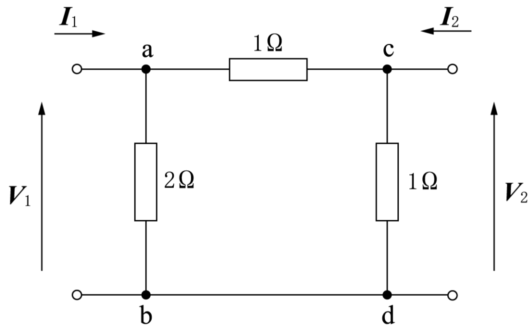
「電気回路」第５章　問題解答

５－１　ドリル問題

問題１　(1)



p.175 例題にしたがって，z_{11} は，a c 間抵抗1Ω と cd 間抵抗1Ω の和2Ω と，a b 間抵抗2Ω の並列抵抗値となるので,

$$z_{11} = \frac{2(1+1)}{2+(1+1)} = 1\Omega \qquad ①$$

V_2 はV_1 が a b 間抵抗1Ω と c d 間抵抗1Ω で分圧された分圧比で与えられるので

$$V_2 = \frac{1}{1+1}V_1 = \frac{1}{2}V_1 \qquad ②$$

また，式①から $I_1 = \dfrac{V_1}{1}$ であることから

$$z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0} = \frac{\frac{V_1}{2}}{V_1} = \frac{1}{2}\Omega \qquad ③$$

z_{22} は a c 間抵抗1Ω と a b 間抵抗2Ω の和3Ω と，c d 間抵抗1Ω の並列抵抗値となるので,

$$z_{22} = \frac{1(1+2)}{1+(1+2)} = \frac{3}{4}\Omega \qquad ④$$

V_1 はV_2 が c a 間抵抗1Ω と a b 間抵抗2Ω で分圧された分圧比で与えられるので

$$V_1 = \frac{2}{1+2}V_2 = \frac{2}{3}V_2 \qquad ⑤$$

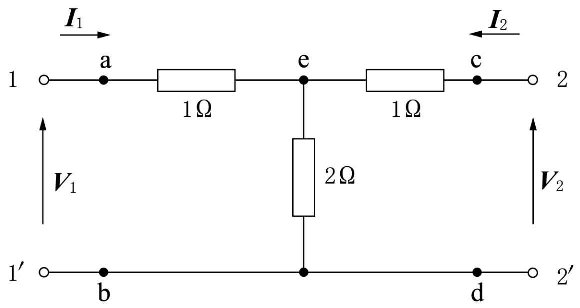
また，式④から，$I_2 = \dfrac{V_2}{z_{22}} = \dfrac{4}{3}V_2$，したがって

$$z_{12} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1=0} = \frac{2}{3}V_2\Big/\frac{4}{3}V_2 = \frac{1}{2}\Omega$$

よってインピーダンス行列は

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 \\ 0.5 & 0.75 \end{bmatrix} \qquad (答)$$

(2)



この回路では，22′間は開放であり， $I_2 = 0$ である。したがって端子１からみた駆動点インピーダンスは

$$z_{11} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0} = 1 + 2 = 3\,\Omega \qquad ①$$

同様に端子22′からみた駆動点インピーダンスは

$$z_{22} = \frac{V_2}{I_2} = 1 + 2 = 3\,\Omega \qquad ②$$

また，V_2 は，V_1 が ae 間抵抗1Ω と eb 間抵抗2Ω で分圧された分圧比の値となるので,

$$V_2 \frac{2}{1+2} V_1 = \frac{2}{3} V_1 \qquad ③$$

また I_1 は式①から

$$I_1 = \frac{V_1}{z_{11}} = \frac{V_1}{3} \qquad ④$$

したがって

$$z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0} = \frac{\frac{2}{3}V_1}{\frac{V_1}{3}} = 2\,\Omega \qquad ⑤$$

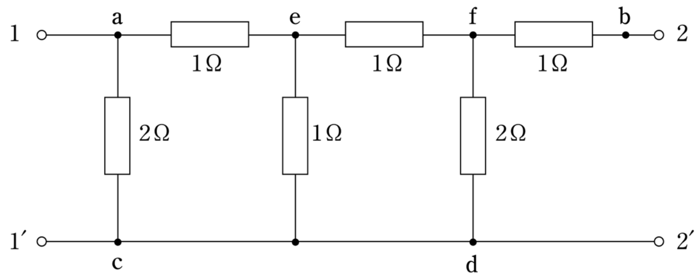
同様に

$$z_{12} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1=0} = \frac{\frac{2}{3}V_2}{\frac{V_2}{3}} = 2\,\Omega$$

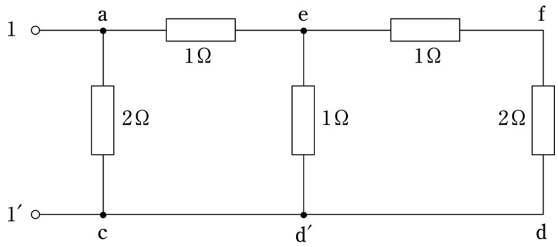
よって，インピーダンス行列は

$$Z = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \qquad (答)$$

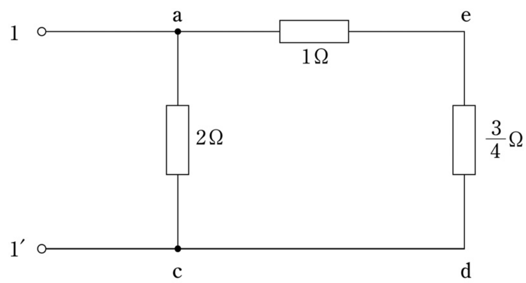
(3)



端子1 1′からみた駆動点インピーダンスは，2 2′間が開放であるから図(a)と同じとなり，さらにe d間抵抗は e f d間抵抗3Ωとe d′d間抵抗1Ωの並列抵抗 $\dfrac{1}{\dfrac{1}{1}+\dfrac{1}{3}}=\dfrac{3}{4}$ となるので，図(b)のようになる。



図(a)

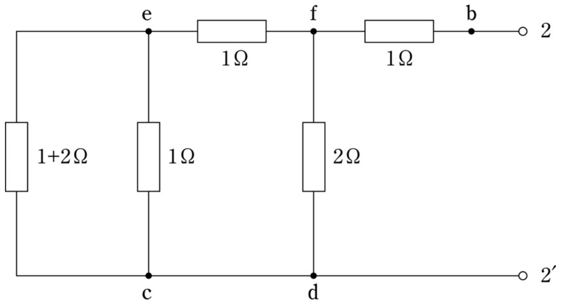


図(b)

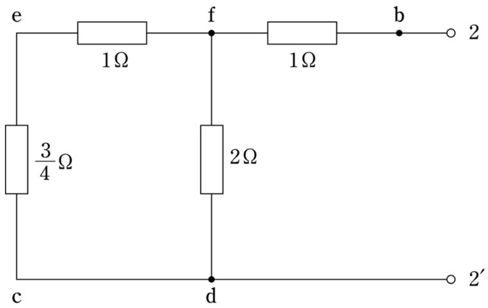
同様に1 1′からみた駆動点インピーダンスは，a e d間抵抗 $1+\dfrac{3}{4}=\dfrac{7}{4}$ Ωとa c間抵抗2Ωの並列抵抗となるので

$$z_{11}=\left.\frac{V_1}{I_1}\right|_{I_2=0}=\frac{1}{\dfrac{1}{2}+\dfrac{4}{7}}=\frac{14}{15}\ \Omega \text{ となる。}$$

端子2 2′からみた駆動点インピーダンスは，図(c)と同じとなりe c間抵抗は3Ωと1Ωの並列抵抗 $\dfrac{3}{4}$ Ωとなるので，図(d)のようになる。



図(c)



図(d)

したがって，2 2′からみた駆動点インピーダンスは，f e c 間抵抗$1+\dfrac{3}{4}=\dfrac{7}{4}\,\Omega$と，f d 間抵抗$2\,\Omega$の

並列抵抗$\dfrac{1}{\dfrac{4}{7}+\dfrac{1}{2}}=\dfrac{14}{15}\,\Omega$と，b f 間抵抗$1\,\Omega$の直列抵抗の和となる。

$$z_{22}=\left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_2=0}=\frac{14}{15}+1=\frac{29}{15}\,\Omega$$

また，e d 間の電圧V_{ed}は，図(b)から次式で与えられる。

$$V_{\mathrm{ed}}=\frac{\dfrac{3}{4}}{1+\dfrac{3}{4}}V_1=\frac{3}{7}V_1$$

したがって，2 2′間の電圧V_2は，図(a)に戻って考えれば

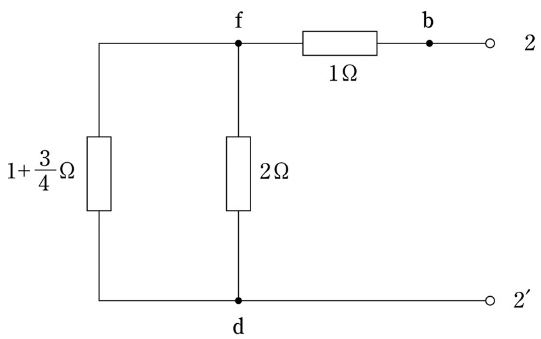
$$V_2=\frac{2}{1+2}V_{\mathrm{ed}}=\frac{2}{3}\times\frac{3}{7}V_1=\frac{2}{7}V_1$$

となる。したがって，問題 1 の考え方と同様に

$$z_{21}=\left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0}=\frac{\dfrac{2}{7}V_1}{\dfrac{V_1}{z_{11}}}=\frac{2}{7}\times z_{11}=\frac{4}{15}\,\Omega$$

となる。

同様に端子 2 2′に電圧V_2を加えた場合，f d 間に現れる電圧V_{fd}は，図(e)から b f 間抵抗$1\,\Omega$と f d 間抵抗$\dfrac{14}{15}\,\Omega$



図(e)

（$2\,\Omega$と並列抵抗値$\left(1+\dfrac{3}{4}\right)\Omega$の並列抵抗）の直列抵抗で分圧される電圧である。（1－1－4項の p.12 を参照）

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{fd}} = \frac{\frac{14}{15}}{1+\frac{14}{15}}\boldsymbol{V}_2 = \frac{14}{29}\boldsymbol{V}_2$$

同様に，図(d)から$\boldsymbol{V}_{\mathrm{ec}}$は$\boldsymbol{V}_{\mathrm{fd}}$をｅｆ間抵抗1Ωとｅｃ間抵抗$\frac{3\times 1}{(1+2)+1} = \frac{3}{4}\,\Omega$の

直列抵抗で分圧されたものであるから，次式で与えられる。

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{ec}} = \frac{\frac{3}{4}}{1+\frac{3}{4}}\boldsymbol{V}_{\mathrm{fd}} = \frac{3}{7}\boldsymbol{V}_{\mathrm{fd}} = \frac{3}{7}\times\frac{14}{29}\boldsymbol{V}_2 = \frac{6}{29}\boldsymbol{V}_2$$

さらに，端子１1′に現れる電圧$\boldsymbol{V}_1$は，図(a)で$\boldsymbol{V}_{\mathrm{ec}}$をａｅ間抵抗1Ωとａｃ間抵抗2Ωで分圧した電圧となるので，次式で与えられる。

$$\boldsymbol{V}_1 = \frac{2}{1+2}\boldsymbol{V}_{\mathrm{ec}} = \frac{4}{29}\boldsymbol{V}_2$$

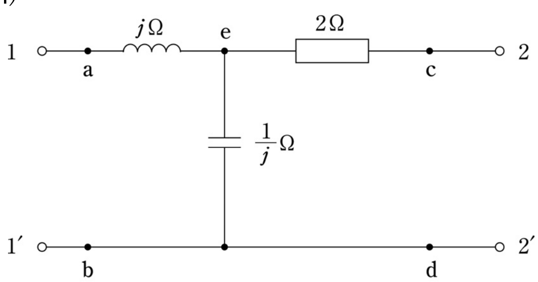
したがって

$$\boldsymbol{z}_{12} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_2}\right|_{\boldsymbol{I}_1=0} = \frac{\frac{4}{29}\boldsymbol{V}_2}{\frac{\boldsymbol{V}_2}{\boldsymbol{z}_{22}}} = \frac{4}{29}\times\boldsymbol{z}_{22} = \frac{4}{15}\,\Omega$$

この結果，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix}\frac{14}{15} & \frac{4}{15}\\ \frac{4}{15} & \frac{29}{15}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0.933 & 0.267\\ 0.267 & 1.93\end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(4)



$\boldsymbol{z}_{11}$はａｅ間インピーダンスとｅｂ間インピーダンスで与えられる。

$$\boldsymbol{z}_{11} = j + \frac{1}{j} = 0\,\Omega$$

同様に，$\boldsymbol{z}_{22}$は，ｅｃ間インピーダンス，ｅｄ間インピーダンスで与えられる。

$$\boldsymbol{z}_{22} = 2 + \frac{1}{j} = 2 - j\,\Omega$$

$\boldsymbol{V}_1$を与えたとき，$\boldsymbol{V}_2$は，式5―6から入力電流$\boldsymbol{I}_1$によって生ずるｅｂ間の電圧であるから，$\boldsymbol{z}_{21}$は簡単にｅｂ間インピーダンスで与えられる。

$$\boldsymbol{z}_{21} = \frac{1}{j} = -j$$

同様に

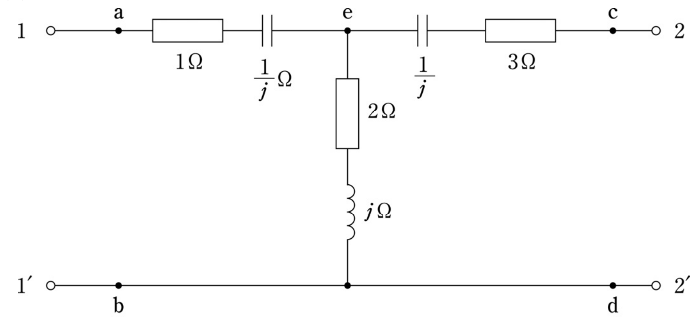
$$z_{12} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_2}\right|_{I_1=0} = \frac{1}{j} = -j$$

したがって，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 0 & -j \\ -j & 2-j \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

p.202 のまとめを参照のこと。

(5)



a e 間インピーダンス $\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}}$ は，$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} = 1 + \dfrac{1}{j} = 1 - j\,\Omega$

e b ないし e d 間インピーダンス $\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ed}}$ は，$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ed}} = 2 + j\,\Omega$

e c 間インピーダンス $\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ac}}$ は，$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} = 3 + \dfrac{1}{j} = 3 - j\,\Omega$

となる。したがって，前問と同様に

$$z_{11} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = (1-j) + (2+j) = 3\,\Omega$$

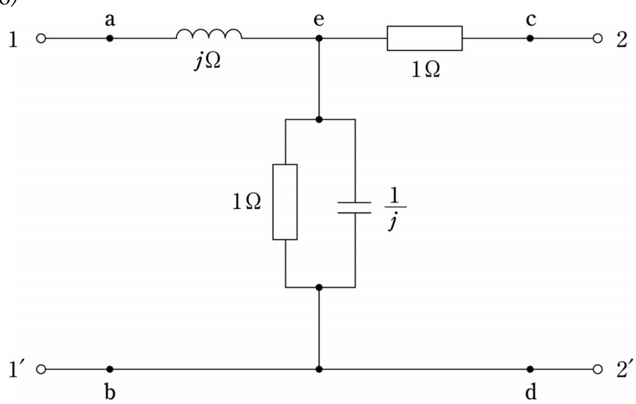
$$z_{22} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} = (2+j) + (3-j) = 5\,\Omega$$

$$z_{21} = z_{12} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = 2 + j\,\Omega$$

したがって，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 3 & 2+j \\ 2+j & 5 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(6)



前問と同様に

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} = j\,\Omega$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = \frac{\dfrac{1}{j}}{1 + \dfrac{1}{j}} = \frac{1}{1 + j} = \frac{1 - j}{2}\,\Omega$$

$$\boldsymbol{Z}_{ec} = 1\Omega$$

$$z_{11} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = j + \frac{1 - j}{2} = \frac{1 + j}{2}\,\Omega$$

$$z_{22} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} = \frac{1 - j}{2} + 1 = \frac{3 - j}{2}\,\Omega$$

$$z_{21} = z_{12} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = \frac{1 - j}{2}\,\Omega$$

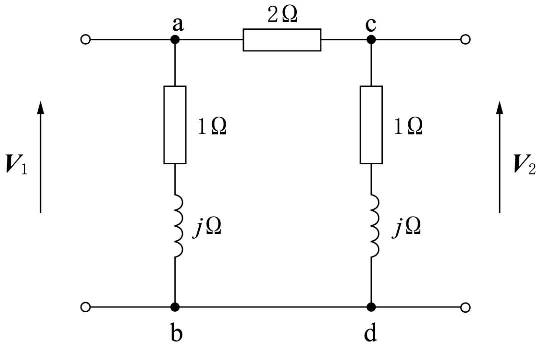
したがって，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \dfrac{1 + j}{2} & \dfrac{1 - j}{2} \\ \dfrac{1 - j}{2} & \dfrac{3 - j}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 + j0.5 & 0.5 - j0.5 \\ 0.5 - j0.5 & 1.5 - j0.5 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(7)　a c 間抵抗は$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ac}} = 2\Omega$

c d 間インピーダンス，ab 間インピーダンスは

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{cd}} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ab}} = 1 + j\,\Omega$$



であるから，問(1) と同様に

$$z_{11} = \frac{\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ab}}\left(\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ac}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{cd}}\right)}{\left(\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ac}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{cd}}\right) + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ab}}} = \frac{(1+j)(2+1+j)}{(2+1+j)+1+j} = \frac{(1+j)(3+j)}{4+2j} = \frac{4+3j}{5}$$

問(1)と同様に$\boldsymbol{V}_2 = \dfrac{1+j}{2+(1+j)}\boldsymbol{V}_1$，$\boldsymbol{I}_1 = \dfrac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{Z}_{11}}$ であるから

$$z_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_2}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{\boldsymbol{I}_2=0} = \frac{1+j}{3+j} \times z_{11} = \frac{(1+j)(4+3j)}{5(3+j)} = \frac{1+2j}{5}$$

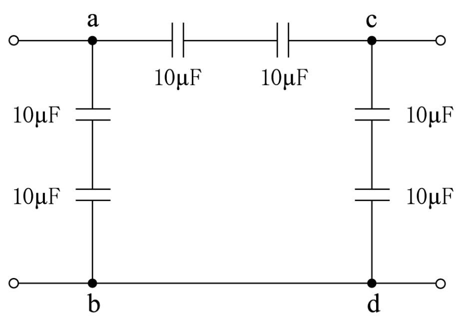
$$z_{22} = z_{11} = \frac{4+3j}{5}$$

$$z_{12} = z_{21} = \frac{1+2j}{5}$$

したがって，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \dfrac{4+3j}{5} & \dfrac{1+2j}{5} \\ \dfrac{1+2j}{5} & \dfrac{4+3j}{5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8+j0.6 & 0.2+j0.4 \\ 0.2+j0.4 & 0.8+j0.6 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(8) $$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ab}} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ac}} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{cd}} = \frac{1}{j\omega \dfrac{C}{2}} = -j\frac{1}{2\pi \times 50 \times 5 \times 10^{-6}} = -j\frac{2000}{\pi}\,\Omega = -j636.6\,\Omega$$



問(7)と同様に

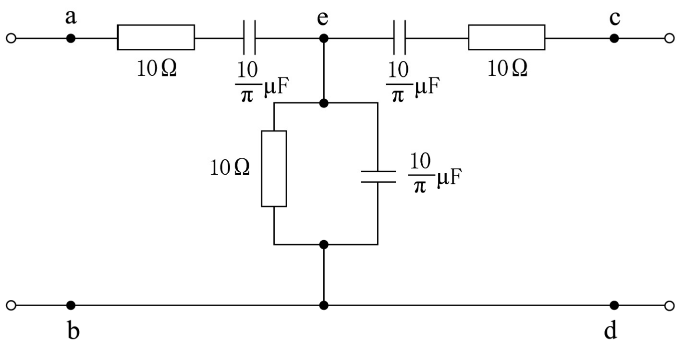
$$z_{11} = z_{22} = \frac{2}{3} \times (-j636.6) = -j424.4\,\Omega$$

$$z_{21} = z_{12} = \frac{1}{2} \times z_{11} = -j212.2\,\Omega$$

ゆえに，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} -j424 & -j212 \\ -j212 & -j424 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(9)



$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} = R - j\frac{1}{\omega C} = 10 - j\frac{1}{2\pi \times 50 \times \dfrac{10}{\pi} \times 10^{-6}} = 10 - j1000\,\Omega$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = \frac{\dfrac{10}{j\omega C}}{10 - j\dfrac{1}{\omega C}} = \frac{10}{1 + j\omega C \times 10} = \frac{10}{1 + j \times 10^{-3}} = 10 - j \times 10^{-1}\,\Omega$$

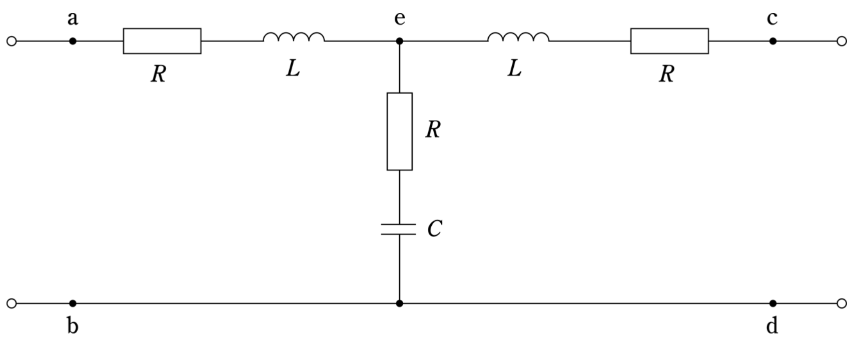
$$\boldsymbol{z}_{11} = \boldsymbol{z}_{22} = \left(10 - j \times 1000\right) + \left(10 - j \times 10^{-2}\right) = 20 - j1000\,\Omega$$

$$\boldsymbol{z}_{21} = \boldsymbol{z}_{12} = 10 - j \times 10^{-1}\,\Omega$$

ゆえに

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 20 - j1000 & 10 - j0.1 \\ 10 - j0.1 & 20 - j1000 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(10)



$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} = \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} = R + j\omega C$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} = R - j\frac{1}{\omega C}$$

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ae}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} & \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} \\ \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} & \boldsymbol{Z}_{\mathrm{ec}} + \boldsymbol{Z}_{\mathrm{eb}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2R + j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right) & R - j\dfrac{1}{\omega C} \\ R - j\dfrac{1}{\omega C} & 2R + j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right) \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

５－１　演習問題

１．　$\boldsymbol{I}_2 = 0$ のとき

$$\boldsymbol{V}_1 = \boldsymbol{I}_1\boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{V}_2 = \boldsymbol{I}_1\boldsymbol{Z}$$

$\boldsymbol{I}_2 = 0$ のとき，同様に

$$\boldsymbol{V}_2 = \boldsymbol{I}_2\boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{V}_1 = \boldsymbol{I}_2\boldsymbol{Z}$$

したがって

$$\boldsymbol{z}_{11} = \frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_1} = \boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{z}_{12} = \frac{\boldsymbol{V}_2}{\boldsymbol{I}_1} = \boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{z}_{22} = \frac{\boldsymbol{V}_2}{\boldsymbol{I}_2} = \boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{z}_{21} = \frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_2} = \boldsymbol{Z}$$

ゆえに，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z} & \boldsymbol{Z} \\ \boldsymbol{Z} & \boldsymbol{Z} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

２．　例題にしたがって

$$\boldsymbol{z}_{11} = \frac{\boldsymbol{Z}_1\left(\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3\right)}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}$$

$$\boldsymbol{z}_{21} = \frac{\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3} \times \boldsymbol{z}_{11} = \frac{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}$$

$$\boldsymbol{z}_{22} = \frac{\boldsymbol{Z}_3\left(\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2\right)}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}$$

$$\boldsymbol{z}_{12} = \frac{\boldsymbol{Z}_1}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2} \times \boldsymbol{z}_{22} = \frac{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}$$

ゆえに，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \dfrac{\boldsymbol{Z}_1(\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3)}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3} & \dfrac{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3} \\ \dfrac{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3} & \dfrac{\boldsymbol{Z}_3(\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2)}{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3} \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

３．　５－１ドリル問題２，４，５，６，９，10 と同様に考える。p.202 まとめ参照。

$$z_{11} = \boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2$$

$$z_{22} = \boldsymbol{Z}_3 + \boldsymbol{Z}_2$$

$$z_{12} = z_{21} = \boldsymbol{Z}_2$$

したがって，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 & \boldsymbol{Z}_2 \\ \boldsymbol{Z}_2 & \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

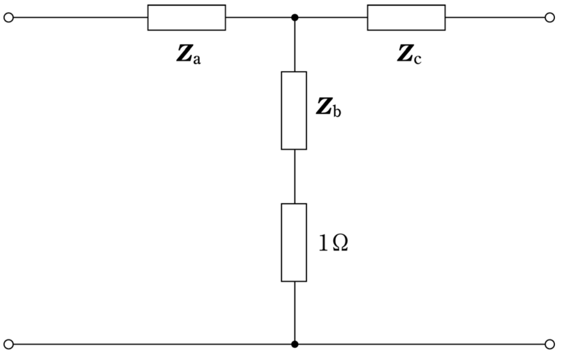
４．　前問の結果を使って

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 5 + 20 & 20 \\ 20 & 20 + 60 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 & 20 \\ 20 & 80 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

５．　ヒントにしたがって，$\boldsymbol{Z}_a = \boldsymbol{Z}_b = \boldsymbol{Z}_c = \dfrac{1}{3}\,\Omega$ となるので，図の回路に書き改められる。

したがって，インピーダンス行列は，問３と同様に

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{3} + \dfrac{1}{3} + 1 & \dfrac{1}{3} + 1 \\ \dfrac{1}{3} + 1 & \dfrac{1}{3} + \dfrac{1}{3} + 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{5}{3} & \dfrac{4}{3} \\ \dfrac{4}{3} & \dfrac{5}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.67 & 1.33 \\ 1.33 & 1.67 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$



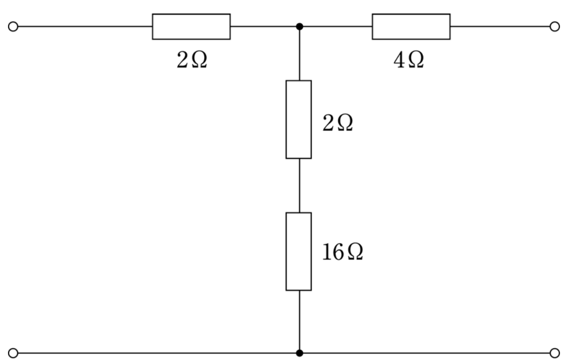
６．　問５と同様に $\boldsymbol{Z}_a$，$\boldsymbol{Z}_b$，$\boldsymbol{Z}_c$ は以下の値となる。

$$\boldsymbol{Z}_a = \frac{5 \times 10}{5 + 10 + 10} = 2\,\Omega$$

$$\boldsymbol{Z}_b = \frac{5 \times 10}{5 + 10 + 10} = 2\,\Omega$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{c}} = \frac{10 \times 10}{5 + 10 + 10} = 4\,\Omega$$

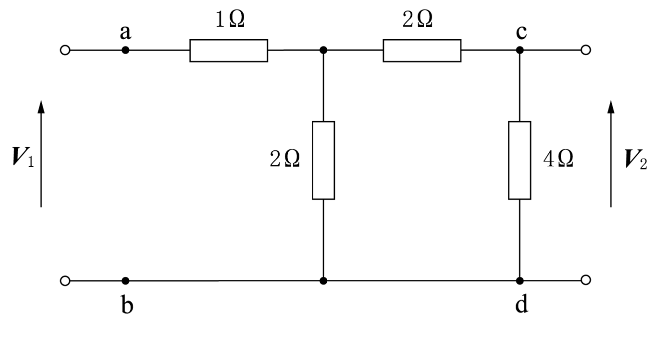
したがって，回路は図のT形回路となる。



インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 2 + 18 & 2 + 16 \\ 2 + 16 & 2 + 16 + 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 & 18 \\ 18 & 22 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

7．　駆動点インピーダンス$\boldsymbol{z}_{11}$は，ec間抵抗2Ωとcd間抵抗4Ωの和6Ωと，ed間抵抗2Ωの並列抵抗$\dfrac{6 \times 2}{6 + 2} = \dfrac{3}{2}\,\Omega$とae間抵抗1Ωの和となる。



$$\boldsymbol{z}_{11} = \frac{3}{2} + 1 = \frac{5}{2}\,\Omega$$

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{ed}} = \frac{\dfrac{3}{2}}{1 + \dfrac{3}{2}}\boldsymbol{V}_1 = \frac{3}{5}\boldsymbol{V}_1$$

$$\boldsymbol{V}_2 = \frac{4}{2 + 4}\boldsymbol{V}_{\mathrm{ed}} = \frac{2}{3}\boldsymbol{V}_{\mathrm{ed}} = \frac{2}{3} \times \frac{3}{5}\boldsymbol{V}_1 = \frac{2}{5}\boldsymbol{V}_1$$

$\boldsymbol{I}_1 = \dfrac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{z}_{11}}$ であるから

$$\boldsymbol{z}_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_2}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{\boldsymbol{I}_2 = 0} = \frac{\dfrac{2}{5}\boldsymbol{V}_1}{\dfrac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{z}_{11}}} = \frac{2}{5} \times \boldsymbol{z}_{11} = \frac{2}{5} \times \frac{5}{2} = 1\,\Omega$$

z_{22} は，ｅｃ間抵抗２Ωとｅｄ間抵抗２Ωの和４Ωと，ｃｄ間抵抗４Ωの並列抵抗となる。

$$z_{22} = \frac{4 \times 4}{4+4} = 2\,\Omega$$

また, V_2 によって誘起される V_1 の値は, ａｂ間が開放であるから $V_1 = V_{eb}$ であり, V_2 がｅｃ間抵抗２Ωとｅｄ間抵抗２Ωで分圧される値となる。

$$V_1 = \frac{2}{2+2}V_2 = \frac{1}{2}V_2$$

$I_2 = \dfrac{V_2}{z_{22}} = \dfrac{V_2}{2}$ であるから

$$z_{12} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1=0} = \frac{\frac{1}{2}V_2}{\frac{V_2}{2}} = 1\,\Omega$$

したがって，インピーダンス行列は

$$Z = \begin{bmatrix} 2.5 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

８．　問３にしたがって

$$z_{11} = Z_1 + Z_2 = j2 - j2 = 0$$

$$z_{22} = Z_3 + Z_2 = 1 - j2$$

$$z_{12} = z_{21} = Z_2 = -j2$$

インピーダンス行列は

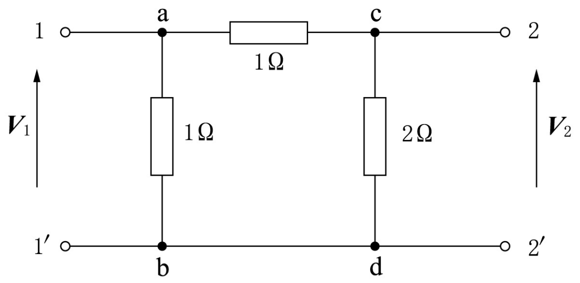
$$Z = \begin{bmatrix} 0 & -j2 \\ -j2 & 1-j2 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

５－２　ドリル問題

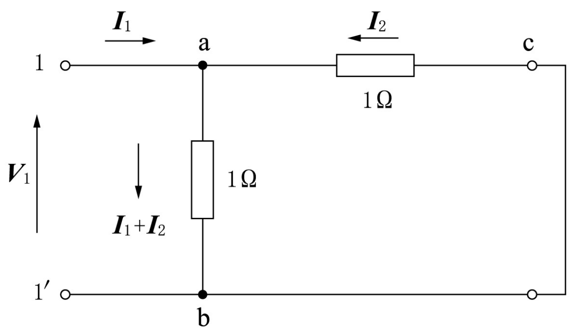
問題１　(1)　例題にしたがって，端子１1′からみた駆動点アドミタンスは$V_2 = 0$，すなわち$V_{cd} = R_{cd} = 0$と考えて，

回路図(b)で$\boldsymbol{y}_{11}$はab間抵抗およびac間抵抗のアドミタンス値の和となる。

$$\boldsymbol{y}_{11} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{V}_1}\right|_{V_2=0} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = 2\,\mathrm{S}$$



図(a)



図(b)

定義から，$\boldsymbol{I}_2$の方向を図(b)のようにに定めると，キルヒホッフの第一法則から(p.25，１－３節参照)ab間電流は$\boldsymbol{I}_2 + \boldsymbol{I}_2$となる。ab間電圧とac間電圧は等しいので

$$1 \times \left(\boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{I}_2\right) = 1 \times \boldsymbol{I}_2$$

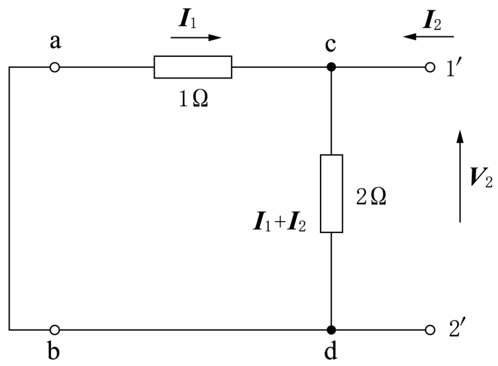
ゆえに

$$\boldsymbol{I}_2 = -\frac{1}{2}\boldsymbol{I}_1$$

したがって

$$\boldsymbol{y}_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_1}\right|_{V_2=0} = \frac{-\dfrac{1}{2}\boldsymbol{I}_2}{\dfrac{\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{y}_{11}}} = -\frac{1}{2}\boldsymbol{y}_{11} = -1\,\mathrm{S}$$

同様に，端子２2′からみた駆動点アドミタンスは，$V_1 = 0$と考えて図(c)の回路で



図(c)

$$\boldsymbol{y}_{22} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{V_1=0} = \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{3}{2}\,\mathrm{S}$$

$$2\left(\boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{I}_2\right) = -1 \times \boldsymbol{I}_1$$

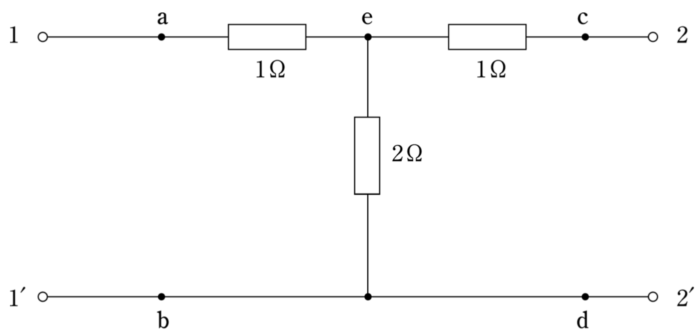
$$\boldsymbol{I}_1 = -\frac{2}{3}\boldsymbol{I}_2$$

$$\boldsymbol{y}_{12} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{V_1=0} = \frac{-\dfrac{2}{3}\boldsymbol{I}_2}{\dfrac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{y}_{22}}} = -\frac{2}{3} \times \boldsymbol{y}_{22} = -1\,\mathrm{S}$$

アドミタンス行列は以下で与えられる。

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1.5 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(2)



図(a)

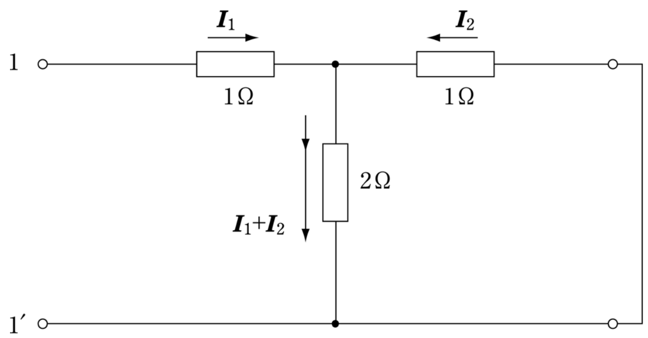
端子１1′からみた駆動点アドミタンスは，図(b)のように端子２2′が短絡されるのでｅd 間抵抗とｅc 間抵抗の並列抵抗$\dfrac{2\times 1}{2+1}=\dfrac{2}{3}\,\Omega$とａe 間抵抗1Ωの和 $\dfrac{5}{3}\,\Omega$の逆数で与えられる。端子２2′からみた駆動点アドミタンスも同じ値となる。

$$\boldsymbol{y}_{11}=\boldsymbol{y}_{22}=\frac{3}{5}\,\mathrm{S}$$

問(1)と同様に次式が成立する。

$$2\left(\boldsymbol{I}_1+\boldsymbol{I}_2\right)=-1\boldsymbol{I}_2$$

したがって，$\boldsymbol{I}_2=-\dfrac{2}{3}\boldsymbol{I}_1$



図(b)

よって，$\boldsymbol{y}_{21}=-\dfrac{2}{3}\boldsymbol{y}_{11}=-\dfrac{2}{5}\,\mathrm{S}$

回路が対称であるから，端子２2′からみた伝達アドミタンスも同じ値である。

$$\boldsymbol{y}_{12}=-\frac{2}{5}\,\mathrm{S}$$

したがって，アドミタンス行列は，次式で与えられる。

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}\dfrac{3}{5} & -\dfrac{2}{5}\\ -\dfrac{2}{5} & \dfrac{3}{5}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.6 & -0.4\\ -0.4 & 0.6\end{bmatrix}\qquad (答)$$

(3)　(1)と(2)の回路の並列接続回路であるから，式５―28 を使って，

$$\boldsymbol{Y}=\begin{bmatrix}2 & -1\\ -1 & 1.5\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0.6 & -0.4\\ -0.4 & 0.6\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}2.6 & -1.4\\ -1.4 & 2.1\end{bmatrix}\qquad (答)$$

(4)　T 形回路のインピーダンス行列は次式で与えられ，

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 1+j \end{bmatrix}$$

$\varDelta\boldsymbol{Z} = 1$ であるから，アドミタンス行列は $\boldsymbol{Z}^{-1}$ で与えられる。(p.202 まとめ参照)

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} 1+j & -j \\ -j & 0 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(5)　問(1)と同様に考えて

$$\boldsymbol{y}_{11} = \frac{1}{1-j} + \frac{1}{2} = \frac{1+j}{2} + \frac{1}{2} = \frac{2+j}{2}$$

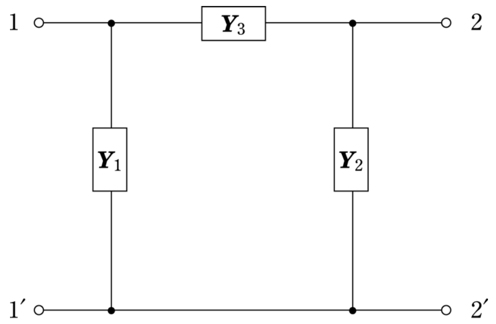
$$\boldsymbol{y}_{21} = \boldsymbol{y}_{12} = -\frac{1}{2}$$

$$\boldsymbol{y}_{22} = \frac{1}{2} + \frac{1}{1-j} = \frac{2+j}{2}$$

アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \dfrac{2+j}{2} & -\dfrac{1}{2} \\ -\dfrac{1}{2} & \dfrac{2+j}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+j0.5 & -0.5 \\ -0.5 & 1+j0.5 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(6)　問題の回路を図(a)のように考えると，



図(a)

$$\boldsymbol{Y}_1 = \frac{1}{1+j} = \frac{1-j}{2}$$

$$\boldsymbol{Y}_2 = \frac{1}{1-j} = \frac{1+j}{2}$$

$$\boldsymbol{Y}_3 = \frac{1}{1-j} = \frac{1+j}{2}$$

となる。したがって

$$\boldsymbol{y}_{11} = \boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_3 = 1$$

$$\boldsymbol{y}_{21} = \boldsymbol{y}_{12} = -\frac{1+j}{2}$$

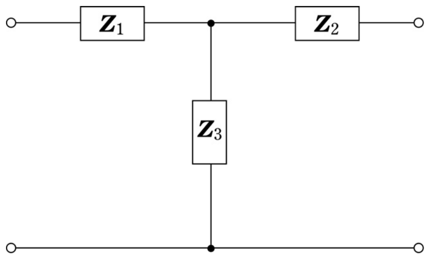
$$\boldsymbol{y}_{22} = \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3 = 1+j$$

アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} 1 & -0.5 - j0.5 \\ -0.5 - j0.5 & 1 + j \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

p.202 のまとめを参照。

(7)　問題の回路を図(a)のように考えると



図(a)

$$\boldsymbol{Z}_1 = j$$

$$\boldsymbol{Z}_2 = 1$$

$$\boldsymbol{Z}_3 = \frac{1 \times (-j)}{1 - j} = \frac{-j(1 + j)}{2} = \frac{1 - j}{2}$$

Z 行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} j + \dfrac{1 - j}{2} & \dfrac{1 - j}{2} \\ \dfrac{1 - j}{2} & 1 + \dfrac{1 - j}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{1 + j}{2} & \dfrac{1 - j}{2} \\ \dfrac{1 - j}{2} & \dfrac{3 - j}{2} \end{bmatrix}$$

Z 行列の値 $\Delta\boldsymbol{Z}$ は

$$\Delta\boldsymbol{Z} = 1 + j$$

したがって

$$\boldsymbol{Y} = \frac{1}{1 + j} \begin{bmatrix} \dfrac{3 - j}{2} & \dfrac{-1 + j}{2} \\ \dfrac{-1 + j}{2} & \dfrac{1 + j}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 - j & j0.5 \\ j0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

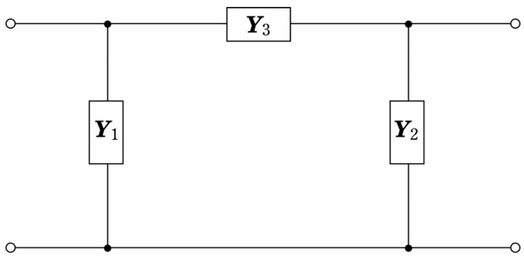
(8)　問題の回路を図(a)のように考えると

$$\boldsymbol{Y}_1 = j\omega C = j2\pi \times 50 \times 0.1 = j10\pi$$

$$\boldsymbol{Y}_2 = \frac{1}{j\omega L} = -j\frac{1}{2\pi \times 50 \times 10 \times 10^{-3}} = -j\frac{1}{\pi}$$

$$\boldsymbol{Y}_3 = \frac{1}{0.1} = 10$$

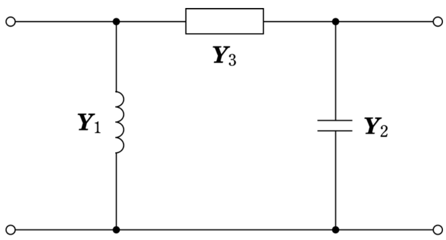
したがってアドミタンス行列は



図(a)

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} 10 + j10\pi & -10 \\ -10 & 10 - j\dfrac{1}{\pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 + j31.4 & -10 \\ -10 & 10 - j0.318 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(9)



$$\boldsymbol{Y}_1 = \frac{1}{j\omega L} = -j\frac{1}{\omega L}$$

$$\boldsymbol{Y}_2 = j\omega C$$

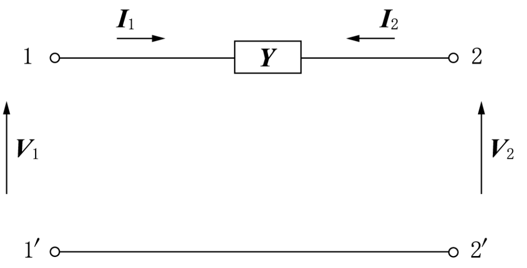
$$\boldsymbol{Y}_3 = \frac{1}{R}$$

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_3 & -\boldsymbol{Y}_3 \\ -\boldsymbol{Y}_3 & \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{R} - j\dfrac{1}{\omega L} & -\dfrac{1}{R} \\ -\dfrac{1}{R} & \dfrac{1}{R} + j\omega C \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

５－２　演習問題

１．　$\boldsymbol{V}_2 = 0$ のとき，

$$\boldsymbol{I}_1 = \boldsymbol{Y}\boldsymbol{V}_1$$



$$\boldsymbol{I}_2 = -\boldsymbol{I}_1 = -\boldsymbol{Y}\boldsymbol{V}_1$$

$\boldsymbol{V}_1 = 0$ のとき，

$$\boldsymbol{I}_2 = \boldsymbol{Y}\boldsymbol{V}_2$$

$$\boldsymbol{I}_1 = -\boldsymbol{I}_2 = -\boldsymbol{Y}\boldsymbol{V}_2$$

であるから

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Y} & -\boldsymbol{Y} \\ -\boldsymbol{Y} & \boldsymbol{Y} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

２．　$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{z}_{11} & \boldsymbol{z}_{12} \\ \boldsymbol{z}_{21} & \boldsymbol{z}_{22} \end{bmatrix}$ のとき，行列式の値 $\varDelta\boldsymbol{Z}$ は

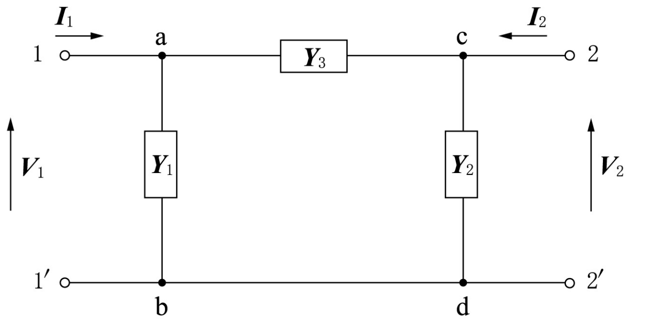
$$\varDelta\boldsymbol{Z} = \boldsymbol{z}_{11}\boldsymbol{z}_{22} - \boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}$$

したがって，$\boldsymbol{Z}$ の逆行列 $\boldsymbol{Y}$ は次式で与えられる。

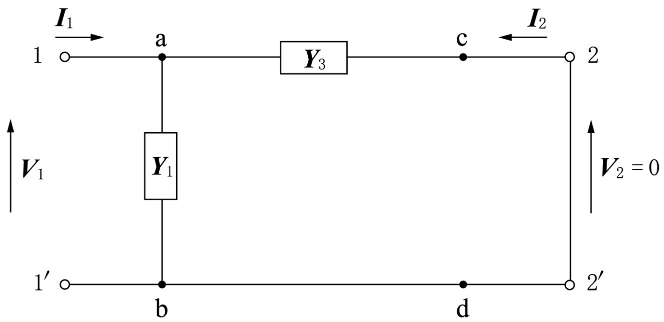
$$\boldsymbol{Y} = \frac{1}{\varDelta\boldsymbol{Z}}\begin{bmatrix} \boldsymbol{z}_{22} & -\boldsymbol{z}_{12} \\ -\boldsymbol{z}_{21} & \boldsymbol{z}_{11} \end{bmatrix} = \frac{1}{\boldsymbol{z}_{11}\boldsymbol{z}_{22} - \boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}}\begin{bmatrix} \boldsymbol{z}_{22} & -\boldsymbol{z}_{12} \\ -\boldsymbol{z}_{21} & \boldsymbol{z}_{11} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(p.181 注，p.32 コラム参照のこと)

３．



問題図



図(a)

$V_2 = 0$ のとき，図(a)から

$$I_1 = (Y_1 + Y_3)V_1$$

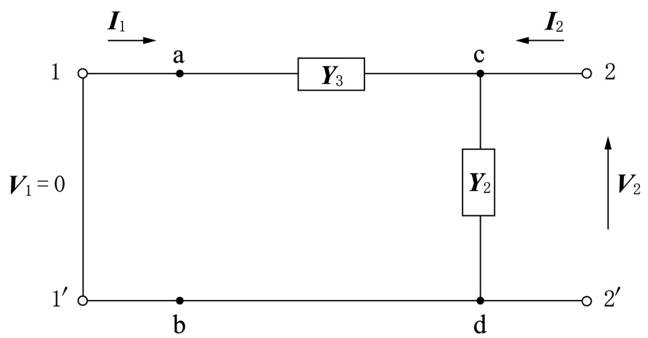
だから

$$y_{11} = \left.\frac{I_1}{V_1}\right|_{V_2=0} = Y_1 + Y_3$$

$$I_2 = -Y_3V_1$$

したがって

$$y_{21} = \left.\frac{I_2}{V_1}\right|_{V_2=0} = -Y_3$$



図(b)

$\boldsymbol{Y}_1 = 0$のときは図(b)から

$$\boldsymbol{I}_2 = (\boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3)\boldsymbol{V}_2$$

$$\boldsymbol{y}_{22} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{V_1=0} = \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3$$

$$\boldsymbol{I}_1 = -\boldsymbol{Y}_3\boldsymbol{V}_2$$

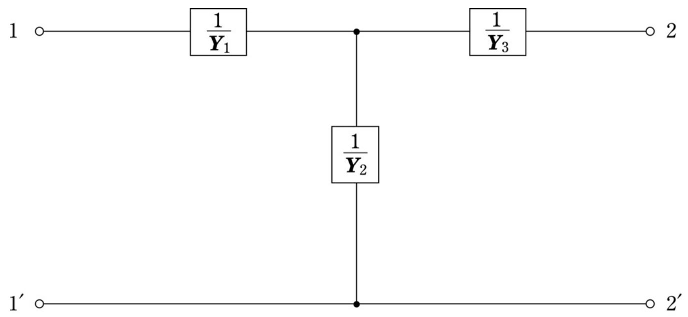
だから

$$\boldsymbol{y}_{12} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{V_1=0} = -\boldsymbol{Y}_3$$

したがって，アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_3 & -\boldsymbol{Y}_3 \\ -\boldsymbol{Y}_3 & \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

4．



図(a)

図(a)に示すインピーダンス要素に書き直すと，T形回路のインピーダンス行列は５－１演習問題３．より

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\boldsymbol{Y}_1} + \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} & \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} \\ \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} & \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} + \frac{1}{\boldsymbol{Y}_3} \end{bmatrix}$$

となる。Z行列の値$\varDelta\boldsymbol{Z}$は

$$\varDelta\boldsymbol{Z} = \frac{\boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_2}{\boldsymbol{Y}_1\boldsymbol{Y}_2} \times \frac{\boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3}{\boldsymbol{Y}_2\boldsymbol{Y}_3} - \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2{}^2} = \frac{\boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3}{\boldsymbol{Y}_1\boldsymbol{Y}_2\boldsymbol{Y}_3}$$

したがって，アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{Z}^{-1} = \frac{1}{\varDelta\boldsymbol{Z}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} + \frac{1}{\boldsymbol{Y}_3} & -\frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} \\ -\frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} & \frac{1}{\boldsymbol{Y}_1} + \frac{1}{\boldsymbol{Y}_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3} \begin{bmatrix} \boldsymbol{Y}_1(\boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3) & -\boldsymbol{Y}_1\boldsymbol{Y}_3 \\ -\boldsymbol{Y}_1\boldsymbol{Y}_3 & \boldsymbol{Y}_3(\boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_2) \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

５．

$$\boldsymbol{y}_{11} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{V}_1}\right|_{V_2=0} = \frac{3\times10^{-3}}{24} = 0.125\,\mathrm{mS}$$

$$\boldsymbol{y}_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_1}\right|_{V_2=0} = \frac{-0.6\times10^{-3}}{24} = -0.025\,\mathrm{mS}$$

$$\boldsymbol{y}_{12} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{V_1=0} = \frac{-1\times10^{-3}}{40} = -0.025\mathrm{mS}$$

$$\boldsymbol{y}_{22} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{V_1=0} = \frac{12\times10^{-3}}{40} = 0.3\mathrm{mS}$$

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} 1.25\times10^{-4} & -0.25\times10^{-4} \\ -0.25\times10^{-4} & 3.0\times10^{-4} \end{bmatrix} \quad (答)$$

６．

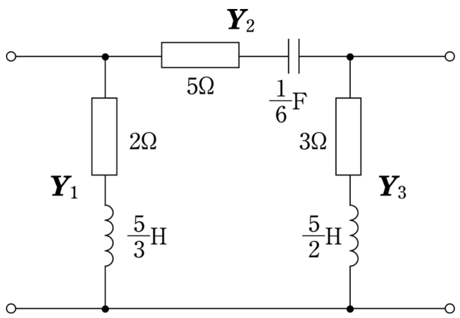
$\boldsymbol{Y}_1 = \boldsymbol{Y}_2 = \dfrac{1}{1+j} = \dfrac{1-j}{2}$, $\boldsymbol{Y}_3 = \dfrac{1}{2}$ となるから，５－２演習問題３.の結果を使って，アドミタンス行列は

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \dfrac{1-j}{2}+\dfrac{1}{2} & -\dfrac{1}{2} \\ -\dfrac{1}{2} & \dfrac{1-j}{2}+\dfrac{1}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-j0.5 & -0.5 \\ -0.5 & 1-j0.5 \end{bmatrix} \quad (答)$$

また，５－１ドリル問題(7)の結果を用いて，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 0.8+j0.6 & 0.2+j0.4 \\ 0.2+j0.4 & 0.8+j0.6 \end{bmatrix} \quad (答)$$

7．



$$\boldsymbol{Y}_1 = \frac{1}{2 + j\dfrac{5}{3}\omega} = \frac{3}{6 + j5\omega}$$

$$\boldsymbol{Y}_2 = \frac{1}{3 + j\dfrac{5}{2}\omega} = \frac{2}{6 + 5\omega}$$

$$\boldsymbol{Y}_3 = \frac{1}{5 + \dfrac{1}{j\omega\dfrac{1}{6}}} = \frac{1}{5 - j\dfrac{6}{\omega}} = \frac{j\omega}{6 + j5\omega}$$

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_3 & -\boldsymbol{Y}_3 \\ -\boldsymbol{Y}_3 & \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{6 + j5\omega}\begin{bmatrix} 3 + j\omega & -j\omega \\ -j\omega & 2 + j\omega \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{36 + 25\omega^2}\begin{bmatrix} 18 + 5\omega^2 - j9\omega & -\left(5\omega^2 + j6\omega\right) \\ -\left(5\omega^2 + j6\omega\right) & 12 + 5\omega^2 - j4\omega \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

8．

$$\boldsymbol{Y}_1 = \frac{1}{j\omega L_1} = -j\frac{1}{\omega L_1}$$

$$\boldsymbol{Y}_2 = \frac{1}{j\omega L_2} = -j\frac{1}{\omega L_2}$$

$$\boldsymbol{Y}_3 = j\omega C$$

であるから，

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} j\left(\omega C - \dfrac{1}{\omega L_1}\right) & -j\omega C \\ -j\omega C & j\left(\omega C - \dfrac{1}{\omega L_2}\right) \end{bmatrix} \quad \text{(答)}$$

５－３　ドリル問題

問題１

(1)　p.175 例題解答から

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 10 & 7.5 \\ 7.5 & 9.38 \end{bmatrix} \quad (答)$$

$\boldsymbol{Z}_{\text{in}}$，$\boldsymbol{I}_2/\boldsymbol{I}_1$，$\boldsymbol{I}_2$，$\boldsymbol{V}_{\text{th}}$，$\boldsymbol{Z}_{\text{th}}$ はそれぞれ，式5―40，5―41，5―43，5―45，5―47 から

$$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = \boldsymbol{z}_{11} - \frac{\boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}}{\boldsymbol{z}_{22} + \boldsymbol{Z}_L} = 10 - \frac{7.5 \times 7.5}{9.38 + 10} = 7.10\,\Omega \quad (答)$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{\boldsymbol{z}_{21}}{\boldsymbol{z}_{22} + \boldsymbol{Z}_L} = \frac{-7.5}{9.38 + 10} = -0.387 \quad (答)$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-\boldsymbol{z}_{21}e_0}{\left(\boldsymbol{z}_{11} + \boldsymbol{Z}_0\right)\left(\boldsymbol{z}_{22} + \boldsymbol{Z}_L\right) - \boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}} = \frac{-7.5 \times 10}{\left(10 + 10\right)\left(9.38 + 10\right) - 7.5 \times 7.5} = -0.226\,\text{A} \quad (答)$$

$$\boldsymbol{V}_{\text{Th}} = \frac{\boldsymbol{z}_{21}e_0}{\boldsymbol{Z}_0 + \boldsymbol{Z}_{11}} = \frac{7.5 \times 10}{10 + 10} = 3.75\,\text{V} \quad (答)$$

$$\boldsymbol{Z}_{\text{Th}} = \boldsymbol{z}_{22} - \frac{\boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}}{\boldsymbol{z}_{11} + \boldsymbol{Z}_0} = 9.38 - \frac{7.5 \times 7.5}{10 + 10} = 6.57\,\Omega \quad (答)$$

(2)　p.177　５－１ドリル問題(1)から

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{3}{4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 \\ 0.5 & 0.75 \end{bmatrix} \quad (答)$$

問題１と同様に

$$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = \boldsymbol{z}_{11} - \frac{\boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}}{\boldsymbol{z}_{22} + \boldsymbol{Z}_L} = 1 - \frac{0.5 \times 0.5}{0.75 + 2} = 0.909\,\Omega \quad (答)$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{\boldsymbol{z}_{21}}{\boldsymbol{z}_{22} + \boldsymbol{Z}_L} = \frac{0.5}{0.75 + 2} = -0.182 \quad (答)$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-\boldsymbol{z}_{21}e_0}{\left(\boldsymbol{z}_{11} + \boldsymbol{Z}_0\right)\left(\boldsymbol{z}_{22} + \boldsymbol{Z}_L\right) - \boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}} = \frac{-0.5 \times 10}{\left(1 + 3\right)\left(0.75 + 2\right) - 0.5 \times 0.5} = -0.465\,\text{A} \quad (答)$$

$$\boldsymbol{V}_{\text{Th}} = \frac{\boldsymbol{z}_{21}e_0}{\boldsymbol{Z}_0 + \boldsymbol{Z}_{11}} = \frac{0.5 \times 10}{3 + 1} = 1.25\,\text{V} \quad (答)$$

$$\boldsymbol{Z}_{\text{Th}} = \boldsymbol{z}_{22} - \frac{\boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{z}_{21}}{\boldsymbol{z}_{11} + \boldsymbol{Z}_0} = 0.75 - \frac{0.5 \times 0.5}{1 + 3} = 0.688\,\Omega \quad (答)$$

(3)　p.178　5－1演習問題3から

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 30 & 20 \\ 20 & 30 \end{bmatrix} \qquad (答)$$

問題1，2と同様に

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = 30 - \frac{20 \times 20}{30 + 20} = 22\,\Omega \qquad (答)$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{20}{30 + 20} = -0.4 \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-20 \times 10}{(30 + 100)(30 + 20) - 20 \times 20} = -0.0328\,\mathrm{A} \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} = \frac{20 \times 10}{100 + 30} = 1.54\,\mathrm{V} \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} = 30 - \frac{20 \times 20}{30 + 100} = 26.9\,\Omega \qquad (答)$$

(4)　端子22′が開放のとき，インピーダンス行列の端子11′の駆動点インピーダンスは

$$\boldsymbol{z}_{11} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{\boldsymbol{I}_2=0} = 2 + \frac{2 \times (1 + 2)}{2 + (1 + 2)} = \frac{16}{5} = 3.2\,\Omega$$

このときの伝達インピーダンスは

$$\boldsymbol{z}_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_2}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{\boldsymbol{I}_2=0} = \frac{\dfrac{2 \times (1 + 2)}{2 + (1 + 2)}}{2 + \dfrac{2 \times (1 + 2)}{2 + (1 + 2)}} \times \frac{2}{1 + 2} \times \frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_1} = \frac{4}{5} = 0.8\,\Omega$$

回路は相反性，対称性が成立しているので

$\boldsymbol{z}_{22} = \boldsymbol{z}_{11}$，$\boldsymbol{z}_{12} = \boldsymbol{z}_{21}$ である。したがって

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 3.2 & 0.8 \\ 0.8 & 3.2 \end{bmatrix} \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = 3.2 - \frac{0.8 \times 0.8}{3.2 + 7} = 3.14\,\Omega \qquad (答)$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{0.8}{3.2 + 7} = -0.0784 \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-0.8 \times 12}{(3.2 + 7)(3.2 + 7) - 0.8 \times 0.8} = -0.0928\,\mathrm{A} \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} = \frac{0.8 \times 12}{7 + 3.2} = 0.941\mathrm{V} \qquad (答)$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} = 3.2 - \frac{0.8 \times 0.8}{3.2 + 7} = 3.14\,\Omega \qquad (答)$$

(5)　T 形回路なので，インピーダンス行列は次式で与えられる。

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 7 & 5 \\ 5 & 7 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = 7 - \frac{5 \times 5}{7 + R} = \frac{7R + 24}{7 + R}\,[\Omega] \qquad \text{(答)}$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{5}{7 + R} \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-5 \times 10}{(7 + 10)(7 + R) - 5 \times 5} = \frac{-50}{17R + 94}\,[\mathrm{A}] \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} = \frac{5 \times 10}{10 + 7} = 2.94\,\mathrm{V} \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} = 7 - \frac{5 \times 5}{7 + 10} = 5.53\,\Omega \qquad \text{(答)}$$

テブナンの定理(p.42，1―4―4 項，p.134，4―1―2 項参照)から R を流れる電流 $\boldsymbol{I}_R$ および電力 $\boldsymbol{P}_R$ は，それぞれ

$$\boldsymbol{I}_R = \frac{2.94}{5.53 + R}\,[\mathrm{A}]$$

$$\boldsymbol{P}_R = \boldsymbol{I}_R{}^2 R = \frac{2.94^2 R}{(5.53 + R)^2} = \frac{8.64R}{(5.53 + R)^2}\,[\mathrm{W}]$$

最大供給電力は $R = 5.53\,\Omega$ のとき，0.391 W となる。　　(答)

(6)　p.177　5－1 ドリル問題(4) と同じ回路であるから，

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 0 & -j \\ -j & 2 - j \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = 0 - \frac{(-j)^2}{(2 - j) + 1} = \frac{1}{3 - j} = \frac{3 + j}{10} = 0.3 + j0.1\,\Omega \qquad \text{(答)}$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{(-j)}{(2 - j) + 1} = \frac{j}{3 - j} = \frac{-1 + j3}{10} = -0.1 + j0.3 \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-(-j) \times 3}{(0 + 3)(2 - j + 1) - (-j)^2} = \frac{j \times 3}{3(3 - j) + 1} = \frac{-9 + j30}{109} = -0.0826 + j0.275\ \mathrm{A} \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} = \frac{(-j) \times 3}{3 + 0} = -j\,\mathrm{V} \qquad \text{(答)}$$

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} = (2 - j) - \frac{(-j)^2}{0 + 3} = \frac{7}{3} - j = 2.33 - j\,\Omega \qquad \text{(答)}$$

$$|\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}}| = 1\,\mathrm{V} \qquad \text{(答)}$$

$$|\boldsymbol{I}_2| = \sqrt{0.083^2 + 0.275^2} = 0.287\,\mathrm{A} \qquad \text{(答)}$$

$$\left|\boldsymbol{Z}_{\text{Th}}\right| = \sqrt{2.33^2 + (-1)^2} = 2.54\,\Omega$$ （答）

(7)　前問と同様に

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 1+j \end{bmatrix}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = 0 - \frac{(j)^2}{(1+j)+(1+j)} = \frac{1}{2(1+j)} = \frac{1-j}{4} = 0.25 - j0.25\,\Omega$$ （答）

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{-j}{(1+j)+(1+j)} = \frac{-j}{2(1+j)} = \frac{-1-j}{4}$$ （答）

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-j\times 10}{(0+1)(1+j+1+j)-j^2} = \frac{-j\times 10}{3+j2} = \frac{-20-j30}{13} = -1.54 - j2.31\,\text{A}$$ （答）

$$\boldsymbol{V}_{\text{Th}} = \frac{j\times 10}{1+0} = j10\text{V}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\text{Th}} = 1 + j - \frac{j^2}{0+1} = 2 + j\,\Omega$$ （答）

$$\left|\boldsymbol{I}_2\right| = 2.77\,\text{A}$$ （答）

$$\left|\boldsymbol{V}_{\text{Th}}\right| = 10\,\text{V}$$ （答）

$$\left|\boldsymbol{Z}_{\text{Th}}\right| = \sqrt{5} = 2.24\,\Omega$$ （答）

(8)

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 3 & 2+j \\ 2+j & 5 \end{bmatrix}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = 3 - \frac{(2+j)^2}{5+5} = 2.7 - j0.4\,\Omega$$ （答）

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{2+j}{5+5} = -0.2 - j0.1$$ （答）

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-(2+j)\times 30}{(3+7)(5+5)-(2+j)^2} = \frac{-30(2+j)}{97-j4} = -0.605 - j0.334\,\text{A}$$ （答）

$$\boldsymbol{V}_{\text{Th}} = \frac{(2+j)\times 30}{7+3} = 6 + j3\,\text{V}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\text{Th}} = 5 - \frac{(2+j)^2}{3+7} = 4.7 - j0.4\,\Omega$$ （答）

$$\left|\boldsymbol{I}_2\right| = \sqrt{(-0.605)^2 + (-0.334)^2} = 0.691\,\text{A}$$ （答）

$$\left|\boldsymbol{V}_{\text{Th}}\right| = 3\sqrt{4+1} = 6.71\text{V}$$

$$\left| \boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} \right| = \sqrt{4.7^2 + (-0.4)^2} = 4.72\,\Omega$$ （答）

(9)　５－１ドリル問題(7)から

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \frac{4+j3}{5} & \frac{1+j2}{5} \\ \frac{1+j2}{5} & \frac{4+j3}{5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8+j0.6 & 0.2+j0.4 \\ 0.2+j0.4 & 0.8+j0.6 \end{bmatrix}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = 0.8 + j0.6 - \frac{(0.2+j0.4)^2}{(0.8+j0.6)+(0.2-j0.6)} = 0.92 + j0.44\,\Omega$$ （答）

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{0.2+j0.4}{(0.8+j0.6)+(0.2-j0.6)} = -0.2 - j0.4$$ （答）

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-(0.2+j0.4)\times 10}{(1.0+j0.6)\times 1-(0.2+j0.4)^2} = \frac{-(2+j4)}{1.12+j0.44} = -2.76 - j2.49\ \mathrm{A}$$ （答）

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} = \frac{(0.2+j0.4)\times 10}{0.2+(0.8+j0.6)} = \frac{2(1+j2)}{1+j0.6} = 3.24 + j2.06\ \mathrm{V}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} = 0.8 + j0.6 - \frac{(0.2+j0.4)^2}{0.8+j0.6+0.2} = 0.8 + j0.6 - \frac{(0.2+j0.4)^2}{1+j0.6}$$

$$= 0.8 + j0.6 - \frac{-(1-j0.6)(0.12-j0.16)}{1+0.36} = 0.818 + j0.429\,\Omega$$ （答）

$$\left| \boldsymbol{I}_2 \right| = 3.72\mathrm{A}$$ （答）

$$\left| \boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} \right| = 3.84\mathrm{V}$$

$$\left| \boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} \right| = 0.924\,\Omega$$ （答）

(10)　問(6)と同じくインピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 0 & -j \\ -j & 2-j \end{bmatrix}$$ （答）

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = -\frac{(-j)^2}{2-j+R+jX} = \frac{1}{2+R+j(X-1)}\ [\Omega] = \frac{2+R-j(X-1)}{(2+R)^2+(X-1)^2}\ [\Omega]$$ （答）

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = -\frac{-j}{2+R+j(X-1)} = \frac{j\{(2+R)-j(X-1)\}}{(2+R)^2+(X-1)^2} = \frac{X-1+j(2+R)}{(2+R)^2+(X-1)^2}$$ （答）

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-(-j)\times 1}{(0+2)\{2+R+j(X-1)-(-j)^2\}} = \frac{j}{2R+5+j2(X-1)}\ [\mathrm{A}]$$

$$= \frac{2(X-1)+j(2R+5)}{(2R+5)^2+4(X-1)^2}\ [\mathrm{A}]$$ （答）

$$\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}} = \frac{(-j)\times 1}{2+0} = -j0.5\ \mathrm{V} \qquad \text{(答)}$$

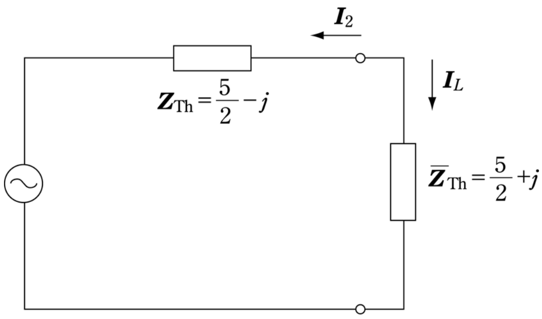
$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}} = 2 - j - \frac{(-j)^2}{0+2} = 2.5 - j\ \Omega \qquad \text{(答)}$$

$$\left|\boldsymbol{I}_2\right| = \frac{1}{\sqrt{(2R+5)^2 + 4(X-1)^2}}\ [\mathrm{A}] \qquad \text{(答)}$$

$$\left|\boldsymbol{V}_{\mathrm{Th}}\right| = 0.5\mathrm{V} \qquad \text{(答)}$$

$$\left|\boldsymbol{Z}_{\mathrm{Th}}\right| = \sqrt{\frac{25}{4}+1} = \frac{\sqrt{29}}{2}\,\Omega \qquad \text{(答)}$$

負荷に供給される電力は，p.82 の負荷整合条件から，$\boldsymbol{Z}_L = \overline{\boldsymbol{Z}}_{\mathrm{Th}}$ のときに最大となる(p.82 式2－137 を参照)。負荷に供給される電流$\boldsymbol{I}_L$ は，$\boldsymbol{I}_2$ を逆向きにして，



$$\boldsymbol{I}_L = -\boldsymbol{I}_2 = -\frac{j}{10}\,\mathrm{A}$$

$$\boldsymbol{V}_L = \overline{\boldsymbol{Z}}_{\mathrm{Th}}\boldsymbol{I}_L = \left(\frac{5}{2} + j\right)\left(-\frac{j}{10}\right) = \frac{2-j5}{20}\,\mathrm{V}$$

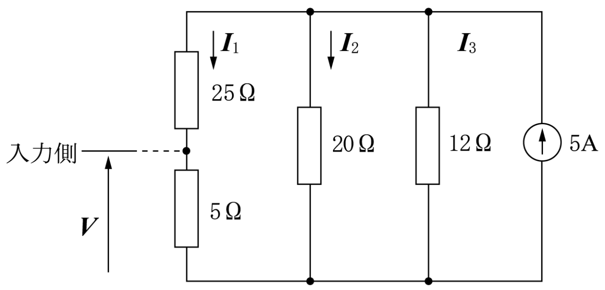
$$\boldsymbol{P}_{\max} = \boldsymbol{V}_L\boldsymbol{I}_L = \frac{(2.0-j5)}{20}\times\left(\frac{j}{10}\right) = \frac{5+j2}{200} = \frac{1}{40} + j\frac{1}{100}\,\mathrm{W}$$

$$\left|\boldsymbol{P}_{\max}\right| = \frac{1}{100}\sqrt{\frac{25}{4}+1} = \frac{\sqrt{29}}{200} = 0.0269\mathrm{W}$$

ゆえに，$R = 2.5$ および$X = 1$ のとき，最大電力0.0269 W　　(答)

５－３　演習問題

１．　与えられた回路を図(a)のように考えると，



図(a)

$$I_1 + I_2 + I_3 = 5 \qquad ①$$

$$30I_1 = 20I_2 = 12I_3 \qquad ②$$

$$V = \frac{5}{30} \times 30I_2 = 5I_1 \qquad ③$$

から

$$I_2 = 1.5I_1, \quad I_3 = \frac{30}{12}I_1 = 2.5I_1$$

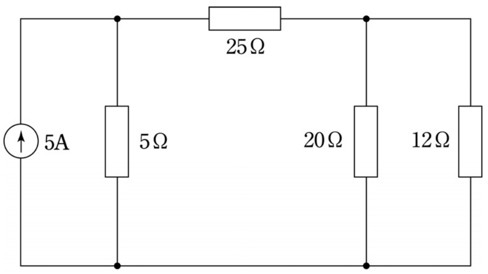
ゆえに$I_1 = 1\mathrm{A}$，$V = 5\,\mathrm{V}$　　(答)

入力側に電流源をつなぐ場合は図(b)の回路となり，20Ωと12Ωの並列抵抗7.5Ωと25Ωの和32.5Ωに流れる電流は，分流比(p.12－13参照)から

$$\frac{5}{5+32.5} \times 5 = \frac{25}{37.5} = \frac{2}{3}\,\mathrm{A}$$

となる。したがって，12Ωの両端の電圧は，$\dfrac{2}{3} \times 7.5 = 5\mathrm{V}$　　(答)

よって，この回路は対称性が成り立っている。



図(b)

２．　５－１演習問題３．で学んだとおり，インピーダンス行列は

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 2+j & j \\ j & 3+j \end{bmatrix} \qquad (答)$$

３．

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{V}_1 &= \boldsymbol{z}_{11}\boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{z}_{12}\boldsymbol{I}_2 \\ \boldsymbol{V}_2 &= \boldsymbol{z}_{21}\boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{z}_{22}\boldsymbol{I}_2\end{aligned}\right\} \qquad ①$$

対称，相反なので，$\boldsymbol{z}_{11} = \boldsymbol{z}_{22}$，$\boldsymbol{z}_{12} = \boldsymbol{z}_{21}$

$$\boldsymbol{z}_{11} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{\boldsymbol{I}_2=0} = \frac{95}{5} = 19\,\Omega \qquad ②$$

$\boldsymbol{V}_2 = 0$ のとき，$\boldsymbol{V}_1 = 11.5\mathrm{V}$，$\boldsymbol{I}_2 = -2.7\,\mathrm{A}$ だから

$$0 = \boldsymbol{z}_{21}\boldsymbol{I}_1 - 2.7\times 19 \rightarrow \boldsymbol{I}_1 = \frac{2.7\times 9}{\boldsymbol{z}_{21}} \qquad ③$$

$$11.5 = 19\boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{z}_{21}\times\left(-2.7\right) \qquad ④$$

式③を④に代入

$$11.5 = \frac{2.7\times 19^2}{\boldsymbol{z}_{21}} - 2.7\boldsymbol{z}_{21} \qquad ⑤$$

$$\boldsymbol{z}_{21}{}^2 + \frac{11.5}{2.7}\boldsymbol{z}_{21} - 19^2 = 0 \qquad ⑥$$

$$\boldsymbol{z}_{21} = \frac{-4.259 \pm 38.24}{2} = \begin{cases} 16.99 \\ -21.25 \end{cases}$$

よって，インピーダンス行列は，$\boldsymbol{z}_{21} > 0$ として

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 19 & 17.0 \\ 17.0 & 19 \end{bmatrix} \qquad (答)$$

４．　5−2 演習問題３．の結果から，

$$\boldsymbol{Y}_1 = \frac{1}{j} = -j\,\mathrm{S},\ \boldsymbol{Y}_2 = \frac{2}{j} = -j\,2\,\mathrm{S},\ \boldsymbol{Y}_3 = -\frac{3}{j} = j\,3\,\mathrm{S}$$

であるから(p.202 まとめ参照)

$$\boldsymbol{Y} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{Y}_1 + \boldsymbol{Y}_3 & -\boldsymbol{Y}_3 \\ -\boldsymbol{Y} & \boldsymbol{Y}_2 + \boldsymbol{Y}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j2 & -j3 \\ -j3 & j \end{bmatrix} \qquad (答)$$

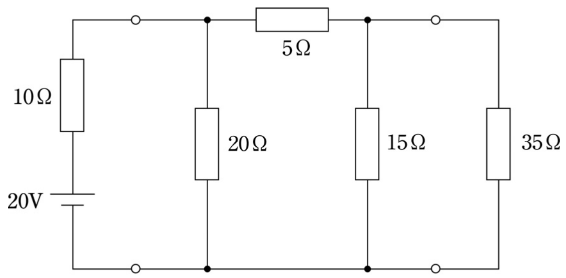
$$\mathit{\Delta}\boldsymbol{Y} = -2 + 9 = 7$$

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} \dfrac{j}{7} & j\dfrac{3}{7} \\ j\dfrac{3}{7} & j\dfrac{2}{7} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j0.143 & j0.429 \\ j0.429 & j0.286 \end{bmatrix} \qquad (答)$$

式 5−40 から

$$\boldsymbol{Z}_{\mathrm{in}} = \frac{j}{7} - \frac{\left(j\dfrac{3}{7}\right)^2}{j\dfrac{2}{7} + \dfrac{1}{2}} = \frac{126 - j7}{65\times 7} = 0.277 - j0.0154\,\Omega \qquad (答)$$

５．



インピーダンス行列は，式5—15 から，$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} 10 & 7.5 \\ 7.5 & 9.38 \end{bmatrix}$

$\boldsymbol{Z}_{\text{in}}$，$\boldsymbol{I}_2/\boldsymbol{I}_1$，$\boldsymbol{I}_1$，$\boldsymbol{I}_2$，$\boldsymbol{V}_{\text{Th}}$，$\boldsymbol{Z}_{\text{Th}}$ は，それぞれ式5—40，5—41，5—42，5—43，5—45，5—47 から

$$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = 10 - \frac{7.5^2}{9.38+35} = 8.73\,\Omega \qquad \text{（答）}$$

$$\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1} = \frac{7.5}{9.38+35} = -0.169 \qquad \text{（答）}$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-7.5\times 20}{(10+10)(9.38+35)-7.5^2} = -0.180\,\text{A} \qquad \text{（答）}$$

$$\boldsymbol{I}_1 = \frac{20-7.5\boldsymbol{I}_2}{10+10} = 1.07\,\text{A}$$

$$\boldsymbol{V}_{\text{Th}} = \frac{7.5}{10+10}\times 20 = 7.5\,\text{V}$$

$$\boldsymbol{Z}_{\text{Th}} = 9.38 - \frac{7.5^2}{10+10} = 6.57\,\Omega$$

６． インピーダンス行列は，p.202 まとめを参照して，

$$\boldsymbol{Z} = \frac{1}{-0.025\times 0.04 - 0.001\times 0.25}\begin{bmatrix} -0.04 & 0.001 \\ 0.25 & 0.025 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 32 & -0.8 \\ -200 & -20 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = 32 - \frac{(-0.8)\times(-200)}{-20+100} = 30\,\Omega \qquad \text{（式5—40）}$$

$$\boldsymbol{I}_2 = \frac{-(-200)\times 1}{(32+10)(-20+100)-(-0.8)\times(-200)} = 0.0625\,\text{A} \qquad \text{（式5—43）}$$

負荷に供給される電力 $\boldsymbol{P}_L$ は

$$\boldsymbol{P}_L = \frac{1}{2}\boldsymbol{I}_2^2\boldsymbol{Z}_L = \frac{1}{2}\times 0.0625^2\times 100 = 0.195\text{W}$$

$\boldsymbol{Z}_{\text{in}} = 30\,\Omega$ であるから，電源の負荷は$10+30=40\,\Omega$ となる。したがって，電源の供給する電力 $\boldsymbol{P}_{\text{in}}$ は

$$\boldsymbol{P}_{\text{in}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{40}\right)^2\times 40 = 0.0125\text{W}$$

したがって，$\dfrac{\boldsymbol{P}_L}{\boldsymbol{P}_{\mathrm{in}}} = \dfrac{0.195}{0.0125} = 15.6$　　（答）

５－４　ドリル問題

問題１．　p.195 例題の結果と式５－66 の結果を用いて

		1	2	1	0
		0	1	1	1
1	0	1	2	3	2
1	1	1	3	4	3

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$ (答)

問題２．　１．と同様にして

		1	0	1	1
		1/2	1	0	1
1	1	3/2	1	3/2	5/2
0	1	1/2	1	1/2	3/2

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \frac{3}{2} & \frac{5}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{3}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 \\ 0.5 & 1.5 \end{bmatrix}$$ (答)

問題３．　問題１と問題２の F 行列の結果から

		3/2	5/2
		1/2	3/2
3	2	11/2	21/2
4	3	15/2	29/2

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \frac{11}{2} & \frac{21}{2} \\ \frac{15}{2} & \frac{29}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.5 & 10.5 \\ 7.5 & 14.5 \end{bmatrix}$$ (答)

問題４．

		1	0	1	1
		$-j$	1	0	1
1	$-j$	0	$-j$	0	$-j$
0	1	$-j$	1	$-j$	$1-j$

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 0 & -j \\ -j & 1-j \end{bmatrix}$$ (答)

問題５．

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & 1 & 1 & 0 \\
 & & 0 & 1 & \dfrac{1}{1-j} & 1 \\
\hline
1 & 0 & 1 & 1 & 1+\dfrac{1}{1-j} & 1 \\
\dfrac{1}{1-j} & 1 & \dfrac{1}{1-j} & \dfrac{2-j}{1-j} & \dfrac{1}{1-j}+\dfrac{2-j}{(1-j)^2} & \dfrac{2-j}{1-j}
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1.5+j0.5 & 1 \\ 1+j1.5 & 1.5+j0.5 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}
$$

問題６．

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & 2 & 1 & 0 \\
 & & 0 & 1 & \dfrac{1}{1+j} & 1 \\
\hline
1 & 0 & 1 & 2 & 2-j & 2 \\
\dfrac{1}{1+j} & 1 & \dfrac{1-j}{2} & 2-j & 1-j2 & 2-j
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 2-j & 2 \\ 1-j2 & 2-j \end{bmatrix} \quad \text{(答)}
$$

問題７．

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & 1-j & 1 & 0 \\
 & & 0 & 1 & \dfrac{1}{1-j} & 1 \\
\hline
1 & 0 & 1 & 1-j & 2 & 1-j \\
\dfrac{1}{1+j} & 1 & \dfrac{1-j}{2} & 1-j & \dfrac{1-j}{2}+1 & 1-j
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 2 & 1-j \\ 1.5-j0.5 & 1-j \end{bmatrix} \quad \text{(答)}
$$

問題８．

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 & & \dfrac{1-j}{-j} & 1 & 0 & 1 \\
\hline
1 & j & 1-(1-j) & j & j & 2j \\
0 & 1 & j(1-j) & 1 & 1+j & 2+j
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} j & j2 \\ 1+j & 2+j \end{bmatrix} \quad \text{(答)}
$$

問題９．

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & 0.1 & 1 & 0 \\
 & & 0 & 1 & j\omega C & 1 \\
\hline
1 & 0 & 1 & 0.1 & 1+j0.1\omega C & 0.1 \\
\dfrac{1}{j\omega L} & 1 & \dfrac{1}{j\omega L} & 1+\dfrac{0.1}{j\omega L} & \dfrac{1}{j\omega L}+j\omega C\left(1+\dfrac{0.1}{j\omega L}\right) & 1+\dfrac{0.1}{j\omega L}
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1+j0.1\omega C & 0.1 \\ \dfrac{0.1C}{L}+j\left(\omega C-\dfrac{1}{\omega L}\right) & 1-j\dfrac{0.1}{\omega L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+j\pi & 0.1 \\ 1+j\left(10\pi-\dfrac{1}{\pi}\right) & 1-j\dfrac{1}{10\pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+j3.14 & 0.1 \\ 1+j31.1 & 1-j0.0318 \end{bmatrix} \quad \text{(答)}
$$

問題10.

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & R & 1 & 0 \\
 & & 0 & 1 & \dfrac{1}{j\omega L} & 1 \\
\hline
1 & 0 & 1 & R & 1-j\dfrac{R}{\omega L} & R \\
j\omega C & 1 & j\omega C & 1+j\omega CR & \dfrac{1+j\omega CR}{j\omega L}+j\omega C & 1+j\omega CR
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1-j\dfrac{R}{\omega L} & R \\ \dfrac{CR}{L}+j\left(\omega C-\dfrac{1}{\omega L}\right) & 1+j\omega CR \end{bmatrix} \quad \text{(答)}
$$

５－４　演習問題

1.　(a)　p.195 例題から

$$
\begin{array}{cc|cc|}
 & & 1 & \boldsymbol{Z}_3 \\
 & & 0 & 1 \\
\hline
1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_1}{\boldsymbol{Z}_2} & \boldsymbol{Z}_1 & 1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_1}{\boldsymbol{Z}_2} & \boldsymbol{Z}_3\left(1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_1}{\boldsymbol{Z}_2}\right)+\boldsymbol{Z}_1 \\
\dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_2} & 1 & \dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_2} & \dfrac{\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_2+1}
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_2} & \dfrac{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_2\boldsymbol{Z}_3+\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_1}{\boldsymbol{Z}_2} \\ \dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_2} & \dfrac{\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_2} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}
$$

(b)

$$
\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & 1 & \boldsymbol{Z}_2 & 1 & 0 \\
 & & 0 & 1 & \dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_3} & 1 \\
\hline
1 & 0 & 1 & \boldsymbol{Z}_2 & 1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_3} & \boldsymbol{Z}_2 \\
\dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_1} & 1 & \dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_1} & 1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1} & \dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_1}+\dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_3}\left(1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1}\right) & 1+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1}
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \dfrac{\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_3} & \boldsymbol{Z}_2 \\ \dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3} & \dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}
$$

２．　１．(a)の解を用いて

$$\boldsymbol{a}_{11} = 1+\frac{R_1}{R_3} = 1.2 \qquad ①$$

$$\boldsymbol{a}_{12} = \frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{R_2} = 34 \qquad ②$$

$$\boldsymbol{a}_{21} = \frac{1}{R_3} = 20\times10^{-3} \qquad ③$$

$$\boldsymbol{a}_{22} = 1+\frac{R_2}{R_3} = 1.4 \qquad ④$$

式③から，$R_3 = 50\,\Omega$　　（答）　　⑤

式⑤，①から，$R_1 = 50 \times 0.2 = 10\,\Omega$　　（答）

式⑤，④から，$R_2 = 50 \times 0.4 = 20\,\Omega$　　（答）

3．

		1	0	1	3	1	0	1	5
		$\frac{1}{2}$	1	0	1	$\frac{1}{4}$	1	0	1
1	1	$\frac{3}{2}$	1	$\frac{3}{2}$	$\frac{11}{2}$	$\frac{23}{8}$	$\frac{11}{2}$	$\frac{23}{8}$	$\frac{159}{8}$
0	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{65}{8}$

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \frac{23}{8} & \frac{159}{8} \\ \frac{9}{8} & \frac{65}{8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.88 & 19.88 \\ 1.13 & 8.13 \end{bmatrix} \quad \text{（答）}$$

4．　1．(b)の結果を用いて

		1	$\boldsymbol{Z}_4$
		0	1
$\frac{\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_3}$	$\boldsymbol{Z}_2$	$\frac{\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_3}$	$\boldsymbol{Z}_2 \frac{\boldsymbol{Z}_4(\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3)}{\boldsymbol{Z}_3}$
$\frac{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}$	$\frac{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1}$	$\frac{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}$	$\frac{\boldsymbol{Z}_4(\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3} + \frac{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1}$

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} \frac{\boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_3} & \frac{\boldsymbol{Z}_2\boldsymbol{Z}_3 + \boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_4 + \boldsymbol{Z}_4\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_3} \\ \frac{\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3} & \frac{\boldsymbol{Z}_3(\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2) + \boldsymbol{Z}_4(\boldsymbol{Z}_1 + \boldsymbol{Z}_2 + \boldsymbol{Z}_3)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3} \end{bmatrix} \quad \text{（答）}$$

５．　１．(b)，(a)の結果を用いて

		$\dfrac{\boldsymbol{Z}_4+\boldsymbol{Z}_5}{\boldsymbol{Z}_5}$	$\dfrac{\boldsymbol{Z}_4\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_5\boldsymbol{Z}_6+\boldsymbol{Z}_6\boldsymbol{Z}_4}{\boldsymbol{Z}_5}$
		$\dfrac{1}{\boldsymbol{Z}_5}$	$\dfrac{\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_6}{\boldsymbol{Z}_5}$
$\dfrac{\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_3}$	$\boldsymbol{Z}_2$	$\dfrac{(\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4+\boldsymbol{Z}_5)}{\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_5}$	$\dfrac{(\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_5\boldsymbol{Z}_6+\boldsymbol{Z}_6\boldsymbol{Z}_4)}{\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2(\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_6)}{\boldsymbol{Z}_5}$
$\dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3}$	$\dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1}$	$\dfrac{(\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4+\boldsymbol{Z}_5)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_5}$	$\dfrac{(\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_5\boldsymbol{Z}_6+\boldsymbol{Z}_6\boldsymbol{Z}_4)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{(\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2)(\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_6)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_5}$

$$\boldsymbol{F}=\begin{bmatrix}\dfrac{(\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4+\boldsymbol{Z}_5)}{\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_5} & \dfrac{(\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_5\boldsymbol{Z}_6+\boldsymbol{Z}_6\boldsymbol{Z}_4)}{\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{\boldsymbol{Z}_2(\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_6)}{\boldsymbol{Z}_5} \\ \dfrac{(\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4+\boldsymbol{Z}_5)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_5} & \dfrac{(\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2+\boldsymbol{Z}_3)(\boldsymbol{Z}_4\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_5\boldsymbol{Z}_6+\boldsymbol{Z}_6\boldsymbol{Z}_4)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_3\boldsymbol{Z}_5}+\dfrac{(\boldsymbol{Z}_1+\boldsymbol{Z}_2)(\boldsymbol{Z}_5+\boldsymbol{Z}_6)}{\boldsymbol{Z}_1\boldsymbol{Z}_5}\end{bmatrix}\quad\text{（答）}$$

６．　式5－48 で$\boldsymbol{I}_2$を逆向きに決め，式5－79 との関係を求める。

$$\boldsymbol{V}_1=\boldsymbol{a}_{11}\boldsymbol{V}_2-\boldsymbol{a}_{12}\boldsymbol{I}_2 \quad ①$$

$$\boldsymbol{I}_1=\boldsymbol{a}_{21}\boldsymbol{V}_2-\boldsymbol{a}_{22}\boldsymbol{I}_2 \quad ②$$

式②から

$$\boldsymbol{I}_2=\frac{\boldsymbol{a}_{21}\boldsymbol{V}_2-\boldsymbol{I}_1}{\boldsymbol{a}_{22}} \quad ③$$

式③を①に代入して

$$\boldsymbol{V}_1=\frac{\boldsymbol{a}_{12}}{\boldsymbol{a}_{22}}\boldsymbol{I}_1+\frac{\boldsymbol{a}_{11}\boldsymbol{a}_{22}-\boldsymbol{a}_{12}\boldsymbol{a}_{21}}{\boldsymbol{a}_{22}}\boldsymbol{V}_2 \quad ④$$

$$\boldsymbol{I}_2=-\frac{1}{\boldsymbol{a}_{22}}\boldsymbol{I}_1+\frac{\boldsymbol{a}_{21}}{\boldsymbol{a}_{22}}\boldsymbol{V}_2 \quad ⑤$$

したがって

$$\begin{bmatrix}\boldsymbol{h}_{11} & \boldsymbol{h}_{12} \\ \boldsymbol{h}_{21} & \boldsymbol{h}_{22}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dfrac{\boldsymbol{a}_{12}}{\boldsymbol{a}_{22}} & \dfrac{\boldsymbol{a}_{11}\boldsymbol{a}_{22}-\boldsymbol{a}_{12}\boldsymbol{a}_{21}}{\boldsymbol{a}_{22}} \\ -\dfrac{1}{\boldsymbol{a}_{22}} & \dfrac{\boldsymbol{a}_{21}}{\boldsymbol{a}_{22}}\end{bmatrix} \quad ⑥$$

問題図６のF行列は

		1	6	1	0	1	5	1	0
		0	1	0.05	1	0	1	0.0125	1
1	0	1	6	1.3	6	1.3	12.5	1.4562	12.5
0.025	1	0.025	1.15	0.0825	1.15	0.825	1.5625	0.10203	1.5625

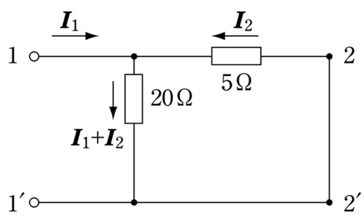
$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1.456 & 12.5 \\ 0.102 & 1.563 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

$$\varDelta \boldsymbol{F} = 1.00$$

求めたF行列および$\varDelta \boldsymbol{F}$からH行列は次式で与えられる。

$$\boldsymbol{H} = \begin{bmatrix} 8.00 & 0.640 \\ -0.640 & 0.0653 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

７．



$$\boldsymbol{h}_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{V_2=0} = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4\,\Omega$$

$$\boldsymbol{h}_{21} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{I}_1}\right|_{V_2=0} = -\frac{20}{25} = -0.8$$

$\boldsymbol{I}_1 = 0$のとき，$\boldsymbol{V}_1 = \dfrac{20}{5 + 20}\boldsymbol{V}_2$

したがって，$\boldsymbol{h}_{12} = \left.\dfrac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{I_1=0} = 0.8$

$$\boldsymbol{h}_{22} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{I_1=0} = \frac{15 + (5 + 20)}{15 \times (5 + 20)} = 0.107\,\mathrm{S}$$

$$\boldsymbol{H} = \begin{bmatrix} 4 & 0.8 \\ -0.8 & 0.107 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

8．　1 1′開放のとき，$\boldsymbol{I}_1 = 0$ であるから

$$\boldsymbol{h}_{12} = \left.\frac{\boldsymbol{V}_1}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{\boldsymbol{I}_1=0} = \frac{1\times 10^{-3}}{10} = 10^{-4}$$

$$\boldsymbol{h}_{22} = \left.\frac{\boldsymbol{I}_2}{\boldsymbol{V}_2}\right|_{\boldsymbol{I}_1=0} = \frac{200\times 10^{-6}}{10} = 2\times 10^{-5}$$

1 1′短絡のとき，$\boldsymbol{V}_1 = 0$，$\boldsymbol{I}_1 = 0.5\mu\mathrm{A}$，$\boldsymbol{I}_2 = 80\mu\mathrm{A}$，$\boldsymbol{V}_2 = 5\mathrm{V}$ であるから，式5―79 より

$$0 = \boldsymbol{h}_{11}\times 0.5\times 10^{-6} + 10^{-4}\times 5$$

$$\boldsymbol{h}_{11} = \frac{-5\times 10^{-4}}{0.5\times 10^{-6}} = -1000$$

$$80\times 10^{-6} = \boldsymbol{h}_{21}\times 0.5\times 10^{-6} + 2\times 10^{-5}\times 5$$

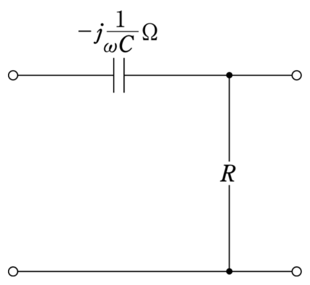
$$\boldsymbol{h}_{21} = \frac{80-100}{0.5} = -40$$

$$\boldsymbol{H} = \begin{bmatrix} -1000 & 10^{-4} \\ -40 & 2\times 10^{-5} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

9．　$\boldsymbol{Z}_1 = j2$，$\boldsymbol{Z}_2 = -j2$，$\boldsymbol{Z}_3 = 1\Omega$ として，問題1．(a)から

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 0 & \dfrac{4-j2+j2}{-j2} \\ j0.5 & \dfrac{-j2+1}{-j2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & j2 \\ j0.5 & 1+j0.5 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

10.　(a)



		1	0
		$\dfrac{1}{R}$	1
1	$\dfrac{1}{j\omega C}$	$1+\dfrac{1}{j\omega CR}$	$\dfrac{1}{j\omega C}$
0	1	$\dfrac{1}{R}$	1

$$\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1+\dfrac{1}{j\omega CR} & \dfrac{1}{j\omega C} \\ \dfrac{1}{R} & 1 \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}$$

(b)

$$
\begin{array}{cc|cc}
 & & 1-j\dfrac{1}{\omega CR} & \dfrac{1}{j\omega C} \\[2ex]
 & & \dfrac{1}{R} & 1 \\[2ex]
\hline
1-j\dfrac{1}{\omega CR} & \dfrac{1}{j\omega C} & \left(1-j\dfrac{1}{\omega CR}\right)^2 - j\dfrac{1}{\omega CR} & \dfrac{1}{j\omega C}\left(1-j\dfrac{1}{\omega CR}\right)+\dfrac{1}{j\omega C} \\[2ex]
\dfrac{1}{R} & 1 & \dfrac{1}{R}\left(1-j\dfrac{1}{\omega CR}\right)+\dfrac{1}{R} & \dfrac{1}{j\omega CR}+1
\end{array}
$$

$$
\boldsymbol{F} = \begin{bmatrix} 1-\dfrac{1}{\omega^2C^2R^2}-j\dfrac{3}{\omega CR} & -\dfrac{1}{\omega^2C^2R}-j\dfrac{2}{\omega C} \\ \dfrac{2}{R}-j\dfrac{1}{\omega CR^2} & 1-j\dfrac{1}{\omega CR} \end{bmatrix} \qquad \text{(答)}
$$