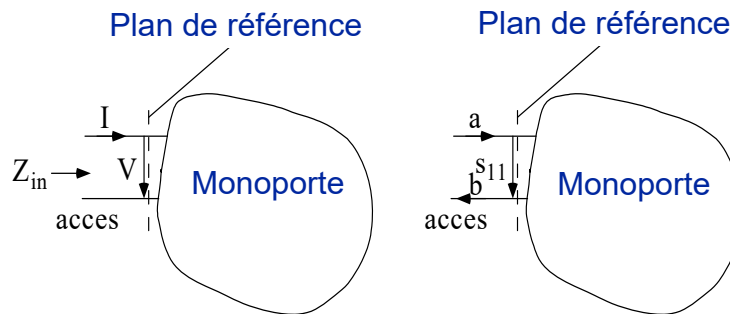


Exemples de composants

Composants monoportes

Monoportes



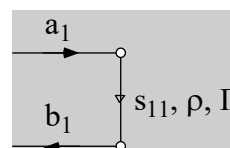
$[Z], [Y], [S]$ ont un seul terme. Ce sont des scalaires

Monoportes

Equivalences

$$s_{11} = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c}, \quad Z_{in} = \frac{1 + s_{11}}{1 - s_{11}}$$

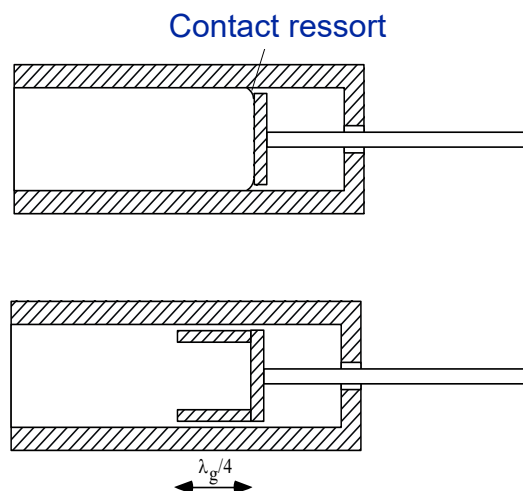
Graphe de fluence



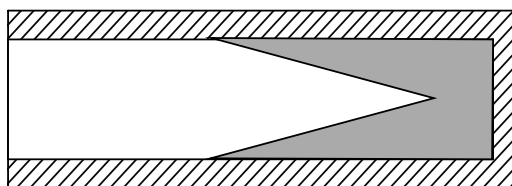
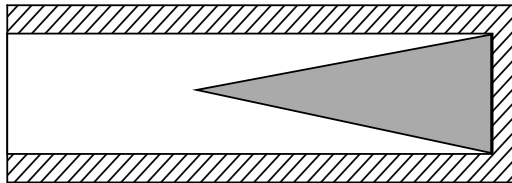
Exemples

- Composants sans pertes:
 - Court circuit: $s_{11} = -1$
 - Circuit ouvert: $s_{11} = 1$
 - Réflexion totale: $s_{11} = e^{j\phi}$
- Monoporte adapté:
 - Charge adaptée
- Autres : antennes, charges, etc.

Court-circuits

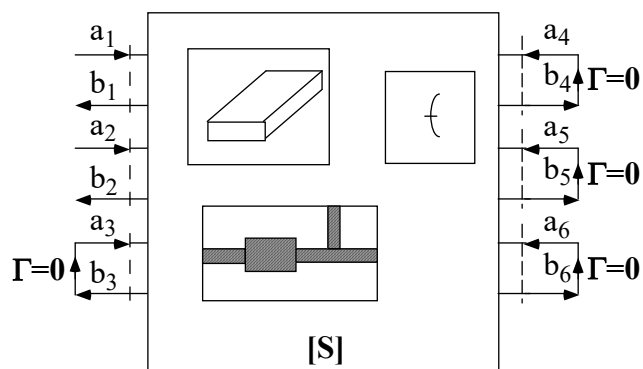


Charges adaptées



7 A. Skrivervik, MAG

Charges adaptées



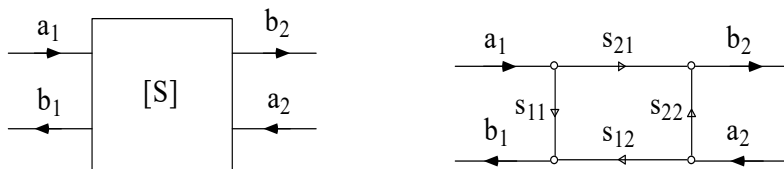
$$s_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_i=0, i \neq 1}$$

La mesure de s_{21} doit être faite en terminant tous les ports non-concernés par une charge

8 A. Skrivervik, MAG

Biportes

Biportes



$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix}$$

Exemples

- Sans pertes : déphaseurs, gyrateurs, obstacles
- Avec pertes : atténuateurs, isolateurs

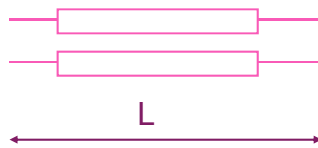
Déphaseurs

- Réciproques
- Adaptés
- Sans pertes

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{j\varphi} \\ e^{j\varphi} & 0 \end{bmatrix}$$

Déphaseurs

- Exemples :
 - Ligne de transmission adaptée



$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\beta L} \\ e^{-j\beta L} & 0 \end{bmatrix}$$

Déphaseurs

- Exemples
 - Déphaseur de Fox
 - Déphaseurs non-réciproques

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{j\varphi_1} \\ e^{j\varphi_2} & 0 \end{bmatrix} \quad \varphi_1 \neq \varphi_2$$

- Gyrateurs

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \pi$$

Atténuateurs

- Adaptés
- Réciproques
- A pertes
- Le niveau d'atténuation est donnée par:

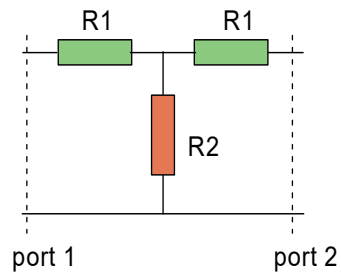
$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & s_{12} \\ s_{12} & 0 \end{bmatrix} \quad |s_{12}| < 1$$

$$LA(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} = -20 \log_{10} |s_{12}|$$

Atténuateurs

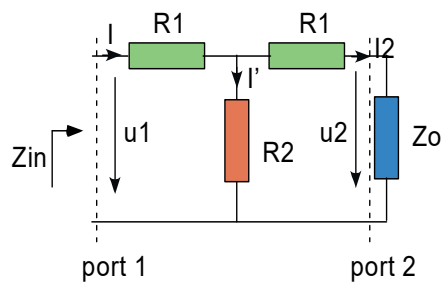
- Exemples
 - Avec des absorbants
 - A lame rotative
 - Ligne en dessous de la coupure
 - Résistifs
 - Non réciproques (isolateur)

Atténuateurs résistifs (en T)



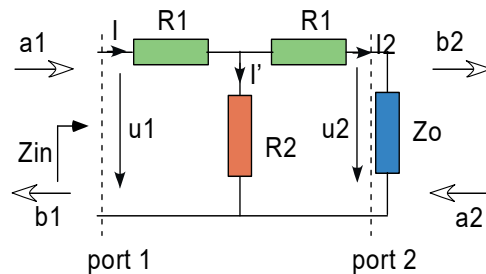
- R1 et R2 sont choisis de manière à adapter le composant, et obtenir l'atténuation désirée

Atténuateurs résistifs (en T)



$$Z_{in} = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1 + Z_o}} = Z_o \qquad R_2 = \frac{Z_o^2 - R_1^2}{2R_1}$$

Atténuateurs résistifs (en T)



$$s_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{Z_o - R_1}{Z_o + R_1}$$

Autre solution

Matrice d'impédance du biporte

$$[Z] = \begin{bmatrix} R_1 + R_2 & R_2 \\ R_2 & R_1 + R_2 \end{bmatrix}$$

On obtient la matrice de répartition correspondante

$$[S] = \frac{1}{(R_1 + R_2 + Z_o)^2 - R_2^2} \begin{bmatrix} (R_1 + R_2)^2 - Z_o^2 - R_2^2 & 2R_2Z_o \\ 2R_2Z_o & (R_1 + R_2)^2 - Z_o^2 - R_2^2 \end{bmatrix}$$

Autre solution

Comme $s_{11}=s_{22}=0$ pour un composant adapté

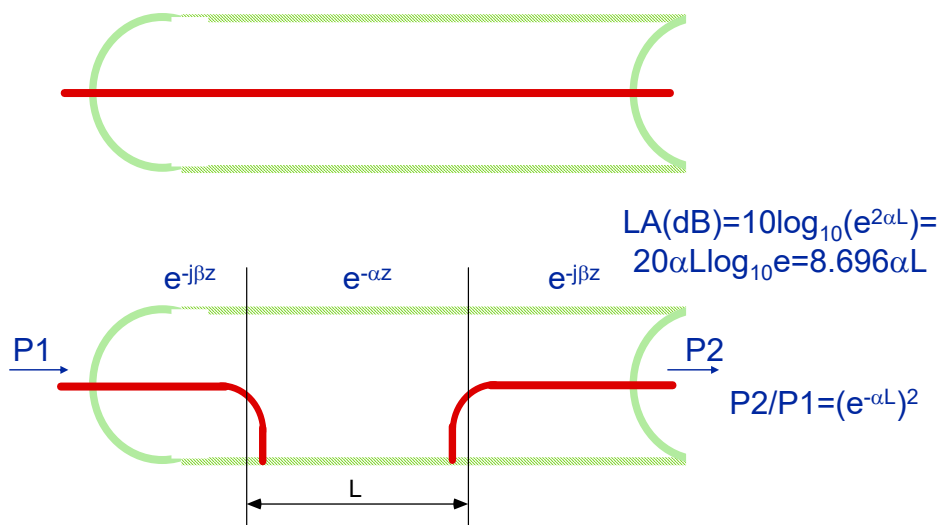
$$R_2 = \frac{Z_o^2 - R_1^2}{2R_1}$$

et $s_{21} = \frac{Z_o - R_1}{Z_o + R_1}$

Finalement, le niveau d'atténuation est donnée par

$$LA[dB] = -20 \log(s_{21}) = -20 \log\left(\frac{Z_o - R_1}{Z_o + R_1}\right) = 20 \log\left(\frac{Z_o + R_1}{Z_o - R_1}\right)$$

Atténuateur réactif non adapté
(ligne de transmission utilisée sous la fréquence de coupure)



Isolateurs

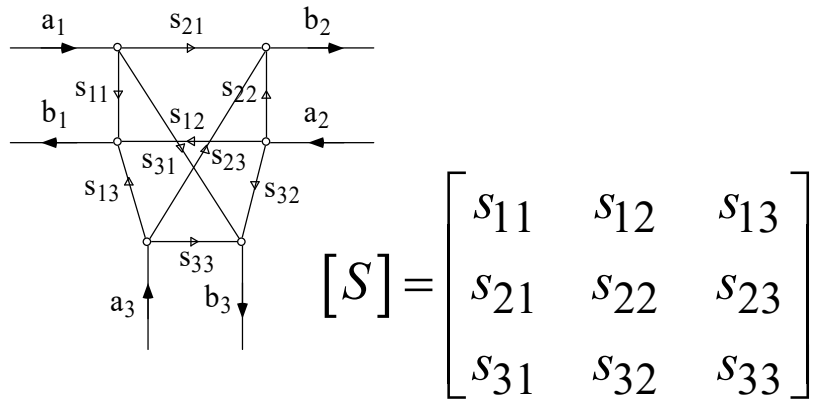
- Adaptés
- non réciproques
- Avec pertes

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Triportes

Application principale: Division de puissance et
combinaison de signaux

Triportes



Triportes réciproques

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{21} & s_{31} \\ s_{21} & s_{22} & s_{32} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix}$$

Adaptation

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & 0 & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & 0 \end{bmatrix}$$

Sans pertes

$$\sum_{i=1}^3 s_{ij}^* s_{ik} = \delta_{jk} \quad j, k = 1, 2, 3$$

Adaptés, réciproque et sans pertes

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & s_{21} & s_{31} \\ s_{21} & 0 & s_{32} \\ s_{31} & s_{32} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{21}^* & s_{31}^* \\ s_{21}^* & 0 & s_{32}^* \\ s_{31}^* & s_{32}^* & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & s_{21} & s_{31} \\ s_{21} & 0 & s_{32} \\ s_{31} & s_{32} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Adaptés, réciproque et sans pertes

Donc

$$|s_{12}|^2 + |s_{13}|^2 = 1$$

$$|s_{12}|^2 + |s_{23}|^2 = 1$$

$$|s_{13}|^2 + |s_{23}|^2 = 1$$

$$s_{13}^* s_{23} = 0$$

$$s_{12}^* s_{23} = 0$$

$$s_{12}^* s_{13} = 0$$

supposons :

$$s_{13} \neq 0 \Rightarrow s_{23} = 0 \text{ et } s_{12} = 0$$

ce qui incompatible avec

$$|s_{12}|^2 + |s_{23}|^2 = 1$$

Un triporte ne peut pas être à la fois adapté, réciproque et sans pertes

Adapté à 2 portes, sans pertes et réciproque

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & s_{21} & s_{31} \\ s_{21} & 0 & s_{32} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{21}^* & s_{31}^* \\ s_{21}^* & 0 & s_{32}^* \\ s_{31}^* & s_{32}^* & s_{33}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & s_{21} & s_{31} \\ s_{21} & 0 & s_{32} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Adapté à 2 portes, sans pertes et réciproque

Donc

Ce qui donne :

$$|s_{12}|^2 + |s_{13}|^2 = 1$$

$$|s_{12}|^2 + |s_{23}|^2 = 1$$

$$|s_{13}|^2 + |s_{23}|^2 + |s_{33}|^2 = 1$$

$$s_{13}^* s_{23} = 0$$

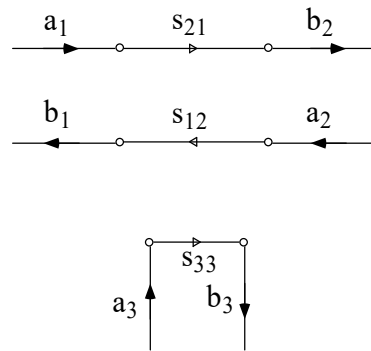
$$s_{12}^* s_{23} + s_{13}^* s_{33} = 0$$

$$s_{12}^* s_{13} + s_{23}^* s_{33} = 0$$

$$s_{13} = 0 \Rightarrow s_{12} = 1 \text{ et } s_{23} = 0, \text{ thus } s_{33} = 1$$

$$s_{23} = 0 \Rightarrow s_{12} = 1 \text{ et } s_{13} = 0, \text{ thus } s_{33} = 1$$

Adapté à 2 portes, sans pertes et réciproque



Deux composants découplés

Triporte adapté et sans pertes

$$|s_{21}|^2 + |s_{31}|^2 = 1$$

$$|s_{12}|^2 + |s_{32}|^2 = 1$$

$$|s_{23}|^2 + |s_{13}|^2 = 1$$

$$s_{12}^* s_{13} = 0$$

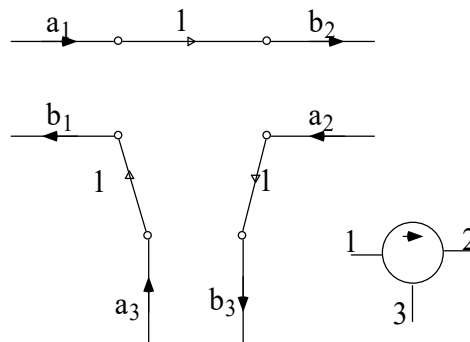
$$s_{21}^* s_{23} = 0$$

$$s_{31}^* s_{32} = 0$$

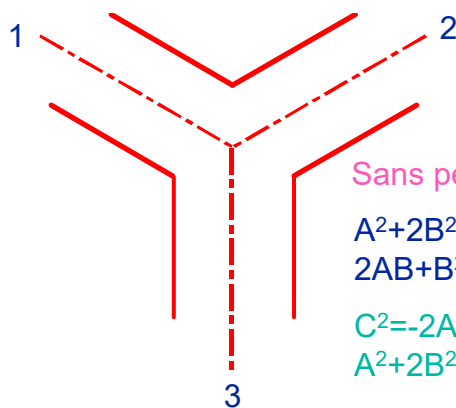
$$s_{13} \neq 0 \Rightarrow s_{12} = 0 \Rightarrow |s_{32}| = 1 \Rightarrow s_{31} = 0 \\ \Rightarrow |s_{21}| = 1 \Rightarrow s_{23} = 0 \Rightarrow |s_{13}| = 1$$

Circulateur

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



Jonction en Y



$$s_{11}=s_{22}=s_{33}=A$$

$$s_{12}=s_{21}=s_{13}=s_{31}=s_{32}=s_{23}=B+jC$$

Sans pertes:

$$A^2+2B^2+2C^2=1 \text{ (ellipsoïde)}$$

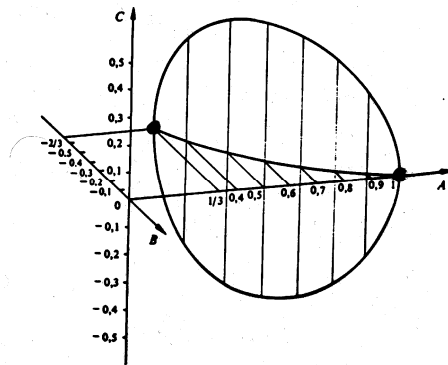
$$2AB+B^2+C^2=0$$

$$C^2=-2AB-B^2 \Rightarrow AB<0$$

$$A^2+2B^2-4AB-2B^2=1$$

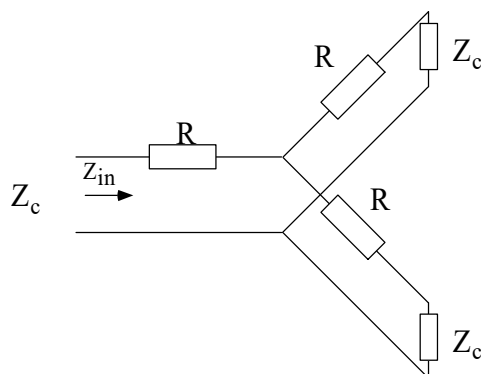
$$B=1/4(A-1/A) \quad A=2B \pm (4B^2+1)^{1/2}$$

Jonction en Y



Ellipsoïde

Triporte à pertes: diviseur résistif



Adaptation

$$Z_{in} = Z_c$$

$$Z_{in} = \frac{3}{2}R + \frac{Z_c}{2}$$

$$R = \frac{1}{3}Z_c$$

$$[S] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Coupleurs

Apperçu

- Approche théorique
- Coupleur idéal
- Coupleur réel
- Exemples :
 - Cercle hybride
 - Coupleur hybride

Matrice de repartition d'un quadriporte

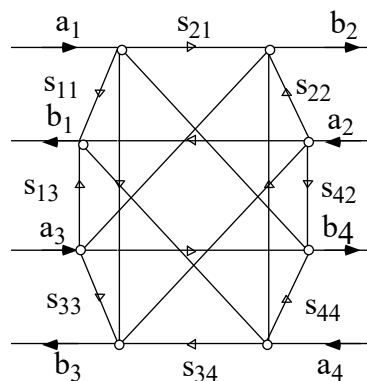
$$\begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} & s_{24} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} & s_{34} \\ s_{41} & s_{42} & s_{43} & s_{44} \end{bmatrix}$$

En général

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{12} & 0 & s_{23} & s_{24} \\ s_{13} & s_{23} & 0 & s_{34} \\ s_{14} & s_{24} & s_{34} & 0 \end{bmatrix}$$

Adapté et réciproque

Graphe de fluence



Quadriporte adapté, réciproque et sans pertes

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{12}^* & s_{13}^* & s_{14}^* \\ s_{12}^* & 0 & s_{23}^* & s_{24}^* \\ s_{13}^* & s_{23}^* & 0 & s_{34}^* \\ s_{14}^* & s_{24}^* & s_{34}^* & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & s_{12} & s_{13} & s_{14} \\ s_{12} & 0 & s_{23} & s_{24} \\ s_{13} & s_{23} & 0 & s_{34} \\ s_{14} & s_{24} & s_{34} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Que cela signifie t'il?

$$s_{13}^* s_{14} + s_{23}^* s_{24} = 0 \quad (\text{line 3} \times \text{column 4}) \quad \times s_{14}^*$$

$$s_{13}^* s_{23} + s_{14}^* s_{24} = 0 \quad (\text{line 1} \times \text{column 2}) \quad \times s_{23}^*$$

—

$$s_{13}^* \left(|s_{14}|^2 - |s_{23}|^2 \right) = 0$$

$$s_{13}^* \left(|s_{14}|^2 - |s_{23}|^2 \right) = 0$$

1ère solution:

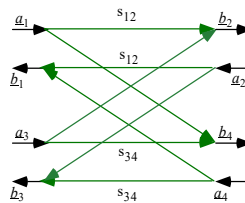
$$s_{13} = 0, s_{14} \neq 0, s_{23} \neq 0$$

donc

$$s_{13}^* s_{14} + s_{23}^* s_{24} = 0 \Rightarrow s_{24} = 0$$

:

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{12} & 0 & s_{14} \\ s_{12} & 0 & s_{23} & 0 \\ 0 & s_{23} & 0 & s_{34} \\ s_{14} & 0 & s_{34} & 0 \end{bmatrix}$$



$$s_{13}^* \left(|s_{14}|^2 - |s_{23}|^2 \right) = 0$$

2 ème solution : $|s_{14}| = |s_{23}|$

Choix des plans de référence: $s_{14} = s_{23} = j\beta$

$$|s_{12}|^2 + |s_{13}|^2 + |s_{14}|^2 = 1 \quad (\text{ligne 1 x colonne 1})$$

$$|s_{13}|^2 + |s_{23}|^2 + |s_{34}|^2 = 1 \quad (\text{ligne 3 x colonne 3})$$

Donc : $s_{12} = s_{34} = \alpha$ Avec le choix adéquat des plans de référence

2^{ème} solution

$$s_{12}^* s_{24} + s_{13}^* s_{34} = 0 = \alpha (s_{24} + s_{13}^*)$$

(ligne 1 x colonne 4)

$$s_{13}^* s_{14} + s_{23}^* s_{24} = 0 = \beta (s_{13}^* - s_{24})$$

(ligne 3 x colonne 4)

$$\alpha = 0, \beta = 0$$

$$s_{13} = s_{24} = 0$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & s_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{24} \\ s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{24} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{12} & 0 & s_{14} \\ s_{12} & 0 & s_{23} & 0 \\ 0 & s_{23} & 0 & s_{34} \\ s_{14} & 0 & s_{34} & 0 \end{bmatrix}$$

Coupleur idéal

$$\begin{bmatrix} 0 & s_{12}^* & 0 & s_{14}^* \\ s_{12}^* & 0 & s_{23}^* & 0 \\ 0 & s_{23}^* & 0 & s_{34}^* \\ s_{14}^* & 0 & s_{34}^* & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & s_{12} & 0 & s_{14} \\ s_{12} & 0 & s_{23} & 0 \\ 0 & s_{23} & 0 & s_{34} \\ s_{14} & 0 & s_{34} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$|s_{12}|^2 + |s_{14}|^2 = 1$$

$$s_{12} s_{23}^* + s_{14} s_{34}^* = 0$$

$$|s_{12}|^2 + |s_{23}|^2 = 1$$

$$s_{12} s_{14}^* + s_{23} s_{34}^* = 0$$

$$|s_{23}|^2 + |s_{34}|^2 = 1$$

$$|s_{14}|^2 + |s_{34}|^2 = 1$$

Coupleur idéal

$$|s_{12}| = |s_{34}| = \alpha$$

$$|s_{14}| = |s_{23}| = \beta$$

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1$$

$$s_{12} = \alpha e^{j\varphi}$$

$$s_{34} = \alpha e^{j\eta}$$

$$s_{14} = \beta e^{j\psi}$$

$$s_{23} = \beta e^{j\theta}$$

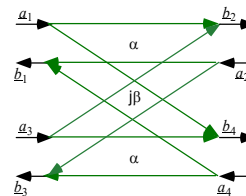
avec $(\varphi + \eta) = \pi + (\psi + \theta) + 2n\pi$

et $\alpha > \beta$ Par convention

Coupleur symétrique

$$\psi = \theta = \pi/2$$

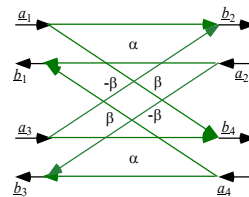
$$\begin{bmatrix} 0 & \alpha & 0 & j\beta \\ \alpha & 0 & j\beta & 0 \\ 0 & j\beta & 0 & \alpha \\ j\beta & 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix}$$



Coupleur antisymétrique

$$\psi = 0, \theta = \pi$$

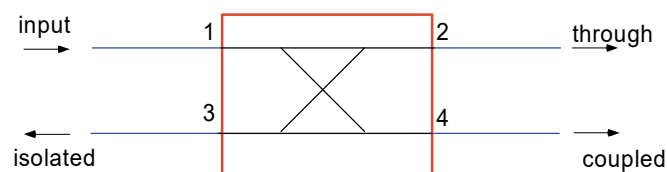
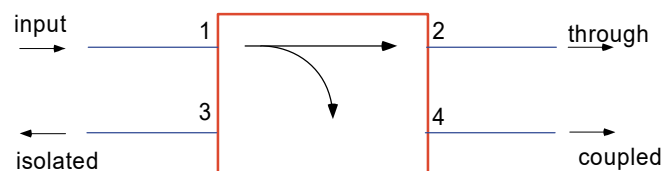
$$\begin{bmatrix} 0 & \alpha & 0 & \beta \\ \alpha & 0 & -\beta & 0 \\ 0 & -\beta & 0 & \alpha \\ \beta & 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix}$$



En résumé : coupleur idéal

Niveau de couplage : $LC = -20\log_{10} \beta$

Niveau d'atténuation : $LA = -20\log_{10} \alpha \quad \alpha \geq \beta$



Coupleur réel

- $\alpha \geq \beta$
- Atténuation : $LA = -20\log_{10} \alpha$
- Couplage : $LC = -20\log_{10} \beta$
- Isolation : $LI_{31} = -20\log_{10} |s_{31}|$
- Isolation : $LI_{24} = -20\log_{10} |s_{24}|$
- Directivité : $LD_{31} = LI_{31} - LC = -20\log_{10} |s_{31}|/\beta$
- Directivité : $LD_{24} = LI_{24} - LC = -20\log_{10} |s_{24}|/\beta$

Exemple

LC [dB]	β	α	LA[dB]
40	0.01	0.99995	0.0004
30	0.0316	0.9995	0.004
20	0.1	0.995	0.04
10	0.316	0.948	0.45
3	0.707	0.707	3

Directivité : mesure de la qualité

- Coupleur hybride microruban: 30 dB
- Coupleur en guide d'onde à trous multiples: 40 dB
- Coupleur en guide d'onde de métrologie: 50-60 dB

exemple : Coupleur 10 dB en guide d'onde (bande X)



