

Dispositifs (passifs/actifs) et micro-ondes

Chap: 01

1.1: Introduction

Pour étudier un circuit électronique, on utilise des équations mathématiques qui caractérisent le fonctionnement de ce système en reliant ses différentes variables physiques (courant, tension, puissance...) en fonction de ses paramètres internes.

Chap: 01

1.1 Introduction

La matrice de répartition $[S]$ permet de caractériser un circuit linéaire en basant sur la répartition de la puissance dans le circuit.

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition (matrice [S] ou « scattering matrix »)

- Les paramètres S est l'outil de base pour l'étude des multipôles en hyperfréquence.
- En hyperfréquences, il est impossible de faire des mesures directes de courants et de tension à cause de fréquence très élevée des signaux, et même de réaliser des courts circuits et des circuits ouverts.

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition (matrice [S] ou « scattering matrix »)

- En plus, le courant et la tension sont des ondes qui dépendent de l'espace (la position) ce qui les rend des grandeurs « mauvaises » pour être prises comme référence.
- Donc on ne peut pas employer les matrices comme [Z], [Y], [H], qui sont basées sur les courants et les tensions et sur des mesures en court-circuit ou en circuit ouvert.

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition (matrice [S] ou « scattering matrix »)

- Par contre, la puissance est une grandeur qui ne dépend pas de la position et peut être mesurée directement, il est possible de l'utiliser en hyperfréquences comme grandeur fondamentale à la place des courants et tensions.

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition:

1.2.1 Notion de réflexion en courant et en tension



FIG: Source (E, Z_0) chargée par Z_L

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition

1.2.1 Notion de réflexion en courant et en tension

Le courant réfléchi et la tension réfléchi sont alors les différences par rapport aux courants et tensions de la charge ZL:

$$I_r = I_i - I \quad V_r = V - V_i$$

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition

1.2.1 Onde incidente et réfléchie

On définit l'onde incidente a et l'onde réfléchie b par les relations suivantes :

$$a = \sqrt{\frac{z_0 + z_0^*}{2}} I_i \dots\dots(10) \quad b = \sqrt{\frac{z_0 + z_0^*}{2}} I_r \dots\dots(11)$$

On introduire la tension réduite v et le courant réduite i par :

$$v = \frac{V}{\sqrt{R_0}} = a + b \quad i = \sqrt{R_0} I = a - b$$

Chap: 01

Ce quadripôle constitue a deux accès

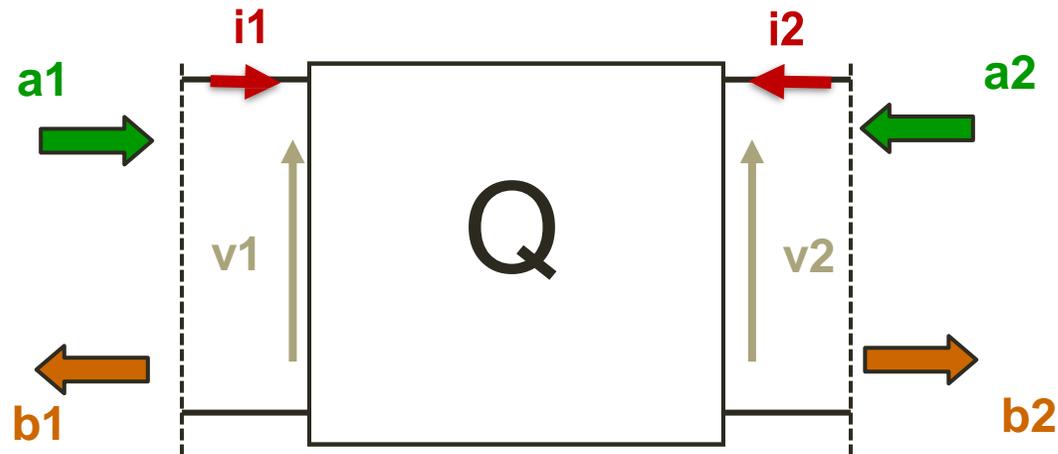


Fig: Ondes de répartition dans le cas d'un quadripôle.

- On dit quadripôle est passif s'il ne comporte aucune source d'énergie.
- On dit quadripôle est actif s'il contient des source de tension et /ou des courant.

Chap: 01

Ce quadripôle constitue a deux accès

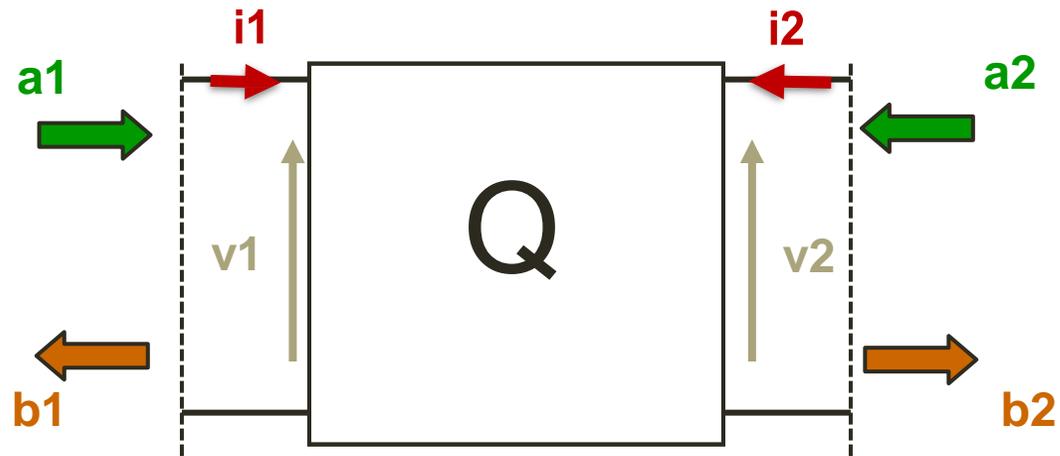


Fig: Ondes de répartition dans le cas d'un quadripôle.

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = [S] \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

la matrice de répartition [S]

Chap: 01

Ce quadripôle constitue a deux accès

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

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = [S] \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

la matrice de répartition [S]

Chap: 01

Ce quadripôle constitue a deux accès

$$\begin{array}{l} a_1 + b_1 = v_1 \\ \square a_1 - b_1 = i_1 \end{array} \quad \text{Accès 1}$$

$$\begin{array}{l} a_2 + b_2 = v_2 \\ \square a_2 - b_2 = i_2 \end{array} \quad \text{Accès 2}$$

Chap: 01

1.2 Matrice de répartition

1.2.1 Onde incidente et réfléchi

Il est possible de l'écrire sous forme d'un système :

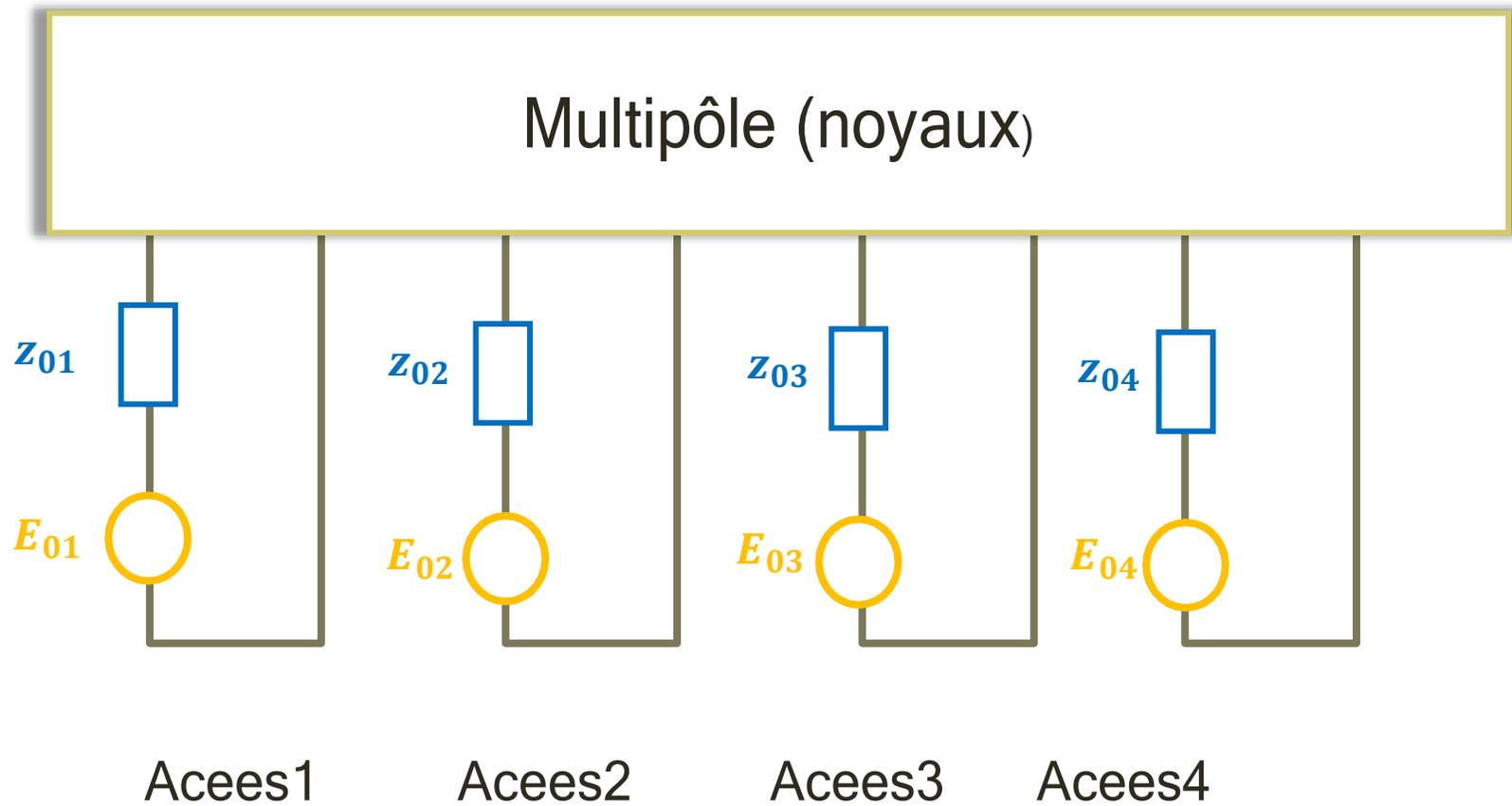
$$\begin{cases} b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \\ b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \end{cases}$$

Chap: 01

1.3 Multipôles

Un Multipôle est un circuit dont le noyau central est relié au circuit extérieur par des voies d'accès multipôles.

Chap: 01



Chap: 01

1.3 Multipôles

Dans le cas générale chaque accès est parcourue par une onde entente vers le noyau notée a_i et par une onde sortante , se propage dans le sens inverse notée b_i .

L'ensemble des ondes peur être représenter par une matrice A(B)

Chap: 01

1.3 Multipôles

Il est possible de l'écrire sous forme d'un système :

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



$$\begin{cases} b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 + \cdots + S_{1n} a_n \\ b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 + \cdots + S_{2n} a_n \\ \vdots \\ b_n = S_{n1}a_1 + S_{n2}a_2 + \cdots + S_{nn} a_n \end{cases}$$

Chap: 01

Sous forme matricielle

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix}$$

Les S_{ij} sont appelés les paramètres S du quadripôle formé par la
ligne

Chap: 01

1.3 Multipôles

Un élément spécifique de cette matrice S peut être déterminé par ce rapport :

$$S_{ij} = \frac{b_i}{a_j} \quad a_k \neq 0 \text{ pour } k=j$$

Chap: 01

1.3 Multipôles

Pour un quadripôle dispositif à deux ports, ($n=2$), nous pouvons écrire :

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

$$S_{11} = R_1 \Big|_{a_2=0}$$

S11 est le coefficient de réflexion à l'accès 1 du quadripôle

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

S21 est le coefficient de transmission de 1 vers 2

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

S22 est le coefficient de réflexion à l'accès 2

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

S12 est le coefficient de transmission de 2 vers 1

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

Il est possible d'exprimer les paramètres S en décibel (dB) par :

$$S_{ij}(dB) = 20 \log |S_{ij}|$$

Il est possible de définir les ondes courant tension incidente $a(z)$ et réfléchie $b(z)$:

$$a(z) = Ae^{-j\beta z}$$

$$b(z) = Be^{-j\beta z}$$

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.4 La puissance moyenne active en fonction des variables de répartition

La puissance délivrée à la charge s'en déduit:

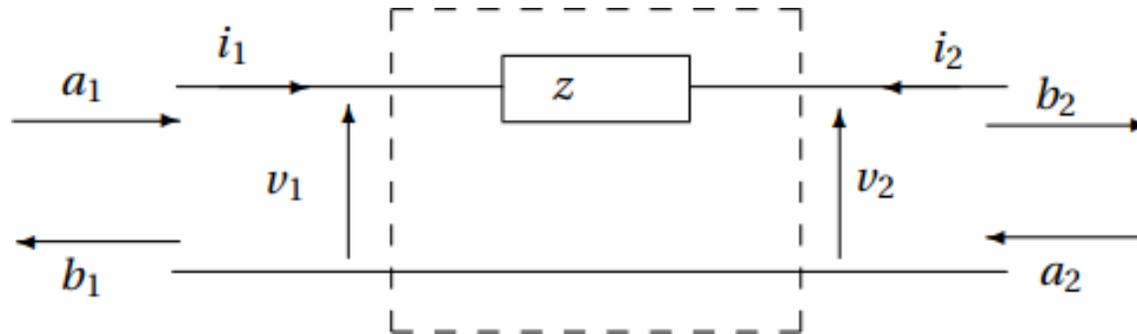
$$P_L = \frac{1}{2} \operatorname{Re} (V_L I^*)$$

On recherche la valeur de X_L qui maximise P_L :

$$\frac{dP_L}{dX_L} = 0$$

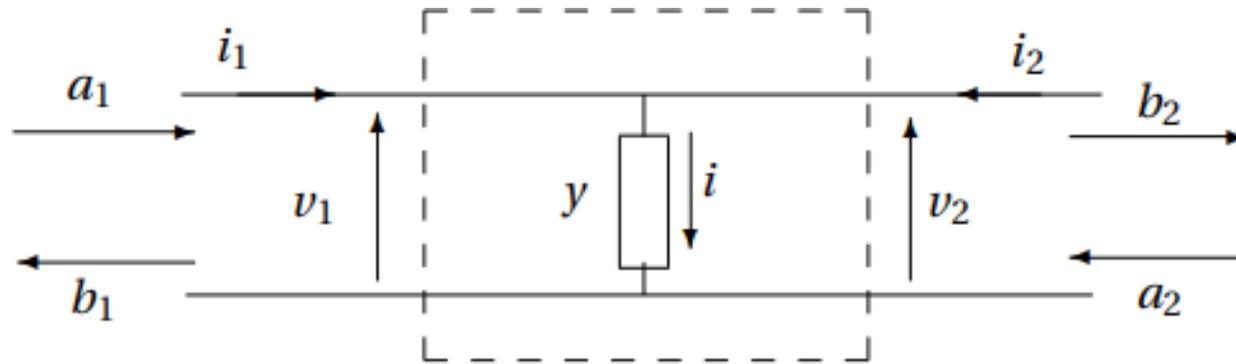
CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

Matrice [S] d'une impédance série



CHAPITRE 1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

Matrice [S] d'une admittance parallèle



CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

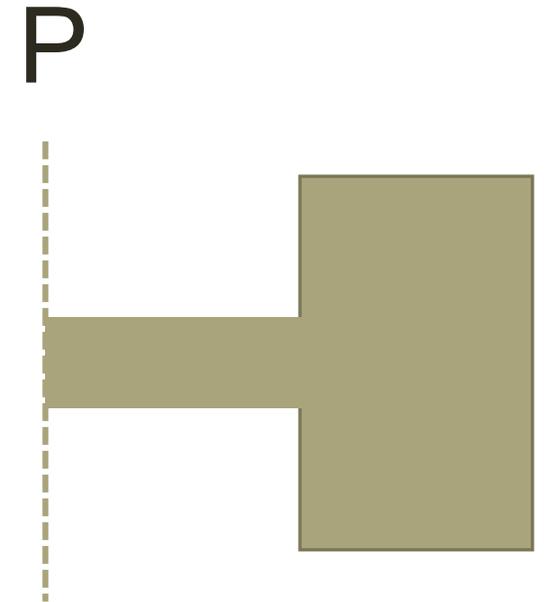
Propriété

- Si le Multipôle est réciproque, cette propriété se traduit par
- $S_{ij} = S_{ji} (i \neq j)$ et en résulte $[S] = [S]^T$
- Un Multipôle Sans pertes : $[S] * [S]^* = [I]$
- On dit qu'un Multipôle est symétrique lorsque $S_{ii} = S_{jj}$

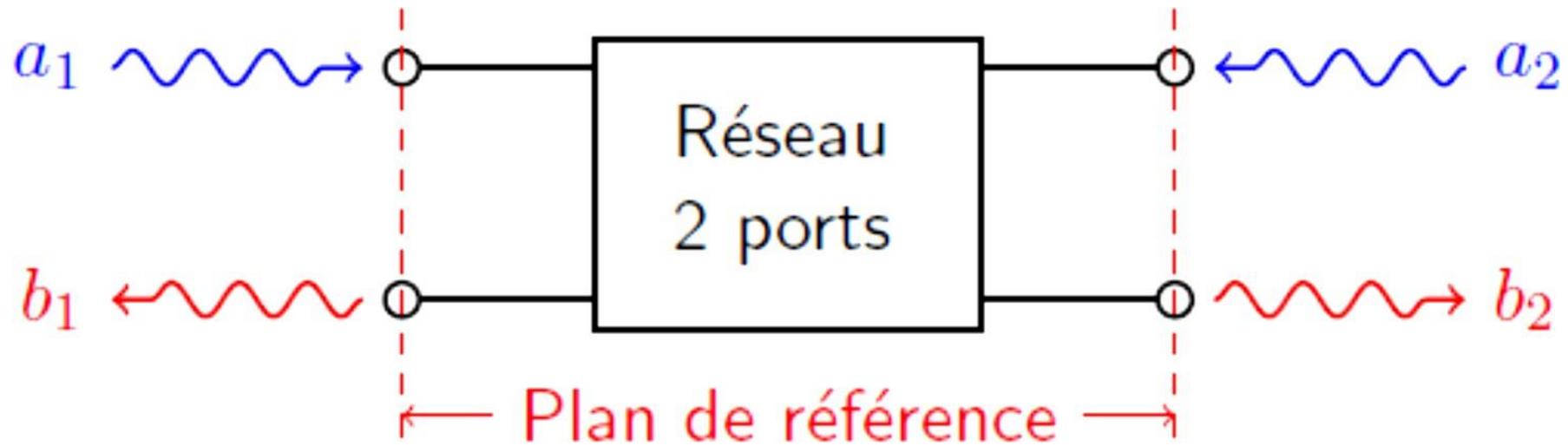
CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.5 Changement de plan de référence

Port (dipôle) est une boîte fermée auquel on accède par une ligne de transmission, Le plan P est considéré comme l'entrée du dipôle.



CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE



Chap: 01

Une calibration du dispositif est nécessaire pour obtenir des mesures corrigés et définir le plan de référence (caractérisation d'éléments Que référence : charge adaptée, court-circuit, circuit ouvert). La mesure du coefficient de réflexion à toute fréquence nous permet de déduire la conductivité et la permittivité de l'échantillon placé dans la cellule.

Chap: 01

1.5 Changement de plan de référence

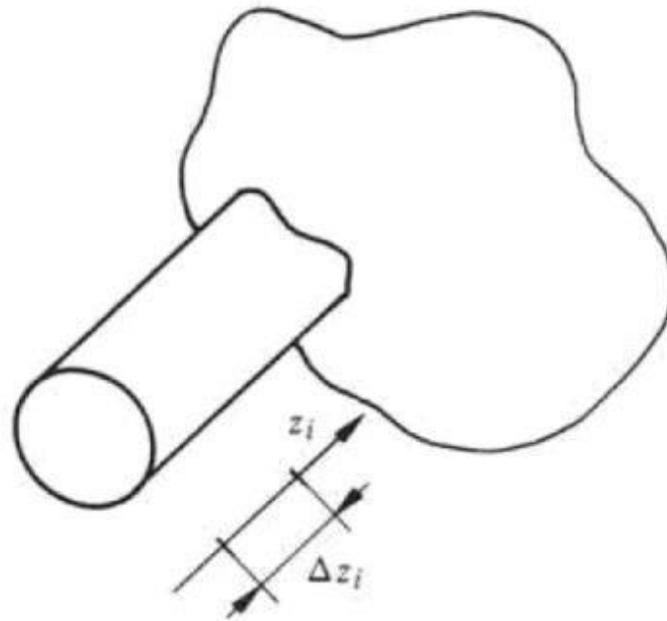
Les paramètres S dépendent du plan de référence : la distance à laquelle ils sont mesurés.

Cependant, si on veut déplacer le plan de référence, il faut de modifier la phase du paramètre S :

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

Chap: 01

1.5 Changement de plan de référence



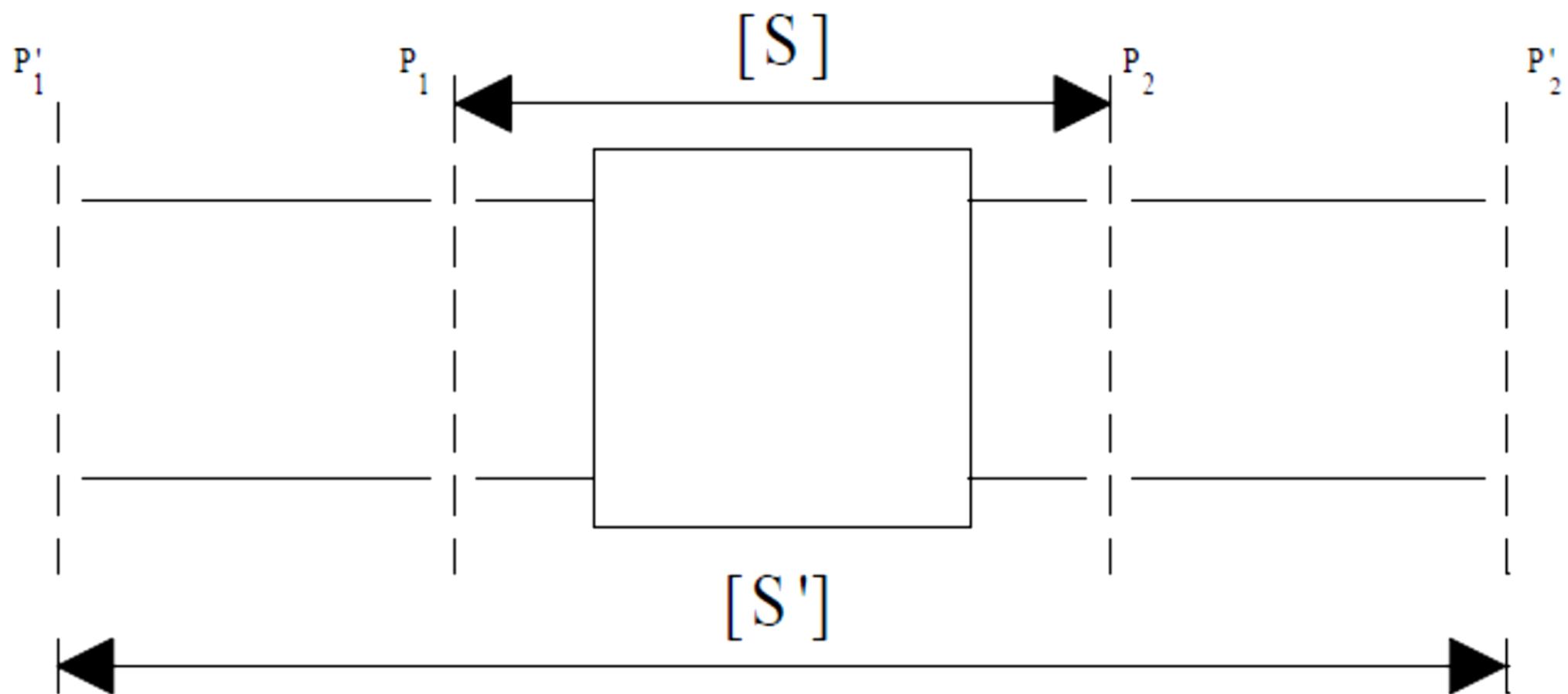
Chap: 01

1.5 Changement de plan de référence

Dans le nouveau système de la coordonnée déplacée $z^d = z_i - \Delta z_i$

➤ $a_i^d = a_i \exp(-j\varphi_i)$

➤ $b_i^d = b_i \exp(-j\varphi_i)$



CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.5 Chargement de plan de réflexion

Imaginons un tronçon de Ligne placé en entrée d'un quadripôle de matrice $[S]$ connue. Ce tronçon de ligne apporte un déphasage ϕ_1 lié à la propagation. Si l'on suppose tout d'abord que la sortie est adaptée, alors $a_2 = 0$.

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

- le coefficient de réflexion en entrée subit deux fois le déphasage, donc

$$S'_{11} = S_{11} \exp(-2 j \phi_1);$$

- le coefficient de transmission de l'entrée vers la sortie subit une fois le déphasage, donc

$$S'_{21} = S_{21} \exp(-j \phi_1).$$

Si l'on suppose à présent que l'entrée est adaptée, alors $a_1 = 0$ et

- le coefficient de réflexion vu de la sortie ne change pas

$$S'_{22} = S_{22};$$

- le coefficient de transmission de la sortie vers l'entrée subit une fois le déphasage, donc

$$S'_{12} = S_{12} \exp(-j \phi_1).$$

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

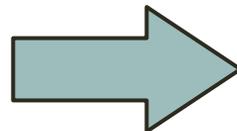
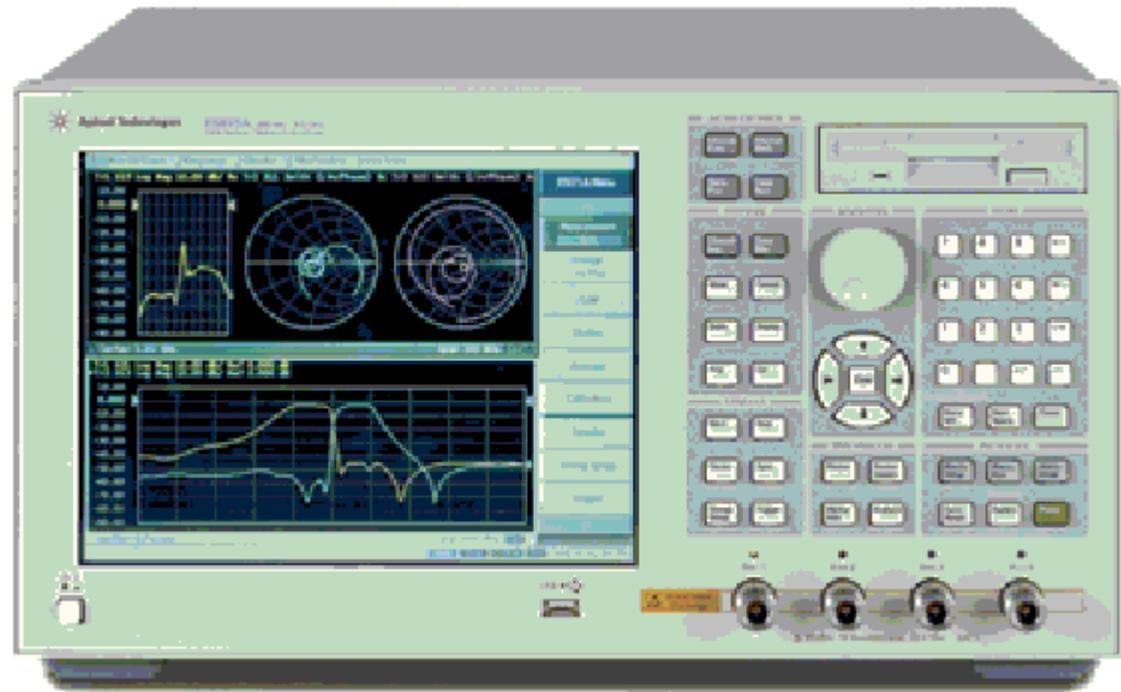
En résumé, cela conduit à

$$[S'] = \begin{pmatrix} S_{11} \exp(-2j\phi_1) & S_{12} \exp(-j\phi_1) \\ S_{21} \exp(-j\phi_1) & S_{22} \end{pmatrix}.$$

MESURES EN HYPERFRÉQUENCES

L'analyseur de réseaux

- L'analyseur de réseaux est l'outil principal de mesure aux hautes fréquences.
- Il permet de mesurer les ondes transmises et réfléchies sur un dispositif sous test.
- On a ainsi directement accès aux paramètres S.



Réponse fréquentielle

MESURES EN HYPERFRÉQUENCES

Il existe deux catégories d'analyseurs de réseaux : **les scalaires** et **les vectoriels**.

Les scalaires ne donnent accès qu'au module des paramètres S

Les vectoriels donnent le module et la phase des paramètres (mais ils sont nettement plus chers !!)



CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.6 Coefficient de réflexion

Dans le domaine tension-courant un dipôle est caractérisé par son impédance Z (rapport entre tension et courant). Son équivalent dans le formalisme des paramètres S s'appelle le coefficient de réflexion Γ (rapport entre onde réfléchie et onde incidente).

CHAPITRE 1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.6 Coefficient de réflexion

Le passage entre les deux domaines est immédiat :

$$a = \frac{V + Z_0 I}{2\sqrt{R_0}} \quad ; \quad b = \frac{V - Z_0^* I}{2\sqrt{R_0}}$$

a: onde incidente

b: onde réfléchie

R_0 : les parties réelle de Z_0

$$\Gamma = \frac{b}{a} = \frac{V - Z_0^* I}{V + Z_0 I}$$

$$-1 < \Gamma < 1$$

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.6 Coefficient de réflexion

- ❖ **Charge adapté:** Une charge sera dite **adaptée** si elle ne réfléchit aucune puissance ($\Gamma = 0$).
- ❖ **Court circuit :** ($\Gamma = -1$). C'est in dire qu'il y a une réflexion totale de l'énergie, mais que l'onde réfléchie est en opposition de phase avec l'onde incidente.
- ❖ **Circuit ouvert:** ($\Gamma = 1$) une réflexion totale de l'énergie.

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.6 Coefficient de réflexion

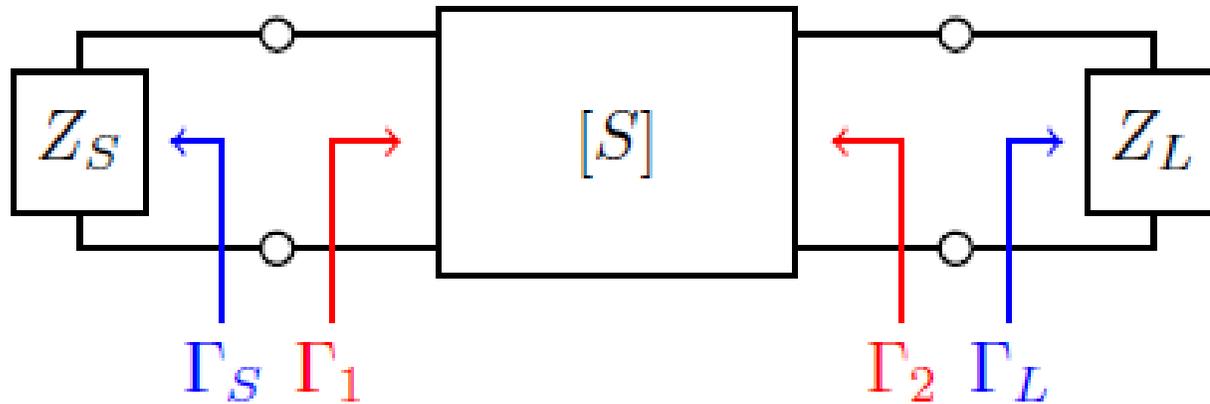
Le coefficient de réflexion quantifie en amplitude et en phase l'énergie réfléchi par le dipôle. Il existe un autre formalisme, issu de la théorie des lignes de transmission, permettant de mesurer **l'énergie réfléchi** : le **Taux d'Onde Stationnaire** . Cependant, celui-ci ne donne aucune indication sur la phase de signal réfléchi. Sa définition est la suivante :

$$TOS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.6 Coefficient de réflexion

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



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

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

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.7 Pertes de retour et les pertes d'insertion

Les pertes de retour (return loss) et les pertes d'insertion (insertion loss) sont liées aux coefficients de réflexion et de transmission par les relations suivants:

$$\text{Return los}(dB) = -20 \log_{10} P$$

$$\text{Insertion los}(dB) = -20 \log_{10} T$$

$$\text{Avec } P = \frac{TOS-1}{TOS+1}$$

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.8 Application des dispositifs micro-ondes:

1.8.1 : atténuateur

L'atténuateur idéal est un quadripôle réciproque, adapté. En conséquence, sa matrice

S s'écrit :

$$S = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} \\ S_{12} & 0 \end{bmatrix} \text{ avec } |S_{12}| < 1$$

Lorsqu'un tel quadripôle est inséré entre deux charges égales à la résistance de normalisation, l'atténuation introduite vaut : $A = -20 \log_{10}|S_{12}|$ dB

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.8 Application des dispositifs micro-ondes:

1.8.1 : atténuateur



CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE

1.8 Application des dispositifs micro-ondes:

1.8.2 : Le déphaseur

Le déphaseur idéal est un quadripôle réciproque, parfaitement adapté. Sa matrice S est donc de la forme :

$$S = \begin{pmatrix} 0 & \exp^{j\Phi} \\ \exp^{j\Phi} & 0 \end{pmatrix}$$

Lorsqu'un tel déphaseur est inséré entre deux charges égales à la résistance de normalisation, le déphasage introduit vaut : $\text{Arg}(S_{21}) = \Phi$.

CHAPITRE1: CIRCUIT ET DISPOSITIF PASSIF POUR MICRO ONDE



Fig : Le déphaseur