

Un récepteur de 24 à 1766 MHz pour 10 Francs ?

Walter Schellenberg HB9AJG (trad. HB9DSB)

Hé oui ça existe ! Des dongles destinés à la DVB-T peuvent être détournés pour fonctionner en récepteur SDR. Quelles sont leurs performances et leurs limites. HB9AJG nous éclaire dans cet article.

Lorsqu'en 2012, un programmeur Linux finlandais Antti Palosaari découvre qu'il est possible, en les associant aux bons drivers, de détourner certains dongles récepteurs DVB-T destinés à la réception télévision en récepteurs large bande et, fonctionnant avec des logiciels adaptés ils se transforment en petits (software defined radio) (SDR). Avec d'autres idéalistes d'Os-mocom Group (Open Source Mobile Communications) ils développent les bons drivers et programmes pour Linux et Windows et les mettent gratuitement à disposition sur internet.

Stimulé par un article paru dans le QST

éventuellement précédés d'OX). On notera ces informations puis on vérifiera si, dans la liste proposée, le stick USB appartient aux «détournables». On trouvera cette liste sur: www.reddit.com/r/RTLSDR/comments/s6ddo/rtl-sdr_compatibility_list_v2_work_in_progress/. Mon stick n'y figurait malheureusement pas. Mais le virus avait frappé !

Quels sont les Sticks adaptés ?

Pour être compatible, le stick doit être construit autour du chip RTL2832 (démodulateur digital), celui-ci est précédé d'un chip tuner. Des recherches un peu plus approfondies sur Internet montrent qu'il existe principalement deux tuners compatibles: Le E4000 et le R820T. Ceux-ci se distinguent par leur conception, le E4000 est un mélangeur direct, ce qui fait qu'il transpose directement la HF en bande de base (en BF). A la sortie les deux signaux I et Q sont dis-

à environ CHF 10 ! Pour les dongles équipés du E4000 il faut compter le double.

Software et Installation

Il faut maintenant se procurer le bon software. Le plus simple est de se rendre sur: <http://rtlsdr.org/softwarewindows> et d'utiliser l'installateur automatique que l'on trouve dans la partie inférieure de la page. Dans le forum Yahoo <http://uk.groups.yahoo.com/group/SDRSharp> il est recommandé de ne pas installer le software sur C:\programmes ou sur C:\programmes (x86). J'ai donc créé un répertoire C:\SDR-RTL. Il est également recommandé qu'après décompression et installation, on ne le déplace pas. Pour Windows 7 il faut encore, dans panneau de configuration > programmes et fonctionnalités > fonctionnalités Windows, s'assurer que la case sur Microsoft. NET Fra-

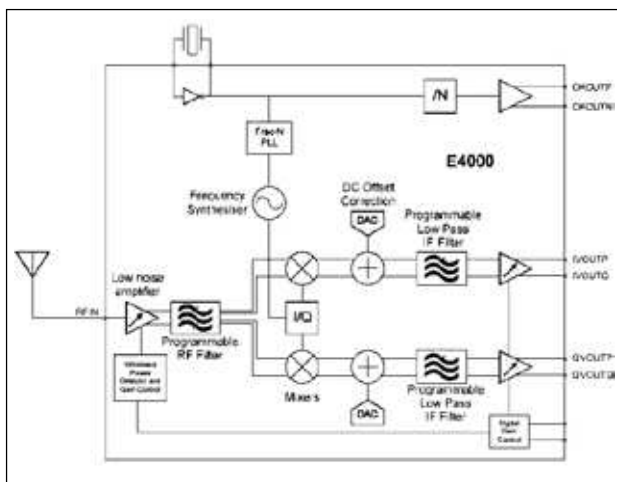


Fig. 1: Schéma bloc du tuner E4000

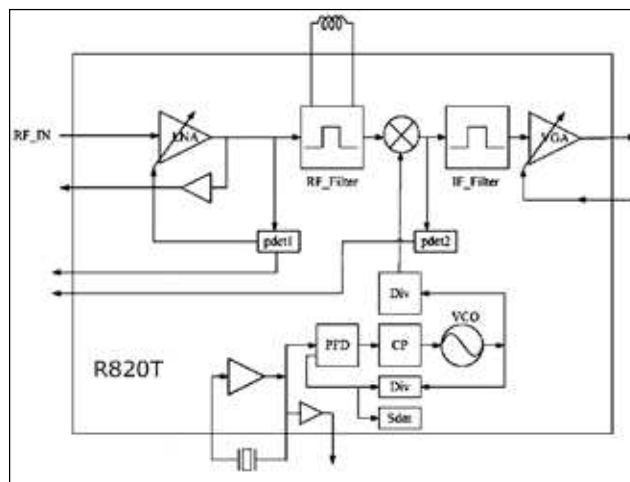


Fig. 2: Schéma bloc du tuner R820T

de janvier 2013 traitant de ce sujet, j'ai décidé de vérifier si un dongle USB DVB-T en ma possession pouvait faire l'affaire. Ceci est extrêmement simple à mettre en œuvre: on connecte le stick à l'ordinateur, dans le panneau de configuration on va sur périphérique et imprimantes, là on trouvera le stick. Double clic dessus, une fenêtre s'ouvre. Clic sur le répertoire matériel puis sur propriétés. Avec le curseur détails on choisira dans propriétés: hardware-IDs. Des VID et des PID s'afficheront (Vendor Identification) et (Product Identification) (4 caractères,

ponibles. Le R820T transpose d'abord sur une moyenne fréquence (MF) de 3,5 à 4,5 MHz. Les **figures 1 et 2** représentent les schémas blocs correspondants. Le traitement du signal se fait dans le RTL 2832 qui suit. Pour ma part je me décidais pour le R820T, particulièrement en raison de sa limite inférieure de fréquence de 24 MHz. Je me suis procuré trois pièces sur eBay, voir **Fig. 3**. Le prix, y compris les frais d'expédition, se monte

mework 3.5.1 est cochée, SDR# utilise apparemment NET 3. 5. 1. Pour les utilisateurs de Windows XP il faudra tout d'abord installer NET Framework 3. 5. 1. Après décompression et installation il faudra remplacer le fichier zadig.exe qui ne fonctionne qu'avec Windows 7 et 8 par un autre fichier zadig_xp.exe. correspondant que l'on trouvera à l'aide du link vers Zadig dans la partie supérieure de la page Web précitée. Si jusqu'ici tout a correctement fonctionné, par un clic sur zadig.exe respectivement zadig_xp.exe le chargement



Fig. 3: Dongle équipé avec R820T et RTL2832

du driver démarre. Toute la procédure est bien décrite sur la page Web précitée et ne sera pas décrite ici. Il est toutefois important d'exécuter zadig avec un compte avec des droits d'administrateur ou alors, avec un clic droit choisir exécuter en tant qu'administrateur. Un clic sur SDRSharp.exe et voilà la page du programme. On peut démarrer.

Après installation sur mon vieux laptop avec XP tout a parfaitement fonctionné. Toutefois il fallait déplorer quelques interruptions sur la BF ce qui résultait du manque de ressources de mon laptop. J'ai par contre rencontré quelques problèmes avec mon laptop HP dv7 sous Windows 7. Le message de zadig m'informe que le driver s'est correctement installé, le gestionnaire de périphériques de Windows «voit» le dongle. Par contre un message d'erreur de SDRSharp m'indique que le dongle n'est pas connecté ou que le driver ne fonctionne pas correctement. Je ne voyais pas d'issue. Dans le forum Yahoo déjà cité, on trouvera quantité de trucs et astuces, malheureusement sans résultats pour moi. Il est par exemple conseillé de n'utiliser qu'une interface USB 2.0. Après de nombreux et longs essais infructueux, je me décide de connecter mon dongle sur une interface USB 3.0 et là, miracle, tout fonctionne à merveille ! - Encore un mystère - Ce non fonctionnement ne peut pas provenir d'un problème d'alimentation insuffisante sur une USB 2.0, le dongle ne consomme qu'environ 180 mA, il n'y avait pas d'autres consommateurs sur ce Hub USB.

SDR-Software SDR#

Avec l'installation décrite ci-dessus on obtient le software SDR# (prononcer SDR sharp). L'utilisation est bien documentée sur la page Web: <http://rtlsdr.org/softwarewindows>. On trouve une documentation plus approfondie sur: www.atouk.com/wordpress/?page_id=237 et www.tinyurl.com/blsg2or. Qui veut savoir ce qu'il en est des divers types de filtres, de différents ordres, se documentera lui-même sur la théorie du traitement digital des signaux. Exprimé sommairement, il s'agit d'intervenir sur le mode «cutoff» et la raideur du flanc du filtre. Plus l'ordre est élevé, plus raide sera le flanc du filtre et le signal retardé. Lors du premier démarrage de SDR#, le niveau de bruit se situera aux environs de -40dB, dans l'affichage du

spectre avec 0dB sur la ligne supérieure. La sensibilité du dongle se situant à 130 dBm (voir ci-dessous), je voulais fixer le niveau du bruit à cette valeur. Ceci est obtenu en changeant les valeurs dans le fichier: SDRSharp.exe.Config à la ligne <add key=>fftOffset>value =>40.0> remplacer la valeur -40 par 120. Il sera alors possible dans le panneau de configuration de SDR# d'ajuster, à l'aide des curseurs, les valeurs Offset et Range dans la plage -130 à 40 dBm. Ceci permet d'utiliser convenablement toute la plage dynamique disponible. (Voir ci-dessous). Les valeurs affichées de l'intensité du signal reçu seront surévaluées de 12 à 22dB. Il n'est pas possible pour le moment d'ajuster cette échelle. Dans le forum Yahoo, ce vœu a déjà plusieurs fois été exprimé; ceci sera peut-être implémenté dans une future version de SDR#.

Résultats de mesures

Je suis bien conscient du fait qu'il n'est pas possible de comparer ces dongles à de «vrais récepteurs». Cela ne m'a pas paru rédhibitoire pour tout de même procéder à des mesures de caractéristiques et à leurs limites.

Couverture en fréquence, sensibilité

La couverture en fréquence s'étend conformément aux spécifications de 24 à 1766 MHz. Le récepteur cesse de fonctionner quelques kHz en dessous de 24 MHz. Limité dans les mesures par mes deux générateurs HP8657A et HP8648B, je n'ai pu mesurer que jusqu'à 1GHz. La largeur pour la visualisation spectrale ou en chute d'eau jusqu'à 2.8 MHz est intéressante. Avec le zoom il est possible d'agrandir jusqu'à la limite de la résolution. Celle-ci, contenue dans le Block FFT Display, est ajustable jusqu'à 4'194'304, correspondant à 0.66 Hz (pour autant que la puissance de calcul du PC le permette).

Le **tableau 1** démontre l'étonnante sensibilité. La dispersion des caractéristiques entre les divers sticks n'excède pas quelques dB.

Frequenz	Empfindlichkeit für (S+N)/N = 3dB
25 MHz	-127dBm
50 MHz	-134dBm
110 MHz	-134dBm
145 MHz	-134dBm
435 MHz	-135dBm
1000 MHz	-137dBm

Tableau 1: Sensibilité (valeur moyenne de 3 dongles identiques)

- Fréquence d'échantillonnage 2.048 MHz
- Mode: CW-U
- Largeur de bande: 500 Hz
- Configuration: RTL AGC OFF, Gain 49dB.

Précision en fréquence

Ces dongles sont pourvus de quartz 28.8 MHz économiques. En conséquence un préchauffage d'environ 20 minutes s'impose pour obtenir une stabilité en fréquence suffisante. Il est alors possible dans la configuration de SDR# de corriger l'erreur en fréquence au pas de 1 ppm. Sur les trois dongles des corrections importantes de l'ordre de 100 ppm ont été nécessaires. Sur 25 MHz une précision de quelques dizaines de Hz et sur 1000 MHz quelques centaines de Hz est atteinte. La sensibilité en température est notable. Une simple ventilation sur le stick provoque rapidement une dérive de quelques centaines de Hz à 1000 MHz.

Limite de la saturation

Le RTL2832 n'est pourvu que d'un convertisseur digital-analogique 8 Bit. Il faut bien évidemment s'attendre à une dynamique restreinte c'est-à-dire la plage entre la limite de sensibilité et la saturation. Le tableau 2 indique ces valeurs avec les mêmes paramètres de mesures que pour la mesure de sensibilité. (La même méthode sera appliquée pour les mesures ultérieures).

Frequenz	Übersteuerung	Dynamik-Bereich
25 MHz	-64dBm	63dB
50 MHz	-63dBm	71dB
110 MHz	-64dBm	70dB
145 MHz	-64dBm	71dB
435 MHz	-68dBm	67dB
1000 MHz	-65dBm	72dB

Tableau 2: limite de saturation et plage dynamique (valeurs moyennes)

La limite de saturation est dépendante des réglages gain et AGC du RTL. Dans les forums, il est recommandé de régler le gain légèrement en dessous de la valeur qui n'apporte plus d'amélioration du rapport S/N. L'expérience a démontré que ce réglage, s'il relève la valeur de la saturation, pérore la sensibilité. L'influence sur la dynamique n'est pas significative. Il est par contre intéressant de constater que la dynamique est meilleure quand le signal n'est pas centré. V. **Fig. 4.**

Le dépassement de la limite de sa-

Un récepteur de 24 à 1766 MHz pour 10 Francs ? (II)

turation est immédiatement visible, voir **Fig. 5**. Ceci est à éviter dans la mesure du possible. L'entrée du dongle étant à large bande, l'énergie totale provenant de l'antenne devrait se situer à -60 dB de la limite de saturation. En présence de nombreux signaux forts, il suffira de réduire le gain. Veut-on conserver toute la sensibilité du dongle ? Il faudra alors avoir recours à des filtres passe bande ou réjecteurs branchés à l'entrée. Lors du calcul d'un filtre il faudra tenir compte de l'impédance d'entrée du dongle qui est de 75 Ω . L'impédance de sortie de mes générateurs de mesure étant de 50 Ohm, les valeurs relevées sont corrigées de 1.6 dB.

Compression 1 db

La question qui se pose ici: quelle valeur peut atteindre un second signal, qui en raison de la saturation, amènera une désensibilisation de 1 dB ? Lors de mesures selon Fig. 5 avec 100 kHz d'écart de fréquence on se rend compte qu'il ne se passe rien jusqu'à la limite de saturation provoquée par le signal le plus fort. Avec seulement 10kHz d'écart entre les signaux, la compression de 1 dB n'interviendra qu'à 1 dB de la saturation. J'ai fait les mêmes constatations sur 500 MHz. Le bruit de phase de l'oscillateur local du dongle représente donc moins un problème que la saturation par des signaux forts.

Rayonnements parasites

Pour limiter les influences extérieures j'ai emballé mon dongle dans de la feuille d'aluminium. Comme on pouvait s'y attendre, c'est la fréquence du quartz (28,8 MHz) qui était la plus présente avec des harmoniques largement en dessus de 1 GHz. Je n'ai rencontré que peu de d'autres fréquences parasites, se situant toutes à des niveaux de -120 dB. J'ai par contre constaté des rayonnements large bande assez forts -80 dB autour de 480 et 960 MHz. Les trois exemplaires, stabilisés en température, présentaient les mêmes caractéristiques. On peut supposer que ces perturbations provenaient du PC. Une alimentation séparée des dongles (non via USB) n'apporta aucune amélioration.

Aliasing

Ces pseudos signaux sont générés lorsque la largeur de bande du signal à digitaliser n'est pas limitée et que le signal à digitaliser contient des fréquences supérieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage. Il est clair que la place limitée dans ce stick ne permet pas d'intercaler encore un filtre MF à flancs raides entre le R820T et le convertisseur A/D du RTL2832. Il faut alors s'attendre à de l'aliasing. La **fig. 6** montre un exemple, tout à gauche un signal utile à 80dBm, au centre et à droite les pseudos signaux liés.

Si l'on déplace le signal utile vers la gauche du champ visuel ce qui revient à accorder sur une fréquence plus élevée, elle apparaît alors tout à droite comme alias 2 et à gauche comme alias 2a; voir **Fig. 7**. Si l'on continue d'augmenter encore la fréquence de réception, alias 2a se déplace vers la droite et disparaît. Alias 2 se déplace

encore vers la droite et perd de l'amplitude en raison de l'action du filtre. Le minimum est atteint à env. 250 kHz du bord de l'écran. Alias 1, au centre déplace simultanément vers la droite. Son amplitude ne décroît plus, la sélection du filtre n'étant pas plus élevée. On peut reconnaître une partie des alias par le fait qu'ils se déplacent dans le sens opposé à l'accord, une autre partie conservera un écart de fréquence constant.

Intermodulation (IM)

Fig. 8. Produits d'intermodulation jusqu'au 15ème ordre de deux signaux à -67 dB à 50.300 et 50.310 MHz. A -69 dB l'IM n'apparaît pas encore. A -65 dB la saturation est atteinte. La marge pour l'intermodulation est donc très étroite. Pour des signaux de 435.0 et 435.1 MHz l'intermodulation apparaît pour -72 dB et la saturation à -71 dB. La mise en service du CAG du RTL dans Configurer n'apporta pas d'amélioration notable.

Résumé

Les tuners bâtis autour du R820T et le démodulateur digital RTL2832 présente des caractéristiques surprenantes:

- **plage de fréquence 24...1766MHz**
- **bonne sensibilité**
- **peu de rayonnement parasite**

Le point faible reste la limite inférieure de la saturation. Il ne sera pas possible de bénéficier de la totalité de la sensibilité sans l'adjonction de filtres: passe bande, passe-bas, ou réjecteur pour, par exemple, atténuer des stations fortes telles que radiodiffusion OUC. Un deuxième point faible réside dans l'apparition de nombreux pseudos signaux lors de réception avec des niveaux élevés. Ces dongles sont parfaitement adaptés pour se familiariser avec la technique SDR et permettent de voir un peu ce qui se passe en dessus de 30 MHz. Et ceci pour un prix défiant toute concurrence.

Développement

Sur Internet on trouve divers projets de convertisseurs qui permettent une réception en dessous de 24 MHz. Un résumé sur: <http://blog.kf7lze.net/2012/09/14/round-up-of-rtlsdr-upconverter-choices/>.

Le software SDR / SDRSharp est relativement récent, le développement se poursuit continuellement. On trouve déjà des "Plug-ins" pour un fréquence manager, un scanner et un réducteur digital de souffle destiné à l'enregistrement audio. Plus d'informations sur la page Web de SDRSharp: <http://sdrsharp.com> et sous <http://www.rtl-sdr.com/tag/sdrsharp/> et sur SDR# wiki: <http://sdrsharp.pbworks.com>. Je l'ai expérimenté, ces dongles fonctionnent avec HDSDR, SDR-J et les consoles SDR v2. HDSDR. J'ai téléchargé sur la page www.hdsdr.de/hardware.html, le fichier de l'extension (ExtIO.dll), et enregistré dans le répertoire HDSDR. HDSDR fonctionne à la demande.

Links:

<http://uk.groups.yahoo.com/group/SDRSharp/>
<https://groups.google.com/forum/#!forum/ultra-cheap-sdr> #