



## Mesure d'une impédance en haute fréquence (Part 2)

Werner Tobler (HB9AKN), Chemin de Palud 4, 1800 Vevey

Le taux d'onde stationnaire s'exprime en % on a:  $r = 1$  correspond à un TOS de 100% qui correspond à un ROS infini.

En anglais le ROS se définit par les lettres SWR (de standing wave ratio).

Les différents coefficients de réflexion  $r$  pourront être représentés sur l'abaque de Smith par les différents cercles concentriques suivants: Ces différentes circonférences représentent donc le lieux des points à coefficients  $r$  égaux.

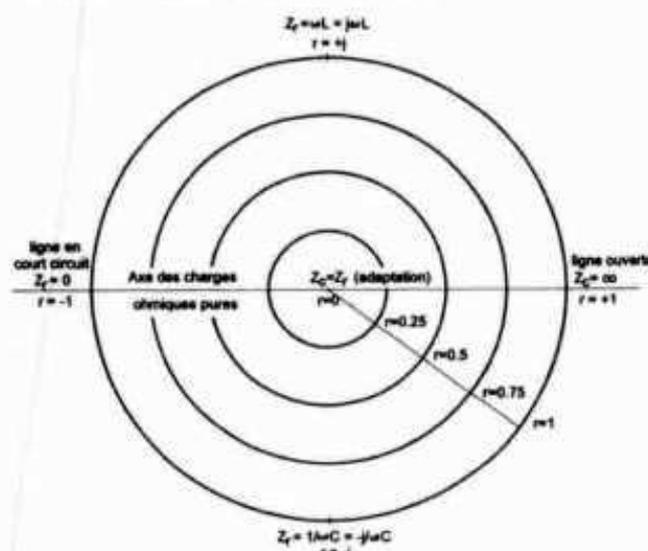


Figure 6: L'abaque de Smith: cercles concentriques représentent le lieux des points à coefficients égaux.

On voit que sur cette représentation, tous les cas sont possibles. Si  $Z_r$  a une valeur ohmique pure, la représentation de cette charge  $R$  se fera sur le diamètre horizontal. Ce diamètre représentera toujours l'axe des charges ohmiques pures. Au dessus du diamètre horizontal seront représentées par convention toutes les charges à caractère inductif, et en dessous de l'axe, toutes les charges à caractère capacitif. On notera qu'une charge de résistance ou de réactance infinie est équivalente à une ligne ouverte ( $Z_r = \infty$ ) et qu'une charge de résistance ou de réactance nulle est équivalente à un court circuit ( $Z_r = 0$ ). C'est pourquoi les points de 0 et de  $\infty$  sont communs aux échelles de résistance et de réactance. Si  $Z_r = R$  on lit  $r$  sur le diamètre par sa distance au centre, si  $Z_r$  est inductif

ou capacitif on lira la valeur de  $r$  par la distance au centre de la demi circonférence du haut ou bien celle du bas respectivement. Le centre correspond à l'adaptation parfaite, c'est à dire à  $Z_r = Z_c$  point pour lequel  $r=0$ . Chaque cercle concentrique représente le lieux des points à  $r$  constant. Comme l'impédance caractéristique  $Z_c$  d'une ligne est une constante, pour une ligne donnée, on exprime l'impédance du récepteur  $Z_r$  par rapport à  $Z_c$  et l'on obtiendra l'impédance réduite  $Z_1$  soit:

$$Z_1 = \frac{Z_r}{Z_c}$$

Le coefficient de réflexion devient:

$$r = \frac{Z_r - Z_c}{Z_r + Z_c} = \frac{\frac{Z_r}{Z_c} - 1}{\frac{Z_r}{Z_c} + 1} = \frac{Z_1 - 1}{Z_1 + 1}$$

On complétera le début d'abaque déjà tracé par une autre série de cercles, pour représenter cette fois non plus des cercles concentriques donnant tous les points à coefficients de réflexion  $r$  constants, mais des cercles apollinaires tous centrés sur l'axe horizontal des résistances, mais dont toutes les circonférences passeront par le point  $Z_r = \infty$ . Tous ces cercles seront les lieux géométrique des points à résistance constante. La lecture de la résistance correspondant à un cercle donné, se fera sur l'axe horizontal des charges ohmiques pures, à l'intersection de celui-ci avec le cercle. Tout ceci sera beaucoup plus clair lorsque l'on passera aux exemples pratiques.

De même que pour  $r$ , on pourra exprimer la résistance réduite  $R/Z_c = 1$  qui sera placé au milieu de la figure. Ainsi, avec ce que nous connaissons, pour une impédance quelconque réduite  $Z_1$ , placée sur l'abaque naissante dont nous disposons, nous pourrions connaître  $r$  exprimé par le rayon du cercle concentrique passant par  $Z_1$ , et d'autre part, la valeur de la résistance  $R$  réduite lue en suivant la circonférence du cercle apollinaire passant par  $Z_1$ , tangent au point  $Z_c = \infty$ . La valeur de  $R$  sera lue sur l'axe horizontal des charges ohmiques, au point d'intersection avec la dite circonférence. Il nous manque donc encore la possibilité de lire sur l'abaque la valeur de la réactance de

|   |       |          |
|---|-------|----------|
| NAME  | TITLE | DWG. NO. |
| SMITH CHART FORM 5301-7560-N   GENERAL RADIO COMPANY, WEST CONCORD, MASSACHUSETTS |       | DATE     |

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

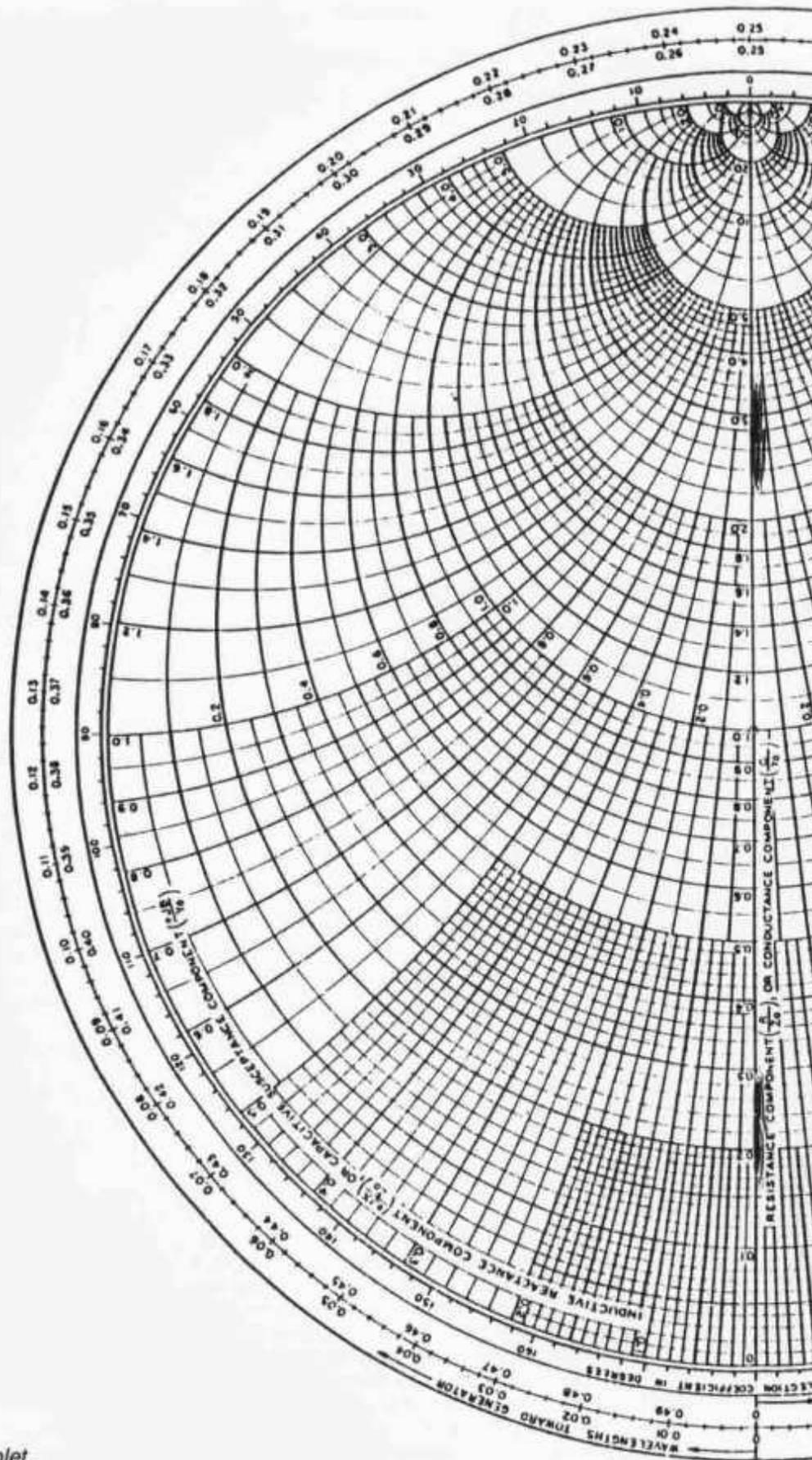
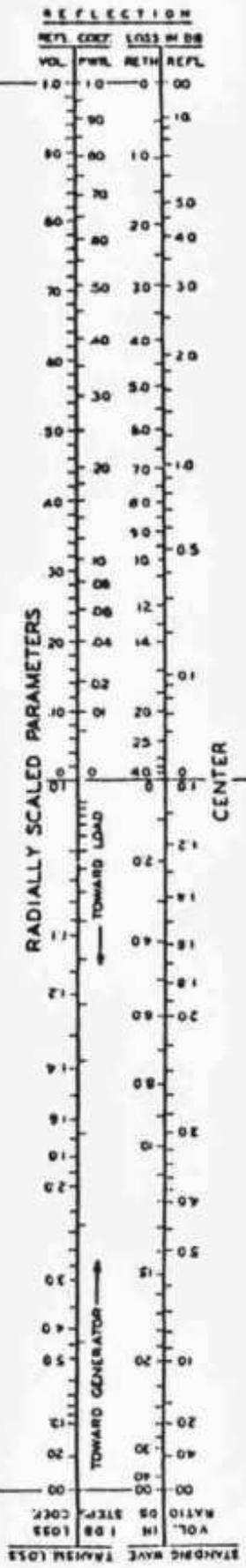
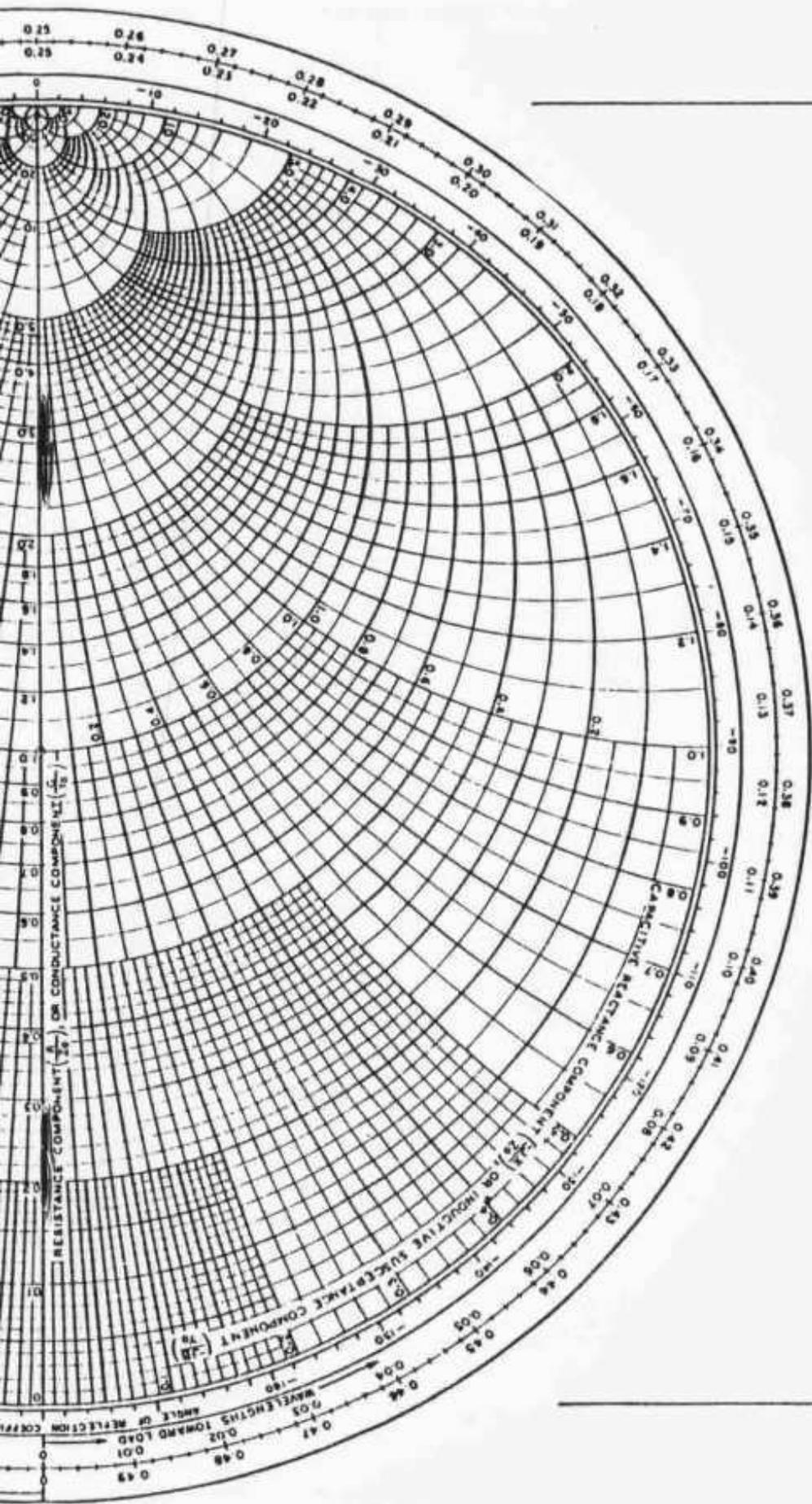


Figure 9: L'abaque de Smith complet.



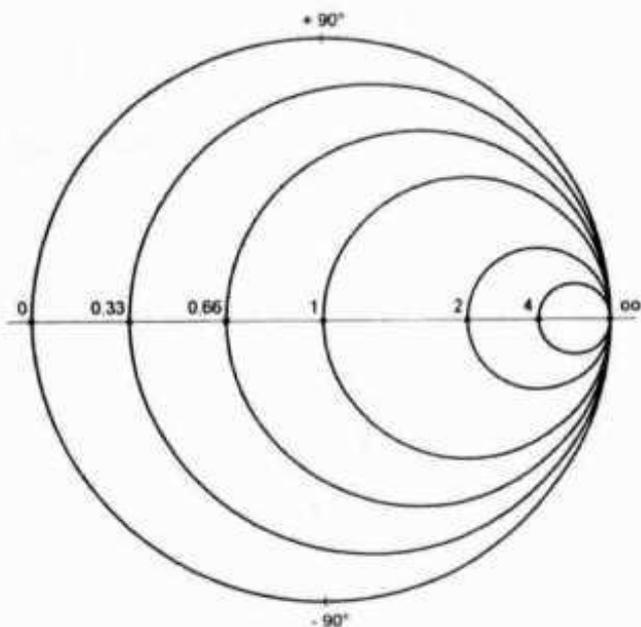


Figure 7: L'abaque de Smith: cercles représentent le lieu des points à résistance constante.

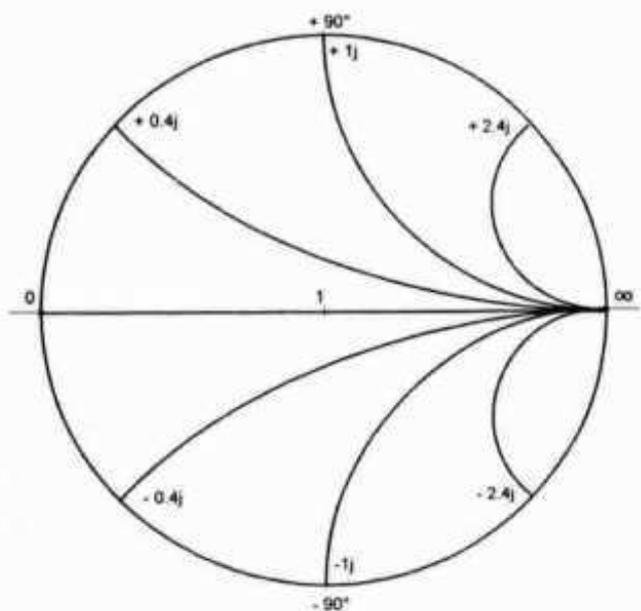


Figure 8: L'abaque de Smith: cercles représentent le lieu des points à réactance constante.

$Z_1$ , et ainsi nous connaissons tous les éléments de notre impédance. Nous allons donc compléter notre abaque naissante par une troisième série de cercles centrés cette fois sur une ligne perpendiculaire à l'axe des résistances ohmiques pures, et passant par le point  $Z_c = \infty$ . Tous ces cercles représenteront donc le lieu des points à réactance constante, réactance inductive si nous sommes au dessus de l'axe des résistances, réactance capacitive si nous sommes au dessous de l'axe des résistances ohmiques pures. Ainsi, tous les récepteurs ayant la même réactance réduite  $X/Z_c$  ont un coefficient de réflexion qui se trouve sur

l'un de ces cercles, exprimé par la distance au centre de l'abaque.

Les deux familles de cercles sont orthogonales, c'est à dire qu'en tous points les circonférences se coupent à angle droit. On voit à la périphérie de l'abaque deux autres échelles, l'une en longueurs d'onde vers le générateur, l'autre en longueurs vers le récepteur.

Nous en avons terminé avec la construction de l'abaque et l'amateur pourra photocopier celle que nous avons jointe, et il comprendra comment elle a été construite. Nous pouvons passer maintenant à l'utilisation pratique de l'abaque. Cet abaque constituera un outil de travail.

## 2.2. Utilisation de l'abaque de Smith

### Exemple 1

Identifions l'impédance correspondant au point M sur l'abaque. On voit que  $Z_1 = 2 + 1j$ . Le point symétrique M' correspond à  $Z_1 = 2 - 1j$ .

### Exemple 2

En supposant  $r + jx = 0.9 + 0.7j$  (voir le point T sur l'abaque) déterminer l'impédance d'entrée  $Z_0$  de la ligne, à une distance de  $0.05 \lambda$  vers la source, en supposant que l'on dispose d'une ligne d'impédance caractéristique  $Z_c = 100 \text{ Ohms}$ . Ayant déterminé le point T sur l'abaque correspondant à l'impédance réduite du récepteur, on prolonge le rayon OA jusqu'à l'intersection du cercle périphérique des déphasages exprimés en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ . On lit sur cette échelle  $0.142 \cdot \lambda$ . Nous nous déplaçons de  $0.05 \cdot \lambda$  dans le sens des aiguilles d'une montre, ce qui donne le point B ou on lit:

$$0.142 \cdot \lambda + 0.05 \cdot \lambda = 0,192 \cdot \lambda.$$

L'intersection T' du rayon OB et du cercle de centre 1 passant par T, donne la valeur cherchée de l'impédance d'entrée à une distance  $0.05 \cdot \lambda$  plus loin. En T' nous lisons:

$$r' + jx' = 1.45 + 0.75j = Z_1$$

c'est la nouvelle impédance réduite.

On a:

$$Z_0 = Z_c (r' + jx') = 100 (1.45 + 0.75j) = 145 + 75j$$

### 2.2.1. Déplacement sur l'abaque de Smith

Il faut toujours avoir présent à l'esprit un certain nombre de concepts ainsi: Toute translation verticale correspond à une variation de réactance vers le haut si c'est une réactance inductive, vers le bas si c'est une réactance capacitive. Une petite translation correspondra à une faible valeur de coefficient de self induction, ce qui est normal puisque la réactance est proportionnelle à ce coefficient. Cette même petite translation correspondra à une grande valeur de la capacité, la réactance étant d'autant plus faible que la capacité est grande. La translation verticale a lieu lorsque l'élément de correction se trouve en série avec l'impédance à corriger.

Toute translation rotative correspond à une variation de susceptance, en tournant vers la droite si

c'est une self, vers la gauche si c'est un condensateur. On se déplacera cette fois, sur le cercle Apollinaire passant par le point de départ. Une petite translation correspond à une petite capacité ou à un grand coefficient de self induction. En effet, nous considérons dans ce cas, non pas les réactances, mais les susceptances qui valent:

$$S_c = \frac{1}{X_c} \text{ et encore } S_l = \frac{1}{X_l}$$

On voit donc que les susceptances sont l'inverse des réactances au même titre que la conductance est l'inverse de la résistance.

La translation rotative a lieu lorsque l'élément de correction se trouve en parallèle. C'est pourquoi nous considérons les susceptances.

On pourra donc, par un simple coup d'oeil sur l'abaque savoir quel itinéraire il faudra parcourir pour parvenir au but à savoir le centre du diagramme. C'est un énorme avantage. Voir à ce sujet l'article de HB9CM. «Circuit d'adaptation à haut rendement» old man no 6/1986.

### 3. Appareils utilisés pour les mesures

Le lecteur l'aura certainement bien compris, le coeur du raisonnement consiste à connaître la valeur des termes de l'impédance à corriger de l'antenne de façon à pouvoir la placer sur l'abaque de Smith. De là on verra tout l'itinéraire à parcourir pour en faire une résistance ohmique pure adaptée. Nous le répétons, il ne suffit pas d'effectuer une simple mesure à l'impédancemètre couplé à un grid-dip. De plus, beaucoup d'instruments sont désignés abusivement comme étant des ponts d'impédance, alors qu'il s'agit la plupart du temps d'instruments mesurant R, L, C à une certaine fréquence mais pas la valeur des éléments constituant une impédance. Fort heureusement pour l'amateur, il existe sur le marché un instrument remarquable tant par le prix que par la simplicité d'utilisation. Ce n'est pas un instrument de laboratoire comme le pont HF GR 1606 de notre ami Philo, mais il permet déjà de faire du très bon travail. Il s'agit du «RX-Noise Bridge» Palomar vendu par la firme Seicom à Lenzburg. Nous ne voulons pas faire de publicité mais il s'agit d'un instrument qui correspond parfaitement au but poursuivi.

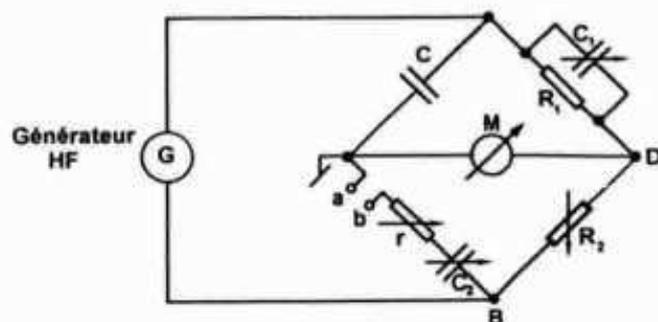


Figure 10: Le pont de Schering.

### 3.2. Marche de la mesure

Ce pont peut fonctionner jusqu'à 60 MHz pour la mesure d'impédances inductives ou capacitives. Mettons a et b en court-circuit, et faisons l'équilibre du pont, M étant un détecteur de niveau pouvant être comme dans notre cas, le récepteur de trafic. A l'équilibre,  $C_2$  vaut  $C_2'$ ,  $C_1$  vaut  $C_1'$ . Nous avons les expressions suivantes:

$$\left(r + \frac{1}{j\omega C_2'}\right) \cdot \left(\frac{R_1}{1 + j\omega R_1 C_1'}\right) = \frac{R_2}{j\omega C}$$

d'où

$$r + \frac{1}{j\omega C_2'} = \frac{R_2 C_1'}{C} + \frac{R_2}{j\omega R_1 C} \quad (1)$$

Nous ouvrons les bornes a et b et intercalons à cet endroit en série l'impédance à mesure  $Z = R + jX$  soit chez nous l'antenne et refaisons à nouveau l'équilibre et obtenons deux nouvelles valeurs.  $C_1''$  et  $C_2''$  et les expressions suivantes:

$$(R + jX) + r + \frac{1}{j\omega C_2''} = \frac{R_2 \cdot C_1''}{C} + \frac{R_2}{j\omega R_1 \cdot C} \quad (2)$$

Faisons la différence des expressions (2) et (1) on obtient:

$$R + jX + \frac{1}{j\omega C_2''} - \frac{1}{j\omega C_2'} = \frac{R_2}{C} \cdot (C_1'' - C_1')$$

d'où en identifiant:

$$R = \frac{R_2}{C} \cdot (C_1'' - C_1')$$

$$X = \frac{1}{\omega} \cdot \left(\frac{1}{C_2''} - \frac{1}{C_2'}\right)$$

On voit que  $R_1$  n'intervient pas.

Il faut, pour des mesures sur des fréquences élevées que:

1) La capacité de la borne B soit nulle par rapport à la masse, ainsi que celle de la borne b soit pratiquement de l'ordre de 1 pF au maximum.

On remarque qu'à l'équilibre le point D est au potentiel de la masse.

Pour le tarage, c'est à dire avec les bornes a et b court-circuitées,  $C_1$  doit être à son minimum, tandis que  $C_2$  sera à son minimum si l'impédance inconnue Z est présumée être d'un caractère inductif, et à son maximum si l'impédance inconnue Z est présumée être d'un caractère capacitif.

### Conclusions de la partie théorique

Nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustif dans la théorie des lignes et des antennes. Cette théorie est tellement complexe et elle fait rapidement appel à des mathématiques supérieures. Ce que nous voulons modestement faire, c'est de fournir à l'amateur cet outil remarquable que constitue l'abaque de Smith, dont le manie-ment n'est finalement pas très compliqué. La deu-

xième partie de l'exposé sera purement pratique et conduite par Philo (HB9CM).

Suite à un entretien avec Monsieur le Professeur Gardiol, déla chaire des hyperfréquences de l'EPFL, il apparaît que le rendement des antennes serait couramment compris entre 40 et 70%, résultats obtenus à l'aide de mesures pas facilement réalisables. Voilà des chiffres bien bas. Sans parler des pertes supplémentaires dans les dispositifs d'adaptation!

### Einweihung des HB9GR Digis

Nach Abschluss der Bauarbeiten am Digipeater HB9GR haben wir eine Einweihungsfeier auf dem Buchserberg organisiert. Wir hoffen, zu diesem Anlass eine Anzahl interessierte XYs, OM, Gönner, Freunde und Bekannte begrüßen zu können.

Auf der Alp Malbun (QTH von HB9GR) werden jeden Sommer etwa 100 Kühe, 60 Schweine und ca. 60 Rinder gesömmert. Der Senn Martin Marquart produziert dort mit seinen Leuten aus der Milch Käse und Butter. Unmittelbar über der Sennerei hat uns die Ortsgemeinde Buchs gratis einen Platz für den Digi zur Verfügung gestellt, den unsere Digibau-Crew während den letzten Wintermonaten (von September bis Mai) in unzähligen Arbeitsstunden zu einem Shack mit der ganzen Infrastruktur wie Stromversorgung, Blitzschutz, Heizung, Notstromversorgung, Lüftung und Antennenanlage, ausgebaut hat.

Hier werden wir die Besucher bewirten, (bei schlechtem Wetter ziehen wir ins Restaurant in unmittelbarer Nähe um). Es besteht auch die Gelegenheit zum grillieren.

#### Datum, Zeit:

Sonntag, 21. August 1994, ab 1000 HBT bis...  
Openend.

#### Festplatz:

Alp Malbun, mit herrlicher Aussicht aufs Rheintal bis zum Bodensee.

#### Erreichbar:

Autobahn-Ausfahrt Buchs SG, Richtung Grabs, nach Bahnhof etwa 800 m, dann links, Richtung Buchserberg-Malbun, etwa 30 Min. Fahrzeit.

#### Einweise-QRG:

Säntis (HB9RW R0), 144,725 direkt, Call HB9GR.

Die Baucrew von HB9GR, Reto (HB9MED), Pirmin (HB9UAK), Walter (HB9MTJ), Peter (SWL), Wisi (HB0MUO) und Ruedi (HB9STZ) freuen sich auf Ihren Besuch.

Rudolf Eggenberger, HB9STZ

### Bibliographie

- Théorie et pratique des circuits de l'électronique et des amplificateurs Tome 3 J. Quinet A. Petitclerc Edition DUNOD. C'est un ouvrage absolument remarquable par la clarté des explications. J. Quinet a été praticien avant d'être théoricien et c'est ce qui confère à son ouvrage une grande valeur pédagogique.
- Handbook of coaxial, microwave measurement de Général Radio.

Kollidiert mit JUPITER zwischen 16.-20. Juli 1994

### COMET Shoemaker-Levy 9

Weltweit finden Beobachtungen der Jupiter-Emissionen auf Kurzwelle durch Funkamateure statt. Es ist möglich, mit einfachen Antennen oder Loops, die auf Jupiter gerichtet sind, die starken Bursts zu messen und auf Tonband aufzunehmen.

Antennen mit einem Gewinn von 6-10 dBD sind noch besser geeignet für den Empfang der Emissionen. Zirka 90% der Kurzwellen-Geräte sind schmalbandig genug und geeignet um eine ruhige Frequenz zu finden. Die AGC (autom. Gain Control) sollte ausgeschaltet sein.

Eine ruhige Frequenz zwischen 22-23 MHz ist wünschenswert. Auf Frequenzen unterhalb von 18 MHz sind Interferenzen von Sendestationen zu erwarten. Bei Frequenzen über 30 MHz sinken die Emissionen von Jupiter rapid ab, sodass man nur mit Richtantennen-Arrays und hochempfindlichem RX empfangen kann.

Die Sonnenaktivität bringt zur Zeit günstige Konditionen für die Messung der Strahlungs-Emission des Jupiter während der Zeit der Kollision mit dem Komet.

Die Tonbandaufzeichnungen werden eingesammelt und ausgewertet durch die:

SARA (Society Amateur-Radio-Astronomy)  
Jupiter Comet Watch Program Registration  
Tom J. Crowley, 3912 Whittington Drive, Atlanta  
Sende- und Empfangsamateure, welche diese einmalige Gelegenheit zur Aufzeichnung nützen möchten und nähere Auskünfte wünschen, melden sich bitte bei:

Radio-Astronomie-Gruppe Ricken-Süd  
Léon Kälin (HB9CKL), Koordinator

Lütschbachstr. 10

8734 Ermenswil

Tel. 055 / 86 34 43

Fragen zu rein astronomischen Aspekten werden in jeder Sternwarte sicher gerne beantwortet.

Léon Kälin, HB9CKL