GELE5223 Chapitre 3 : Réseaux hyperfréquences

Gabriel Cormier, Ph.D.

Université de Moncton

Automne 2008

Contenu

Contenu

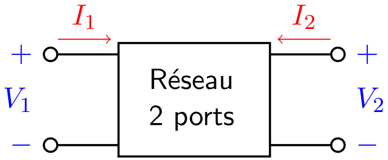
- Techniques matricielles d'analyse
- Paramètres Z et Y
- Paramètres ABCD
- Paramètres S

Contenu

- Techniques matricielles permettent d'analyser plusieurs circuits branchés ensemble.
- Les circuits sont représentés par des "boîtes noires" dont les composants internes ne sont pas importants : c'est l'interaction avec l'environnement qui est important.
- On étudiera principalement les réseaux à 2 ports.

Matrices réseau

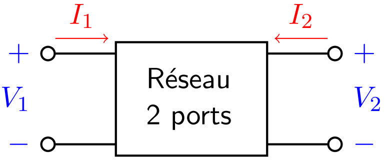
Réseau linéaire à 2 ports. Port 1 = entrée, port 2 = sortie.



On veut relier les entrées aux sorties.

Matrice d'impédance Z

Permet de relier les tensions aux courants.



$$\left.\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned}\right\} [V] = [Z][I]$$

Matrice d'impédance Z

On calcule les éléments de la matrice de l'une de deux méthodes, selon les équations.

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2$$
$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$$

Méthode 1 :

$$Z_{11} = \left.\frac{V_1}{I_1}\right|_{I_2=0} \quad Z_{12} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1=0}$$

$$Z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2=0} \quad Z_{22} = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_1=0}$$

On applique $I_1 = 0$ ou $I_2 = 0$.

Matrice d'impédance Z

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2$$
$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$$

Méthode 2 :

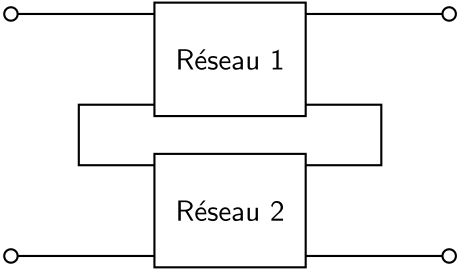
$$Z_{11} = V_1 \Big|_{I_1=1,\ I_2=0} \qquad Z_{12} = V_1 \Big|_{I_1=0,\ I_2=1}$$

$$Z_{21} = V_2 \Big|_{I_1=1,\ I_2=0} \qquad Z_{22} = V_2 \Big|_{I_1=0,\ I_2=1}$$

On applique des sources de 1A selon le cas.

Matrice d'impédance Z : propriétés

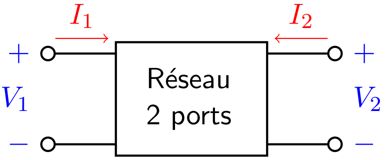
- La matrice Z permet de calculer la matrice d'un circuit en série.



$$[Z_T] = [Z_1] + [Z_2]$$

Matrice d'admittance Y

Permet de relier les courants aux tensions.



$$\left.\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{aligned}\right\} [I] = [Y][V]$$

Matrice d'admittance Y

On calcule les éléments de la matrice de l'une de deux méthodes, selon les équations.

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$
$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

Méthode 1 :

$$Y_{11} = \left.\frac{I_1}{V_1}\right|_{V_2=0} \quad Y_{12} = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{V_1=0}$$

$$Y_{21} = \left.\frac{I_2}{V_1}\right|_{V_2=0} \quad Y_{22} = \left.\frac{I_2}{V_2}\right|_{V_1=0}$$

On applique $V_1 = 0$ ou $V_2 = 0$.

Matrice d'admittance Y

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$
$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

Méthode 2 :

$$Y_{11} = I_1\Big|_{V_1=1,\ V_2=0} \qquad Y_{12} = I_1\Big|_{V_1=0,\ V_2=1}$$

$$Y_{21} = I_2\Big|_{V_1=1,\ V_2=0} \qquad Y_{22} = I_2\Big|_{V_1=0,\ V_2=1}$$

On applique des sources de 1V selon le cas, avec des court-circuits.

Matrice d'admittance Y

- La matrice $\mathbf{Y}$ est l'inverse de la matrice $\mathbf{Z}$.
- Si on résout :

$$[V] = [Z][I]$$

on obtient,

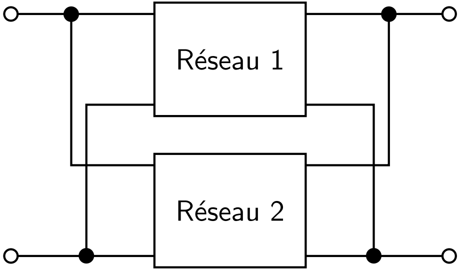
$$[I] = [Z]^{-1}[V]$$

et alors,

$$[Y] = [Z]^{-1}$$

Matrice d'impédance Y : propriétés

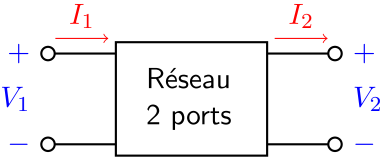
- La matrice Y permet de calculer la matrice d'un circuit en parallèle.



$$[Y_T] = [Y_1] + [Y_2]$$

Matrice ABCD

Permet de relier les entrées aux sorties.



$$\left.\begin{aligned} V_1 &= AV_2 + BI_2 \\ I_1 &= CV_2 + DI_2 \end{aligned}\right\} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Matrice ABCD

On calcule les éléments de la matrice de l'une de deux méthodes, selon les équations.

$$V_1 = AV_2 + BI_2$$
$$I_1 = CV_2 + DI_2$$

Méthode 1 :

$$A = \left.\frac{V_1}{V_2}\right|_{I_2=0} \quad B = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{V_2=0}$$

$$C = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{I_2=0} \quad D = \left.\frac{I_1}{I_2}\right|_{V_2=0}$$

On applique $V_2 = 0$ ou $I_2 = 0$.

Matrice ABCD

$$V_1 = AV_2 + BI_2$$
$$I_1 = CV_2 + DI_2$$

Méthode 2 :

$$A = V_1\Big|_{V_2=1,\ I_2=0} \qquad B = V_1\Big|_{V_2=0,\ I_2=1}$$

$$C = I_1\Big|_{V_2=1,\ I_2=0} \qquad D = I_1\Big|_{V_2=0,\ I_2=1}$$

On applique la source appropriée, avec des court-circuits ou circuits ouverts.

UNIVERSITÉ DE MONCTON
EDMUNDSTON MONCTON SHIPPAGAN

Matrice ABCD : propriétés

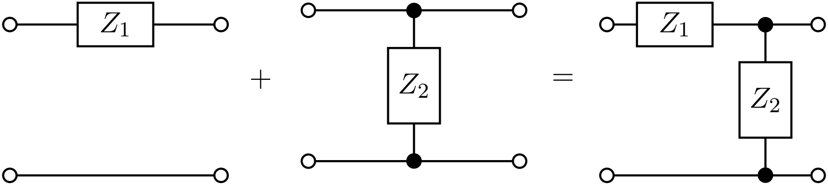
- La matrice ABCD permet de calculer la matrice d'un circuit en cascade.

Il faut multiplier les matrices :

$$[ABCD]_T = [ABCD]_1 \times [ABCD]_2$$

Matrice ABCD : propriétés

- Avec les matrices ABCD, on peut construire des réseaux complexes avec seulement quelques éléments de base.
- Le tableau 4.1, p.185, montre les éléments de base.
- Exemple :



$$\begin{bmatrix} 1 & Z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & Z_1 \\ \frac{1}{Z_2} & 1 \end{bmatrix}$$

Paramètres S

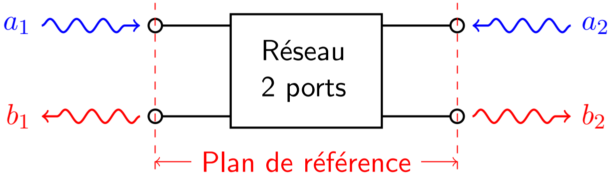
- Bien que les matrices Z, Y et ABCD soient utiles, il est difficile de les utiliser pour des circuits hyperfréquences.
- Ces trois types de matrices nécessitent des court-circuits $(V = 0)$ ou des circuits ouverts $(I = 0)$.
- À des fréquences élevées (> 100MHz environ), il est difficile d'obtenir des bons circuits ouverts ou court-circuits.

Paramètres S

- Il est aussi difficile de mesurer des tensions et courants à des fréquences élevées.
- Par contre, il est relativement facile de mesurer des ondes à l'aide de coupleurs directionnels.
- Pour ces raisons, on utilise une matrice de dispersion (*scattering matrix*) pour caractériser les circuits hyperfréquences.
- On applique une onde au circuit, et on mesure l'onde réfléchie.

Paramètres S

Permet de relier les ondes appliquées aux ondes réfléchies.



$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

NOTE : les paramètres S sont aussi définis pour plus de 2 ports.

Paramètres S

Pour obtenir les paramètres :

$$S_{11} = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2=0} = \left.\frac{V_1^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+=0} \quad S_{12} = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1=0} = \left.\frac{V_1^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+=0}$$

$$S_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2=0} = \left.\frac{V_2^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+=0} \quad S_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1=0} = \left.\frac{V_2^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+=0}$$

Paramètres S

Définition des paramètres :

$$S_{11} = \frac{\text{Onde réfléchie au port 1}}{\text{Onde incidente au port 1}} = \Gamma_1$$

$$S_{12} = \frac{\text{Onde transmise au port 1}}{\text{Onde incidente au port 2}} = \text{Gain de 2 à 1}$$

$$S_{21} = \frac{\text{Onde transmise au port 2}}{\text{Onde incidente au port 1}} = \text{Gain de 1 à 2}$$

$$S_{22} = \frac{\text{Onde réfléchie au port 2}}{\text{Onde incidente au port 2}} = \Gamma_2$$

Paramètres S

Les paramètres S peuvent donner de l'information quant au réseau :

- Si $[S] = [S]^T$: le réseau est réciproque. Un réseau réciproque est le même dans les deux sens. Utile surtout pour les antennes.
- Sans pertes si :

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = 1$$
$$|S_{12}|^2 + |S_{22}|^2 = 1$$

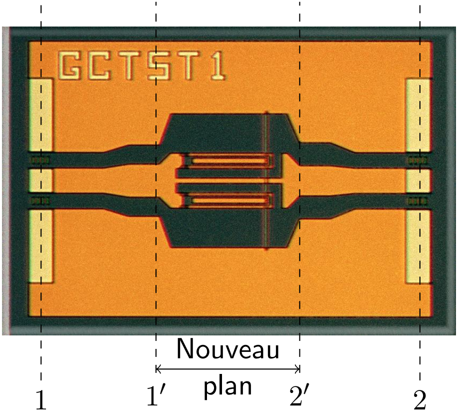
Paramètres S : plan de référence

- Les paramètres S dépendent du plan de référence : la distance à laquelle ils sont mesurés.
- Cependant, si on veut déplacer le plan de référence, il suffit de modifier la phase du paramètre S :

$$S'_{ij} = S_{ij}e^{-j(\theta_i+\theta_j)}$$

Paramètres S : plan de référence

Exemple : À cause des équipements, on ne peut pas mesurer directement le circuit. Il a fallu rajouter des longueurs.



Paramètres S : plan de référence

Exemple : Si les paramètres S mesurés sont donnés ci-bas, quelle est la nouvelle valeur si on déplace le plan de référence de 10° à l'entrée et 15° à la sortie ?

$$[S] = \begin{bmatrix} 0.1\angle(6^\circ) & 0.9\angle(67^\circ) \\ 0.9\angle(45^\circ) & 0.12\angle(6^\circ) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} S'_{11} &= 0.1\angle[6-(10+10)] = 0.1\angle(-14^\circ) \\ S'_{12} &= 0.9\angle[67-(10+15)] = 0.9\angle(42^\circ) \\ S'_{21} &= 0.9\angle[45-(15+10)] = 0.9\angle(20^\circ) \\ S'_{22} &= 0.12\angle[6-(15+15)] = 0.12\angle(-24^\circ) \end{aligned}$$

UNIVERSITÉ DE MONCTON
EDMUNDSTON MONCTON SHIPPAGAN

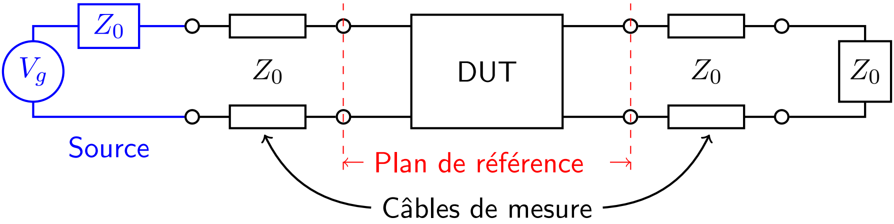
Paramètres S : plan de référence

- De la même façon qu'on déplace le plan de référence, on peut utiliser cette technique pour éliminer l'effet des câbles lors des mesures.
- On appelle ceci du *deembedding*.

Conversion de paramètres

- On peut convertir les paramètres d'une matrice à une autre.
- Le tableau 4.2 p.187 (Pozar) donne les équations.
- Ceci permet, par exemple, de mesurer un circuit avec des paramètres S, puis convertir en ABCD pour ajouter le circuit en cascade avec un autre circuit.

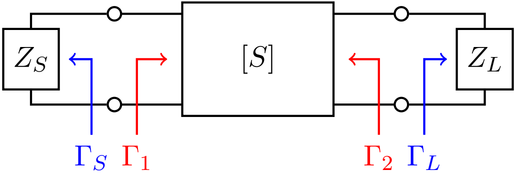
Paramètres S : mesure



DUT : *Device Under Test*

Paramètres S : mesure

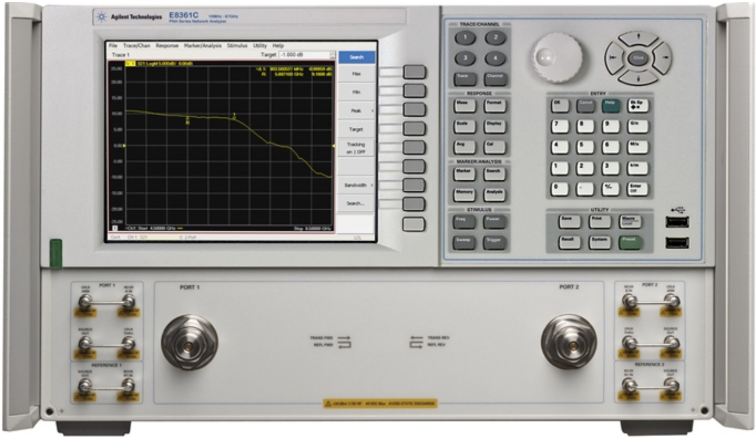
Pour le cas général, si on connaît les paramètres S et la charge,



$$\Gamma_1 = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \qquad \Gamma_2 = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$$

Paramètres S : mesure

Analyseur de réseau : Agilent E8361C, 10MHz à 67GHz, 147,000$

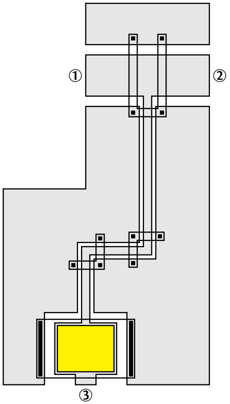


Paramètres S : information

- Les paramètres S permettent de rapidement déduire le comportement d'un circuit en fonction de la fréquence.
- Avec S_{11}, on peut voir si le circuit est bien adapté.
- S_{21} permet de voir le gain (ou perte) à chaque fréquence.
- S_{22} permet de voir l'adaptation à la sortie.

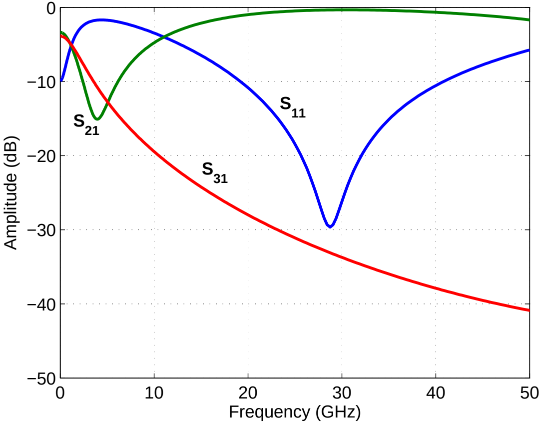
Paramètres S : exemple

Soit le circuit suivant. C'est un circuit qui alimente deux transistors avec du DC (à partir du port 3). Un signal devrait passer du port 1 au port 2 sans s'échapper par le port 3 (à 40GHz).



Paramètres S : exemple

Certains paramètres S du circuit précédent :



Conclusion

Les points clés de ce chapitre sont :

- L'utilisation des matrices Z, Y, ABCD et S pour caractériser des circuits.
- L'application des paramètres S aux réseaux hyperfréquences.
- La mesure des paramètres S.

Problèmes suggérés

Dans le manuel de Pozar :

- 4.9, 4.19, 4.24, 4.31*

Et aussi les exemples du PDF.