# Un générateur de signaux sinusoïdaux déphasés

par Georges LAVERTU,
L.C.M.N. Luxeuil-les-Bains

L'illustration du déphasage entre signaux sinusoïdaux synchrones peut se faire avec du matériel classique de laboratoire, par exemple un circuit RC ; mais la latitude de déphasage par variation de R reste limitée et s'accompagne d'une modification d'amplitude. Le petit appareil décrit ici permet l'obtention de n'importe quel déphasage entre deux signaux sinusoïdaux d'amplitude et de fréquences constantes. Il comporte un oscillateur sinusoïdal à faible distorsion, d'une fréquence de 1 kHz environ, et un déphaseur commandé par un potentiomètre double et un inverseur à deux positions.

La fig. 1 montre le schéma de principe.

L'oscillateur est réalisé à partir d'un filtre actif à fort coefficient de qualité ; la théorie de ce filtre est exposée dans l'article suivant celui-ci : un synthétiseur de Fourier. Le filtre est constitué par l'ampli opérationnel $A_1$ et ses composants périphériques. Rappelons ses caractéristiques :

Pulsation d'accord : $\omega = \dfrac{1}{C\sqrt{R_2 R_3}}$.

Gain à la fréquence d'accord : $G_0 = \dfrac{R_3}{-2R_1}$.

Coefficient de qualité : $Q = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{R_3}{R_2}}$.

Il suffit, pour transformer ce filtre en oscillateur, de ramener la sortie à l'entrée après inversion de phase accompagnée d'un gain suffisant : c'est le rôle de $A_2$. On conçoit donc que la sinusoïde obtenue soit à faible distorsion puisqu'elle se trouve en sortie d'un filtre à fort coefficient de qualité ($Q > 20$). $R_1$ permet de régler l'amplitude ; si on réduit cette amplitude en augmentant $R_1$, on gagnera en qualité puisque le signal issu de $A_2$ sera

moins distordu, donc mieux filtré. $A_3$ est un simple suiveur de tension.

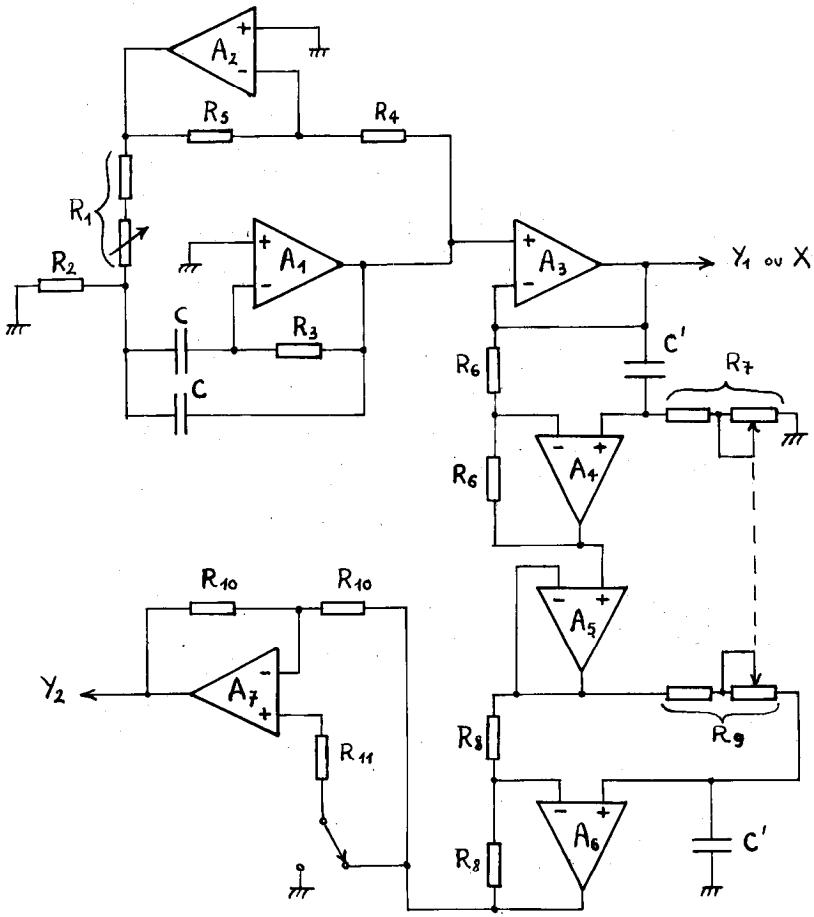


Fig. 1

$A_4$ réalise une avance de phase variable couvrant largement la plage $\frac{\pi}{4}$ à $\frac{3\pi}{4}$. En effet, en appelant $s_3$ et $s_4$, les sorties respectives de $A_3$ et $A_4$ :

$$\frac{s_3 + s_4}{2} = s_3 \frac{R_7}{R_7 + 1/j\,C'\omega} = s_3 \frac{R_7\, j\, C'\omega}{R_7\, j\, C'\omega + 1}.$$

D'où :

$$s_4 = s_3 \frac{j R_7 C' \omega - 1}{j R_7 C' \omega + 1}.$$

Ce résultat montre l'avance de phase sans modification d'amplitude. Ensuite, on trouve le suiveur de tension $A_5$ et le déphaseur $A_6$ qui apporte un retard de phase, à savoir une avance couvrant la plage $-\frac{3\pi}{4}, -\frac{\pi}{4}$.

On montre en effet de même que $s_6 = s_5 \frac{1 - j R_9 C' \omega}{1 + j R_9 C' \omega}$.

$R_7$ et $R_9$ comportent chacune une piste d'un potentiomètre double et leurs variations sont dans le même sens, de sorte que le déphasage total apporté par les deux déphaseurs couvre de $-\frac{\pi}{2}$ à $\frac{\pi}{2}$.

Le potentiomètre double sera de préférence logarithmique.

$A_7$ apporte ensuite soit un déphasage nul, si son entrée non inverseuse est reliée à la sortie de $A_6$, soit un déphasage de $\pi$ si elle est reliée à la masse. Ainsi tout déphasage est possible entre $Y_2$ et $Y_1$.

La fig. 2 indique un dessin possible du circuit imprimé.

**Nomenclature.**

$R_1$ : 82 kΩ fixe + ajustable 100 kΩ.
$R_2$ : 100 Ω.
$R_3$ : 220 kΩ.
$R_4$ : 6,8 kΩ.
$R_5$ : 15 kΩ.
$R_6, R_8, R_{10}$ : 27,4 kΩ 1 %.
$R_7$ et $R_9$ : 220 Ω fixe + 10 kΩ réglable.
$R_{11}$ : 27 kΩ.
C : 33 nF.
C' : 100 nF.
$A_1$ à $A_4$ : TL 084.
$A_5$ à $A_7$ : TL 084.

Les amplificateurs opérationnels utilisés sont des TL 084 (quadruples).

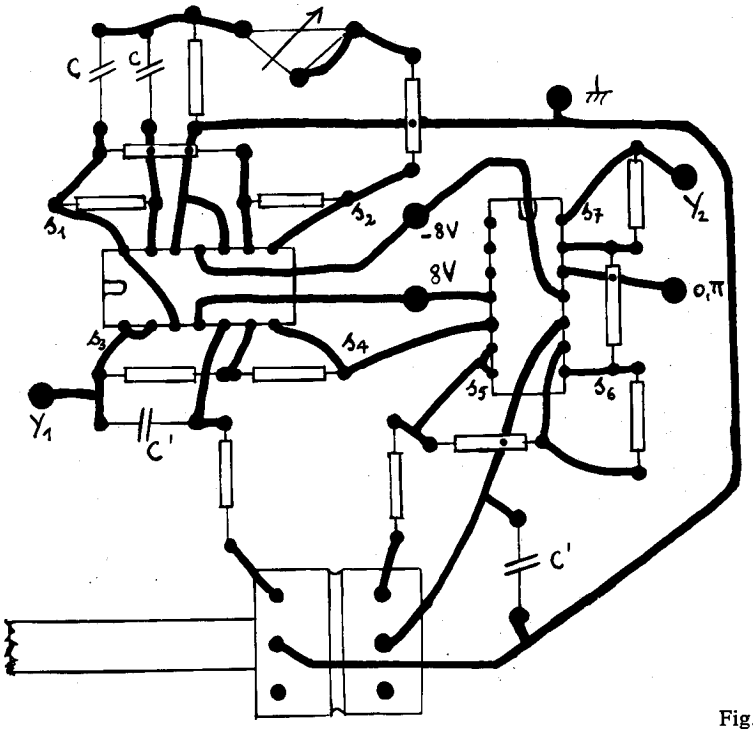


Fig. 2

**Résultats.**

Sur tous les oscillogrammes en balayage, $Y_1$ qui synchronise celui-ci, démarre à valeur nulle croissante.

Photos *a*) Observation des signaux $Y_1$, $Y_2$ déphasés en bicourbe.
Photos *b*) Ellipses de Lissajous (X via $Y_1$).

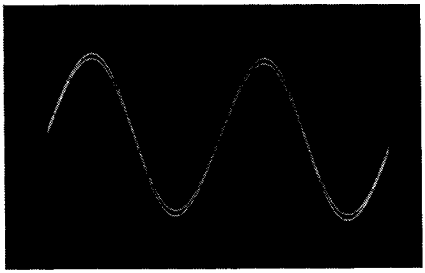

Photo 1 *a*

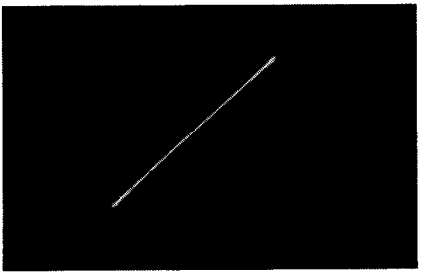

Photo 1 *b*

$Y_2$ et $Y_1$ en phase.

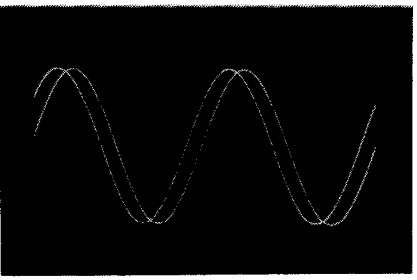

Photo 2 *a*

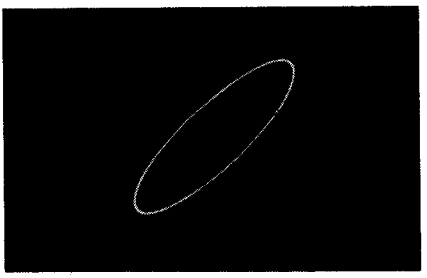

Photo 2 *b*

$Y_2$ en avance sur $Y_1$ d'un angle compris entre 0 et $\pi/2$.

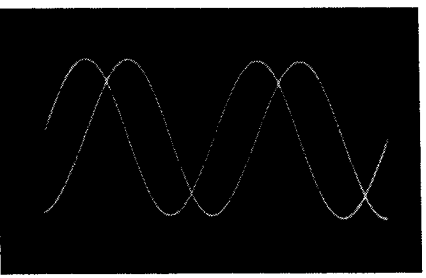

Photo 3 *a*

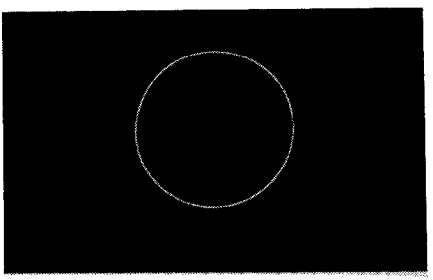

Photo 3 *b*

$Y_2$ en retard de $\pi/2$ sur $Y_1$.

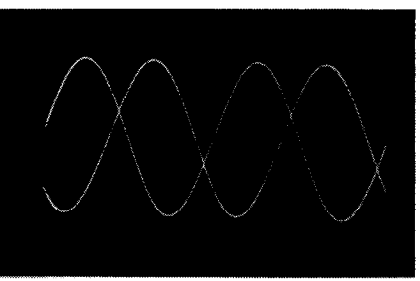

Photo 4 *a*

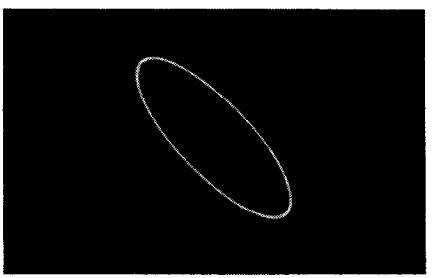

Photo 4 *b*

$Y_2$ en retard sur $Y_1$, d'un angle compris entre $\pi/2$ et $\pi$.

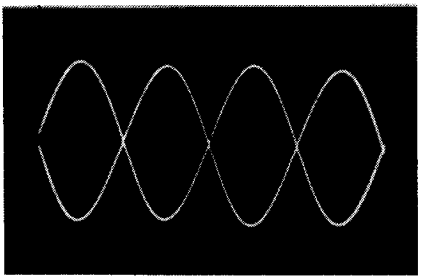

Photo 5 *a*

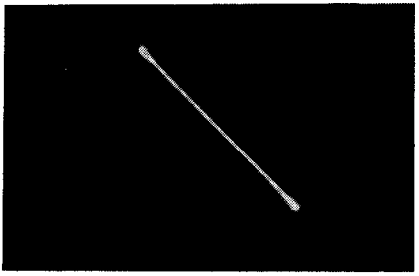

Photo 5 *b*

$Y_2$ et $Y_1$ en opposition de phase.