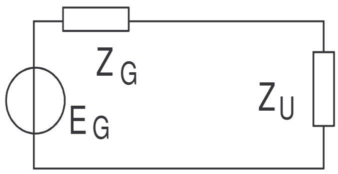
Adaptation d'impédance

Conditions générales d'adaptation

Cas général

Un générateur d'amplitude crête E_G et d'impédance interne $\underline{Z_G}$ est chargé par une impédance $\underline{Z_U}$.



Donner l'expression de la puissance active moyenne fournie à la charge.
Donner la condition sur $\underline{Z_G}$ pour obtenir une puissance maximale si $\underline{Z_U}$ est imposée.
Donner la condition sur $\underline{Z_U}$ pour obtenir une puissance maximale si $\underline{Z_G}$ est imposée.
Quelle condition suplémentaire introduit la liaison du générateur à la charge par une ligne d'impédance caractéristique RC.
Donner des exemples pratiques où l'adaptation d'impédance est nécessaire. Préciser à chaque fois quel élément impose la valeur des impédances.

Utilisation des outils de la haute fréquence pour des circuits basse fréquence

Reprennons le circuit précédent d'un générateur de tension $\underline{E_G}$ et d'impédance interne R_G réelle attaquant une charge résistive R_U. Nous nous placerons dans un cas non critique où la longueur d'onde des signaux est très grande devant les dimensions du circuit. Il n'y a donc aucun problème de réflexion sur ligne.
L'impédance du générateur étant fixée, quelle est la puissance maximale P_{MAX} transmise à la charge si on réalise une adaptation d'impédance.
L'adaptation d'impédance n'étant pas réalisée, quelle est la puissance P réellement transmise.
En faisant une analogie avec la propagation d'un signal haute fréquence sur une ligne, on peut voir la puissance P_{MAX} comme une puissance incidente. Donner alors l'expression de la puissance "réfléchie" P_r.
En définissant pour la charge un coefficient de réflexion ρ_u, par rapport à R_G vérifier que l'on a alors :

$$P = P_{MAX} + P_R = P_{MAX}\,(1 - \|\rho_u\|^2)$$

Attention : il est important de noter que ce résultat n'est qu'une modélisation qui nous permettra d'utiliser les outils de la haute fréquence (l'abaque de Smith par exemple) pour des circuits basse fréquence. Vue les hypothèses prises au début (longeur d'onde grande devant les dimensions du circuit) aucun appareil de mesure ne nous permettra de déterminer les puissances incidente et réfléchie.

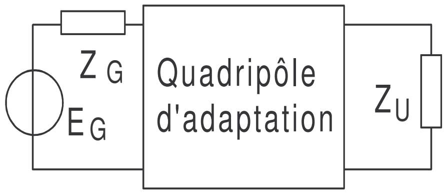
Généralisation

Les résultats précédents peuvent être généralisés à un cas quelconque d'alimentation par une ligne d'une charge complexe par un générateur d'impédance interne complexe.
Prenons une résistance de normalisation R_C, qui sera la résistance caractéristique des lignes de transmission dans le cas d'un système HF. En définissant par rapport à celle-ci des coefficient de réflexion ρ_g et ρ_u pour le générateur et la charge, donner en fonction de ces derniers la condition d'adaptation d'impédance pour obtenir une puissance maximale.

Remarque : l'adaptation d'impédance pour obtenir une puissance maximale ne conduit pas forcément à l'absence d'ondes stationnaires sur la ligne. Nombreux circuits d'adaptation utilise comme nous allons le voir les ondes stationnaires pour parvenir au but recherché.

Circuits d'adaptation d'impédance

Nous venons de voir que la condition d'adaptation d'impédance se traduisait par une égalité de nombres complexes, ce qui impose par deux équations dans le domaine réel. Il faudra donc au moins deux degrés de liberté pour résoudre tous les problèmes.
Dans la pratique, on insèrera entre le générateur et sa charge, un quadripôle non dissipatif (pour éviter toute perte de puissance). Celui-ci sera donc composé d'inductances, de capacités, de transformateur électromagnétique et de lignes de transmission.

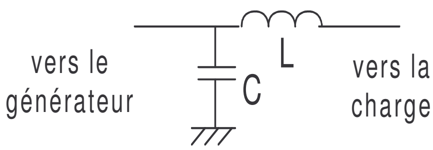


A noter qu'une ligne transmission introduit à elle seule deux degrés de liberté (impédance caractéristique et longueur).
Le quadripôle d'adaptation sera d'autant plus complexe que l'on aura des exigences sur la bande passante dans laquelle doit être réalisée l'adaptation.

Dans les paragraphes suivant, nous allons calculer quelques circuits d'adaptation à l'aide du logiciel MIMP. Il est cependant important pour utiliser correctement le logiciel, de comprendre avant sur le papier comment se déplacent les points sur l'abaque de Smith.

Adaptation par circuit LC

Prenons l'exemple suivant : l'impédance d'entrée d'un transistor vaut (10+2j) Ω à la fréquence de travail 3 GHz, celle du générateur d'attaque est réelle et vaut 50 Ω.
Le quadripôle d'adaptation est le circuit suivant :



Comment L, puis C font évoluer le point représentatif de l'impédance de la charge.
Entrer les données dans le logiciel avec C=10 pF et L=10 nH, puis déterminer les valeurs permettant l'adaptation (on trouve L=0,96 nH et C=2,1 pF).

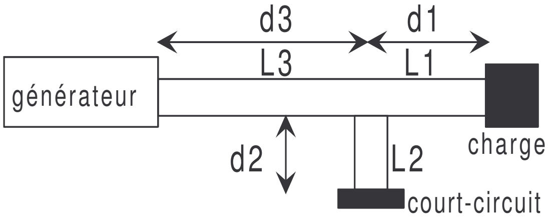
Reprendre ce cas en inversant les position de L et C. Conclusion?

Reprendre le premier circuit et modifier la valeur l'impédance du générateur par (50+25j) Ω.
Quel impédance cherche t-on à obtenir maintenant à l'entrée de la ligne? Déterminer les nouvelles valeurs de L et C (on trouve environ 1,1 nH et 2,4 pF).

Adaptation par un stub

Un stub (mégot en anglais) est un bout de ligne en court-circuit placé en parallèle sur une ligne. L'adaptation est réalisée par le choix de la position et la longueur du stub.

Le circuit d'adaptation d'impédance est réalisé par trois lignes d'impédance caractéristique 50 Ω en technologie microstrip comme le montre la figure suivante :



L'objectif est de déterminer les longueurs d1 et d2.
L'impédance du générateur vaut de nouveau 50 Ω, celle de la charge n'a pas changé.
Quelle doit être l'impédance au point A?
Quelle est alors l'influence de L3?
Quelle type d'impédance ramène la ligne L2? En déduire la valeur de la partie réelle de l'impédance à droite du point A?
Comment se déplace sur l'abaque de Smith le point représentatif de l'impédance le long de L1?
Comment va évoluer ce point par la mise en parallèle de L2?
Entrer ces valeurs dans MMIP. On choisira arbitrairement une longueur de 0,1 λ (λ étant la longueur d'onde) pour les lignes.
Déterminer les valeurs de d1 et d2 (on trouve environ 0,06λ et 0,42λ)

Remarque : le fait de fixer la valeur de d1 pouvant être gênant pour certaines applications, on garde parfois un degré de liberté supplémentaire en plaçant deux stub à des distance définies.

Adaptation par ligne λ/4

Le générateur d'impédance réelle pure 50 Ω est maintenant relié à la charge résistive de valeur 10 Ω par une ligne de longueur λ/4.
Déterminer par le calcul l'impédance caractéristique R_0 de celle-ci pour obtenir l'adaptation.
Comment peut se faire cette détermination sur l'abaque de Smith ? Vérifier (on trouve environ 22,4 Ω).

L'impédance de la charge est de nouveau (10+2j) Ω . Pour réaliser l'adaptation on va maintenant placer une ligne 50 Ω de longueur d entre la charge et le tronçon λ/4. Quel est l'intérêt de cette nouvelle ligne?
Déterminer d et R_0 (on trouve environ0,243λ et 111 Ω).