

九州大学大学院システム情報科学府
電気電子システム工学専攻
電子デバイス工学専攻

平成16年度入学試験問題
【平成14年9月2日（火），9月3日（水）】

試験科目

英語，数学，電気回路，※A：電磁気学，※B：計算機工学，
（※のうちA，Bのいずれか1科目を選択）

電気電子システム工学
（電子回路，制御工学，電力工学，エネルギー変換工学
のいずれか1科目を選択）

電子工学
（電子回路，制御工学，電子デバイス工学のいずれか
1科目を選択）

英語試験問題のw e b公開について

英語の入試問題をWebで公開することは、著作権法上、問題になりますので、平成19年度より過去の問題の傾向・範囲を示す例題を公開しています。

英 語

[1] 次の文章を読んで下記の問いに答えよ。(Read the following article, and then answer the questions.)

Databases are no longer special tools for computer experts. They are now common tools for various people including users who are not computer experts, and many database software products of various prices are on sale at computer shops. One of the criteria by which such non-expert users may choose a database software is the effort required each time they extract information from their database. To obtain necessary information from a very large database, one must specify to the system exactly what is needed. Languages used for specifying such retrieval requests are called *query languages*.

Requests may be highly complex, but must be given in a way that computers can understand. For this reason, formal languages have been used most. Formal query languages are similar to programming languages and easy to process for computers. (A), such artificial languages are not necessarily easy to understand for users. Most people must study very hard to master an artificial language. This leads to a demand for good database user interfaces.

To offer non-expert users an alternative to formal query languages, many attempts have been made to develop natural language interfaces which accept queries written in everyday language and translate them into a formal query language. If such an interface is available, users do not have to study a special language. Natural language interfaces, however, also have their own problems.

First of all, natural language processing is not an easy task for computers due to ambiguities involved in natural languages. Second, our everyday language has too many rules and exceptions, compared with formal languages. If we were to develop an interface which can accept every naturally-expressed input_(B) and can respond in a natural way, we would be forced to equip the system with a huge storage of human knowledge knowledge we ourselves cannot describe. This approach is hardly feasible for the time being.

database: データベース **criteria:** [複]基準 **specify:** 指定する **retrieval:** 検索 **query language:** 問い合わせ言語
formal language: 形式言語 (厳密な文法規則と語の集合を持つ人工的な言語のこと) **user interface:** 利用者インタフェース
alternative: 代替手段 **natural language:** 自然言語 (日本語, 英語など, 日常の言語) **ambiguity:** あいまいさ
storage: 倉庫 **feasible:** 実現可能な

(1) 以下のうち, この文章のタイトルとして最も適切なものはどれか。 []

1. Databases and Computers
2. How to Choose a Database Software
3. The Difficulty in Building a Good Database User Interface
4. The Merit of Natural Language Interfaces
5. The Ambiguity in Natural Language

(2) 以下のうち, この文章の内容に合致しないものはどれか。 []

1. Databases are now used by experts and non-experts.
2. People may choose a database software for reasons other than its price.
3. Retrieval requests are written in a query language.
4. Formal languages are easy to understand for computers.
5. Natural language interfaces are easy to build.

(3) 以下のうち, 上の空欄(A)に入れるのに最も適切な語句は以下のうちのどれか。 []

6. Moreover
7. Similarly
8. However
9. Fortunately

(4) 以下のうち, 上の下線部(B)を置き換えるのに最も適切な語句は以下のうちのどれか。 []

10. any query written in a natural language
11. every natural task
12. every natural knowledge
13. any rule written in a natural language

志望 専攻名		受験 番号		氏名	
-----------	--	----------	--	----	--

英 語

[2] 次の文章を読んで下記の問いに答えよ。(Read carefully the following article, and then answer the questions.)

[1]と同様な英文の理解力を問う応用問題ですが著作権法上の問題がありますので
出典がある問題は公開できません。

志望 専攻名		受験 番号		氏名	
-----------	--	----------	--	----	--

英 語

[3] 次の英文を日本語に訳しなさい。(Translate the following English into Japanese.)

英文和訳の問題ですが著作権法上の問題がありますので出典がある問題は公開できません。

志望 専攻名		受験 番号		氏名	
-----------	--	----------	--	----	--

英 語

[4]次の日本語を英文に直しなさい。(Translate the following Japanese into English.)

日本で携帯電話が発売されたのは1987年である。当時の携帯電話は、電池の問題や通信品質の問題から寸法が大きかった。最近では通信速度が向上し、インターネット接続やテレビ電話が可能となっている。現在、全世界で20億人以上が携帯電話を持っているという報告がある。

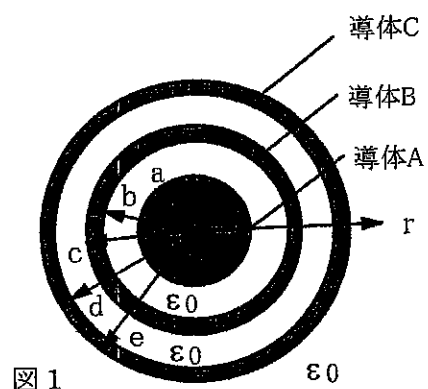
携帯電話：cellular phone

志望 専攻名		受験 番号		氏名	
-----------	--	----------	--	----	--

1. 図1に示すように、真空中(誘電率 ϵ_0)にある三重の同心球状導体において、導体Aと導体Cにそれぞれ電荷 Q_A , Q_C を与えた。

このとき、次の間に答えよ。

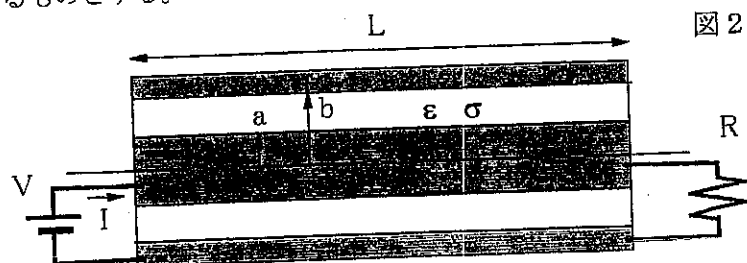
- (1) 各導体表面の電荷分布を示せ。
- (2) 各導体の電位を求めよ。
- (3) 導体Bを接地したとき、各導体表面の電荷分布と各導体の電位を求めよ。



2. 図2に示すように、同軸状円筒導体（内導体外半径 a 、外導体内半径 b 、長さ L ）において、導体間には導電性誘電体（誘電率 ϵ 、導電率 σ ）が満たされている。（図2では、その断面図が示されている。）図のように、内外導体の一端には電圧 V の電池が、他端には抵抗 R が接続されているとき、次の問に答えよ。
ただし、導体の抵抗や端部効果は無視できるものとする。

(1) 電池から供給される電流 I を求めよ。

(2) 内導体表面の全電荷 Q を求めよ。



3. 図3に示す座標系で無限長の直線導体が y 軸上に沿って配置され、直流電流 I が流れている。また一辺が a, b の角形コイルが図のように配置されている。以下の問いに答えよ。ただし、透磁率は全ての領域で μ とする。

- (1) 点 $P(x_0, y_0, z_0)$ における磁界の z 成分 H_z を求めよ。
- (2) $z_0=0$ とし、 $x_0=k+v_x t$ ($k>0$) のように角形コイルを x 軸方向に速度 v_x で移動した場合に、コイルの両端 R, S に誘導される誘導電圧 V を求めよ。
- (3) $x_0=a$ とし、 $z_0=k+v_z t$ ($k>0$) のように角形コイルを z 軸方向に速度 v_z で移動した場合に、コイルの両端 R, S に誘導される誘導電圧 V を求めよ。

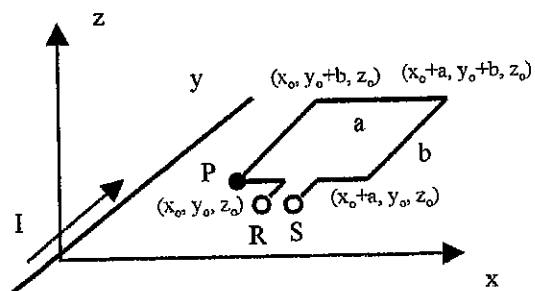


図3

4. 図4に示すように内外半径がそれぞれ a, b 、厚さ t 、全巻数 N_1 である長方形断面のトロイダルコイルに電流 $I(t)$ が流れている。また、破線で示すように全巻数 N_2 のコイルが巻かれており、その両端 R, S は開放されている。以下の問いに答えよ。ただし、鉄心の透磁率を μ とし、磁束の漏れはないものとする。
- (1) 電流 $I(t)$ により生じる中心から半径 r ($a < r < b$) の点 P の磁界 $H(r)$ をアンペアの周回積分の法則から求めよ。
 - (2) 全巻数 N_1 のコイルの自己インダクタンス L を、i) 鎖交磁束 Φ と、ii) コイルに蓄えられる磁気エネルギー U_m から求め、両者が一致することを示せ。
 - (3) 巻数 N_2 のコイルの両端 R, S を短絡した場合の、鉄心内の磁界 H と $R-S$ 間に流れる短絡電流 I_2 の大きさを求めよ。

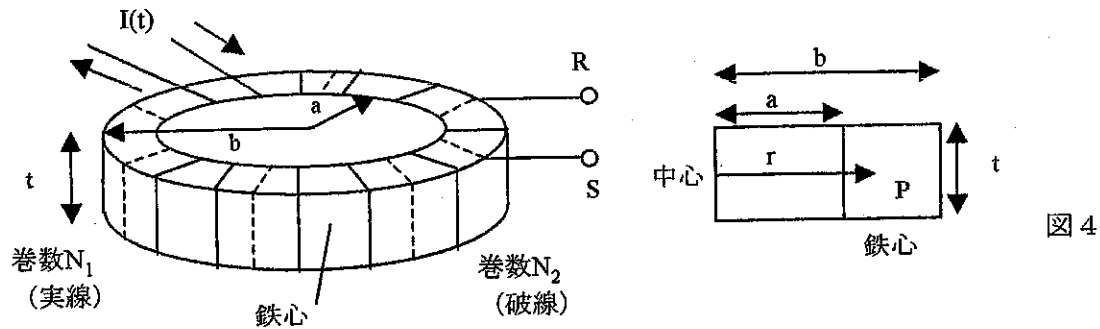


図4

1. As shown in Fig. 1, the charges Q_A and Q_C are applied to the conductors A and C in a set of concentric spherical conductors located in vacuum of ϵ_0 . Answer the following questions.

- (1) Give the charge distribution on each conductor surface.
- (2) Give the electrical potential of each conductor.
- (3) Give the charge distribution on each conductor surface and the electrical potential of each conductor in the case where the conductor B is earthed.

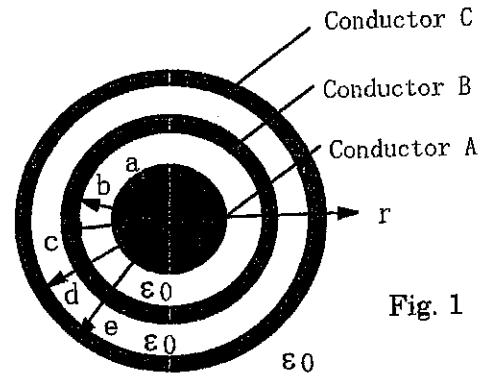


Fig. 1

2. As shown in Fig.2, conductive dielectric with electric conductivity of σ and dielectric constant of ϵ is filled between a set of coaxial cylindrical conductors, where the diameter of the inner conductor is a , the inner diameter of the outer conductor is b and the length is L . The power supply with constant voltage V is connected with one terminal of the conductors and the resistance R is connected with the other terminal. One can neglect the terminal effect and the resistance of the conductors. Answer the following questions.

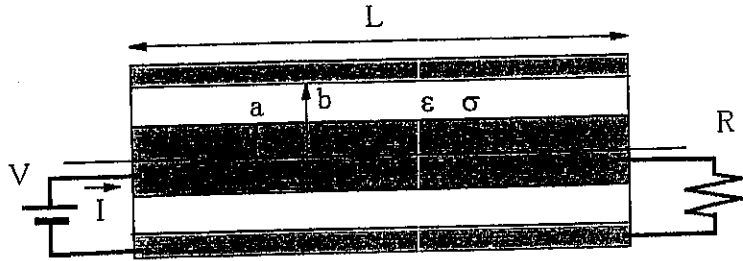


Fig. 2

- (1) Give the transport current I from the power supply.
- (2) Give the sum of electric charge on the surface of the inner conductor.

3. As shown in Fig. 3, a line conductor is laid along the y-axis of the x-y-z coordinate, and a rectangular coil with width a and length b is placed. A dc current I flows in the line conductor, and permeability is μ in all space. Answer the following questions.

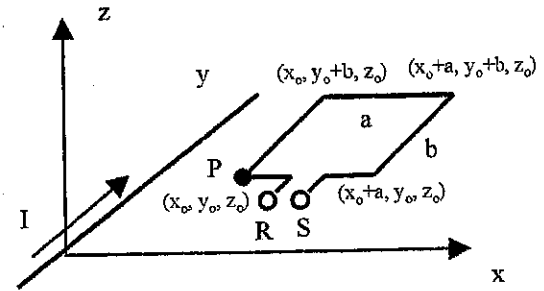


Fig. 3

- (1) Obtain the z-component of the magnetic field, i.e., H_z , at the point $P(x_0, y_0, z_0)$.
- (2) Consider the case when the rectangular coil is moved in the x direction with speed of v_x . Assume $z_0=0$ and $x_0=k+v_x t$ ($k>0$), and obtain the induced voltage V across the terminals R and S in this case.
- (3) Consider the case when the rectangular coil is moved in the z direction with speed of v_z . Assume $x_0=a$ and $z_0=k+v_z t$ ($k>0$), and obtain the induced voltage V across the terminals R and S in this case.

4. As shown in Fig. 4, there is a toroidal coil whose innermost and outermost diameters are a and b , respectively. The magnetic core of the coil has rectangular cross-section with thickness of t . The number of turns of the toroidal coil is N_1 and the current $I(t)$ is supplied to the coil. Another coil with number of turns N_2 is also wound as shown by broken lines, and the terminals R and S is opened. The permeability of the core is μ , and we assume there is no leakage of the flux from the core.

- (1) Obtain the field H at the point P from the Ampere's law, where the distance between the point P and the center is r .
- (2) Obtain the self-inductance L of the toroidal coil with the number of turns N_1 by two methods, i.e., from i) the magnetic flux Φ which interlinks the coil, and ii) the magnetic energy U_m which is stored in the coil.
- (3) Consider the case when the terminals R and S are shorted. Obtain the magnetic field H in the core and the current I_2 that flows between the terminals R and S in this case.

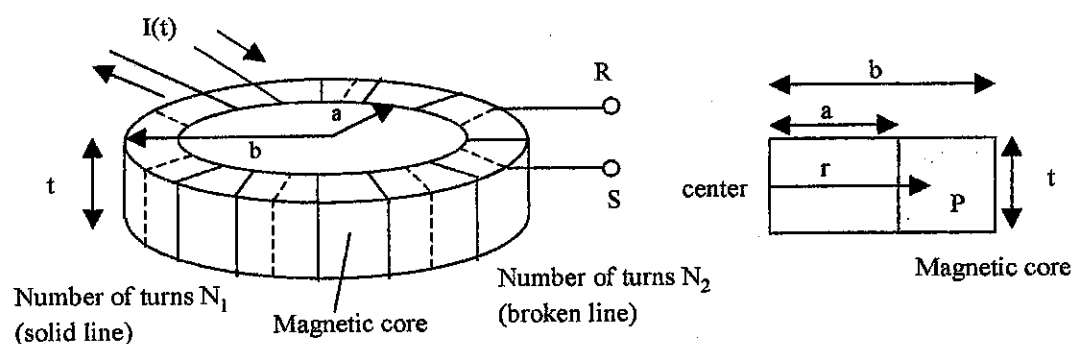


Fig. 4

【注意】

問題は6題ある。6題中から4題を選んで解答せよ。(各問 25 点)

解答用紙は全部で4枚ある。1枚に1題の解答を記入すること。裏を利用してもよい。

[1]

以下の状態遷移表に示す不完全定義順序回路について、下記の問いに答えよ。

現状態 Q	次状態 Q' , 出力 z			
	入力 x_1x_2			
	00	01	11	10
Q_0	$Q_0, 0$	$Q_2, 0$	$Q_3, 0$	$Q_1, 0$
Q_1	—, 0	$Q_1, 0$	—, —	$Q_2, —$
Q_2	$Q_2, —$	—, 0	$Q_5, 0$	—, 0
Q_3	$Q_0, 1$	$Q_3, 1$	$Q_1, 0$	—, 1
Q_4	—, —	$Q_1, —$	$Q_4, 0$	$Q_2, 1$
Q_5	—, 1	$Q_5, 1$	—, —	$Q_0, 1$

- (1) 併合表により、極大両立集合をすべて求めよ。
- (2) 最小の閉じたカバリー (状態を被覆し、閉包性を有する、両立集合の最小集合) を求めよ。
- (3) 簡単化した遷移表を作成せよ。((2)で求めた両立集合に新たな状態 $\hat{Q}_i (i = 0, 1, \dots)$ を対応させよ。但し、 Q_0, Q_4 を含む両立集合を、それぞれ \hat{Q}_0, \hat{Q}_1 とせよ。)
- (4) 最小化した順序回路の次状態関数の最簡SOP(積和形論理式)を求めよ。($\hat{Q}_0, \hat{Q}_1, \hat{Q}_2$ に、状態変数 $q_1q_2 = 00, 01, 11$ を割り当て、次状態 q'_1, q'_2 の最簡SOPを求めよ。)

[2]

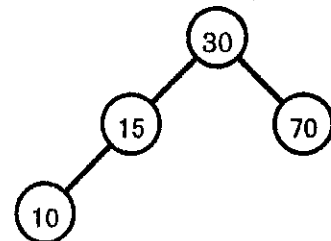
2進数の加算器に関して設問に答えよ。

- 1) 1ビットの全加算器の入力を a, b, c_{in} (桁上げ入力), 出力 s (和), c_{out} (桁上げ出力) とする. s と c_{out} を入力 a, b, c_{in} の論理関数として真理値表で表せ.
- 2) この全加算器を1つだけ用いて任意のビット数の2進数の加算が行える直列加算器を構成せよ. 全加算器の他にはフリップフロップを用いてよい.
- 3) 上記の全加算器を用いて, 8ビットの2つの2進数を加算する順次桁上げ加算器を組み合わせ論理回路として構成せよ.
- 4) 順次桁上げ加算器の遅延時間は, 加算入力の2進数のビット数に比例して大きくなる. 加算器の構成を工夫して桁数の大きな場合に遅延時間を短縮するアルゴリズムまたは回路構造について述べよ.

[3]

AVL 木とはどの頂点においても, その左部分木の高さと右部分木の高さの差が, $+1, 0, -1$ のいずれかであるような二分探索木のことである. ただし, 木の高さとは根の頂点から最も遠い葉の頂点へいたる経路上の枝の数のことを指す. たとえば下図の AVL 木の高さは2である. AVL 木に関して以下の問に答えよ.

- (1) 高さ4の AVL 木うち, 最も頂点数の少ない AVL 木の形を図示せよ.
- (2) 高さ10の AVL 木のうち, 最も頂点数の少ない AVL 木の頂点数はいくつか.
- (3) 下の AVL 木に対していくつかの要素を追加して, 木の高さを3にしたい. どのような要素(値)をどのような順番で追加すればよいか? また, その結果の AVL 木を示せ.



[4]

以下に示されるデータベーススキーマを持つ関係データベースがある。関係スキーマは以下のとおり。

Product (maker, model, type)

PC (model, speed, ram, hd, rd, price)

Laptop (model, speed, ram, hd, screen, price)

Printer (model, color, type, price)

関係 Product は maker が生産・販売する製品の model number および type (pc, laptop, or printer) を与える。ここでは、model number はすべての製品とタイプに関してユニークであるとする。関係 PC は pc である各モデルに speed (of the processor, in megahertz), RAM のサイズ (in megabytes), hard disc サイズ (in gigabytes), removable disk のスピードとタイプ (CD or DVD), および price を与える。Laptop 関係は PC 関係に似ているが、screen サイズ (in inches) が removable disk 情報の代わりに記録されている。関係 printer は、各プリンタモデルに対して、color 出力かどうか (true, if so) やその印刷方式タイプ (laser, ink-jet, or bubble), および price を与える。各関係のタプルのサンプルを下に挙げる。

Product: <A, 1001, pc> PC: <1001, 700, 64, 10, 48xCD, 799>

Laptop: <2001, 700, 64, 5, 12.1, 1448> Printer: <3001, true, ink-jet, 231>

この関係データベースに対する下記の問い合わせを関係代数、関係タプル論理および SQL で書きなさい:

(a) Find the model number and price of all products (of any type) made by manufacturers B.

(a-1) 関係代数:

(a-2) 関係タプル論理:

(a-3) SQL:

(b) Find those manufacturers that sell Laptops, but not PC's.

(b-1) 関係代数:

(b-2) 関係タプル論理:

(b-3) SQL:

(c) Find those speeds that occur in two or more PC's.

(c-1) 関係代数:

(c-2) 関係タプル論理:

(c-3) SQL:

[5]

【問題】C言語を拡張した言語「MyC」の整数定数の字句規則は下記のBNFのように定められている。(出題のため2進定数に関する字句規則の一部を削除している。)下記のBNFにおいて、 $\alpha\beta$ は字句 α と β の連接、 $\alpha|\beta$ は字句 α または β のいずれか、 $[\alpha]$ は α が省略可能であること、太字の文字はソースファイルにそのまま現れる文字であることを意味する。以下の小問に答えよ。

```

整数定数      : 10 進定数 [整数接尾語]
               | 8 進定数 [整数接尾語]
               | 16 進定数 [整数接尾語]
               | 2 進定数 [整数接尾語]

10 進定数     : 非0 数字
               | 10 進定数 数字

8 進定数      : 0
               | 8 進定数 8 進数字

16 進定数     : 0x 16 進数字
               | 0X 16 進数字
               | 16 進定数 16 進数字

非0 数字      : 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

8 進数字      : 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7

16 進数字     : 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
               | A | B | C | D | E | F | a | b | c | d | e | f

整数接尾語    : 符号なし接尾語 [長語接尾語]
               | 長語接尾語 [符号なし接尾語]

符号なし接尾語 : u | U

長語接尾語    : l | L
  
```

(小問 1) 下記のうち、MyC の整数定数として認められない字句を全て選べ。

1543 0379 -2469U 0314 0xFEL 0X0 245uL 23lu 999UuL

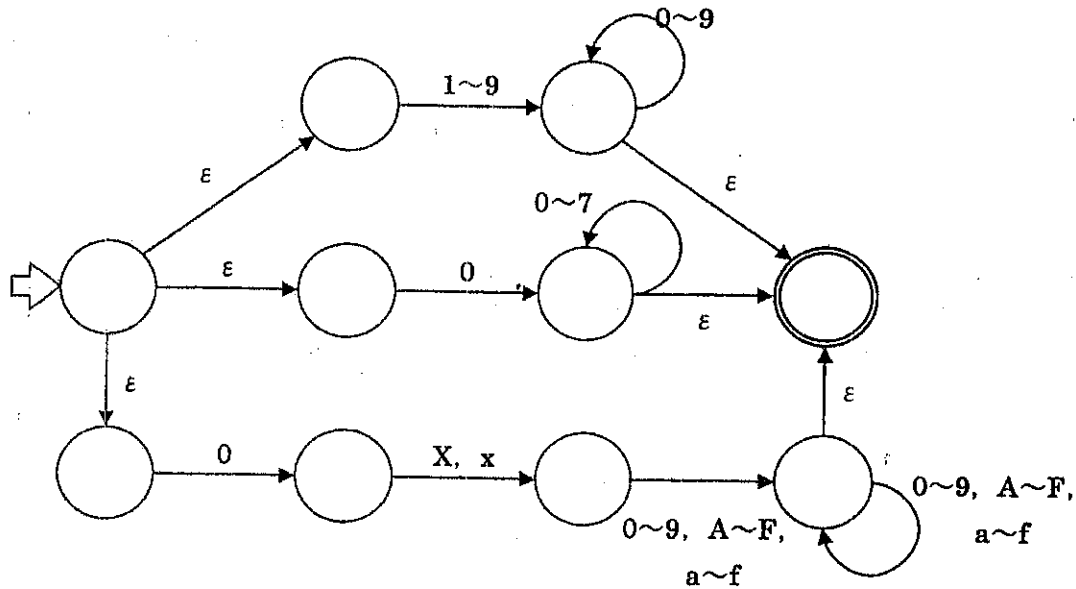
(小問 2) MyC の整数定数の一種である 2 進定数は、必ず「0b」または「0B」で始まり、「0」または「1」がひとつ以上並ぶ字句である。たとえば、以下のような字句は MyC の 2 進定数として認められる。

0b010100 0B0 0b101011

上記の BNF では 2 進定数に関する字句規則の一部を削っているが、2 進定数を受理するために必要な字句規則を追加し、BNF を完成させよ。

追加の字句規則のみ答えよ。

(小問 3) 次の図は MyC の整数定数のうち、10 進定数、8 進定数、16 進定数のいずれかを読み出す字句解析ルーチンに組み込まれる、非決定性有限オートマトン (NFA) の状態遷移図である。但し、 ϵ は無条件で状態遷移できること (いわゆる空遷移) を意味する。この非決定性有限オートマトンを等価な決定性オートマトン (DFA) に変換し、その状態遷移図を示せ。



(小問 4) 次頁に示す Pascal のコードは、MyC の 10 進定数を読み出す字句解析ルーチン `getDecimal` である。

この字句解析ルーチンは、ソースファイルの現在の参照位置から文字をひとつずつ読み取り、読み込んだ文字列が 10 進定数であればその値を返す。また、現在の参照位置から 10 進定数が始まっていない場合は -1 を返す。読み込んだ 10 進定数の末尾に U または u が付加されているときに限り、仮引数 `unsigned` には `True` が設定され、そうでない場合は `False` が設定される。同様に、読み込んだ 10 進定数の末尾に L または l が付加されているときに限り仮引数 `long` には `True` が設定され、そうでない場合は `False` が設定される。文字の読み込みは、正しい 10 進定数として認められる最長の文字列を読み込むように行われる。たとえば、123410Labc という文字列がソースファイル中にある場合、正しい 10 進定数として認められる「123410L」までが、1 回の `getDecimal` 呼び出しで読み込まれる。

`getDecimal` から呼び出される関数 `getChar` はソースファイルから新たに 1 字を読み込んで返し、ソースファイルの参照位置を 1 字分進める。`getDecimal` から呼び出される手続き `putBackChar` はソースファイルの参照位置を 1 字分戻す。また、`Ord(x)` は文字 `x` の ASCII コードを返す関数である。

空欄に適切なコードを埋めて、字句解析ルーチン `getDecimal` を完成させよ。

```

function getDecimal (var unsigned, long : boolean) : integer;
var
  state, num : integer;
  c : char;
begin
  num := 0;
  state := 0;
  unsigned := False;
  long := False;
  repeat
    case state of
      0:
        begin
          c := getChar ();
          if (Ord (c) >= Ord ('1')) and (Ord (c) <= Ord ('9')) then begin
            num := Ord (c) - Ord ('0');
            state := 1
          end
          else begin
            putBackChar (); { 読み込みすぎた 1 字分を巻き戻す }
            num := -1;
            state := 9
          end
        end;
      1:
        begin
          c := getChar ();
          if (Ord (c) >= Ord (①)) and (Ord (c) <= Ord ('9')) then begin
            num := num * 10 + Ord (c) - Ord ('0');
            state := 1
          end
          else if (②) then begin
            unsigned := True;
            state := 2
          end
          else if (③) then begin
            long := True;
            state := 3
          end
          else begin
            putBackChar (); { 読み込みすぎた 1 字分を巻き戻す }
            state := 9
          end
        end;
      2:
        begin
          c := getChar ();
          if (④) then begin
            long := True;
            state := 9
          end
          else begin
            putBackChar (); { 読み込みすぎた 1 字分を巻き戻す }
            state := 9
          end
        end
    end
  until state = 9;
end;

```

```

    end
  end;
3:
begin
  c := getChar ();
  if ( ⑤ ) then begin
    unsigned := True;
    state := 9
  end
  else begin
    putBackChar (); ( 読み込みすぎた1字分を巻き戻す )
    state := 9
  end
end;
until state = 9;
getDecimal := num
end;

```

[6]

【問題】オペレーティングシステム X は、優先度 0～3 の優先度付きスケジューリングでプロセスを実行する。優先度は 3 を最高とし、0 を最低とする。オペレーティングシステム X は、各優先度ごとにひとつずつ、あわせて 4 つの Ready キューを有し、Ready 状態のプロセスはその優先度に対応する Ready キューに接続される。

オペレーティングシステム X は、スケジューリングの際には、もっとも高い優先度の空でない Ready キューの先頭にあるプロセスを選択する。オペレーティングシステム X では、スケジューリングは Run 状態のプロセスが Ready 状態または Wait 状態に遷移するとき、または終了するときに行われるものとし、プリエンプションは行われぬ。タイムスライス間隔は 0.5 に設定されており、Run 状態になって時間が 0.5 経過したプロセスは、強制的に Ready 状態にされ、Ready キューの末尾に接続される。

時刻 0 において、優先度 3 のプロセス A、B、優先度 2 のプロセス C、優先度 1 のプロセス D、E、優先度 0 のプロセス F が全て Ready 状態にあり、オペレーティングシステム X のスケジューラがスケジューリングを開始するものとする。但し、優先度 3 の Ready キューには A、B、優先度 1 の Ready キューには D、E の順番にプロセスが接続されているものとする。

それぞれのプロセスの処理内容は以下の表のとおりとし、各々の処理を番号の順番で右の数字の時間行うものとする。

A	B	C
1) プロセッサ処理 0.1	1) プロセッサ処理 0.1	1) プロセッサ処理 0.3
2) 入出力待ち 0.5	2) 入出力待ち 0.8	2) 入出力待ち 0.3
3) プロセッサ処理 0.1	3) プロセッサ処理 0.1	3) プロセッサ処理 0.3
4) 入出力待ち 0.5	4) 終了	4) 入出力待ち 0.3
5) プロセッサ処理 0.1		5) プロセッサ処理 0.3
6) 終了		6) 終了
D	E	F
1) プロセッサ処理 0.6	1) プロセッサ処理 0.4	1) プロセッサ処理 1.0
2) 入出力待ち 0.2	2) 入出力待ち 0.4	2) 終了
3) プロセッサ処理 0.8	3) プロセッサ処理 0.4	
4) 入出力待ち 0.3	4) 入出力待ち 0.4	
5) プロセッサ処理 0.6	5) プロセッサ処理 0.4	
6) 終了	6) 終了	

(小問 1) 時刻 1.55 のときの各プロセスの状態を答えよ. すでに終了しているプロセスについては「終了」と答えよ.

(小問 2) 各プロセスの終了時刻を求めよ.

(小問 3) プロセス F がはじめて Run 状態になる時刻を答えよ.

(小問 4) タイムスライス機能が 2 回目に働く時刻を求めよ. そのとき, どのプロセスからどのプロセスに切り替えが行われるか答えよ.

小問 4	時刻/Time
	切り替え前のプロセス/Process Releasing the Processor
	切り替え後のプロセス/Process Acquiring the Processor

【Note】

There are six questions. Choose four questions out of the six ones and answer them (25 points for each problem). You have four sheets for your answering the questions. Write your answer for each question on a single sheet. You may also use its reverse side, if necessary.

[1]

For the incompletely specified sequential circuit given below, answer the following questions.

present Q	next Q' , output z input x_1x_2			
	00	01	11	10
Q_0	$Q_0, 0$	$Q_2, 0$	$Q_3, 0$	$Q_1, 0$
Q_1	—, 0	$Q_1, 0$	—, —	$Q_2, —$
Q_2	$Q_2, —$	—, 0	$Q_5, 0$	—, 0
Q_3	$Q_0, 1$	$Q_3, 1$	$Q_1, 0$	—, 1
Q_4	—, —	$Q_1, —$	$Q_4, 0$	$Q_2, 1$
Q_5	—, 1	$Q_5, 1$	—, —	$Q_0, 1$

- (1) Compute the maximal compatibles using the merger (compatibility) table.
- (2) Compute a minimal closed cover (a minimum set of compatibles to cover all the states, having the closure property).
- (3) Construct the reduced state transition table.
(Associate each compatible obtained in (2) with a new state $\hat{Q}_i (i = 0, 1, \dots)$, such that Q_0, Q_4 are contained in \hat{Q}_0, \hat{Q}_1 , respectively.)
- (4) Obtain a next state function in SOP form for the minimized circuit.
(Let x_1, x_2 be the input variables, q_1, q_2 the state variables. Write a minimal sum-of-product formula for the next states q'_1, q'_2 , by encoding $\hat{Q}_0, \hat{Q}_1, \hat{Q}_2$ with $q_1q_2 = 00, 01, 11$.)

[2]

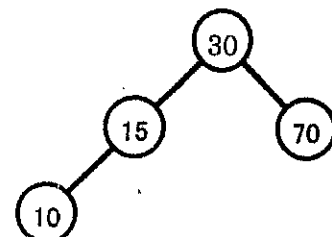
Answer the following questions on binary adders.

- 1) Suppose that a , b and c_{in} (carry-in) are inputs of a 1-bit full adder. Show a truth table of outputs, sum s and carry-out c_{out} of the full adder.
- 2) Design a sequential adder, which can add arbitrary length of binary numbers, using only one full adder. You can use a flip-flop in your design.
- 3) Using the full adders, design a ripple carry adder for 8-bit binary inputs as a combinational circuit.
- 4) The delay of the ripple carry adder is linearly proportional to the bit length of input binary numbers. Show an algorithm or a circuit structure of adder to reduce the delay for long operands.

[3]

AVL-tree is a binary tree, such that the difference between the height of its left sub-tree and the height of its right sub-tree is either +1, 0, or -1. The height of a tree is the longest path length among paths from the root to all leaves of the tree. For example, the height of the tree in the figure below, is 2.

- (1) Show an AVL-tree of height 4 which has the minimum number of nodes.
- (2) How many nodes does the minimum AVL-tree of height 10 have?
- (3) Suppose to insert nodes(values) into the AVL-tree shown below so that the height of the tree becomes 3. Show the sequence of values to do so. Also, show the resultant AVL-tree.



[4]

There is a relational database whose schema consists of four relations. The Relation schemas are:

Product (maker, model, type)
PC (model, speed, ram, hd, rd, price)
Laptop (model, speed, ram, hd, screen, price)
Printer (model, color, type, price)

The Product relation gives the manufacturer, model number and type (pc, laptop, or printer) of various products. We assume that model numbers are unique over all manufacturers and product types. The PC relation gives for each model number that is a PC the speed (of the processor, in megahertz), the amount of RAM (in megabytes), the size of the hard disc (in gigabytes), the speed and type of the removable disk (CD or DVD), and the price. The Laptop relation is similar, except that the screen size (in inches) is recorded in place of information about the removable disk. The printer relation records for each printer model whether the printer produces color output (true, if so), the process type (laser, ink-jet, or bubble), and price. A sample tuple for each relation is shown below.

Product: <A, 1001, pc> PC: <1001, 700, 64, 10, 48xCD, 799>

Laptop: <2001, 700, 64, 5, 12.1, 1448> Printer: <3001, true, ink-jet, 231>

Write the relational algebra, relational tuple calculus(関係タプル論理), and SQL expressions to answer the following three queries:

(a) Find the model number and price of all products (of any type) made by manufacturers B.

(a-1) Relational algebra:

(a-2) Relational tuple calculus:

(a-3) SQL

(b) Find those manufacturers that sell Laptops, but not PC's.

(b-1) Relational algebra:

(b-2) Relational tuple calculus:

(b-3) SQL

(c) Find those speeds that occur in two or more PC's.

(c-1) Relational algebra:

(c-2) Relational calculus:

(c-3) SQL

[5]

Question: The lexical rule of a programming language MyC, an extension of Programming Language C, is defined as the following BNF. (Note that some lexical rules on *BinaryConstant* are omitted purposely for this question.) In the BNF, concatenation and alternation of the lexical elements α and β are denoted by $\alpha\beta$ and $\alpha|\beta$, respectively. $[\alpha]$ means α is optional. Bold character means the character appears as it is in the source file.

```

IntegerConstant      : DecimalConstant [IntegerSuffix]
                      | OctalConstant [IntegerSuffix]
                      | HexadecimalConstant [IntegerSuffix]
                      | BinaryConstant [IntegerSuffix]

DecimalConstant      : NonZeroNumbers
                      | DecimalConstant Numbers

OctalConstant        : 0
                      | OctalConstant OctalNumbers

HexadecimalConstant  : 0x HexadecimalNumbers
                      | 0X HexadecimalNumbers
                      | HexadecimalConstant HexadecimalNumbers

NonZeroNumbers       : 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

OctalNumbers         : 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7

HexadecimalNumbers   : 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
                      | A | B | C | D | E | F | a | b | c | d | e | f

IntegerSuffix        : UnsignedSuffix [LongSuffix]
                      | LongSuffix [UnsignedSuffix]

UnsignedSuffix       : u | U

LongSuffix           : l | L

```

Subquestion 1: Choose all the strings that are illegal as *IntegerConstant* of MyC out of the following enumeration.

1543 0379 -2469U 0314 0xFEL 0X0 245uL 23lu 999UuL

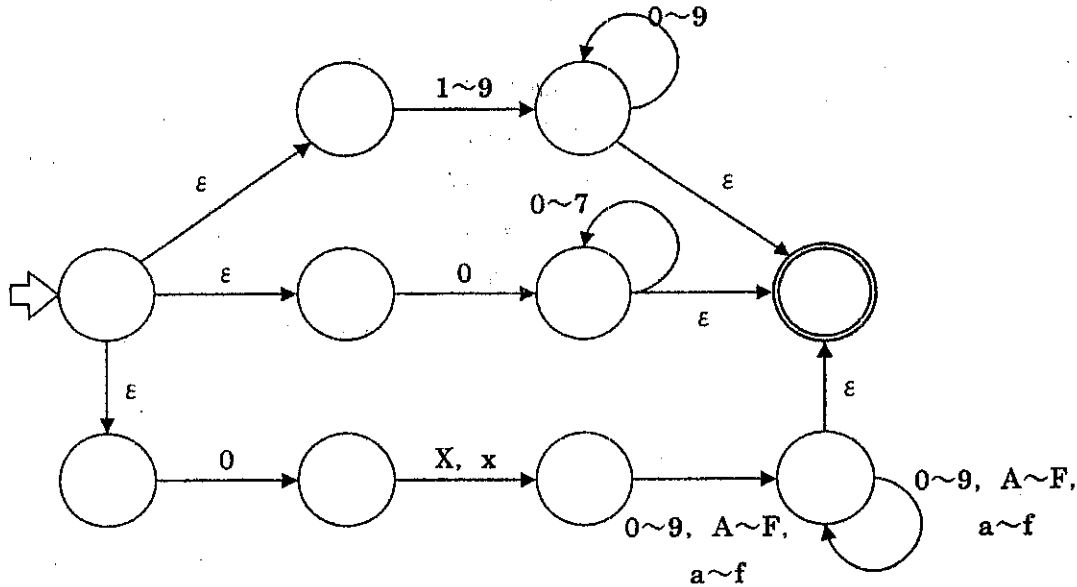
Subquestion 2: The binary constant is one kind of integer constants of MyC. The binary constant is a sequence of one or more 0s and 1s prefixed by '0b' or '0B'. For example, the following strings are legal as binary constants of MyC.

0b010100 0B0 0b101011

In the above BNF, some lexical rules on the binary constant are omitted. Append the necessary lexical rules to accept binary constants and complete the BNF.

Write only additional lexical rules.

Subquestion 3: The figure shown below is the state transition diagram of the non-deterministic finite automaton (or NFA) embedded in the lexical analyzer accepting decimal, octal and hexadecimal integer constants of MyC. ϵ means state transition without any character eating. Convert the NFA into an equivalent deterministic finite automaton (or DFA) and draw its state transition diagram.



Subquestion 4: The Pascal code fragment shown in the next page is the lexical analyzer *getDecimal* accepting MyC decimal integer constants.

This lexical analyzer scans a given source file character by character from the current referencing position of the source file. If the lexical analyzer eats a string representing a decimal constant, the lexical analyzer returns its value. Besides, if any decimal constant does not begin at the current referencing position of the source file, the lexical analyzer returns ?1. The lexical analyzer sets its formal parameter *unsigned* as True iff the lexical analyzer eats a string representing a decimal constant suffixed by U or u, or as False otherwise. Similarly, the lexical analyzer sets its formal parameter *long* as True iff the lexical analyzer eats a string representing a decimal constant suffixed by L or l, or as False otherwise. The lexical analyzer eats the longest string to be recognized as a correct decimal constant. For example, in case there is a string "123410Labc" in a given source file, *getDecimal* eats "123410L", the longest correct decimal constant, by one invocation.

Function *getChar* invoked by *getDecimal* reads one character from the source file.

returns the character, and moves the current referencing point of the source file forward one character. Function *putBackChar* invoked by *getDecimal* moves the current referencing point of the source file backward one character. *Ord (x)* is a function returning the ASCII code of the character *x*.

Fill the blanks in the Pascal code fragment and complete the lexical analyzer *getDecimal*.

```
function getDecimal (var unsigned, long : boolean) : integer;
var
  state, num : integer;
  c : char;
begin
  num := 0;
  state := 0;
  unsigned := False;
  long := False;
  repeat
    case state of
      0:
        begin
          c := getChar ();
          if (Ord (c) >= Ord ('1')) and (Ord (c) <= Ord ('9')) then begin
            num := Ord (c) - Ord ('0');
            state := 1
          end
          else begin
            putBackChar (); { Rewind one overeaten character }
            num := -1;
            state := 9
          end
        end;
      1:
        begin
          c := getChar ();
          if (Ord (c) >= Ord (①) and (Ord (c) <= Ord ('9')) then begin
            num := num * 10 + Ord (c) - Ord ('0');
            state := 1
          end
          else if (②) then begin
            unsigned := True;
            state := 2
          end
          else if (③) then begin
            long := True;
            state := 3
          end
          else begin
            putBackChar (); { Rewind one overeaten character }
            state := 9
          end
        end
    end
  until c = #0;
  return num;
end;
```

```

        end
    end;
2:
begin
    c := getChar ();
    if ( ④ ) then begin
        long := True;
        state := 9
    end
    else begin
        putBackChar (); { Rewind one overeaten character }
        state := 9
    end
end;
3:
begin
    c := getChar ();
    if ( ⑤ ) then begin
        unsigned := True;
        state := 9
    end
    else begin
        putBackChar (); { Rewind one overeaten character }
        state := 9
    end
end;
until state = 9;
getDecimal := num
end;

```

[6]

Question: Operating system X performs priority scheduling of processes with four priority levels, 0 to 3. Processes of priority level 3 have the highest priority. Operating system X has a ready queue for each priority level, thus four ready queues in all. Processes in READY state are linked to the ready queues of their priority level.

The scheduler of operating system X chooses the process at the head of the non-empty ready queue whose priority level is the highest. Scheduling is performed when a process in RUNNING state goes to READY or WAIT states or terminates. Preemption is not performed. Time slicing interval is 0.5. Thus, a process to stay in RUNNING state for 0.5 or more time is forced to be in READY state and linked to the tail of the ready queue.

At time 0, processes A and B with priority level 3, C with priority level 2, D and E with priority level 1, and F with priority level 0 are in READY state and operating system X performs scheduling. Processes A and B are linked to the ready queue of priority level 3 in the described order. Similarly, processes D and E are linked to the ready queue of priority level 1 in the described order.

Each process works as described in the table shown below, that is, performs processing and input/output waiting for the specified intervals in the numbered order.

A	B	C
1) Processing 0.1	1) Processing 0.1	1) Processing 0.3
2) I/O Waiting 0.5	2) I/O Waiting 0.8	2) I/O Waiting 0.3
3) Processing 0.1	3) Processing 0.1	3) Processing 0.3
4) I/O Waiting 0.5	4) Terminating	4) I/O Waiting 0.3
5) Processing 0.1		5) Processing 0.3
6) Terminating		6) Terminating
D	E	F
1) Processing 0.6	1) Processing 0.4	1) Processing 1.0
2) I/O Waiting 0.2	2) I/O Waiting 0.4	2) Terminating
3) Processing 0.8	3) Processing 0.4	
4) I/O Waiting 0.3	4) I/O Waiting 0.4	
5) Processing 0.6	5) Processing 0.4	
6) Terminating	6) Terminating	

Subquestion 1: For each process, answer the state of the process at time 1.55. Write "Terminated" if the process has been terminated by time 1.55.

Subquestion 2: For each process, answer the time when the process terminates.

Subquestion 3: Answer the time when the process F gets in RUNNING state for the first time.

Subquestion 4: Answer the time when time slicing works for the second time and the processes which releases and acquires the processor by the time slicing.

小問 4	時刻/Time
	切り替え前のプロセス/Process Releasing the Processor
	切り替え後のプロセス/Process Acquiring the Processor

数 学(Mathematics)

平成 15 年 9 月 2 日(火)
13 時 30 分 ~ 15 時 30 分

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 this cover sheet before the command of starting.
2. 問題用紙は表紙を含めて 3 枚, 解答用紙は 4 枚である。
There are three question sheets including this cover sheet, and four answer sheets.
3. 問題用紙の表紙と解答用紙の全部に, 受験番号, 専攻名および氏名を記入すること。
Write your examinee's number, department's name and your name on this sheet and on each answer sheet.
4. 【問題 1】～【問題 5】から 4 問を選択し解答すること。
Answer four questions out of the questions [No. 1] to [No. 5].
5. 解答用紙は 1 問につき 1 枚を使用すること。
Use one answer sheet for one question.
6. 計算用紙は配らないので, 問題用紙の裏などを適宜利用すること。
Use the reverse side of the question sheets for calculating.
7. 試験終了後, 問題用紙も回収する。
Do not keep the question sheets after the examination.

受験番号
(Examinee's No.)

専攻
(Department)

氏名
(Name)

【問題 1】 (25 点)

(1) ベクトル u_1, u_2 および u_3 は一次従属と仮定する. このとき, ベクトル $v_1 = u_1 + u_2$, $v_2 = u_1 + u_3$ および $v_3 = u_2 + u_3$ も一次従属であるか.

(2) 下記の行列に対して, その特性多項式を因数分解した形で求めよ.

$$\begin{bmatrix} -4 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & -4 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

【問題 2】 (25 点)

次の連立微分方程式を解け.

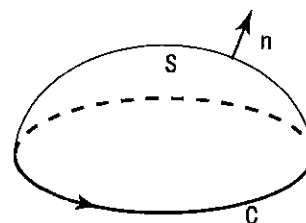
$$\begin{cases} x \frac{dy}{dx} = z \\ x \frac{dz}{dx} = y \end{cases}$$

【問題 3】 (25 点)

ベクトル関数 \mathbf{A} と \mathbf{B} は次式を満足するとする.

$$\int_C \mathbf{A} \cdot \mathbf{t} d\ell = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS \quad (*)$$

ただし, C は任意の閉曲線, \mathbf{t} は C の単位接線ベクトル, S は C を境界線とする曲面, \mathbf{n} は曲面上の単位法線ベクトルである.



(1) 次式で与えられる \mathbf{A} と \mathbf{B}

$$\mathbf{A} = \begin{cases} \frac{1}{2} \mathbf{k} \times \mathbf{r} & (\rho \leq a) \\ \frac{a^2}{2\rho^2} \mathbf{k} \times \mathbf{r} & (\rho > a) \end{cases}, \quad \mathbf{B} = \begin{cases} \mathbf{k} & (\rho \leq a) \\ 0 & (\rho > a) \end{cases}$$

は $(*)$ を満足することを示せ. ただし, $\mathbf{r} = ix + jy + kz$ および $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ であり, 閉曲線 C は xy 平面にあり中心が原点にある円とせよ.

(2) 問い(1)のベクトル関数 \mathbf{A} および \mathbf{B} は $\nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{B}$ の関係を満足していることを示せ.

(3) $(*)$ を満足するどのような \mathbf{A} と \mathbf{B} に対しても, $\nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{B}$ が成り立つことを証明せよ. (ヒント: 微小長方形ループを考えよ.)

【問題 4】 (25 点)

- (1) 次の複素積分の値を求めよ.

$$\oint_C \frac{1}{\bar{z}} dz$$

ただし, \bar{z} は z の共役複素数, C は複素平面上の 4 点 $(1, i)$, $(-1, i)$, $(-1, -i)$, $(1, -i)$ を頂点とする正方形の周である.

- (2) 次の複素積分の値を留数定理を用いて求めよ.

$$\int_{-i\infty}^{+i\infty} \frac{2}{z^2 - 1} dz$$

ただし, 積分路は虚軸上を通るものとする.

【問題 5】 (25 点)

x_1, x_2, \dots, x_n に関するブール式 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ の双対式を $f^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$ とする. 以下が成立することを数学的帰納法で証明せよ.

$$\overline{f(x_1, x_2, \dots, x_n)} = f^*(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n})$$

[No. 1] (25 Points)

- (1) Suppose that the vectors \mathbf{u}_1 , \mathbf{u}_2 , and \mathbf{u}_3 are linearly dependent. Are the vectors $\mathbf{v}_1 = \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2$, $\mathbf{v}_2 = \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_3$, and $\mathbf{v}_3 = \mathbf{u}_2 + \mathbf{u}_3$ also linearly dependent?
- (2) For the given matrix find its characteristic polynomial (in a factored form)

$$\begin{bmatrix} -4 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & -4 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

[No.2] (25 Points)

Solve the following system of differential equations

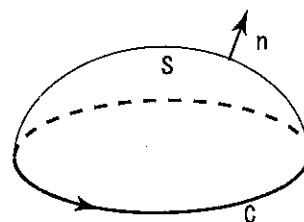
$$\begin{cases} x \frac{dy}{dx} = z \\ x \frac{dz}{dx} = y \end{cases}$$

[No. 3] (25 Points)

Vector functions \mathbf{A} and \mathbf{B} satisfy

$$\int_C \mathbf{A} \cdot \mathbf{t} d\ell = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS \quad (*)$$

where C is an arbitrary closed curve, \mathbf{t} is the unit vector tangent to C , S is a surface bounded by C and \mathbf{n} is the unit vector normal to the surface.



- (1) Show that \mathbf{A} and \mathbf{B} given by

$$\mathbf{A} = \begin{cases} \frac{1}{2} \mathbf{k} \times \mathbf{r} & (\rho \leq a) \\ \frac{a^2}{2\rho^2} \mathbf{k} \times \mathbf{r} & (\rho > a) \end{cases}, \quad \mathbf{B} = \begin{cases} \mathbf{k} & (\rho \leq a) \\ 0 & (\rho > a) \end{cases}$$

satisfy (*), where $\mathbf{r} = ix + jy + kz$, and $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. Choose the loop C to be a circle centered at the origin in the xy -plane.

- (2) Show that the vector functions \mathbf{A} and \mathbf{B} in (1) satisfy the relation $\nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{B}$.
- (3) Prove $\nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{B}$ for any \mathbf{A} and \mathbf{B} satisfying (*). (Hint: Choose the loop to be a small rectangular loop.)

[No. 4] (25 Points)

(1) Evaluate the following complex integral:

$$\oint_{|z|=1} \frac{1}{\bar{z}} dz,$$

where \bar{z} stands for the complex conjugate of z , and C is the perimeter of a square with vertices $(1, i)$, $(-1, i)$, $(-1, -i)$, $(1, -i)$.

(2) Evaluate the following complex integral using the residue theorem:

$$\int_{-i\infty}^{i\infty} \frac{2}{z^2 - 1} dz,$$

where the path of integral is on the imaginary axis.

[No. 5] (25 Points)

Let $f^*(x_1, x_2, \dots, x_n)$ be the dual of a boolean expression $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ of variables x_1, x_2, \dots, x_n . Prove the following relation by the mathematical induction.

$$\overline{f(x_1, x_2, \dots, x_n)} = f^*(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n})$$

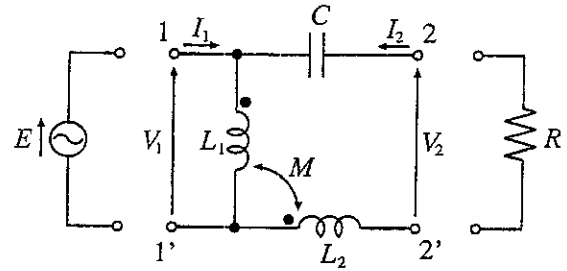
志望専攻名		受験番号		氏名	
-------	--	------	--	----	--

修士課程入学試験 電気回路 (2003年9月3日)

【4問中の1】

図の回路について次の問いに答えよ.

- (1) 1-1' および 2-2' を端子対とする 2 ポートのインピーダンス行列 $Z = [z_{ij}]$ を求めよ.
- (2) 端子対 1-1' に電源 E , 端子対 2-2' に抵抗 R を接続したとき, R に供給される電力が最大となる R を求めよ. ただし $\omega^2 C(L_1 + L_2 + 2M) = 1$ とする.

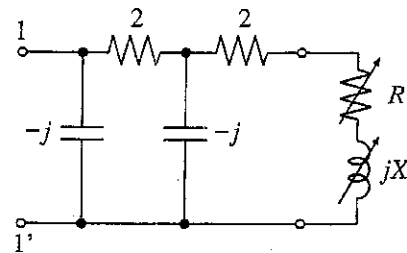


志望専攻名		受験番号		氏名	
-------	--	------	--	----	--

修士課程入学試験 電気回路 (2003 年 9 月 3 日)

【4 問中の 2】

図の回路において R 及び X は可変とする。端子対 1-1' 間に電流源 J を加えたとき、 R での電力 P を最大とする R と X 及びそのときの P を求めよ。ただし図中の数字の単位は Ω である。

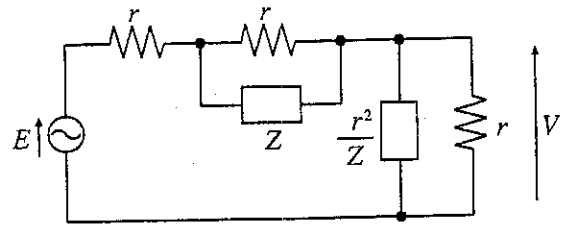


志望専攻名		受験番号		氏名	
-------	--	------	--	----	--

修士課程入学試験 電気回路 (2003年9月3日)

【4問中の3】

図の回路において、 Z はインピーダンス、 r は抵抗である。
 V は E に比べ大きさが $\frac{1}{5}$ で位相は $\frac{\pi}{3}$ 遅れであるとする。 Z を求めよ。

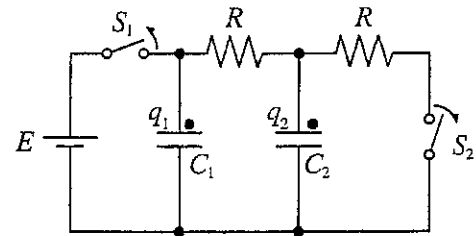


志望専攻名		受験番号		氏名	
-------	--	------	--	----	--

修士課程入学試験 電気回路 (2003年9月3日)

【4問中の4】

図の回路においてスイッチ S_1, S_2 を $t = 0$ において同時に開くとする。スイッチを開いた後 ($t > 0$) のキャパシタ C_1 の電荷量 $q_1(t)$ を求めよ。ただし、スイッチを開く前の回路は定常状態にあるとする。

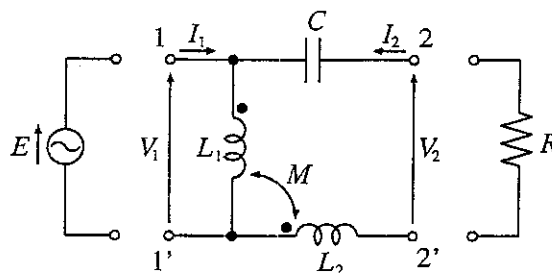


Desired Department		Examinee's Number		Name	
-----------------------	--	----------------------	--	------	--

Electric Circuits (Sep. 3, 2003)

[1]

- (1) Find the impedance matrix $Z = [z_{ij}]$ of the two-port with ports 1-1' and 2-2'.
- (2) Suppose that the voltage source E and the resistor R are connected to ports 1-1' and 2-2', respectively. Determine R which maximizes the power consumed in R , under the assumption that $\omega^2 C(L_1 + L_2 + 2M) = 1$ holds.

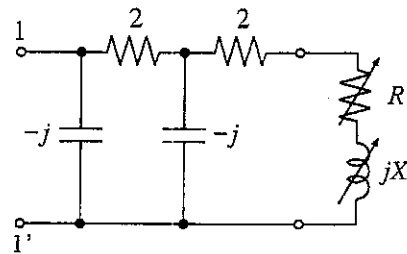


Desired Department		Examinee's Number		Name	
-----------------------	--	----------------------	--	------	--

Electric Circuits (Sep. 3, 2003)

[2]

Assume that the values of the resistance R and the reactance X are variable and assume that a current source J is connected between the terminals 1 and 1'. Find the values R and X such that the consumption power P in R is maximized and also find the maximum power P_{\max} attained. Here the values in the figure are in Ohms.

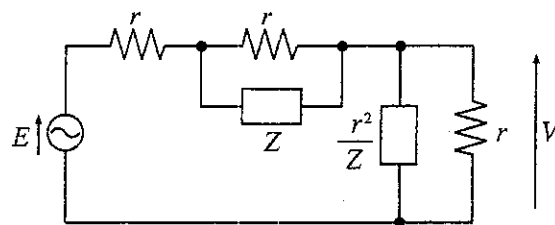


Desired Department		Examinee's Number		Name	
-----------------------	--	----------------------	--	------	--

Electric Circuits (Sep. 3, 2003)

[3]

Consider the circuit shown in the figure, where Z is the impedance and r is the resistance. Specify Z such that 1) the amplitude of the voltage V is one-fifth of that of the voltage source E and 2) V lags E by $\frac{\pi}{3}$.

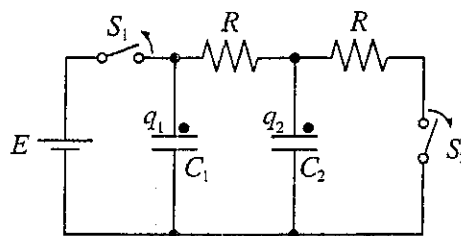


Desired Department		Examinee's Number		Name	
-----------------------	--	----------------------	--	------	--

Electric Circuits (Sep. 3, 2003)

[4]

The circuit shown in the figure is in the steady state before the switches S_1 and S_2 are opened at $t = 0$. Find the charge $q_1(t)$ stored in the capacitor C_1 for $t > 0$.



平成16年度九州大学大学院システム情報科学府修士課程
電気電子システム工学専攻

電気電子システム工学試験問題

次の問題から 1科目 を選択し、その科目名を解答用紙の表紙に明示して解答しなさい。

1. 電子回路
2. 制御工学
3. 電力工学
4. エネルギー変換工学

電子回路

試験問題

平成15年9月3日(水) 10:50~12:20

1. 図1に示すトランジスタ増幅器について、次の問に答えよ。但し、式の導出の過程において、妥当な近似を想定して式を簡単化してよい。

- (1) 負荷 R_L に最大対称交流振幅を与えるバイアス点 (I_{CQ}, V_{CEQ}) を求めよ。
- (2) トランジスタの簡略化モデル (h_{ie} , h_{fe} (又は g_m) 以外は無視する) を用いて、増幅器全体の交流小信号等価回路を求めよ。
- (3) 上記の交流等価回路を用いて、電流利得 $A_i = I_L / I_i$ を導出せよ。
- (4) 増幅器の入力抵抗 Z_i および出力抵抗 Z_o を求めよ。

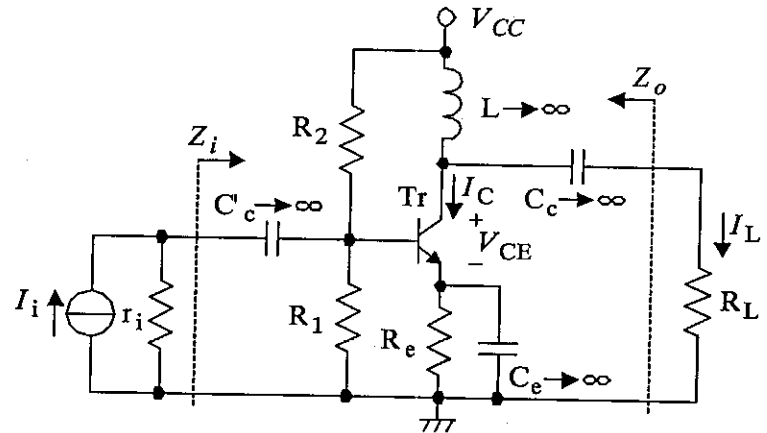


図1

2. 図2に示す移相回路の伝達関数 $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$ を求めよ。次に、この移相回路の利得および位相の周波数特性の概形を描け。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

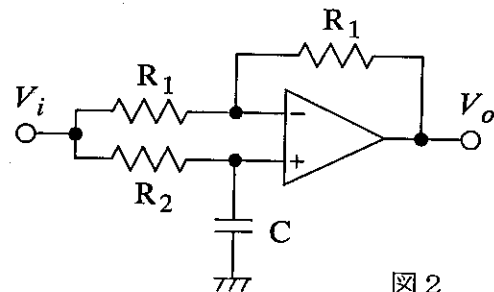


図2

3. 図3に示すクランプに対し、図4に示す入力電圧 V_i を与えたときの出力電圧 V_o の波形を図示し、回路の動作を説明せよ。但し、ダイオード D の等価直列抵抗を r で表し、それ以外の性質は理想的であるとする。また、条件 $r \ll (T/C) \ll R$ が成り立つとする。

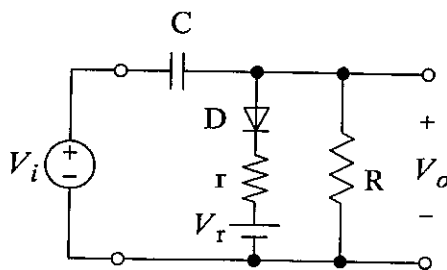


図3

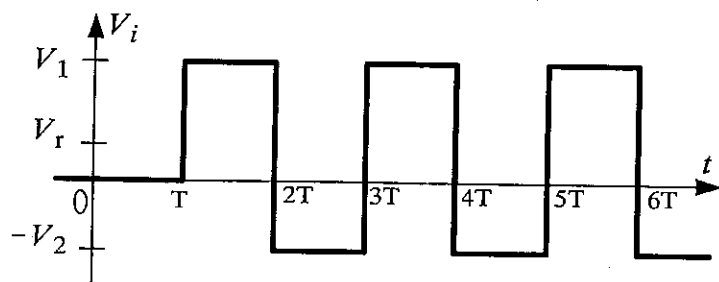


図4

ELECTRONIC CIRCUITS

Sep. 3, 2003

1. Solve the following problems on the transistor amplifier shown in Fig. 1. You can use some possible assumptions to simplify some equations.

- (1) Find the quiescent point (bias point), I_{CQ} , V_{CEQ} , to provide the maximum symmetrical swing of ac current to the load resistance R_L .
- (2) Show a small-signal equivalent circuit of the amplifier by using a simple transistor model composed of parameters of h_{ie} and h_{fe} (or g_m) only.
- (3) Derive the current gain $A_i = I_L / I_i$ from the above equivalent circuit.
- (4) Derive the input resistance Z_i and the output resistance Z_o of this amplifier.

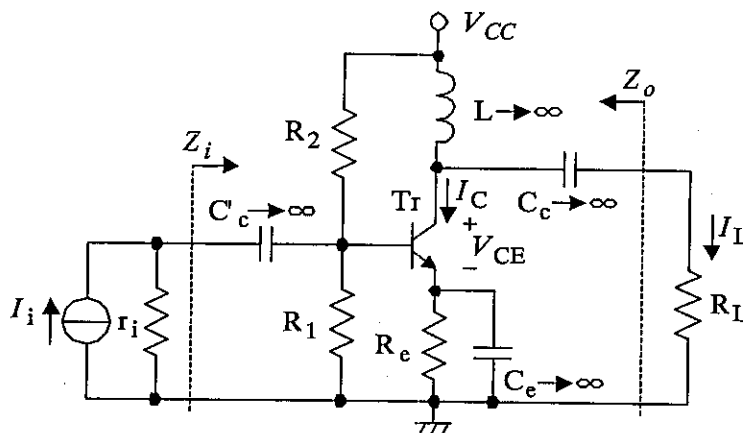


Fig. 1

2. Derive the transfer function $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$ for the phase-shift circuit shown in Fig. 2. Then, sketch the frequency characteristics of the gain and the phase. The operational amplifier is assumed to be ideal.

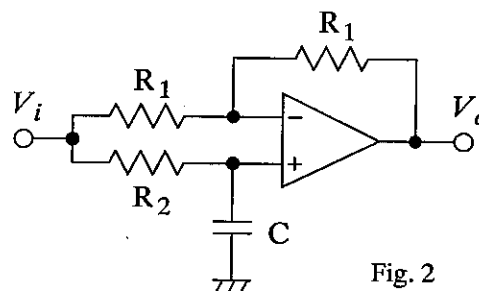


Fig. 2

3. For the clamper shown in Fig. 3, the input voltage V_i shown in Fig. 4 is applied. Sketch the waveform of the output voltage V_o , and describe the circuit operation of the clamper. The diode D is ideal except that it has an equivalent resistance r . The condition $r \ll (T/C) \ll R$ holds.

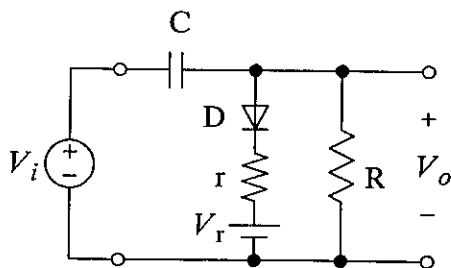


Fig. 3

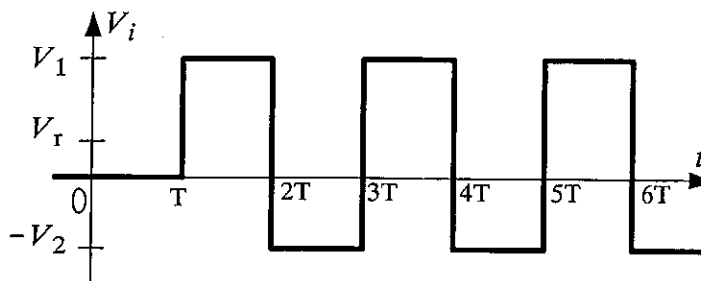


Fig. 4

平成16年度大学院入試問題（制御工学）

[問題 1] 以下の一次システムについて、インパルス応答、ステップ応答、伝達関数、周波数応答をそれぞれ求めよ。

$$T\dot{y}(t) + y(t) = u(t), \quad y(0) = 0$$

ただし、 $u(t)$ と $y(t)$ はそれぞれ入力と出力で、 $T > 0$ は定数である。

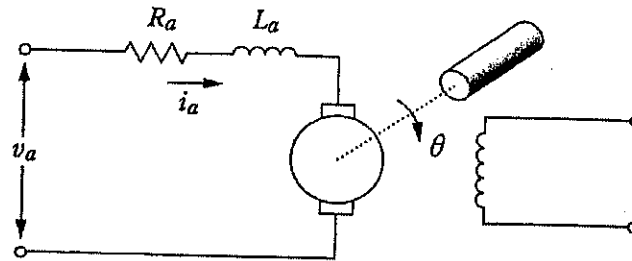
[問題 2] 下図の直流サーボモータに関して、下式が成立する。

$$v_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_c$$

$$e_c = K_v \frac{d\theta}{dt}$$

$$\tau = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt}$$

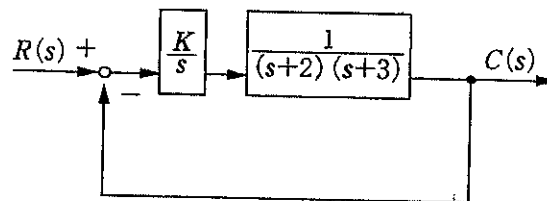
ただし、 v_a : 電機子電圧, i_a : 電機子電流, e_c : 逆起電力, τ : モータの発生トルク, θ : モータの回転角度。



問1 : この直流サーボモータのブロック線図を描け。ただし、 v_a と θ をそれぞれ入力と出力とする。

問2 : v_a から θ までの伝達関数を求めよ。

[問題 3] 下図に示すフィードバック制御系が安定であるためのゲイン K の範囲を求めよ。



[問題 4] 次式で表されるシステムを考える。

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & -1 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t)$$

問1 : このシステムの可制御性を判別せよ。

問2 : $u(t) = -Fx(t)$ なる状態フィードバック制御則を用いて、閉ループの極が $-2, -3, -4$ となるようにしたい。 F をどのように選べばよいか。

平成 16 年度大学院入試問題 (Control Engineering)

[Problem 1:] Obtain the impulse response, step response, transfer function and frequency response of the following first-order system:

$$T\dot{y}(t) + y(t) = u(t), \quad y(0) = 0$$

where $u(t)$ and $y(t)$ are respectively the input and output, and $T > 0$ is a constant.

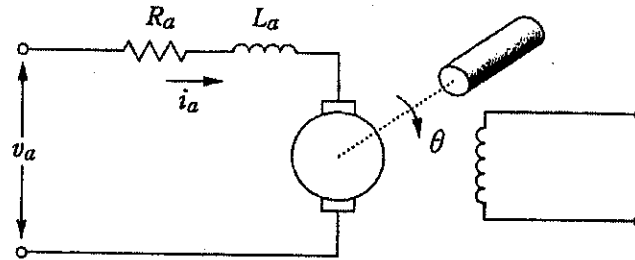
[Problem 2:] Consider the DC servo motor shown in the following figure which is governed by the following differential equations:

$$v_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_c$$

$$e_c = K_v \frac{d\theta}{dt}$$

$$\tau = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt}$$

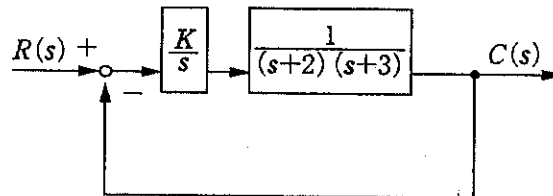
where, v_a : armature voltage, i_a : armature current, e_c : counter electromotive force, τ : generated torque of the motor, θ : rotational angle of the motor shaft.



2-a: Sketch the block diagram of the DC servo motor, where v_a and θ are respectively the input and output signals.

2-b: Obtain the transfer function from v_a to θ .

[Problem 3:] Find the appropriate interval of K so that each K in this interval stabilizes the feedback control system shown in the following figure.



[Problem 4:] Consider the following system:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & -1 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t)$$

4-a: Investigate the controllability of the system.

4-b: Suppose that a state feedback control law $u(t) = -Fx(t)$ is employed to assign the poles of the closed-loop to -2 , -3 , -4 . Find the suitable F .

平成 16 年度大学院入試問題

電工学 (Electric Power Engineerings)

(注：問題用紙は 2 枚、問題は 5 問あります。)

- 問題 1 (a) Transform $v(t) = 141\cos(377t + 30^\circ)$ to the phasor form.
 (b) Transform $\bar{V} = 100\angle 45^\circ$ to the instantaneous form.

- ((a) $v(t) = 141\cos(377t + 30^\circ)$ のフェーズを求めよ。)
 ((b) $\bar{V} = 100\angle 45^\circ$ の瞬時値表示を求めよ。)

問題 2 Consider the electrostatic precipitator shown in Figure 1 where c, c_0, c_e, u and v are the dust concentrations at x , inlet and outlet, the gas velocity and the particle migration velocity to collecting electrode, respectively. Find the efficiency of the precipitator (Deutsch equation).

(図 1 の電気集塵器の集塵効率 (Deutsch の式) を求めよ。ただし、図で c, c_0, c_e, u, v はそれぞれ、位置 x 、入口、出口のダスト濃度、ガス流速、ダストの集塵極への移動速度である。)

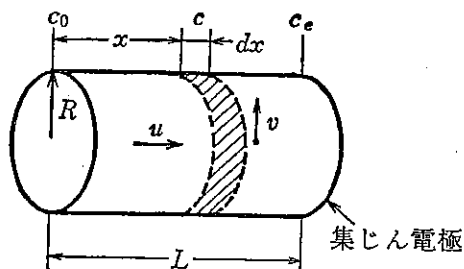


Figure 1 (図 1)

問題 3 Describe the neutron life cycle and the four-factor formula in the infinite reactor and obtain the effective multiplication constant of neutron in the finite reactor assuming the non-leakage probability of neutron in the reactor to be P_{NL} .

(無限大炉における中性子の世代と四因子公式を説明し、有限の原子炉における中性子の実効増倍率を求めよ。ただし、有限の原子炉の中性子の漏れない割合を P_{NL} とせよ。)

問題 4 The steady state stability limit of a transmission system is 1.0 [p.u.]. Assuming the transmission link between the synchronous generator and infinite bus to be purely reactive and the initial load to be (a) zero, (b) 0.5 [p.u.], prepare a graph depicting the total permissible sudden increase in amount of power that can be absorbed with stability and obtain the permissible sudden increase of power (hint: Equal Area Criterion).

(同期発電機と無限大母線がリアクタンスのみからなる送電線で連系され、その送電線路の定態安定極限電力が 1[p.u.]である。初期負荷が(a) zero, (b) 0.5[p.u.]で、これからステップ状に負荷が増加したとする。このときの $P-\delta$ 図を描き、それぞれの初期負荷に対して系統が安定を維持して運転できる最大負荷を求めよ。(ヒント：等面積則))

問題 5 Evaluate symmetrical component impedance in matrix notation $[Z_{012}]$ for the transmission line shown in Figure 2.

(図 2 の送電線路の対称成分インピーダンス $[Z_{012}]$ を求めよ。ただし、 $[Z_{012}]$ は対称成分インピーダンスの行列表示である。)

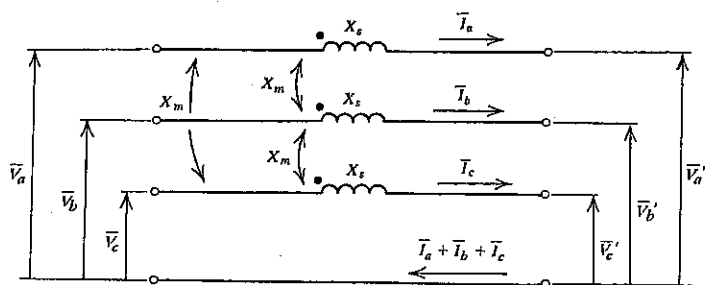


Figure 2 (図 2)

以上

平成16年度 九州大学大学院システム情報科学研究科
電気電子システム工学専攻修士課程入学試験問題
エネルギー変換工学

問題 1

図1は三相誘導機の1相分簡易等価回路を示す。

(1) 図1を用いて、トルク T を電圧 V_1 表示で求めなさい。なお、誘導機の極数は2極とし、電源周波数を f_1 、同期回転角速度を $\omega (=2\pi f_1)$ とする。

(2) すべり s が定格値 ($0 < s < 0.05$) の近くでは $r_2'/s \gg (x_1 + x_2')$ 、 $r_2'/s \gg r_1$ を満足する時、トルク T の近似式を誘導しなさい。

いま、負荷トルク $T_L = k\omega_r$ (ω_r : 回転子の回転角速度、 k : 比例定数) とすると、定格すべり $s_n = 0.04$ の時、 ω_{rn} の定格運転状態から $\omega_{r1} = \omega_{rn}/3$ へ速度制御を行う。以下の問に答えなさい。なお、一次損失 = 二次損失とする。

(3) 比例推移の原理を用いて、 ω_{r1} まで速度制御するためには、外部抵抗として r_2' の何倍の抵抗を挿入すればよいか？ また、この時のすべり s_1 及び二次効率 η_{21} と一次効率 η_{11} を求めなさい。

(4) インバータ周波数を f_1 として、 V_1/f_1 を一定に制御しながら、速度制御を行えば、 ω_{r1} の新しい定常状態が得られる。このときのすべり s_2 及び二次効率 η_{22}

と一次効率 η_{12} を求め、(3) と比較して、どのように改善されるかを述べよ。

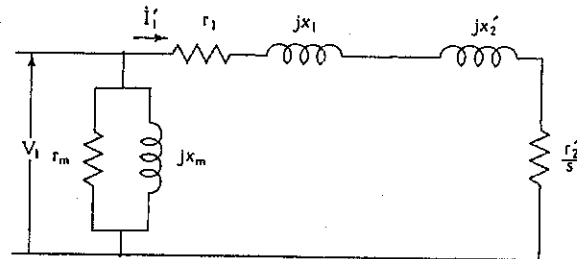


図1 誘導機の簡易等価回路

問題 2

図2に示すブラシレスDCモータは、永久磁石 (PM) モータの回転子位置を検出器PSを用いて検出し、サイリスタインバータの点弧角 α を制御するモータである。モータのギャップ磁束を Φ 、インバータの制御進み角を $\gamma (= \pi - \alpha)$ として、下記の問いに答えなさい。

ただし、平滑リアクトル L_d は十分大きく、 I_d は一定とする。

- (1) モータ速度 n の関係式を求めよ。
- (2) モータトルク T の関係式を求めよ。
- (3) PMモータの概略電流波形を示せ。
- (4) この駆動システムのメリットを述べよ。

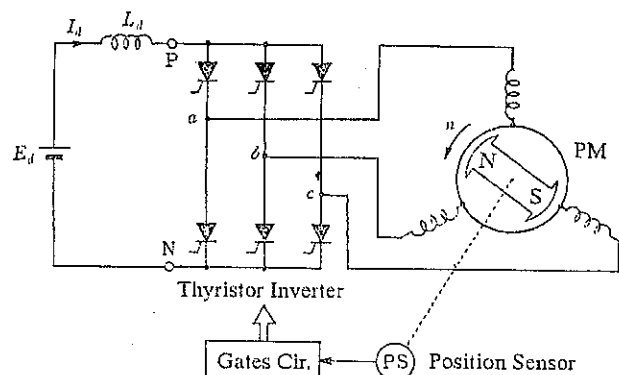


図2 ブラシレスDCモータ

Energy Conversion

Problem 1

Figure 1 shows the per-phase equivalent circuit of induction motor.

(1) From Fig.1, write the torque equation in the term of voltage V_1 . The induction motor has 2 poles, the frequency of supply is f_1 and the angular speed is $\omega (=2\pi f_1)$.

(2) At small slip $r_2'/s \gg (x_1 + x_2')$ and $r_2'/s \gg r_1$, find the approximation for torque T .

Suppose that the load torque $T_L = k \omega_r$, in which ω_r is the rotor angular speed and k is a constant. When the speed control is made from the rated speed ω_{rn} at rated slip $s_n = 0.04$ to the speed $\omega_{r1} = \omega_{rn}/3$, answer the following questions. Suppose that the primary loss equals to the secondary loss.

(3) To obtain the speed ω_{r1} at based on the proportional shifting of the motor, as the external resistance, how times the resistance r_2' should be inserted into the rotor circuit? Then show the slip s_1 , the secondary efficiency η_{21} and the primary efficiency η_{11} .

(4) The speed ω_{r1} can be also obtained by the speed control based on inverter drive at constant V_1/f_1 operation. Then find the slip s_2 , the secondary efficiency η_{22} and the primary efficiency η_{12} , and compare the one with the speed control method described in the above term(3).

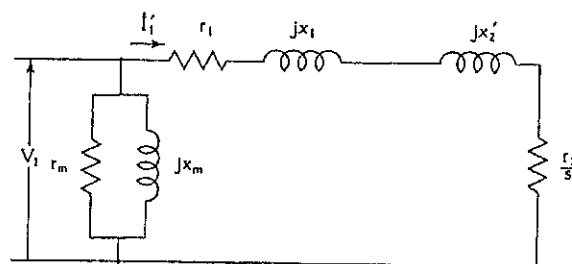


Fig.1. Per-phase simplified equivalent circuit of induction motor

Problem 2

Figure 2 shows the circuit diagram of brushless dc motor. The system consists of permanent magnet motor PM, rotor position sensor PS, and the thyristor inverter. The firing angle α for the inverter is controlled by the signal of PS. Suppose that the air gap flux of motor is Φ , the angle of advance for inverter is $\gamma (= \pi - \alpha)$, and the value of reactor L_d is sufficiently large.

(1) Derive an expression for the motor speed n .

(2) Derive an expression for the motor torque T .

(3) Sketch the waveforms of motor currents i_a , i_b , and i_c .

(4) Describe the merits for the dc motor.

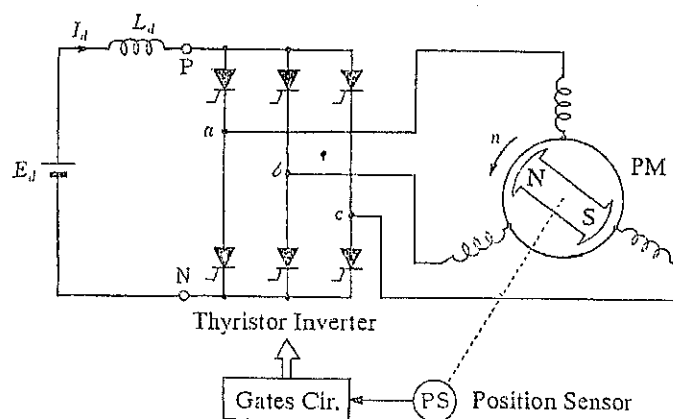


Fig.2. Brushless dc motor

平成16年度九州大学大学院システム情報科学府修士課程
電子デバイス工学専攻

電子工学試験問題

次の問題から1科目を選択し、その科目名を解答用紙の表紙に明示して解答しなさい。

1. 電子回路
2. 制御工学
3. 電子デバイス工学

1. 図1に示すトランジスタ増幅器について、次の問に答えよ。但し、式の導出の過程において、妥当な近似を想定して式を簡単化してよい。

- (1) 負荷 R_L に最大対称交流振幅を与えるバイアス点 (I_{CQ}, V_{CEQ}) を求めよ。
- (2) トランジスタの簡略化モデル (h_{ie} , h_{fe} (又は g_m) 以外は無視する) を用いて、増幅器全体の交流小信号等価回路を求めよ。
- (3) 上記の交流等価回路を用いて、電流利得 $A_i = I_L / I_i$ を導出せよ。
- (4) 増幅器の入力抵抗 Z_i および出力抵抗 Z_o を求めよ。

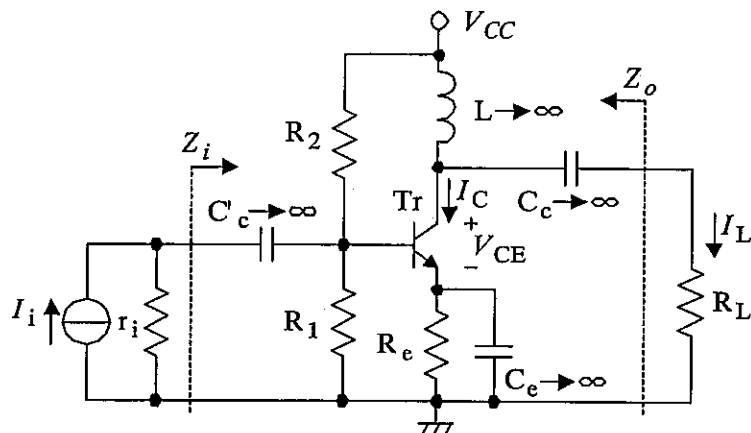


図1

2. 図2に示す移相回路の伝達関数 $G(s) = V_o(s)/V_i(s)$ を求めよ。次に、この移相回路の利得および位相の周波数特性の概形を描け。但し、演算増幅器は理想的であるとする。

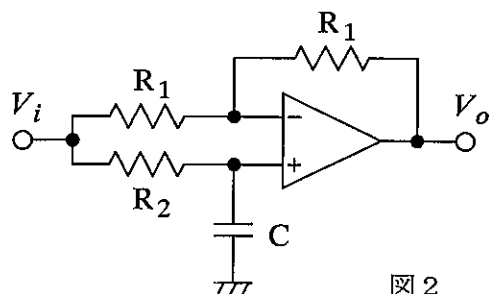


図2

3. 図3に示すクランプに対し、図4に示す入力電圧 V_i を与えたときの出力電圧 V_o の波形を図示し、回路の動作を説明せよ。但し、ダイオード D の等価直列抵抗を r で表し、それ以外の性質は理想的であるとする。また、条件 $r \ll (T/C) \ll R$ が成り立つとする。

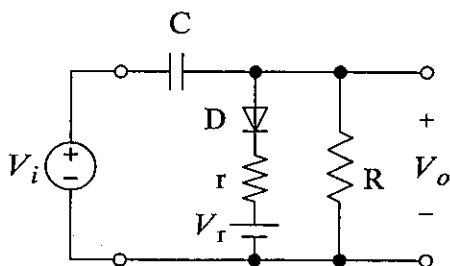


図3

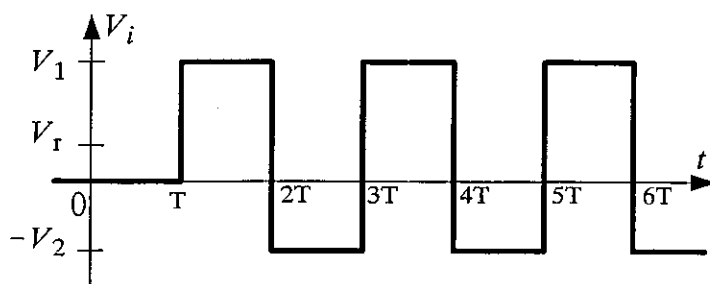


図4

ELECTRONIC CIRCUITS

Sep. 3, 2003

1. Solve the following problems on the transistor amplifier shown in Fig. 1. You can use some possible assumptions to simplify some equations.

(1) Find the quiescent point (bias point),

I_{CQ} , V_{CEQ} , to provide the maximum symmetrical swing of ac current to the load resistance R_L .

(2) Show a small-signal equivalent circuit of the amplifier by using a simple transistor model composed of parameters of h_{ie} and h_{fe} (or g_m) only.

(3) Derive the current gain $A_i = I_L / I_i$ from the above equivalent circuit.

(4) Derive the input resistance Z_i and the output resistance Z_o of this amplifier.

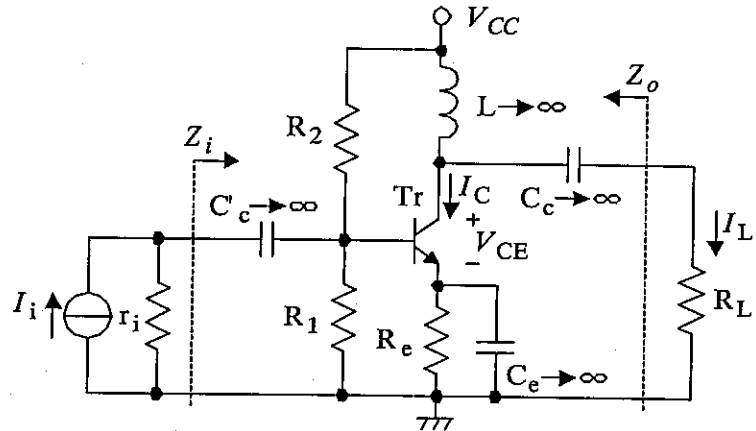


Fig. 1

2. Derive the transfer function $G(s) = V_o(s) / V_i(s)$ for the phase-shift circuit shown in Fig. 2. Then, sketch the frequency characteristics of the gain and the phase. The operational amplifier is assumed to be ideal.

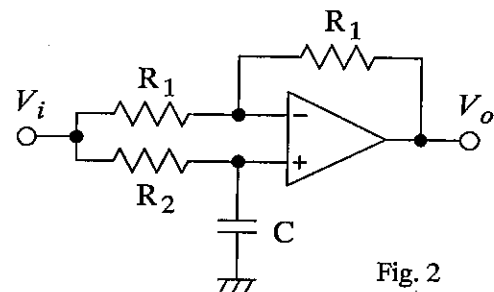


Fig. 2

3. For the clamper shown in Fig. 3, the input voltage V_i shown in Fig. 4 is applied. Sketch the waveform of the output voltage V_o , and describe the circuit operation of the clamper. The diode D is ideal except that it has an equivalent resistance r . The condition $r \ll (T/C) \ll R$ holds.

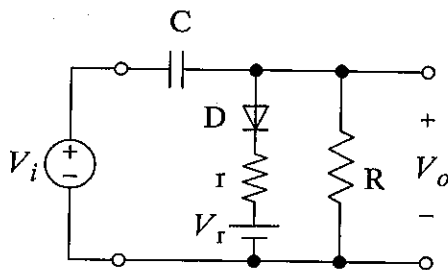


Fig. 3

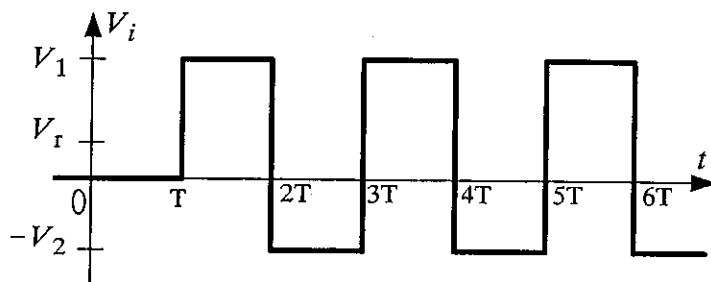


Fig. 4

平成16年度大学院入試問題（制御工学）

[問題 1] 以下の一次システムについて、インパルス応答、ステップ応答、伝達関数、周波数応答をそれぞれ求めよ。

$$T\dot{y}(t) + y(t) = u(t), \quad y(0) = 0$$

ただし、 $u(t)$ と $y(t)$ はそれぞれ入力と出力で、 $T > 0$ は定数である。

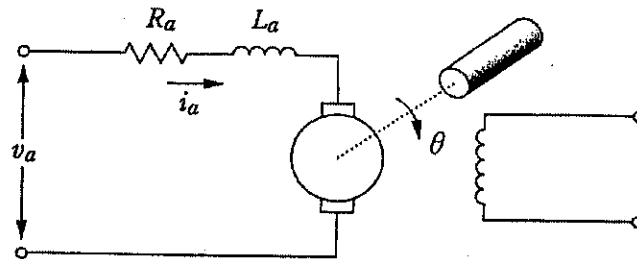
[問題 2] 下図の直流サーボモータに関して、下式が成立する。

$$v_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_c$$

$$e_c = K_v \frac{d\theta}{dt}$$

$$\tau = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt}$$

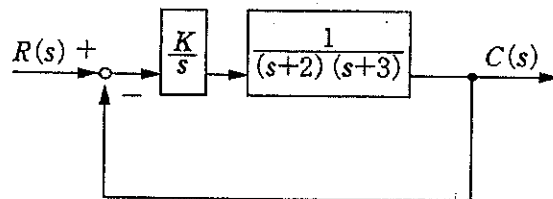
ただし、 v_a : 電機子電圧、 i_a : 電機子電流、 e_c : 逆起電力、 τ : モータの発生トルク、 θ : モータの回転角度。



問1 : この直流サーボモータのブロック線図を描け。ただし、 v_a と θ をそれぞれ入力と出力とする。

問2 : v_a から θ までの伝達関数を求めよ。

[問題 3] 下図に示すフィードバック制御系が安定であるためのゲイン K の範囲を求めよ。



[問題 4] 次式で表されるシステムを考える。

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & -1 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t)$$

問1 : このシステムの可制御性を判別せよ。

問2 : $u(t) = -Fx(t)$ なる状態フィードバック制御則を用いて、閉ループの極が -2 , -3 , -4 となるようにしたい。 F をどのように選べばよいか。

平成 16 年度大学院入試問題 (Control Engineering)

[Problem 1:] Obtain the impulse response, step response, transfer function and frequency response of the following first-order system:

$$T\dot{y}(t) + y(t) = u(t), \quad y(0) = 0$$

where $u(t)$ and $y(t)$ are respectively the input and output, and $T > 0$ is a constant.

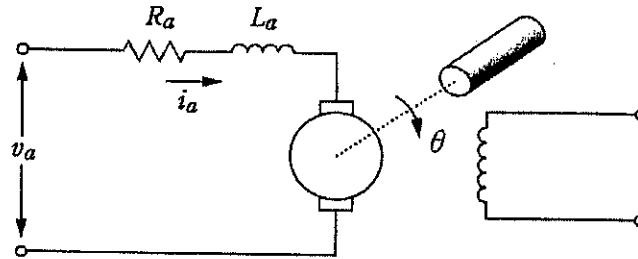
[Problem 2:] Consider the DC servo motor shown in the following figure which is governed by the following differential equations:

$$v_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_c$$

$$e_c = K_v \frac{d\theta}{dt}$$

$$\tau = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt}$$

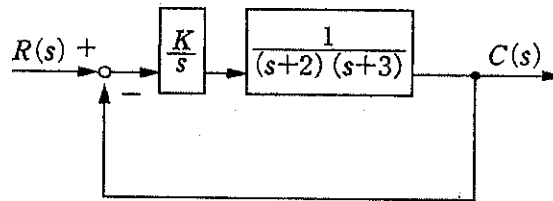
where, v_a : armature voltage, i_a : armature current, e_c : counter electromotive force, τ : generated torque of the motor, θ : rotational angle of the motor shaft.



2-a: Sketch the block diagram of the DC servo motor, where v_a and θ are respectively the input and output signals.

2-b: Obtain the transfer function from v_a to θ .

[Problem 3:] Find the appropriate interval of K so that each K in this interval stabilizes the feedback control system shown in the following figure.



[Problem 4:] Consider the following system:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & -1 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t)$$

4-a: Investigate the controllability of the system.

4-b: Suppose that a state feedback control law $u(t) = -Fx(t)$ is employed to assign the poles of the closed-loop to -2 , -3 , -4 . Find the suitable F .

平成 16 年度・修士課程入学試験・電子デバイス工学問題

注意 1：電子回路、制御工学、電子デバイス工学のいずれか 1 科目しか解答できません。
注意 2：答えは、氏名と共に別紙解答用紙に記入のこと。

問題 1 (10 点)

以下の問いに答えよ。

- (1) 真性、n 型、及び p 型の 3 種類のシリコン(Si)のバンド図(エネルギー帯図)を模式的に示せ。図には、価電子帯の頂き(E_V)、伝導帯の底(E_C)及びフェルミ・エネルギーの位置(E_F)を記載する事。
- (2) シリコンに不純物としてリン(P)を添加する。リンの濃度が①低い場合 ($1 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ 程度以下)、②高い場合 ($1 \times 10^{22} \text{m}^{-3}$ 程度以上) の各々の場合につき、バンド図をフェルミ・エネルギーの位置に注意して模式的に示せ。そしてリン濃度によりバンド図が変化する理由を簡単に説明せよ。

問題 2 (15 点)

シリコン(Si)にボロン(B)原子を $1.5 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$ の濃度だけ添加した。この時、以下の問いに答えよ。

- (1) このシリコンの室温における電子濃度及び正孔濃度を求めよ。但し、室温における真性キャリア濃度(n_i)は、 $1.5 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ とする。
- (2) このシリコンを 1 辺が 1cm の立方体に切り出し、1 組の向かい合う 2 面にオーミック電極を形成した。オーミック電極間の抵抗値を計算せよ。但し、電子の移動度を $0.1 \text{m}^2/\text{Vs}$ 、正孔の移動度を $0.05 \text{m}^2/\text{Vs}$ とし、電荷素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ とする。
- (3) 上記のオーミック電極間に 10V の電圧を印加した。この状態における正孔のドリフト速度を求めよ。

問題 3 (15 点)

アクセプタ濃度(N_A)が 10^{22}m^{-3} の p 型半導体領域とドナー濃度(N_D)が 10^{26}m^{-3} の n 型半導体領域とで構成される階段型 pn 接合ダイオードがある。この時、以下の問いに答えよ。

- (1) このダイオードの、①熱平衡状態、②順方向バイアス状態(バイアス電圧： V_F)、③逆方向バイアス状態(バイアス電圧： V_R)のバンド図を描け。図には、価電子帯の頂き(E_V)、伝導帯の底(E_C)、フェルミ・エネルギー(E_F)の位置、pn 接合の拡散電位(ϕ_d)及び印加バイアスの大きさ(V_F 或いは V_R)を記入する事。但し電荷素量を q とせよ。
- (2) ある大きさの逆方向バイアス(バイアス電圧： V_R)をダイオードに印加した時、p 型半導体領域の空乏層の幅が $10 \mu\text{m}$ となった。この時の n 型半導体領域の空乏層幅を計算せよ。

問題4 (25 点)

エミッタ(E)、ベース(B)、コレクタ(C)からなる npn バイポーラトランジスタに関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 通常の動作状態(活性状態)において、①ベース・エミッタ間に印加するエミッタ電圧(V_{EB})、②ベース・コレクタ間に印加するコレクタ電圧(V_{CB})は、各々の pn 接合に対し、順方向バイアスの条件で印加するか、逆方向バイアスの条件で印加するかを答えよ。
- (2) 活性状態におけるバンド図を描け。バンド図には、価電子帯の頂き(E_V)、伝導帯の底(E_C)、フェルミ・エネルギーの位置(E_F)、pn 接合の拡散電位(ϕ_d)及び印加バイアスの大きさ(V_{EB} 及び V_{CB})を記載する事。但し電荷素量を q とせよ。
- (3) トランジスタのベースを接地した時の電流増幅率を α 、エミッタを接地した時の電流増幅率を β とする。この時、エミッタ接地電流増幅率(β)をベース接地電流増幅率(α)で表せ。ここで、コレクタ電流を I_C 、ベース電流を I_B 、エミッタ電流を I_E とすると、 $\alpha = I_C/I_E$ 、 $\beta = I_C/I_B$ である。
- (4) エミッタ接地電流増幅率(β)を大きな値とするのに必要な要因を、トランジスタ構造、トランジスタに用いる半導体の特性などに注目して簡単に述べよ。

問題5 (15 点)

p 型シリコン基板を用いて形成された理想的な MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) 構造に関して以下の問いに答えよ。

- (1) 金属と半導体間に印加するバイアス電圧(V)を変化する事により、キャリアの蓄積、空乏、反転等の状態が形成される。①蓄積、②空乏、③反転の各々の状態に対応するバンド図(エネルギー帯図)を示せ。図には、金属のフェルミ・エネルギーの位置(E_{FM})、シリコンのフェルミ・エネルギーの位置(E_F)及び印加バイアスの大きさ(V)も記入する事。但し電荷素量を q とせよ。
- (2) 金属と半導体間に印加するバイアス電圧(V)を変化する事により、MOS 構造の静電容量は変化する。高周波測定により得られる静電容量の変化の様子をバイアス電圧(V)の関数として図示せよ。図には、キャリアの①蓄積、②空乏、③反転の各々の状態に対応する領域を明示せよ。

問題6 (20 点)

ソース(S)、ドレイン(D)、ゲート(G)からなる n チャネル MOS 型電界効果トランジスタ(n-MOSFET)に関して、以下の問いに答えよ。但し、ゲート長を L 、ゲート幅を W 、ゲート酸化膜容量を C_{ox} とする。また、ソースからドレイン方向の位置(x)に関しては、ソース端を $x=0$ 、ドレイン端を $x=L$ とする。

- (1) ソース・ゲート間に正のゲート電圧(V_{GS})を印加した時、ゲート直下のシリコン表面に誘起されるキャリアの種類(電子、正孔)を答えよ。また、表面に誘起したキャリア層の名称を答えよ。
- (2) シリコン表面の x 点 ($0 \leq x \leq L$) における表面キャリア層の電荷密度 $Q(x)$ を式で示せ。但し、しきい値電圧を V_{th} 、 x 点における表面電位を $V(x)$ とする。
- (3) ソース・ドレイン間に正のドレイン電圧(V_{DS})を印加すると、ドレイン電流(I_D)が流れる。このドレイン電流(I_D)を与える表式を導け。但し、キャリアの移動度を μ とする。

2004 Entrance Examination: Electronic Devices

1. (10 points)

- (1) Sketch the energy band diagrams for intrinsic, n -type, and p -type Si crystals. The energy positions of the top of the valence band (E_V), the bottom of the conduction band (E_C), and the Fermi level (E_F) should be given in the drawings.
- (2) A Si crystal is doped with phosphorus (P). Sketch the band diagrams for i) a low concentration ($<1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$) and ii) a high concentration ($>1 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$) of P, respectively. The energy positions of the top of the valence band (E_V), the bottom of the conduction band (E_C), and the Fermi level (E_F) should be given in the drawings. In addition, explain the reason for the change in the diagrams with increasing concentration of P.

2. (15 points)

A Si crystal is doped with boron (B) at a concentration of $1.5 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$.

- (1) Evaluate the concentrations of electrons and holes at a room temperature. The intrinsic carrier concentration n_i is $1.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ at a room temperature.
- (2) The crystal is cut into a cube of $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ in dimension, and a pair of the Ohmic electrodes are formed on a pair of parallel faces of the cube. Evaluate the resistance between the electrodes. Assume that the drift mobility of electrons and holes are 0.1 and $0.05 \text{ m}^2/\text{Vs}$, respectively, and the elementary charge is $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- (3) A bias of 10 V is applied between the electrodes. Evaluate the drift velocity of holes in the cube.

3. (15 points)

Answer the next questions about a pn diode with a step junction consisting of a p -type region with an acceptor concentration (N_A) of 10^{22} m^{-3} and an n -type region with a donor concentration (N_D) of 10^{26} m^{-3} .

- (1) Sketch the band diagrams for the diode under the conditions of i) thermal equilibrium, ii) forward bias (applied voltage: V_F), and iii) reverse bias (applied voltage: V_R). The energy positions of the top of the valence band (E_V), the bottom of the conduction band (E_C), and the Fermi level (E_F), the built-in potential (ϕ_d), and the applied bias (V_F or V_R) should be given in the drawings. The elementary charge is represented as q .
- (2) The width of the depletion layer in the p -type region is $10 \mu\text{m}$ under a reverse bias condition (applied voltage: V_R). Calculate the width of the depletion layer in the n -type region under this bias condition.

4. (25 points)

Answer the following questions concerning an *npn* bipolar transistor, consisting of the emitter (E), the base (B), and the collector (C).

- (1) Are the bias conditions forward or reverse for *pn* junctions between the base and the emitter (applied bias: V_{EB}) and the base and the collector (applied bias: V_{CB}) in the normal operation, i.e. active condition?
- (2) Sketch the band diagram of the transistor under the active condition. The energy positions of the top of the valence band (E_V), the bottom of the conduction band (E_C), and the Fermi level (E_F), the built-in potential (ϕ_d), and the applied bias (V_{EB} and V_{CB}) should be given in the drawings. The elementary charge is represented as q .
- (3) Represent the common emitter current gain (β) by using the common base current gain (α), where $\alpha = I_C/I_E$ and $\beta = I_C/I_B$ with the collector current I_C , the base current I_B , and the emitter current I_E .
- (4) Describe briefly how to increase the common emitter current gain (β), in the view point of the structure and the material properties of the transistor.

5. (15 points)

Answer the following questions concerning the ideal Metal-Oxide-Semiconductor (MOS) structure fabricated by using a *p*-type Si substrate.

- (1) By changing bias voltage (V) applied on the metal electrode, i) accumulation, ii) depletion, and iii) inversion of carriers are realized. Sketch the band diagrams for respective conditions. The Fermi levels of the metal (E_{FM}) and the semiconductor (E_F), and the applied bias voltage (V) should be given in the drawings. The elementary charge is represented as q .
- (2) By changing applied bias (V), the capacitance (C) of the MOS structure changes. Sketch the capacitance (C) as a function of the applied bias (V), where the measurements are performed under the high frequency operation. In addition, indicate the regions of i) accumulation, ii) depletion, and iii) inversion of carriers in the sketch.

6. (20 points)

Answer the following questions concerning an n-channel Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor (n-MOSFET) consisting of the source (S), the drain (D), and the gate (G). The gate length is L , the gate width is W , and the capacitance of the gate oxide is C_{ox} . The x -direction is toward the drain from the source, and $x=0$ and L at the edges of the source and the drain, respectively.

- (1) Which types (electron or hole) of carriers are induced at the Si surface, where a positive gate bias (V_{GS}) between the source and the gate is applied to the gate electrode? Moreover, what do you call the layer of carriers induced at the Si surface?
- (2) Formulate the charge density $Q(x)$ of the surface carrier layer at x ($0 \leq x \leq L$). The threshold voltage is V_{th} , and the surface potential at x is $V(x)$.
- (3) Applying a positive drain bias (V_{DS}) between the source and the drain, a drain current (I_D) flows. Formulate the drain current (I_D). The drift mobility of carriers is μ .