

CHAPITRE 4

Adaptation d'impédances

Ce chapitre présente les techniques principales d'adaptation d'impédance, un partie très importante du design de circuits hyperfréquences. 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. Le réseau d'adaptation d'impédance est placé entre la charge et la source, comme à la figure 4.1.



FIGURE 4.1 – Réseau d'adaptation d'impédance

L'objectif principal de l'adaptation d'impédances est de maximiser la puissance transmise à la charge. Pour les composantes critiques (antenne, amplificateur faible bruit), ceci permet d'améliorer le rapport signal-à-bruit. Pour un réseau de distribution de puissance (ex : antennes), l'adaptation d'impédances permet de réduire les erreurs de phase et d'amplitude.

Si l'impédance de la charge a une partie réelle non-nulle, on peut toujours trouver un réseau d'adaptation. Il y a plusieurs choix possibles, qui ont tous des avantages et désavantages en termes de largeur de bande, valeurs réalistes des composantes, superficie occupée (circuits intégrés), etc. Quelques facteurs peuvent influencer le choix d'un réseau d'adaptation :

- **Complexité** : Typiquement, le design le plus simple est le meilleur. Un design simple est généralement moins coûteux, plus fiable et a 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.

4.1 Adaption par éléments localisés

Les éléments localisés sont les condensateurs et les inductances. Le réseau le plus simple est le réseau L. Deux configurations sont possibles, montrées à la figure 4.2. Les réactance peuvent être des condensateurs ou des inductances. Il y a donc 8 configurations possibles.

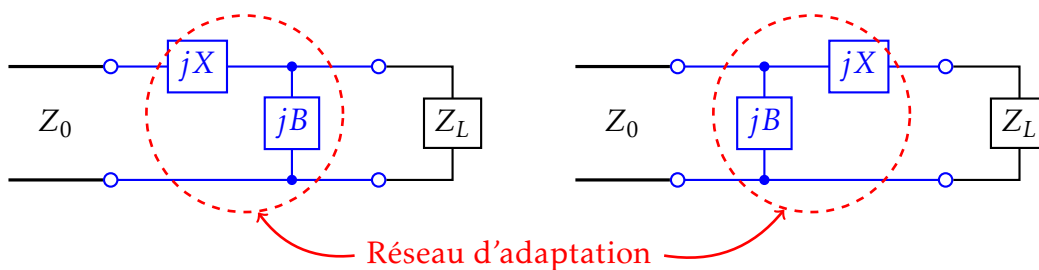


FIGURE 4.2 – Réseaux d'adaptation de type L

Le choix du type de réseau se fait en fonction du lieu de Γ sur l'abaque de Smith. Il faut aussi considérer la nécessité de bloquer le DC pour des éléments série (condensateur) ou de créer un court-circuit avec des inductances en parallèle.

On utilise l'abaque de Smith pour faire l'adaptation. Le but est généralement de se rendre à une charge adaptée, et donc d'atteindre le centre de l'abaque. Les éléments localisés se déplaceront sur des cercles de résistance ou conductance constante sur l'abaque. On verra plus tard dans d'autres chapitres qu'il y a parfois d'autres objectifs d'adaptation, plutôt que d'atteindre le centre de l'abaque.

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.

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

4.1.1 Impédance en série

Soit une charge quelconque, dont on ajoute une impédance série, comme à la figure 4.3. En premier, on ajoute une inductance série. L'effet sur l'abaque est de déplacer le point dans le sens horaire, sur un cercle de résistance constante, comme à la figure 4.4. Une grande inductance implique un grand déplacement, et vice-versa.

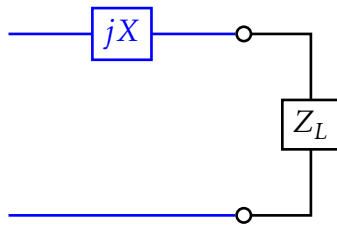


FIGURE 4.3 – Charge suivie d'une impédance série

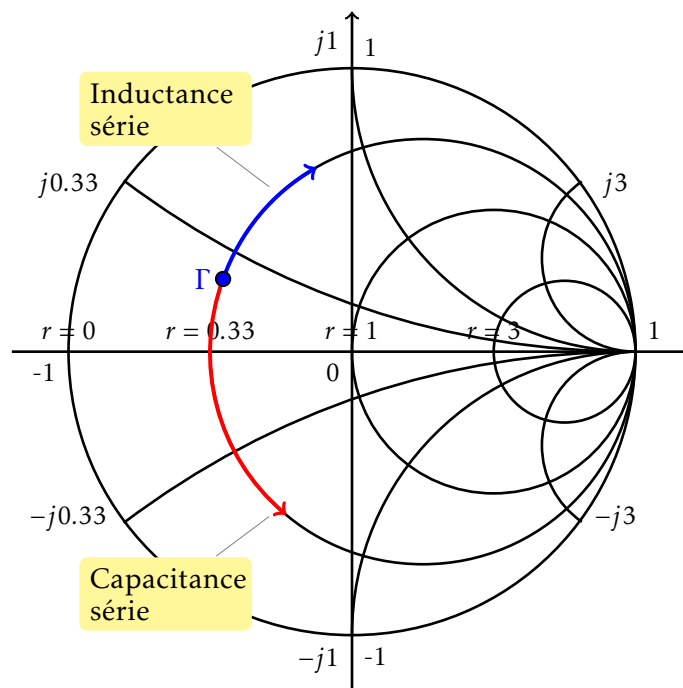


FIGURE 4.4 – Déplacement d'une impédance série sur l'abaque de Smith

L'ajout d'un condensateur en série va faire déplacer Γ sur des cercles de résistance constante, dans le sens anti horaire, comme montré à la figure 4.4. Contrairement à l'inductance, une grande capacitance implique un petit déplacement, et vice-versa.

4.1.2 Impédance en parallèle

Soit le circuit de la figure 4.5, constitué d'une charge quelconque à laquelle on place une impédance en parallèle. Si l'impédance parallèle est une inductance, l'effet sur Γ est de déplacer le point dans le sens anti-horaire sur l'abaque de Smith, sur des cercles de conductance constante, comme à la figure 4.6. Une grande inductance implique un petit déplacement, et vice-versa.

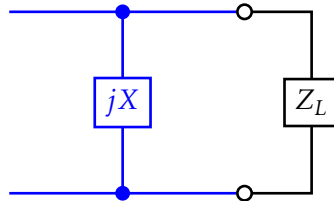


FIGURE 4.5 – Charge suivie d'une impédance parallèle

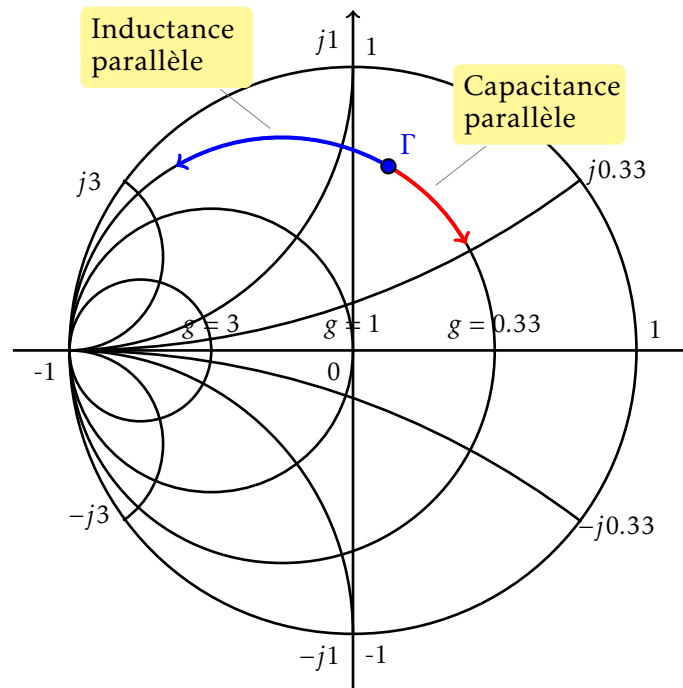


FIGURE 4.6 – Déplacement d'une impédance parallèle sur l'abaque de Smith

Si on ajoute un condensateur en parallèle, Γ se déplace en sens horaire, sur des cercles de conductance constante, comme montré à la figure 4.6. Une grande capacitance implique un grand déplacement, et vice-versa.

EXEMPLE 1

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

On a deux options pour l'adaptation. Il faut premièrement normaliser le point :

$$z_i = \frac{Z}{Z_0} = \frac{25 - j15}{50} = 0.5 - j0.3\Omega$$

On va placer ce point sur l'abaque.

Option 1 :

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

Option 2 :

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

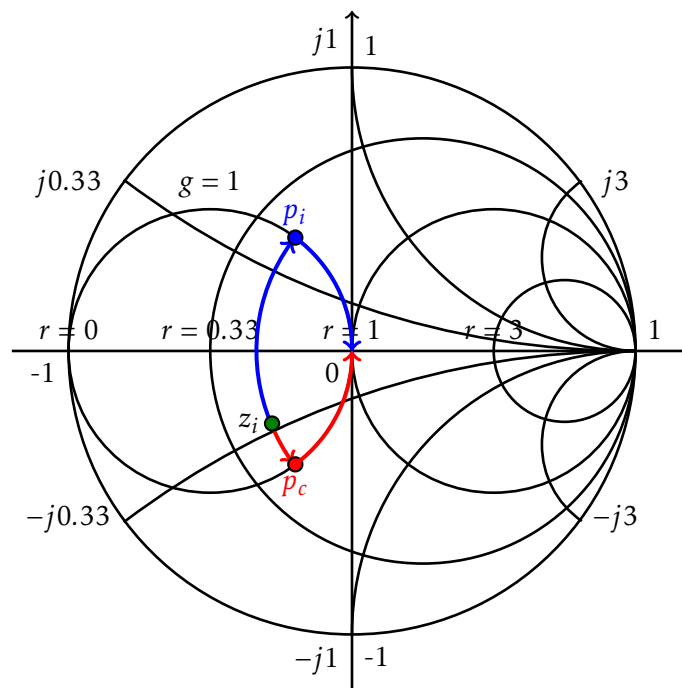


FIGURE 4.7 – Exemple d'adaptation par réseau L

Bien que les deux solutions apportent la même adaptation, il y en a généralement une qui est meilleure que l'autre. 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.

4.2 Adaptation avec 1 stub

On peut aussi faire l'adaptation d'impédance à l'aide de stubs. Un stub est une ligne de transmission terminée par un court-circuit ou un circuit ouvert. Le stub est placé en série ou en parallèle. La procédure est la suivante :

- On utilise une ligne de transmission de longueur d , pour faire une rotation sur un cercle de Γ constant en premier,
- On ajoute ensuite un stub (série ou parallèle).

Le principe est très semblable à celui du réseau L : on ajoute une ligne de transmission pour se rendre à un cercle de $g = 1$ ou $r = 1$, puis on ajoute le stub. Si on se rend au cercle $g = 1$, on ajoute un stub parallèle. Si on se rend au cercle $r = 1$, on ajoute un stub série.

4.2.1 Stub parallèle

Soit une charge quelconque, à laquelle on ajoute une ligne de transmission, comme à la figure 4.8.

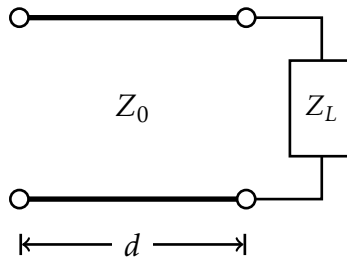


FIGURE 4.8 – Ligne de transmission ajoutée à une charge

L'effet est de déplacer Γ sur un cercle centré à l'origine, comme montré à la figure 4.9. Il y a deux solutions possibles : les points p_1 et p_2 représentent les deux cas où la ligne intersecte le cercle $g = 1$.

Les deux longueurs de ligne sont $d_1 = \lambda_1 - \lambda_0$, ce qui donne le point $p_1 = 1 + jb'_1$, et la ligne $d_2 = \lambda_2 - \lambda_0$, ce qui donne le point $p_2 = 1 + jb'_2$. Il faut ensuite annuler la susceptance en utilisant un stub parallèle. Encore une fois, il y a deux choix pour le type de stub : court-circuit ou circuit ouvert. Un exemple de stub court-circuité placé en parallèle avec une ligne de transmission est montré à la figure 4.10.

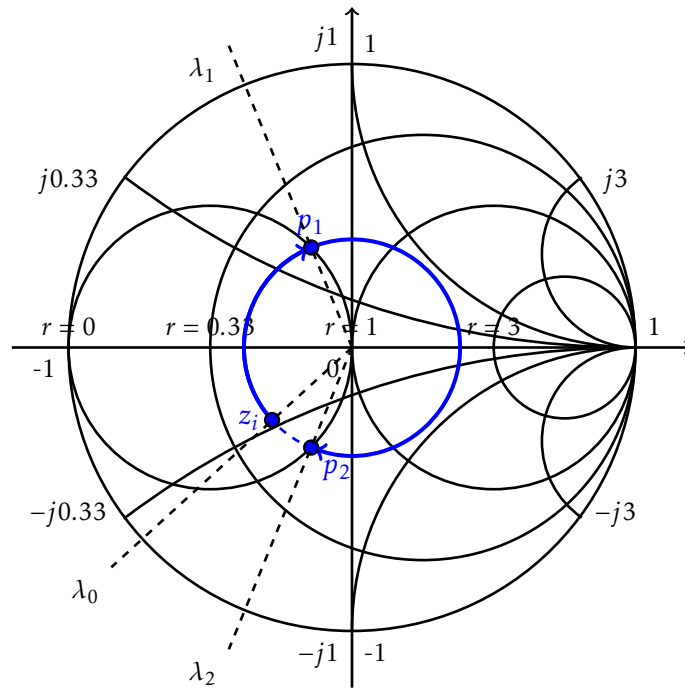


FIGURE 4.9 – Déplacement de Γ sur l'abaque par une ligne de transmission

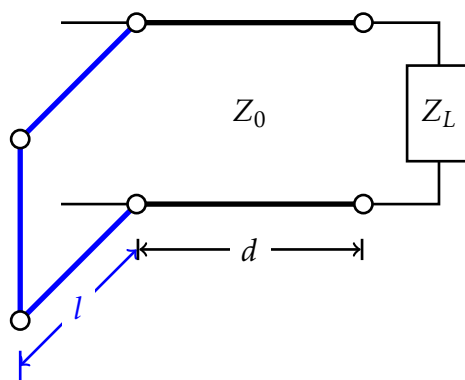


FIGURE 4.10 – Ajout d'un stub court-circuit en parallèle à une ligne de transmission