

電子光科学 - II

次の[III-1]から[III-5]までの5問についてそれぞれ別の答案用紙に答えよ。なお、各問題に2枚以上の答案用紙を用いる場合は、「[III-1] (2枚目)」などのように明記せよ。

[III-1]

図1, 2に示す角周波数 ω 、起電力 E_1, E_2 （複素数表示）の電圧源、インピーダンス Z_1, Z_2 、相反な2端子対回路 N から構成される回路について以下の問いに答えよ。なお、図1において端子対 aa' から右を見たインピーダンスは Z_1 、図2において端子対 bb' から左を見たインピーダンスは Z_2 と等しくなっている。ただし、2端子対回路 N の4端子定数は A, B, C, D であり、端子間の電圧と端子を流れる電流は、図に示すように定める。

- (1) Z_1, Z_2 を、それぞれ4端子定数を用いて求めよ。
- (2) 図1の端子 b を流れる電流 I_2 と図2の端子 a を流れる電流 I_1' が等しくなる時、電圧源の起電力 E_1 と E_2 との関係を示せ。
- (3) 2端子対回路 N を図3に示すインピーダンス Z_3, Z_4 からなる π 型フィルタ回路として、図1の回路を考える。ただし、 Z_3, Z_4 はキャパシタ C 、インダクタ L のいずれか一方から構成されている。ここで、伝達定数 θ を $e^\theta = \sqrt{(V_1 I_1)/(V_2 I_2)}$ と定義し、実数 α, β 、虚数単位 j を用いて $\theta = \alpha + j\beta$ と表した時、 $\alpha = 0$ を満たす周波数帯域をフィルタの通過域、また $\alpha > 0$ を満たす周波数帯域を減衰域と呼ぶ。
 - a) 4端子定数 A, B, C, D を、それぞれ Z_3, Z_4 を用いて求めよ。
 - b) e^θ を4端子定数 A, B, C, D を用いて求め、 $\cosh \theta = A$ となることを示せ。
 - c) 通過域における β 、減衰域における α, β を求めよ。
必要ならば、 $\cosh(\alpha + j\beta) = \cosh \alpha \cos \beta + j \sinh \alpha \sin \beta$ の関係を用いよ。
 - d) π 型フィルタ回路を用いて、低域通過フィルタを構成したい。 Z_3, Z_4 に用いる素子を示し、低域通過フィルタにおける通過域の周波数範囲を示せ。

(配点35点)

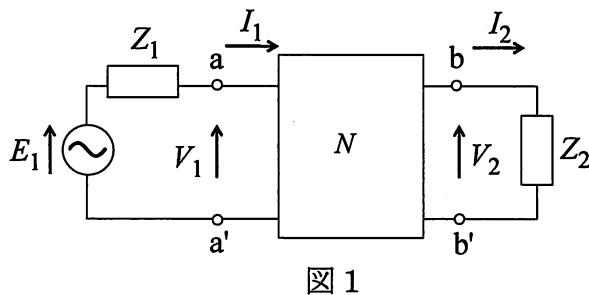


図1

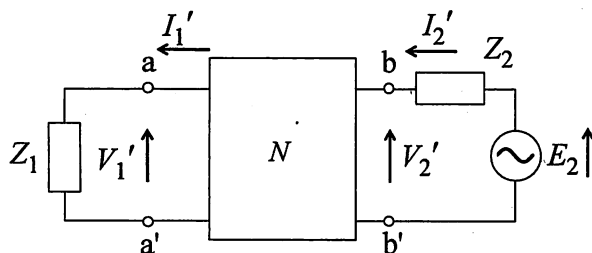


図2

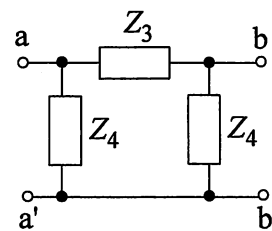


図3

[II-2]

図1に示すバイポーラトランジスタ，抵抗，キャパシタ，直流電圧源からなるエミッタ接地回路を考える． v_1 は入力交流信号の電圧， v_2 は出力信号の電圧， I_b はベース電流， V_{be} はベース-エミッタ間電圧である．ここで，トランジスタのエミッタ接地電流増幅率を β ， I_b の交流成分を i_b とする．ただし，各キャパシタのインピーダンスは入力信号の周波数帯において，十分に小さいものとする．以下の問いに答えよ．

(1) トランジスタは， v_1 の振幅が十分に小さい範囲では，線形な等価回路に置き換えることができる．

a) 図1の小信号交流等価回路を図示せよ．ただし，トランジスタは，電流源 βi_b とエミッタ接地におけるベースから見た入力抵抗 r_i からなる等価回路として表わせ．

b) 電圧利得 $A (= v_2/v_1)$ を求めよ．

(2) トランジスタのベース電流が $I_b = a\{\exp(bV_{be})-1\}$ (a, b は定数)と表わされる場合を考える．ただし，コレクタ電流の交流成分は βi_b である． V_{be} の直流成分を V_{be0} とせよ． v_1 が信号波の電圧 $v_s = V_s \cos(\omega_s t)$ と搬送波の電圧 $v_c = V_c \cos(\omega_c t)$ の和であるとき， v_2 には振幅変調波成分 $k\{1+m\cos(\omega_s t)\}\cos(\omega_c t)$ が含まれることを示し， k と m を求めよ．ここで， k は定数， m は変調度である．ただし， $|bv_1| \ll 1$ である．なお， $|x| \ll 1$ のときには， $\exp(x) \approx 1+x+x^2/2$ とせよ．

(配点20点)

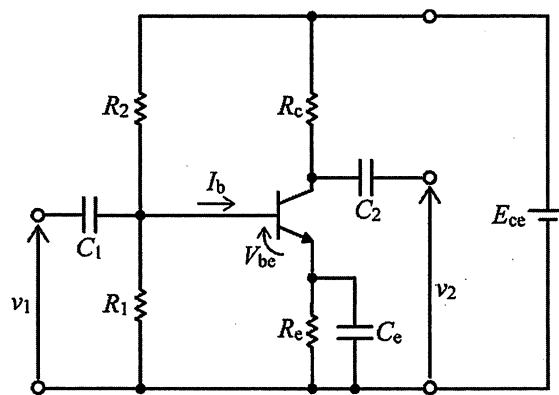


図1

[II - 3]

図1に示すJKフリップフロップ(JK-FF), AND回路, NOR回路からなる2進数4桁のデジタルカウンタ回路について考える. 以下の問いの解答は, 問II-3と書かれた答案用紙に記載せよ.

- (1) 図2に示すようなクロック信号を与えた時の出力A, B, C, Dの時間変化を, 答案用紙に記載されている時間-出力 (Hレベル, Lレベル) グラフ中に, 各々書き表わせ. ただし, 出力A, B, C, Dの初期値はすべてLレベルである. また, クロック信号において, i 番目のクロックパルスの立ち上がり及び立ち下がり時刻をそれぞれ t_{ui} , t_{di} とする.
- (2) この2進数4桁デジタルカウンタ回路において, 出力A, B, C, Dはそれぞれカウンタ数の何桁目の数字に対応するのか述べよ. ただし, Hレベル, Lレベルを各々1, 0と対応させるものとする. また, 出力Zはどのような条件でHレベルとなるのかを述べよ.
- (3) 回路が正しく動作するためのデジタルカウンタ回路の最大動作周波数を有効数字2桁で求めよ. AND回路, NOR回路の伝搬遅延時間は, 共に8 nsである. また, JK-FFにおいて, 最大動作周波数は25 MHz, クロック信号に対する出力Q, \bar{Q} のホールド時間, セットアップ時間, 伝搬遅延時間の最大値, 伝搬遅延時間の最小値は, 各々5 ns, 25 ns, 40 ns, 25 nsである.

(配点20点)

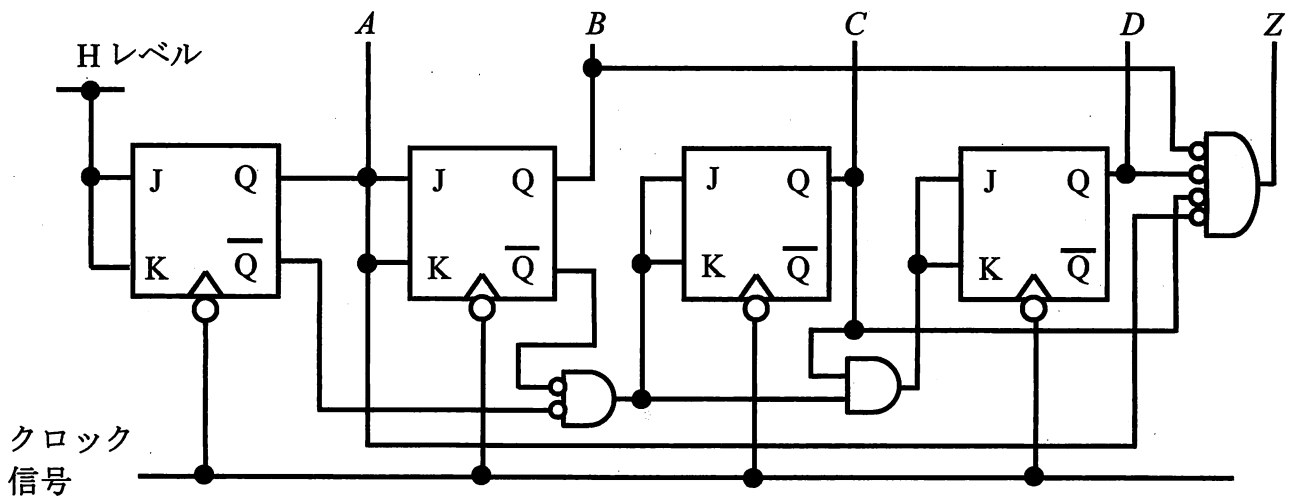


図1

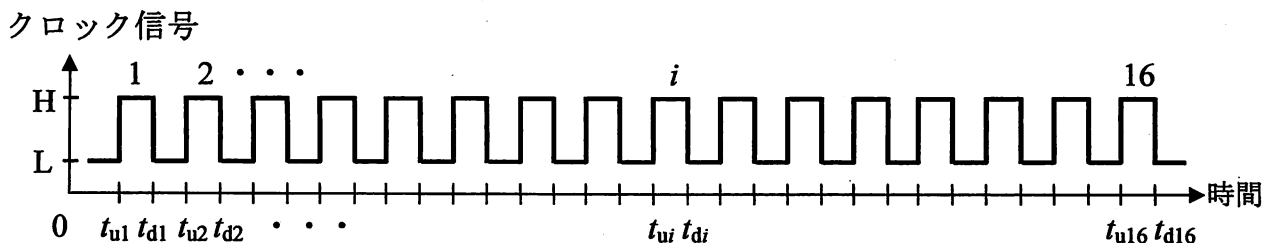
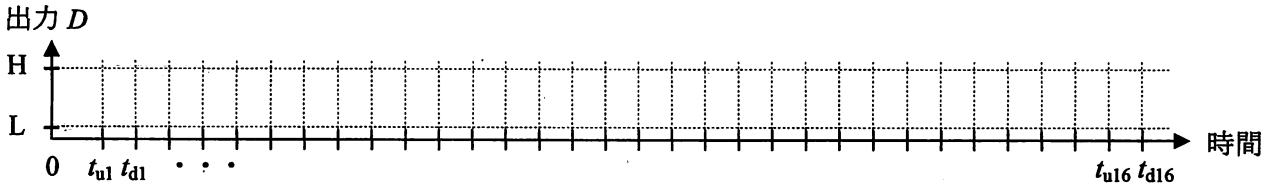
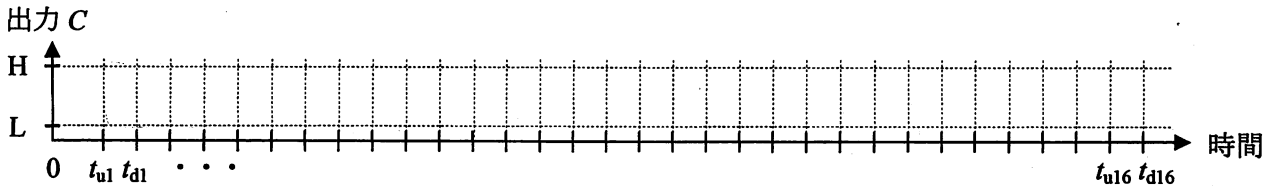
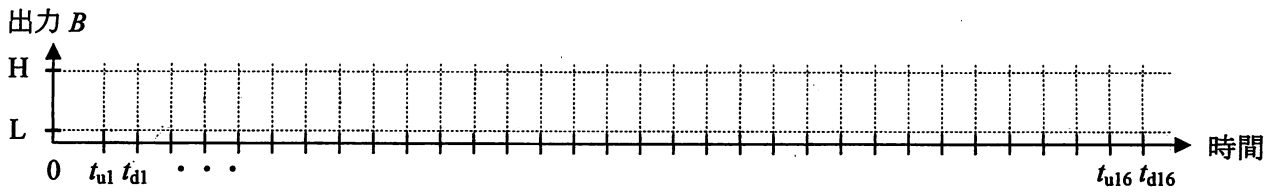
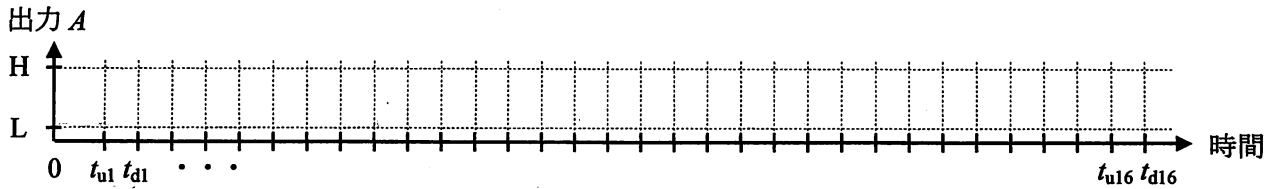


図2

受験科目名	志望専攻領域名		受験番号	※ 成績 点
	専攻 領域	創成専攻 領域		

問 II - 3

(1)



(2)

(3)

[II-4]

- (1) 3次元自由粒子（質量 m ，エネルギー E ，スピン縮退度 2）の単位体積あたりの状態密度は

$$\frac{8\sqrt{2}\pi}{h^3} m^{3/2} E^{1/2}$$

であることを示せ。ただし、 h はプランク定数である。

- (2) 絶対温度 T ($\neq 0$) で熱平衡状態にある非縮退半導体（伝導帯端のエネルギー，価電子帯端のエネルギー，フェルミエネルギーを、それぞれ、 E_C ， E_V ， E_F とする）について考える。半導体中の電子のエネルギーを E ，ボルツマン定数を k とする。また，伝導帯の電子と価電子帯の正孔は，有効質量が，それぞれ， m_e ， m_h の自由粒子と考えて良いとする。

- a) 伝導帯の電子および価電子帯の正孔の状態密度と，フェルミ・ディラックの分布関数を考慮し，単位エネルギーあたりの電子密度および正孔密度を E の関数として概略を図示せよ。ただし， E_C ， E_V ， E_F を図中に明示すること。

- b) フェルミ・ディラックの分布関数をマクスウェル・ボルツマンの分布関数で近似し，積分公式

$$\int_0^{\infty} \sqrt{x} e^{-x} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

を用いて，伝導帯の電子密度と価電子帯の正孔密度を求めよ。

(配点 35 点)

[II-5]

エネルギーが数 MeV~10 MeV 程度の α 粒子は, Si の中に数十 μm 程度侵入し, その過程で衝突イオン化によって電子正孔対を生成することが知られている. 下の図は逆バイアスした半導体 pn 接合を利用してこの電子正孔対による信号を測定することにより, 放射線を検出するための固体検出器の模式図である. 図中の R は直列抵抗, V はバイアス電圧である.

- (1) まず, 放射線が照射されていない場合について考える. n 領域のドナー濃度 N_D と p 領域のアクセプタ濃度 N_A の間に, $N_D \gg N_A$ の関係があるとき, 空乏層幅と接合容量を求めよ. ただし, すべてのドナーとアクセプタはイオン化しているとし, n 領域も p 領域も空乏層幅に比べて厚いとす. また, 電気素量を q とし, この半導体の誘電率, pn 接合の拡散電位, 断面積を, それぞれ, ϵ , V_D , S とする.
- (2) 次に, ひとつの α 粒子が検出器に入った場合について考える. α 粒子が Si に侵入すると電子正孔対を 1 対つくるたびに E_i (数 eV 程度の定数) のエネルギーを失うとし, それ以外の機構による α 粒子のエネルギーの減衰は無視できるとする. さらに, α 粒子のすべてのエネルギーは空乏層内で消費されるとし, 空乏層内でのキャリアの拡散・再結合は無視できるとする.
- (a) エネルギー E_α のひとつの α 粒子が検出器に入り, 生成されたすべての電子と正孔が pn 接合の空乏層内の電界により空乏層端に分離された直後について考える. 逆バイアスされた pn 接合の容量は α 粒子の侵入により変化しないと仮定し, 図中の電圧 V_{out} の α 粒子侵入前からの変化分 ΔV_{out} を求めよ.
- (b) 問い(2)(a)の電圧変化は, 十分な時間が経つと元の状態に緩和する. このときの時定数 τ を求めよ. ただし, R は半導体の空乏層以外の部分の抵抗に比べて十分大きいとする.
- (c) エネルギー E_α のひとつの α 粒子が検出器に侵入したときにオシロスコープで観測される波形の概略をかけ. ただし, 電子正孔対が pn 接合の空乏層内の電界によって分離される時間は, τ に比べて十分短いとする.

(配点 40 点)

