

# générateur sinusoïdal accordable à tubes

de 20 Hz à 20 kHz sur la même gamme !

Martin Ohsmann (Allemagne)

Dans ma jeunesse, j'ai construit ce que l'on appelle un récepteur oV2 à tubes. Nostalgique de l'époque d'avant les transistors, j'ai décidé de construire un autre circuit utilisant des tubes. Les études de récepteurs simples et d'amplificateurs haut de gamme se comptent déjà par dizaines, voire par centaines. Cela m'a poussé vers quelque chose d'inhabituel.

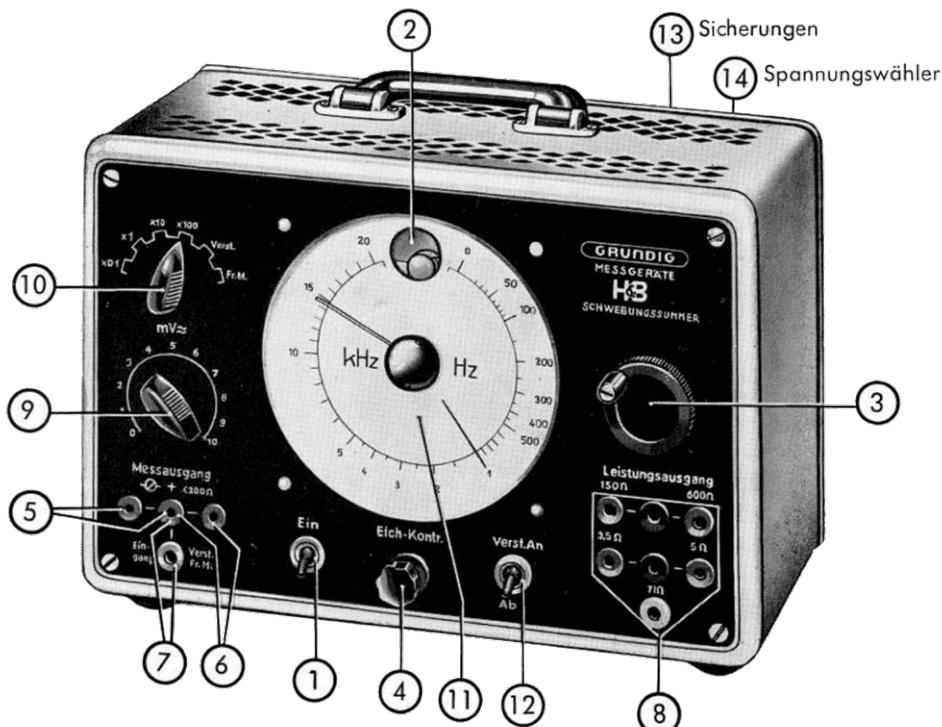


Figure 1. Oscillateur à fréquence de battement, modèle 295A.

C'est dans cet état d'esprit que je suis tombé sur le manuel de l'oscillateur à fréquence de battement modèle 295A de Grundig/Hartmann et Braun (fig. 1), qui peut être accordé en un seul balayage de toute la bande audio de 20 Hz à 20 kHz sans changer de gamme. Ce rapport de fréquences énorme de 1000:1 est irréalisable avec de simples générateurs d'ondes sinusoïdales. Ce qui nous conduit au...

## Principe de l'hétérodyne

La figure 2 en illustre l'idée de base. L'oscillateur 1 délivre une fréquence fixe  $f_1$ , ici environ 235 kHz. L'oscillateur 2 est réglable et délivre une fréquence  $f_2$  variable entre 235 kHz à 270 kHz, soit une variation de la fréquence de moins 20 %. Il est facile de mettre en œuvre une gamme de fréquences aussi étroite dans un simple oscillateur à l'aide d'un condensateur variable.

Les signaux de sortie des deux oscillateurs sont envoyés à un mélangeur à la sortie duquel on trouve, entre autres produits, la fréquence de **différence**  $f_1 - f_2$ . Les autres produits, comme la somme de  $f_1$  et  $f_2$ , ainsi que les sommes et les différences de multiples entiers de ceux-ci, peuvent être éliminés à l'aide d'un filtre passe-bas approprié. Enfin, nous amplifions le signal de sortie pour obtenir une source à faible impédance. Il est possible d'utiliser ce principe dit *hétérodyne* (en grec, *hetero* = différent et *dynamis* = force) pour construire des oscillateurs RF accordables jusque dans les GHz.

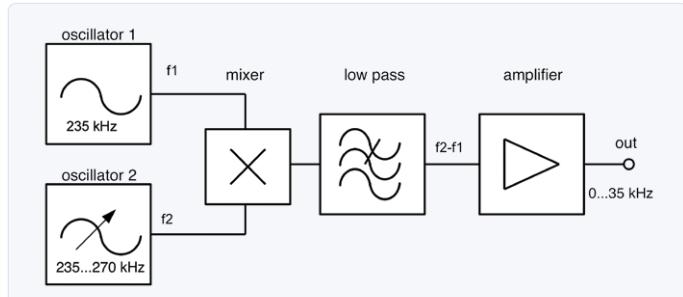


Figure 2. Principe de fonctionnement du générateur de signal hétérodyne.

Figure 3. Extrait du schéma du modèle 295A.

## L'original

La **figure 3** montre un extrait du schéma, comprenant les deux oscillateurs, le mélangeur, le filtre passe-bas et l'étage d'amplification final. Le tube appelé Rö2 produit la fréquence fixe. Son anode est connectée à un circuit résonnant qui détermine la fréquence d'oscillation, et il y a un transformateur pour fournir une rétroaction à l'électrode de grille. La fréquence variable est obtenue de la même manière en utilisant la section triode d'un ECH81 (partie gauche du tube Rö1). La fréquence est ajustée à l'aide de la self variable L5. Les sorties des deux oscillateurs sont ensuite acheminées vers les grilles G1 et G3 de la section heptode de l'ECH81, et les produits du mélangeur apparaissent à l'anode. Le filtre passe-bas est constitué de L1, L2 et L3 ainsi que de C1, C2, C3 et C4. Le signal de sortie filtré passe ensuite à travers un potentiomètre pour permettre le réglage du niveau du signal du tube Rö3, configuré en suiveur de cathode. Le signal de sortie sinusoïdal à faible impédance est disponible à la cathode.

## Ma version

Pour en faciliter la construction, j'ai essayé des modifications. Au lieu d'une inductance variable pour ajuster la fréquence, j'ai utilisé un condensateur variable ; et j'ai modifié le circuit de rétroaction dans les oscillateurs pour utiliser des inductances à prises intermédiaires au lieu de transformateurs (**fig. 4**).

Sur le schéma complet (**fig. 5**) la triode V1 est l'oscillateur à fréquence variable, et son signal de sortie passe via un potentiomètre à la grille G3 du tube mélangeur V2. La section triode de V2 est utilisée pour former l'oscillateur à fréquence fixe, et son signal de sortie est acheminé vers la grille G1 de l'heptode. La sortie du mélangeur apparaît sur l'anode de l'heptode.

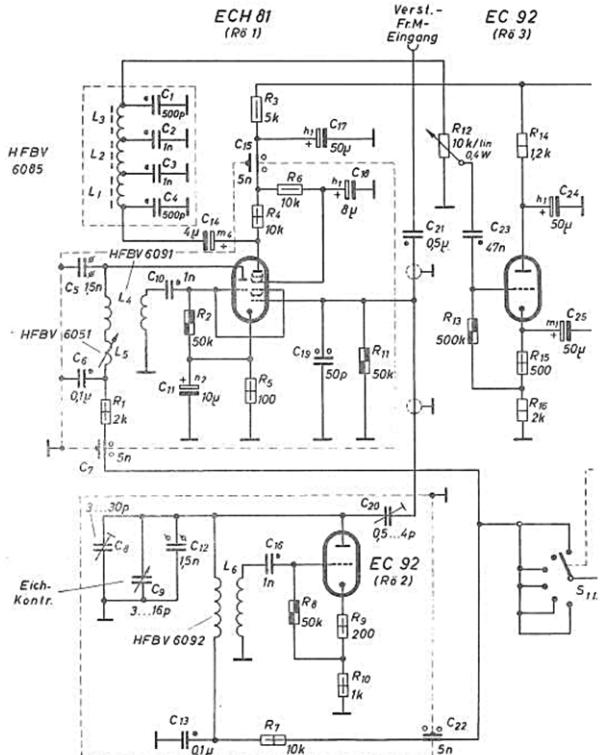


Figure 4. Mes expérimentations en cours.

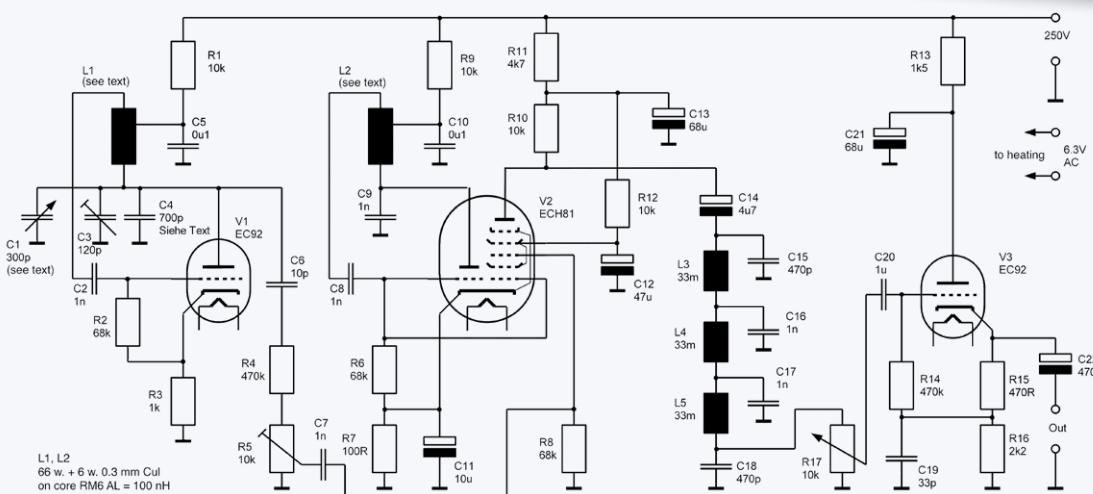
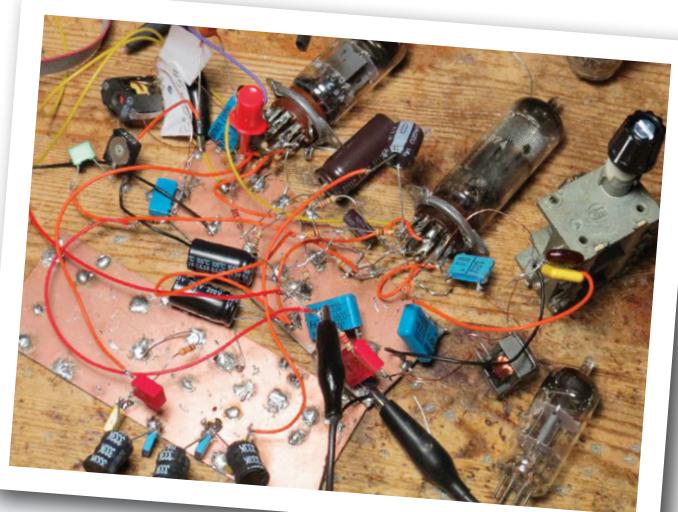


Figure 5. Schéma du circuit de ma version optimisée. Voir le proto (sans alimentation) sur la figure 6.

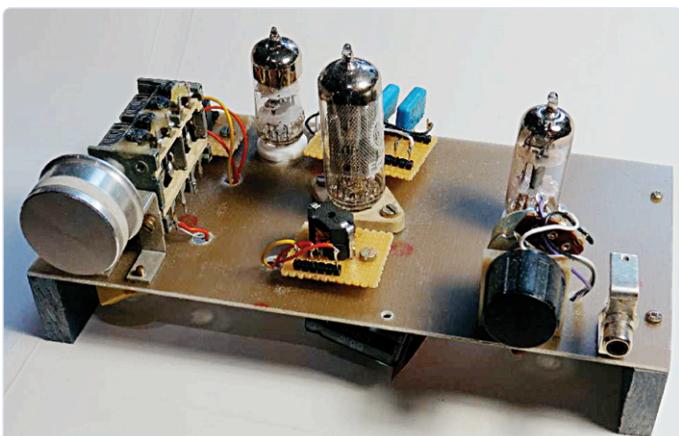


Figure 6. Prototype final du générateur d'ondes sinusoïdales.

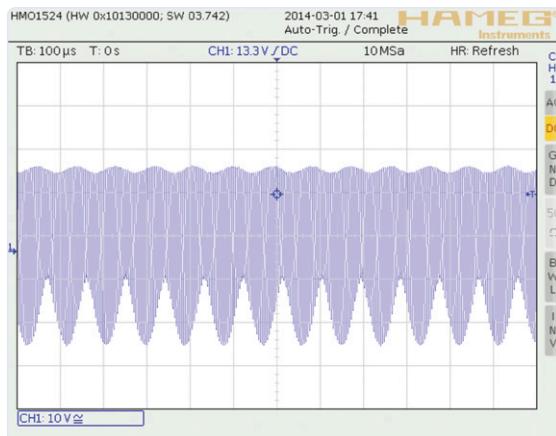


Figure 7. Signal à l'anode du mélangeur.

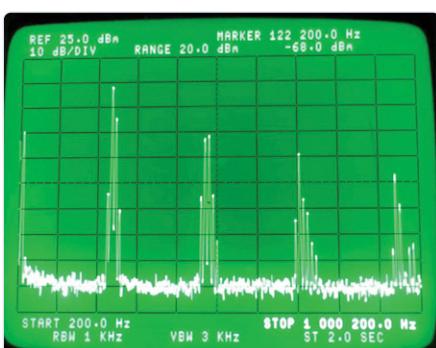


Figure 8. Spectre du mélangeur.

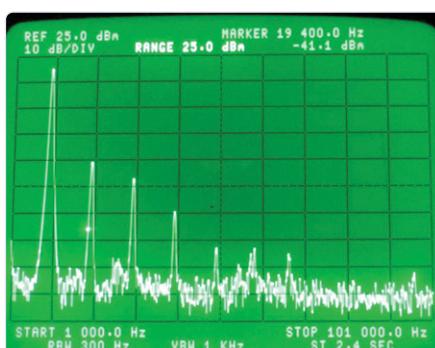


Figure 9. Spectre à haut niveau de modulation du mélangeur.

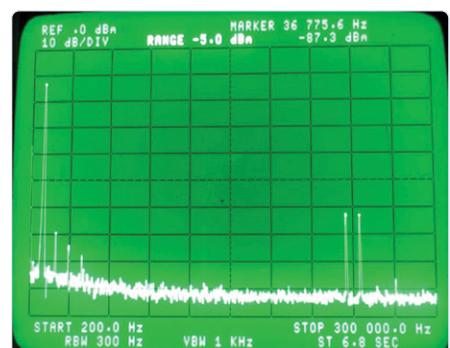


Figure 10. Spectre à bas niveau de modulation du mélangeur.

## Mesures

Pour vérifier le fonctionnement de base et la qualité du signal de mon prototype final (**fig. 6**), j'ai effectué quelques mesures. J'ai mesuré une amplitude de signal d'environ 200 V<sub>cāc</sub> sur les anodes de l'oscillateur. Regardez bien le signal de l'anode sur le tube mélangeur (**fig. 7**). Les oscillations rapides sont les deux fréquences élevées, tandis que l'enveloppe inférieure représente le signal sinusoïdal différentiel : c'est celui-ci que nous extrayons ensuite avec le filtre passe-bas.

Dans le spectre du signal de l'anode (**fig. 8**) sur le tube mélangeur, on voit les nombreux produits du mélange des deux oscillateurs. Le réglage du potentiomètre R5 modifie l'amplitude du signal de sortie, mais en même temps, il modifie le niveau de modulation du tube de mélange. Si nous réglons R5 pour que l'amplitude du signal soit par exemple de 8 V<sub>cāc</sub> sur la grille G3, nous obtenons une amplitude de sortie d'environ 7 V<sub>cāc</sub>. À un niveau de sortie aussi élevé, nous obtenons bien sûr une distorsion considérable du signal de sortie, comme le montre le spectre de la **fig. 9**. La deuxième harmonique est déjà à environ 35 dB seulement sous la fondamentale, et le taux de distorsion de plus de 1 % n'est pas particulièrement impressionnant.

Limitons l'amplitude du signal sur G3 à 1 V<sub>cāc</sub> et nous aurons un signal de sortie de 2 V<sub>cāc</sub> dont le spectre (**fig. 10**) est beaucoup plus présentable. La deuxième harmonique est maintenant à plus de 50 dB de la fondamentale, et la distorsion réduite à environ 0,3 %, ce qui est satisfaisant. Les résidus à 235 kHz et 250 kHz résultent d'un couplage capacitif du signal de sortie via le filtre passe-bas, que l'on pourrait atténuer en améliorant le blindage RF du circuit.

Il est donc possible, avec seulement trois tubes et des bricoles, de réaliser un générateur d'ondes sinusoïdales à fréquence variable sur toute la plage audio.

**PS :** Précisons pour les électroniciens qui ne connaissent peut-être pas le jargon RF des radioamateurs, que dans l'abréviation **0V2** le premier chiffre indique le nombre d'étages de préamplification RF avant le détecteur, tandis que le chiffre après le V indique le nombre d'étages d'amplification audio. Ainsi, un récepteur 0V2 est un modèle **audion** à un tube, sans préampli RF, et deux étages d'amplification audio. ↗

190312-03



@ [WWW.ELEKTOR.FR](http://WWW.ELEKTOR.FR)

➤ **Röhren-Projekte von 6 bis 60 V** (= « Projets de circuits à tubes de 6 V à 60 V » – Ce livre au format PDF n'existe qu'en allemand)  
[www.elektor.de/roehren-projekte-von-6-bis-60-v-pdf](http://www.elektor.de/roehren-projekte-von-6-bis-60-v-pdf)

➤ **Röhrenverstärker-Schaltungen** (= « Circuits d'amplis à tubes » – Ce livre au format PDF n'existe qu'en allemand)  
[www.elektor.de/roehrenverstaerker-schaltungen-pdf](http://www.elektor.de/roehrenverstaerker-schaltungen-pdf)

➤ **JOY-iT JDS6600 Générateur de signaux (60 MHz) et fréquencemètre (100 MHz)**  
[www.elektor.fr/joy-it-jds6600-signal-generator-frequency-counter](http://www.elektor.fr/joy-it-jds6600-signal-generator-frequency-counter)