

北海道大学大学院情報科学研究科
情報エレクトロニクス専攻入学試験
平成 29 年 8 月 24 日 10:00～12:00

専門科目 1

受験上の注意

- ・机の上に置いてよいものは、筆記用具(鉛筆, 消しゴム, 鉛筆削りなど), 時計, 特に指示があったもののみである。
- ・時計は計時機能のみのもので使用し, アラームの使用を禁ずる。
- ・電卓, 電子手帳, 辞書の使用を禁ずる。
- ・携帯電話等の情報通信機器類は, 必ずアラームの設定を解除した上で電源を切っておくこと。
- ・問題冊子は本表紙を含め 7 枚ある(2 枚目は白紙)。問題は, [1](応用数学), [2](半導体デバイス工学), [3](電磁気学), [4](電気回路), [5](電子回路), について各1ページである。問題冊子は回収しない。
- ・答案用紙の枚数は3枚である。[1]～[5]の計5問の中から3問選択し, 1枚につき1問を解答すること。
- ・答案用紙の裏面を使用してもよいが, その場合, 「裏面記載あり」と答案用紙おもて面の右下に記載すること。
- ・選択した問題の番号, 受験番号の誤記, 記入もれがないか, 各答案用紙を十分に確かめること。これらを別紙の選択問題チェック票にも記入し, 提出すること。
- ・草案紙の枚数は3枚である。草案紙は回収しない。

[1] 応用数学

1. 任意の正方行列 \mathbf{A} は、エルミート行列 \mathbf{H} と歪エルミート行列 \mathbf{S} の和 ($\mathbf{A} = \mathbf{H} + \mathbf{S}$) として表せる. このとき, 以下の問いに答えよ. ただし, i は虚数単位, \mathbf{M}^\dagger は行列 \mathbf{M} の共役転置行列を表すものと定義する.

(1) エルミート行列 \mathbf{H} と歪エルミート行列 \mathbf{S} が, 次のように表されることを示せ.

$$\mathbf{H} = (\mathbf{A} + \mathbf{A}^\dagger)/2, \quad \mathbf{S} = (\mathbf{A} - \mathbf{A}^\dagger)/2$$

(2) $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4+i & -1+2i \\ 3+8i & 7+2i \end{bmatrix}$ とするとき, エルミート行列 \mathbf{H} と歪エルミート行列 \mathbf{S} を求めよ.

(3) (2) で求めたエルミート行列 \mathbf{H} の固有値 λ_1, λ_2 と, その固有ベクトルを求めよ. ただし, $\lambda_1 < \lambda_2$ とする.

2. 以下の問いに答えよ. ただし, $y' = \frac{dy}{dx}$, $y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$ とする. 計算過程を明示すること.

(1) 微分方程式 $y'' + 4y = 0$ の一般解を求めよ. また, 境界条件 $y(0) = 1, y'(\pi/2) = -2$ を満たす特解を求めよ.

(2) 微分方程式 $y'' + 2y' + 2y = 10 \sin x$ の一般解を求めよ.

(3) 関数 $f(t)$ について, ラプラス変換の定義式を示せ. 定義式に基づき, 関数 $f(t) = (t+a)^2$ ($t \geq 0$) のラプラス変換を求めよ. ただし, a は実数とする.

[2] 半導体デバイス工学

1. 半導体の pn 接合（階段接合とする）ダイオードを考える。下記の問いに答えよ。
 - (1) 半導体として Si を考え、n 形中のドナー不純物密度を N_D 、p 形中のアクセプタ不純物密度を N_A 、真性キャリア密度 N_i とし、ドナーおよびアクセプタは全てイオン化しているものとする。 $N_D=3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $N_A=3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、 $N_i=1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ としたときの内蔵電位 V_{bi} を求めよ。温度 T は室温として $k_B T=26 \text{ meV}$ とする。なお、計算した式を示すこと。自然対数はそのまま表記し数値計算しなくて良い。
 - (2) (1)は半導体が Si の場合であるが、よりバンドギャップが大きい GaAs を考えると、内蔵電位 V_{bi} はどのように変化すると予測されるか。その理由を含めて説明せよ。
 - (3) pn 接合ダイオードを用いた発光ダイオードとフォトダイオードについて、それぞれの動作機構を、バンド図を用いて説明せよ。このとき、バンド図中に、伝導帯下端エネルギー E_c 、価電子帯上端エネルギー E_v を明記するとともに、印加電圧の方向を示すこと。また、直接遷移形半導体と間接遷移形半導体によるこれらのダイオードの特性の違いについて簡潔に説明せよ。
2. nチャネルの金属-酸化膜-半導体 (MOS) 電界効果トランジスタについて下記の問いに答えよ。ゲート電圧を V_G 、ドレイン電圧を V_D 、ドレイン電流を I_D 、しきい値電圧を V_{th} とする。
 - (1) V_D が上昇しても I_D が増えなくなる飽和領域が現れる V_D の領域を V_G と V_{th} で示せ。
 - (2) しきい値電圧 $V_{th}=1 \text{ V}$ であり、 $V_G=2 \text{ V}$ のときの飽和電流が 1 mA であるとする。このときの I_D - V_D の関係を、 V_G を 1 V 、 2 V 、 3 V 、 4 V 、 5 V の場合について、ピンチオフ点や飽和電流に注意して図示せよ。横軸 V_D は $0 \sim 5 \text{ V}$ とし、縦軸の I_D は適切に設定すること。
 - (3) MOS 電界効果トランジスタのドレイン電流や相互コンダクタンス向上のためには、構造パラメータと構成する材料の物性パラメータをどのようにすればよいかについて、少なくとも 4 点挙げ説明せよ。

[3] 電磁気学

1. 図1のように有限長の直線導線 AB に電流 I が流れているとき、導線から距離 L の位置 P における磁界の大きさ H はビオ・サバルの法則を用いて求め、式1のようなになる。

$$H = \frac{I}{4\pi L} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \quad (\text{式 1})$$

このことを踏まえて、以下の問いに答えよ。ここで導線は真空中にあり、真空の透磁率を μ_0 とする。

- (1) 半径 a の円 (図2の点線の円) に内接する正 n 角形の導線回路 (図2は正六角形の例) に電流 I を流したとき、中心点 O の H が式2のようなになることを示せ。

$$H = \frac{nl}{2\pi a} \tan \frac{\pi}{n} \quad (\text{式 2})$$

- (2) 式2を用いて、円状導線リング (半径 a) の中心点 O の H を求めよ。
- (3) この半径 a の円状導線リングに電流を流す代わりに、リング面に垂直に一樣磁界 \vec{H} を加えた。磁界、誘導電流の正方向を図3のように定義して、以下の問いに答えよ。ただし、リングの抵抗を R とする。
- (a) このリングを通過する磁束 Φ を求めよ。
- (b) 磁界の大きさが $H = H_0 \cos \omega t$ (H_0, ω は定数, t は時間) のように変化するとき、リングに流れる誘導電流を求めよ。

2. 真空中 (誘電率 ϵ_0) におかれた半径 a の導体球に電圧 V_0 を印加した (図4)。以下の問いに答えよ。

- (1) 導体球の中心から距離 r の位置における電界の大きさ E を求めよ。
- (2) この電圧印加した導体球を、内半径 b 、外半径 c の導体球殻で囲んだ (図5)。このとき、導体球表面の電荷は、球殻の設置前と比べて変化するだろうか。「①増加」、「②減少」、「③変化なし」のいずれになるかについて、理由を説明した上で答えよ。なお、①、②の場合には変化量も答えること。

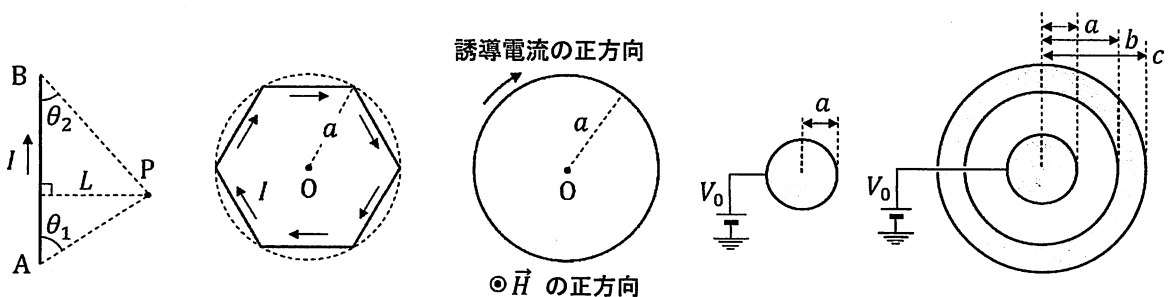


図1

図2

図3

図4

図5

[4] 電気回路

下記の図1および図2に示す回路について、スイッチを(A)に接続して定常状態になった後、時刻 $t=0$ にスイッチの接続を(A)から(B)に切り替える。スイッチが切り替えられた後の過渡応答を考える。このとき、以下の各問に答えよ。答えの導出過程も記せ。

なお、解答には図中に現れる記号(直流電源電圧 E 、抵抗 R 、キャパシタンス C 、インダクタンス L)と t を用いること。また電圧および電流の符号は図の矢印の向きを正にとる。スイッチは瞬時に切り替えられ、切り替えに要する時間はないものとする。

1. 図1に示す回路について、 $t=0$ におけるキャパシタの電圧 $v(0)$ を求めよ。
2. 図1に示す回路について、 $t \geq 0$ での電流 $i(t)$ を求めよ、また、電流 $i(t)$ の時間変化の概要が分かるようにグラフに図示せよ。
3. 2. で求めた過渡現象の時定数を求めよ。
4. 図2に示す回路について、 $t=0$ におけるインダクタの電流 $i(0)$ を求めよ。
5. 図2に示す回路について、電流 $i(t)$ は $t \geq 0$ で振動する。この時の角周波数を求めよ。また電流 $i(t)$ の時間変化の概要が分かるようにグラフに図示せよ。ただし、定常状態ではキャパシタには電荷が無かったものとする。

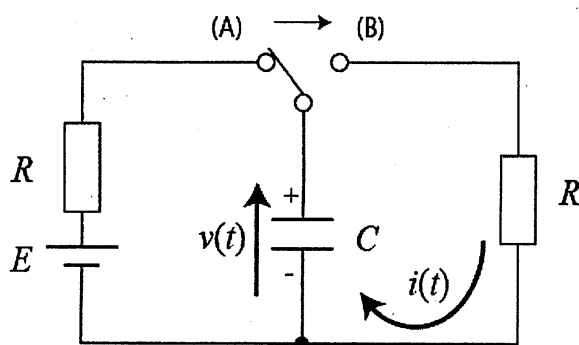


図1

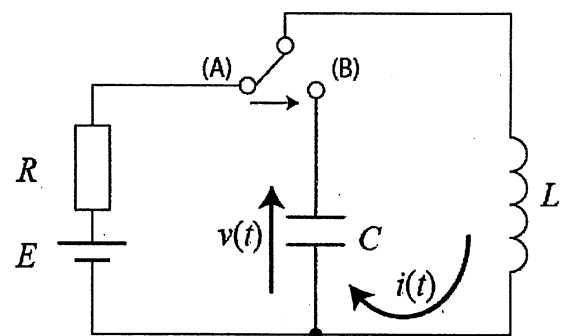


図2

[5] 電子回路

- nチャンネル MOS 型電界効果トランジスタ (nMOSFET) のドレイン接地増幅器を図 1 に示す. その小信号等価回路である図 2 について, 以下の問いに答えよ.

 - (1) nMOSFET のゲート-ソース間電圧 V_{gs} を, 出力電圧 V_{OUT} と入力電圧 V_{IN} を用いて表せ.
 - (2) nMOSFET の相互コンダクタンスを g_m , 出力抵抗を R_O , 負荷抵抗を R_L とする. ドレイン-ソース電流 $g_m V_{gs}$ が, R_O と R_L から成る並列抵抗に流れ込んだ時に生じる電圧 V_{OUT} を求めよ.
 - (3) 前問(1), (2)で求めた V_{gs} と V_{OUT} より, 電圧利得 $A_v (= V_{OUT}/V_{IN})$ を求めよ. また, $g_m R_O R_L \gg (R_O + R_L)$ の条件が成り立つ時, A_v の近似値を求めよ.
 - (4) 前問(3)の近似が成り立つ時, この回路を特に何と呼ぶか答えよ.

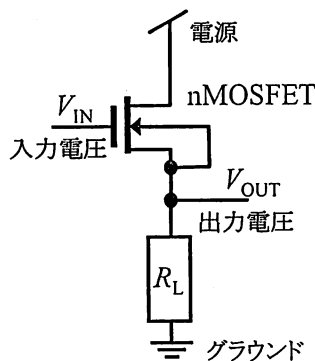


図 1 ドレイン接地増幅器

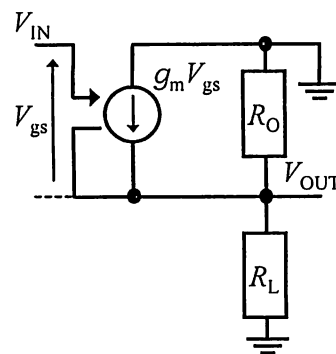


図 2 小信号等価回路

- 理想演算増幅器を用いた図 3 の回路について, 以下の問いに答えよ.

 - (1) 理想演算増幅器の入力インピーダンスが満たすべき条件を答えよ. また理想演算増幅器では仮想接地の原理が成り立つが, この時, 非反転入力端子 (図 3 の+) の電圧 V_+ と反転入力端子 (図 3 の-) の電圧 V_- の間にどのような関係が成り立つか答えよ.
 - (2) 抵抗 R_k ($k=1, 2, \dots, N$) を流れる電流 I_k を求めよ.
 - (3) 前問までの結果から, 抵抗 R_k , 電圧 V_k (共に $k=1, 2, \dots, N$), 抵抗 R_F を用いて, 出力電圧 V_{OUT} を表せ.
 - (4) 図 3 の回路を何と呼ぶか答えよ.

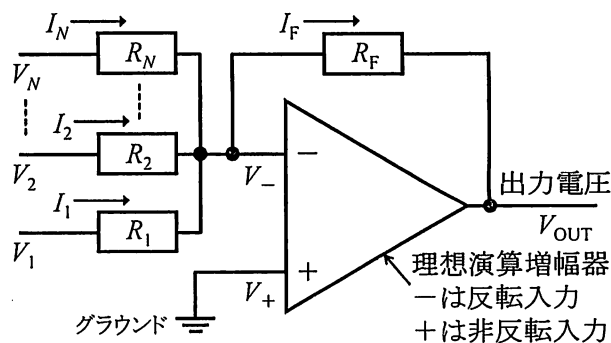


図 3 理想演算増幅器による回路