

2022年3月1日 9:40—10:40

大学院工学研究科	電気エネルギーシステム専攻
	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
大学院医工学研究科	工学系コース電気・情報系

## 大学院入学試験問題

### 専門科目

## Specialized Subjects

**注意：** 6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．問題は和文と英文を併記してある．

**Attention:** Choose 2 questions out of the following 6 questions and answer each of them on a separate answer sheet. You may use the backside. Questions are written in both Japanese and English.

2022年2・3月実施  
問題1 電気工学  
(1頁目/2頁中)

- (1) Fig. 1(a)に示す回路の伝達関数を $G(s)$ とする. ここで $e(t)$ は入力電圧,  $v_c(t)$ は出力電圧である.  $E(s)$ と $V_c(s)$ はそれらのラプラス変換である. コンデンサの初期電荷は0とする.
- (a)  $E(s)$ から $V_c(s)$ への伝達関数 $G(s)$ を求めよ.
- (b)  $R_1 = 1\Omega, R_2 = 1\Omega, C = 1F$ の時の単位ステップ応答を求めよ.
- (2) Fig. 1(b)のような鉄心(磁性体)で異なる断面積を有する磁気回路がある. 鉄心1, 鉄心2の断面積および平均磁路長はそれぞれ $S_1, S_2, l_1, l_2$ , 鉄心の透磁率を $\mu$ , コイルの巻数を $N$ , コイルに流す電流を $I$ とする. ただし $l_2 = l_1/10, S_2 = S_1/2$ とする.
- (a) 鉄心1および鉄心2の磁気抵抗(磁気リラクタンス)をそれぞれ求め, 鉄心内の磁束を $\phi$ として磁気回路の方程式を求めよ. ただし漏れ磁束は無視できるとする.
- (b) 鉄心の磁化曲線は線形とし, 鉄心1と鉄心2の内部の磁束 $\phi$ およびそれぞれの磁束密度 $B_1, B_2$ を $N, S_1, l_1, I$ を用いて表せ. ただし漏れ磁束は無視できるとする.
- (c) 問(2)(b)において, 線形としていた鉄心の磁化曲線を Fig. 1(c)のように非線形近似し, その飽和磁束密度を $B_s$ とする. (i)  $B_1 < B_s/2$  と(ii)  $B_s/2 < B_1$  のそれぞれについて, 鉄心1, 鉄心2 および周辺の磁束線の概形を描け.

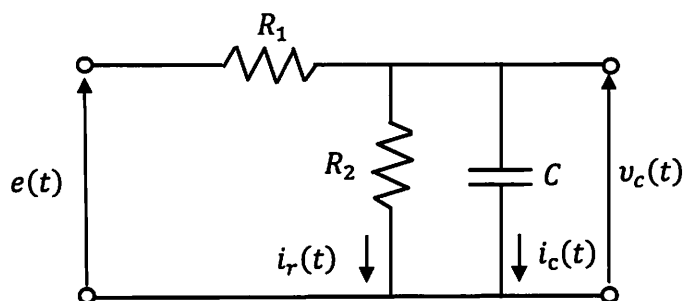


Fig. 1(a)

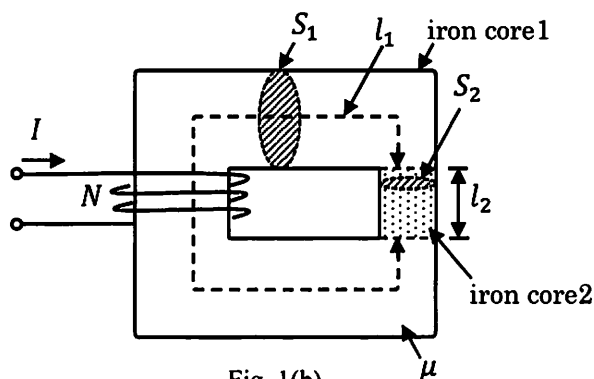


Fig. 1(b)

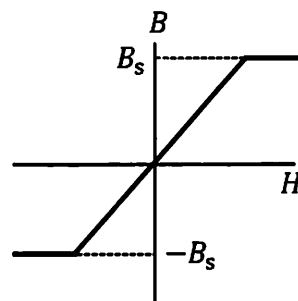


Fig. 1(c)

2022年2・3月実施  
問題1 電気工学  
(2頁目/2頁中)

- (1) The transfer function of the circuit shown in Fig. 1 (a) is  $G(s)$ . Here,  $e(t)$  is the input voltage,  $v_c(t)$  is the output voltage.  $E(s)$  and  $V_c(s)$  are their Laplace transforms. The initial charge of the capacitor is 0.
- (a) Find the transfer function  $G(s)$  from  $E(s)$  to  $V_c(s)$ .
- (b) Find the unit step response when  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 1 \Omega$ , and  $C = 1 \text{ F}$ .
- (2) There is a magnetic circuit made of iron core (magnetic material) with different cross-sectional areas, as shown in Fig. 1(b). The cross-sectional area of the iron core and the average magnetic path length of iron core1 and iron core2 are  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $l_1$ , and  $l_2$ , respectively; the permeability of the iron core is  $\mu$ , the number of coil turns is  $N$ , the current flowing into the coil is  $I$ . Here  $l_2 = l_1/10$ ,  $S_2 = S_1/2$ .
- (a) Find the magnetic resistance (magnetic reluctance) of iron core1 and iron core2, and find the equation of the magnetic circuits when the magnetic flux is  $\phi$ . The leakage flux can be ignored.
- (b) Assuming the magnetization curve of iron cores is linear, find the flux inside the iron core  $\phi$ , and the flux densities  $B_1, B_2$  of iron core1 and iron core2 using  $N, S_1, l_1$ , and  $I$ . The leakage flux can be ignored.
- (c) In question (2)(b), the magnetization curve of the iron core is non-linearly approximated as shown in Fig. 1 (c), and its saturation magnetic flux density is  $B_s$ . For each of (i)  $B_1 < B_s/2$  and (ii)  $B_s/2 < B_1$ , draw a sketch of the magnetic flux lines in iron core1, iron core2, and the surroundings.

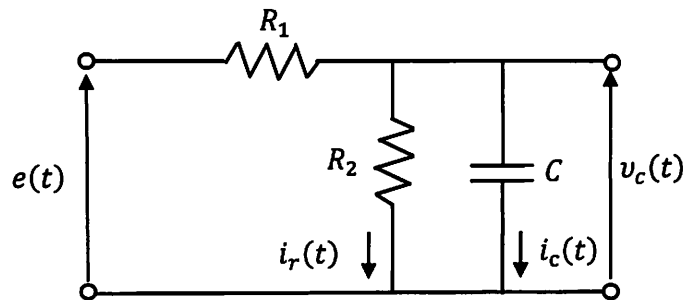


Fig. 1(a)

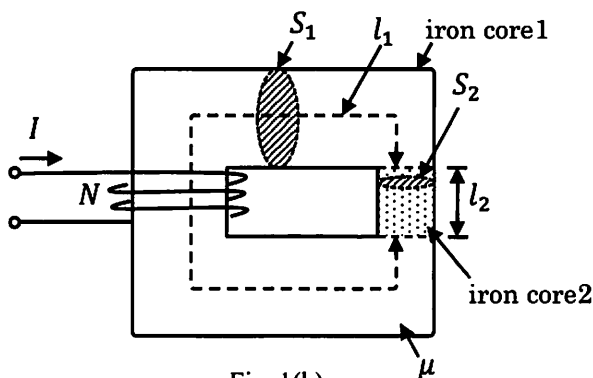


Fig. 1(b)

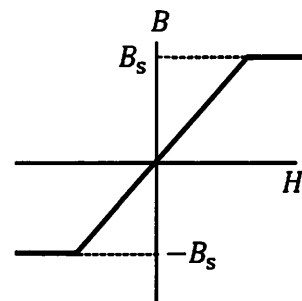


Fig. 1(c)

2022年2・3月実施  
問題2 通信工学  
(1頁目/2頁中)

$-f_{\max} < f < f_{\max}$ に帯域制限された波形 $g(t)$ を周期 $T$ で瞬時標本化し、標本値を次の標本化点まで保持するサンプル・ホールド操作を考える。サンプル・ホールドのためのフィルタのインパルス応答 $h(t)$ は

$$h(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < T \text{ のとき} \\ 0, & \text{その他} \end{cases}$$

で与えられる。 $g(t)$ の周波数スペクトル $G(f)$ の実部をFig. 2に示す。以下の問に答えよ。

- (1) フィルタの伝達関数 $H(f)$ を求め $|H(f)|$ の概形を図示せよ。
- (2) 標本化波形 $g_s(t)$ およびサンプル・ホールドにより得られる波形 $\tilde{g}_s(t)$ の周波数スペクトルをそれぞれ $G_s(f)$ および $\tilde{G}_s(f)$ とする。 $G_s(f)$ および $\tilde{G}_s(f)$ を $G(f)$ を用いて表せ。
- (3)  $g_s(t)$ から $g(t)$ を完全に復元できる時、 $|G_s(f)|$ の概形を図示し、周期 $T$ が満たすべき条件を求めよ。

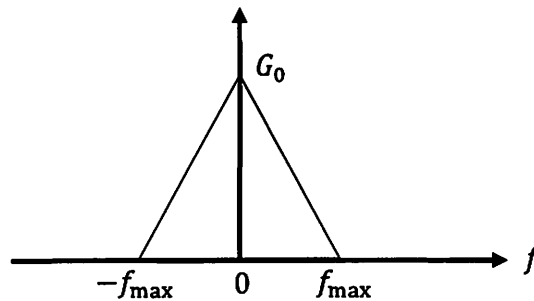


Fig. 2

2022年2・3月実施  
問題2 通信工学  
(2頁目/2頁中)

Consider the sample holding operation in which a band-limited waveform  $g(t)$  to  $-f_{\max} < f < f_{\max}$  is instantaneously sampled at period  $T$  and the sampled value is held to the next sampling point. The impulse response  $h(t)$  of the filter for the sample holding is given by

$$h(t) = \begin{cases} 1, & \text{when } 0 \leq t < T \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

The real part of the frequency spectrum  $G(f)$  of  $g(t)$  is shown in Fig. 2. Answer the following questions.

- (1) Derive the transfer function  $H(f)$  and sketch the outline of  $|H(f)|$ .
- (2) Let  $G_s(f)$  and  $\tilde{G}_s(f)$  be the frequency spectra of the sampled waveform  $g_s(t)$  and the waveform  $\tilde{g}_s(t)$  obtained by the sample holding, respectively. Derive  $G_s(f)$  and  $\tilde{G}_s(f)$  using  $G(f)$ .
- (3) When  $g(t)$  can be completely recovered from  $g_s(t)$ , sketch the outline of  $|G_s(f)|$  and derive the condition that the period  $T$  should satisfy.

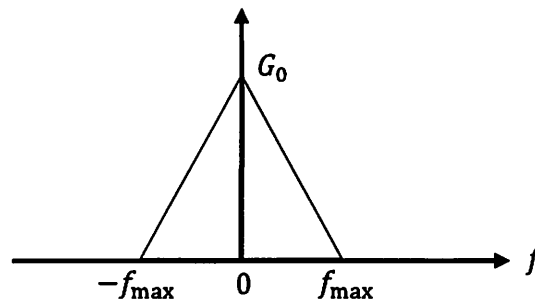


Fig. 2

2022年2・3月実施  
問題3 電子工学  
(1頁目/2頁中)

Fig. 3(a)に示す n チャンネル MOS 電界効果型トランジスタ (n-channel MOSFET) を用いたソース接地増幅回路と, Fig. 3(b)に示す n-channel MOSFET と p-channel MOSFET を用いた相補型インバータ回路について, 以下の間に答えよ. ここで, n-channel MOSFET および p-channel MOSFET の相互コンダクタンスとドレーン抵抗をそれぞれ  $g_{mn}$ ,  $r_{Dn}$ ,  $g_{mp}$ ,  $r_{Dp}$  とする.

(1) Fig. 3(a)に示す回路の微小信号等価回路を考える. ここで電圧  $v_i$  および  $v_o$  はそれぞれ入力および出力端子の微小信号交流電圧であり, 出力端子は開放とする.

(a) 微小信号等価回路を描け. ただし, n-channel MOSFET の微小信号モデルには, 各端子間の静電容量を含まない Fig. 3(c)に示すモデルを用いよ.

(b) 微小信号電圧利得  $v_o/v_i$  を  $g_{mn}$ ,  $r_{Dn}$ ,  $R_L$  を用いて表せ.

(c) ドレーン抵抗は  $V_{GS}$  が一定の条件における  $dV_{DS}/dI_{DS}$  で定義される. 飽和領域においても  $I_{DS}$  が  $V_{DS}$  の増加に伴い変化する理由を説明せよ. また, 微小信号電圧利得を高めるためにはドレーン抵抗は大きい方が望ましい. ドレーン抵抗を大きくするためのデバイス構造に関する方策を述べよ.

(2) Fig. 3(b)に示す回路の微小信号等価回路を考える. ここで電圧  $v_i$  および  $v_o$  はそれぞれ入力および出力端子の微小信号交流電圧であり, 出力端子は開放とする.

(a) 微小信号等価回路を描け. ただし, p-channel MOSFET の微小信号モデルには, n-channel MOSFET と同様に各端子間の静電容量を含まないモデルを用いよ.

(b) 微小信号電圧利得  $v_o/v_i$  を  $g_{mn}$ ,  $r_{Dn}$ ,  $g_{mp}$ ,  $r_{Dp}$  を用いて表せ.

(c) Fig. 3(b)に示す相補型インバータ回路の利点を一つ述べよ.

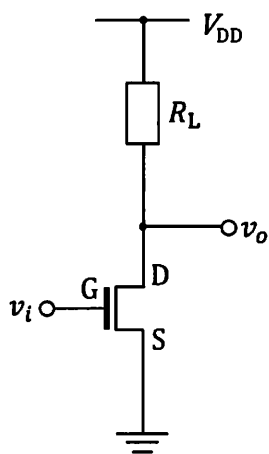


Fig. 3(a)

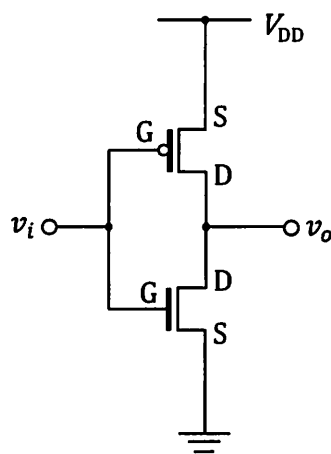


Fig. 3(b)

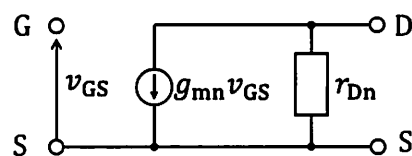


Fig. 3(c)

2022年2・3月実施  
問題3 電子工学  
(2頁目/2頁中)

Answer the following questions on a common source amplifier circuit with an n-channel metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (n-channel MOSFET) shown in Fig. 3(a), and a complementary inverter circuit with an n-channel MOSFET and a p-channel MOSFET shown in Fig. 3(b). Here,  $g_{mn}$ ,  $r_{Dn}$ ,  $g_{mp}$  and  $r_{Dp}$  are the transconductance and drain resistance of the n-channel MOSFET and the p-channel MOSFET, respectively.

- (1) Consider the small-signal equivalent circuit for the circuit shown in Fig. 3(a). Here,  $v_i$  and  $v_o$  are the small-signal alternating voltages at the input and output terminals, respectively, and the output terminal is open.
  - (a) Draw the small-signal equivalent circuit. Here, for the small-signal model of the n-channel MOSFET, use the model without static capacitance between terminals as shown in Fig. 3(c).
  - (b) Express the small-signal voltage gain  $v_o/v_i$  in terms of  $g_{mn}$ ,  $r_{Dn}$  and  $R_L$ .
  - (c) The drain resistance is defined as  $dV_{DS}/dI_{DS}$  under the condition of constant  $V_{GS}$ . Explain the reason why  $I_{DS}$  changes on an increase of  $V_{DS}$  even in the saturation region. Also, in order to increase the small-signal voltage gain, the drain resistance is desired to be large. State a method to increase the drain resistance in terms of device structures.
  
- (2) Consider the small-signal equivalent circuit for the circuit shown in Fig. 3(b). Here,  $v_i$  and  $v_o$  are the small-signal alternating voltages at the input and output terminals, respectively, and the output terminal is open.
  - (a) Draw the small-signal equivalent circuit. Here, for the small-signal model of the p-channel MOSFET, use the model without static capacitance between terminals as with the n-channel MOSFET.
  - (b) Express the small-signal voltage gain  $v_o/v_i$  in terms of  $g_{mn}$ ,  $r_{Dn}$ ,  $g_{mp}$  and  $r_{Dp}$ .
  - (c) State an advantage of the complementary circuit shown in Fig. 3(b).

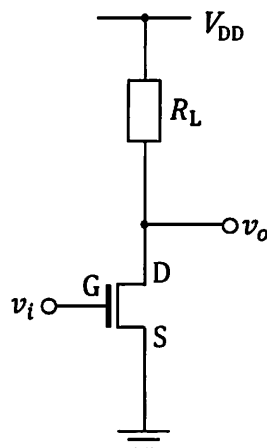


Fig. 3(a)

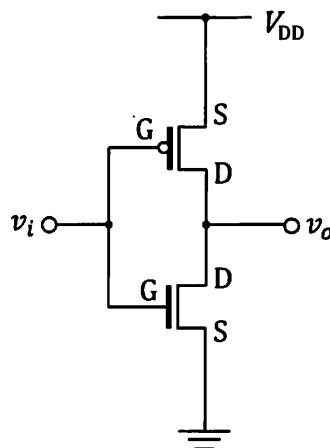


Fig. 3(b)

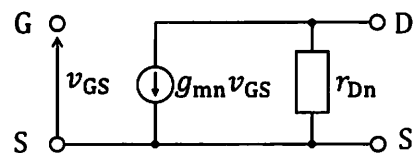


Fig. 3(c)

2022年2・3月実施  
問題4 計算機1  
(1頁目/4頁中)

クロックに同期して、各時刻 $t = 1, 2, 3, \dots$ に1ビット信号 $x_t$ を受け取り、3ビット信号 $Z_t = (z_{3,t}z_{2,t}z_{1,t})$ を出力する順序回路を考える。ここで、 $x_t, z_{3,t}, z_{2,t}, z_{1,t} \in \{0, 1\}$ である。本順序回路のMealy型状態遷移図をFig. 4に示す。Fig. 4では、入力 $x_t$ と出力 $Z_t$ は $x_t/z_{3,t}z_{2,t}z_{1,t}$ で記述され、順序回路の状態は $S_2, S_1, S_0$ で記述されており、初期状態は $S_0$ である。

論理積 (AND), 論理和 (OR), 論理否定 (NOT)の演算子記号を、それぞれ、 $\cdot, +, \bar{\quad}$ として、用いて以下の間に答えよ。

- (1) 入力系列 $x_8x_7x_6x_5x_4x_3x_2x_1 = 10000100$ に対する出力系列 $Z_8Z_7Z_6Z_5Z_4Z_3Z_2Z_1$ を示せ。
- (2) 本順序回路の状態遷移表を示せ。
- (3) Fig. 4中の状態 $S_0$ に状態値00,  $S_1$ に01,  $S_2$ に10をそれぞれ割り当てる。現在の状態を表す状態値を $y_2y_1$ , 次の状態を表す状態値を $Y_2Y_1$ とする。ここで、 $y_k, Y_k \in \{0, 1\}$  ( $k = 1, 2$ )である。 $x \in \{0, 1\}$ を入力信号,  $z_3z_2z_1$ を出力信号とする。なお、 $z_k \in \{0, 1\}$  ( $k = 1, 2, 3$ )である。 $Y_2$ と $Y_1$ をそれぞれ与える状態遷移関数, および、 $z_3, z_2, z_1$ をそれぞれ与える出力関数を最簡積和形の論理式で示せ。
- (4) 本順序回路を、2個のJKフリップフロップ (JK-FF-1とJK-FF-2) を用いて構成することを考える。ここで、 $J_1, K_1$ をJK-FF-1の入力,  $Q_1, \overline{Q_1}$ をJK-FF-1の出力とし、 $J_2, K_2$ をJK-FF-2の入力,  $Q_2, \overline{Q_2}$ をJK-FF-2の出力とする。JK-FF-1により問(3)の $Y_1$ を実現し、JK-FF-2により問(3)の $Y_2$ を実現するとき、 $J_1, K_1, J_2, K_2$ をそれぞれ与える論理式 (JKフリップフロップの励起関数) を最簡積和形の論理式で示せ。
- (5) いくつかの2入力NANDゲートと2個のJKフリップフロップのみを用いて、本順序回路の回路図を描け。



2022年2・3月実施  
問題4 計算機1  
(2頁目/4頁中)

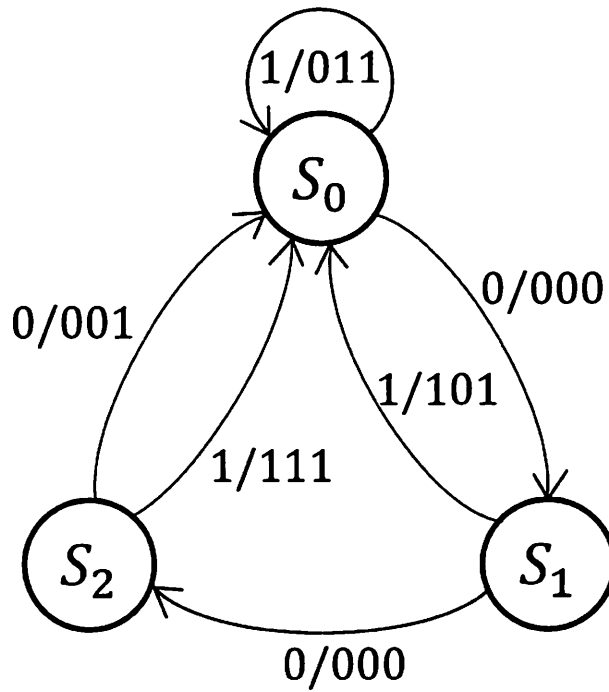


Fig. 4

2022年2・3月実施  
問題4 計算機1  
(3頁目/4頁中)

Consider a sequential circuit which receives a 1-bit signal  $x_t$  as an input, and outputs a 3-bit signal  $Z_t = (z_{3,t}z_{2,t}z_{1,t})$  at each time  $t = 1, 2, 3, \dots$  in synchronization with a clock, where  $x_t, z_{3,t}, z_{2,t}, z_{1,t} \in \{0, 1\}$ . The Mealy-type state transition diagram of the sequential circuit is shown in Fig. 4. In Fig. 4, the input  $x_t$  and the output  $Z_t$  are expressed as  $x_t/z_{3,t}z_{2,t}z_{1,t}$ . The states of the sequential circuit are shown by  $S_2, S_1$ , and  $S_0$  in the figure, where  $S_0$  is the initial state.

Answer the following questions using  $\cdot$ ,  $+$ , and  $\bar{\quad}$  operators for the logical conjunction (AND), disjunction (OR), and negation (NOT), respectively.

- (1) Show the output sequence  $Z_8Z_7Z_6Z_5Z_4Z_3Z_2Z_1$  corresponding to the input sequence  $x_8x_7x_6x_5x_4x_3x_2x_1 = 10000100$ .
- (2) Show the state transition table of the sequential circuit.
- (3) In Fig. 4, assign a 2-bit state value 00 to  $S_0$ , 01 to  $S_1$ , and 10 to  $S_2$ , respectively. Let  $y_2y_1$  and  $Y_2Y_1$  be the state values representing the current state and the next state, respectively, where  $y_k, Y_k \in \{0, 1\}$  ( $k = 1, 2$ ). Let  $x \in \{0, 1\}$  and  $z_3z_2z_1$  be the input signal and the output signal, respectively, where  $z_k \in \{0, 1\}$  ( $k = 1, 2, 3$ ). Show the state transition functions for  $Y_2$  and  $Y_1$ , and the output functions for  $z_3, z_2$ , and  $z_1$  using logical equations in the minimum sum-of-products form.
- (4) Consider how to realize the sequential circuit using two JK Flip-Flops, JK-FF-1 and JK-FF-2. Let  $J_1$  and  $K_1$ , and  $Q_1$  and  $\bar{Q}_1$  be the inputs and outputs for JK-FF-1, respectively. Let  $J_2$  and  $K_2$ , and  $Q_2$  and  $\bar{Q}_2$  be the inputs and outputs for JK-FF-2, respectively. Show logical equations (excitation functions for JK Flip-Flops) in the minimum sum-of-products form which give  $J_1, K_1, J_2$ , and  $K_2$ , respectively, when  $Y_1$  and  $Y_2$  in question (3) are implemented with JK-FF-1 and JK-FF-2, respectively.
- (5) Draw a circuit diagram for the sequential circuit using only 2-input NAND gates and two JK Flip-Flops.

2022年2・3月実施  
問題4 計算機1  
(4頁目/4頁中)

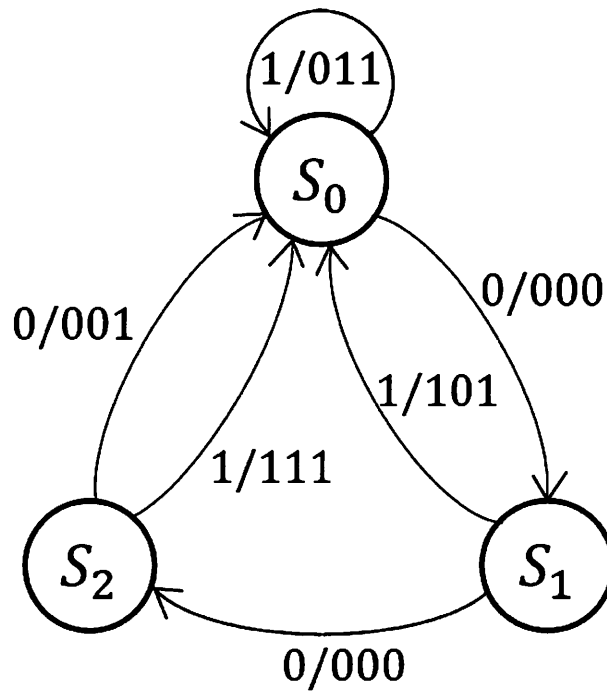


Fig. 4

2022年2・3月実施  
問題5 計算機2  
(1頁目/2頁中)

以下の間に答えよ.

- (1) BNF 記法による次の2つの文法  $G_1$  と  $G_2$  を考える.

文法  $G_1$   $S ::= b \mid SaS \mid SS$

文法  $G_2$   $S ::= TaU$

$T ::= V \mid aa$

$U ::= b \mid bU$

$V ::= b \mid bb$

ただし,  $S, T, U, V$  は非終端記号であり,  $a, b$  は終端記号であり,  $S$  を開始記号とする. 次の各命題の真偽を判定し, その理由を述べよ.

- (a)  $G_1$  は曖昧である.
  - (b)  $G_1$  が生成する文字列の中で,  $G_2$  が生成できないものがある.
  - (c)  $G_2$  が表現する言語を  $L$  とするとき,  $L$  を表現する BNF 記法による任意の文法は, 3 個以上の非終端記号を持つ.
- (2)  $\{0, 1, \dots, 9\}$  上で加法演算子  $+$  と乗法演算子  $*$  を考える. ただし, 演算の結果が 10 以上になる場合は 10 で割った余りを取る. 以下で「算術式」とは, これらの整数と演算子の組み合わせで得られる, 評価可能な式を逆ポーランド記法 (後置記法) で表現したものとする. 例えば, 算術式  $68+$  は, 6 と 8 の加算を意味し, その評価の結果は 4 である.
- (a) 算術式  $357+*2+$  をスタックを用いて評価せよ. 各ステップにおけるスタックの中身を示せ.
  - (b) 任意の算術式を生成する文法を BNF 記法により構築し, 正しいことを説明せよ.



2022年2・3月実施  
問題6 物理専門  
(1頁目/2頁中)

以下の1次元ポテンシャル  $V(x)$  中の質量  $m$ , エネルギー  $\varepsilon (> 0)$  の粒子を考える.

$$V(x) = \begin{cases} V_0 & (x < 0) \\ 0 & (0 \leq x \leq \delta) \\ V_0 & (\delta < x) \end{cases}$$

ここで,  $V_0$  は正の定数である.

$\varepsilon < V_0$  の場合を考え, 粒子の定常状態の波動関数  $\psi(x)$  を

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{\alpha x} & (x < 0) \\ Be^{ikx} + Ce^{-ikx} & (0 \leq x \leq \delta) \\ De^{-\alpha x} & (\delta < x) \end{cases}$$

とする. ここで,  $A, B, C, D$  は複素数,  $i$  は虚数単位である.  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  ( $h$  はプランク定数) とする.

以下の間に答えよ.

- (1)  $x < 0$ ,  $0 \leq x \leq \delta$ , および  $\delta < x$  の領域における時間に依存しないシュレディンガー方程式を記せ.
- (2)  $\alpha$  および  $k$  を,  $m, \varepsilon, V_0, \hbar$  を用いて表わせ.
- (3)  $\alpha$  の持つ物理的意味を説明し,  $V_0 = \infty$  のとき  $x < 0$  および  $\delta < x$  での波動関数を記せ.
- (4)  $x = 0$  および  $x = \delta$  において, 波動関数が満たすべき境界条件を記せ.
- (5)  $\alpha$  を,  $k$  と  $\delta$  を用いて表わせ.

Question No. 6: Advanced Physics (2/2)

2022年2・3月実施  
問題6 物理専門  
(2頁目/2頁中)

Consider a particle of mass  $m$  and energy  $\varepsilon(> 0)$  in the following one-dimensional potential  $V(x)$ ,

$$V(x) = \begin{cases} V_0 & (x < 0) \\ 0 & (0 \leq x \leq \delta) \\ V_0 & (\delta < x). \end{cases}$$

Here,  $V_0$  is a positive constant.

Consider the case that  $\varepsilon < V_0$  and let the wave function  $\psi(x)$  in a stationary state be

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{\alpha x} & (x < 0) \\ Be^{ikx} + Ce^{-ikx} & (0 \leq x \leq \delta) \\ De^{-\alpha x} & (\delta < x). \end{cases}$$

Here,  $A, B, C$ , and  $D$  are complex constants and  $i$  is the imaginary unit.  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  ( $h$ : Planck's constant). Answer the following questions.

- (1) Write down the time-independent Schrödinger equations in the regions of  $x < 0$ ,  $0 \leq x \leq \delta$ , and  $\delta < x$ .
- (2) Obtain  $\alpha$  and  $k$  in terms of  $m, \varepsilon, V_0$ , and  $\hbar$ .
- (3) Explain the physical meaning of  $\alpha$  and write down the wave function in  $x < 0$  and  $\delta < x$  when  $V_0 = \infty$ .
- (4) Write down the boundary conditions of the wave function at  $x = 0$  and  $x = \delta$ .
- (5) Obtain  $\alpha$  in terms of  $k$  and  $\delta$ .