

## Chapitre II: Les quadripôles électriques

### 2.1. Définition:

Un quadripôle est un réseau qui comporte 4 bornes de liaisons avec les circuits extérieurs (Fig.2.1). Les échanges avec l'extérieur se font au travers de deux bornes utilisées comme **bornes d'entrée** et vers deux autres bornes utilisées comme **bornes de sortie**.

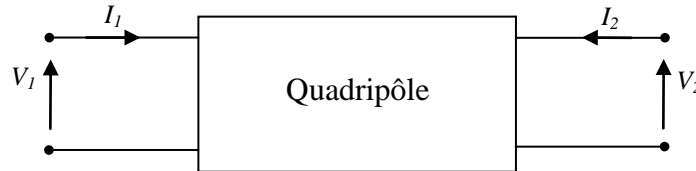


Fig.2.1. Symbole d'un quadripôle.

$I_1$  et  $V_1$  désignent les grandeurs d'entrée.

$I_2$  et  $V_2$  désignent les grandeurs de sortie.

### 2.2. Représentation matricielle d'un quadripôle:

#### 2.2.1. Matrice impédance:

Le schéma de ce quadripôle équivalent est donné à la figure 2.2.

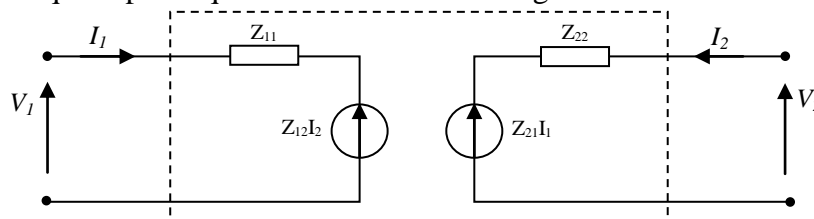


Fig.2.2. Schéma équivalent d'un quadripôles en paramètres Z.

Les équations caractéristiques de ce quadripôle peuvent se mettre sous la forme:

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$$

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$$

ou encore sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [Z] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$[Z]$  est la matrice impédance du quadripôle. Les éléments de cette matrice s'appellent les paramètres Z en circuit ouvert ( $I_1=0$  ou  $I_2=0$ ). Ils se définissent comme suit:

Impédance d'entrée:  $Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} |_{I_2=0}$

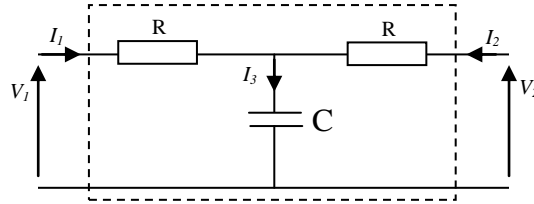
Impédance de transfert inverse:  $Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} |_{I_1=0}$

Impédance de transfert direct:  $Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} |_{I_2=0}$

Impédance de sortie:  $Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} |_{I_1=0}$

#### Exemple:

Trouver les paramètres Z du filtre passe-bas suivant.



• Impédance d'entrée:  $Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} |_{I_2=0}$

Si la sortie est en circuit ouvert ( $I_2=0$ ), alors:  $I_1=I_3$ .

Il résulte que:  $V_1 = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) I_1 \Rightarrow Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} = R + \frac{1}{j\omega C}$

• Impédance de sortie:  $Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} |_{I_1=0}$

Si l'entrée est en circuit ouvert ( $I_1=0$ ), alors:  $I_2=I_3$ .

On peut alors écrire:  $V_2 = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) I_2 \Rightarrow Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} = R + \frac{1}{j\omega C}$

• Impédance de transfert inverse:  $Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} |_{I_1=0}$

$I_1 = 0 \Rightarrow I_2=I_3 \Rightarrow V_1 = RI_1 + \frac{1}{j\omega C} I_3 = \frac{1}{j\omega C} I_2$

$$\Rightarrow Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} = \frac{1}{j\omega C}$$

• Impédance de transfert direct:  $Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} |_{I_2=0}$

$I_2 = 0 \Rightarrow I_1=I_3 \Rightarrow V_2 = RI_2 + \frac{1}{j\omega C} I_3 = \frac{1}{j\omega C} I_1$

$$\Rightarrow Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{1}{j\omega C}$$

### 2.2.2. Matrice admittance:

Le schéma de ce quadripôle équivalent est donné à la figure 2.3.

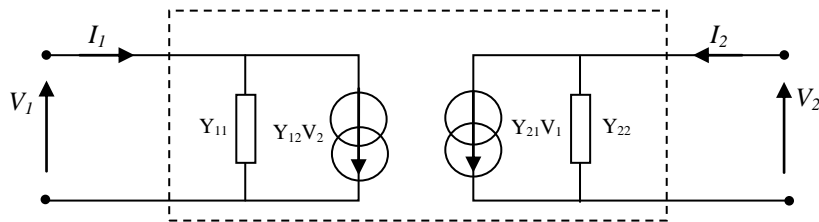


Fig.2.3. Schéma équivalent d'un quadripôle en paramètres Y.

Les équations caractéristiques de ce quadripôle peuvent se mettre sous la forme:

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

ou encore sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = [Y] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$[Y]$  est la matrice admittance du quadripôle. Les éléments de cette matrice s'appellent les paramètres Y en court-circuit ( $V_1=0$  ou  $V_2=0$ ). Ils se définissent comme suit:

Admittance d'entrée:  $Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} |_{V_2=0}$

Admittance de transfert inverse:  $Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} |_{V_1=0}$

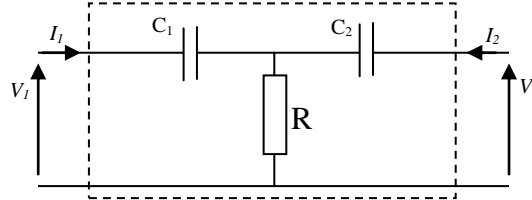
Admittance de transfert direct:  $Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} |_{V_2=0}$

Admittance de sortie:  $Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} |_{V_1=0}$

La matrice  $[Y]$  est l'inverse de la matrice  $[Z]$ :  $[Y]=[Z]^{-1}$ .

**Exemple:**

Trouver les paramètres  $Y$  du filtre passe-haut suivant.



• Admittance d'entrée:  $Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} |_{V_2=0}$

Si la sortie est en court-circuit ( $V_2=0$ ), alors:  $C_2$  et  $R$  sont en parallèle et leur impédance équivalente est en série avec  $C_1$ . La loi d'Ohm permet d'écrire:

$$V_1 = (Z_{C1} + (R // Z_{C2})) I_1 \Rightarrow Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} = \frac{1}{(Z_{C1} + (R // Z_{C2}))}$$

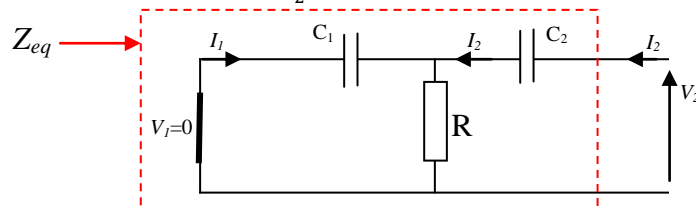
avec:  $Z_{C1} = \frac{1}{j\omega C_1}$  et  $Z_{C2} = \frac{1}{j\omega C_2}$

• Admittance de sortie:  $Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} |_{V_1=0}$

Si l'entrée est en court-circuit ( $V_1=0$ ), alors:  $C_1$  et  $R$  sont en parallèle et leur impédance équivalente est en série avec  $C_2$ . La loi d'Ohm permet d'écrire:

$$V_2 = (Z_{C2} + (R // Z_{C1})) I_2 \Rightarrow Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} = \frac{1}{(Z_{C2} + (R // Z_{C1}))}$$

• Admittance de transfert inverse:  $Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} |_{V_1=0}$



Dans ce cas,  $C_1$  est en parallèle avec  $R$ , ce qui permet d'appliquer le théorème du pont diviseur de courant:

$$I_1 = -\frac{Y_{C1}}{Y_{C1} + Y_R} I_2 = -\frac{\frac{1}{Z_{C1}}}{\frac{1}{Z_{C1}} + \frac{1}{R}} I_2 ,$$

avec:  $Y_{C1} = j\omega C_1$ ,  $Y_R = \frac{1}{R}$

La relation qui relie la tension  $V_2$  au courant  $I_2$  est donnée par la loi d'Ohm:

$$V_2 = Z_{eq} I_2 ,$$

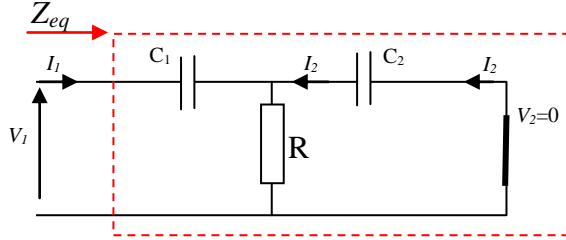
avec:  $Z_{eq} = Z_{C2} + (Z_{C1} // R)$ ,  $Z_{C1} = \frac{1}{j\omega C_1}$ ,  $Z_{C2} = \frac{1}{j\omega C_2}$

On obtient alors:

$$I_1 = -\frac{Y_{C1}}{Y_{C1} + Y_R} \frac{V_2}{Z_{eq}} = -\frac{\frac{1}{Z_{C1}}}{\frac{1}{Z_{C1}} + \frac{1}{R}} \frac{1}{Z_{C2} + (Z_{C1} // R)} V_2$$

$$\Rightarrow Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} = -\frac{\frac{1}{Z_{C1}}}{\frac{1}{Z_{C2}} + \frac{1}{R}} \cdot \frac{1}{Z_{C2} + (Z_{C1} // R)}$$

• Admittance de transfert direct:  $Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} |_{V_2=0}$



Dans ce cas,  $C_2$  est en parallèle avec  $R$ , ce qui permet d'appliquer le théorème du pont diviseur de courant:

$$I_2 = -\frac{Y_{C2}}{Y_{C2} + Y_R} I_1 = -\frac{\frac{1}{Z_{C2}}}{\frac{1}{Z_{C2}} + \frac{1}{R}} I_1,$$

$$\text{avec: } Y_{C2} = j\omega C_2, Y_R = \frac{1}{R}$$

La relation qui relie la tension  $V_1$  au courant  $I_1$  est donnée par la loi d'Ohm:

$$V_1 = Z_{eq} I_1,$$

$$\text{avec: } Z_{eq} = Z_{C1} + (Z_{C2} // R), \quad Z_{C1} = \frac{1}{j\omega C_1}, \quad Z_{C2} = \frac{1}{j\omega C_2}$$

On obtient alors:

$$I_2 = -\frac{Y_{C2}}{Y_{C2} + Y_R} \frac{V_1}{Z_{eq}} = -\frac{\frac{1}{Z_{C2}}}{\frac{1}{Z_{C2}} + \frac{1}{R}} \frac{1}{Z_{C1} + (Z_{C2} // R)} V_1$$

$$\Rightarrow Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} = -\frac{\frac{1}{Z_{C2}}}{\frac{1}{Z_{C2}} + \frac{1}{R}} \cdot \frac{1}{Z_{C1} + (Z_{C2} // R)}$$

### 2.2.3. Matrice [h] des paramètres hybrides:

Dans ce cas, nous exprimons  $V_1$  et  $I_2$  en fonction de  $I_1$  et  $V_2$  ce qui donne:

$$V_1 = h_{11} I_1 + h_{12} V_2$$

$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2$$

ou encore sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = [h] \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  et  $h_{22}$  sont les paramètres hybrides de la matrice hybride [h], avec:

$$\text{Impédance d'entrée: } h_{11} = \frac{V_1}{I_1} |_{V_2=0}$$

$$\text{Rapport de transfert inverse: } h_{12} = \frac{V_1}{V_2} |_{I_1=0}$$

$$\text{L'amplification en courant: } h_{21} = \frac{I_2}{I_1} |_{V_2=0}$$

$$\text{Admittance de sortie: } h_{22} = \frac{I_2}{V_2} |_{I_1=0}$$

Le schéma de ce quadripôle équivalent est donné à la figure 2.4.

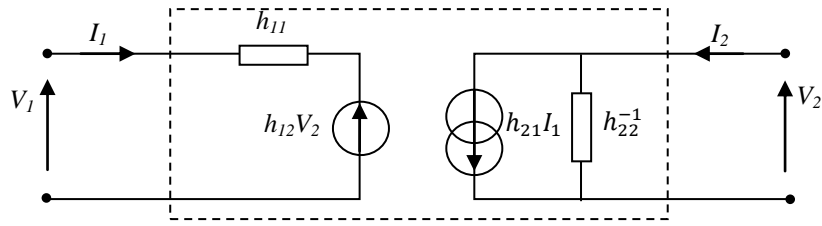


Fig.2.4. Schéma équivalent d'un quadripôles en paramètres hybrides.

### 2.2.4. Matrice de transfert [T]:

On exprime les grandeurs de sortie en fonction des grandeurs d'entrée:

$$V_2 = T_{11}V_1 - T_{12}I_1$$

$$I_2 = T_{21}V_1 - T_{22}I_1$$

ou encore sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ -I_1 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} V_1 \\ -I_1 \end{bmatrix}$$

$T_{11}$  est l'amplification en tension.

$T_{22}$  est l'amplification en courant.

$T_{12}$  est une impédance et  $T_{21}$  une admittance.

## 2.3. Association de quadripôles:

### 2.3.1. Association en série de deux quadripôles:

Dans ce cas, la tension d'entrée (de sortie) du quadripôle résultant (Fig.2.5) est la somme des tensions d'entrée (de sortie) des quadripôles associés en série:

$$V_1 = V'_1 + V''_1 \text{ et } V_2 = V'_2 + V''_2$$

Les courants sont identiques:

$$I_1 = I'_1 = I''_1 \text{ et } I_2 = I'_2 = I''_2$$

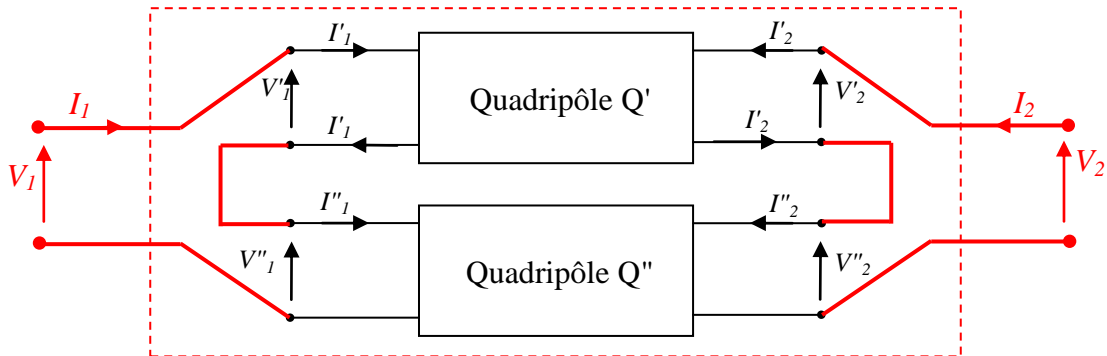


Fig.2.5. Association en série de deux quadripôles.

La matrice  $[Z]$  du quadripôle équivalent à la mise en série de  $Q'$  et  $Q''$  est donnée par:

$$[Z] = [Z'] + [Z'']$$

### 2.3.2. Association en parallèle de deux quadripôles:

Dans ce cas, le courant d'entrée (de sortie) du quadripôle résultant (Fig.2.6) est la somme des courants d'entrée (de sortie) des quadripôles associés en parallèle:

$$I_1 = I'_1 + I''_1 \text{ et } I_2 = I'_2 + I''_2$$

Les tensions sont identiques:

$$V_1 = V'_1 = V''_1 \text{ et } V_2 = V'_2 = V''_2$$

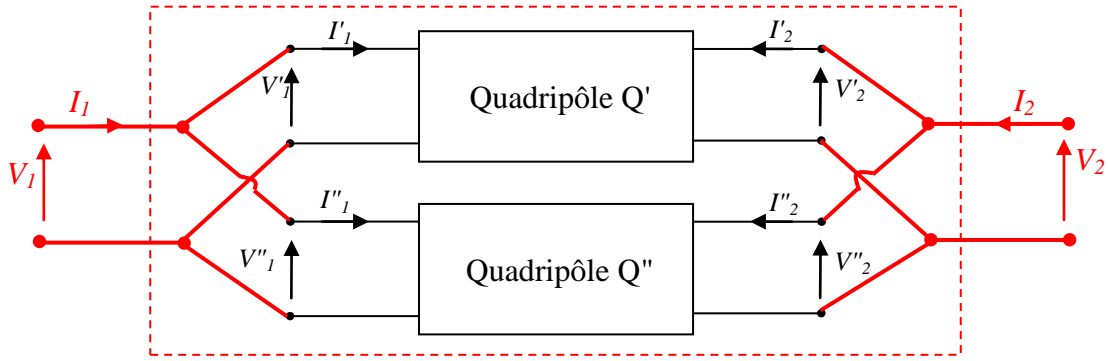


Fig.2.6. Association en parallèle de deux quadripôles.

La matrice  $[Y]$  du quadripôle équivalent à la mise en parallèle de  $Q'$  et  $Q''$  est donnée par:

$$[Y] = [Y'] + [Y'']$$

### 2.3.3. Association en cascade de deux quadripôles:

Dans ce cas, la tension de sortie du premier quadripôle est la tension d'entrée du deuxième quadripôle (Fig.2.7):

$$V_1 = V'_1, \quad V'_2 = V''_1 \quad \text{et} \quad V_2 = V''_2$$

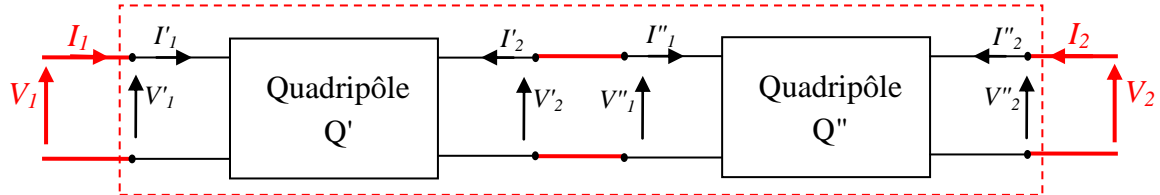


Fig.2.7. Association en cascade de deux quadripôles.

La matrice  $[T]$  du quadripôle équivalent à la mise en cascade de  $Q'$  et  $Q''$  est donnée par:

$$[T] = [T''] \times [T']$$

## 2.4. Caractéristiques d'un quadripôle en charge et attaquée par une source de tension réelle:

Pour caractériser un quadripôle, on connecte un dipôle source ( $E_g, R_g$ ) aux deux bornes d'entrée. Aux deux bornes de sortie, nous branchons un dipôle de charge noté  $Z_U$  (Fig.2.8).

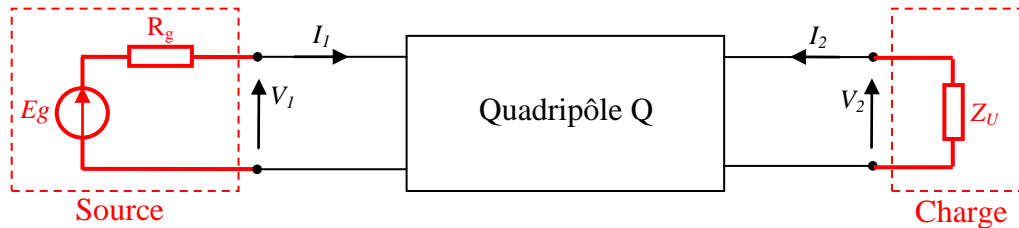


Fig.2.7. Quadripôle en charge et attaqué par une source de tension réelle.

Si par exemple nous définissons le quadripôle  $Q$  par ses paramètres  $Z$ , les équations qui permettent de déterminer l'état du réseau sont:

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \quad (1)$$

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \quad (2)$$

$$E_g = V_1 + R_g I_1 \quad (3)$$

$$V_2 = -Z_U I_2 \quad (4)$$

### 2.4.1. Impédance d'entrée:

L'impédance d'entrée est l'impédance « vue » par la source qui attaque le quadripôle à vide ou en charge (Fig2.8).

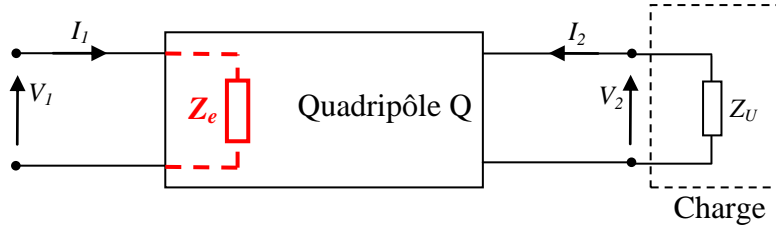


Fig.2.8. Impédance d'entrée d'un quadripôle.

L'impédance d'entrée est donnée par:  $Z_e = \frac{V_1}{I_1}$

Si nous utilisons les paramètres Z (les équations (1), (2) et (4)), nous obtiendrons:

$$Z_e = \frac{Z_U Z_{11} + \Delta Z}{Z_U + Z_{22}}$$

avec:  $\Delta Z = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}$  est le déterminant de la matrice [Z].

#### 2.4.2. Impédance de sortie:

Vis-à-vis de la charge, le quadripôle se comporte comme un dipôle équivalent au générateur de Thévenin (Fig2.9).

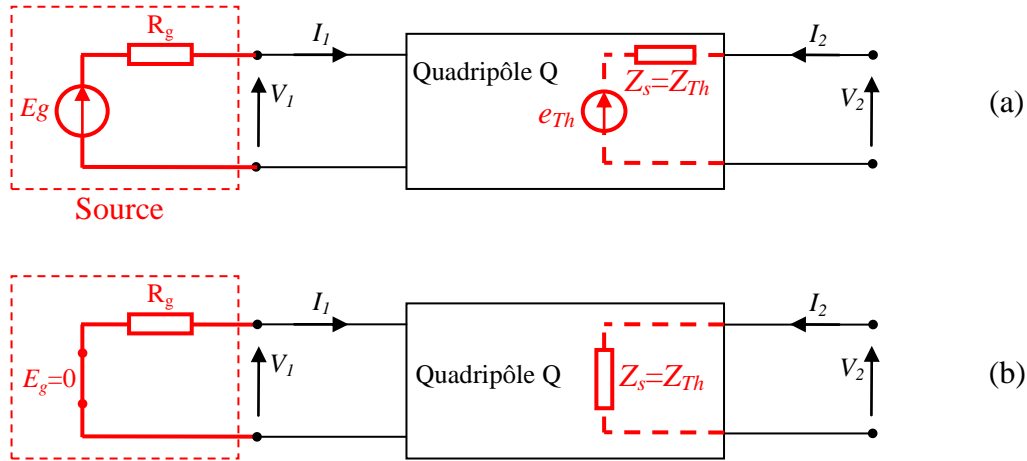


Fig.2.9. Impédance de sortie  $Z_s$  d'un quadripôle. (a) Représentation de la sortie du quadripôle par son équivalent de Thévenin. (b) Schéma utilisé pour le calcul de  $Z_s$ .

L'impédance de sortie est donnée par:  $Z_s = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{E_g=0}$

Si nous utilisons les paramètres Z (les équations (1), (2) et (3)), nous obtiendrons:

$$Z_s = \frac{R_g Z_{22} + \Delta Z}{R_g + Z_{11}}$$

#### 2.4.3. Gain en tension:

Le gain en tension est défini par le rapport de la tension de sortie  $V_2$  du quadripôle par la tension d'entrée:

$$G_V = \frac{V_2}{V_1}$$

Si le quadripôle est défini par les paramètres Z et par l'utilisation des équations (1), (2), (3) et (4), il résulte:

$$G_V = \frac{Z_{21} Z_U}{Z_{11} Z_U + \Delta Z}$$

#### 2.4.4. Gain en courant:

Le gain en courant est défini par le rapport du courant de sortie  $I_2$  du quadripôle par le courant d'entrée:

$$G_I = \frac{I_2}{I_1}$$

Si le quadripôle est défini par les paramètres  $Z$  et par l'utilisation des équations (2) et (4), il résulte:

$$G_I = -\frac{Z_{21}}{Z_{22} + \Delta Z}$$

#### Exemple:

Calculer l'impédance d'entrée, l'impédance de sortie, le gain (l'amplification) en tension et le gain (l'amplification) en courant du quadripôle de la figure 2.10. Le quadripôle est attaqué par une source  $E_g$  de résistance interne  $R_g$  et chargé par l'impédance  $Z_L$ .

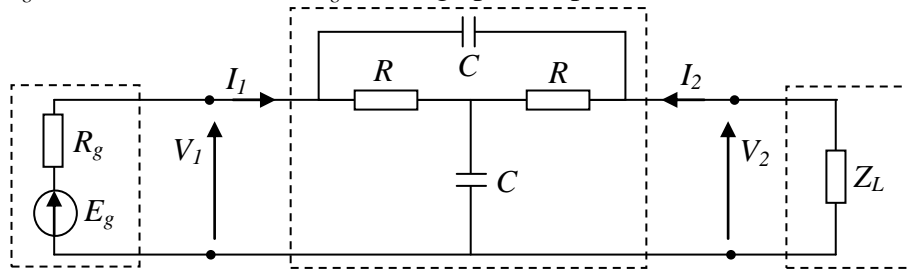
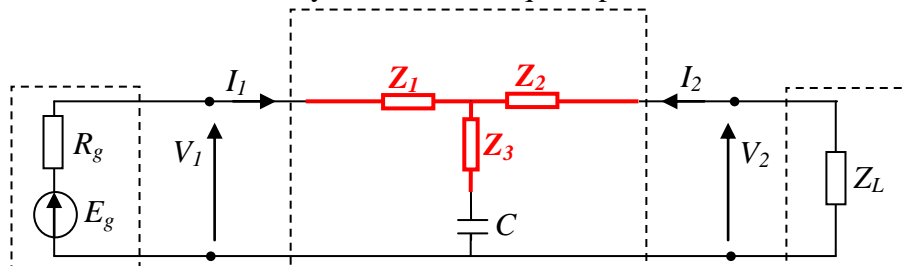


Fig.2.10. Exemple de calcul des caractéristiques d'un quadripôle passif.

Nous commençons par le calcul des paramètres  $Z$  du quadripôle.

En utilisant le théorème de Kennelly, le schéma du quadripôle devient:



avec:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{R \cdot Z_C}{2R + Z_C}$$

$$Z_3 = \frac{R^2}{2R + Z_C}$$

De la même manière que dans le paragraphe 2.2.1., les paramètres  $Z$  sont donnés par:

$$Z_{11} = Z_1 + (Z_3 + Z_C)$$

$$Z_{12} = Z_3 + Z_C$$

$$Z_{21} = Z_3 + Z_C = Z_{12}$$

$$Z_{22} = Z_2 + (Z_3 + Z_C) = Z_{11}$$

Il est clair que le déterminant de la matrice  $Z$  est égale à zéro:  $\Delta Z = 0$ . Il résulte:

$$Z_e = \frac{Z_U Z_{11} + \Delta Z}{Z_U + Z_{22}} = \frac{Z_U Z_{22}}{Z_U + Z_{22}}; \quad Z_s = \frac{R_g Z_{22} + \Delta Z}{R_g + Z_{11}} = \frac{R_g Z_{11}}{R_g + Z_{11}}$$

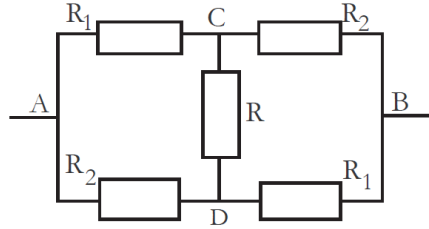
$$G_V = \frac{Z_{21}}{Z_{11}}; \quad G_I = -\frac{Z_{21}}{Z_{22}} = -G_V$$



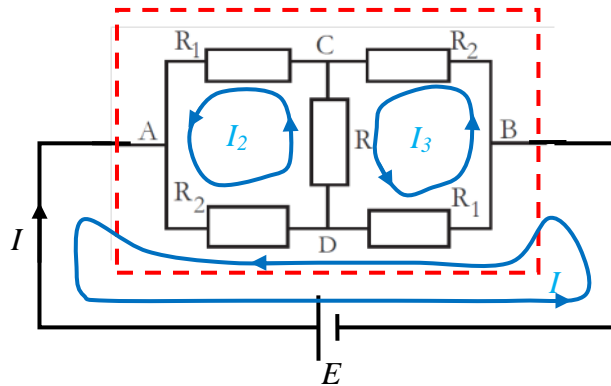
## Solutions des exercices de la série N°2:

### Exercice N°1:

Calculer la résistance équivalente du réseau suivant en utilisant les regroupements de résistances (série, parallèle, triangle-étoile).



**1<sup>ère</sup> méthode:** en utilisant la loi d'Ohm



Selon la loi d'Ohm, la résistance du dipôle,  $R_{AB}$ , est donnée par:

$$R_{AB} = \frac{E}{I}$$

Pour trouver la relation qui existe entre le courant I et la tension E, on peut utiliser par exemple la méthode des mailles comme suit:

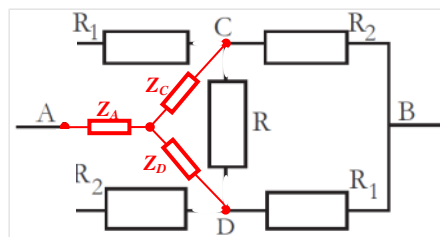
$$\begin{pmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 + R_2 + R & -R \\ -R_1 & -R & R_1 + R_2 + R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +E \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$\Rightarrow$

$$\begin{pmatrix} I \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 + R_2 + R & -R \\ -R_1 & -R & R_1 + R_2 + R \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} +E \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Finalement on peut déduire la résistance du quadripôle:  $R_{AB} = \frac{E}{I}$

**2<sup>ème</sup> méthode:** en utilisant le théorème de Kennelly.



On remarque que  $Z_C$  est en série avec  $R_2$  et  $Z_D$  est en série avec  $R_1$ , donc:

$$R_{AB} = Z_A + ((Z_C + R_2) // (Z_D + R_1))$$

avec:

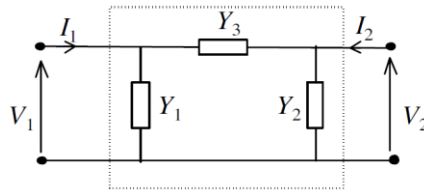
$$Z_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R}$$

$$Z_C = \frac{R_1 R}{R_1 + R_2 + R}$$

$$Z_D = \frac{R_2 R}{R_1 + R_2 + R}$$

### **Exercice N°2:**

1) Soit le quadripôle en  $\pi$  de la figure ci-dessous. Calculer les paramètres Z de la matrice impédance de ce quadripôle.



Les équations caractéristiques du quadripôle équivalent en Z sont données par:

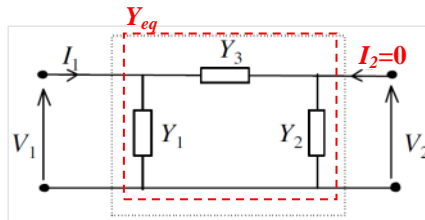
$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$$

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$$

ou encore sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = [Z] \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

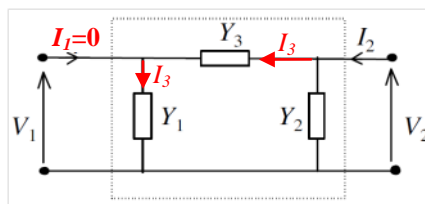
- $Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2 = 0}$ :



$$I_1 = Y_{eq} V_1 \Rightarrow Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{1}{Y_{eq}}$$

avec:  $Y_{eq} = Y_1 + \frac{1}{\frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_3}}$

- $Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1 = 0}$ :



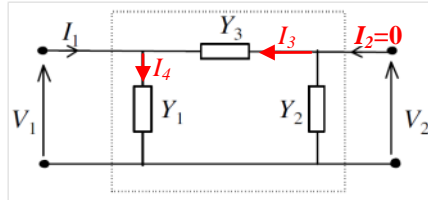
En appliquant le théorème du pont diviseur de courant:

$$I_3 = \frac{\frac{1}{Z_1+Z_3}}{\frac{1}{Z_1+Z_3} + \frac{1}{Z_2}} I_2 \quad , \text{ avec: } Z_1 = \frac{1}{Y_1}, Z_2 = \frac{1}{Y_2}, Z_3 = \frac{1}{Y_3}$$

On a aussi:  $V_1 = Z_1 I_3$

$$\text{Alors: } V_1 = Z_1 I_3 = Z_1 \frac{\frac{1}{Z_1+Z_3}}{\frac{1}{Z_1+Z_3} + \frac{1}{Z_2}} I_2 \Rightarrow Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} = Z_1 \frac{\frac{1}{Z_1+Z_3}}{\frac{1}{Z_1+Z_3} + \frac{1}{Z_2}}$$

- $Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = 0$ :



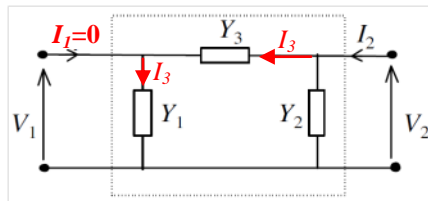
En appliquant le théorème du pont diviseur de courant:

$$I_3 = -\frac{\frac{1}{Z_2+Z_3}}{\frac{1}{Z_2+Z_3} + \frac{1}{Z_1}} I_1 \quad , \text{ avec: } Z_1 = \frac{1}{Y_1}, Z_2 = \frac{1}{Y_2}, Z_3 = \frac{1}{Y_3}$$

On a aussi:  $V_2 = -Z_2 I_3$

$$\text{Alors: } V_2 = -Z_2 I_3 = Z_2 \frac{\frac{1}{Z_2+Z_3}}{\frac{1}{Z_2+Z_3} + \frac{1}{Z_1}} I_1 \Rightarrow Z_{12} = \frac{V_2}{I_1} = Z_2 \frac{\frac{1}{Z_2+Z_3}}{\frac{1}{Z_2+Z_3} + \frac{1}{Z_1}}$$

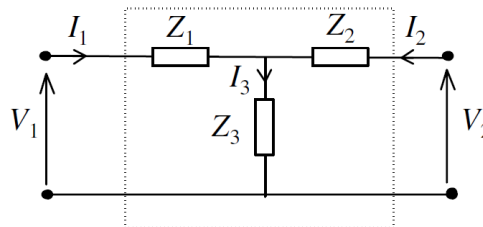
- $Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=0} = 0$ :



On remarque que  $Y_1$  est en série avec  $Y_3$ . En appliquant la loi d'Ohm:

$$V_2 = Z_{eq} I_2 = (Z_2 // (Z_1 + Z_3)) I_2 \Rightarrow Z_{22} = \frac{1}{\frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_1+Z_3}}$$

2) Soit le quadripôle en **T** de la figure ci-dessous. Calculer les paramètres Y de la matrice admittance de ce quadripôle.



Les équations caractéristiques du quadripôle en paramètres Y peuvent se mettre sous la forme:

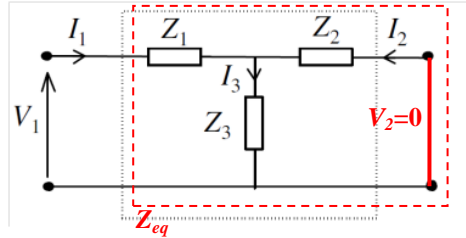
$$I_1 = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2$$

$$I_2 = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2$$

ou encore sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = [Y] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

- $Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{V_2 = 0}$

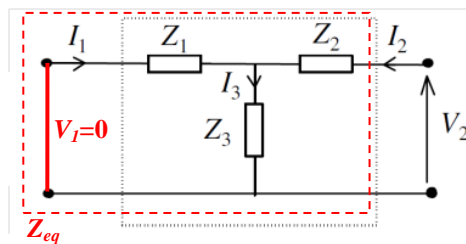


La loi d'Ohm nous permet d'écrire:

$$V_1 = Z_{eq} I_1 = (Z_1 + (Z_3 // Z_2)) I_1$$

$$\Rightarrow Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} = \frac{1}{Z_1 + (Z_3 // Z_2)}$$

- $Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1 = 0}$



La loi d'Ohm nous permet d'écrire:

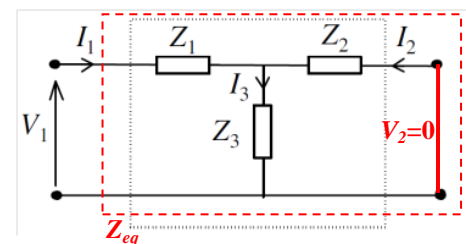
$$V_2 = Z_{eq} I_2 = (Z_2 + (Z_3 // Z_1)) I_2$$

$Z_1$  et  $Z_3$  sont en parallèle, alors:

$$I_1 = - \frac{\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3}} I_2$$

$$\Rightarrow Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} = \frac{-\frac{\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3}} I_2}{(Z_2 + (Z_3 // Z_1)) I_2} = - \frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

- $Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \Big|_{V_2 = 0}$



La loi d'Ohm nous permet d'écrire:

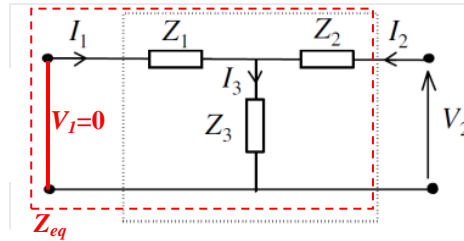
$$V_1 = Z_{eq} I_1 = (Z_1 + (Z_3 // Z_2)) I_1$$

$Z_2$  et  $Z_3$  sont en parallèle, alors:

$$I_2 = -\frac{\frac{1}{Z_2}}{\frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} I_1$$

$$\Rightarrow Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} = \frac{-\frac{\frac{1}{Z_2}}{\frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} I_1}{\left(Z_1 + (Z_3 // Z_2)\right)} = -\frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

- $Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1 = 0}$ :



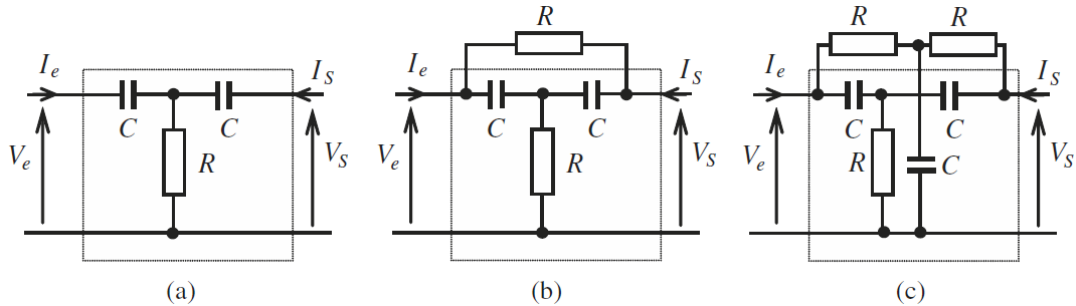
La loi d'Ohm nous permet d'écrire:

$$V_2 = Z_{eq} I_2 = (Z_2 + (Z_3 // Z_1)) I_2$$

$$\Rightarrow Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} = \frac{1}{Z_2 + (Z_3 // Z_1)}$$

### Exercice N°3:

Soit les montage des quadripôles en  $T$ , en  $T$  ponté et en double  $T$  de la figure ci-dessous.



1. Déterminer la matrice admittance du quadripôle de la figure (a).

De la même manière que dans l'exercice précédent (question 2), avec:

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C}, \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C}, \quad Z_3 = R$$

Donc:

$$Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} = \frac{1}{Z_1 + (Z_3 // Z_2)}$$

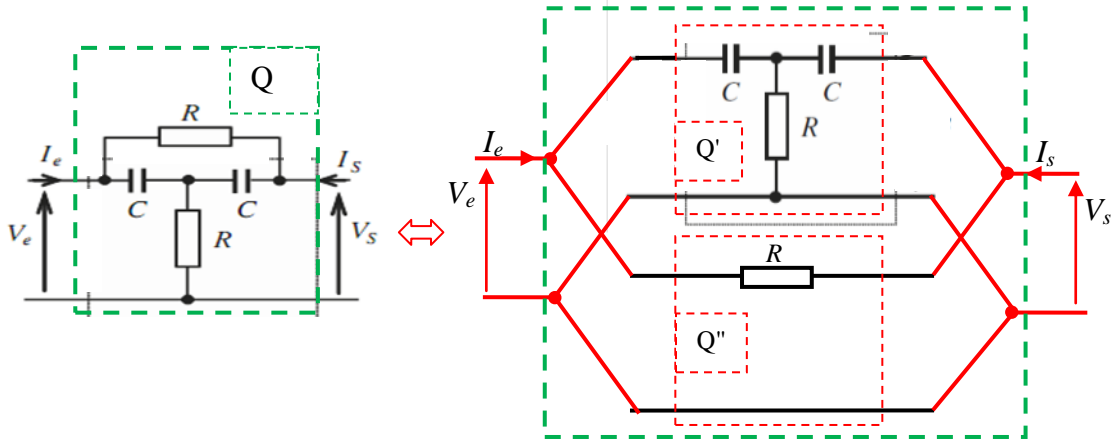
$$Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} = -\frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

$$Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} = -\frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} = \frac{1}{Z_2 + (Z_3 // Z_1)}$$

2. En déduire la matrice admittance du montage (b) et (c).

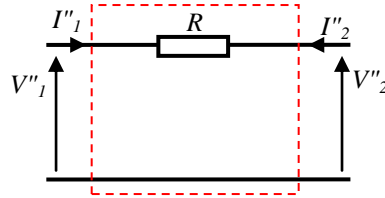
**Montage (b):**



Ce montage est l'association de deux quadripôles en parallèle: le premier est un quadripôle en T ( $Q'$ ) et le deuxième est un quadripôle série ( $Q''$ ) qui contient une seule résistance  $R$ .

La matrice admittance du quadripôle  $Q$  est la somme des matrices admittance des deux quadripôles  $Q'$  et  $Q''$ :  $[Y]=[Y']+[Y'']$ .

On a déjà déterminé la matrice admittance du quadripôle en T. Il nous reste que déterminer la matrice admittance du quadripôle série.



- $Y''_{11} = \frac{I''_1}{V''_1} \Big|_{V''_2 = 0}$ :

Si la sortie est en court-circuit ( $V''_2=0$ ), alors:  $V''_1 = RI''_1 \Rightarrow Y''_{11} = \frac{I''_1}{V''_1} = \frac{1}{R}$

- $Y''_{22} = \frac{I''_2}{V''_2} \Big|_{V''_1 = 0}$ :

Si l'entrée est en court-circuit ( $V''_1=0$ ), alors:  $V''_2 = RI''_2 \Rightarrow Y''_{22} = \frac{I''_2}{V''_2} = \frac{1}{R}$

- $Y''_{12} = \frac{I''_1}{V''_2} \Big|_{V''_1 = 0}$ :

Si l'entrée est en court-circuit ( $V''_1=0$ ), alors:

$$V''_2 = RI''_2 = -RI''_1 \Rightarrow Y''_{12} = \frac{I''_1}{V''_2} = -\frac{1}{R}$$

- $Y''_{21} = \frac{I''_2}{V''_1} \Big|_{V''_2 = 0}$ :

Si la sortie est en court-circuit ( $V''_2=0$ ), alors:

$$V''_1 = RI''_1 = -RI''_2 \Rightarrow Y''_{21} = \frac{I''_2}{V''_1} = -\frac{1}{R}$$

Les paramètres Y de la matrice admittance du quadripôle équivalent à la mise en parallèle des deux quadripôles (quadripôle en T et quadripôle série) est donnée par:

$$Y_{11} = Y_{11}(T) + Y_{11}(\text{série}) = \frac{1}{Z_1 + (Z_3 // Z_2)} + \frac{1}{R}$$

$$Y_{12} = Y_{12}(T) + Y_{12}(\text{série}) = -\frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} - \frac{1}{R}$$

$$Y_{21} = Y_{21}(T) + Y_{21}(\text{série}) = -\frac{Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} - \frac{1}{R}$$

$$Y_{22} = Y_{22}(T) + Y_{22}(\text{série}) = \frac{1}{Z_2 + (Z_3 // Z_1)} + \frac{1}{R}$$