

九州大学大学院システム情報科学府

電気電子工学専攻

令和8年度入学試験問題

【令和7年8月26日（火）】

数学 (Mathematics)

(1/6)

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 the problem sheets until the start of examination is announced.

2. 問題用紙は表紙を含め6ページ、解答用紙は3枚つづり(1分野につき1枚)である。

You are given 6-page problem sheets including this cover page, and 3 answer sheets (1 sheet for each field).

3. 線形代数, 解析学・微積分の2分野に加えて, ベクトル解析および確率・統計から1分野を選択し, 合計3分野について解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。

Answer three fields in total, including Linear algebra and Analysis and calculus, and either Vector analysis or Probability and statistics. 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	解析学・微積分	Analysis and calculus	3
3	ベクトル解析	Vector analysis	4
4	確率・統計	Probability and statistics	6

4. 解答用紙の全部に, 専攻名, 受験番号および氏名を記入すること。3枚目の解答用紙については, 選択した分野番号(3または4)を○で囲むこと。

Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the department name, your examinee number and your name. Mark the selected field number (3 or 4) with a circle on the third answer sheet.

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

6. 解答は, 日本語, 英語のいずれかで記入すること。

Your answers must be written in Japanese or English.

数学 (Mathematics)

(2/6)

分野毎に解答用紙を別にする事。
Use a separate answer sheet for each field.

1. 【線形代数 (Linear algebra) 分野】

- (1) 次の3つのベクトル \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 , \mathbf{a}_3 について以下の問いに答えよ。ただし, x, y, z は実数である。

$$\mathbf{a}_1 = \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_2 = \begin{bmatrix} -1 \\ y \\ 3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_3 = \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \\ z \end{bmatrix}$$

- (a) \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 , \mathbf{a}_3 が互いに直交するとき, x, y, z の値を求めよ。
(b) $x = 2, y = 1, z = -1$ とし, 行列 $A = [\mathbf{a}_1 \ \mathbf{a}_2 \ \mathbf{a}_3]$ とする。任意の正整数 n に対して, A^n を求めよ。
- (2) E_d を全ての成分が1である d 次正方行列, I_d を d 次単位行列とする。 $d = 2, 3, 4$ のそれぞれの場合について, 行列 $E_d - dI_d$ の階数を求めよ。

- (1) Answer the following questions about the three vectors \mathbf{a}_1 , \mathbf{a}_2 , and \mathbf{a}_3 below, where x, y , and z are real numbers.

$$\mathbf{a}_1 = \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_2 = \begin{bmatrix} -1 \\ y \\ 3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{a}_3 = \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \\ z \end{bmatrix}.$$

- (a) Find the values of x, y , and z such that $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2$, and \mathbf{a}_3 are mutually orthogonal.
(b) Let $x = 2, y = 1$, and $z = -1$. Define the matrix $A = [\mathbf{a}_1 \ \mathbf{a}_2 \ \mathbf{a}_3]$. For an arbitrary positive integer n , find A^n .
- (2) Let E_d denote the square matrix of order d whose entries are all 1, and I_d the identity matrix of order d . For $d = 2, 3$, and 4, find the rank of the matrix $E_d - dI_d$.

数学 (Mathematics)

(3/6)

分野毎に解答用紙を別にする事。
Use a separate answer sheet for each field.

2. 【解析学・微積分 (Analysis and calculus) 分野】

(1) 次の積分を計算せよ。ただし a, b は正の定数である。

$$\int_D \frac{x^2 + y^2}{(x + y)^3} dx dy, \quad D = \{(x, y) : a \leq x + y \leq b, x \geq 0, y \geq 0\}$$

(2) 次の微分方程式の一般解を求めよ。

$$\frac{dy}{dx} = \cos\left(\frac{y}{x}\right) + \frac{y}{x} + 1$$

(3) 閉曲線 C に沿った複素積分 $\oint_C \frac{z^2}{(z^2 + 1)^2} dz$ を求めよ。ただし、 C は円 $|z| = r$ ($r > 1$) とする。

(1) Calculate the following integral, where a and b are positive constants.

$$\int_D \frac{x^2 + y^2}{(x + y)^3} dx dy, \quad D = \{(x, y) : a \leq x + y \leq b, x \geq 0, y \geq 0\}.$$

(2) Find the general solution to the following differential equation.

$$\frac{dy}{dx} = \cos\left(\frac{y}{x}\right) + \frac{y}{x} + 1.$$

(3) Calculate the complex integral $\oint_C \frac{z^2}{(z^2 + 1)^2} dz$, where the closed contour C is given by the circle $|z| = r$ ($r > 1$).

数学 (Mathematics)

(4/6)

分野毎に解答用紙を別にする事。
Use a separate answer sheet for each field.

3. 【ベクトル解析 (Vector analysis) 分野】

直交座標系において, x, y, z 軸方向の単位ベクトルをそれぞれ $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ とする. 面 $S_1 \sim S_4$ を次のように定義する:

$$S_1: 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4, \quad z = 0$$

$$S_2: x^2 + y^2 = 4, \quad 0 \leq z \leq 5$$

$$S_3: 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4, \quad z = 5$$

$$S_4: x^2 + y^2 = 1, \quad 0 \leq z \leq 5$$

閉曲面 S_c を $S_c = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4$ とする. 面 S_2 上の経路 C_1 を

$$\begin{aligned} x &= 2 \cos t \\ y &= 2 \sin t \quad (0 \leq t \leq 10\pi) \\ z &= \frac{t}{2\pi} \end{aligned}$$

とする. 次の各問に答えよ.

- (1) ベクトル場 \mathbf{F} を $\mathbf{F} = -y\mathbf{i} + x\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ とする. 経路 C_1 に沿って, 点 $A(2, 0, 0)$ から点 $B(2, 0, 5)$ までの線積分 $\int_{C_1} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ を求めよ.
- (2) ベクトル場 \mathbf{F} が $\mathbf{F} = 2xz\mathbf{i} + x^2z\mathbf{j} + z^2\mathbf{k}$ であるとき, 面積分 $\iint_{S_c} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} dS$ を求めよ. \mathbf{n} は S_c の外向き単位法線ベクトルである.
- (3) 閉曲面 S_c 上において, 点 $A(2, 0, 0)$, 点 $B(2, 0, 5)$, 点 $C(1, 0, 5)$, 点 $D(1, 0, 0)$ を順に通過し, 再び点 $A(2, 0, 0)$ に戻る閉経路 C_c を考える. 経路 C_c において, 点 A から点 B までの経路は C_1 である. 点 B から点 C までの経路 C_2 , 点 C から点 D までの経路 C_3 , 点 D から点 A までの経路 C_4 は, それぞれ線分とする. ベクトル場 \mathbf{F} を $\mathbf{F} = (2xy^2z + e^x)\mathbf{i} + (2x^2yz + \cos y)\mathbf{j} + (x^2y^2 + \sin z)\mathbf{k}$ とする. $\nabla \times \mathbf{F}$ および経路 C_c に沿った線積分 $\oint_{C_c} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ を求めよ.

数学 (Mathematics)

(5/6)

分野毎に解答用紙を別にする事。
Use a separate answer sheet for each field.

The unit vectors on x , y , and z axes of Cartesian coordinates are denoted by \mathbf{i} , \mathbf{j} , and \mathbf{k} , respectively. Define the surfaces S_1 , S_2 , S_3 , and S_4 as follows:

$$S_1: 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4, \quad z = 0,$$

$$S_2: x^2 + y^2 = 4, \quad 0 \leq z \leq 5,$$

$$S_3: 1 \leq x^2 + y^2 \leq 4, \quad z = 5,$$

$$S_4: x^2 + y^2 = 1, \quad 0 \leq z \leq 5.$$

Let the closed surface $S_c = S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4$. Let C_1 denote the path on S_2 defined by the following parametric equations:

$$x = 2 \cos t,$$

$$y = 2 \sin t,$$

$$z = \frac{t}{2\pi}. \quad (0 \leq t \leq 10\pi)$$

Answer the following questions.

- (1) Let the vector field $\mathbf{F} = -y\mathbf{i} + x\mathbf{j} + z\mathbf{k}$. Calculate the line integral $\int_{C_1} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ along C_1 from point A(2, 0, 0) to point B(2, 0, 5).
- (2) Let the vector field $\mathbf{F} = 2xz\mathbf{i} + x^2z\mathbf{j} + z^2\mathbf{k}$. Calculate the surface integral $\iint_{S_c} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} dS$, where \mathbf{n} is the outward-pointing normal unit vector of S_c .
- (3) Consider the closed path C_c on the closed surface S_c , which starts at point A(2, 0, 0), passes through points B(2, 0, 5), C(1, 0, 5), D(1, 0, 0), and returns to A(2, 0, 0). The path from A to B is C_1 . The paths C_2 from B to C, C_3 from C to D, and C_4 from D to A are the line segments. Let the vector field $\mathbf{F} = (2xy^2z + e^x)\mathbf{i} + (2x^2yz + \cos y)\mathbf{j} + (x^2y^2 + \sin z)\mathbf{k}$. Calculate $\nabla \times \mathbf{F}$ and the line integral $\oint_{C_c} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$ along C_c .

数学 (Mathematics)

(6/6)

分野毎に解答用紙を別にする事。
Use a separate answer sheet for each field.

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

6面の公平なサイコロを1回投げるとき、それぞれの目が出る確率はすべて等しく $\frac{1}{6}$ であるものとする。以下の問いに答えよ。

- (1) サイコロを6回投げる。出た目がすべて異なる確率を求めよ。
- (2) サイコロを6回投げる。6の出現回数を X 、1の出現回数を Y とおくとき、 X と Y の同時確率質量関数 $P(X = x, Y = y)$ を求めよ。
- (3) サイコロを6回投げる。6の出現回数を X 、1の出現回数を Y とおくとき、共分散 $\text{Cov}(X, Y)$ を求めよ。
- (4) サイコロを6回投げたところ、1の目がちょうど2回出たことが分かっている。6と1の出現回数をそれぞれ X と Y としたときの条件付き確率 $P(X = k | Y = 2)$ を $k = 0, 1, 2, 3, 4$ に対して求めよ。

Consider a fair six-sided die, where each face appears with equal probability $\frac{1}{6}$ when rolled once. Answer the following questions.

- (1) The die is rolled 6 times. Find the probability that all the outcomes are distinct.
- (2) The die is rolled 6 times. Let X be the number of times face 6 appears, and Y the number of times face 1 appears. Find the joint probability mass function $P(X = x, Y = y)$.
- (3) The die is rolled 6 times. Let X be the number of times face 6 appears, and Y the number of times face 1 appears. Find the covariance $\text{Cov}(X, Y)$.
- (4) The die is rolled 6 times, and it is known that face 1 appeared exactly 2 times. Let X and Y be the number of times face 6 and face 1 appears, respectively. Find the conditional probability $P(X = k | Y = 2)$ for each $k = 0, 1, 2, 3, 4$.

専門科目 (Specialized subjects)

(1/29)

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 the problem sheets until the start of examination is announced.

2. 問題用紙は表紙を含め 29 ページ, 解答用紙は 3 枚つづり 2 部 (1 分野につき 1 部) である。

You are given 29-page problem sheets including this cover page, and 2 sets of 3 answer sheets (1 set for each field).

3. 以下の 5 分野から 2 分野を選び解答すること。解答用紙は 1 分野につき 1 部, 大問 1 つあたり 1 枚を使用すること。1 枚に大問 2 問以上の解答を書いてはならない。

Select 2 fields out of the following 5 fields and answer the questions. You must use a separate set of answer sheets for each of the fields you selected. One sheet in a set is for one question.

You may not use one sheet for two or more questions.

	分野	page
A	電気回路	2
B	電子回路	6
C	制御工学	12
D	電磁気学	16
E	半導体デバイス	24

	field	page
A	Circuit theory	4
B	Electronic circuits	9
C	Control engineering	14
D	Electromagnetism	20
E	Semiconductor device	27

4. 解答用紙の全部に, 受験番号, 氏名, 選択分野名, 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 your examinee number, your name, the selected field, and the question number.

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

6. 解答は, 日本語, 英語のいずれかで記入すること。

Your answers must be written in Japanese or English.

専門科目 (Specialized subjects)

(2/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

A. 【電気回路分野】

次の【問1】、【問2】、【問3】に答えよ。解答用紙に選択分野名と問題番号を記入すること。

【問1】 図1の回路において、抵抗 R とキャパシタ C が直列に接続され、時間関数 $i(t) = 4 \cos \omega t$ [A] で表される電流 I が流れている。ただし、 $R = 15\sqrt{2}$ [Ω], $C = \frac{5}{\sqrt{2}}$ [μF], $\omega = 10000$ [rad/s], $I = 4$ [A] とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 端子から右側を見たインピーダンス Z , 端子間電圧 V , 回路の力率を求めよ。
- (2) V_R , V_C , V , I の関係を表すフェーザ図を描け。ただし、電流 I のフェーザを実軸方向とすること。
- (3) 抵抗 R とキャパシタ C をそれぞれ R' , C' に変更した結果、端子間電圧が、 $V' = (1-\alpha)V_R + \alpha V_C$, $|V'| = 32\sqrt{5}$ となり、回路の力率は改善した。このときの α を求めよ。

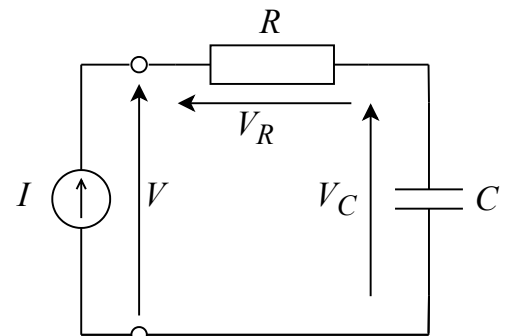


図1

【問2】 図2の回路において、電源は直流電流源であり、 $t < 0$ において回路は定常状態に達しているとする。電流 $i_1(t)$, $i_2(t)$ について以下の問いに答えよ。

- (1) $t = 0$ でスイッチ S を開いた直後の $i_1(0)$, $i_2(0)$ を求めよ。
- (2) $t > 0$ における $i_1(t)$, $i_2(t)$ を求めよ。

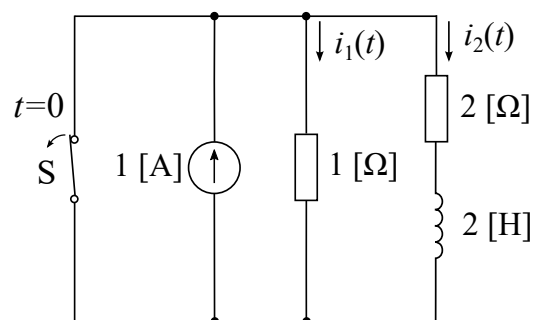


図2

専門科目 (Specialized subjects)

(3/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【問3】 図3のような，インピーダンス行列 (Z 行列) \mathbf{Z}_k ($k = 1, 2, \dots, n$) を持つ n 個の2端子対網を接続した回路について考える。 $\mathbf{Z}_A(n)$ は2端子対1-1', 2-2' の端子対網のインピーダンス行列を指すものとする。各2端子対網の Z 行列 \mathbf{Z}_k は図に示した接続によって互いに影響を受けないようになっているとする。以下の問いに答えよ。

- (1) $n = 1$ で全2端子対網が線形素子で構成されているとき，端子対1-1', 2-2' のアドミタンス行列 $\mathbf{Y}_A(1)$ が

$$\mathbf{Y}_A(1) = \begin{pmatrix} 1+2j & 2x \\ 2/x & 1-2j \end{pmatrix}$$

となった (単位はS)。 x を求め，同時に $\mathbf{Z}_A(1)$ を示せ。ただし， $\mathbf{Z}_A(1)$ は実際の線形素子で構成可能なものであることに留意すること。

- (2) \mathbf{Z}_k が式 (3-1) のように与えられるとする (単位は Ω)。任意の自然数 n に対して $\mathbf{Z}_A(n)$ を求め，端子対1-1', 2-2' 間の2端子対網部分の等価回路を描け。

$$\mathbf{Z}_k = \begin{pmatrix} 2k-3j & 2k \\ 2(n+1-k) & 2k+j \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

- (3) \mathbf{Z}_k が式 (3-2) のように与えられるとする (単位は Ω)。 $Z_G = 5[\Omega]$ ， $Z_L = R - 5j[\Omega]$ のとき， Z_L で消費される消費電力を最大にする n と R を求めよ。ここで R は実数である。

$$\mathbf{Z}_k = \begin{pmatrix} 2 & 2j \\ 2j & 1+j \end{pmatrix} \quad (3-2)$$

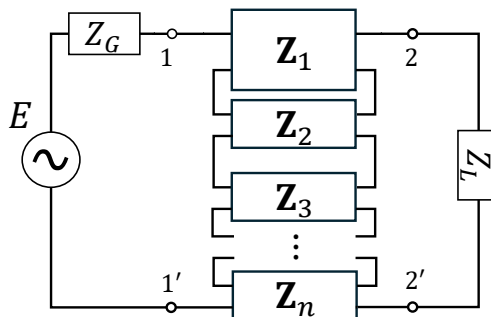


図3

専門科目 (Specialized subjects)

(4/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

A. 【Circuit theory】

Answer the following questions (【Q1】, 【Q2】, 【Q3】). Make sure to specify the selected field and the corresponding question number on each answer sheet.

【Q1】 In the circuit shown in Fig. 1, resistor R and capacitor C are connected in series, and current I represented by the time domain expression of $i(t) = 4 \cos \omega t$ [A] flows. Given that $R = 15\sqrt{2}$ [Ω], $C = \frac{5}{\sqrt{2}}$ [μF], $\omega = 10000$ [rad/s], and $I = 4$ [A], answer the following questions.

- (1) Find the impedance Z measured rightward from the terminal, terminal voltage V , and power factor of the circuit.
- (2) Draw a phasor diagram representing the relation of V_R , V_C , V , and I . Note that the phasor of the current I should be aligned with the real axis.
- (3) When resistor R and capacitor C were replaced with R' and C' , respectively, the terminal voltage became $V' = (1 - \alpha)V_R + \alpha V_C$, and $|V'| = 32\sqrt{5}$, improving the power factor of the circuit. Find α at this point.

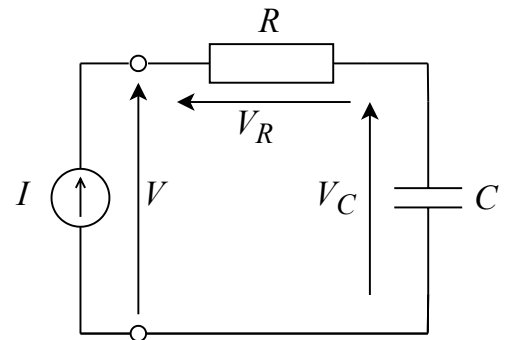


Fig. 1

【Q2】 In the circuit shown in Fig. 2, the power supply is a DC current source and the circuit reached the steady state at $t < 0$. Answer the following questions on the currents $i_1(t)$ and $i_2(t)$.

- (1) Find $i_1(0)$ and $i_2(0)$ just after the switch S is opened at $t = 0$.
- (2) Find $i_1(t)$ and $i_2(t)$ for $t > 0$.

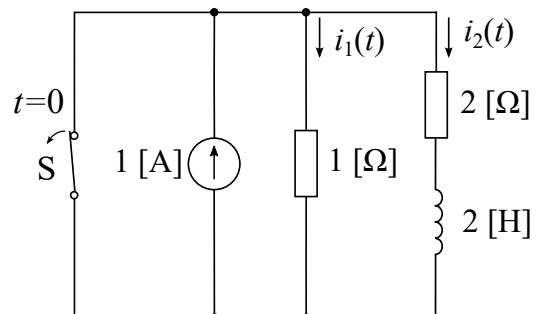


Fig. 2

専門科目 (Specialized subjects)

(5/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【Q3】 Consider the circuit in which n two-port networks, each having the impedance matrix (Z-matrix) \mathbf{Z}_k ($k = 1, 2, \dots, n$), are connected as shown in Fig. 3. Here, $\mathbf{Z}_A(n)$ denotes the impedance matrix of the two-port network between terminal pairs 1-1' and 2-2'. Assume that each Z-matrix \mathbf{Z}_k is not affected by the connections shown in the figure. Answer the following questions.

- (1) When $n = 1$ and the entire two-port network is composed of linear elements, the admittance matrix $\mathbf{Y}_A(1)$ for terminal pairs 1-1' and 2-2' is given as follows (unit: S).

$$\mathbf{Y}_A(1) = \begin{pmatrix} 1 + 2j & 2x \\ 2/x & 1 - 2j \end{pmatrix}$$

Find x and the impedance matrix $\mathbf{Z}_A(1)$. Note that $\mathbf{Z}_A(1)$ can be composed of linear elements.

- (2) Suppose that \mathbf{Z}_k is given by equation (3-1) (unit: Ω). For an arbitrary natural number n , find the impedance matrix $\mathbf{Z}_A(n)$, and draw the equivalent circuit of the two-port network between terminal pairs 1-1' and 2-2'.

$$\mathbf{Z}_k = \begin{pmatrix} 2k - 3j & 2k \\ 2(n + 1 - k) & 2k + j \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

- (3) Suppose that \mathbf{Z}_k is given by equation (3-2) (unit: Ω). When $Z_G = 5[\Omega]$ and $Z_L = R - 5j[\Omega]$, find the values of n and R that maximize the power consumption of Z_L , where R is a real number.

$$\mathbf{z}_k = \begin{pmatrix} 2 & 2j \\ 2j & 1 + j \end{pmatrix} \quad (3-2)$$

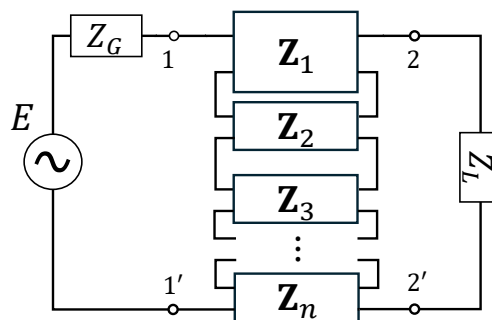


Fig. 3

専門科目 (Specialized subjects)

(6/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

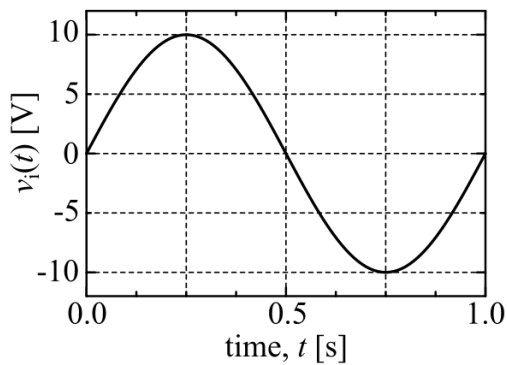
Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

B. 【電子回路分野】

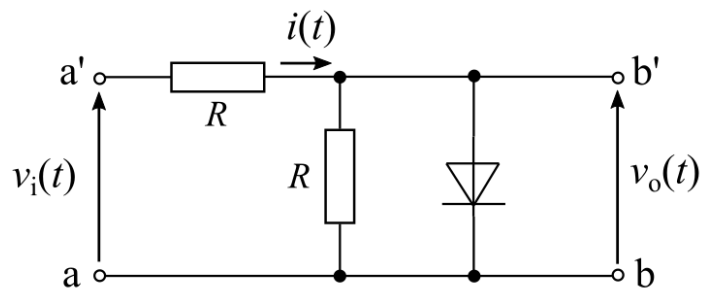
次の【問1】、【問2】に答えよ。解答用紙に選択分野名と問題番号を記入すること。

【問1】以下の問いに答えよ。

(1) 図1(a)に示す $v_i(t) = 10\sin(2\pi t)$ [V]の電圧を図1(b)に示す回路の端子 a-a'間に加えた。 $R = 10$ [Ω]とするとき、電流 $i(t)$ [A]および端子 b-b'間の電圧 $v_o(t)$ [V]の波形を図示せよ。また、波形の最大値・最小値およびそれらの時刻を図中に示せ。なお、ダイオードの順方向抵抗はゼロ、逆方向抵抗は無限大とする。



(a)



(b)

図1

専門科目 (Specialized subjects)

(7/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

(2) 図2に示す回路に入力電圧 v_1 [V] および v_2 [V] を加えた。 $R = 1$ [Ω] とするとき、出力電圧 v_o [V] を v_1 [V] および v_2 [V] を用いて表せ。なお、演算増幅器は理想的であるとする。

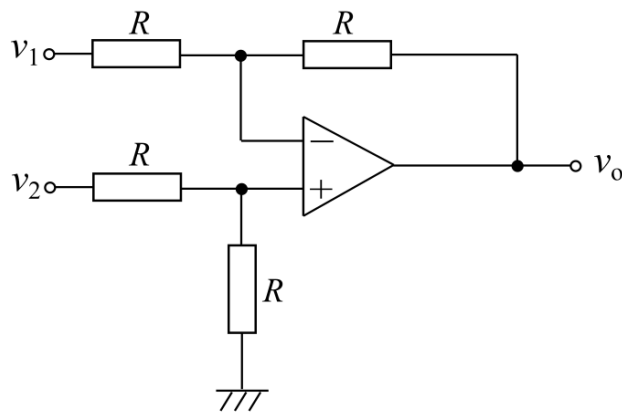


図2

専門科目 (Specialized subjects)

(8/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【問2】図3に示す回路について以下の問いに答えよ。ただし演算増幅器の電圧利得を A 、入力インピーダンスを無限大、出力インピーダンスをゼロとする。また角周波数は ω とする。

- (1) ループ利得 T を求めよ。
- (2) 発振が定常状態にあるときの発振周波数 f を求めよ。
- (3) 発振が定常状態にあるときの電圧利得 A を R_i と R_f を用いて表せ。

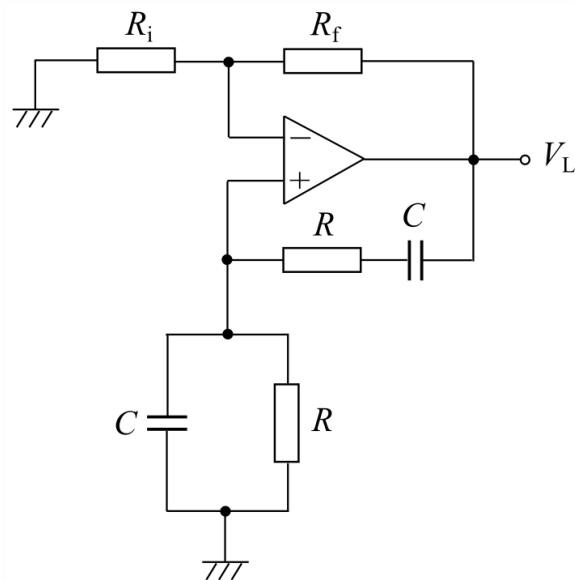


図3

専門科目 (Specialized subjects)

(9/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

B. 【Electronic circuits】

Answer the following questions (【Q1】 , 【Q2】). Make sure to specify the selected field and the corresponding question number on each answer sheet.

【Q1】 Answer the following questions.

(1) An input voltage of $v_i(t) = 10\sin(2\pi t)$ [V], as shown in Fig. 1(a), is applied between the terminals a-a' of the circuit shown in Fig. 1(b). When $R = 10$ [Ω], draw the waveforms of the current $i(t)$ [A] and the output voltage $v_o(t)$ [V] between the terminals b-b'. Also, indicate the maximum and minimum values of the waveforms and their corresponding times in the figure. Assume the diode has zero forward resistance and infinite reverse resistance.

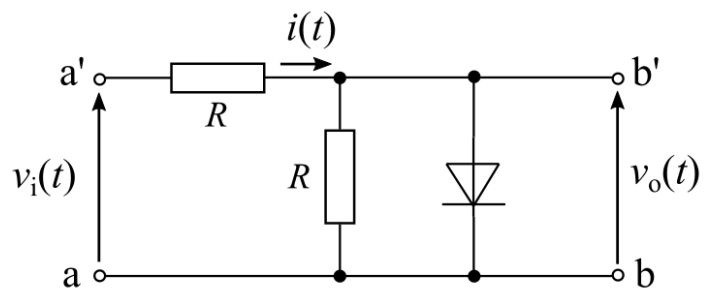
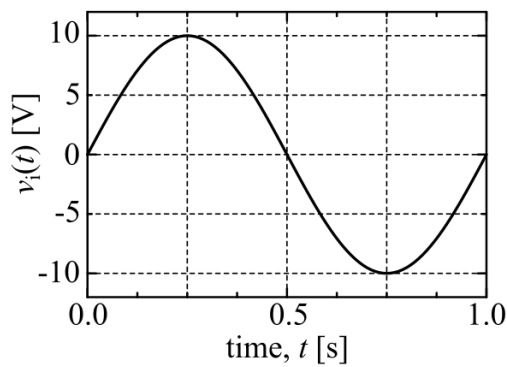


Fig. 1

専門科目 (Specialized subjects)

(10/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

(2) Input voltages v_1 [V] and v_2 [V] are applied to the circuit shown in Fig. 2. When $R = 1$ [Ω], express the output voltage v_o [V] in terms of v_1 [V] and v_2 [V]. Assume that the operational amplifier is ideal.

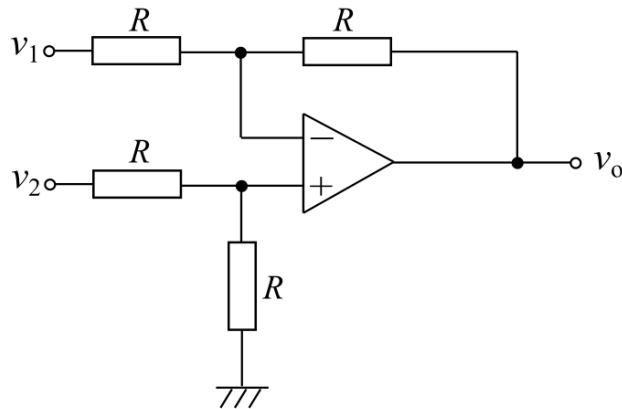


Fig. 2

専門科目 (Specialized subjects)

(11/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【Q2】 Answer the following questions for the circuit shown in Fig. 3. Assume that the operational amplifier has a voltage gain of A , an infinite input impedance, and zero output impedance. The angular frequency is denoted by ω .

- (1) Find the loop gain T .
- (2) Find the oscillation frequency f under the steady-state oscillations.
- (3) Express the voltage gain A under the steady-state oscillations using R_i and R_f .

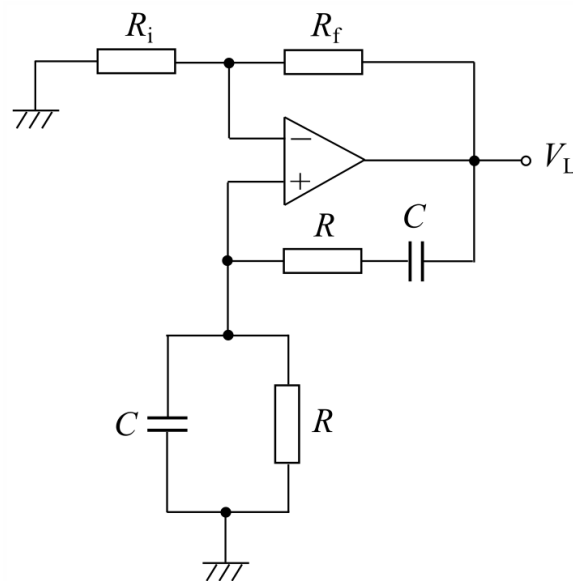


Fig. 3

令和8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 (実施日 令和7年8月26日)
専門科目 (Specialized subjects)
(12/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。
Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

C. 【制御工学分野】

次の【問1】、【問2】に答えよ。解答用紙に選択分野名と問題番号を記入すること。

【問1】 伝達関数 $P(s) = \frac{10}{s + \sqrt{3}}$ で表される制御対象を、積分器 $\frac{K}{s}$ ($K > 0$) を用いて制御する問題を考える。制御系の構成を図1に示す。ただし、 s はラプラス変換の変数を表し、 y は制御量、 r は目標値、 u は操作量、 e は偏差を表す。以下の問いに答えよ。

- (1) $P(s)$ の極を求めよ。
- (2) 図1において目標値 r から偏差 e への伝達関数 $G_{er}(s)$ を求めよ。
- (3) 任意の $K > 0$ に対して、図1の制御系が安定であることを示せ。
- (4) 図1の制御系のゲイン交差周波数が 1 rad/s となるような K の値 ($K > 0$) を求めよ。
- (5) (4) で求めた K を用いた場合の、図1の制御系の位相余裕を求めよ。

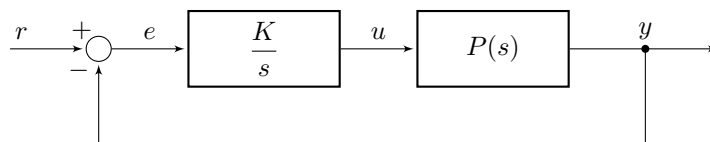


図1

専門科目 (Specialized subjects)

(13/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【問2】 次の状態方程式で表されるシステム G を考える。

$$G: \begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases}$$
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [p \quad 1]$$

ここで t は時間変数, $x(t)$ は状態, $u(t)$ は入力, $y(t)$ は出力であり, p は定数である。以下の問いに答えよ。

- (1) システム G の極を求めよ。
- (2) 初期状態が $x(0) = [1 \ 1]^T$ であり入力が $u(t) = 0$ ($t \geq 0$) であるときの状態 $x(t)$ ($t \geq 0$) を求めよ。
- (3) 対 (A, B) が可制御であることを示せ。
- (4) 初期状態が $x(0) = [1 \ 0]^T$ であり入力が $u(t) = 1$ ($t \geq 0$) であるときの出力を $y_1(t)$ ($t \geq 0$), 初期状態が $x(0) = [0 \ q]^T$ であり入力が $u(t) = 1$ ($t \geq 0$) であるときの出力を $y_2(t)$ ($t \geq 0$) とする。ただし q は定数である。このとき $y_1(t) = y_2(t)$ ($t \geq 0$) が成立するような p, q の値を求めよ。

専門科目 (Specialized subjects)

(14/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

C. 【Control engineering】

Answer the following questions (【Q1】 , 【Q2】). Make sure to specify the selected field and the corresponding question number on each answer sheet.

【Q1】 Consider the problem of controlling a plant represented by the transfer function $P(s) = \frac{10}{s + \sqrt{3}}$ using an integrator $\frac{K}{s}$ ($K > 0$). The configuration of the control system is shown in Fig. 1. Here, s denotes the Laplace transform variable, y is the controlled variable, r is the reference, u is the control input, and e is the error. Answer the following questions.

- (1) Find the pole of $P(s)$.
- (2) In Fig. 1, find the transfer function $G_{er}(s)$ from the reference r to the error e .
- (3) Show that the control system in Fig. 1 is stable for any $K > 0$.
- (4) Find the value of $K > 0$ such that the gain crossover frequency of the control system in Fig. 1 equals 1 rad/s.
- (5) Find the phase margin of the control system in Fig. 1 when using the K found in (4).

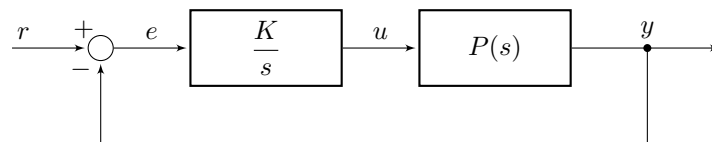


Fig. 1

専門科目 (Specialized subjects)

(15/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【Q2】 Consider the system G represented by the following state equations:

$$G: \begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases}$$
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} p & 1 \end{bmatrix}.$$

Here, t is the time variable, $x(t)$ is the state, $u(t)$ is the input, $y(t)$ is the output, and p is a constant. Answer the following questions.

- (1) Find the poles of the system G .
- (2) Find the state $x(t)$ ($t \geq 0$) for the initial state $x(0) = [1 \ 1]^T$ and the input $u(t) = 0$ ($t \geq 0$).
- (3) Show that the pair (A, B) is controllable.
- (4) Let $y_1(t)$ ($t \geq 0$) denote the output corresponding to the initial state $x(0) = [1 \ 0]^T$ and the input $u(t) = 1$ ($t \geq 0$). Moreover, let $y_2(t)$ ($t \geq 0$) denote the output corresponding to the initial state $x(0) = [0 \ q]^T$ and the input $u(t) = 1$ ($t \geq 0$) where q is a constant. Then, find the values of p and q such that $y_1(t) = y_2(t)$ ($t \geq 0$) holds.

専門科目 (Specialized subjects)

(16/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

D. 【電磁気学分野】

次の【問1】、【問2】に答えよ。解答用紙に選択分野名と問題番号を記入すること。

【問1】 図1に示す、半径がそれぞれ $a/7$, $a/3$, a で厚さの無視できる同心導体球殻 A, B, C を考える。導体球殻 A より内側の空間を領域1, 導体球殻 A と B の間の空間を領域2, 導体球殻 B と C の間の空間を領域3, 導体球殻 C より外側の空間を領域4とする。4つの領域は真空であるとし、誘電率は ϵ_0 とする。

- (1) 導体球殻 A にだけ電荷 Q を与える。同心導体球殻の中心から距離 r の位置での電界の大きさおよび無限遠点に対する電位を求めよ。
- (2) 導体球殻 A と B の間の静電容量 C_{AB} , 導体球殻 B と C の間の静電容量 C_{BC} および導体球殻 C の無限遠点に対する静電容量 C_C を求めよ。
- (3) 導体球殻 B にだけ電荷 Q を与える。領域1, 2, 3, 4の静電エネルギーを求めよ。
- (4) 太さが無視できる細い導線で導体球殻 A と C を接続した状態で導体球殻 B にだけ電荷 Q を与える。ただし、導体球殻 B は導体球殻 A, C と電氣的に絶縁されている。各導体球殻の無限遠点に対する電位、導体球殻 A に現れる電荷および領域1, 2, 3, 4の静電エネルギーを求めよ。

専門科目 (Specialized subjects)

(17/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

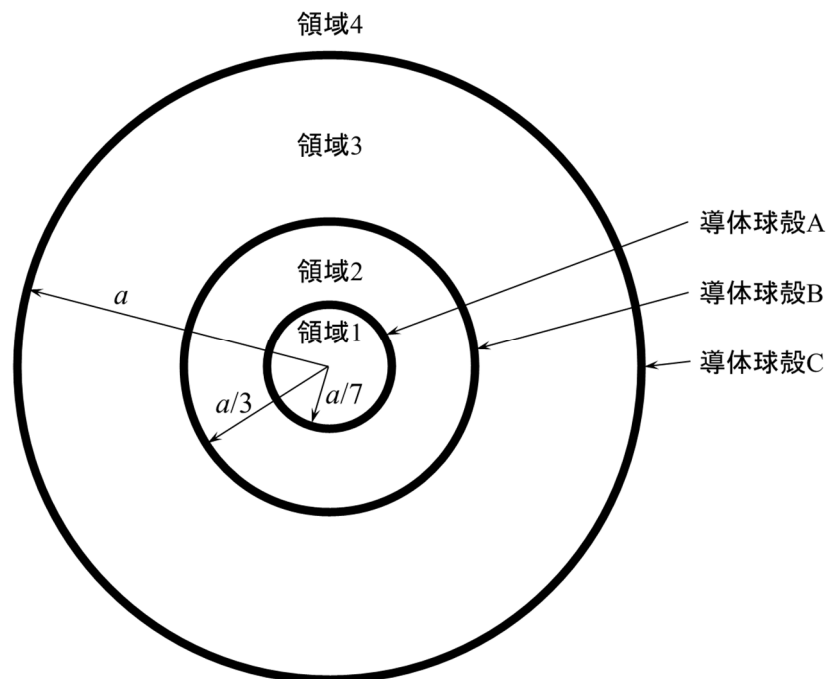


図 1

専門科目 (Specialized subjects)

(18/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【問2】 図2に示すように、真空中の直交座標系の z 軸上に、大きさ I で正の方向に向かって定常の線電流が流れている。 x 軸上の原点 O から距離 a の点を P 、距離 x_0 の点を Q 、 $0 < a < x_0$ とする。また、点 $A(a, 0, 1/2)$ 、点 $B(a, 0, -1/2)$ 、点 $C(x_0, 0, -1/2)$ 、点 $D(x_0, 0, 1/2)$ を定める。ただし、真空の透磁率を μ_0 とする。以下の問いに答えよ。

(1) 線電流が $z = -\infty$ から $z = \infty$ まで流れるとき、閉ループ $ABCD$ に鎖交する磁束 Φ の大きさを求めよ。

次に、電流が作るベクトルポテンシャル \mathbf{A} について考える。電流は z 成分のみであることに注意すると、 \mathbf{A} の x, y 成分は0であり、原点 O から距離 z にある電流素片 $I dz$ によって点 Q に生じるベクトルポテンシャルの z 成分 $dA_z(x_0)$ は、次式によって与えられる。

$$dA_z(x_0) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dz}{\sqrt{z^2 + x_0^2}}$$

(2) 線電流が $z = -l$ から $z = l$ までの区間を流れるとき、点 Q に生じるベクトルポテンシャルの z 成分 $A_z(x_0)$ を求めよ。導出の際に以下の積分公式を用いて良い。

$$\int \frac{1}{\sqrt{z^2 + k}} dz = \ln\left(z + \sqrt{z^2 + k}\right), \text{ ただし } k \text{ は定数.}$$

(3) l を無限大としたときの点 Q と点 P のベクトルポテンシャルの z 成分の差 $A_z(x_0) - A_z(a)$ を求めよ。

(4) 閉ループ $ABCD$ に沿って \mathbf{A} の線積分を求め、(1)で求めた磁束 Φ と比較せよ。また、 x 軸上の任意の点における $\nabla \times \mathbf{A}$ を求めよ。ただし、 $x > 0$ とし、 $A_z(a)$ は定数として与えられるものとする。

専門科目 (Specialized subjects)

(19/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

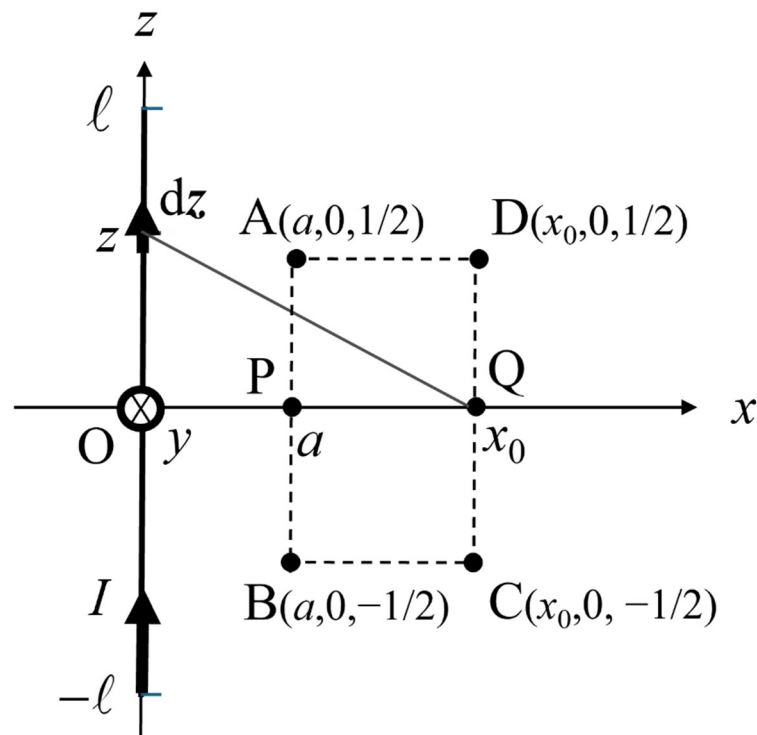


図2

専門科目 (Specialized subjects)

(20/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

D. 【Electromagnetism】

Answer the following questions (【Q1】 , 【Q2】). Make sure to specify the selected field and the corresponding question number on each answer sheet.

【Q1】 Consider concentric spherical conducting shells A, B, and C with radii $a/7$, $a/3$, and a , respectively, as shown in Fig. 1. Here, the three spherical conducting shells have negligible thickness. The spaces inside the spherical shell A, between the spherical shells A and B, between the spherical shells B and C, and outside the spherical shell C are defined as regions 1, 2, 3, and 4, respectively. The four regions are in vacuum and have an electrical permittivity of ϵ_0 .

- (1) Only the spherical conducting shell A is charged with Q . Find the magnitude of the electric field and the electric potential relative to infinity at a point of distance r from the center of the concentric spherical conducting shells.
- (2) Find the capacitances between the spherical conducting shells A and B, C_{AB} , and between the spherical conducting shells B and C, C_{BC} . Also, find the capacitance of the spherical conducting shell C with respect to infinity, C_C .
- (3) Only the spherical conducting shell B is charged with Q . Find the electrostatic energy stored in each of regions 1, 2, 3, and 4.
- (4) The spherical conducting shells A and C are connected to each other with a conducting wire having negligible radius and only the spherical conducting shell B is charged with Q . Here, the spherical conducting shell B is electrically isolated from the spherical conducting shells A and C. Find the electric potential relative to infinity of each spherical conducting shell and the electric charge which appears on the spherical conducting shell A. Also, find the electrostatic energy stored in each of regions 1, 2, 3, and 4.

専門科目 (Specialized subjects)

(21/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

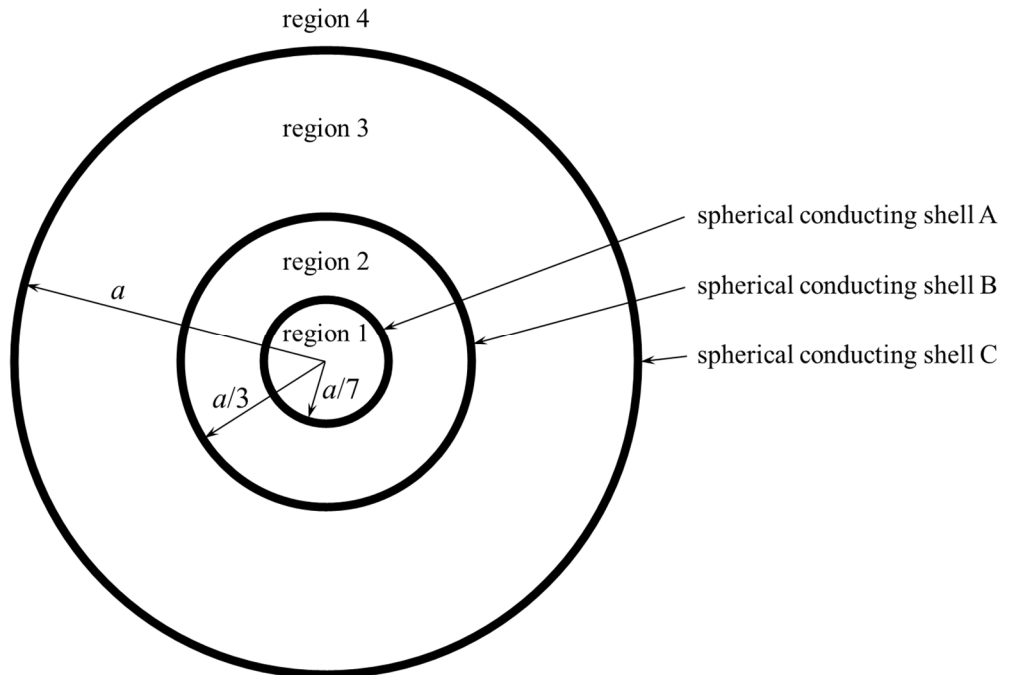


Fig. 1

専門科目 (Specialized subjects)

(22/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【Q2】 As shown in Fig. 2, on the z -axis of the Cartesian coordinate system in vacuum, a steady line current is flowing toward the positive direction at magnitude I . The points of distance a and x_0 from the origin O on the x -axis are P and Q , respectively, where $0 < a < x_0$. Also, the points $A(a, 0, 1/2)$, $B(a, 0, -1/2)$, $C(x_0, 0, -1/2)$, and $D(x_0, 0, 1/2)$ are defined. The permeability of vacuum is μ_0 . Answer the following questions.

(1) Find the magnitude of the magnetic flux Φ linking to the closed-loop $ABCD$ when the line current flows from $z = -\infty$ to $z = \infty$.

Next, we consider the vector potential A created by the current. Noting that the current has only the z component, x and y components of A are 0, and the z component $dA_z(x_0)$ of the vector potential generated at the point Q by the current segment $I dz$, which is located at the point of distance z from the origin O , is given by the following equation.

$$dA_z(x_0) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dz}{\sqrt{z^2 + x_0^2}}$$

(2) Find the z component $A_z(x_0)$ of the vector potential occurring at the point Q when the line current flows from $z = -\ell$ to $z = \ell$. The following integral formula may be used in the derivation.

$$\int \frac{1}{\sqrt{z^2 + k}} dz = \ln\left(z + \sqrt{z^2 + k}\right), \text{ where } k \text{ is a constant value.}$$

(3) Find the difference of the z component $A_z(x_0) - A_z(a)$ of vector potential between the points Q and P when ℓ becomes infinite.

(4) Find the line integral of the vector potential A along the closed-loop $ABCD$ and compare it with the magnetic flux Φ obtained in (1). Also find $\nabla \times A$ at an arbitral point on the x -axis, where $x > 0$ and $A_z(a)$ is given as a constant value.

専門科目 (Specialized subjects)

(23/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

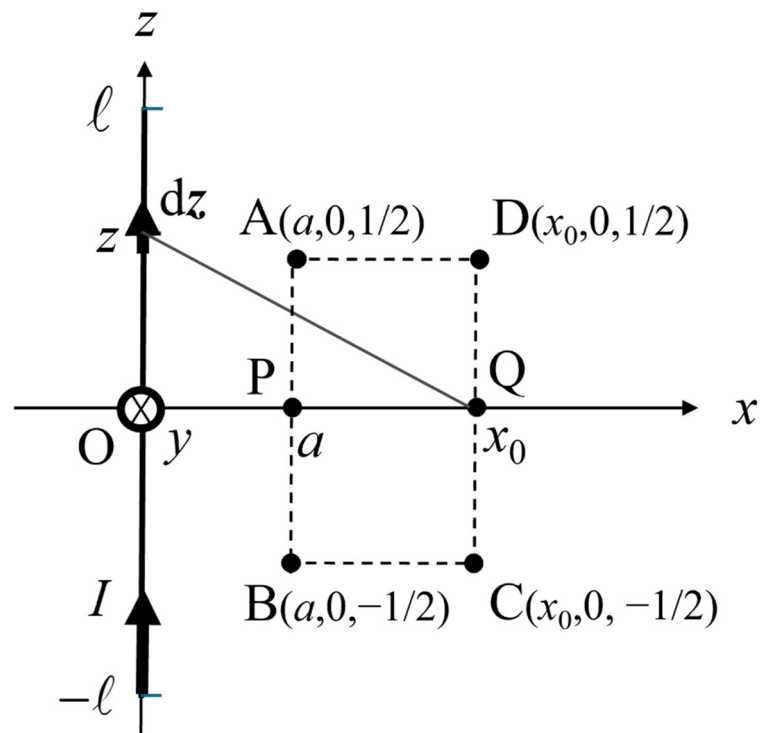


Fig. 2

専門科目 (Specialized subjects)

(24/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

E. 【半導体デバイス分野】

次の【問1】、【問2】に答えよ。解答用紙に選択分野名と問題番号を記入すること。

【問1】

熱平衡状態の半導体中では次の電荷中性条件と、 $pn = n_i^2$ が成り立つことが知られている。

$$\rho = q(p - n + N_D - N_A) = 0$$

ここでは、 ρ は電荷密度、 q は電気素量、 N_D 、 N_A はドナー不純物濃度およびアクセプター不純物濃度、 n 、 p は自由電子密度と正孔密度、 n_i は真性キャリア密度を示す。以下の問いに答えよ。なお、不純物は全てイオン化していると仮定する。

(1) n および p を N_D 、 N_A 、 n_i を用いて表せ。

(2) $(N_D - N_A) \gg n_i$ かつ $N_D \gg N_A$ のときの n の近似式を求めよ。ここでは、 $\alpha \gg \beta$ のとき、 $(\alpha + \beta)^{1/2} \approx \alpha^{1/2}$ 、 $(\alpha - \beta) \approx \alpha$ と近似しても良いものとする。

(3) (2)で求めた n の近似式を用いて、 p を求めよ。

(4) 真性半導体のSiにヒ素(As)とホウ素(B)の両方を添加した場合を考える。このSiにおける n と p の値を求めよ。なお、添加されたAsとBの濃度はそれぞれ $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ とし、真性キャリア密度は $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ とする。

専門科目 (Specialized subjects)

(25/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。
 Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【問2】

図1は金属-半導体接合のエネルギーバンド図である。 x は界面からの距離を表し、 $E_C(x)$ は半導体の伝導帯下端の電子エネルギーを、 E_F は半導体のフェルミレベルを表している。ただし、 $E_C(x)$ は以下の式で表される。

$$E_C(x) = \frac{q^2 N_D}{2\epsilon_S} (x - W)^2 \quad (0 \leq x \leq W)$$

金属側に印加する電圧を V とし、電気素量を q とする。また半導体内部の空乏層の厚みを W 、ドナー不純物濃度を N_D 、半導体の誘電率を ϵ_S 、 $V = 0$ の時の内蔵電位を V_{bi} とする。半導体として Si を用いた3種類の金属-半導体接合がある。これらの電気容量測定を行った。ここで、空乏層の単位面積あたりの電気容量を C とすると、図2に示す $1/C^2 - V$ プロットにおいて、3本の直線が得られた。以下の問いに答えよ。

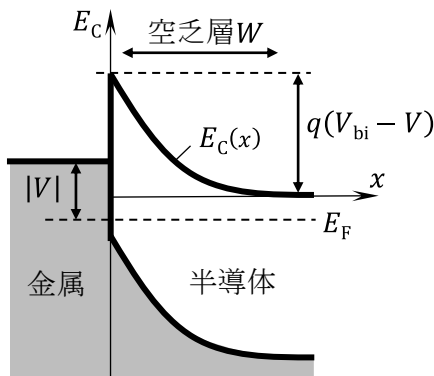


図1. 金属-半導体接合のエネルギーバンド図。

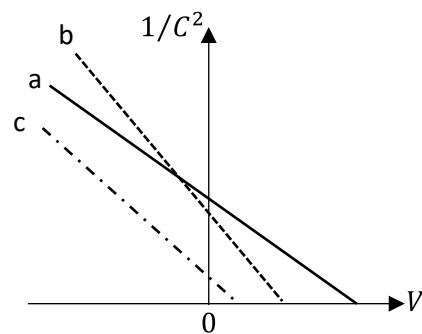


図2. 3種類の金属-半導体接合の $1/C^2 - V$ プロット。

- (1) 空乏層幅 W を q 、 N_D 、 ϵ_S 、 V 、 V_{bi} を用いて表せ。さらに金属側の印加電圧 V を負に大きくした時、空乏層幅が広がるか縮まるか、理由とともに答えよ。
- (2) 空乏層は、厚み W 、誘電率 ϵ_S の誘電体からなるコンデンサとみなせる。 C を、 W 、 ϵ_S を用いて表せ。

専門科目 (Specialized subjects)

(26/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

(3) 図2の直線'a'の傾きと電圧軸切片を、 q , N_D , ϵ_S , V_{bi} のうち適切なものを用いてそれぞれ表せ。

(4) 図2の直線'a', 'b', 'c'のうち、内蔵電位 V_{bi} が最大のものと、ドナー不純物濃度 N_D が最大のものを、それぞれ理由とともに答えよ。

専門科目 (Specialized subjects)

(27/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

E. 【Semiconductor device】

Answer the following questions (【Q1】 , 【Q2】). Make sure to specify the selected field and the corresponding question number on each answer sheet.

【Q1】

The equation, $pn = n_i^2$, and the following condition for charge neutrality are well known to hold.

$$\rho = q(p - n + N_D - N_A) = 0$$

ρ is the charge density and q is the elementary charge. N_D and N_A are the donor and the acceptor impurity concentrations, respectively. n and p are the densities of free electrons and holes, respectively. n_i is the intrinsic carrier concentration. Answer the following questions. In these questions, the dopants are assumed to be fully activated.

(1) Express n and p in terms of N_D , N_A , and n_i .

(2) Find an approximate expression for n when $(N_D - N_A) \gg n_i$, and $N_D \gg N_A$. Here, when $\alpha \gg \beta$, you can use the following approximate expressions: $(\alpha + \beta)^{1/2} \approx \alpha^{1/2}$, $(\alpha - \beta) \approx \alpha$.

(3) Find p using the approximate expression for n obtained in (2).

(4) Find the values of n and p , when both arsenic, As, and boron, B, are doped into the intrinsic Si. The concentrations of As and B are $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ and $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$, respectively. The intrinsic carrier concentration is $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

令和8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 (実施日 令和7年8月26日)
 専門科目 (Specialized subjects)
 (28/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。
 Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【Q2】

Fig. 1 shows the energy band diagram of a metal-semiconductor junction. Here, x represents the distance from the interface, $E_C(x)$ represents the electron energy at the conduction band edge of the semiconductor, and E_F represents the Fermi level of the semiconductor. $E_C(x)$ is given by the following expression.

$$E_C(x) = \frac{q^2 N_D}{2\epsilon_S} (x - W)^2 \quad (0 \leq x \leq W)$$

Let V denote the voltage applied to the metal side and q the elementary charge. W represents the width of the depletion region inside the semiconductor, N_D represents the donor impurity concentration, ϵ_S represents the dielectric constant of the semiconductor, and V_{bi} represents the built-in potential when $V = 0$. Three types of metal-semiconductor junctions using Si as the semiconductor were prepared, and their capacitance measurements were performed. When the capacitance per unit area of the depletion layer is denoted by C , the $1/C^2 - V$ plots yield three straight lines as shown in Fig. 2. Answer the following questions.

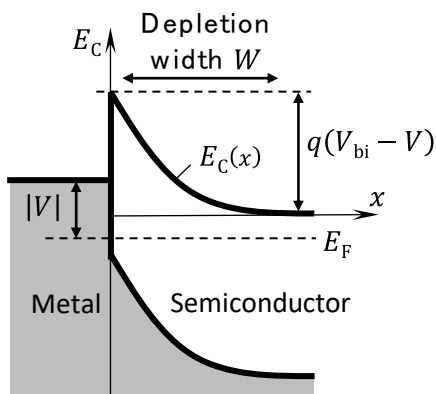


Fig. 1. Energy band diagram of the metal-semiconductor junction.

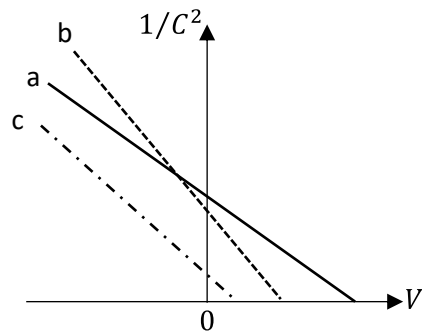


Fig. 2. $1/C^2 - V$ plots for three types of metal-semiconductor junctions

- (1) Express the depletion layer width W in terms of q , N_D , ϵ_S , V , and V_{bi} . Furthermore, answer whether the depletion layer width becomes wider or narrower when the applied voltage V on the metal side is made more negative. Also explain the reason.

専門科目 (Specialized subjects)

(29/29)

5分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問1つあたり1枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

-
- (2) The depletion layer can be regarded as a capacitor consisting of a dielectric with a thickness W and a dielectric constant ϵ_S . Express C , in terms of W and ϵ_S .
- (3) Express the slope and the voltage-axis intercept of the line 'a' in Fig. 2 in terms of appropriate symbols among q , N_D , ϵ_S , and V_{bi} .
- (4) Among the lines 'a', 'b', and 'c' in Fig. 2, identify which one has the largest built-in potential V_{bi} , and which one has the highest donor impurity concentration N_D . Also explain the reason.