平成３０年度　名古屋大学大学院工学研究科 博士課程（前期課程）
電気工学専攻　/　電子工学専攻　/　情報・通信工学専攻

入学試験問題

専　　門

（平成２９年８月２３日（水）９:００～１２:００）

注　　意

1．６問中３問を選んで答えよ。ただし、以下のグループからの選択数は２問以下とする。
（問題２（電気回路論）、問題３（電子回路）、問題５（論理回路））

2．解答は問題ごとに別の答案用紙に書き、それぞれ問題番号、受験番号を上端に記入せよ。氏名は記入してはならない。なお、草稿用紙が１枚ある。解答が用紙の裏面にまわる場合は、答案用紙下部にその旨明示すること。又、上部横線に相当する位置以下に書くこと。

3．問題用紙、答案用紙、草稿用紙はすべて持ち出してはならない。

4．計算機類は使用してはならない。

5．携帯電話は時計としても使用してはならない。電源を切ること。

1

図 1 に示すような Δ 形対称三相負荷が対称三相電源に接続されている．相順は a, b, c の順であり、各相のインピーダンスは $\boldsymbol{Z}(=R+jX$，位相角ϕ，遅れ）とし，スイッチ S は開いている．また，二つの電力計 W_1 および W_2 が接続されている．以下の問いに答えよ．

(1) 線電流$\boldsymbol{I}_a$, $\boldsymbol{I}_b$および$\boldsymbol{I}_c$ならびに相電流$\boldsymbol{I}_{ab}$, $\boldsymbol{I}_{bc}$および$\boldsymbol{I}_{ca}$をベクトル図で示せ．ただし，$\boldsymbol{I}_{ab}$を基準ベクトルとする．

(2) 三相分の有効電力 P および無効電力 Q を，線間電圧の大きさ E，線電流の大きさ I およびϕ を用いて表せ．

(3) 電力計 W_1 および W_2 がそれぞれ指示 P_1 および P_2 を示したとする．

1) 線間電圧$\boldsymbol{E}_{ab}$と$\boldsymbol{I}_a$の位相差をθ_1，ならびに線間電圧$\boldsymbol{E}_{cb}$と$\boldsymbol{I}_c$の位相差をθ_2としたとき，P_1および P_2 を E, I およびθ_1あるいはθ_2を用いて表せ．

2) $\boldsymbol{E}_{ab}$, $\boldsymbol{I}_a$ および $\boldsymbol{I}_{ab}$ のベクトル図を示し，θ_1とϕ の関係式を示せ．同様に，$\boldsymbol{E}_{cb}$, $\boldsymbol{I}_c$ および $\boldsymbol{I}_{cb}$ のベクトル図を示し，θ_2とϕ の関係式を示せ．ここで，$\boldsymbol{E}_{cb}=-\boldsymbol{E}_{bc}$ ならびに $\boldsymbol{I}_{cb}=-\boldsymbol{I}_{bc}$ であることに注意せよ．

3) P_1+P_2 および$|P_1-P_2|$について有効電力あるいは無効電力との関係を示せ．ただし，$|\phi|\leq\pi/3$ とする．

(4) リアクタンスX_1成分のみの負荷からなる Y 形対称三相負荷を，スイッチ S を閉じて並列に繋いだ．このとき，力率が 1 となった．X_1をRおよびXを用いて表せ．

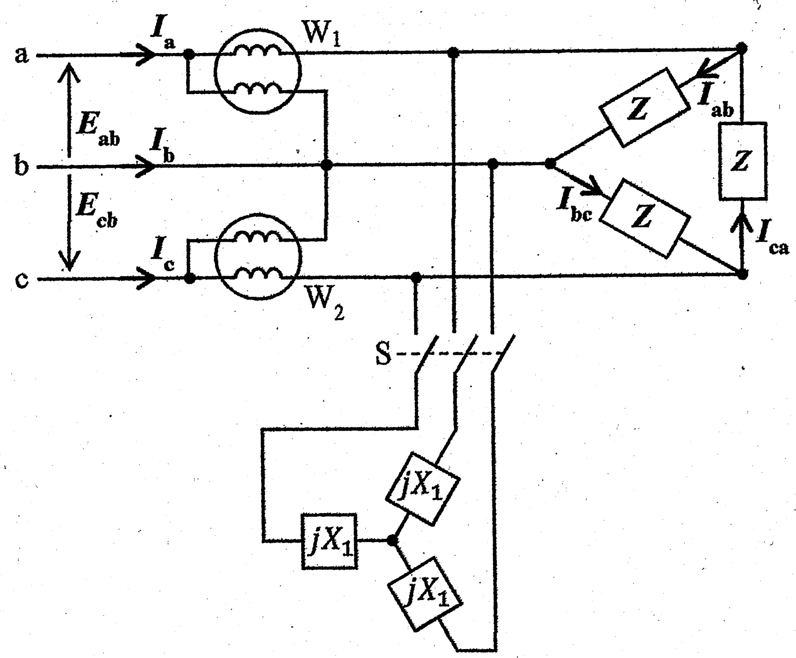

図 1

2

図 1 に示すように，抵抗素子(抵抗値R)，インダクタンス素子(インダクタンスL)，キャパシタンス素子(静電容量C，初期電荷 0)と直流電圧源(起電力V，内部抵抗 0)から成る回路を考える．以下の問いに答えよ．各スイッチの初期状態は開放してあるものとする．

(1) まず，時刻$t=0$で SW1 を A 側に閉じた．

1) この瞬間($t=0$)から時間$t(\geq 0)$でのLに流れる電流$i_{\mathrm{L}}(t)$に関する微分方程式を求めよ．

2) 上記の微分方程式を解いて$i_{\mathrm{L}}(t)$を求めよ．

3) $t=2L/R\,(=t_1>0)$において，SW1 を A 側から B 側に切り替えた．回路に流れる電流$i_{\mathrm{L}}(t)$を$t=0$からの経過時間tの関数として求め，グラフの概形を書け．

(2) (1)の一連の動作の後に十分時間が経過してから SW1 を開放し，SW2 を閉じた上で$t=t_2(>>t_1)$において SW1 を A 側に閉じた．

1) SW1 を閉じた瞬間からL，Cにそれぞれ流れる電流$i_{\mathrm{L}}(t)$，$i_{\mathrm{C}}(t)$の時間変化を求めて$t=t_2$以降のグラフを書け．

2) SW1 を閉じた瞬間から直流電圧源に流れる電流が時間によらず一定になったとする．その時の抵抗R，静電容量CおよびインダクタンスLの関係を示せ．

(3)(2)の電流が一定の状態で十分時間が経った$t=t_3(>>t_2)$において，SW2 を閉じたままで SW1 を開いた．

1) $t=t_3$以降にCに蓄積された電荷$Q(t)$に関する微分方程式を求めよ．

2) 上記の微分方程式を解いて$Q(t)$を求め，それから$i_{\mathrm{L}}(t)$を求めよ．

3) $i_{\mathrm{L}}(t)$の$t=t_3$以降の時間変化に関するグラフの概形を書け．

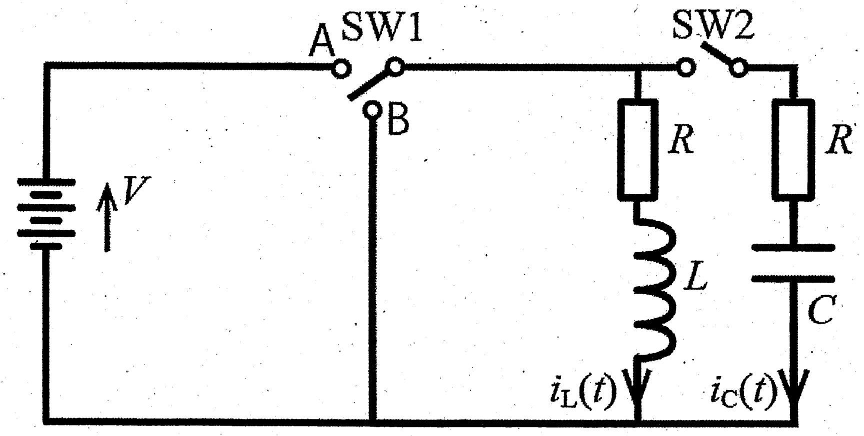

図 1

3

以下の回路において，演算増幅器は理想的（入力インピーダンス＝∞Ω，出力インピーダンス＝0Ω，電圧増幅度＝∞）であるとする．また，図 2 に示すように内部抵抗R_sを含んだ出力V_{outB}の電圧源を考えるとき，以下の問いに答えよ．

(1)　図 1 に示す回路において，点Bの電圧V_Bおよび点Aに接続されている抵抗R_Aに流れる電流I_{R_A}を求めよ．また，V_{outA}の電圧をV_{inA}，V_{inB}，R_A，R_Bを用いて表せ．

(2)　図 2 に示す回路を 2 組用意する．V_{outB}を図 1 の回路のV_{inA}，V_{inB}にそれぞれ接続し，電圧VをそれぞれV_1，V_2と設定する．$R_s = 10\mathrm{M}\Omega$，$R_A = 1\mathrm{k}\Omega$，$R_B = 5\mathrm{k}\Omega$のときの電圧V_{outA}をV_1，V_2を用いて表せ．また，V_{outA}と$V_1 - V_2$との比を求めよ．

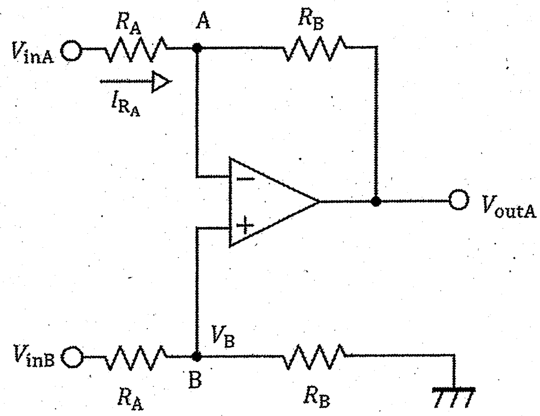

図 1

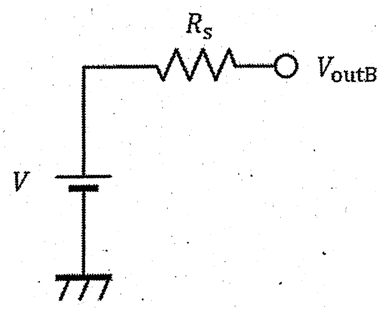

図 2

(3)　図 3 においてR_1を流れる電流I_1をV_{in1}，V_{in2}，R_1を用いて表せ．

(4)　点Cおよび点Dの電圧をV_C，V_Dとする．V_C，V_DをV_{in1}，V_{in2}，R_1，R_2を用いて表せ．また，V_{out1}の電圧をV_{in1}，V_{in2}，R_1，R_2，R_3，R_4を用いて表せ．

(5)　$R_2 = 1\mathrm{k}\Omega$，$R_3 = 2\mathrm{k}\Omega$，$R_4 = 10\mathrm{k}\Omega$とする．R_1の値を$10\mathrm{k}\Omega$から$1\mathrm{k}\Omega$まで変化させたとき，V_{out1}の電圧が何倍になるか示せ．

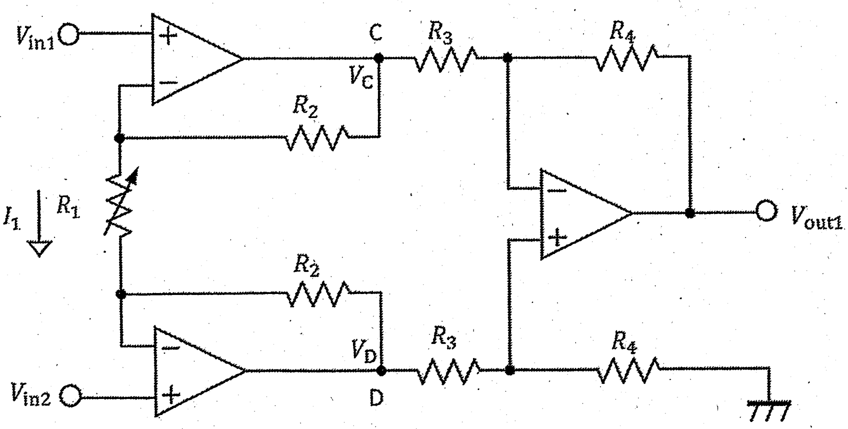

図 3

4

温度 300 K において表 1 に示す物性定数をもった半導体 A および B がある．半導体 A の伝導帯における実効状態密度は N_C [cm^{-3}]，電子濃度は n [cm^{-3}]，ドナー濃度は N_D [cm^{-3}]，半導体 B の価電子帯における実効状態密度は N_V [cm^{-3}]，正孔濃度は p [cm^{-3}]，アクセプタ濃度は N_A[cm^{-3}]とする．また，ドナーおよびアクセプタは完全にイオン化しているとし，$n = N_D$，$p = N_A$ が成り立っているとする．なお，素電荷は q [C]，真空の誘電率は ε_0 [F/cm]とする．以下の問いに答えよ．

(1) 半導体 A の電子濃度 n は，$n = N_c \exp\left(-\frac{E_C - E_{FA}}{kT} \cdot q\right)$ で表される．なお，E_c [eV]は伝導帯下端のエネルギー準位，E_{FA} [eV]はフェルミ準位を示す．温度 300 K における半導体 A の電子濃度 n を N_C とボルツマン定数 k [J/K]，q を用いて記述せよ．

(2) 表 1 の定数を用いて半導体 A および半導体 B それぞれについて，エネルギーバンド構造の概略図を描け．なお，真空準位および半導体 A のフェルミ準位 E_{FA}，半導体 B のフェルミ準位 E_{FB} を明記せよ．また，図中に，表 1 の禁制帯幅，電子親和力，仕事関数が対応する部分と値も明記せよ．

図 1 のような半導体 A と半導体 B の接合を考える．ここで，横軸を距離 x として，接合界面を $x = 0$，接合界面から半導体 A 側の空乏層幅を w_A，半導体 B 側の空乏層幅を w_B とし，空乏層内の空間電荷密度 $\rho(x)$ は図 2 のように示されるとする．なお，界面準位は無視するものとする．以下の問いに答えよ．

(3) 図 1 の接合における熱平衡状態での内蔵電位（拡散電位）を求めよ．

(4) 図 1 の接合における熱平衡状態のエネルギーバンド構造の概略図を描け．

(5) 図 1 の接合における x 方向の電界 $E(x)$ は，$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_S}$ で表される．$x < -w_A$，$x > w_B$ の領域では，それぞれ $n = N_D$，$p = N_A$ であり可動キャリアと固定電荷（イオン化ドナーまたはイオン化アクセプタ）がバランスし，電気的中性条件（$E = 0$）が満たされているとする．また，$x = 0$ では電束密度の界面垂直成分（x 方向成分）は連続である．$-w_A < x < 0$ および $0 < x < w_B$ における電界 $E(x)$ を q，N_D，N_A，w_A，w_B，ε_0，半導体 A の比誘電率 ε_A，半導体 B の比誘電率 ε_B のうち必要なものを用いて記述せよ．

(6) 問(5)で求めた電界 $E(x)$ より，電界分布の概略図を描け．

	電子親和力 χ(eV)	禁制帯幅 E_g(eV)	仕事関数 φ(eV)	比誘電率 ε_s
半導体 A	4.2	1.2	4.3	12
半導体 B	4.0	0.6	4.5	16

表 1

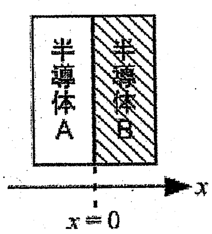

図 1

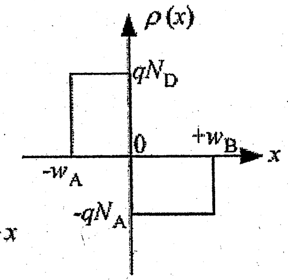

図 2

5

(1) 次の積和標準形で表される x_1, x_2, x_3, x_4 に関する4変数の論理関数 f_1 と f_2 を考える．なお $\bar{x}_i$ は x_i の論理否定を表す．

$$f_1(x_1, x_2, x_3, x_4) = \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4 + \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4 + \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4 + \bar{x}_1x_2x_3x_4 + x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4$$

$$\begin{aligned} f_2(x_1, x_2, x_3, x_4) = {} & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4 + \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4 + \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4 + \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4 + \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4 \\ & + \bar{x}_1x_2x_3x_4 + x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4 + x_1x_2\bar{x}_3x_4 \end{aligned}$$

1) f_1 と f_2 をそれぞれ簡単化し，最小積和形表現を求めよ．

2) $f_1 = f_2 f_3$ を成立させる $f_3(x_1, x_2, x_3, x_4)$ を考える．f_3 を簡単化し，最小積和形表現を求めよ．

(2) $i \geq 1$ に対し，二つの i ビット符号なし2進数 $A_i = (a_{i-1}, \ldots, a_0)$ と $B_i = (b_{i-1}, \ldots, b_0)$ の大小を比較する比較器 P_i を考える．ただし，$a_{i-1}, \ldots, a_0, b_{i-1}, \ldots, b_0 \in \{0, 1\}$ であり，a_0, b_0 が最下位ビットであるとする．P_i は $A_i = (a_{i-1}, \ldots, a_0)$ と $B_i = (b_{i-1}, \ldots, b_0)$ を入力とし，$A_i \geq B_i$ であれば $c_i = 1$ を，$A_i < B_i$ であれば $c_i = 0$ を出力する組み合わせ回路である．

1) ある $i \geq 1$ に対し P_i が与えられていると仮定し，図1のように組み合わせ回路 Q を加えることにより，P_{i+1} を実現することを考える．図1において，Q は a_i と b_i と c_i の3ビットを入力とし，c_{i+1} を出力する．Q の真理値表を示せ．

2) 問1)の Q の回路が図2のように与えられているとする．Q の回路を用いて，二つの4ビット符号なし2進数 $A_4 = (a_3, \ldots, a_0)$ と $B_4 = (b_3, \ldots, b_0)$ の大小を比較する比較器 P_4 の回路を示せ．ただし，Q は複数個用いてよい．

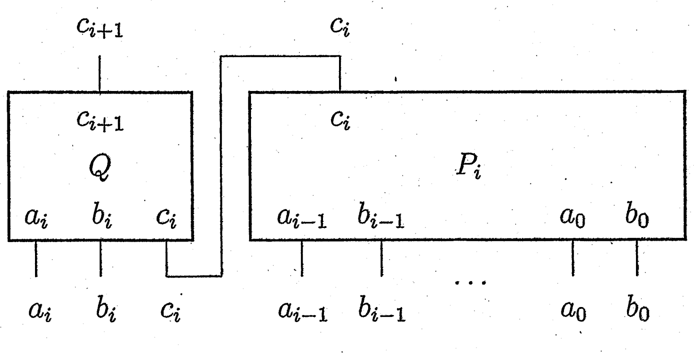

図1．Q と P_i による P_{i+1} の回路

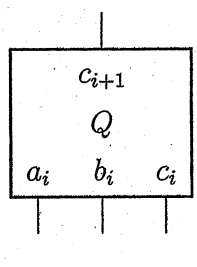

図2．Q の回路

(3) 1クロックごとに1ビットのxを入力とし，そのたびに記号$y \in \{A, B, C\}$を出力する順序回路Dを考える．Dは入力系列の末尾4ビットが

- 2進数の素数で，かつ偶数の場合（A）
- 2進数の素数で，かつ奇数の場合（B）
- その他の場合（C）

を分類する分類器であり，入力系列中に表1にある素数を検出した時点で，それに対応するyを出力する．例えばある時刻tに対し，時刻$t-1$までは0が連続して入力されており，時刻t以降の入力系列が0010110であった場合，図3のように$CCCABBC$を出力する．最小の状態数を用いて，Dの状態遷移図を示せ．ただし，出力yはつねに現在の入力xとその直前3時刻分の入力によって決まると仮定してよく，Dは3時刻分の入力000があった状態から動作を開始するものとする．また，状態名は$q_0, q_1, q_2, \ldots$を用い，状態の遷移を表す矢印には遷移の際の入力が$x \in \{0, 1\}$，出力が$y \in \{A, B, C\}$であることを表すx/yを書くこと．

表1．入力系列の末尾4ビットと出力記号$y \in \{A, B, C\}$

入力系列の末尾4ビット	出力記号y
0010	A
0011	B
0101	B
0111	B
1011	B
1101	B
上記以外	C

時刻	$\cdots$	t	$t+1$	$t+2$	$t+3$	$t+4$	$t+5$	$t+6$
入力	$\cdots$	0	0	1	0	1	1	0
出力	$\cdots$	C	C	C	A	B	B	C

図3．Dの入出力の例

$\boxed{6}$

以下の問いに答えよ．

(1) 以下の行列 $\mathbf{H}$ を検査行列とする2元線形符号，すなわち $\mathbf{H}\mathbf{w}^T = \mathbf{0}$ をみたす符号語 $\mathbf{w}$ 全体の集合を考える．

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1) 各符号語 $\mathbf{w} = (x_1, x_2, x_3, c_1, c_2, c_3)$ のはじめの3ビット x_1, x_2, x_3 を情報ビット，おわりの3ビット c_1, c_2, c_3 を検査ビットとする．情報ビット列 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$ から符号語 $\mathbf{xG}$ を生成する3行6列の行列 $\mathbf{G}$ を求めよ．

2) 通信路で誤りが生じ，1ビットの誤りを含む符号語 $(0,1,1,0,1,1)$ を受信した．誤り訂正を行い，送信された6ビットの符号語を求めよ．

(2) 互いに異なる m 次元の2元列ベクトルは 2^m 個存在する．それらからゼロベクトルを除いた $2^m - 1$ 個の列ベクトルを任意の順で横に並べ，m 行 $(2^m - 1)$ 列の2元行列を作る．このようにして作った行列を検査行列とする線形符号を符号長 $2^m - 1$ のハミング符号とよぶ．

1) 符号長 $2^m - 1$ のハミング符号の最小符号間距離（2つの符号語の間のハミング距離の最小値）はいくつか．理由とともに答えよ．

2) 誤り確率 p $(0 < p < 1)$ の無記憶2元対称通信路を経て，符号長 $2^m - 1$ のハミング符号の符号語を一つ送信するときに，正しく復号されない確率を P_m とする．P_m を求め，さらに，$m \to \infty$ のときの P_m の極限を求めよ．

3) $\mathbf{J}_m$ を検査行列とする符号長 $2^m - 1$ のハミング符号に対し，検査ビットを一つ増やした

$$\mathbf{K}_m = \begin{bmatrix} & & \mathbf{J}_m & & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{matrix} \\ a_1 & a_2 & \cdots & a_{2^m-1} & a_{2^m} \end{bmatrix}$$

を検査行列とする線形符号を考える．$\mathbf{K}_m$ を検査行列とする符号が，$\mathbf{J}_m$ を検査行列とする符号よりも大きな最小符号間距離を持つような $a_1, a_2, \ldots, a_{2^m}$ をひとつ与え，そのときの最小符号間距離を理由とともに答えよ．