

Chapitre 2

Exemples de multiples

w

2.1. Les dipôles

2.1.1. Matrice S

Elle se réduit à un seul élément qui n'est rien d'autre que le coefficient de réflexion.

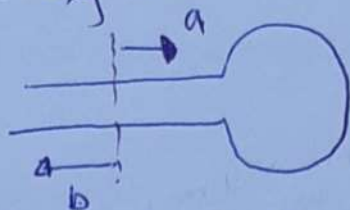


Figure 2.1 Représentation générale d'un dipôle.

Par définition, le coefficient de réflexion d'un tel dipôle s'écrit:

$$\Gamma_L = \frac{b}{a} \quad (2-1)$$

2.1.2 Premier exemple de dipôle : la charge adaptée

2.1.2.1. Définition

C'est un composant micro-onde qui absorbe toute l'énergie incidente et ne réfléchit donc aucune énergie ($b=0$). Le coefficient de réflexion d'une telle charge est donc nul.

2.1.2.2. Constitution

$$\Gamma_L = 0 \quad (2-2)$$

La nature de la charge adaptée dépend du support de transmission.

a. Adaptation d'une ligne de transmission TEM ou quasi-TEM

Elle se fait en plaçant à l'extrémité de celle-ci une charge égale à l'impédance caractéristique de la ligne.

b. Adaptation d'un guide d'onde

Pour ce type de support, la charge adaptée est réalisée à partir d'un guide à pertes suffisamment long. En général, on utilise le même guide à l'intérieur duquel on introduit un diélectrique ayant un très grand pouvoir d'absorption électromagnétique. (93)

Pour obtenir un minimum de réflexions entre le guide vide et le guide chargé, on réalise une transition progressive.

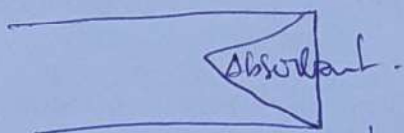


Figure 2.2: Représentation d'une charge, à l'extrémité utilisée dans les guides d'ondes.

2.1.3. Deuxième exemple de dipôle: Le Court-circuit

2.1.3.1. Définition

C'est un composant qui réfléchit toute l'énergie incidente

$$P^+ = P^- \Rightarrow |a| = |b|$$

Cette relation implique que le module du coefficient de réflexion de ce dipôle est unitaire.

$$|\Gamma_L| = 1$$

Dans ces conditions, le coefficient de réflexion, déterminé par rapport à un plan de référence quelconque, s'écrit:

$$\Gamma_L = e^{j2\beta L} \quad (1-3)$$

Remarques

La phase $2\beta L$ ne dépend que du choix du plan de référence.

1.1.3.2. Constitution: Il existe, en MO, 2 types de CC:

a. Courts-circuits fixes:

Ils sont constitués de plaques métalliques placées à l'extrémité du support de propagation (ligne ou guide). Les plaques doivent être bien ajustées dans la section et droite du guide et avoir un excellent contact avec le support.

b. Courts-circuits mobiles:

Le type de courts-circuits est utilisé dans les dispositifs d'adaptation à base de SUT.

2.2. Les quadripôles

Une attention particulière a été donnée à ce type de multipôle vu qu'il entre dans la constitution de la plupart des dispositifs micro-ondes. Nous citerons,

pour exemple, les atténuateurs, les isolateurs, les déphaseurs, les amplificateurs, etc...

2.2.1 Matrice [S] et signification de ses éléments

Un quadripôle est un dispositif à deux accès. Sur chaque accès est défini un plan de référence par rapport auquel seront déterminés les paramètres S.

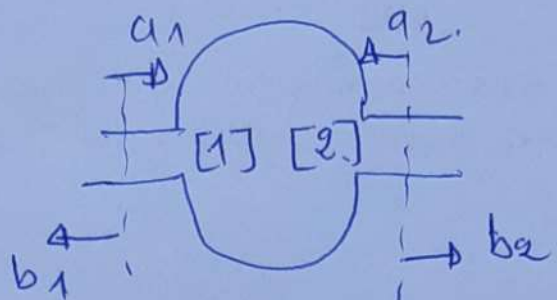


Figure 2-3: Représentation d'un quadripôle avec ses plans de références.

La matrice [S] d'un quadripôle quelconque s'écrit:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

Pour calculer les paramètres S_{jk} , il faut procéder en deux étapes:

- Adapter l'accès N°2 ($a_2 = 0$)

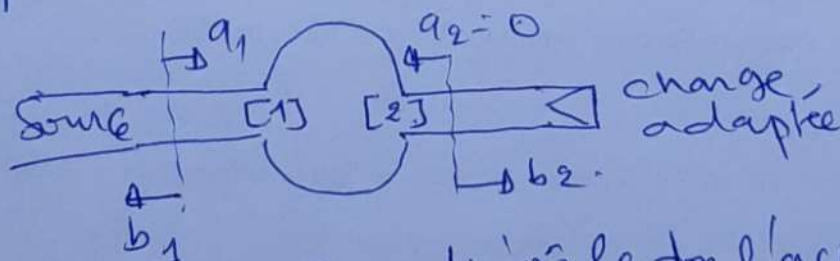


Figure 2.4: Quadripôle dont l'accès N°2 est adapté

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0}$$

Si les accès 1 et 2 représentent respectivement l'entrée et la sortie du quadripôle, le calcul des différentes puissances

mise en jeu donne:

- Puissance incidente: $P_1^+ = \frac{|a_1|^2}{Z}$
- Puissance réfléchi: $P_1^- = \frac{|b_1|^2}{Z} = |S_{11}|^2 \cdot \frac{|a_1|^2}{Z}$
- Puissance transmise: $P_2^- = \frac{|b_2|^2}{Z} = |S_{21}|^2 \cdot \frac{|a_1|^2}{Z}$

Ces trois puissances permettent de déterminer:

$$|S_{11}|^2 = \frac{P_1^-}{P_1^+} \quad (2-5)$$

$$|S_{21}|^2 = \frac{P_2^-}{P_1^+}$$

- Adaptions l'accès n° 1 ($a_1=0$)

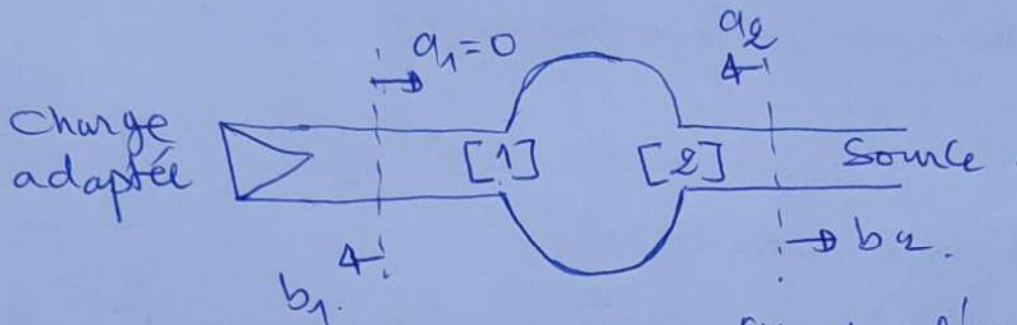


Figure 2.5 : Quadripôle dont l'accès n° 1 est adapté.

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0}$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0}$$

Les résultats obtenus précédemment sont également valables, il suffit d'intervertir les indices 1 et 2.

$$|S_{22}|^2 = \frac{P_2^-}{P_2^+} \quad (2-6)$$

$$|S_{12}|^2 = \frac{P_1^-}{P_2^+}$$

Enfinement:

- S_{jj} est le coefficient de réflexion de l'accès j lorsque l'autre accès est parfaitement adapté. Son module au carré représente le Coefficient de réflexion en puissance de l'accès j lorsque l'autre accès est parfaitement adapté.

- S_{jk} est le coefficient de transmission de l'onde du $k^{\text{ième}}$ accès vers le $j^{\text{ième}}$ accès lorsque l'accès j est parfaitement adapté. Son module au carré représente le coefficient de transmission en puissance de l'accès k vers l'accès j lorsque l'accès j est parfaitement adapté.

2.2.2. Quadrupôle chargé par un dipôle

Soit un quadrupôle chargé à un de ses accès par une charge quelconque (dipôle).

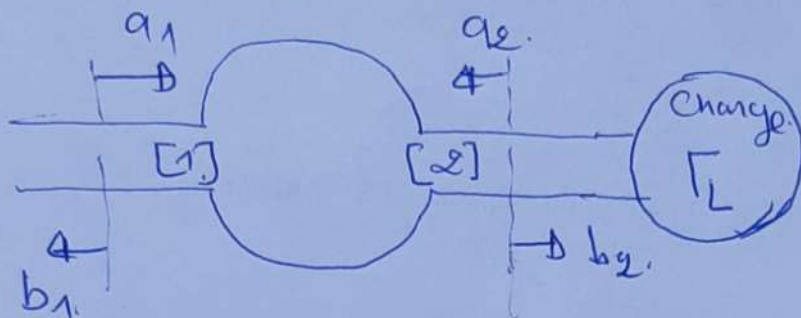


Figure 2.6: Quadrupôle chargé par un dipôle.

Déterminons les paramètres caractéristiques de ce nouveau dispositif.

- Coefficient de réflexion (Γ_L) du dipôle:

$$\Gamma_L = \frac{a_2}{b_2}$$

- Paramètre S du quadrupôle:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

En remplaçant dans ces deux dernières équations, a_2 par son expression donnée en fonction de la charge, nous obtenons:

$$b_1 = \left(S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \right) a_1 \quad (2-7)$$

Cette relation montre qu'un quadrupôle chargé par un dipôle est équivalent à un dipôle de coefficient de réflexion Γ_{in} :

$$\Gamma_{in} = \frac{b_1}{a_1} = S_{11} + \frac{S_{12} \cdot S_{21} \Gamma_L}{1 - S_{22} \Gamma_L} \quad (2-8)$$

2.2.3. Quadripôle sans pertes

Les éléments de la matrice $[S]$ d'un quadripôle sans pertes (unitaire) sont donnés par la relation suivante:

$$\sum_{m=1}^2 S_{mj} S_{mk}^* = \delta_{jk}$$

Le développement de cette relation donne le système suivant:

$$\begin{aligned} |S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 &= 1 \\ |S_{12}|^2 + |S_{22}|^2 &= 1 \\ S_{11} \cdot S_{12}^* + S_{21} \cdot S_{22}^* &= 0 \end{aligned} \quad (2-9)$$

A partir de ces relations, nous pouvons écrire:

$$|S_{21}| = \sqrt{1 - |S_{11}|^2}$$

$$|S_{12}| = \sqrt{1 - |S_{22}|^2}$$

$$|S_{11}| e^{j\phi_{11}} \cdot \sqrt{1 - |S_{22}|^2} e^{-j\phi_{12}} + |S_{22}| e^{-j\phi_{22}} \sqrt{1 - |S_{11}|^2} e^{j\phi_{21}} = 0$$

L'égalisation, entre elles, des parties réelles et des parties imaginaires donne:

$$|S_{11}| \sqrt{1 - |S_{22}|^2} = |S_{22}| \sqrt{1 - |S_{11}|^2} \Rightarrow |S_{11}| = |S_{22}|$$

$$\phi_{11} - \phi_{12} = -\phi_{22} + \phi_{21} + (2m+1)\pi$$

Dans ces conditions la matrice $[S]$ d'un quadripôle sans pertes s'écrit:

$$[S] = \begin{bmatrix} |S_{11}| e^{j\phi_{11}} & \sqrt{1 - |S_{11}|^2} e^{j\phi_{12}} \\ -\sqrt{1 - |S_{11}|^2} e^{j(\phi_{11} + \phi_{22} - \phi_{12})} & |S_{11}| e^{j\phi_{22}} \end{bmatrix}$$

Donc, pour déterminer le comportement d'un tel quadripôle il suffit de connaître quatre paramètres ($|S_{11}|, \phi_{11}, \phi_{22}, \phi_{12}$) au lieu de huit. Cependant, grâce à un choix judicieux des plans de références, il est possible d'annuler les phases des coefficients de réflexion. Dans ces conditions on ne dispose que de deux inconnus. (28)

2.2.4. Quadripôle réciproque sans pertes

- Quadripôle sans pertes: $\phi_{11} - \phi_{12} = -\phi_{22} + \phi_{21} + (2m+1)\pi$
- Quadripôle réciproque: $\phi_{12} = \phi_{21}$

Alors à partir de ces deux relations,

$$\phi_{12} = \phi_{21} = \frac{\phi_{11} + \phi_{22}}{2} - \frac{(2m+1)\pi}{2} \rightarrow$$

$$e^{j\phi_{12}} = e^{j\phi_{21}} = \pm j \cdot e^{j(\phi_{11} + \phi_{22})/2}$$

La matrice $[S]$ d'un quadripôle réciproque sans pertes s'écrit:

$$[S] = \begin{bmatrix} |S_{11}| e^{j\phi_{11}} & \pm j \sqrt{1 - |S_{11}|^2} e^{j(\phi_{11} + \phi_{22})/2} \\ \pm j \sqrt{1 - |S_{11}|^2} e^{j(\phi_{11} + \phi_{22})/2} & |S_{22}| e^{j\phi_{22}} \end{bmatrix}$$

Le comportement d'un tel quadripôle est parfaitement déterminé grâce à la connaissance de trois paramètres ($|S_{11}|$, ϕ_{11} , et ϕ_{22}) dont deux peuvent être nul grâce au choix des plans de référence.

2.2.5. Quadripôles mis en cascade

Dans le cas où plusieurs quadripôles sont placés en cascade, il est judicieux de travailler avec la matrice de transfert $[T]$. Cette matrice s'obtient en exprimant les ondes à l'entrée du quadripôle en fonction des ondes à sa sortie.

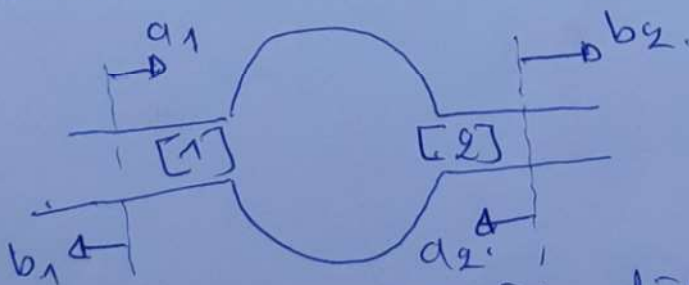


Figure 2.7: Quadripôle défini à partir de sa matrice de transfert.

$$a_1 = Z_{11}b_1 + Z_{12}a_2$$

$$b_1 = Z_{21}b_2 + Z_{22}a_2$$

La matrice de transfert du quadripôle équivalent à l'ensemble des quadripôles en cascade s'obtient en faisant le produit des matrices de transfert de chaque quadripôle. Il est important de respecter l'ordre d'apparition des quadripôles.

2.2.6 Exemples de quadripôles

2.2.6.1 Tronçon de ligne

Soit à déterminer la matrice $[S]$ d'une ligne de longueur d .

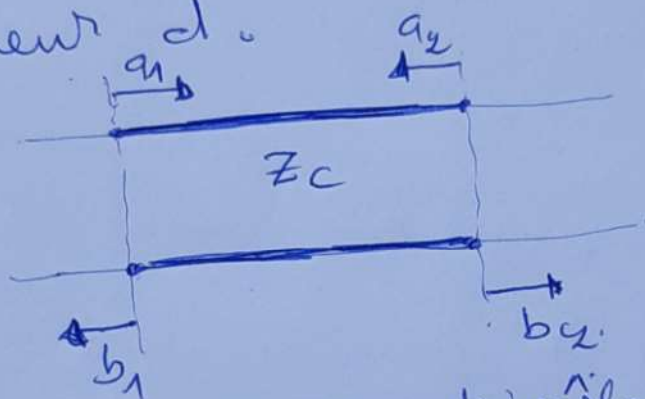


Figure 2.8: Quadripôle formé par un tronçon de ligne.

Sachant que la direction des axes de propagation est la même que celle des ondes entrantes, les relations suivantes peuvent être alors écrites:

$$b_1 = a_2 e^{-\gamma d} \quad \text{avec } \gamma = \alpha + j\beta$$

$$b_2 = a_1 e^{-\gamma d}$$

Ces relations conduisent à la matrice $[S]$ suivante:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-\gamma d} \\ e^{-\gamma d} & 0 \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

Cette matrice montre qu'une ligne de longueur d est un quadripôle réciproque dont les axes sont parfaitement adaptés.

2.2.6.2. Atténuateur.

a - Matrice [S].

Il est constitué par un quadripôle réciproque qui, placé entre le générateur et un autre dispositif micro-onde, atténue l'onde incidente sans produire de réflexion. L'énergie atténuée doit être totalement dissipée dans le quadripôle.

- Quadripôle réciproque: $S_{12} = S_{21}$
- Accès adaptés: $S_{11} = S_{22} = 0$.
- Matériau dissipatif: $S_{12} = \bar{e}^\alpha \bar{e}^{-j\theta}$

La matrice [S] d'un atténuateur est du même type que celle de ligne à pertes.

b - Caractérisation

Un atténuateur est parfaitement déterminé si on connaît son coefficient de transmission qui se définit comme étant le rapport entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie.

- Puissance d'entrée $P_{in1} = P_1 = \frac{|a_1|^2}{2}$

- Puissance de sortie: $P_{out2} = P_2 = \frac{|b_2|^2}{2} = \frac{|S_{21}|^2 |a_1|^2}{2}$

Dans ces conditions, le coefficient d'atténuation s'écrit:

$$A = \frac{P_{in1}}{P_{out2}} = \frac{1}{|S_{21}|^2}$$

En général, le coefficient d'atténuation se exprime en dB par la relation suivante:

$$A(\text{dB}) = 10 \text{Log}(A) = -20 \text{Log} |S_{21}| \quad (2-11)$$

La puissance qui traverse l'atténuateur ne doit pas être réfléchi par les accès. Pour cela, il est nécessaire d'introduire, dans ce type de quadripôle, un matériau dissipatif conduisant à la (31) relation suivante:

$$|S_{21}| = e^{-\alpha}$$

(2-12)

Selon l'expression de α , les atténuateurs sont classés en deux types :

- Les atténuateurs fixes ($\alpha = \text{constante}$).
- Les atténuateurs variables ($\alpha = \text{variable}$).

c. Constitution

* Atténuateur en ligne coaxiale : Il est réalisé en déposant une couche de matériau absorbant sur le conducteur central.

* Atténuateur en guide d'ondes : Il est constitué d'un guide (mode fondamental) dans lequel on introduit une lame dissipatrice qui absorbe une partie de la puissance incidente.

Il est utile de rappeler que, dans le cas d'un guide rectangulaire, le mode fondamental est maximum au milieu de la face large alors qu'il est nul sur les surfaces étroites.

Dans les atténuateurs en guide, il existe plusieurs types parmi lesquels nous citerons :

- Atténuateur à lame plongeante.

Une lame dissipatrice pénètre dans un guide d'ondes rectangulaire, à travers une fente longitudinale réalisée au milieu de la face large du guide. Cette lame doit introduire un coefficient de réflexion minimum.



Figure 2.9: Atténuateur à lame plongeante.

La profondeur de pénétration de la lame dans le guide permet de régler le coefficient d'atténuation et d'étalonner l'atténuateur.

- Atténuateur à lame dissipatrice se déplace dans le plan H.

L'atténuation produite est directement liée à l'amplitude du champ électrique au niveau de la lame dissipatrice.

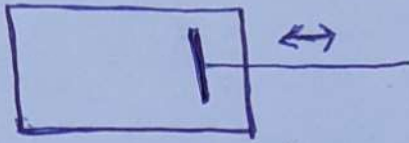


Figure 2.10: Atténuateur à lame dissipatrice.

L'atténuation est minimale lorsque la lame est au voisinage des faces étroites (Champ électrique minimum). Elle est maximum lorsque la lame est placée au milieu de la face large (Champ électrique maximum).

- Atténuateur rotatif de précision

Il est réalisé à partir d'un tronçon de guide Circulaire (mode fondamental TE_{11}) inséré entre deux guides rectangulaires (mode fondamental TE_{10}).

L'atténuation est obtenue à cause de la présence d'une lame résistive tournante placée dans le guide Circulaire.

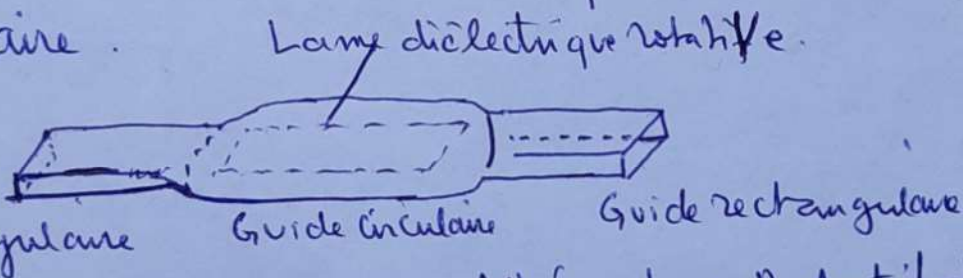


Figure 2.11: Atténuateur Rotatif de précision.

Au cours de sa propagation, le mode TE_{10} (guide d'onde rectangulaire) traverse une transition qui le convertit en mode TE_{11} (guide d'onde circulaire). Ce mode se propage dans le guide Circulaire avec une certaine atténuation puis il est de nouveau converti en mode TE_{10} .

La lame résistive qui se trouve dans le guide circulaire peut tourner autour de l'axe du guide. L'atténuation produite dépend de l'angle θ formé par le champ \vec{E} et le plan de la lame.

Atténuateur en guide

Il est réalisé à partir d'un guide fonctionnant sous la coupure, l'énergie incidente est dans ce cas réfléchie au lieu d'être absorbée.

2.2.6.3 Déphaseur

Le déphaseur est un dispositif qui sert à modifier la phase d'un signal avec un minimum d'atténuation. Il est surtout employé pour mesurer le déphasage introduit par les composants.

Il peut être réalisé de la même manière qu'un atténuateur. Dans ce cas la lame dissipative doit être remplacée par une lame à très faibles pertes.

- Accès adaptés : $S_{11} = S_{22} = 0$
- Réciprocité : $S_{12} = S_{21}$
- Pas de pertes : $|S_{12}| = 1$

Dans le cas d'un déphaseur réciproque idéal, aucune énergie n'est réfléchie et de plus, les pertes d'insertion ne doivent pas exister. Ces conditions conduisent à écrire la matrice $[S]$ suivante:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\phi} \\ e^{j\phi} & 0 \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

Cette relation montre qu'un déphaseur réciproque peut être obtenu à partir d'une ligne sans pertes.

2.2.6.4 Isolateur

C'est un dispositif non réciproque qui, placé entre un générateur et une charge quelconque, laisse passer toute la puissance fournie par le générateur

et bloque toute la puissance réfléchi e par la charge.
 Lorsque l'isolateur est parfait, ses deux accès sont adaptés.

L'isolateur est constitué d'un quadripôle dans lequel on introduit un matériau anisotrope (Ferrite soumise à un champ magnétique statique).

- Accès adaptés : $S_{11} = S_{22} = 0$
- Transmission totale : $(1 \rightarrow 2) : |S_{21}| = 1$
- Transmission nulle : $(2 \rightarrow 1) : |S_{12}| = 0$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -j\theta & 0 \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

En pratique le Coefficient S_{12} n'est pas nul ce qui permet de définir un Coefficient d'isolation par la relation suivante :

$$I \text{ (dB)} = -20 \log_{10} |S_{12}|$$

2.3 Les Hexapôles

Ce sont des dispositifs à 3 accès, ils sont généralement constitués de guides d'ondes rectangulaire dans lesquels se propage le mode fondamental (TE_{10}).

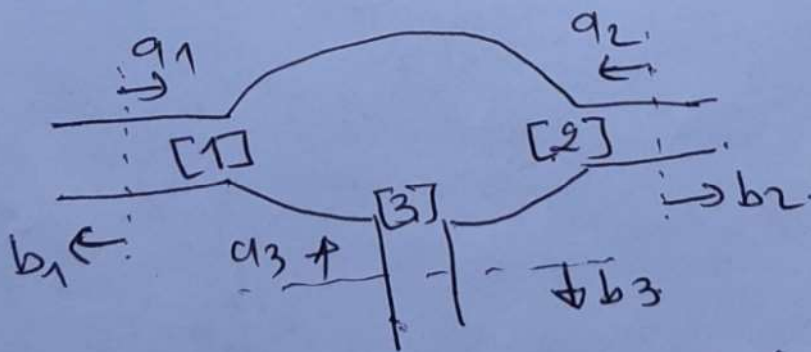


Figure 2.17 : Représentation générale d'un hexapôle.

3.3.1 Hexapôle réciproque sans pertes

3.3.1.1 Théorème

Un hexapôle réciproque sans pertes ne peut jamais être adapté à ces trois accès.

3.3.1.2. Démonstration

La démonstration se fait par l'absurde, pour cela soit un hexapôle réciproque sans pertes et dont les trois accès sont parfaitement adaptés. La matrice $[S]$ d'un tel hexapôle peut alors s'écrire:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & 0 & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & 0 \end{bmatrix}$$

L'application de la relation (1-24), valable pour un multipôle réciproque sans pertes, permet d'établir un certain nombre de relations.

$$\left. \begin{array}{l} |S_{12}|^2 + |S_{13}|^2 = 1 \\ |S_{12}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \\ |S_{13}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow |S_{12}| = |S_{13}| = |S_{23}|$$

$$S_{13} \cdot S_{23}^* = 0 \Rightarrow |S_{13}| \cdot |S_{23}| e^{j(\phi_{13} - \phi_{23})} = 0 \Rightarrow |S_{13}| = |S_{23}| = 0$$

Dans ces conditions, la seule solution possible correspond à une matrice $[S]$ nulle.

3.3.2 Hexapôle non réciproque sans pertes

Contrairement aux hexapôles réciproque sans pertes, ce type de dispositif peut parfaitement être adapté à ces trois accès. La non-réciprocité provient de l'introduction dans la jonction d'un matériau anisotrope.

3.3.3 Exemples d'hexapôles

Il existe principalement deux types d'hexapôle:

- Les hexapôles en "T"
- Les hexapôles en "Y".

2.3.3.1 Hexapôle en "T"

C'est un hexapôle réalisé à partir d'un guide principal sur lequel a été greffé perpendiculairement un autre guide. Généralement ces deux guides ~~et peuvent être~~ sont identiques et peuvent être assemblés de deux manières différentes.

a- Hexapôle "T" plan E

C'est un hexapôle pour lequel les faces étroites des deux guides sont coplanaires. Dans ce cas, les plans de polarisation (\vec{E} et \vec{u}_z) sont communs aux trois accès.

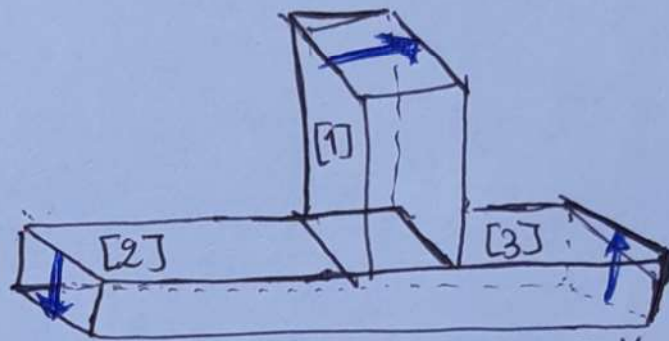


Figure 2.18 : Hexapôle "T" plan E.

Du fait de la symétrie géométrique de l'hexapôle, l'énergie qui se propage dans l'accès [1] se divise en deux parties égales. De plus les champs électriques dans les accès [2] et [3] seront opposés en phase.

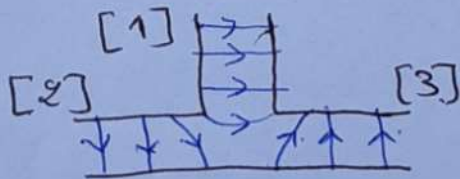


Figure 2.19 : Représentation du champ électrique (Plan E).

Dans ces conditions, nous pouvons écrire que :

$$\begin{aligned} S_{22} &= S_{33} \\ S_{21} &= -S_{31} \end{aligned} \quad (2-15)$$

b- Hexapôle "T" plan H

Pour ce type d'hexapôle, les faces larges sont contenues dans le même plan. $\textcircled{37}$ qui est parallèle au plan H

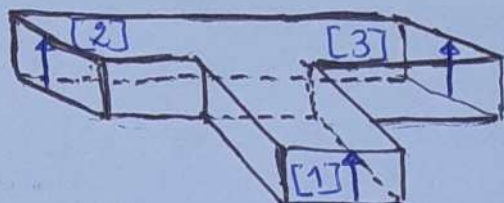


Figure 2.20: Hexapôle "T" plan H.

Du fait de la symétrie de l'hexapôle, l'énergie qui se propage dans l'accès [1] se divise en deux parties égales. De plus les champs électriques dans les accès [2] et [3] seront en phase.

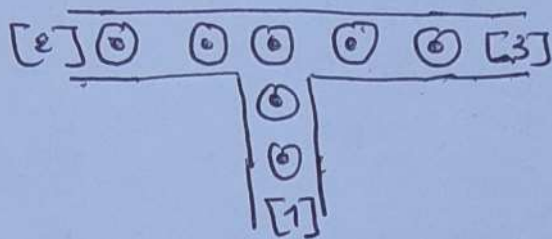


Figure 2.21: Représentation du champ électrique (Plan H).

Dans ces conditions, nous pouvons écrire que:

$$S_{22} = S_{33} \quad (2-16)$$

$$S_{21} = S_{31}$$

2.3.3.2 Circulateur

a - Constitution

Un circulateur est en général, réalisé à partir d'un hexapôle en "Y" dans lequel a été introduit, sur son axe de révolution, un petit cylindre de ferrite (matériau anisotrope).

L'application d'une induction magnétique, le long de l'axe du cylindre, permet de créer le phénomène de non-réciprocité. En agissant sur les dimensions du guide ainsi que sur l'intensité de l'induction magnétique, il est possible d'adapter les trois accès.

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0 \quad (2-17)$$

Dans ces conditions, la matrice [S] s'écrit:

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

L'hexapole étant sans pertes, l'utilisation de la relation (5-22) donne:

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

$$S_{31} \cdot S_{32}^* = 0$$

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

$$S_{21} \cdot S_{23}^* = 0$$

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

$$S_{12} \cdot S_{13}^* = 0$$

En supposant qu'il n'y ait aucune transmission d'énergie ($S_{31} = 0$) entre l'accès [1] et [3], il est possible d'écrire:

$$S_{31} = 0 \Rightarrow |S_{21}| = 1 \Rightarrow S_{21} = e^{j\phi_{21}} \Rightarrow$$

$$S_{23} = 0 \Rightarrow |S_{13}| = 1 \Rightarrow S_{13} = e^{j\phi_{13}} \Rightarrow$$

$$S_{12} = 0 \Rightarrow |S_{32}| = 1 \Rightarrow S_{32} = e^{j\phi_{32}}$$

ce qui induit à écrire la matrice suivante:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & e^{j\phi_{13}} \\ e^{j\phi_{21}} & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_{32}} & 0 \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

Grâce à un choix judicieux des plans de référence il est possible d'annuler la phase des différents coefficients S_{13} , S_{21} et S_{32} .

Dans ces conditions, la nouvelle matrice $[S]$ s'écrit:

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

b. Fonctionnement

A partir de la matrice ci-dessus, il est possible d'expliquer le fonctionnement d'un tel dispositif.

Sachant que $|S_{13}| = |S_{21}| = |S_{32}| = 1$ et compte tenu de la définition des paramètres S_{jk} alors:

- $|S_{13}| = 1 \Rightarrow$ Toute la puissance qui pénètre par l'accès [3] est totalement transmise vers l'accès [1].

- $|S_{32}| = 1 \Rightarrow$ Toute la puissance qui pénètre de l'accès [2] est totalement transmise vers l'accès [3].
- $|S_{21}| = 1 \Rightarrow$ Toute la puissance qui pénètre de l'accès [1] est totalement transmise vers l'accès [2].

C. Exemple d'utilisation

• Atténuateur Commandé par diode PIN

Polarisée en direct, une diode PIN est équivalente à une résistance dont la valeur est fonction du courant de polarisation. Le contrôle du courant de polarisation permet de contrôler la résistance donc le coefficient de réflexion. Cet atténuateur peut être utilisé pour réaliser une commande automatique du gain (C.A.G.).

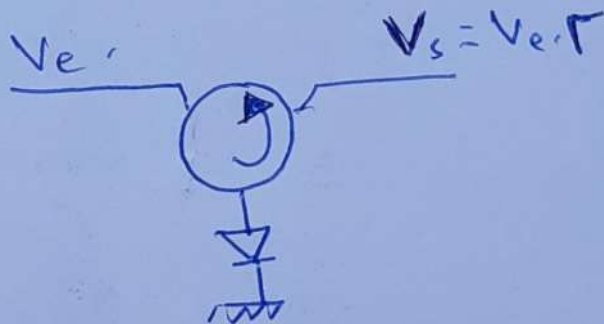


Figure 2-22: Atténuateur Commandé par diode PIN.

• Duplexage de voie

Les propriétés directionnelles de ce composant permettent de multiples applications en micro-ondes telles que le découplage de l'émetteur et du récepteur lorsqu'ils utilisent la même antenne.

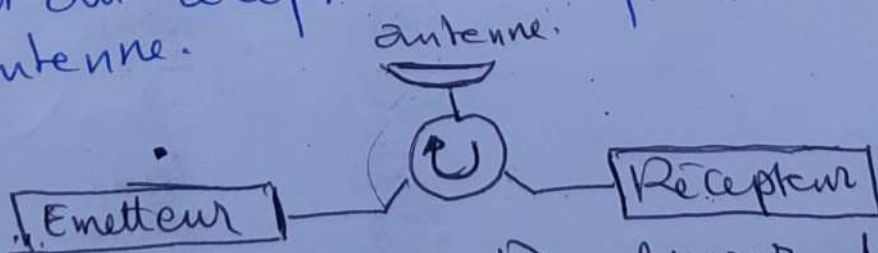


Figure 2-23: Duplexeur de voies.

La puissance émise est transmise vers l'antenne avec une faible atténuation, dans ce cas, le récepteur est protégé par l'isolation du circulateur.

A la réception, l'énergie recueillie par l'antenne est dirigée vers le récepteur sans interaction avec l'émetteur.

2.3.3.3. Duplexeur de polarisation

Le duplexeur de polarisation (Transducteur de modes orthogonaux) est un dispositif réciproque à trois accès.

Il permet, à l'émission, de transmettre sur le même support de propagation, deux ondes de polarisation rectiligne croisée. A la réception, ce dispositif permet la séparation de ces deux polarisations (verticale et horizontale).

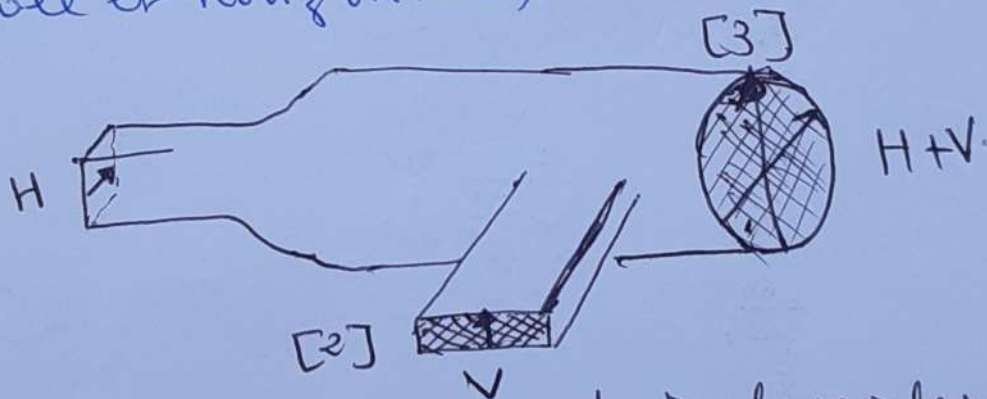


Figure 2.24: Transducteur de modes orthogonaux. Polarisation horizontale [1] verticale [2] et croisée [3]

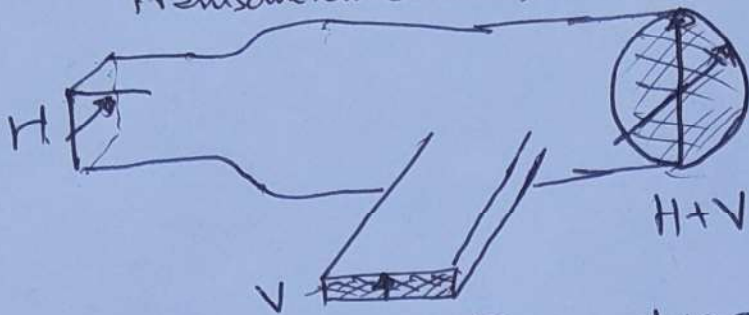
Ce composant est souvent utilisé en faisceaux horizontaux lorsque l'émission se fait en polarisation rectiligne croisée (polarisation orthogonale).

2.3.3.4. Convertisseur de polarisation

Le convertisseur de polarisation (rectiligne orthogonale en polarisation ~~verticale~~ circulaire) peut être obtenu en reliant la sortie du transducteur de modes (polarisation croisée) à l'entrée du duplexeur de polarisation.

Cette disposition permet donc de créer une polarisation circulaire à partir de deux polarisations rectilignes croisées. Il est utilisé en communications spatiales ou que les ondes utilisées sont souvent polarisées circulairement.

Transducteur de modes orthogonaux



Empilement de polarisation

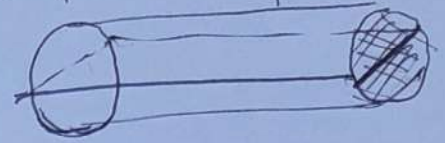


Figure 2.25: Convertisseur de polarisation rectiligne orthogonale en polarisation circulaire.

2-4. Les Octopôles

Ce sont des multipôles qui assurent le plus souvent des fonctions de couplage. Deux types de coupleurs seront étudiés ici.

2.4.1. Coupleur "T" hybride

Il est réalisé à partir d'un assemblage de deux hexapôles en "T" (Plan E et plan H). Sur chaque accès, on suppose qu'il ne se propage que le mode fondamental (TE_{10}).

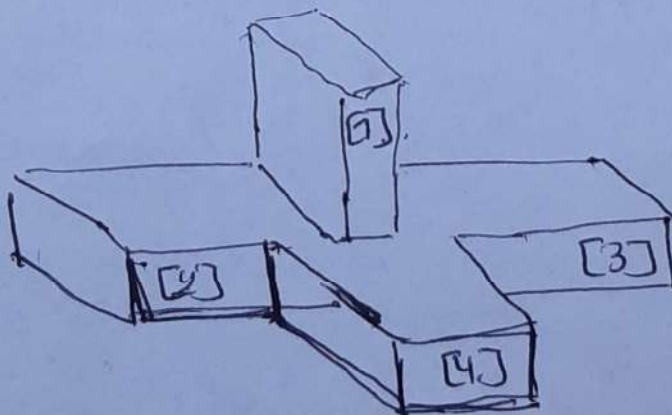


Figure 2.26: Représentation d'un "T" hybride.

Le "T" hybride est un octopôle sans pertes, pour étudier ce type de multipôle, il faut supposer que les accès [2] et [3] ont les mêmes dimensions

$$S_{22} = S_{33} \quad \text{Symétrie géométrique.}$$

$$S_{21} = -S_{31} \quad \text{"T" plan E}$$

$$S_{24} = S_{34} \quad \text{"T" plan H.}$$

$$S_{41} = 0 \quad \text{accès [1] et [4] de Complex'}$$

En retenant que de la réciprocité et de la symétrie géométrique, la matrice [S] s'écrit:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & -S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ -S_{12} & S_{23} & S_{22} & S_{24} \\ 0 & S_{24} & S_{24} & S_{44} \end{bmatrix} \quad (2-19)$$

on remarque que cette matrice ne contient que six éléments complexes ($S_{11}, S_{22}, S_{44}, S_{12}, S_{23}$ et S_{24})

2-4-2. Coupleur "T" magique.

Le "T" magique est un octopôle sans pertes constitué d'un "T" hybride dont les 4 accès sont parfaitement adaptés.

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = 0 \quad (2-20)$$

ce qui conduit à la matrice suivante qui est

unitaire:

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & -S_{12} & 0 \\ S_{12} & 0 & S_{23} & S_{24} \\ -S_{12} & S_{23} & 0 & S_{24} \\ 0 & S_{24} & S_{24} & 0 \end{bmatrix} \quad (2-21)$$

ce qui conduit à écrire:

$$\left. \begin{array}{l} 2. |s_{12}|^2 = 1 \\ 2. |s_{24}|^2 = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow |s_{12}| = |s_{24}| = 1/\sqrt{2}$$

$$|s_{12}|^2 + |s_{23}|^2 + |s_{24}|^2 = 1 \Rightarrow |s_{23}| = 0$$

La dernière relation montre que les accès [2] et [3] sont parfaitement découplés.

Grâce à un choix judicieux des plans de référence (β_2 et β_3 doivent conserver la symétrie géométrique) il est possible de rendre les paramètres s_{ijk} purement réels. Dans ces conditions la nouvelle matrice [S] s'écrit:

$$[S] = 1/\sqrt{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2-22)$$

Le développement de cette matrice permet d'avoir un système de 4 équations:

$$b_1 = \frac{a_2 - a_3}{\sqrt{2}}$$

$$b_2 = \frac{a_1 + a_4}{\sqrt{2}}$$

$$b_3 = \frac{a_4 - a_1}{\sqrt{2}}$$

$$b_4 = \frac{a_2 + a_3}{\sqrt{2}}$$

2.4.2.2. Fonctionnement

Onde incidente				Accès adaptés				Ondes transmises			
1	2	3	4	1	2	3	4	b_1	b_2	b_3	b_4
a_1	-	-	-	-	oui	oui	oui	0	$a_1/\sqrt{2}$	$-a_1/\sqrt{2}$	0
-	a_2	-	-	oui	-	oui	oui	$a_2/\sqrt{2}$	0	0	$a_2/\sqrt{2}$
-	-	a_3	-	oui	oui	-	oui	$-a_3/\sqrt{2}$	0	0	$a_3/\sqrt{2}$
-	-	-	a_4	oui	oui	oui	-	0	$a_4/\sqrt{2}$	$a_4/\sqrt{2}$	0

Tableau 2.1: Fonctionnement du "T" magique en division de puissance.

onde incidente				Accès adaptés				ondes transmises			
1	2	3	4	1	2	3	4	b_1	b_2	b_3	b_4
a_1	-	-	a_1	-	oui	oui	-	0	$a_1\sqrt{2}$	0	0
a_1	-	-	a_1	-	oui	oui	-	0	0	$-a_1\sqrt{2}$	0
-	a_2	a_2	-	oui	-	-	oui	0	0	0	$a_2\sqrt{2}$
-	a_2	a_2	-	oui	-	-	oui	$a_2\sqrt{2}$	0	0	0

Figure 2.2 : Fonctionnement du T magique en sommateur de puissance.

2.4.3 Application

Parmi les différentes applications, nous citerons celle du Radar dans laquelle le "T" magique permet de découpler l'émetteur du récepteur.

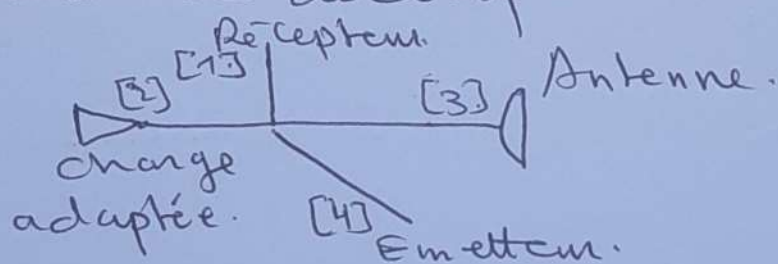


Figure 2-26: Duplexeur de voie utilisé dans certains radars.

2.4.3. Coupleur directif idéal.

Le coupleur directif est constitué de deux guides rectangulaires fonctionnant en mode fondamental (TE_{10}). Ces deux guides sont faiblement couplés à l'aide d'un certain nombre d'iris identiques régulièrement espacés d'une distance quart d'onde. Ces iris sont réalisés sur la face commune aux deux guides (face large).

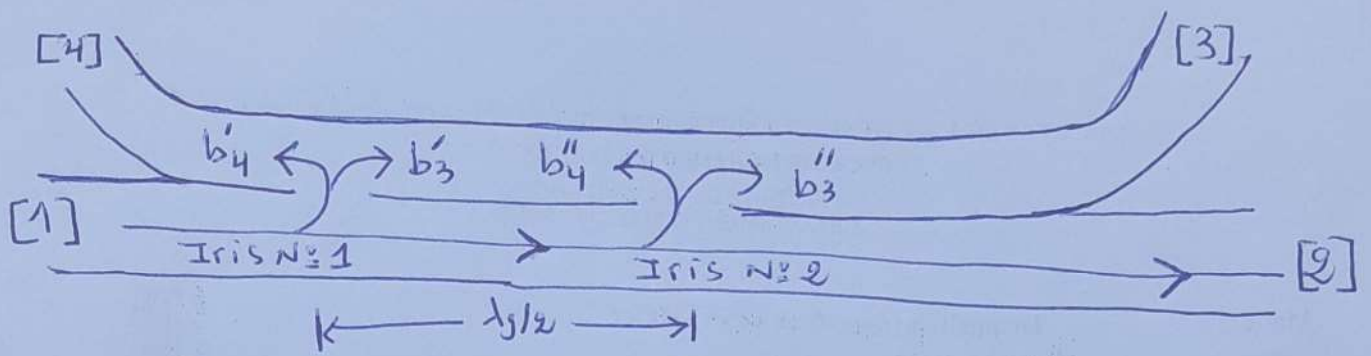


Figure 2.27. Coupleur directionnel:
Guide principal [1]-[2] et Guide secondaire [3]-[4].

Une onde incidente qui alimente l'accès [1] (guide principal) se propage vers l'accès [2]. Une partie, plus ou moins importante, de l'énergie incidente est couplée au guide secondaire à travers les différents iris.

Les faibles dimensions des iris font que ceux-ci rayonnent de manière non directive, conduisant ainsi, à la création de deux ondes dans les accès [3] et [4].

Dans le cas d'un coupleur à deux iris, l'onde incidente a_1 transfère une partie de son énergie dans le deuxième guide à travers les deux iris.

On désigne par :

- b_3' et b_4' les ondes transmises à travers l'iris N°1
- b_3'' et b_4'' les ondes transmises à travers l'iris N°2

Dans ces conditions, les ondes résultantes dans les accès [3] et [4] sont données par :

$$b_3 = b_3' + b_3''$$

$$b_4 = b_4' + b_4''$$

Par construction,

- Les ondes b_3' et b_3'' sont en phase car elles parcourent la même distance.
 - Les ondes b_4' et b_4'' sont opposées en phase puisqu'elles subissent une différence de marche de $\lambda g/2$.
- Dans ces conditions nous pouvons dire que les accès [1] et [4] sont totalement découplés.

Remarque

Le coupleur directif ne fonctionne que pour la bande de fréquence à laquelle il a été conçu. En effet, dans le cas où la fréquence du signal varie, la longueur d'onde guidée varie également et l'espacement entre iris ne correspond plus à la demie longueur d'onde.

2.4.3.2. Matrice S d'un coupleur directif idéal

Un coupleur est un dispositif réciproque qui, placé dans un montage ne doit réfléchir aucune énergie.

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = 0 \quad (2-23)$$

De plus, à cause de la symétrie de cet octopôle, les accès adjacents sont totalement découplés.

$$S_{14} = S_{23} = 0 \quad (2-24)$$

La matrice S s'écrit:



$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} & 0 \\ S_{12} & 0 & 0 & S_{24} \\ S_{13} & 0 & 0 & S_{34} \\ 0 & S_{24} & S_{34} & 0 \end{bmatrix} \quad (2-25)$$

2.4.3.3 Cas du coupleur directif réel

Le coupleur réel s'écarte plus ou moins du coupleur idéal par ses défauts de réalisation qui se traduisent par le fait que les accès adjacents ne sont pas parfaitement découplés.

$$S_{14} \neq 0$$

(2-26)

$$S_{23} \neq 0$$

Dans ces conditions, le coupleur est caractérisé par:

a. Coefficient de couplage

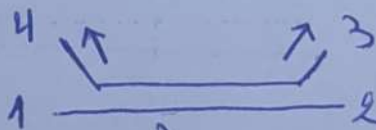
Il est défini comme étant le rapport entre la puissance incidente et la puissance transmise aux deuxièmes guides lorsque tous les accès sont adaptés.



$$C = 10 \log \frac{P_1}{P_3} = -20 \log |S_{13}| \quad (2-27)$$

b. Coefficient de directivité

Il renseigne sur le rapport entre les puissances transmises aux deux accès du guide secondaire.



$$D = 10 \log \frac{P_3}{P_4} = 20 \log \frac{|S_{13}|}{|S_{14}|} \quad (2-28)$$

c. Coefficient d'isolation

Il est relatif au découplage entre les ondes circulantes sur les accès adjacents.



$$I = 10 \log \frac{P_1}{P_4} = 20 \log \frac{1}{|S_{14}|} \quad (2-29)$$

$$I = C + D$$

2.4.3.4 Exemple d'utilisation: Reflectomètre

Soit un coupleur directif réel représenté par la figure suivante:

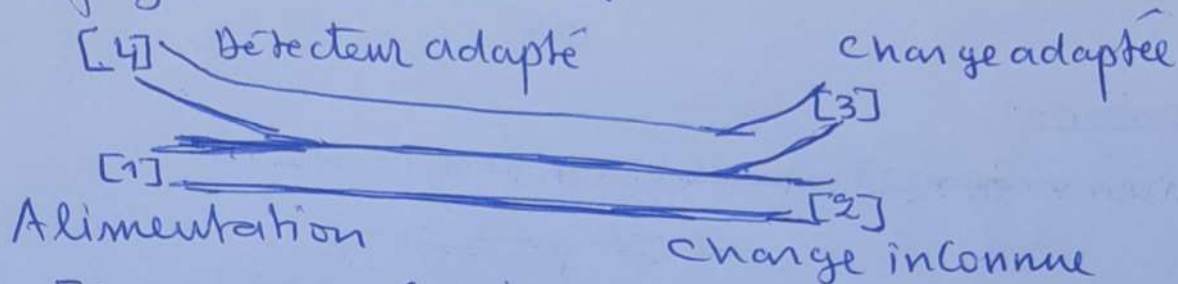


Figure 2.28: Schéma de principe du reflectomètre.

Pour comprendre le fonctionnement de ce dispositif, il faut déterminer les relations entre ondes entrante (b_j) et ~~sortante~~ sortantes (a_j) aux différents accès.

• Accès [2]

Cet accès est chargé par l'impédance inconnue à étudier. Son coefficient de réflexion est donné par:

$$\Gamma_2 = \frac{a_2}{b_2}$$

• Accès [3] et [4]

Ces deux accès sont adaptés et ne réfléchissent aucune énergie.

$$a_3 = a_4 = 0$$

Dans ces conditions, en tenant compte des relations précédentes et du fait que le coupleur est réel, alors:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & 0 & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & 0 & S_{34} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ b_2 \Gamma_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Donnent l'expression de l'onde détectée (b_4) en fonction de l'onde délivrée par le générateur (a_1).

$$b_4 = S_{14} a_1 + S_{24} b_2 \Gamma_2 = (S_{14} + S_{24} S_{12} \Gamma_2) a_1$$

La charge inconnue est remplacée par un court-circuit ($\Gamma_2 = -1$) puis l'expression de l'onde transmise (b_4'), est déterminée en fonction de l'onde délivrée par le générateur.

$$b_4' = (S_{14} - S_{24} S_{12}) a_1$$

$$\Rightarrow \frac{b_4}{b_4'} = \frac{S_{14} + S_{24} S_{12} \Gamma_2}{S_{14} - S_{24} S_{12}}$$

Pour mesurer le coefficient de réflexion d'une charge inconnue, il faut donc:

- Mesurer l'onde détectée pour la charge inconnue puis pour un court-circuit.
- Le coefficient de réflexion inconnu peut être déterminé à partir des paramètres S du coupleur et de la relation ci-dessus.

2.4.4. Commutateur en guide

Ils sont souvent utilisés dans les stations terrestres et permettent d'aiguiller le signal de l'équipement défaillant vers l'équipement de secours.

Ils sont utilisés aussi bien dans les émetteurs que dans les récepteurs.

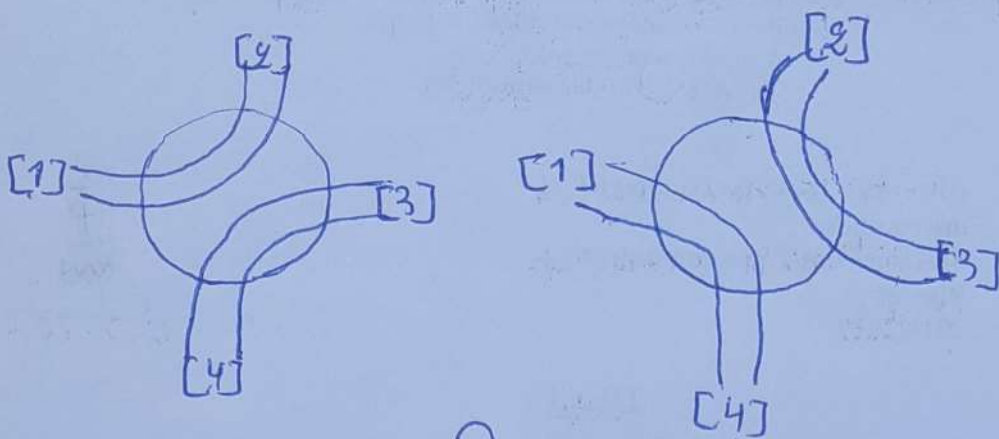


Figure 2.29: Commutateur en guide.

2.5 EXEMPLES DE DISPOSITIFS MICRO-ONDES

2.5.1 Multiplexeur

Ce dispositif est placé au niveau des équipements d'émission. Il permet de réaliser un multiplexage en fréquence des différents canaux de transmission. Il se comporte donc comme un sommateur de canaux.

Le multiplexeur est constitué d'un ensemble de cellules élémentaires, réalisées à partir d'un modulateur, d'un filtre passe-bande centré sur la porteuse du canal que l'on désire émettre et d'un circulateur.

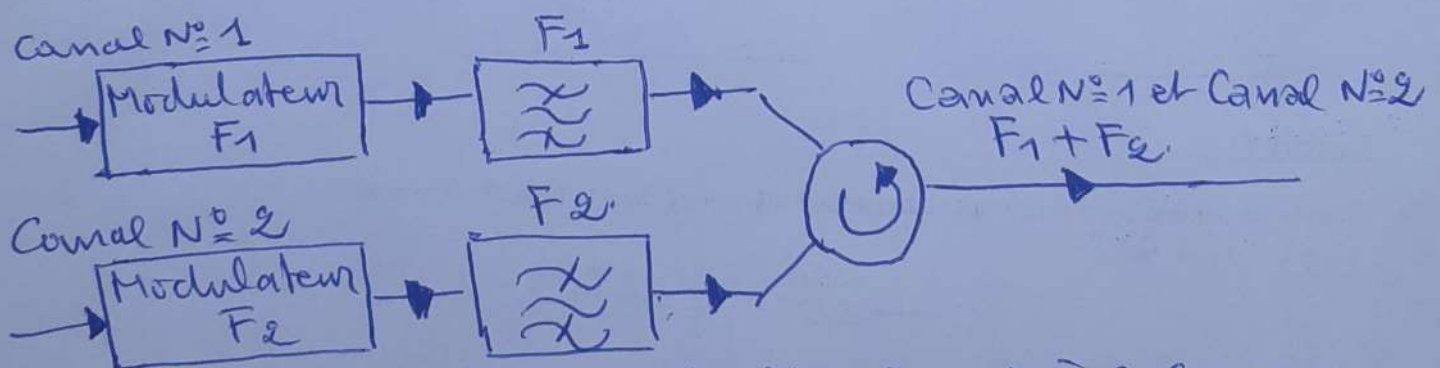


Figure 2.30: Multiplexeur à 2 canaux.

Le signal du Canal (F_1) provenant du modulateur M_1 traverse le Circulateur et est réfléchi par le filtre centré sur la porteuse F_2 .

Le signal correspondant au deuxième Canal (F_2), provenant du modulateur M_2 traverse le Circulateur et va s'ajouter au signal.

Correspondant au deuxième Canal. On a ainsi réalisé un multiplexeur à deux voies.

Pour réaliser un multiplexeur à N canaux, il faut ajouter autant de cellules élémentaires que de canaux.

2.5.2 Demultiplexeur (Selecteur de Canaux)

C'est un dispositif micro-ondes qui, placé à la réception, permet de séparer les différents canaux reçus.

Le demultiplexeur est constitué, comme pour le multiplexeur, d'un ensemble de cellules élémentaires, réalisées à partir d'un circulateur et d'un filtre passe-bande centré sur la porteuse du canal à recevoir.

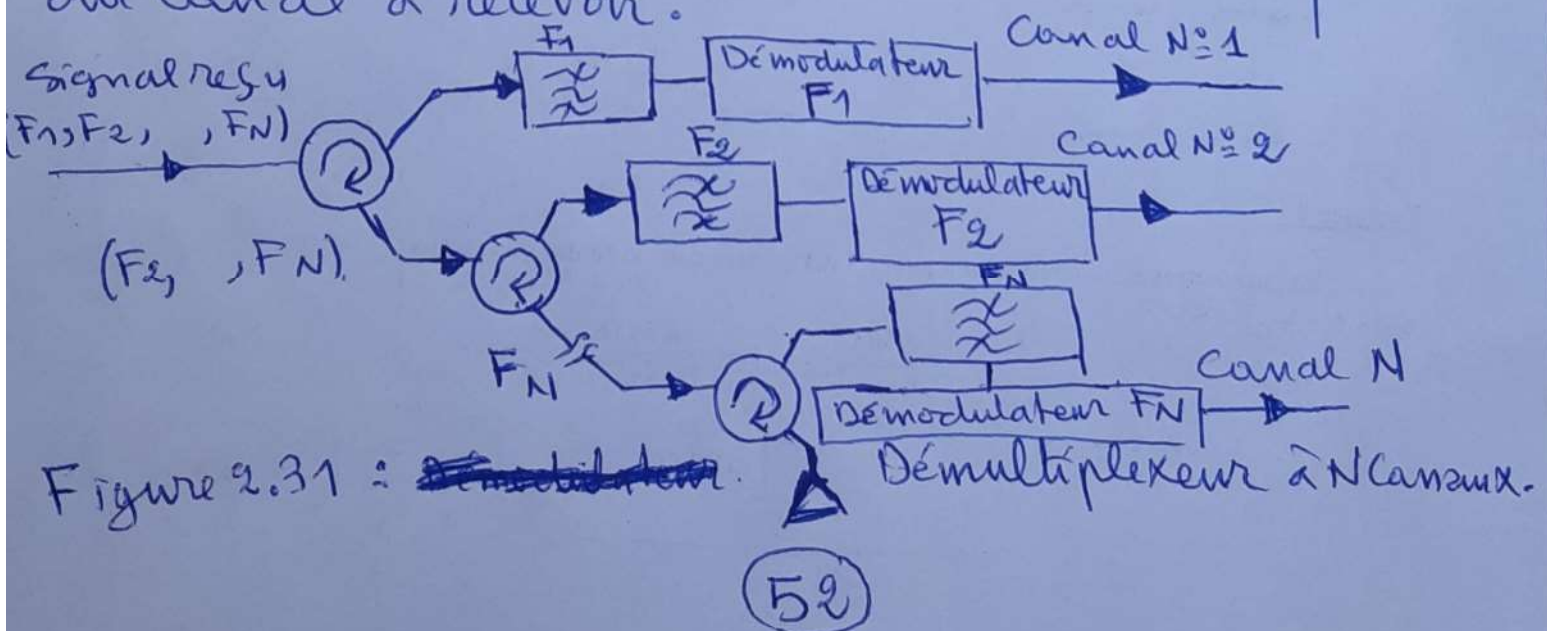


Figure 2.31 : ~~Demultiplexeur~~

Le signal reçu est constitué d'un nombre donné de canaux qui se différencient par leur fréquence porteuse F_j . Lorsque le signal reçu traverse l'isolateur, seul le canal F_1 est transmis au modulateur à travers le filtre F_1 . Ce filtre se comporte comme un court-circuit pour tous les autres canaux.

2.5.3 Circuit de branchement des équipements micro-ondes

Lorsque l'équipement micro-ondes utilise une seule antenne pour l'émission et la réception, le multiplexeur et le démultiplexeur sont reliés à la même antenne à travers un circulateur.

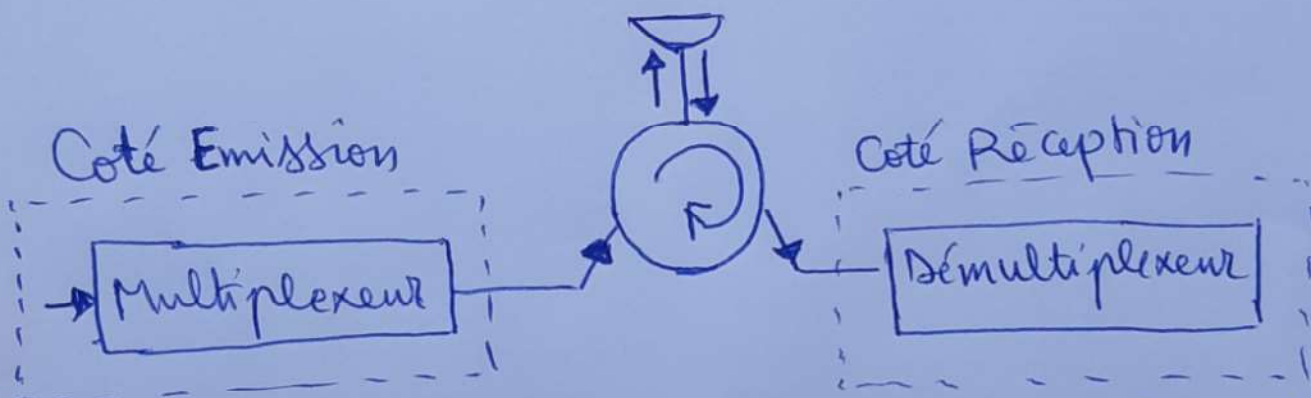


Figure 2.32 Equipement de branchement

Il est à noter que le signal transmis par l'émetteur peut être polarisé orthogonalement. Dans certains cas, par exemple en faisceaux hertziens, les canaux sont transmis alternativement en polarisation verticale et en polarisation horizontale. La polarisation croisée est obtenue à partir du duplexeur de polarité. A la réception un procédé similaire doit être utilisé.

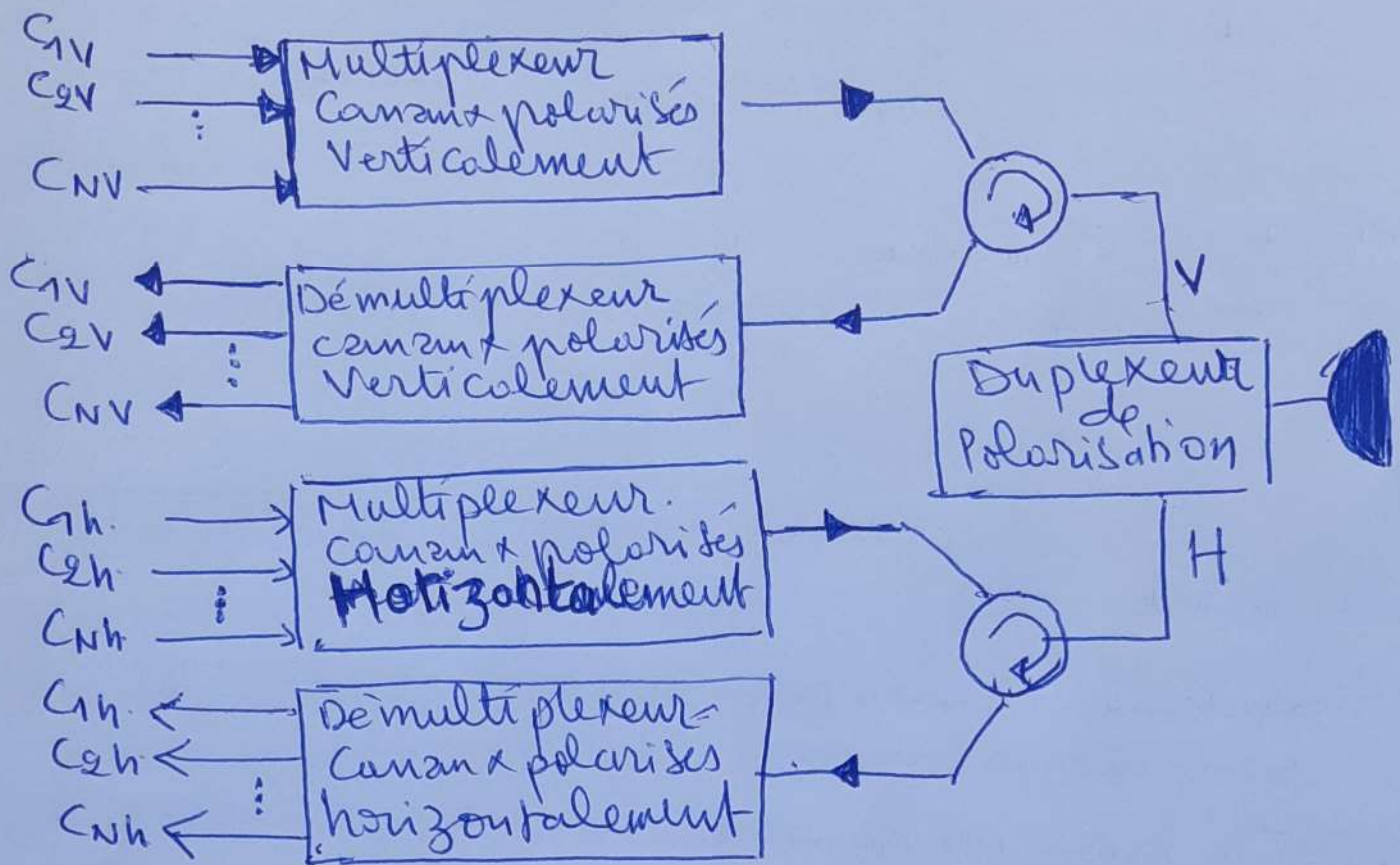


Figure 2.33: Multiplexeur - Démultiplexeur de Canaux à polarisation orthogonale.