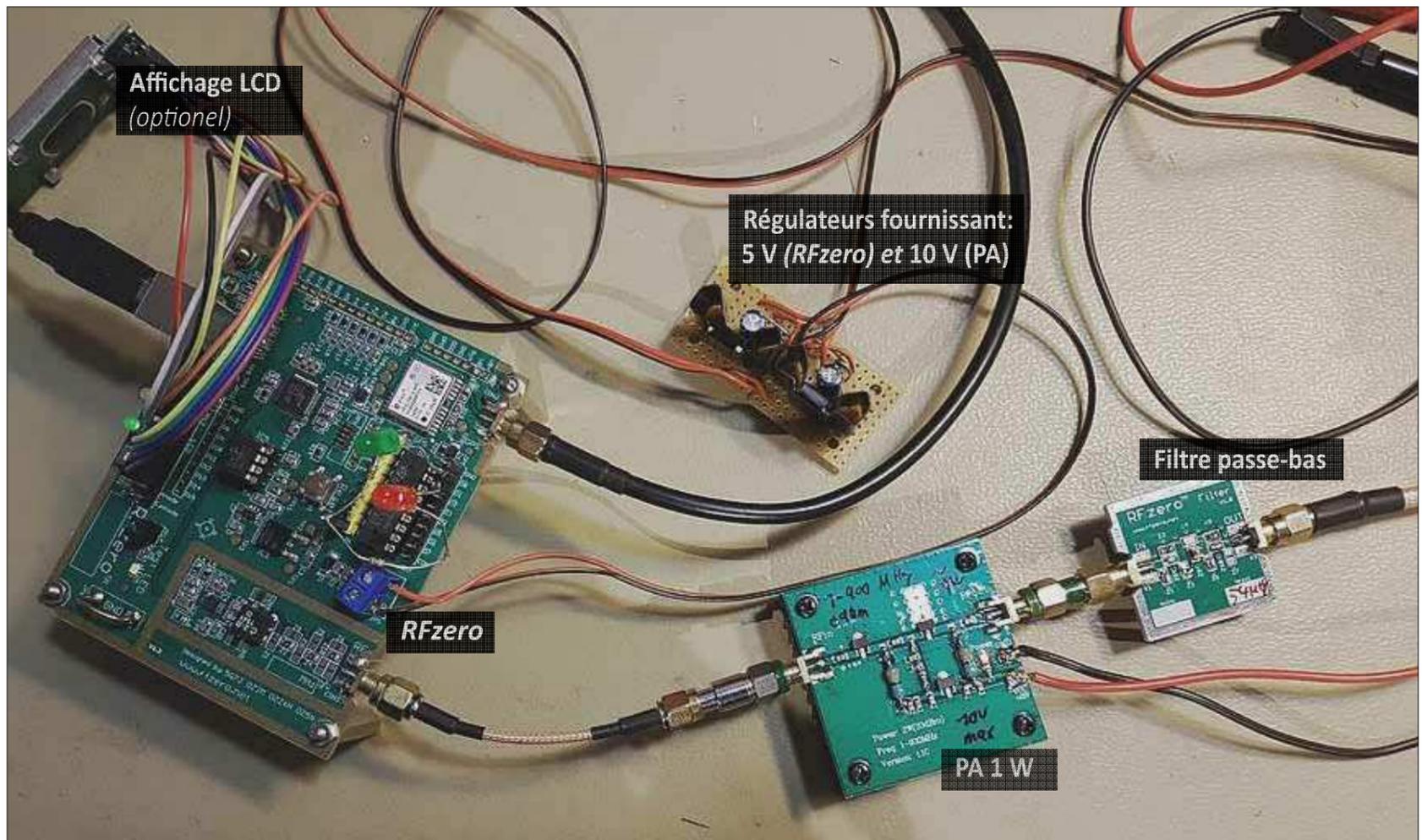


Filtre passe-bas pour module RF-Zero

Yves Oesch HB9DTX (yves@yvoesch.ch)



Introduction

Le module RFzero est un petit synthétiseur RF très intéressant. Il a les caractéristiques suivantes:

- Signal de sortie entre 400 kHz et plus de 200 MHz
- Niveau de sortie max +13 dBm
- Module GPS uBlox pour correction automatique de l'erreur de fréquence
- Architecture software Arduino

L'équipe de conception autour de Bo, OZ2M fournit toute une série de logiciels permettant de configurer sans effort cette plateforme pour différents usages, tels que:

- Balise porteuse seule, CW, FST4, FT8, JS8, JT9, PI4
- Transmetteur WSPR
- Compteur de fréquence
- 10 MHz de référence pour synchronisation des appareils RF de laboratoire
- VFO

Le niveau de sortie du RFzero (maximum +13 dBm = 20 mW ou l'un des 3 autres niveaux inférieurs que l'on peut programmer) est un peu faible pour l'utiliser sur l'air en VHF. Je lui ai donc adjoint un petit PA (Power Amplifier) de 1 W, trouvé sur un site de vente en ligne. Pour être complet j'ai encore inséré un atténuateur 3 dB entre le module et le PA, pour ne pas dépasser le niveau max autorisé par le PA, et j'ai configuré le niveau de puissance minimum soit environ 5 dBm.

Le module peut être commandé en ligne pour quelques dizaines de francs sur le site <https://RFzero.net>. Si vous souhaitez exploiter ce module sur l'air, pensez à acheter en même temps un circuit imprimé filtre passe-bas par bande de fréquence que vous projetez d'utiliser. Le dimensionnement d'un de ces filtres est l'objet de cet article.

Introduction au WSPR (Weak Signal Propagation Reporter)

Pour l'instant j'ai utilisé mon RFzero surtout en tant que transmetteur WSPR. Pour faire des essais sur 50 MHz principalement. Le WSPR n'est pas à proprement parler un mode destiné à faire des contacts. C'est un mode « balise ». Il sert à étudier la propagation. L'idée est de transmettre des trames longues de 110 secondes, contenant très peu d'information. Sont transmis: l'indicatif, le locator (4 premiers digits seulement) et la puissance RF. Le tout compressé sur 50 bits et envoyé dans un encodeur convolutif. Il en ressort un signal qui peut

théoriquement être capté jusqu'à -34 dB en dessous du bruit (calculé sur une largeur de bande de référence d'un canal SSB de 2500 Hz). La largeur de bande de l'émission est très faible: 6 Hz environ.

Toutes les stations QRV en WSPR sur une bande transmettent autour d'une même fréquence. Sur 6m la fréquence utilisée est 50.2945 MHz \pm 100 Hz. Les transmissions sont synchronisées sur les minutes paires UTC. En pratique la transmission débute à chaque minute paire + 1 seconde UTC (... , 12h 00' 01", 12h 02' 01", 12h 04' 01",...) Comme une trame dure 110 secondes, elle sera terminée quelques secondes avant le début de la période suivante. C'est suffisant pour que les récepteurs puissent procéder au décodage avant la trame suivante. Pour éviter quelque peu les collisions, en plus de programmer une différence de fréquence minime entre les stations, il est recommandé de n'émettre que 20 % du temps. Donc à chaque minute paire, l'émetteur va tirer au sort un nombre aléatoire, disons entre 0 et 1. Il n'émettra au cours de la période suivante que si ce nombre est inférieur à 0.2. Sinon il restera en stand-by. Si la station dispose d'un récepteur, alors elle profitera d'écouter la fréquence pour tenter de décoder des trames venant d'autres stations pendant les périodes de 2 minutes où elle n'est pas en TX.

A noter que le *RFzero* n'est qu'un émetteur. Il ne peut pas recevoir et reste donc simplement en stand-by 80 % du temps quand il est configuré selon les recommandations. Mais pour faciliter les tests on peut le faire émettre à chaque créneau de 2 minutes. Dans ce cas, il est en émission quasiment constante.

Pour les stations capable de RX, quand une ou plusieurs trames sont reçues, elles sont envoyées dans une base de données centralisée sur internet qui permet ensuite de faire des études sur la propagation sous forme de cartes ou autres. Cette base de donnée est accessible via différents sites comme par exemple:

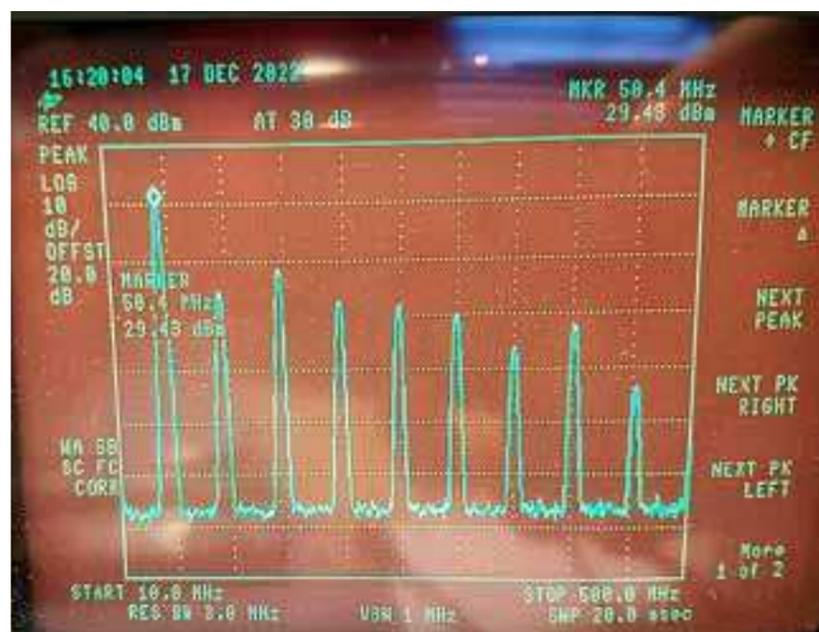
<http://www.wsprnet.org/drupal/wsprnet/spotquery> ou <http://wspr.rocks/livequeries/>

Si vous utilisez le logiciel WSJT-X de K1JT, vous pouvez très facilement expérimenter le WSPR. Ce mode est disponible dans le logiciel. Attention toutefois à ne mettre que peu de puissance, pour ne pas faire chauffer votre émetteur (puissance crête en permanence pendant 110 secondes) et surtout pour ne pas dénaturer le but de ce mode qui est d'expérimenter la propagation des signaux faibles.



Importance du filtre passe-bas

Revenons à notre RFzero. Si l'on mesure directement le spectre à la sortie du PA de ce petit émetteur (sans filtre donc) configuré pour émettre sur 50.3945 MHz, on voit la figure suivante:



Spectral lines level [dBm]									
	Harmonic 1 (fundamental)	2	3	4	5	6	7	8	9 Remark
Configuration	50.3	100.6	150.9	201.2	251.5	301.8	352.1	402.4	452.7 [MHz]
RF0 3dB PA	29.5	14.2	18.7	12.5	11.6	10.1	4	7.7	-3.7

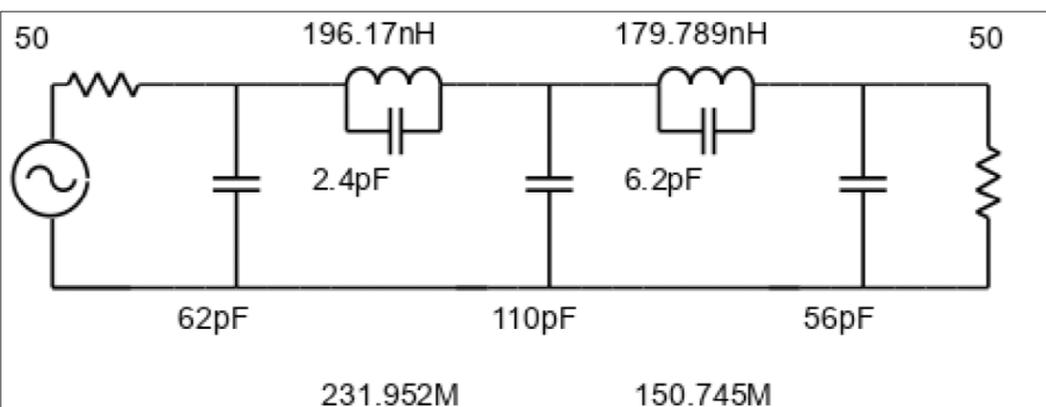
C'est pas génial... La puissance sur 50 MHz est bien de l'ordre de 1 W (30 dBm). Mais on voit surtout les différentes harmoniques. Ces rayonnements «non essentiels» ont un niveau trop élevé pour pouvoir utiliser l'émetteur directement sur une antenne. **Il faut donc absolument les supprimer.**

Pour ce faire on utilise un filtre passe-bas. Sa fonction: laisser passer le signal à 50 MHz le mieux possible, tout en rejetant au maximum toutes les autres raies spectrales.

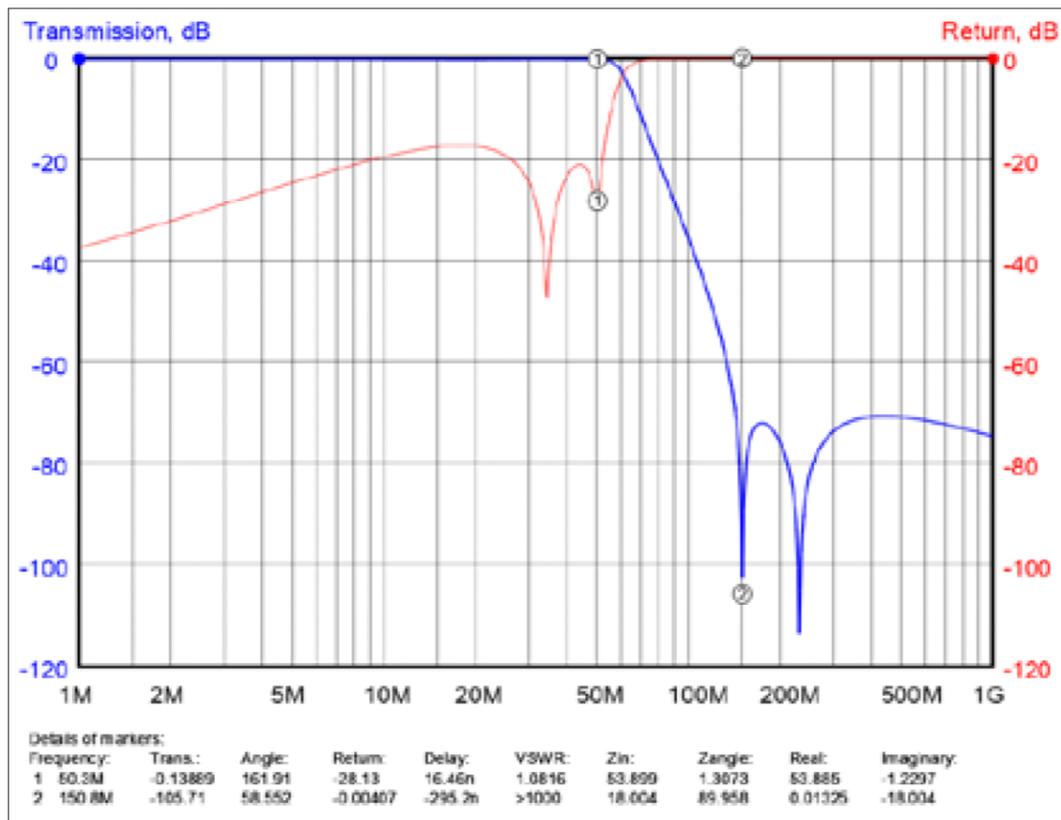
Dimensionnement du filtre

Sur le site <https://RFzero.net/shop/> on peut aussi acheter des PCB pour implémenter un filtre qui corresponde à notre application. Certaines valeurs de composants sont d'ailleurs directement proposées pour les bandes de fréquences classiques. Mais pour comprendre ce que l'on fait, rien ne vaut une petite simulation. Il existe plusieurs programmes de dimensionnement de filtres. J'ai utilisé ELSIE (pour «LC» prononcé en anglais) source: <http://tonnesoftware.com/elsie.html>

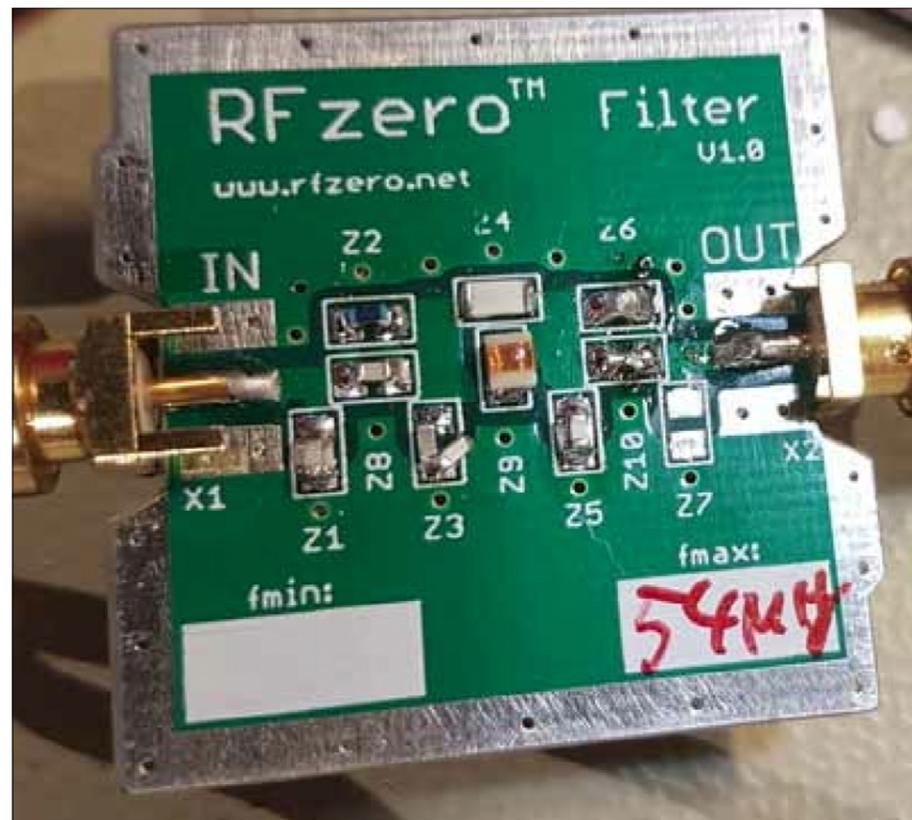
J'ai jeté mon dévolu sur un filtre Caer d'ordre 7 avec fréquence de coupure à 54 MHz. Le programme m'a proposé cette structure:



Ayant la réponse en fréquence suivante (voir p. 32):



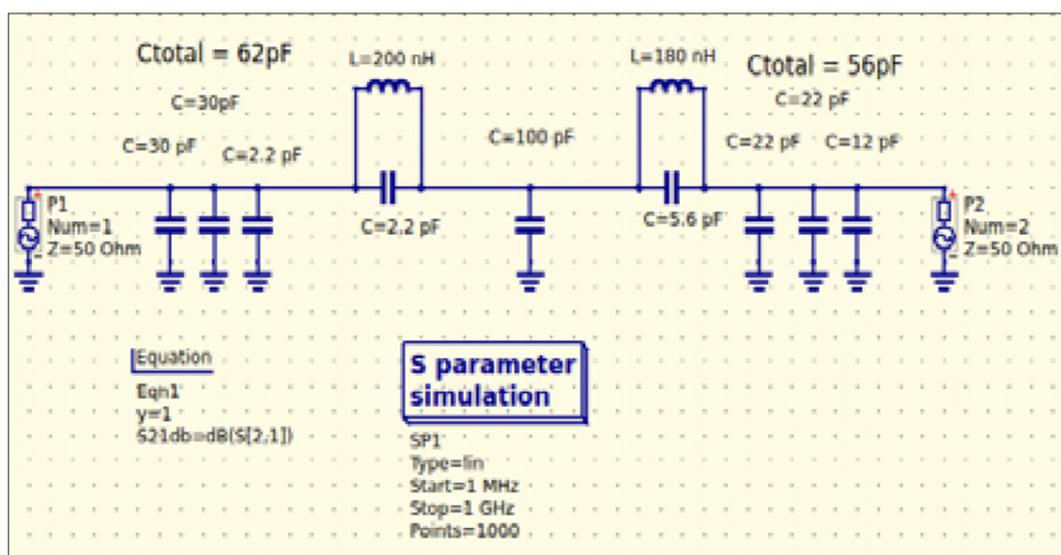
Le filtre monté sur un PCB a l'allure suivante:



105 dB de réjection de l'harmonique 3, ça devrait suffire... Mais ça c'est la théorie: les valeurs des composants sont particulières, les pertes et les couplages parasites ne sont pas pris en compte. Voyons donc qu'on peut obtenir en pratique.

Prototypage

N'ayant pas toutes les valeurs possible des composants SMD sous la main et pas envie de faire une commande de matériel juste pour ça, je me suis limité à ce que était disponible dans les tiroirs c'est à dire pas grand chose. Conseil: on peut facilement mettre des composants SMD en parallèle, surtout les condensateurs. Il suffit de les monter «les uns sur les autres». Finalement le résultat approché est le suivant:

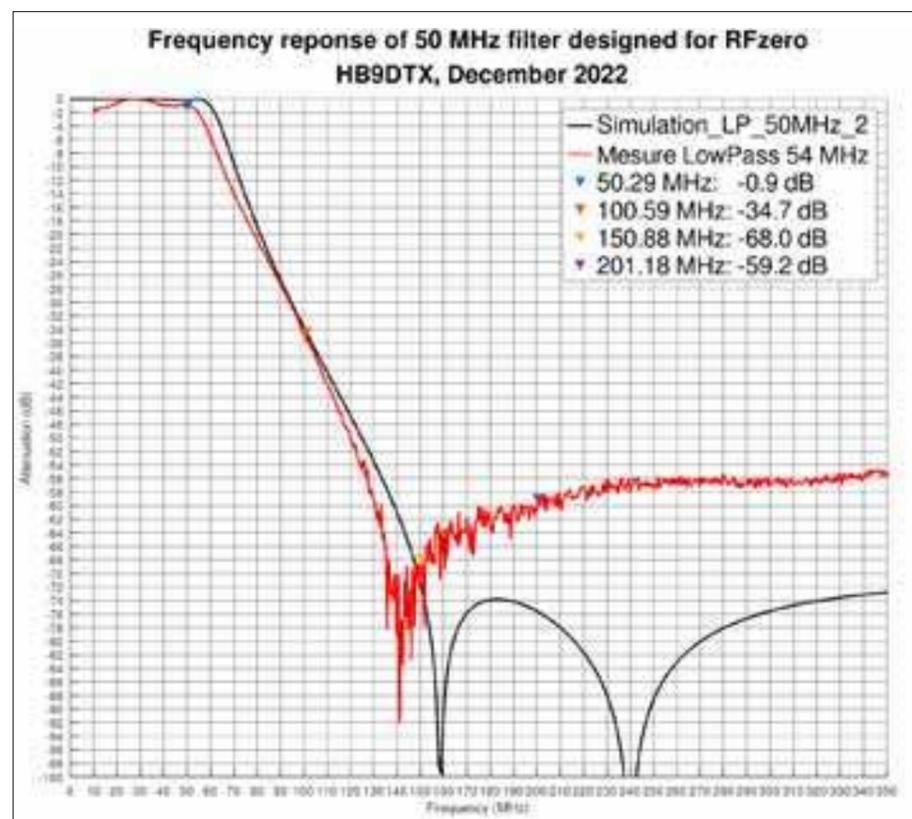


Note: la simulation est faite ici en utilisant un autre logiciel gratuit: QUCS.

Les capacités viennent de la série AVX 06035A, sauf la 5.6 pF qui est une 1206A. Les inductances: 200 nH Murata LQW18ANR2; 180 nH Stetner 5130. Note: un des condensateur en position Z3 est déconnecté, c'est normal, c'était juste un essai.

Comparaison simulation et mesure

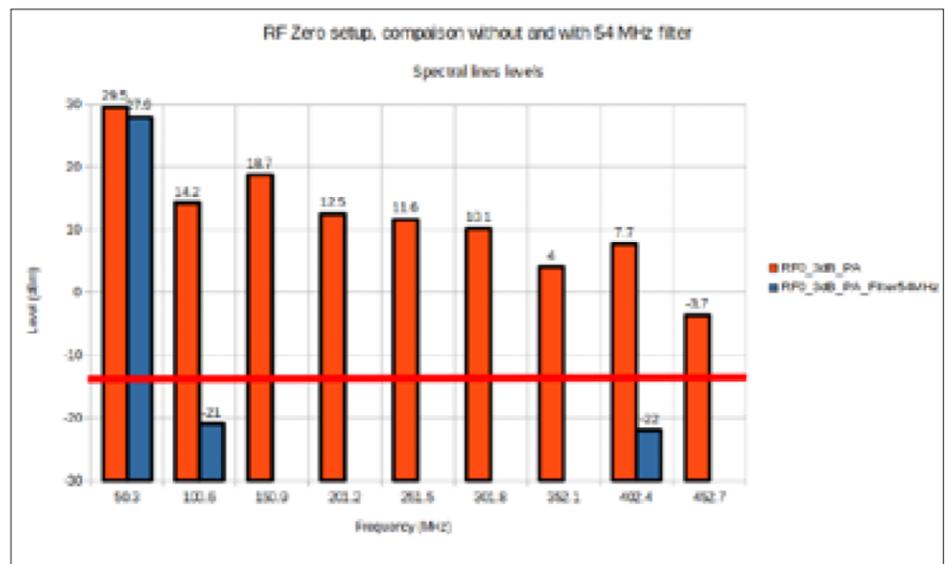
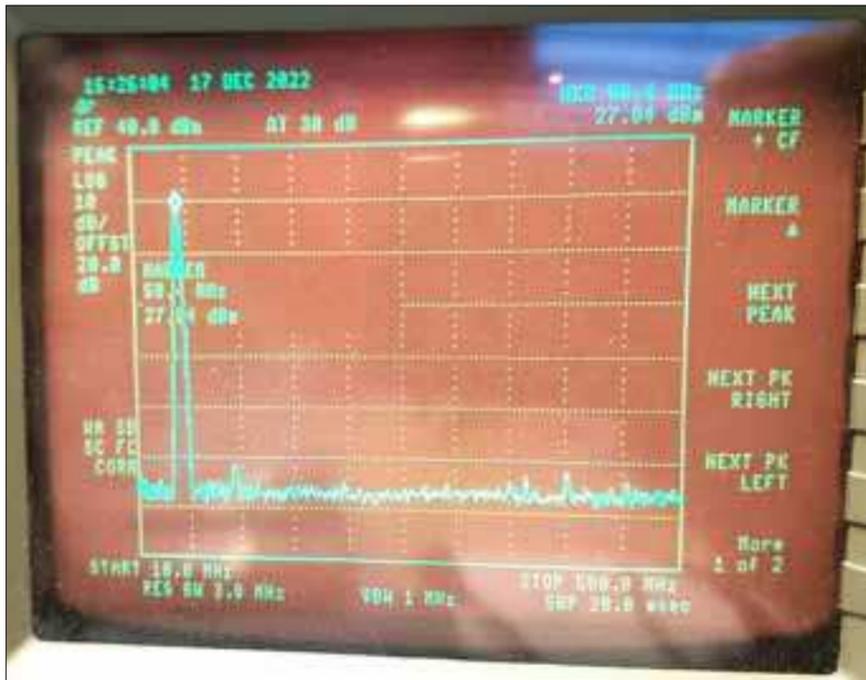
En jouant un peu avec le logiciel Octave pour mettre en forme les courbes de simulation et de mesure sur un même graphique et pour ajouter des marqueurs aux différentes fréquences harmoniques, on obtient la figure suivante:



La perte d'insertion est certainement due au fait que les composants utilisés sont de petite taille (surtout les inductances) et on voit également l'effet des couplages parasites sur le PCB pour les fréquences en dessus de 150 MHz environ.

Spectre avec filtre

Si on mesure à l'analyseur le spectre de l'émetteur avec ce filtre (ce qui correspond au montage de la première photo de cet article), on obtient ce résultat:



On voit donc que sans filtre, TOUTES les harmoniques sont en dessus de la limite, alors qu'avec le filtre, il n'y a plus de problème.

HamGroup-Diskussion "VHF UHF SHF Microwaves"
www.hamgroups.ch/VHF_UHF_SHF_Microwaves

Spectral lines level [dBm]										
	Harmonic	1 (fundamental)	2	3	4	5	6	7	8	9 Remark
Configuration		50.3	100.6	150.9	201.2	251.5	301.8	352.1	402.4	452.7 [MHz]
RF0_3dB_PA_Filter54MHz		27.0	-21						-22	Good enough

	1 (fundamental)	2	3	4	5	6	7	8	9 Remark	
Difference with-without Filter 54 MHz [dB]		-1.6	-35.2						-29.7	

On perd 1.6 dB sur la fondamentale. C'est pas génial mais probablement dû à la petite taille des composants utilisés et au fait que le PA n'est pas chargé 50 Ω sur toute la bande y compris les harmoniques. L'important c'est surtout que les harmoniques sont supprimées à des niveaux très bas ce qui est le but recherché.

Comparaison avec la norme ETSI 301 783

Selon le document de l'OFCOM *Service de radioamateur*, prescriptions, édition du 21.1.2019, Les équipements radioamateurs sont tenus de respecter la norme ETSI EN 301 783.

5.2.3 Limits

The power of any spurious emission, occurring outside the exclusion band centered on the frequency on which the transmitter is intended to operate, shall not exceed the values given in tables 6 and 8 with the transmitter operating and tables 7 and 9 with the transmitter in standby mode.

14 ETSI EN 301 783 V2.1.1 (2016-01)

Table 6: Antenna port limits in transmit mode

Frequency range or operating mode	Test Limits	Remarks
Mobile SSR equipment	-43 dBc	
Below or equal to 30 MHz	$-(43 + 10 \times \log(\text{PEP}))$ or -50 dBc whichever is higher	
Above 30 MHz	$-(43 + 10 \times \log(\text{PEP}))$ or -70 dBc whichever is higher	(see note)

NOTE: For measurement at frequencies greater than 40 GHz no test limits are specified.

Dans notre cas, avec une puissance sur la porteuse de 1 W (arrondi à la hausse), soit +30 dBm, $10 \times \log(\text{PEP}) = 0$. Le niveau maximum tolérable pour les harmoniques est donc de -43 dBc, ou en puissance absolue: +30 dBm - 43 dBc = -13 dBm = 50 μW.

En reportant les deux mesures sans et avec filtre dans le même graphique pour toutes les harmoniques on obtient:

Diminution du gain du PA

Arrivé à cette étape j'ai constaté que l'aiguille d'un wattmètre inséré dans la ligne d'antenne décollait légèrement (quelques dizaines de mW) quand l'émetteur était en pause... Une observation fine à l'analyseur de spectre a montré que la source de ce signal parasite était l'horloge du RFzero à 27 MHz. Le PA a bien assez de gain, car il est composé de 2 étages. En supprimant le transistor du premier étage (remplacé par un simple fil) et en augmentant le niveau de sortie du RFzero en position 8 mA (+13 dBm) tout en gardant l'atténuateur de 3 dB entre les deux, ce phénomène disparaît. A noter que les niveaux de la fondamentale et des harmoniques ne changent pas significativement. C'est donc cette configuration qui est retenue finalement.



Alimentation

Le *RFzero* s'alimente en 5 V, le PA en 10 V. Il est recommandé de ne pas dépasser cette valeur pour éviter la destruction prématurée du PA. Ces PAs de source inconnue sont un peu fragiles. L'utilisation de régulateurs linéaires de type 7805 et 7810 en boîtiers TO-220 sur une plaquette d'expérimentation type veroboard fait l'affaire. Penser à mettre des petits radiateurs sur les boîtiers des régulateurs. Les consommations sont de l'ordre de 100 mA sur le 5 V et 350 mA sur 10 V. Une diode polarisée en inverse sur l'entrée d'alimentation (genre 1N4001 ou ce qui traîne dans un tiroir) et un fusible dans le fil + complètent le dispositif de protection. Ainsi le module complet peut s'alimenter en 13.8 V classique

Mise en boîtier

Afin de stabiliser le montage mécaniquement et d'éviter tout rayonnement «non essentiel» par les pistes des circuits ou les fils d'interconnexions, un boîtier métallique est vivement recommandé. Un ancien radiotéléphone des années 90 traînait sur une étagère. Son boîtier est parfait pour l'application envisagée ici: séparé en 2 étages, des connexion DC entre les étages par condensateurs «pass-through» découplés à la masse, une sortie BNC traversant le boîtier, quelques ouvertures permettant de passer une nappe de fil pour le LCD et d'ajouter une fiche boîtier SMA pour l'entrée GPS et une alimentation. L'un des côté du boîtier contient le **PA et le filtre passe-bas**. L'autre étage reçoit le **RFzero et le circuit d'alimentation**. Après quelques perçages d'usage pour fixer les modules quand il n'était pas possible de récupérer un trou existant, et le tour était joué.

Voici les vues de chacun des 2 côtés du boîtier ouvert:



Côté du boîtier avec RFzero et le circuit d'alimentation



Côté du boîtier avec PA et le filtre passe-bas



Le boîtier fermé avec LCD

Le LCD est optionnel, mais bien pratique. Il est possible d'utiliser des LCD 2 ou 4 lignes standards (HD44780) fonctionnant sous 5 V. J'avais un module 2 lignes qui ne faisait rien et qui a trouvé son utilité ici.

Le LCD en version 2 lignes indique dans l'ordre:

Sur la première ligne: réception GPS ou non, nombre de satellites en vue, précision GPS (HDOP) et les minutes et secondes UTC (pas la place pour l'heure!)

Sur la 2ème ligne: la fréquence et un code de statut un peu cryptique il faut le dire.

Conclusions

- Le module *RFzero* est très flexible. Je vous encourage à l'étudier un peu. Il est depuis peu livrable à nouveau. Les problèmes de disponibilité des composants électroniques au niveau mondial ayant empêché sa production pendant plusieurs mois en 2022.
- **L'utilisation d'un module RFzero avec amplificateur sur une antenne n'est pas autorisée sans filtre passe-bas. Le niveaux des harmoniques est trop haut.**
- Le filtre présenté ici est une variante possible parmi d'autres
 - Elle est basée sur les composants de fond de tiroir qui étaient disponibles
 - Il y a certainement possibilité de faire un peu mieux. Si les pertes dans la bande sont un critère important, utiliser des composants plus gros (surtout les inductances) permettra probablement d'y remédier.
- Les modules PA bon marché qu'on trouve sur internet ne sont pas tous égaux. Leurs performances peuvent varier, entre circuits d'une même série. Ils supportent souvent assez mal les surtensions ou le fait d'avoir trop de puissance en entrée. Il convient de les utiliser en deçà des quelques spécifications qui sont «parfois» données et souvent différentes entre les différents sites d'achat, même si la photo accompagnant l'article est rigoureusement la même... Si le gain est trop élevé, il est possible de supprimer le premier étage d'amplification.
- Si vous utilisez un RFzero sans PA, comme générateur de 10 MHz, compteur de fréquence, source de signal QRP de laboratoire ou toute autre application non branchée à une antenne, **il n'y a pas forcément besoin d'y ajouter un filtre passe-bas.** ■

Antennenfragen in der Romandie und Südschweiz

Ab sofort wenden sich unsere Französisch und Italienisch sprechenden Mitglieder direkt zuerst an die Regionalvertreter der USKA wenden:

Romandie:

Jean-Michel Clerc, HB9DBB (hb9dbb@uska.ch)

Tessin/Südbünden:

Franco Citriniti, HB9EDG (hb9edg@uska.ch)

Unsere Regionalvertreter werden beratend zur Verfügung stehen und veranlassen, ob und wann ein Fall an die Antennenkommission der USKA weitergeleitet wird.

Organisation bei Antennenfragen

Bernard Wehrli, Vorstand USKA,
Ressort BAKOM und Antennen

Questions antennes en Suisse Romande et au Tessin/Grisons du sud

Dorénavant, nos membres francophones et italophones, s'adresseront prioritairement aux représentants régionaux de l'USKA:

Romandie:

Jean-Michel Clerc, HB9DBB (hb9dbb@uska.ch)

Tessin/Grisons du sud:

Franco Citriniti, HB9EDG (hb9edg@uska.ch)

Nos représentants régionaux sont à votre disposition et prêts à vous conseiller. En cas de nécessité, ils pourront transmettre l'affaire à la commission antennes de l'USKA.
(Tnx trad. HB9DSB)

Domande sulle antenne nella Svizzera francese e nella Svizzera italiana

D'ora in poi, i nostri soci di lingua francese e italiana sono pregati di contattare direttamente i rappresentanti regionali dell'USKA:

Romandia:

Jean-Michel Clerc, HB9DBB (hb9dbb@uska.ch)

Ticino/Sud dei Grigioni:

Franco Citriniti, HB9EDG (hb9edg@uska.ch)

I nostri rappresentanti regionali saranno lieti di consigliarvi e, se necessario, di informarvi se e quando un caso debba essere sottoposto alla Commissione antenne USKA.
(Tnx trad. HB9EDG)

HamGroup-Diskussion "Antennen"
www.hamgroups.ch/antennen/