ISEN | école d'ingénieurs
LILLE

RF & MICROWAVE CIRCUITS

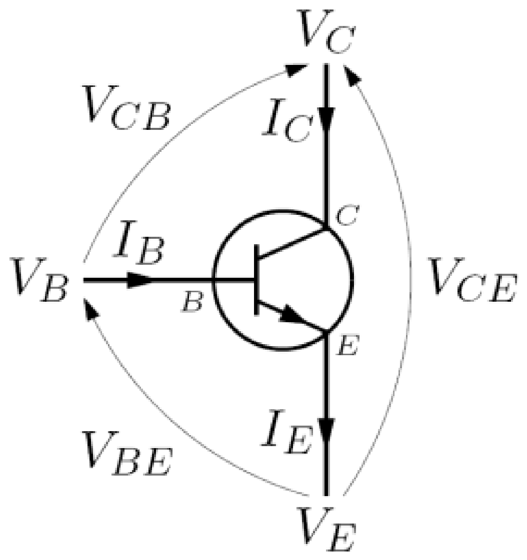
CIRCUITS RF & HYPER

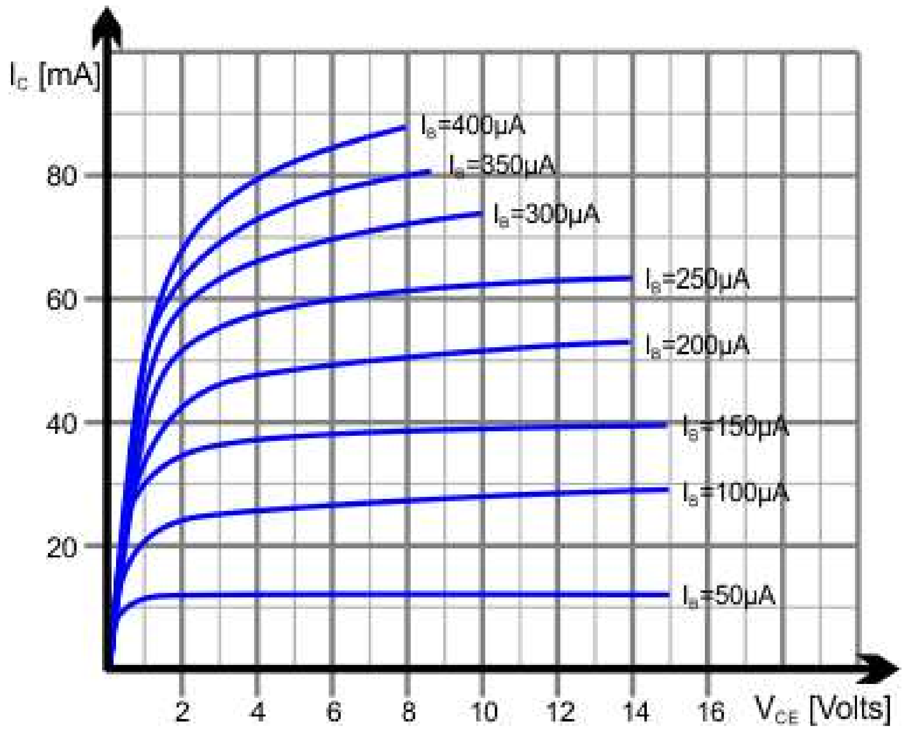
2018-2019

AXEL FLAMENT
DAMIEN DUCATTEAU

Biasing

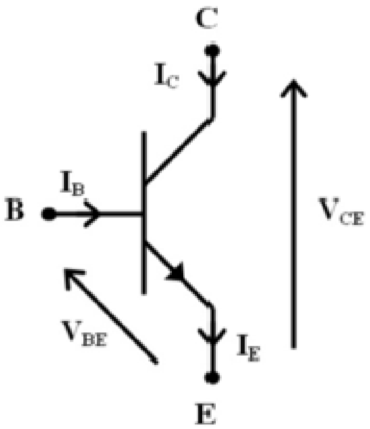
- S-parameters represent small signal behavior
  - Linear !
  - Around a bias condition

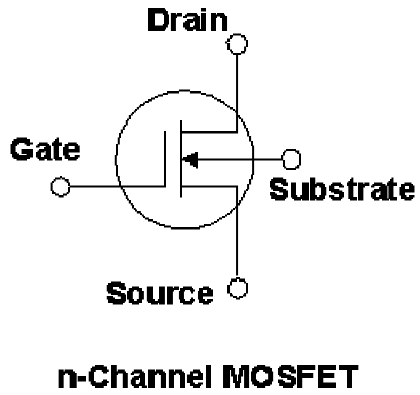


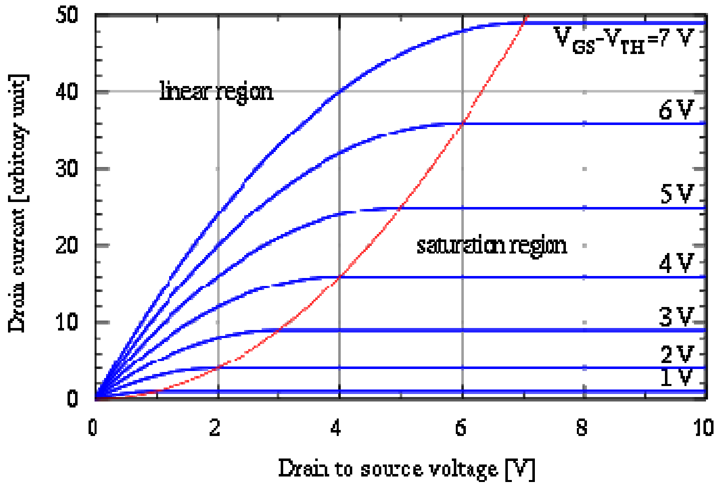


Biasing

- Set Voltages and currents in a transistor





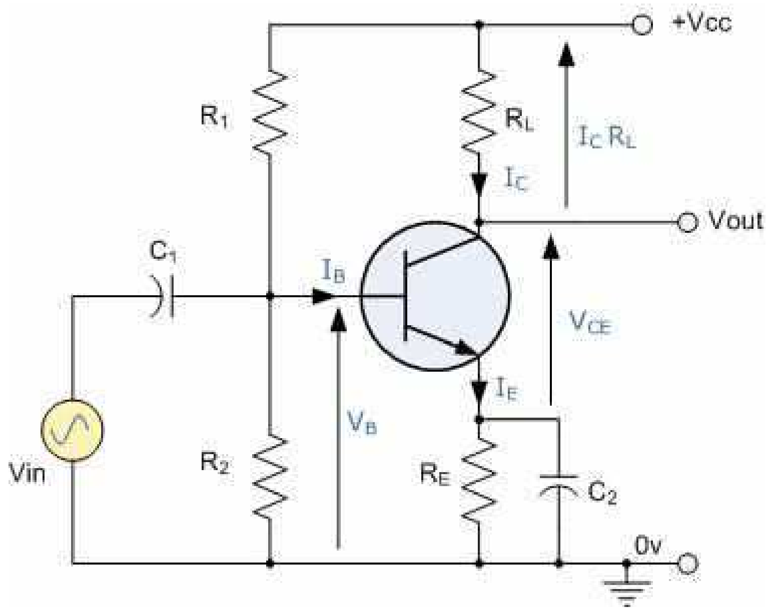


V_{BE} ~0.6V
V_{CE} = ?
I_C = ?

I_G = 0
V_{DS} = ?
I_D = ? (set VGS)

Biasing

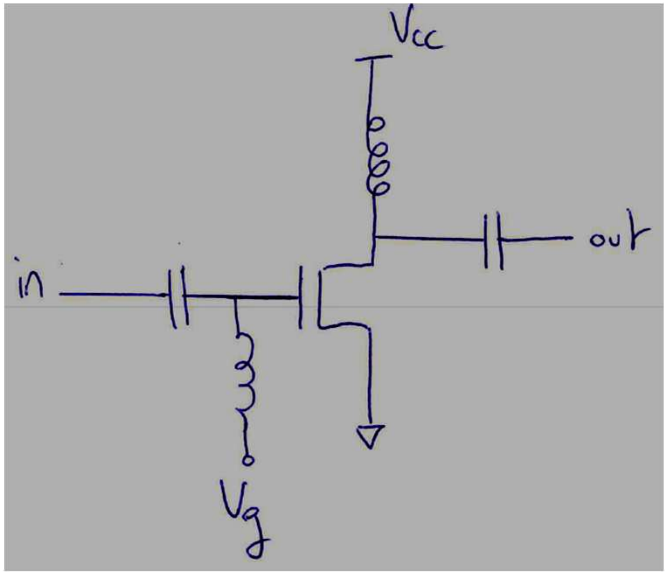
- Most common topology

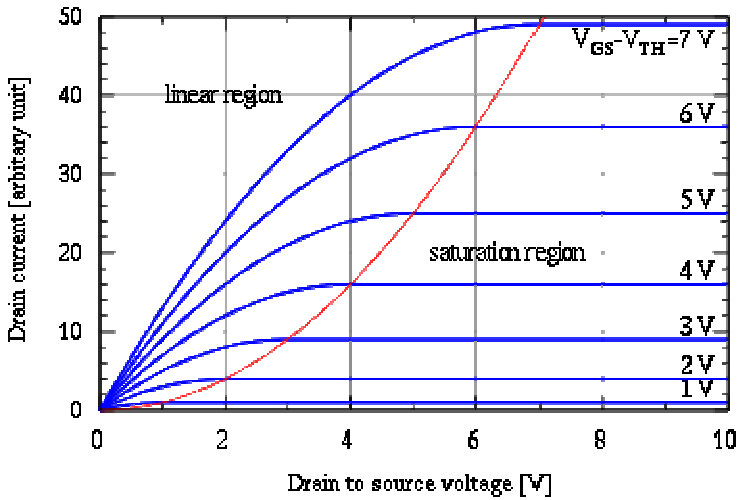


- What's wrong with this topology for RF?

RF Biasing

- Use of noiseless components
  - Caps for signal
  - Selfs for DC





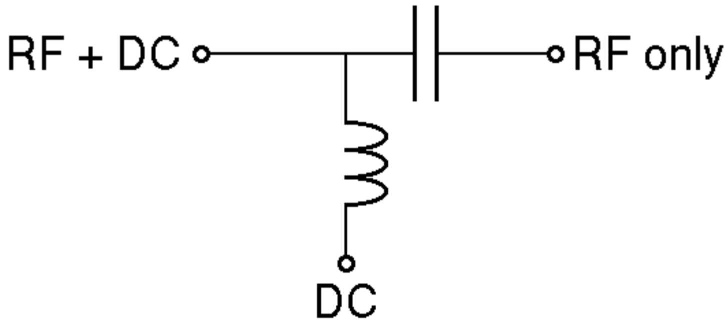
$V_G = 5V$

$V_{CC} = V_D = 6V$

$\rightarrow I_D = 25mA$

Biasing

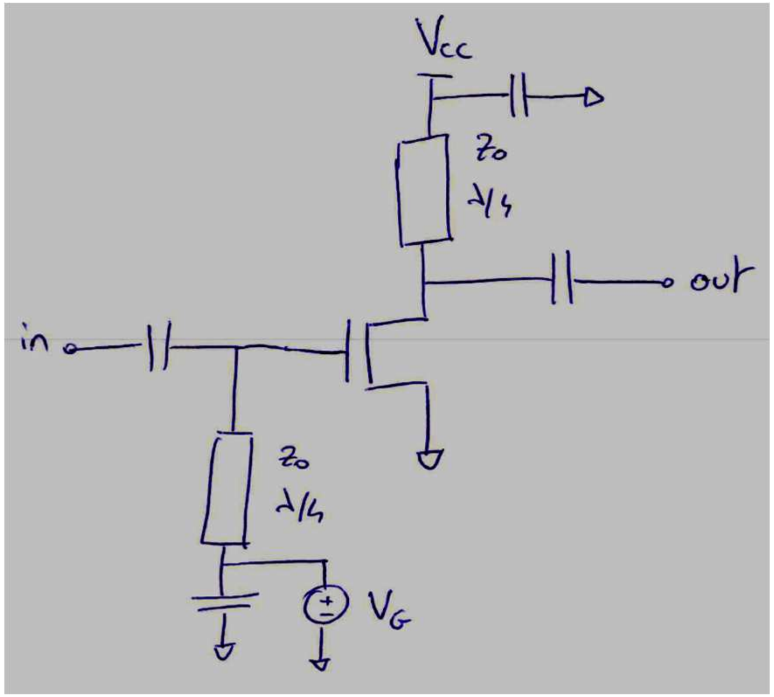
- Bias Tees



ISEN | école d'ingénieurs
LILLE

Biasing

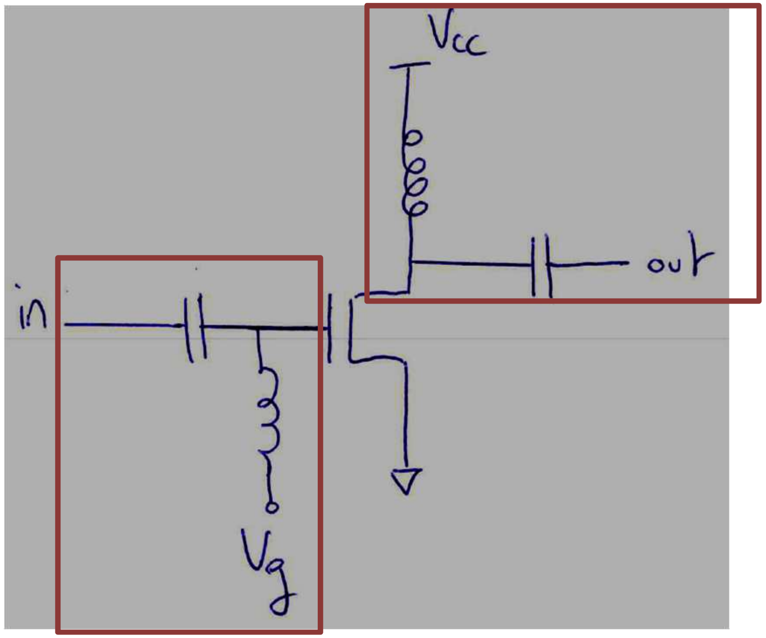
- The impedance transformation property of λ/4 transmission lines can be used to bias transistors



ISEN | école d'ingénieurs
LILLE

Biasing

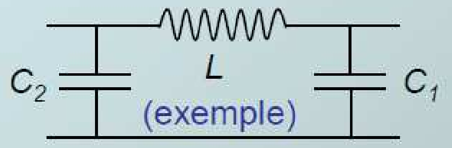
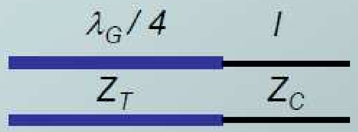
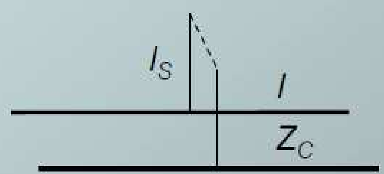
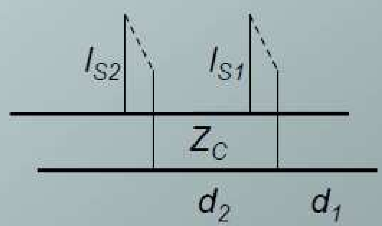
- Fortunately (for you), the measurements you will perform are done on a VNA with DC bias supplies !



external

external

Impedance adaptation

Eléments localisés		Inconnues : C_i, L_j	
SLUG		Inconnues : l et Z_T	Toujours possible
Simple STUB		Inconnues : l et l_S	Toujours possible
Double STUB		Inconnues : l_{S1} et l_{S2}	

Lumped elements

Il existe une multitude de possibilités selon l'association des inductances et capacités. Il peut y avoir 2, 3 ou 4 (…) éléments réactifs.

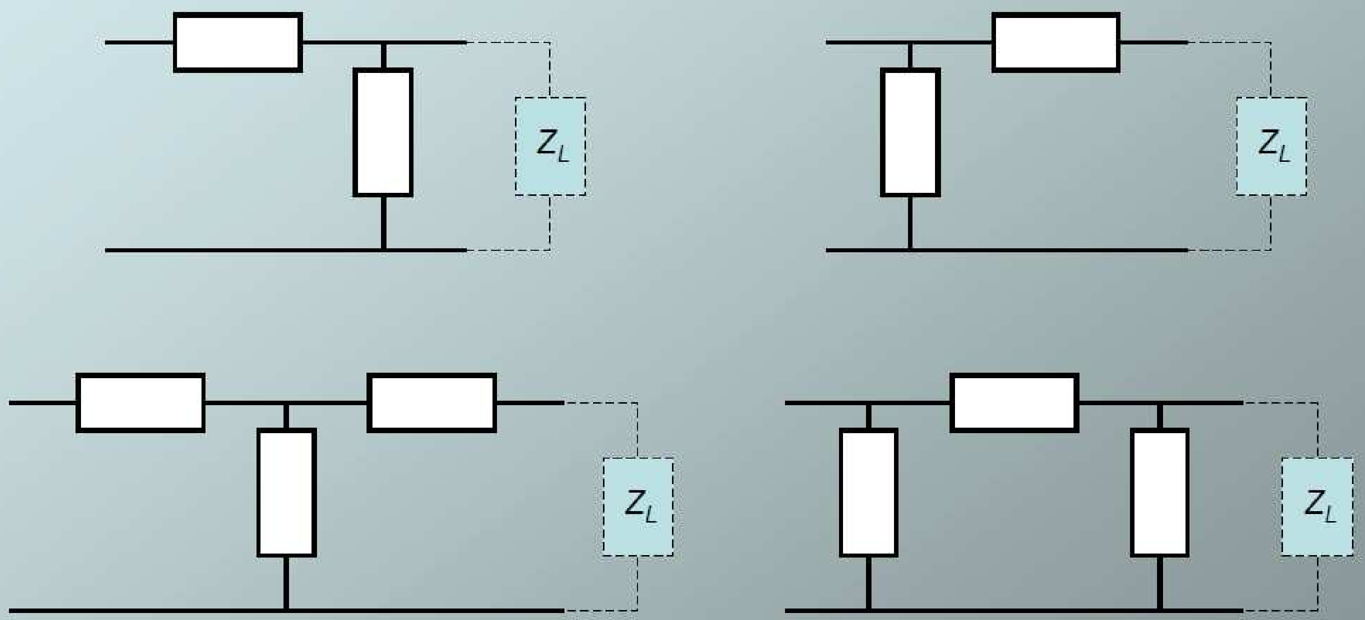
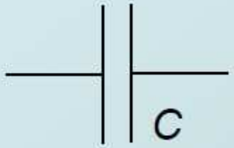


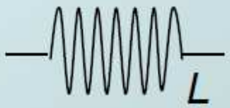
Schéma en T

Schéma en π

Lumped elements



$$Z = \frac{1}{jC\omega} = -jX \qquad z = \frac{Z}{Z_c} = -jx$$

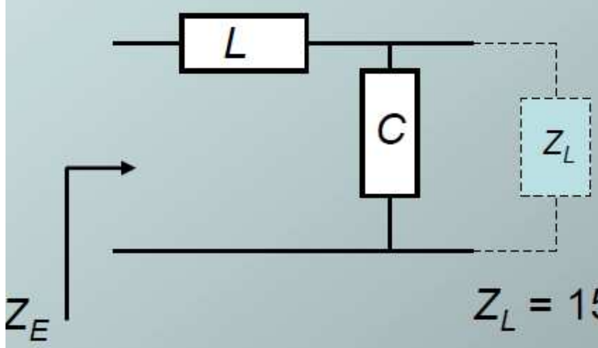


$$Z = jL\omega = +jX \qquad z = \frac{Z}{Z_c} = +jx$$

$$Y = \frac{1}{Z} \qquad y = \frac{1}{z}$$

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} \qquad y = \frac{Y}{Y_C} = YZ_C$$

Exemple :



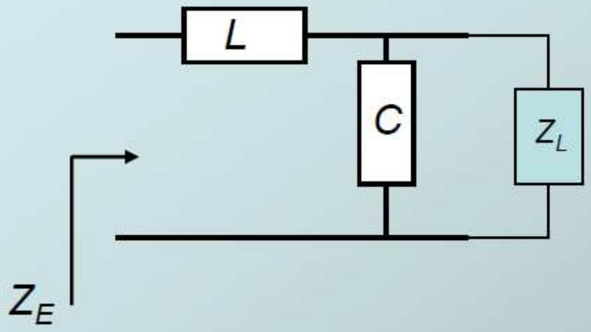
$Z_L = 15 + j\,35\ \Omega$

Méthode :

- calculer Z_E en fonction de C, L et Z_L
- on détermine C et L pour que $Z_E = Z_C = 50\ \Omega$

L'adaptation ne sera valable qu'à une seule fréquence !

Lumped elements



$$Z_E = Z_{ind} + (Z_L // Z_{cap})$$

$$Z_{cap} = \frac{1}{jC\omega} = -jX_{cap} \qquad Z_{ind} = jL\omega = jX_{ind}$$

$$Z_L = R_L + jX_L \qquad Z_L = 15 + j\,35 \text{ ohms}$$

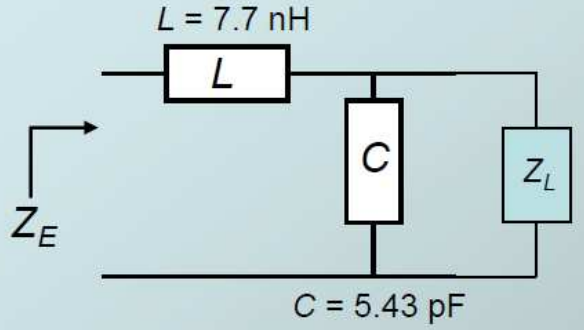
On trouve alors : $$Z_E = \frac{R_L X_{cap}^2}{R_L^2 + (X_L - X_{cap})^2} + j\left[X_{ind} - \frac{X_{cap}(R_L^2 + X_L^2 - X_L X_{cap})}{R_L^2 + (X_L - X_{cap})^2}\right]$$

On veut que $Z_E = Z_C = R_C + j\,0 = 50 + j\,0\ \Omega$: adaptation à une ligne 50 Ω

On obtient alors : $X_{cap} = 29.3\ \Omega$ $\quad X_{ind} = 48.3\ \Omega$

Soit à f = 1GHz $\quad C = 5.43$ pF et $L = 7.7$ nH

Lumped elements



f = 1 GHz $\quad Z_C$ = 50 Ω

$Z_L = 15 + j\,35\ \Omega$

$z_L = Z_L\,/\,Z_C = 0.3 + j\,0.7$ **impédance réduite !**

Passage en admittance : $y_L = 0.57 - j\,1.21$

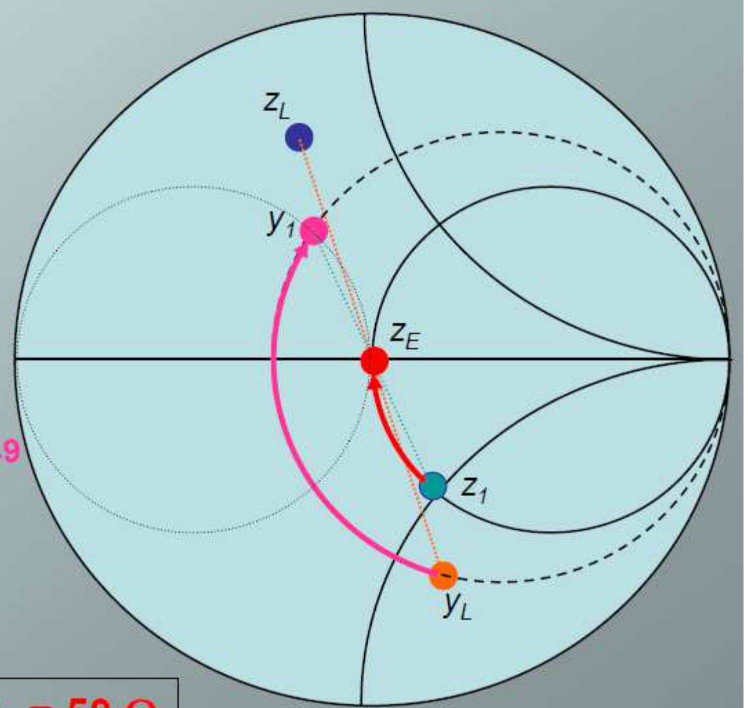
C apporte une admittance $y_{cap} = Z_C Y_{cap} = j\,Z_C C\omega$

$y_{cap} = +j\,1.70$ **on obtient $y_1 = y_L + y_{cap} = 0.57 + j\,0.49$**

Passage en impédance : $z_1 = 1 - 0.97\,j$

L apporte une impédance $z_{ind} = Z_{ind}\,/\,Z_C = j\,L\omega\,/\,Z_C$

$z_{ind} = +j\,0.97$ **on obtient $z_E = z_1 + z_{ind} = 1$**

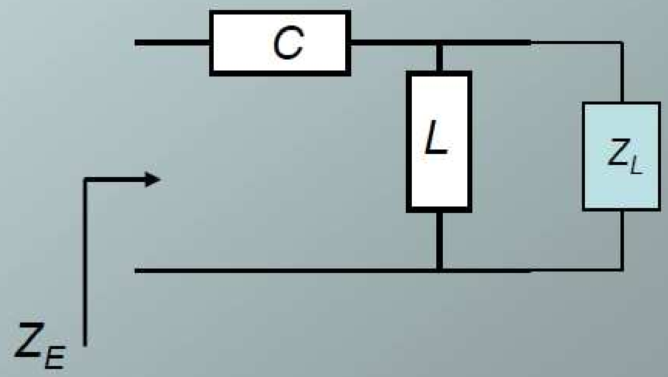


Soit $Z_E = Z_C = 50\ \Omega$

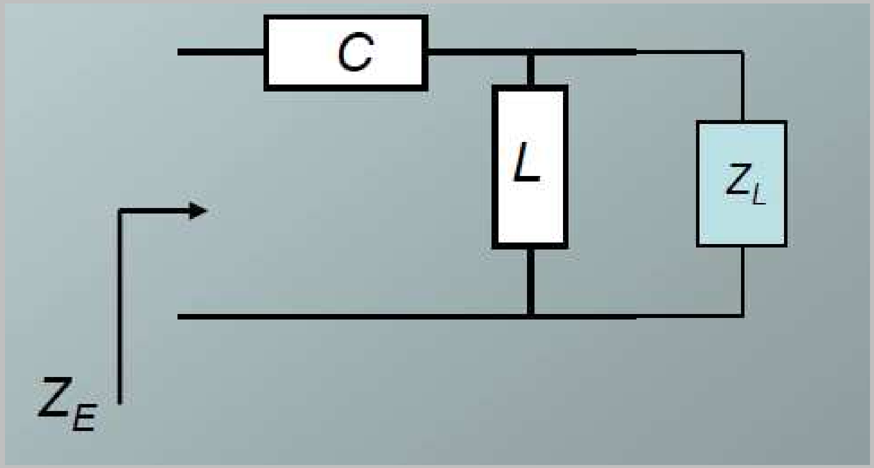
Lumped elements

Calculate the values of *L* and *C* so as to realize the impedance matching of the load impedance $Z_L = 125 - j\,42.5\ \Omega$ at the frequency of 1 GHz ($Z_C = 50\ \Omega$). The impedance matching network is shown below.

Use either an analytical approach or the Smith Chart.



Analytical solution



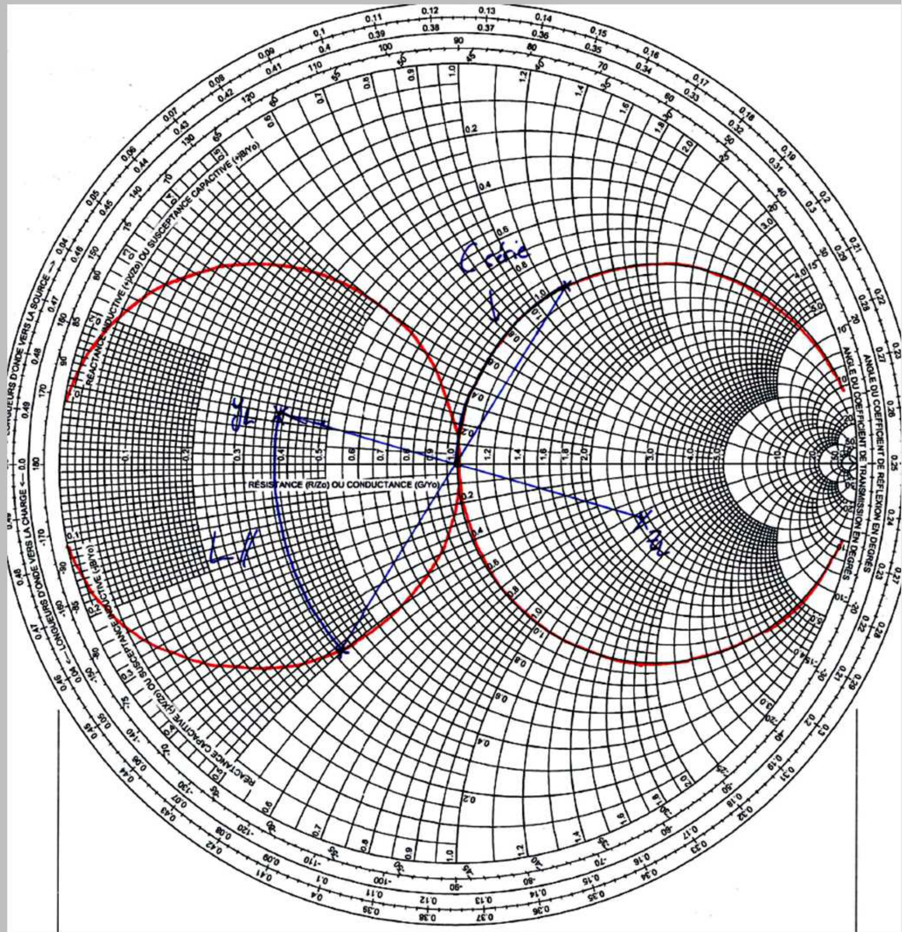
- $Z_E = Z_{cap} + Z_{ind} // Z_L$
- $Z_{cap} = -jX_{cap}$
- $Z_{ind} = jX_{ind}$
- $Z_L = R_L + jX_L$

$$Z_E = \frac{X_{ind}^2 R_L}{R_L^2 + (X_{ind} + X_L)^2} + j\frac{X_{ind}\left(X_L^2 + X_{ind} X_L + R_L^2\right)}{R_L^2 + (X_{ind} + X_L)^2} - jX_{cap}$$

- $Re(Z_E) = 50 \rightarrow X_{ind} = 83.12\Omega \rightarrow L = 13.2nH$
- (resolving $X_{ind}^2 + 56.67X_{ind} - 11620.8 = 0$)
- $Im(Z_E) = 0 \rightarrow X_{cap} = 55.48\ \Omega \rightarrow C = 2.87pF$

Smith Chart solution

- Z_L = 125-j42.5 Ω
- z_L = 2.5-j0.85
- Admittance : y_L = 0.36+j0.12
- Shunt L brings $y_{ind} = Z_0 Y_{ind} = -jZ_0/(L\omega) = -j0.6$
  - y = 0.36-j0.48 → z = 1+j1.33
- Series C brings $z_{cap} = Z_{cap}/Z_0 = -j/(CZ_0\omega) = -j1.33$
  - z = 1
- @1GHz : L= 13.27nH and C = 2.39pF

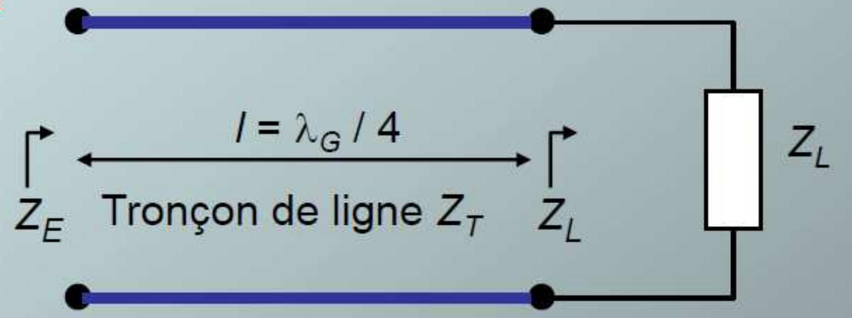


SLUG

Rappel : un SLUG est un tronçon de ligne de longueur $l = \lambda_G / 4$ d'impédance caractéristique Z_T qui a la propriété de présenter une impédance d'entrée Z_E :

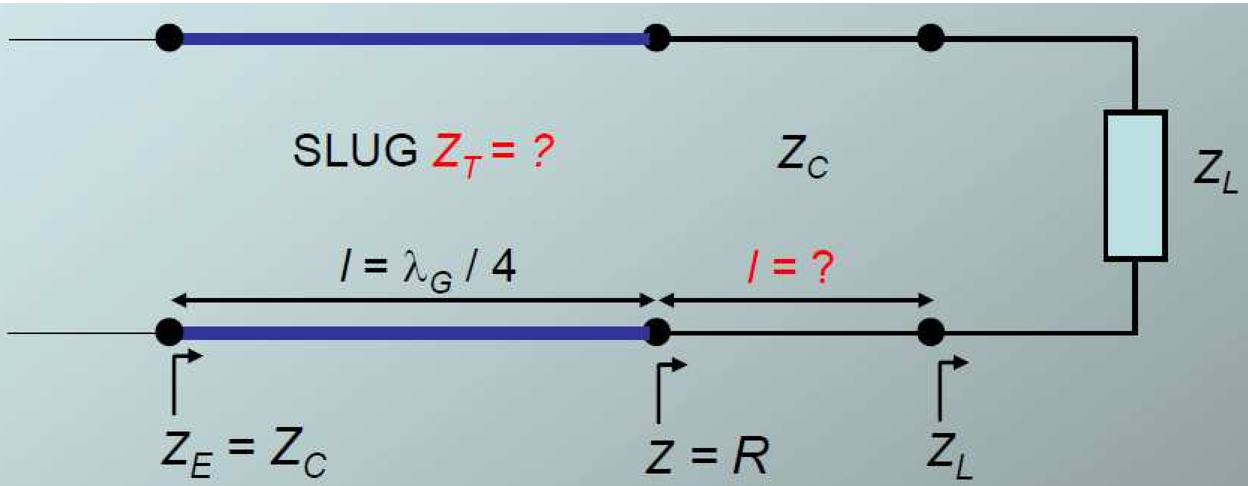
$$\boxed{Z_E = \frac{Z_T^2}{Z_L}}$$

où Z_L est l'impédance connectée au SLUG



En particulier, le SLUG va transformer une impédance réelle Z_L en une impédance réelle Z_E dont la valeur dépend de l'impédance caractéristique Z_T du SLUG. (Transformateur quart d'onde)

SLUG

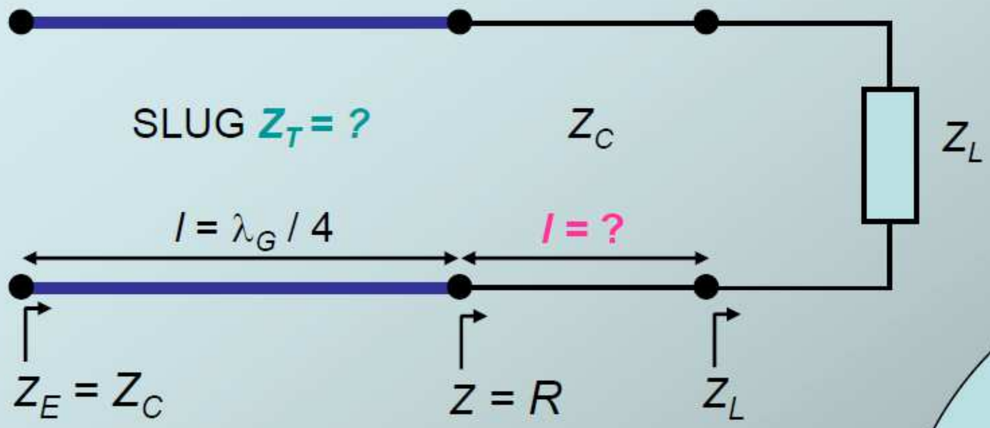


L'adaptation à SLUG est constituée d'un tronçon de ligne Z_C , de longueur l à déterminer, connecté à la charge à adapter, suivi d'un SLUG dont l'impédance caractéristique Z_T est à déterminer.

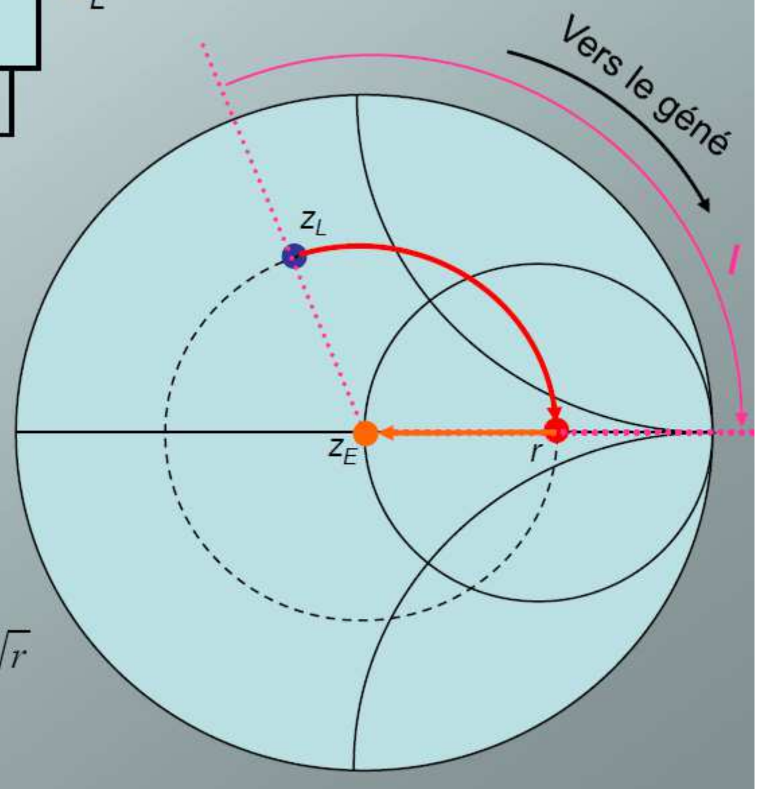
Le tronçon de ligne transforme Z_L en une impédance $Z = R$ purement réelle $\Rightarrow l$

Le SLUG transforme $Z = R$ en $Z_E = Z_C$ (= 50 Ω) $\Rightarrow Z_T$

SLUG



Eléments en série : on travaille en impédance



$Z_L \Rightarrow$ **z_L sur l'abaque : impédance réduite !**

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

Intersection avec l'axe des abscisses :
Impédance réelle : $Z = R = r Z_C$

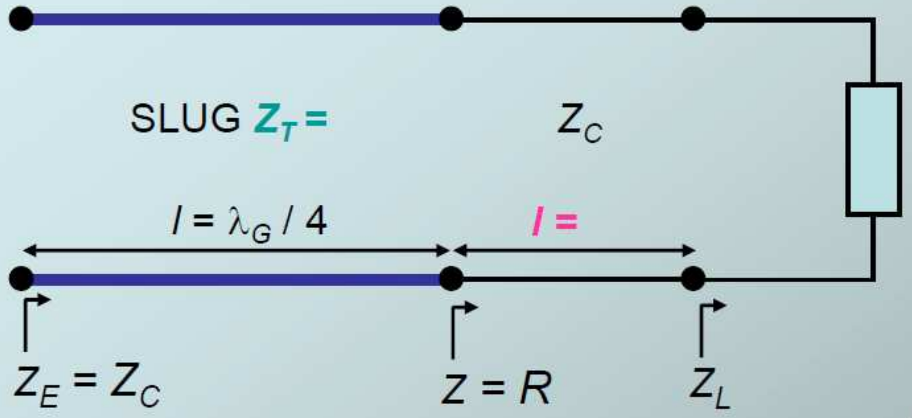
On en déduit l (en fraction de longueur d'onde)

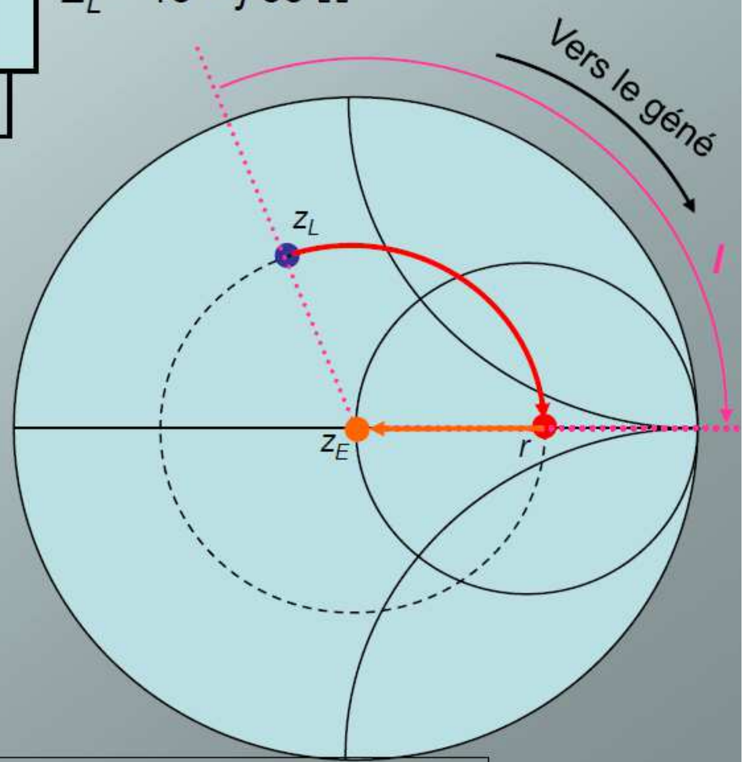
Calcul de Z_T pour avoir $Z_E = Z_C$: $Z_T^2 = Z_C R \Rightarrow Z_T = Z_C \sqrt{r}$

On obtient $z_E = 1$ soit $Z_E = Z_C$

SLUG

$Z_C = 50\ \Omega$





$Z_L \Rightarrow$ **$z_L = Z_L / Z_C = 0.3 + j\,0.7$ impédance réduite !**

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

Intersection avec l'axe des abscisses :
Impédance réelle : $r = 5$

On en déduit $l = 0.148\ \lambda_G$ **(l n'est pas unique !)**

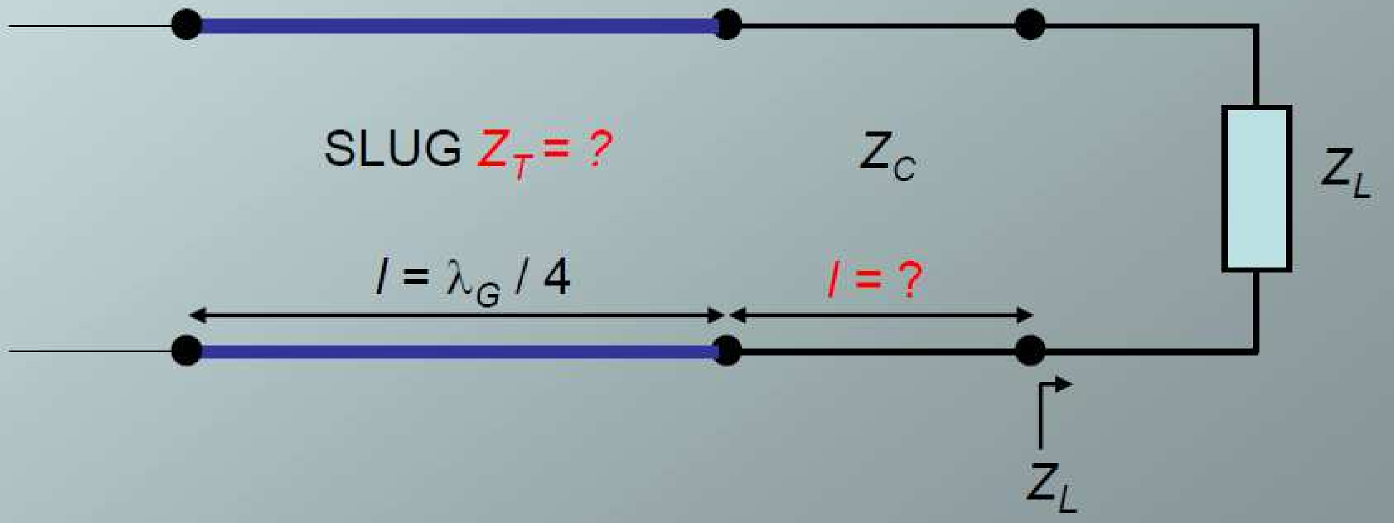
Calcul de Z_T : $Z_T = Z_C\sqrt{r} = 50\sqrt{5} = 112\,\Omega$

Adaptation : $Z_E = Z_C = 50\ \Omega$ pour $l = 0.148\ \lambda_G$ et $Z_T = 112\ \Omega$

SLUG example

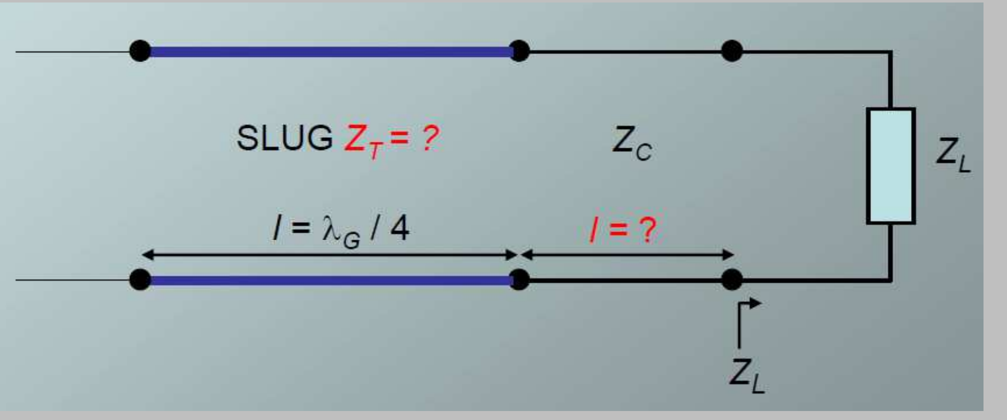
Realize the impedance matching of the load impedance Z_L = 125 – j 42.5 Ω at the frequency of 1 GHz (Z_C = 50 Ω) using a SLUG structure.

Use the Smith Chart !

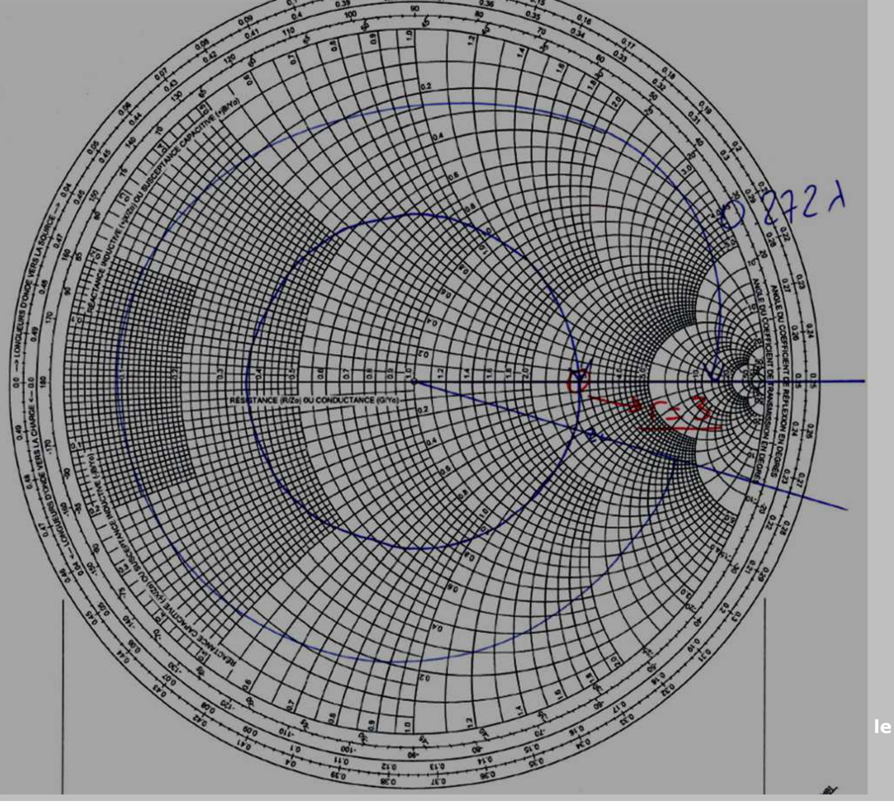


ntons le monde

Solution

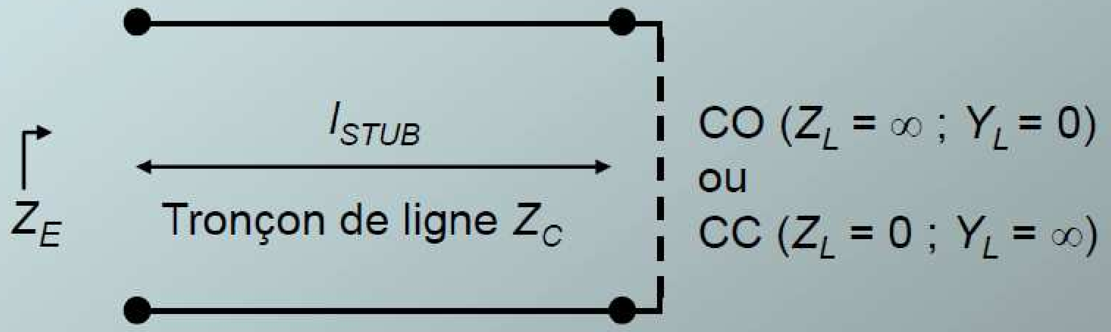


- $L = 0.478\lambda$
- $Z_T = Z_0 \sqrt{r} = 50 \sqrt{3} = 86.6\ \Omega$



Simple STUB

Rappel : un STUB est un tronçon de ligne terminé par un CC ou un CO qui présente à son entrée une impédance (une admittance) purement imaginaire dont la valeur dépend de la terminaison, de la longueur du STUB et de Z_C.



$Z_E = j\,X$
$Y_E = j\,B$

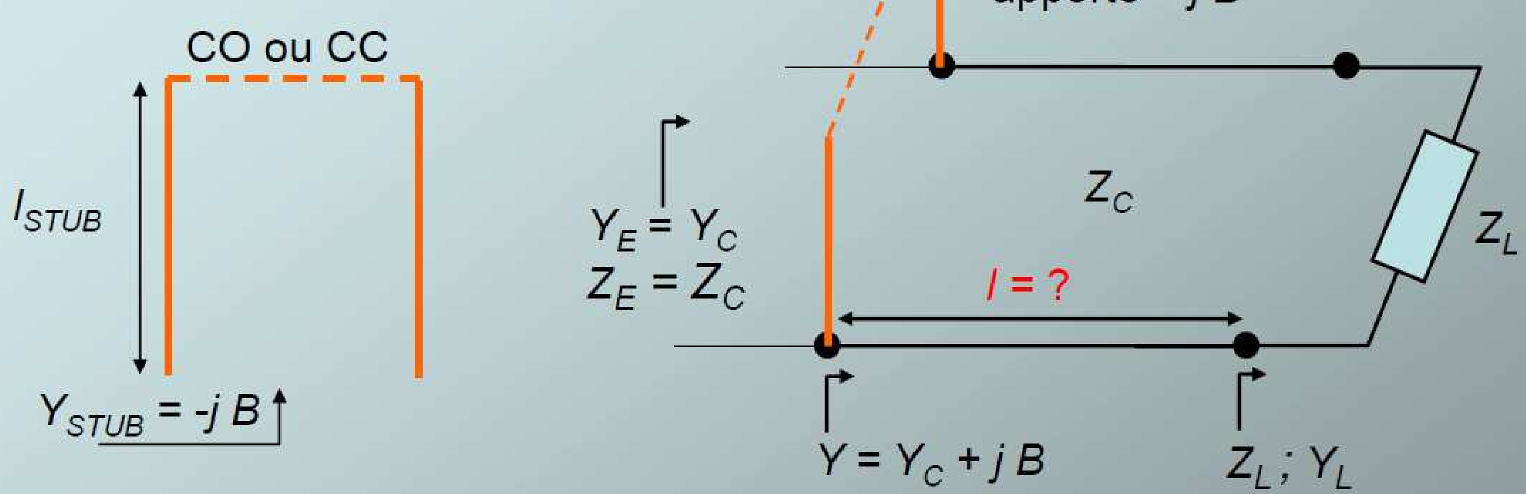
Selon le signe de la partie imaginaire de l'admittance apportée par le STUB, celui-ci joue le rôle d'une capacité ou d'une inductance. On le dimensionne aisément à l'aide de l'abaque de Smith.

Un STUB s'utilise en parallèle sur une ligne et modifie donc la partie imaginaire de l'admittance *(Déplacement sur un cercle à partie réelle = constante).*

ISEN | école d'ingénieurs
LILLE

Simple STUB

Schéma de l'adaptation :



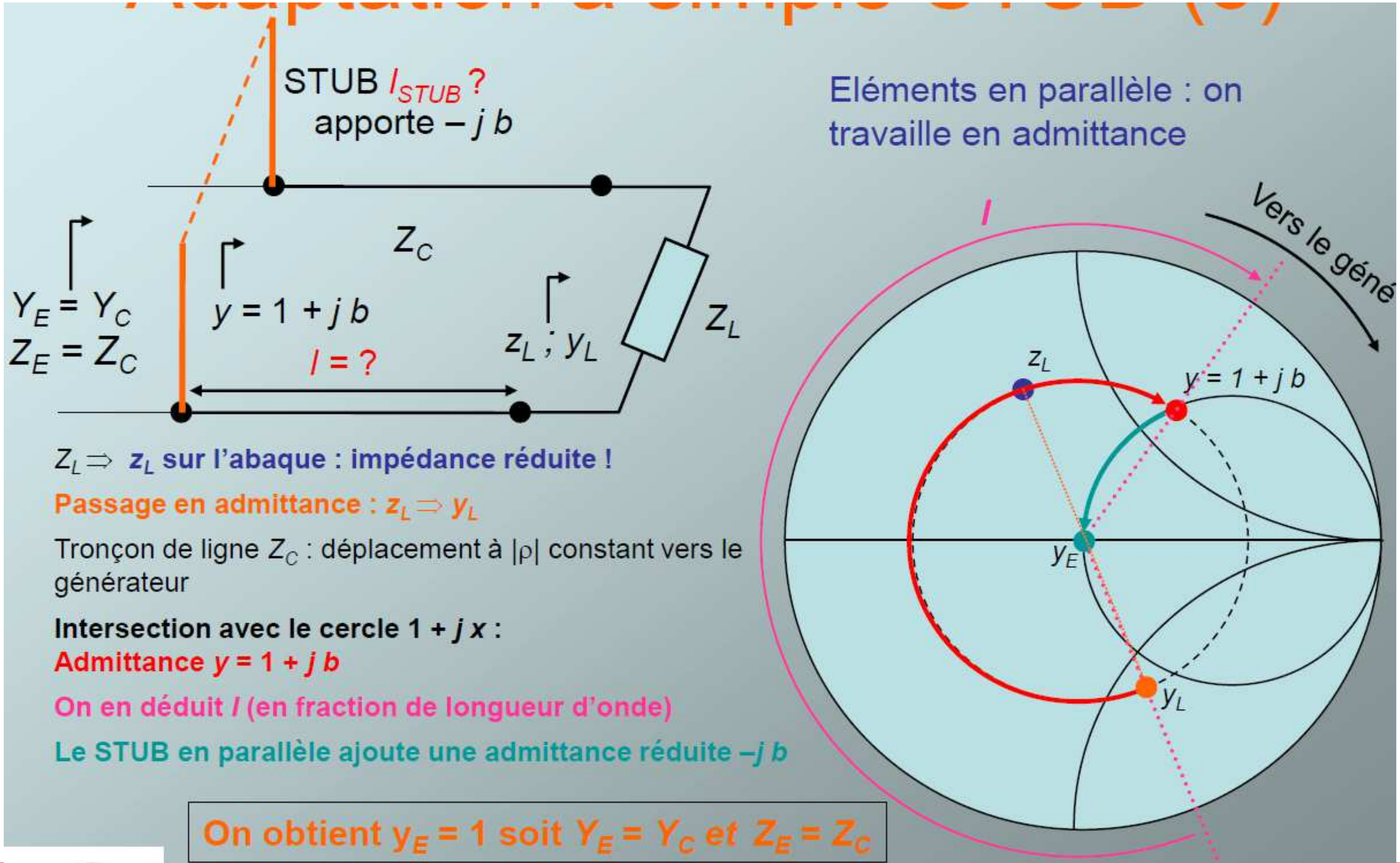
L'adaptation à simple STUB est constituée d'un tronçon de ligne Z_C, de longueur l à déterminer, connecté à la charge à adapter, avec un STUB en parallèle dont la longueur l_{STUB} est à déterminer en fonction de la terminaison (CO ou CC).

Le tronçon de ligne transforme Z_L (Y_L) en une admittance $Y = Y_C + j\,B \Rightarrow l$

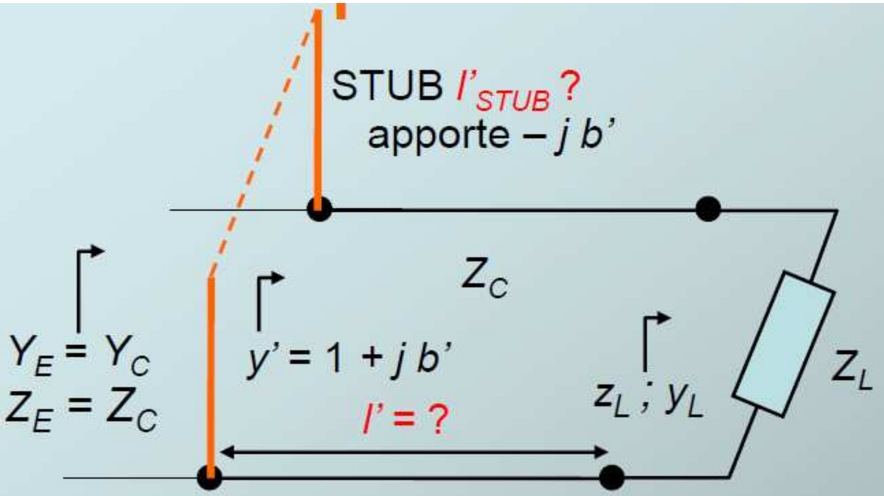
Le STUB compense la partie imaginaire $j\,B$ de Y : $Y_E = Y + Y_{STUB} = Y_C \Rightarrow Z_E = Z_C$

A partir de Y_{STUB} (et de la terminaison CO ou CC), on détermine l_{STUB}.

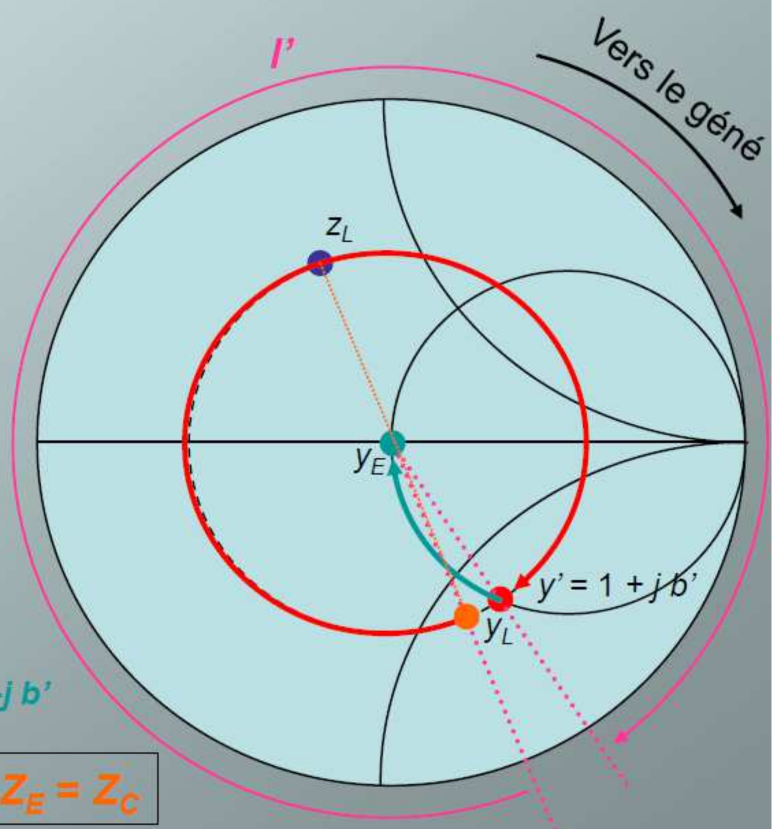
Simple STUB


STUB l_{STUB} ?
apporte – $j\,b$
Eléments en parallèle : on travaille en admittance
Z_C
$Y_E = Y_C$
$Z_E = Z_C$
$y = 1 + j\,b$
l = ?
z_L ; y_L
Z_L
l
Vers le géné
z_L
$y = 1 + j\,b$
y_E
y_L
$Z_L \Rightarrow$ z_L sur l'abaque : impédance réduite !
Passage en admittance : $z_L \Rightarrow y_L$
Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur
Intersection avec le cercle $1 + j\,x$:
Admittance $y = 1 + j\,b$
On en déduit l (en fraction de longueur d'onde)
Le STUB en parallèle ajoute une admittance réduite $-j\,b$
On obtient $y_E = 1$ soit $Y_E = Y_C$ et $Z_E = Z_C$

Simple STUB



Deuxième solution



$Z_L \Rightarrow$ **z_L sur l'abaque : impédance réduite !**

Passage en admittance : $z_L \Rightarrow y_L$

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

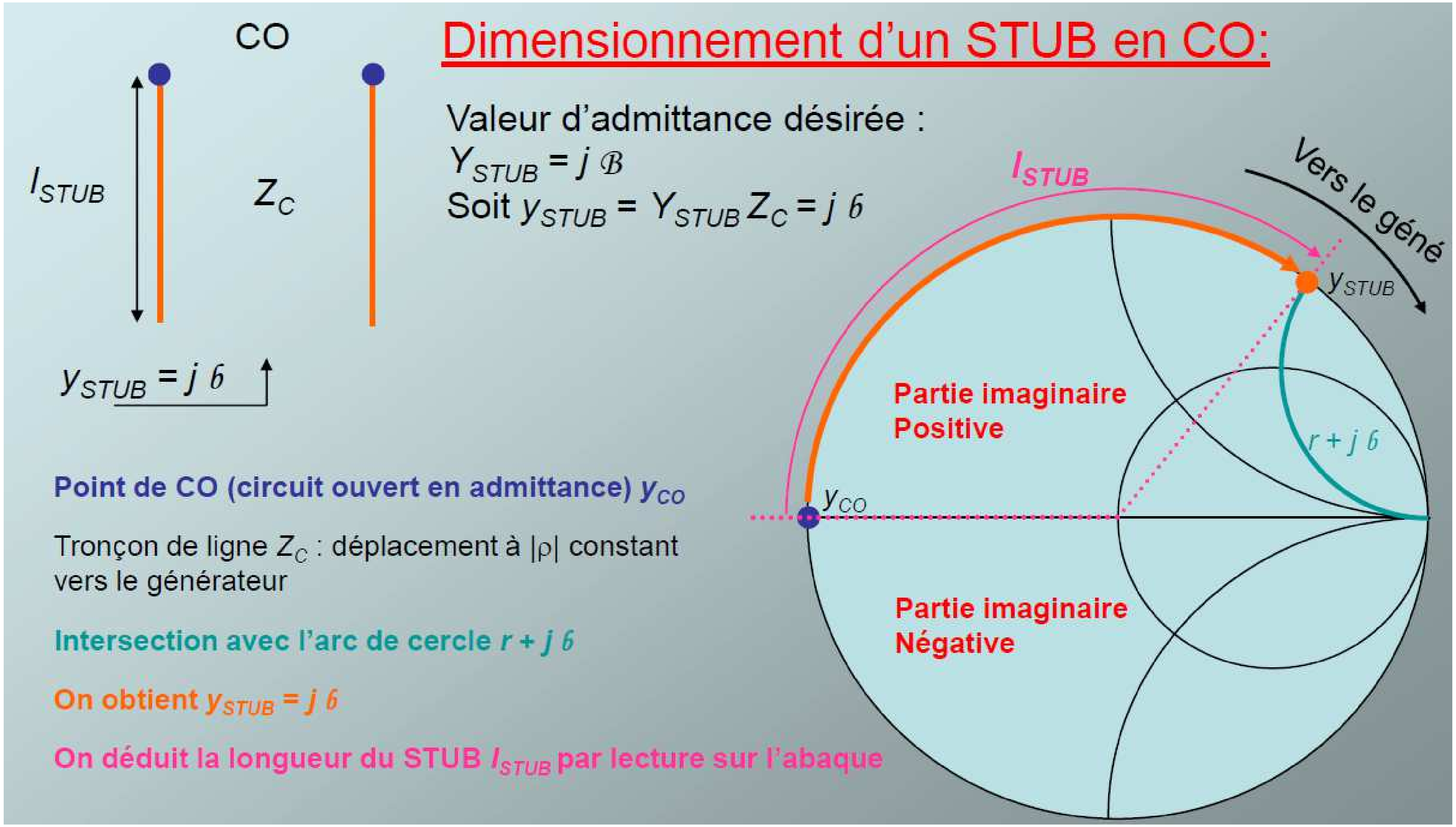
Intersection avec le cercle 1 + *j x* :
Admittance *y'* = 1 + *j b'*

On en déduit *l'* (en fraction de longueur d'onde)

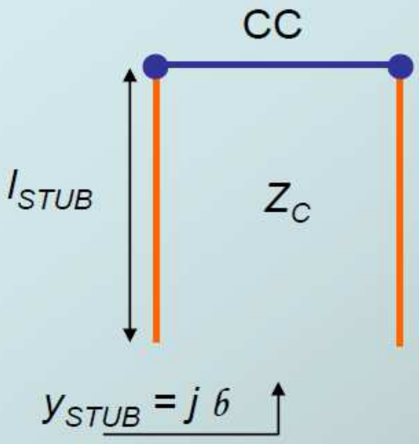
Le STUB en parallèle ajoute une admittance réduite –*j b'*

On obtient $y_E = 1$ soit $Y_E = Y_C$ et $Z_E = Z_C$

Simple STUB

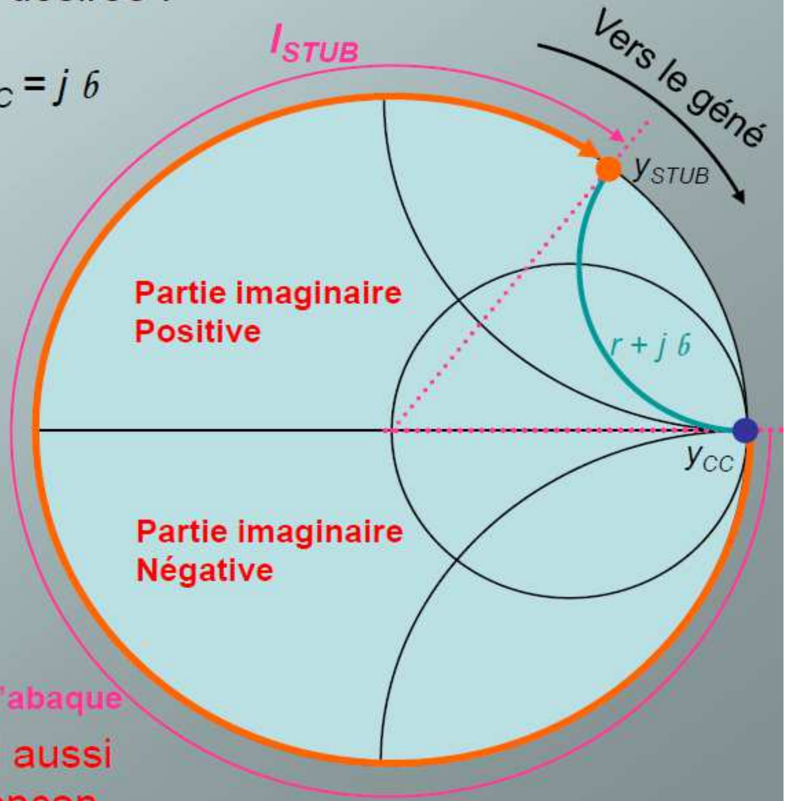

CO
l_{STUB}
Z_C
$y_{STUB} = j\,b$
Dimensionnement d'un STUB en CO:
Valeur d'admittance désirée :
$Y_{STUB} = j\,\mathcal{B}$
Soit $y_{STUB} = Y_{STUB}\,Z_C = j\,b$
l_{STUB}
Vers le géné
y_{STUB}
Partie imaginaire Positive
$r + j\,b$
y_{CO}
Partie imaginaire Négative
Point de CO (circuit ouvert en admittance) y_{CO}
Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur
Intersection avec l'arc de cercle $r + j\,b$
On obtient $y_{STUB} = j\,b$
On déduit la longueur du STUB l_{STUB} par lecture sur l'abaque

Simple STUB



Dimensionnement d'un STUB en CC:

Valeur d'admittance désirée :
$Y_{STUB} = j\,\mathcal{B}$
Soit $y_{STUB} = Y_{STUB}\,Z_C = j\,b$



Point de CC (court-circuit en admittance) y_{CC}

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

Intersection avec l'arc de cercle $r + j\,b$

On obtient $y_{STUB} = j\,b$

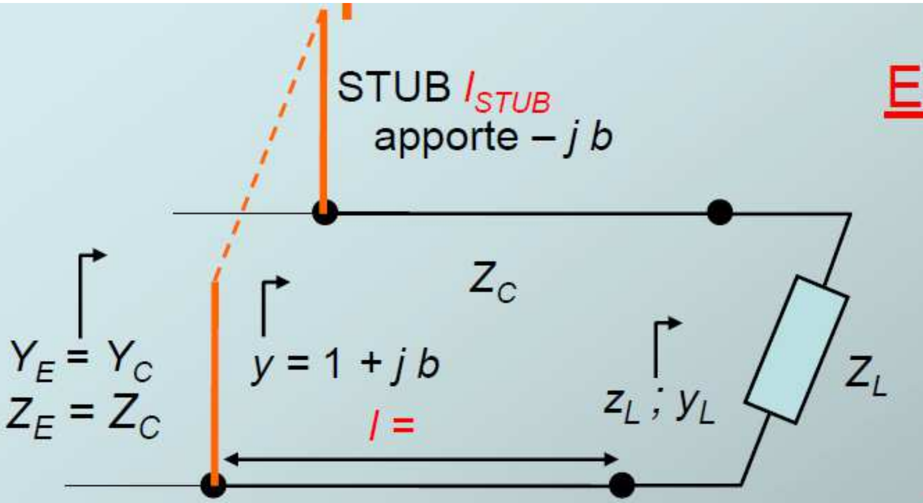
On déduit la longueur du STUB l_{STUB} par lecture sur l'abaque

Note : l'admittance du STUB dépend aussi de l'impédance caractéristique du tronçon de ligne !!!

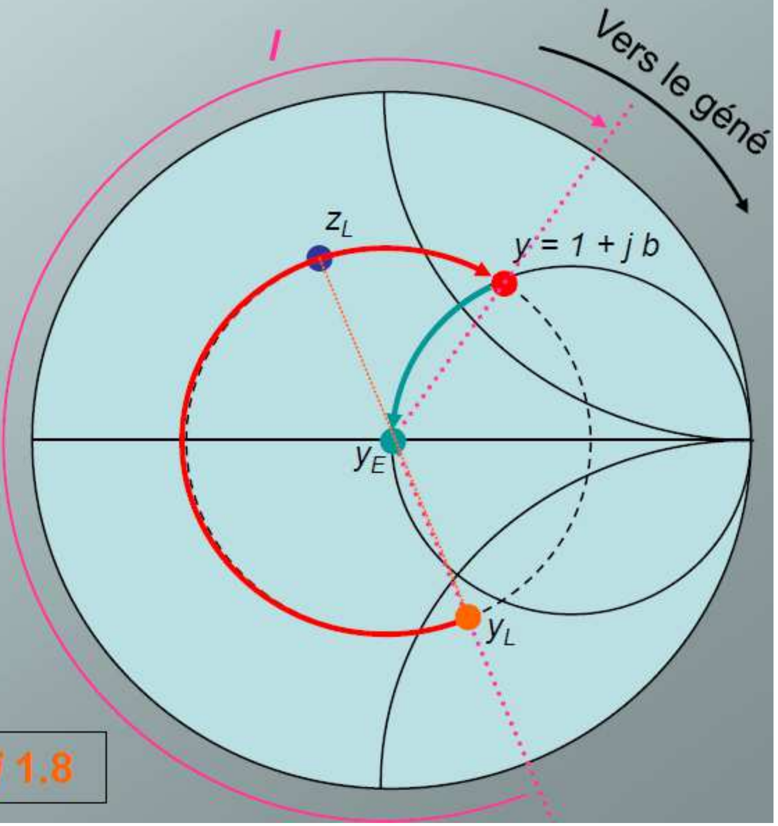
38

ISEN | école d'ingénieurs
LILLE

Simple STUB



<u>Exemple :</u> $Z_L = 15 + j\,35\ \Omega$
$Z_C = 50\ \Omega$



$Z_L \Rightarrow$ **$z_L = Z_L / Z_C = 0.3 + j\,0.7$: impédance réduite !**

Passage en admittance : $z_L \Rightarrow y_L = 0.57 - j\,1.21$

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

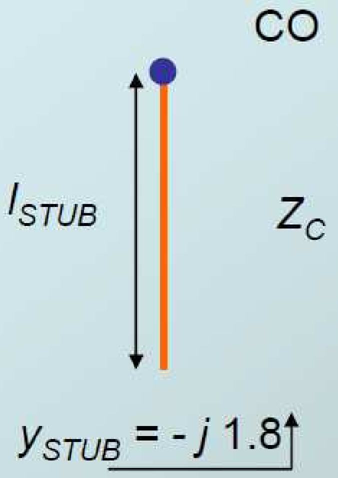
Intersection avec le cercle $1 + j\,x$:
Admittance $y = 1 + j\,1.8$

On en déduit $l = 0.334\ \lambda_G$

Le STUB en parallèle ajoute une admittance $-j\,1.8$

Il faut donc avoir $l = 0.334\ \lambda_G$ et $y_{STUB} = -j\,1.8$

Simple STUB

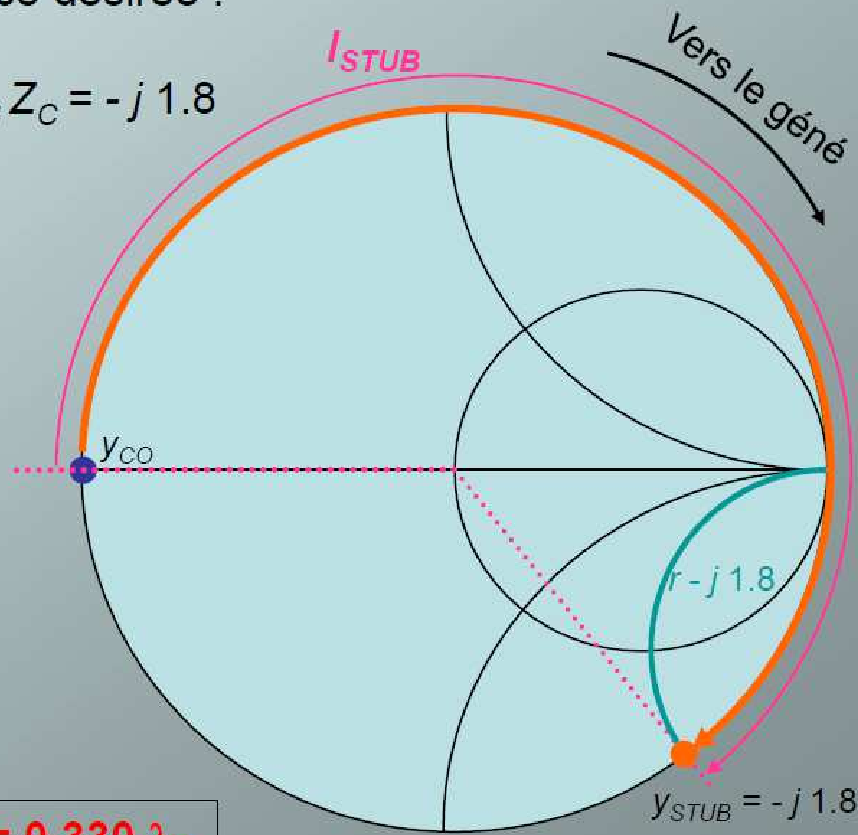


Dimensionnement du STUB en CO:

Valeur d'admittance désirée :

$Y_{STUB} = -j\ 36$ mS

Soit $y_{STUB} = Y_{STUB} Z_C = -j\ 1.8$



Point de CO (circuit ouvert en admittance) y_{CO}

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

Intersection avec l'arc de cercle $r - j\ 1.8$

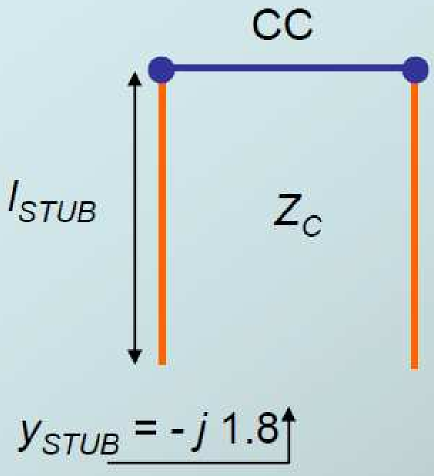
On obtient $y_{STUB} = -j\ 1.8$

On lit sur l'abaque $l_{STUB} = 0.330\ \lambda_G$

$$\boxed{l_{STUB\ CO} = 0.330\ \lambda_G}$$

ISEN école d'ingénieurs LILLE

Simple STUB

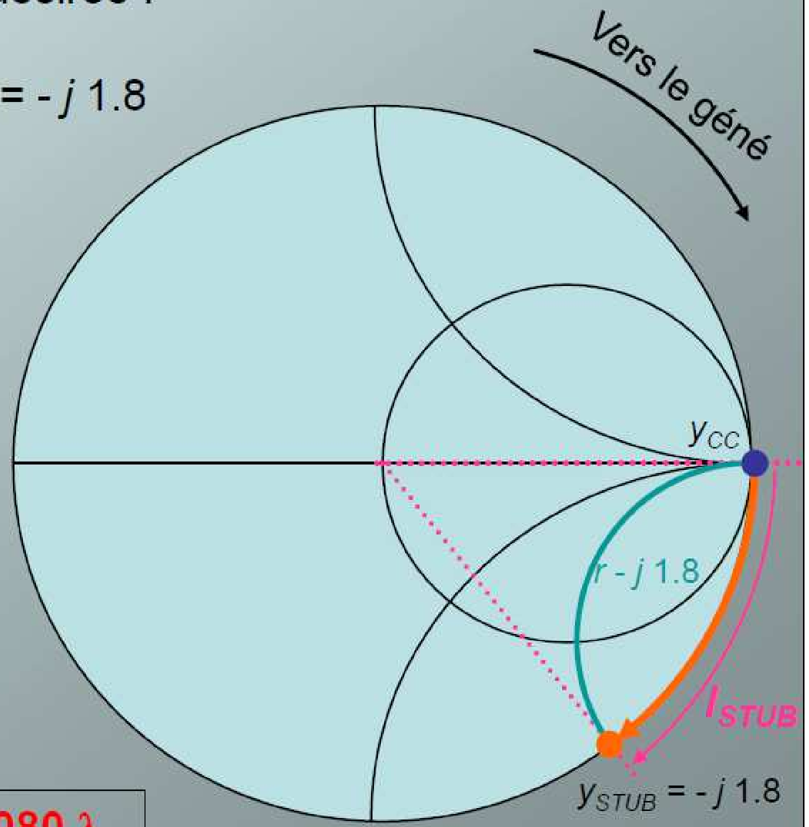


Dimensionnement du STUB en CC:

Valeur d'admittance désirée :

$Y_{STUB} = -j\ 36$ mS

Soit $y_{STUB} = Y_{STUB}\, Z_C = -j\ 1.8$



Point de CC (circuit ouvert en admittance) y_{CC}

Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers le générateur

Intersection avec l'arc de cercle $r - j$ 1.8

On obtient $y_{STUB} = -j$ 1.8

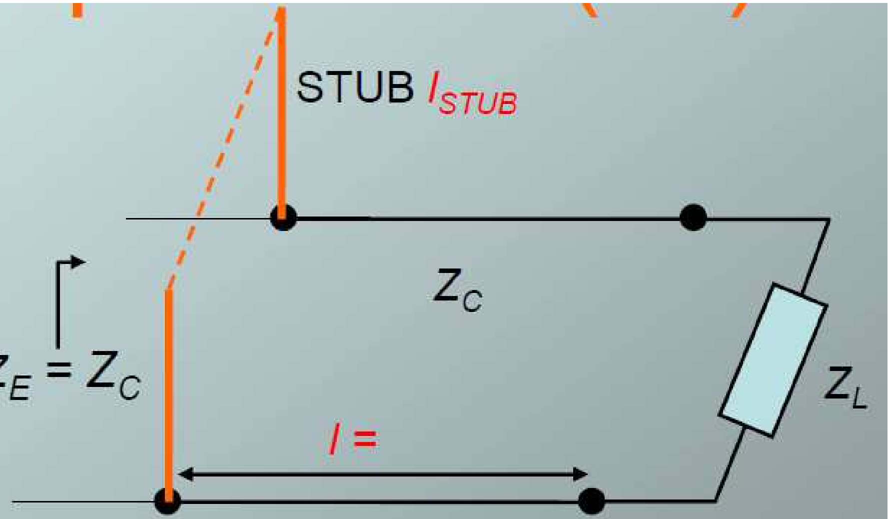
On lit sur l'abaque $l_{STUB} = 0.080\ \lambda_G$

$\boxed{l_{STUB\ CC} = 0.080\ \lambda_G}$

Simple STUB

Synthèse de l'adaptation :

La charge $Z_L = 15 + j\,35\ \Omega$ est adaptée à $Z_C = 50\ \Omega$ grâce à un tronçon de ligne d'impédance caractéristique Z_C et de longueur l avec en parallèle un STUB (Z_C) de longueur l_{STUB} tels que :

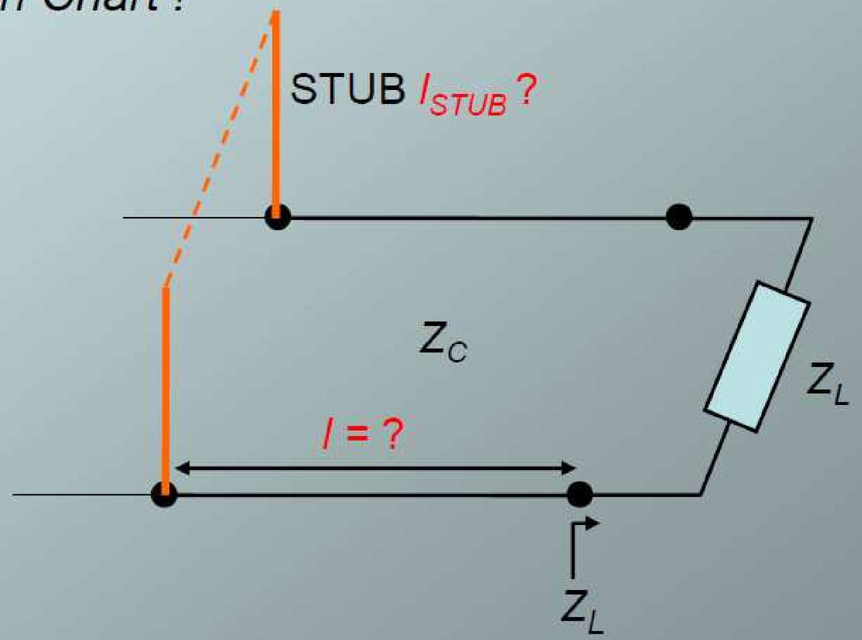


Solution 1	Solution 2
$l = 0.334\ \lambda_G$ et	$l' = 0.465\ \lambda_G$ et
$l_{STUB\ CO} = 0.330\ \lambda_G$ (STUB en CO)	$l'_{STUB\ CO} = 0.170\ \lambda_G$ (STUB en CO)
ou $l_{STUB\ CC} = 0.080\ \lambda_G$ (STUB en CC)	ou $l'_{STUB\ CC} = 0.420\ \lambda_G$ (STUB en CC)

Simple STUB example

Realize the impedance matching of the load impedance Z_L = 125 – j 42.5 Ω at the frequency of 1 GHz (Z_C = 50 Ω) using a STUB structure. Study all solutions.

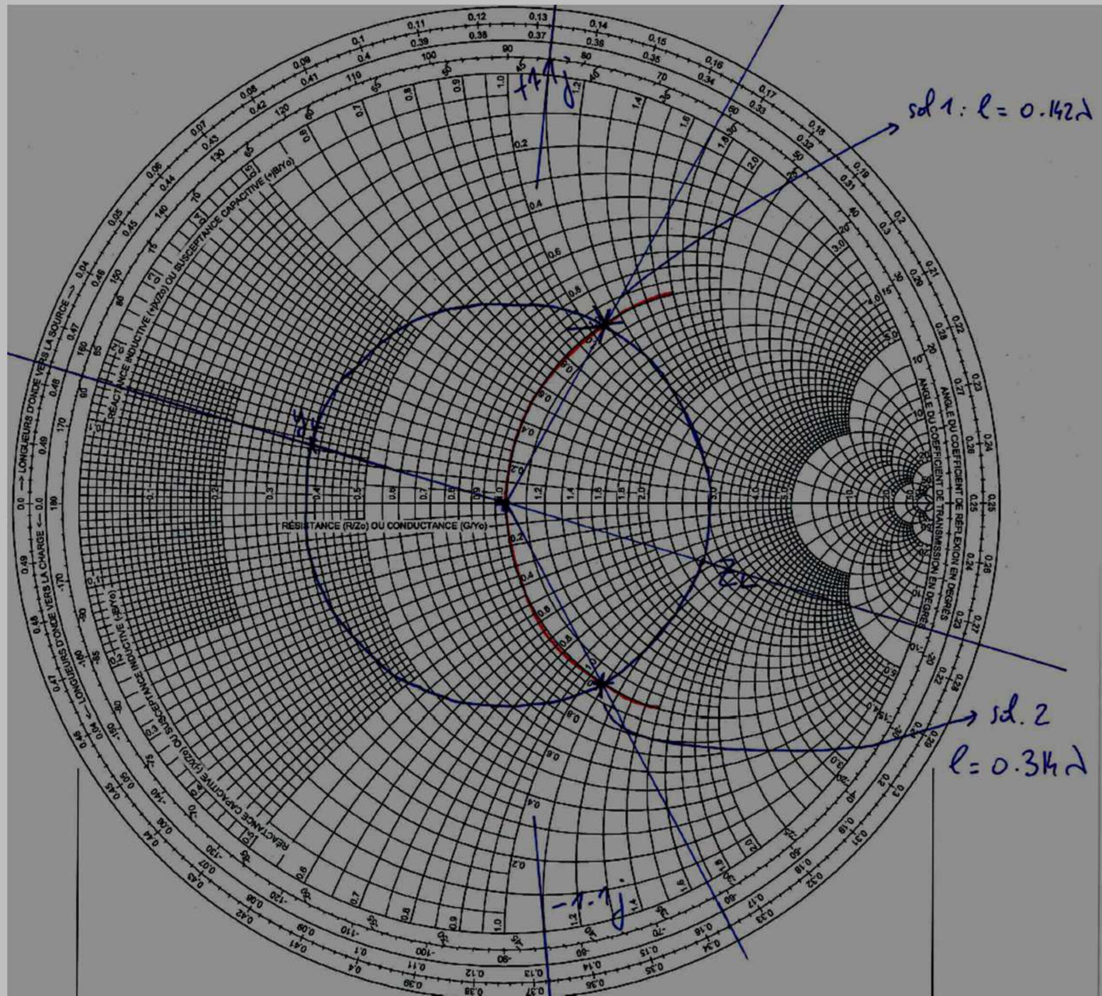
Use the Smith Chart !



Solution

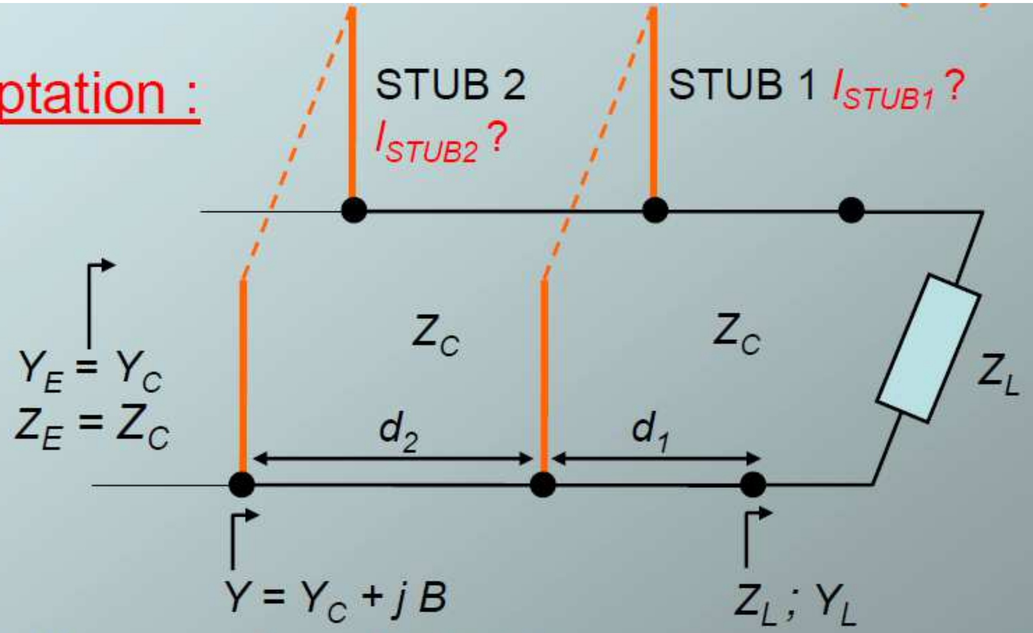
- Solution 1 : l=0.142 λ,
  - must add -1.1j
  - l_{CO} = 0.367λ
  - l_{CC} = 0.117λ

- Solution 2 : l = 0.314 λ,
  - must add +1.1j
  - l_{CO} = 0.132 λ
  - l_{CC} = 0.382 λ



Double stub

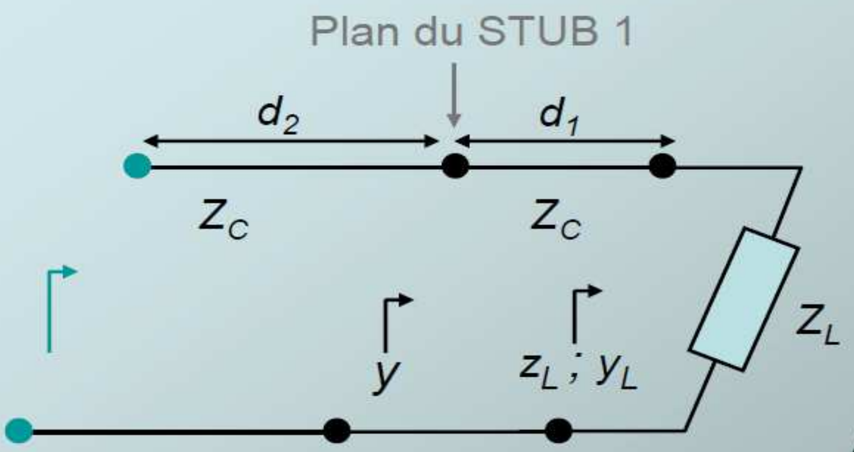
Schéma de l'adaptation :



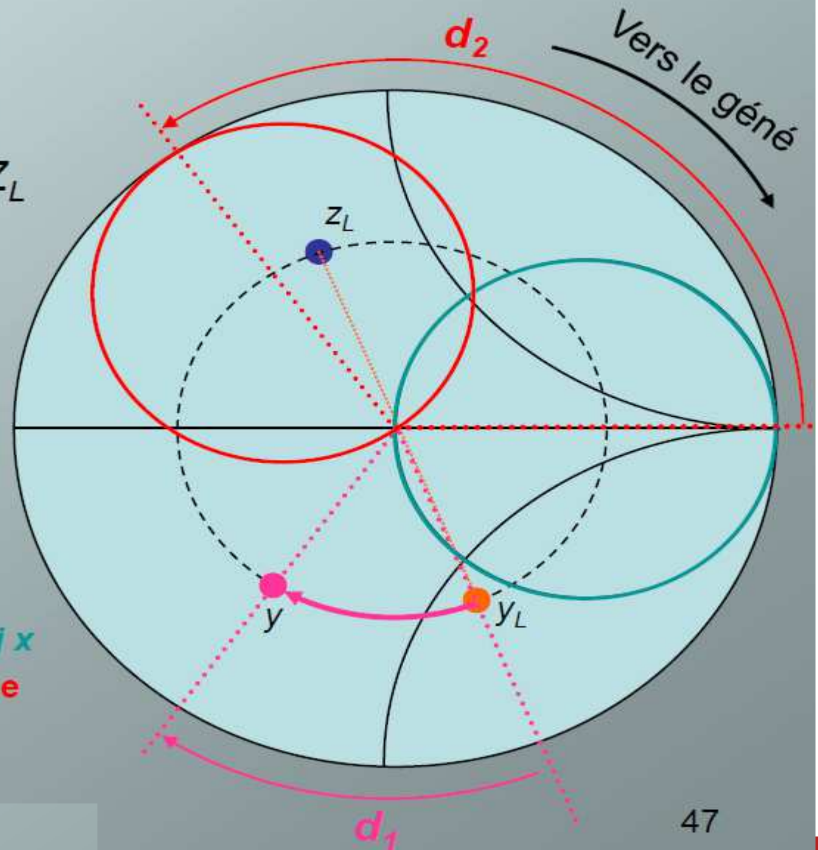
L'adaptation à double STUB est constituée de 2 STUB placés à des endroits fixes (d_1, d_2) de la ligne par rapport à la charge Z_L . Le STUB2 joue le même rôle que dans l'adaptation à simple STUB : il compense la partie imaginaire $j\,B$ de l'admittance pour réaliser l'adaptation à Y_C (Z_C). Le rôle du STUB1 consiste par conséquent à créer une admittance qui, vue dans le plan du STUB2, sera de la forme $Y = Y_C + j\,B$.

A partir de $Y_{STUB1,2}$ (et de la terminaison CO ou CC), on détermine $l_{STUB1,2}$.

Double stub



Eléments en parallèle : on travaille en admittance



$Z_L \Rightarrow$ **z_L sur l'abaque : impédance réduite !**
Passage en admittance : $z_L \Rightarrow y_L$

On se place dans le plan du STUB 1 :

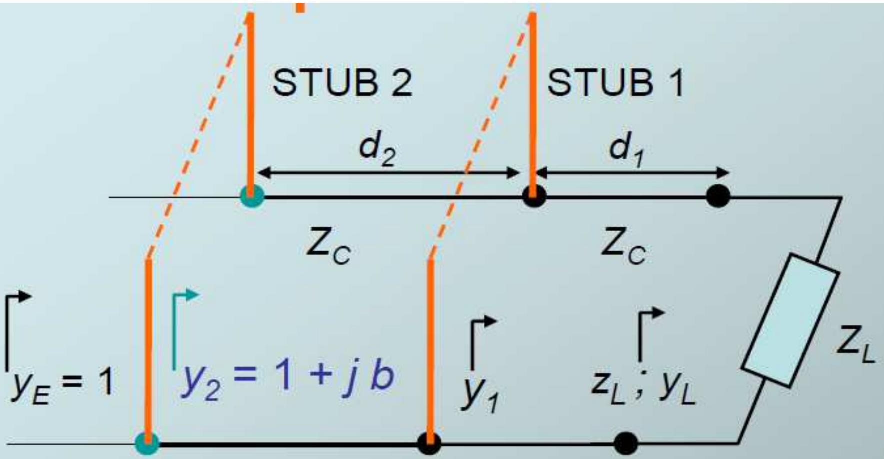
Tronçon de ligne d_1 (Z_C) : déplacement de y_L à $|\rho|$ constant vers le générateur de d_1. **On obtient y.**

Dans le plan du STUB2, il faudra être sur le cercle $1 + jx$

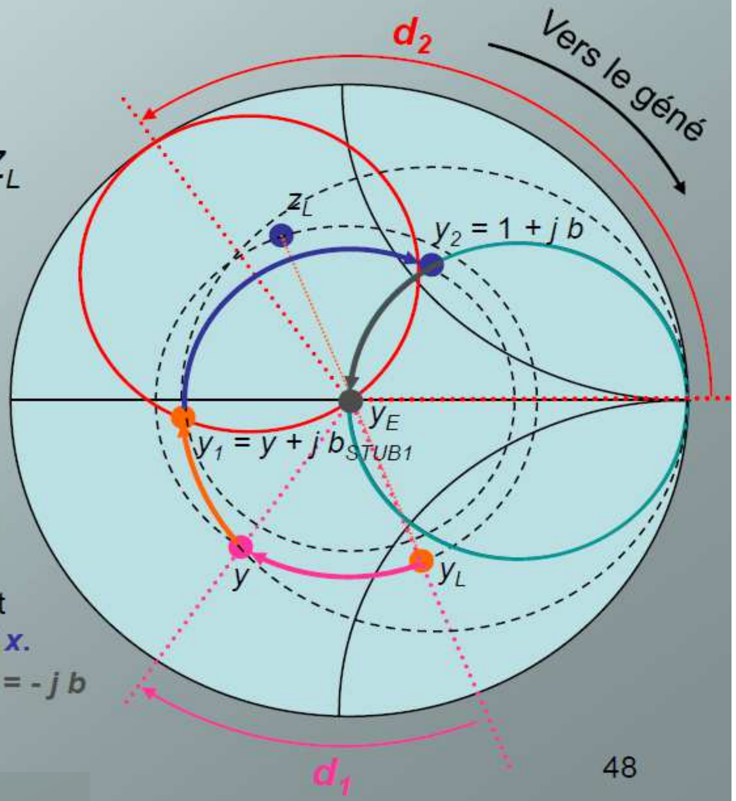
On déplace le cercle $1 + jx$ de d_2 vers la charge pour se placer dans le plan du STUB 1. Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers la charge de d_2.

47

Double stub



Eléments en parallèle : on travaille en admittance



Le STUB1 modifie la partie imaginaire de y pour obtenir y_1 sur le cercle déplacé de d_2.

⇒ Déplacement sur un cercle à partie réelle constante.

Intersection avec le cercle déplacé de d_2 :

⇒ $y_1 = y + j\,b_{STUB1}$ 2 solutions !!!

Le STUB1 apporte $y_{STUB1} = j\,b_{STUB1}$: dimensionnement du STUB1 (l_{STUB1} en CO ou CC)

Tronçon de ligne d_2 (Z_C) : déplacement de y_1 à $|\rho|$ constant vers le générateur de d_2. **On obtient y_2 sur le cercle $1 + j\,x$.**

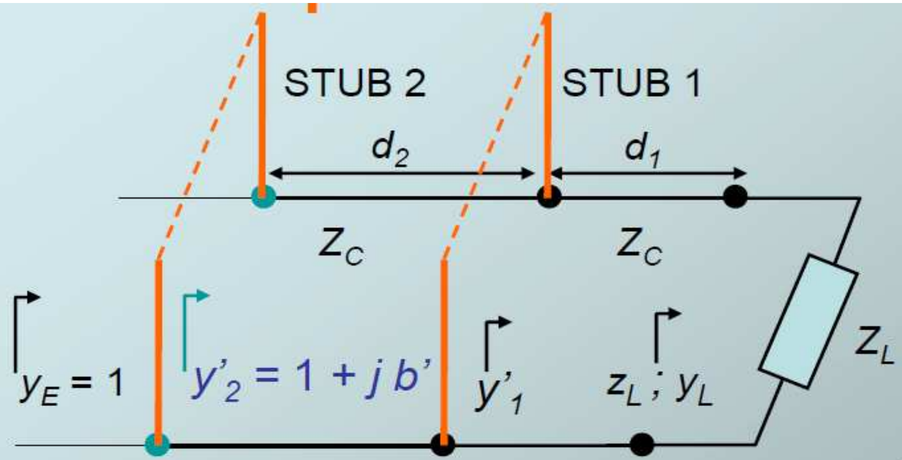
Le STUB2 compense la partie imaginaire de y_2 : $y_{STUB2} = -j\,b$

⇒ Dimensionnement du STUB2 (l_{STUB2} en CO ou CC)

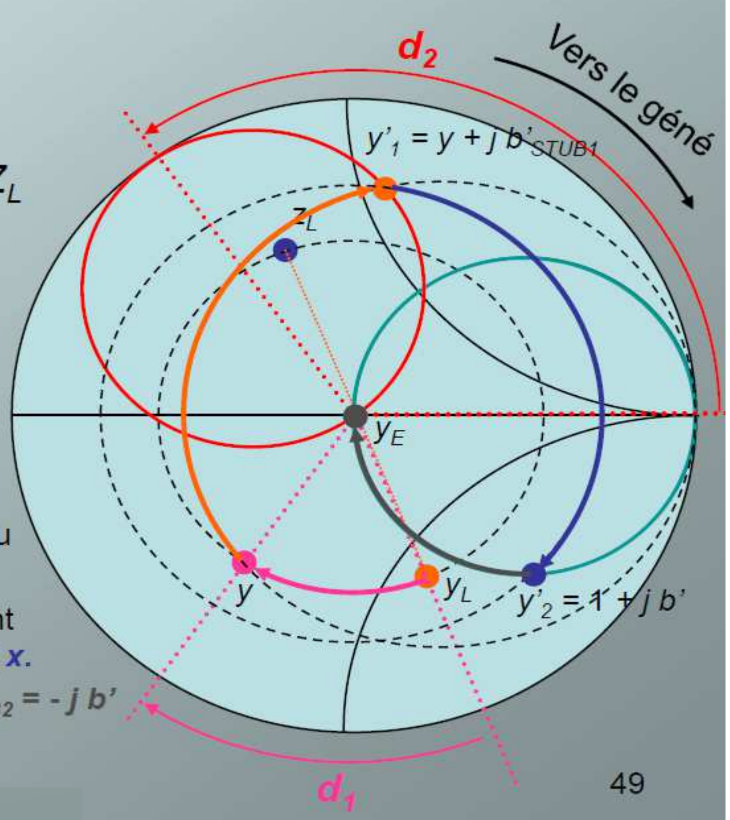
On obtient $y_E = 1$ soit $Z_E = Z_C$

48

Double stub



Deuxième solution



Le STUB1 modifie la partie imaginaire de y pour obtenir y'_1 sur le cercle déplacé de d_2.

⇒ Déplacement sur un cercle à partie réelle constante.

Intersection avec le cercle déplacé de d_2 :

⇒ $y'_1 = y + j\,b'_{STUB1}$

Le STUB1 apporte $y'_{STUB1} = j\,b'_{STUB1}$: dimensionnement du STUB1 (l'_{STUB1} en CO ou CC)

Tronçon de ligne d_2 (Z_C) : déplacement de y'_1 à $|\rho|$ constant vers le générateur de d_2. **On obtient y_2 sur le cercle $1 + j\,x$.**

Le STUB2 compense la partie imaginaire de y'_2 : $y'_{STUB2} = -j\,b'$

⇒ Dimensionnement du STUB2 (l'_{STUB2} en CO ou CC)

On obtient $y_E = 1$ soit $Z_E = Z_C$

49

Double stub

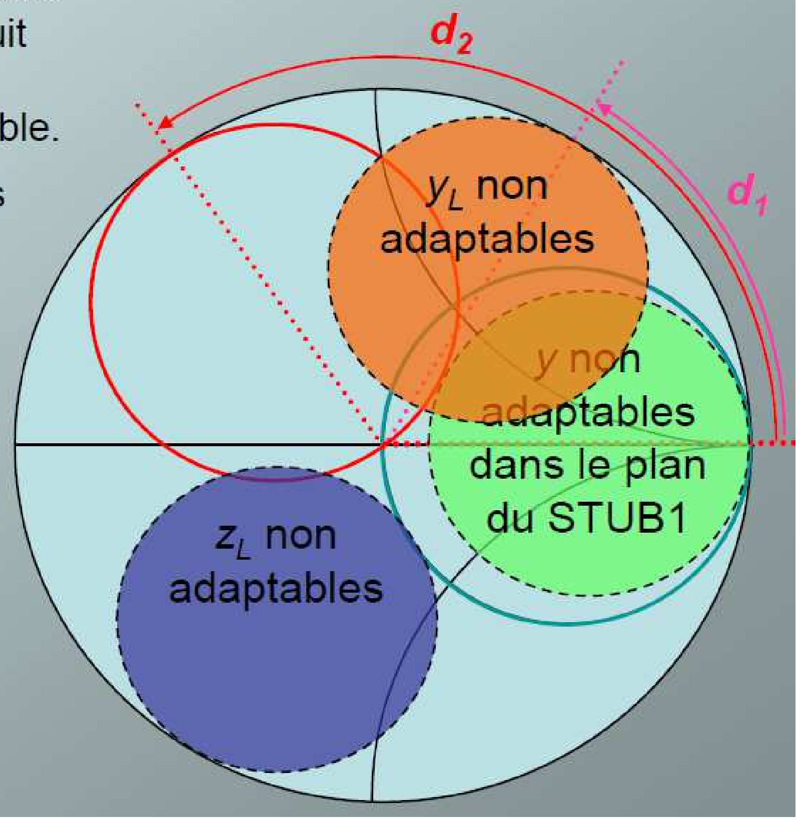
Impédances non adaptables :

Toutes les impédances Z_L ne sont pas adaptables ! Si le STUB1 qui modifie l'admittance y ne conduit pas à une intersection y_1 avec le cercle $1 + j\,x$ deplacé de d_2, alors l'adaptation n'est pas possible.

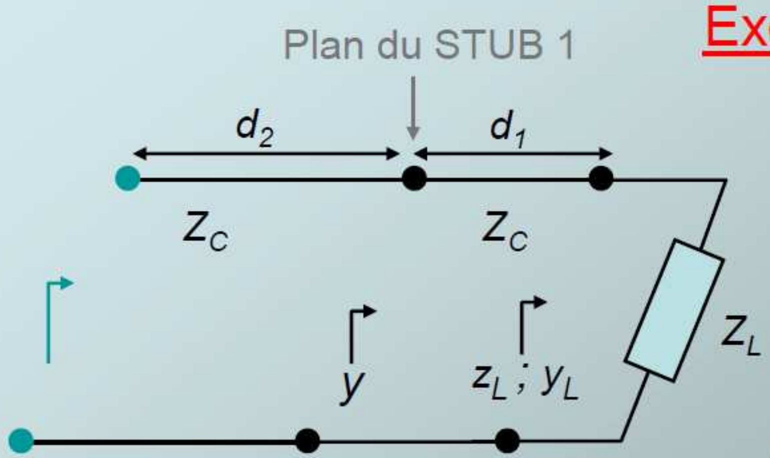
Si l'admittance y appartient au disque vert, alors l'action du STUB1 (déplacement à partie réelle constante) ne permettra pas d'obtenir une intersection y_1 avec le cercle déplacé de d_2.

Les admittances y_L non adaptables correspondent aux admittances y non adaptables (disque vert) déplacées de d_1 vers la charge : disque orange.

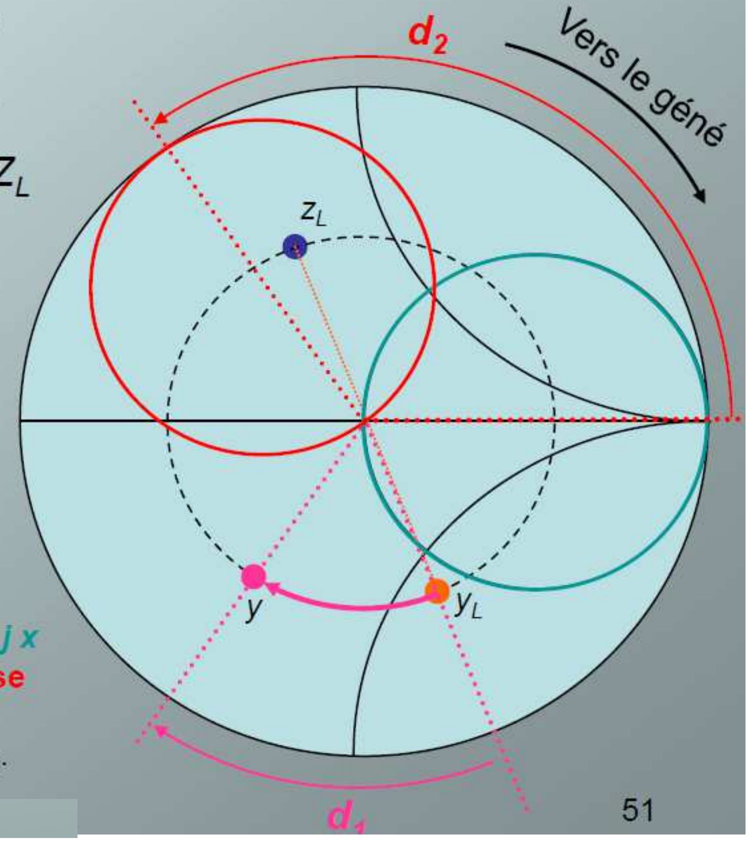
Le lieu des impédances z_L non adaptables correspond au symétrique par rapport au centre de l'abaque des admittances y_L non adaptables (disque orange) : disque bleu.



Double stub



Exemple : $Z_L = 15 + j\,35\ \Omega$
$Z_C = 50\ \Omega$
$d_1 = 0.08\ \lambda_G$ $d_2 = 0.18\ \lambda_G$



$Z_L \Rightarrow$ $z_L = Z_L / Z_C = 0.3 + j\,0.7$: impédance réduite !

Passage en admittance : $z_L \Rightarrow y_L = 0.57 - j\,1.21$

On se place dans le plan du STUB 1 :

Tronçon de ligne d_1 (Z_C) : déplacement de y_L à $|\rho|$ constant vers le générateur de $d_1 = 0.08\ \lambda_G$.

On obtient $y = 0.24 - j\,0.44$

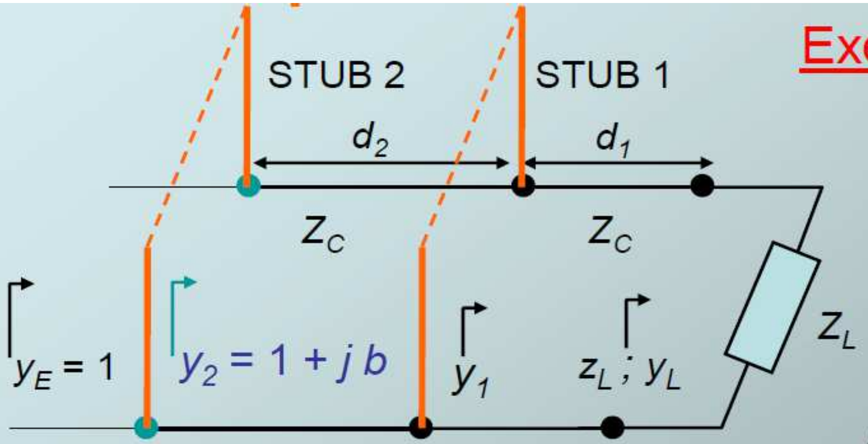
Dans le plan du STUB2, il faudra être sur le cercle $1 + j\,x$

On déplace le cercle $1 + j\,x$ de d_2 vers la charge pour se placer dans le plan du STUB 1. Tronçon de ligne Z_C : déplacement à $|\rho|$ constant vers la charge de $d_2 = 0.18\ \lambda_G$.

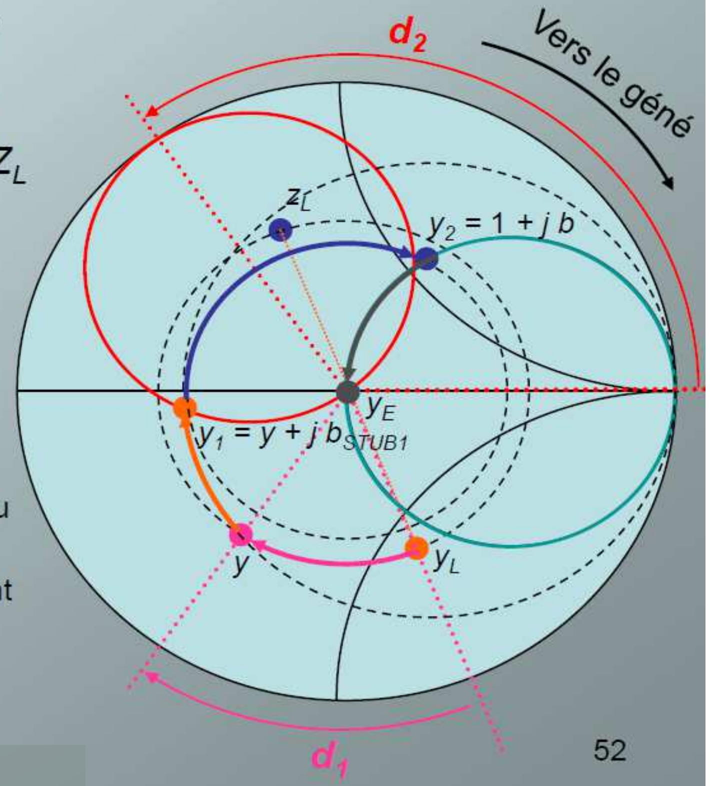
51

ISEN | école d'ingénieurs
LILLE

Double stub



Exemple : $Z_L = 15 + j\,35\ \Omega$
$Z_C = 50\ \Omega$
$d_1 = 0.08\ \lambda_G$ $d_2 = 0.18\ \lambda_G$



Le STUB1 modifie la partie imaginaire de y pour obtenir y_1 sur le cercle déplacé de d_2.
⇒ Déplacement sur un cercle à partie réelle constante.

Intersection avec le cercle déplacé de d_2 :
⇒ $y_1 = 0.24 - j\,0.01 = y + j\,0.43$ solution 1 !!!

Le STUB1 apporte $y_{STUB1} = + j\,0.43$: dimensionnement du STUB1 (l_{STUB1} en CO ou CC)

Tronçon de ligne d_2 (Z_C) : déplacement de y_1 à $|\rho|$ constant vers le générateur de d_2. **On obtient $y_2 = 1 + j\,1.57$**

Le STUB2 compense la partie imaginaire de y_2 :
$y_{STUB2} = - j\,1.57$ ⇒ Dimensionnement du STUB2

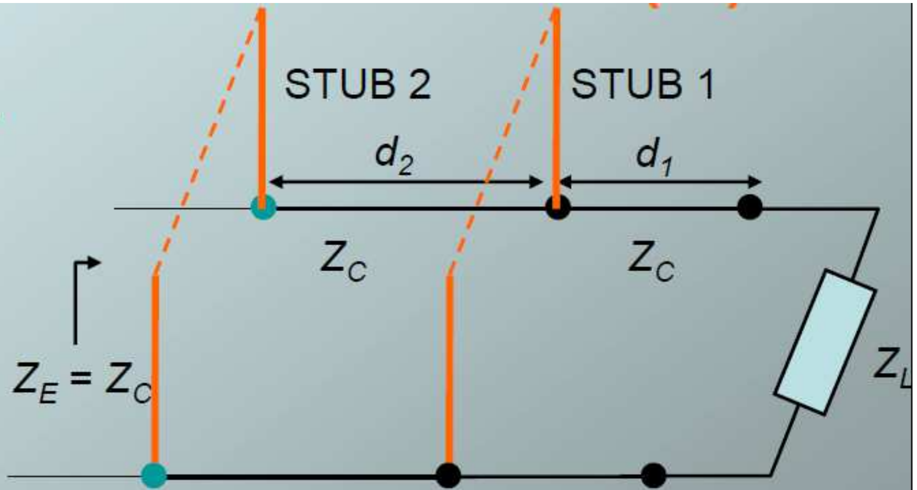
On obtient $y_E = 1$
soit $Z_E = Z_C$

52

Double stub

Synthèse de l'adaptation :

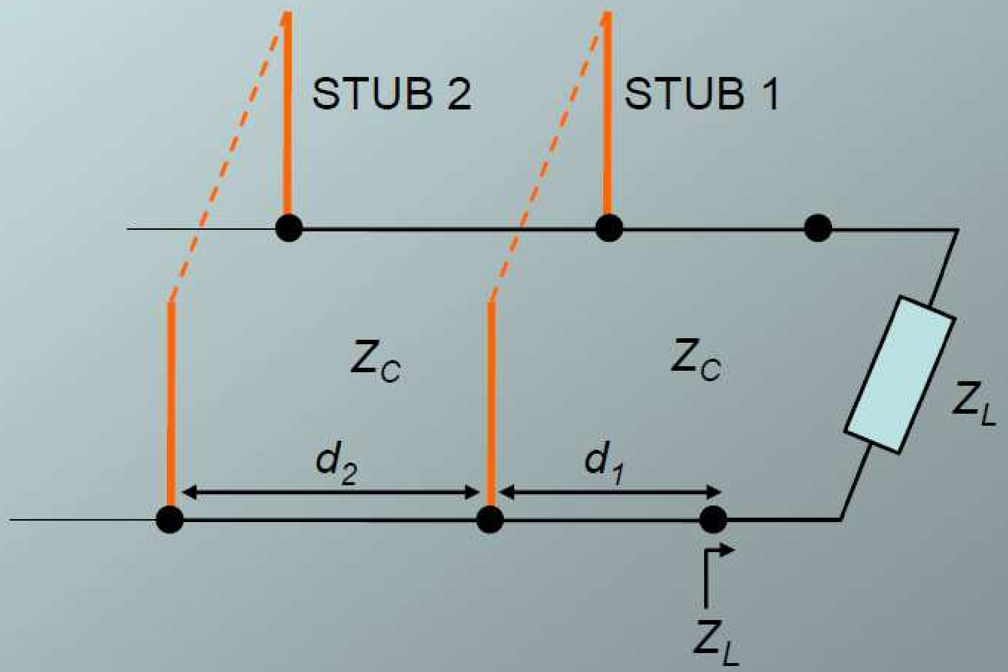
La charge Z_L = 15 + j 35 Ω est adaptée à Z_C = 50 Ω grâce à un schéma d'adaptation double STUB avec d_1 = 0.08 λ_G , d_2 = 0.18 λ_G et des STUB de longueurs l_{STUB1} et l_{STUB2} tels que :



Solution 1	Solution 2
y_{STUB1} = + j 0.43 soit	y'_{STUB1} = + j 1.39 soit
$l_{STUB1\ CO}$ = 0.065 λ_G (STUB en CO)	$l'_{STUB1\ CO}$ = 0.150 λ_G (STUB en CO)
ou $l_{STUB1\ CC}$ = 0.315 λ_G (STUB en CC)	ou $l'_{STUB1\ CC}$ = 0.40 λ_G (STUB en CC)
et y_{STUB2} = - j 1.57 soit	et y'_{STUB2} = + j 2.5 soit
$l_{STUB2\ CO}$ = 0.341 λ_G (STUB en CO)	$l'_{STUB2\ CO}$ = 0.189 λ_G (STUB en CO)
ou $l_{STUB2\ CC}$ = 0.091 λ_G (STUB en CC)	ou $l'_{STUB2\ CC}$ = 0.439 λ_G (STUB en CC)

Double stub

Realize the impedance matching of the load impedance $Z_L = 125 - j\,42.5\ \Omega$ at the frequency of 1 GHz ($Z_C = 50\ \Omega$) using a double STUB structure. $d_1 = \lambda_g/8$, $d_2 = \lambda_g/4$. Study all solutions. *Use the Smith Chart !*



Double stub

Z=125-j42,5Ω so z = 2,5-j0,85, y=0,358+j0,122

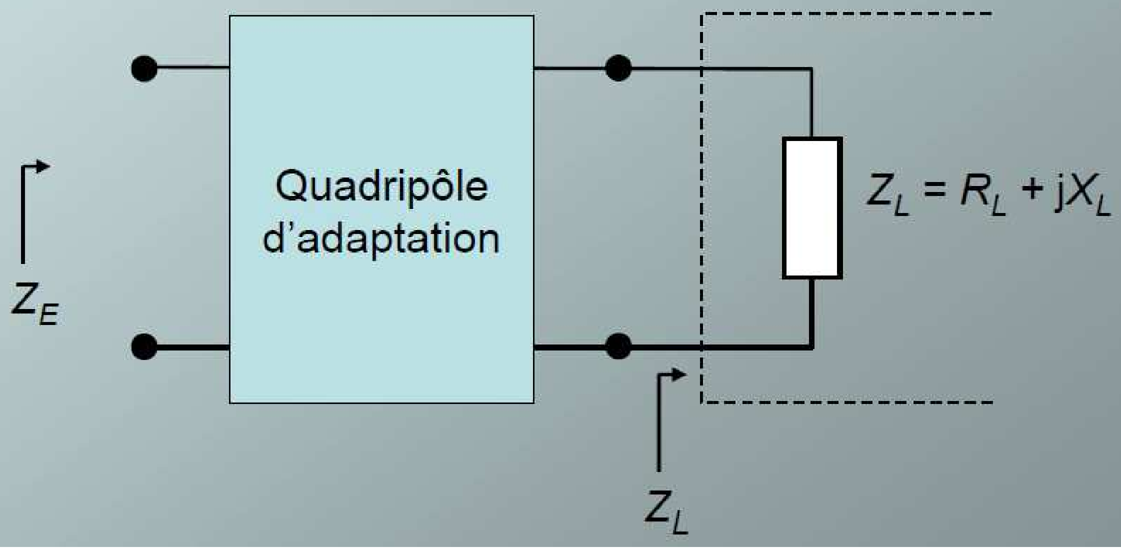
The 1st TLINE rotates towards generator (λ/8 = 90°) so y = 0,798+j0,954

To cross the 1+jX circle rotated toward load from λ/4 = 180°, STUB 1 should add -0,56j (case 1, L_{stubCO} = 0,418 λ, L_{stubCC}=0,168 λ) or -1,35j (case 2, L_{stubCO} = 0,352 λ, L_{stubCC}=0,102 λ)
Case 1 : y=0,798+0,394j
Case 2 : y=0,798-0,396j

Then y is rotated toward generator from λ/4 = 180°,
Case 1 : y= 1 –0,5j
Case 2 : y= 1+0,5j
STUB 2 must add +0,5j (case 1, L_{stubCO} = 0,074 λ, L_{stubCC}=0,324 λ) or -0,5j (case 2, L_{stubCO} = 0,426 λ, L_{stubCC}=0,176 λ)

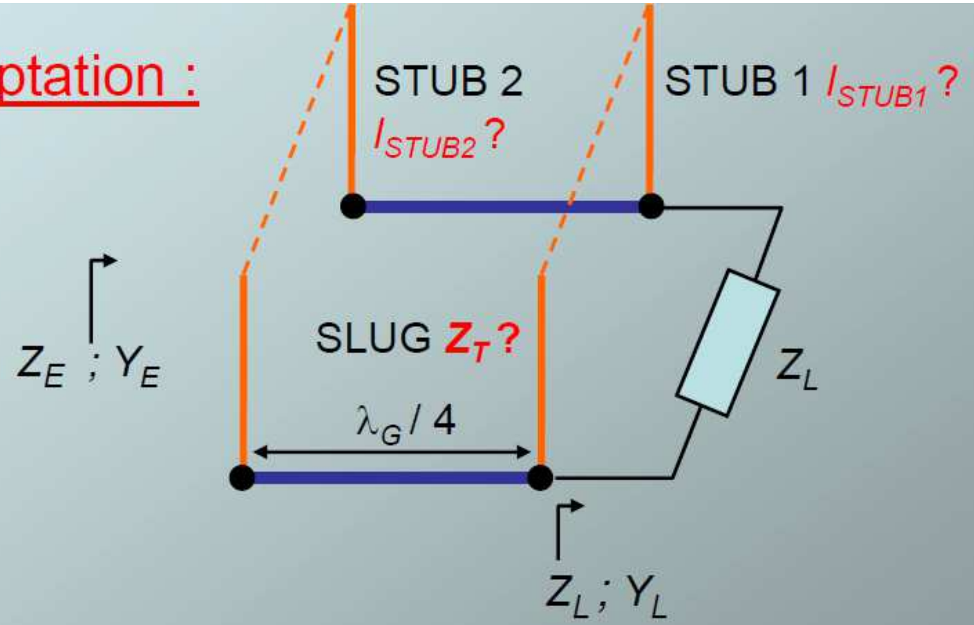
Generalized adaptation

L'adaptation généralisée consiste à transformer une impédance « de charge » Z_L quelconque en une impédance d'entrée Z_E quelconque. Ce type d'adaptation est utilisée par exemple pour l'adaptation en puissance inter-étages lors de la réalisation de circuits microrubans où les étages successifs ne sont pas séparés par des tronçons de ligne Z_C. Elle est également utilisée pour la conception des circuits actifs pour optimiser les performances gain-bruit-stabilité (cf. cours paramètres S).



Generalized adaptation

Schéma de l'adaptation :



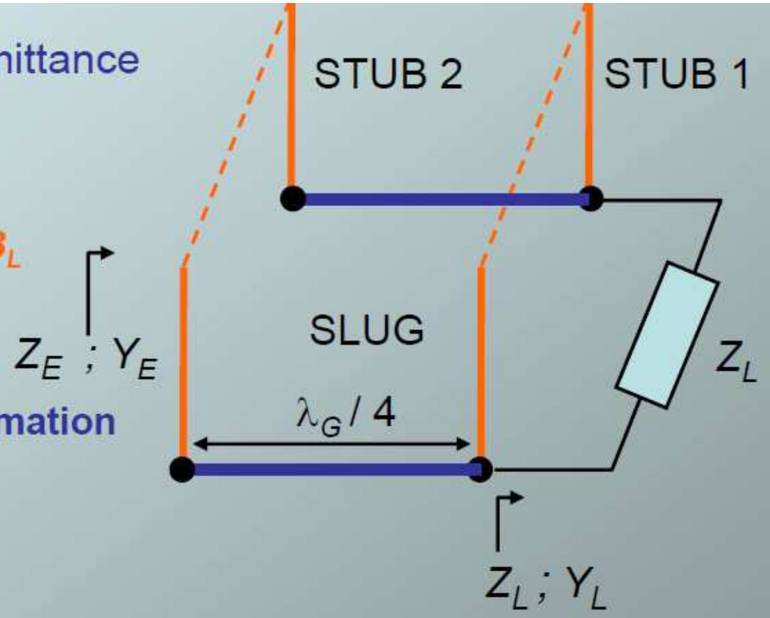
Le montage le plus pratique est l'association d'un SLUG et de un ou plusieurs STUB. En travaillant en admittance, le STUB1 compense la partie imaginaire de Y_L pour donner une admittance purement réelle qui sera transformée par le SLUG en une admittance réelle correspondant à la partie réelle de l'admittance Y_E recherchée. Le STUB2 apporte alors la partie imaginaire manquante pour former l'admittance Y_E désirée.

Generalized adaptation

Eléments en parallèle : travail en admittance

On a $Y_L = G_L + j\,B_L$
et on veut $Y_E = G_E + j\,B_E$

Le STUB1 compense $j\,B_L$: $Y_{STUB1} = -\,j\,B_L$
On obtient $Y = G_L$ au niveau du SLUG



Le SLUG transforme $Y = G_L$
en $Y' = G_E$ selon la formule de transformation du SLUG : $G_L\,G_E = Y_T{}^2$ soit

$$Z_T = \sqrt{\frac{1}{G_E G_L}}$$

Le STUB2 apporte $j\,B_E$: $Y_{STUB2} = \; j\,B_E$

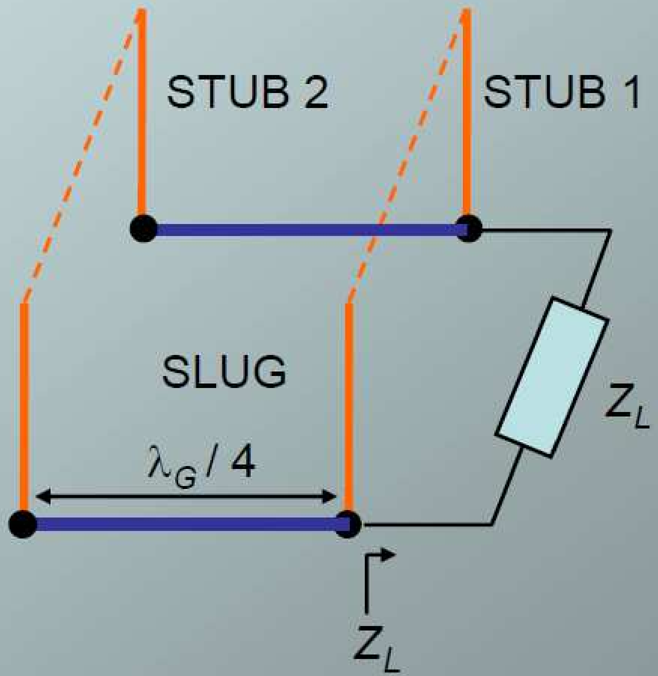
On obtient alors à l 'entrée du montage :
$Y_E = G_E + j\,B_E$

Dimensionnement des STUB à partir de YSTUB et de la terminaison CO ou CC (et Z_C).

Exemple en TD.

Generalized adaptation

Make the impedance matching between the load impedance Z_L = 125 – j 42.5 Ω and a source of impedance Z_G = 12 + j 45 Ω (Z_C = 50 Ω) using the matching network shown below. *Use the Smith Chart !*



End

- $z_L = 2.5 – j0.85 \rightarrow z_G = 0.24 + j0.9$
- $y_L = 0.36+j0.12 \rightarrow y_G = 0.28-j1.04$
- STUB 1 adds -j0.12
  - $l_{CO} = 0.481\lambda$
  - $l_{CC} = 0.231\lambda$
- SLUG modifies 0.36 to 0.28
  - $Z_C = Z_0/(\sqrt{(0.36 \times 0.28)}) = 157\Omega$
- STUB 2 adds –j1.04
  - $l_{CO} = 0.368\lambda$
  - $l_{CC} = 0.118\lambda$