

2007 年 2 月 28 日

9:30—11:30

大学院工学研究科 電気・通信工学専攻
電子工学専攻

大学院情報科学研究科
情報・生命系群（物理・情報系）

大学院入学試験問題用紙

専門科目

注意： 7 設問中， 2 問題を選んで， 答案用紙（問題ごとに 1 枚）に解答せよ． 答案用紙が不足する場合は裏面を使って良いが， ”裏面へ続く”と書くこと． 問題は和文と英文を併記してある．

Attention: Choose 2 problems out of the following 7 problems and solve them on a separate answer sheet for each problem. If space of the sheet is shortened, use backside of the same sheet and note “continued to backside”. Problems are written both in Japanese and English.

2007 年 2 月実施

問題 1 電気工学

(1 頁目 / 2 頁中)

- (1) Fig. 1(a)に示すような電気回路を考える. $e_i(t)$ から $e_o(t)$ までの伝達関数 $G(s)$ を求めよ.
- (2) Fig. 1(b)のようなフィードバック制御系がある. ここで, $r(t)$ は目標値, $y(t)$ は出力である. 次の問に答えよ.
- (a) このフィードバック制御系の開ループ周波数伝達関数の実部と虚部を求めよ.
 - (b) 問(a)の結果に基づいてナイキスト線図の概形を描け.
 - (c) 問(b)の結果に基づいてゲイン余裕を求めよ.
- (1) Consider the electrical circuit shown in Fig. 1(a). Find the transfer function $G(s)$ from $e_i(t)$ to $e_o(t)$.
- (2) Consider the feedback control system shown in Fig. 1(b), where $r(t)$ and $y(t)$ denote the reference input and output, respectively. Answer the following questions:
- (a) Calculate the real and imaginary parts of the open-loop frequency transfer function of this feedback control system.
 - (b) Sketch the Nyquist diagram based on the result obtained in part (a).
 - (c) Calculate the gain margin based on the result obtained in part (b).

2007 年 2 月実施

問題 1 電気工学

(2 頁目 / 2 頁中)

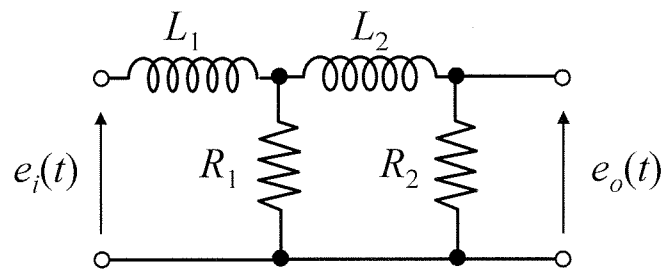


Fig. 1(a)

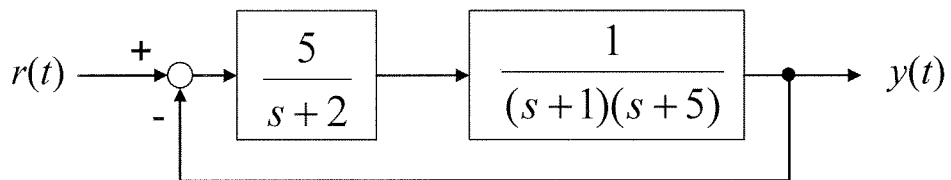


Fig. 1(b)

2007 年 2 月実施
問題 2 通信工学
(1 頁目 / 2 頁中)

信号 $s(t)$ を, 角周波数 ω_c , 振幅 V_c なる正弦波搬送波 $V_c \sin \omega_c t$ で振幅変調 (AM) および周波数変調 (FM) する場合を考える. AM では, 搬送波の振幅を信号 $s(t)$ に応じて変調する. いま, 瞬時振幅を, $V(t) = V_c + \beta_{AM}s(t)$ によって変調するものとする. このとき, AM 信号の時間応答 $f_{AM}(t)$ は, 式(1)で与えられる.

$$f_{AM}(t) = \{V_c + \beta_{AM}s(t)\} \sin \omega_c t \quad (1)$$

一方, FM では, 搬送波の角周波数 ω_c を信号 $s(t)$ に応じて変調する. いま, 瞬時角周波数を, $\omega(t) = \omega_c + \beta_{FM}s(t)$ によって変調するものとする. このとき, 瞬時角周波数の時間積分は瞬時位相を与えるので, FM 信号の時間応答 $f_{FM}(t)$ は, 式(2)で与えられる.

$$f_{FM}(t) = V_c \sin \left\{ \omega_c t + \beta_{FM} \int_{-\infty}^t s(t) dt \right\} \quad (2)$$

いま, β_{AM} と β_{FM} は正の定数であり, $s(t) = \sin \omega_m t - \sin 3\omega_m t$ ($\omega_m \ll \omega_c$) とする. 以下の問に答えよ.

- (1) $f_{AM}(t)$ の角周波数スペクトルの概形を描け.
- (2) $f_{FM}(t)$ において, 瞬時角周波数 $\omega(t)$ の ω_c からの偏移の最大値を求めよ.
- (3) $\beta_{FM} \ll \omega_m$ の場合について, $f_{FM}(t)$ の角周波数帯域幅を求めよ. 必要に応じて以下の近似式を用いよ.

$$|\alpha| \ll 1 \text{ のとき, } \sin \alpha \approx \alpha, \quad \cos \alpha \approx 1.$$

- (4) 問(3)において, $f_{FM}(t)$ の振幅にはどのような特徴があるか, 述べよ.

2007 年 2 月実施
問題 2 通信工学
(2 頁目 / 2 頁中)

Consider amplitude modulation (AM) and frequency modulation (FM) for a signal $s(t)$ using a sinusoidal carrier wave having an angular frequency ω_c and an amplitude V_c . In AM, the amplitude of the carrier wave is modulated in accordance with $s(t)$. Suppose that an instantaneous amplitude is given by $V(t) = V_c + \beta_{\text{AM}}s(t)$. In this case, the temporal response of the AM signal $f_{\text{AM}}(t)$ is given by equation (1).

$$f_{\text{AM}}(t) = \{V_c + \beta_{\text{AM}}s(t)\} \sin \omega_c t \quad (1)$$

In FM, on the other hand, the angular frequency of the carrier wave is modulated in accordance with $s(t)$. Suppose that an instantaneous angular frequency is given by $\omega(t) = \omega_c + \beta_{\text{FM}}s(t)$. Since the time integral of an instantaneous angular frequency gives rise to an instantaneous phase, the temporal response of the FM signal $f_{\text{FM}}(t)$, in this case, is given by equation (2).

$$f_{\text{FM}}(t) = V_c \sin \left\{ \omega_c t + \beta_{\text{FM}} \int_{-\infty}^t s(t) dt \right\} \quad (2)$$

Suppose that β_{AM} and β_{FM} are positive constants, and that $s(t) = \sin \omega_m t - \sin 3\omega_m t$ ($\omega_m \ll \omega_c$). Answer the following questions:

- (1) Sketch the angular frequency spectrum of $f_{\text{AM}}(t)$.
- (2) In $f_{\text{FM}}(t)$, obtain the maximum value of deviation of the instantaneous angular frequency $\omega(t)$ from ω_c .
- (3) Obtain the angular-frequency bandwidth of $f_{\text{FM}}(t)$ in case of $\beta_{\text{FM}} \ll \omega_m$. Use the following approximations, if necessary. When $|\alpha| \ll 1$, $\sin \alpha \approx \alpha$, $\cos \alpha \approx 1$.
- (4) Explain the amplitude characteristics of $f_{\text{FM}}(t)$ in question (3).

2007 年 2 月実施
問題 3 電子工学
(1 頁目 / 2 頁中)

アクセプタ濃度 N_A , ドナー濃度 N_D の階段的 pn 接合を考える. 接合面積を S とし, 接合面と垂直に x 軸を定義する. この pn 接合に逆バイアス $V (V < 0)$ を加えたとき, p 領域の $-x_p < x < 0$ と n 領域の $0 < x < x_n$ が完全に空乏し, 空乏層内の空間電荷密度は次式で与えられる.

$$\rho(x) = \begin{cases} -qN_A & (-x_p < x < 0) \\ qN_D & (0 < x < x_n) \end{cases}$$

ここで q は素電荷である. 以下の問に答えよ.

- (1) x_n に対する x_p の比を求めよ.
- (2) p 領域内の $x = -x_p$ における電位を基準とする電位 $\phi(x)$ は次式で与えられる.

$$\phi(x) = \begin{cases} \frac{qN_A}{2\varepsilon}(x+x_p)^2 & (-x_p < x < 0) \\ -\frac{qN_D}{2\varepsilon}(x-x_n)^2 + V_D - V & (0 < x < x_n) \end{cases}$$

ただし ε は半導体の誘電率, V_D は拡散電位である. $d\phi(x)/dx$ の概形を描け.

- (3) $x = 0$ において $\phi(x)$ が連続であるという条件を用いて, 空乏層幅 $x_p + x_n$ を求めよ.
- (4) 二重層に蓄えられている電荷を求めよ. ただし x_p や x_n を含まない式で表すこと.

2007 年 2 月実施
問題 3 電子工学
(2 頁目 / 2 頁中)

Consider an abrupt pn junction with an acceptor concentration N_A and a donor concentration N_D . Let S be the junction area and define the x -axis perpendicular to the junction interface. When a reverse bias V ($V < 0$) is applied to the pn junction, $-x_p < x < 0$ in the p region and $0 < x < x_n$ in the n region are completely depleted, and the density of the space charge in the depletion layer is given by

$$\rho(x) = \begin{cases} -qN_A & (-x_p < x < 0) \\ qN_D & (0 < x < x_n) \end{cases},$$

where q is the elementary charge. Answer the following questions.

- (1) Write down the ratio of x_p to x_n .
- (2) The potential $\phi(x)$ with respect to the potential at $x = -x_p$ in the p region is given by

$$\phi(x) = \begin{cases} \frac{qN_A}{2\varepsilon}(x+x_p)^2 & (-x_p < x < 0) \\ -\frac{qN_D}{2\varepsilon}(x-x_n)^2 + V_D - V & (0 < x < x_n), \end{cases}$$

where ε is the dielectric constant of the semiconductor and V_D is the diffusion potential. Sketch the profile of $d\phi(x)/dx$.

- (3) Using the condition that $\phi(x)$ is continuous at $x = 0$, derive the width of the depletion layer $x_p + x_n$.
- (4) Calculate the charge stored in the double layer. Do not include either x_p or x_n in the expression.

2007年2月実施
問題4 計算機1
(1頁目／1頁中)

記号 0, 1 からなる 2 つの記号列のハミング距離を求める方法について考える. ハミング距離とは, 2 つの等しい長さの記号列において, 対応する記号が異なる位置の数である.

以下の問に答えよ.

- (1) 2 つの記号列 $X = (0, 1, 1, 0)$ と $Y = (1, 0, 1, 1)$ のハミング距離を求めよ.
- (2) 任意の 2 つの記号列 $X = (x_3, x_2, x_1, x_0)$ と $Y = (y_3, y_2, y_1, y_0)$ ($x_i, y_i \in \{0, 1\}$) のハミング距離を求める組み合わせ回路を与えよ. このとき, ハミング距離は 2 進数で表すものとする. この組み合わせ回路を適当な論理ゲートを用いて構成せよ.
- (3) 任意の 2 つの記号列 $X = (x_3, x_2, x_1, x_0)$ と $Y = (y_3, y_2, y_1, y_0)$ ($x_i, y_i \in \{0, 1\}$) のハミング距離を求める順序回路を与えよ. このとき, ハミング距離は 2 進数で表すものとする. また, この回路には, クロックサイクルごとに, 入力 x_i と y_i の組が $i = 3, 2, 1, 0$ の順で与えられる. この順序回路を D フリップフロップと適当な論理ゲートを用いて構成せよ. D フリップフロップの初期状態も示すこと.

Consider a method of calculating the Hamming distance between two strings which comprise the symbols 0 and 1. The Hamming distance between two strings of equal length is the number of positions for which the corresponding symbols are different.

Answer the following questions.

- (1) Show the Hamming distance between $X = (0, 1, 1, 0)$ and $Y = (1, 0, 1, 1)$.
- (2) Design a combinational logic circuit to calculate the Hamming distance between $X = (x_3, x_2, x_1, x_0)$ and $Y = (y_3, y_2, y_1, y_0)$ ($x_i, y_i \in \{0, 1\}$) using adequate logic gates where the Hamming distance is expressed by the binary system.
- (3) Design a sequential circuit to calculate the Hamming distance between $X = (x_3, x_2, x_1, x_0)$ and $Y = (y_3, y_2, y_1, y_0)$ ($x_i, y_i \in \{0, 1\}$) using D flip-flops and adequate logic gates where the Hamming distance is expressed by the binary system. In each clock cycle, the circuit receives a pair of inputs x_i and y_i , in the order of $i = 3, 2, 1, 0$. Specify the initial state of the D flip-flops.

2007年2月実施

問題5 計算機2 (1頁目/2頁中)

Fig. 5(a) に示すプログラム P について以下の問に答えよ。ただし、各文の意味は Fig. 5(b) のとおりとする。また、 M の初期値を正の整数 m とし、整数に関する演算 ($+$, $-$, \times) および比較演算、条件分岐、代入文は定数時間で実行できるものとする。

- (1) $m = 10$ のとき、プログラム P の終了状態での M の値は何か？
- (2) $m = 15$ のとき、プログラム P の終了状態での M の値は何か？
- (3) 一般に、プログラム P の終了状態での M の値は何か？
- (4) 5 行目の代入文 $M := M - X$ が実行される回数が高々 $O(\log m)$ であることを示せ。
- (5) プログラム P の実行時間を m のオーダーで表せ。

Answer the following questions about the program P in Fig. 5(a). The meaning of the statements is summarized in Fig. 5(b). Assume that the initial value of M is a positive integer m , and that the integer operations ($+$, $-$, \times), integer comparisons, conditional jumps, and assignments can be executed in a constant time.

- (1) If $m = 10$, what is the final value of M when the program P terminates?
- (2) If $m = 15$, what is the final value of M when the program P terminates?
- (3) In general, what is the final value of M when the program P terminates?
- (4) Show that the assignment $M := M - X$ on the 5th line is executed at most $O(\log m)$ times.
- (5) Express the order of the execution time of the program P in terms of m .

2007 年 2 月実施
問題 5 計算機 2
(2 頁目 / 2 頁中)

```

while  $M \geq 3$  do
  begin
     $X := 3$ ;
    while  $M \geq 2 \times X$  do  $X := 2 \times X$ ;
     $M := M - X$ 
  end

```

Fig. 5(a) Program P

$X := e$	変数 X に式 e の値を代入する. Assign the value of e to variable X .
while b do c	b の値が偽ならば何もしない. 真ならば c を実行し, 再び while b do c を実行する. Skip if the value of b is false. If the value of b is true, execute c and then execute while b do c again.
begin $c_1; \dots; c_n$ end	c_1 から c_n を順に実行する. Execute c_1, \dots, c_n in this order sequentially.

Fig. 5(b)

**2007年2月実施
問題6 物理専門1
(1頁目／2頁中)**

一次元の半無限大ポテンシャル井戸 $V(x)$

$$V(x) = \begin{cases} \infty & (x \leq 0) \\ 0 & (0 < x < a) \\ U_0 & (x \geq a) \end{cases}$$

があり, その中に質量 m , エネルギー E ($0 < E < U_0$) の粒子が束縛状態にある(Fig.6). 領域 I ($0 \leq x < a$) および領域 II ($x \geq a$) における波動関数を, それぞれ $\phi_1(x)$, $\phi_2(x)$ とする. 以下の間に答えよ. 必要に応じてプランク定数 h および $\hbar = h/(2\pi)$ を用いよ.

- (1) $\phi_1(x)$ に対するシュレーディンガー方程式を書き, $\phi_1(x)$ の一般解を記せ.
- (2) $\phi_2(x)$ に対するシュレーディンガー方程式を書き, $\phi_2(x)$ の一般解を記せ.
- (3) $\phi_1(x)$ と $\phi_2(x)$ に対する境界条件を記せ.
- (4) ポテンシャル図を描き, そこに基底状態の波動関数の概略を図示せよ.
- (5) 束縛状態が1個しか存在しない条件を求めよ.

2007年2月実施

問題6 物理専門1
(2頁目／2頁中)

Consider a one-dimensional, semi-infinite potential well $V(x)$

$$V(x) = \begin{cases} \infty & (x \leq 0) \\ 0 & (0 < x < a) \\ U_0 & (x \geq a) \end{cases},$$

in which a particle with mass m and energy E ($0 < E < U_0$) is in a bound state (Fig.6). Let the wave functions of the particle in region I ($0 \leq x < a$) and region II ($x \geq a$) be $\varphi_1(x)$ and $\varphi_2(x)$, respectively. Answer the following questions. Use the Planck's constant h and $\hbar = h/(2\pi)$ if necessary.

- (1) Write the Schroedinger equation for $\varphi_1(x)$, and obtain a general solution for $\varphi_1(x)$.
- (2) Write the Schroedinger equation for $\varphi_2(x)$, and obtain a general solution for $\varphi_2(x)$.
- (3) Write the boundary conditions for $\varphi_1(x)$ and $\varphi_2(x)$.
- (4) Sketch in the potential diagram the waveform of the wave function that corresponds to the ground state of the bound states.
- (5) Obtain the condition for the situation where only one bound state exists in the well.

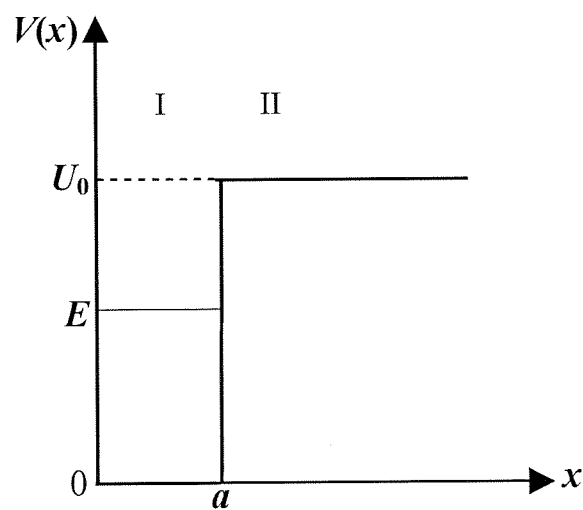


Fig. 6

**2007年2月実施
問題7 物理専門2
(1頁目／2頁中)**

任意の実数 x の関数

$$f(x) = \begin{cases} x e^{2x} & (x < 0) \\ 0 & (x \geq 0) \end{cases}$$

を考え、次の問に答えよ。ただし、 i は虚数単位である。

- (1) 任意の実数 w に対して関数 $f(x)$ のフーリエ変換

$$F(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-iwx} dx$$

を求めよ。

- (2) $-\infty < x < +\infty$ で積分方程式

$$g(x) = f(x) - 9 \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-y)g(y)dy$$

を満足する関数 $g(x)$ を考える。 $g(x)$ は $-\infty < x < +\infty$ で有界、連続かつ絶対積分可能な関数であるとする。任意の実数 w に対して関数 $g(x)$ のフーリエ変換

$$G(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) e^{-iwx} dx$$

を求めよ。

- (3) 任意の実数 x に対して複素変数 z の関数 $G(z)e^{izx}$ を考える。関数 $G(z)e^{izx}$ の z 平面におけるすべての孤立特異点とその留数を求めよ。

- (4) 任意の実数 x に対して関数 $g(x)$ を求めよ。

**2007年2月実施
問題7 物理専門2
(2頁目／2頁中)**

Consider a function

$$f(x) = \begin{cases} x e^{2x} & (x < 0) \\ 0 & (x \geq 0) \end{cases}$$

of any real number x . The imaginary unit is denoted by i . Answer the following questions.

- (1) Find the Fourier transformation

$$F(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-iwx} dx$$

of the function $f(x)$ for any real number w .

- (2) Consider a function $g(x)$ satisfying the integral equation

$$g(x) = f(x) - 9 \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-y)g(y)dy$$

in the interval $-\infty < x < +\infty$. Assuming that $g(x)$ is a bounded, continuous and absolutely integrable function in the interval $-\infty < x < +\infty$, find the Fourier transformation

$$G(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) e^{-iwx} dx$$

of the function $g(x)$ for any real number w .

- (3) Consider the function $G(z)e^{izx}$ of a complex variable z for any real number x . Find all isolated singular points and their corresponding residues of the function $G(z)e^{izx}$ in the z -plane.

- (4) Find the function $g(x)$ for any real number x .