

Université de Toulon

IUT de Toulon

Département Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII)

# Robotique

## Radio Fréquence

écrit le 18 mai 2024

par

Bruno HANNA

*Encadrant universitaire :* Philippe ARLOTTO

---



# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 TP1</b>	<b>2</b>
1.1 Principe de l'adaptation d'impédance . . . . .	2
1.2 Calcul de la puissance et utilisation d'un atténuateur . . . . .	2
1.3 Analyse d'un signal sinusoïdal de 400mV crête à crête à 10 MHz . . . . .	3
1.4 Analyse d'un signal sinusoïdal de 5V crête à crête . . . . .	4
1.5 Analyse des signaux indésirables pour un émetteur à 10 MHz . . . . .	6
1.6 Observation d'un signal rayonné . . . . .	7

# Introduction

Ce rapport détaille les différentes étapes et mesures effectuées lors du TP sur les systèmes de transmission. L'utilisation d'un analyseur de spectre permet de caractériser différents types de signaux et de comprendre les principes fondamentaux des mesures en radiofréquence (RF). Les principaux aspects abordés incluent les connecteurs RF, l'adaptation d'impédance, la gestion de la puissance maximale, la pureté spectrale des générateurs.

# TP1

## 1.1 Principe de l'adaptation d'impédance

L'adaptation d'impédance est une pratique essentielle en radiofréquence (RF) pour garantir un transfert maximal de puissance entre les composants d'un système et minimiser les réflexions de signal. Lorsque l'impédance d'une source est égale à l'impédance de charge, on obtient une adaptation d'impédance idéale. Cela signifie que l'intégralité de la puissance générée par la source est transmise à la charge, sans pertes dues aux réflexions.

En pratique, les analyseurs de spectre et les générateurs RF sont conçus pour une impédance standard de 50 ohm. Si une charge avec une impédance différente est connectée, une partie de la puissance sera réfléchie à la source, ce qui peut entraîner des erreurs de mesure et des pertes d'efficacité. Pour les oscilloscopes, qui ont une impédance d'entrée très élevée (environ 1M ohm), il est courant de connecter une résistance de 50 ohm en parallèle à l'entrée pour obtenir une mesure correcte des signaux RF.

La réflexion d'un signal peut être quantifiée par le coefficient de réflexion (Gamma), qui est défini par :

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

où  $Z_L$  est l'impédance de la charge et  $Z_0$  est l'impédance de la source. Pour une adaptation parfaite,  $Z_L = Z_0$  et  $\Gamma = 0$ , ce qui signifie qu'il n'y a pas de réflexion.

En résumé, une bonne adaptation d'impédance améliore la précision des mesures et la performance des systèmes RF.

## 1.2 Calcul de la puissance et utilisation d'un atténuateur

Les générateurs utilisés dans ce TP peuvent délivrer une tension sinusoïdale de 10V crête à crête. La puissance de ce signal peut être calculée à l'aide de la formule pour une onde sinusoïdale :

$$P = \frac{V_{pp}^2}{8 \times R}$$

où  $V_{pp}$  est la tension crête à crête et  $R$  est l'impédance (50 ohm).

Pour un signal de 10V crête à crête :

$$P = \frac{(10V)^2}{8 \times 50\Omega} = 0.25W = 25dBm$$

L'analyseur de spectre tolère une puissance d'entrée maximum de +20dBm. Pour protéger l'analyseur, un atténuateur de 20dB est utilisé :

$$25dBm - 20dB = 5dBm$$

Ainsi, la puissance à l'entrée de l'analyseur est réduite à un niveau sûr, bien en dessous de la limite de +20dBm.

Pour un signal carré de même tension (10V crête à crête), la puissance est calculée différemment :

$$P = \frac{V_{pp}^2}{4 \times R}$$

Pour un signal de 10V crête à crête :

$$P = \frac{(10V)^2}{4 \times 50\Omega} = 0.5W = 27dBm$$

En plaçant un atténuateur de 20dB, la puissance à l'entrée de l'analyseur devient :

$$27dBm - 20dB = 7dBm$$

Ce qui est également en dessous de la limite de +20dBm, garantissant la protection de l'analyseur.

## 1.3 Analyse d'un signal sinusoïdal de 400mV crête à crête à 10 MHz

Pour cette partie du TP, un signal sinusoïdal de 400mV crête à crête à une fréquence de 10 MHz a été généré.

### Vérification du signal à l'oscilloscope

Le signal sinusoïdal généré a été vérifié à l'aide d'un oscilloscope pour s'assurer qu'il correspondait aux spécifications souhaitées. Le signal observé présentait une amplitude correcte de 400mV crête à crête et une fréquence de 10 MHz.

### Spectre attendu

Le spectre attendu pour un signal sinusoïdal pur est un pic unique à la fréquence fondamentale de 10 MHz. Tout autre composant spectral serait dû à des distorsions ou des harmoniques.

### Réglage de l'analyseur de spectre et mesure de la puissance

L'analyseur de spectre a été réglé pour centrer le signal à 10 MHz et mesurer sa puissance.

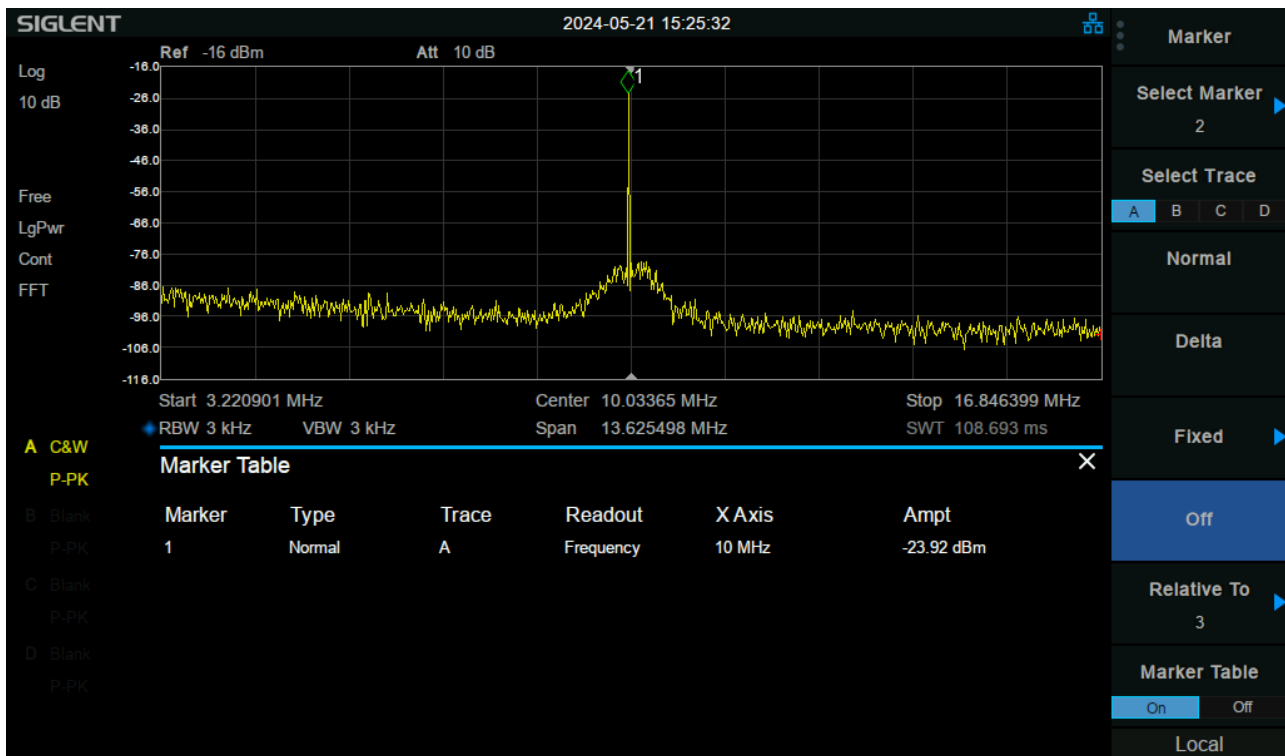


Figure 1.1 – Spectre d'un signal sinusoïdal de 400mV crête à crête à 10 MHz

### Effet des paramètres RBW et VBW

Les paramètres RBW (resolution bandwidth) et VBW (video bandwidth) ont été ajustés pour observer leur effet sur la résolution et la sensibilité du spectre. Un RBW plus faible améliore la résolution mais augmente le temps de balayage, tandis qu'un VBW plus faible réduit le bruit visible sur le spectre.

## 1.4 Analyse d'un signal sinusoïdal de 5V crête à crête

Pour cette partie du TP, un signal sinusoïdal de 5V crête à crête à une fréquence de 10 MHz a été généré et son amplitude a été augmentée progressivement jusqu'à 5Vpp.

### Expliquer le spectre obtenu (ajuster RBW et VBW)

Le spectre obtenu pour le signal sinusoïdal montre un pic principal à la fréquence fondamentale de 10 MHz. En ajustant les paramètres RBW (Resolution Bandwidth) et VBW (Video Bandwidth), on observe que :

- Un RBW plus faible améliore la résolution en fréquence, permettant de distinguer plus finement les composantes spectrales, mais augmente le temps de balayage.
- Un VBW plus faible réduit le bruit apparent sur le spectre, rendant les mesures de puissance plus stables.

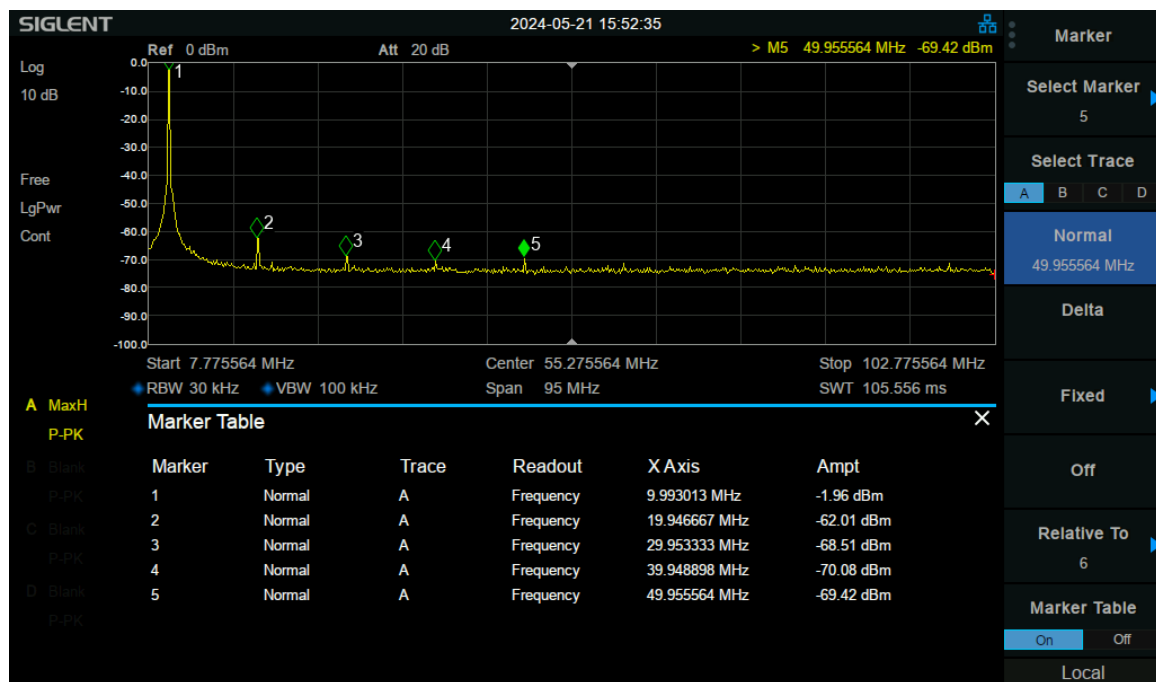


Figure 1.2 – Spectre d'un signal sinusoïdal de 5Vpp à 10 MHz

### Mesure des raies harmoniques

Chaque raie dans le spectre a été mesurée en termes de puissance, atténuation par rapport au fondamental et fréquence. Les résultats sont présentés dans le tableau des marqueurs de l'analyseur de spectre.

Les raies mesurées sont :

- Fondamental : 10 MHz, -1.96 dBm
- 1ère harmonique : 19.946 MHz, -62.01 dBm
- 2ème harmonique : 29.953 MHz, -68.51 dBm
- 3ème harmonique : 39.948 MHz, -70.08 dBm
- 4ème harmonique : 49.956 MHz, -69.42 dBm

### Analyse des raies harmoniques

Toutes les raies observées sont en relation harmonique avec la fréquence fondamentale de 10 MHz. Les amplitudes décroissent avec l'augmentation de la fréquence, ce qui est attendu en raison des pertes et de la dispersion dans le système. Les mesures confirment que les harmoniques suivent la tendance théorique.

En conclusion, l'augmentation progressive de l'amplitude jusqu'à 5Vpp et l'analyse des paramètres RBW et VBW ont permis de caractériser avec précision le spectre du signal sinusoïdal. Les raies harmoniques observées sont conformes aux attentes théoriques et leur atténuation est en accord avec les prédictions.

## 1.5 Analyse des signaux indésirables pour un émetteur à 10 MHz

Pour cette partie du TP, nous avons analysé les signaux indésirables générés par un émetteur à 10 MHz et leur atténuation par rapport au signal principal.

### Identification de la raie indésirable la plus pénalisante

En examinant le spectre d'un signal sinusoïdal de 10 MHz, la raie indésirable la plus pénalisante est celle ayant la plus grande amplitude parmi les harmoniques ou les interférences proches de la fréquence fondamentale. Dans notre cas, les mesures montrent que la raie indésirable à 19.946 MHz a une amplitude de -62.01 dBm, comparée à l'amplitude du signal principal à 10 MHz de -1.96 dBm.

L'atténuation par rapport au signal principal est donc :

$$\text{Atténuation} = -1.96 \text{ dBm} - (-62.01 \text{ dBm}) = 60.05 \text{ dB}$$

### Reprise des mesures avec un signal sinusoïdal de 50 MHz et 5Vpp

Nous avons repris les mêmes mesures avec un signal sinusoïdal de 50 MHz et une amplitude de 5V crête à crête.

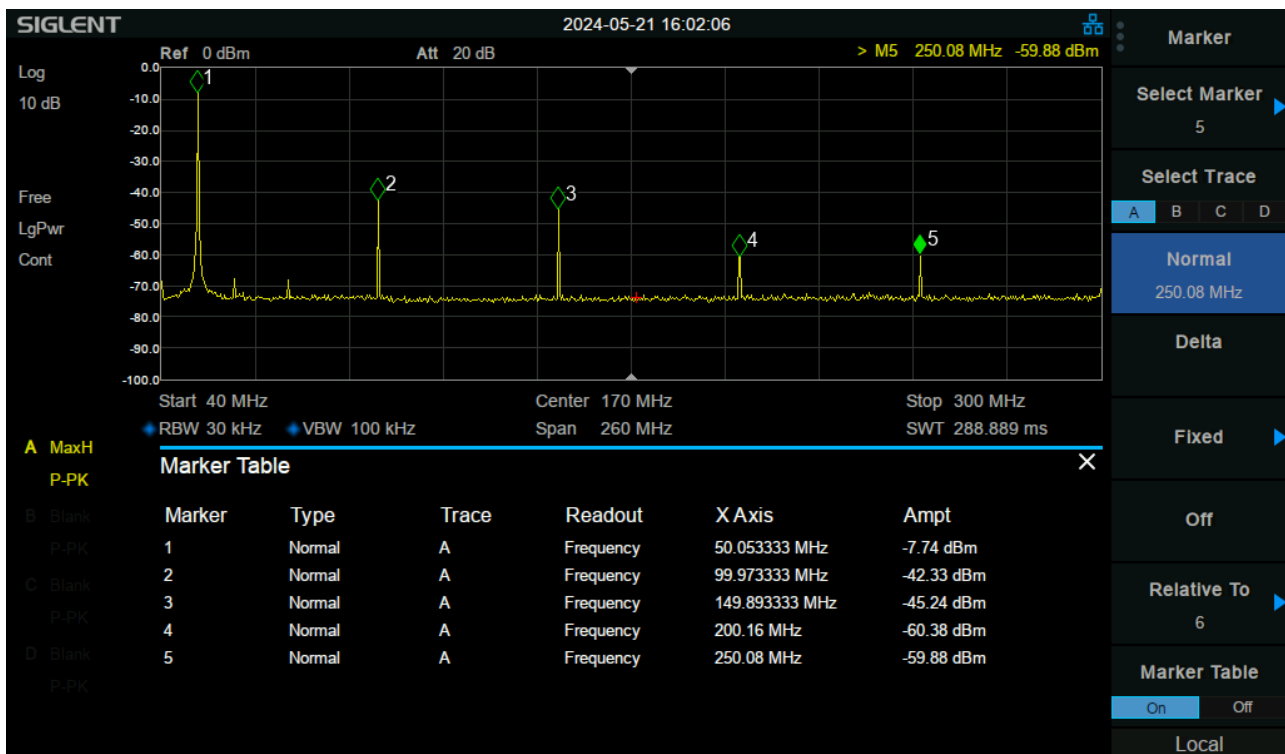


Figure 1.3 – Spectre d'un signal sinusoïdal de 50 MHz et 5Vpp

Les résultats montrent les fréquences et les amplitudes des harmoniques suivantes :



- Fondamental : 50.053 MHz, -7.74 dBm
- 1ère harmonique : 99.973 MHz, -42.33 dBm
- 2ème harmonique : 149.893 MHz, -45.24 dBm
- 3ème harmonique : 200.16 MHz, -60.38 dBm
- 4ème harmonique : 250.08 MHz, -59.88 dBm

## Conclusion

L'analyse des signaux indésirables montre que les harmoniques du signal principal peuvent être significativement atténuées par rapport au signal fondamental. Pour un émetteur, il est crucial de maintenir une atténuation minimale des signaux indésirables pour éviter les interférences et assurer la qualité du signal émis.

## 1.6 Observation d'un signal rayonné

Pour cette manipulation, un signal sinusoïdal de 5V crête à crête avec une fréquence comprise entre 10 et 50 MHz a été généré.

### Observation du signal reçu sur l'analyseur

Le signal reçu a été observé sur l'analyseur de spectre dans la plage de fréquences de 40 MHz à 300 MHz. La figure suivante montre le spectre obtenu :

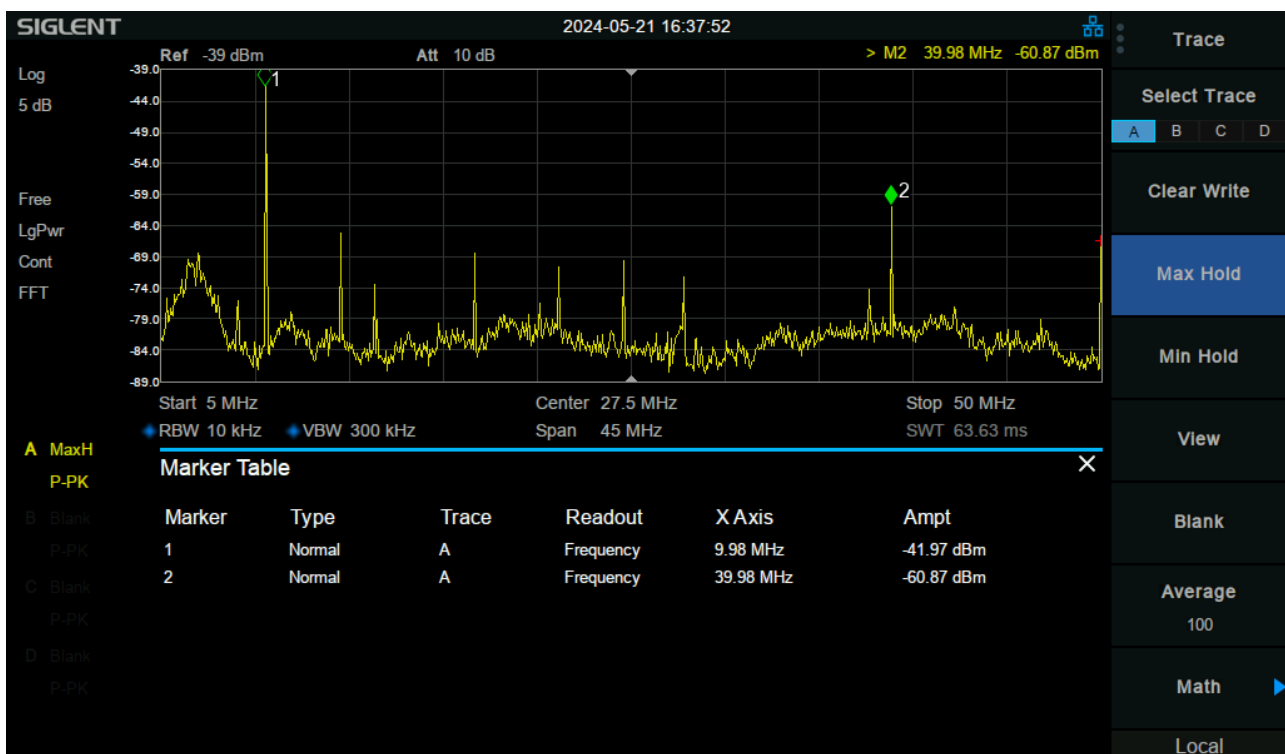


Figure 1.4 – Spectre du signal sinusoïdal de 5Vpp reçu entre 40MHz et 300MHz

### Mesure de la puissance reçue

La puissance des différents pics observés dans le spectre a été mesurée. Le tableau des marqueurs indique les fréquences et les amplitudes des signaux reçus.

### Observation d'autres signaux

En plus du signal principal, d'autres signaux ont été observés dans le spectre. Ces signaux supplémentaires peuvent provenir de diverses sources :

- Interférences électromagnétiques ambiantes
- Harmoniques du signal généré
- Réflexions dues à une mauvaise adaptation d'impédance
- Autres équipements électroniques à proximité

### Conclusion

L'utilisation d'un câble comme antenne a permis de recevoir le signal sinusoïdal généré ainsi que d'autres signaux présents dans l'environnement. Les mesures de puissance ont confirmé les amplitudes attendues, et les observations des signaux supplémentaires ont mis en évidence l'importance de contrôler les interférences et les réflexions dans un environnement RF.