

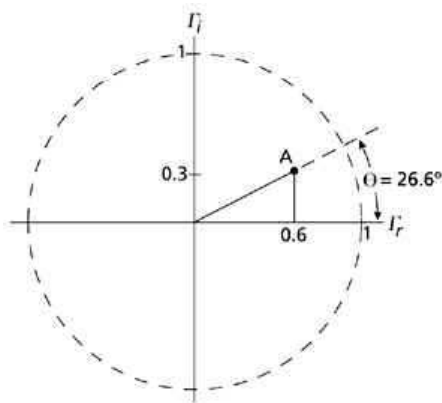
Rapport d'Onde Stationnaire (F4DXU)

<http://pagesperso-orange.fr/F4DXU/>

Suite à une question posée dans une liste de diffusion radioamateur je vais tenter une approche théorique de l'interprétation du ROS en utilisant un abaque de Smith simplifié. La question épurée était la suivante : pourquoi lorsque l'on déplace la connexion du rosmètre sur une ligne coaxiale désadaptée, constate-t-on des variations importantes dans la lecture du R.O.S. (minimums, maximums) ? Autrement dit, est-ce que la longueur de la ligne de transmission a une importance sur la lecture du R.O.S. ?

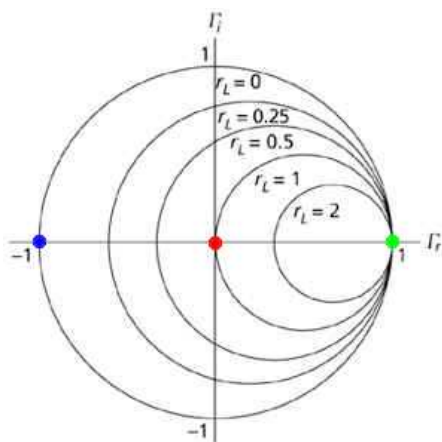
I-Rappel ou découverte de l'abaque de Smith simplifié :

L'abaque de Smith est apparu en 1939 comme méthode graphique permettant de simplifier les mathématiques des nombres complexes ($z = a + ib$). A l'époque de l'informatique, l'abaque de Smith reste un outil très valable et rapide pour qui le maîtrise bien.



La figure ci-contre représente la première approche de l'abaque de Smith.

Le repère est orthonormé¹ et l'axe horizontal représente la partie réelle d'une impédance (résistance pure) alors que l'axe vertical représente la partie imaginaire d'une impédance (une self ou une capacité pure) On s'aperçoit que toutes les valeurs sont réduites² (les valeurs évoluent de 0 à 1). Sur la figure ci-contre, l'impédance Z_{OA} peut s'écrire de 2 façons : $Z_{OA} = 0.6 + j0.3$ ou 0.67 (module³), $\angle 26.6^\circ$ (argument⁴).

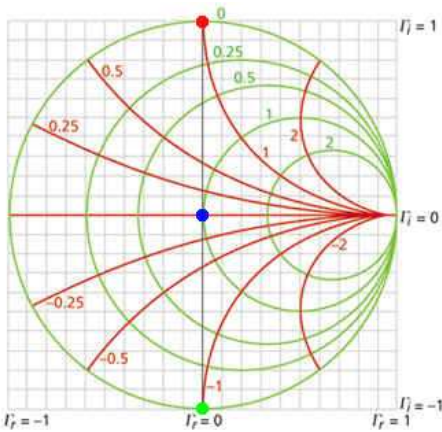


Sur la figure ci-contre on observe des cercles qui représentent les valeurs réduites et constantes des résistances pures (partie réelle de l'impédance).

Exemple : $Z_r/Z_c = 1$ correspondant au cercle $r_L = 1$ avec $Z_r =$ impédance de la charge et $Z_c =$ impédance caractéristique de la ligne concernée. Dans le cas $Z_R = Z_c$, la charge est adaptée à la ligne de transmission, le point représentatif (rouge) se situe à l'intersection des 2 axes. Si Z_R est infinie, cas d'une ligne ouverte, le point concerné (vert) se situe à droite sur l'axe des Z réelles, à l'endroit où

tous les cercles sont tangents entre eux. Si Z_R est nulle, cas d'une ligne en court-circuit, le point concerné (bleu) se situe à gauche sur l'axe des Z réelles.

- 1 vecteur porté sur les axes, de longueur 1 et perpendiculaires. 2 normalisées.
 3 longueur. 4 angle.



Sur la figure ci-contre on représente de la même manière les valeurs réduites et constantes des réactances pures (arcs de cercles rouges, partie imaginaire de l'impédance). Le point central (intersection des 2 axes) représente l'impédance réduite de valeur particulière (point bleu) égale à 1 puisque $Z_r = Z_c$. C'est le seul cas où il y a adaptation d'impédance. Le point rouge représente la partie purement imaginaire d'une self (+j), le point vert représente la partie purement imaginaire d'une capacité (-j). Seules les cercles ou arcs de cercles de valeurs remarquables sont représentés. Un véritable

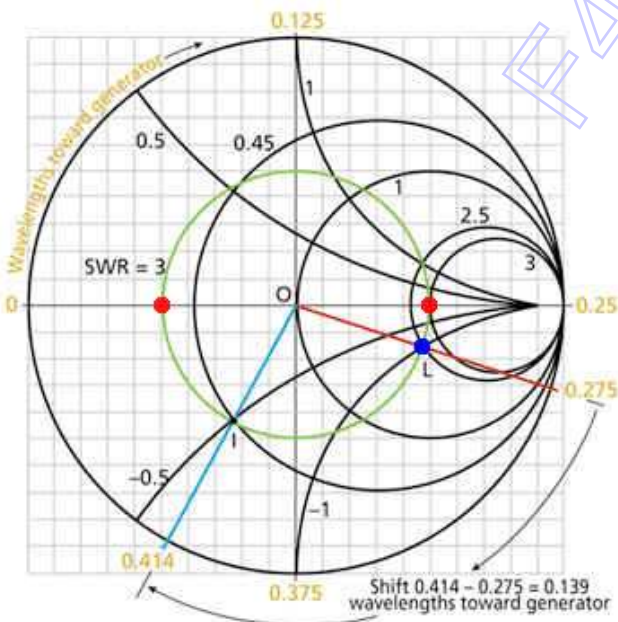
abaque de Smith comporte d'autres indications et est bien plus fourni en détails.

La grille grise représente les valeurs possibles du coefficient de réflexion (de 0 à 1).

Le coefficient de réflexion Γ est différent de 0 lorsque Z_r est différente de Z_c . Voici quelques écritures possibles de Γ .

$$\Gamma = \frac{Z_r - Z_c}{Z_r + Z_c} = \frac{\frac{Z_r}{Z_c} - 1}{\frac{Z_r}{Z_c} + 1} = \frac{Z_L - 1}{Z_L + 1} = \frac{ROS - 1}{ROS + 1} \text{ avec } Z_L \text{ : impédance réduite}$$

Le coefficient de réflexion ne dépend que de la valeur des impédances.



Sur la figure ci-contre, le point L (bleu) représente une impédance z de charge $Z_L = 2.5 - j1$ ou $0.5 \angle 18^\circ$. La valeur du R.O.S. est représentée par le cercle vert passant par L (point bleu) et centre sur O. On voit aussi que la valeur du R.O.S. dépend uniquement du coefficient de réflexion. Le cercle vert coupe l'axe horizontal des réels en 2 points (rouge), sur un abaque plus complet on pourrait lire les 2 valeurs correspondantes aux amplitudes maximum et minimum de l'onde stationnaire. Leur rapport donne aussi le R.O.S..

II- Cas d'une ligne sans perte :

Sur un abaque de Smith, le coefficient de réflexion est représenté par un cercle dont le rayon peut prendre toutes les valeurs de 0 et 1 (vu précédemment). Ce cercle (vert) est centré sur la valeur réduite Z_r/Z_c (Z_r = impédance de la charge et Z_c = impédance caractéristique de la ligne concernée). Si l'on parcourt ce cercle sur 1 tour (1 tour complet

sur l'abaque de Smith), on s'est déplacé de $\lambda/2$ sur la ligne, il faut donc parcourir 2 tours ou 2 arches pour 1 λ .



figure représentant l'onde stationnaire (V_{\min} et V_{\max}) dans une ligne de transmission.

Le coefficient de réflexion est constant puisque le diamètre du cercle sur l'abaque est constant :

$$\text{ROS} = (1 + \Gamma) / (1 - \Gamma) = \text{constant}$$

III- Cas d'une ligne avec perte :

Le raisonnement est le même à ceci près que le cercle du coefficient de réflexion se transforme en une spirale à cause des pertes qui dépendent des matériaux utilisés (cuivre, argent pour les conducteurs et polyéthylène, téflon pour les isolants etc.), dans ce cas la valeur du ROS diminue constamment, sans minimum ou maximum, jusqu'à atteindre la valeur réduite $Z_R/Z_C = 1$ au centre de l'abaque. Les choses auraient tendance à s'améliorer puisque le R.O.S. diminue mais en réalité l'onde directe subit une forte atténuation qui est aussi répercuté sur l'onde de retour. Ce principe à été utilisé pour « adapter » différents types d'antennes avec un coaxial à perte sur un émetteur et ce au détriment du rendement qui devient très médiocre.

III- Cas réel :

Etant donné que le ROS ne peut pas varier entre des minimums et des maximums et qu'il ne dépend que des impédances concernées (pour des pertes raisonnables dans la ligne de transmission), il ne reste qu'un seul coupable, c'est l'appareil de mesure qui n'est pas fiable. Certains ROS-mètre utilisés dans le domaine radioamateur ne séparent pas correctement l'onde directe de l'onde réfléchi et la mesure est entachée d'erreurs importantes notamment où l'amplitude de l'onde stationnaire prend les valeurs minimums ou maximums, c'est-à-dire tout les $\frac{1}{4}$ d'onde dans la ligne de transmission.

IV-conclusion :

Le coefficient de réflexion comme le R.O.S. ne dépendent donc pas de la longueur de la ligne de transmission mais ils sont tout de même influencés par les pertes dans cette dernière. Un ROSmètre utilisé pour effectuer une mesure doit être adapté à la bande de fréquence considéré. Un ROSmètre décamétrique (à lignes couplées) utilisé dans la bande VHF présentera, vis-à-vis de la fréquence, une longueur des lignes trop grande d'où une mauvaise séparation de l'onde directe et de l'onde réfléchi. A l'inverse la séparation sera bonne mais l'appareil de mesure souffrira d'un manque de sensibilité.

Pour lever les doutes et les « on dit » il serait quand même souhaitable de vérifier mon raisonnement avec un ROSmètre professionnel ou de bonne qualité et une ligne de mesure dont la longueur peut varier continûment (ligne télescopique) ou par tronçon (dans ce cas, attention aux pertes ou aux ruptures d'impédances induites par la connectique et qui seraient préjudiciables aux qualités des mesures effectuées).

Possesseurs de tels appareils, je vous encourage à faire l'expérience.

Voici quelques adresses à consulter :

http://www.educatorscorner.com/index.cgi?CONTENT_ID=2481

http://www.educatorscorner.com/index.cgi?CONTENT_ID=2482

A bientôt sur l'air, 73 de Jean Marc F4DXU

bibliographie : Techniques de l'Ingénieur

F4DXU