1

すべり s で運転中の三相誘導電動機の 1 相分簡易等価回路は図 1 のように表される．ただし，r_1：一次側巻き線抵抗，r_2'：一次側に換算した二次側巻き線抵抗，x_1：一次側リアクタンス，x_2'：一次側に換算した二次側リアクタンス，g_0：励磁コンダクタンス，b_0：励磁サセプタンスである．次下の問いに答えよ．

(1) 図中に示した電流 I_0 および I_1' の大きさを印加電圧 V の大きさ $|V|$ および等価回路定数を用いて表せ．

(2) 一次側巻き線抵抗での損失（一次側銅損）を $|V|$ および等価回路定数を用いて表せ．

(3) 二次側の等価抵抗 r_2'/s は銅損を表す抵抗分と機械的出力を表す抵抗分との和である．機械的出力を表す抵抗 r_m'（一次側換算）を求めよ．

(4) 二次側入力（二次側で消費される電力）P_2 と機械的出力 P_{out} との比を求めよ．

(5) 定格周波数 50 Hz，定格電圧 200 V，2 極の三相誘導電動機が定格運転している場合を考える．

(a) 図中の V の大きさはいくつか．

(b) 回転磁界の回転数は毎分何回転か．

(c) この三相誘導電動機が毎分 2850 回転しているときのすべり s の大きさはいくつか．

(d) このときの二次側の効率（出力／入力）η を求めよ．

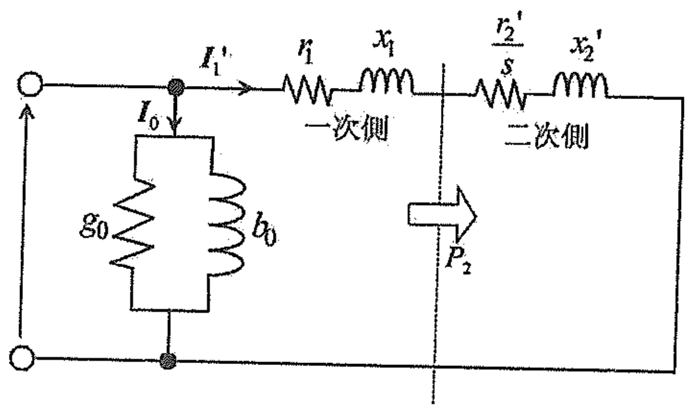

図 1

2

電圧 E, $2E$ の直流電圧源，インダクタンス L のコイル，値 R の抵抗，容量 C のコンデンサ及びスイッチ S_1, S_2 からなる図１の回路に関して，以下の問いに答えよ．ただし時刻 $t<0$ でコンデンサの電荷は 0 とする．また自然対数の底を e とせよ．

（１）$t=0$ で S_1 を（ａ）側に閉じた．コンデンサに流れる電流 $i(t)$に関する回路方程式を書き，$t>0$ での電流 $i(t)$を求めよ．ただし S_2 は開いている．

（２）$t=RC$ において，S_1 を（ａ）側から（ｂ）側に切り替えた．$t>RC$ におけるコンデンサに流れる電流 $i(t)$を求めよ．

（３）$t>0$ での電流 $i(t)$の変化の概略を図示せよ．

（４）S_1 を（ｂ）側に切り替え定常状態に達した後，$t=t_1$ で S_1 を開き，同時に S_2 を閉じた．その後のコンデンサに流れる電流 $i(t)$を求めよ．また，その概略を $t>t_1$ に対して図示せよ．ただし，$R=200\ \Omega$, $L=0.1$ H, $C=5\ \mu$F とする．

必要であれば，ラプラス変換公式

$\mathcal{L}[\sin\omega t]=\omega/(s^2+\omega^2)$

$\mathcal{L}[\cos\omega t]=s/(s^2+\omega^2)$

を利用してよい．

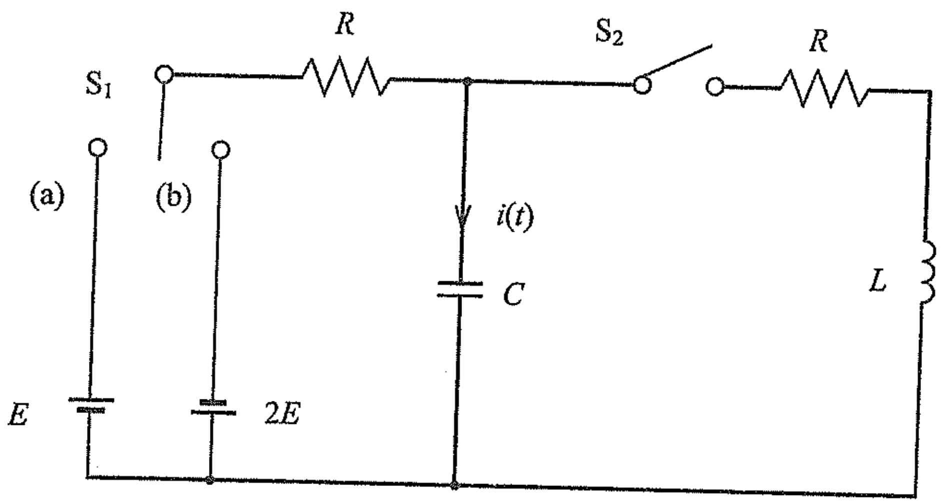

図１

3

図 1, 2 に示す npn および pnp トランジスタを用いた A 級, B 級増幅回路について以下の問に答えよ．なお，npn トランジスタは図 3 の静特性をもつトランジスタであり，pnp トランジスタは図 3 と特性の等しいコンプリメンタリ（相補的）なトランジスタとする．また，記号の大文字（I_C 等）は直流成分を小文字（i_C 等）は交流成分を表すものとする．

図 1 の A 級増幅回路について以下の問に答えよ．なお，$E_{CE} = 12$ V，$R_C = 300\ \Omega$ とする．

(1) 図 1 において歪みの無い最大のコレクタ電流振幅 i_C を得るための動作点（$v_1 = 0$ の時のコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE}，コレクタ電流 I_C の値）を求めよ．

(2) (1) の動作点において得られる歪みの無い最大のコレクタ電流振幅 i_C とその時の交流出力の電力 P_o を求めよ．

(3) (2) の出力時の電源効率（電源が供給する電力に対する交流出力電力）を求めよ．なお，トランジスタのベース電位のバイアスに必要な電力は無視せよ．

図 2 の B 級増幅回路について以下の問に答えよ．なお，$E_{CE1} = E_{CE2} = 12$ V，$R_C = 300\ \Omega$ とする．

(4) 図 2 において最大の電源効率を得るためのトランジスタ Tr_1，Tr_2 の動作点（$v_1 = 0$ の時の V_{CE}，I_C の値）を求めよ．また，この動作点で，歪みの無い出力を得るためには Tr_1，Tr_2 のベース電位 E_{BE1}，E_{BE2} を何 V にすればよいか．図 3 のベース電流 I_B– ベース・エミッタ間電圧 V_{BE} 静特性から求めよ．

(5) (4) のベース電位で，入力電圧 $v_1 = 0.02 \sin \omega t$ (V) の交流入力信号を加えた．Tr_1，Tr_2 のベース電流 i_{B1}，i_{B2} の波形の概略を v_1 の波形に対比させて図示せよ．なお，ベース電流の単位，目盛，数値を入れて図示すること．

(6) 負荷抵抗 R_C での交流出力電力 P_o を求め，電源効率（電源 E_{CE1}，E_{CE2} が供給する電力に対する交流出力電力）を求めよ．なお，π は 3 としてよい．

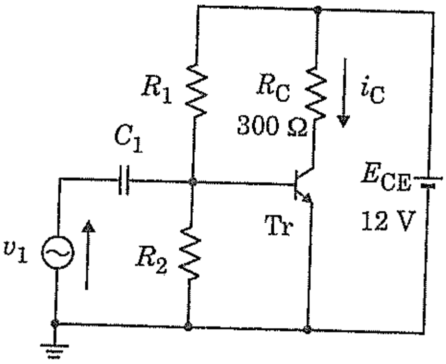

図 1

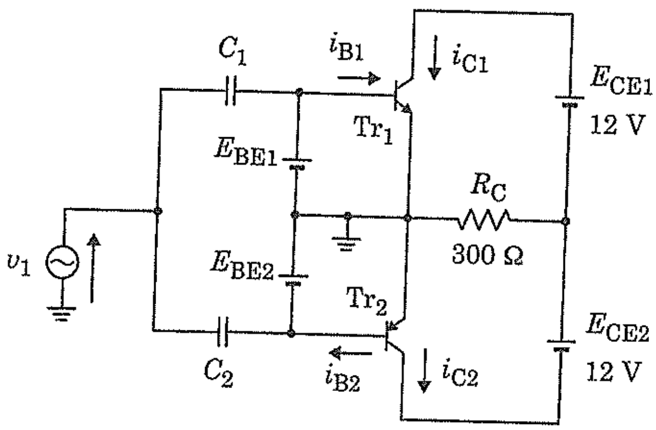

図 2

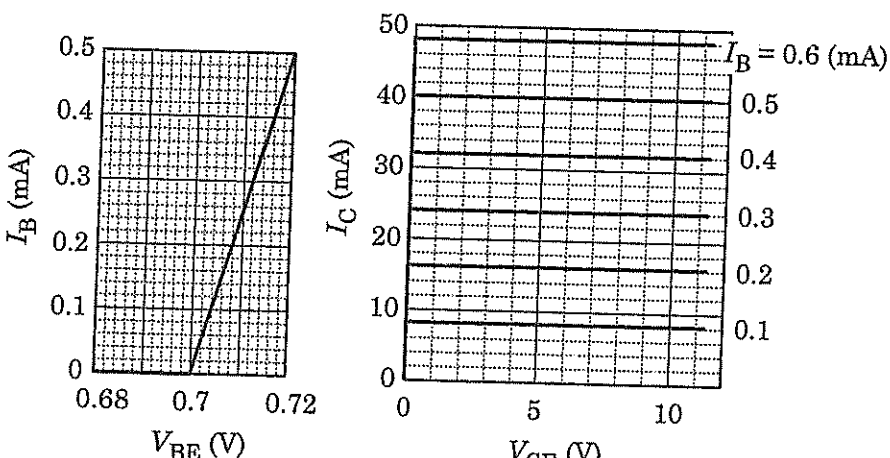

図 3

4

n 型半導体のキャリア密度について考えてみる.

1. (1) n 型半導体の価電子帯の頂上のエネルギーE_Vと伝導帯の底のエネルギーE_C，ドナー準位 E_D としてそれらエネルギーの大小関係を図示しなさい.

   (2) エネルギーEの1つのエネルギー準位が電子で占められる確率$f(E)$を関数式で表現しなさい．また，その関数式の名前を示しなさい．ただし，ボルツマン定数を k_B，絶対温度を Tとし，フェルミ準位を E_F とする.

2. 半導体中の電子の固有状態が波数ベクトル$\vec{k}$とスピン±1/2 で表わされ，固有エネルギーE が，伝導帯において $E = E_C + \hbar^2 k^2/(2m_e)$，価電子帯において $E = E_V - \hbar^2 k^2/(2m_h)$ により与えられるとする．ここに$\hbar$はプランク定数を 2π で割った定数，m_e，m_h は電子，正孔の有効質量である．固有状態は$\vec{k}$空間で等間隔に分布し，区間 $k_x \sim k_x + \Delta k_x$, $k_y \sim k_y + \Delta k_y$, $k_z \sim k_z + \Delta k_z$ における固有状態数は$2\dfrac{V}{(2\pi)^3}\Delta k_x \Delta k_y \Delta k_z$で与えられる．ここに Vは半導体の体積である.

   (1) エネルギー $E \sim E + \Delta E$ における固有状態数を $V D(E)\,\Delta E$としたとき，単位体積当りのエネルギー状態密度 $D(E)$を伝導帯，価電子帯について求めなさい.

   (2) 伝導帯中および価電子帯中のキャリア密度をそれぞれ n 及び p とした場合，$E_C - E_F \gg k_B T$, $E_F - E_V \gg k_B T$ が成り立つときに

$$n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{k_B T}\right), \quad p = N_V \exp\left(\frac{E_V - E_F}{k_B T}\right)$$

   と近似できることを示し，伝導帯及び価電子帯の有効状態密度 N_C，N_V を m_e，m_h，T，k_B，$\hbar$を用いて表わしなさい．必要であれば

$$\int_0^\infty \sqrt{x}e^{-x}dx = \sqrt{\pi}/2$$ を用いなさい.

3. 図１に n 型半導体のキャリア密度 n の温度依存性を示す．(a)，(b) 及び (c) の三つの領域に分類して考えてみる．

(1) (a)領域において，キャリア密度 n を N_C，N_V，E_C，E_V，k_BT を用いて表しなさい．

(2) (b)領域において，一定となるキャリア密度 n が何によって決まるのか，説明しなさい．

(3) (c)領域において極めて低温の場合における傾きはいくらか．また，その傾きが何を意味するのか述べなさい．

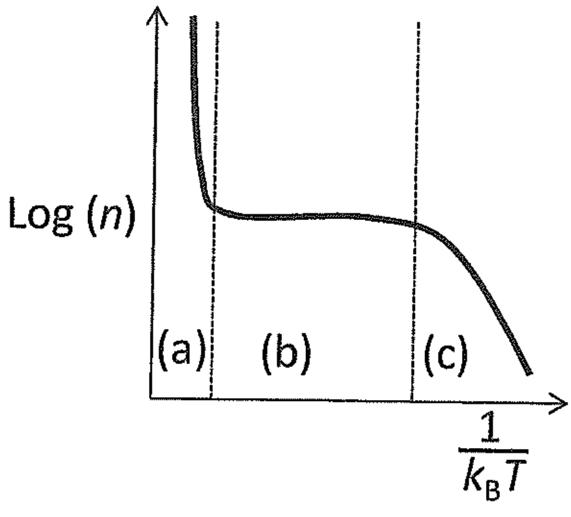

図１

5

(1) メモリを利用して，組み合わせ回路を構成する．このとき，次の問に答えよ．

1) 表１のようにデータが格納されているメモリがある．このメモリのデータ出力 D_0 をアドレス入力 A_2, A_1, A_0 を用いた論理式で表すことを考える．カルノー図を用い簡単化を行った結果を加法標準形で示せ．

表１

アドレス A_2, A_1, A_0	データ D_0
000	0
001	0
010	1
011	1
100	0
101	1
110	0
111	1

2) アドレス入力 A_2, A_1, A_0 に対してデータ出力 D_0 を持つメモリを利用し，以下に示す論理式を実現する場合，各アドレス A_2, A_1, A_0 に格納すべきデータを表１のように示せ．

$$D_0 = A_1A_0 + A_2(A_1 + A_0)$$

(2) 図１の回路について，次の問いに答えよ．

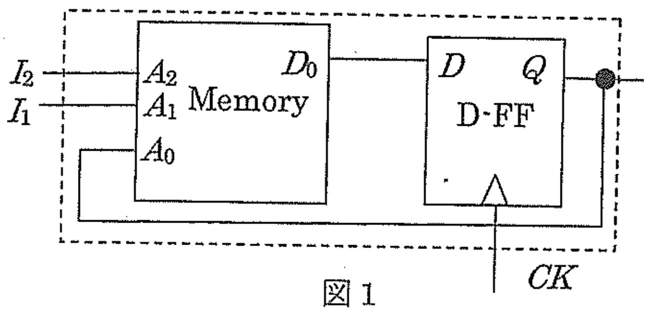

図１

表２

アドレス A_2, A_1, A_0	データ D_0
000	0
001	1
010	0
011	0
100	1
101	1
110	1
111	0

1) 図１の回路のメモリに表２の値が格納されている．入力を I_2, I_1，出力を Q とするとき，この回路の状態遷移図を示せ．但し，状態遷移図は，状態数を最小化した形で示すこととする．

2) 図１の回路を用いて，$I_2=1$ かつ $I_1=1$ でクロック CK に同期して Q に１と０を交互に出力，$I_2=1$ かつ $I_1=0$ で Q を保持，また $I_2=0$ で $Q=0$ となる電子ルーレットを構成する．この電子ルーレットの状態遷移図，状態遷移表を作成し，図１の回路のメモリに格納しておくデータを表２のように示せ．但し，状態遷移図，状態遷移表は，状態数を最小化した形で示すこととする．

6

以下で生成行列が与えられる (7,4) ハミング符号を考える．

$$G = \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,0\,1\,1\,0 \\ 0\,1\,0\,0\,1\,0\,1 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,1\,1 \\ 0\,0\,0\,1\,1\,1\,1 \end{bmatrix}$$

この符号は 4 つの情報ビット $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ を 7 ビットの符号語 $\boldsymbol{x}G$ に符号化する．以下の問いに答えよ．

(1) 対応する検査行列

$$H = \begin{bmatrix} h_{11}\ h_{12}\ h_{13}\ h_{14}\ 1\ 0\ 0 \\ h_{21}\ h_{22}\ h_{23}\ h_{24}\ 0\ 1\ 0 \\ h_{31}\ h_{32}\ h_{33}\ h_{34}\ 0\ 0\ 1 \end{bmatrix}$$

の要素 $h_{11}, h_{12}, \ldots, h_{34}$ を求めよ．

(2) この符号の最小ハミング距離は幾つか．理由を付して答えよ．

(3) 問 (2) で得られた最小ハミング距離に基づき，本符号が 1 重誤り訂正符号であることを説明せよ．

(4) ある符号語 $\boldsymbol{x}_0 G$ が誤りの発生しうる通信路を経て伝送され，その過程で 1 ビットが誤って $(1, 0, 1, 1, 0, 0, 1)$ が受信されたとする．誤り訂正を行い，正しい情報ビット列 $\boldsymbol{x}_0$ を求めよ．

(5) $\{0, 1\}$ を各々等確率で発生する無記憶情報源の出力を，誤り確率 p $(0 \leq p \leq 1)$ の無記憶 2 元対称通信路を経て送信する場合を考える (図 1 参照)．情報源の出力を符号化せずにそのまま伝送した場合に連続した 4 つの情報ビットが誤り無く伝送される確率を $q_d(p)$，同じ 4 つの情報ビットを (7,4) ハミング符号を用いて符号化し受信後に 1 ビットまでの誤り訂正を行った場合に全ての情報ビットが正しく伝送される確率を $q_h(p)$ とする．関係式 $q_d(p) < q_h(p)$ が成立する p の範囲を求めよ．

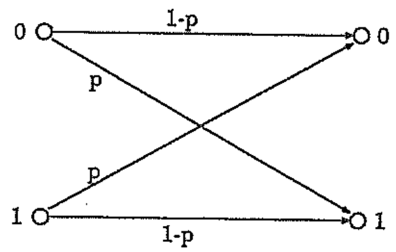

図 1　2 元対称通信路