



ESIR2 / DOM / ELEC HF

TRAVAUX PRATIQUES

OLIVIER LAFOND



Ces Tps se diviseront en 3 séances distinctes. Les 2 premières séances se dérouleront en TP tournant de 2h chacune et la dernière se fera tous ensemble (par demi-promotion) et ceci sur une durée de 4h.

L'ensemble des séances est décrit rapidement ci-dessous :

TP1 : Mesures des caractéristiques HF d'un mélangeur et d'un amplificateur (2h).

TP2 : Simulation fréquentielle d'une chaîne de transmission à 1.45 GHz (2h)

TP3 : Montage d'une chaîne de transmission et bilan de puissance à 1.45 GHz (4h)



TP1 : MESURES DES CARACTERISTIQUES HF D'UN MELANGEUR ET D'UN AMPLIFICATEUR

Le but de cette partie est d'étudier et de caractériser les performances d'un mélangeur et d'un amplificateur de commerce qui seront par la suite intégrés dans la chaîne de transmission mise en œuvre au TP3. Dans cette partie, aucune conception n'est demandée. Le travail se concentre sur la caractérisation de ces composants afin de vérifier leurs performances. Pour raison de disponibilité de matériel, 2 binômes ou trinômes commenceront par la partie mélangeur et les deux autres par la partie amplificateur.

1. MELANGEURS (1H)

1.1. Introduction

De façon simplifiée, un mélangeur permet d'effectuer une multiplication entre deux signaux comme le montre la figure 1.

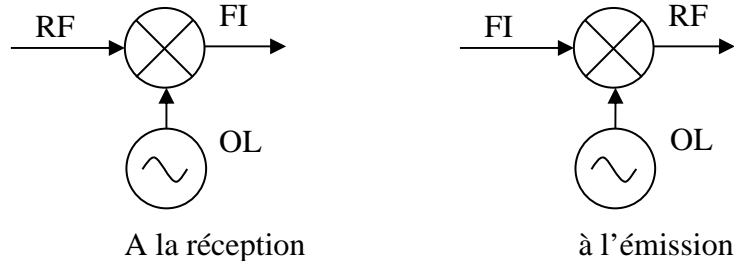


Figure 1 : Applications d'un mélangeur

A la réception, si $RF = A.\cos \omega_{RF}t$ et $OL = B.\cos \omega_{OL}t$, le signal FI est de la forme :

$$FI = C.\cos \omega_{RF}t . \cos \omega_{OL}t$$

Ce produit de cosinus peut se transformer en somme :

$$FI = \frac{C}{2} [\cos(\omega_{RF} + \omega_{OL})t + \cos(\omega_{RF} - \omega_{OL})t] \quad (1)$$

On voit alors que le signal FI a une composante haute-fréquence à $\omega_{RF} + \omega_{OL}$ et une composante basse fréquence à $|\omega_{RF} - \omega_{OL}|$. Par un filtrage passe-bas, il est possible de ne garder que la composante basse-fréquence. Le mélange permet donc de réaliser un changement de fréquence.

A l'émission, si $FI = A.\cos \omega_{RF}t$ et $OL = B.\cos \omega_{OL}t$, le signal RF peut se mettre sous la forme :

$$RF = \frac{C}{2} [\cos(\omega_{OL} + \omega_{FI})t + \cos(\omega_{OL} - \omega_{FI})t] \quad (2)$$

On voit alors que le signal RF a deux composantes haute-fréquences à $\omega_{OL} \pm \omega_{FI}$. Comme la pulsation ω_{OL} est très supérieure à ω_{FI} , on réalise ce que l'on appelle une modulation d'amplitude.

1.2. Quelques caractéristiques d'un mélangeur

1.2.1. Perte de conversion

La perte de conversion est définie par :

- à l'émission : P_{RF}/P_{FI} .
- A la réception : P_{FI}/P_{RF} .

La perte de conversion varie avec la puissance OL et le constructeur donne sa valeur pour une puissance nominale de l'oscillateur local OL.

1.2.2. Isolation

Lors du mélange, on remarque qu'en sortie du mélange (équations (1) et (2)) la fréquence de l'oscillateur local n'est en théorie pas présente. Dans la pratique, il existe un résidu de cette fréquence en sortie. Les caractéristiques permettant de quantifier ce défaut sont appelées isolations LO-RF et LO-FI.

1.2.3. Niveaux de puissance

Le mélangeur est un élément non-linéaire et pour des niveaux de puissance trop élevés, avant d'avoir un risque de détérioration du composant, il y a des phénomènes de distorsion des signaux. Le constructeur définit donc des niveaux pour lesquels les phénomènes de non-linéarité restent négligeables.

1.3. Mélangeur Mini-circuit ZP-5

1.3.1. Théorie

Étudier les caractéristiques du mélangeur à partir de sa datasheet (X=FI, L=OL, R=RF). En particulier, donner les niveaux de puissance (et tension) max. applicables sur les différents accès ainsi que les pertes de conversion.

1.3.2. Mesures

A l'émission, mettre en œuvre un mélange entre un signal BF (10MHz par exemple délivré par un générateur) et un signal OL (1.45 GHz) délivré par un générateur HF. Le spectre du signal de sortie (RF) sera donc à observer à la fréquence de 1.46 GHz dans ce cas. Ce spectre est observé avec un analyseur de spectre présent en TP.

Vous mesurerez les pertes de conversion en fonction de la puissance d'OL injectée afin de voir quel niveau de puissance OL minimum est nécessaire pour minimiser ces pertes. Vous tracerez la courbe des pertes en fonction de cette puissance d'OL.

Vous estimerez également l'isolation de ce mélangeur en observant les niveaux de puissance à la fréquence OL présents en sortie.

2. AMPLIFICATEURS HF (1H)

2.1. Introduction

Comme le montre la figure 2, l'amplificateur de puissance permet de convertir un signal RF de puissance P_E en un signal RF de puissance P_S supérieure. Pour apporter ce gain en puissance, une puissance continue P_{DC} (alimentation) est fournie à l'amplificateur. Le principe de l'amplification, comme en basse fréquence, repose sur les propriétés de gain en courant ou tension d'un élément actif (un transistor bipolaire ou à effet de champ.).

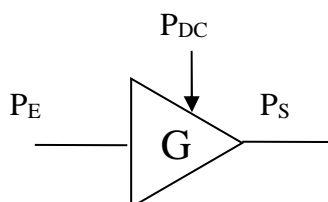


Figure 2 : Amplificateur de puissance

2.2. Quelques caractéristiques d'un amplificateur

2.2.1. Gain en puissance G

Le gain en puissance est défini par : $G = P_S / P_E$.

Lorsque la puissance d'entrée devient trop importante, la puissance de sortie n'augmente plus (saturation). Le gain est donc fonction de la puissance d'entrée, comme le montre la figure 3.

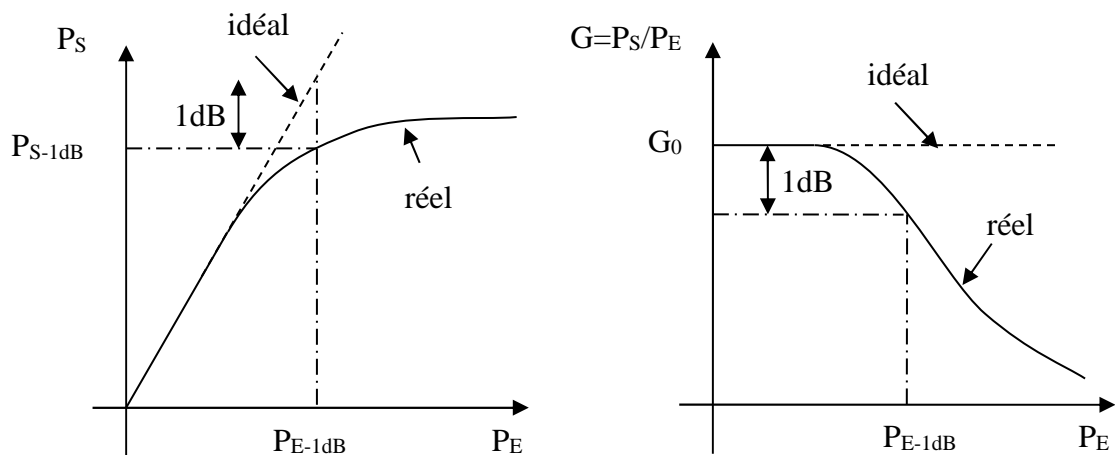


Figure 3 : Courbes de puissance d'un amplificateur

2.2.2. Point de compression à -1dB : P_{E-1dB} P_{S-1dB}

Si l'amplificateur était parfait, quelque soit la puissance d'entrée, on aurait $P_S = G_0 P_E$ (G_0 : puissance à P_E faible). Avec un amplificateur réel, on a $P_S = G(P_E) P_E$.

Comme le montre la figure 3, la courbe de transfert en puissance donnant P_S en fonction de P_E possède une zone linéaire et une zone saturée. Entre ces deux zones, il est possible de définir le point de compression à -1dB qui correspond au point de la courbe où la puissance de sortie réelle est inférieure de 1dB à la puissance de sortie de l'amplificateur parfait. Ce point peut être défini en puissance d'entrée P_{E-1dB} ou de sortie P_{S-1dB} .

2.3. Amplificateur de puissance (PA)

2.3.1. Théorie

Étudier la datasheet à savoir le gain max espéré, le point de compression spécifié...

2.3.2. Mesures

Les mesures s'effectuent ici à l'aide d'un analyseur de réseaux qui permet de mesurer les paramètres S d'un quadripôle (l'amplificateur ici). Ce type d'appareil doit être calibré avant la mesure, cette procédure sera expliquée par l'enseignant durant la séance.

Relever le gain ($10\log|S_{21}|^2$) en fonction de la puissance d'entrée qui varie entre -15 et 10dBm. En déduire le point de compression. Vous tracerez la courbe gain = $f(P_E)$.

Vérifier l'unilatéralité de cet amplificateur en mesurant le paramètre S_{12} lorsque la puissance d'entrée est très faible (fonctionnement en linéaire).



TP2 : SIMULATION FREQUENTIELLE D'UNE CHAÎNE DE TRANSMISSION A 1.45 GHz

Le but de ce TP (2h) est de simuler une chaîne de transmission simple en fréquentiel et ceci pour une application à 1.45 GHz. Cette chaîne étant constituée de plusieurs composants (amplis, mélangeurs...), les plus représentatifs seront simulés seuls puis la chaîne entière sera mise en œuvre. Il ne s'agit pas ici de concevoir les différents blocs constituant la chaîne mais juste de regarder leur comportement fréquentiel. Ce TP permettra d'introduire la chaîne qui sera mise en œuvre expérimentalement en commun durant la dernière séance de 4h. L'ensemble des fichiers nécessaires pour les simulations vous sera fourni en début de séance.

3. SIMULATION / CHAÎNE DE TRANSMISSION

3.1. Introduction

La chaîne de transmission qui sera simulée avec Ansoft Designer est globalement présentée figure 4. On considèrera un signal BF d'entrée à 10 MHz et de puissance $P_e=0\text{dBm}$.

Le signal Basse fréquence est mélangé avec un OL à 1.45 GHz afin de transposer le signal en HF. Un amplificateur est ensuite ajouté pour augmenter le niveau de puissance. Enfin, la fin de l'émetteur est constituée d'une antenne qui permet de transformer le signal électrique en signal rayonné qui sera capté par une antenne de réception située à 2m de l'émetteur, avant d'être de nouveau mélangé avec un OL à 1.45 GHz afin de récupérer le signal basse fréquence.

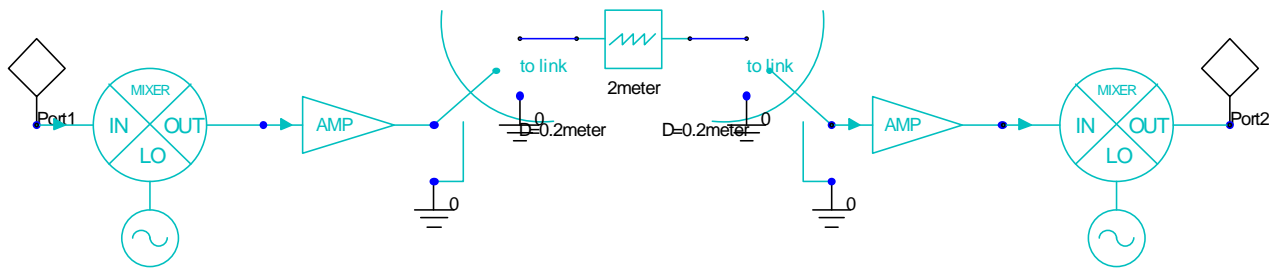


Figure 4 : Chaîne de transmission simulée

L'objectif de cette séance de TP est donc de simuler indépendamment le mélangeur, l'amplificateur ainsi que la liaison en espace libre entre les antennes.

Ensuite une simulation globale sera effectuée afin de vérifier le bilan de liaison global. Le bilan de puissance correspond au rapport de la puissance de sortie (à la réception) sur la puissance d'entrée ($P_e=0\text{dBm}$).

3.2. Mélangeur

La simulation du mélangeur seul est représentée sur la figure 5. Le port 1 correspond à l'entrée (signal à 10MHz de puissance $P_e=0\text{dBm}$) et le port 2 à la réception afin de simuler la puissance de sortie.

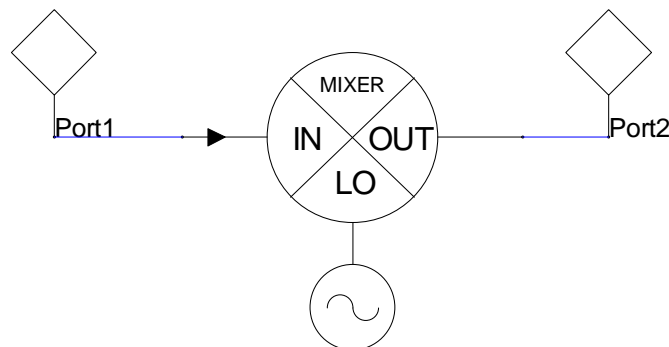


Figure 5 : Mélangeur seul

Le fichier est disponible, il s'agira juste d'entrer les caractéristiques suivantes afin d'effectuer la simulation. On remarquera que la puissance d'OL est très supérieure à celle d'entrée.

Pertes de conversion (convgainMag) = -7dB

Isolation LO/IF (Lotoifisolation) = 40dB

Puissance de sortie à la compression à 1dB (P1DB) = 0dBm

Fréquence d'OL (FLO) = 1.45 GHz

Puissance d'OL (PLO) = 10dBm.

Relever le spectre global et analyser les amplitudes des différentes raies du spectre. Expliquer ces amplitudes à l'aide des données d'entrées du mélangeur.

3.3. Amplificateur

La simulation de l'amplificateur est représentée figure 6.

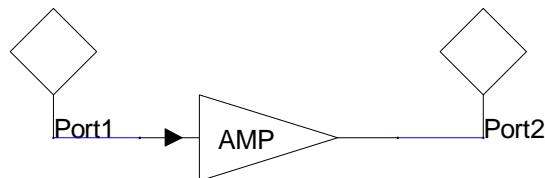


Figure 6 : Amplificateur seul

Les caractéristiques principales à indiquer dans le circuit sont :

Le gain max (Gainmax) : 18dB

La puissance de sortie à la compression à 1dB (P1DB) : 18dBm

Pour des puissances d'entrée variant de -10 à 10dBm, relever la valeur du gain (en observant le spectre). Tracer ainsi le gain en fonction de P_e , ce qui permettra de faire apparaître la zone de fonctionnement linéaire et la zone compressée.

Pour $P_e = -7\text{dBm}$, tracer le spectre.

3.4. Liaison sans fil émetteur et récepteur / bilan de liaison

La simulation de cette liaison est représentée figure 7. La distance entre les deux antennes sera considérée égale à 2m.

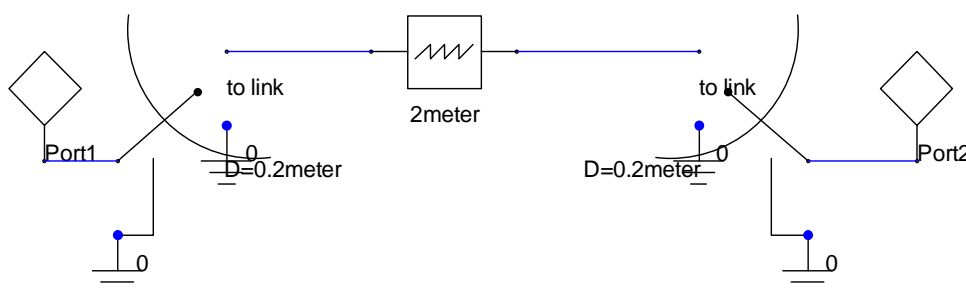


Figure 7 : Liaison sans fil

Les caractéristiques principales à indiquer dans le circuit concernent les antennes. En effet, la taille (diamètre des antennes / D) fixe leur gain par la formule suivante où λ est la longueur d'onde dans le vide :

$$G = 10 \log \left(\left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right)$$

Le diamètre des antennes à indiquer dans la simulation est de 0.2m.

Calculer alors le gain de chaque antenne à 1.45 GHz.

Calculer le rapport de puissance P_s/P_e (formule du bilan de liaison) que l'on obtiendra à 1.45 GHz.

Simuler et vérifier que vous obtenez bien la même valeur en regardant la puissance de sortie par rapport à la puissance d'entrée.

3.5. Simulation de la chaîne globale

La chaîne globale simulée est représentée figure 8 ci-dessous.

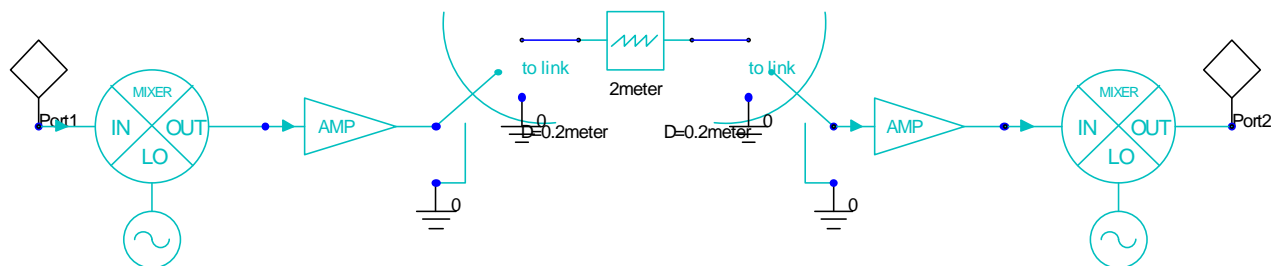


Figure 8 : Chaîne globale

En considérant une puissance d'entrée de 0dBm et en affectant les caractéristiques précédentes à chaque composant, estimer le niveau de puissance théorique attendu en sortie.

Simuler l'ensemble de la chaîne avec les mêmes caractéristiques et vérifier ce niveau de puissance.

Tracer le spectre afin de voir les raies parasites et harmoniques qui apparaissent aux fréquences autres que celle souhaitée (10MHz). Expliquer.

On va maintenant dégrader volontairement la liaison en considérant un amplificateur avec un point de compression beaucoup plus bas, à savoir 0dBm. Simuler de nouveau le spectre et regarder le spectre afin de voir l'évolution des raies parasites et harmoniques.



TP3 : MONTAGE D'UNE CHAÎNE DE TRANSMISSION A 1.45 GHz

Ce TP a pour objectif le montage d'une chaîne de transmission proche de celle simulée préalablement et fonctionnant à la même fréquence (1.45GHz pour l'OL). Le travail se divisera en plusieurs parties, à savoir :

1. La mesure expérimentale du bilan de liaison entre antennes
2. Le test de la chaîne globale en prenant un signal BF sinusoïdal en entrée (QQ MHz par exemple).
3. Le test de la chaîne avec un signal d'entrée réel (musique ou autre).

4. MISE EN ŒUVRE DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION

4.1. Introduction

C'est une chaîne simplifiée (uniquement la partie RF) qui va être mise en œuvre mais qui permettra de valider le principe ainsi que les niveaux de puissance calculés préalablement. Cette chaîne est représentée figure 9.

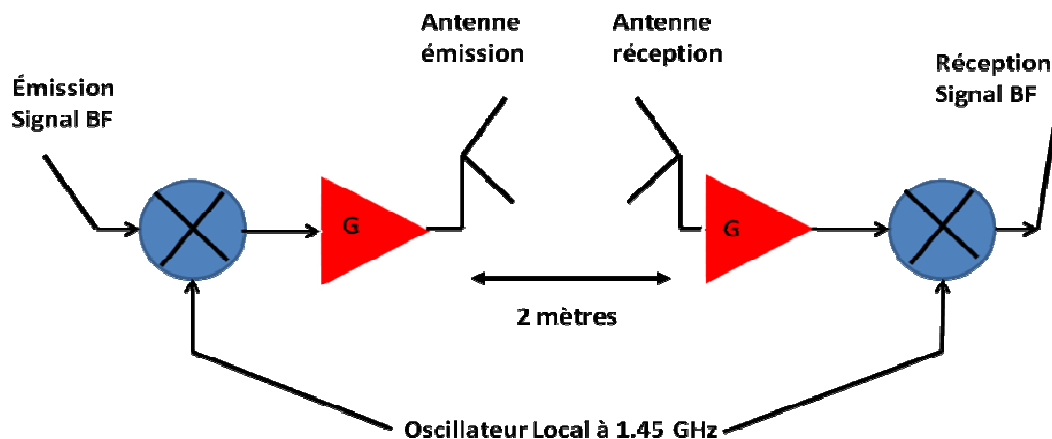


Figure 9 : Chaîne de transmission réelle

4.2. Bilan de liaison entre antennes / validation expérimentale

A l'aide d'un analyseur de spectre et d'un générateur, vous allez mesurer le rapport de puissance entre l'antenne de réception et l'antenne d'émission. Une distance de 2m sera mise entre les antennes.

Mesurer au préalable les pertes présentes dans les câbles utilisés pour la mesure.

Mesurer le rapport $10\log(|S_{21}|^2)$ à la fréquence de 2.45 GHz en ayant pris soin de bien aligner les antennes et de ne pas avoir d'obstacle entre elles. On pourra d'ailleurs à ce stade regarder l'impact d'un obstacle (métal, homme...).

Comme vous avez accès au bilan de liaison, vous êtes maintenant capable de donner le gain des antennes. Quelle est sa valeur ?

4.3. Test de la chaîne avec un signal BF sinusoïdal (qq MHz)

Monter maintenant l'ensemble de la chaîne RF en prenant soin de vérifier certains niveaux de puissance lors du montage pour éviter la saturation du mélangeur et ou de l'amplificateur. Le signal d'entrée est un signal sinusoïdal de quelques MHz. Attention au niveau de ce signal BF (cf datasheet mélangeur ZP5) pour éviter de saturer le mélangeur.

Calculer théoriquement le niveau de puissance attendu en sortie.

Mesurer avec un analyseur de spectre le niveau de signal de sortie à la fréquence du signal BF.

Ce niveau de puissance est il à peu près cohérent avec le niveau théorique.

4.4. Test de la chaine avec un signal BF réel (musique)

Il s'agit juste ici de tester la chaîne RF avec un signal réel (musique Internet) et de regarder ce qui se passe si la transmission perd en qualité (obstacle..) ou si les antennes sont désalignées ou tournées...