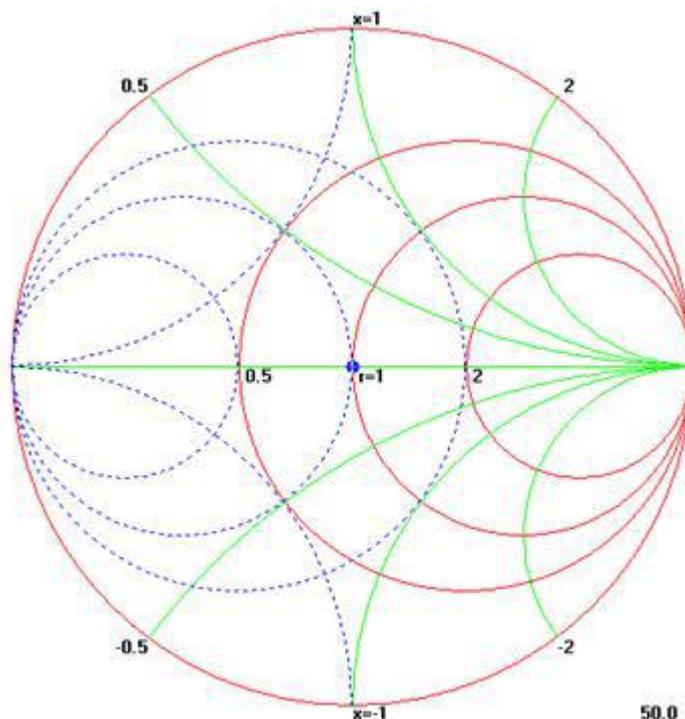


Abaque de SMITH

Traduction du chapitre 28 de "The ARRL Antenna book 18th edition" (par F8DYD pour ARRL)

L'abaque de Smith est un outil sophistiqué pour résoudre les problèmes de ligne de transmission. Une des plus simples applications est la détermination de l'impédance au point d'alimentation d'une antenne, basée sur la mesure de l'impédance à l'entrée d'un tronçon de longueur quelconque de la ligne de transmission. En utilisant l'abaque de Smith, la mesure de l'impédance peut être faite avec l'antenne au sommet du pylône et il n'est pas nécessaire de couper la ligne en un nombre exact de demi-longueurs d'onde. L'abaque de Smith peut être utilisé dans beaucoup d'autres cas comme les réseaux d'adaptation d'impédance. Ces réseaux peuvent prendre les formes en L ou en Pi. La connaissance de l'abaque de Smith peut éviter au radioamateur, un grand nombre d'essais "cut and try", (couper et essayer).



Nommé après que son inventeur, Phillip H. Smith, l'abaque de Smith, il fut initialement décrit dans la revue "Electronics" de janvier 1939. L'abaque de Smith peut être obtenu dans beaucoup de librairies universitaires. Ils peuvent être obtenus par quantité de 100 chez Analog Instruments Co, PO Box 808, New Providence, NJ 07974. (Pour un abaque 8 1/2 x 11 pouces avec coordonnées normalisées => référence 872-BSPR). L'abaque de Smith avec des coordonnées 50Ω (référence 5301-7569) est disponible. L'abaque de Smith peut être aussi obtenu auprès de l'ARRL HQ.

Il est établi que l'impédance d'entrée ou l'impédance vue au travers une longueur de ligne de transmission varie avec : le ROS (SWR), la longueur de la ligne et l'impédance caractéristique de la ligne. Le ROS, lui, dépend de la charge qui termine la ligne.

De complexes relations mathématiques doivent être utilisées pour calculer les différentes valeurs d'impédance, de courant et tension, et de ROS qui existent dans une ligne spécifique. Les

solutions peuvent être trouvées avec un ordinateur et des logiciels adéquats, mais aussi, en utilisant l'abaque de Smith. A moins d'utiliser un ordinateur, une connaissance de base de l'abaque de Smith amènera une meilleure compréhension des problèmes posés. Ainsi on obtiendra une solution plus simple ou plus rapide.

Si l'impédance terminale de la ligne est connue, il est très facile de déterminer l'impédance d'entrée de la ligne pour n'importe quelle longueur de ligne. A l'inverse, avec une longueur de ligne donnée et en connaissant (ou en mesurant) l'impédance d'entrée de la ligne, il est simple de déterminer l'impédance de charge en utilisant l'abaque de Smith (particulièrement intéressant pour déterminer l'impédance d'une antenne).

Malgré son apparence complexe, l'abaque de Smith n'est d'autre qu'un graphique spécialisé. On doit considérer qu'il dispose de coordonnées circulaires au lieu de coordonnées rectangulaires. Le système de coordonnées consiste en deux familles de cercle, famille des résistances et famille des réactances.

Les cercles **résistance** sont centrés sur l'axe Résistance (la seule ligne droite de l'abaque), et sont tangents au cercle le plus extérieur à droite du graphe. A chaque cercle est assignée une valeur de résistance qui indique à quel endroit ce cercle traverse l'axe des résistances. Tous les points le long de cercle ont la même valeur de résistance. Les valeurs de résistance varient de zéro (à gauche de l'axe) à l'infini (à droite) et cette valeur de résistance représente le coefficient par rapport à la valeur de résistance attribuée au centre du graphe indiqué (1.0).

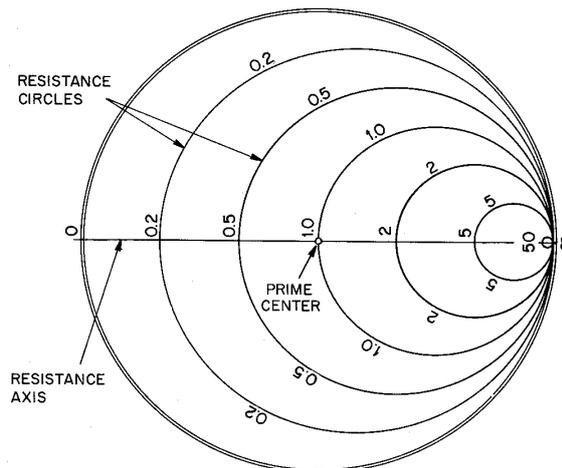


Fig. 1 Cercles résistance de l'abaque de Smith

Ce point central est appelé centre principal (**prime center**). Ainsi si on attribue la valeur 100 ohms au « prime center », alors 200ohms sera le cercle 2.0 et 50 ohms le cercle 0.5. Si c'est la valeur 50 ohms qui est attribué au « prime center », le cercle 2.0 représente alors 100 ohms et le cercle 0.5 représente 25 ohms et ainsi de suite. Ce processus s'appelle la **normalisation**. La conversion inverse est aisée. Pour obtenir la valeur de « Résistance », il faut multiplier la valeur attribué au cercle par la valeur attribuée au centre principal. Cette technique permet d'utiliser le même abaque avec n'importe quelle valeur d'impédance.

Maintenant regardons les cercles « **réactance** » qui apparaissent comme des lignes courbes car seulement des segments de cercle ne peuvent être tracés sur l'abaque.

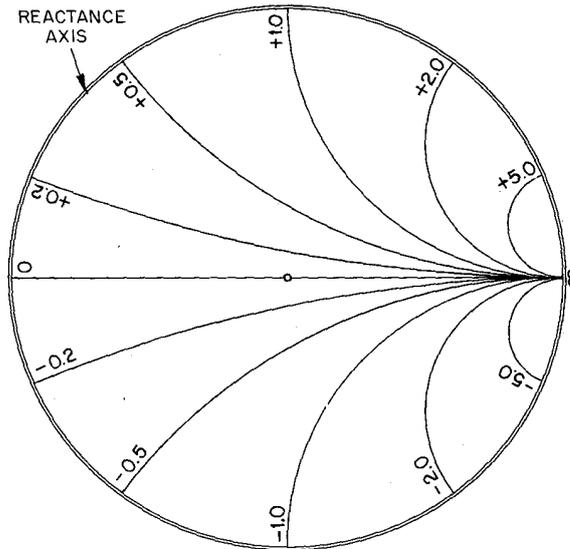


Fig. 2 Cercles réactance (arc) de l'abaque de Smith

Ces cercles sont tangents à l'axe des résistances qui lui-même est un élément de cercle des réactances (avec rayon infini). Les centres de ces cercles se déplacent sur une ligne tangente à la droite de l'abaque, vers le haut ou vers le bas. Le cercle extérieur de l'abaque est l'axe des réactances. Il est attribué à chaque cercle de réactance, la valeur de l'axe de réactances à l'endroit le la rencontre. Tous les points le long d'un segment ont la même valeur de réactance. Comme pour les résistances, les valeurs attribuées à chaque cercle de réactance sont normalisées par rapport à la valeur attribuée au « prime center ». Les valeurs du haut sont positives (inductives) et les valeurs du bas sont négatives (capacitives).

Lorsque les cercles « résistance » et les cercles « réactance » sont combinés, on obtient l'abaque de Smith (fig1). Une impédance complexe $R + jX$ peut être pointée sur l'abaque.

Pointage d'une Impédance :

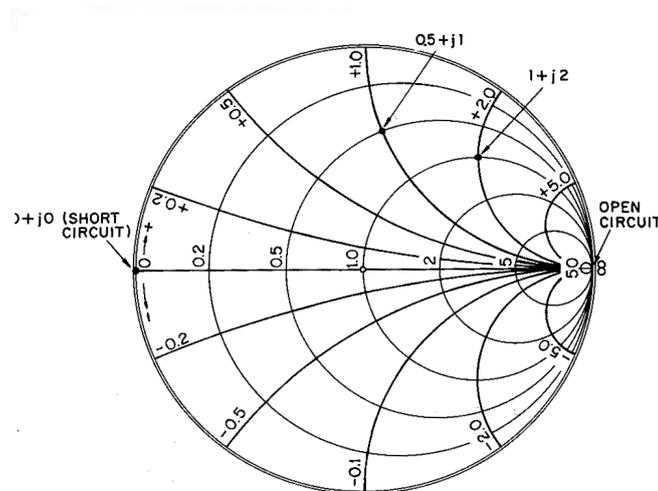


Fig. 3 Système complet de coordonnées de l'abaque de Smith. Par simplicité seuls quelques segments sont dessinés. Plusieurs abaques de Smith sont disponibles sur ARRL HQ.

Supposons que nous ayons une impédance composée par une résistance de 50Ω et une réactance de 100Ω ($Z=50+j100$).

- Attribuons 100Ω au prime center, la normalisation sera:
 $Z_{100} = 0.5 + j1.0$
- Si nous attribuons 50Ω au prime center, la normalisation donne
 $Z_{50} = 1 + j2$

Ces deux exemples montrent que la même impédance peut être pointée à des endroits différents sur l'abaque en fonction de la valeur attribué au prime center.

Mais attention, deux points différents ne peuvent pas représenter la même impédance au même moment. Il est d'usage lorsqu'on travaille sur les lignes de transmission d'attribuer au prime center l'impédance caractéristique de la ligne en étude. Cette valeur devra toujours être enregistrée pour qu'il n'y ait pas de confusion ensuite.

Le prime center est un point à signification particulière. Comme c'est indiqué, il est d'usage d'attribuer la valeur Z_0 à ce point (50Ω pour une ligne 50Ω). Ceci signifie que le centre représente

$50 + j0$, une résistance pure égale à l'impédance caractéristique de la ligne. Si ceci était une charge sur la ligne, nous savons, par la théorie des lignes, que cela représente une adaptation parfaite sans puissance réfléchi, avec ROS (SWR) = 1.0/1. Donc le prime center représente aussi le cercle du ROS= 1/1 (avec rayon = 0). Les cercles ROS sont décrits plus loin.

Court-circuit et circuit ouvert :

Deux cas particulier de pointage d'impédance demandent attention. Ce sont court circuit et circuit ouvert. A vrai court circuit, c'est 0 résistance et 0 réactance : $0+0j$. Cette impédance est pointée sur la gauche du diagramme. A l'opposé, un circuit ouvert a une résistance infinie et il est pointé à droite du diagramme à l'intersection de l'axe des résistances et celui des réactances. Ces deux cas spéciaux sont utilisés quelquefois dans les accords par stub et sont décrits plus loin.

Cercles ROS (SWR) :

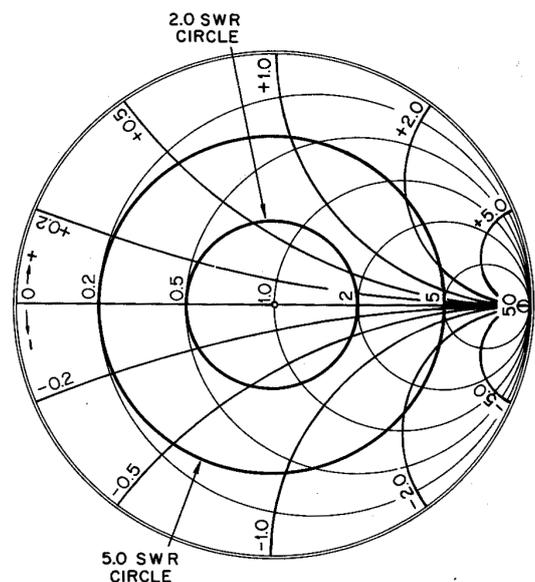


Fig 4 Les cercles ROS constants sont ajoutés sur l'abaque

Faisant partie de la troisième famille de cercles, non imprimé sur le diagramme, mais qui sont ajoutés lors de la résolution des problèmes, ce sont les cercles ROS. Ils sont centrés sur le prime center et ils appartiennent comme des cercles concentriques sur l'axe des réactances. Pendant les calculs, un ou plusieurs de ces cercles peuvent être ajoutés avec un compas. Chaque cercle représente une valeur de ROS et chaque point du cercle représente la même valeur de ROS. La valeur du ROS pour un cercle donné peut être déterminée directement sur l'abaque en lisant la valeur de la résistance là où le cercle croise l'axe des résistances à droite du prime center. En lisant sur la gauche c'est l'inverse du ROS que l'on lit.

Considérons qu'un défaut de charge entraîne un ROS = 3.0, Si temporairement nous ignorons les pertes en ligne.

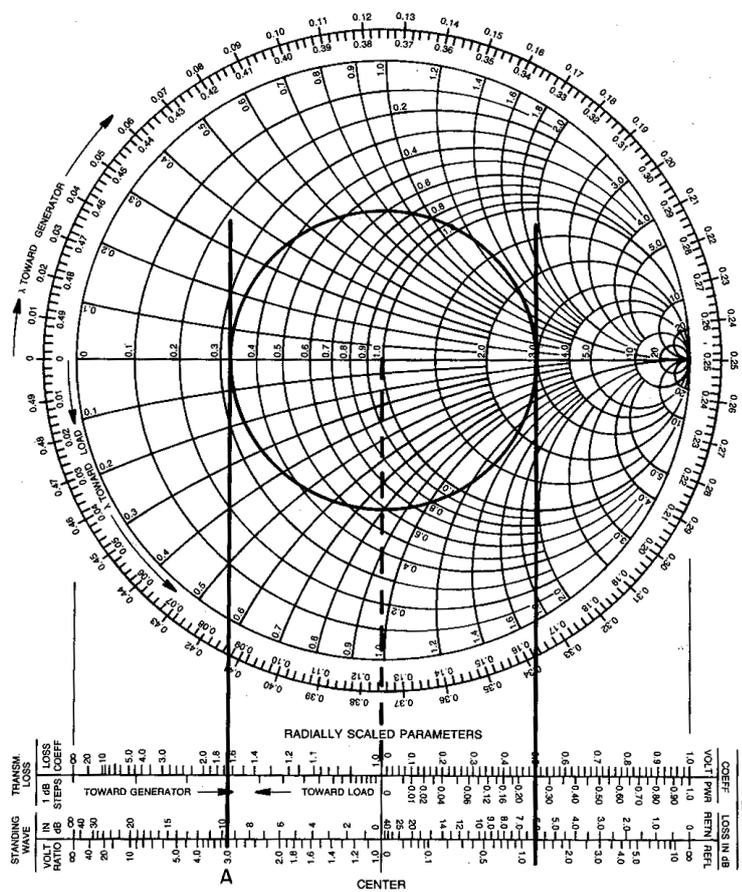


Fig.5 Exemple décrit dans l'article

Il est admis que le ROS reste constant sur l'entière longueur de la ligne. Ceci est représenté par le cercle de rayon 3.0 sur l'axe des résistances. La représentation sur l'abaque indique que toutes les impédances rencontrées le long de la ligne seront sur le cercle de rayon 3.0. Les impédances seront lues sur l'abaque en suivant le cercle ROS en fonction de la longueur de ligne considérée. Ceci nous amène à l'utilisation de l'échelle des longueurs d'onde. Cette échelle est calibrée en fraction de longueur d'onde le long de la ligne. Deux échelles partent de zéro à gauche de l'abaque. Une échelle, dans le sens antihoraire, démarre du générateur, ou de l'entrée de la ligne

et progresse vers la charge. L'autre échelle part de la charge et progresse vers le générateur dans le sens horaire. Le tour complet de l'abaque représente une demi-longueur d'onde. Un tour de l'abaque correspond à une progression d'une demi-longueur d'onde sur la ligne du fait que les impédances sont les mêmes toutes les demi-longueurs d'onde sur une ligne. L'abaque peut ainsi être utilisé pour n'importe quelle longueur de ligne en soustrayant un nombre entier de demi-longueurs d'onde.

Comme le montre la fig 5, un moyen de transférer le rayon du cercle ROS est le tracé de ligne tangente au cercle ROS sur l'axe externe. Un autre moyen est de le reporter avec un compas.

Il faut noter, que comme réalisé sur la fig 5, La valeur initiale de ROS= 3.0 lue au départ sur l'axe des résistances, se lit en utilisant la projection sur l'axe ROS, de l'extérieur du cercle ROS.

Résolution de problème avec l'abaque de Smith :

Supposons que nous ayons une ligne 50Ω d'impédance caractéristique d'une longueur électrique de 0.3λ . Cette ligne est terminée par une impédance ayant une composante résistive de 25Ω et d'une réactance inductive de 25Ω ($25+j25$). Quelle l'impédance à l'entrée de la ligne ?

L'impédance caractéristique de la ligne étant 50Ω , nous affectons cette valeur au prime center (normalisation $/50\Omega$). Puisque la ligne n'est pas terminée par son impédance caractéristique, nous savons que la ligne est le siège d'ondes stationnaires et donc que l'impédance d'entrée de la ligne ne sera plus 50Ω .

Procédons comme suit :

- Normalisons les éléments en les divisant par 50 ; soit $Z_c = 0.5 + j0.5$
- Pointons Z_c sur l'abaque
- Traçons un cercle de ROS constant passant par ce point
- Transférons le rayon de cercle ROS sur l'échelle externe avec un compas. Ce qui donne un rayon de 2.62. Ce qui indique que notre ligne fonctionne avec un ROS de 2.62/1. Ce point est converti en décibel sur l'échelle attenante (soit 8.4 dB). Ceci indique que le rapport entre la tension maximum et la tension minimum, le long de la ligne est de 8,4 dB, ($20 \log$ de ROS).

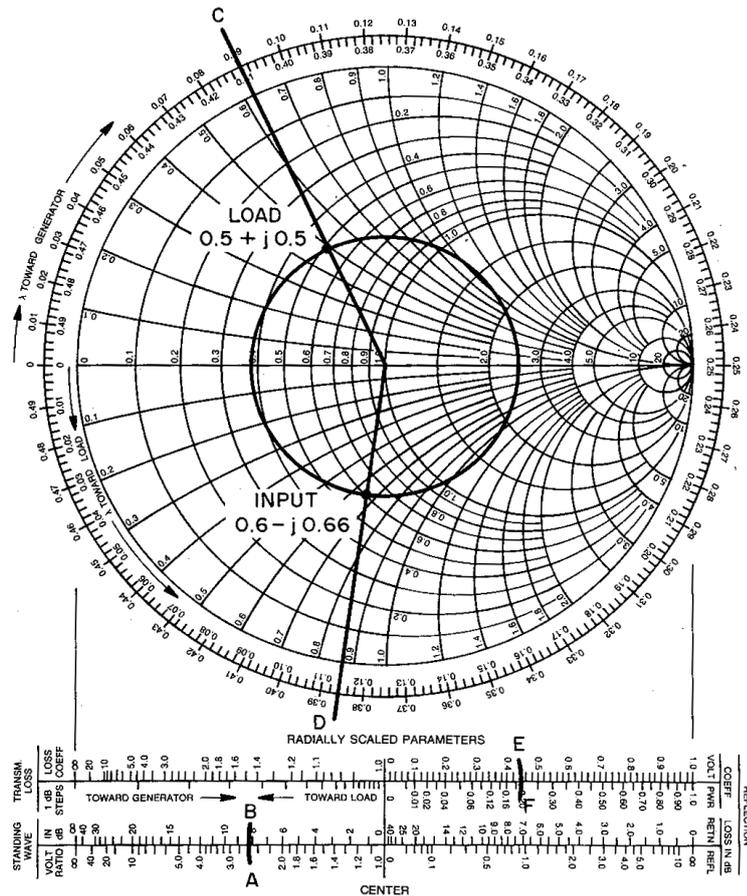


Fig. 6 Exemple décrit dans l'article

- Ensuite avec une règle, traçons une ligne passant par le prime center et par le point $0.5 + j0.5$ (impédance pointée). Pour croiser l'échelle des longueurs d'onde. Puisque nous sommes partis de la charge nous utilisons le sens vers le générateur. A ce point C, lisons la valeur sur l'échelle des λ (soit 0.088λ).
- Pour obtenir l'impédance d'entrée de la ligne, nous cherchons simplement à quel endroit sur le cercle ROS nous serons 0.3λ plus loin. Il faut additionner 0.3λ à la valeur initiale soit $0.088 + 0.3 = 0.388\lambda$. Le point trouvé est D. En traçant une nouvelle droite entre ce point et le prime center. A l'intersection avec le cercle ROS on lit la valeur $0.6 - j0.66$ qui représente l'impédance normalisée à l'entrée de la ligne.
- Pour revenir à l'impédance réelle (dé-normalisée) nous multiplions par 50 soit $30 - j33$ c'est-à-dire équivalent à une résistance de 30 ohms et une réactance capacitive de 33 ohms. C'est cette impédance complexe que le transceiver devra accorder. C'est aussi cette impédance qui sera mesurée à l'entrée de la ligne.

Il est possible de trouvé sur l'abaque d'autres éléments caractéristiques des lignes de transmission.

Par exemple : le coefficient de réflexion en tension à la fois en amplitude et en phase pour une charge donnée. L'angle de phase est lu en dessous de la ligne radiale passant par l'impédance pointée, à l'intersection avec l'échelle des angles de réflexion. Cela ne figure pas sur la figure ci-dessus, mais une échelle existe sur les abaques de Smith. Dans notre exemple on peut lire 116.6 degrés. Ceci indique avec quel angle la tension incidente, à la charge, devient tension réfléchi. Il faudra noter que les angles dans la moitié inférieure ou réactance capacitive sont des angles négatifs. Un angle négatif indique que la tension réfléchi est en retard sur la tension incidente.

L'amplitude du coefficient de réflexion en tension est lue sur l'échelle du coefficient de tension, on peut voir approximativement 0.45 en E pour cet exemple. Ce qui veut dire que 45% de la tension incidente est réfléchi.

Juste à côté de cette échelle, sur l'axe calibration en puissance (F) le coefficient de réflexion en puissance est de 0.2 c'est-à-dire 20% de la puissance incidente est réfléchi. La puissance réfléchi est proportionnelle au carré de la tension réfléchi.

Coordonnées Admittance :

Il est souvent intéressant de convertir une donnée impédance en valeur d'admittance (conductance/résistance et susceptance/réactance). Le travail avec admittance simplifie les calculs lorsque des impédances sont montées en parallèle comme les accords par stub. Les valeurs de conductances sont additionnées comme les valeurs de susceptance dans une combinaison en parallèle. Cette admittance peut ensuite être convertie en donnée impédance.

Sur l'abaque de Smith, la conversion est très simple. L'admittance équivalente d'une impédance pointée sur l'abaque est diamétralement opposée à l'impédance. En d'autres mots, il suffit de prolonger la ligne passant par l'impédance et le prime center. Le point admittance sera symétrique par rapport au centre, donc sur le même cercle ROS. Ainsi on peut lire sur l'abaque 0.76 + j 0.84. Dans la conversion, il faut se souvenir qu'une réactance capacitive est négative mais la susceptance capacitive est positive. Ce qui correspond bien à l'identification sur l'abaque. Pour finir, la valeur de l'admittance en Siemens est divisée par la valeur 50 de normalisation. Pour l'exemple ici :

$$Y = 0.76/50 + j0.84/50 \text{ soit } 0.0152 + j0.0168 \text{ siemens.}$$

Naturellement la transformation admittance vers impédance est aussi simple.

Détermination des impédances d'antenne :

Pour déterminer les impédances d'antenne, la procédure est la même que précédemment. La longueur électrique de la ligne d'alimentation (feeder) doit être connue et l'impédance à l'entrée de la ligne doit être connue par une mesure avec un impédance-mètre ou un pont de bruit. Que l'antenne soit utilisée uniquement en émission ou uniquement en réception, il n'y a pas de différence ; L'antenne est la charge terminale de la ligne que la mesure a déterminée. Dans ce type de problème, l'impédance mesurée est pointée sur l'abaque de Smith et c'est l'échelle « **vers la charge** » qui est utilisée en liaison avec la longueur électrique de la ligne pour déterminer l'impédance de l'antenne.

Par exemple, nous avons mesuré une impédance de la ligne 50 Ω de $70 - j25\Omega$. La longueur de la ligne est de 2.35λ et elle est directement chargée par l'antenne. Quelle est l'impédance de l'antenne ?

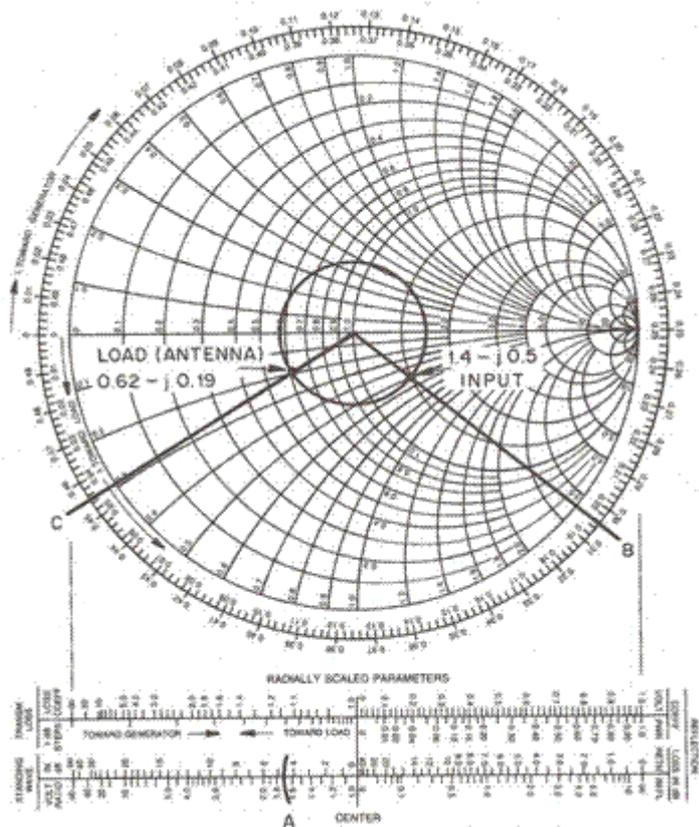


Fig. 7 Exemple décrit dans le texte

En normalisant à 50Ω l'impédance mesurée devient $1,4 + j 0,5$. Et on pointe cette valeur sur l'abaque. Ensuite il faut tracer le cercle de ROS constant. En transférant le rayon de ce cercle ROS sur l'échelle ROS externe, on trouve $ROS = 1,7$. Nous traçons ensuite un rayon du prime center vers le cercle externe et passant par le point « impédance » (point B). Nous lisons la valeur de référence de $0,195$ sur l'échelle « **vers la charge** ». On se souvient que l'on part du générateur vers l'antenne (la charge). Pour localiser l'impédance d'antenne sur le cercle ROS, on ajoute la valeur $2,35 \lambda$ à $0,195$ soit $2,545$. Mais pour localiser cette valeur qui dépasse les $0,5 \lambda$, sur le cercle ROS, il faut retrancher un nombre entier de demi longueur d'onde pour obtenir un résultat positif : soit $2,545 - 2,5 = 0,045$. Toujours sur le cercle interne « **vers la charge** » nous trouvons le point C.

Le tracé du rayon passant par ce point et joignant le prime center passe sur le cercle ROS à $0,62 + j0,19$. En multipliant par les 50Ω de normalisation nous trouvons une impédance d'antenne de $31 - j 9,5 \Omega$ soit une résistance de 31Ω et une réactance capacitive de $9,5 \Omega$.

Le problème peut aussi être entré sur l'abaque d'une autre manière. Supposons que nous ayons une antenne "groundplane" alimentée à la base et en résonance mais plus courte que le $1/4 \lambda$. Toutefois on suppose qu'on dispose d'un détecteur de ROS dans la ligne qui indique $1,7/1$. La longueur de la ligne est de $0,95 \lambda$. Nous voulons à la fois connaître l'impédance de l'antenne et celle à l'entrée de la ligne.

Dans les informations disponibles nous n'avons pas d'impédance à entrer sur l'abaque. Nous pouvons malgré tout tracer le cercle ROS $1,7/1$.

Nous savons aussi, par la définition de la résonance, que l'antenne présentera une charge purement résistive à la ligne, sans composante réactive. Donc l'impédance d'antenne tombe sur

l'axe résistance. Nous avons ainsi deux solutions : $0,59 + j0$ et $1,7 + j0$. En multipliant par 50Ω de normalisation, on trouve deux réponses : $29,5 \Omega$ et 85Ω . En considérant les fondamentaux sur l'antenne $\frac{1}{4} \lambda$, on sait que l'impédance d'un $\frac{1}{4} \lambda$ est sensiblement de 36Ω . Nous pouvons donc écarter la solution 85Ω au profit de la valeur $29,5 \Omega$.

Pour trouver l'impédance à l'entrée de la ligne, nous soustrayons $0,5 \lambda$ à $0,95 \lambda$ (longueur de la ligne) soit $0,45 \lambda$ à suivre sur l'échelle « **vers le générateur** ». Le point de départ est bien sûr 0. L'impédance de la ligne est égale à $0.62 - j0,20$ soit $31,5 \Omega - j10 \Omega$.

Détermination de la longueur de la ligne :

Dans les exemples précédents les longueurs de ligne sont données en longueurs d'onde (λ). La longueur électrique d'une ligne dépend de sa longueur physique, de la fréquence du signal et de la vitesse de propagation de la ligne. Une méthode directe pour évaluer la longueur électrique de la ligne est de mesurer la longueur physique et de calculer sa longueur électrique à partir de la formule suivante :

$$N = \frac{L f}{300 vF}$$

avec :

- N nombre de longueur d'onde de la ligne
- L longueur physique de la ligne en mètre
- f fréquence en Mégahertz
- vF facteur de vitesse de propagation de la ligne

Le facteur de vitesse des lignes de transmission sont obtenus d'après les données constructeur (ou à partir des tableaux Chapitre 24 de l'ARRL ANTENNA BOOK).

Considérations sur les pertes en ligne et l'abaque de Smith:

Les exemples présentés plus haut ignorent le problème des pertes en ligne. Assez souvent, il n'est pas nécessaire de prendre en compte ce problème dans les calculs. Les quelques différences obtenues sont souvent imperceptibles sur l'abaque. Toutefois, lorsque les pertes en ligne deviennent importantes, telle que lignes à fortes pertes, très longues lignes ou en UHF et VHF, l'influence des pertes n'est plus négligeable en utilisant l'abaque. Ceci implique seulement une étape supplémentaire dans les procédures vues auparavant.

Si dans une ligne sans perte le ROS reste constant tout le long de la ligne, ce n'est plus le cas dans une ligne avec pertes. Le ROS décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la charge. Pour présenter réellement ce phénomène sur l'abaque de Smith, au lieu de dessiner le cercle "ROS constant", nous devons dessiner une spirale "rentrante" dans le sens horaire (charge vers générateur) comme c'est montré sur la figure 8.

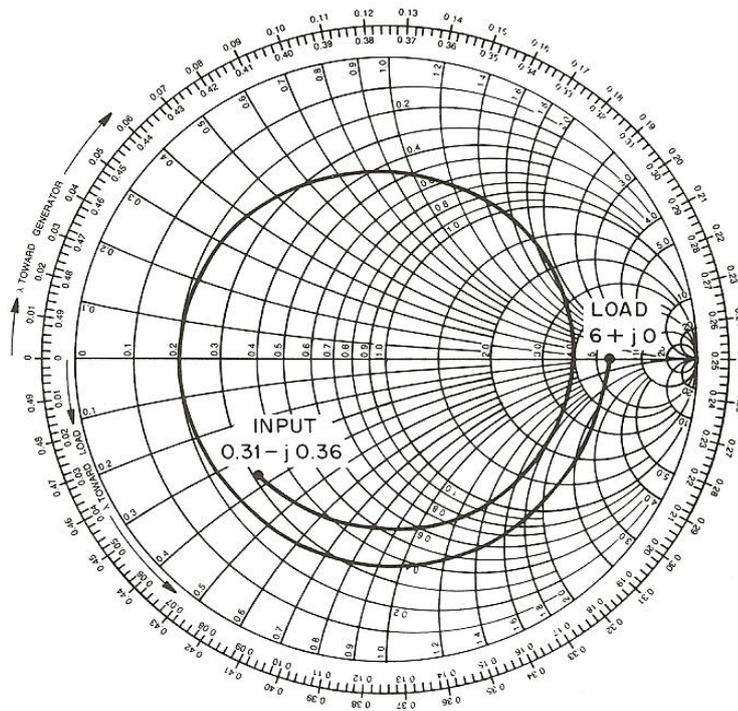


Fig 8: Cette spirale est le "pseudo cercle " de ROS, lorsque les pertes en ligne sont prises en compte. Ce cas précis est basé sur une ligne de 16 pieds (4,87 m) de RG174, alimentant une antenne résonnante sur 300Ω/28MHz (coax 50Ω, facteur de vélocité 0,66; atténuation = 6,2db/100pieds). Le ROS à la charge est de 6:/1 tandis qu'à l'entrée de la ligne, il est de 3,6/1. Lorsqu'on veut prendre en compte l'atténuation, nous traçons deux cercles de ROS constant, à la place de la spirale. Un cercle est tracé pour le ROS à la Charge, un autre est tracé pour le ROS à l'entrée de la ligne.

La manière dont la spirale se rapproche du centre principal depuis la charge est lié à l'atténuation de ligne. Plutôt que dessiner une spirale, il est plus simple d'utiliser l'échelle externe Pertes de transmission échelle 1dB-steps. Cette échelle peut être vue sur la figure ci-dessus. Cette échelle est une échelle relative, elle n'est pas graduée.

Si nous partons à l'extrémité gauche de cette échelle externe, et que nous allons dans le sens "vers le générateur" (toward generator), au premier point A le ROS est environ 9/1, au point B, le ROS est de 4,5/1 et en C le ROS est de 3,0/1 et ainsi de suite jusqu'à la dernière graduation (la 15ème) où le ROS est environ 1,05/1. Ceci signifie qu'une ligne terminée par un court-circuit ou un circuit ouvert (ROS infini) et ayant une atténuation de 15db pourrait afficher un ROS de seulement 1,05 à l'entrée. Il faut noter que les graduations "dB step" (près de l'extrémité droite de l'abaque) sont très rapprochées. et qu'une atténuation en ligne de 1 ou 2 dB a très peu d'effet sur le ROS. Mais près de l'extrémité gauche, correspondant à des ROS élevés, 1 ou 2dB de pertes a un effet considérable sur le ROS.

Utilisation d'un second cercle ROS

Dans la résolution des problèmes qui tiennent compte des pertes en lignes, il est seulement nécessaire de modifier le rayon du cercle de ROS d'une valeur indiquée sur l'échelle "Transmission-loss 1-dB step". Ceci est réalisé en dessinant un second cercle ROS, oit plus petit

soit plus grand que le premier suivant que vous travaillez vers la charge (toward load) ou vers le générateur (toward generator).

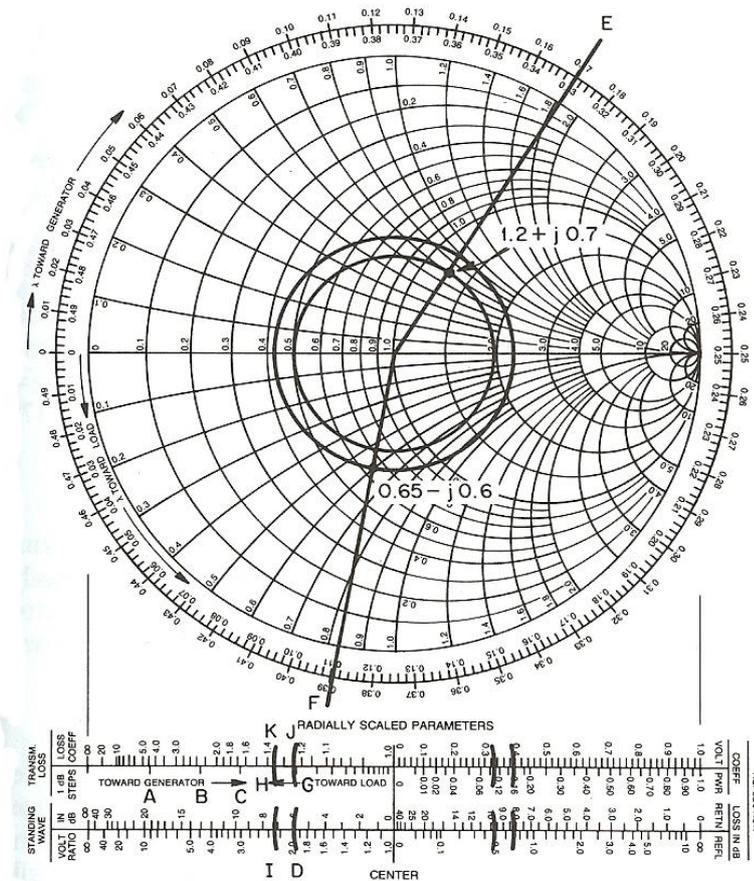


Fig 9- Exemple de calculs prenant en compte les pertes en lignes

Par exemple, supposons que nous avons une ligne 50 ohms qui a $0,282 \lambda$ de longueur, avec 1 dB d'atténuation inhérente. L'impédance d'entrée de la ligne est mesurée à $60 + j35$ ohms. Nous désirons connaître le ROS à l'entrée et à la charge ainsi que l'impédance de charge. Comme ci-dessus, nous normalisons l'impédance $60 + j35 \Omega$, nous portons le point sur l'abaque et nous dessinons un cercle ROS constant ainsi qu'un rayon passant par le point "impédance". Dans ce cas l'impédance normalisée est $1,2 + j0,7$. Sur la Fig. 9 le ROS à l'entrée de la ligne est lu à 1,9 (en D), et le rayon traverse l'échelle "Toward load" à 0,328 (en E). A la valeur 0,328 nous ajoutons la longueur de ligne, 0,282 et nous arrivons à la valeur de 0,610. Pour pointer ce point sur l'échelle "Toward load", nous retirons d'abord 0,500 et nous pointons 0.110 (en F); puis nous dessinons un rayon de ce point vers le centre principal de l'abaque.

Pour prendre en compte, les pertes en lignes, il faut reporter le rayon du cercle ROS vers l'échelle externe 1-dB Steps. Ce rayon traverse l'échelle externe en G, le cinquième repère décibel depuis la gauche. La perte en ligne étant donnée à 1 dB, nous traçons un nouveau rayon (en H), un repère plus à gauche (toward load) sur la même échelle. Ce sera le quatrième repère à partir de la gauche de l'échelle). Maintenant nous reportons ce nouveau rayon sur l'abaque principal et nous traçons un nouveau cercle ROS à partir de ce rayon. Ce nouveau cercle ROS représente le ROS à la charge, et il a comme valeur 2,3 sur l'échelle externe Voltage Ratio. A l'intersection de

ce nouveau cercle et de la ligne radiale de la charge, nous lisons $0,65 + j0,6$. Ceci est l'impédance normalisée. En multipliant par 50, nous obtenons l'impédance de la charge $32,5 + j 30$ ohms. Le ROS, dans cet exemple, croit de 1,9 à l'entrée de la ligne vers 2,3 (en I) à la charge, en ayant pris en compte 1dB de perte en ligne.

Dans l'exemple ci-dessus, les valeurs sont choisies pour tomber sur, ou très près, des graduations sur l'échelle 1-dB. Maintenant c'est un problème simple d'interpoler entre ces graduations lorsqu'on fait une correction de rayon. Quand c'est nécessaire, la distance relative entre ces graduations pour chaque pas décibel pourrait être conservée en comptant le nombre de graduations.

Près de l'échelle 1-dB se trouve l'échelle Loss coefficient (coefficient de pertes). Cette échelle donne un coefficient par lequel les pertes en ligne doivent être multipliées pour tenir compte des ondes stationnaires lorsqu'elles sont présentes. Ces pertes supplémentaires n'affectent pas les calculs de ROS ou d'impédance; c'est simplement les pertes additionnelles dues au diélectrique et au cuivre du fait que la ligne transporte un courant moyen plus important et doit supporter une tension plus grande en présence d'ondes stationnaires. Dans l'exemple donné, Fig. 9, le coefficient de perte à l'entrée est de 1,21 (en J) et de 1,39 (en K) à la charge. Avec une bonne approximation, le coefficient de perte peut être moyenné sur la longueur de la ligne prise en compte; dans ce cas la moyenne est 1,3. Ceci veut dire que les pertes totales en ligne sont 1,3 fois la perte de la ligne (1dB) soit 1,3dB. C'est le même résultat qui est obtenu à partir de la procédure donnée au chapitre 24 de l'ouvrage.

Résumé de la procédure sur l'abaque de Smith

Pour résumer brièvement, des calculs faits sur l'abaque de Smith, il est possible de lister quatre étapes de bases, et toutefois pas nécessairement dans l'ordre listé.

1. Normaliser et pointer l'impédance d'entrée ou de charge, puis construire un cercle de ROS constant.
2. Appliquer la longueur de la ligne à l'échelle des longueurs d'onde
3. Déterminer l'atténuation ou les pertes, si besoin, au moyen d'un second cercle ROS.
4. Lire l'impédance de charge ou d'entrée, puis convertir l'impédance en ohms.

L'abaque de Smith peut être utilisé pour divers types de problème autres que ceux montrés dans les exemples. La transformation d'impédance par une longueur de ligne (pour transformer une forte impédance avec éventuellement une forte valeur réactive en une impédance purement résistive) n'est pas citée. Il est très connu que l'utilisation de l'abaque pour les lignes d'accord évite un grand nombre d'essais (cut and try, couper et essayer). L'abaque peut être aussi utilisé pour déterminer des longueurs pour stub d'accord ouvert ou en court-circuit, décrits plus loin dans ce chapitre. En fait, dans toutes les applications où la ligne n'est pas parfaitement accordée, l'abaque est une solution.

Atténuation et Impédance caractéristique, Z_0 , à partir des mesures d'impédance:

Si un pont d'impédance est nécessaire pour faire des mesures précises en présence de fortes valeurs de ROS, l'atténuation, l'impédance caractéristique et le facteur de vélocité de n'importe quelle longueur de ligne coaxiale peuvent être déterminés. Cette partie a été écrite par Jerry Hall, K1TD.

Les ponts d'impédance et les ponts de bruit, fabrication maison, offriront rarement le degré de précision attendu lors de leur utilisation, mais quelquefois des ponts de laboratoire peuvent être trouvés dans des surplus industriels pour un prix raisonnable. Il peut, aussi, être possible pour un amateur d'emprunter pour un week-end ou deux un pont de laboratoire. Faire les mesures n'est pas très difficile, mais les procédures ne sont pas forcément connues par la plupart des radioamateurs. Une équation utilisant les nombres complexes est utilisée, mais la partie mathématique peut être traitée par une calculatrice disposant des fonctions trigonométriques. Tous les détails sont donnés dans les paragraphes suivants.

Pour chaque fréquence en test, deux mesures sont nécessaires pour déterminer l'impédance de la ligne. Juste une seule mesure n'est nécessaire pour déterminer l'atténuation de la ligne et le facteur de vélocité. Exemple: nous avons une longueur de 100 pieds (≈ 30 mètres) d'un câble inconnu avec diélectrique "mousse" et nous désirons connaître ses caractéristiques. Nous faisons nos mesures à 7,15 MHz.

La procédure est la suivante:

1) Laisser la ligne circuit ouvert. Le meilleur circuit ouvert est celui qui minimise la capacité entre l'âme et la tresse. Si le câble dispose d'une prise PL-259, dévissez la bague externe et glissez sur le câble de quelques pouces (plusieurs centimètres). Si le câble est dénudé, repliez la tresse le long du câble, loin de l'âme du câble coaxial.

2) Mesurez et enregistrez l'impédance à l'extrémité "entrée" de la ligne. Si le pont mesure les admittances, convertissez les valeurs mesurées en résistance et réactance. Enregistrez ces valeurs comme $R_{oc} + jX_{oc}$. Dans notre exemple, nous trouvons $85 + j179 \Omega$. (Si le terme réactance est capacitif, enregistrez en négatif).

3) Maintenant fermons la ligne par un court-circuit. Si un connecteur existe au bout de la ligne, il est possible d'utiliser un court morceau de conducteur soudé entre l'âme et l'extérieur. Si le câble n'a pas de connecteur, il faut dénuder le câble sur quelques centimètres, puis torsader l'âme et la tresse. Un petit clip ou une pince crocodile peut être serré à l'extrémité.

4) A nouveau, mesurez l'impédance à l'extrémité "entrée" de la ligne et enregistrez comme $R_{sc} + jX$. Ici nous trouvons maintenant $4,8 - j11,2 \Omega$. Les mesures sont terminées, maintenant prenons la calculatrice.

Comme radioamateurs, nous pensons que l'impédance caractéristique de la ligne est purement résistive, mais elle peut (elle doit) avoir une petite composante capacitive. Donc l'impédance caractéristique de la ligne est $Z_o = R_o + jX_o$. L'équation de base pour calculer l'impédance caractéristique est:

$$Z_o = \sqrt{(Z_{oc} \cdot Z_{sc})} \quad (\text{Equation 2})$$

ou

$$Z_{oc} = R_{oc} + jX_{oc}$$

$$Z_{sc} = R_{sc} + jX_{sc}$$

de l'équation 2 il est possible d'obtenir l'équation de travail:

$$Z_o = \sqrt{((R_{oc}R_{sc} - X_{oc}X_{sc}) + j(R_{oc}X_{sc} + R_{sc}X_{oc}))} \quad (\text{Equation 3})$$

L'expression sous le radical est de la forme $R + jX$. En reportant les valeurs de notre exemple dans l'équation 3, le terme R devient $85 \times 4,8 - 179 \times (-11,2) = 2412,8$, et le terme en X devient $85 \times (-11,2) + 4,8 \times 179 = -92,8$. Jusque là nous avons déterminé que $Z_0 = \sqrt{2412,8 - j92,8}$. La quantité sous le radical est dans une forme rectangulaire. Extraire la racine carrée d'une expression complexe est simple si elle est dans une forme polaire, amplitude d'un vecteur et son angle. L'amplitude du vecteur est simplement la racine carrée de la somme des carrés qui dans ce cas est: $\sqrt{2412,8^2 + 92,8^2} = \sqrt{2414,58}$.

La tangente de l'angle du vecteur que nous cherchons est la valeur de la réactance divisée par la résistance. Pour notre exemple: $\arctan -92,8/2412,8 = \arctan -0,03846$. L'angle trouvé est donc $-2,20^\circ$. En conclusion nous avons trouvé que $Z_0 = \sqrt{2414,58} \angle -2,20^\circ$. Extraire la racine carrée est maintenant simplement la racine carrée de l'amplitude du vecteur et la racine carrée de l'angle c'est la moitié de l'angle. (L'angle est mathématiquement traité comme un exposant). Notre résultat dans notre exemple est $Z_0 = 49,1 \angle -1,1^\circ$. Le petit angle négatif peut être ignoré et maintenant nous savons que nous avons un câble d'impédance caractéristique nominale de 50Ω . (Des variations de 6 à 8% par rapport à la valeur nominale sont courantes. Si l'angle négatif est grand ou si l'angle est positif refaites vos calculs voire refaites vos mesures. Vous pouvez avoir une idée de la valeur de vos mesures en normalisant les mesures et en les pointant sur l'abaque de Smith comme montré sur la fig 10, pour cet exemple. Idéalement les deux points doivent être diamétralement opposés, mais dans la pratique, ils ne sont pas tout à fait à 180° et pas tout à fait à équidistance du centre principal. Des mesures avec grand soin devraient mener à l'idéal. Des variations significatives par rapport à l'idéal indiquent des mesures négligées, voire un pont de mesure hors d'état de bon fonctionnement.

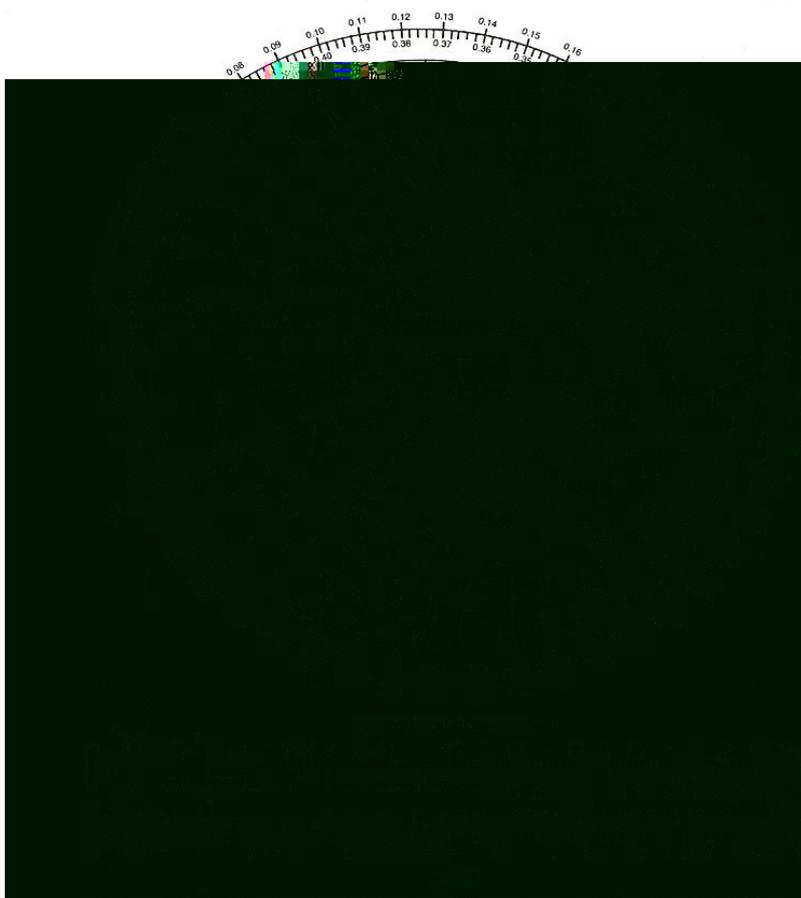


Fig. 10 Détermination des pertes et du facteur de vélocité avec l'abaque de Smith, à partir des mesures la ligne terminée soit par un circuit ouvert, soit par un court circuit.

Détermination de l'atténuation de la ligne:

La mesure en court-circuit peut être utilisée pour déterminer l'atténuation de la ligne. Cette manière est plus efficace, car un bon court-circuit est facile à réaliser, tandis un bon circuit ouvert l'est beaucoup moins. (Il est impossible de s'affranchir de la capacité entre les conducteurs et cette capacité est un chemin pour les courants à la fréquence HF de mesure). Utilisons l'abaque de Smith et- son échelle externe "1-dB steps" pour trouver l'atténuation. Premièrement, normalisons l'impédance en court-circuit pour calculer Z_0 et pointons ce point sur l'abaque. Voir Fig 10. Pour notre exemple l'impédance normalisée est $4,8/49,1 - j 11,2/49,1$ soit $0,098 - j 0,228$. Après avoir pointé ce point, transférons ce rayon sur l'échelle "1-dB steps". C'est le point A sur la fig 10.

Souvenez vous de la discussion précédente que le point pour pointer un court-circuit est $0+j0$ à l'extrémité gauche de l'axe des résistances. Sur l'échelle "1-dB steps" c'est aussi à l'extrémité gauche. L'atténuation totale de la ligne est représenté par le nombre de graduation de l'extrémité gauche de l'échelle et le point juste précédemment pointé. Pour cet exemple c'est 0,8 dB. Quelques estimations sont nécessaires pour l'interpolation entre les graduations sur cette échelle.

Détermination du facteur de vélocité:

Le facteur de vélocité est déterminé en utilisant l'échelle loguer d'onde "toward generator" (vers le générateur) de l'abaque. Avec une règle, dessinez une ligne droite entre le centre principal et le point représentant la lecture de l'impédance en court-circuit, et ce jusqu'à l'intersection avec l'échelle des longueurs d'ondes. Sur la fig 10, ce point est marqué B. Il faut considérer que lors de la mesure le court-circuit est la charge de la ligne. Imaginons une spirale progressant dans le sens horaire de puis $0+j0$ vers notre point repéré. L'échelle longueur d'onde, en B, indique que la longueur de la ligne est $0,464 \lambda$. En réarrangeant l'équation 1 donnée plus haut, nous arrivons à l'équation permettant de calculer le facteur de vélocité.

$$VF = L f / 300 N$$

où

VF = facteur de vélocité

L = longueur de la ligne en mètre

f = fréquence en MHz

N = nombre de longueurs d'onde électrique de la ligne

En insérant les valeurs de notre exemple dans l'équation 4, le résultat donne: $VF = 100 \times 7,15 / (984 \times 0,464) = 1,566$ ou encore 156,6%. Or naturellement, c'est un nombre impossible; le facteur de vélocité ne peut être supérieur à 100%. Mais rappelons-nous que l'abaque de Smith peut être utilisé pour des longueurs supérieures à $1/2 \lambda$. Dans ces conditions cette valeur de $0,464 \lambda$ peut être aussi $0,964 \lambda$, $1,464 \lambda$, $1,964 \lambda$ et ainsi de suite. Si nous utilisons la valeur $0,964$ dans l'équation 4 le facteur de vélocité calculé devient $0,753$ ou 75,3%. En essayant des valeurs croissantes de longueur d'onde, on trouve un facteur de vélocité de 49,6% puis 37,0%. Du fait que le diélectrique du câble en essais soit constitué de mousse polyuréthane, la valeur 75,3% est la valeur la plus probable. Ceci correspond à une longueur électrique de $0,964 \lambda$. Donc, nous avons

déterminé, à partir des mesures puis des calculs que notre câble coaxial inconnu a une impédance de 50Ω , une atténuation de 0,8 dB pour 100 pieds (30 m) à 7,17 MHz ainsi qu'un facteur de vélocité de 75,3%.

Il est très difficile d'utiliser cette procédure pour de courte longueur de câble. La raison est que le ROS à l'entrée de la ligne est beaucoup trop important pour permettre des mesures avec précision avec la plupart de ponts de mesures. Dans l'exemple ci-dessus le ROS à l'entrée de la ligne est d'environ 12/1.

La procédure décrite ci-dessus, peut aussi être utilisée pour déterminer les caractéristiques d'une ligne équilibrée. Toutefois, la plupart des ponts de mesure sont des instruments non équilibrés et la procédure pour faire des mesures précises sur une ligne équilibrée est assez compliquée avec un pont non équilibré.

Lignes comme éléments de circuit

L'utilisation de tronçons de ligne, utilisés comme composants est présenté dans le chapitre 24. Par exemple, il est possible de remplacer self ou condensateur d'un circuit classique par un tronçon de ligne de transmission. Alors que dans les circuits classiques, ce besoin est rare, dans les systèmes d'antenne c'est très souvent utilisé pour accorder ou faire résonner des éléments à la place de composants discrets. Probablement, l'utilisation la plus courante est le résonateur dit "épingle à cheveux" où un court tronçon de ligne en fil rigide nu, remplace une self discrète.

L'équivalent de la self discrète ou du condensateur peut être déterminé à l'aide de l'abaque de Smith. Les pertes en ligne peuvent être prises en compte, si nécessaire, comme expliqué plus loin. (Voir fig 11). Rappelez-vous que la moitié supérieure de l'abaque est utilisé pour les impédances contenant une réactance inductives, alors que la moitié du bas est utilisé pour les impédances contenant une partie capacitive. Par exemple, un tronçon de ligne 600Ω de longueur $3/16\lambda$ ($0,1875\lambda$) et court-circuité à une extrémité est représentée par l1, dessiné comme un arc à l'extérieur de l'abaque.

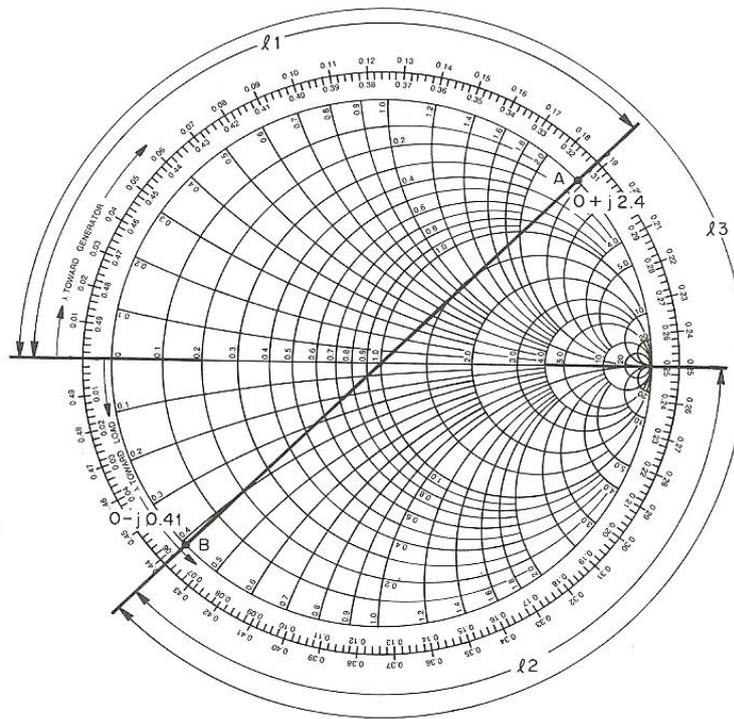


Fig.11 Détermination de l'impédance d'un tronçon de ligne ouverte ou en court-circuit, sans tenir compte des pertes

La "charge" est un court-circuit, $0 + j 0$, et l'échelle des longueurs d'onde "vers le générateur" (Toward generator) est utilisé pour afficher la longueur de la ligne. Au point A, Fig. 11, on peut lire l'impédance normalisée de la ligne, $0 + j 2,4$. La réactance est donc inductive et égale à $600 \times 1,4 = 1440 \Omega$. Le même élément de ligne, terminé par un circuit ouvert (impédance ∞ , le point à la droite de l'abaque), est représenté par I2 sur la Fig.11. En B, l'impédance d'entrée de la ligne vaut $0 - j 0,41$; dans ce cas la réactance est capacitive et vaut $600 \times 0,41 = 246 \Omega$. (Les pertes en ligne ne sont pas prises en compte dans ce cas). A partir de la Fig.11, il est simple de voir que si l1 est augmenté de $1/4 \lambda$, la longueur totale est représentée par l3, l'impédance d'entrée de la ligne sera identique à celle obtenue avec l2 seule. Dans le cas de l2, la ligne est en court-circuit alors que pour l3, la ligne est terminée par un circuit ouvert. L'ajout d'un tronçon de ligne de $1/4 \lambda$, pour obtenir l3, produit une action de transformation d'impédance.

Les impédances, inductive et capacitive, déterminées ci-dessus peuvent être trouvées en substituant ces valeurs dans les équations reliant inductance, capacitance et réactance en utilisant soit divers abaques ou calculateurs adaptés. La fréquence correspondante à la longueur de la ligne, en degrés doit être utilisée, bien entendu. Dans l'exemple, si la fréquence est 14 MHz, l'inductance et la capacitance dans les deux cas seront de $16,4 \mu\text{H}$ et $46,2 \text{ pF}$, respectivement. Notez que lorsque la longueur de ligne est 45° , ($0,125\lambda$), la réactance est, dans tous les cas, égale à l'impédance caractéristique de la ligne. En utilisant l'abaque de Smith, il doit toujours rester présent à l'esprit; que la longueur électrique d'une section de ligne dépend de la fréquence et de la vitesse du câble, aussi bien que de sa longueur physique.

Pour des longueurs de ligne qui sont des multiples exacts de $1/4\lambda$, la ligne a des propriétés de circuits résonnants. Pour des longueurs de ligne où l'impédance d'entrée passe par zéro à la gauche de l'abaque de Smith, la ligne agit comme un circuit résonnant série. Pour les longueurs où la réactance passe théoriquement de "plus l'infini" à "moins l'infini" à la droite de l'abaque de

Smith, la ligne réagit comme un circuit résonnant parallèle.

Détermination d'un accord par stub (bout de ligne) avec l'abaque de Smith

La détermination d'un accord par stub est décrite en détail, dans le chapitre 26. Les équations pour calculer les longueurs électriques de la ligne principale et du stub sont décrites. Le calcul est basé sur une charge purement résistive et le stub étant de même type que la ligne principale. L'abaque de Smith peut, aussi, être utilisé pour déterminer ces longueurs, sans que la charge soit absolument résistive et que le stub soit de même type que la ligne principale.

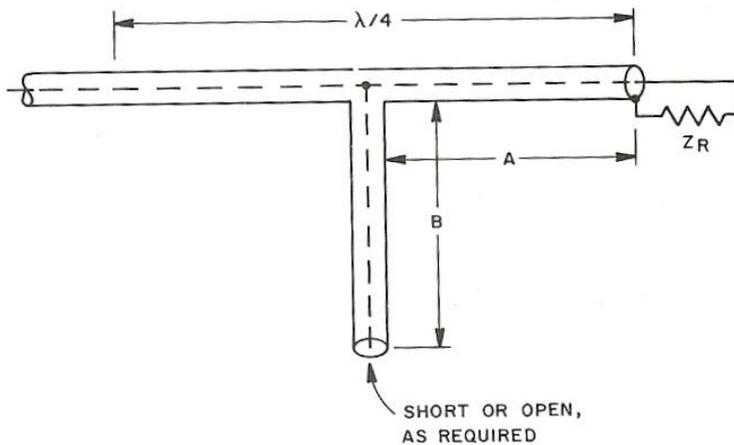


Fig. 12 La méthode d'accord par stub pour une ligne coaxiale chargée incorrectement

La fig. 12 montre l'organisation d'un accord par stub sur une ligne coaxiale. Prenons comme exemple que la charge soit une antenne en réseau alimentée par une ligne de 52Ω . Supposons de plus que le ROS mesuré soit de $3,1:1$. A partir de ces informations, nous pouvons dessiner un cercle de ROS constant sur l'abaque de Smith. Son rayon est tel qu'il coupe la portion à droite de l'axe des résistances à la valeur de $ROS = 3,1$ comme montré sur la fig 13 au point B.

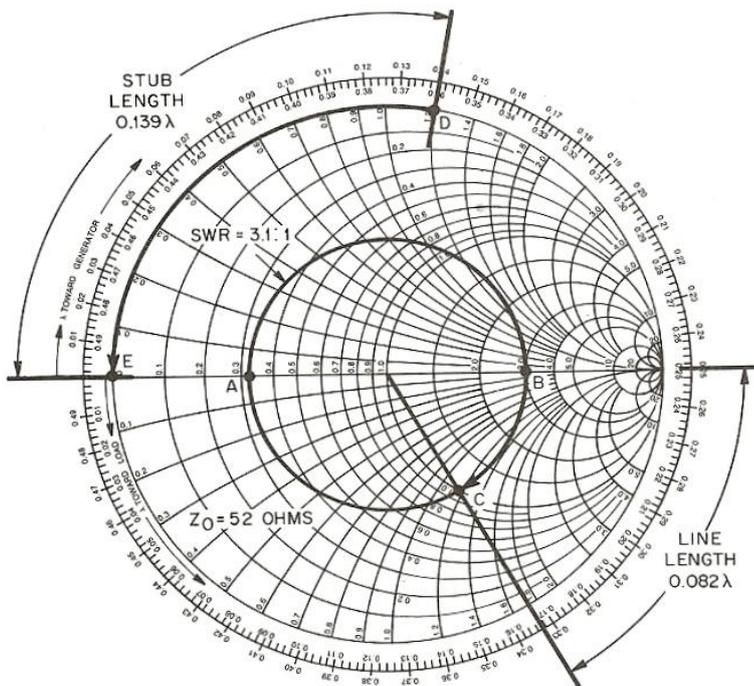


Fig.13 Détermination d'un accord par stub avec l'abaque de Smith.

A partir du schéma de la fig. 12 où le stub est connecté en parallèle avec la ligne de transmission, la détermination de l'organisation pour l'accord de la ligne est simplifiée si les valeurs portées sur l'abaque de Smith sont des admittances plutôt que des impédances. (Une admittance est simplement l'inverse de l'impédance associée. Pointées sur l'abaque de Smith, ces deux valeurs sont sur le même cercle ROS constant, mais diamétralement opposées). L'utilisation des admittances donne moins de chances d'erreur dans les calculs, en évitant les conversions "équivalent série" vers "équivalent parallèle" ou lorsqu'on utilise les équations compliquées pour trouver la résultante de deux impédances complexes mises en parallèle.

Une impédance complexe s'écrit $R + jX$ comme décrit dans le chapitre 14.

L'admittance équivalente s'écrit $Y = G - jB$ où G est la composante conductance et B la susceptance. (Une inductance a une susceptance négative et une capacitance une susceptance positive). Les valeurs de conductance et susceptance sont manipulées et pointées sur l'abaque de Smith de la même manière que résistance et réactance.

Supposons que le réseau d'antenne décrit dans notre exemple ait été accordé à la fréquence de fonctionnement. il présentera une charge purement résistive de 52Ω . A partir des informations du chapitre 24, il est connu que l'impédance d'antenne égale Z_0/ROS soit $= 52/3,1 = 16,8\Omega$. (Nous pouvons logiquement écarter la possibilité que l'impédance d'antenne soit $Z_0 \times \text{ROS}$ soit $161,2\Omega$). Si la valeur de $16,8\Omega$ doit être pointée sur l'abaque, elle doit d'abord être normalisée ($16,8/52 = 0,32$) puis pointé comme $0,32 + j0$. Bien que ce ne soit pas nécessaire pour notre exemple, cette valeur est pointée au point A Fig. 13. Ce qui est nécessaire c'est pointer la charge d'antenne comme une admittance. C'est l'inverse de l'impédance soit $1/16,8\Omega$ soit $0,060$ siemens. Pour pointer cette valeur, il faut en premier les normaliser en multipliant les valeurs de la conductance et de la susceptance par le Z_0 de la ligne. Donc $(0,060 + j0) \times 52 = 3,1 + j0$. Cette valeur pointée est montré sur la Fig. 13 en B. Il est possible de constater que les points a et b sont diamétralement opposés. Maintenant pour la solution de notre exemple, il n'était pas

nécessaire de définir les points A et B comme indiqué ci-dessus, les deux points peuvent être définis à partir du ROS connu 3,1. Comme il est possible de le voir sur la fig 13, les points sont localisés sur le cercle de ROS constant 3,1, les points étant à l'intersection de l'axe des résistances. La valeur pointée pour A, 0,32, est l'inverse de la valeur du point B, 3,1. Toutefois, la compréhension de la relation entre impédance et admittance est plus facile par ce chemin, pour un exemple simple comme celui-ci.

Dans un accord par stub, le stub doit être connecté à un endroit où la composante conductance égale le Z_0 de la ligne. Le point B représente l'admittance de la charge qui est l'antenne. Diverses admittances seront rencontrées le long de la ligne, quand on se déplace dans la direction indiquée "Vers le générateur" (TOWARD GENERATOR) sur l'échelle des longueurs d'onde, mais tous points admittance doivent tomber sur le cercle ROS constant. En se déplaçant dans le sens horaire autour du cercle ROS constant depuis le point B, on peut voir que le ligne de la conductance d'entrée sera 1,0 (normalisation de Z_0 de la ligne) au point C, 0,082 λ vers le générateur depuis l'antenne. Donc le stub devra être connecté à cet endroit de la ligne.

L'admittance normalisée au point C, le point représentant l'emplacement du stub, est $1 - j1,2$ siemens, en ayant une composante susceptance inductive. Une susceptance capacitive ayant une valeur normalisée de $+j1,2$ siemens est nécessaire à ce point de la ligne pour compenser l'inductance. Cette capacitance est obtenue par la section de stub elle même; le problème est maintenant de savoir si le stub doit être ouvert ou fermé et de quelle longueur sera ce stub. Ceci est fait en pointant en premier la susceptance nécessaire pour la compensation, $0 + j1,2$ sur l'abaque (point D sur la Fig. 13). Ce point représente l'admittance d'entrée vue par le stub. La "charge" ou le bouclage pour le stub est trouvé en se déplaçant dans la direction "vers la charge" (TOWARD LOAD) autour de l'abaque et apparaîtra au point le plus proche sur l'axe résistance/conductance, soit à la droite soit à la gauche de l'abaque. En se déplaçant dans le sens antihoraire depuis le point D, c'est au point E que l'on arrive, à la gauche de l'abaque, 0,139 λ plus loin. A partir de là nous connaissons la longueur du stub. La "charge" à l'extrémité du stub, comme c'est représenté sur l'abaque de Smith, a une admittance normalisée de $0 + j0$ siemens, qui représente un circuit ouvert.

Quand le stub, ayant une admittance d'entrée de $0 + j1,2$ siemens, est connecté en parallèle avec la ligne au point 0,082 λ de la charge, où l'admittance d'entrée de la ligne est $1,0 - j1,2$, la résultante est la somme des admittances individuelles. La composante conductance est additionnée directement, de même que les composantes susceptance. Dans notre cas, $1,0 - j1,2 + j1,2 = 1,0 j0$ siemens. Donc la ligne à partir du point de connexion du stub sera parfaitement accordée. Pour enfin déterminer la longueur physique du stub, il est important de se souvenir qu'il faut tenir compte du facteur de vitesse lié à la constitution de la ligne utilisée.

Accord avec éléments discrets

Il est indiqué plus haut dans le propos, que le stub doit annuler la composante réactive au point de connexion avec la ligne. Dis autrement, le stub est simplement une réactance du bon signe et de la bonne valeur mis en parallèle avec la ligne. Peu importe la manière dont est réalisée cette réactance. Cela peut être un tronçon de ligne ou un condensateur ou une inductance "composants", c'est comme on veut! Dans l'exemple ci-dessus, avec la solution par l'abaque de Smith, c'est une réactance capacitive qui est nécessaire. Un condensateur ayant la même valeur de réactance peut être utilisé tout aussi bien. Il y a des cas où installer un condensateur à la place

d'un tronçon de ligne est plus gênant. C'est particulièrement les cas où des lignes d'alimentation "fils nus" (échelle à grenouille) sont utilisées. Si un condensateur variable est utilisé, il devient possible d'ajuster la capacitance à la valeur exacte nécessaire.

La valeur correcte de la réactance peut être déterminée à partir des informations sur l'abaque de Smith. Dans l'exemple précédent, la susceptance désirée était normalisée à $+j1,2$ siemens. Ceci est converti en valeur concrète en divisant par le Z_0 de la ligne $\Rightarrow 1,2/52 = 0,023$ siemens, capacitance. La réactance capacitive désirée est l'inverse de cette dernière valeur, $1/0,023 = 43,5\Omega$. Si la fréquence est 14,2 MHz, par exemple, $43,5\Omega$ correspondent à une capacité de 258 pF. Un condensateur variable de 325 pF connecté à la ligne à $0,082\lambda$ de l'antenne pourrait fournir une gamme de réglage intéressante. La tension efficace (RMS) aux bornes du condensateur sera :
 $E = \sqrt{P \times Z_0}$ Pour les 500 watts de l'exemple, $E = \text{racine carrée de } 500 \times 52 = 161$ volts. La tension crête est 1,41 fois la valeur efficace soit 227 volts.

Adaptateur d'impédance par longueurs de ligne de transmission:

Il s'agit de réaliser une adaptation d'impédance par la mise en série d'une ou plusieurs longueurs de lignes de transmission d'impédance différente.

L'adaptateur "series-section" est décrit chapitre 26 (THE ARRL ANTENNA BOOK) et les équations sont données dans ce chapitre. Cet adaptateur peut être conçu en utilisant l'abaque de Smith. Cette information est basée sur un article du QST écrit par Frank A. Regier, OD5CG. Cette conception utilise un mode un peu particulier. Cette utilisation est décrite dans les deux paragraphes suivants.

La figure 14 montre un abaque utilisé classiquement en "mode centré", avec toutes les impédances normalisées, ici 75Ω , ainsi que les cercles ROS constants concentriques avec la valeur normalisée $ROS=1$ au centre de l'abaque.

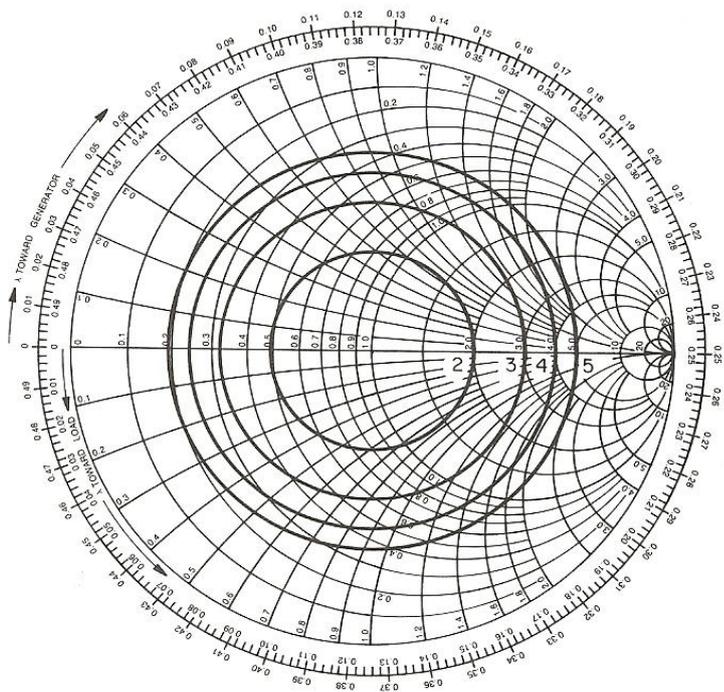


Fig. 14 - Les cercles de ROS constant (ROS=2; 3; 4; 5) montrent les variations normalisées à 75 ohms, d'impédance le long d'une ligne 75 ohms. C'est à dire que la valeur réelle de l'impédance est obtenue en multipliant les coordonnées d'un point de l'abaque par 75.

La représentation d'un ROS constant se traduit par un cercle centré sur le centre de l'abaque. Ce centre vaut ROS = 1. Comme dit plusieurs fois, la valeur réelle de l'impédance est obtenue en multipliant les coordonnées d'un point par 75 ohms. Mais si les valeurs d'impédance de la ligne 75 ohms sont normalisées à 300 ohms, nous obtenons une autre représentation. L'abaque donne toutes les possibilités, mais une courbe fermée de ROS constant (cercle) doit rester une figure fermée. En fait, on peut montrer que le cercle ROS constant, reste un cercle, mais il n'est plus centré sur le centre de l'abaque. La figure 15 montre les résultats pour une ligne 75 ohms normalisée à 300 ohms.

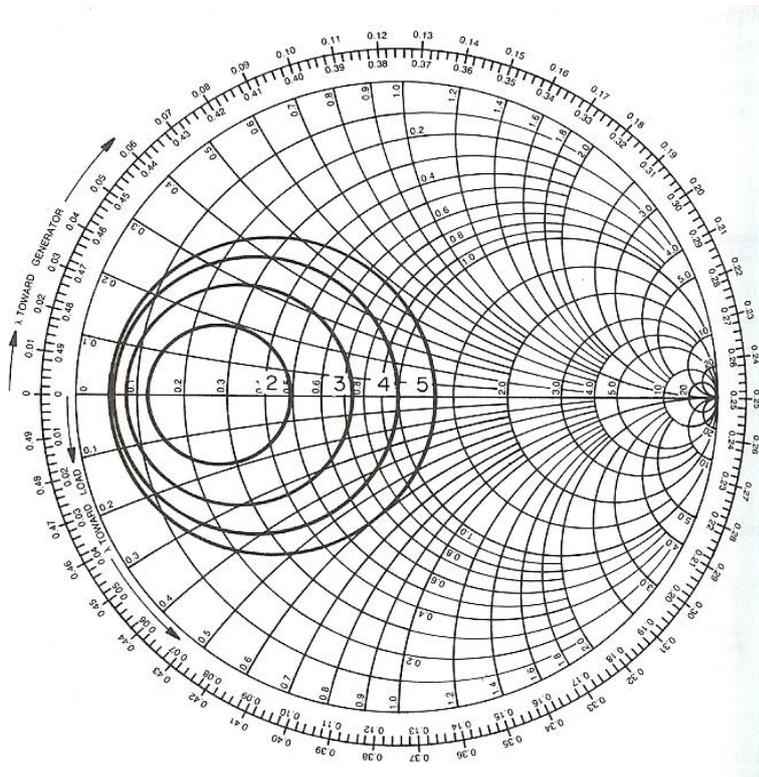


Fig 15 - Lieux des ROS constants (ROS = 2; 3; 4; 5) montrant la variation de l'impédance d'une ligne 75Ω normalisée à 300 Ω. Les impédances normalisées diffèrent de celles de la figure 14, mais l'impédance réelle est obtenue en multipliant la lecture de l'abaque par 300Ω et cela donne le même résultat que sur la figure 14. Les lieux restent des cercles mais ils ne sont plus concentriques. Un de ces cercles (ROS=4) dans notre cas passe par le centre de l'abaque et peut donc être accordé avec une ligne 300 Ω

Les cercles de ROS constant restent autour du point correspondant à l'impédance caractéristique de la ligne ($r = 0.25$) mais ne sont plus concentrique avec lui. Notez bien que les impédances normalisées sur Fig 14 et Fig 15 sont différentes mais en réalité, les impédances "dé normalisées" sont identiques.

Un exemple:

Maintenant considérons l'exemple donné fig 16. Une charge complexe $Z_L = 600 + 900j$ ohms doit être accordée avec une ligne 300Ω, une section de 75 Ω doit être utilisée.

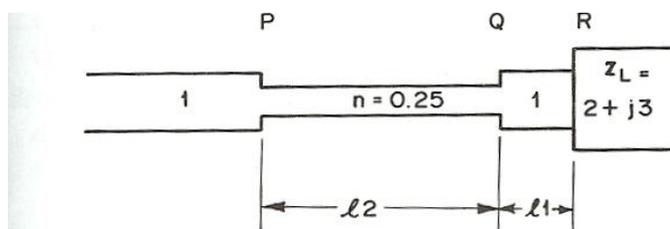


Fig. 16 Exemple de solution avec l'abaque de Smith. Toutes les impédances sont normalisées à 300Ω

Ces impédances caractéristiques correspondent à celles qui ont été utilisées Fig 15 et donc la Fig 15 peut être utilisée pour trouver la variation d'impédance le long de la section de ligne 75 Ω. En

particulier, le cercle de ROS constant qui passe par le centre de l'abaque Fig 15 (ROS = 4 dans ce cas) passe aussi par toutes les impédances normalisées 300Ω indiquant qu'une section de 75Ω est utilisable pour faire l'adaptation avec la ligne 300Ω . La longueur l_1 de ligne 300Ω a la charge de transformer l'impédance de charge vers une impédance quelconque de ce cercle d'adaptation.

La Fig 17 montre le déroulement du procédé plus clairement, avec toutes les impédances normalisées à 300Ω .

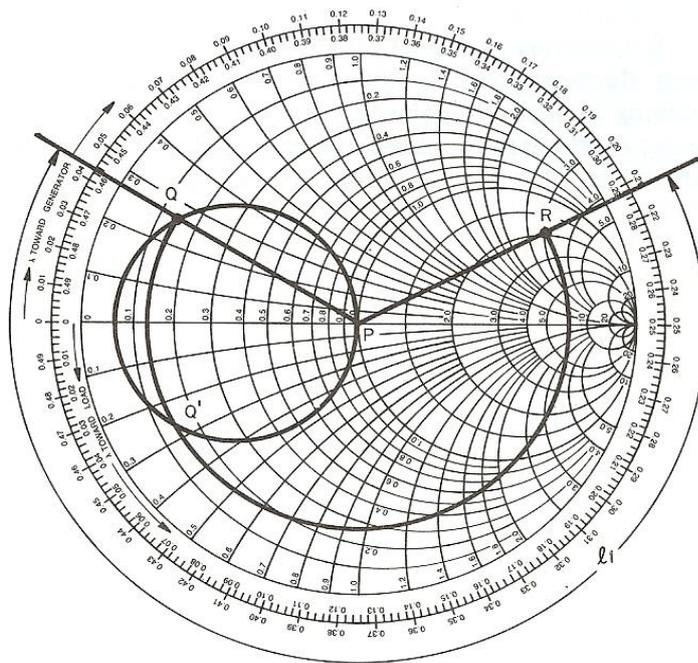


Fig. 17: Représentation dans l'abaque de Smith de l'exemple donné Fig 16. Le lieu des impédances est toujours pris dans le sens horaire de la charge vers le générateur. Ce lieu est, tout d'abord, le long du cercle ROS constant de la charge à R jusqu'à une intersection avec le cercle d'adaptation (en Q et Q') et donc le long du cercle d'adaptation au centre principal P. La longueur l_1 peut être déterminée directement à partir de l'abaque, dans cet exemple elle est de $0,332\lambda$

Sur cette figure, une impédance de charge normalisée $Z_l = 2+j3$ est située en R et le cercle d'adaptation apparait centré sur l'axe des résistances en passant par les points $r=1$ et $r=n^2 = (75/300)^2 = 0,0625$. Un cercle de ROS constant est dessiné depuis R jusqu'à l'intersection avec le cercle d'adaptation en Q et Q'. La longueur l_1 ou l'_1 peut être lue directement sur l'abaque. La distance, en sens horaire, vers le cercle d'adaptation représente la longueur de la ligne d'adaptation soit de Q' à P ou de Q à P. Du fait que la distance QP est la plus courte des deux, nous choisissons la longueur l_1 comme indiquée. En utilisant les valeurs sur l'échelle Toward generator, cette longueur est de $0,045-0,213$ puis en ajoutant $0,5$ pour obtenir un résultat positif, nous arrivons à une valeur de $0,332\lambda$.

Bien que le lieu de l'impédance de Q à P soit montré sur la figure 17, la longueur l_2 ne peut être déterminée directement à partir de ce graphique. Cela vient du fait que le cercle d'adaptation n'est pas concentrique avec le centre de l'abaque, ainsi l'échelle des longueurs d'ondes n'est pas

utilisable sur ce cercle. Ce problème est résolu sur la figure 18. C'est le même que sur la figure 17, mais ici, toutes les impédances normalisées ont été divisées par $n = 0,25$ ramenant la normalisation à 75Ω à la place de 300Ω . Le cercle d'adaptation et le centre de l'abaque sont maintenant concentriques et la longueur l_2 (distance entre Q et P) peut être déterminé directement sur l'abaque. En utilisant l'échelle Toward generator cette longueur vaut: $0,250 - 0,148 = 0,102 \lambda$.

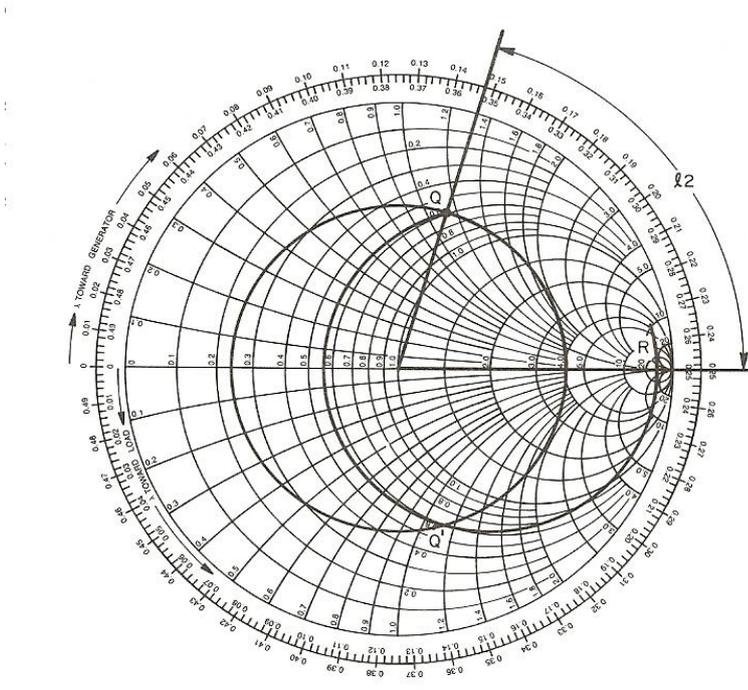


Fig. 18 Le même lieu d'impédance que sur la fig 17 est ici montré, sauf que la normalisation est faite à 75Ω au lieu de 300 . Le cercle d'adaptation est désormais concentrique avec le centre de l'abaque. l_2 peut être déterminé directement sur l'abaque, $0,102 \lambda$ dans ce cas.

En fait, il n'est pas nécessaire de construire le lieu complet, montré en fig 18. Il est suffisant de placer Z_Q/n (Z_Q est lu sur la figure 17 et Z_P/n), puis le relier par un cercle centré sur le centre de l'abaque et ainsi déterminer l'arc de longueur l_2 à partir de l'abaque de Smith.

Résumé de la marche à suivre

Les étapes nécessaires pour définir une adaptation par tronçon de ligne au moyen de l'abaque de Smith peuvent être listées comme suit:

1. Normaliser toutes les impédances en les divisant par l'impédance caractéristique de la ligne principale.
2. Sur l'abaque de Smith, placer l'impédance de charge Z_l à R et construire le cercle d'adaptation de telle sorte que son centre soit sur l'axe des résistances et qu'il passe par les points $r = 1$ et $r = n^2$.
3. Construire un cercle de ROS constant centré sur l'abaque de Smith et passant par R. Ce cercle devra couper le cercle d'adaptation en deux points. Un de ces deux points, normalement le premier résultat étant la plus courte distance, sens horaire, sur le cercle d'adaptation jusqu'au centre de l'abaque est choisi comme point Q. La distance, sens horaire, de R à Q est prise comme valeur de l_1 .

4. Lire l'impédance Z_Q sur l'abaque, calculer Z_Q/n et placer le comme point Q sur un second abaque de Smith. Puis placer $r = 1/n$ comme point P.
5. Sur ce second abaque, construire un arc de cercle centré sur l'abaque, dans le sens horaire de Q vers P. La longueur de cet arc de cercle, lue sur l'abaque représente l_2 .

La détermination de l'adaptateur est maintenant complète et la longueur physique de la ligne doit être déterminée.

La construction de l'abaque de Smith montre que deux solutions sont possibles, correspondant aux deux intersections du cercle de ROS constant (pour la charge) et du cercle d'adaptation. Ces deux valeurs correspondent aux valeurs positives et négatives de la racine carrée de l'équation donnée dans le chapitre 24 pour une solution mathématique. Il peut arriver, toutefois, qu'aucune intersection n'existe entre le cercle de charge et le cercle de ROS constant. Dans ce cas, aucune solution n'est possible. La solution serait d'élargir le cercle d'adaptation en choisissant un câble d'impédance caractéristique plus grande que celle de la ligne principale.

Une dernière possibilité, est que les deux cercles soit tangents. Dans ce cas une seule solution est possible c'est la ligne $1/4$ d'onde.

Bibliographie:

W. N. Caron, Antenna Impedance Matching (Newington: AARL, 1989)

C. MacKeand, "The Smith Chart in BASIC," QST, Nov1984, pp 28-31

M. W. Maxwell, Reflections-Transmission Lines and Antennas (Newington: ARRL, 1990)

F.A. Regier, "Series-Section Transmission-Line Impedance Matching," QST, Jul 78, pp 14-16.

P. H. Smith, Electronic Applications of the Smith Chart, reprint ed. (Malabar, FL: Krieger Pub Co, Inc, 1983).