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７年度入学試験問題

【令和６年９月１０日（火）、１１日（水）】

令和７年度　九州大学大学院システム情報科学府 情報理工学専攻
電気電子工学専攻

修士課程　入学試験問題

（令和６年９月１０日）

数 学 (Mathematics)

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	5

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.

令和７年度　九州大学大学院システム情報科学府 情報理工学専攻
電気電子工学専攻

修士課程　入学試験問題

（令和６年９月１０日）

数 学 (Mathematics)

(2/6)

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

---

1. 【線形代数 (Linear algebra) 分野】

(1) 以下の行列 A, B の行列式をそれぞれ求めよ．

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 2 \\ 4 & 0 & 9 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 6 & 8 & 10 \\ 2 & 4 & 6 & 8 \\ 3 & 5 & 7 & 9 \end{bmatrix}$$

(2) 任意の n 次上三角行列 $A = (a_{ij})$ に対して，$\det(A) = \prod_{i=1}^{n} a_{ii}$ であることを示せ．ここで，$\det(A)$ は A の行列式を表す.

(1) Find the determinants of the following matrices A and B, respectively.

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 2 \\ 4 & 0 & 9 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 6 & 8 & 10 \\ 2 & 4 & 6 & 8 \\ 3 & 5 & 7 & 9 \end{bmatrix}.$$

(2) For any upper triangular matrix $A = (a_{ij})$ of order n, show $\det(A) = \prod_{i=1}^{n} a_{ii}$, where $\det(A)$ denotes the determinant of A.

数 学 (Mathematics)

(3/6)

分野毎に解答用紙を別にすること．
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 は正の定数であり，$\mathbb{R}$ は実数全体の集合を表す．

$$\int_D (x^2 + y^2)\mathrm{d}x\mathrm{d}y, \quad D = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \;\middle|\; \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \leq 1 \right\}$$

(2) 次の微分方程式の解を，ラプラス変換を用いて求めよ．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．

$$y'' + 4y = \cosh x - \sinh x, \; y(0) = 2, \; y'(0) = 3$$

(3) $z = x + iy$, x, y は実数，$i = \sqrt{-1}$ とする．次の各問に答えよ．

(a) 関数 $e^{2x}(\cos ay + i \sin ay)$ が正則となる実数 a を求めよ．

(b) 正則関数 $w(z)$ を考える．$\mathrm{Re}(w(z)) = \cos x \cosh y$ で表されるとき，$w(z)$ を求めよ．ただし $\mathrm{Re}(w(z))$ は，$w(z)$ の実部である．

(1) Calculate the following integral, where a and b are positive constants and $\mathbb{R}$ denotes the set of all real numbers.

$$\int_D (x^2 + y^2)\mathrm{d}x\mathrm{d}y, \quad D = \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 \;\middle|\; \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \leq 1 \right\}.$$

(2) Find the solution to the following differential equation using Laplace transforms. Here, y' denotes the first-order derivative of a function $y(x)$ with respect to x.

$$y'' + 4y = \cosh x - \sinh x, \; y(0) = 2, \; y'(0) = 3.$$

(3) Let $z = x + iy$, where x and y are real numbers, and $i = \sqrt{-1}$. Answer the following questions.

(a) Find a real number a for which the function $e^{2x}(\cos ay + i \sin ay)$ is holomorphic.

(b) Consider a holomorphic function $w(z)$. Suppose the real part of the function $w(z)$ is given as $\mathrm{Re}(w(z)) = \cos x \cosh y$, where $\mathrm{Re}(w(z))$ denotes the real part of the function $w(z)$. Then, find a formula for the function $w(z)$.

数 学 (Mathematics)

分野毎に解答用紙を別にすること.
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．ベクトル場 $\boldsymbol{F}$ を $\boldsymbol{F} = 2x\boldsymbol{i} + 3y\boldsymbol{j} + 6z\boldsymbol{k}$ としたとき，閉曲面 $S : 8x^2 + 12y^2 + 24z^2 = 4$ 上の面積分

$$\int_S \sqrt{4x^2 + 9y^2 + 36z^2}\, dS$$

を以下の手順で計算せよ.

(1) 閉曲面 S 上の各点 (x, y, z) における外向き法線ベクトル $\boldsymbol{n}$ を求めよ.

(2) 閉曲面 S 上で，$\boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{n} = \sqrt{4x^2 + 9y^2 + 36z^2}$ が成り立つことを示せ.

(3) $\displaystyle\int_S \sqrt{4x^2 + 9y^2 + 36z^2}\, dS$ を求めよ.

The unit vectors on x, y and z axes of Cartesian coordinates are denoted by $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$ and $\boldsymbol{k}$, respectively. Let the vector field $\boldsymbol{F} = 2x\boldsymbol{i} + 3y\boldsymbol{j} + 6z\boldsymbol{k}$. Calculate the surface integral

$$\int_S \sqrt{4x^2 + 9y^2 + 36z^2}\, dS$$

over the closed surface $S : 8x^2 + 12y^2 + 24z^2 = 4$ by answering the following questions.

(1) Find the outward-pointing normal vector $\boldsymbol{n}$ at each point (x, y, z) on the closed surface S.

(2) Show $\boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{n} = \sqrt{4x^2 + 9y^2 + 36z^2}$ on the closed surface S.

(3) Find $\displaystyle\int_S \sqrt{4x^2 + 9y^2 + 36z^2}\, dS$.

数 学 (Mathematics)

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

---

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

あるマウスの種について，１匹のメスが生涯に産む子の総数 n は，次の確率分布に従うことが分かっている．ただし，オスとメスの生まれる確率はどちらも 1/2 であるとする．

$$P_0 = P_1 = \frac{1}{4}, \quad P_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad (n \geq 2)$$

このマウスの種に関して，次の各問いに答えよ．

(1) あるメスのマウスについて，子の総数が 2 であると分かった場合，子が 2 匹ともオスである確率を求めよ．

(2) あるメスのマウスについて，オスの子の数が 2 である確率を求めよ．

(3) あるメスのマウスについて，オスの子の数が 2 であると分かった場合，子の総数が 2 である確率を求めよ．

(4) あるメスのマウスについて，オスの子の数が 2 であると分かった場合，メスの子の数も 2 である確率を求めよ．

必要であれば以下の公式を利用してよい．

$$\sum_{n=0}^{\infty} nx^n = \frac{x}{(1-x)^2} \quad (|x| < 1), \quad \sum_{n=0}^{\infty} n^2 x^n = \frac{x(1+x)}{(1-x)^3} \quad (|x| < 1)$$

令和７年度　九州大学大学院システム情報科学府 情報理工学専攻
電気電子工学専攻

修士課程　入学試験問題

（令和６年９月１０日）

数 学 (Mathematics)

(6/6)

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

As for a certain species of mouse, it is known that the total number n of children which a female mouse produces in its lifetime is distributed according to the following probability distribution P_n.

$$P_0 = P_1 = \frac{1}{4}, \quad P_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad \text{for} \quad n \geq 2.$$

Here, we assume that the probability of giving birth to a male or female is 1/2. Answer the following questions on this species of mouse.

(1) For a female mouse, given that the total number of its children is two, find the probability that both children are male.

(2) For a female mouse, find the probability that the number of its male children is two.

(3) For a female mouse, given that the number of its male children is two, find the probability that the total number of its children is two.

(4) For a female mouse, given that the number of its male children is two, find the probability that the number of its female children is also two.

You may use the following formulas if necessary.

$$\sum_{n=0}^{\infty} n x^n = \frac{x}{(1-x)^2} \quad \text{for} \quad |x| < 1, \quad \sum_{n=0}^{\infty} n^2 x^n = \frac{x(1+x)}{(1-x)^3} \quad \text{for} \quad |x| < 1.$$

令和7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6年9月10日）

専門科目 (Specialized subjects)

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 25 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 25-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	10
D	電磁気学	14
E	半導体デバイス	22

	field	page
A	Circuit theory	4
B	Electronic circuits	8
C	Control engineering	12
D	Electromagnetism	18
E	Semiconductor device	24

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)

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，大問一つあたり一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，端子 bc 間に R_2 と n 本のインダクタが並列に接続されている．以下の問いに答えよ．ただし，$R_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}\,[\Omega]$，$R_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\,[\Omega]$，$Y_{\mathrm{L}k} = -j\,[\mathrm{S}] (k = 1, 2, ..., n)$，$Y_{\mathrm{L}} = -2j\,[\mathrm{S}]$ である．

(1) $n = 2$ のとき，端子 bc 間のアドミタンス Y_{bc} を求めよ．

(2) $n = 1$ のとき，V_{ab}，V_{bc}，I，I_{R2}，I_{L1} の関係を表すフェーザ図を描き，位相差 $\arg(\frac{V_{\mathrm{bc}}}{V_{\mathrm{ab}}})$ を求めよ．

(3) 位相差 $\arg(\frac{V_{\mathrm{bc}}}{V_{\mathrm{ab}}}) = \frac{\pi}{3}$ のときの n を求めよ．

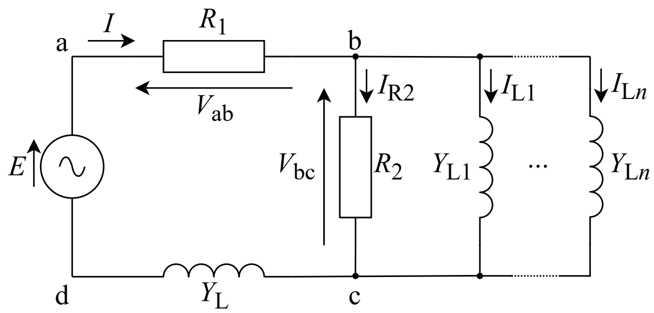


図１

【問 2】 図２の回路において，電源電圧 $e(t) = 5\sin 2t$ [V] を印加して回路が定常状態に達した後，時刻 $t \geqq 0$ で $e(t) = 0$ [V] とした．電流 $i(t)$ と電荷量 $q(t)$ について以下の問いに答えよ．

(1) $i(0)$，$q(0)$ を求めよ．

(2) 時刻 $t > 0$ における $i(t)$ を求めよ．

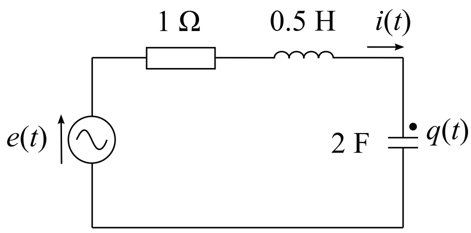


図２

専 門 科 目 (Specialized subjects)

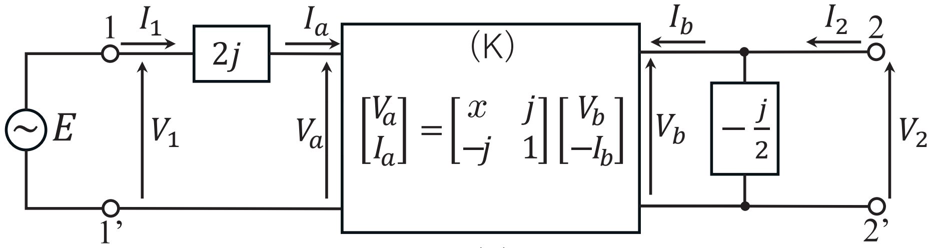
5 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．
Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【問 3】　図 3(a) の様に，中央に縦続行列 $K = \begin{bmatrix} x & j \\ -j & 1 \end{bmatrix}$ で定義される 2 端子対網 (K) を持つ回路を考える．(K) の外に接続された素子に示された値はそれぞれインピーダンスを表す．以下の問いに答えよ．

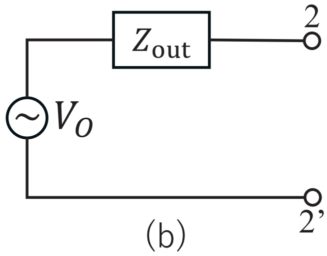
(1) V_2，I_2 を，V_1，I_1 および x を用いた式で表せ．

(2) 2 端子対網 (K) が、線形素子のみで構成されているとき，x を求めよ．

(3) この回路の 1-1' 端子間に，図 3(a) のように交流電圧源 E が繋がれている．2-2' 端子側より，左側を見た部分は図 3(b) で示す様な等価回路と見なすことができるとして，V_O および Z_{out} を求めよ．ただし，(2) の条件は成立しているものとする．



(a)



(b)

図 3

専 門 科 目 (Specialized subjects)

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，大問一つあたり一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 the answer sheet.

【Q1】 Consider the circuit shown in Fig. 1, where R_2 and n inductors are connected in parallel between terminals b and c. Answer the following questions, where $R_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}$ [Ω], $R_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}$ [Ω], $Y_{\mathrm{L}k} = -j$ [S]$(k = 1, 2, ..., n)$ and $Y_{\mathrm{L}} = -2j$ [S].

(1) When $n = 2$, find the admittance Y_{bc} between terminals b and c.

(2) When $n = 1$, draw a phasor diagram representing the relation of V_{ab}, V_{bc}, I, I_{R2} and I_{L1}. Then find the phase difference $\arg(\frac{V_{\mathrm{bc}}}{V_{\mathrm{ab}}})$.

(3) Find n when the phase difference $\arg(\frac{V_{\mathrm{bc}}}{V_{\mathrm{ab}}}) = \frac{\pi}{3}$.

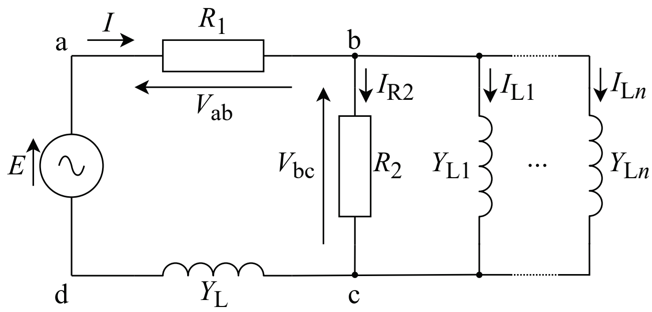


Fig. 1

【Q2】 In the circuit shown in Fig. 2, the source voltage $e(t) = 5\sin 2t$ [V] was applied and the circuit reached the steady state. When $t \geqq 0$, $e(t)$ was set to 0 [V]. Answer the following questions for the current $i(t)$ and the charge $q(t)$.

(1) Find $i(0)$ and $q(0)$.

(2) Find $i(t)$ for $t > 0$.

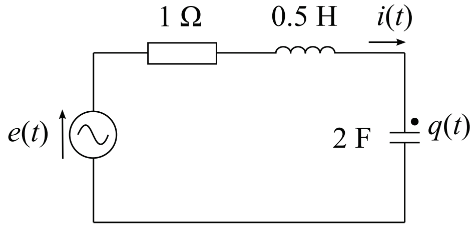


Fig. 2

専 門 科 目 (Specialized subjects)

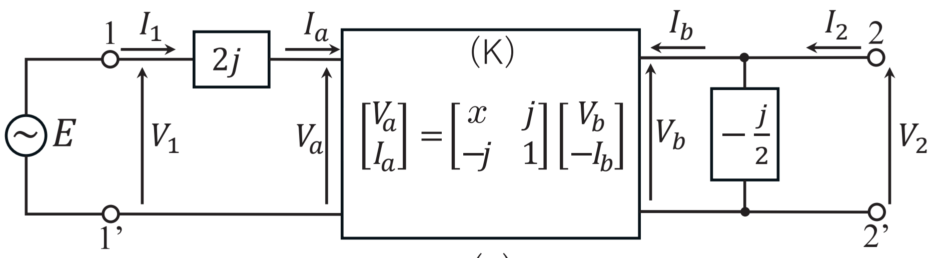
５分野から２分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙１部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．
Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

【Q3】 Consider the circuit with a two-port network (K) at the center. (K) is defined by a cascade matrix $K = \begin{bmatrix} x & j \\ -j & 1 \end{bmatrix}$, as shown in Fig. 3(a). The values shown for the elements connected outside of (K) represent their impedance. Answer the following questions.

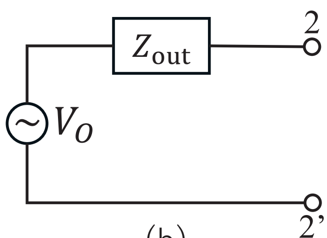
(1) Express V_2 and I_2 in terms of V_1, I_1, and x.

(2) When the two-port network (K) consists only of linear elements, find x.

(3) In the circuit, an AC voltage source E is connected between terminals 1-1', as shown in Fig. 3(a). Assuming the equivalent circuit viewed from the left side of terminals 2-2' can be represented as shown in Fig. 3(b), find V_O and Z_{out}. Assume that the condition from (2) holds.



(a)



(b)

Fig. 3

専 門 科 目 (Specialized subjects)

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，大問一つあたり一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.

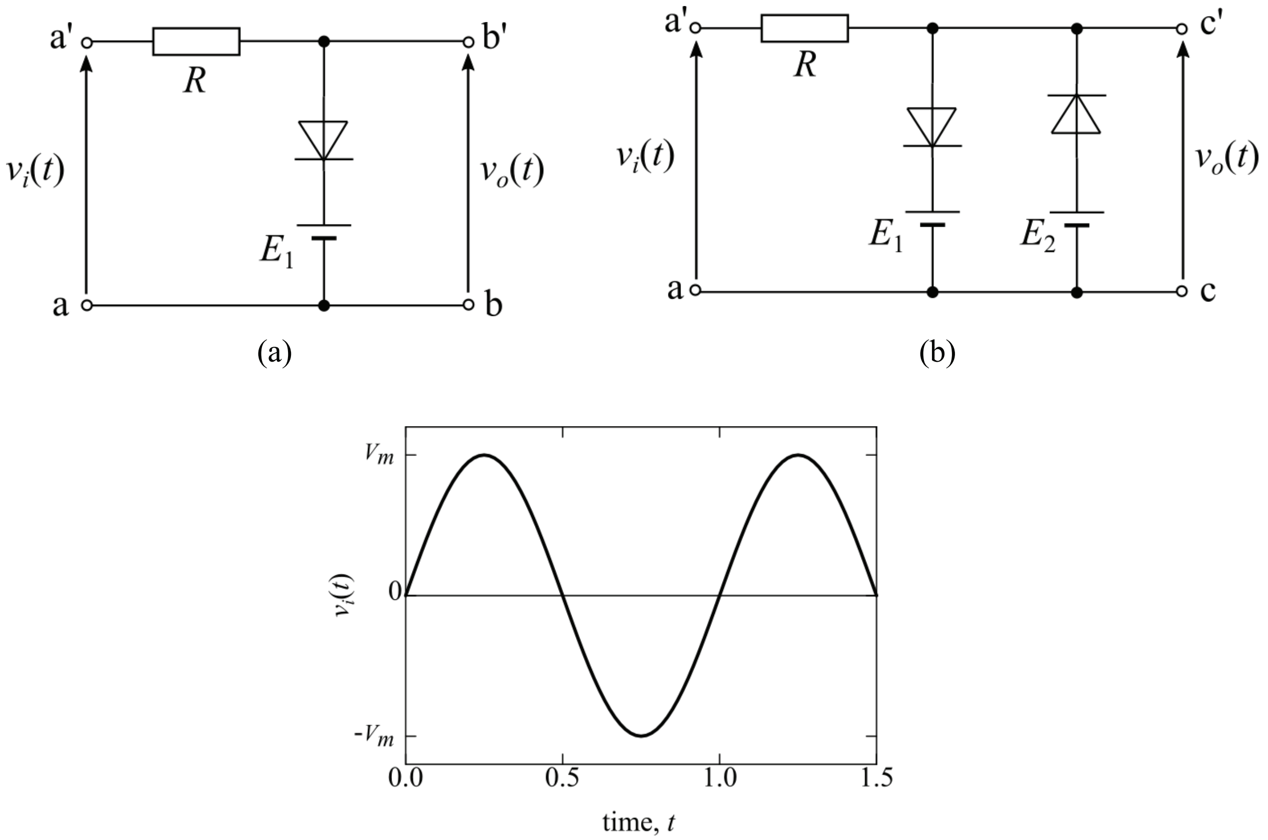
B. 【電子回路分野】

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】図１(a), (b)に示す回路において次の問いに答えよ．ただし，ダイオードは順方向抵抗をゼロ，逆方向抵抗を無限大とし，入力電圧 $v_i(t)$には図１(c)に示す正弦波 $v_i(t) = V_m \sin 2\pi t$ を与える．

（１）図１(a)に示す回路において，出力電圧 $v_o(t)$の波形を図示せよ．ただし，$E_1 < V_m$ とする．

（２）図１(b)に示す回路において，出力電圧 $v_o(t)$の波形を図示せよ．ただし，$E_2 < E_1 < V_m$ とする．



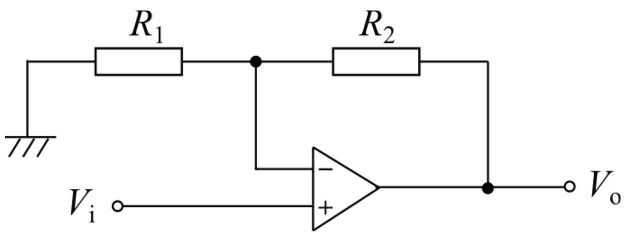
(a)　(b)

(c)

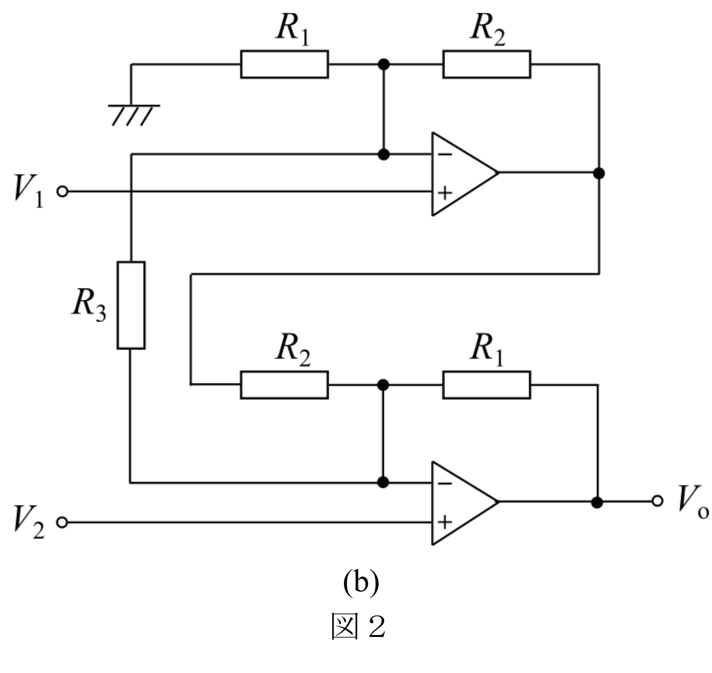
図１

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，大問一つあたり一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】次の問いに答えよ．ただし，演算増幅器は理想的であるとする．
（１）図２(a)に示す回路の V_o を求めよ．
（２）図２(b)に示す回路の V_o を求めよ．



(a)



(b)

図２

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，大問一つあたり一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.

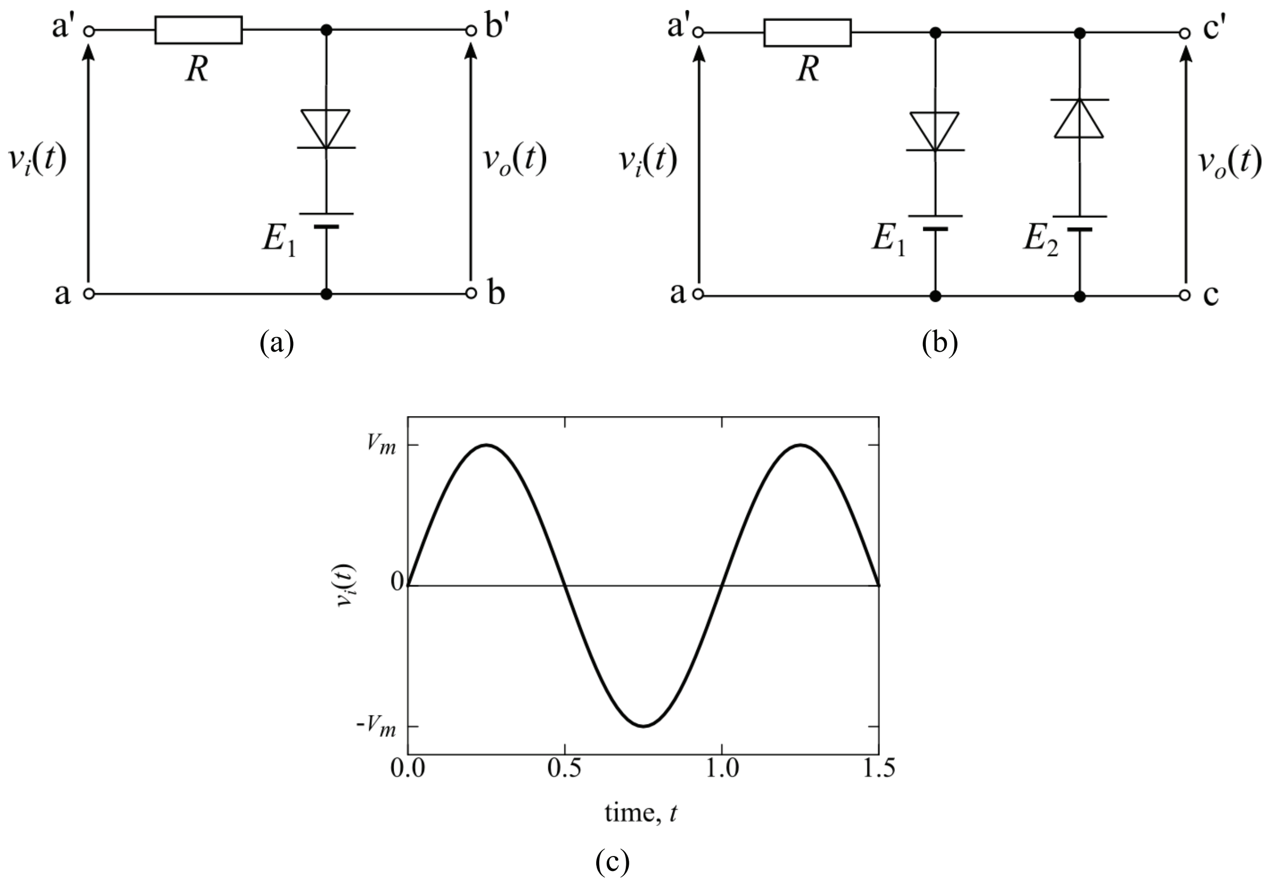
B.【Electronic circuits】

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

【Q1】Answer the following questions for the circuits shown in Figs. 1 (a) and 1 (b). Here, the diodes are assumed to have zero and infinite resistances in forward and reverse directions, respectively. The input voltage $v_i(t)$ is the sinusoidal wave $v_i(t) = V_m \sin 2\pi t$ shown in Fig. 1(c).

(1) Sketch the waveform of the output voltage $v_o(t)$ in the circuit shown in Fig. 1(a). Here, $E_1 < V_m$.

(2) Sketch the waveform of the output voltage $v_o(t)$ in the circuit shown in Fig. 1(b). Here, $E_2 < E_1 < V_m$.



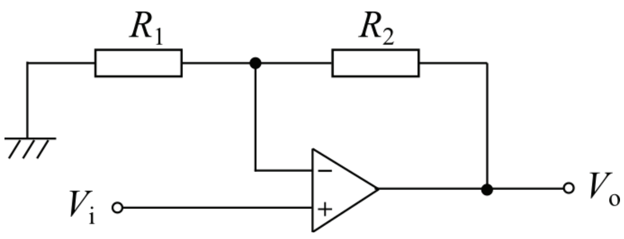
(a) (b)

(c)

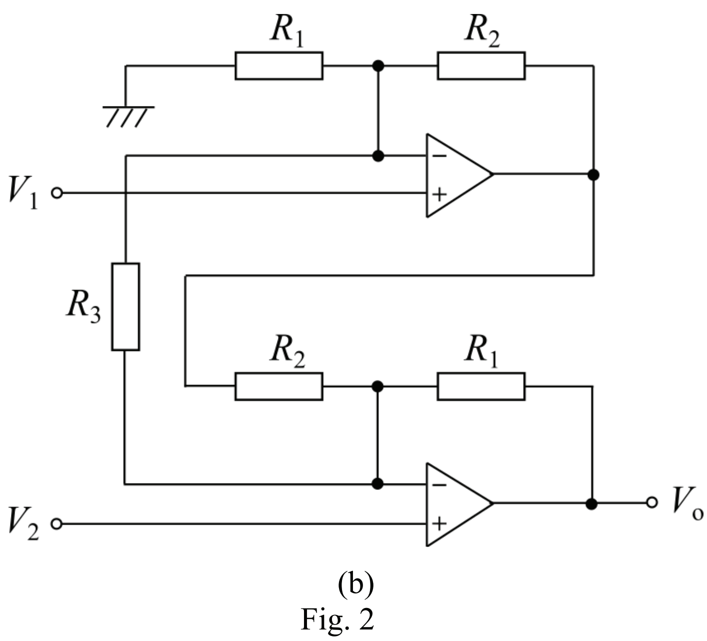
Fig. 1

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，大問一つあたり一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. Here, the operational amplifiers are assumed to be ideal.
(1) Find V_o of the circuit shown in Fig. 2(a).
(2) Find V_o of the circuit shown in Fig. 2(b).



(a)



(b)
Fig. 2

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，大問一つあたり一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】 以下では，t は時間変数，s はラプラス変換の変数を表すものとする．伝達関数

$$P(s) = \frac{c}{s^2 + as + b}, \quad a > 0,\, b > 0,\, c > 0$$

で表されるシステムを考える．このシステムに入力 $u_1(t) = \sin(t)$ を与えると，定常状態における出力 $y_1(t)$ は図 1 (a) に示す通りとなった．同様に，入力 $u_2(t) = \sin(2t)$ に対する定常状態における出力 $y_2(t)$ を図 1 (b) に示す．また，縦の点線は二つの曲線の位置関係を表すために描かれており，図 1 (a) 中の記号 // は間隔が等しいことを表す．さらに，$P(s)$ について，図 1 (c) に示す閉ループ系を考える．ただし，y は制御量，r は目標値，u は操作量，e は偏差，K は静的ゲインである．以下の問いに答えよ．

(1) 伝達関数 $P(s)$ の a, b, c の値を求めよ．

(2) 図 1 (c) の閉ループ系の安定性を保証する K の範囲を求めよ．

(3) 図 1 (c) において単位ステップ目標値に対する定常偏差の絶対値が 0.01 以下となるような最小の K を求めよ．

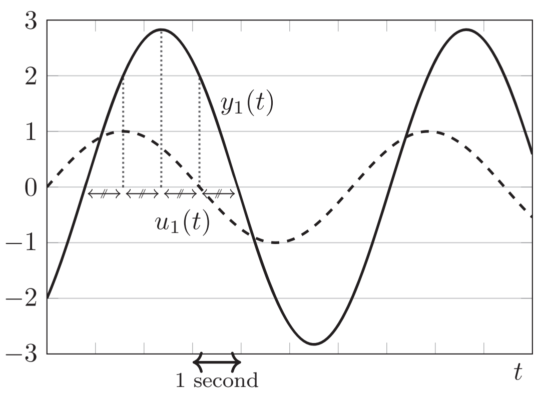


図 1 (a)

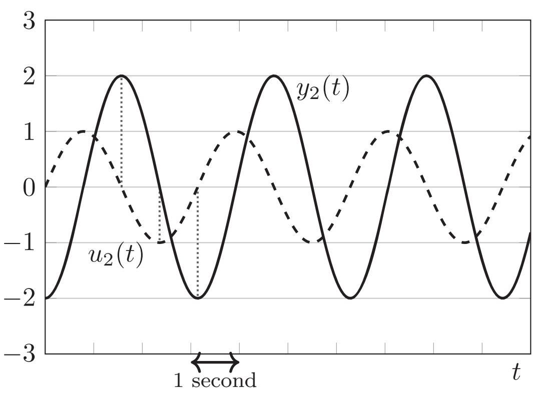


図 1 (b)

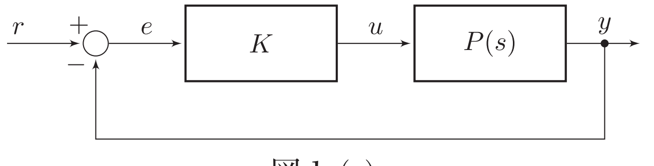


図 1 (c)

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，大問一つあたり一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．

$$G: \begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2 & -5 & -4 \end{bmatrix},\ B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},\ C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

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

(1) システム G の伝達関数を求めよ．

(2) 対 (A, C) が可観測であることを示せ．

(3) 初期状態が $x(0) = [\ 1\ 0\ 1\ ]^T$ であり入力が $u(t) = 0$ $(t \geq 0)$ であるときの出力を $y_1(t)$ $(t \geq 0)$ とする．また，初期状態が $x(0) = [\ 0\ 0\ 1\ ]^T$ 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．さらに，初期状態が $x(0) = [\ -1\ 0\ 1\ ]^T$ であり入力が $u(t) = 2$ $(t \geq 0)$ であるときの出力を $y_3(t)$ $(t \geq 0)$ とする．$y_3(t)$ を $y_1(t)$ と $y_2(t)$ を用いて表せ．

(4) ゲイン $K \in \mathbb{R}^{1\times 3}$ を用いて状態フィードバック $u(t) = Kx(t)$ を施し，閉ループ系を構成する．閉ループ極が $\{-3, -4, -5\}$ となるようなゲイン $K \in \mathbb{R}^{1\times 3}$ を求めよ．

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，大問一つあたり一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 the answer sheet.

【Q1】Let t and s represent the time variable and the Laplace transform variable, respectively. Consider a system represented by the transfer function

$$P(s) = \frac{c}{s^2 + as + b}\ , \quad a > 0,\ b > 0,\ c > 0.$$

When the input $u_1(t) = \sin(t)$ is applied to the system, the output $y_1(t)$ in the steady state is obtained as shown in Fig. 1(a). Similarly, the output $y_2(t)$ in the steady state against the input $u_2(t) = \sin(2t)$ is shown in Fig. 1(b). In Fig. 1(a), the vertical dotted lines clarify the relative position of the two curves, and the symbol // indicates equal intervals. For $P(s)$, we consider the closed-loop system of Fig. 1(c), where r is the reference, u is the control input, e is the error, and K is a static gain. Answer the following questions:

(1) Determine the values of a, b, and c in the transfer function $P(s)$.

(2) Find the range of K that guarantees the stability of the closed-loop system of Fig. 1(c).

(3) Find the minimum K such that the absolute value of the steady-state error is less than or equal to 0.01 for the unit step reference input in Fig. 1(c).

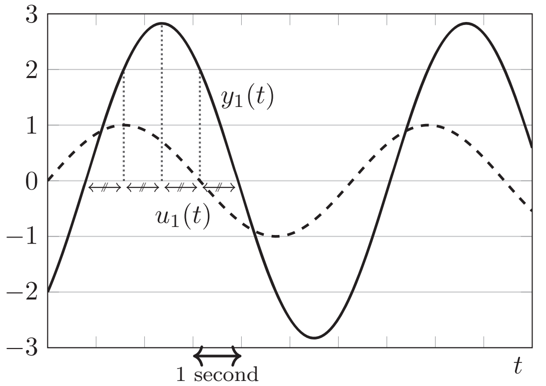


Fig. 1(a)

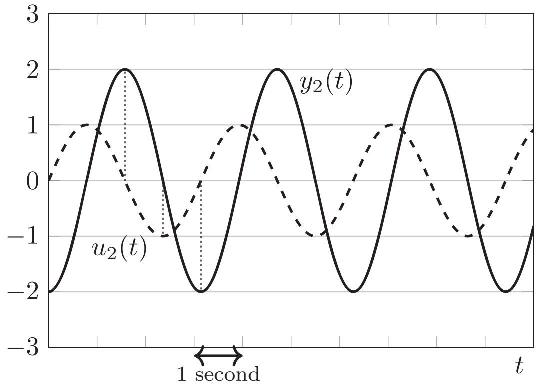


Fig. 1(b)

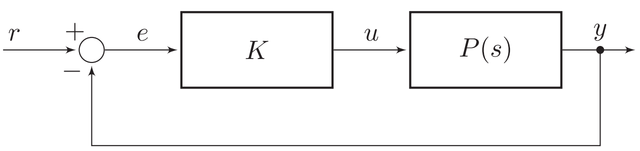


Fig. 1(c)

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，大問一つあたり一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 space equations:

$$G: \begin{cases} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= Cx(t), \end{cases}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2 & -5 & -4 \end{bmatrix}, \ B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \ C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

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

(1) Find the transfer function of the system G.

(2) Show that the pair (A, C) is observable.

(3) Let $y_1(t)$ $(t \geq 0)$ denote the output corresponding to the initial state $x(0) = [\,1\;0\;1\,]^T$ and the input $u(t) = 0$ $(t \geq 0)$. Moreover, let $y_2(t)$ $(t \geq 0)$ denote the output corresponding to the initial state $x(0) = [\,0\;0\;1\,]^T$ and the input $u(t) = 1$ $(t \geq 0)$. Furthermore, let $y_3(t)$ $(t \geq 0)$ denote the output corresponding to the initial state $x(0) = [\,-1\;0\;1\,]^T$ and the input $u(t) = 2$ $(t \geq 0)$. Represent $y_3(t)$ by using $y_1(t)$ and $y_2(t)$.

(4) Let us construct a closed-loop system by applying the state feedback $u(t) = Kx(t)$ with a gain $K \in \mathbb{R}^{1\times 3}$. Find $K \in \mathbb{R}^{1\times 3}$ such that the closed-loop poles are $\{-3, -4, -5\}$.

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，大問一つあたり一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】　真空の誘電率を ε_0 とする．以下の各問に答えよ．

(1) 図１に示すように，x 軸上の点 $x = \delta/2$ に存在する電荷 Q と x 軸上の点 $x = -\delta/2$ に存在する電荷 $-Q$ による電気双極子を考える．この電気双極子による電気双極子モーメントの大きさ M は，$M = Q\delta$ で与えられ，原点 O から距離 r だけ離れた点 P の位置での電位は，$M\cos\theta/(4\pi\varepsilon_0 r^2)$ と表すことができる．ここで，θ は，x 軸正の向きに対する $\overrightarrow{\mathrm{OP}}$ の反時計回りの角であり，$r \gg \delta$ とする．この電気双極子による点 P での電界の r 方向成分 E_r および θ 方向成分 E_θ を $\varepsilon_0, M, r, \theta$ を用いて表せ．

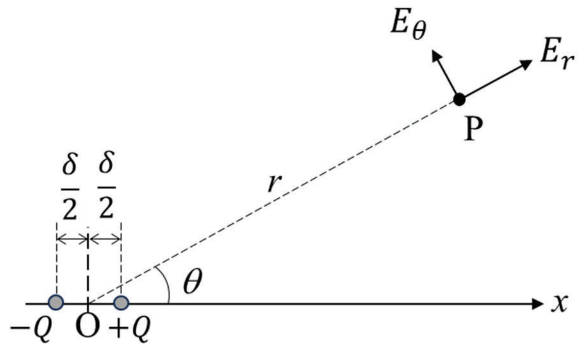


図 1

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，大問一つあたり一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.

次に，図 2 に示すように，半径 R_1の球 1 が真空中にある場合を考える．ただし，球 1 の中心を原点 O とし，球 1 の右半分（$x \geq 0$）は一様な電荷密度$+\rho_1$の電荷で，左半分（$x \leq 0$）は一様な電荷密度$-\rho_1$の電荷で満たされている．

(2) 球 1 から十分遠い点から見たとき，球 1 は，原点 O に位置する電気双極子とみなすことができる．このことを利用して，球 1 の領域 $h \leq x \leq h + \Delta h$ の正電荷と，領域 $-h - \Delta h \leq x \leq -h$ の負電荷が作る電気双極子モーメントの大きさを求めよ．ただし，$0 \leq h \leq R_1$，$\Delta h \ll h$とする．

(3) 球 1 の全電荷による電気双極子モーメントの大きさ M_1と向きを答えよ．また，$(x, y, z) = (R_0, 0, 0)$ の位置での電界の大きさを答えよ．ただし，$R_0 \gg R_1$とする．

(4) 球 1 とは別に，半径 R_2の球 2 がある場合を考える．球 2 の中心は$(x, y, z) = (R, 0,0)$に固定されており，初め，球 2 の右半分（$x \geq R$）は一様な電荷密度$+\rho_2$の電荷で，左半分（$x \leq R$）は一様な電荷密度$-\rho_2$の電荷で満たされている．この状態から，正電荷が $y \geq 0$ の領域に，負電荷が $y \leq 0$ の領域に存在するように，球 2 を回転させるのに必要な仕事を $\varepsilon_0, M_1, R, \rho_2, R_2$ を用いて表せ．ただし，$R \gg R_1, R_2$とする．

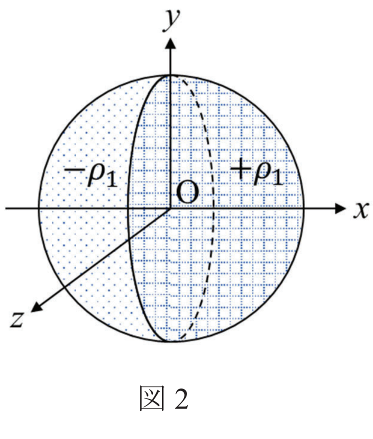


図 2

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，大問一つあたり一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 (a) に示すように，無限長の電線AおよびBが真空中に置かれている．電線AとBはともに x-y 平面内で y 軸に平行に保たれ，それらの中心軸はそれぞれ $x=0$ および $x=d$ の位置に固定されている．図3 (b) に示すように，2本の電線の断面は円形であり，その半径はともに a である．これらの電線に，大きさが等しく反対向きの電流 I を流した．真空の透磁率は μ_0 とする．また，$d \gg a$ とする．

(1) 電流が電線表面のみに一様に流れている場合を考える．x-y 平面内での $x=r$ における磁束密度の大きさを求めよ．ただし，$a \leq r \leq d-a$ とする．
(2) (1)の場合において，x-y 平面内の $a \leq x \leq d-a$ および $0 \leq y \leq l$ で表される領域Sを貫く磁束の大きさを求めよ．また，電線AとBからなる往復線路の単位長さ当たりの自己インダクタンスを求めよ．
(3) 次に，電流が両電線内部に一様に流れている場合について考える．電線Aに流れている電流が電線A内の $x=r$ $(0 \leq r \leq a)$ の位置に作る磁束密度の大きさを求めよ．
(4) (3)の場合において，電線Aの内部インダクタンスを求めよ．
(5) (3)の場合において，電線AとBからなる往復線路の単位長さ当たりの自己インダクタンスを求めよ．

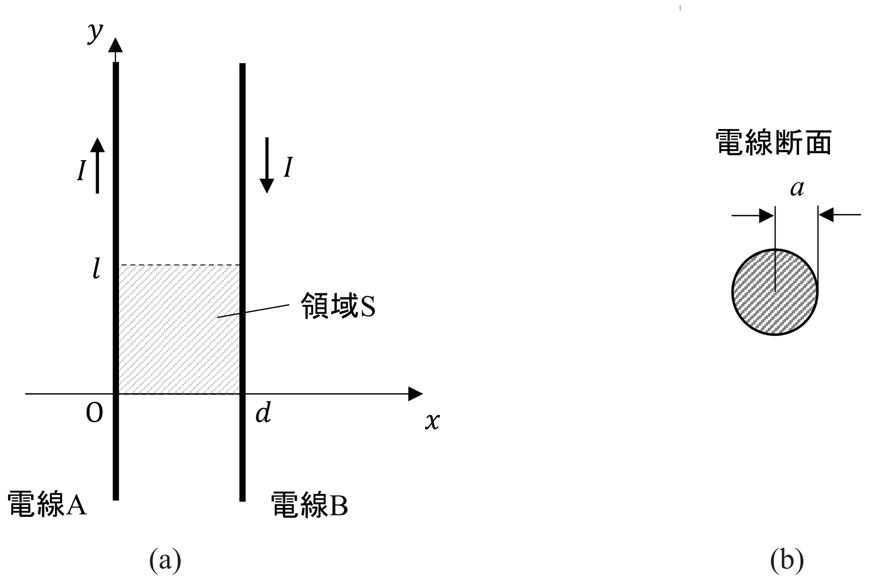


図3

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，大問一つあたり一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.

白 紙
Blank Page

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，大問一つあたり一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 (Question 1, Question 2). Make sure to specify the selected field and the corresponding question number on the answer sheet.

[Question 1] The electrical permittivity of vacuum is ε_0. Answer the following questions.

(1) Consider an electric dipole, which consists of an electric charge Q at the point $x = \delta/2$ on the x-axis and an electric charge $-Q$ at the point $x = -\delta/2$ on the x-axis as shown in Fig. 1. The magnitude of the electric dipole moment due to this electric dipole, M, is given by $M = Q\delta$, and the electric potential at a point P due to this electric dipole is given by $M\cos\theta\,/(4\pi\varepsilon_0 r^2)$. Here, $\mathrm{OP} = r$, θ is the counterclockwise angle of the $\overrightarrow{\mathrm{OP}}$ with respect to the positive direction of x-axis, and $r \gg \delta$. Express the r-component of the electric field, E_r, and the θ-component of the electric field, E_θ, with $\varepsilon_0, M, r, \theta$.

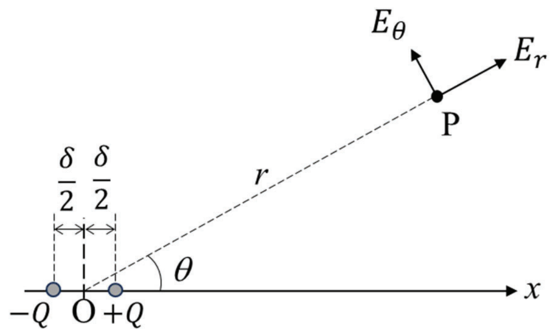


Fig. 1

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，大問一つあたり一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.

Next, consider the case where Sphere 1 with radius R_1, is in vacuum as shown in Fig. 2. Here, the center of Sphere 1 is at the origin O, the right half of Sphere 1 ($x \geq 0$) is filled with uniform electric charge density $+\rho_1$, and the left half of Sphere 1 ($x \leq 0$) is filled with uniform electric charge density $-\rho_1$.

(2) Observing Sphere 1 from a point far enough away, Sphere 1 can be regarded as the electric dipole placed at the origin O. Using this, show the magnitude of the electric dipole moment due to the positive charges of Sphere 1 within the region $h \leq x \leq h + \Delta h$ and the negative charges of Sphere 1 within the region $-h - \Delta h \leq x \leq -h$. Here, $0 \leq h \leq R_1$ and $\Delta h \ll h$.

(3) Answer the magnitude of the electric dipole moment due to all the charges of Sphere 1, M_1, and the direction. Also, answer the magnitude of the electric field at the point $(x, y, z) = (R_0, 0, 0)$. Here, $R_0 \gg R_1$.

(4) In addition to Sphere 1, consider Sphere 2 with radius R_2, whose center is fixed at the point $(x, y, z) = (R, 0, 0)$. In the initial state, the right half of Sphere 2 ($x \geq R$) is filled with uniform electric charge density $+\rho_2$, and the left half of Sphere 2 ($x \leq R$) is filled with uniform electric charge density $-\rho_2$. Express the work with $\varepsilon_0, M_1, R, \rho_2, R_2$ required to rotate Sphere 2 from the initial state to the state such that the positive charges are in the region $y \geq 0$ and the negative charges are in the region $y \leq 0$. Here, $R \gg R_1, R_2$.

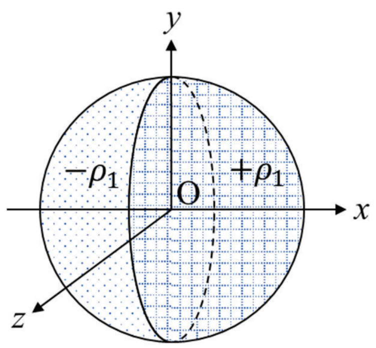


Fig. 2

専 門 科 目 (Specialized subjects)

> 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，大問一つあたり一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.

[Question 2] As shown in Fig. 3 (a), infinitely long conducting wires A and B are placed in vacuum. Both wires A and B are kept in the x-y plane parallel to y-axis, with their central axes fixed along at positions $x = 0$ and $x = d$, respectively. As shown in Fig. 3 (b), the cross-section of each conducting wire is circular shape of radius a. Currents of equal magnitude but opposite direction, I, flow through these wires. The permeability of vacuum is μ_0. Assume that $d \gg a$.

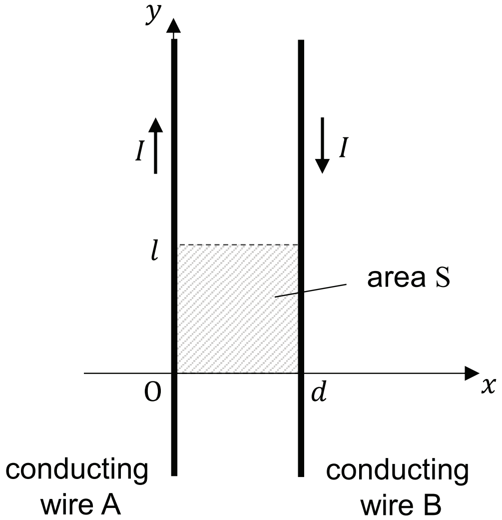
(1) Consider the case where the currents flow uniformly only on the surfaces of the wires. Find the magnitude of the magnetic flux density at $x = r$ in the x-y plane. Here, $a \leq r \leq d - a$.

(2) In the case of (1), find the magnitude of the magnetic flux passing through the area S defined by $a \leq x \leq d - a$ and $0 \leq y \leq l$ in the x-y plane. Find the self-inductance of a unit length of the two conducting wires A and B.

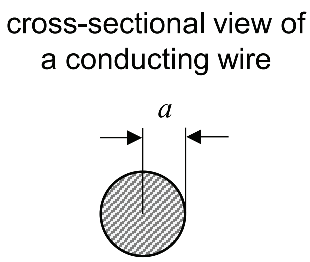
(3) Next, consider the case where the currents flow uniformly inside the conducting wires. Find the magnitude of the magnetic flux density at $x = r$ $(0 \leq r \leq a)$ inside conducting wire A due to the current flowing through conducting wire A itself.

(4) In the case of (3), find the internal inductance of conducting wire A.

(5) In the case of (3), find the self-inductance of a unit length of the two conducting wires A and B.



(a)



(b)

Fig. 3

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，大問一つあたり一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.

白紙
Blank Page

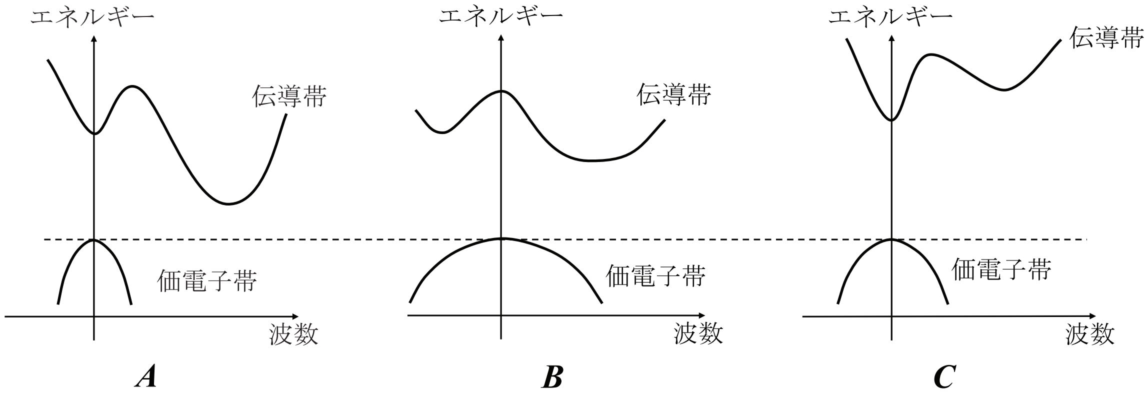
5 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．
Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

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】

次のようなエネルギー・バンド構造をもつ半導体 ***A***, ***B***, ***C*** に関する下記の設問に答えよ．ただし，それぞれのエネルギー・バンド図の横軸および縦軸のスケールはすべて等しく，***A***, ***B***, ***C*** の自由電子の平均自由時間 τ は，すべて等しい．



(1)　禁制帯幅が広いものから狭いものの順にその名前 ***A***, ***B***, ***C*** を答えよ．

(2)　自由電子の有効質量が重いものから軽いものの順にその名前 ***A***, ***B***, ***C*** を答えよ．

(3)　半導体 ***A*** の自由電子の有効質量を m^* とする．***A*** の自由電子の移動度 μ を，m^*，τ，電気素量 q を用いて表せ．

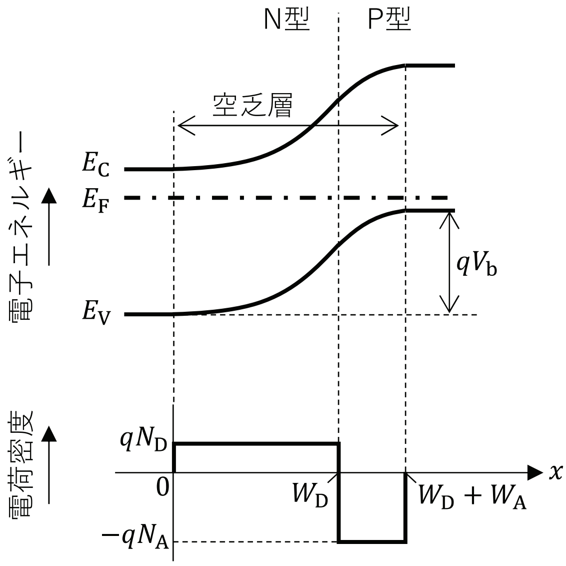
(4)　半導体 ***A***, ***B***, ***C*** に同一の電界 E を印加した．自由電子のドリフト速度が大きいものから小さいものの順にその名前 ***A***, ***B***, ***C*** を答えよ．

(5)　半導体 ***A*** を長さ 20 cm，断面積 1.0 cm^2 の棒に加工し，棒の両端の間に電位差 5.0 V を印加した．自由電子が棒の一端から他端へ走行するのに要する時間を答えよ．ただし，自由電子の移動度を 0.14 m^2/Vs とする．

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，大問一つあたり一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】

図はシリコンの PN 接合の平衡状態でのバンド図と電荷密度分布を表している．E_{C}，E_{V}，E_{F}はそれぞれ伝導帯下端，価電子帯上端，フェルミレベルの電子エネルギーを表している．N 型シリコン側と P 型シリコン側に形成された空乏層の幅をそれぞれW_{D}，W_{A}とし，N 型シリコンのドナー濃度をN_{D}，P 型シリコンのアクセプタ濃度をN_{A}とする．シリコンの誘電率をε，電気素量をqとして，以下の問いに答えよ．



(1) 図のように N 型シリコン側の空乏層の端を基準にx軸をとり，$x=0$において$E_{\mathrm{C}}=0$とする．例えば，$0<x<W_{\mathrm{D}}$において$E_{\mathrm{C}}=\frac{q^2N_{\mathrm{D}}}{2\varepsilon}x^2$が成り立つ．$W_{\mathrm{D}}<x<W_{\mathrm{D}}+W_{\mathrm{A}}$における$E_{\mathrm{C}}$の表式を考え，PN 接合の内蔵電位$V_{\mathrm{b}}$を$W_{\mathrm{D}}$，$W_{\mathrm{A}}$，$N_{\mathrm{D}}$，$N_{\mathrm{A}}$，$\varepsilon$，$q$で表せ．

(2) 電荷中性条件から，$qN_{\mathrm{D}}W_{\mathrm{D}}=qN_{\mathrm{A}}W_{\mathrm{A}}$が成り立つ．$qN_{\mathrm{D}}W_{\mathrm{D}}=qN_{\mathrm{A}}W_{\mathrm{A}}=Q$，$W_{\mathrm{D}}+W_{\mathrm{A}}=W$として，$V_{\mathrm{b}}$を$W$，$Q$，$\varepsilon$で表せ．

(3) (2) の文中に記載の式を用いて，QをW，N_{D}，N_{A}，qで表せ．さらに (2) の結果を利用してWをV_{b}，N_{D}，N_{A}，ε，qで表せ．

(4) N 型シリコンを基準として P 型シリコンに負の電圧$-V$ $(V>0)$を印加したとき，空乏層は広がるか狭まるか書け．またその時のWをV，V_{b}，N_{D}，N_{A}，ε，qで表せ．

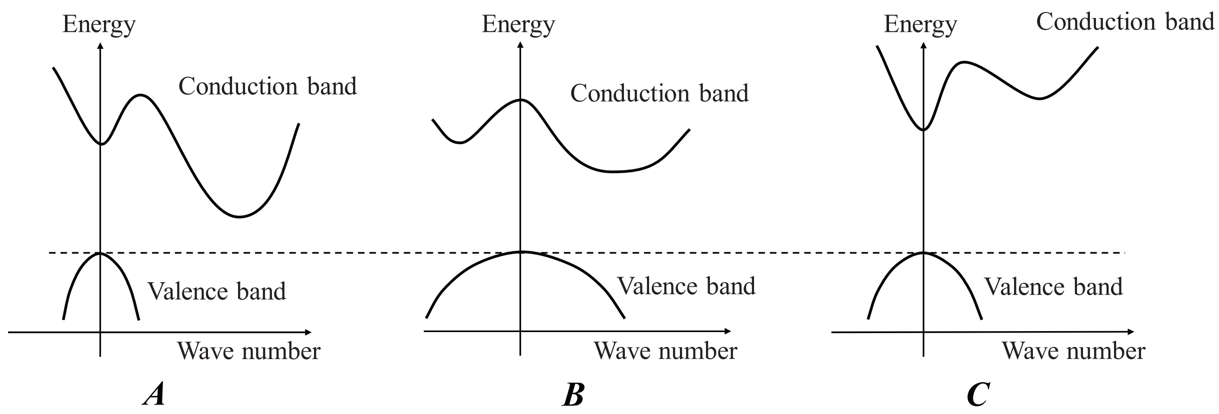
5 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．
Select 2 fields out of the 5 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use an answer sheet for each question.

E. 【Semiconductor device】

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

【Q1】

Answer the following questions concerning semiconductors ***A***, ***B***, and ***C***, having the energy band structures shown below. Here, the scales of the horizontal and vertical axes in the respective energy band diagrams are identical, and the mean free time of free electrons τ is all the same for the semiconductors ***A***, ***B***, and ***C***.



(1) Give their names ***A***, ***B***, and ***C*** in order from the widest to the narrowest in the energy band gap.

(2) Give their names ***A***, ***B***, and ***C*** in order from the heaviest to the lightest in the effective mass of free electrons.

(3) Assume that the effective mass of free electrons of the semiconductor ***A*** is m^*. Give an equation for the mobility of free electrons μ in ***A*** using m^*, τ, and the elementary charge q.

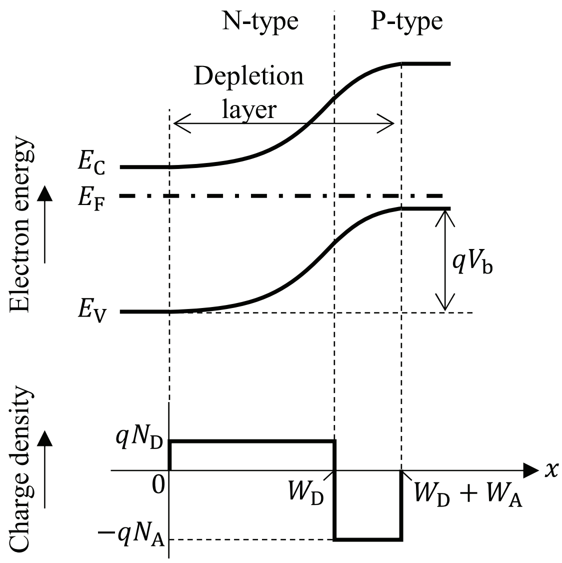
(4) An identical electric field E is applied to semiconductors ***A***, ***B***, and ***C***. Give their names ***A***, ***B***, and ***C*** in order from the largest to the smallest in the free electron drift velocity.

(5) The semiconductor ***A*** is cut into a rod with a length of 20 cm and a cross section of 1.0 cm^2, and a potential difference of 5.0 V is applied between both ends. Evaluate the traveling time of an electron from one end to the other end of the rod. Here, the mobility of free electrons is 0.14 m^2/Vs.

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，大問一つあたり一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】

The figure shows the band diagram and the charge density distribution of a silicon PN junction under the equilibrium condition, where $E_\mathrm{C}, E_\mathrm{V}$, and E_F are the electron energies of the conduction band edge, the valence band edge, and the Fermi level, respectively. The donor concentration in the N-type silicon is N_D and the acceptor concentration in the P-type silicon is N_A. Let the dielectric constant of silicon be ε and the elementary charge be q. Answer the following questions.



(1) Taking the x-axis with respect to the depletion layer edge in the N-type silicon as shown in the figure, $E_\mathrm{C}=0$ is assumed at $x=0$. For example, E_C can be expressed as $E_\mathrm{C}=\frac{q^2N_\mathrm{D}}{2\varepsilon}x^2$ for $0<x<W_\mathrm{D}$. Express the built-in potential of the PN junction V_b in terms of $W_\mathrm{D}, W_\mathrm{A}, N_\mathrm{D}, N_\mathrm{A}, \varepsilon$, and q, by considering the expression of E_C for $W_\mathrm{D}<x<W_\mathrm{D}+W_\mathrm{A}$.

(2) Due to the charge neutrality, $qN_\mathrm{D}W_\mathrm{D}=qN_\mathrm{A}W_\mathrm{A}$. By defining Q and W as $qN_\mathrm{D}W_\mathrm{D}=qN_\mathrm{A}W_\mathrm{A}=Q$ and $W_\mathrm{D}+W_\mathrm{A}=W$, express V_b using W, Q, and ε.

(3) Using the equations written in (2), express Q using $W, N_\mathrm{D}, N_\mathrm{A}$, and q. Then, using the answer of (2), express W using $V_\mathrm{b}, N_\mathrm{D}, N_\mathrm{A}, \varepsilon$, and q.

(4) Write whether the depletion layer widens or narrows when a negative voltage $-V$ $(V>0)$ is applied to the P-type silicon with respect to the N-type silicon. In this case, also express W using $V, V_\mathrm{b}, N_\mathrm{D}, N_\mathrm{A}, \varepsilon$, and q.