2024年度
電気工学専攻・電子工学専攻
修士課程教育プログラム　学力検査　問題

科目名：専門基礎 a

日時：2023年8月7日(月)　9時00分～12時00分

（注意）

1. 問題冊子と解答用紙は係員の指示があるまで開かないこと.
2. 問題は a-1 から a-5 までの5問ある．そのうち，4問を解答せよ.
3. 各問題のページ数は，各問題番号のすぐ後ろに記してある.
4. 解答用紙は4枚である．1問題について1枚の解答用紙を用いること.
5. 問題冊子と解答用紙のホチキス留めは外してはならない．もし，外れた場合は，直ちに申し出ること.
6. 「解答はじめ」の指示の後，解答用紙各葉の所定欄に受験番号，氏名，科目名，問題番号をはっきり記入すること.
7. 回路記号については最後のページの新旧対照表を参照すること.

$\boxed{\text{a}}$ — $\boxed{1}$ [この問題は長さ2ページである.]

以下の設問に答えよ．ただし，i は虚数単位 (imaginary unit) $\sqrt{-1}$ を表す．図1および図2は複素平面 (complex plane) であり，図中の経路 (contours) に沿った積分 (integrals) は，各経路に付けた矢印の向きに行う．

(i) 図1のように，複素平面における3つの経路 C_1, C_2, C_3 を考える．ここで，C_1 は0と1を結ぶ線分 (segment) および1と $1+\mathrm{i}$ を結ぶ線分の合成 (composition) であり，C_2 は0と $1+\mathrm{i}$ を結ぶ線分，C_3 は0と i を結ぶ線分および i と $1+\mathrm{i}$ を結ぶ線分の合成である．複素変数 (complex variable) z の複素関数 (complex function) $f(z)$ の C_1, C_2, C_3 に沿った積分

$$\int_{C_k} f(z)\,\mathrm{d}z \qquad (k=1,2,3)$$

をそれぞれ求めよ．ただし，$f(z)$ は，z を実変数 (real variables) x, y を用いて $z = x + \mathrm{i}y$ と表したとき，

$$f(z) = x - y + \mathrm{i}x^2$$

と定義される．

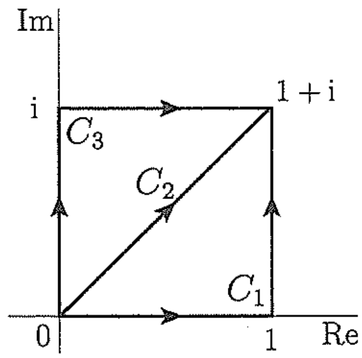


図1

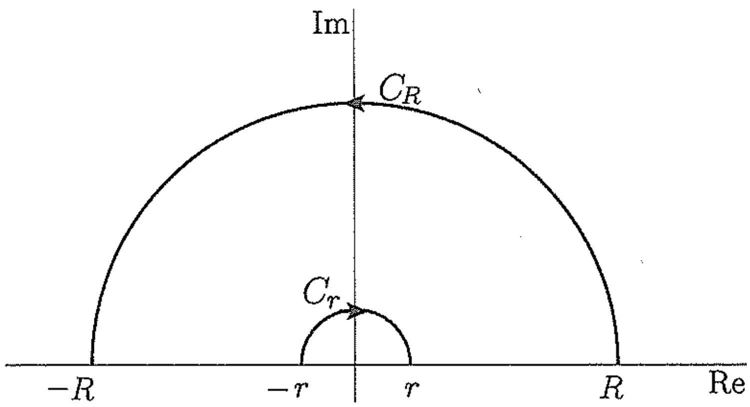


図2

(ii) 図2のように，複素平面における2つの経路 C_r, C_R を考える．ここで，経路 C_r および C_R は以下のように定義される．

$$C_r = \{z \mid z = r\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta},\ 0 \le \theta \le \pi\}, \quad C_R = \{z \mid z = R\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta},\ 0 \le \theta \le \pi\}$$

ただし，r と R は正の実数 (positive real numbers) であり，$r < R$ を満たす．また，複素関数

$$f(z) = \frac{1 - \mathrm{e}^{\mathrm{i}z}}{z^2}$$

を考える．以下の問に答えよ．

（a）経路 C_r に沿った関数 $f(z)$ の積分

$$\int_{C_r} f(z)\,\mathrm{d}z$$

の $r \to 0$ での極限値 (limit value) を求めよ．

（b）経路 C_R に沿った関数 $f(z)$ の積分に対して，以下の不等式が成り立つことを示せ．

$$\left|\int_{C_R} f(z)\,\mathrm{d}z\right| \leq \frac{2\pi}{R}$$

（c）以上の結果を用いて，実変数 x に関する積分

$$\int_0^\infty \frac{1-\cos x}{x^2}\,\mathrm{d}x$$

を求めよ．

$\boxed{\text{a}}$—$\boxed{2}$ [この問題は長さ 1 ページである.]

実変数 (real variable) t の実関数 (real functions) $x(t)$, $y(t)$ に関する微分方程式 (differential equation)

$$\begin{pmatrix} \frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t} \\ \frac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 4 & -5 \\ 5 & -4 \end{pmatrix} \tag{1}$$

について，以下の設問に答えよ.

(i) 行列 A の固有値 (eigenvalues) を a, b とし，それぞれに対応する固有ベクトル (eigenvectors) を

$$\begin{pmatrix} u \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} v \\ 1 \end{pmatrix}$$

とする. a, b, u, v を求めよ.

(ii) 正則行列 (nonsingular matrix) P について，$D = P^{-1}AP$ が対角行列 (diagonal matrix) であるとする. そのような P および D の組を 1 つ求めよ.

(iii) 設問 (ii) で求めた P を用いて変数変換 (variable transformation)

$$\begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} p(t) \\ q(t) \end{pmatrix} \tag{2}$$

を行い，関数 $p(t)$, $q(t)$ に関する微分方程式を示せ.

(iv) 微分方程式 (1) について，初期条件 (initial condition) $\begin{pmatrix} x(0) \\ y(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix}$ を満たす解 $\begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$ を求め，虚数単位 (imaginary unit) を用いずに表せ.

(v) 微分方程式 (1) の解 $\begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$ は，

$$x(t)^2 + \alpha x(t)y(t) + y(t)^2 = \beta \tag{3}$$

を満たす. ただし，α, β は t に依存しない実数である. 設問 (iv) の初期条件のもとで，α, β を求めよ.

$\boxed{\text{a}}$ — $\boxed{3}$ [この問題は長さ2ページである.]

真空 (vacuum) の誘電率 (permittivity) を ε_0 として，以下の設問に答えよ．

(i) 図1のように，点電荷 (point charge)q が真空中の点 $\mathrm{A}(0, a, 0)$ に，接地された無限平面導体 (grounded infinite plane conductor) が $y = 0$ の面に置かれている．ここで，$a > 0$ である．

(a) $y = 0$ の面において，電位 (electric potential)V が満たすべき境界条件を答えよ．

(b) 影像法 (image method) を用いて，$y > 0$ の領域における電位 $V(x, y, z)$ を求めよ．

(c) $y > 0$ における電位 V を影像法によって求めることができる理由を述べよ．

(ii) 図2のように，点 $\mathrm{A}(0, a, 0)$ に点電荷 q が置かれており，$y > 0$ の領域は真空，$y \leq 0$ の領域は誘電率 ε の誘電体 (dielectric) で満たされている．ここで，$a > 0$ である．

(a) $y = 0$ の面において，電位 V と電界 (electric field)$\boldsymbol{E}$ の y 成分が満たすべき境界条件を答えよ．

(b) いま仮に，全領域を真空とし，点Aに置かれた点電荷 q に加えて点電荷 q^* を点 $(0, -a, 0)$ においたとする．このときの電位 $V_0(x, y, z)$ を求めよ．

(c) いま仮に，全領域を誘電率 ε の誘電体で満たし，点電荷 q の代わりに点電荷 q^{**} を点Aにおいたとする．このときの電位 $V_1(x, y, z)$ を求めよ．

(d) 問 (a) から (c) の結果を用いて，図2の場合における点電荷 q に作用する力を求め，$\varepsilon_0, \varepsilon, q, a$ を用いて表せ．

(iii) 以下の文章において $\boxed{\quad \text{X} \quad}$ と $\boxed{\quad \text{Y} \quad}$ を埋めて式を完成させよ．

図3のように，点 $\mathrm{A}(0, a, 0)$ と $\mathrm{B}(0, -b, 0)$ に点電荷 q と q' が置かれている．ここで，$a > 0$，$b > 0$ であり，$y > 0$ の領域は真空で，$y \leq 0$ の領域は誘電率 ε の誘電体で満たされている．重ね合わせの原理と設問 (ii) の結果を利用して，点電荷 q に作用する力を求めよう．そのためには，設問 (ii) 問 (d) の力に加えて，新たにおいた点電荷 q' による力を求めればよい．q' による $y > 0$ の領域における電界は，設問 (ii) の結果をもとにすると，全領域を真空として，仮想的な点電荷 q'^{**} を点Bにおいたときの電界と一致する．ここで，

$$q'^{**} = \boxed{\quad \text{X} \quad}$$

である．よって，点電荷 q に作用する力 F は，

$$F = \boxed{\quad \text{Y} \quad}$$

である.

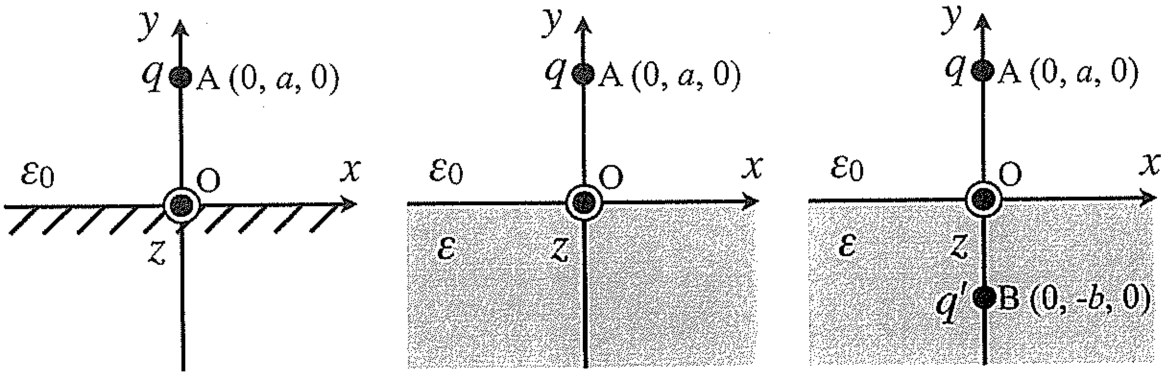


図1　図2　図3

$\boxed{\text{a}}$ — $\boxed{4}$ [この問題は長さ1ページである.]

以下の設問に答えよ.

(i) 図1のような直流電圧源 (DC voltage source) E を含む回路において，スイッチ (switch) S が閉じられて定常状態 (steady state) にある．時刻 $t=0$ にスイッチ S を開けたとき，以下の問に答えよ.

(a) 時刻 $t=0$ におけるキャパシタ (capacitor) の電圧 $v(0)$，インダクタ (inductor) の電流 $i(0)$ を求めよ.

(b) 電圧 $v(t)$ を求め，その波形 (waveform) を図示せよ.

(ii) 図2のような直流電圧源 E と，特性インピーダンス (characteristic impedance) Z_0，伝搬速度 (propagation velocity) g，長さ l の無損失分布定数線路 (lossless transmission line) を含む回路において，スイッチ S が閉じられて定常状態にある．時刻 $t=0$ にスイッチ S を開けたとき，以下の問に答えよ.

(a) スイッチ S を開ける直前を $t=-0$，直後を $t=+0$ とする．ポート (port) 1-1′ の電圧 $v_1(-0)$，$v_1(+0)$，ポート 2-2′ の電圧 $v_2(-0)$，$v_2(+0)$，インダクタの電流 $i(-0)$，$i(+0)$ を求めよ.

(b) 時間 $0<t<3l/g$ における電圧 $v_1(t), v_2(t)$ を求め，その波形を図示せよ.

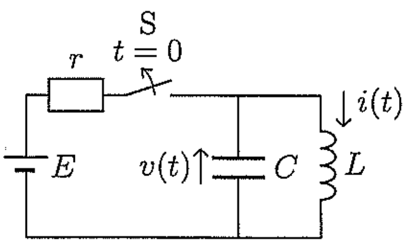


図1

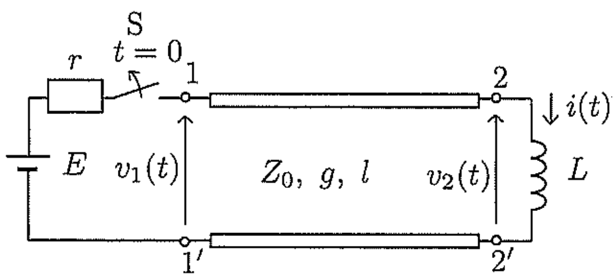


図2

基本並進ベクトル (primitive translation vector) が $\boldsymbol{R}_1=(a,\ 0)$, $\boldsymbol{R}_2=(0,\ 3a)$ である2次元長方格子 (rectangular lattice) に関する以下の設問に答えよ. ただし a は正の実数とする.

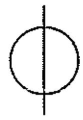
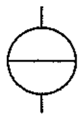
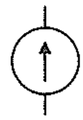
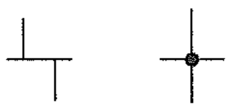
(i) この2次元長方格子を図示せよ.

(ii) この2次元長方格子の基本逆格子ベクトル (primitive reciprocal lattice vector) $\boldsymbol{G}_1$, $\boldsymbol{G}_2$ を決定せよ.

(iii) この2次元長方格子の逆格子空間における第1および第2ブリルアンゾーン (Brillouin zone) を図示せよ.

(iv) 第2ブリルアンゾーン内の任意の一点を図示し, その点が還元ゾーン (reduced zone) 形式では第1ブリルアンゾーンのどの点に対応するかを, 理由と共に示せ.

電気電子回路の記述に使用する図記号に関しては，下記の表に左右に示す記号は同等のものとみなす。

	新図記号 (New symbols)	旧図記号 (Older symbols)
理想電圧源 (Ideal voltage source)		
理想電流源 (Ideal current source)		
抵抗器 (Resistor)		
T接続 (T-connection)		
導体の二重接続 (Double junction of conductors)		
接続しない2系統の交差 (Crossing of two systems without connection)		

2024年度
電気工学専攻・電子工学専攻
修士課程教育プログラム　学力検査　問題

科目名：専門基礎 b

日時：2023年8月7日(月)　13時30分～16時00分

（注意）

1. 問題冊子と解答用紙は係員の指示があるまで開かないこと.
2. 問題はb-1からb-4までの4問ある．そのうち，3問を解答せよ.
3. 各問題のページ数は，各問題番号のすぐ後ろに記してある.
4. 解答用紙は3枚である．1問題について1枚の解答用紙を用いること.
5. 問題冊子と解答用紙のホチキス留めは外してはならない．もし，外れた場合は，直ちに申し出ること.
6. 「解答はじめ」の指示の後，解答用紙各葉の所定欄に受験番号，氏名，科目名，問題番号をはっきり記入すること.
7. 回路記号については最後のページの新旧対照表を参照すること.

b — 1 [この問題は長さ 2 ページである.]

この問題では, 真空 (vacuum) 中における電磁波 (electromagnetic wave) の伝搬を考える. このときの Maxwell の方程式は以下のとおりである.

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} \tag{1}$$

$$\nabla \times \boldsymbol{H} = \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t} \tag{2}$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{D} = 0 \tag{3}$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = 0 \tag{4}$$

なお, $\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{H}$, $\boldsymbol{D}$, $\boldsymbol{B}$ は, それぞれ, 電界 (electric field), 磁界 (magnetic field), 電束密度 (electric flux density), 磁束密度 (magnetic flux density) である. また, 真空の誘電率 (permittivity) および透磁率 (permeability) をそれぞれ ε_0, μ_0, 位置ベクトル (position vector) を $\boldsymbol{r}$, 角周波数 (angular frequency) を ω, 時刻を t, 虚数単位 (imaginary unit) を j とする. 以下の設問に答えよ.

(i) Maxwell 方程式を用いて電界に関する波動方程式 (wave equation) を求めよ. 必要に応じてベクトル公式 $\nabla \times (\nabla \times \boldsymbol{A}) = \nabla(\nabla \cdot \boldsymbol{A}) - (\nabla \cdot \nabla)\boldsymbol{A}$ を用いてもよい.

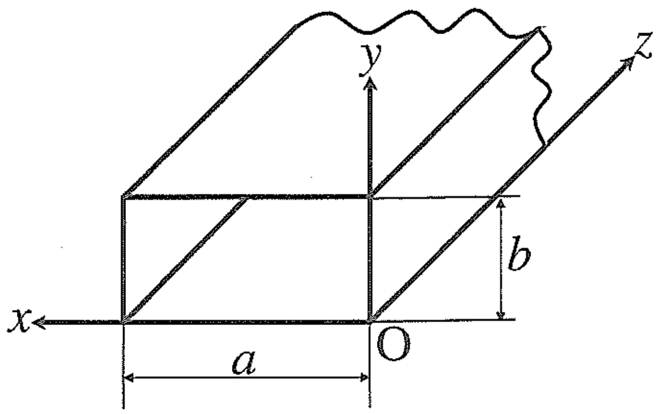
(ii) 電界を $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}, t) = \boldsymbol{E}_0(\boldsymbol{r}) \exp(\mathrm{j}\omega t)$ とおく. 設問 (i) で求めた波動方程式から $\boldsymbol{E}_0(\boldsymbol{r})$ に関する次の式が得られる. $\boxed{\quad X \quad}$ を埋めよ.

$$\nabla^2 \boldsymbol{E}_0(\boldsymbol{r}) + \boxed{\quad X \quad}\, \boldsymbol{E}_0(\boldsymbol{r}) = 0 \tag{5}$$

(iii) 設問 (ii) の場合において, z 軸の正の方向に伝搬する平面波を考える. この平面波は x 方向にのみ電界成分 $\boldsymbol{E}_0(\boldsymbol{r}) = (E_{0x}(z), 0, 0)$ を持つとする. 波数ベクトル (wavenumber vector) を $\boldsymbol{k} = (0, 0, k_z)$ としたとき, $E_{0x}(z)$ を求めよ.

(iv) 設問 (iii) の場合, $\left|\dfrac{E_{0x}(z)}{H_{0y}(z)}\right|$ で与えられる特性インピーダンス (characteristic impedance) を求めよ. ここで, $H_{0y}(z)$ は, 設問 (iii) と同様に定めた磁界の y 成分である.

(v) 次に, 別の条件下での電磁波の伝搬を考える. いま, 図のように $0 < x < a$ かつ $0 < y < b$ を満たす領域が真空であり, それ以外の領域が完全導体 (perfect conductor) で満たされている状況を考える. この真空の領域を導波管 (waveguide) と呼ぶ. この導波管の中を, 角周波数 ω の電磁波が z 軸の正の方向に伝搬しているとする. ただし, 単一の姿態 (mode) での伝搬を想定する. この導波管の中のある位置において磁界の y 成分と z 成分が非零, すなわち $|H_{0y}| \neq 0$ と $|H_{0z}| \neq 0$ を満たすとき, その位置における $\left|\dfrac{E_{0x}}{H_{0y}}\right|$ は設問 (iv) で求めた特性インピーダンスより大きくなる. この理由を定性的に述べよ.


y
z
b
x
O
a

$\boxed{\text{b}}$ — $\boxed{2}$ [この問題は長さ2ページである.]

電圧増幅器 (amplifier) について以下の設問に答えよ．すべての増幅器の入力インピーダンス (input impedance) は無限大とする．数値については有効数字2桁で答えよ．

(i) 増幅率 (gain) A と出力インピーダンス (output impedance) R_o を持つ増幅器で構成した図1の回路は図2の等価回路 (equivalent circuit) で表せる．以下の問に答えよ．

(a) この回路の周波数応答 (frequency response) $H(\omega) = \tilde{V}_o/\tilde{V}_i$ を求めよ．

(b) $A = -10^4$, $R_o = 10\,\mathrm{k\Omega}$, $C_L = 10\,\mathrm{pF}$ のとき，$|H(\omega_0)| = 1$ となる ω_0 を求めよ．

(c) 問 (b) の条件において $H(\omega)$ のボード線図 (Bode diagram) を描け．

(ii) 図3のように，増幅率 A と出力インピーダンス R_o を持つ増幅器の入出力間に容量 C_C を挿入する場合を考える．C_C はミラー容量 (Miller capacitance) とよばれる．以下の問に答えよ．

(a) 入力インピーダンス $Z_{in} = \left(\tilde{V}_i/\tilde{I}_i\right)_{\tilde{I}_o=0}$ を求めよ．

(b) 出力インピーダンス $Z_{out} = \left(\tilde{V}_o/\tilde{I}_o\right)_{\tilde{I}_i=0}$ を求めよ．

(c) $A < 0$ としたとき，$\omega R_o(C_C + C_L) \ll 1$ の周波数領域において，図3の回路は図4の等価回路で近似できることを示せ．

(iii) 図5と図6の2段増幅器から成るオペアンプ (operational amplifier) を設計する．増幅率 A_1 と A_2 の増幅器の出力インピーダンスはそれぞれ $10\,\mathrm{k\Omega}$ と $10\,\Omega$ である．これらのオペアンプの周波数応答 $H(\omega)$ は次のように表せる．

$$H(\omega) = \frac{A_1 A_2}{\left(1 + \mathrm{j}\frac{\omega}{\omega_{p1}}\right)\left(1 + \mathrm{j}\frac{\omega}{\omega_{p2}}\right)} \tag{1}$$

ここで，j は虚数単位であり，$\omega_{p1} < \omega_{p2}$ とする．これらのオペアンプを用いてボルテージフォロワ (voltage follower) を構成したとき，安定動作の条件は $|H(\omega_{p2})| \leq 1$ である．$C_L = 10\,\mathrm{pF}$, $A_1 = -10^3$, $A_2 = -10$ の条件のもとで以下の問に答えよ．ただし，$C_1 > 0.1\,\mathrm{pF}$, $C_C > 0.1\,\mathrm{pF}$ とする．

(a) 図5のオペアンプにおいて，ω_{p2} を求めよ．次に，$|H(\omega_{p2})| = 1$ を満たす C_1 を求めよ．

(b) 図6のオペアンプにおいて，ω_{p2} を求めよ．次に，$|H(\omega_{p2})| = 1$ を満たす C_C を求めよ．なお，2段目の増幅器について図4の等価回路を用いよ．

(c) 図5と図6のオペアンプを用いたボルテージフォロワを集積回路 (integrated circuit) にしたとき，どちらのボルテージフォロワがより小さい面積で実装できるか理由をつけて述べよ．

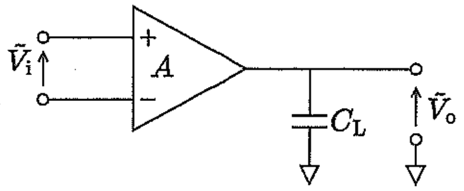


図 1

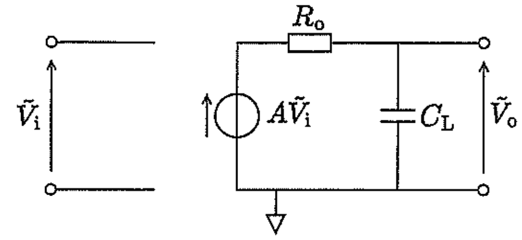


図 2

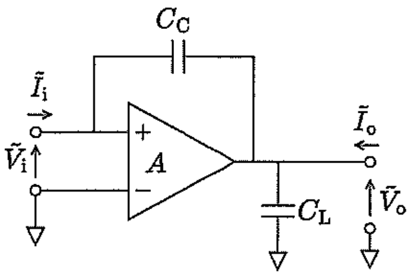


図 3

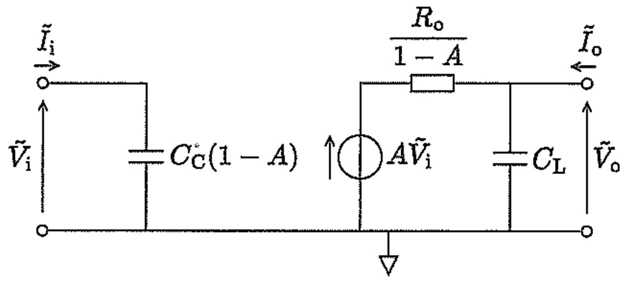


図 4

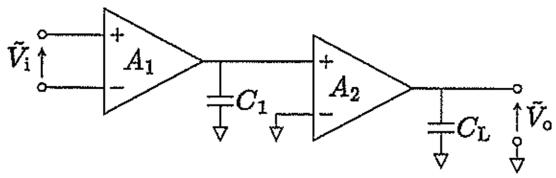


図 5

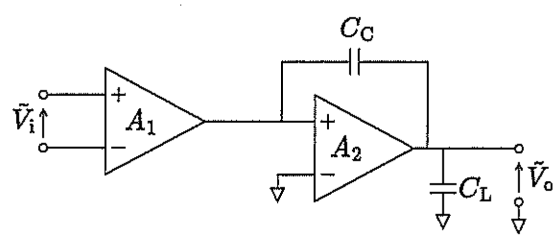


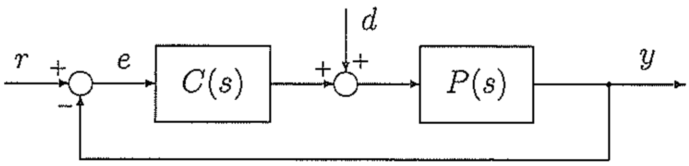
図 6

$\boxed{\text{b}}$—$\boxed{3}$ [この問題は長さ1ページである.]

下図のフィードバック制御系 (feedback control system) において，制御対象 (controlled object) および制御装置 (controller) の伝達関数 (transfer function) はそれぞれ

$$P(s) = \frac{2}{s^2+3s+4}, \qquad C(s) = K\frac{s+4}{s}$$

で与えられている．ただし，r は目標値 (reference)，e は偏差 (error)，d は外乱 (disturbance)，y は制御量 (controlled variable) を表しており，K は正のゲイン (gain) とする．以下の設問に答えよ．



(i) r から y，および d から e への閉ループ (closed-loop) 伝達関数をいずれも $P(s), C(s)$ で表せ．

(ii) 制御対象 $P(s)$ について，その入力を $u(t) = \sin\omega t$ としたときの定常状態 (steady state) での出力が $c\sin\left(\omega t - \frac{k\pi}{4}\right)$ となるような (ω, c, k) の組をすべて求めよ．ただし，$c > 0$ とし，$k = 0, 1, \ldots, 7$ のいずれかとなる場合のみを考えるものとする．さらに，正の角周波数 (angular frequency) ω のみを考えるものとする．

(iii) $C(s)$ のボード線図 (Bode diagram) の概形を描け．角周波数が小さいときと大きいときの特徴を示す漸近線 (asymptote) に加えて，$C(s)$ の位相遅れ (phase lag) が 45° となるときの角周波数の値についても明記すること．

(iv) 開ループ (open-loop) 伝達関数 $P(s)C(s)$ のベクトル軌跡 (vector locus) と実軸 (real axis) の負の部分との交点 (intersection) を求めよ．なお，$P(s)C(s)$ は位相遅れが 180° となる角周波数 ω (> 0) をひとつだけもつ．このことを利用してもよい．

(v) フィードバック制御系の目標値に対する単位ステップ応答 (unit step response) $y(t) = s_K(t)$ について考える．$s_K(t)$ は K を大きくしても $K < K^*$ である限り十分な時間の経過後には一定値 $S(K)$ に収束するが，$K = K^*$ では十分な時間の経過後も持続的振動 (persistent oscillation) $\sigma(t)$ とオフセット (offset) の重ね合わせ (superposition) となる．

(a) K^* の値を求め，$0 < K < K^*$ の範囲で $S(K)$ のグラフを描け．また，そのグラフの形状の由来を，このフィードバック制御系の特色と結び付けて説明せよ．

(b) $s_{K^*}(t) - \sigma(t)$ を求めよ．

$\boxed{\text{b}}$ — $\boxed{4}$ [この問題は長さ1ページである.]

半導体に関する以下の設問に答えよ．ただし，半導体は非縮退 (nondegenerate) であるとし，伝導帯 (conduction band) の有効状態密度 (effective density of states) を N_c，価電子帯 (valence band) の有効状態密度を N_v，伝導帯底のエネルギーを E_c，価電子帯頂上のエネルギーを E_v，禁制帯幅 (bandgap) を E_g とする．また，ボルツマン定数 (Boltzmann constant) を k_B，絶対温度を $T(>0)$，素電荷 (elementary charge) を e とする．

(i) 熱平衡状態 (thermal equilibrium) において電子密度 (electron density) n，正孔密度 (hole density) p，真性キャリア密度 (intrinsic carrier density) n_i の間に成立する関係式を記せ．次に，真性キャリア密度 n_i を N_c，N_v，E_g などを用いて表せ．

(ii) ドナー密度 (donor density) N_d の n 型半導体におけるフェルミ準位 (Fermi level) E_{fn}，アクセプタ密度 (acceptor density) N_a の p 型半導体におけるフェルミ準位 E_{fp} をそれぞれ求めよ．ただし，ドナーおよびアクセプタは完全にイオン化していると考えてよい．

(iii) 設問 (ii) で考えた p 型，n 型半導体で構成される pn 接合 (pn junction) について，無バイアス (zero bias) 時のエネルギーバンド図 (energy-band diagram) を描け．フェルミ準位を明示すること．次に，このエネルギーバンド図を参考にして，pn 接合の拡散電位 (built-in voltage) V_d を表す式を求めよ．

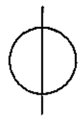
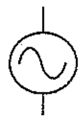
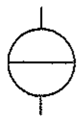
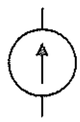
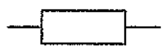
(iv) 理想的な pn 接合ダイオード (diode) に流れる電流 I と電圧 V の関係式を記せ．ただし，飽和電流 (saturation current) を I_0 とする．

(v) 理想的な pn 接合ダイオードに禁制帯幅以上のエネルギーを有する光を照射した．光照射時および暗時の電流–電圧 $(I-V)$ 特性を描け．ただし，光照射により生じる光電流 (photocurrent) の絶対値を I_{ph} とする．

(vi) 設問 (iv) で考えた理想的な pn 接合ダイオードについて，順方向 (forward) 電流 I を流すのに必要な電圧 V を表す式を導出せよ．次に，この順方向バイアス時の微分抵抗 (differential resistance) R_{diff} の電流依存性を表す式を導出し，図示せよ．

(vii) 設問 (vi) では理想的な pn 接合ダイオードを考えたが，現実のダイオードでは必ず直列抵抗 (series resistance) が存在する．この直列抵抗を R_s とするとき，これが順方向電流 I を流すのに必要な電圧 V に及ぼす影響について説明せよ．次に，R_s が微分抵抗 R_{diff} に及ぼす影響について説明せよ．共に数式および図の両方を用いて説明すること．

電気電子回路の記述に使用する図記号に関しては，下記の表に左右に示す記号は同等のものとみなす。

	新図記号 (New symbols)	旧図記号 (Older symbols)
理想電圧源 (Ideal voltage source)		
理想電流源 (Ideal current source)		
抵抗器 (Resistor)		
T接続 (T-connection)		
導体の二重接続 (Double junction of conductors)		
接続しない2系統の交差 (Crossing of two systems without connection)