
2023年8月30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.

2023年8月実施
問題1 電気工学
(1頁目/4頁中)

Fig. 1(a)に示すような、ばね定数 k のばねで壁と接続された可動部 P をもつ電磁石を考える。 P は、ばねが自然長となる位置 $x = 0$ から、空隙がなくなる位置 $x = d (> 0)$ まで動くことができる。 P を除く電磁石全体は動かない。励磁コイルは、電圧源 $v(t)$ 、抵抗 r 、およびコイル L を含む電気回路に接続されている。回路には電流 $i(t)$ が流れており、 P の動きによって起電力 $e_m(t)$ が生じている。磁心の磁気特性は線形であり、コイルのもれ磁束と相互インダクタンスは無視できるものとする。

(1) 磁気回路において、空隙を含む磁路の長さを D 、空隙と磁心の断面積を S 、空隙と磁心の透磁率をそれぞれ $\mu_0, \mu_s (> \mu_0)$ とする。

(a) $x = 0$ のとき、空隙に蓄えられる磁気エネルギーとそれ以外の磁路に蓄えられる磁気エネルギーをそれぞれ W_0, W_s とする。 W_0/W_s を求めよ。

(b) $x = d/2$ のとき、 P に働く電磁力とばねによる弾性力が釣りあった。このときの磁路内の磁束の大きさを求めよ。

(2) Fig. 1(b)は、 Fig. 1(a)の電磁石システムのブロック線図である。入力 $V(s)$ と出力 $X(s)$ はそれぞれ $v(t)$ と P の位置 $x(t)$ のラプラス変換である。 P に働く電磁力 $f_m(t)$ と起電力 $e_m(t)$ に関して、 K_f と K_e を正の定数として、 $f_m(t) \approx K_f i(t)$ と $e_m(t) \approx K_e dx/dt$ の近似が成り立つものとする。 $I(s), F_m(s), E_m(s)$ はそれぞれ $i(t), f_m(t), e_m(t)$ のラプラス変換を表す。

(a) このブロック線図の閉ループ伝達関数を、 $K_f, G_1(s), G_2(s), G_3(s)$ を用いて表せ。

(b) 伝達関数 $G_2(s)$ が以下で与えられるとき、 P に関する運動方程式を求めよ。

$$G_2(s) = \frac{a}{s^2 + bs + ak} \quad (a, b: \text{正の定数})$$

(c) Fig. 1(a)に示した電気回路から、伝達関数 $G_1(s)$ と $G_3(s)$ を求めよ。

(d) 入力が単位ステップのとき、十分時間が経過した後の P の位置 $x (< d)$ を求めよ。

2023 年 8 月 実施
問題 1 電気工学
(2 頁目 / 4 頁中)

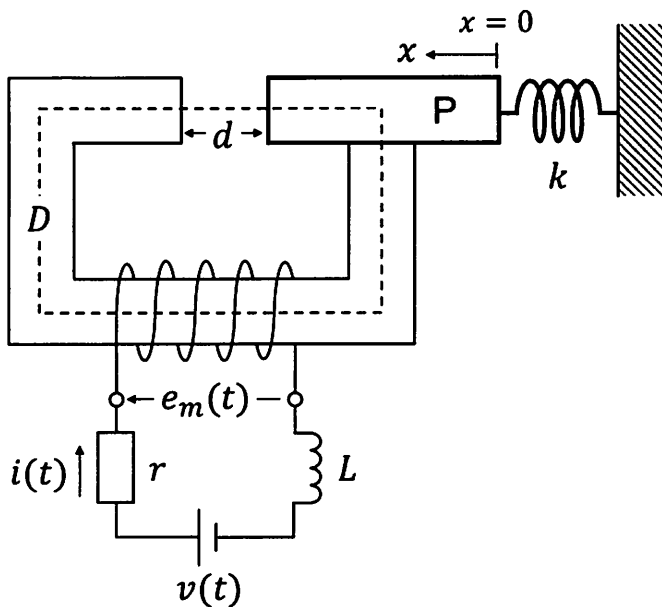


Fig. 1(a)

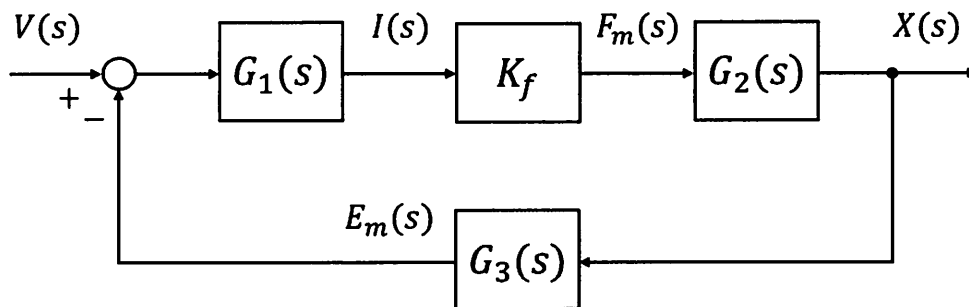


Fig. 1(b)

2023 年 8 月 実施
問題 1 電気工学
(3 頁目 / 4 頁中)

Consider the electromagnet shown in Fig. 1(a), which has a movable part P fixed to a wall by a spring with spring constant k . The part P can move from $x = 0$, where the spring is at its natural length, to $x = d (> 0)$, where the gap disappears. The entire electromagnet except for P does not move. An excitation coil is connected to an electrical circuit with a power supply $v(t)$, a resistor r , and a coil L . In the circuit, a current $i(t)$ flows and an electromotive force $e_m(t)$ is generated by moving P. The magnetic property of the magnetic core is linear, and the leakage flux and mutual inductance of the coils are negligible.

(1) In the magnetic circuit, the length of the magnetic path, including a gap, is D , the cross-sectional area of both the gap and the magnetic core is S , and the permeabilities of the gap and the magnetic core are μ_0 and $\mu_s (> \mu_0)$, respectively.

- (a) When $x = 0$, the magnetic energy stored in the gap and that in the rest of the magnetic path are W_0 and W_s , respectively. Find W_0/W_s .
- (b) When $x = d/2$, the electromagnetic force on P and the elastic force of the spring are balanced. Find the magnitude of the magnetic flux in the magnetic path at this time.

(2) Fig. 1(b) is the block diagram of the electromagnet system shown in Fig. 1(a). The input $V(s)$ and the output $X(s)$ are the Laplace transformations of $v(t)$ and $x(t)$, which is the position of P, respectively. For the electromagnetic force $f_m(t)$ on P and electromotive force $e_m(t)$, the approximations $f_m(t) \approx K_f i(t)$ and $e_m(t) \approx K_e dx/dt$ hold, where K_f and K_e are positive constants. $I(s)$, $F_m(s)$, and $E_m(s)$ represent the Laplace transformations of $i(t)$, $f_m(t)$, and $e_m(t)$, respectively.

- (a) Express the closed-loop transfer function of the block diagram in terms of K_f , $G_1(s)$, $G_2(s)$, and $G_3(s)$.
- (b) Find the equation of motion of P when the transfer function $G_2(s)$ is given as follows:

$$G_2(s) = \frac{a}{s^2 + bs + ak} \quad (a, b: \text{positive constants})$$

- (c) Find the transfer functions $G_1(s)$ and $G_3(s)$ for the electrical circuit shown in Fig. 1(a).
- (d) When the input is a unit step, find the position $x (< d)$ of P after a sufficient time has elapsed.

2023 年 8 月 実施
問題 1 電気工学
(4 頁目 / 4 頁中)

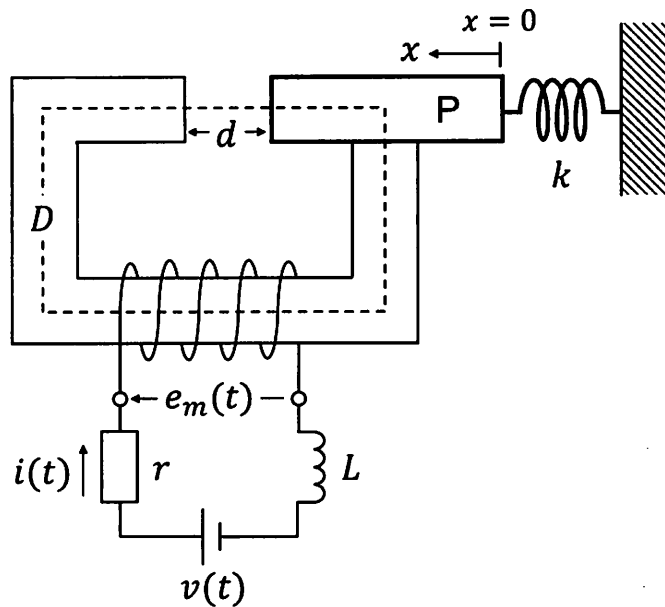


Fig. 1(a)

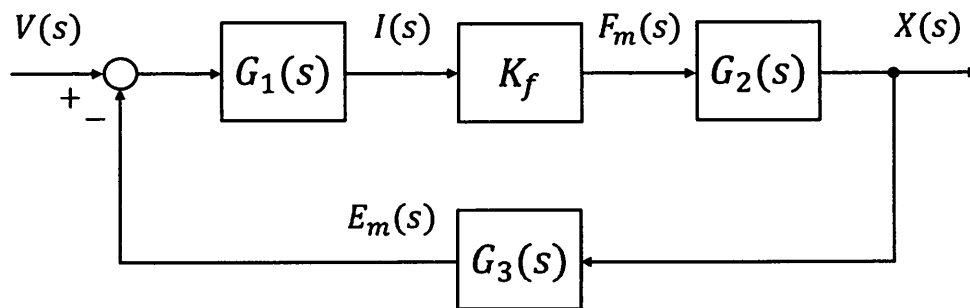


Fig. 1(b)

2023 年 8 月実施
 問題 2 通信工学
 (1 頁目 / 2 頁中)

- (1) 時間波形が $v_i(t) = V \sin 2\pi f_0 t$ ($V > 0$) で表される電圧を, Fig. 2(a) に示す整流検波器に入力したとき, 出力される電圧波形 $v_o(t)$ を, $0 \leq t \leq 2/f_0$ の時間範囲で図示せよ. ただし, ダイオード D の順方向インピーダンスは, 抵抗値 R に比べて無視できるものとする.
- (2) 1 周期分の時間波形が下式で与えられる基本周期 $1/f_0$ の周期関数 $v(t)$ をフーリエ級数に展開せよ. ただし第 2 高調波成分の項までで良い.

$$\begin{cases} v(t) = V \sin 2\pi f_0 t & (0 \leq t < \frac{1}{2f_0}) \\ v(t) = 0 & (\frac{1}{2f_0} \leq t \leq \frac{1}{f_0}) \end{cases}$$

- (3) Fig. 2(b) に示すように, 問(2)の $v(t)$ で与えられる高周波電圧源と内部インピーダンス Z_0 からなる信号源からの出力を, 出力側にインピーダンス Z_0 の負荷が接続された帯域通過フィルタ(BPF)回路を通す. このとき, 出力される電力の値(単位は[W])を求めよ. ただし, BPF は第 4 高調波成分のみを通過させるものとし, その入出力回路とはインピーダンス整合がとれており, $Z_0 = 50.0 \Omega$ (リアクタンス分は無視できるものとする) である. また, $V = 314 \mu\text{V}$, $f_0 = 1.00 \text{ GHz}$, $\pi = 3.14$ とし, $v(t)$ の第 4 高調波成分は $\frac{-2V}{15\pi} \cos 8\pi f_0 t$ である.
- (4) 問(3)で, 信号源からは熱雑音も出力される. 問(3)の BPF から出力される雑音電力の値(単位は[W])を示し, 信号対雑音電力比(S/N)を求めよ. ただし, Boltzmann 定数を $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, 信号源を含む回路全体の温度を 300 K , BPF の通過帯域幅を 10.0 MHz , フィルタの雑音指数を 1 とする.

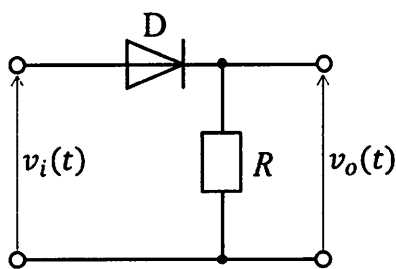


Fig. 2(a)

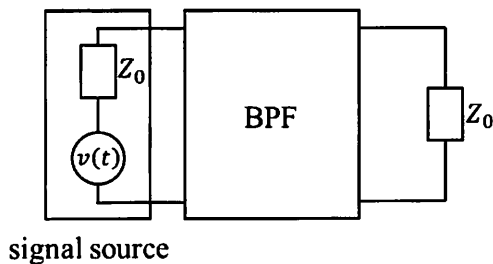


Fig. 2(b)

2023 年 8 月 実施
問題 2 通信工学
(2 頁目 / 2 頁中)

- (1) Plot the output voltage waveform $v_o(t)$ in the time range $0 \leq t \leq 2/f_0$ when a voltage whose temporal waveform is represented by $v_i(t) = V \sin 2\pi f_0 t$ ($V > 0$) is input to the rectifying detector shown in Fig. 2(a). Assume that the forward impedance of the diode D is negligible compared to the resistance R .
- (2) Expand the periodic function $v(t)$ with the fundamental period $1/f_0$, whose temporal waveform for one period is given by the following equations, into a Fourier series. The terms up to the second harmonic component are sufficient.

$$\begin{cases} v(t) = V \sin 2\pi f_0 t & \left(0 \leq t < \frac{1}{2f_0}\right) \\ v(t) = 0 & \left(\frac{1}{2f_0} \leq t \leq \frac{1}{f_0}\right) \end{cases}$$

- (3) As shown in Fig. 2(b), the output from a signal source consisting of a radio-frequency voltage source given by $v(t)$ in question (2) and an internal impedance Z_0 is passed through a bandpass filter (BPF) circuit with a load of impedance Z_0 connected to the output side. Find the value of the output power (in [W]). Assume the BPF only allows through the 4th harmonic component, and the impedance is matched with the BPF input/output circuit, $Z_0 = 50.0 \Omega$ (the reactance component can be ignored). Also, assume that $V = 314 \mu\text{V}$, $f_0 = 1.00 \text{ GHz}$, $\pi = 3.14$, and the 4th harmonic component of $v(t)$ is $\frac{-2V}{15\pi} \cos 8\pi f_0 t$.
- (4) Thermal noise is also output from the signal source in question (3). Show the noise power value (in [W]) output from the BPF in question (3), and calculate the signal-to-noise power ratio (S/N). Assume the Boltzmann constant is $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, the temperature of the entire circuit including the signal source is 300 K, the BPF passband width is 10.0 MHz, and the filter noise figure is 1.

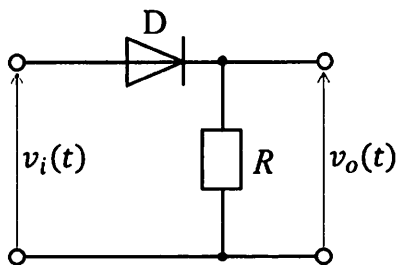


Fig. 2(a)

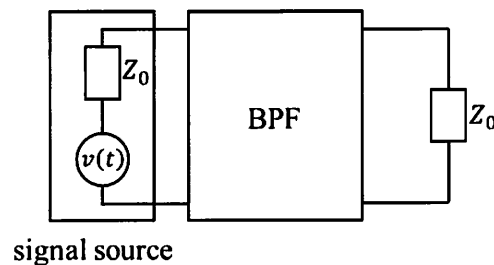


Fig. 2(b)

2023 年 8 月実施
問題 3 電子工学
(1 頁目 / 2 頁中)

Fig. 3(a)は、npn型バイポーラトランジスタを用いた交流増幅回路である。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る。抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 の値は、それぞれ $80\text{ k}\Omega, 20\text{ k}\Omega, 4.0\text{ k}\Omega, 1.4\text{ k}\Omega$ とする。電源電圧 V_{CC} の値は 10 V とする。ただし、交流信号の周波数においてコンデンサ C_1, C_2, C_3 のインピーダンスは十分小さいものとする。以下の問に答えよ。

- (1) 直流成分のみを考え、ベース電圧 V_B 、コレクタ電圧 V_C 、およびエミッタ電圧 V_E の値を求めよ。ここで、ベース-エミッタ間電圧 V_{BE} の値は 0.6 V とする。ベース電流は無視できるものとする。
- (2) 交流増幅回路におけるコンデンサ C_2, C_3 の役割についてそれぞれ説明せよ。
- (3) 抵抗 R_4 の役割とこの回路が温度変化に対して安定である理由について説明せよ。
- (4) Fig. 3(a)に示す交流増幅回路の微小信号等価回路を描け。ただし、このトランジスタの微小信号等価回路として Fig. 3(b)を用いること。さらに、増幅回路の入力インピーダンス Z_i 、出力インピーダンス Z_o 、電圧利得 $K_v (= v_o/v_i)$ の値を求めよ。ここで、トランジスタの h パラメータ h_i, h_f の値は、それぞれ $4.0\text{ k}\Omega, 200$ とする。

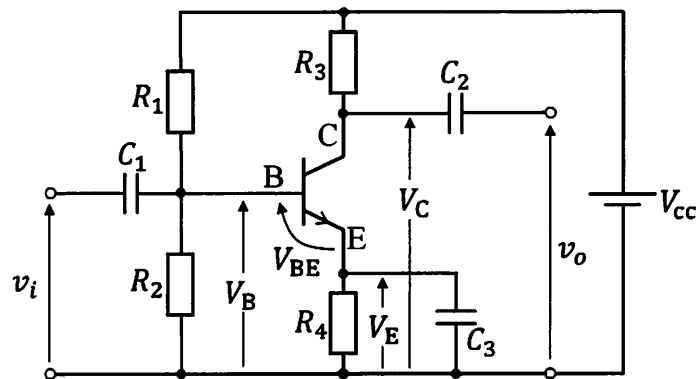


Fig. 3(a)

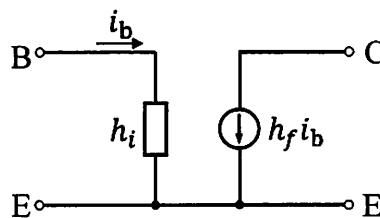


Fig. 3(b)

2023 年 8 月 実施
 問題 3 電子工学
 (2 頁目 / 2 頁中)

An AC amplifier circuit using an npn bipolar transistor is shown in Fig. 3(a). Here, voltages v_i and v_o are the small-signal alternating voltages at the input and the output terminals, respectively. The values of resistors, R_1 , R_2 , R_3 , and R_4 , are $80\text{ k}\Omega$, $20\text{ k}\Omega$, $4.0\text{ k}\Omega$, and $1.4\text{ k}\Omega$, respectively. The value of the power supply voltage, V_{CC} , is 10 V . Assume that the impedances of capacitors C_1 , C_2 , and C_3 are negligibly small at AC signal frequencies. Answer the following questions.

- (1) Consider only the DC components and calculate the values of base voltage, V_B , collector voltage, V_C , and emitter voltage, V_E . Here, the value of the base-emitter voltage, V_{BE} , is 0.6 V . Ignore the base current.
- (2) Explain the roles of capacitors C_2 and C_3 in the AC amplifier circuit, respectively.
- (3) Explain the role of resistor R_4 and the reason why this circuit is stable against changes in temperature.
- (4) Draw the small-signal equivalent circuit of the AC amplifier circuit shown in Fig. 3(a). Use the circuit shown in Fig. 3(b) as a small-signal equivalent circuit of the transistor. In addition, calculate the values of the input impedance Z_i , output impedance Z_o , and voltage gain $K_v (= v_o/v_i)$ of the amplifier circuit. Here, the values of the h parameters of the transistor, h_i and h_f , are $4.0\text{ k}\Omega$ and 200 , respectively.

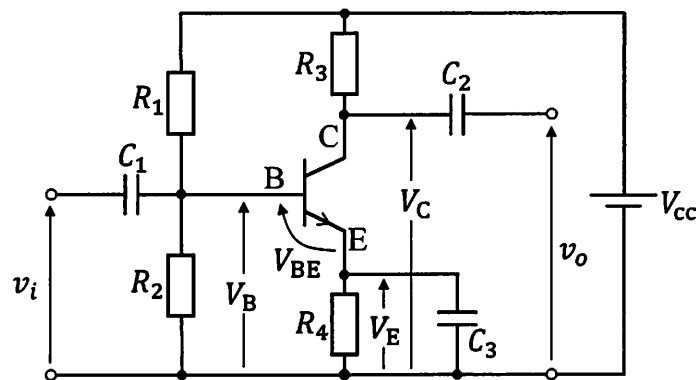


Fig. 3(a)

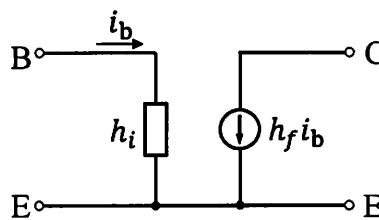


Fig. 3(b)

2023年8月実施
問題4 計算機1
(1頁目/2頁中)

以下の問に答えよ。

- (1) 次のうち、組合せ回路の例として最も適切なものを1つ選択せよ。
A) フリップフロップ B) カウンタ C) デコーダ D) レジスタ
- (2) 次のうち、組合せ回路と順序回路の違いを最も適切に説明しているものを1つ選択せよ。
A) 組合せ回路にはフィードバックループがあり、順序回路にはない。
B) 組合せ回路には内部メモリ要素があり、順序回路にはない。
C) 組合せ回路は現在の入力のみに基づいて出力を生成するが、順序回路は現在の入力と内部状態に基づいて出力を生成する。
- (3) Fig. 4に示す直列加算器を考える。ただし、 $a, b, c_i, s, c_o \in \{0,1\}$ とする。この直列加算器は、2つの入力ビット a と b および前の加算からの桁上げ入力 c_i を受け取り、これら3つの値を加算して和 s と桁上げ出力 c_o を生成する。この直列加算器として機能する、最小の状態数でのミーリ (Mealy) 形状態遷移図を描け。
- (4) (a) “10”で終わるすべてのビット列を表現する正規表現を示せ。
(b) クロックに同期して1ビットずつ到来する入力系列に対して、1ビット信号を出力する順序回路を考える。この順序回路は、入力系列が(a)の正規表現を満たす時、つまり1の直後に0が入力された時に出力が1となり、その他の場合は0を出力する。この順序回路のムーア (Moore) 形状態遷移図を描け。また、この順序回路を可能な限り少数のDフリップフロップと論理ゲートを用いて描け。

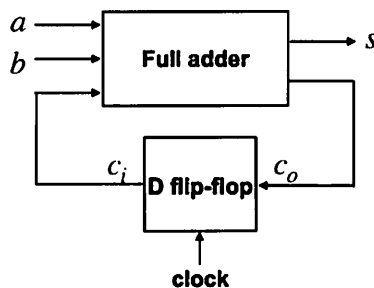


Fig. 4

2023 年 8 月実施
問題 4 計算機 1
(2 頁目 / 2 頁中)

Answer the following questions.

- (1) Choose the most appropriate example of a combinational circuit from the following:
A) Flip-flop B) Counter C) Decoder D) Register
- (2) Choose the most appropriate description of the difference between combinational circuits and sequential circuits from the following:
A) A combinational circuit has feedback loops, while a sequential circuit does not.
B) A combinational circuit has internal memory elements, while a sequential circuit does not.
C) A combinational circuit produces an output based only on current inputs, while a sequential circuit can produce an output based on current inputs and its internal state.
- (3) Consider a serial adder, as shown in Fig. 4, where $a, b, c_i, s, c_o \in \{0,1\}$. The serial adder takes two input bits of a and b and an input carry c_i from the previous addition, and adds these three values to produce a sum s and an output carry c_o . Draw the Mealy-type state transition diagram with the fewest possible states that acts as the serial adder.
- (4) (a) Show a regular expression that describes all bit strings ending with “10”.
(b) Consider a sequential circuit that receives a one-bit signal of an input sequence, and outputs a one-bit signal at each time in synchronization with a clock. This sequential circuit outputs 1 when the input sequence satisfies the regular expression in (a), i.e., when 0 is input immediately after 1, and outputs 0 in all other cases. Draw a Moore-type state transition diagram for this sequential circuit. Also, draw the sequential circuit using the fewest possible number of D flip-flops and logic gates.

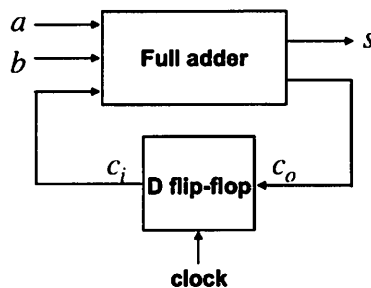


Fig. 4

2023年8月実施
問題5 計算機2
(1頁目 / 2頁中)

2つの非負整数を受け取り1つの正整数を返す以下の再帰関数 f を考える.

$$\begin{aligned} f(0, n) &= n + 1 && (n \geq 0) \\ f(m, 0) &= f(m - 1, 1) && (m > 0) \\ f(m, n) &= f(m - 1, f(m, n - 1)) && (m > 0, n > 0) \end{aligned}$$

以下の問に答えよ.

- (1) 任意の非負整数 n に対し $f(1, n) = n + 2$ であることを証明せよ.
- (2) $f(2, 2)$ の値を求めよ. 途中の計算も示すこと.
- (3) 十分な個数の整数レジスタと, 十分な大きさの一つのスタックを持ち, 関数呼出しや復帰のための命令をプリミティブとして持たないレジスタ機械を考える.
 - (a) そのような機械の上で一般に再帰関数呼出しと復帰を実装する方法を4~6行程度の文章で説明せよ.
 - (b) そのような機械の上で, 再帰関数 f を実装するアセンブリコードを書け. 動作がわかるかぎりアセンブリコードの構文は任意だが, 文章でコメントを書いてもよい. 整数オーバーフロー, メモリ消費量, および計算量は考慮しなくてよい.

2023年8月実施
問題5 計算機2
(2頁目 / 2頁中)

Consider the following recursive function f that takes two non-negative integers and returns a positive integer.

$$\begin{aligned} f(0, n) &= n + 1 && (n \geq 0) \\ f(m, 0) &= f(m - 1, 1) && (m > 0) \\ f(m, n) &= f(m - 1, f(m, n - 1)) && (m > 0, n > 0) \end{aligned}$$

Answer the following questions.

- (1) Prove that $f(1, n) = n + 2$ for any non-negative integer n .
- (2) Find the value of $f(2, 2)$. Show also the intermediate calculation.
- (3) Consider a register machine with a sufficient number of integer registers, a stack of sufficient size, and no instructions for function calls or returns as primitives.
 - (a) Explain in around 4–6 lines of text how to implement recursive function calls and returns in general on such a machine.
 - (b) Write assembly code that implements the recursive function f on such a machine. The syntax of the assembly code is arbitrary as long as its behavior is clear, while you may also write comments in text. You do not have to consider integer overflow, memory consumption, or computational complexity.

**2023 年 8 月実施
問題 6 物理専門
(1 頁目 / 4 頁中)**

Fig. 6(a) に示すように、式 (6A) で与えられる x 軸上の井戸型ポテンシャル $V(x)$ に束縛され、定常状態にある粒子 (質量 m , エネルギー E) について考える。

$$V(x) = \begin{cases} +\infty & (x \leq 0) & \text{領域 (I)} \\ 0 & (0 < x < a) & \text{領域 (II)} \\ V_0 & (x \geq a) & \text{領域 (III)} \end{cases} \quad (6A)$$

ここで、 V_0 と a は正の定数であり、 $0 < E < V_0$ である。また、領域 (II) と (III) において、この粒子の波動関数 $\psi(x)$ は式 (6B) で与えられるものとする。

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{ikx} + Be^{-ikx} & (0 < x < a) & \text{領域 (II)} \\ Ce^{\beta x} + De^{-\beta x} & (x \geq a) & \text{領域 (III)} \end{cases} \quad (6B)$$

ここで、 i は虚数単位、 k と β は正の定数、 A, B, C, D は複素数の定数である。 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (h はプランク定数) として、以下の問に答えよ。

- (1) 領域 (II) における時間に依存しないシュレーディンガー方程式を書き、 k を \hbar, m, V_0, E のうちから必要なものを用いて表せ。また、 $x = 0$ における波動関数の連続性を考慮することによって、領域 (II) における $\psi(x)$ を x, a, k, β, A のうちから必要なものを用いて表せ。
- (2) 領域 (III) における時間に依存しないシュレーディンガー方程式を書き、 β を \hbar, m, V_0, E のうちから必要なものを用いて表せ。また、 $x = a$ における波動関数の連続性を考慮することによって、領域 (III) における $\psi(x)$ を x, a, k, β, A のうちから必要なものを用いて表せ。
- (3) $x = a$ における波動関数の導関数の連続性を考慮することによって、 βa と ka の間に式 (6C) で与えられる関係が成り立つことを示せ。

$$\beta a = -ka \cot(ka) \quad (6C)$$

- (4) βa と ka の間に式 (6D) で与えられる関係が成り立つことを示せ。

$$\beta a = \sqrt{(R_0)^2 - (ka)^2}, \quad R_0 = \frac{\sqrt{2mV_0}}{\hbar} a \quad (6D)$$

- (5) Fig. 6(b) に示される式 (6C) と式 (6D) のグラフから、基底状態の ka が取りうる値の範囲を示せ。
- (6) 基底状態において関係式 $E = \frac{V_0}{2}$ が成り立つと仮定し、 $\cot(ka)$ と ka の値を求めよ。そして、粒子の存在確率が最大となる x を a を用いて表せ。

2023 年 8 月 実施
 問題 6 物理 専門
 (2 頁 目 / 4 頁 中)

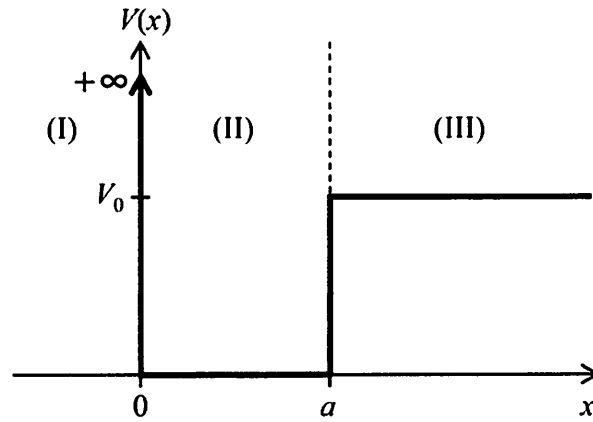


Fig. 6(a)

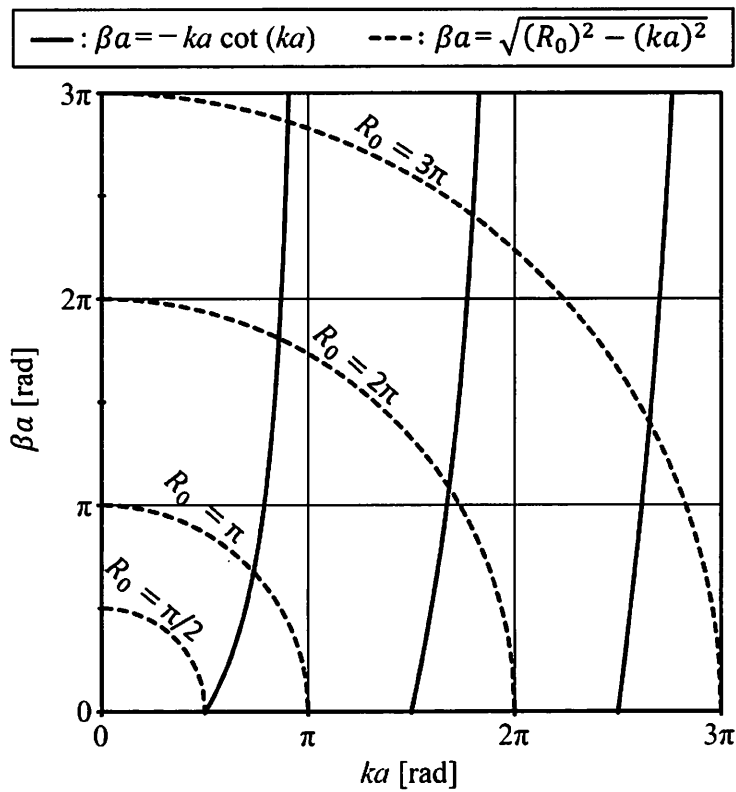


Fig. 6 (b)

**2023 年 8 月 实施
問題 6 物理 専門
(3 頁 目 / 4 頁 中)**

As shown in Fig. 6(a), consider a particle (mass m and energy E) which is bound in a square-well potential $V(x)$ along the x -axis given by Eq. (6A) and in a stationary state.

$$V(x) = \begin{cases} +\infty & (x \leq 0) & \text{region (I)} \\ 0 & (0 < x < a) & \text{region (II)} \\ V_0 & (x \geq a) & \text{region (III)} \end{cases} \quad (6A)$$

Here, V_0 and a are positive constants and let $0 < E < V_0$. Furthermore, the wavefunction $\psi(x)$ of the particle in regions (II) and (III) is given by Eq. (6B).

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{ikx} + Be^{-ikx} & (0 < x < a) & \text{region (II)} \\ Ce^{\beta x} + De^{-\beta x} & (x \geq a) & \text{region (III)} \end{cases} \quad (6B)$$

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

- (1) Write the time-independent Schrödinger's equation for region (II), and express k using the necessary terms from \hbar , m , V_0 , and E . Furthermore, taking account of the continuity of the wavefunction at $x = 0$, express $\psi(x)$ for region (II) using the necessary terms from x , a , k , β , and A .
- (2) Write the time-independent Schrödinger's equation for region (III), and express β using the necessary terms from \hbar , m , V_0 , and E . Furthermore, taking account of the continuity of the wavefunction at $x = a$, express $\psi(x)$ for region (III) using the necessary terms from x , a , k , β , and A .
- (3) Taking account of the continuity of the derivative of the wavefunction at $x = a$, show that the relation given by Eq. (6C) holds between βa and ka .

$$\beta a = -ka \cot(ka) \quad (6C)$$

- (4) Show that the relation given by Eq. (6D) holds between βa and ka .

$$\beta a = \sqrt{(R_0)^2 - (ka)^2}, \quad R_0 = \frac{\sqrt{2mV_0}}{\hbar} a \quad (6D)$$

- (5) From the graph of Eqs. (6C) and (6D) shown in Fig. 6(b), show the range of possible values of ka in the ground state.
- (6) Supposing that the relation $E = \frac{V_0}{2}$ holds in the ground state, find the values of $\cot(ka)$ and ka . Then, express the value of x at which the probability of finding the particle is a maximum, in terms of a .

2023 年 8 月 実施
 問題 6 物理 専門
 (4 頁 目 / 4 頁 中)

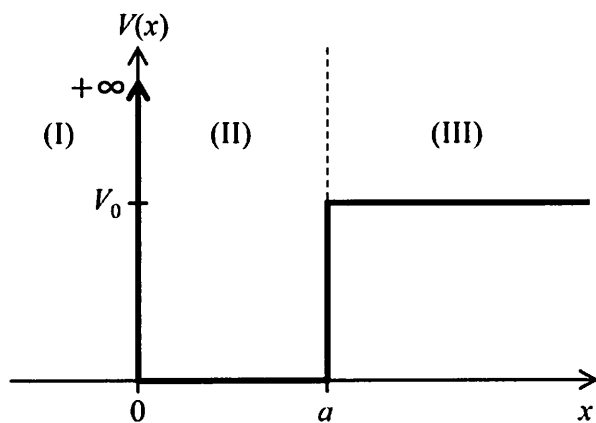


Fig. 6(a)

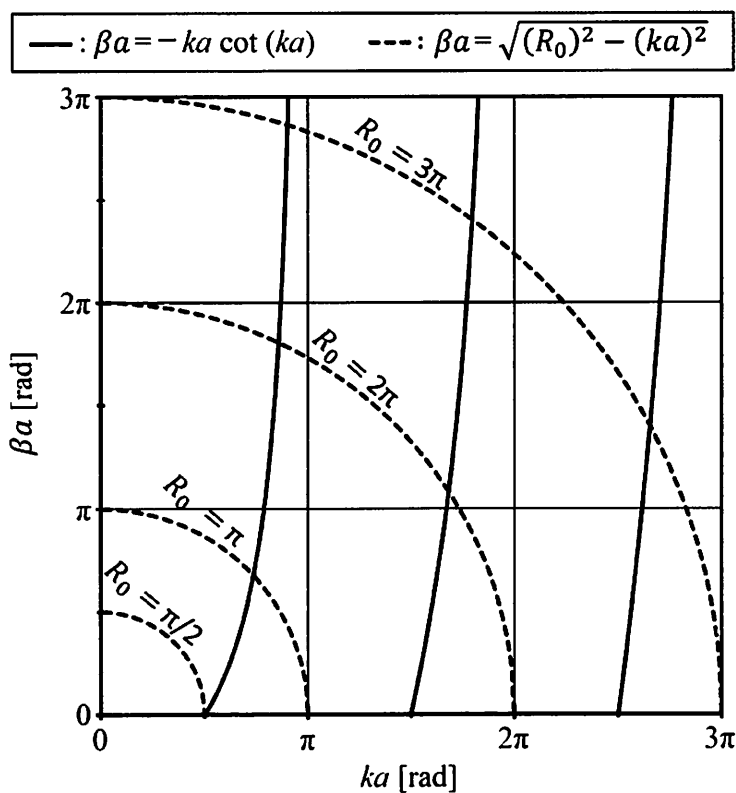


Fig. 6 (b)