平成 19 年度大学院前期課程入試試験問題

選択科目　b. システム制御

平成 18 年 8 月 22 日

注意事項

- 問題用紙は全部で８ 枚（但し、表紙を除く）あるので確認すること。
- 解答には必ず問題番号を書き、どの問題に解答したかわかるようにすること。
- 「制御工学」（問題１、２－１および２－２）は全員が解答せよ。
- 選択問題（問題３～７）から２分野を選択して解答せよ。選択しなかった問題の解答用紙には×印を記して選択した問題が明確に分かるようにせよ。
- 選択問題から３分野以上解答した場合には選択問題の解答を全て無効とするので注意せよ。
- 「電気機器」を選択する者は、問題３－１および３－２を解答せよ。
- 「パワーエレクトロニクス」を選択する者は、問題４－１、４－２および４－３を解答せよ。
- 「信号処理」を選択する者は、問題５を解答せよ。
- 「論理回路・計算機システム」を選択する者は、問題６を解答せよ。
- 「基本アルゴリズム・プログラミング」を選択する者は、問題７－１および７－２を解答せよ。
- 解答用紙は色分けしてあるので、問題番号と対応させて以下のように使い分けよ。（間違わないように注意せよ。）

問題番号	解答用紙の色
1・・・・・・・・・・	白
2・・・・・・・・・・	赤
3・・・・・・・・・・	青（紺）
4・・・・・・・・・・	黄
5・・・・・・・・・・	水（薄い青）
6・・・・・・・・・・	桃
7・・・・・・・・・・	緑

- 解答用紙の表に書き切れない場合は裏を使用しても良い。
- 問題用紙は持ち帰っても良い。

制 御 工 学

1. 図1のフィードバックシステムについて問いに答えよ.

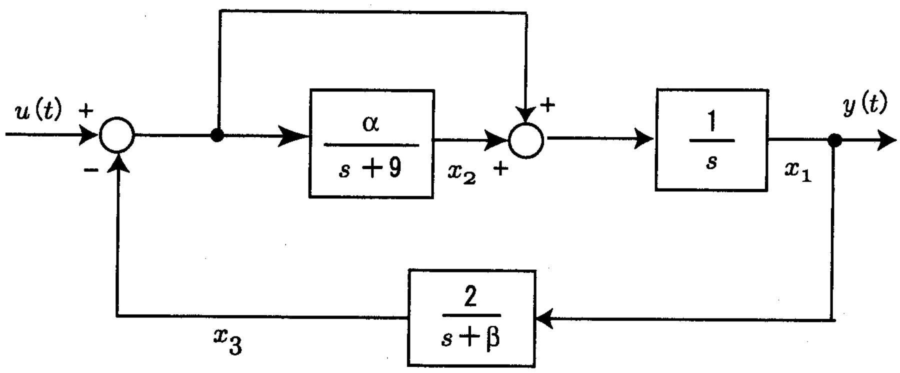


図1

(i) 状態変数を x_1, x_2, x_3 にとったときの状態方程式ならびに出力方程式を示せ.

(ii) このシステムが可制御となる α, β の条件を示せ.

(iii) u から y への伝達関数を求めよ.

(iv) このシステムが安定となる α, β の条件を求めよ.

(v) システムが安定な場合，単位ランプ入力時の定常偏差 $u(\infty) - x_3(\infty)$ を求めよ.

(vi) $\alpha = 16, \beta = 7$ のときのフィードバックシステム全体のボード線図（ゲイン特性のみ）を描け.
(注意：折点周波数を明示すること.)

(vii) $\alpha = 16$, $\beta = 7$ における単位ステップ入力時の時間応答 $y(t)$ を求めよ.

2-1　図 2-1 のフィードバック制御系に対して，以下の問いに答えよ．ただし，$G_c(s) = K$（$K > 0$）である．

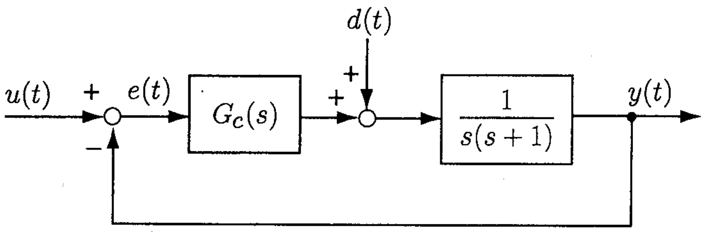


図 2-1

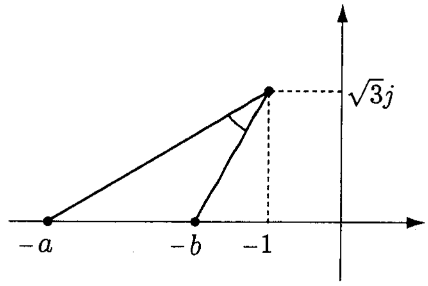


図 2-2

(i) 外乱 d から出力 y への伝達関数を求めよ．また，外乱 d として単位ステップ関数を入力したときの（このとき $u(t) \equiv 0$ とする）定常出力 $y(\infty)$ を求めよ．

(ii) K を変化させて，閉ループ系の根軌跡を描け．ただし，軌跡の開始点，実軸からの分岐点や $K \to \infty$ での解の挙動は正確に記述すること．

(iii) 閉ループ系の特性方程式の減衰係数が $\zeta = 0.5$ となるように，自然角周波数 ω_n とゲイン K の値を求めよ（特性方程式を $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$ と表記したときの ζ と ω_n がそれぞれ減衰係数，自然角周波数である）．

2-2　前問と同様に図 2-1 のフィードバック制御系を考える．以下の問いに答えよ．ただし，$G_c(s) = K \cdot \dfrac{s+b}{s+a}$（$K > 0$, $a > b > 0$）である．

(i) 閉ループ系の特性方程式を

$$\frac{1}{s(s+1)} \times \boxed{} = -\frac{1}{K}$$

と書き表す．空欄に該当するものを答えよ．

(ii) 閉ループ系の特性方程式が $s = -1 \pm \sqrt{3}j$ を支配的な解（実部が最大の解）として持つように，補償器 G_c を設計したい．(i) で求めた特性方程式に $s = -1 + \sqrt{3}j$ を代入し，両辺の偏角（arg）を取ると

$$\arg\left[\frac{1}{(-1+\sqrt{3}j)\sqrt{3}j}\right] + \arg\boxed{} = (2k+1)\pi, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots)$$

となった（特性方程式の位相条件）．空欄に該当するものを答えよ．特に $b = 2$ のとき，この位相条件を満足するような a の値を求めよ（ヒント：複素平面上で，上の空欄に該当するものを作図して考える．図 2-2 参照）．

このとき，ゲイン K の値を求めよ（ヒント：ゲイン条件（偏角の代わりに，特性方程式の両辺の絶対値を取ったもの）を考える）．

さらに，ここで求めた a, b, K の値に対して，特性方程式の実解を求めよ．

(iii) (ii) で求めた a, b の値に対して，K を変化させて閉ループ系の根軌跡の概形を描け．ただし，軌跡の開始点や $K \to \infty$ での解の挙動は正確に記述すること．特に，(ii) で求めた K に対応する 3 つの根が軌跡上のどこにあるかを標せ．

電気機器

3－1　三相誘導電動機とその等価回路について，以下の問いに答えよ．

(i)　図3－1に誘導電動機の一相分の簡易等価回路を示す．r_1, x_1 は一次側の抵抗とリアクタンス，r_2', x_2' は一次側に換算された二次側の抵抗とリアクタンスである．また，$\dot{Y}_0 = g_0 - jb_0$ は励磁アドミタンスであり(j は虚数単位)，R'は機械出力に関係した等価抵抗である．有効巻数比 a ($a = \dot{E}_1/\dot{E}_2$，$\dot{E}_1$: 一次誘導起電力，$\dot{E}_2$: 二次誘導起電力)，換算前の二次抵抗 r_2，すべり s を用いて R'を表せ．

(ii)　s と r_2'，電流 I_2'を用いて三相分の機械出力 P_o を表せ．ただし，機械的損失は無いものとする．

(iii)　等価回路において，相電圧 V_1 を印加した場合の電流の大きさ I_2'を求めよ．

(iv)　この誘導電動機の拘束試験の結果，端子間印加電圧 V_s，拘束電流(定格電流) I_{1n}，トルク T_s の値が得られた．r_2'の値と，この誘導電動機に全電圧 (定格電圧) V を印加した場合の始動トルク T_{st} を求めよ．

(v)　誘導電動機の定常運転中に，三相電源の二相をつなぎ換えた．この場合，誘導電動機はどのようになるか．すべり，電力の流れとともに誘導機の動作を説明せよ．

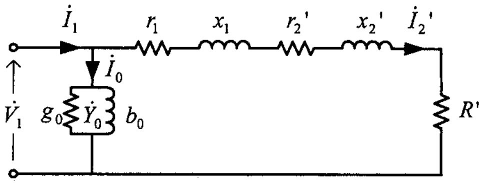


図3－1

3－2　同期機について以下の問いに答えよ

(i)　突極同期発電機のベクトル図を図3－2に示す．ただし，無負荷誘導起電力を $\dot{E}_0$，端子電圧を $\dot{V}$，電機子電流を $\dot{I}$，直軸電流（I の直軸成分）を $\dot{I}_d$，横軸電流（I の横軸成分）を $\dot{I}_q$，直軸同期リアクタンスを x_d，横軸同期リアクタンスを x_q，内部相差角をδとする．また，電機子抵抗は無視した．次の空欄を埋めよ．

図より角δとϕの関係を E_0，I，x_d，x_q を用いて表すと，

$V\cos\delta =$ (a) 数式 ，　　$V\sin\delta =$ (b) 数式

となる．次に三相分の出力 P は，

$$P = 3VI\cos(\phi - \delta)$$

となるから，数式(a)，(b)を用いることによって，I，ϕを用いずに三相分の出力 P を表すと以下の式を得る．

$P =$ (c) 数式

(ii)　同期発電機は電動機としても動作する．突極同期電動機について，(i)の数式(c)を参考に，界磁電流が零の場合の出力 P'について求め，それが何に起因する出力か説明せよ．

(iii)　非突極機 (円筒機)の場合の出力 P''を求めよ．次に，同期電動機の V 曲線について説明し，同期調相機の働きについて説明せよ．

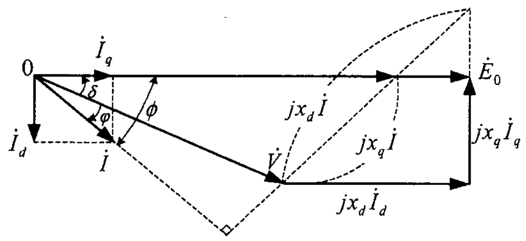


図3－2

パワーエレクトロニクス

4－1　図 4-1(a)に示す単相ブリッジ回路において，以下の各問いに答えよ．ただし，電源電圧は角周波数 ω の正弦波電圧で，直流インダクタ L は十分に大きく直流電流 i_d は平滑化されているものとする．また，サイリスタの制御は図 4-1(b)のとおり行われるものとする．

（i）交流側リアクタンス X_s=0 として，直流側の電力 P_d は交流側の有効電力 P_a に等しいことを証明せよ．

（ii）交流側リアクタンス X_s=0 として，交流電流 i の総合ひずみ率（THD）を求めよ．

（iii）交流側リアクタンス X_s を考慮した場合の直流電圧 e_d の平均値 E_d の式を求めよ．

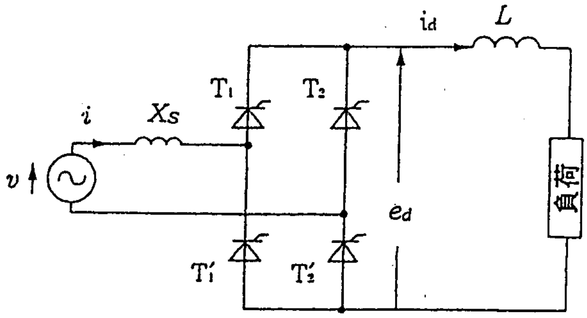


図 4-1 (a)

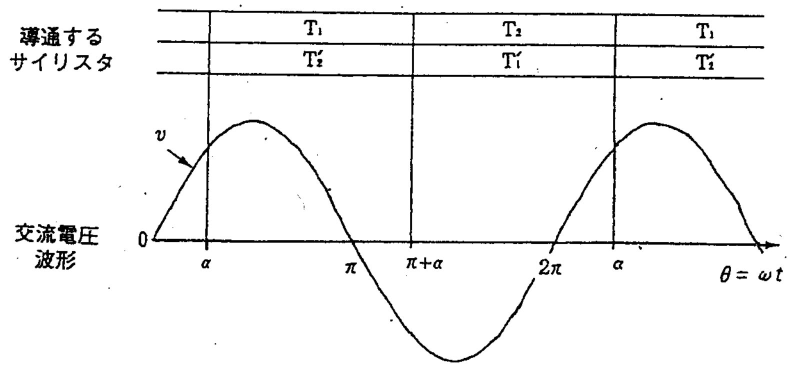


図 4-1 (b)

4－2　図 4-2 に示す昇圧形チョッパ回路について以下の各問いに答えよ．ただし，キャパシタ C は十分に大きく，負荷電圧は平滑化されており，スイッチング周波数は 20kHz，電源電圧 E_d=100V，L=1mH とする．

（i）5Ωの負荷抵抗 R に 60A の電流を流したい．スイッチ S のオン時間 T_{on} を求めよ．

（ii）問い（i）の場合のリアクトル電流 i_1 のリプルの振幅を求めよ．

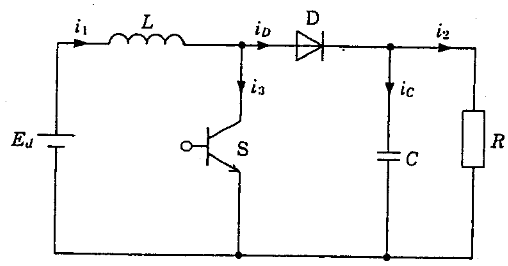


図 4-2

4－3　図 4-3 に示す自励式電圧形インバータのダイオードの役割について述べよ．

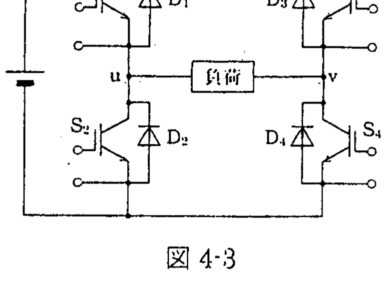
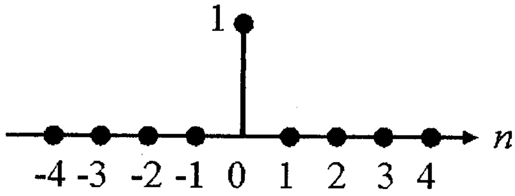


図 4-3

以上

信号処理

5．図のように時刻$n=0$において値が１となる単位インパルス信号$x[n]$を考える．



(i) これを因果性のあるシステム$y[n]=\sum_{k=1}^{3}b_k x[n-k]$に入力したところ，以下のような出力信号系列$y[n]$（$n=0, 1, 2, 3, 4$）が得られた．

n	0	1	2	3	4
$y[n]$	0.00	0.50	0.60	0.20	0.00

この時，このシステムの係数b_1，b_2，b_3を求めよ．

(ii) 次に同じ単位インパルス信号$x[n]$を，因果性のあるシステム
$y[n]+\sum_{k=1}^{2}a_k y[n-k]=\sum_{k=1}^{3}b_k x[n-k]$に入力したところ，以下のような出力信号系列$y[n]$（$n=0, 1, 2, 3, 4$）が得られた．ただし，係数$b_1$，$b_2$，$b_3$は(i)と全く同一であることが分かっている．

n	0	1	2	3	4
$y[n]$	0.00	0.50	0.85	0.50	0.0375

この時，このシステムの係数a_1，a_2を求めよ．

(iii) 上記(i)のシステム$y[n]=\sum_{k=1}^{3}b_k x[n-k]$の伝達関数のゼロ点をｚ変換を用いて求めよ．

(iv) 上記(ii)のシステム$y[n]+\sum_{k=1}^{2}a_k y[n-k]=\sum_{k=1}^{3}b_k x[n-k]$の伝達関数の極をｚ変換を用いて求めよ．

(v) 上記(iv)の結果より，(ii)のシステム$y[n]+\sum_{k=1}^{2}a_k y[n-k]=\sum_{k=1}^{3}b_k x[n-k]$は安定か否かを理由と共に答えよ．

論理回路・計算機システム

6．正の 2 進数の加算と減算を行う組合せ論理回路について，以下の問いに答えよ．

(i) n 桁の 2 進数の i 桁目（$0 \le i < n$）の加算を考える．下の桁からの桁上がりを考慮しない加算器は半加算器(HA)と呼ばれる．半加算器の i 桁目の被加数を a_i，加数を b_i，加算結果の和を s_i，i 桁目から i+1 桁目への桁上げ（繰り上げ）を c_{i+1} とする．a_i, b_i の値に対する s_i, c_{i+1} の値に関する真理値表を記述し，s_i, c_{i+1} を表す論理式をそれぞれひとつの論理演算子を用いて表せ．

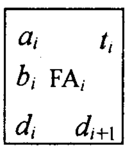
(ii) 下の桁からの桁上げを考慮する加算器は全加算器（FA）と呼ばれる．i 桁目の被加数を a_i, 加数を b_i, 下の桁からの桁上げを d_i，全加算した結果を t_i，次の桁への桁上げを d_{i+1} とする．このような 2 進数 1 桁の全加算器の真理値表を記述し，t_i 及び d_{i+1} それぞれの論理式を積和標準形で示せ．

(iii) 上記(ii)で求めた論理式を変形し，t_i と d_{i+1} を，(i)の s_i，c_{i+1} と d_i のみを用いてできるだけ簡単な形で表せ．ただし，t_i については排他的論理和（XOR）を用いて表せ．

(iv) 以上の考察から，1 ビットの半加算器 HA を 2 つ用いることで，1 ビットの全加算器 FA の組合せ論理回路を構成することができる．(ii)と同じ記号を用いて，a_i, b_i, d_i を入力とし，t_i, d_{i+1} を回路の出力とする．そのような回路を 5 つの論理ゲート（それぞれ論理積(AND), 論理和(OR), 論理否定(NOT), 排他的論理和(XOR)ゲートのいずれかとする）を用いて示せ．また，どの部分がひとつの半加算器であるかを点線で囲って示せ．なお，解となる複数の回路構成が存在する場合にはその 1 つを示せばよい．

(v) 上記(iv)の全加算器 FA を 3 つ用いて，リプルキャリー（順次桁上げ）方式の 3 桁の 2 進数の加算・減算器を構成した回路図を示せ．回路への入力は，0 ではない正の整数 x, y と，加算・減算の切り替えを指示する信号 w とし，出力は加算または減算した結果 f，数値 f の最上位桁 f_2 からの桁上がり c とする．x_0, y_0, f_0 はそれぞれ数値 x, y, f の最下位桁であり，最上位桁 x_2, y_2, f_2 は符号を表し，0 のとき正数，1 のとき負数を表すものとする．加減算切替信号 $w = 0$ のとき x に y を加算した結果が f として出力され，c は無視される．$w = 1$ のとき，y の 2 の補数（符号桁は 1 とする）を x に加算することで，x から y を減算した結果が f として出力される．このとき $x \geqq y$ であれば $c = 1$ になり f が正の解となる．一方，$x < y$ であれば $c = 0$ になり，f は負の解の 2 の補数となる．オーバフローは起こらないものとする．(iv)で構成した i 桁目の全加算器 FA$_i$ ($0 \le i < 3$) を以下の例のような記号で表し，FA$_0$ が最下位桁の演算を表すものとする．また，用いる論理ゲートは論理積(AND), 論理和(OR), 論理否定(NOT), 排他的論理和(XOR)ゲートのいずれかとし，ゲートの数は 3 以下とする．なお，解となる複数の回路が存在する場合にはその 1 つを示せばよい．

例



基本アルゴリズム・プログラミング

7－1　プログラムＡは，Ｎ個の配列要素を，ある変数ｘ（基準値と呼ぶ）よりも大きな数と小さな数の２つのグループに分けることを行い，その後グループ毎にデータ個数が１になるまで同じ操作を繰り返すことで整列を行うクイックソートのプログラムである．以下の問いに答えよ．

＜プログラムＡ＞

```
#include <stdio.h>
#define N 7
void quicksort(int a[ ], int first, int last)
{
   int i, j, k, x, n, t;
   n=(int)((first+last)/2);
   x=a[n];
   i=first; j=last;
   for(;;){
       while(a[i]<x) i++;
       while(x<a[j]) j-- ;
       if(i>j)break;
       t=a[i]; a[i]=a[j]; a[j]=t;
       i++; j--;
   }
   for(k=0; k<N; k++) printf("%4d ", a[k]);  }  <α>
   printf("¥n");
   if( [ (1) ] < [ (2) ] ){  /* Smaller than x */
       quicksort(a, [ (1) ] , [ (2) ] );
   }
   if( [ (3) ] < [ (4) ] ){  /* Larger than x */
       quicksort(a, [ (3) ] , [ (4) ] );
   }
}
int main()
{
    int i;
    int a[]={71,20,91,65,28,41,11};
    quicksort(a, 0, N-1);
    for(i=0;i<N;i++)printf("%4d ", a[i]);
    printf("¥n");
}
```

(i) プログラムAは，関数 quicksort( )の中で自身の関数 quicksort( )を呼び出す構造となっている．このようなプログラム構造を何と呼ぶか．

(ii) プログラムAにある空欄(1)～(4)を埋めよ．ただし，同一番号には同一内容が入るので注意すること．

(iii) プログラムAの quicksort 関数における＜α＞部分の出力結果を示せ．ただし，プログラムAの実行が完了するまでの出力を順に示すこと．

(iv) クイックソートのアルゴリズムにおいて，整列すべきデータの中で基準値としてどのような値を選ぶと，計算量が最も少なくなるかを述べよ．

7－2　スタックとキューの二つのデータ構造がある．次の操作内容を順に実行した場合，変数 X,Y に代入される値は何か．なお，ここで各操作を以下のように定義する．

＜操作の定義＞

push(a): データ a をスタックに挿入する
pop( ): スタックからデータを一つ取り出す
enqueue(a): データ a をキューに挿入する
dequeue( ): キューからデータを一つ取り出す

＜操作内容＞

```
push(a)
push(b)
push(c)
X ← pop( )
enqueue(pop( ))
enqueue(d)
push(dequeue( ))
Y ← pop( )
```