

2014 年 3 月実施
問題 1 電気工学
(1 頁目 / 2 頁中)

Fig. 1 (a), Fig. 1 (b)のような閉ループ制御系がある. ここで, K_1 , K_2 , K_3 は正の定数とする. 偏差 $E(s) = X(s) - Y(s)$ として, 以下の問に答えよ.

- (1) Fig. 1 (a), Fig. 1 (b)の各々の制御系について, 目標値 $X(s)$ から偏差 $E(s)$ までの伝達関数 $\frac{E(s)}{X(s)}$ を求めよ.
- (2) Fig. 1 (a)の制御系において, 定常位置偏差 ($X(s) = 1/s$ に対する定常偏差) が 0 で, かつ単位ステップ応答に行き過ぎが生じない K_1 の最大値を求めよ. また, K_1 の最大値を用いて定常速度偏差 ($X(s) = 1/s^2$ に対する定常偏差) を求めよ.
- (3) Fig. 1 (a)の制御系において, 定常速度偏差が 1 になるように K_1 の値を求めよ. また, ここで求めた K_1 の値を用いて単位ステップ応答の概形を描け.
- (4) Fig. 1 (b)の制御系において, 定常位置偏差が 0 で, かつ定常速度偏差が 1 になるように K_2 , K_3 の値を求めよ.
- (5) 問(2)で求めた K_1 の最大値と問(4)で求めた K_2 , K_3 の値を用いるとき, Fig. 1 (a), Fig. 1 (b)の制御系の単位ステップ応答の違いについて説明せよ.

Consider the closed-loop control systems shown in Fig. 1 (a) and Fig. 1 (b), where the constants K_1 , K_2 and K_3 are positive. The error is defined by $E(s) = X(s) - Y(s)$. Answer the following questions.

- (1) Find the transfer function $\frac{E(s)}{X(s)}$ from the reference $X(s)$ to the error $E(s)$ for the control systems shown in Fig. 1 (a) and Fig. 1 (b), respectively.
- (2) For the control system shown in Fig. 1 (a), find the maximum value of K_1 so that the steady-state position error (steady-state error for $X(s) = 1/s$) is equal to 0 and the waveform of the unit step response has no overshoot. Find the steady-state velocity error (steady-state error for $X(s) = 1/s^2$) for the maximum value of K_1 .

2014 年 3 月実施
問題 1 電気工学
(2 頁目 / 2 頁中)

- (3) For the control system shown in Fig. 1 (a), find the value of K_1 so that the steady-state velocity error is equal to 1. Sketch the waveform of the unit step response for the value of K_1 found here.
- (4) For the control system shown in Fig. 1 (b), find the values of K_2 and K_3 so that the steady-state position error is equal to 0 and the steady-state velocity error is equal to 1.
- (5) Explain the differences in the unit step response between the control systems shown in Fig. 1 (a) and Fig. 1 (b), when the maximum value of K_1 found in question (2) and the values of K_2 and K_3 found in question (4) are used.

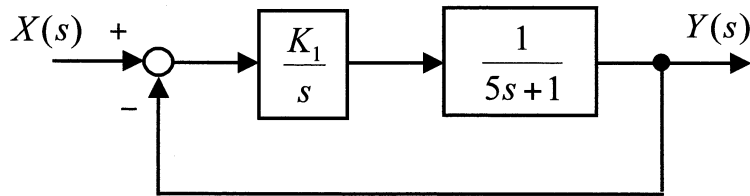


Fig. 1 (a)

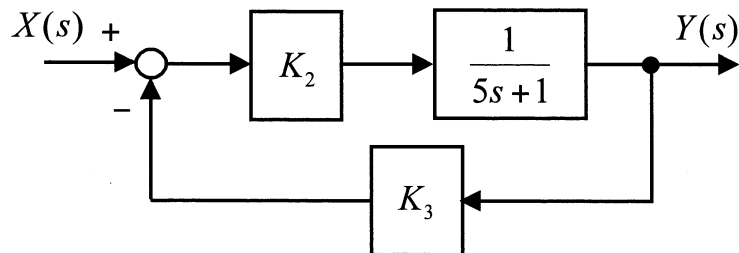


Fig. 1 (b)

2014 年 3 月実施
問題 2 通信工学
(1 頁目 / 3 頁中)

Fig. 2 (a)に示すような、振幅変調 (AM) 方式の伝送系がある。伝送路は理想的で、損失はないものとする。ここで $s(t)$ は $s(t) = \sin(2\pi f_m t)$ で表される、周波数 f_m の低周波入力信号である。また $g_{AM}(t)$ と $n(t)$ はそれぞれ AM 信号と両側電力スペクトル密度 $kT/2$ の白色雑音を表す。ここで、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度で表した周囲温度である。また変調度および搬送波の振幅と周波数をそれぞれ m, A_c, f_c とする。受信機において増幅器の利得は G 、雑音指数は F である。またバンドパスフィルタ (BPF) は中心周波数を f_c とする、通過帯域幅 $2f_T$ の下式で表される理想的な通過特性を持つものとする。

$$H(f) = \begin{cases} 1, & ||f| - f_c| < f_T \\ 0, & \text{その他} \end{cases}$$

なお f_m, f_c および f_T は $0 < f_m < f_T \ll f_c$ の関係を満足する。このとき、以下の問に答えよ。

- (1) Fig. 2 (b) に示す構成要素を用いて、送信機 (Fig. 2 (a)の破線で囲んだ部分) のブロック図を描け。ただしそれぞれの構成要素は何度用いてもよい。
- (2) AM 信号 $g_{AM}(t)$ の式を求めよ。
- (3) $g_{AM}(t)$ の電力効率 η_{AM} の式を求めよ。
- (4) 検波器出力信号の信号対雑音電力比 (S/N) を dB を単位として求めよ。ただし $g_{AM}(t)$ の電力は -110 dBW (ただし 0 dBW = 1 W), $m = 1$, $f_m = 2$ kHz, $F = 6$ dB, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K, $T = 300$ K とする。

必要なら、 $\log_{10} 1.38 \cong 0.14$, $\log_{10} 2 \cong 0.30$, $\log_{10} 3 \cong 0.48$ を用いてよい。

2014 年 3 月実施
問題 2 通信工学
(2 頁目 / 3 頁中)

Consider a transmission system using amplitude modulation (AM) as shown in Fig. 2(a). The transmission channel is assumed to be ideal and lossless. Here, $s(t)$ denotes a low frequency input signal with a signal frequency of f_m expressed as $s(t) = \sin(2\pi f_m t)$. $g_{AM}(t)$ and $n(t)$ are the AM signal and a white noise whose double-sided power spectral density is $kT/2$, respectively. Here, k and T are the Boltzmann constant and the ambient temperature represented by the absolute temperature, respectively. The modulation index, amplitude and frequency of the carrier wave are m , A_c and f_c , respectively. In the receiver, the gain and the noise figures of the amplifier are G and F , respectively. The band pass filter (BPF) is assumed to have ideal transmission characteristics expressed by the following equation, with a center frequency f_c and a bandwidth of $2f_T$.

$$H(f) = \begin{cases} 1, & ||f| - f_c| < f_T \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Here, f_m , f_c and f_T satisfy the relation of $0 < f_m < f_T \ll f_c$. Answer the following questions.

- (1) Draw a block diagram of the transmitter (surrounded by a broken line in Fig. 2(a)) using the constituent elements given in Fig. 2(b). Each element may be used multiple times.
- (2) Derive an expression for the AM signal, $g_{AM}(t)$.
- (3) Derive the power efficiency η_{AM} of $g_{AM}(t)$.
- (4) Derive the signal power to the noise power ratio (S/N) of the output from the detector in units of dB. Here, the power of $g_{AM}(t)$ is assumed to be -110 dBW (with 0 dBW=1W), $m = 1$, $f_m = 2$ kHz, $F = 6$ dB, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K, and $T = 300$ K, respectively.
Use $\log_{10} 1.38 \approx 0.14$, $\log_{10} 2 \approx 0.30$, $\log_{10} 3 \approx 0.48$, if necessary.

2014 年 3 月実施
問題 2 通信工学
(3 頁目 / 3 頁中)

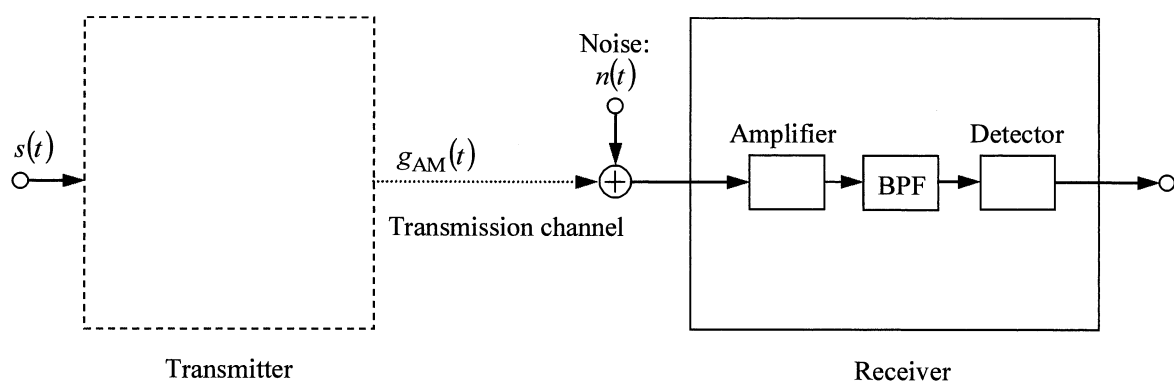


Fig. 2 (a)

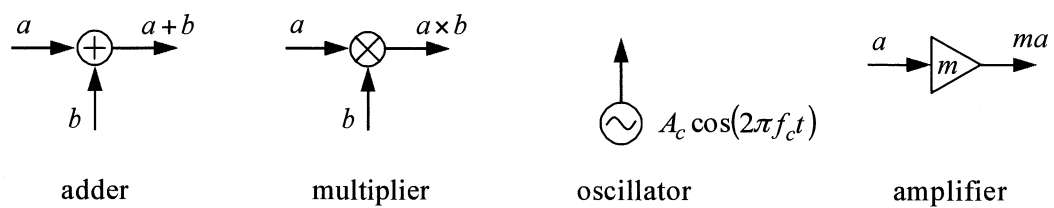


Fig. 2 (b)

2014 年 3 月実施
問題 3 電子工学
(1 頁目 / 2 頁中)

エミッタ E, ベース B, コレクタ C の端子を持つ npn バイポーラトランジスタの微小信号等価回路モデルに関連して, 以下の問に答えよ.

- (1) エミッタ接地回路において, Fig. 3 (a) に示す微小信号等価回路の T 形モデルを考える. ここで α はベース接地電流利得を表す.
 - (a) トランジスタ構造から導出される T 形モデルに対して, Fig. 3 (b) に示す h パラメータ (入力インピーダンス h_{ie} , 電圧帰還率 h_{re} , 電流利得 h_{fe} , 出力アドミッタンス h_{oe}) を考える. v_{BE} および i_C を, h パラメータと v_{CE} , i_B を用いて表すとともに, h_{fe} を実験的に求める測定方法を簡潔に述べよ.
 - (b) 一般に電子回路の設計では, h パラメータのうち h_{ie} と h_{fe} だけが使用される. h_{re} および h_{oe} を T 形モデルの回路定数で表すことにより, h_{re} と h_{oe} をゼロと近似できる条件を導出せよ.
 - (c) 入力インピーダンスと出力インピーダンスの大小関係を, トランジスタの動作原理に基づき説明せよ.
- (2) 2 個のトランジスタ Tr_1 , Tr_2 を用いた Fig. 3 (c) のカスコード増幅器を考える. ここで入力電圧 v_{in} および出力電圧 v_{out} は, 交流の微小信号電圧である.
 - (a) h_{re} , h_{oe} を除いて簡易化した h パラメータモデルを用いて, 増幅器の微小信号等価回路を示すとともに, 微小信号等価回路から増幅器の電圧利得 $K_v (= v_{out} / v_{in})$ を求めよ. ここで, 2 個のトランジスタは同じ h パラメータ h_{ie} , h_{fe} を持つこととする.
 - (b) カスコード増幅器の電圧利得を, Tr_2 のないエミッタ接地増幅器の電圧利得と比較するとともに, 高周波動作においてカスコード増幅器が利点を有する理由を述べよ.

Answer the following questions on small-signal equivalent circuit models for an npn bipolar transistor with emitter E, base B and collector C terminals.

- (1) Consider the T model of a small-signal equivalent circuit shown in Fig. 3 (a), for a common-emitter circuit. Here α is the common-base current gain.
 - (a) For the T model derived from a transistor structure, suppose the h parameters (input impedance h_{ie} , voltage feedback ratio h_{re} , current gain h_{fe} and output admittance h_{oe}) are as shown in Fig. 3 (b). Express v_{BE} and i_C in terms of the h parameters, v_{CE} and i_B , and briefly explain the measurement method for evaluating h_{fe} experimentally.

2014 年 3 月実施
問題 3 電子工学
(2 頁目 / 2 頁中)

- (b) In general, only h_{ie} and h_{fe} in the h parameters are used for electronic circuit design. Derive the condition for approximating h_{re} and h_{oe} as zero, by expressing h_{re} and h_{oe} in terms of the circuit constants of the T model.
- (c) Explain the magnitude relation between the input impedance and the output impedance, based on the operation principle of the transistor.
- (2) Consider the cascode amplifier using the two transistors Tr₁ and Tr₂ in Fig. 3 (c). Here, the input voltage v_{in} and the output voltage v_{out} are alternating small-signal voltages.
- (a) Show the small-signal equivalent circuit of the amplifier by using the simplified h parameter model without h_{re} and h_{oe} , and derive the voltage gain $K_v (= v_{out}/v_{in})$ of the amplifier based on the small-signal equivalent circuit. Here, the two transistors have the same h parameters h_{ie} and h_{fe} .
- (b) Compare the voltage gain of the cascode amplifier with that of a common-emitter amplifier without Tr₂, and describe the reason why the cascode amplifier has an advantage in high-frequency operation.

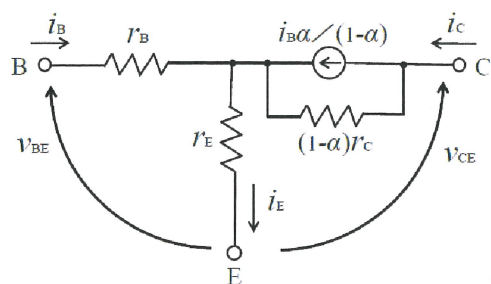


Fig. 3 (a)

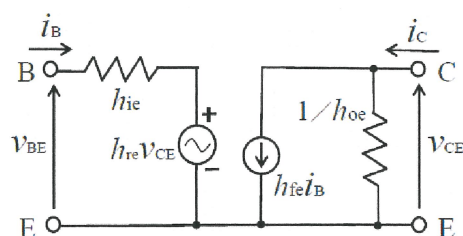


Fig. 3 (b)

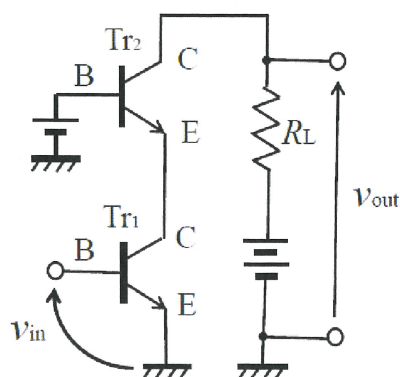


Fig. 3 (c)

2014 年 3 月実施
問題 4 計算機 1
(1 頁目 / 1 頁中)

クロックに同期して、各時刻 $t = 1, 2, \dots$ に 2 つの 1 ビット信号 $x_t, y_t \in \{0, 1\}$ を受け取り、
2 つの 1 ビット信号 $z_t, b_t \in \{0, 1\}$ を出力する順序回路を考える。各時刻 t において、

$$(x_t x_{t-1} \dots x_2 x_1)_2 - (y_t y_{t-1} \dots y_2 y_1)_2 = (z_t z_{t-1} \dots z_2 z_1)_2 - b_t \cdot 2^t$$

が成り立つとする。ただし $()_2$ は 2 進数の値を表す。

- (1) $(x_3 x_2 x_1)_2 = 3$ かつ $(y_3 y_2 y_1)_2 = 5$ のとき、 z_3, z_2, z_1, b_3 の値をそれぞれ求めよ。
- (2) 各時刻 t において、 $x_t - y_t = z_t - 2b_t + b_{t-1}$ であることを証明せよ。
- (3) x_t, y_t, b_{t-1} に関する z_t と b_t の真理値表を書け。
- (4) z_t と b_t を x_t, y_t, b_{t-1} に関する最簡積和形（最小論理和形）の論理式で表せ。

Consider a sequential circuit which receives two 1-bit signals $x_t, y_t \in \{0, 1\}$ and outputs two 1-bit signals $z_t, b_t \in \{0, 1\}$ at each time $t = 1, 2, \dots$ in synchronization with a clock. Suppose that

$$(x_t x_{t-1} \dots x_2 x_1)_2 - (y_t y_{t-1} \dots y_2 y_1)_2 = (z_t z_{t-1} \dots z_2 z_1)_2 - b_t \cdot 2^t$$

holds at each time t . Here $()_2$ denotes the value of a binary number.

- (1) Find each of the values of z_3, z_2, z_1 and b_3 when $(x_3 x_2 x_1)_2 = 3$ and $(y_3 y_2 y_1)_2 = 5$.
- (2) Prove that $x_t - y_t = z_t - 2b_t + b_{t-1}$ at each time t .
- (3) Give the truth table of z_t and b_t on x_t, y_t and b_{t-1} .
- (4) Show z_t and b_t as logical expressions in minimum sum-of-products forms in terms of x_t, y_t and b_{t-1} .

2014 年 3 月実施
問題5 計算機2
(1 頁目 / 1 頁中)

- (1) BNF 記法による次の文法 G を考える。ただし, a, b は終端記号, ϵ は空系列を表す。

$$\langle S \rangle ::= \langle S \rangle a \langle S \rangle b \mid \langle S \rangle b \mid \epsilon$$

- (a) G で文字列 abb を生成する構文木を全て示せ。
(b) G で文字列 abb を生成する最左導出を全て示せ。
- (2) 加算 $+$, 乗算 $*$, 括弧 $(,)$, および, 変数 w, x, y, z で構成される算術式の集合 F を考える。ただし, $*$ は $+$ より高い優先順をもつものとし, 全ての演算子は左結合とする。

- (a) F の算術式を生成する曖昧でない文法を BNF 記法で与えよ。
(b) 問 (2)(a) で与えた文法を用いて次の算術式を生成する構文木を示せ。

$$w + x * y + (w + x * y) * z$$

- (c) $w = 2, x = 3, y = 4, z = 5$ のとき, 問 (2)(b) の算術式の値がスタックを用いて計算されるとする。計算に必要なスタック領域の大きさを示せ。その根拠をスタックの状態遷移を示し説明せよ。

- (1) Consider the following grammar G in BNF. Here, a and b denote terminal symbols and ϵ denotes the empty sequence.

$$\langle S \rangle ::= \langle S \rangle a \langle S \rangle b \mid \langle S \rangle b \mid \epsilon$$

- (a) Give all the syntactic trees for a string abb generated from G .
(b) Give all the left-most derivations for a string abb generated from G .
- (2) Consider a set F of arithmetic formulas consisting of addition $+$, multiplication $*$, parentheses $(,)$, and variables w, x, y, z . Here, $*$ has a higher precedence than $+$ and all operators are left-associative.

- (a) Give an unambiguous grammar in BNF that generates arithmetic formulas in F .
(b) Give the syntactic tree for the following arithmetic formula generated from the grammar given in question (2) (a).

$$w + x * y + (w + x * y) * z$$

- (c) Let $w = 2, x = 3, y = 4, z = 5$ and suppose that the value of the arithmetic formula in question 2 (b) is computed using a stack. Show the size of the stack space required for the computation. Justify your answer describing the stack state transition.

2014 年 3 月実施
問題 6 物理専門 1
(1 頁目 / 1 頁中)

関数 $f(x)$ および $g(x)$ の内積を $\langle f | g \rangle \equiv \int f(x)^* g(x) dx$ と定義する. また $\langle f | g \rangle = 0$ のとき, 関数 $f(x)$ と $g(x)$ は直交すると呼ばれる. 以下の間に答えよ.

- (1) $\langle g | f \rangle = \langle f | g \rangle^*$ を示せ.
- (2) 演算子 \hat{A} に対し, $\langle \hat{A}f | g \rangle = \langle f | \hat{A}^+ g \rangle$ を満たすような演算子 \hat{A}^+ を, \hat{A} のエルミート共役演算子という. $(i\hat{A})^+ = -i\hat{A}^+$ を示せ. ここで i は虚数単位である.
- (3) 与えられた任意の演算子 \hat{A} および \hat{B} に対し, それらの積の演算子 $\hat{A}\hat{B}$ のエルミート共役演算子は $\hat{B}^+ \hat{A}^+$ となることを示せ.
- (4) $\hat{A}^+ = \hat{A}$ となる演算子 \hat{A} をエルミート演算子という. エルミート演算子の固有値は実数となることを示せ.
- (5) 任意の演算子 \hat{A} に対し, $\hat{A} + \hat{A}^+$ および $i(\hat{A} - \hat{A}^+)$ がエルミート演算子となることを示せ.
- (6) エルミート演算子 \hat{A} に対する二つの固有値 λ_1, λ_2 ($\lambda_1 \neq \lambda_2$) と, それぞれに対する固有関数を ψ_1, ψ_2 とする. ψ_1 と ψ_2 が直交することを示せ.

Let the inner product of the functions $f(x)$ and $g(x)$ be defined as $\langle f | g \rangle \equiv \int f(x)^* g(x) dx$.

Also, let us call the functions $f(x)$ and $g(x)$ orthogonal when $\langle f | g \rangle = 0$. Answer the following questions.

- (1) Show that $\langle g | f \rangle = \langle f | g \rangle^*$.
- (2) An operator \hat{A}^+ is called an Hermitian adjoint operator of \hat{A} when it satisfies $\langle \hat{A}f | g \rangle = \langle f | \hat{A}^+ g \rangle$. Show that $(i\hat{A})^+ = -i\hat{A}^+$. Here i denotes the imaginary unit.
- (3) Show, for any given pair of operators \hat{A} and \hat{B} , that the Hermitian adjoint operator of the product $\hat{A}\hat{B}$ of these operators is given by $\hat{B}^+ \hat{A}^+$.
- (4) An operator \hat{A} is called an Hermitian operator when $\hat{A}^+ = \hat{A}$. Show that the eigenvalue of an Hermitian operator is real.
- (5) Show, for any operator \hat{A} , that $\hat{A} + \hat{A}^+$ and $i(\hat{A} - \hat{A}^+)$ are Hermitian operators.
- (6) Let the eigenfunctions that correspond to eigenvalues of λ_1 and λ_2 ($\lambda_1 \neq \lambda_2$) be ψ_1 and ψ_2 , respectively. Show that ψ_1 and ψ_2 are orthogonal.

2014 年 3 月実施
問題 7 物理専門 2
(1 頁目 / 3 頁中)

複素変数 z の関数

$$f(z) = \exp(iz^2)$$

を考える. i は虚数単位である. また, C_1 , C_2 , C_3 は, 以下のように定義された積分路である (Fig. 7).

$$C_1 : z = t \quad (0 \leq t \leq R),$$

$$C_2 : z = Re^{it} \quad (0 \leq t \leq \frac{\pi}{4}),$$

$$C_3 : z = e^{i\frac{\pi}{4}}(R-t) \quad (0 \leq t \leq R).$$

以下の間に答えよ.

(1) 複素積分 $\int_{C_1+C_2+C_3} f(z) dz$ を求めよ.

(2) 任意の実数 x に対して $\int_0^{+\infty} \exp(-x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$ であることを利用して,

複素積分 $\lim_{R \rightarrow +\infty} \int_{C_3} f(z) dz$ を求めよ.

(3) 複素変数 z の関数 $g(z)$ が滑らかな曲線 C 上で定義された連続関数であるとき,

$\left| \int_C g(z) dz \right| \leq \int_C |g(z)| |dz|$ が成り立つ. この不等式を利用して, 複素積分 $\lim_{R \rightarrow +\infty} \int_{C_2} f(z) dz$ を

求めよ. ただし, $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ を満たす実数 θ に対して成り立つ不等式 $\frac{2\theta}{\pi} \leq \sin \theta \leq \theta$ を用い

てよい.

(4) 実定積分 $\int_0^{+\infty} \sin(x^2) dx$ および $\int_0^{+\infty} \cos(x^2) dx$ を求めよ.

2014 年 3 月実施
問題 7 物理専門 2
(2 頁目 / 3 頁中)

Consider a function

$$f(z) = \exp(iz^2)$$

of a complex variable z . Let i denote the imaginary unit. C_1 , C_2 , and C_3 are integral paths defined as follows (Fig. 7),

$$C_1 : z = t \quad (0 \leq t \leq R),$$

$$C_2 : z = Re^{it} \quad (0 \leq t \leq \frac{\pi}{4}),$$

$$C_3 : z = e^{i\frac{\pi}{4}}(R-t) \quad (0 \leq t \leq R).$$

Answer the following questions.

(1) Find the value of the complex integral $\int_{C_1+C_2+C_3} f(z) dz$.

(2) Using $\int_0^{+\infty} \exp(-x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$ for any real x , find the value of the complex

integral $\lim_{R \rightarrow +\infty} \int_{C_3} f(z) dz$.

(3) When a function $g(z)$ of a complex variable z is a continuous function defined on a smooth curve C , $|\int_C g(z) dz| \leq \int_C |g(z)| |dz|$ holds. Using this inequality, find the value of the complex integral $\lim_{R \rightarrow +\infty} \int_{C_2} f(z) dz$. You may use the inequality equation

$$\frac{2\theta}{\pi} \leq \sin \theta \leq \theta, \text{ which holds for real number } \theta \text{ satisfying } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}.$$

(4) Find the value of the real definite integral $\int_0^{+\infty} \sin(x^2) dx$ and $\int_0^{+\infty} \cos(x^2) dx$.

2014 年 3 月実施
問題 7 物理専門 2
(3 頁目 / 3 頁中)

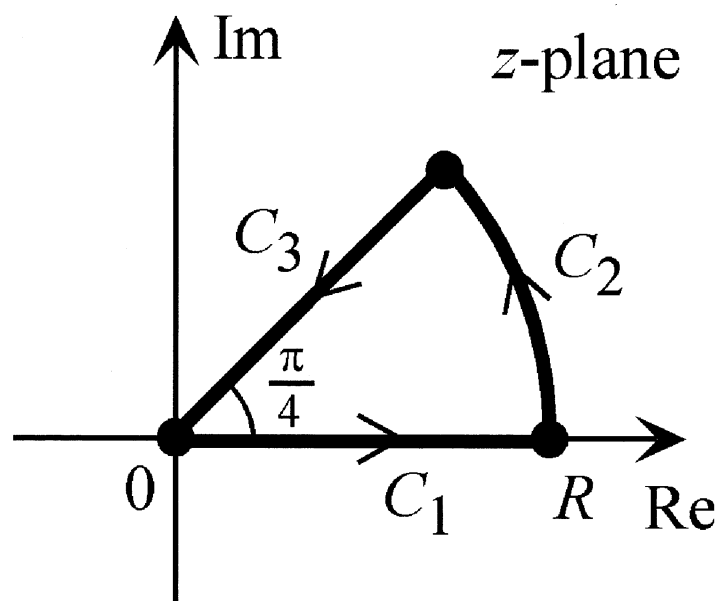


Fig. 7