

Intéressant, le doubleur de fréquence, mais pas facile à concevoir et à mettre au point. En théorie, les choses vont d'elles même. En pratique par contre, c'est moins évident, car le signal de sortie des instruments de musique n'est que vaguement apparenté aux signaux que l'on trouve dans les livres. Mais comme nous aimons les tâches difficiles, nous sommes parvenus à des résultats qui méritent votre intérêt. En résumé, quelque soit la forme du signal à l'entrée, il sera doublé en fréquence à la seule condition qu'il se situe entre 300 Hz et 3,5 kHz.

fréquence, déphasés de  $90^\circ$  sont appliqués à l'entrée (double) d'un mélangeur. Ces deux signaux sont en fait le signal original et son double déphasé de  $90^\circ$ , le sinus et le cosinus de notre formule!

Mais avant de mélanger les signaux, il faut stabiliser l'amplitude de l'un d'entre eux, sans quoi le signal de sortie ne varierait pas en amplitude de façon synchrone avec le signal d'entrée. D'où l'utilisation de l'amplificateur commandé, en fait un amplificateur à gain fixe.

## Un effet de plus pour plus d'effet

# doubleur de fréquence

**Autour des guitaristes, sur scène ou en studio, le sol est jonché de boîtes. Ce n'est pas des boîtes de bière dont il s'agit ici, mais des boîtes ou pédales d'effets qui font désormais partie intégrante du matériel indispensable aux musiciens. Un doubleur de fréquence n'est pas l'accessoire le moins intéressant, il s'en faut de beaucoup.**

Le procédé utilisé le plus souvent consiste en un redressement double alternance. Il est simple, efficace, mais ne peut être utilisé qu'avec des sinusoïdes quasi parfaites... et encore! De plus, cette technique introduit aussi une composante continue, ce qui n'arrange rien. En d'autres termes, le résultat musical ne comble pas toujours les attentes des musiciens.

Alors qu'allons nous faire si de prime abord nous excluons ce procédé? Tout simplement doubler la fréquence du signal d'une guitare, sans distortion, et sans autre effet parasite d'après la formule suivante:

$$\sin \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{1}{2} \sin 2 \omega t$$

En clair, cela signifie que le produit du cosinus et du sinus d'une fréquence est égal à la moitié de la fréquence. Et cette règle ne s'applique pas seulement aux ondes sinusoïdales, mais aussi à bon nombre d'autres formes d'onde. Voici donc comment nous avons trouvé la solution contenue dans la graphique de la figure 1.

### Schéma synoptique

La figure 2 résume schématiquement le principe de fonctionnement de notre doubleur. Deux signaux de même

### Le circuit

La figure 3 montre comment toutes nos idées se sont concrétisées. T1 est monté en source suiveuse pour obtenir une forte impédance d'entrée. Après dérivation du signal à déphaser, celui-ci passe à travers quatre amplis op qui assurent ce déphasage. A4 effectue un dernier déphasage de  $180^\circ$  afin que le mélangeur soit attaqué symétriquement. IC3 assure la multiplication des deux signaux; il s'agit du S042P. A sa sortie on dispose d'un signal dont la fréquence est égale à la moitié de la fréquence du signal d'entrée. S1 permet de mettre le doubleur de fréquence hors-circuit. Il reste à évoquer l'amplificateur à gain constant, dont le composant central est l'OTA (operational transconductance amplifier). Le gain d'un tel amplificateur est commandé en courant, ce dernier étant appliqué à la broche 5 d'IC4.

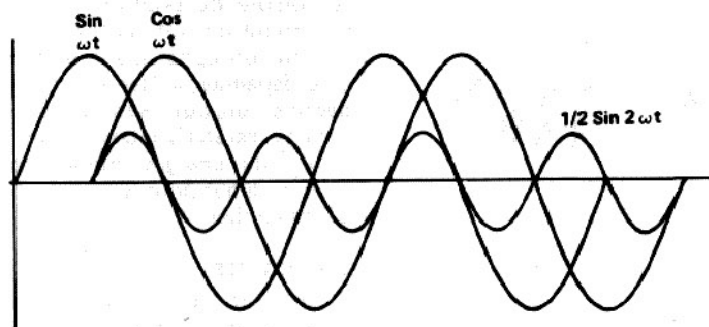
Voyons cela dans le détail: le signal de sortie d'A8 est redressé par D1 et D2, et appliqué à la grille de T2. Plus ce signal continu est élevé, plus la tension aux bornes de R21 est basse, et moins T2 est conducteur (courant de drain faible). La connexion de ce drain à l'entrée de commande de l'OTA assure l'automatisme de l'amplification constante: Le courant de commande délivré par le FET T2 est inversement proportionnel à la tension d'entrée.

Une boucle de contre-réaction est réalisée par R33, P3 et C15 entre la sortie de A8 et l'entrée inverseuse de l'OTA. Ce qui implique que l'efficacité du doubleur de fréquence peut être ajustée à l'aide de P3... ce réglage sera fait à l'oreille.

Le potentiomètre P1 sert à régler le courant de commande délivré à l'OTA afin d'assurer le bon fonctionnement de l'amplificateur à gain constant. En l'absence de signal à l'entrée, il faudra ajuster P1 de telle sorte que le courant délivré par le FET à la broche 5 d'IC4 soit de  $20 \mu\text{A}$ . Ce qui devrait correspondre à une tension de 940 mV sur R17. Le potentiomètre P2 enfin permet de régler précisément l'amplitude du signal en sortie de l'amplificateur à gain constant. La position correcte du curseur est obtenue lorsqu'aucune différence d'amplitude entre le signal original et le signal doublé n'est perçue.



1



81038-1

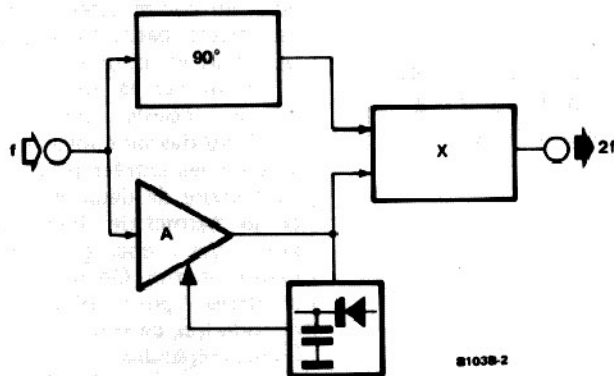
Figure 1.  $\sin \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{1}{2} \sin 2 \omega t$ . Le produit de deux signaux sinus et cosinus de même fréquence a une fréquence égale à la moitié de celle du signal original.

## Et les résultats?

Notre prototype a rempli toutes les conditions et les exigences que nous nous étions fixées. Il est efficace entre 300 et 3500 Hz, ce qui correspond au spectre d'une guitare. Dans les limites de cette plage, le signal de sortie est de fréquence double de celle du signal d'entrée, quelque soit la forme d'onde. Nous ne voyons aucune limite a priori pour l'utilisation de ce doubleur pour d'autres sources sonores, comme par exemple la voix.

Le SO42P est un produit Siemens.

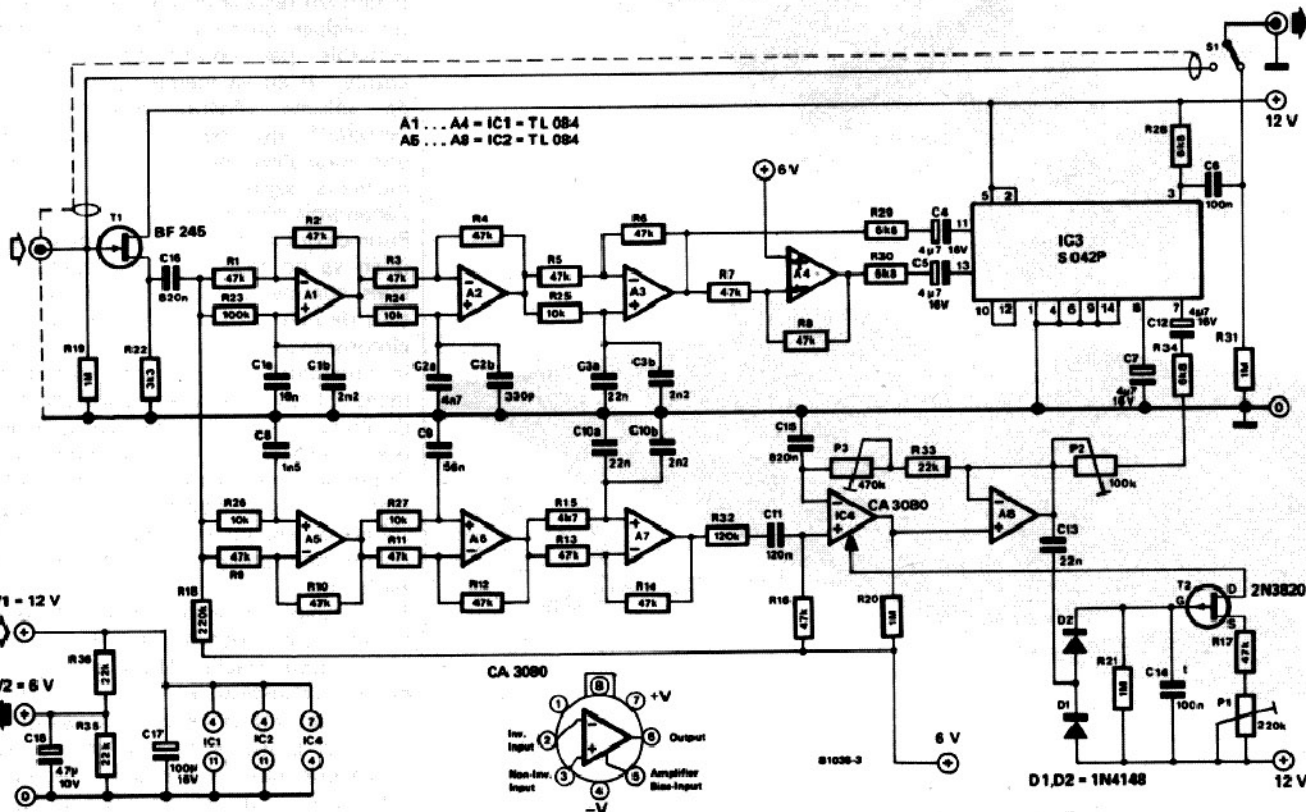
2



81038-2

Figure 2. Schéma synoptique du doubleur de fréquence. D'après la formule de la figure 1 il suffit de dériver un signal déphasé du signal original puis de multiplier les deux.

3



81038-3

D1, D2 = 1N4148

Figure 3. Le circuit du doubleur de fréquence. A1 ... A7 assurent le déphasage, IC4, D1, D2 et T2 constituent l'amplificateur à gain constant. La multiplication des signaux est assurée par IC3.