

Comment ça marche ?

Les circuits réactifs

8 - Mesure de l'impédance (3)

Par le radio-club F6KRRK

Après avoir vu la mesure de l'impédance avec les ponts de mesure (mesure par comparaison), le Q-mètre (mesure indirecte) et l'impédance-mètre (mesure Magnitude / Phase), nous allons poursuivre avec la mesure de l'impédance relative faite par les VNA (Vector Network Analyser). Il est indispensable d'avoir assimilé le "Comment ça marche" sur l'impédance relative (N°5) pour comprendre celui-ci.

Abaque de Smith.

Cet abaque génial a été inventé pour réaliser des adaptations, que ce soit avec des circuits RLC, des lignes ou une combinaison des deux. Il permet également de "visualiser" l'impédance relative. Nous avons sur la figure 1 un abaque de Smith gradué pour l'impédance. Il en existe qui sont gradués en impédance et en admittance et d'autres qui sont la superposition de deux abaques "miroir" (impédance et admittance). Nous y reviendrons avec l'adaptation d'impédance.

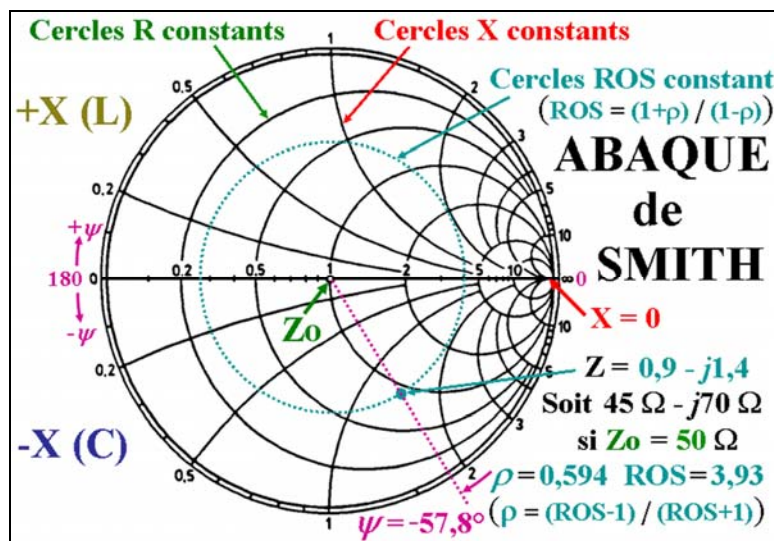


Figure 1

L'abaque de Smith est contenu à l'intérieur d'un cercle. Le diamètre H est gradué en résistance relative R/Z_0 avec la référence Z_0 au centre ($R/Z_0=1$)⁽¹⁾. Entre un point R et l'infini, passe un cercle de R constant. Le cercle extérieur représente 2 fois l'angle de la réactance ($\pm 180^\circ$ pour $\pm 90^\circ$). La partie supérieure correspond à une réactance selfique et la partie inférieure à une réactance capacitive. Depuis l'infini jusqu'à un angle correspondant à arc Tan (X/Z_0), passe

un arc de cercle de X constant (0° à gauche). Par ailleurs le cercle extérieur est directement gradué en degrés de l'angle ψ du coefficient de réflexion (0° à droite).
 Pour utiliser l'abaque, il faut normaliser (diviser par Z_0) et dé-normaliser (multiplier par Z_0) les valeurs R et X de l'impédance.

L'abaque et l'impédance relative

Suivre avec l'exemple sur la figure 1 ⁽²⁾.

a) Détermination de ρ et de ψ à partir de $R \pm jX$:

- Placer le point à l'intersection des cercles R et X
- Avec Z_0 comme centre, tracer le cercle qui passe par ce point
- La valeur d'intersection de ce cercle avec la droite des R pour $X=0$ ($R > Z_0$) donne le ROS.
- A partir du ROS, calculer $\rho = (ROS-1) / (ROS+1)$
- Tracer le rayon qui passe par le point d'impédance.
- Son intersection avec le cercle extérieur donne directement ψ .

b) détermination de $R \pm jX$ à partir de ρ et de ψ :

- Calculer $ROS = (1+\rho) / (1-\rho)$
- Avec Z_0 comme centre, tracer le cercle de ROS constant qui passe par $Z_0 \times ROS$
- Tracer le rayon qui coupe le cercle extérieur à l'angle ψ .
- L'endroit où cette droite coupe le cercle de ROS constant marque le point d'impédance.

Les paramètres S (notions).

Les paramètres S s'appliquent à un quadripôle. Ils décrivent les relations qui existent entre l'impédance d'entrée, l'impédance de sortie et la fonction de transfert du quadripôle. Celui-ci est supposé connecté à la source et à la charge à travers deux lignes d'impédance caractéristique Z_0 : les "ports". Les paramètres S constituent les éléments d'une matrice qui relie les ports entre eux. Ils déterminent des coefficients de réflexion (complexes) à chaque port et des coefficients de transmission (complexes) entre deux ports. Les ports non mesurés sont sensés ne pas être alimentés et être connectés sur Z_0 . La figure 2 rassemble les principales notions rattachées aux paramètres S.

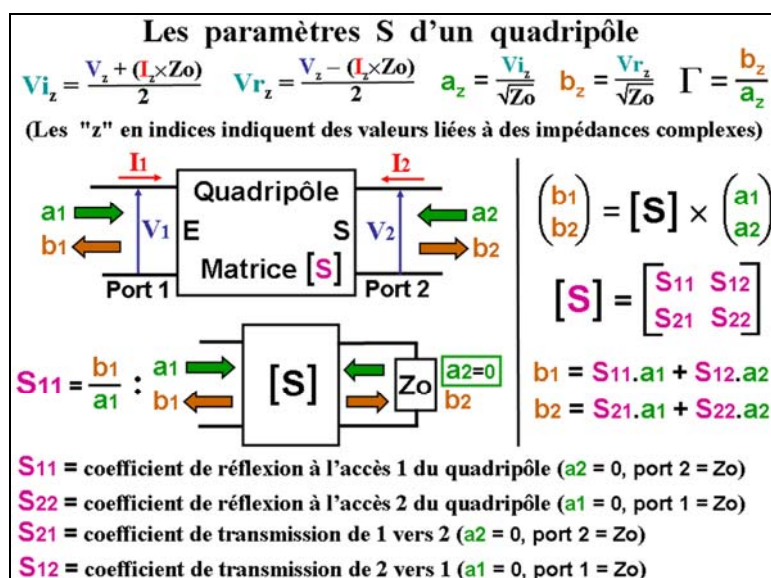


Figure 2

Avec un dipôle, seule la mesure du S_{11} (lire "S, 1, 1") est possible. On obtient un coefficient de réflexion complexe (Γ ou R_z) à partir duquel on calcule l'impédance complexe à l'aide des formules du précédent "Comment ça marche" sur l'impédance relative ou avec l'abaque de Smith de la fig. 1.

Les V-N-A.

Les analyseurs vectoriels mesurent les paramètres S (coefficients de réflexion et de transmission) puis calculent les valeurs désirées (Z_x , ROS, Return-Loss, puissance transmise, etc.) pour un grand nombre de points dans une large bande de fréquence. Les résultats sont affichés sous forme de diagramme : scalaire, polaire ou abaque de Smith). Voir sur la figure 3 le synoptique général de la tête de mesure d'un analyseur de réseau professionnel.

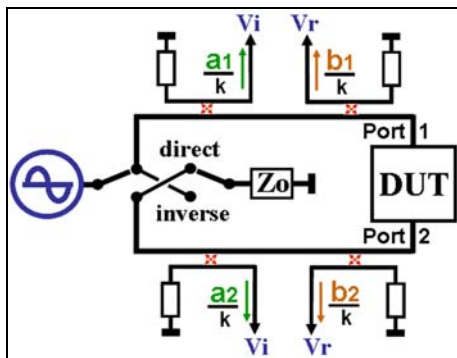


Figure 3

Les VNA se sont développés grâce à la montée en puissance des DSP et des microprocesseurs. Ce sont des appareils complexes car en plus du coupleur et du calculateur, il nécessitent un générateur et trois récepteurs superhétérodynes appariés en amplitude et en phase. Mais grâce à l'amélioration de la technologie des circuits intégrés et à la puissance de calcul d'un ordinateur, on peut maintenant envisager des versions simplifiées miniaturisées comme le mini-VNA des radioamateurs.

Le mini-VNA

Son synoptique général (partie analogique) est montré sur la figure 4.

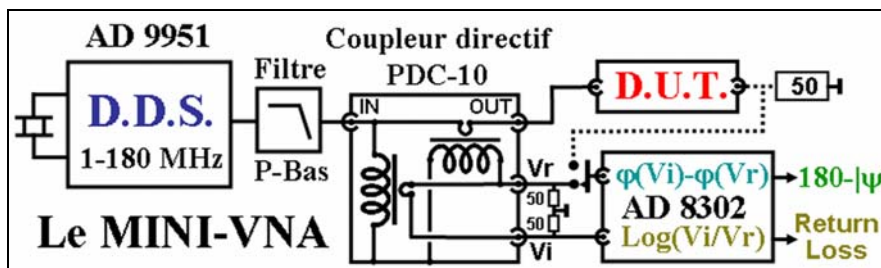


Figure 4

Le mini-VNA permet la mesure du S_{11} et du S_{21} . Les deux récepteurs nécessaires sont réduits à un double détecteur log différentiel en amplitude et en phase (tout en un). En mode S_{11} comme sur la figure 4, la sortie "Amplitude" est représentative du "return-loss" en dB. On obtient ρ à partir du return-loss avec la formule : $\rho = 1 / (10^{(RtnLoss/20)})$ (3). La sortie "Phase" se fait sur 180° . Elle est représentative de ψ ($\pm 180^\circ$) après avoir levé l'ambiguïté du signe par raisonnement sur sa variation et celle de ρ en fonction de la fréquence. En mode S_{21} la sortie "Amplitude" est représentative du gain ou de l'affaiblissement du D.U.T. et la sortie phase représente le déphasage sortie / entrée.

Précision de la mesure

Comme le ROS-mètre, le VNA fait une mesure relative par rapport à une impédance de référence. On conçoit que plus l'impédance (magnitude) s'écartera de la référence et plus la précision se dégradera. C'est bien ce que l'on constate graphiquement sur l'échelle des résistances de l'abaque de Smith. *Grosso modo*, l'écart qui sépare 1 de 1,5 (+50%) est le même que celui qui sépare 5 de 10 (+100%) et cela se dégrade rapidement pour les ROS supérieurs à 10. Pour un ROS-mètre, on se contente à la fabrication d'un étalonnage unique pour $R_C = Z_0$ et on fait l'impasse pour les ROS élevés. Pour une mesure complète du S_{11} avec un VNA, on fait trois étalonnages (complexes) à chaque mesure ⁽⁴⁾, aux trois points particuliers de l'axe des réels de l'abaque de Smith à l'aide de trois charges étalons :

- $R_C = Z_0$ (impédance nominale)
- $R_C = 0$ (court-circuit)
- $R_C = \infty$ (circuit ouvert)

A partir des trois erreurs trouvées, le calculateur corrige les valeurs mesurées ⁽⁵⁾.

Dans le prochain "comment ça marche", nous aborderons le filtrage fréquentiel, domaine privilégié des circuits réactifs.

La Rubrique "Comment ça marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".

Notes.

- 1) *Le diamètre H est appelé "axe des réels" car $X = 0$.*
- 2) *Bien que l'on utilise de grands abaques détaillés, on n'arrive pas à la précision de l'exemple. Mais cela est rarement nécessaire en pratique.*
- 3) *Avec un calibrage de l'AD8302 en Log décimal. On rappelle qu'ici ρ est le module du coefficient de réflexion en tension (d'où le facteur 1/20).*
- 4) *Avec un ROS-mètre, on a besoin d'être précis pour un ROS proche de 1 car c'est le ROS recherché pour une utilisation courante à la sortie d'un émetteur. Avec un VNA, on veut mesurer une impédance dans la plus grande plage possible, correspondant à des ROS supérieurs à 10, voire 100.*
- 5) *L'avantage de ce système est que l'on peut "déporter" la mesure à l'extrémité d'un câble coaxial d'impédance Z_0 (de bonne qualité).*