

# Comment ça marche ?

## Les circuits réactifs (25)

### L'adaptation (5)

### L'abaque de Smith

Par le radio-club F6KRR

*Nous avons vu le circuit en pi qui permet de réaliser n'importe quelle adaptation sans recourir à une formulation complexe si le Q en charge du système est suffisant. Mais le circuit en pi requiert au minimum trois composants réactifs. En théorie seuls deux suffisent au prix de calculs complexifiés. Heureusement le concepteur dispose d'abaques pour l'aider et parmi ceux-ci l'abaque de Smith est universellement employé.*

#### Impédance et admittance

Nous avons vu <sup>(1)</sup> que l'impédance complexe  $Z$  est la somme vectorielle d'une résistance  $R$  et d'une réactance  $X$ , exprimées en Ohms ( $\Omega$ ). Elle correspond à la mise en série des composants et par conséquent le courant est la référence de phase. L'admittance  $Y$  est la somme vectorielle d'une conductance  $G$  et d'une susceptance  $B$ , exprimées en Siemens ( $S$ ). Elle correspond à la mise en parallèle des composants et c'est alors la tension qui est la référence de phase. Entre l'impédance et l'admittance, nous avons les relations de la figure 1 :

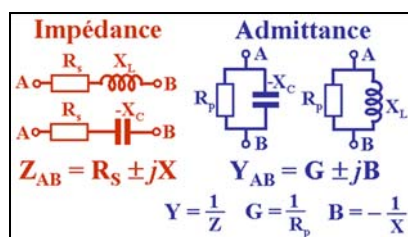


Figure 1 : Impédance et admittance

Nous constatons que l'admittance est l'inverse de l'impédance, la conductance est l'inverse de la résistance et la susceptance est l'inverse conjuguée de la réactance.

#### Retour sur l'abaque de Smith

Nous avons déjà vu <sup>(2)</sup> le principe de fabrication de l'abaque de Smith et la manière d'y faire des opérations concernant l'impédance complexe et l'impédance relative. Nous pouvons fabriquer un abaque de Smith pour l'admittance comme nous l'avons fait pour l'impédance. On l'obtiendra en faisant tourner ce dernier de 180°. Alors R deviendra G et X deviendra B. Nous avons sur la figure 2 un abaque mixte (Z-Y), impédance plus admittance, obtenu en superposant les abaques élémentaires.

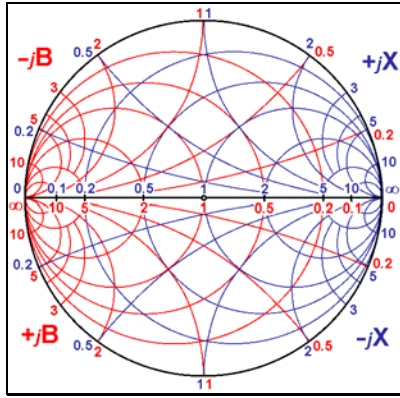


Figure 2 : Abaque de Smith mixte

Pour la normalisation, si la référence de l'abaque d'impédance est égale à  $Z_0$ , celle de l'abaque d'admittance sera égale à  $1/Z_0$ . L'abaque combiné permet de convertir directement un circuit série (impédance) en un circuit parallèle (admittance). Exemple : soit une impédance  $Z=50-j50$  ( $1-j1$  après normalisation), composée d'une résistance  $R_s=50\Omega$  en série avec un condensateur  $C_s$ . Son point sur l'abaque d'impédance correspond sur l'abaque d'admittance à  $Y=0,01+j0,01$  (après dénormalisation). Ce qui correspond à une résistance  $R_p=100\Omega$  en parallèle avec un condensateur  $C_p=C_s/2$  <sup>(3)</sup>.

### Abaque de Smith Z-Y et adaptation

Prenons un exemple concret (cas d'école) et expliquons pas à pas la méthodologie pour obtenir un circuit d'adaptation à partir de l'abaque de Smith complet.

Supposons que nous ayons récupéré une antenne d'origine inconnue et que nous voulions nous en servir pour trafiquer à la fréquence de 10 MHz. A l'aide d'un pont de bruit ou d'un VNA, nous avons mesuré son impédance à 10 MHz et nous avons trouvé  $Z = 25\Omega + j100\Omega$ . Nous nous proposons alors d'utiliser l'abaque de Smith pour déterminer un circuit d'adaptation à un câble coaxial de  $50\Omega$ . Considérons la figure 3.

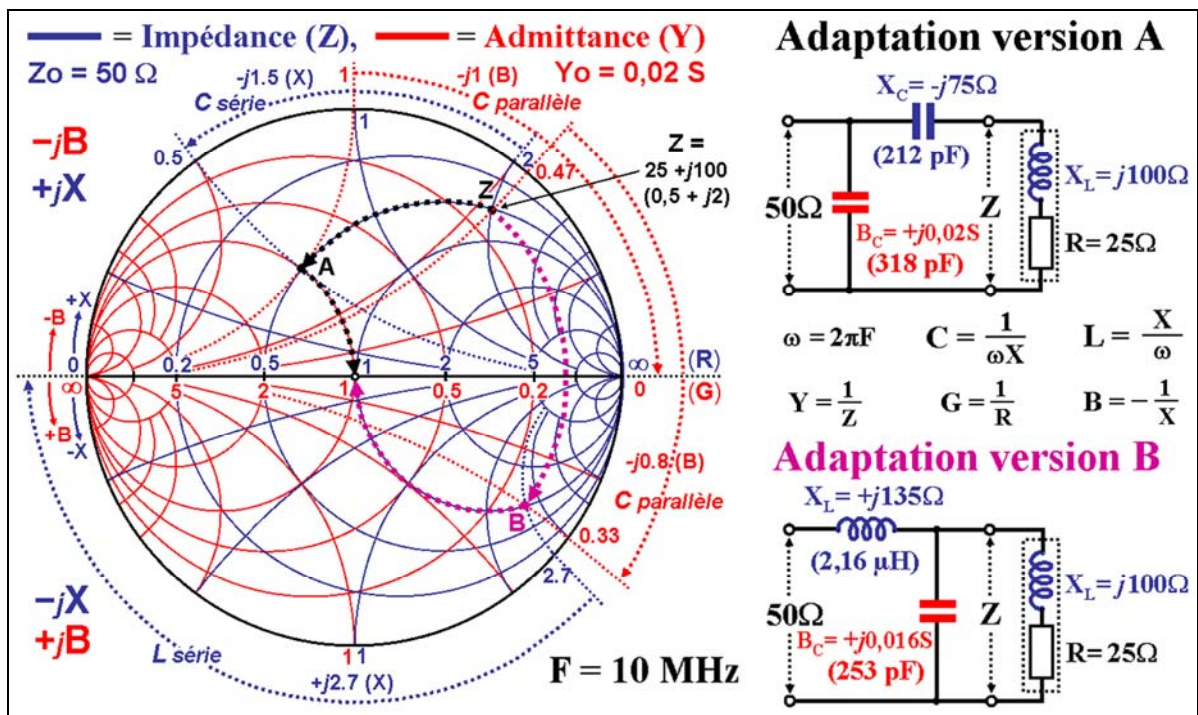


Figure 3 : Adaptation avec l'abaque de Smith mixte

Nous rappellerons que les condensateurs et les bobines sont des longueurs <sup>(4)</sup>, et comme nous n'utilisons pas de résistances (pas de pertes), ces longueurs sont portées par des portions des cercles de R ou de G constants. L'abaque de Smith sera normalisé avec  $Z_0=50\Omega$  qui est l'impédance que l'on veut obtenir (donc  $Y_0=0,02S$ ). Plaçons y le point correspondant à l'impédance de l'antenne après normalisation, soit  $Z = 0,5+j2$ . L'adaptation va consister à trouver un chemin entre ce point et le point  $Z_0$  en n'utilisant que des portions de cercles R ou G constants. Nous voyons sur la figure 3 qu'il y a deux possibilités avec deux tronçons (deux composants) et une multitude avec plus de composants (par exemple avec un circuit en pi). Prenons le trajet en noir passant pas le point A. Ce dernier est commun avec les cercles  $R=0,5$  et  $G=1$ , l'un passant par Z et l'autre passant par  $Z_0$ .

La portion Z-A se situe sur le cercle  $R=0,5$  entre les réactances  $j2$  et  $j0,5$  (Z). La réactance selfique diminuant, cela correspond à la mise en série d'un condensateur de réactance  $0,5 - 2 = -j1,5$ , soit  $-j75\Omega$  après dé normalisation. A 10 MHz, cela représente un condensateur de 212 pF.

La portion A- $Z_0$  se situe sur le cercle  $G=1$  entre les susceptances  $j0$  et  $-j1$  (Y). Nous avons une susceptance de  $j1S$  correspondant à la mise en parallèle d'un condensateur de réactance  $-(1/1) = -j1\Omega$ , soit  $-j50\Omega$  après dé normalisation. A 10 MHz, cela représente un condensateur de 318 pF. Nous obtenons le schéma en haut de la figure 3.

Prenons maintenant le trajet en violet passant pas le point B. Ce dernier est commun avec les cercles  $G=0,12$  et  $R=1$  (l'un passant par Z et l'autre passant par  $Z_0$ ).

La portion Z-B se situe sur le cercle  $G=0,12$  entre les susceptances  $j0,33$  et  $-j0,47$  (Y). Cela correspond à la mise en parallèle d'un condensateur de susceptance  $0,33 - (-0,47) = 0,8$ , soit  $0,016S$  après dé normalisation et donc d'une réactance de  $-(1/0,016) = -j62,5\Omega$ . A 10 MHz, cela représente un condensateur de 253 pF.

La portion B- $Z_0$  se situe sur le cercle  $R=1$  entre les réactances  $j0$  et  $-j2,7$  (Z). La réactance capacitive diminuant, cela correspond à la mise en série d'une bobine de réactance  $j2,7$ , soit  $j135\Omega$  après dé normalisation. A 10 MHz, cela représente une bobine de  $2,16\mu H$ . Nous obtenons le schéma en bas de la figure 3. En pratique, on préférera la version A, car il n'y a pas de bobine, donc moins de risques de pertes.

Noter que prendre  $50\Omega$  pour  $Z_0$  n'est pas une obligation. Si nous sommes trop décentrés sur l'abaque, il suffit de prendre une autre valeur de normalisation. Noter également que les valeurs de l'exemple ont été relevées sur un abaque de grande taille et de grande résolution. Enfin, après avoir dégrossi le problème à l'aide de l'abaque de Smith, rien n'interdit de faire une petite simulation avant d'approvisionner les composants.

La maîtrise de l'abaque de Smith demande un certain apprentissage. Normalement, avec cette série de "Comment ça marche", le lecteur a toutes les informations nécessaires, même s'il faut reconnaître qu'il devra "y mettre du sien" <sup>(5)</sup>.

Dans le prochain "Comment ça marche", nous terminerons la série sur les circuits réactifs avec un filtre passe-tout particulier : la ligne à retard.

**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@orange.fr".**

## Notes.

- 1) Revoir le "Comment ça marche " de mai 2014 concernant l'impédance complexe.

- 2) Revoir le "Comment ça marche" d'octobre 2014 concernant la mesure de l'impédance relative.
- 3) Puisque sa réactance est deux fois plus élevée. Comparons les résultats avec les formules du précédent "Comment ça marche" :  $\underline{Q} = 50/50 = 1$ ,  $R_p = R_s \times (1 + I^2) = 2.R_s$ ,  $C_p = C_s / (1 + (1/I^2)) = C_s/2$ . Rappel :  $+jB$  correspond à la susceptance d'un condensateur de réactance  $-j(1/X)$ . Sur l'abaque combiné, la capacitance correspond toujours à la moitié inférieure et l'inductance à la moitié supérieure.
- 4) Longueur positive pour l'inductance et négative pour la capacitance. Si le trajet ( $Z$ ) va de  $+8$  à  $+10$ , cela correspond à la mise en série d'une bobine  $X=2$ . Si le trajet va de  $+8$  à  $+6$ , cela correspond à la mise en série d'un condensateur  $X=-2$ . Et réciproquement pour les réactances négatives : de  $-8$  à  $-10$  = condensateur série et de  $-8$  à  $-6$  = bobine série. Même principe avec l'admittance et la mise en parallèle des composants (raisonner en conductance et susceptance). Voir l'exemple qui suit.
- 5) Il existe des ouvrages volumineux sur le sujet.