

1

図 1 のような対称三相送電システム（周波数 $f=60\text{Hz}$ ）がある。電力ケーブルの定格電圧 $V_N=275\text{kV}$ ，定格電流 $I_N=1\text{kA}$ ，作用インダクタンス $L_0=0.2\text{mH/km}$ ，作用静電容量 $C_0=0.4\mu\text{F/km}$ ，長さ $l=20\text{km}$ とし，抵抗成分は無視する。また，負荷は対称であり，遅れ力率とする。以下の各問に答えよ。

- (1) 電力ケーブルの定格送電電力 P_N を求めよ。
- (2) 電力ケーブルの線路定数を求め， π 型等価回路（1 相分）で表せ。
- (3) 送電端の遮断器 S_1 を閉じ，受電端の遮断器 S_2 を開いた状態において，送電端電圧ベクトル E_S ，受電端電圧ベクトル E_R ，電力ケーブルのインダクタンスを流れる電流ベクトル I_L の関係を図示せよ。また，受電端の電圧の大きさが定格電圧に維持されている場合， I_L の大きさを求めよ。
- (4) S_1 および S_2 を閉じた状態において， E_S ， E_R ， I_L の関係の概略を図示せよ。また，電源は有効電力のみを供給する場合，無効電力の流れについて述べよ。
- (5) 一般には，電力ケーブルは架空送電線よりも短い距離でしか適用されていない。この理由を述べよ。

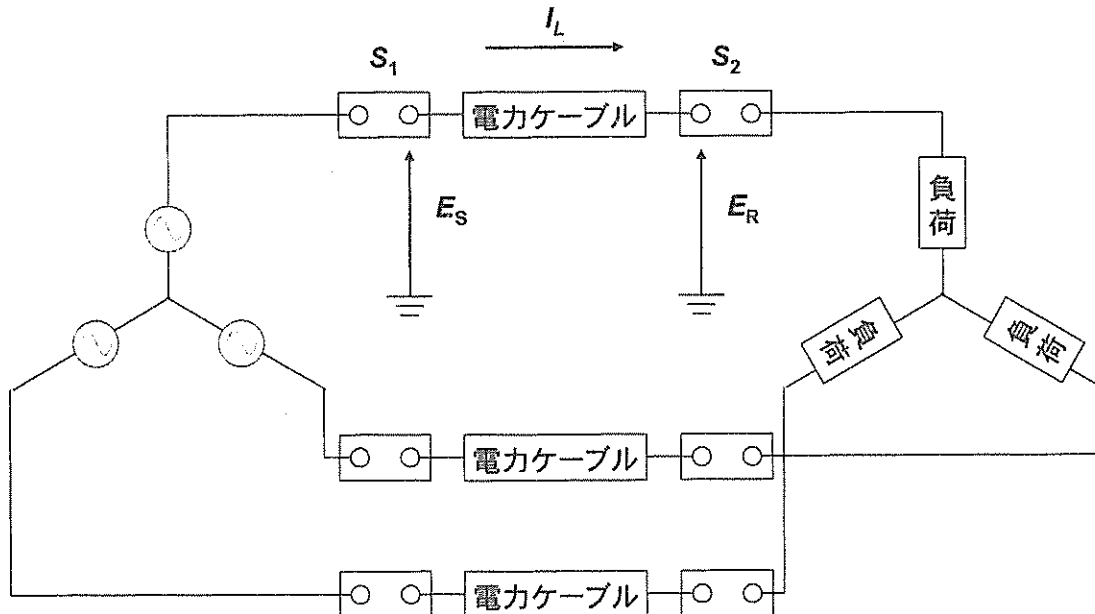


図 1

2

図1の相互誘導回路(相互インダクタンス $M > 0$)でインダクタンス L_1 とインダクタンス L_2 の結合係数を1とする。その場合、図1の等価回路は図2で表すことができる。インピーダンス $|Z| = \infty$ の時の一次電流(向きは図1の電流 I_1 と同じとする)を電流 I_0 とする。交流電源電圧 E の角周波数を ω として以下の問いに答えよ。

- (1) 図1の回路方程式を書け。
- (2) 図1の電流 I_1 を電流 I_2 と電流 I_0 を用いて表せ。
- (3) 図1の電圧 V_2 を L_1 , L_2 および E を用いて表せ。
- (4) 図2の電流 I_2' およびインピーダンス Z を求めよ。

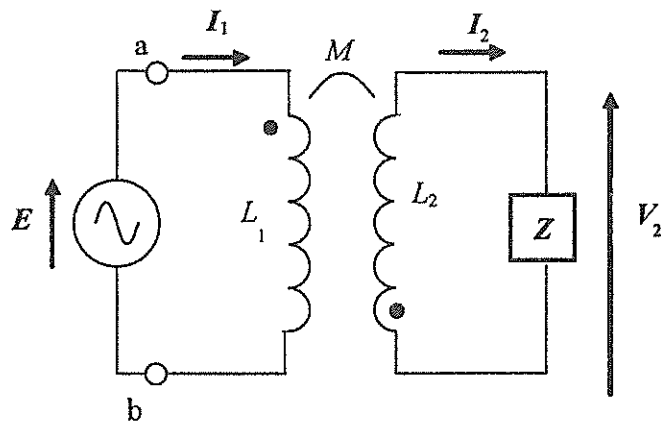


図1

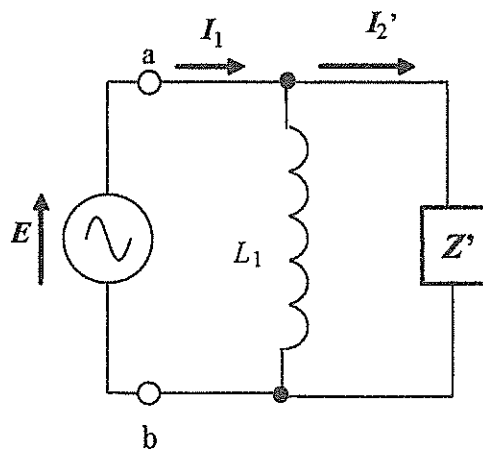


図2

npn トランジスタを用いたエミッタ接地回路の入力電圧 v_i , 入力電流 i_i , 出力電圧 v_o , 出力電流 i_o には以下のような関係が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} v_i \\ i_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{ie} & h_{re} \\ h_{fe} & h_{oe} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_i \\ v_o \end{pmatrix}$$

ただし, h_{oe} と h_{re} は十分小さく無視できるものとする。

(A) 図 1 の電流帰還型増幅回路について以下の問いに答えよ。

- (1) コレクタ電流の直流成分 I_C を求めよ。なお, ベース-エミッタ間電圧を V_{BE} とし, 直流ベース電流 I_B は R_1, R_2 を流れる直流電流および I_C に比べ十分小さいとする。
- (2) コンデンサ C_1, C_2 の役割を説明せよ。
- (3) C_1, C_2 のインピーダンスが十分小さく無視できる周波数における小信号等価回路を h パラメータ等を用いて示し, 電圧増幅率 $A_v = v_2 / v_1$ を求めよ。
- (4) (3) の場合の入力インピーダンス R_i を求めよ。なお, $h_{fe} \gg 1, h_{fe} R_E \gg h_{ie}$ と近似してよい。

(B) 図 2 は図 1 の回路のコレクタにベース接地回路をカスコード接続した回路である。

Tr_1, Tr_2 の h パラメータは等しく, ベース-エミッタ間電圧はともに V_{BE} であるとする。また, Tr_1, Tr_2 の直流ベース電流は R_1, R_2, R_3, R_4 を流れる直流電流およびコレクタ電流の直流成分 I_C に比べ十分小さいとする。以下の問い答えよ。

- (5) Tr_2 の直流ベース電位 V_{B2} は R_3 と R_4 の比で定めることができるが, コレクタ電流 I_C を流すためには, V_{B2} は Tr_1, Tr_2 のコレクター-エミッタ間電圧が正になる範囲に設定する必要がある。 V_{B2} の範囲を $R_1, R_2, R_E, R_C, E_C, V_{BE}$ を用いて表せ。 $V_0 > V_{B2} > V_{BE}$
- (6) C_1, C_2, C_3 のインピーダンスが十分小さく無視できる周波数において, 電圧増幅率 $A_v = v_2 / v_1$ を h パラメータ, R_C, R_E を用いて表せ。

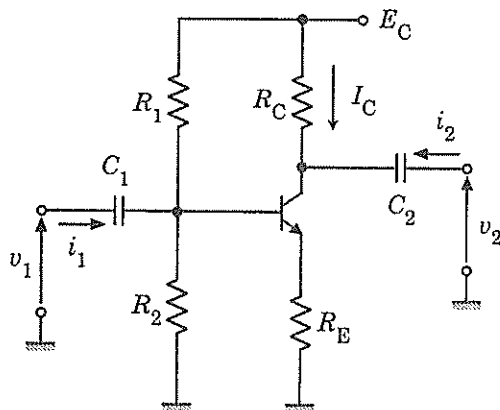


図 1

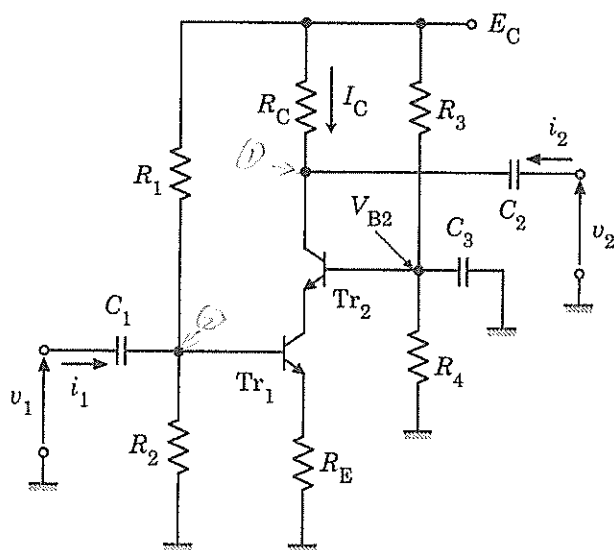


図 2

結晶における定常状態の伝導電子の振る舞いについて考える。結晶内のポテンシャルエネルギーは一様で0と近似し、伝導電子は自由電子として振る舞うとして、以下の問に答えよ。

- (1) 伝導電子の波動関数を $\varphi(x, y, z)$ とする。また、伝導電子の質量とエネルギーをそれぞれ m, E とする。この伝導電子に対するシュレーディンガー方程式を書け。
- (2) 境界条件として周期的境界条件

$$\varphi(x, y, z) = \varphi(x + L, y, z) = \varphi(x, y + L, z) = \varphi(x, y, z + L)$$

を用い、波数ベクトルを k とすると、波動関数は

$$\varphi(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{L^3}} \exp\{i(k_x x + k_y y + k_z z)\}$$

と表される。ここで、 k_x, k_y, k_z はそれぞれ k の x 方向、 y 方向、 z 方向の成分である。この時、

$$k_x = \frac{2\pi n_x}{L}, \quad k_y = \frac{2\pi n_y}{L}, \quad k_z = \frac{2\pi n_z}{L} \quad (n_x, n_y, n_z = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

と表されることを示せ。

- (3) 電子のエネルギー E を、波数の大きさ k ($=|k|$) を用いて表せ。
- (4) エネルギーが E 以下の電子状態に収容できる単位体積あたりの電子数 $N(E)$ を、電子のスピンも考慮して求めよ。
- (5) 状態密度 $D(E)$ を求め、 E の関数としてその概略図を示せ。

表 1 の状態遷移表で表されるミーリー型順序回路 M を考える。図 1 は M の状態遷移図である。
以下の問いに答えよ。

表 1. M の状態遷移表 (x は入力を表す)

現在の 状態	次の状態		出力	
	$x=0$	$x=1$	$x=0$	$x=1$
q_0	q_3	q_4	0	0
q_1	q_2	q_0	0	1
q_2	q_1	q_3	0	1
q_3	q_0	q_4	0	0
q_4	q_4	q_2	0	0

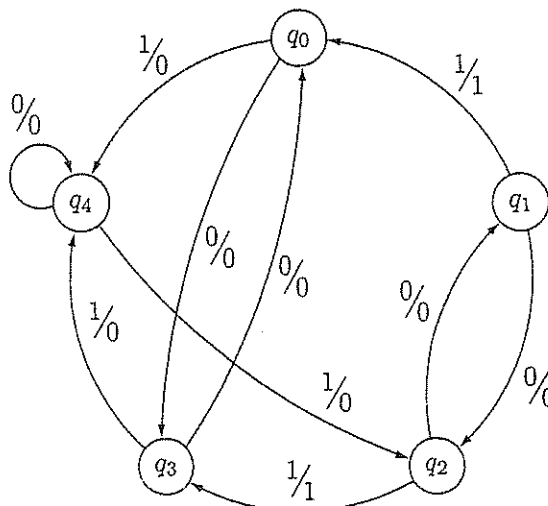


図 1. M の状態遷移図

- (1) M の状態集合 $\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$ を等価な状態同士に分割すると, $\{(q_0, q_3), (q_1, q_2), (q_4)\}$ の 3 つに分割できる事を示せ。

ただし, 状態 q_i と状態 q_j が等価であるとは, 任意の入力系列 \mathcal{X} に対し, $\omega^*(q_i, \mathcal{X}) = \omega^*(q_j, \mathcal{X})$ であることをいう。

ここで, $\omega^*(q_i, \mathcal{X})$ は, M が状態 q_i にあるときに入力系列 \mathcal{X} を与えたときの出力系列である。

- (2) q_0 と q_3 を p_0 , q_1 と q_2 を p_1 , q_4 を p_2 と表すことにより, M の状態数を最小化した順序回路を N とする。 N の状態集合を $\{p_0, p_1, p_2\}$ として, その状態遷移表を書け。また, N の状態遷移図を書け。

- (3) N は初期化可能ではないことを示せ。

ただし, ある入力系列 \mathcal{X} について, どの状態 p_j に対しても $\delta^*(p_j, \mathcal{X}) = p_i$ となる状態 p_i が存在するときに限り, N は初期化可能であるという。

ここで, $\delta^*(p_j, \mathcal{X})$ は, N が状態 p_j にあるときに入力系列 \mathcal{X} を与えたときの遷移後の状態を表す。

6

離散時間線形時不変システムの入力 $x(n)$ と出力 $y(n)$ の関係が次式で与えられるとき、以下の問いに答えよ。

$$y(n) = -\frac{1}{2}ax(n) + x(n-1) + 2by(n-1) - b^2y(n-2)$$

ここで、 a と b は任意の定数である。

- (1) 伝達関数 $H(z)$ を求めよ。
- (2) 次式で与えられる $x(n)$ が本システムに入力されたものとする。出力 $y(n)$ を求めよ。

$$x(n) = -\frac{2}{a}\left(\frac{2}{a}\right)^n u(n) + \frac{2b}{a}\left(\frac{2}{a}\right)^{n-1} u(n-1)$$

ここで、 $u(n)$ は単位ステップ関数である。

- (3) このシステムが安定となる a と b の条件を求めよ。

計算機で複雑な確率分布を持つ乱数を発生させる方法として、単純な分布を持つ変数を元に変換によって所望の分布を持つ変数にする方法が用いられる。いま、実数値をとる確率変数 X の確率密度関数 $p_X(x)$ が以下で与えられるとする。

$$p_X(x) = \begin{cases} 1 & (0 \leq x < 1) \\ 0 & (x < 0, x \geq 1) \end{cases} \quad \dots \textcircled{1}$$

このとき、以下の問に答えよ。

- (1) 上記の確率変数 X を、 $Y = 2X + 1$ を用いて変換した確率変数 Y の確率分布関数 $F_Y(y) = P(Y \leq y)$ を求めよ。ただし、 $P(\theta)$ は事象 θ の発生確率とする。

- (2) (1)の結果を右微分することにより、 Y の確率密度関数 $p_Y(y)$ を求めよ。ただし、右微分とは次の式で与えられるものである。

$$f'_+(x) := \lim_{h \rightarrow +0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

- (3) 一般に $W = f(V)$ によって変数を変換する時、 $f(V)$ の逆関数が存在し、微分可能であるとき、以下の式が成り立つことを示せ。ただし、 $p_V(\cdot)$, $p_W(\cdot)$ は、それぞれ確率変数 V , W の確率密度関数である。

$$p_W(w) = p_V(f^{-1}(w)) \left| \frac{d}{dw} f^{-1}(w) \right|$$

- (4) (3)の結果を用いて、確率変数 X の確率密度関数が①式で与えられるとき、 $Z = -\log_e X$ によって変換した確率変数 Z の確率密度関数を求めよ。

8

シンボル 0 と 1 を発生する情報源があり、シンボル 0 の発生確率が r であるとする。この情報源から出力される情報を、図 1 に示す誤り率 q (但し $q < 1/2$) である 2 元対称通信路を通して受信するとき、次の問に答えよ。なお、ここで $p(x_0), p(x_1), p(y_0), p(y_1)$ は、それぞれ送信シンボル 0, 1, 受信シンボル 0, 1 の発生確率とする。

- (1) 送信シンボルのエントロピー $H(X)$ を求めよ。
- (2) 受信シンボルのエントロピー $H(Y)$ を求めよ。
- (3) この通信路における散布度を示す条件付エントロピー $H(Y|X)$ は、情報源の発生確率に依存しないことを証明せよ。
- (4) 受信シンボルに着目すると、この通信路の通信容量は次式で定義される。

$$C = \max_{p(x_0)+p(x_1)=1} \{H(Y) - H(Y|X)\}$$

この通信容量を求め、その際のシンボル 0 の情報源発生確率 r を求めよ。

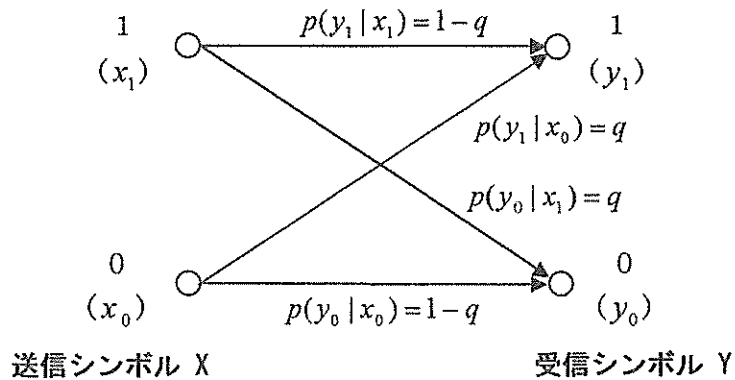


図 1