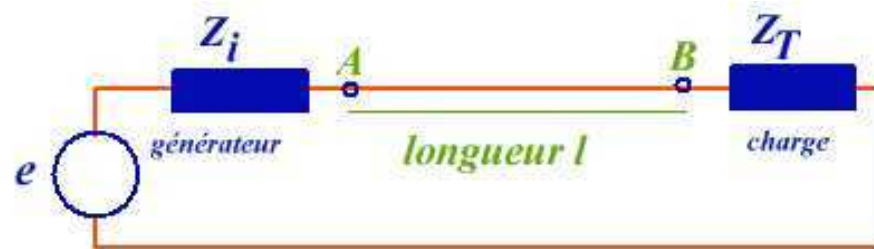


Hyperfréquences

Élément 2 : Théorie des Lignes de Transmission

- ☐ Les lignes de transmission
- ☐ L'Abaque de Smith
- ☐ Systèmes d'adaptation

- Soit une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_0



$Z_i = Z_0 = Z_T \longrightarrow$ Toute la puissance est transmise à la charge.

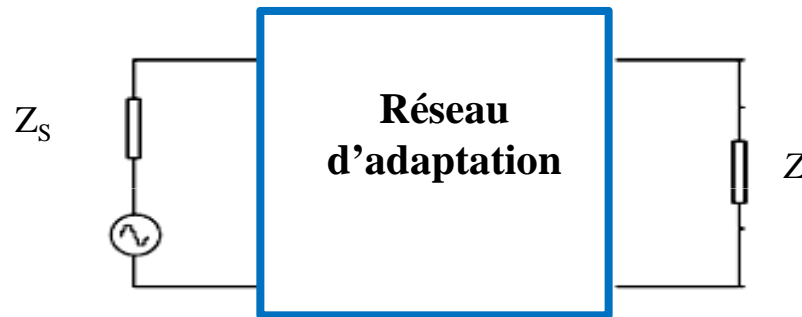
$Z_i = Z_0 \neq Z_T \longrightarrow$ Réflexion vers le générateur.

$Z_i \neq Z_0 = Z_T \longrightarrow$ La source ne transmet pas à la ligne toute la puissance.

$Z_i \neq Z_0 \neq Z_T \longrightarrow$ Réflexion s'effectue au niveau de la charge et du générateur.

Adaptation d'impédance

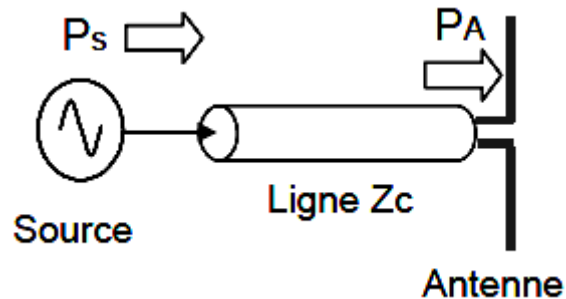
- L'adaptation d'impédances permet d'optimiser le transfert d'une puissance électrique entre une source et une charge.



Il faut que la puissance reçue soit maximale au niveau de la charge.

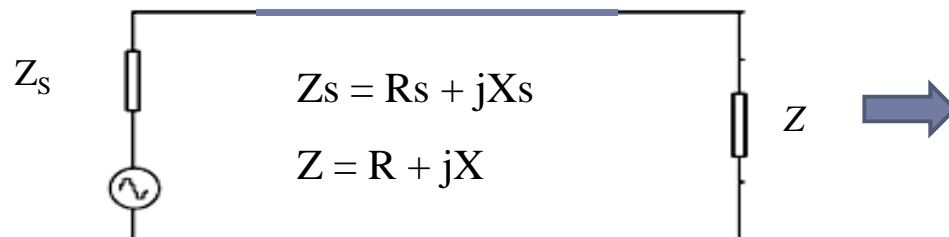
- On peut utiliser :
- ✓ Adaptation à éléments localisés
 - ✓ Adaptation par stub

Condition d'adaptation



$$P_A = P_s (1 - |\Gamma|^2) \quad \text{avec} \quad \Gamma = \frac{Z - Z_c}{Z + Z_c}$$

✓ Pour maximiser la puissance transmise à la charge, il faut annuler le coefficient de réflexion Γ en entrée de l'antenne : $\Gamma = 0$

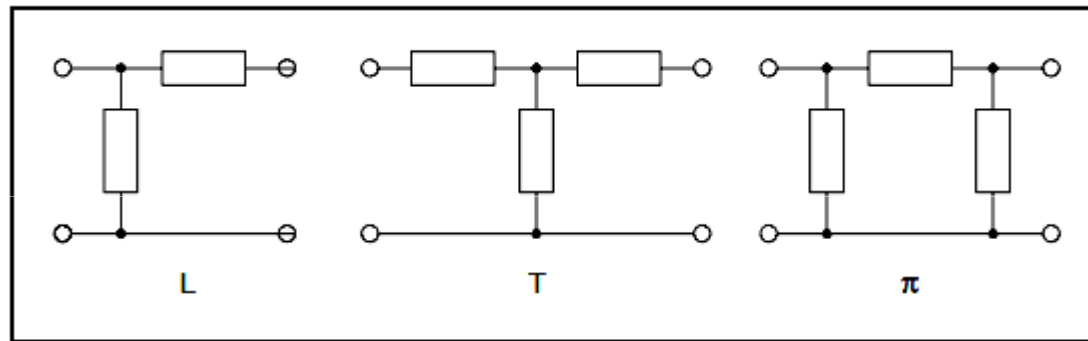


La puissance transmise est maximale si les deux impédances sont *conjuguées*

$$Z = R_s - jX_s$$

L'adaptation à éléments localisés

- Les circuits LC se présentent sous forme de L, de Té, de Pi ou parfois de combinaisons plus complexes.

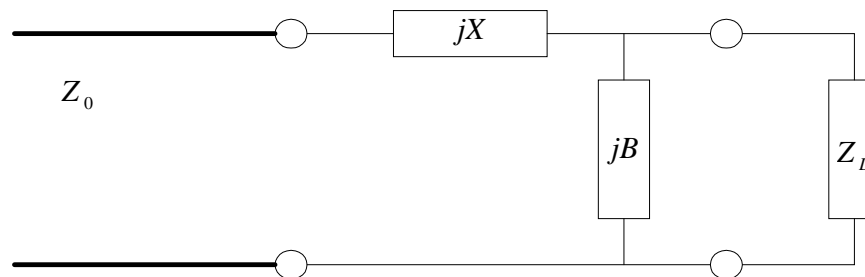


- ✓ Les transformateurs L-C sont largement utilisés dans la conception des circuits d'adaptation d'impédance micro-ondes à basse fréquences.
- ✓ Un des réseaux d'adaptation les plus simples est le réseau en L.

L'adaptation à éléments localisés

➤ Réseau en L

- ✓ Il se compose de deux éléments réactifs, condensateur ou self, dont l'un est en série et l'autre en parallèle :



$$Z_L = R_L + jX_L$$

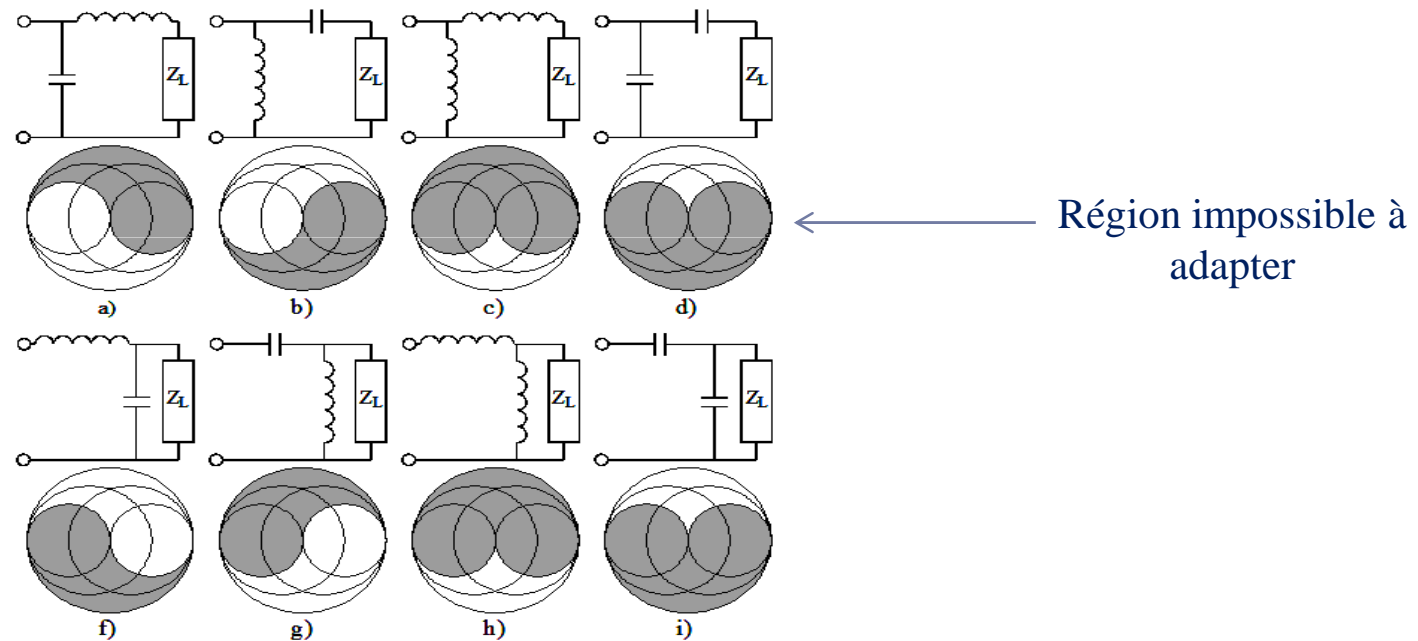
$$Z_0 = jX + (jB // Z_L)$$

$$\Rightarrow B = \frac{X_L \pm \sqrt{R_L/Z_0} \cdot \sqrt{R_L^2 + X_L^2 - Z_0 \cdot R_L}}{R_L^2 + X_L^2} \quad \text{et} \quad X = \frac{1}{B} + \frac{X_L \cdot Z_0}{R_L} - \frac{Z_0}{B \cdot R_L}$$

- ✓ Une inductance pour une valeur positive et une capacité pour une valeur négative .

L'adaptation à éléments localisés : abaque de Smith

❖ Il y a donc 8 configurations possibles, mais toutes ne permettent pas de ramener n'importe quelle impédance de charge à l'impédance caractéristique de la ligne.



❖ Le choix du type de réseau se fait en fonction du lieu de coefficient de réflexion sur l'abaque de Smith.

L'adaptation à éléments localisés : abaque de Smith

✓ L'adaptation d'impédance par un circuit en L consiste donc à aller de la charge au générateur en 2 arcs de cercles :

Parallèle :

- Se déplacer sur des cercles de conductance constante, jusqu'au cercle $Z = 1 + jX$
- Ajouter une réactance $-jX$ en série pour atteindre le centre de l'abaque.

Série :

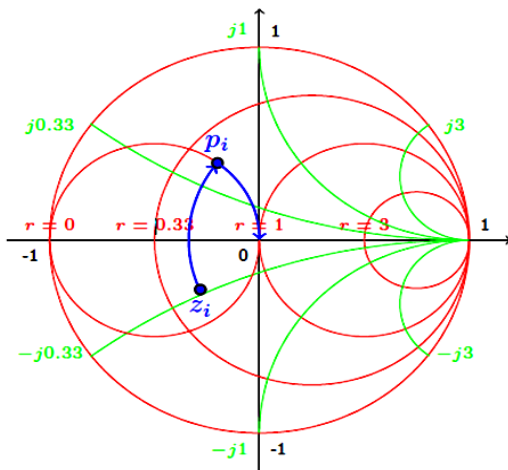
- Se déplacer sur des cercles de résistance constante, jusqu'au cercle $Y = 1 + jB$.
- Ajouter une réactance $-jB$ en parallèle pour atteindre le centre de l'abaque.

L'adaptation à éléments localisés

❑ **Exemple :** soit une charge $Z = 25 - j15\Omega$, dans un système de 50Ω . Utiliser un réseau en L pour adapter la charge.

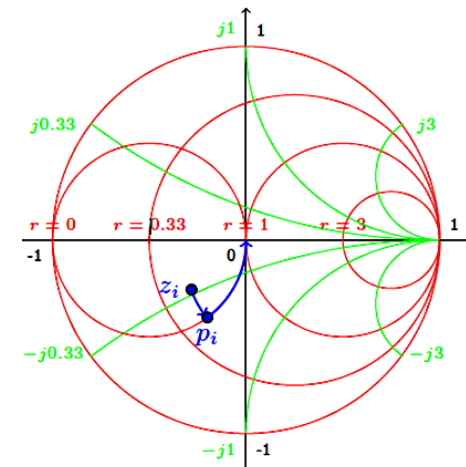
Solution 1

- 1) Placer Z sur l'abaque de Smith
- 2) Ajouter une inductance en série
- 3) Ajouter un condensateur en parallèle



Solution 2

- 1) Placer Z
- 2) Ajouter un condensateur en série
- 3) Ajouter une inductance en parallèle

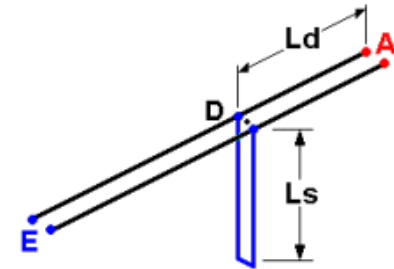


L'adaptation à éléments localisés

- ✓ **Aux fréquences élevées**, son utilisation présente une limitation due à la difficulté qu'engendre la réalisation de ses composantes.
- ✓ **Aux fréquences inférieures à 3 Ghz**, les éléments passifs occupent beaucoup plus d'espace que les composants actifs.
- Lorsque l'on utilise un réseau comprenant un condensateur et une self uniquement, l'adaptation d'impédance est réalisée parfaitement sur une **fréquence particulière**.
- ⇒ Pour envisager une adaptation d'impédance sur une plus **grande largeur de bande** il faut **multiplier le nombre de cellules**.

Adaptation par stub

➤ Un « **stub** » est un tronçon de transmission dont une extrémité est soit en court-circuit soit en circuit ouvert et dont l'autre extrémité est placée soit en série soit en parallèle sur une ligne de transmission à une certaine distance de la charge



➤ L'impédance d'entrée d'un stub court circuit (ou circuit ouvert) s'écrit en fonction de l'impédance caractéristique Z_c , de la constante de propagation β et de la longueur l .

Court circuit $Z_e = jZ_c \operatorname{tg} \beta l$

Circuit ouvert $Z_e = Z_c / j \operatorname{tg} \beta l$

➤ L'impédance ramenée est purement imaginaire et sera utilisée pour annuler la partie imaginaire de la charge à adapter (ou la partie imaginaire de la charge transformée par un tronçon de ligne).

Adaptation par stub

➤ les deux paramètres ajustables sont la distance L_d entre la charge et le stub, et la susceptance ou la réactance produite par le stub.

✓ **Stub en parallèle** : le principe d'adaptation consiste à choisir L_d de façon à ce que l'admittance vue à cette distance de la charge soit de la forme :

$$Y_c + jB$$

Alors, la susceptance du stub est choisie comme étant $-jB$, annulant ainsi la partie réactive.

✓ **Stub en série** : la distance est choisie de façon à ce que l'impédance vue à la distance soit de la forme :

$$Z_c + jX$$

La réactance du stub est alors choisie comme étant $-jX$

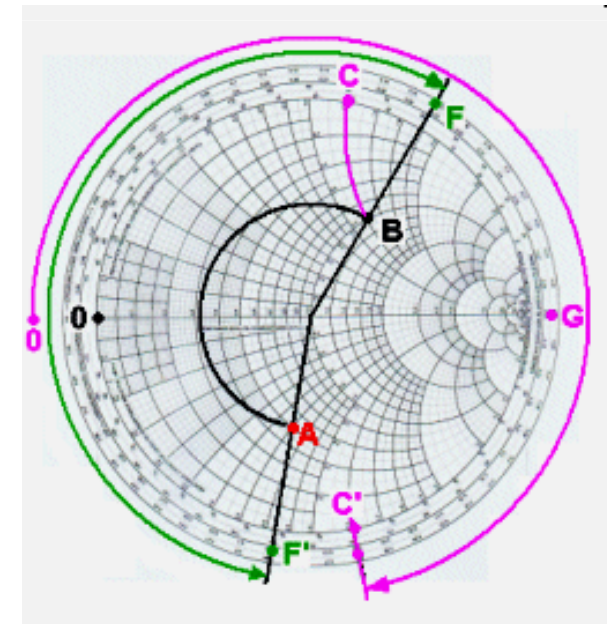
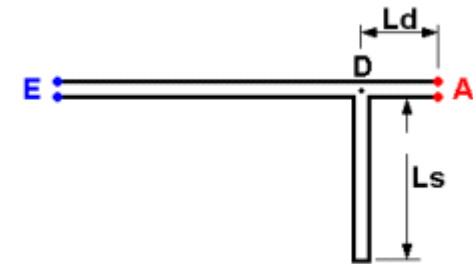
Adaptation par stub : exemple d'un Stub en série

✓ La ligne d'impédance caractéristique Z_c est chargée en A par une impédance complexe Z_a

- Positionner le point A
- Tracer le cercle des ROS constant passant par A jusqu'à le cercle des $r = 1$ en tournant dans le sens horaire. On obtient le point B

L'arc FF' correspond à la longueur de L_d

- déterminer L_s dont la réactance est celle du point C', symétrique du point C et dont la réactance est celle du point B.



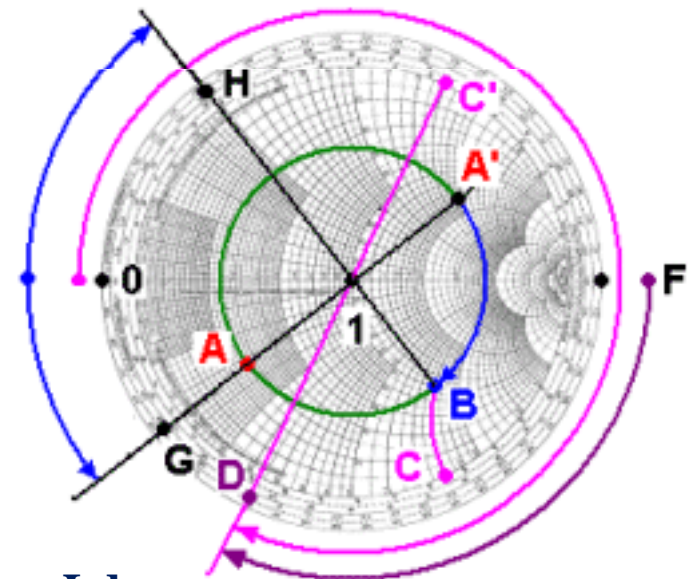
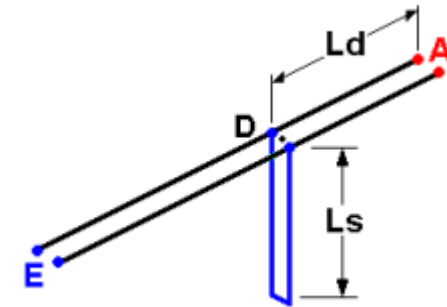
Adaptation par stub : exemple d'un Stub en parallèle

✓ La ligne d'impédance caractéristique Z_c est chargée en **A** par une impédance complexe Z_a

Déterminer L_d :

- Dessiner le cercle de ROS constant passant par **A**
- Déterminer le point **A'**, symétrique de A par rapport au centre.
- Du point A' et en tournant dans le sens horaire, trouver le point **B** qui est à l'intersection du cercle de ROS et le cercle des résistances égales à 1.

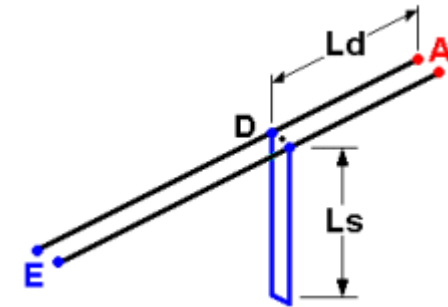
➤ L'arc **A'B** ou (GH) correspond à la longueur de ligne L_d



Adaptation par stub : exemple d'un Stub en parallèle

Déterminer L_s :

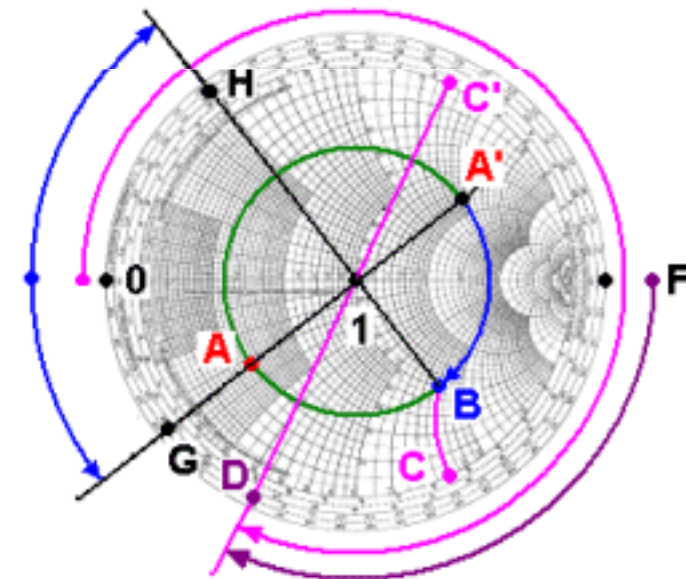
Du point **B** on arrivera au point **C** qui est situé à l'intersection du cercle des réactances constantes et du cercle des résistances nulles



- Reporter le point **C'**, symétrique de **C** par rapport à l'axe horizontal. Passer de l'admittance à l'impédance

- On a un stub en court-circuit : **partir du point 0** jusqu'au point **D** correspond à la longueur de L_s

- Pour un stub en circuit-ouvert, **partir du point F** jusqu'au point **D**.



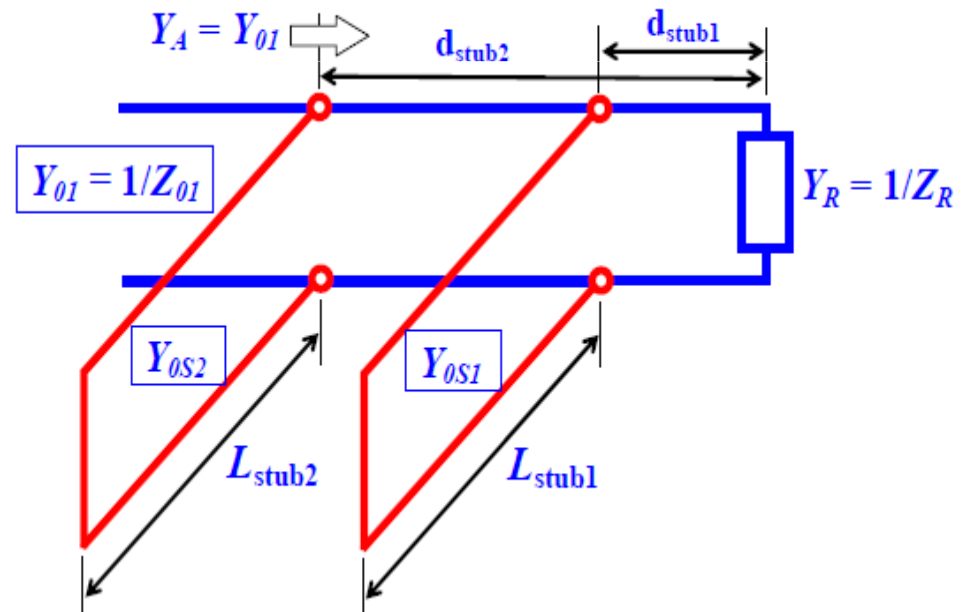
Adaptation à 2 stubs

✓ Cette technique permet d'obtenir une adaptation dans le cas où l'adaptation par simple *Stub* présente une contrainte de positionnement de celui-ci à une distance critique de la charge. Cependant, on ne peut pas adapter toutes les charges.

✓ Elle consiste à placer en parallèle sur la ligne principale deux stubs, séparés par une distance fixe (le plus souvent $\lambda/8$)

✓ Il est possible de choisir une distance arbitraire à partir de la charge pour le premier *Stub*. On peut aussi choisir une autre distance arbitraire entre le premier et deuxième *Stub*.

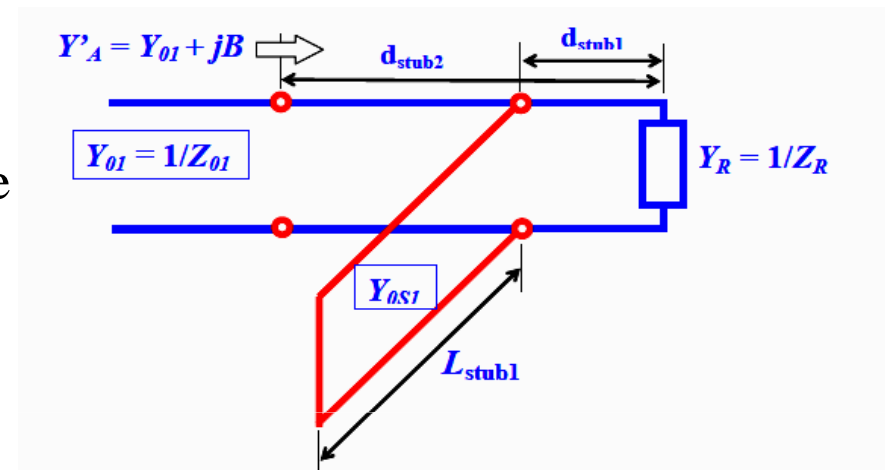
➤ L'adaptation s'effectue en calculant la longueur des deux *Stubs*.



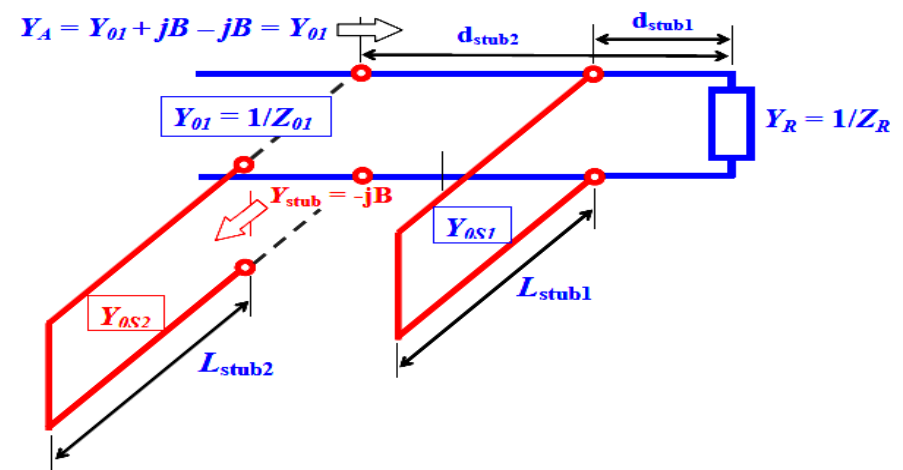
Adaptation à 2 stubs

➤ Chaque stub a un rôle différent :

- Le premier stub doit être ajusté pour que la partie réelle de l'admittance vue à la distance du second stub soit égale à Y_{01} .

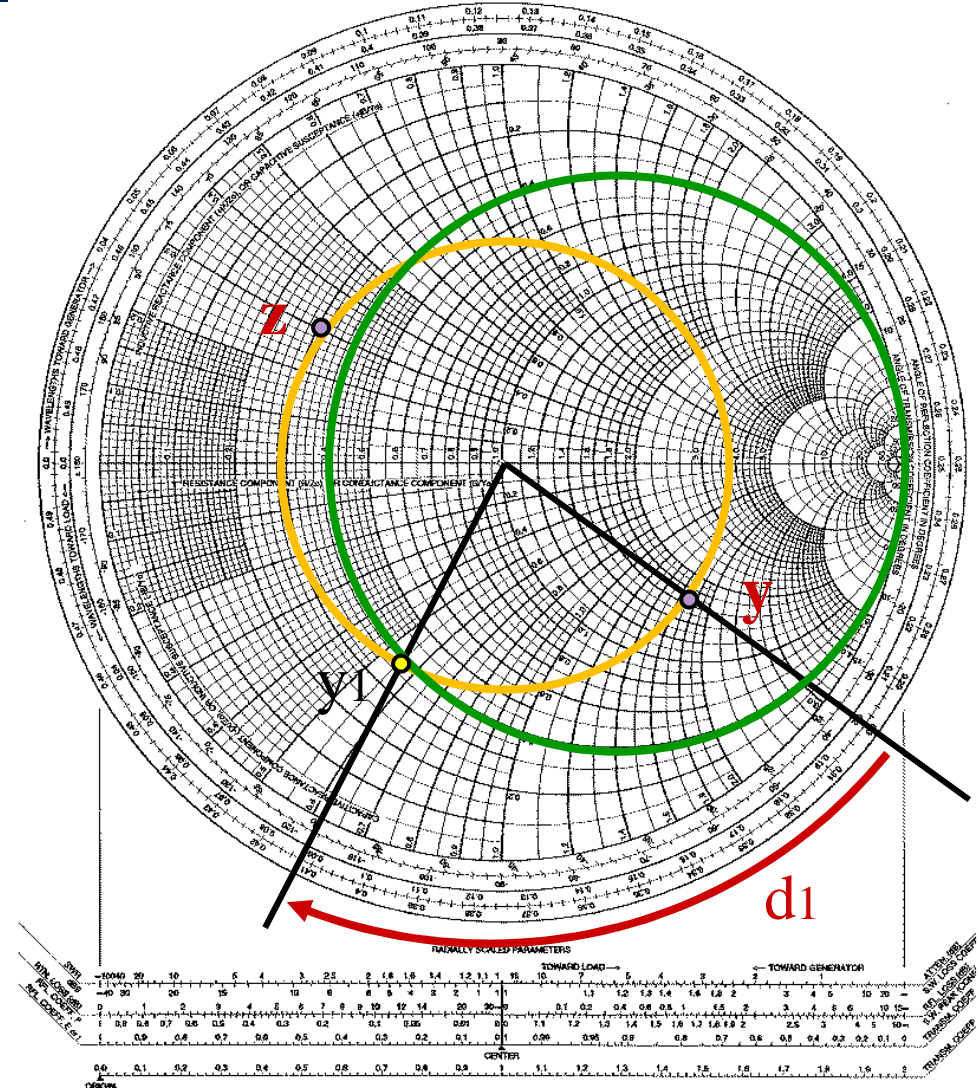


- Le deuxième stub élimine la partie imaginaire de l'admittance de la charge vue à sa position $d = d_{\text{stub1}} + d_{\text{stub2}}$



Adaptation à 2 stubs

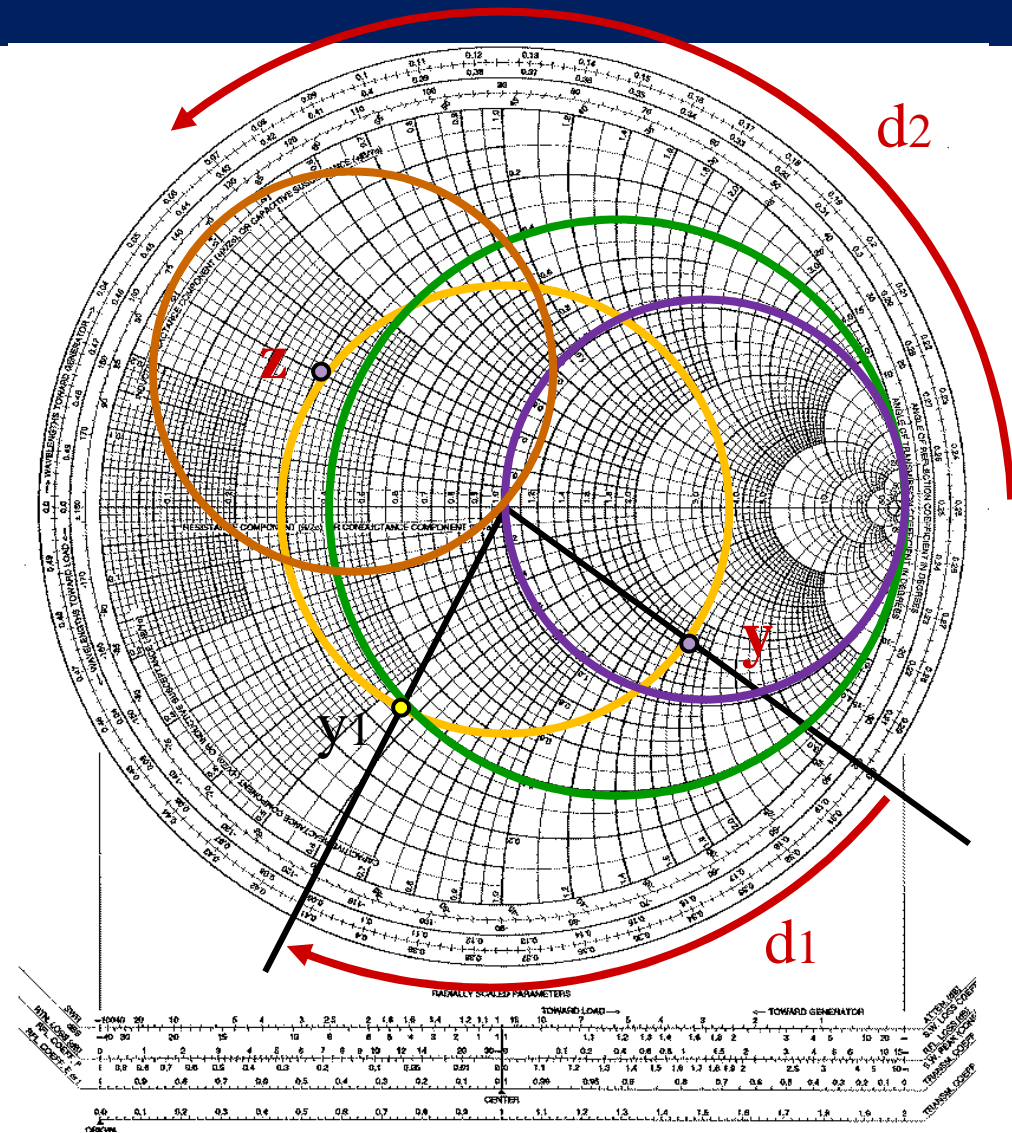
- ▶ Procédure d'adaptation
- ✓ Placer (Z) et (Y) sur l'abaque
- ✓ De la charge on se déplace vers le générateur de d_1 . On trouve alors le cercle des admittances $cste+jx$



Adaptation à 2 stubs

► Procédure d'adaptation

✓ On prend le cercle $1+jx$ que l'on fait tourner de d_2 vers la charge.



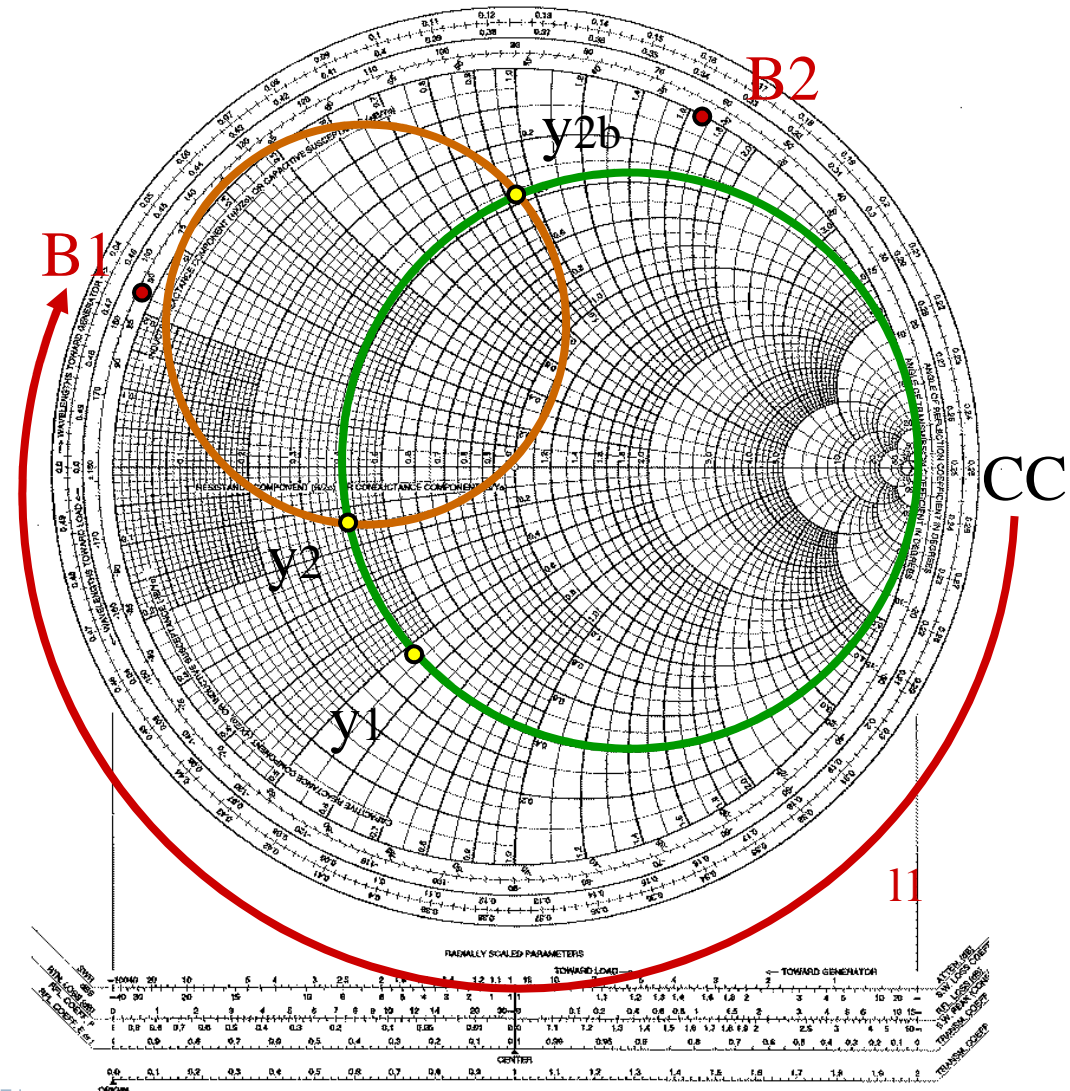
Adaptation à 2 stubs

✓ On trouve deux solutions pour l'admittance du premier stub :

$$y(s1) = y2 - y1$$

$$y'(s1) = y2b - y1$$

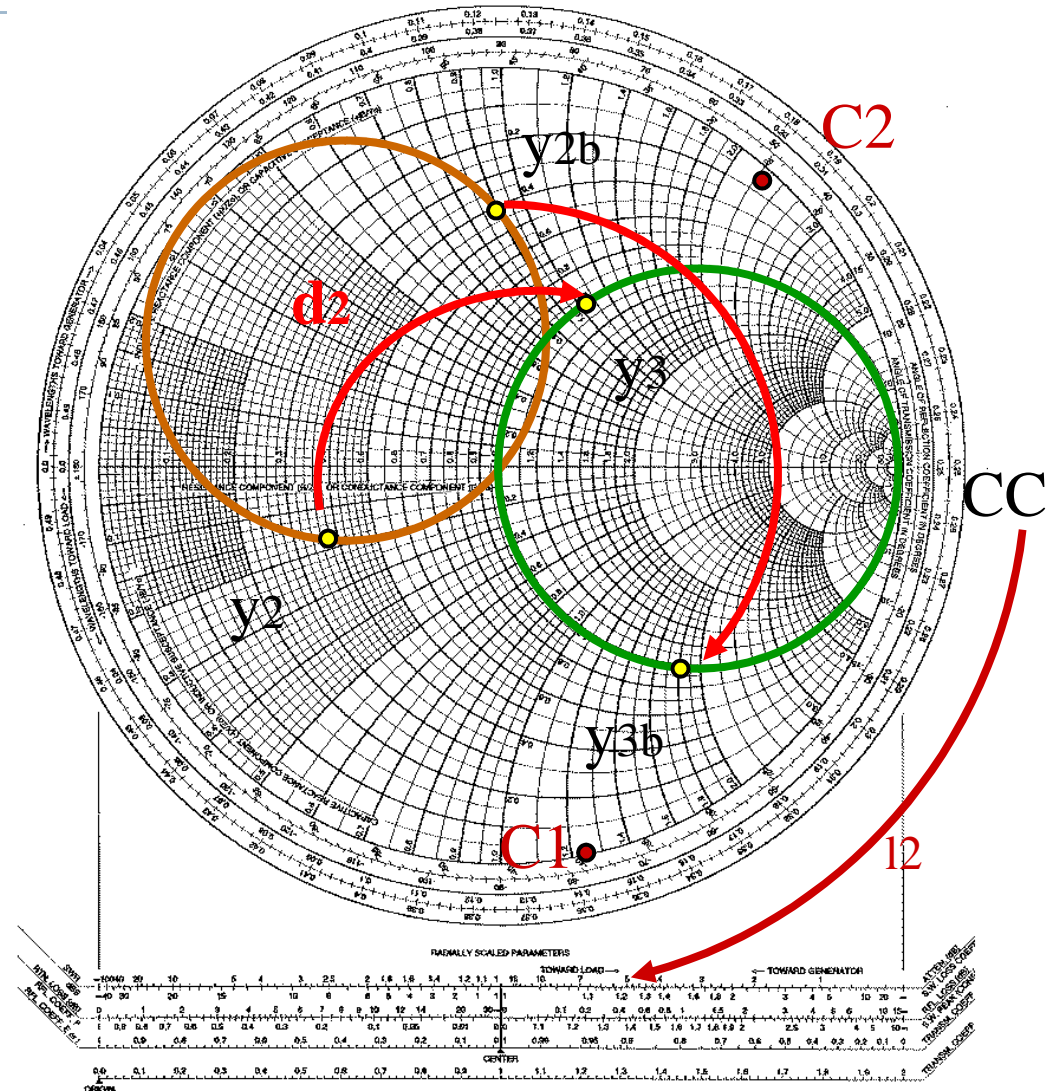
✓ Admittances purement imaginaires que l'on reporte sur l'abaque pour trouver la longueur du premier stub (B1 et B2).



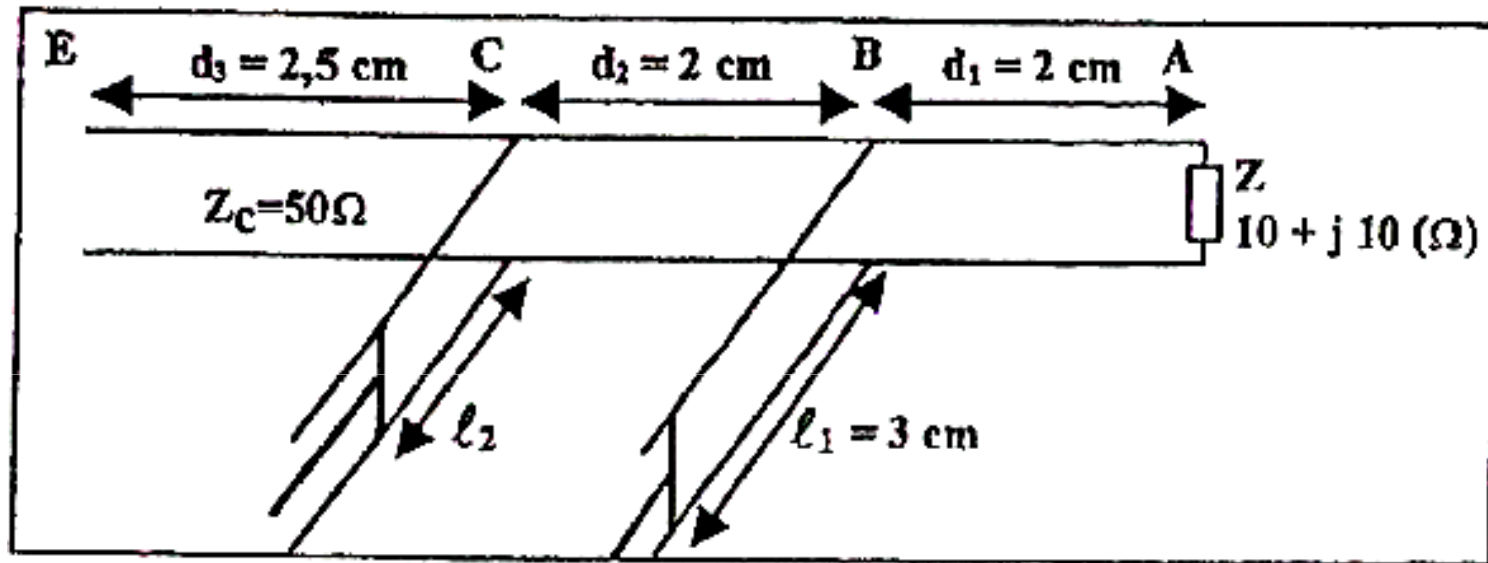
Adaptation à 2 stubs

✓ Les admittances y_3 et y_{3b} sont trouvées par rotation de d_2 des admittances y_2 et y_{2b} .

On compense ces parties imaginaires par les points $C1$ ou $C2$ ce qui donne la longueur de l_2



Exercice



$$\lambda = 10 \text{ cm}$$

- Calculer la petite valeur ℓ_2 permettant d'obtenir une impédance réelle au point E.

Ligne quart d'onde

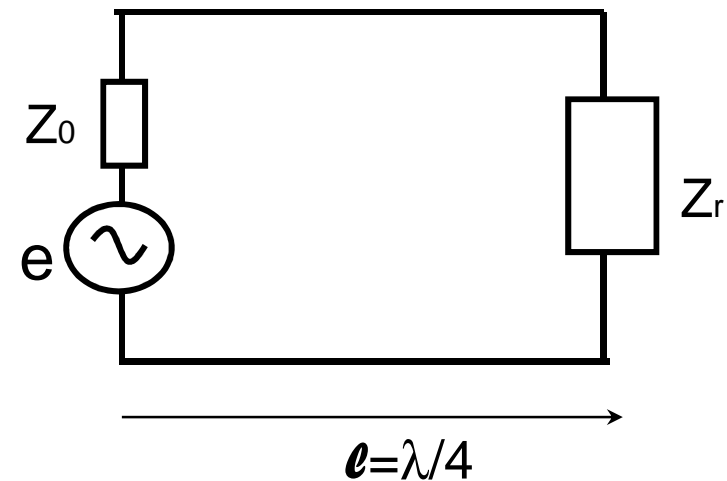
Un tronçon de ligne Quart d'onde permet une transformation d'impédance :

$$Z_o = Z_c \frac{Z_r + jZ_c \tan \beta l}{Z_c + jZ_r \tan \beta l}$$

$$\beta l = \beta \frac{\lambda}{4} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$$

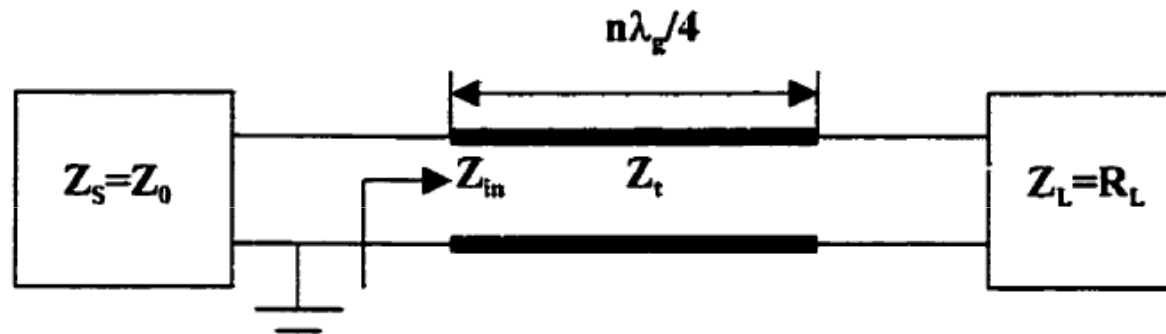
d'où $\tan \beta l \rightarrow \infty$

→ $Z_o = \frac{Z_c^2}{Z_r}$



Adaptation par ligne quart d'onde

- On peut utiliser une ligne $\lambda/4$ pour transformer une charge réelle a une autre impédance réelle.



Cette technique est connue par sa simplicité, elle concerne encore une adaptation uni-fréquentielle du fait que sa longueur est seulement $\lambda/4$ à une seule fréquence.