

Informations additionnelles concernant l'article :

Radio Logicielle (SDR) à interface USB

Elektor n° 347, mai 2007, page 18 et suivantes

Description du logiciel

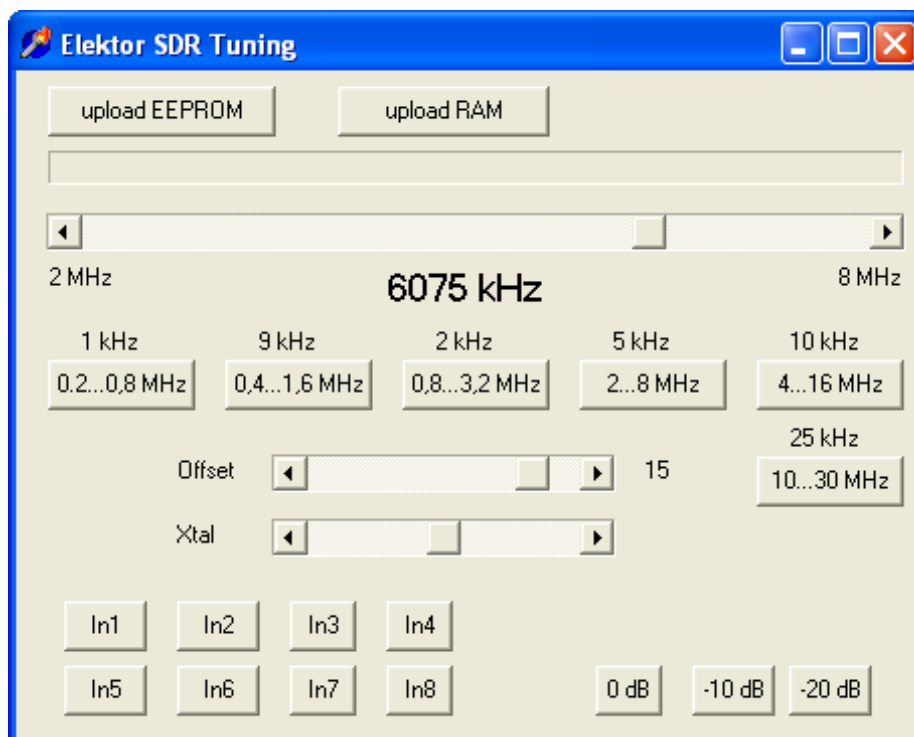


Figure 1: Le programme de pilotage.

Il est nécessaire, lors du premier démarrage, de commencer par initialiser le générateur d'horloge programmable, le CY27EE16. Cliquez sur « upload EEPROM » et chargez le fichier « InitCal.bi » dans le circuit intégré. Lors de la mise sous tension qui suit, le composant transfère automatiquement ces données dans sa RAM. Il vous est possible à partir de maintenant de déconnecter la fiche USB et de la reconnecter ou encore d'écrire le même fichier par le biais de la fonction « upload RAM » dans le registre de travail du circuit intégré. Le générateur devrait alors produire deux fréquences. À la sortie CLOCK5 on devrait trouver un signal de $4 * 6\,060\text{ kHz} = 24\,240\text{ kHz}$ pour la réception dans la bande des 49 mètres. On trouve, sur la sortie CLOCK3, un signal de référence de 5 MHz à des fins de calibration.

Il est possible maintenant, à l'aide de la commande de fréquence de choisir la fréquence souhaitée. Commencez par sélectionner une plage de syntonisation. Chacune des plages possède sa propre taille de pas pour la PLL, la plage des Ondes Courtes allant de 2 à 8 MHz est ainsi, par exemple, balayée à un pas de 5 kHz, ce qui convient bien à la grille des canaux de la radiodiffusion. Dans la plage des Ondes Moyennes il a été prévu un pas de 9 kHz. Le paramétrage du régleur d'offset n'a pas d'effet sur la fréquence réelle, mais uniquement sur la fréquence affichée. Avec le paramétrage par défaut de départ de 15 kHz il est supposé que le logiciel de décodage utilisé en aval est paramétré à une fréquence intermédiaire de 15 kHz comme l'illustre ici la figure 2.

Le troisième régleur à glissière, « Xtal » sert au réglage fin de la fréquence. On joue ici directement sur la capacité de charge du quartz de 10 MHz. Normalement, le réglage correct se trouve, même en l'absence des condensateurs C12 et C13, au milieu de la plage de réglage. On pourra, si nécessaire, procéder à un peaufinage du réglage en utilisant, par exemple, une station de radiodiffusion quelconque en tant que référence.

Les surfaces de commutation In1 à In8 servent à la commutation de l'entrée d'antenne voire des filtres d'entrée respectivement. Le programme démarre en position In1 et par conséquent sans filtre d'antenne. Par le biais de In2 on intercale un filtre passe-bas pour les Ondes Moyennes, In3 permet de passer à l'entrée pour le filtre passe-haut des Ondes Courtes. In4 à In7 sont réservées à des extensions ultérieures potentielles. En position In8 on a application à l'entrée du signal de référence de 5 MHz.

Les trois dernières surfaces de commutation rendent possible l'application au signal de sortie d'une atténuation prédéfinie de 0, -10 et -20 dB. Il est possible ainsi d'atténuer le signal au cas où l'on se retrouverait confronté à une surmodulation due à des signaux de niveau trop important.

Logiciel de décodage Il ne nous manque plus en fait maintenant que le décodeur proprement dit pour la radio. La grande majorité des caractéristiques majeures du récepteur dépendent du logiciel utilisé. On pourra procéder aux premiers essais à l'aide, par exemple, de SDRadio.

Les programmes DREAM ou G8JCFSDR offrent encore plus de possibilités.

Logiciel de décodage

Il ne nous manque plus en fait maintenant que le décodeur proprement dit pour la radio. La grande majorité des caractéristiques majeures du récepteur dépendent du logiciel utilisé. On pourra procéder aux premiers essais à l'aide, par exemple, de SDRadio.

Les programmes DREAM ou G8JCFSDR offrent encore plus de possibilités.



Figure 2: 4 stations AM se trouvant dans le spectre capté.

L'important est en tous cas, un paramétrage correct de la carte-son.

L'entrée Ligne (Line) doit être activée, le régleur de niveau d'entrée ne doit pas être positionné à une valeur trop importante. L'idéal est un paramétrage avec lequel le signal de référence de 5 MHz se situe tout juste à -10 dB.

Il est possible dans ces conditions de lire le niveau de chaque signal capté. La puissance de signal du signal S9 est définie comme étant de 50 KV ; elle se situe par conséquent à -60 dB.

Modulation quadrature : des sinus et cosinus

Paul Goossens

De plus en plus souvent on utilise, pour la génération et le traitement de signaux HF, ce que l'on appelle des signaux quadrature. Avantage additionnel : ils permettent aussi de moduler des techniques de modulation plus anciennes telles que FM et AM. Grâce à cette technique il devient possible d'éliminer quelques caractéristiques ennuyeuses que présentent les récepteurs, en particulier la réjection des fréquences-miroir.

Il est, de plus, possible d'émettre, à l'aide d'un signal QAM, par rapport à un signal AM, 2 fois plus d'informations dans une même bande passante. Très intéressant lorsque l'on connaît la quantité d'informations envoyée sans fil de nos jours.

Modulation quadrature

On voit en **figure 1** le synoptique d'un démodulateur quadrature. Nous appliquons, à l'entrée de ce démodulateur un signal HF comportant une partie sinusoïdale et une partie cosinusoidale. Ce signal est ensuite, dans le mélangeur du haut, mélangé à un cosinus généré au coeur du récepteur (LO = Local Oscillator). On voit alors apparaître à la sortie un signal constitué de 2 parties dont l'une est un cosinus dont la fréquence correspond à la différence entre la fréquence du signal d'entrée et la fréquence de l'oscillateur local ($\omega_L/2\pi$); la seconde partie ($\omega_H/2\pi$) est elle aussi un cosinus ayant cette fois comme fréquence la somme de la fréquence du signal d'entrée et la fréquence du LO. Après filtrage nous ne conservons que la première partie.

Rien de bien neuf direz-vous. Après mélange nous sommes en présence d'un signal de somme et d'un signal de différence, en ce qui concerne la fréquence.

La section du bas est très proche, à la différence (importante) près que l'on fait appel cette fois à un signal sinusoïdal du LO. Nous retrouvons, à sa sortie, un cosinus ayant une fréquence de ($\omega_H/2\pi$) plus un sinus ayant lui une fréquence de $\omega_L/2\pi$. Après filtrage il ne reste plus que le sinus.

Démodulation AM

Nous allons, en utilisant comme cobaye un signal AM, examiner le schéma d'un peu plus près. Supposons qu'une station radio émette sur 700 kHz. Ceci donne un ω de $2\pi \cdot 700 \text{ kHz} \approx 4400 \text{ rad/s}$. La formule dit dans ce cas : $HF = a(t) \cdot \cos(4400 \cdot t)$, formule dans laquelle $a(t)$ représente le signal que nous voulons transmettre. Le LO est syntonisé très exactement sur cette fréquence (et présente la même phase), de sorte que ω_L est égal à 0. Après filtrage il nous reste le signal $a(t) \cdot \cos(0)$. Tout le monde se souvient (sinon il faudra le demander à sa calculatrice) que $\cos(0)=1$. En d'autres termes : Le signal $I(t)$ est égal au signal émis $a(t)$!

La même explication vaut pour la section du bas, à la (grande) différence près que $Q(t)$ est égal à $a(t) \cdot \sin(0)$. Comme nous nous souvenons encore que $\sin(0)=0$, le résultat est ici $Q(t)=0$. Le signal Q ne comporte par conséquent pas la moindre information...

Si, maintenant, l'émetteur AM présente un décalage de phase en retard de 90° , on peut décrire le signal comme étant $a(t) \cdot \cos((4400 \cdot t) - 0,5\pi)$, ce qui est égal à $a(t) \cdot \sin(4400 \cdot t)$. Dans ce cas, I sera égal à $a(t) \cdot \sin(0)$, ce qui signifie que est toujours « 0 ». Le signal $Q(t)$ au contraire sera lui égal alors à $a(t) \cdot \cos(0)$, soit $a(t)$.

Remarque :

La différence importante, dans le cas de la modulation quadrature, est que l'on a également émission de signaux négatifs. En AM classique, seule l'amplitude du signal HF comporte l'information. En modulation quadrature un signal négatif côté émetteur produira également un signal négatif en $I(t)$ et $Q(t)$. Ceci se traduit par un doublement de la plage dynamique de l'émetteur !

Deux au prix d'un

Nous allons compliquer les choses : 2 émetteurs AM travaillant sur la même fréquence sans se gêner l'un l'autre ! Est-ce possible ? Certainement que oui en s'aidant de la modulation et de la démodulation quadrature ! Imaginons que « Rock-Radio » et « Jazz-Club » aient fusionné. Le but de la manoeuvre est maintenant que les signaux rock(t) et jazz(t) soient émis simultanément sur la même fréquence. On double ainsi le rendement de la société qui peut se contenter d'un seul et unique émetteur.

Cela devient possible en modulant le signal rock(t) à l'aide d'un cosinus tout en modulant jazz(t) à l'aide d'un sinus. Le signal HF répond alors à la formule suivante : $HF = \text{rock}(t) \cdot \cos(4400 \cdot t) + \text{jazz}(t) \cdot \sin(4400 \cdot t)$.

Notre récepteur reste syntonisé sagement sur la même fréquence. En raisonnant de la même manière que précédemment, nous allons voir que le signal $I(t)$ est égal à $\text{rock}(t) \cdot 1 + \text{jazz}(t) \cdot 0$.

Simultanément, le signal $Q(t)$ est égal à $\text{rock}(t) \cdot 0 + \text{jazz}(t) \cdot 1$. Si nous voulons écouter du rock il nous suffit d'amplifier le signal $I(t)$ avant de l'envoyer vers notre installation audio. Si nous préférons écouter du jazz, il nous suffit de basculer le sélecteur pour écouter le signal $Q(t)$.

La station de radio (fictive) évoquée plus haut ne vivra malheureusement pas très longtemps : notre poste radio standard ne possède pas de sélecteur I/Q. Et s'il devait exister, il nous faudra accorder notre OL avec précision sur la bonne fréquence mais aussi sur la bonne phase sous peine d'être très déçus par le résultat. Ainsi, si la fréquence de notre OL dérive de 0,25 Hz seulement, au bout de 1 seconde le signal se sera déphasé de 90° de sorte qu'au lieu d'écouter du rock nous entendons brusquement du jazz. Une seconde plus tard, le déphasage a atteint 180° , nous sommes de retour au rock. Il nous faut donc un système chargé de garder l'OL en phase avec l'émetteur.

Cercle unité

Il nous faut un minimum de mathématiques pour expliquer les étapes suivantes. On peut « faire » un cosinus en s'aidant d'un cercle dessiné autour de l'origine d'une surface XY (cercle unité, **figure 2**). Un vecteur (ou rayon d'une roue) de longueur 1 se trouve, à l'instant 0, parfaitement à l'horizontale à droite. Nous faisons ensuite effectuer, à notre rayon, une rotation dans le sens anti-horaire à vitesse constante. La position sur l'axe des X de l'extrémité de ce rayon représente le cosinus correspondant à chaque angle que fait le rayon par rapport à l'axe des X.

Si la position de départ de notre rayon n'est pas horizontale mais verticale, la position de l'axe des X représentera le sinus correspondant à l'angle que fait le rayon par rapport à l'axe des Y négatif. Nous pouvons décrire un signal sinusoïdal comme un rayon à la verticale lorsque $t=0$, le cosinus étant un rayon orienté vers la droite à $t=0$.

QPSK

Nous pouvons faire appel, pour envoyer de l'information, à la modulation d'amplitude (AM). Nous définirons un signal constitué de $HF = 1 \cdot \cos(4400 \cdot t)$ comme « 1 », alors que $HF = -1 \cdot \cos(t)$ sera représenté sous la forme d'un « 0 ». Côté récepteur nous pouvons utiliser le signal $I(t)$ pour récupérer l'information numérique. Si nous utilisons, de la même manière, le signal Q , en vue d'émettre, simultanément, un second bit, il devient possible de doubler la capacité avec la même bande passante. Côté récepteur nous retrouvons ce second bit sur le signal $Q(t)$.

Lorsque nous émettons un signal HF avec $1 \cdot \cos(4400 \cdot t) + 1 \cdot \sin(4400 \cdot t)$, nous pouvons nous imaginer cela comme un vecteur (rayon) dont l'extrémité se trouve en position (1, -1). Un rayon dont l'extrémité se trouve en (1,1) à $t=0$ vaut alors $1 \cdot \cos(4400 \cdot t) + (-1) \cdot \sin(4400 \cdot t)$. Il est possible, en tout, d'imaginer 4 positions de départ. Ceci explique la dénomination de QPSK (**Q**uad **P**hase **S**hift **K**eying). Le signal modulé par le cosinus est appelé « signal en phase », le second signal « signal quadrature ».

QAM

Il est possible d'envoyer encore plus d'information à l'aide de la modulation QAM16. Pour cela nous modulons les 2 signaux (cosinus et sinus) à l'aide de pas moins de 4 niveaux différents, à savoir -1,5/-0,5/0,5/1,5. Pour la position en X (cosinus) de notre rayons à $t=4$ nous avons le choix entre 4 niveaux, pour la position en Y (-sin) nous en avons également 4. Nous disposons ainsi d'un total de 16 états. Ceci nous permet d'envoyer 4 bits par séquence.

De nos jours, QAM256 est beaucoup utilisé dans les réseaux sans fil par exemple. On y module les 2 signaux à l'aide de 16 niveaux différents, ce qui signifie qu'il devient possible d'envoyer 8 bits à la fois.

Bruit

Côté récepteur (qui est souvent numérique) on détermine, à l'arrivée de chaque nouveau groupe de bits, quel est le vecteur ayant servi à moduler le signal HF. Comme cela est toujours accompagné de bruit, le processus se caractérise par une précision limitée. Lorsque le logiciel se trouve dans l'incapacité de déterminer à quel « coin » correspond un point donné, il devient impossible de récupérer l'information émise. Ceci explique que dans certaines liaisons sans fil on redescende de QAM256 à QAM16, cette dernière modulation étant moins sensible au bruit, mais cela se traduit par la division par deux de la vitesse maximale.

S'il vous prenait l'envie d'expérimenter avec les différentes sortes de modulations numériques, vous pouvez télécharger gratuitement, sur le site de Rohde&Schwarz, le programme « WinIQsim ». Ce programme permet de simuler différentes techniques de modulations et types de filtres.

(070153-1)

Liens :

<http://www2.rohde-schwarz.com>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Trigonométrie>