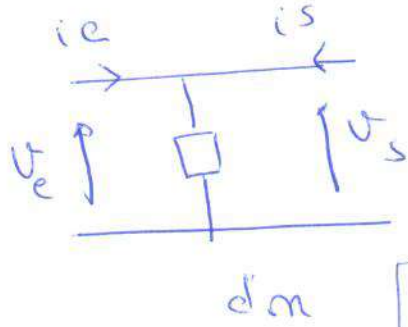


Ex 1 : - objet: calcul des paramètres quadripolaires

1- Détermination des paramètres impédances du quadripôle \mathcal{Q}_P

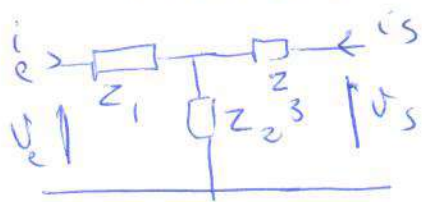


on a: $U_e = U_s = Z(i_e + i_s)$

soit matriciellement: $\begin{pmatrix} U_e \\ U_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z & Z \\ Z & Z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_e \\ i_s \end{pmatrix}$

donc $[Z]_{\mathcal{Q}_P} = \begin{pmatrix} Z & Z \\ Z & Z \end{pmatrix}$

2°/ Détermination des paramètres impédances du quadripôle \mathcal{Q}_T



on a $U_e = Z_1 i_e + Z_2 (i_e + i_s)$

$U_s = Z_2 (i_e + i_s) + Z_3 i_s$

soit matriciellement: $\begin{pmatrix} U_e \\ U_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_2 & Z_2 \\ Z_2 & Z_2 + Z_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_e \\ i_s \end{pmatrix}$

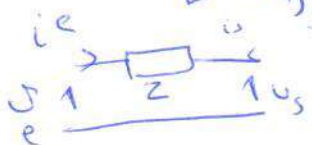
donc $[Z]_{\mathcal{Q}_T} = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_2 & Z_2 \\ Z_2 & Z_2 + Z_3 \end{pmatrix}$

Déduction des résultats de Q. 1

$[Z]_{\mathcal{Q}_P} = \lim_{\substack{Z_1 \rightarrow 0 \\ Z_2 \rightarrow Z \\ Z_3 \rightarrow 0}} [Z]_{\mathcal{Q}_T} = \begin{pmatrix} Z & Z \\ Z & Z \end{pmatrix}$

on retrouve exactement le même résultat

3°/ $[Z]_{\mathcal{Q}_S} = \lim_{\substack{Z_1 \rightarrow Z \\ Z_2 \rightarrow \infty \\ Z_3 \rightarrow 0}} [Z]_{\mathcal{Q}_T} = \lim_{\substack{Z \rightarrow 0 \\ Z_2 \rightarrow \infty \\ Z_3 \rightarrow Z}} [Z]_{\mathcal{Q}_T} \Rightarrow \begin{pmatrix} \infty & \infty \\ \infty & \infty \end{pmatrix}$ diverge



donc il n'existe pas de matrice $[Z]_{\mathcal{Q}_S}$

4/ Détermination des paramètres admittance du quadripôle \mathcal{Q}_S

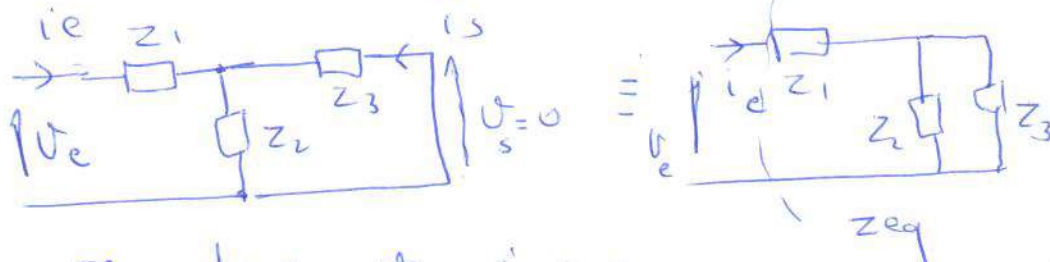
on a $U_e = Z i_e + U_s$ et $U_s = Z i_s + U_e$ $\Leftrightarrow \begin{cases} i_e = \frac{U_e - U_s}{Z} \\ i_s = \frac{U_s - U_e}{Z} \end{cases}$ soit $\begin{pmatrix} i_e \\ i_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z} & -\frac{1}{Z} \\ -\frac{1}{Z} & \frac{1}{Z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_e \\ U_s \end{pmatrix}$

soit $[Y]_{Q_S} = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z} & -\frac{1}{Z} \\ -\frac{1}{Z} & \frac{1}{Z} \end{pmatrix}$

5° Détermination des paramètres admittances du quadripôle Q_T

$$\begin{pmatrix} i_e \\ i_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_e \\ V_s \end{pmatrix}$$

• On a $Y_{11} = \frac{i_e}{V_e} \Big|_{V_s=0}$ admittance d'entrée du Q_S en court-circuitant la sortie V_s .



on a donc $V_e = i_e \times Z_{eq} = i_e (Z_1 + Z_2 \parallel Z_3)$ (1)

d'où $Y_{11} = \frac{i_e}{V_e} = \frac{1}{Z_1 + Z_2 \parallel Z_3} = \frac{1}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}} = \frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$

$$Y_{11} = \frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

• $Y_{21} = \frac{i_s}{V_e} \Big|_{V_s=0}$ admittance de transfert en court-circuitant la sortie

d'après (1) on $i_e = V_e / [Z_1 + Z_2 \parallel Z_3] = V_e Y_{11}$

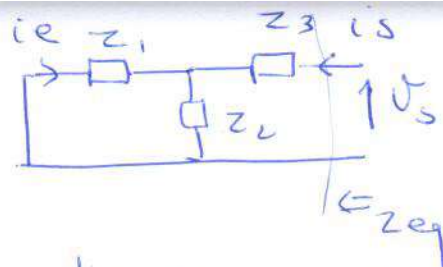
par diviseur de courant $i_s = -\frac{i_e Y_3}{Y_3 + Y_2} = -\frac{Z_2 i_e}{(Z_3 + Z_2)}$

d'où $i_s = -\frac{Z_2 Y_{11} V_e}{(Z_2 + Z_3)} = -\frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} V_e$

et donc $Y_{21} = \frac{i_s}{V_e} = -\frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$

• calcul de Y_{12}

$Y_{12} = \frac{i_e}{V_s} \Big|_{V_e=0}$ admittance de transfert en court-circuitant l'entrée.



on par diviseur de courant.

$$i_e = - \frac{i_s Y_1}{Y_1 + Y_2} = - \frac{i_s Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

d'où $V_s = i_s \times Z_{eq} = V_s (Z_3 + Z_1 // Z_2)$

d'où $i_s = \frac{V_s}{Z_3 + Z_1 // Z_2} = \frac{V_s (Z_1 + Z_2)}{Z_1 Z_3 + Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3} \quad (3)$

(3) dans (2) : $i_e = - \frac{Z_2 V_s}{Z_1 Z_3 + Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3}$

et donc $Y_{12} = - \frac{Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3}$

- $Y_{22} = \frac{i_s}{V_s} \Big|_{V_e=0}$: admittance de sortie en court-circuitant l'entrée

d'après (3) on peut écrire :

$$Y_{22} = \frac{Z_2 + Z_1}{Z_1 Z_3 + Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3}$$

donc $[Y]_{gr} = \begin{pmatrix} \frac{(Z_2 + Z_3)}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} & - \frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} \\ - \frac{Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} & \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} \end{pmatrix}$

- Résultat de Q-4.

$$[Y]_{gs} = \lim_{\substack{Z_1 \rightarrow Z \\ Z_2 \rightarrow \infty \\ Z_3 \rightarrow 0}} [Y]_{gr} = \lim_{\substack{Z_1 \rightarrow \infty \\ Z_2 \rightarrow \infty \\ Z_3 \rightarrow Z}} [Y]_{gr} = \begin{pmatrix} \frac{1}{Z} & -\frac{1}{Z} \\ -\frac{1}{Z} & \frac{1}{Z} \end{pmatrix}$$

- vérification que $[Y]_{gr} = [Z]_{gr}^{-1} = \frac{1}{\det[Z]_{gr}} \text{con}[Z]_{gr}^t$

$$\det(Z)_{q_T} = \Delta Z_{q_T} = \begin{vmatrix} (Z_1+Z_2) & Z_2 \\ Z_2 & (Z_2+Z_3) \end{vmatrix} = Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3$$

$$\cos Z_{q_T} = \begin{pmatrix} Z_2+Z_3 & -Z_2 \\ -Z_2 & Z_1+Z_2 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} (Z_2+Z_3) & -Z_2 \\ -Z_2 & (Z_1+Z_2) \end{pmatrix} \text{ c.f.f.0}$$

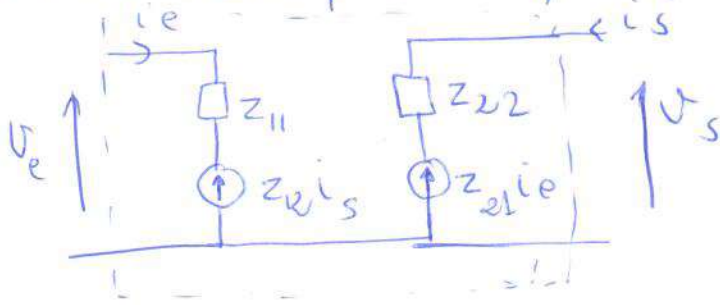
$$\text{d'm } [Y]_{q_T} = \frac{1}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

$$\% [Y]_{q_P} = \lim_{\substack{Z_1 \rightarrow 0 \\ Z_2 \rightarrow Z \\ Z_3 \rightarrow \infty}} [Y]_{q_T} = \lim_{Z_3 \rightarrow \infty} \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_3} & -\frac{1}{Z_3} \\ -\frac{1}{Z_3} & \frac{1}{Z_3} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} +\infty & -\infty \\ -\infty & +\infty \end{pmatrix} \text{ diverge}$$

c/c: il n'existe pas de matrice admittance pour q_P .

EX2: objet: savoir la représentation électrique d'un quadripôle.

1° on a le schéma électrique du quadripôle suivant:



à l'entrée on: $V_e = Z_{11} i_e + Z_{12} i_s$
 à la sortie on: $V_s = Z_{21} i_e + Z_{22} i_s \Leftrightarrow \begin{pmatrix} V_e \\ V_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_e \\ i_s \end{pmatrix}$

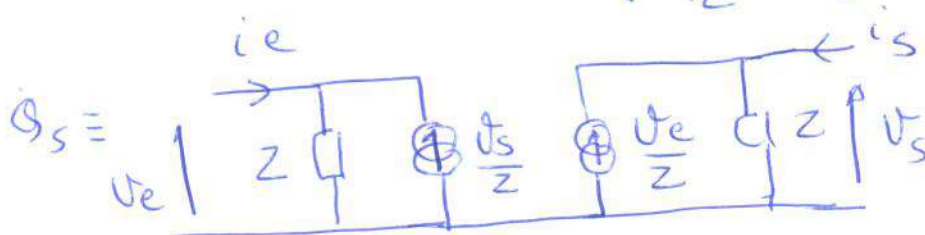
d'où $[Z] = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$

2° Représentation électrique: schéma équivalent de $\mathcal{Q}_P, \mathcal{Q}_T$ et \mathcal{Q}_S

on a $[Z]_{\mathcal{Q}_P} = \begin{bmatrix} Z & Z \\ Z & Z \end{bmatrix}$ d'où $\mathcal{Q}_P \equiv$

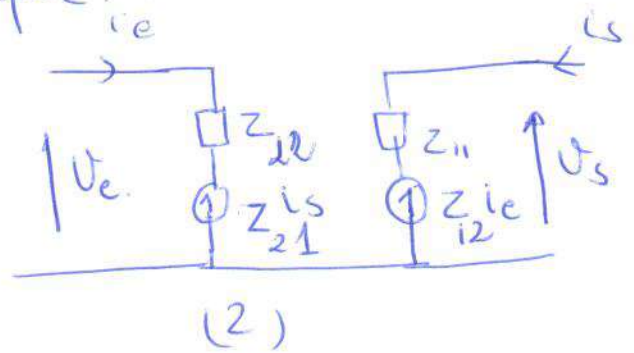
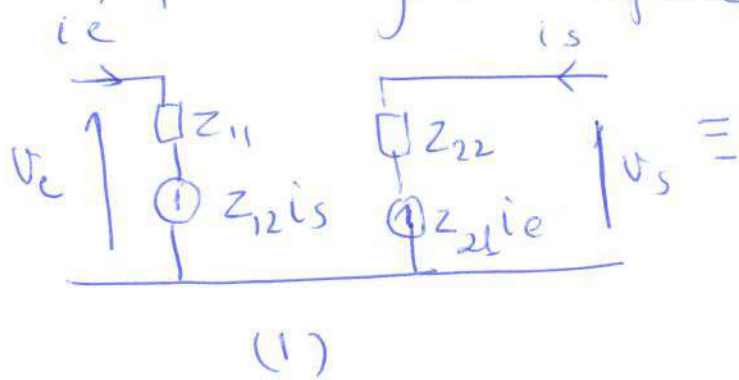
pour $[Z]_{\mathcal{Q}_T} = \begin{bmatrix} Z_1 + Z_2 & Z_2 \\ Z_2 & Z_2 + Z_3 \end{bmatrix}$ $\mathcal{Q}_T \equiv$

pour $[Z]_{\mathcal{Q}_S}$ n'existe pas, on peut représenter électriquement la matrice admittance $[Y]_{\mathcal{Q}_S} = \begin{pmatrix} 1/Z & -1/Z \\ -1/Z & 1/Z \end{pmatrix}$ par



verification. pour $[Z]_{\mathcal{Q}_P} = \begin{pmatrix} Z & Z \\ Z & Z \end{pmatrix}$ et pour $[Z]_{\mathcal{Q}_T} = \begin{pmatrix} Z_1+Z_2 & Z_2 \\ Z_2 & Z_2+Z_3 \end{pmatrix}$

2° propriété de symétrie stipule que :



on pour (1)
$$\begin{cases} V_e = Z_{11} i_e + Z_{12} i_s \\ V_s = Z_{21} i_e + Z_{22} i_s \end{cases}$$

pour (2)
$$\begin{cases} V_e = Z_{22} i_e + Z_{21} i_s \\ V_s = Z_{12} i_e + Z_{11} i_s \end{cases}$$

soit
$$[Z]_{(1)} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$$

soit
$$[Z]_{(2)} = \begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{21} \\ Z_{12} & Z_{11} \end{pmatrix}$$

$$[Z]_{(1)} = [Z]_{(2)} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{21} \\ Z_{12} & Z_{11} \end{pmatrix}$$

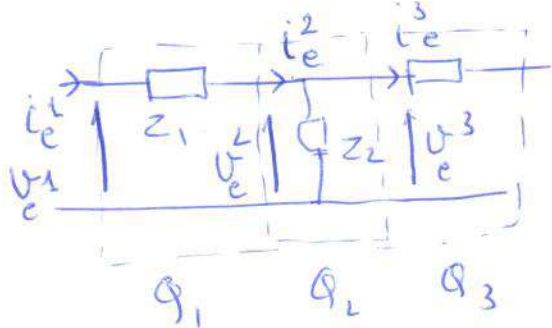
donc $Z_{11} = Z_{22}$ et $Z_{12} = Z_{21}$

c/c: pour un quadripôle symétrique il suffit de déterminer 2 paramètres au lieu de 4: Z_{11} et Z_{12} (soit)

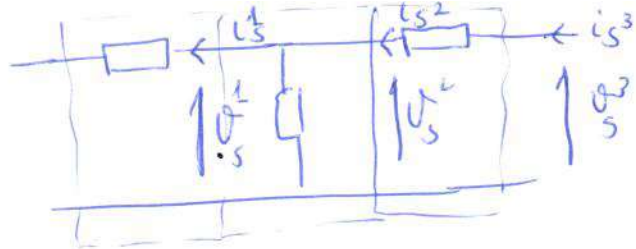
verification pour \mathcal{Q}_P $[Z]_{\mathcal{Q}_P} = \begin{pmatrix} Z & Z \\ Z & Z \end{pmatrix}$ $Z_{11} = Z_{22}$ vérifier
et $Z_{21} = Z_{12}$

pour \mathcal{Q}_T on $Z_{11} \neq Z_{22}$ le \mathcal{Q}_T n'est pas symétrique que
si $Z_1 = Z_3$.

EX4



grandeurs d'entrée



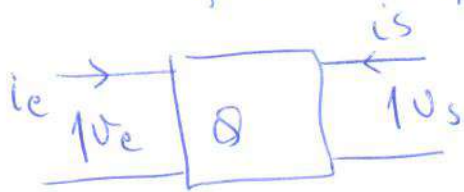
grandeur de sa vie

1° on peut remarquer que $\begin{cases} v_e^2 = v_s^1 \\ \text{et } l_e^2 = -l_s^1 \end{cases}$ et $\begin{cases} v_e^3 = v_s^2 \\ l_e^3 = -l_s^2 \end{cases}$

c'est à dire l'entrée du quadrupole Q_2 est la sortie du Q_1 et

Il s'agit donc bien d'une association en cascade de $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2$ et \mathcal{G}_3

2°/ la représentation quadripolaire convenable pour l'association cascade est la représentation par la matrice de Transfert.



$$\begin{pmatrix} v_s \\ i_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_e \\ -i_e \end{pmatrix}$$

ona.
$$\begin{pmatrix} v_s^3 \\ i_s^3 \end{pmatrix} = \underset{(1)}{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}} \begin{pmatrix} v_e^3 \\ -i_e^3 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} v_s^2 \\ i_s^2 \end{pmatrix} = \underset{(2)}{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}} \begin{pmatrix} v_e^2 \\ -i_e^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} v_s^1 \\ i_s^1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}_{Q_1} \begin{pmatrix} v_e^1 \\ -i_e^1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

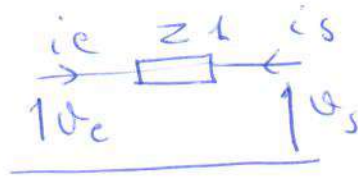
autre $v_e^3 = v_s^2$ et $i_e^3 = -i_s^2$ de même $v_e^2 = v_s^1$ et $i_e^2 = -i_s^1$

$$(1) \text{ d(2)} \quad \begin{pmatrix} V_s^3 \\ I_s^3 \end{pmatrix} = [T_{Q_3}] \begin{pmatrix} V_e^3 \\ -I_e^3 \end{pmatrix} = [T_{Q_3}] \begin{pmatrix} V_s^2 \\ I_s^2 \end{pmatrix} = [T_{Q_3}][T_{Q_2}] \begin{pmatrix} V_e^2 \\ -I_e^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} v_s^3 \\ i_s^3 \end{pmatrix} = [T_{\phi_3}][T_{\phi_2}]\begin{pmatrix} v_s^1 \\ i_s^1 \end{pmatrix} = [T_{\phi_3}][T_{\phi_2}][T_{\phi_1}]\begin{pmatrix} v_e^1 \\ -i_e^1 \end{pmatrix} \quad \text{d'après (3)}$$

d'où $[T]_{eq} = [T_{\phi_3}][T_{\phi_2}][T_{\phi_1}]$ fait attention à l'ordre

• calcul de $[T_{\phi_1}]$ on

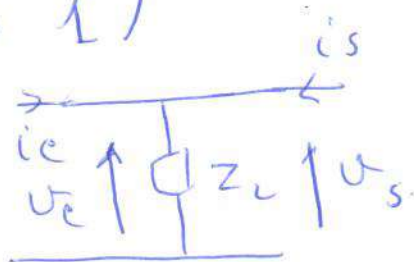


on $i_s = -i_e$ et $v_s = v_e - z_1 i_e = v_e + (z_1) \times (-i_e)$

$$\begin{cases} v_s = v_e + z_1 \times (-i_e) \\ i_s = 1 \times (-i_e) \end{cases} \Leftrightarrow T_{\phi_1} = \begin{pmatrix} 1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

de même $[T_{\phi_3}] = \begin{pmatrix} 1 & z_3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

• calcul de $[T_{\phi_2}]$



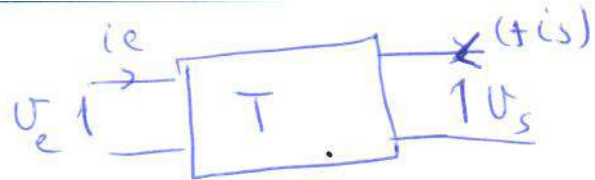
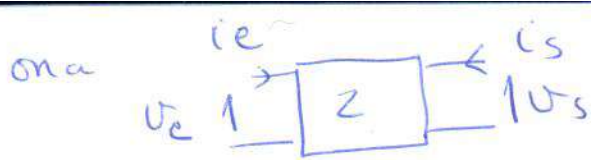
on a $v_s = v_e$ et $i_s = \frac{v_e}{z_2} + (-i_e)$

d'où $[T_{\phi_2}] = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{z_2} & 1 \end{pmatrix}$

$$T_{eq} = \begin{pmatrix} 1 & z_3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{z_2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{z_3}{z_2} & z_3 \\ \frac{1}{z_2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & z_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{eq} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{z_3}{z_2} & z_1 + z_3 + \frac{z_1 z_3}{z_2} \\ \frac{1}{z_2} & 1 + \frac{z_1}{z_2} \end{pmatrix}$$

3/ il faut trouver la relation de passage $[Z] = f[T]$



$$S_1 \begin{cases} V_e = Z_{11} i_e + Z_{12} i_s \\ V_s = Z_{21} i_e + Z_{22} i_s \end{cases}$$

$$S_2 \begin{cases} V_s = t_{11} V_e + t_{12} (-i_e) \\ i_s = t_{21} V_e + t_{22} (-i_e) \end{cases}$$

• on $Z_{11} = \left. \frac{V_e}{i_e} \right|_{i_s=0}$ impédance d'entrée - sortie ouverte.

on $i_s=0$ par $(S_2) \Rightarrow t_{21} V_e + t_{22} i_e = 0$

dnc $\boxed{Z_{11} = \left. \frac{V_e}{i_e} \right|_{i_s=0} = \frac{t_{22}}{t_{21}}}$

• $Z_{12} = \left. \frac{V_e}{i_s} \right|_{i_e=0}$ $i_e=0$ dans $(S_2) \Rightarrow \begin{cases} V_s = t_{11} V_e \\ i_s = t_{21} V_e \end{cases}$

et dnc $\boxed{Z_{12} = \left. \frac{V_e}{i_s} \right|_{i_e=0} = \frac{1}{t_{21}}}$

• $Z_{21} = \left. \frac{V_s}{i_e} \right|_{i_s=0}$ impédance de transfert sortie ouverte.

dans $(S)_2$ $\begin{cases} V_s = t_{11} V_e - t_{12} i_e & (1) \\ 0 = t_{21} V_e - t_{22} i_e & (2) \end{cases}$

(1) dans (2) on trouve $\boxed{Z_{21} = \left. \frac{V_s}{i_e} \right|_{i_s=0} = \frac{t_{11} t_{22} - t_{12}}{t_{21}}}$

• $Z_{22} = \left. \frac{V_s}{i_s} \right|_{i_e=0}$

dans S_2 $\begin{cases} V_s = t_{11} V_e \\ i_s = t_{21} V_e \end{cases}$

dnc $\boxed{Z_{22} = \left. \frac{V_s}{i_s} \right|_{i_e=0} = \frac{t_{11}}{t_{21}}}$

pour le Q_T on a

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{11} = \frac{1 + z_1/z_2}{1/z_2} = z_1 + z_2 \\ z_{12} = \frac{1}{1/z_2} = z_2 \\ z_{21} = \frac{(1 + z_3/z_2)(1 + z_1/z_2)}{1/z_2} = \frac{z_1 + z_2 + z_1 z_3/z_2}{1} \\ \quad = z_2 \\ z_{22} = \frac{t_{11}}{t_{21}} = \frac{(1 + z_3/z_2)}{1/z_2} = z_2 + z_3 \end{array} \right.$$

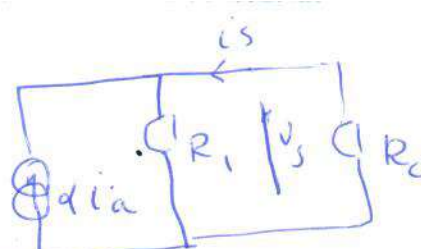
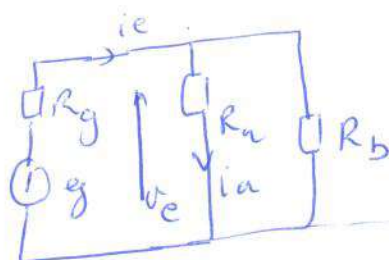
d'm

$$[Z]_{Q_T} = \begin{pmatrix} z_1 + z_2 & z_2 \\ z_2 & z_2 + z_3 \end{pmatrix} \quad \text{C. G. f. D}$$

EX5

19

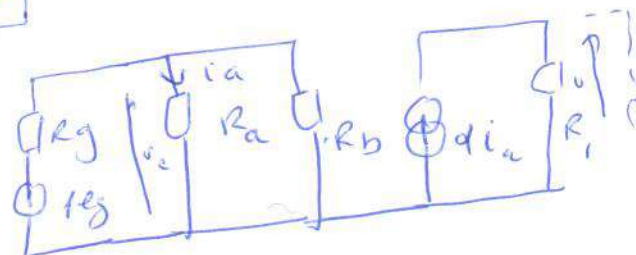
$$Z_e = \frac{V_e}{i_e} ?$$



On a $V_e = i_e (R_a \parallel R_b)$

d'o $Z_e = \frac{V_e}{i_e} = R_a \parallel R_b = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b}$

20/ gain sans charge $G_V = \left. \frac{V_s}{V_e} \right|_{R_c = \infty}$
côté sortie



$R_c = \infty$ donc $V_s = R_1 i_a$

Côté entrée on $V_e = R_a i_a$ d'o $V_s = R_1 \alpha \frac{V_e}{R_a}$

d'o $G_V = \left. \frac{V_s}{V_e} \right|_{R_c = \infty} = \alpha \frac{R_1}{R_a}$

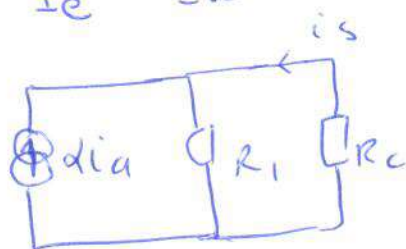
$G_V = \left. \frac{V_s}{V_e} \right|_{R_c}$ même démarche sauf que $V_s = (R_1 \parallel R_c) i_a$

d'o $G_V = \left. \frac{V_s}{V_e} \right|_{R_c} = \alpha \frac{R_1 \parallel R_c}{R_a} = \alpha \frac{R_1 R_c}{R_a (R_1 + R_c)}$

3/ Gain en courant

$$G_I = \frac{I_s}{I_e} = \frac{I_s}{I_a} \frac{I_a}{I_e}$$

côté sortie

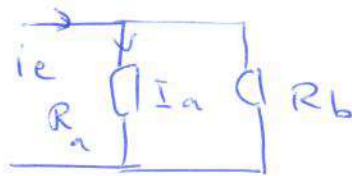


diviseur de courant

$$I_s = - \frac{(\alpha i_a) Y_{R_c}}{Y_{R_1} + Y_{R_c}} = - \frac{\alpha I_a R_1}{R_1 + R_c}$$

donc $\frac{I_s}{I_a} = - \frac{\alpha R_1}{R_1 + R_c} \Big|_{(1)}$

côté entrée



diviseur de courant

$$I_a = \frac{I_e \cdot Y_{Ra}}{Y_{Ra} + Y_{Rb}} = \frac{I_e \cdot R_b}{R_b + R_a}$$

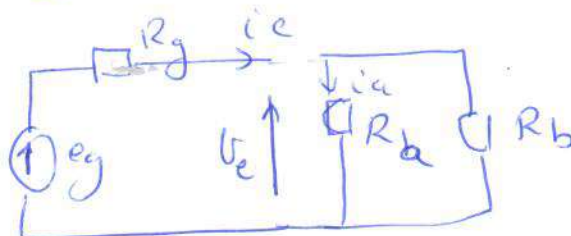
$$\frac{I_a}{I_e} = \frac{R_b}{R_b + R_a} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \Rightarrow \boxed{G_I = -\frac{\alpha R_1 R_b}{(R_1 + R_c)(R_a + R_b)}}$$

$$4^\circ \quad G_{V-c} = \left. \frac{V_s}{e_g} \right|_{R_c = \infty} = \left. \frac{V_s}{V_e} \right|_{R_c = \infty} \frac{V_e}{e_g}$$

$$\left. \frac{V_s}{V_e} \right|_{R_c = \infty} = \alpha \frac{R_1}{R_a} \quad \text{d-2.}$$

$$V_e = f(e_g)$$



on a $V_e = (R_b // R_a) i_e$ alors que $i_e = \frac{e_g}{R_g + R_a // R_b}$

d'où $V_e = \frac{(R_b // R_a) \times e_g}{R_g + (R_a // R_b)}$ d'où

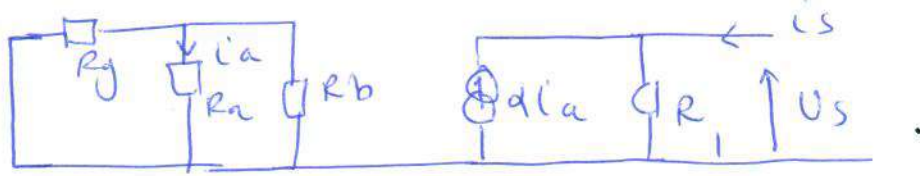
$$\frac{V_e}{e_g} = \frac{R_b // R_a}{R_g + (R_a // R_b)} = \frac{R_b R_a}{(R_a + R_b)} \times \frac{1}{\frac{R_g(R_a + R_b) + R_b R_a}{(R_a + R_b)}}$$

$$\frac{V_e}{e_g} = \frac{R_a R_b}{(R_a R_b + R_g(R_a + R_b))}$$

d'où

$$\boxed{G_{V-c} = \alpha \frac{R_1 R_b}{R_a R_b + R_g R_a + R_g R_b}}$$

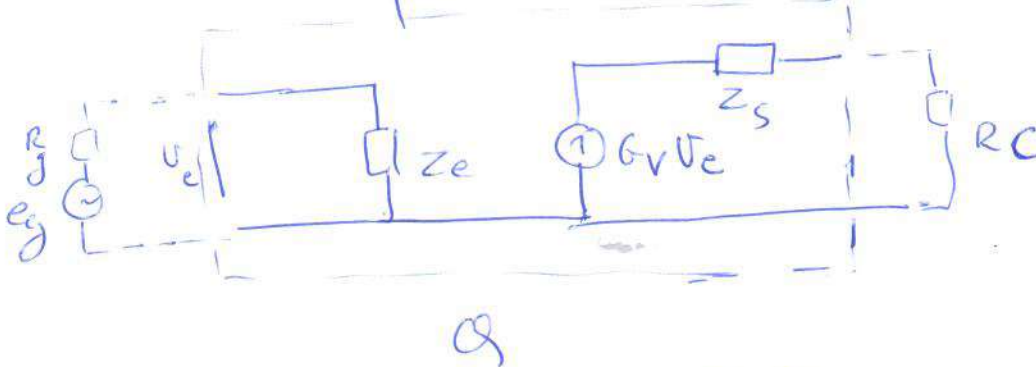
$$5^\circ \quad Z_s = \left. \frac{V_s}{I_s} \right|_{e_g = 0}$$



côté entrée $i_a = 0$ (il y a pas de source) donc le générateur de courant lié $(\alpha i_a) = 0$ d'où $U_s = R_1 i_s$ et par suite

$$Z_s = \frac{U_s}{i_s} = R_1$$

q/- le schéma équivalent à ce quadripôle :



avec $Z_e = R_a // R_b = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b}$ - Q1 -

$G_V = \frac{\alpha R_1}{R_a}$ gain sans charge - Q2 - a

$Z_s = R_1$ impédance de sortie - Q5 - sans charge