

図1のように2回線送電線を通じて、電圧の大きさと位相が常に一定の無限大母線へ電力を供給している三相对称の電力系統を考える。図1は一相分の等価回路を表し、 $X$ は1回線の線路リアクタンスを表す。また、 $E_r$ および $E_s$ はそれぞれ無限大母線および送電端の線間電圧の実効値であり、 $E_r$ に対する $E_s$ の位相角は $\delta$ （進み位相）である。発電機の内部インピーダンスを無視する。以下の各問に答えよ。

- (1)  $E_r$ ,  $E_s$ ,  $X$ および $\delta$ を用いて、2回線送電時における発電機の出力電流のベクトル $I$ を表す式を示せ。
- (2) 2回線送電時の送電電力 $P_E$ を表す式について、(1)で導出した $I$ の式を用いて、導出の過程を含めて示せ。また、 $P_E$ と $\delta$ との関係（電力一位相角曲線）を図示せよ。
- (3) 2回線で $P_E$ を送電中に1回線が遮断された。1回線送電時の電力一位相角曲線を(2)の図中に併記せよ。また、1回線送電時も発電機への機械的入力 $P_M$ が変化しない場合について、新しい安定平衡点における位相角 $\delta_1$ を図中に示せ。
- (4) (3)において、1回線送電の安定平衡点に至る過程で $\delta$ が満たすべき条件とその理由について、(2)および(3)で示した図を用いて述べよ。
- (5) 図1の発電機がガスー蒸気コンバインドサイクル発電の場合、 $P_M$ は具体的には何を示すか答えよ。
- (6) 電力系統では、回線遮断等の擾乱時だけでなく、定常時においても長短様々な周期の電力需要の変動に対して需給バランスを保ち、周波数を一定に維持している。下記の各項目について、対応する需要変動周期の短い順に答えよ。
  - (a) 負荷周波数制御
  - (b) 発電機ガバナフリー運転
  - (c) 経済負荷配分制御
  - (d) 電力需要の自己制御特性

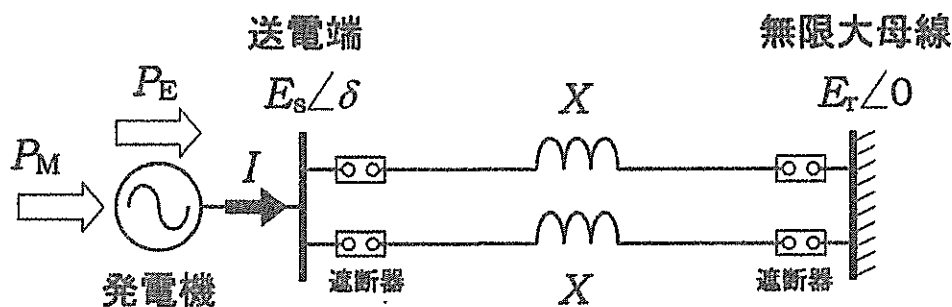


図1

2

図1に示すように、抵抗  $R$ 、容量  $C$  のコンデンサおよび、自己インダクタンス  $L$  と相互インダクタンス  $M$  の変成器からなる回路に、電圧の実効値  $E$ 、角周波数  $\omega$  の正弦波交流電圧源が接続されている。以下の問に答えよ。

- (1) 端子  $ab$  間の電圧  $V_{ab}$  を求めよ。また、コンデンサの容量  $C$  を  $0$  から無限大に変化させたときの  $V_{ab}$  の電圧軌跡を図示せよ。なお、 $C=0$  および無限大の時の軌跡の位置を明示せよ。
- (2)  $E$  と  $V_{ab}$  の位相差が  $90$  度になるための  $C$  の値を求めよ。

問(2)で求めた条件を満たす  $C$  の下で、以下の問いに答えよ。

- (3) 端子  $ab$  間に抵抗  $R_1$  を接続したとき、抵抗  $R_1$  に流れる電流  $I_1$  をテブナンの定理を用いて求めよ。
- (4) 角周波数  $\omega$  を変化させたとき、抵抗  $R_1$  で消費される電力  $P_1$  が最大になるときの  $\omega_1$  および  $P_1$  を求めよ。
- (5) 角周波数  $\omega_1$  のとき、 $R_1$  を変化させて  $P_1$  が最大になるときの  $R_1$  および  $P_1$  を求めよ。
- (6) 問(5)で求めた条件のとき、電源から供給される電流  $I_0$  を、 $E$  を用いて表せ。ただし、 $M \ll L$  とする。

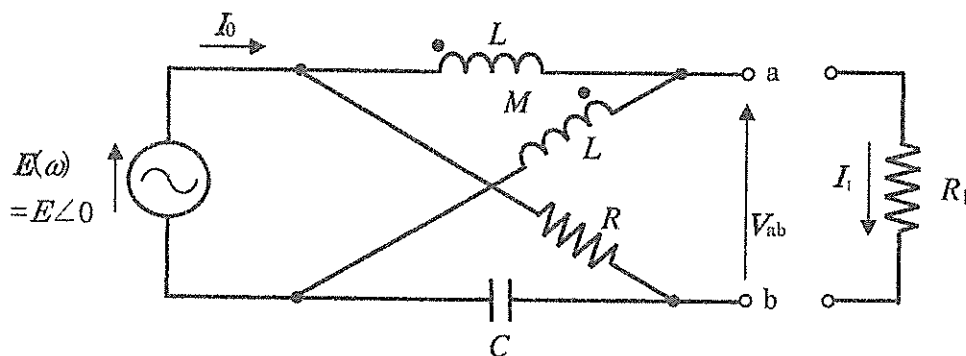


図1

次式で定義されるエミッタ接地回路の $h$ パラメータを用いて図1の増幅器に関する以下の問に答えよ。ここで $v_i$ ,  $i_i$ ,  $v_o$ ,  $i_o$ は、それぞれ、入力電圧、入力電流、出力電圧、出力電流である。

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

ただし、問題を解く際には下記の条件に従うこと。

- ・ $h_{re}$ と $h_{oe}$ は十分小さく無視できるとし、また、 $h_{fe}$ は十分大きく、 $h_{fe} \gg h_{ic}/R_{E1}$ と近似して良い。
- ・図中のトランジスタの特性はすべて等しい。
- ・容量 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ は十分大きく、考えている信号周波数でそのインピーダンスは無視できる。
- ・出力インピーダンスを求める時は、入力には理想的な電圧源を接続したと考えること。

1. 図1(a)の増幅器の電圧増幅率 $A_v = v_{out}/v_{in}$ 、及び、出力インピーダンスを求めよ。
2. 図1(b)の増幅器の電圧増幅率 $A_v = v_{out}/v_{in}$ 、及び、出力インピーダンスを求めよ。
3. 図2に示された $I_C$ - $V_{CE}$ 特性、 $I_B$ - $V_{BE}$ 特性を持つトランジスタを用いて、図1(a)の増幅器の $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_C$ ,  $R_{E1}$ を設計せよ。ただし、動作点は $I_C$ - $V_{CE}$ 特性のP点とし、 $V_{CC}=20V$ ,  $A_v=9$ ,  $I_1=0.1mA$ とする。
4. 図1(a)の増幅器に $1k\Omega$ から $10k\Omega$ で変動する負荷抵抗 $R_L$ を接続することを考える。この時、図1(a)の出力に直接負荷抵抗を接続した場合と、図1(c)に示すように、図1(b)の回路を介して接続した場合の出力の振る舞いを述べ、部分回路IIの効果の説明せよ。

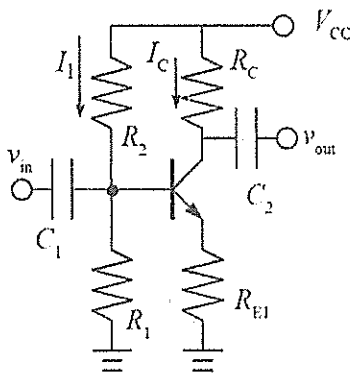


図1(a)

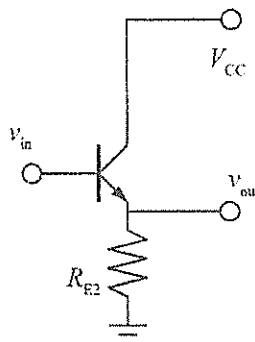


図1(b)

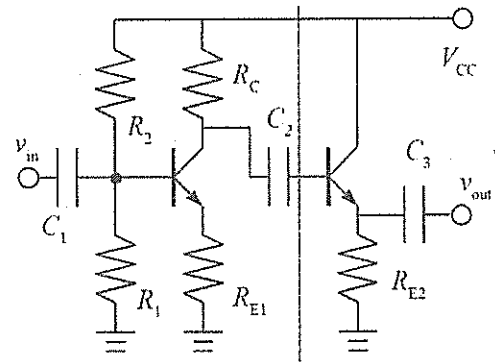


図1(c)

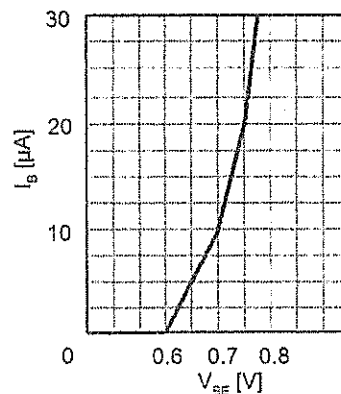
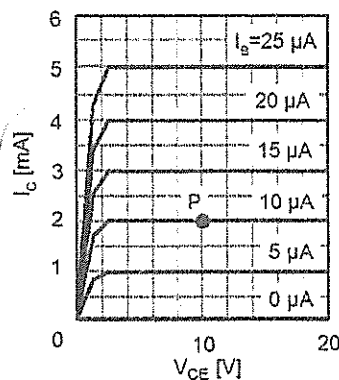


図2

pn 接合について考える。ただし、接合前の p 型, n 型それぞれにおける価電子帯の頂上のエネルギー  $E_{vp}$ ,  $E_{vn}$  と伝導帯の底のエネルギー  $E_{cp}$ ,  $E_{cn}$ , フェルミエネルギー (フェルミ準位)  $E_{Fp}$ ,  $E_{Fn}$  を図 1 に示す。また、接合前のアクセプタ, ドナーは、ともにイオン化して正孔, 電子を価電子帯, 伝導帯に供給し、電気的中性を保っているとする。次の問に答えよ。

- (1) pn 接合を作った場合のエネルギーバンド図とフェルミエネルギー  $E_F$  を図示せよ。ただし、接合面を  $x=0$ ,  $x<0$  を p 型領域,  $x>0$  を n 型領域とする。
- (2) 接合した場合の電位障壁 (拡散電位あるいは内蔵電位)  $V_D$  の大きさを,  $E_{vp}$ ,  $E_{vn}$ ,  $E_{cp}$ ,  $E_{cn}$  および電子電荷  $-e$  のうち必要な記号を用いて表せ。
- (3) イオン化したアクセプタ密度を  $N_A$ , ドナー密度を  $N_D$ , 真空の誘電率を  $\epsilon_0$ , この物質の比誘電率を  $\epsilon$  とした場合, p 型, n 型それぞれの領域における電位分布  $\phi_p(x)$ ,  $\phi_n(x)$  に対するポアソン方程式を示せ。ただし、接合後の空乏層内ではキャリアが存在しないとする。
- (4) p 型, n 型それぞれの領域において、接合面から考えて電界が 0 となる位置をそれぞれ  $-x_p$ ,  $x_n$  とした場合, (3) を用いて p 型, n 型それぞれの領域における電位  $\phi_p(x)$ ,  $\phi_n(x)$  を表す式を求めよ。ただし,  $\phi_p(0) = \phi_n(0) = 0$  とする。
- (5)  $x$  軸に対する電界分布の概略を図示せよ。
- (6) (4) より,  $x_p$ ,  $x_n$  を用いて  $V_D$  を求めよ。

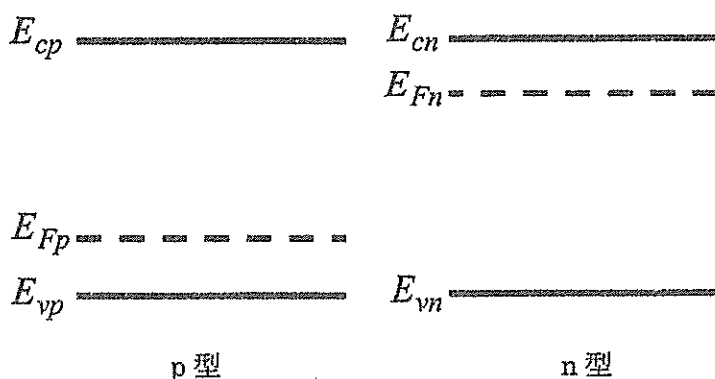


図 1

5

図1の状態遷移図で表されるミーリー型順序回路について考える。次の問に答えよ。

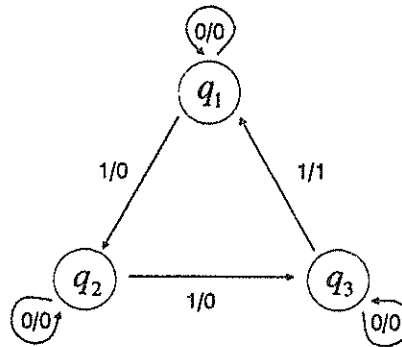
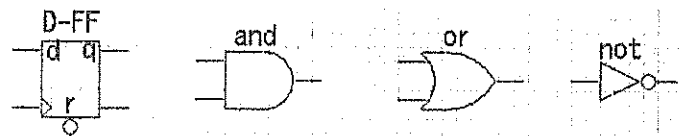


図1：状態遷移図

- (1) 図1の状態遷移図より、入力  $x$ ，出力  $z$  として状態遷移表を作成せよ。
- (2) 各状態  $q_i$  ( $i=1,2,3$ ) を論理変数  $Q_1, Q_2$  を用いて、状態  $q_i = (Q_1, Q_2)$  と表現し、具体的な値割り当てを  $q_1 = (0,0)$ ， $q_2 = (0,1)$ ， $q_3 = (1,0)$  とする。状態  $q_i$  が入力  $x$  により遷移した先の状態  $q_{i'}$  を論理変数  $Q'_1, Q'_2$  を用いて  $q_{i'} = (Q'_1, Q'_2)$  と表現するとき、 $Q'_1, Q'_2$  および出力  $z$  のそれぞれについて、入力  $x$  と  $Q_1, Q_2$  によるカルノー図を描け。また、 $Q'_1, Q'_2$  および出力  $z$  について、項数が最小となるように簡易化した論理式を示せ。
- (3) エッジトリガ D-FF と論理素子 (and, or, not) を用いて図1の状態遷移を実現する順序回路を示せ。ただし、回路の表記には以下の記号を用いよ。



- (4) 図1の状態遷移図を図2のように  $n$  状態に拡張した場合、この状態遷移を D-FF を用いた順序回路により実現するために必要な D-FF の個数  $k$  と、状態数  $n$  の関係を説明せよ。

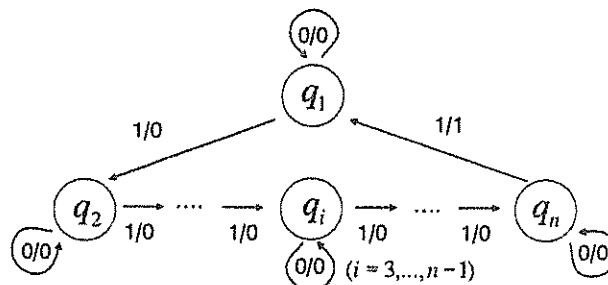


図2： $n$  状態に拡張した状態遷移図

線形時不変システムが与えられ、標本化周期は1であるとする。この時、システムのインパルス応答  $h[n]$  ( $n = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots$ , ただし  $n < 0$  もしくは  $N < n$  の時  $h[n] = 0$ ) の  $z$  変換 (システムの伝達関数)  $H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h[n]z^{-n}$  から、インパルス応答のフーリエ変換 (周波数応答) が  $H(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h[n]e^{-jn\omega}$  として与えられる。以下の問いに答えよ。

1. システムのインパルス応答が  $h[n]$  であり、その周波数応答  $H(e^{j\omega})$  が実関数  $r_H(\omega)$  と実関数  $\theta_H(\omega)$  を用いて  $H(e^{j\omega}) = r_H(\omega) \times e^{-j\theta_H(\omega)}$  と表されたとする。

- (a) 複素正弦波  $x(t) = e^{j\omega_0 t}$  を標本化して得られる信号  $x[n] = e^{j\omega_0 n}$  ( $n = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots$ ) をシステムに入力したときの出力  $y[n]$  を、 $H(e^{j\omega})$  を用いて表せ。
- (b) 上の出力  $y[n]$  は、複素正弦波  $x(t)$  を実数倍し、一定時間遅延させた信号  $\alpha x(t - \Delta t)$  を標本化したものと見なせる。この倍率  $\alpha$  と遅延時間  $\Delta t$  を求めよ。

2. 以下で与えられる対称性

$$\left. \begin{array}{l} a_n = a_{N-n} \\ b_n = -b_{N-n} \end{array} \right\} \quad (n = 0, 1, \dots, N, \text{ ただし } N \text{ は奇数})$$

を満足する伝達関数

$$\begin{aligned} A(z) &= a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N} \\ B(z) &= b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-N} \end{aligned}$$

がある。各々の周波数応答  $A(e^{j\omega}) = a_0 + a_1 e^{-j\omega} + \dots + a_N e^{-jN\omega}$  と  $B(e^{j\omega}) = b_0 + b_1 e^{-j\omega} + \dots + b_N e^{-jN\omega}$  とが、それぞれ実関数  $r_A(\omega)$  と実関数  $r_B(\omega)$  を用いて

$$\begin{aligned} A(e^{j\omega}) &= r_A(\omega) \times e^{-j\frac{N}{2}\omega} \\ B(e^{j\omega}) &= r_B(\omega) \times j e^{-j\frac{N}{2}\omega} = r_B(\omega) \times e^{-j(\frac{N}{2}\omega - \frac{\pi}{2})} \end{aligned}$$

で表されることを示せ。

3. 現実的な信号は周波数の異なる複素正弦波の重ね合わせと捉えることができる。これらの周波数の異なる各複素正弦波において、周波数にかかわらず遅延が一定となり、問1(b)の倍率  $\alpha$  のみが増加するような信号処理を実現する伝達関数は、問2の2つの伝達関数  $A(z), B(z)$  のいずれであるか、理由をつけて述べよ。

A氏へ1時間にかかってくる電話の本数  $X_1$  は平均1のポアソン分布に従い, A氏へ1時間に届く電子メールの本数  $X_2$  は平均2のポアソン分布に従うものとする。  $X_1$  と  $X_2$  は互いに独立である。平均  $\lambda$  のポアソン分布は次式で与えられる。

$$P_\lambda(X) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^X}{X!} \quad (X = 0, 1, 2, \dots)$$

以下の問に答えよ ( $e^{-1} = 0.3679$ ,  $e^{-2} = 0.1353$ ,  $e^{-3} = 0.0498$  とせよ)。

- (1)  $\sum_{X=0}^{\infty} P_\lambda(X)$  を求めよ (計算過程を明示すること)。
- (2) ポアソン分布  $P_\lambda(X)$  のモーメント母関数  $\phi_X(\theta) = \sum_{X=0}^{\infty} e^{\theta X} P_\lambda(X)$  を求め, これを用いて確率変数  $X$  の平均値  $E(X)$  と分散  $V(X)$  を求めよ。
- (3) A氏へ2時間電話がかかってくる確率を求めよ。
- (4) A氏へ1時間にかかってくる電話の本数が3以上である確率を求めよ。
- (5) A氏へ1時間にかかってくる電話の本数と電子メールの本数の合計が3である確率を求めよ。
- (6) 確率変数  $Y = X_1 + X_2$  がポアソン分布に従うことを, (2)のモーメント母関数を用いて証明せよ。
- (7) A氏は4時間会議に出席し, 不在であった。この間にかかってきた電話と届いたメールの合計の数の分布を求めよ。

情報源符号化について考える。

- (1)  $a, b, c, d$  の 4 つの文字を, 0 と 1 の 2 つの記号を用いて符号化する。以下の各問に答えよ。

- (a)  $a, b, c, d$  に対応する各符号語の長さが, 以下の表で与えられる符号を考える。  
このような符号のうち, 一意復号可能な符号は存在するか, しないか, 理由を付して答えよ。

文字	符号語の長さ
$a$	1
$b$	2
$c$	3
$d$	3

- (b) 以下の表で与えられる符号は瞬時復号可能か, 可能ではないか, 理由を付して答えよ。

文字	符号
$a$	0
$b$	01
$c$	011
$d$	0111

- (2)  $a, b, c$  の 3 つの文字の発生確率が以下の表で与えられる無記憶情報源  $S$  がある。

文字	発生確率
$a$	$1/6$
$b$	$1/3$
$c$	$1/2$

以下の各問に答えよ。導出過程も記せ。

- (a)  $S$  のエントロピー  $H(S)$  を求めよ。  
 (b) 0 と 1 の 2 つの記号を用いて,  $S$  に対するハフマン符号を構成せよ。また, その平均符号長を求めよ。  
 (c)  $S$  の 2 次拡大情報源  $S^2$  の各文字列の発生確率は以下ようになる。

文字列	発生確率
$aa$	$1/36$
$ab$	$1/18$
$ac$	$1/12$
$ba$	$1/18$
$bb$	$1/9$
$bc$	$1/6$
$ca$	$1/12$
$cb$	$1/6$
$cc$	$1/4$

$S^2$  に対して, 0 と 1 の 2 つの記号を用いてハフマン符号を構成せよ。また, 1 文字あたりの平均符号長を求めよ。

- (d) 前問の  $S^2$  に対して, 0, 1, 2, 3 の 4 つの記号を用いてハフマン符号を構成せよ。