

# Double miliWattmètre RF

Jean-Luc Levant - F4GSC

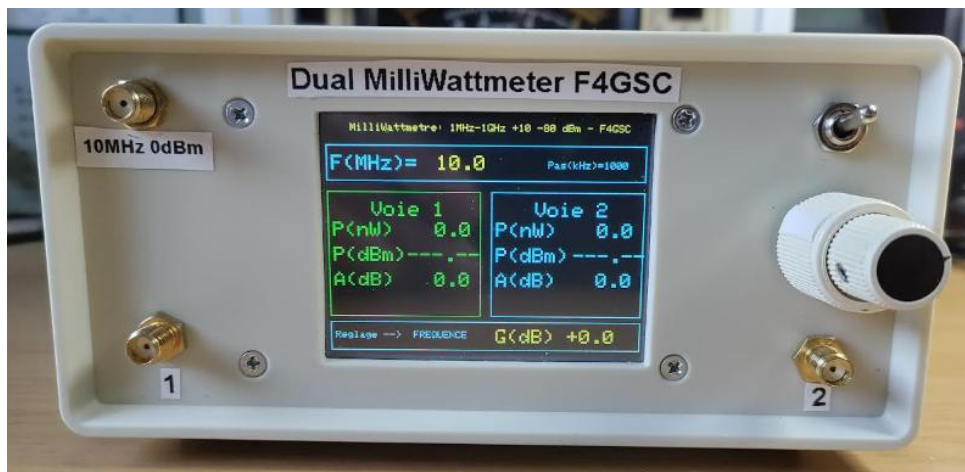


Figure 1. Réalisation du double milliwattmètre.

## Principales caractéristiques du milliwattmètre:

- Tension d'alimentation: USB +5 volts et batterie +3.7 volts;
- Fréquences: 1 MHz à 1 GHz;
- Puissance : -80 dBm à +10 dBm;
- Impédance d'entrée: 50 ohms;
- Sortie de puissance de référence: 0 dBm à 10 MHz;
- Nombre de voies de mesure: 2.

## Utilisation:

- Fréquence de mesure réglable de 1 MHz à 1GHz;
- Pas de fréquence: 0.1, 1,10 et 100 MHz;
- Prise en compte d'un atténuateur extérieur: 0 à -60 dB sur les deux voies par pas de 0.1 dB;
- Affichage de la puissance en watt et dBm;
- Affichage de la différence des deux voies en dB;
- Mémorisation des paramètres de mesure: fréquence, atténuation...;
- Alimentation sur batterie rechargeable par l'interface USB;
- Affichage de la tension de batterie et alerte si la tension devient inférieure à 3.3 v (clignotement 1s);

Les capteurs de puissance de la série AD83XX ont de remarquables performances. Ils permettent de réaliser un milliwattmètre qui n'a rien à envier à certains équipements professionnels et pour un prix très inférieur. Bien sûr, pour obtenir une mesure précise il est nécessaire de le calibrer avec un générateur RF de référence. L'Ecole Supérieure d'Electronique de l'Ouest (ESEO) m'a gentilement prêté un équipement pour calibrer cette réalisation.

## Réalisation

La réalisation est montrée sur les figures ci-dessous. La carte Arduino Nano ainsi que les quelques composants nécessaires au fonctionnement sont montés sur une carte d'essai.

L'ensemble est fixé par deux vis sur la platine de l'afficheur dont une en laiton est soudée à la carcasse métallique de la carte mémoire.

Une deuxième petite carte d'essai à gauche reçoit le codeur rotatif. Les deux cartes AD8307 sont installées de part et d'autre de la carte Arduino et sont fixées par le connecteur SMA sur la face avant. L'oscillateur 10 MHz de référence, en haut à droite, est fixé sur la face avant par l'intermédiaire de son connecteur SMA.

Note: Il se peut que les connecteurs SMA ne soient pas assez longs. Dans ce cas, il suffira de les dessouder et de les remplacer par des connecteurs pour circuit imprimé qui sont plus longs.

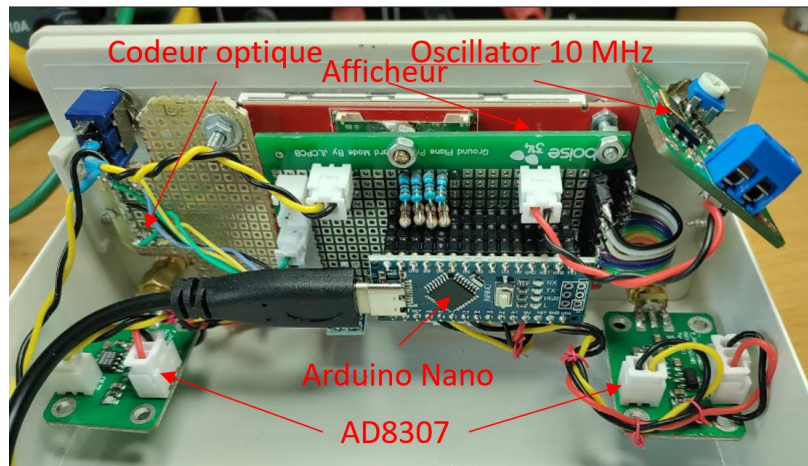


Figure 2. Vue de l'intérieur côté face avant.

L'ensemble de ces cartes est alimenté à partir d'une tension +9 volts fournie par la carte élévatrice de tension qui reçoit le +3.7 volts de la batterie. Cette dernière est alimentée par le module de contrôle charge qui est connecté au +5 volts de la prise USB.

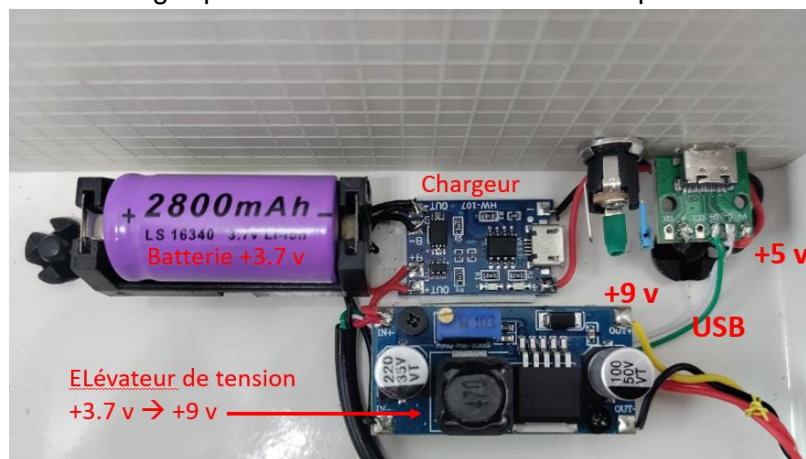


Figure 3. Vue de l'intérieur côté face arrière.

Il faut impérativement régler la tension à +9 volts avant de connecter l'alimentation aux différents modules. Sans ce réglage, l'alimentation peut fournir +32 volts!!!

La programmation de l'Arduino se fait par le câble USB-C connecté sur le connecteur de la face arrière.

## Description

Le schéma de la figure ci-dessous montre l'architecture de ce milliwattmètre.

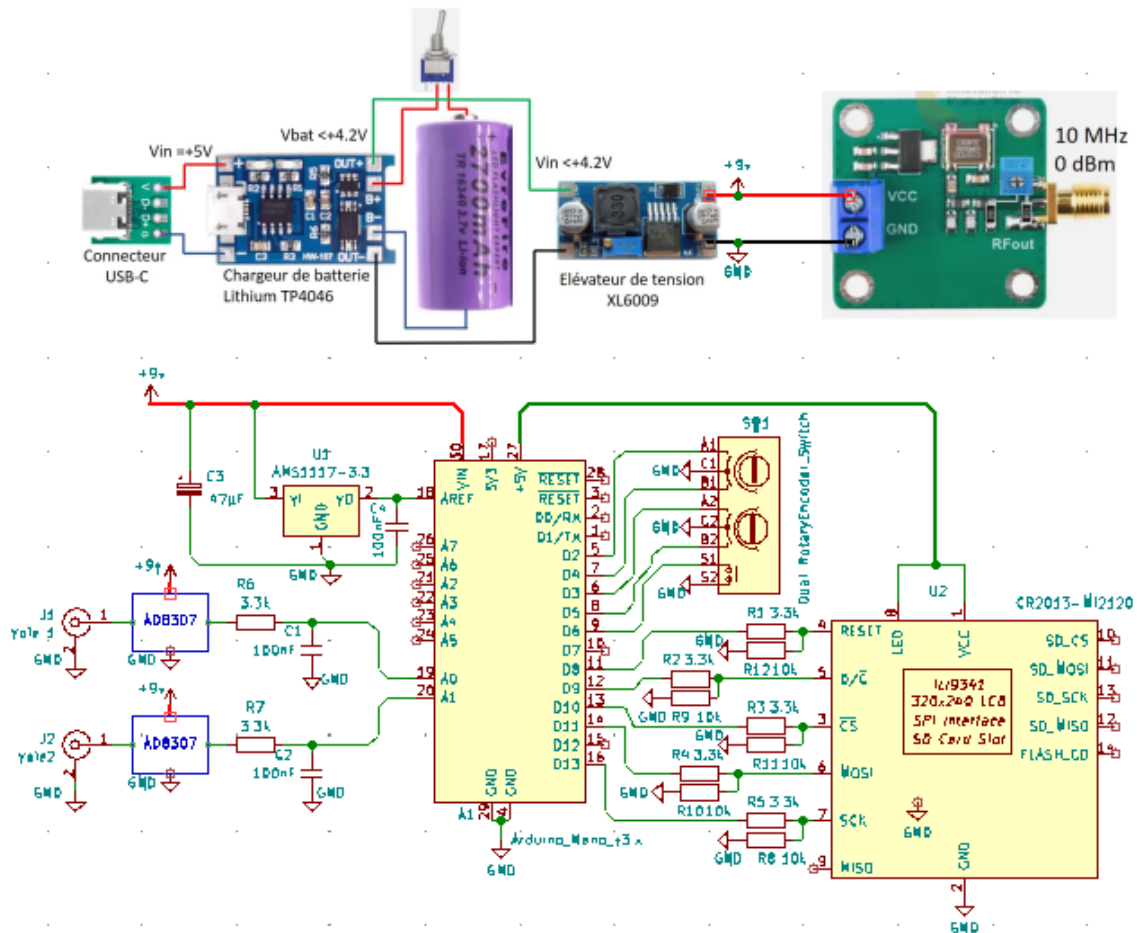


Figure 4. Schéma du double milliwattmètre.

Un microcontrôleur Arduino Nano assure la gestion de ce milliwattmètre constitué de :

- Deux sondes AD8307;
- Un afficheur graphique TFT 320x240-ILI9341;
- Un double codeur optique avec bouton poussoir.

Il est alimenté par une tension continue +9 volts appliquée directement sur l'entrée Vin du Nano et sur les deux modules AD8307. Ces derniers possèdent leur propre régulateur interne +3.3 volts. A partir de ce +9 volts, le Nano Arduino régénère du +5 volts ce qui permet d'alimenter l'afficheur. Ces entrées ne supportent que des signaux +3.3 volts. Le Nano Arduino sort des signaux avec un état haut égal à +5 volts (RESET,D/C,CS,MOSI et SCK). Un diviseur résistif (3.3 kOhms et 10 kOhms) permet d'abaisser ceux-ci à +3.3 volts et d'adapter les niveaux à ce composants.

Un filtre passe-bas est inséré entre la sortie des sondes AD8307 et les entrées analogiques (A0 et A1). Il permet d'éviter les remontées du plancher bruit qui est essentiellement dues à l'échantillonnage (repliement du spectre).

Une source tension de référence de +3.3 volts est connectée sur l'entrée AREF. Elle assure la stabilité de la conversion analogique/numérique et joue un rôle important dans la précision de la mesure.

### Caractéristiques de l'AD8307

Cette sonde a été choisie pour sa grande dynamique (+90 dB) et pour sa bande passante adaptée à mon utilisation (< 1GHz). Cette sonde fournit une tension, **V<sub>out</sub>**, qui est l'image de la puissance appliquée à son entrée. C'est ce que montre la figure ci-dessous.

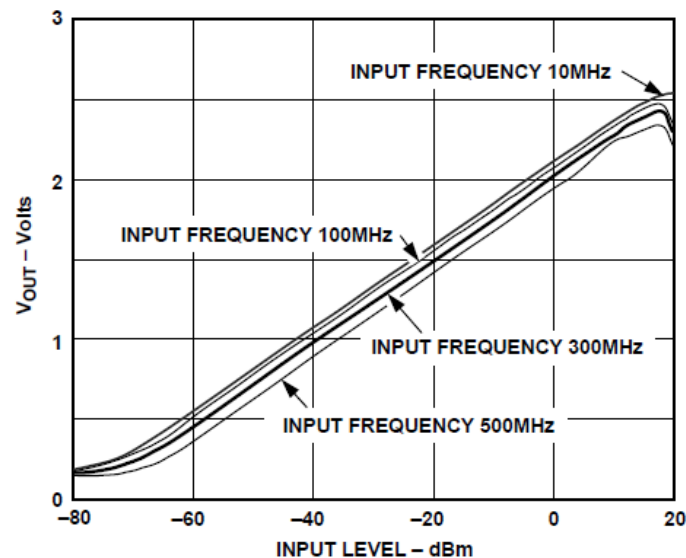


Figure 5. Fonction de transfert de **V<sub>out</sub>** en fonction de la puissance d'entrée.

Nous pouvons remarquer la bonne linéarité de la sonde entre -70 et +10 dBm et que la tension fournie par la sonde est dépendante de la fréquence. Sa fréquence est d'après la notice du fabricant limitée à 500 MHz mais elle peut encore fonctionner jusqu'à 1 GHz avec une dynamique un peu dégradée. De même sa puissance d'entrée peut être poussée jusqu'à -80 dBm. Ces deux limitations sont contournées à partir d'un calibrage exhaustif.

### Calibrage

Le calibrage est réalisé à partir d'un générateur RF de référence dans les conditions suivantes:

- 10 points de fréquence: 1, 10, 50, 100, 145, 300, 435, 600, 800 et 1000 MHz;
- 9 points de puissance: +10, +5, 0-10, -30, -60, -70, -75 et -80 dBm;

Cela fait beaucoup de points à prélever mais c'est aussi ce qui garantit la précision de la mesure et ceci sur une large plage de fréquences et de puissances.

Une fonction d'interpolation générée avec l'assistance de l'IA permet de calculer la puissance à partir de la tension fournie par la sonde AD8307 et la fréquence de mesure sélectionnée par l'utilisateur;

## Oscillator de référence 10 MHz / +0 dBm / 50 ohms

Cette sortie 10 MHz a été ajoutée pour tester rapidement le fonctionnement du milliwattmètre. Cette carte coûte quelques euros sur les sites marchands habituels (< 3€). La puissance de sortie est de 13 dBm sous 50 ohms.

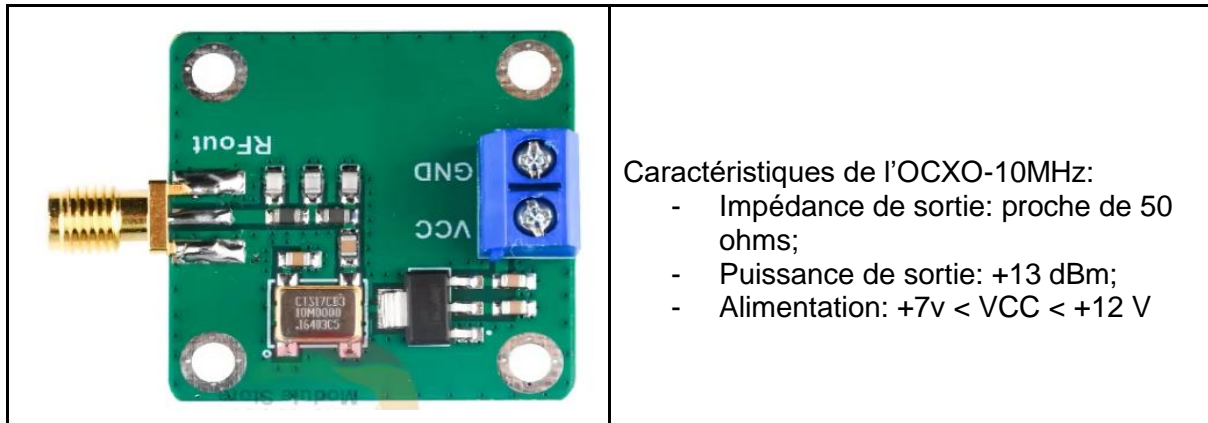


Figure 6. Oscillator de référence 10 MHz.

La sortie est connectée à l'entrée du milliwattmètre pour vérifier la puissance de l'oscillateur est de +10 dBm soit -3 dBm que spécifiée.



Figure 7. L'oscillateur OCXO 10 MHz fournit +10 dBm sous 50 ohms.

Pour ne pas surcharger la sonde du milliwattmètre, la puissance de l'oscillateur de référence est limitée à +0 dBm. Il est donc nécessaire d'insérer un atténuateur de +10 dB entre la capacité connectée sur l'âme du connecteur et celui-ci. Pour cela la connexion est coupée et enlevée contre le montre la figure ci-dessous.

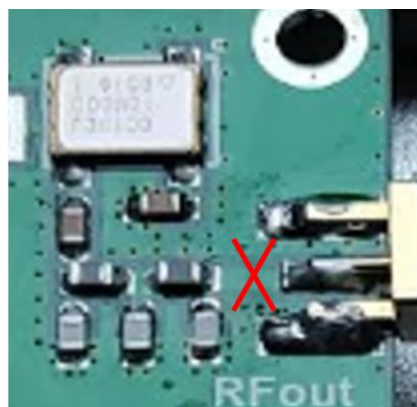




Figure 8. L'atténuateur est inséré entre la capacité et l'âme du connecteur SMA.

L'outil Attenuator Synthesis de uSimmics (Qucs Studio) est utilisé pour déterminer les valeurs des résistances de l'atténuateur en PI et pour une atténuation cible de +10 dB.

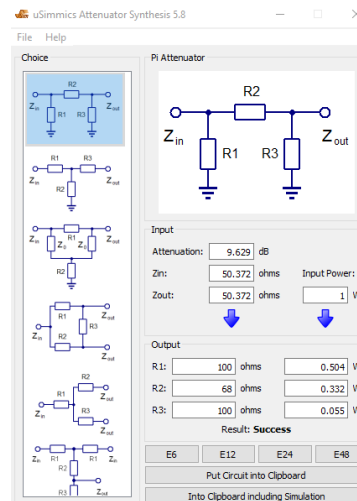


Figure 9. L'outil Attenuator Synthesis de uSimmics (Qucs Studio).

Les valeurs des résistances sont choisies à partir de la série normalisée E6. Dans ces conditions, l'atténuation est de -9.63 dB. Comme l'impédance sortie n'est pas 50 ohms, la résistance R2 de 68 ohms est remplacée par une résistance ajustable de 100 ohms pour permettre le réglage du niveau de sortie à 0 dBm.

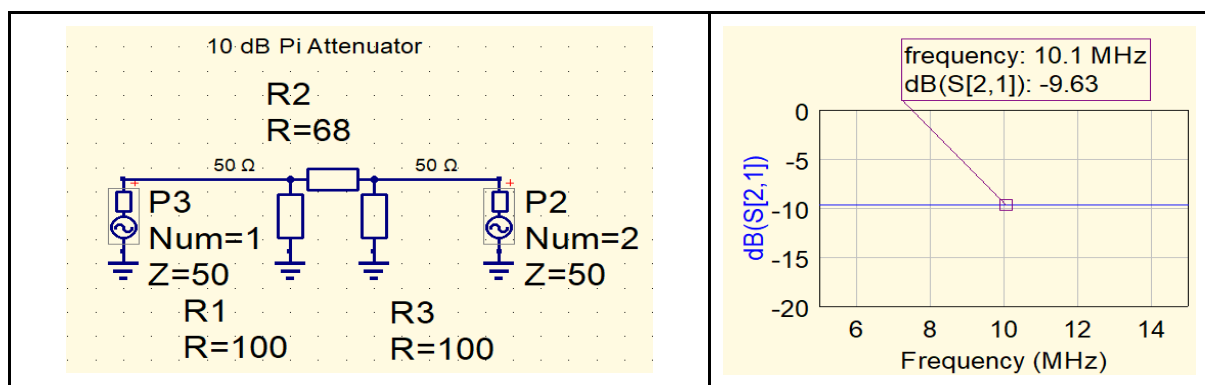


Figure 10. La résistance de 68 ohms est remplacée par une de 100 ohms. L'atténuation devient réglable.

Les trois résistances sont installées sur la carte de la sonde comme indiqué sur la figure ci-dessous.

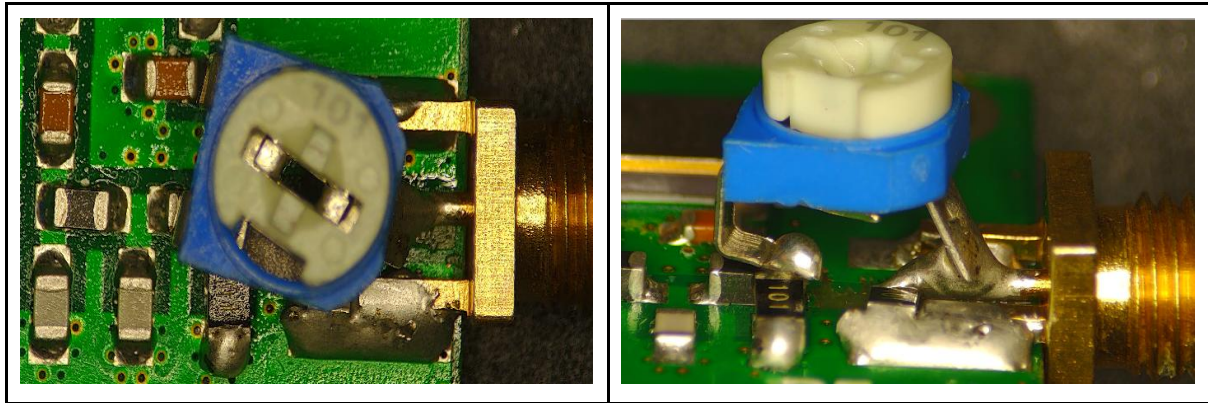


Figure 11. Mise en place des trois résistances de l'atténuateur.

Après réglage de la résistance ajustable, la puissance de sortie est bien de 0 dBm. Il faudra attendre quelques minutes pour que l'oscillateur soit stabilisé et procéder au réglage de la puissance.



Figure 12. Après réglage, la puissance de sortie calibrée sous 50 ohms est 0 dBm.

## Programme

Ce programme a été développé avec la plateforme Arduino IDE 2.3.6 et avec l'aide de l'IA ChatGpt 5.0. Le programme zippé est téléchargeable depuis ce lien.

Je ne vais pas commenter tout le programme, cela serait trop fastidieux. Pour les curieux il est possible de copier et coller celui-ci dans une IA qui commentera les différentes fonctionnalités.

Je vais juste présenter la partie calibrage, là où se trouve les données mesurées à partir d'un générateur RF de référence connecté sur l'entrée de mesure.

Ces données de calibrage se trouvent dans le fichier "RF\_PowerMeter.cpp" qui se trouve dans le dossier "Librairies\RF\_PowerMeter".

La description présentée ci-dessous est valable pour la sonde de la voie une. Le principe reste le même pour la deuxième voie.

Un premier tableau précise la liste des dix fréquences pour lesquelles le calibrage de la tension a été fait, ici de 1 MHz à 1GHz.

```
const int RF_PowerMeter::FREQ_TABLE[NB_POINTS_F] = {1,10,50,100,145,300,435,600,800,1000};
```

Un deuxième tableau précise la liste des neufs puissances exprimées en dBm pour lesquelles le calibrage a été réalisé, -80 dBm à +10 dBm.

```
const float RF_PowerMeter::Pinc[NB_POINTS] = {10, 5, 0, -10, -30, -60, -70, -75, -80};
```

Il est donc possible d'adapter ces données pour accepter une autre sonde en modifiant, en ajoutant ou en supprimant les mesures.

Le troisième tableau liste les tensions mesurées et fournies par la sonde AD8307 et ceci pour chacune des dix fréquences et des neufs puissances. Ci-après un exemple est donné pour les trois fréquences un, dix et cinquante MHz.

```
const float RF_PowerMeter::Vm_1MHz_SONDE1[NB_POINTS] = {2.509, 2.385, 2.258, 2.010, 1.492, 0.737, 0.484, 0.368, 0.282};
```

```
const float RF_PowerMeter::Vm_10MHz_SONDE1[NB_POINTS] = {2.493, 2.367, 2.239, 1.990, 1.480, 0.725, 0.470, 0.354, 0.274};
```

```
const float RF_PowerMeter::Vm_50MHz_SONDE1[NB_POINTS] = {2.479, 2.345, 2.215, 1.965, 1.468, 0.723, 0.483, 0.370, 0.280};
```

Là encore ces données sont à adapter si une sonde différente est utilisée.

La fonction "*float RF\_PowerMeter::calculatePowerAtFreq(float voltage, int freq*)" renvoie la puissance en dBm à partir de la mesure de la sonde et de la fréquence sélectionnée par l'utilisateur.

Le programme pilote un afficheur dont le contrôleur graphique est un ILI9341. si ce n'est pas le cas, il faudra adapter la librairie au contrôleur de votre afficheur.

## Conclusions

Une fois calibré, ce milliwattmètre double voies possède d'excellente caractéristiques qui n'a rien à envier aux équipements professionnels et pour un coût de quelques dizaines d'euros seulement.

## Références

Pour obtenir des informations sur les modules, il suffit de copier et coller dans un moteur de recherche les références ci-dessous:

- **XL6009 DC-DC Booster Module Power Supply Module output adjustable Super LM2577 step-up Module**
- **TP4056 Lithium Battery Charger Module 1A Portable Battery Charger Panel Type C 4.5V-5V for Lithium Batteries**
- **Signal Source Module 10MHz RF Signal Generator Board 13dBm 20mW PCB Signal Source Module for Industry Home Factory**