_c(x)$ を導出せよ.
- (7) $Q_I(x)$ を導出せよ.

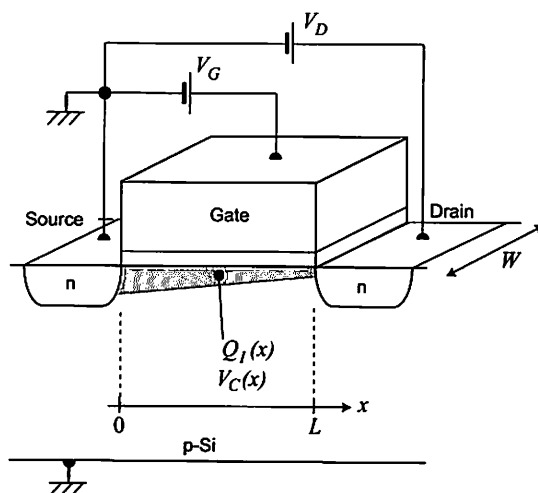


図 2

Semiconductor Device

1

Answer the following questions.

- (1) Sketch energy band diagrams for i) a metal, ii) a semiconductor, and iii) an insulator. Moreover, describe the reason why the electrical conductivity of a semiconductor shows an intermediate value between those of a metal and an insulator by using the diagrams.
- (2) For an extrinsic semiconductor, there is a temperature region, where the electrical conductivity decreases with decreasing temperature. Describe the reason.
- (3) There are three semiconductors, i.e., A, B, and C, whose electron effective mass (m_e^*), hole effective mass (m_h^*), and energy gap (E_g) are qualitatively summarized in the table below. In addition, Semiconductors A and C have a direct-energy-gap, and semiconductor C has an indirect-energy-gap. Sketch energy band diagrams for semiconductors A, B, and C. Use the vertical axis of energy (E) and horizontal axis of wave number (k). The energy gap (E_g) should be given in the drawings.

	A	B	C
m_e^*	large	medium	small
m_h^*	small	large	medium
E_g	medium	small	large
band structure	direct	indirect	direct

- (4) Give i) an example of a chemical formula of a semiconductor material with a direct-energy-gap and ii) that with an indirect-energy-gap.
- (5) Which is suitable for light-emitting device application, a direct-energy-gap semiconductor or an indirect-energy-gap semiconductor? Describe with the reason.

2

A Si crystal doped with phosphorus (P) at a concentration of $1.5 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$ is held at a temperature of 300K. Assume that the drift mobilities of free electrons and holes are 0.15 and $0.05 \text{m}^2/\text{Vs}$, respectively, the intrinsic carrier concentration is $1.5 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$, and the elementary charge is $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$.

- (1) Evaluate the concentrations of free electrons and holes in the Si crystal.
- (2) Evaluate the resistivity of the Si crystal.
- (3) The Si crystal is cut into a cube of 1cm x 1cm x 1cm in dimension, and a pair of electrodes are formed on a pair of parallel faces of the cube. Evaluate the resistance between the electrodes.
- (4) A bias of 30V is applied between the electrodes of the Si cube of (3). Evaluate the drift velocity of electrons in the cube.
- (5) In this Si crystal, boron (B) atoms are additionally doped at a concentration of $1.0 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$. Evaluate the resistivity of the Si crystal.

3

(1) Describe an equation which expresses hole current J_p in a semiconductor using elementary charge q , hole density p , hole mobility μ_p , electric field in the semiconductor E , and diffusion constant of holes D_p . Assume that hole flow is one dimensional along axis x .

(2) Consider a thin slice of semiconductor shown in Fig. 1(a) having thickness x_B . The slice was doped with acceptors whose density changes along x direction and is $N_a(x)$ shown in Fig. 1(b). Answer the following questions.

(a) Electric field E is built in the semiconductor. Explain the reason why the electric field is built in. Draw schematic illustration if it is convenient.

(b) Is the electric field positive or negative? (Note that field is positive when its arrow heads for positive x .)

(c) Express the electric field E using λ which is defined by the equation in Fig. 1(b), absolute temperature T , Boltzmann constant k , elementary charge q . Assume $p \approx N_a(x)$.

(d) Draw an energy band diagram of the region from $x = 0$ to x_B . Indicate Fermi energy E_f , energy at the conduction band minimum E_C , and energy at the valence band maximum E_V in the band diagram.

(3) Consider an npn bipolar junction transistor (BJT) which is made by using the p-type slice as the base and is operated by using the junction at $x = 0$ as the emitter junction. Compare the value of the current amplification factor of this BJT with that of a BJT whose base has a constant doping N_0 . Also describe reason for your answer.

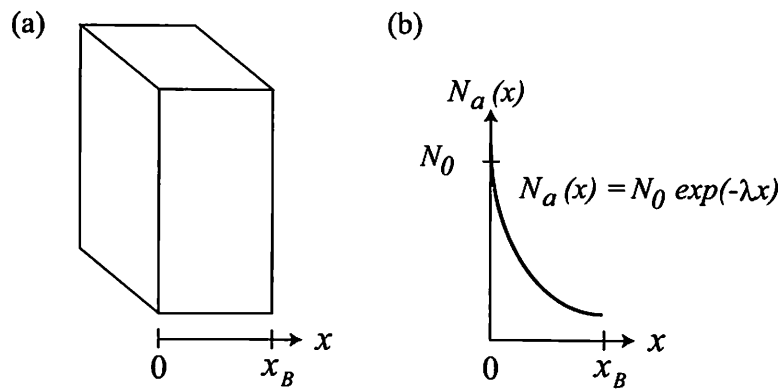


Fig. 1

4

Consider a MOSFET whose cross section is schematically illustrated in Fig. 2. The MOSFET has threshold voltage V_{th} . Let us derive channel charge $Q_I(x)$ when the MOSFET is biased to have the relation $V_G - V_{th} = V_D$, where V_G and V_D are gate voltage and drain voltage, respectively. Assume that the current-voltage characteristic in the saturation region is expressed by the following equation.

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{OX} \frac{W}{L} (V_G - V_{th})^2, \quad (1)$$

where I_D is drain current, μ_n is the mobility of free electrons in the channel, C_{OX} is the gate oxide capacitance per unit area, W is channel width, and L is channel length.

(1) Derive $Q_I(0)$.

(2) Derive $Q_I(L)$.

(3) Derive electric field at x , $E(x)$, when the channel potential at x is $V_c(x)$.

(4) Express I_D using μ_n , C_{OX} , W , V_G , V_{th} , and $V_c(x)$.

(5) Carry out integration of the equation derived in the above (4) in terms of x from 0 to x to express I_D using $V_c(x)$ and x .

(6) Derive $V_c(x)$ by taking equation (1) into account.

(7) Derive $Q_I(x)$.

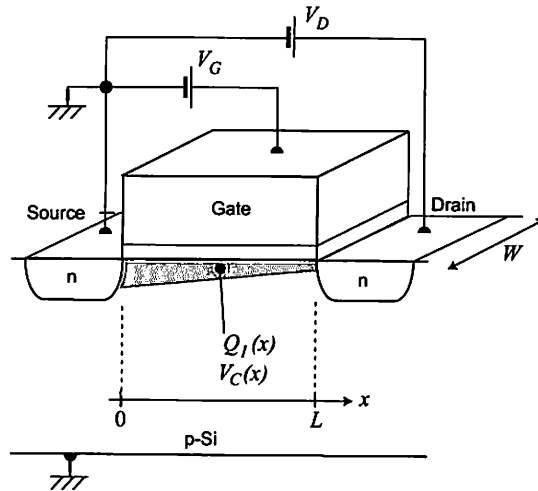


Fig. 2

計算機工学 (Computer Engineering)

(8枚中の1)

問題問1～問3全てに解答すること。問題問1～問3ごとに解答用紙を別にする。

Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

【問1】論理代数において以下の等式が成り立つことを証明せよ。

$$ac\bar{e}f + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f} = ab\bar{e} + ac\bar{e}f + a\bar{d}\bar{e} + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f}$$

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の2)

問題 問1～問3 全てに解答すること。問題 問1～問3 ごとに解答用紙を別にする事。
Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

【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	1100ps	400ps	700ps	1100ps	400ps
ストア命令	1100ps	400ps	700ps	1100ps	
演算命令	1100ps	400ps	700ps		400ps
分岐命令	1100ps	400ps	800ps		

(a) 以下の3種類のプロセッサ構成方式を採った場合のクロックサイクル時間（最小値、単位は ns）、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。

- * シングルサイクル・データパス：1 命令の実行を 1 クロックサイクルで実行。
- * マルチサイクル・データパス：上記の各ステップを 1 クロックサイクルで実行。
- * 命令パイプライン処理：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。

(b) 上記3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($2)  (R15 → Memory [R2+100])
```

- (c) 上記 (b) のプログラムには 4 つのフロー依存関係が存在する。どの命令がどの命令にどのレジスタ（データ）に関して依存しているかをすべて列挙せよ。
- (d) 上記 (c) のフロー依存関係のうち、上記 (a) の命令パイプライン処理で実行した際に実際にデータハザードを生じさせるものを示せ。

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の3)

問題問1～問3全てに解答すること。問題問1～問3ごとに解答用紙を別にする。

Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

-
- (e) 上記(d)のデータハザードをパイプラインストールによって対処した場合の上記(b)のプログラムの実行時間(単位はns)を求めよ。

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の4)

問題 問1～問3 全てに解答すること。問題 問1～問3 ごとに解答用紙を別にする。

Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

【問3】 自然数 a と b を入力とし、自然数 q と r を出力とする以下のプログラムについて下記の問に答えよ。

```
begin
  q := 0;
  r := a;
  while r >= b do
    begin
      q := q + 1;
      r := r - b
    end
  end
```

- (1) 入力 $a = 18$, $b = 7$ に対して、このプログラムを実行した結果得られる出力 q と r の値は、それぞれいくつになるか？
- (2) $a = 18$, $b = 0$ に対して、このプログラムを実行するとどうなるか？
- (3) 上のプログラムは、 a を b で割った商 q と余り r を求めることを意図したプログラムである。このプログラムが正しく動作するためには、入力 a と b に対してどのような前提条件が成立っていなければならないか？
- (4) 出力 q と r が、それぞれ a を b で割った商と余りであるということを表す論理式を書け。

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の5)

問題問1～問3全てに解答すること。問題問1～問3ごとに解答用紙を別にする。

Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

【Q1】 Prove the following logic equation in logic algebra.

$$ac\bar{e}f + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f} = ab\bar{e} + ac\bar{e}f + a\bar{d}\bar{e} + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f}$$

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の6)

問題 問1～問3 全てに解答すること。問題 問1～問3 ごとに解答用紙を別にする事。
Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

【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	1100ps	400ps	700ps	1100ps	400ps
Store	1100ps	400ps	700ps	1100ps	
ALU	1100ps	400ps	700ps		400ps
Branch	1100ps	400ps	800ps		

- (a) For the following three different processor implementations, compute the clock-cycle time (minimum value, unit: ns), the execution time for each instruction type (unit: ns), and the number of clock cycles required for each instruction type.
- * Single-cycle datapath: Each instruction is executed in a single clock cycle.
 - * Multi-cycle datapath: Each step of the instruction execution is performed in a single clock cycle.
 - * Pipelined datapath: 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.
- (b) For the three 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($2) (R15 → Memory[R2+100])
```

- (c) There are four data dependences in the program above. Identify all these data dependences by describing which instruction depends on which instruction through which register.

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の7)

問題問1～問3全てに解答すること。問題問1～問3ごとに解答用紙を別にする。

Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

-
- (d) Show which data dependences actually cause data hazards in the pipelined datapath.
- (e) Compute the actual program execution time (unit: ns) when all the data hazards above are resolved by means of pipeline stall.

計算機工学 (Computer Engineering)
(8枚中の8)

問題問1～問3全てに解答すること。問題問1～問3ごとに解答用紙を別にする。

Answer the following questions; Q1～Q3. Use a separate answer sheet for questions; Q1～Q3.

【Q3】 The following program inputs two natural numbers a and b , and outputs two natural numbers q and r .

```
begin
  q := 0;
  r := a;
  while r >= b do
    begin
      q := q + 1;
      r := r - b
    end
  end
```

Answer the following questions.

- (1) Given the inputs $a = 18$ and $b = 7$, what are the output values of q and r when the above program is executed?
- (2) What happens when the inputs $a = 18$ and $b = 0$ are given for the above program?
- (3) The above program is intended to calculate the quotient q and remainder r for a divided by b . Specify the condition on the inputs a and b which guarantees that the above program outputs the correct answers.
- (4) Write an logical expression which represents that q and r are respectively the quotient and the remainder for a divided by b .