

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN

ANALYSEUR DE RESEAUX VECTORIEL

Introduction

Le principal appareil de mesure en hyperfréquence est l'analyseur de réseaux. Contrairement à ce que son nom pourrait laisser supposer, il n'est pas destiné aux systèmes de télécommunication. En fait, il sert à déterminer les paramètres S d'un dipôle ou d'un quadripôle actifs ou passifs (il est également possible en multipliant les mesures et dans des conditions de mesures particulières de caractériser des multipôles).

Il existe deux grandes familles d'analyseurs de réseaux : les scalaires qui ne mesurent que le module des paramètres S et les vectoriels qui mesurent le module et la phase. Le premier nommé ne donne accès qu'à une partie de l'information mais son coût est plus faible à l'achat. Son principe de base est l'association de coupleurs et de mesureurs.

Nous commencerons par faire quelques rappels sur la définition des paramètres S dans le cas d'un quadripôle, puis nous présenterons le fonctionnement d'un analyseur de réseaux et enfin nous traiterons les différentes erreurs qui entachent les mesures et les moyens de les corriger.

Dans le cas de l'analyseur disponible au laboratoire, nous n'avons la possibilité que d'acquérir S_{11} et S_{21} lors d'une mesure (figure 1).

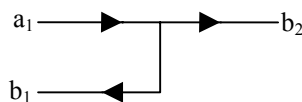


Figure 1 : Schéma de principe de l'excitation et des ondes retour du HP8510B

Rappel sur les paramètres S

Considérons le quadripôle suivant (figure 2) :

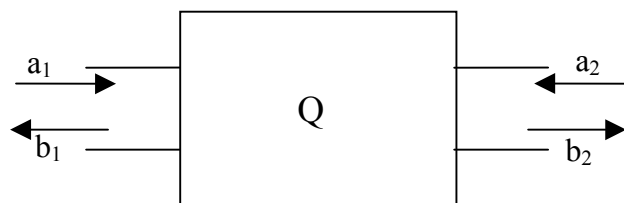


Figure 2 : Accès d'un quadripôle.

Les paramètres S caractérisant ce quadripôle sont définis par :

$$S_{11} = \frac{\text{signal réfléchi au port 1}}{\text{signal incident au port 1}} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad \text{coefficient de réflexion en entrée}$$

$$S_{21} = \frac{\text{signal transmis au port 2}}{\text{signal incident au port 1}} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad \text{coefficient de transmission entrée-sortie}$$

$$S_{12} = \frac{\text{signal transmis au port 1}}{\text{signal incident au port 2}} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad \text{coefficient de transmission sortie-entrée}$$

$$S_{11} = \frac{\text{signal réfléchi au port 2}}{\text{signal incident au port 2}} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_2=0} \quad \text{coefficient de réflexion en sortie}$$

Schéma de principe d'un analyseur de réseaux vectoriel

Nous avons vu lors des rappels précédents qu'il est nécessaire pour pouvoir calculer les paramètres S de connaître les signaux réfléchis et transmis mais aussi le signal incident. La figure 2 montre un schéma simplifié du prélèvement des signaux.

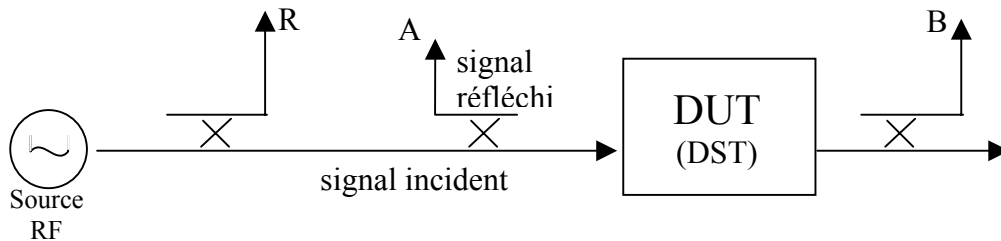


Figure 2 : Schéma de base de la mesure des différents signaux.

Le signal émis par une source RF est divisé en deux (en général à l'aide d'un diviseur Wilkinson). La partie prélevée servira de référence (R). L'autre partie attaque le DUT. Une partie est réfléchi et l'autre est transmise (en supposant que le quadripôle est sans perte). A l'aide de coupleurs, nous dérivons une portion des signaux (A et B).

A partir de ces signaux, il est possible de calculer les paramètres S du DUT par les formules suivantes :

$$S_{11} = \frac{A}{R} \quad S_{21} = \frac{B}{R}$$

Pour obtenir les deux autres, on «retourne» les entrées et les sorties.

L'ensemble du travail effectué par l'analyseur est représenté sur le schéma suivant (figure 3) :

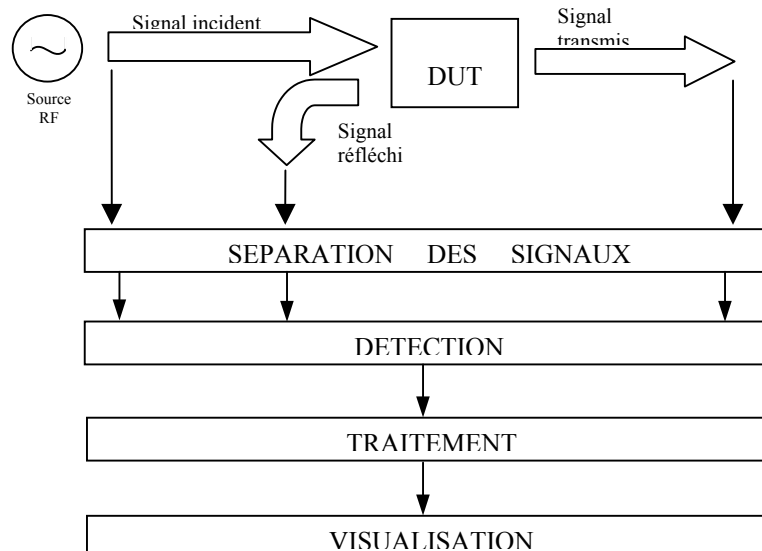


Figure 3 : Schéma de principe d'un analyseur de réseaux vectoriel

En résumé la première étape est de séparer les signaux (à l'aide des coupleurs) puis de mesurer le module et la phase des signaux et enfin la dernière étape est de traiter les données ainsi mesurées (passage domaine temporel, échelle dB,...) à l'aide d'un processeur.

Correction des erreurs de mesures

Le principe décrit plus haut suppose que les composants utilisés sont parfaits c'est à dire sans pertes et de caractéristique fréquentielle idéale. En pratique, les mesures effectuées contiennent un certains nombres d'erreurs qui peuvent être, suivant les cas, corrigés.

L'ensemble des erreurs existantes est regroupé en trois grandes familles :

- 1). Erreurs systématiques : elles sont dues aux imperfections de l'analyseur, elles sont invariantes dans le temps et peuvent être corrigés numériquement ;
- 2). Erreurs aléatoires : la principale cause est le bruit interne des composants, elles sont imprévisibles (varie en fonction du temps) et ne peuvent pas être corrigés ;
- 3). Erreurs de dérive : les deux principales causes sont les variations de température et l'utilisateur. Elles sont correctibles numériquement.

Dans la suite, nous allons présenter les méthodes de corrections des erreurs systématiques. La figure 4 présentent les six erreurs dans le cas d'une mesure entrée-sortie.

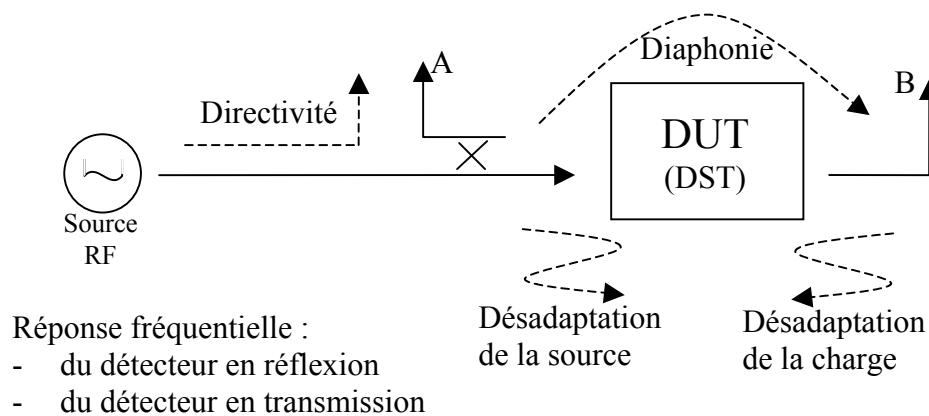


Figure 4 : Les six erreurs systématiques présentées lors d'une mesure entrée-sortie

Ces erreurs sont au nombre de six dans le sens direct et de six dans le sens inverse. La première est la directivité du coupleur en entrée : une partie du signal incident passe directement sur la voie A sans être réfléchi par le DUT. Ensuite nous avons les désadaptations de la source et de la charge. Puis les réponses fréquentielles des dispositifs de mesures : leur fonction de transfert n'est pas égale à 0dB sur l'ensemble de la bande de mesure de l'analyseur. Enfin, la dernière erreur est la diaphonie qui correspond à une partie du signal qui passe directement sur la voie B sans traverser le DUT.

Pour corriger ces erreurs, il existe deux grands types de calibration : la calibration en normation et la calibration vectorielle.

La première permet de ne corriger que les erreurs fréquentielles, tandis que la seconde corrige toutes les erreurs.

1 – Calibration en normation

Le principe de cette calibration est de mesurer la fonction de transfert de l'analyseur sans connecter le DUT. Puis, on mesure la fonction de transfert du système en présence du DUT. Finalement, on fait le rapport entre ces deux fonctions de transfert. En résumé :

1^{ère} étape : Mesure sans le DUT. La fonction transfert obtenue (H_{cal}) est donnée par :

$$H_{cal} = H_{source} H_{c\grave{a}ble} H_{d\acute{e}tecteur}$$

2^{ème} étape : Mesure avec le DUT. La fonction de transfert (H_{mes}) est :

$$H_{mes} = H_{source} H_{c\grave{a}ble} H_{DUT} H_{d\acute{e}tecteur}$$

3^{ème} étape : Rapport entre ces deux fonctions de transfert :

$$\frac{H_{mes}}{H_{cal}} = H_{DUT}$$

2 – Calibration vectorielle

Cette calibration va permettre de déterminer toutes les erreurs présentes lors d'une mesure. Son principe est d'obtenir un système d'équations exprimant les paramètres S vrais en fonction des paramètres S mesurés. Pour simplifier la présentation de cette calibration nous allons nous intéresser à la calibration «one-port» qui permet d'obtenir des mesures en réflexion.

Comme nous ne cherchons que S_{11} , nous devons tenir compte que de trois erreurs : la directivité, la désadaptation de la source et enfin la réponse fréquentielle du détecteur. L'influence de chaque erreur est résumé sur le diagramme de fluence de la figure 5.

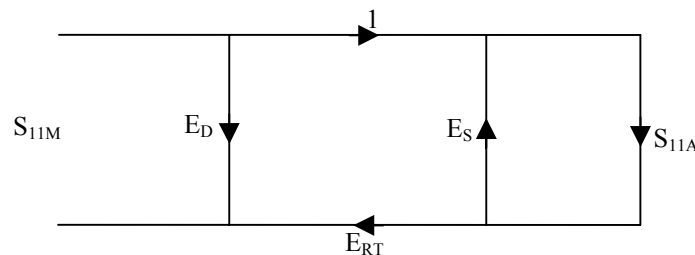


Figure 5 : Diagramme de fluence de l'influence des erreurs sur la mesure de S_{11} .
Avec $S_{11M} = S_{11}$ mesuré ; $S_{11A} = S_{11}$ du composant ; E_D = erreur liée à la directivité du coupleur ;
 E_S = erreur liée à la source ; E_{RT} = erreur liée à la réponse fréquentielle

La résolution de ce diagramme donne :

$$S_{11M} = E_D + E_{RT} \frac{S_{11A}}{1 - E_S S_{11A}}$$

L'équation obtenue lie le S_{11} vrai au S_{11} mesuré grâce à trois paramètres inconnus. Pour pouvoir déterminer ces trois valeurs d'erreur, il faut effectuer trois mesures (en général un court-circuit, un circuit ouvert et une charge adaptée). Finalement, on a obtenu un système de trois équations à trois inconnues qui est résolu par l'analyseur de réseaux. Les valeurs ainsi trouvées sont mémorisées et permettent au cours de la mesure d'obtenir les vrais paramètres S à l'aide des paramètres mesurés.

Dans le cas d'une calibration «full-2-port», il n'y a plus trois mais douze inconnues à déterminer, il faut donc réaliser douze mesures lors de la calibration (calibration SOLT).

En fonction de l'application de l'analyseur, on choisira l'un ou l'autre des deux grands types de calibration. Si on veut une grande précision, on prendra une vectorielle. Si, on n'est intéressé que par l'allure de la fonction de transfert, on pourra choisir une calibration en normation qui est plus rapide à réaliser.