# 平成 23 年度大学院博士前期課程入学試験

# 大阪大学大学院工学研究科
# 電気電子情報工学専攻

## 専門科目試験問題
## （システム・制御・電力工学コース）

（実施時間　１４：００ ～ １６：００）

【注　意　事　項】

１．問題用紙は，この表紙や白紙を除いて７頁ある．解答開始の指示があるまで開いてはいけない．解答開始後，落丁や不鮮明な箇所等があった場合は，手を挙げて監督者にその旨を伝えること．

２．試験問題は，「制御工学１」，「制御工学２」，「パワーエレクトロニクスと電気機器」，「データ構造とアルゴリズム」，「論理回路と計算機システム」，及び，「信号処理」，の全部で６題あり，この順番に綴じられている．このうち，「制御工学１」または「制御工学２」のいずれか１題以上を含め，３題を選択し解答すること．

３．解答開始前に，別紙の「専門科目試験問題選択票」に記載の注意事項も読んでおくこと．

４．問題用紙は持ち帰ってもよい．

**【制御工学１】 解答は，水色の解答用紙に記入すること．**

1. 図１のフィードバックシステムについて以下の問いに答えよ．ただし，$K_1$，$K_2$，$a$，$b$ はいずれも定数である．

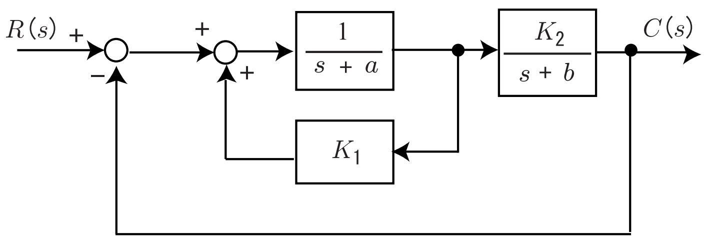


図１

(i) 入力 $R(s)$ から出力 $C(s)$ までの伝達関数を答えよ．

(ii) 図１のフィードバックシステムが安定となるための必要十分条件を $K_1$，$K_2$，$a$，$b$ を用いて示せ．

(iii) 図１のフィードバックシステムが問 (ii) の条件を満たすとき，ステップ応答が単調増加となるための必要十分条件を $K_1$，$K_2$，$a$，$b$ を用いて示せ．

(iv) $K_1 = 1$，$K_2 = 2$，$a = 1$，$b = 3$ のときの単位インパルス応答を時刻 $t$ の関数として求め，応答波形の概形を示せ．

(v) 図１のフィードバックシステムの $K_1$，$K_2$，$a$，$b$ を適当に定めると，図 2(a)-(d) のいずれかのシステムと同じ伝達関数となる．いずれのシステムであるか答え，そのときの $K_1$，$K_2$，$a$，$b$ の値の一例を示せ．

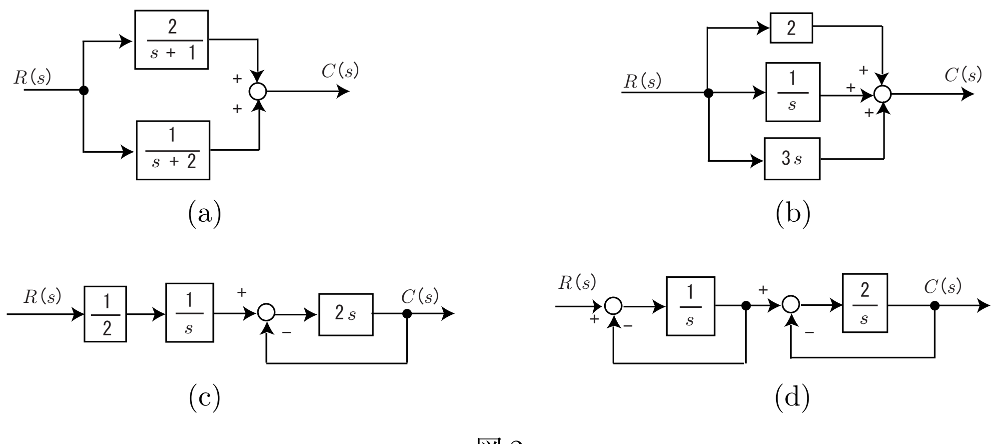


図２

2. 以下の各項目について，簡単に説明せよ．

(a) 周波数応答

(b) 根軌跡

【制御工学２】解答は，桃色の解答用紙に記入すること．

1. 状態方程式と出力方程式がそれぞれ

$$\frac{d\boldsymbol{x}(t)}{dt} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{b}u(t)$$

$$y(t) = \boldsymbol{c}\boldsymbol{x}(t)$$

で表現される１入力１出力システムに対して，以下の問いに答えよ．ただし，

$$\boldsymbol{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} 4 & -2 \\ -3 & -1 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{c} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \end{bmatrix}$$

とする．

(i) このシステムの可制御性と可観測性を判定せよ．ただし，その理由を明らかにすること．

(ii) 入力 $u(t)$ が恒等的に零，すなわち $u(t) = 0$ $(t \geq 0)$ とするとき，出力 $y(t)$ も恒等的に零，すなわち $y(t) = 0$ $(t \geq 0)$ となるための，初期状態 $\boldsymbol{x}(0) = \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix}$ に関する必要十分条件を示せ.

(iii) 入力 $u(t)$ を $u(t) = -k_1x_1(t) - k_2x_2(t)$ とする状態フィードバック制御を施したシステムの極が $-2 \pm j3$ となるようなフィードバック係数 $k_1$ と $k_2$ の値を求めよ．ただし，$j$ は虚数単位を表す.

(iv) 正則行列

$$\boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

を用いて，$\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{T}\boldsymbol{z}(t)$ と表される新しい状態変数ベクトル $\boldsymbol{z}(t)$ を考える．$\boldsymbol{z}(t)$ に関する状態方程式を

$$\frac{d\boldsymbol{z}(t)}{dt} = \widetilde{\boldsymbol{A}}\boldsymbol{z}(t) + \widetilde{\boldsymbol{b}}u(t)$$

とおくとき，$\widetilde{\boldsymbol{A}}$ と $\widetilde{\boldsymbol{b}}$ を求めよ．

2. 次の伝達関数 $G(s)$ のボード線図に関して，以下の問いに答えよ．

$$G(s) = \frac{20s(s+10)}{(s+2)(s+4)(s+5)^2}$$

(i) ゲイン曲線の概形を折れ線近似により示せ．ただし，折点角周波数の値と折れ線の各部分の傾きを明示すること．

(ii) 角周波数 $\omega$ を $\omega \to 0$ および $\omega \to \infty$ としたときの位相曲線の漸近値 $\lim_{\omega\to 0} \angle G(j\omega)$ と $\lim_{\omega\to\infty} \angle G(j\omega)$ を求めよ．ただし，$\angle G(j\omega)$ は $G(j\omega)$ の偏角を表す.

【パワーエレクトロニクスと電気機器】解答は，白色の解答用紙に記入すること.

1.　以下の問いに答えよ.

(i) 図 1 に示すように，サイリスタを用いた単相ブリッジ回路を交流電圧源（電圧 $E$，角周波数$\omega$，出力電圧 $e = \sqrt{2}E\sin\omega t$ ）と負荷（抵抗 $R$，インダクタンス $L$）に接続した．$L$ は直流電流 $I_d$ が一定とみなせるほど十分に大きく，交流側のリアクタンス $X_s$ が零であるとして，制御角が$\alpha$（$0 < \alpha < \pi/2$）である場合の負荷電圧 $v_d$ の波形の概形を描け．またその負荷電圧平均値 $V_d$ と$\alpha$の関係を求めよ．

(ii) 前問(i)において，リアクタンス $X_s$ が無視できないとして，制御角が$\alpha$（$0 < \alpha < \pi/2$）である場合の負荷電圧 $v_d$ の波形の概形を，$X_s$ の影響がわかるように描け．またその場合の負荷電圧平均値 $V_d$ と$\alpha$の関係を求めよ．

(iii) 図 2 に示すように，図 1 の一部のサイリスタをダイオードに置き換えた．制御角が$\alpha$（$0 < \alpha < \pi/2$）である場合の負荷電圧 $v_d$ の波形と，サイリスタ $T_1$，$T_2$，ダイオード $D_1$，$D_2$ を流れるそれぞれの電流波形の概形を描き，負荷電圧平均値 $V_d$ と$\alpha$の関係を求めよ．ただし，インダクタンス $L$ は直流電流 $I_d$ が一定とみなせるほど十分に大きいものとし，リアクタンス $X_s$ は零とする．

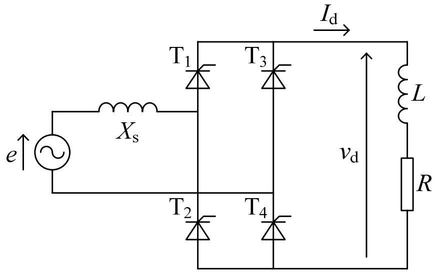

図 1

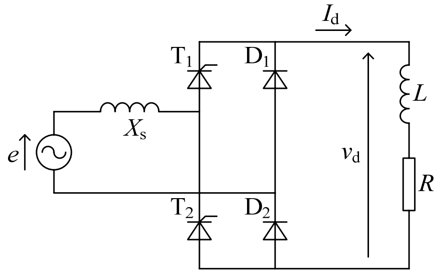

図 2

2.　三相かご形誘導電動機の一相分の等価回路を図 3 に示す．同図において，一次抵抗 $r_1$，一次漏れリアクタンス $x_1$，一次側に換算した二次抵抗 $r_2'$，一次側に換算した二次漏れリアクタンス $x_2'$，励磁アドミタンス $\dot{Y}_0$ とする．ここで，一次電圧 $\dot{V}_1$，一次電流 $\dot{I}_1$，励磁電流 $\dot{I}_0$，一次電圧の周波数が $f$ のとき，この誘導電動機は 1 秒あたり回転数 $n$ で動作した．ただし，極数 $2p$ とする．以下の問いに答えよ．

(i) すべり $s$ を，$f$，$p$，$n$ を用いて表せ．

(ii) 負荷電流 $\dot{I}_1'$ を，$\dot{V}_1$，$r_1$，$x_1$，$r_2'$，$x_2'$，$s$ を用いて表せ．

(iii) 三相分のトルク $T$ を，$|\dot{V}_1|$，$r_1$，$x_1$，$r_2'$，$x_2'$，$s$ を用いて表せ．

(iv) 三相分のトルク $T$ が最大となるすべり $s_t$ を，$r_1$，$x_1$，$r_2'$，$x_2'$を用いて表せ．

(v) 誘導電動機のトルク－速度曲線（横軸：すべり，縦軸：トルク）を図示せよ．また，始動可能でありかつ安定な定常状態に達することが可能な任意の負荷トルク曲線も併せて図示し，定常状態における運転点 A を示せ．

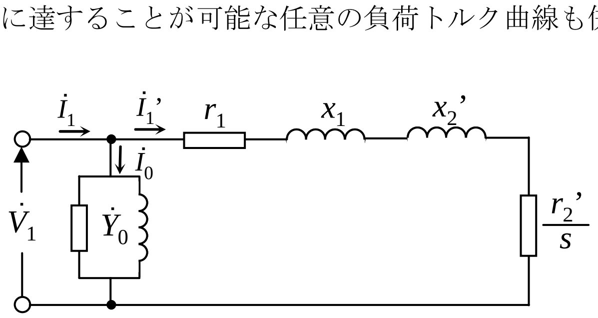

図 3

**【データ構造とアルゴリズム】解答は，灰色の解答用紙に記入すること．**

1. クイックソートを行うプログラムAに関して以下の問いに答えなさい．

＜プログラムA＞

```
void qsort(int x[ ], int left, int right){
   int i, j, pivot, temp;

   i = left;                      /*  処理対象の配列の部分列の左端 */
   j = right;                     /*  処理対象の配列の部分列の右端 */
   pivot = x[(left + right)/2];   /*  配列の中央付近の値を基準値とする */ ＜☆＞

   while (1) {
       while (x[i] < pivot) i++;   /*  基準値以上の値が見つかるまで i を増加 */
       while (pivot < x[j]) j--;   /*  基準値以下の値が見つかるまで j を減少 */

       if ( 【 1 】) break;        /*  ループから抜ける  */  ＜a＞

       【 2 】                     /*  temp を用いて x[i] と x[j] を交換 */
       i++; j--;
   }

   if(【 3 】) qsort(x, left, i-1);  /* 処理対象の部分列の長さが 2 以上 */ ＜b＞
                                     /* のとき qsort 関数を呼び出す */

   if(【 4 】) qsort(x, j+1, right); /* 処理対象の部分列の長さが 2 以上 */ ＜c＞
                                     /* のとき qsort 関数を呼び出す */
}

int main(){
   int x[ ] = {3, 7, 4, 9, 6, 8, 1, 2, 5, 10};

   qsort(x, 0, 9);   ＜d＞

   return 0;
}
```

(i) プログラムAは再帰アルゴリズムを用いている．再帰アルゴリズムとは何か答えなさい．

(ii) プログラム中のコメント文に従い,【 1 】～【 4 】の空欄を埋めてプログラムを完成させなさい．ただし，空欄に入るものは1文とは限らない．

(iii) 図1は，配列 x がソートされる様子を，プログラム中の＜a＞ ～ ＜d＞ での配列の状態と qsort 関数の引数を用いて表したものです．図の作成済みの部分を参考にして，空欄になっている部分を追加し，図を完成させなさい．ただし，解答用紙には，追加した部分のみを記載しなさい．また，＜☆＞で選択された基準値 pivot は○で囲み，＜b＞ および ＜c＞ で，qsort 関数が呼び出されない場合は「終端」と記載しなさい．

(iv) $N$ 個のデータにクイックソートを適用したときの平均時間計算量と最悪時間計算量のオーダを $N$ を用いて表し，最悪時間計算量の算出根拠を説明しなさい．

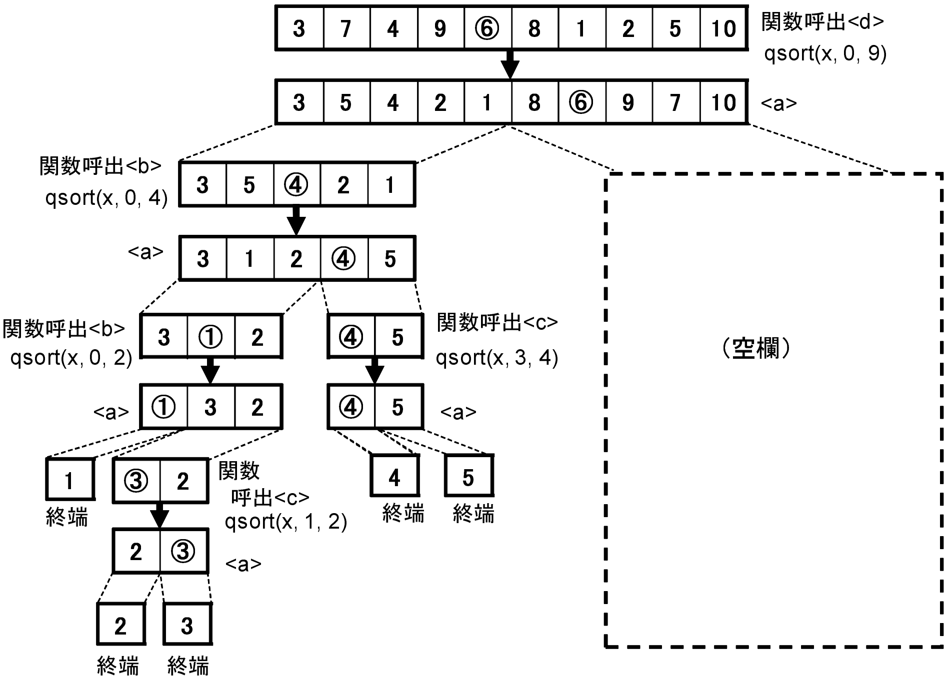


図 1

2. 二分探索木に関して以下の問いに答えなさい．

(i) 二分木のうち，二分探索木と呼ばれる木が満たす条件を示しなさい．

(ii) 自然数の 1〜7 を格納した二分探索木を図示しなさい．ただし，木の高さは最小になるものとする．

(iii) 図 2 は，二分探索木の例です．この木を幅優先探索と深さ優先探索により走査した場合の節点の走査順を，節点内の数値を用いてそれぞれ示しなさい．ただし，子が複数ある場合は，左の子を優先するものとする．また，深さ優先探索については行きがけ順（前順），通りがけ順（中順）および帰りがけ順（後順）の 3 通りを示しなさい．

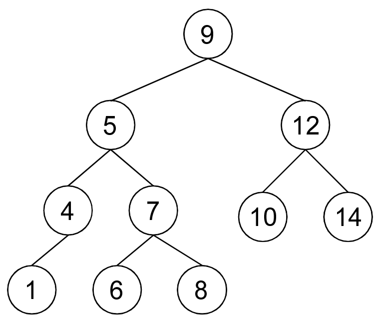


図 2

【論理回路と計算機システム】 解答は，橙色の解答用紙に記入すること．

以下の問いに答えよ．

(i) 制御入力 $s$ の値により，2 つのデータ入力 $x$ と $y$ のいずれかの値をデータ出力 $z$ の値として出力する回路をセレクタ（マルチプレクサ）と呼ぶ．$s = 1$ のとき $x$ を選択し，$s = 0$ のとき $y$ を選択するものとしたセレクタの回路図を示せ．ただし，$s$，$x$，$y$，$z$ はいずれも 1 桁の 2 進数とし，利用可能な論理ゲートは論理積（AND），論理和（OR），論理否定（NOT），各ゲートの入力数は 2 以下とする．なお，解となる回路構成が複数存在する場合は，その 1 つを示せばよい．

(ii) 2 つの $n$ ビット 2 進数 $\boldsymbol{X} = (x_{n-1} \cdots x_0)$ と $\boldsymbol{Y} = (y_{n-1} \cdots y_0)$を入力とし，$\boldsymbol{X} \geqq \boldsymbol{Y}$ のとき 1，$\boldsymbol{X} < \boldsymbol{Y}$ のとき 0 を出力する比較器について考える．ただし，以下すべての $n$ ビットの 2 進数は符号なしとし，添え字が小さい方を下位桁とする．$i \geqq 1$ の各桁において $x_i$ と $y_i$ と下位での比較結果 $c_i$ から，比較結果 $c_{i+1}$ を計算するとすれば，最上位での比較結果 $c_n$ が比較器の出力となる．この $x_i$ と $y_i$ および $c_i$ から比較結果 $c_{i+1}$ を出力する 1 ビット比較器の真理値表を示すと共に，その論理式を最小積和形論理式で示せ．

(iii) 問(ii)で考えた比較器の回路図を示せ．ただし，利用可能な論理ゲートは論理否定（NOT）および否定論理積（NAND）とし，各ゲートの入力数は 3 以下とする．なお，解となる回路構成が複数存在する場合は，その 1 つを示せばよい．

(iv) 2 つの 4 ビット 2 進数 $\boldsymbol{X} = (x_3 x_2 x_1 x_0)$ と $\boldsymbol{Y} = (y_3 y_2 y_1 y_0)$ を入力とし，$\boldsymbol{X}$ と $\boldsymbol{Y}$ を比較して大きい方の値を出力 $\boldsymbol{Z} = (z_3 z_2 z_1 z_0)$ とする回路の回路図を示せ．ただし，問(i)で考えた 1 ビットのセレクタおよび問(iii)で考えた 1 ビットの比較器は，それぞれを図 1 および図 2 で示した記号で表すものとし，これら以外の論理ゲートは用いないものとする．なお，問(ii)および問(iii)で考えた回路において $c_0$ の値を適切に与えることで $i = 0$ のときも図 2 で表す問(iii)と同じ回路が利用できることに注意し，そのような $c_0$ の値も明示すること．なお，解となる回路構成が複数存在する場合は，その 1 つを示せばよい．

(v) 問(iv)で考えた回路において，入力 $\boldsymbol{X} = (x_3 x_2 x_1 x_0)$ と $\boldsymbol{Y} = (y_3 y_2 y_1 y_0)$ の値の範囲を 10 進数の 0 から 9 を表す 4 ビットの 2 進数に限定する．その出力の値 $\boldsymbol{Z} = (z_3 z_2 z_1 z_0)$ を入力として，図 3 に示した $a$〜$g$ の 7 つの各辺を発光させることで，図 4 に示すように 1 桁の 10 進数として表示するシステムを考える（黒く塗りつぶされた部分が，発光している辺を表す）．このとき，入力 $\boldsymbol{Z} = (z_3 z_2 z_1 z_0)$ に対して，$a$ の辺を発光させるときに 1 を出力する回路について，真理値表を示すと共に，その最小積和形論理式，およびその回路図を示せ．ただし，利用可能な論理ゲートは論理否定（NOT）および否定論理積（NAND）とし，各ゲートの入力数は 4 以下とする．なお，解となる回路構成が複数存在する場合は，その 1 つを示せばよい．

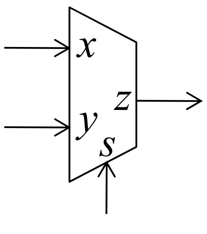


図 1

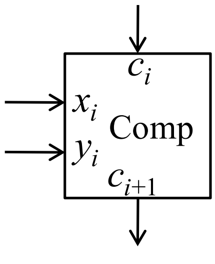


図 2

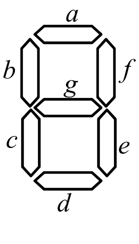


図 3

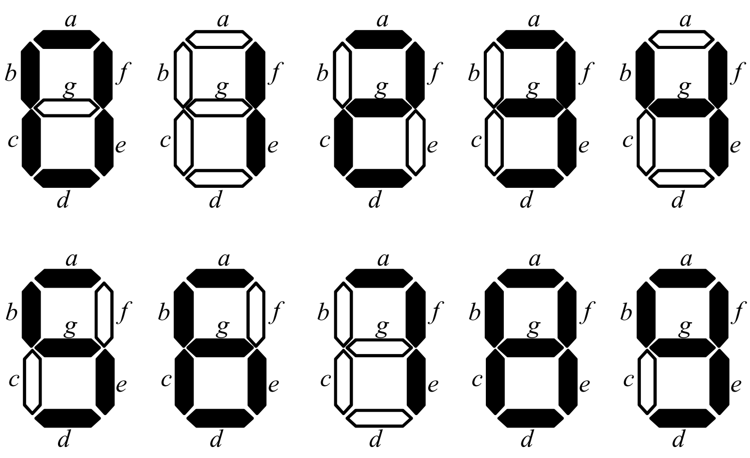

図 4

【信号処理】 解答は，緑色の解答用紙に記入すること.

１．　図１に示す方形波パルスで構成される周期パルス列の時間関数について，以下の問いに答えよ．ただし，$t$ は時刻，$T$ は周期パルス列の周期，$d$ はパルス幅，$A$ はパルス振幅，および $\omega$ は角周波数である．

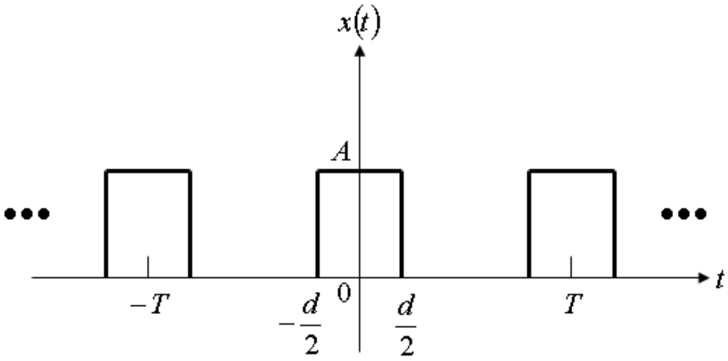


図１

(i)　図１の時間関数 $x(t)$をフーリエ級数に展開せよ．

(ii)　図１の時間関数において $T \to \infty$，$A = 1/d$ とした場合の $x(t)$ について，スペクトル $X(\omega)$と自己相関関数 $R_{xx}(\tau)$を求めよ．ただし，$\tau$ は時間差である．

(iii)　問い(ii)において，更に $d \to 0$ とした場合の $x(t)$ について，スペクトル $X(\omega)$を求めよ．

２．　インパルス応答 $h(t)$が $h(t) = \delta(t) - \delta(t - T)$で与えられるシステムについて，以下の問いに答えよ．ただし, $t$ は時刻を表す変数，$T\,(T > 0)$ は固定時間，$\delta(t)$ は連続時間の単位インパルス信号（Dirac のデルタ関数）である．

(i)　このシステムに時間関数 $x(t) = \delta(t) + \delta(t - T) + \delta(t - 2T)$で与えられる信号を入力したときの出力 $y(t)$を求めよ．

(ii)　このシステムの振幅（ゲイン）特性と位相特性をそれぞれ求めよ．

３．　アナログ信号をディジタル信号に変換する操作をアナログ・ディジタル変換（A/D 変換）という．A/D 変換は，標本化，量子化，および符号化の 3 つの操作により行われている．これら 3 つの操作について，それぞれ説明せよ．