

2023 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：2022 年 8 月 5 日(金) 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。

**a**—**1** [この問題は長さ 2 ページである.]

以下の設問に答えよ.  $z$  は複素変数 (complex variable) で, 実変数 (real variables)  $x, y$  により  $z = x + iy$  で表される.  $i$  は虚数単位 (imaginary unit) を表す. また,  $a, b$  は実定数 (real constants) とする. ただし  $b > 0$  とする.

(i) 複素関数 (complex function)

$$f(z) = \frac{e^{iaz}}{z^2 + b^2}$$

を考える. 閉曲線 (closed curve)  $C$  を図 1 に示すように  $C = C_1 + C_R$ , 閉曲線  $C^-$  を図 2 に示すように  $C^- = C_1 + C_R^-$  と定義する. ただし,

$$\begin{aligned} C_1 &= \{z | z = x, -R \leq x \leq R\} \\ C_R &= \{z | z = Re^{i\theta}, 0 \leq \theta \leq \pi\} \\ C_R^- &= \{z | z = Re^{i\theta}, \pi \leq \theta \leq 2\pi\} \end{aligned}$$

とする. ここで  $R > b$  とする. 以下の問における積分は図中の矢印 (arrows) の向きに行う.

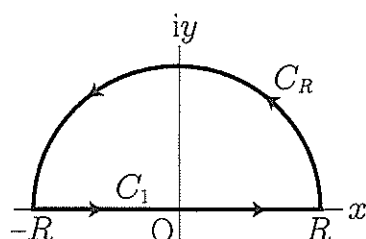


図 1

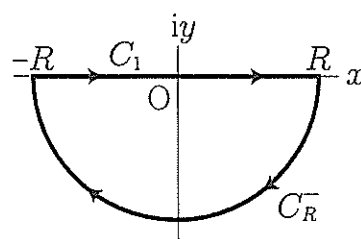


図 2

(a)  $f(z)$  の 1 位の極 (poles of order 1) をすべて求めよ.

(b) 閉曲線  $C$  に沿って次の周回積分 (contour integral)  $I_1$  を求めよ.

$$I_1 = \oint_C f(z) dz$$

(c) 閉曲線  $C^-$  に沿って次の周回積分  $I_2$  を求めよ.

$$I_2 = \oint_{C^-} f(z) dz$$

(d)  $a > 0$  の場合,  $C_R$  上の積分について

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \left| \int_{C_R} f(z) dz \right|$$

を求めよ. さらに,  $a < 0$  の場合,  $C_R^-$  上の積分について

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \left| \int_{C_R^-} f(z) dz \right|$$

を求めよ.

(ii) 定積分 (definite integral)

$$I_3 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{iax}}{x^2 + b^2} dx$$

を以下のそれぞれの場合について求めよ.

(a)  $a > 0$  のとき

(b)  $a < 0$  のとき

(iii) 定積分

$$I_4 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos ax}{x^4 + 1} dx$$

を求めよ. ただし,  $a > 0$  とする.

a—2 [この問題は長さ 1 ページである.]

正の実変数 (positive real variable)  $x$  の 実関数 (real function)  $y(x)$  に関する 2 階常微分方程式 (second-order ordinary differential equation)

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + ax \frac{dy}{dx} + by = f(x) \quad (1)$$

について以下の設問に答えよ. ただし,  $f(x)$  は変数  $x$  の実関数であり,  $a, b$  は 実定数 (real constants) である.

(i)  $f(x) = 0$  とする.

(a)  $y = x^\lambda$  と仮定することで,  $\lambda$  が満たすべき 方程式 (equation) を求めよ.

(b)  $a = 4, b = -4$  の場合に, 問 (a) で求めた方程式の解を用いて, 式 (1) に対する 一般解 (general solution) を求めよ.

(c)  $a = -5, b = 9$  の場合に, 問 (a) で求めた方程式の解を用いて, 式 (1) に対する 特殊解 (particular solution) を一つ求めよ. さらに 定数変化法 (method of variation of parameters) を用いて, 互いに 線形独立な (linearly independent) 特殊解をもう一つ求め, 一般解を示せ.

(ii)  $f(x) = 3(\log x)^2 + 5 \log x$  とする.

(a) 変数変換 (change of variables)  $x = e^t$  により,  $Y(t) = y(e^t)$  とする. 式 (1) を  $Y(t)$  に関する 定数係数常微分方程式 (ordinary differential equation with constant coefficients) に変換できることを示せ.

(b)  $a = -5, b = 9$  の場合に, 一般解  $Y(t)$  を求めよ.

a-3 [この問題は長さ1ページである.]

時刻  $t = 0$  において、真空 (vacuum) 中に、図1のように  $y$  軸上に無限長直線状導線 (infinitely-long straight conducting wire) と、導線に近い方の辺を  $x = d > 0$  にもつ一巻き長方形コイル (rectangular coil) とが  $xy$  平面内に存在している。ただし、導線の太さは無視する。長方形コイルの  $x$  軸、 $y$  軸に平行な辺の長さはそれぞれ  $a$ ,  $b$  である。無限長直線状導線に直流電流 (direct electric current)  $I$  が流れているとき、以下の設問に答えよ。ただし、真空の透磁率 (permeability) を  $\mu_0$  とし、長方形コイルの抵抗は十分に大きく、電磁誘導 (electromagnetic induction) により長方形コイルに流れる電流は無視できるものとする。

(i) 長方形コイルが固定されている場合を考える。

- 長方形コイル内の点  $P(x, y)$  の磁界 (magnetic field) の大きさを求めよ。
- 長方形コイルに鎖交する磁束 (magnetic flux interlinkage) を求めよ。
- 無限長直線状導線と長方形コイルとの間の相互インダクタンス (mutual inductance) を求めよ。

(ii) 図2のように長方形コイルが  $x$  軸に沿って正の向きに一定の速さ  $v$  で移動する場合を考える。長方形コイルの導線に近い方の辺の位置が  $x = d + vt$  で与えられるとき、 $t > 0$  における長方形コイルに発生する誘導起電力 (induced electromotive force) を求めよ。

(iii) 図3のように長方形コイルが  $y$  軸を中心に角速度 (angular velocity)  $\omega$  で回転 (rotate) する場合を考える。

- 長方形コイルに発生する誘導起電力を求めよ。
- 回転する長方形コイルが一周するとき、切り取る空間に蓄えられている磁気エネルギー (magnetic energy) を求めよ。

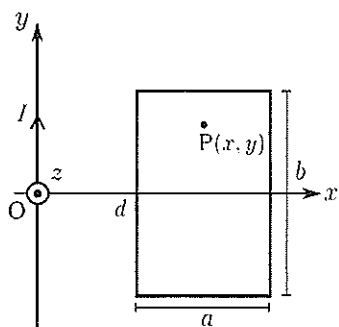


図1

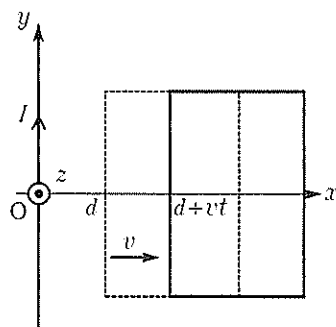


図2

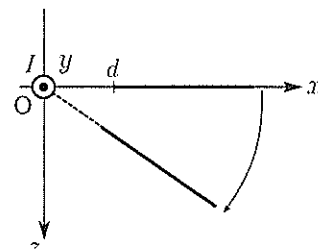


図3

a—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 のような角周波数 (angular frequency)  $\omega$  の交流電圧源 (AC voltage source) を含む回路について, 以下の問に答えよ.

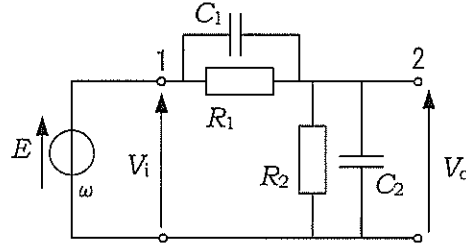


図 1

- (a)  $G(\omega) = V_o/V_i$  を求めよ.
- (b)  $G(\omega)$  が周波数に無依存 (independent of frequency) で一定となるための  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  の条件を求めよ.
- (c)  $R_1 = R_2 = 50 \, \Omega$ ,  $C_1 = 0.2 \, \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 0.1 \, \mu\text{F}$  のとき,  $\omega = 0$  および  $\omega \rightarrow \infty$  の  $G(0)$  および  $G(\infty)$  の大きさ (magnitude) と位相 (phase) を求めよ.
- (ii) 図 2 のような, 特性インピーダンス (characteristic impedance)  $Z_0 = 50 \, \Omega$ , 長さ  $l = 1.5 \, \text{m}$  の無損失伝送線路 (lossless transmission line) を含む回路を考える. 信号は光速 (speed of light)  $c \simeq 3.0 \times 10^8 \, \text{m/s}$  で伝搬するものとする. また,  $R = 100 \, \Omega$ ,  $R_L = 50 \, \Omega$ ,  $C = 20 \, \text{pF}$  とする. スイッチ S を開いて十分に時間がたった後, 時刻  $t = 0$  にスイッチ S を閉じた.
- (a) スイッチ S を閉じた直後の電圧  $v_2(+0), v_3(+0)$  を求めよ.
- (b) 十分に時間がたった後の電圧  $v_2(\infty), v_3(\infty)$  を求めよ.
- (c) 図中の電圧  $v_1(t), v_2(t), v_3(t)$  を求め, 波形を 1 枚のグラフに図示せよ.

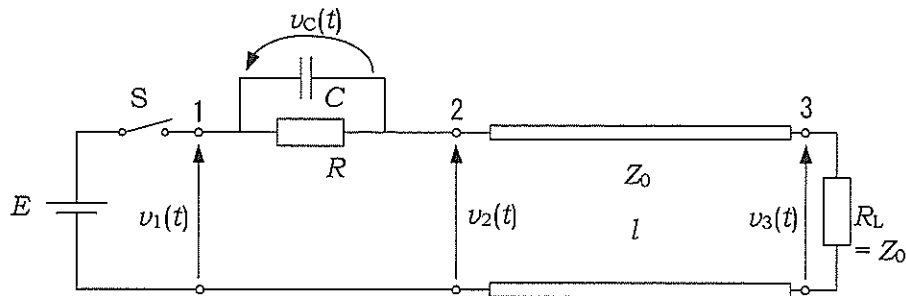


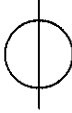

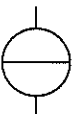
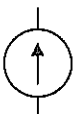












図 2

a—5 [この問題は長さ1ページである.]

面心立方格子 (face-centered cubic lattice) の格子面 (lattice plane) とその原子配置 (atomic arrangement) について以下の設問に答えよ。ただし、格子定数 (lattice constant) を  $a$  とし、各格子点には原子1個が存在するものとする。

- (i) 単位格子 (unit cell) に含まれる原子の配置を図示せよ。このとき、単位格子を構成する原子が重ならないように描くこと。
- (ii) 単位格子に含まれる原子の数を求めよ。
- (iii) 面心立方格子の構造をとる結晶の (111) 面に関する以下の問に答えよ。
  - (a) 単位格子において、(111) 面を示せ。
  - (b) 結晶内では、(111) 面と等価な (equivalent) 面が多数、層状に重なっている。問 (a) で描いた (111) 面に隣り合うもうひとつの (111) 面を問 (a) で描いた図に重ねて描け。
  - (c) 隣り合う (111) 面の面間隔 (interplanar spacing) を格子定数  $a$  を用いて表せ。
  - (d) (111) 面に垂直な方向から (111) 面一層を見たときの原子配置を平面図に黒丸で示せ。図に描く範囲は、ある原子を基準として、その原子と同じ面内の、最近接原子 (the nearest neighbor) および第二近接原子 (the second nearest neighbor) とする。
  - (e) (111) 面に対して垂直な方向から見ると隣り合う等価な面の原子位置は重ならない。問 (d) で描いた (111) 面の隣の (111) 面の原子がどの位置にくるかを、問 (d) で描いた原子配置の図に重ねて白丸で示せ。
  - (f) (111) 面と等価な面が何層か積層されると、一層目と原子位置が重なる層が現れる。何層目でそのような層が現れるか理由を付して答えよ。
  - (g) 面心立方格子の (111) 面のような原子配置の層が問 (f) とは異なる周期で繰り返される結晶構造にどのようなものがあるか述べよ。また、その結晶構造においては何層目で原子位置が重なるか述べよ。

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)		 



2023 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：2022 年 8 月 5 日(金) 13 時 00 分～15 時 30 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。

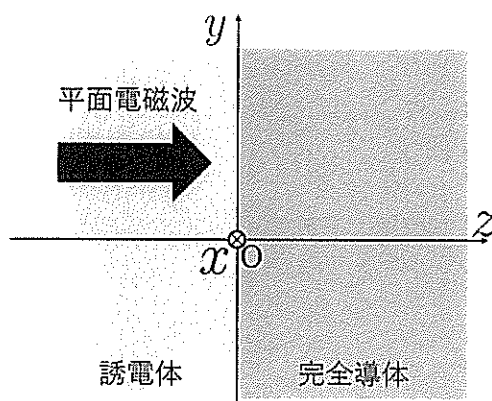
**b—1** [この問題は長さ1ページである.]

媒質 (medium) 中を  $z$  方向に進行する平面電磁波 (plane electromagnetic wave) を考える。ただし、媒質の誘電率 (permittivity) を  $\epsilon$ 、透磁率 (permeability) を  $\mu$ 、導電率 (conductivity) を  $\sigma$  とする。また、この平面電磁波の電界 (electric field) を  $\mathbf{E}$ 、磁束密度 (magnetic flux density) を  $\mathbf{B}$ 、角周波数 (angular frequency) を  $\omega$ 、波数 (wave number) を  $k$  とする。なお、虚数単位は  $j$  とする。

(i) 媒質が均質 (uniform) である場合を考える。

- (a) この平面電磁波の電界と磁束密度は位置  $z$  と時刻  $t$  だけの関数であらわすことができる。媒質内でオームの法則 ( $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ ) が成り立つとき、Maxwell 方程式の各式に対応した、この平面電磁波の電界および磁束密度に対して成り立つ式を成分ごとに示せ。ここで、 $\mathbf{J}$  は電流密度 (current density) である。
- (b) 問 (a) で求めた関係式を用いて、媒質内の平面電磁波の電界に対する方程式 (電信方程式 (telegraphic equation)) を求めよ。
- (c) この平面電磁波は、 $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \exp[j(\omega t - kz)]$  と書けるとする。ここで、 $\mathbf{E}_0$  は定ベクトル (constant vector) である。このとき、問 (b) で求めた方程式を用いて、 $k$  を求めよ。また、求めた  $k$  からこの平面電磁波の伝搬に関して分かることを述べよ。

(ii) 図のように、均質な誘電体 (dielectric material) ( $\sigma = 0$ ) から完全導体 (perfect conductor) ( $\sigma = \infty$ ) に平面電磁波  $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \exp[j(\omega t - kz)]$  が垂直に入射する場合を考える。ここで、 $\mathbf{E}_0$  は定ベクトルである。誘電体側に生じる定在波 (standing wave) の電界成分を求めよ。また、電界強度が極大となる、完全導体側に最も近い  $z$  座標を、平面電磁波の誘電体中の波長 (wavelength)  $\lambda$  であらわせ。



**b**—**2** [この問題は長さ2ページである.]

バイポーラ・トランジスタ (bipolar transistor) を用いた増幅回路 (amplifier circuit) に関する以下の設問に答えよ. バイポーラ・トランジスタは, ベース (base), エミッタ (emitter) およびコレクタ (collector) の3つの端子をもち, ベース・エミッタ間電圧  $v_{BE}$  に対してコレクタ電流  $i_C$  が,  $i_C = I_S \exp\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right)$  にしたがって出力される. ここで,  $I_S$  と  $V_T$  は定数である. バイポーラ・トランジスタの特性はすべての設問で同じとする. ベース領域の内部抵抗は0とし, ベース電流は十分小さく, エミッタ電流とコレクタ電流は等しいとして解答せよ. 電源はすべて理想的 (ideal) とする.

(i) 図1はエミッタ接地回路 (common-emitter circuit) である. ベースにはバイアス電圧 (bias voltage)  $V_{BQ}$  に加えて信号電圧 (signal voltage)  $\Delta v_B$  を入力する. コレクタ電流のバイアス成分と信号成分をそれぞれ  $I_{CQ}$ ,  $\Delta i_C$  とする. コレクタ電圧の信号成分  $\Delta v_C$  を出力とする.

(a) 十分小さい信号成分, すなわち小信号 (small signal) に対して, バイポーラ・トランジスタは, ベース・エミッタ間電圧の信号成分  $\Delta v_B$  を入力,  $\Delta i_C$  を出力とする, 相互コンダクタンス (mutual conductance)  $g_m$  の線形電圧制御電流源 (linear voltage-controlled current source) として扱うことができる.  $g_m$  を  $I_{CQ}$  と  $V_T$  で表せ.

(b) 小信号に対する電圧増幅率 (voltage gain)  $A_v = \frac{\Delta v_C}{\Delta v_B}$  を求めよ.  $g_m$  を用いて解答してよい.

(c)  $\Delta v_B$  が小信号ではなくなると,  $\Delta i_C$  にはひずみ (distortion) が現れる. ひずみが現れることを定性的に示すために,  $i_C$  の特性を  $i_C = I_S \exp\left(\frac{V_{BQ} + \Delta v_B}{V_T}\right)$  として, バイアス点 ( $V_{BQ}$ ,  $I_{CQ}$ ) における  $\left(\frac{\Delta v_B}{V_T}\right)^n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) による展開で表せ. 展開は3次まででよい. また,  $\exp x$  の3次までのテイラー展開 (Taylor's expansion)  $\exp x \sim 1 + x + \frac{1}{2!}x^2 + \frac{1}{3!}x^3$  を用いてよい.

(ii) 図2に示す差動増幅回路 (differential amplifier circuit) に関する以下の問に答えよ. 入力差電圧 (differential voltage) を  $v_{dif} = v_{B1} - v_{B2}$ , 入力平均電圧 (common voltage) を  $v_{com} = \frac{v_{B1} + v_{B2}}{2}$  とする.

(a) 入力電圧  $v_{B1}$ ,  $v_{B2}$  を,  $v_{dif}$  と  $v_{com}$  で表せ.

(b) コレクタ差電流  $i_{C1} - i_{C2}$  と和電流  $i_{C1} + i_{C2}$  を,  $v_{dif}$ ,  $v_{com}$  と  $v_E$  を含む式で表せ. ただし, ここでは小信号とは限らないので  $g_m$  は用いないこと.

(c) コレクタ和電流は  $i_{C1} + i_{C2} = \boxed{\text{ア}}$  とも表せる.  $\boxed{\text{ア}}$  にあてはまるものを答えよ.

- (d)  $v_{B1} = v_{B2}$  としてバイアスコレクタ電流  $I_{CQ1}$ ,  $I_{CQ2}$  を求め,  $I_0$  を用いて表せ.
- (e)  $v_{dif}$  が一定のもとで  $v_{com}$  が変動した場合を考える. 変動の大きさを  $\Delta v_{com}$  とするとき,  $i_{C1} + i_{C2}$  および  $v_E$  がどう変動するかを述べよ.
- (f) 問(b)で求めた  $i_{C1} - i_{C2}$  を表す式から  $v_{com}$  と  $v_E$  を消去し,  $i_{C1} - i_{C2}$  を  $\exp\left(\frac{v_{dif}}{2V_T}\right)$ ,  $\exp\left(-\frac{v_{dif}}{2V_T}\right)$  を用いて表せ.
- (g) 差動増幅回路の入力差電圧に対する出力, すなわちコレクタ差電流は, 設問(i)のエミッタ接地回路における出力コレクタ電流と比べて, ひずみが小さい. その定性的な説明として, 設問(i)問(c)で記載した  $\exp x$  の3次までのテイラー展開を用いて, 問(f)で求めた出力差電流  $i_{C1} - i_{C2}$  に  $\frac{v_{dif}}{2V_T}$  の2次の項が現れないことを示せ.

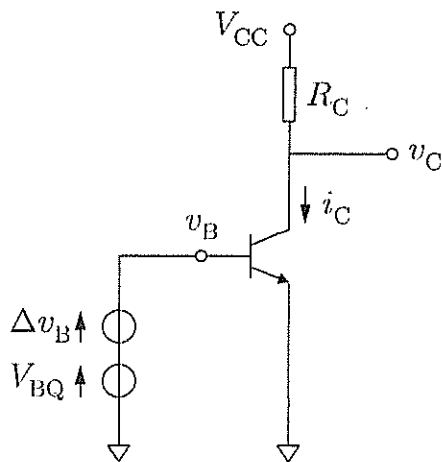


図 1

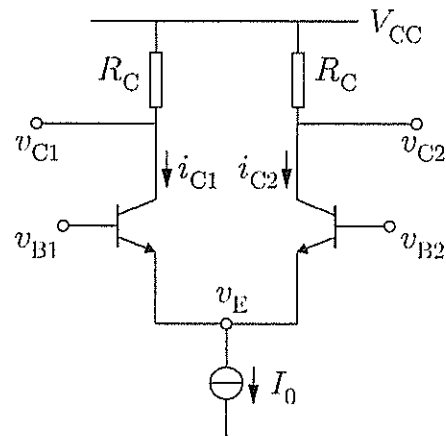
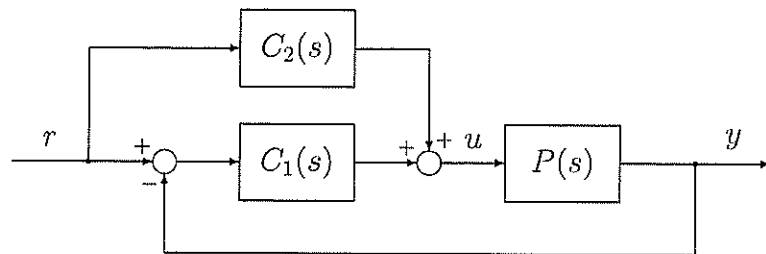


図 2

**b—3** [この問題は長さ 1 ページである.]

下図で与えられる フィードバック制御系 (feedback control system) を考える. ただし,  $P(s)$  は 制御対象 (controlled object) の 伝達関数 (transfer function),  $C_1(s), C_2(s)$  は 2 自由度制御装置 (two-degree-of-freedom controller) の伝達関数を表している. また,  $r$  は 目標値 (reference),  $u$  は 操作量 (manipulating variable),  $y$  は 制御量 (controlled variable) である.  $P(s) = \frac{2}{s^2 + 8s + 6}$  として, 以下の設問に答えよ.



- (i) 制御対象の単位ステップ応答 (unit step response) について, それが時間の経過とともに適当な値  $S$  に収束するかどうか答えよ. 収束するのであれば,  $S$  の値がいくらであるかも含めて答えよ. ただし, 応答を直接計算せずに, 簡潔な理由を付すか, もしくは, より簡潔な計算のみを用いて答えること.
- (ii)  $C_1(s) = K, C_2(s) = 0$  とする. 図のフィードバック制御系の 極 (poles) すべてが互いに一致するときの実数  $K$  を求め, その  $K$  を用いたときの単位ステップ目標値  $r$  に対する  $y$  の応答を求めよ.
- (iii)  $C_1(s) = K_1 \left(1 + \frac{1}{T_1 s}\right), C_2(s) = K_2$  とする. ただし,  $T_1 (> 0), K_1, K_2$  は 実定数 (real constants) である.  $C_1(s)$  および  $C_2(s)$  に対する ボード線図 (Bode diagrams) の概形を描け. それらの特徴を表す ゲイン (gain), 位相 (phase), 角周波数 (angular frequency), 漸近線 (asymptote) がわかるように説明を付すこと.
- (iv) 設問 (iii) の  $C_1(s), C_2(s)$  を用いるものとする.
  - (a)  $K_1, K_2, T_1$  がどのような条件を満たせば図のフィードバック制御系は 安定 (stable) であるかを答えよ.
  - (b) この制御装置を用いることにはどのような利点があるかを, 単位ステップ目標値に対する  $y$  の応答の観点から答えよ.

b—4 [この問題は長さ2ページである.]

半導体における光の吸収 (absorption) に関する以下の設問に答えよ. ただし, プランク定数 (Planck constant) を  $h$ , ディラック定数 (Dirac constant) を  $\hbar \left( = \frac{h}{2\pi} \right)$ , 素電荷 (elementary charge) を  $e$ , 真空中の光速 (speed of light in vacuum) を  $c$  とする.

(i) 光の粒子性 (particle property) と波動性 (wave property) に関する下記の問に答えよ.

(a) 光子 (photon) のエネルギー (energy)  $\varepsilon$  と光波の角周波数 (angular frequency)  $\omega$  の間に成り立つ関係を書け.

(b) 光子の運動量 (momentum)  $p$  と光波の波数 (wavenumber)  $k$  の間に成り立つ関係を書け.

(c) 光子のエネルギーと運動量の間に成り立つ関係を書け.

(ii) 半導体におけるバンド間遷移 (interband transition) を考える. 下記の問に答えよ.

(a) 直接遷移型 (direct bandgap) 半導体と間接遷移型 (indirect bandgap) 半導体について, 横軸を波数, 縦軸をエネルギーとしたバンド図 (band diagram) を描け. 図のどの部分がそれぞれのバンドギャップ (bandgap) に相当するのかも示すこと.

(b) 次の文章における(ア)~(キ)に当てはまる言葉を示せ.

光吸収にともなう電子の遷移においては, 系全体の(ア)と(イ)が遷移の前後で保存される必要がある.

バンド図における(ウ)の頂上と(エ)の底の波数が一致している半導体の場合, バンドギャップ程度のエネルギーをもつ光子の吸収にともなって(ウ)から(エ)に電子が遷移する際に, 電子の(オ)が大きく変化する必要がない. これは通常の光吸収過程においては, 光子の(イ)は電子の(イ)の変化に対して十分小さいためである. よって, 電子と光子の2体の相互作用 (interaction) のみによって光学遷移が生じ得る.

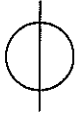

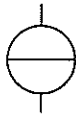
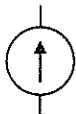




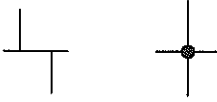

これに対して, (ウ)の頂上と(エ)の底の波数が一致していない半導体の場合, バンドギャップ程度のエネルギーをもつ光子の吸収にともなう電子遷移において, 電子の(オ)が(カ)する必要がある. そこで系全体の(イ)を保存するために, (キ)と相互作用して電子の(イ)の変化分を(キ)から受け取る必要がある. この過程は電子, 光子, (キ)の3体の衝突となるため, 光学遷移確率が大幅に小さい.

(iii) 波長 (wavelength)  $0.8 \mu\text{m}$  の光に対する吸収係数 (absorption coefficient) が  $1500 \text{ cm}^{-1}$  の半導体に対して, 波長  $0.8 \mu\text{m}$  の光が垂直に入射したとき, その内部での強度が

1/100 に減衰するまでの侵入距離を求めよ。ただし表面および裏面での光反射は無視できるものとする。また  $x$  の自然対数  $\ln(x)$  について、 $\ln(10) = 2.30$  という近似を用いてよい。

- (iv) 波長  $\lambda$ , 強度 (intensity)(単位面積あたりの電力)  $I_{\text{in}}$ , ビーム断面積 (beam cross section)  $S$  の定常 (continuous wave) 光が, 厚さ  $d$  の半導体に垂直に入射する場合を考える。半導体中ではバンド間吸収によってのみ光吸収が生じるものとし, その光吸収係数を  $\alpha(\lambda)$  とする。また, 表面および裏面での光反射は無視できるものとする。下記の問に答えよ。
- (a) 定常状態 (steady state) において, この半導体に吸収される光の電力 (power) を求めよ。
  - (b) この光吸収による電子の生成率 (generation rate)  $g$  (単位時間かつ単位体積あたりに生成される電子数) を求めよ。
  - (c) 過剰キャリアの寿命 (lifetime) を  $\tau$ , 移動度 (mobility) を  $\mu$  として, 定常状態における, 光照射によって生成された電子による導電率 (conductivity) の増加分  $\Delta\sigma$  を求めよ。
- (v) 太陽電池 (solar cell) について考える。ただし, 逆方向飽和電流 (reverse saturation current) を  $I_0$ , ボルツマン定数 (Boltzmann constant) を  $k_B$ , 温度 (temperature) を  $T$ , 光生成電流 (photocurrent) を  $I_L$  とし, 理想係数 (ideality factor) ( $n$  値) は 1 としてよい。下記の問に答えよ。
- (a) 太陽電池の動作を示すバンド図を描け。
  - (b) 太陽電池に流れる電流 ( $I$ ) と両端の電圧 ( $V$ ) の関係を式で示せ。
  - (c) 開放電圧 (open-circuit voltage)  $V_{\text{OC}}$  を求めよ。
  - (d) 短絡電流 (short-circuit current)  $I_S$  を求めよ。
  - (e) 太陽電池の光電変換効率 (power conversion efficiency) を向上させる方法を議論せよ。

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)	