17.16

2　交流回路・アナログ電子回路

問１

解答例

テブナンの定理により問題の図１に示す回路の等価回路は図 1a のようになる。

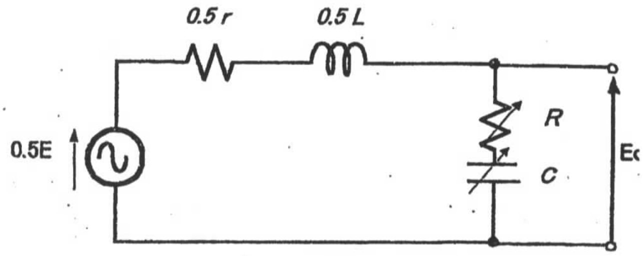


図1a

（１）$\dfrac{E_o}{E}=\dfrac{0.5(R+\dfrac{1}{j\omega C})}{(R+0.5r)+j(0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C})}$　より $\left|\dfrac{E_o}{E}\right|=0.5\dfrac{\sqrt{R^2+(\dfrac{1}{\omega C})^2}}{\sqrt{(R+0.5r)^2+(0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C})^2}}$

（２）$I_1=\dfrac{0.5E}{(R+0.5r)+j(0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C})}$　より $|I_1|=\dfrac{0.5|E|}{\sqrt{(R+0.5r)^2+(0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C})^2}}$

（３）$I_1=\dfrac{0.5E}{(R+0.5r)+j(0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C})}$ より電圧 E と I_1 が同相となるには，$0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C}=0$

でなければならない。従って、上式より $C=\dfrac{2}{\omega^2 L}$ が得られる。

（４）抵抗Ｒで消費される電力 $P_R(=R|I_1|^2)$ は（２）の結果を用いて次式で与えられる。

$$P_R=\frac{0.25\,R|E|^2}{(R+0.5r)^2+(0.5\omega L-\dfrac{1}{\omega C})^2}$$

ここで､R と C は互いに独立に変化できるので､まず R を固定して C を変化させて P_R を最大にする。　上式の分母の第２項が０となる時が最大であり、従って $C=\dfrac{2}{\omega^2 L}$ でなければならない。　次に、R を変化させて $C=\dfrac{2}{\omega^2 L}$ の時の P_R が最大となるような R を求めると $R\ =\ 0.5r$　となる。

よって　$C=\dfrac{2}{\omega^2 L}$　　$R=0.5r$ のとき抵抗Ｒで消費される電力が最大となる。

問題１２　交流回路・アナログ電子回路

問２　解答例

トランジスタの性質を表す式は次のA、B式であり、

$I_B[\mu A] = 500 \times (V_{BE}[V] - 0.7) + 20$ －－（A）

$I_C = 100 \times I_B$ －－（B）

与えられた条件は、$V_B = 2.0V$、$I_C = 2mA$、$I_E = I_C$、$I_{R1} = I_{R2}$、

$E_{CC} = 9V$、$R_C = 3k\Omega$　である。

（1）$I_C = 2mA$とB式より、$I_B = 20\mu A$、　A式より　$V_{BE} = 0.7V$　と求まる。

$V_B = 2.0V$より、$V_E = V_B - V_{BE} = 1.3V$、

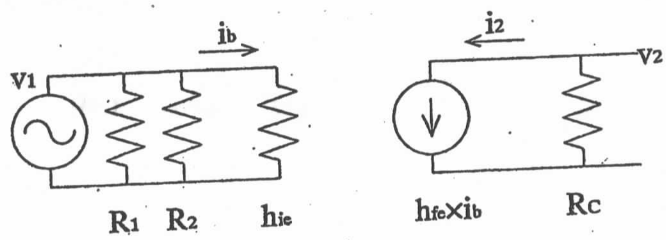
又$I_E = I_C = 2mA$より$R_E = V_E / I_E = 650\Omega$、　と求まる。

（2）$I_{R1} = I_{R2} = 10 \times I_B = 200\mu A = 0.2mA$、

$I_{R1} \times (R_1 + R_2) = 9V$、$R_2 / (R_1 + R_2) = V_B / E_{CC} = 2.0/9$

これより、$R_1 = 35k\Omega$、$R_2 = 10k\Omega$、である。

（3）（4）　図２の回路の小信号等価回路は右の図となる。



ここで、h_{fe}はB式より、$h_{fe} = \beta = 100$

h_{ie}はA式より、$h_{ie} = dV_{BE}/dI_B = (1/500) \times 10^6\Omega = 2k\Omega$、となり

（3）$Z_{in} = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/h_{ie})^{-1} = (70/44)\ k\Omega \fallingdotseq 1.6k\Omega$

（4）$v_1 = h_{ie} \times i_b$、$v_2 = -R_C \times h_{fe} \times i_b$　より

$A_v = |v_2 / v_1| = h_{fe} \times R_C / h_{ie} = 100 \times 3 / 2 = 150$　　と求まる。

（5）$E_{CC} = 9V$、$V_C = 9[V] - 3[k\Omega] \times 2[mA] = 3V$、$V_B = 2V$、より

出力波形が歪まないのは、出力$= |v_2| = 1V$までと解る。

（4）より$v_0(max) = 1[V]/150 \fallingdotseq 6.7mV$、　である

平成１６年度大学院工学研究科（博士前期課程）専門試験問題

問題２３　電気回路・電子回路　（解答例）

1. 交流回路の複素数表現に関する電気回路の基本的な問題.

(1) 電流 $\dot{I}_L$ と電圧 $\dot{E}$ の関係は

$$\dot{E} = \{(R_S + R_L) + j(X_S + X_L)\}\,\dot{I}_L$$

したがって $\dot{I}_L$ と $\dot{E}$ が同位相になるためには虚数部が 0 となればよく

$$X_S + X_L = 0 \qquad \cdots(\text{答})$$

(2) (1) の条件を満足すれば

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{E}}{R_S + R_L} \qquad \text{つまり} \qquad \left|\dot{I}_L\right| = \frac{1}{R_S + R_L}\cdot\left|\dot{E}\right|$$

負荷の消費電力（有効電力）P_a は抵抗分に対してのみ考えればよいので

$$P_a = R_L\left|\dot{I}_L\right|^2 = \frac{R_L}{(R_S + R_L)^2}\cdot\left|\dot{E}\right|^2$$

ここで R_L に対する微分を求めると

$$\frac{\partial P_a}{\partial R_L} = \frac{R_S - R_L}{(R_S + R_L)^3}\left|\dot{E}\right|^2$$

したがって P_a の最大値は

$$R_L = R_S \text{ のとき} \qquad P_a = \frac{\left|\dot{E}\right|^2}{4R_L} \qquad \cdots(\text{答})$$

(3) $\dot{E}_L$ と $\dot{E}$ は電流 $\dot{I}_L$ を基準に表すと

$$\begin{aligned}\dot{E} &= \{(R_S + R_L) + j(X_S + X_L)\}\,\dot{I}_L \\ \dot{E}_L &= \{R_L + jX_L\}\,\dot{I}_L\end{aligned}$$

題意より $\dot{E}_L$ の位相を $\pi/3$ 進ませると $\dot{E}$ に振幅を含めて完全に一致することから

$$\{(R_S + R_L) + j(X_S + X_L)\}\,\dot{I}_L = e^{j\pi/3}\{R_L + jX_L\}\,\dot{I}_L$$

$$\begin{aligned}(R_S + R_L) + j(X_S + X_L) &= (\cos\pi/3 + j\sin\pi/3)(R_L + jX_L) \\ &= \left(\frac{1}{2}R_L - \frac{\sqrt{3}}{2}X_L\right) + j\left(\frac{\sqrt{3}}{2}R_L + \frac{1}{2}X_L\right)\end{aligned}$$

実数部および虚数部についてそれぞれ比較すると

$$\left.\begin{aligned}R_S &= -\frac{1}{2}R_L - \frac{\sqrt{3}}{2}X_L \\ X_S &= \frac{\sqrt{3}}{2}R_L - \frac{1}{2}X_L\end{aligned}\right\} \qquad \cdots(\text{答})$$

2. オペアンプ回路に関する電子回路の基本的な問題.

(1) オペアンプを理想とすれば仮想接地の概念よりオペアンプの − 入力端子の電圧は + 入力端子の電圧に等しく 0 [V] と考えることが出来る．さらに入力インピーダンス ∞ よりオペアンプの入力端子には電流が流れない．これらの条件よりオペアンプの − 入力端子の節点においてキルヒホッフの電流則（節点方程式）を求めると

$$\frac{1}{R_1}V_1 + \frac{1}{R_2}V_2 = 0$$

これをまとめて

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \qquad \cdots (答)$$

(2) (1) の問題と同様に考えてオペアンプの − 入力端子の節点においてキルヒホッフの電流則（節点方程式）を求めると，キャパシタ C のアドミタンスを sC $(s = j\omega)$ として

$$\frac{1}{R_1}V_1 + \left(sC + \frac{1}{R_2}\right)V_2 = 0$$

これをまとめて

$$T(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{1/R_1}{sC + 1/R_2} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{1/CR_2}{s + 1/CR_2} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{1}{1 + sCR_2}$$

したがって $s = j\omega$ を代入して

$$T(j\omega) = \frac{V_2(j\omega)}{V_1(j\omega)} = -\frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{1}{1 + j\omega CR_2} \qquad \cdots (答)$$

(3) 直流利得 A_0 は $\omega = 0$ での利得であるので (2) の解答に $\omega = 0$ を代入し

$$A_0 = -\frac{R_2}{R_1} \qquad \cdots (答)$$

直流利得が 3 [dB] 減衰するつまり $1/\sqrt{2}$ 倍となる周波数（遮断周波数）f_C において，分母の複素数部の絶対値が $\sqrt{2}$ つまり分母の複素数部の実数部と虚数部が等しくなればよく，(2) の解答の ω を $2\pi f_C$ として

$$2\pi f_C CR_2 = 1$$

したがって

$$f_C = \frac{1}{2\pi CR_2} \qquad \cdots (答)$$