

## Exercices sur les paramètres S

### Ondes et puissance

Une charge est attaquée par un générateur à travers une ligne d'impédance caractéristique  $R_C$  égale à l'impédance de normalisation.

Rappeler les expressions des puissances incidentes, réfléchies et absorbée par la charge en fonction des tensions incidentes et réfléchies.

Exprimer ces puissances en fonction des ondes  $a_1$  et  $b_1$ .

Comment sont modifiés les résultats suivant que l'on raisonne en valeurs efficaces ou crêtes.

### Matrice S d'une ligne

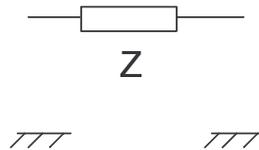
Donner, sans faire de calcul, la matrice S d'une ligne sans pertes d'impédance caractéristique égale à l'impédance de normalisation et de longueurs  $l$ .

### Matrice S de quadripôles simples

Le but de cet exercice est uniquement pédagogique, l'utilisation des paramètres S n'étant pas l'outil le mieux adapté pour l'étude de ces quadripôles. Notre objectif est uniquement d'obtenir une familiarisation avec ces paramètres et les ondes de puissance, et de voir comment les outils utilisés en HF peuvent également convenir en BF (pour le calcul d'un réseau d'adaptation d'impédance par exemple).

*Les tensions incidentes et réfléchies que nous utilisons ici ne sont qu'un modèle mathématique.*

On étudie un quadripôle composé d'une impédance  $Z$  série.



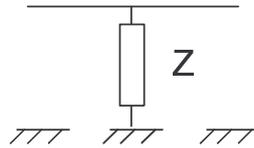
Rappeler dans quelles conditions sont mesurés  $S_{11}$  et  $S_{21}$  (on appellera  $R_C$  la résistance de normalisation). Donner un schéma et déterminer  $S_{11}$  (une ligne de calcul).

Rappeler l'expression de  $S_{21}$  en fonction des ondes de puissance, puis en fonction des tensions incidentes et réfléchies aux entrée et sortie du quadripôle.

En faisant intervenir les éléments du schéma de mesure ainsi que le coefficient de réflexion à l'entrée, déterminer  $S_{21}$ .

D'après les propriétés du quadripôle, quelle relation existe-t-il entre  $S_{11}$  et  $S_{22}$ , entre  $S_{21}$  et  $S_{12}$  ?

Donner la matrice S du quadripôle suivant :



*Remarque : dans les questions précédentes, on a pu remarquer que l'onde réfléchie à la sortie des quadripôles était nulle, ce qui n'aurait pas été le cas avec le même schéma de mesure mais une résistance de normalisation différente, ce qui prouve bien le caractère purement mathématique de tensions incidentes et réfléchies en basse fréquence.*

### Quadripôles en cascade

La matrice S d'un amplificateur étant connue, on alimente ce dernier par une ligne de transmission de longueur  $l_1$  et d'impédance caractéristique  $R_C$  égale à l'impédance de normalisation. La sortie de l'amplificateur attaque une ligne d'impédance caractéristique  $R_C$  et de longueur  $l_2$ .

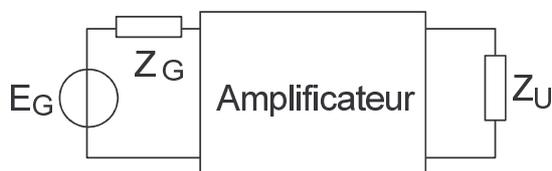
Représenter le graphe de fluence de l'ensemble.

En déduire la nouvelle matrice S de cet ensemble.

### Gain d'un amplificateur unilatéral

Rappeler la conséquence sur les paramètres S de l'unilatéralité. En quoi cette propriété est-elle intéressante. Est-elle vérifiée dans la pratique.

L'amplificateur, dont on connaît les paramètres S par rapport à la résistance  $R_C$  de normalisation est attaqué par un générateur de valeur crête  $E_G$  d'impédance caractéristique  $Z_G$  et attaque en sortie une charge  $Z_U$ .



Représenter le graphe de fluence de cet ensemble, en déduire les différentes ondes pour pouvoir calculer la puissance disponible aux bornes de la charge.

Cette puissance dépendant de la tension du générateur, on préfère souvent utiliser le gain de puissance composite (appelé aussi gain transducique) défini comme le rapport de la puissance dans la charge sur la puissance maximale que le générateur pourrait délivrer (si sa charge lui était adaptée).

Calculer ce dernier.

*Attention, ce gain n'est pas le gain de l'étage.*

On remarque que le gain composite ou non est le résultat d'un transfert de puissance du générateur vers l'entrée de l'amplificateur, de l'amplification due à  $S_{21}$  et d'un transfert de puissance de la sortie de l'amplificateur vers la charge. Quelles sont les conditions à respecter pour avoir un gain maximal.

Application numérique.

Le constructeur d'un transistor donne pour une impédance de normalisation de  $50 \Omega$  et un courant de polarisation de  $5 \text{ mA}$  les paramètres suivants à une fréquence de  $800 \text{ MHz}$  :

$$S_{11} = -0,8j \quad S_{22} = -0,7j \quad S_{21} = 2 \quad S_{12} = 0$$

Calculer le gain maximal.

Pratiquement que faut-il faire pour obtenir ce dernier.

Calculer le nouveau gain si on avait adapté en entrée et en sortie pour  $50 \Omega$ . Conclusion?

En raisonnant sur le graphe de fluence, justifier les risques d'instabilité de l'amplificateur si celui-ci n'est pas unilatéral.

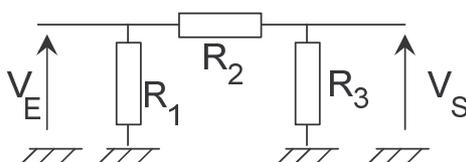
### Atténuateur adapté

On désire réaliser un quadripôle atténuateur d'atténuation  $A$  ( $A$  étant le rapport des tensions d'entrée sur sortie du quadripôle).

Pourquoi un simple pont diviseur ne peut convenir ?

Le quadripôle étant composé uniquement de résistance, donner sa matrice S dans le cas idéal, pour une résistance de normalisation  $R_C$ .

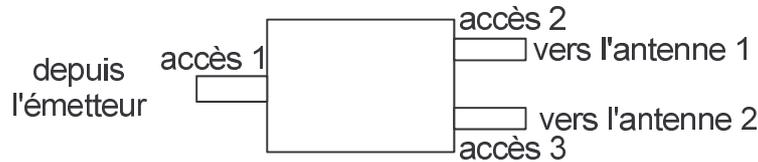
On adopte finalement le schéma suivant :



Calculer les éléments en fonction de  $A$  et de  $R_C$  afin de vérifier la matrice S déterminée précédemment.

### Combineur-diviseur de puissance de Wilkinson

On utilise un hexapôle afin de réaliser une division de puissance d'un émetteur connecté sur l'accès 1 vers deux antennes connectées sur les accès 2 et 3, chaque antenne recevant la moitié de la puissance.



Le système est réversif, et peut fonctionner en combineur : si on connecte un récepteur à l'accès 1, la puissance reçue des deux antennes est dirigée vers le récepteur, les deux antennes devant être parfaitement découplées l'une de l'autre. Dans la pratique, nous montrerons que le récepteur ne reçoit que la moitié de la puissance fournie par chaque antenne.

a) Généralité

Donner les modules de paramètres S d'un tel montage,  $R_C$  étant l'impédance de normalisation.

Notions préliminaires

Le montage proposé utilisant des lignes quart d'ondes, rappelons quelques propriétés de ces lignes, dans un cas général d'une ligne d'impédance caractéristique  $R_0$ , reliant un générateur de fem  $E$  et d'impédance  $Z_G$ , à une charge  $Z_U$ .

Donner l'impédance d'entrée  $Z_E$  de la ligne en fonction de  $R_0$  et  $Z_U$ .

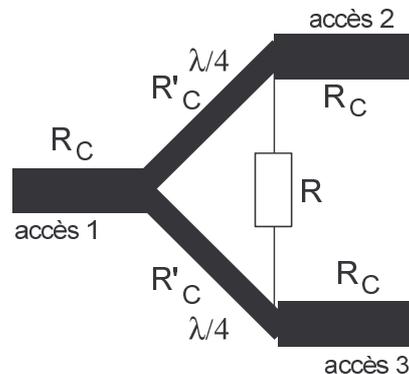
Exprimer alors la tension d'entrée en régime établi en fonction de  $E$ ,  $Z_E$  et  $Z_G$ , puis en fonction des ondes incidentes et réfléchies (on prendra l'onde incidente comme origine des phases).

Exprimer la tension de sortie en fonction des ondes incidentes et réfléchies, ainsi que de la longueur de la ligne.

En déduire le rapport existant entre les tensions d'entrée et de sortie.

b) Réalisation

On utilise le schéma suivant pour la réalisation :



Les trois accès sont réalisés par des lignes d'impédance caractéristique  $R_C$ , et reliées entre eux par des lignes  $\lambda/4$  d'impédance caractéristique  $R'_C$ ; Une résistance  $R$  relie les points B et C.

Nous allons montrer que ce schéma permet d'obtenir des paramètres S dont les modules sont ceux établis précédemment.

Nous négligerons dans la suite le déphasage introduit par les lignes d'accès, d'impédance  $R_C$ .

Utilisation en diviseur

b-1 ) Donner la valeur de  $R'_C$  permettant d'obtenir une adaptation sur l'accès 1 si les accès 2 et 3 sont adaptés. On remarquera pour cela que le montage comprend un axe de symétrie.

b-2 ) Donner les arguments des paramètres  $S_{21}$  et  $S_{31}$  dont nous avons déterminé le module précédemment (voir l'étude de la ligne quart d'onde).

b-3 ) Lorsque l'attaque se fait par l'accès 1 et que les accès 2 et 3 sont adaptés, quelle est la puissance dissipée dans R ?

b-4 ) En supposant la charge de l'accès 3 déconnectée que se passerait-il sans la résistance R ?

b-5°) Attaque par le port 2

L'arrivée des signaux se fait maintenant par l'accès 2, les accès 1 et 3 étant adaptés. Le montage n'est alors plus symétrique, par contre l'octopôle étudié présente un axe de symétrie. Nous allons alors pouvoir décomposer notre étude en un mode pair et un mode impair.

Le montage étant toujours adapté à tous les accès, le calcul des paramètres S pourra se faire directement avec les tensions à chaque accès (pas de réflexions).

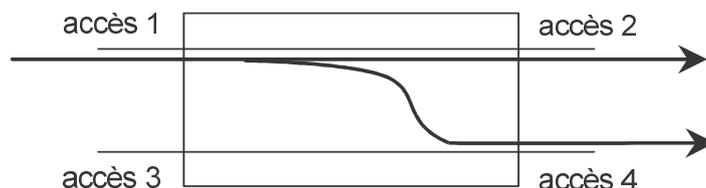
Calculer les tensions à chaque accès dans le cas du mode pair, puis impair (on utilisera les résultats du quart d'onde).

Dans le cas du mode impair, donner la valeur de R pour obtenir une adaptation de l'entrée des accès 2 et 3.

Calculer ensuite les tensions aux différents endroits, puis en déduire la matrice S.

### Etude d'un coupleur directif en anneau

Un coupleur directif est un octopôle permettant de dériver, de manière directive, une partie de la puissance transmittant sur la ligne principale (du port 1 vers le 2 dans le cas de la figure) vers une ligne secondaire.

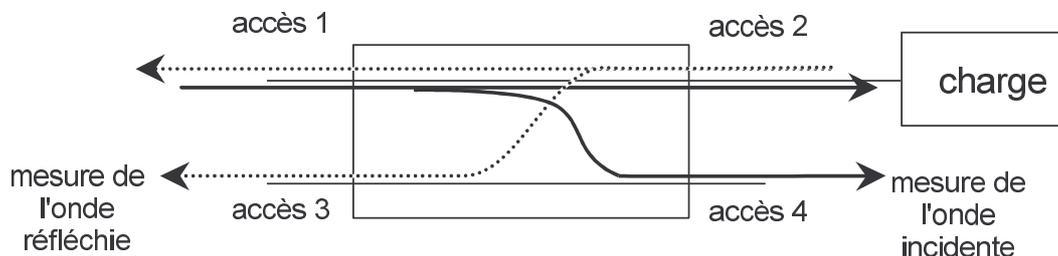


Dans l'exemple de la figure, une partie de la puissance entrant en 1 se retrouvera en 2 une autre partie en 4. Dans le cas d'un coupleur idéal, aucune fraction de la puissance ne se retrouve en 3.

Si on appelle  $P_X$  la puissance arrivant ou partant du port X, on définit alors, lorsque tous les accès sont adaptés :

- le couplage  $C = 10 \log (P_1/P_4)$  qui caractérise le rapport entre les puissances en 1 et 4.
- l'isolation  $I = 10 \log (P_1/P_3)$  qui est infinie dans le cas idéal, la puissance en 3 devant être nulle;
- la directivité  $D = 10 \log (P_4/P_3)$  qui est souvent préférée à l'isolation. La directivité est infinie dans le cas idéal.

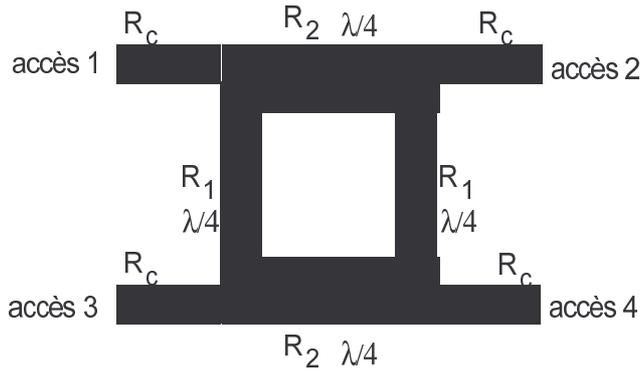
Une des applications des coupleurs est la réflectométrie, c'est à dire la mesure de la puissance incidente reçue par une charge et de la puissance réfléchi qu'elle renvoie. Si on place sur le port 2 une charge de coefficient de réflexion  $\rho$ , une partie de la puissance incidente envoyée depuis le port 1 peut être mesuré sur le port 4 et une partie de la puissance réfléchi par la charge sur le port 3.



On trouvera comme application la mesure des différentes ondes dans un analyseur de réseau, ou bien encore la détection d'une désadaptation à la sortie d'une chaîne d'amplification de puissance (désadaptation de l'antenne d'un émetteur par exemple).

Le schéma ci-dessous propose une réalisation possible, utilisant des lignes  $\lambda/4$  de résistances caractéristiques  $R_1$  et  $R_2$  :

### exercice sur les paramètres S



L'utilisation de lignes  $\lambda/4$  limite évidemment la bande passante, celle-ci pouvant être augmentée en plaçant plusieurs structures identiques en cascades. Nous limiterons notre étude à une seule cellule comme sur la structure.

Nous supposons une attaque par le port 1 par un générateur adapté (résistance de normalisation  $R_C$ ), tous les autres ports étant reliés à des charges adaptés. L'étude sera décomposée en un mode pair et un mode impair. On utilisera à chaque fois les résultats obtenus lors de l'exercice précédent pour l'étude d'une ligne  $\lambda/4$ .

Pour chaque mode, déterminer l'impédance d'entrée des ports 1 et 3. En déduire les tensions aux différents accès (on se contentera d'exprimer les tensions en fonction des impédances trouvées précédemment).

En faisant la superposition des deux modes, donner l'expression de la tension à l'accès 1 en fonction des impédances trouvées.

Sachant que l'entrée 1 est adaptée, quelle doit être la valeur de la tension à cet accès ?

En remarquant les relations de "conjugaison" existant entre les différents nombres complexes représentant les impédances, en déduire une relation entre les différentes impédances caractéristiques du montage.

Quelles valeurs prennent alors les paramètres  $S_{ii}$  ?

En notant que dans le montage utilisé tous les ports sont adaptés, calculer les autres paramètres S.

On souhaite réaliser un coupleur directif à 3 dB, c'est à dire un coupleur dont le coefficient de couplage vaut 3 dB. En déduire la relation entre  $R_2$  et  $R_C$ .

En remarquant que le coupleur est non dissipatif, donner alors la relation entre  $R_2$  et  $R_1$ .

Quelle relation doit-on trouver entre les différents paramètres S ?