

GELE5223 Chapitre 4 : Adaptation d'impédances

Gabriel Cormier, Ph.D., ing.

Université de Moncton

Automne 2010

Contenu

Contenu

- Adaptation d'impédances
- Éléments localisés
- Adaptation à 1 stub
- Adaptation à 2 stub
- Amélioration de la largeur de bande

Adaptation d'impédance

C'est quoi ?

- L'adaptation d'impédances permet de transformer une impédance d'entrée à une autre impédance.
- On utilise des éléments localisés (inductance, capacitance) ou des stubs.



Adaptation d'impédances

Pourquoi ?

- On cherche à maximiser la puissance transmise à la charge.
- Pour les composantes critiques (antenne, amplificateur faible bruit), améliore le SNR.
- Pour un réseau de distribution de puissance (ex : antennes), permet de réduire les erreurs de phase et d'amplitude.

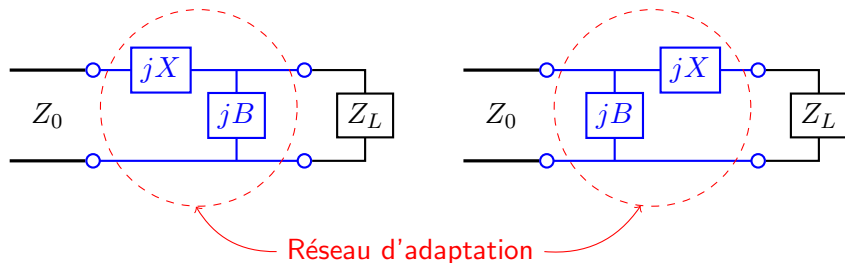
Adaptation d'impédance

Facteurs qui peuvent influencer le choix d'un réseau d'adaptation :

- **Complexité** : Typiquement, le design le plus simple est le meilleur.
Design simple : moins coûteux, plus fiable, moins de pertes.
- **Largeur de bande** : Tous les réseaux peuvent théoriquement donner une adaptation parfaite ($\Gamma = 0$) à une seule fréquence. Cependant, il faut souvent une large bande d'adaptation.
- **Implantation** : Selon le type de ligne de transmission, certains circuits sont plus faciles à implanter. Ex : des stubs s'intègrent bien dans des guides rectangulaires.

Adaptation avec éléments localisés

Le réseau le plus simple est le réseau L. Deux configurations sont possibles.



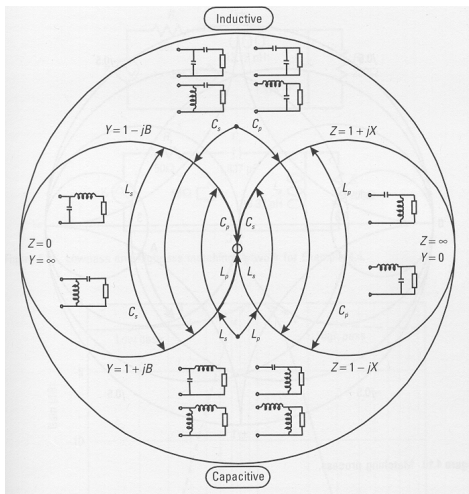
Les réactances peuvent être des condensateurs ou des inductances.
Il y a 8 configurations possibles.

Adaptation avec des éléments localisés

Comment savoir quel réseau choisir ?

- Le choix se fait en fonction du lieu de Γ sur l'abaque de Smith.
- Les éléments se déplaceront sur des cercles de résistance ou conductance constante.

Adaptation avec des éléments localisés



Source : Rogers, p.71

Réseau L

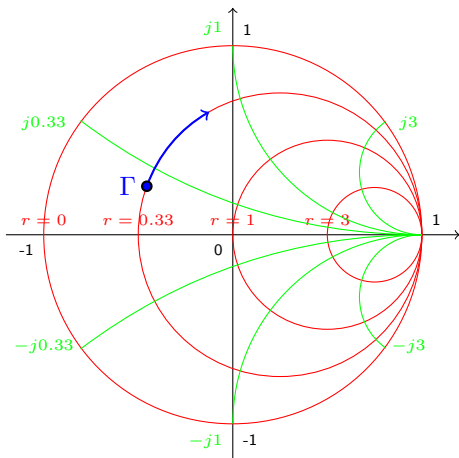
Selon le premier élément utilisé, la procédure est :

- Parallèle :
 - ① Se déplacer sur des cercles de conductance constante, jusqu'au cercle $z = 1 + jX$.
 - ② Ajouter une réactance $-jX$ en série pour atteindre le centre de l'abaque.
- Série :
 - ① Se déplacer sur des cercles de résistance constante, jusqu'au cercle $y = 1 + jB$.
 - ② Ajouter une réactance $-jB$ en parallèle pour atteindre le centre de l'abaque.

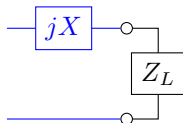
Adaptation d'impédances

- Pour bien comprendre l'adaptation d'impédances à l'aide de l'abaque de Smith, il faut bien comprendre le comportement des inductances et capacitances sur l'abaque.
- Il faut comprendre dans quelle direction se déplace le point, sur quelle ligne.

Inductance en série



Soit une charge quelconque, dont on ajoute une inductance série.

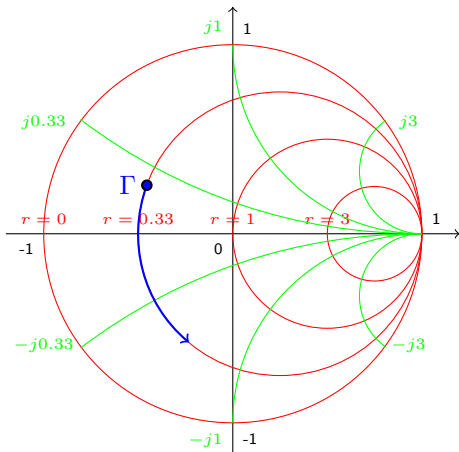


Quel est l'effet sur Γ ?

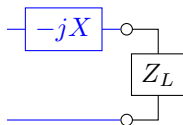
- Le point se déplace dans le sens horaire, sur un cercle de résistance constante.

Une grande inductance implique un grand déplacement, et vice-versa.

Capacitance en série



Soit une charge quelconque, dont on ajoute une capacitance série.

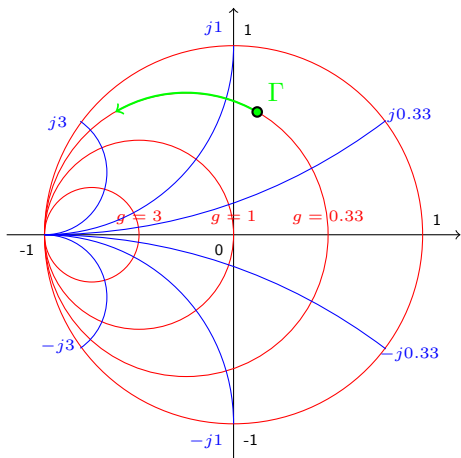


Quel est l'effet sur Γ ?

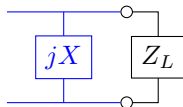
- Le point se déplace dans le sens anti-horaire, sur un cercle de résistance constante.

Une grande capacitance implique un *petit* déplacement, et vice-versa.

Inductance en parallèle



Soit une charge quelconque, dont on ajoute une inductance parallèle.

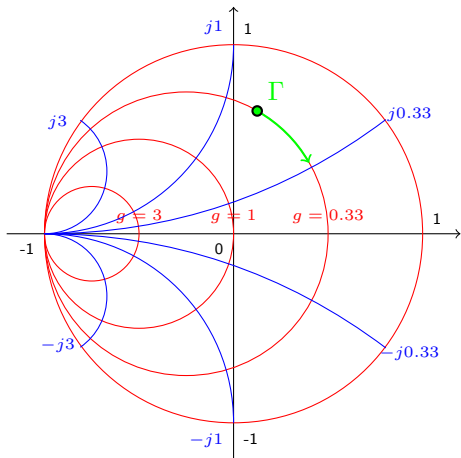


Quel est l'effet sur Γ ?

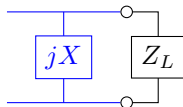
- Le point se déplace dans le sens anti-horaire, sur un cercle de conductance constante.

Une grande inductance implique un *petit* déplacement, et vice-versa.

Capacitance en parallèle



Soit une charge quelconque, dont on ajoute une capacitance parallèle.

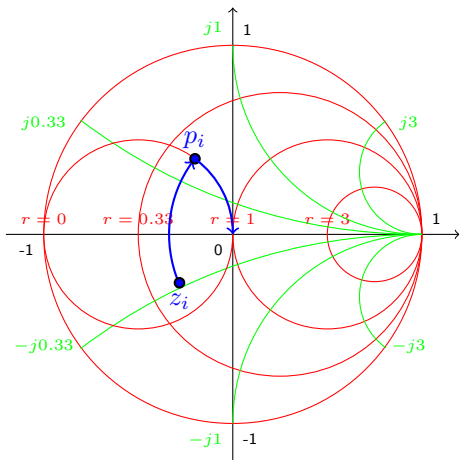


Quel est l'effet sur Γ ?

- Le point se déplace dans le sens horaire, sur un cercle de conductance constante.

Une grande capacitance implique un grand déplacement, et vice-versa.

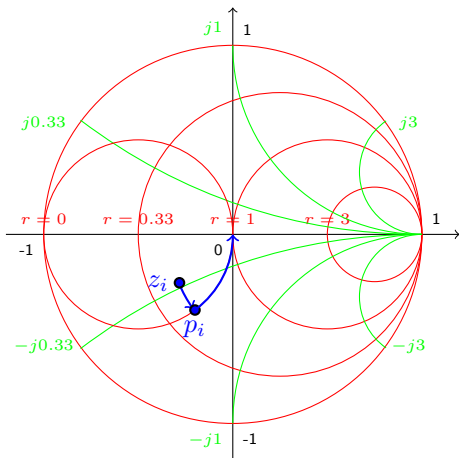
Adaptation : Exemple 1



Soit une charge $Z = 25 - j15\Omega$, dans un système de 50Ω . Utiliser un réseau L pour adapter la charge.

- 1 Placer $\Gamma(z_i)$
- 2 Ajouter une inductance en série : le point se déplace en sens horaire jusqu'au cercle $g = 1$ (point p_i).
- 3 Ajouter un condensateur en parallèle : le point se déplace dans le sens horaire jusqu'au centre de l'abaque.

Adaptation : Exemple 2



Soit une charge $Z = 25 - j15\Omega$, dans un système de 50Ω . Utiliser un réseau L pour adapter la charge.

- 1 Placer $\Gamma(z_i)$
- 2 Ajouter une capacitance en série : le point se déplace en sens anti-horaire jusqu'au cercle $g = 1$ (point p_i).
- 3 Ajouter une inductance en parallèle : le point se déplace dans le sens anti-horaire jusqu'au centre de l'abaque.

Réseau L

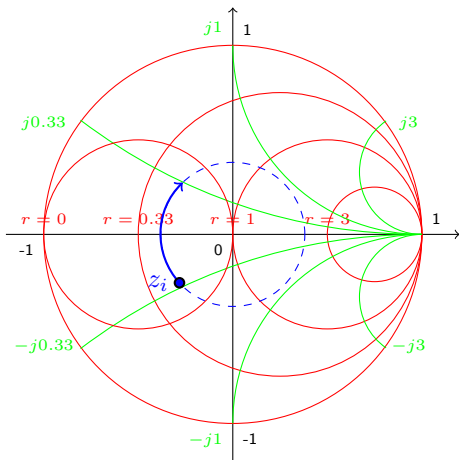
Laquelle des deux solutions est la meilleure ?

- Dépend de la charge et des composantes.
- Avec la solution 1, il y a un chemin DC à la charge.
- Avec la solution 2, il y a un court-circuit en DC.
- Certaines valeurs de composantes ne sont peut-être pas réalisables, surtout pour des circuits intégrés.

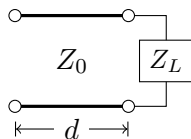
Adaptation avec 1 stub

- On utilise une ligne de transmission de longueur d ,
- On ajoute ensuite un stub (série ou parallèle).
- Presque le même principe que le réseau L.
 - On fait une rotation sur un cercle de Γ constant en premier, au lieu d'une rotation de r constant.

Rappel : Γ constant

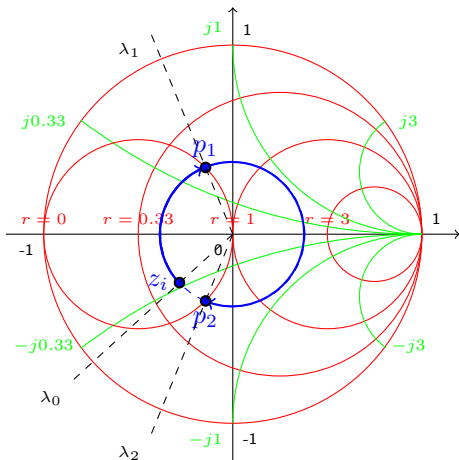


Soit une charge quelconque, dont on ajoute une ligne.

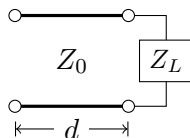


→ Le point z_i fait une rotation de d , sur un cercle de Γ constant autour du centre de l'abaque.

Adaptation avec 1 stub parallèle



Étape 1 : ajouter une ligne.



2 solutions possibles.

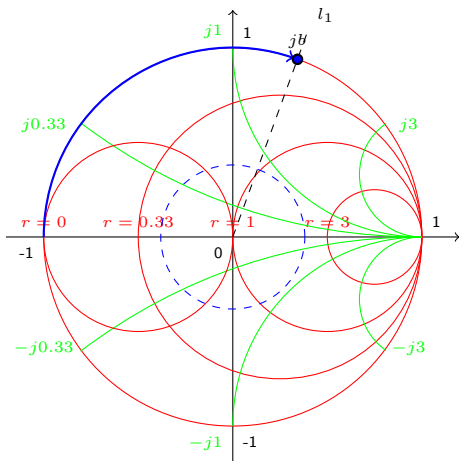
$$d_1 = \lambda_1 - \lambda_0$$

$$p_1 = 1 + jb'$$

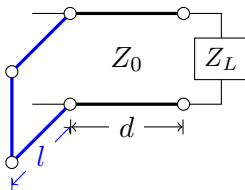
$$d_2 = \lambda_2 - \lambda_0$$

$$p_2 = 1 - jb'$$

Adaptation avec 1 stub parallèle



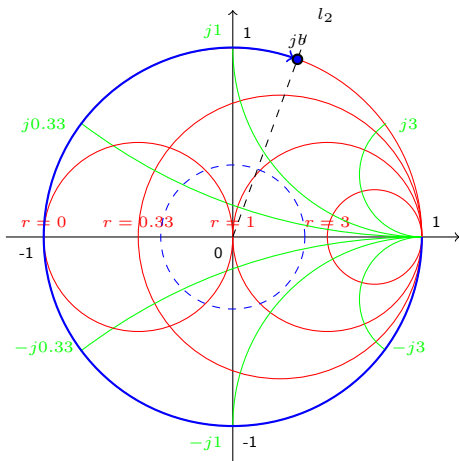
Étape 2 : annuler la susceptance $\pm jB'$ avec un stub parallèle de $\mp jB'$.



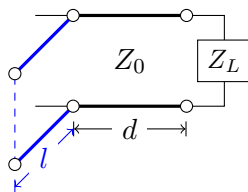
On lit la longueur de la ligne sur l'abaque.

$l_1 =$ stub court-circuit.

Adaptation avec 1 stub parallèle



Étape 2 : annuler la susceptance $\pm jB'$ avec un stub parallèle de $\mp jB'$.



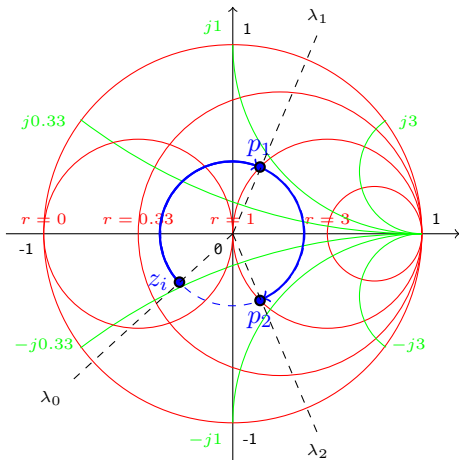
On lit la longueur de la ligne sur l'abaque.

$l_2 =$ stub circuit ouvert.

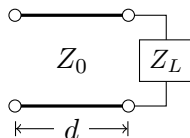
Adaptation avec 1 stub série

- La technique est presque la même que celle du stub parallèle.
- On ajoute une longueur de ligne de sorte à se rendre jusqu'au cercle $r = 1$, plutôt que celui $g = 1$.
- Il y a 4 solutions possibles : 2 solutions pour la longueur de ligne, et 2 solutions pour le type de stub.

Adaptation avec 1 stub série



Étape 1 : ajouter une ligne.



2 solutions possibles.

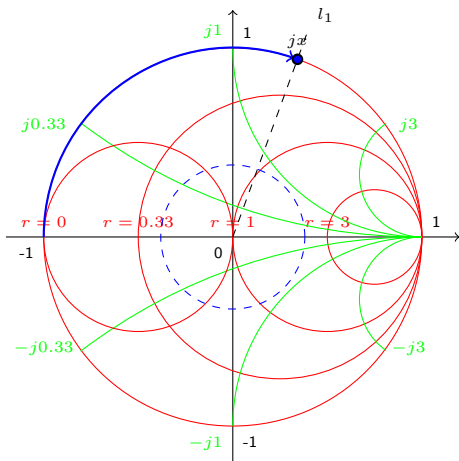
$$d_1 = \lambda_1 - \lambda_0$$

$$p_1 = 1 + jx'$$

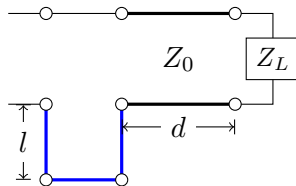
$$d_2 = \lambda_2 - \lambda_0$$

$$p_2 = 1 - jx'$$

Adaptation avec 1 stub série



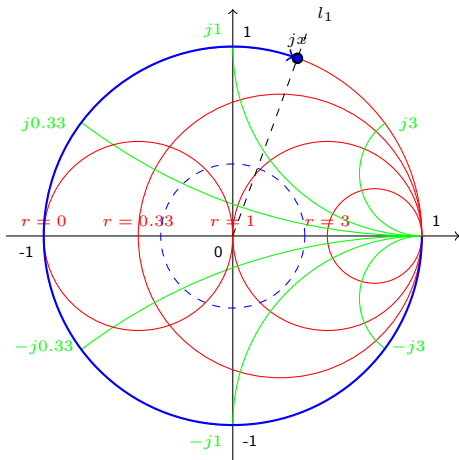
Étape 2 : annuler la réactance $\pm jx'$ avec un stub série de $\mp jx'$.



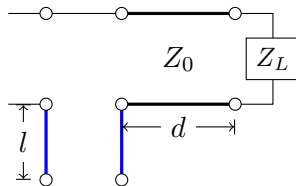
On lit la longueur de la ligne sur l'abaque.

$l_1 = \text{stub court-circuit.}$

Adaptation avec 1 stub série



Étape 2 : annuler la réactance $\pm jx'$ avec un stub série de $\mp jx'$.



On lit la longueur de la ligne sur l'abaque.

$l_2 =$ stub circuit ouvert.

Adaptation avec 1 stub

Laquelle des 4 solutions est la meilleure ?

- Généralement, la solution avec les lignes les plus courtes est la meilleure.
- Maximise la largeur de bande.
- Dans les circuits intégrés, l'utilisation d'un circuit ouvert ou court-circuit dépend de la technologie utilisée.

Adaptation à plusieurs stubs

- Adaptation à 2 stubs : permet d'obtenir un réseau d'adaptation où la distance entre la charge et les stubs n'est pas importante. Cependant, on ne peut pas adapter toutes les charges.
- Adaptation à 3 stubs : Permet d'adapter toutes les charges.
- Ces circuits d'adaptation sont peu utilisés en pratique.

Adaptation $\lambda/4$

- On peut utiliser une ligne $\lambda/4$ pour transformer une charge réelle à une autre impédance réelle.
- Il faut cependant annuler la réactance de la charge, avec des stubs ou inductance ou capacitance.

Adaptation $\lambda/4$: exemple

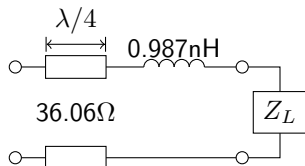
Adapter une charge $Z_L = 26 - j31\Omega$ à 50Ω , avec une ligne $\lambda/4$, à 5GHz.

On annule le $-j31$ avec une inductance de 0.987nH (en série).

L'impédance de la ligne est :

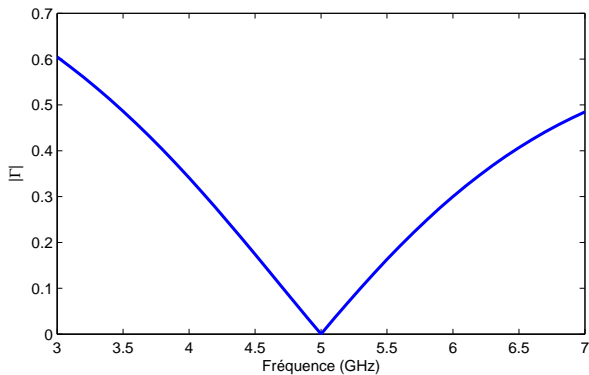
$$Z_m = \sqrt{Z_0 Z_L} = \sqrt{(50)(26)} = 36.06\Omega$$

Le circuit :



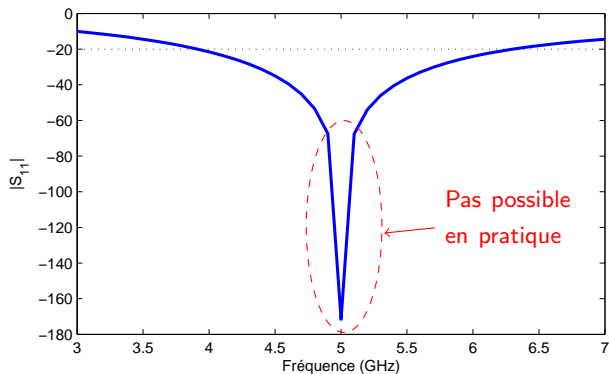
Adaptation $\lambda/4$: exemple

Γ en fonction de la fréquence :



Adaptation $\lambda/4$: exemple

$|S_{11}|$ en fonction de la fréquence :



En pratique, mieux que -20dB d'adaptation est acceptable.

Augmentation de la largeur de bande

- On peut augmenter la largeur de bande du transformateur $\lambda/4$ en ajoutant 2 résonateurs en parallèle.
- On utilise le facteur de qualité pour améliorer l'adaptation.

$$Q = \frac{\text{énergie emmagasinée}}{\text{énergie perdue}} = \frac{X}{R}$$

Augmentation de la largeur de bande

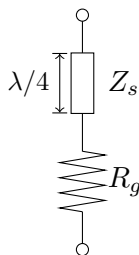
Facteur de qualité :



$$Q = \frac{\omega L}{R}$$



$$Q = \frac{1}{\omega RC}$$

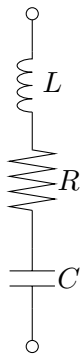


$$Q = \frac{\pi}{4} \left| \frac{Z_s}{R_g} - \frac{R_g}{Z_s} \right|$$

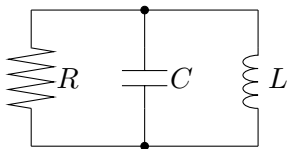
Un facteur de qualité élevé est désirable, surtout dans les circuits intégrés : un Q élevé indique moins de pertes.

Augmentation de la largeur de bande

Facteur de qualité :



$$Q = \frac{\sqrt{LC}}{RC}$$



$$Q = \frac{R\sqrt{LC}}{L}$$

Facteur de qualité

- Pour des éléments en série :

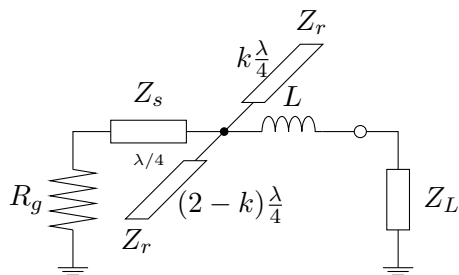
$$Q_T = Q_1 + Q_2 + \dots$$

- Pour des éléments en parallèle :

$$Q_T = \left(\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} + \dots \right)^{-1}$$

Adaptation avec Q et $\lambda/4$

On ajoute 2 résonateurs. Ce sont des lignes terminées par des circuits ouverts.



- 1 Faire la somme de Q de la charge et du transformateur $\lambda/4$ ($= Q_T$).
- 2 $Q_{\text{résonateur}} = Q_T$
- 3 Calcul de k :

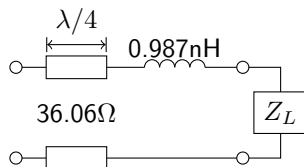
$$Q_r = \frac{\pi R_L}{2 Z_r} \frac{1}{\cos^2(k(90^\circ))}$$

Typiquement, $R_g = 50\Omega$ et $Z_r = Z_0$.

Adaptation avec Q et $\lambda/4$: exemple

On reprend l'exemple précédent, soit une charge $Z_L = 26 - j31\Omega$ adaptée avec une ligne $\lambda/4$, à 5GHz. Utiliser des résonateurs pour augmenter la largeur de bande.

Le circuit :



$$Q_1 = \frac{\sqrt{LC}}{RC} = 0.620$$

$$Q_2 = \frac{\pi}{4} \left| \frac{36.06}{50} - \frac{50}{36.06} \right| = 0.523$$

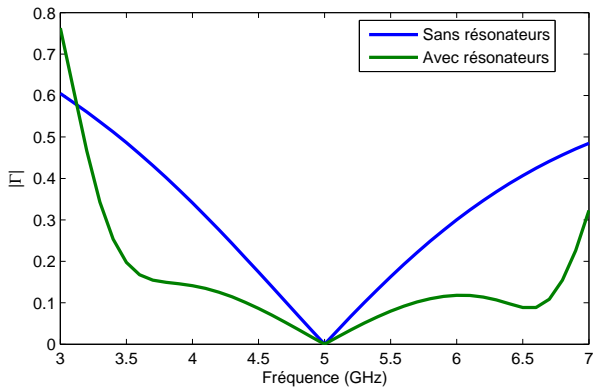
$$Q_T = 0.620 + 0.523 = 1.143$$

On calcule k :

$$1.143 = \frac{\pi}{2} \frac{36.06}{50} \frac{1}{\cos^2(k \cdot 90^\circ)} \Rightarrow k = 0.059$$

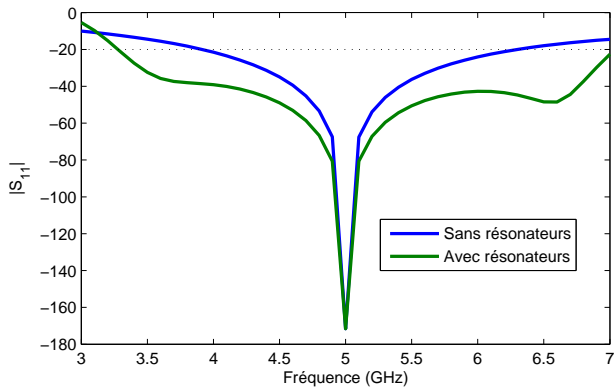
Adaptation avec Q et $\lambda/4$: exemple

Γ en fonction de la fréquence :



Adaptation avec Q et $\lambda/4$: exemple

S_{11} en fonction de la fréquence :



Adaptation avec Q et $\lambda/4$: limites

- Limite à la méthode :

$$\frac{2QZ_r}{\pi R_L} > 1$$

- Sinon, on aurait

$$\cos^2(k \cdot 90^\circ) > 1$$

Autres méthodes

- Transformateurs $\lambda/4$ multiples
- Réseaux T et II
- Ligne d'impédance variable
- Réseau à Q constant

Conclusion

Les points clés de ce chapitre sont :

- L'adaptation d'impédance par réseaux L et stubs.
- Augmentation de la largeur de bande.

Problèmes suggérés

Dans le manuel de Pozar :

- 5.1, 5.3 à 5.7, 5.9, 5.10, 5.12, 5.13

Et aussi les exemples du PDF.