1

下図は抵抗と静電容量を無視した無損失短距離送電線路の一相分等価回路である。送電端，受電端の電圧ベクトルをそれぞれ $\boldsymbol{V}_s = V_s \varepsilon^{j\delta}$，$\boldsymbol{V}_r = V_r \varepsilon^{j0}$，線路のリアクタンスを X として以下の問いに答えよ。

（1） 電力システムは三相交流方式で運用されているが，通常の状態では一相分の等価回路で線路の電気的特性が理解できる理由を述べよ。また，短距離送電とみなせる距離はどの程度か。短距離送電とみなせる理由とともに解答せよ。

（2） 受電端の負荷が送電線路から受け取る有効電力 P_r，無効電力 Q_rは，受電端の電圧ベクトル $\boldsymbol{V}_r$ と線路電流 $\boldsymbol{I}$ の共役ベクトル $\boldsymbol{I}^*$ との積 $\boldsymbol{V}_r\boldsymbol{I}^*$ を用いて次式のように与えられる。

$$P_r + jQ_r = \boldsymbol{V}_r\boldsymbol{I}^* \qquad \cdots\cdots \quad ①$$

式①を基準電力 $W_n = V_r^2/X$ で規格化した電力ベクトル $\boldsymbol{V}_r\boldsymbol{I}^*/W_n$ を考える。δ を変化させた場合の $\boldsymbol{V}_r\boldsymbol{I}^*/W_n$ の軌跡を受電円という。V_s/V_r＝0.95, 1.00, および 1.05 として，それぞれの場合の受電円を重ねて描け。

（3） P_r および Q_r の表式を V_s, V_r, δ, X を用いて表せ。

（4） V_s/V_r を一定にして δ を 20° の近傍で少し変化させた場合，P_r/W_n と Q_r/W_n のどちらが大きく変化するか。また，δ を 20° で一定にして，V_s/V_r を少し変化させた場合，P_r/W_n と Q_r/W_n のどちらが大きく変化するか。問（2）で描いた図，あるいは問（3）の表式を参考にして，理由も明確に記述すること。

（5） P_r が最大値を示す δ を δ^* とするとき，δ^* はいくらか。また，δ が δ^* より小さな角度（δ＜20° ～ 30°）で実際の電力システムが運用されている理由を述べよ。

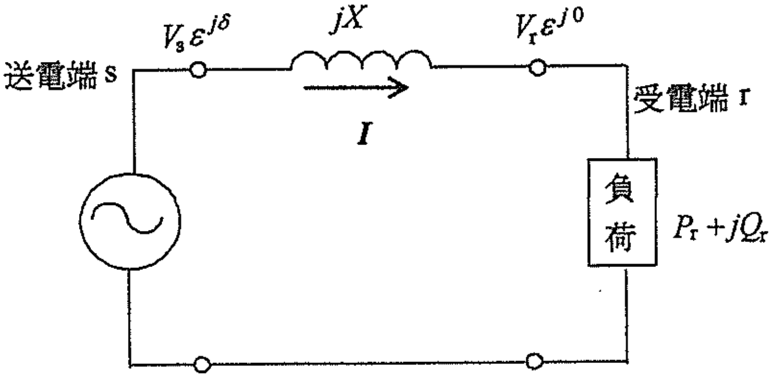


図　無損失短距離送電線路

2

図のように，変圧器（自己インダクタンス L_1 および L_2，相互インダクタンス M）の一次側が電流源 $\boldsymbol{I}$（実効値 $|I|$，角周波数 ω）に，二次側がスイッチ Sw を介して負荷（抵抗 R，リアクタンス X，$-\infty < X < \infty$）に接続されている。以下の問に答えよ。ただし，変圧器の一次側電圧，二次側電圧および二次側電流に関して，図中に示した向きを正とせよ。

(1) スイッチ Sw が開いているとき，一次側電圧 $\boldsymbol{V}_{10}$ および二次側端子電圧 $\boldsymbol{V}_{20}$ を求めよ。

(2) スイッチ Sw が閉じられてから十分時間が経過したあとについて，

(a) 二次側電流 $\boldsymbol{I}_2$ を求めよ。

(b) 一次側電圧 $\boldsymbol{V}_1$ および二次側電圧 $\boldsymbol{V}_2$ を求めよ。

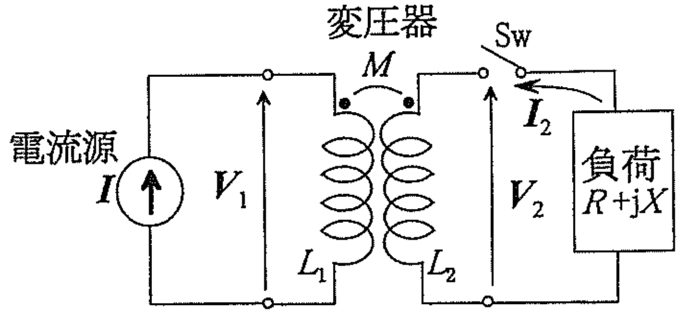
(c) 電流源の電流 $\boldsymbol{I}$ を基準ベクトルとして，負荷のリアクタンス X が変化したときの二次側電流 $\boldsymbol{I}_2$ のベクトル軌跡を描け。また，$R = \omega L_2$ として，$X = -\infty$，0 および ∞ に対応する点をベクトル軌跡上に明記せよ。

(3) 前問のようにスイッチ Sw が閉じられて定常状態にあるときに，二次側電流 $\boldsymbol{I}_2$ の大きさが最大になるように負荷のリアクタンス X を調整した。

(a) そのときのリアクタンス X の大きさを求めよ。

(b) そのとき，負荷で消費される電力の大きさを求めよ。

(c) そのとき，電流源側（変圧器一次側）から負荷側を見た力率を求めよ。また遅れ力率か進み力率かについても答えよ。



図

3

図1の差動増幅器の小信号特性について以下の問いに答えよ。特別に指定のない限り，バイポーラトランジスタ Tr_1 と Tr_2 は同じ特性をもつとし，同じ h パラメータを用いること。

なお，エミッタ接地回路の入力電圧を v_i，入力電流を i_i，出力電圧を v_o，出力電流を i_o としたとき，4つの h パラメータは次式で定義される。

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

ただし，h_{oe} と h_{re} は小さく無視できるものとする。

1) 差動入力電圧 (v_2-v_1) に対する差動出力 $(v_{o2}-v_{o1})$ の電圧増幅度 $(A_D=(v_{o2}-v_{o1})/(v_2-v_1))$ を求めよ。
2) 同相入力 $(v_1=v_2=v_{CM})$ に対する同相出力 $((v_{o2}+v_{o1})/2=v_o)$ の電圧増幅度 $(A_{CC}=v_o/v_{CM})$ を求めよ。
3) 同相入力 $(v_1=v_2=v_{CM})$ に対する差動出力 $(v_{o2}-v_{o1})$ の 電圧増幅度 $(A_{CD}=(v_{o2}-v_{o1})/v_{CM})$ を求めよ。
4) 電源電圧 V_{CC} に微小なノイズが加わったとき，同相出力 $((v_{o2}+v_{o1})/2=v_o)$，差動出力 $(v_{o2}-v_{o1})$ にどのようなノイズが現れるか，説明せよ。
5) 二つのトランジスタ Tr_1 と Tr_2 の h_{fe} にわずかな違いがある時を考える。Tr_1, Tr_2 の h_{fe} をそれぞれ，h_{fe1}, h_{fe2} とするとき，同相入力 $(v_1=v_2=v_{CM})$ に対する差動出力 $(v_{o2}-v_{o1})$ の電圧増幅度 $(A_{CD}=(v_{o2}-v_{o1})/v_{CM})$ を求めよ。

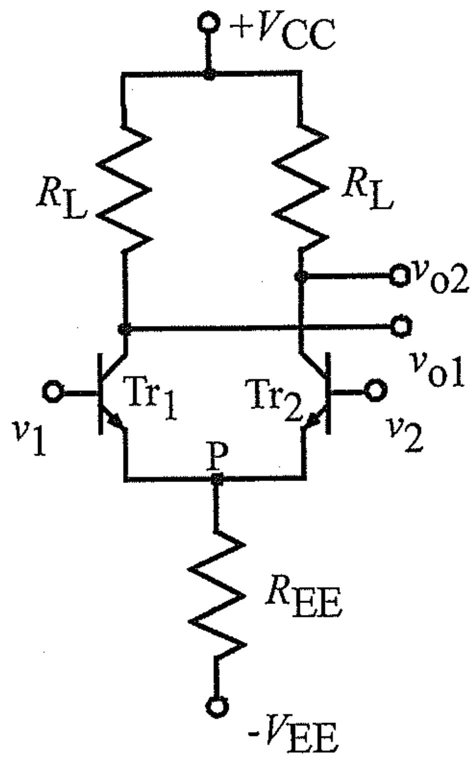


図1

$\boxed{4}$

一次元ポテンシャル$V(x)$の影響を受けて運動する質量mの電子に対するシュレーディンガー方程式は，電子のエネルギーをEとすると

$$\left\{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}+V(x)\right\}\phi(x)=E\phi(x)$$

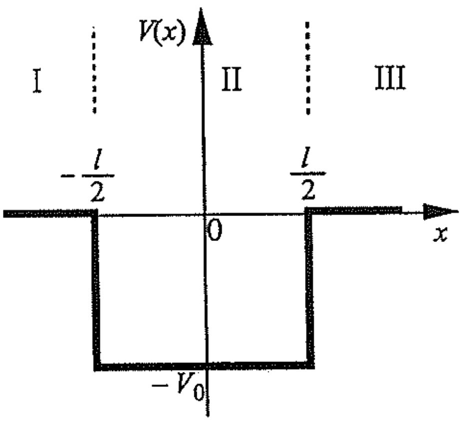
であり，$V(x)$が一定である領域での一般解は

$$\phi(x)=A\sin(kx)+B\cos(kx) \qquad (E>V(x)) \qquad ①$$

または

$$\phi(x)=C\exp(\alpha x)+D\exp(-\alpha x) \qquad (V(x)>E) \qquad ②$$

と表せる。ただし，A, B, C, Dは積分定数とする。これを用いて，下図のポテンシャルに束縛された電子を考える。ポテンシャルの変化するところを境として左より領域I, II, IIIとする。以下の問に答えよ。



$$V(x)=\begin{cases}0 & (\frac{l}{2}<|x|)\\ -V_0 & (|x|\le\frac{l}{2})\end{cases}$$

(1) EおよびV_0を用いてkおよびαを表せ。

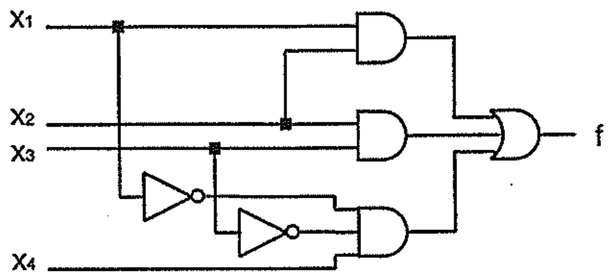
(2) ポテンシャルが偶関数の場合，ϕは偶関数あるいは奇関数になる。式①および②より，ϕが偶関数と奇関数のそれぞれの場合について各領域の波動関数の一般解を書け。ただし，偶関数，奇関数それぞれの場合において使用する積分定数は2つのみとせよ。

(3) ϕが偶関数と奇関数それぞれの場合について，$|x|=\frac{l}{2}$での境界条件を用い，αをkとlの関数として表せ。

(4) ϕが偶関数の場合の最低エネルギー準位と，ϕが奇関数の場合の最低エネルギー準位について，それぞれ$\phi(x)$の概略図を書け。また，V_0がある値の時に複数の束縛状態が存在しているとして，偶関数と奇関数の最低エネルギーの大小関係から，基底状態のϕが偶関数と奇関数のどちらであるかを説明せよ。

5

(1) 以下に示す論理回路の出力fを入力x_1, x_2, x_3, x_4を用いた積和形論理式で表せ。ここで，積和形論理式とは，積項の論理和からなる論理式のことをいう。積項とは，論理変数のリテラルを高々 1 つしか含まない論理積のことをいい，リテラルとは，論理変数およびその否定のことをいう。



(2) 上記回路において，単一入力の変化によりハザードを生じさせる入力の時系列について考える。ここで，ハザードとは，入力の変化後安定した出力が得られるまでに出力に生じる瞬時的なパルスのことをいう。どのゲートの遅延も同一であり，配線による遅延はないと仮定し，以下の問に答えよ。

(a) 一般に，ハザードが生じる原因を述べよ。

(b) 上記回路において，単一入力の変化によりハザードが生じるとすれば，どの入力が変化し，それ以外の入力がどのような値の場合か，該当する場合を全て列挙せよ。

(c) 単一入力の変化によりハザードを生じさせる入力の最短の時系列を全て列挙せよ。

6

伝達関数が次式で表されるフィルタを考える。

$$H(z) = \frac{1}{K}\sum_{k=0}^{K-1} z^{-k} \tag{1}$$

ただし、サンプリング間隔は T とする。
以下の問に答えよ。

(1) 入力信号に対して、このフィルタはどのような処理を行うか述べよ。

(2) $K = 3$ の場合の振幅特性および位相特性を求め、振幅特性を図示せよ。

(3) K が奇数のとき、式 (1) のフィルタの振幅特性および位相特性を求め、これらの特徴を述べよ。

(4) 式 (1) のフィルタのしゃ断周波数 f_c を求めよ。ここでは、周波数軸の原点から最初に振幅が 0 となる周波数をしゃ断周波数という。f_c と K の関係を論ぜよ。

(5) 式 (1) のフィルタの阻止域での振幅が最大となる周波数とその振幅値を求めよ。阻止域とは f_c 以上の周波数帯域のことをいう。阻止域での振幅の最大値と K の関係を論ぜよ。

7

ある電子メールがメールサーバに届き，次の電子メールがメールサーバに届くまでの時間間隔T（確率変数）の確率密度は、指数分布$F(t)=\lambda e^{-\lambda t}$（ただし$\lambda>0$）とする。以下の設問に答えよ。

1．時間Tの期待値を求めよ。

2．ある時間tの間に電子メールが一通も届かない確率$P_0(t)$を求めよ。

3．時間tの間にn通（$n\geq1$）の電子メールが届く確率を$P_n(t)$とする。また，時間$t+h$の間にn通（$n\geq1$）の電子メールが届く確率を$P_n(t+h)$とする。$P_1(t+h)$を$P_0(t)$, $P_1(t)$と$P_0(h)$, $P_1(h)$を用いて表せ。

4．$P_0(t)$は$1-\lambda t+o(t^2)$と展開できることを示せ。(ただし、$o(t^2)$はtの２次以上の多項式を表す)。

5．$\lambda h<<1$の時，$P_1(h)=\lambda h+o(h^2)$と表すことができる。(ただし，$o(h^2)$はhの２次以上の多項式を表す)。問２，問３，問４の結果を用いて$h\to0$とすることにより，$P_1(t)$に関する微分方程式を書き表せ。

6．$P_1(t)$に関する微分方程式の解を求めよ。

$\boxed{8}$

ある地点の天気とその天気予報について考える。簡単のため，晴と雨だけしかないとする。いま，実際の天気を X，天気予報を Y と表したとき，X と Y の結合確率分布 $P(X,Y)$ が表1のように与えられるとする。また，必要であれば以下の値を用いよ。$\log_2 3 = 1.58, \log_2 5 = 2.32$

(1) 実際の天気を，晴と雨を情報源アルファベットとする記憶のない情報源であると考えたとき，そのエントロピー $H(X)$ を求めよ。

(2) 天気予報 Y で条件をつけたときの X の条件付きエントロピー $H(X|Y)$ を求めよ。

(3) (1)と(2)の差 $H(X)-H(X|Y)$ は，天気予報を聞くことにより減少する「実際の天気のあいまいさ」と考えることができ，これを X と Y の相互情報量 $I(X;Y)$ と呼ぶ。表1で与えられる天気予報について相互情報量 $I(X;Y)$ を求めよ。

(4) ある地点での実際の天気が，晴と雨がそれぞれ等確率で起こるとする。この時の天気予報の的中率を p とする。すなわち，

$$P(晴,晴)=P(雨,雨)=p,\quad P(晴,雨)=P(雨,晴)=1-p$$

とする。この時，$I(X;Y)$ と p の関係をグラフで表し，相互情報量と的中率の関係を論ぜよ。

表1

$P(X,Y)$		Y: 晴	Y: 雨
X	晴	0.4	0.2
X	雨	0.1	0.3