

Initiation à la pratique de l'électronique

GENERATEUR DE SIGNAUX SINUSOIDAUX A TRANSISTORS

Un oscillateur se compose d'un amplificateur associé à un dispositif de couplage ramenant une fraction de la tension de sortie vers l'entrée, et cela avec un certain déphasage.

Nous nous limiterons aux oscillateurs basse fréquence utilisant la technique transistor et un réseau RC, comme couplage.

L'oscillateur à trois cellules RC, appelé également « phase-shift », ainsi que celui dénommé « Pont de Wien », sont les plus courants et les plus facilement réalisables.

Mais, comme dans la pratique de l'électronique il est primordial de bien comprendre le fonctionnement d'un circuit avant d'en entreprendre la réalisation, nous débiterons par quelques explications sur ce qu'il faut entendre par phase et déphasage. Puis nous passerons au calcul et au montage.

La fréquence du signal que va nous fournir cet oscillateur pourra être rendue variable par trois potentiomètres couplés, montés en résistance variable. Un étage collecteur commun muni d'un autre potentiomètre transformera cet oscillateur en générateur BF.

QU'EST-CE QU'UN OSCILLATEUR ?

Un oscillateur est un dispositif fournissant une tension alternative dont la fréquence est déterminée par les composants du montage.

Cette tension alternative peut être sinusoïdale, de fréquence fixe ou variable. Avec les transistors, il est courant de réaliser aussi bien des oscillateurs fonctionnant à des fréquences audibles qu'à des fréquences très élevées (bande UHF).

De toute façon, un oscillateur se compose d'un amplificateur

et d'un dispositif de couplage. Le rôle de celui-ci est de ramener une tension en phase de la sortie vers l'entrée de l'oscillateur. En résumé, la tension amplifiée réintroduite à l'entrée entretient l'oscillation (fig. 1).

La plupart des oscillateurs utilisent la propriété de filtre sélectif d'un circuit oscillant pour créer un signal de fréquence donnée. Ces types d'oscillateurs, utilisés dans la gamme des fréquences radio, exigeraient un circuit oscillant de taille prohibitive pour les fréquences audibles.

Parmi les quelques modèles d'oscillateurs employés pour les fréquences basses, nous avons choisi l'oscillateur RC. La raison de ce choix est la simplicité du circuit et le faible taux de distorsion du signal qu'il génère.

LA PHASE

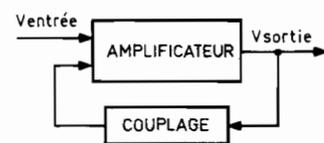
Nous venons d'employer le terme de « phase ». Il est nécessaire d'abord de savoir ce dont il s'agit, pour bien

comprendre le fonctionnement d'un oscillateur.

Prenons comme exemple un transistor monté en émetteur commun. Une tension alternative est appliquée sur sa base. Cette tension se trouve sur son collecteur, non seulement amplifiée, mais également déphasée. A une alternance positive sur l'entrée correspond une alternance négative en sortie. Le phénomène est évident si le fonctionnement de l'étage est bien compris. L'alternance positive sur la base du transistor NPN crée un fort courant I_c . Et, qui dit accroissement de courant collecteur dit augmentation de la chute de tension dans la charge R_c , d'où diminution de la tension de sortie ($V_{coll} = U - R_c I_c$) (fig. 2).

Le déphasage de tension est toujours défini par rapport à une tension de référence. Ici, cette référence est le signal d'entrée. Le déphasage se mesure en degrés ou en radians. On dit que deux tensions sont en opposition de phase lorsque le déphasage

Fig. 1
Un oscillateur se compose d'un amplificateur et d'un dispositif de couplage.



entre elles est de 180° ou de 2π radians, on plus simplement de 2π .

Autre exemple de déphasage : le secondaire d'un transformateur qui, selon son branchement, peut délivrer une tension en phase ou en opposition de phase par rapport à la tension du primaire.

Ce dernier, dont les extrémités sont numérotées 1 et 2, est branché à une source alternative.

Connectons à la masse l'extrémité 4 du secondaire et observons la forme de la tension présente en 3 à l'aide d'un oscilloscope double trace. Sur la figure 3, la tension est en phase avec celle du primaire, d'après ce qui apparaît sur l'écran.

Mettons maintenant l'extrémité 3 du secondaire à la masse et observons la tension au point 4. Nous voyons sur l'écran de l'oscilloscope que les deux formes de tension sont en opposition de phase (fig. 4).

Une bobine de self-induction pure (sans résistance ohmique et sans perte), aux bornes de laquelle on applique une tension sinusoïdale, est traversée par un courant déphasé en arrière de 90° (ou $\pi/2$) par rapport à la tension appliquée.

Dans un condensateur sans perte, le déphasage est le même, mais le courant le traversant est en avance de 90° sur la tension appliquée.

Si le circuit est constitué d'une résistance et d'un condensateur, le déphasage entre tension et courant est compris entre 0 et 90° suivant la valeur de R et la réactance de C.

Ainsi, le déphasage ne dépend pas seulement de R et de C mais aussi de la fréquence. Si par exemple le déphasage est de 45° , cette valeur n'existe que pour une seule fréquence. Si cette dernière vient à varier, le déphasage sera inférieur ou supérieur à 45° , suivant que la fréquence augmente ou diminue.

La tension à l'entrée d'un réseau RC engendre un courant dans C et R connectés en série. La tension de sortie est prise aux bornes de la résistance, elle est fonction du courant traversant celle-ci. Il y a alors décalage en avance de la tension V_s par rapport à V_e (fig. 5).

Si nous disposons, à la sortie de ce réseau, un autre circuit identique, le déphasage est multiplié par deux. Trois réseaux identiques câblés l'un derrière l'autre présentent un

déphasage triple. Ayant choisi un réseau RC présentant un déphasage de 60° pour une fréquence de 1 000 Hz, trois réseaux mis bout à bout déphasent de 3

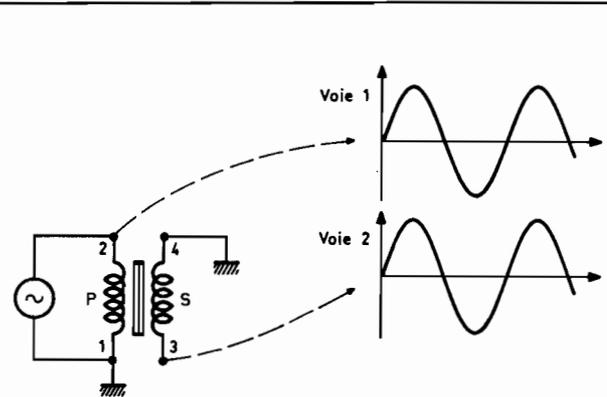


Fig. 3. - Les deux tensions sont en phase.

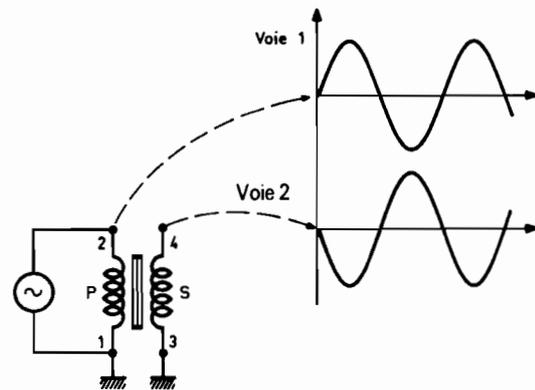


Fig. 4. - Les deux tensions sont en opposition de phase.

DEPHASAGE DANS LES RESEAUX RC

Dans certains composants, il existe un déphasage entre la tension aux bornes et le courant qui les traverse.

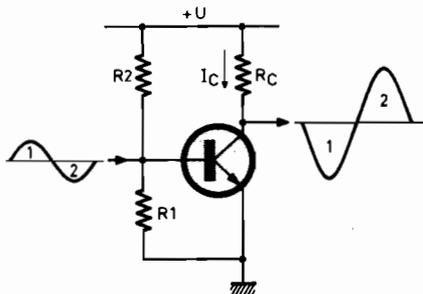
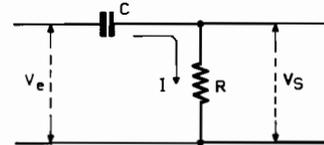


Fig. 2. - A une alternance positive sur la base correspond une alternance négative sur le collecteur (déphasage de 180°).

Fig. 5. - La phase de V_s est la même que celle de I , elle dépend de la valeur de R et de la réactance de C.



$\times 60^\circ$, soit 180° , cela seulement pour la fréquence de 1 000 Hz.

Nous obtenons de cette façon le circuit déphaseur nécessaire pour la réalisation de l'oscillateur RC.

Il faut remarquer que ces 180° n'auraient pas pu être obtenus avec seulement deux cellules RC puisque le fait d'insérer une résistance dans le circuit capacitif ne permet pas d'atteindre le déphasage de 90° par cellule.

Ces 180° auraient pu être obtenus avec quatre cellules déphasant chacune de 45° .

SCHEMA DE L'OSCILLATEUR

L'oscillateur RC est constitué d'un étage amplificateur et d'un réseau de trois cellules. L'atténuation de celles-ci doit être compensée par le gain de l'amplificateur. Pour un tel montage, ce gain doit être supérieur à 30.

La fréquence, les valeurs des condensateurs et des résistances sont données par la formule suivante :

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$$

F étant la fréquence d'oscillation en Hertz, R et C la résistance et la capacité de chaque cellule, respectivement en Ohm et en Farad. Une formule pratique est donnée ci-dessous :

$$F \text{ (Hz)} = \frac{65}{R \text{ (k}\Omega) \times C \text{ (\mu F)}}$$

De cette relation on tire la valeur du condensateur pour une valeur de résistance donnée et la fréquence recherchée.

Par exemple, si la fréquence souhaitée est de 1 000 Hz et que les trois résistances ont pour valeur 10 kΩ chacune, les trois condensateurs auront une valeur donnée par :

$$C \text{ (\mu F)} = \frac{65}{R \text{ (k}\Omega) \times F \text{ (Hz)}}$$

soit :

$$\frac{65}{10 \times 1\,000} = 0,0065 \mu\text{F},$$

c'est-à-dire 6,5 nanofarads.

Etant donné la tolérance des condensateurs, on doit s'attendre à une fréquence légèrement différente (généralement plus faible) de la valeur recherchée.

Le premier schéma auquel on pense pour réaliser un oscillateur RC est celui qui serait constitué d'un transistor en émetteur commun et du réseau de trois cellules (fig. 6). La démarche est la suivante : la résistance R_C de 470 Ω et la résistance de polarisation R_B de 82 kΩ ont été choisies pour fonctionner en classe A et obtenir un gain suffisant pour le transistor T (BC140). Cette valeur de 82 kΩ est donc retenue pour les résistances R des trois cellules. La fréquence souhaitée étant de 1 000 Hz, le calcul nous donne pour C la valeur de 0,8 nF. Ce schéma ne sera pas retenu car il comporte des défauts. En effet, la résistance d'entrée du transistor est plutôt faible par rapport à 82 kΩ. Autrement dit, la résistance d'entrée du transistor court-circuite la sortie du circuit de déphasage. D'autre part, le gain du montage est mal défini.

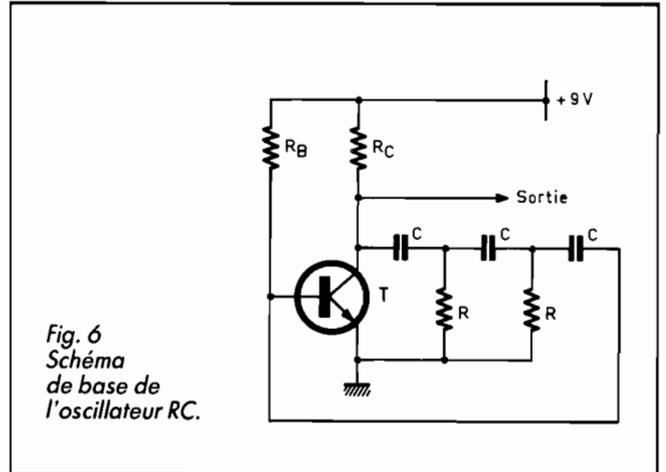


Fig. 6 Schéma de base de l'oscillateur RC.

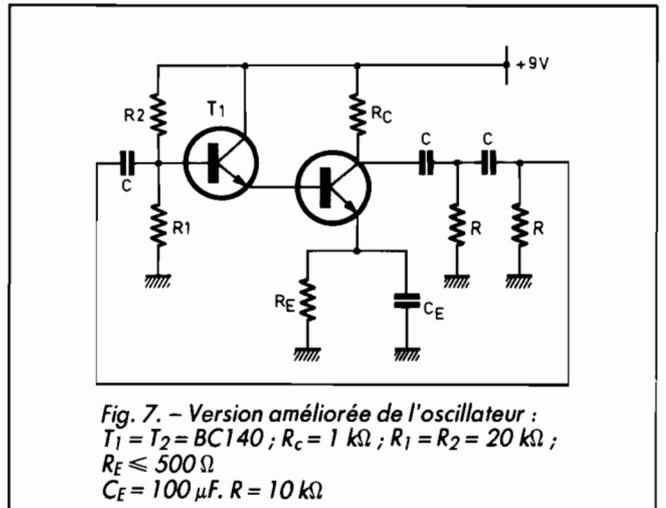


Fig. 7. - Version améliorée de l'oscillateur : $T_1 = T_2 = \text{BC140}$; $R_C = 1 \text{ k}\Omega$; $R_1 = R_2 = 20 \text{ k}\Omega$; $R_E \leq 500 \Omega$; $C_E = 100 \mu\text{F}$; $R = 10 \text{ k}\Omega$

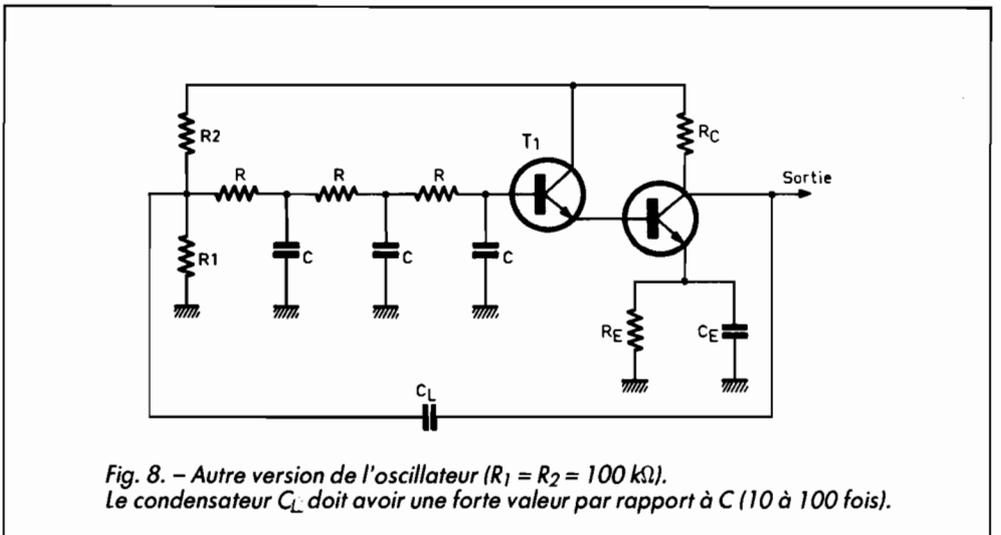


Fig. 8. - Autre version de l'oscillateur ($R_1 = R_2 = 100 \text{ k}\Omega$). Le condensateur C_L doit avoir une forte valeur par rapport à C (10 à 100 fois).

Une amélioration (fig. 7) consiste à ajouter un transistor en collecteur commun dans la chaîne afin d'adapter la sortie du filtre à l'entrée du transistor. La résistance de la dernière cellule est réalisée par l'ensemble de R_1 et de R_2 qui sont en parallèle du point de vue alternatif. Le choix des éléments de l'amplificateur ne présente pas de difficultés. L'amplificateur étant équivalent à un générateur de résistance interne à peu près égale à la valeur de R_c , cette résistance doit être faible par rapport à la valeur de R .

Une autre version est donnée sur la figure 8. La disposition des résistances et des condensateurs est différente. Le courant de polarisation de base traverse les trois résistances R . L'ensemble des deux transistors ayant un gain très élevé, égal au produit du gain

de chacun, le courant I_B est très faible, d'où une chute pas trop élevée aux bornes de la chaîne des résistances R .

L'ensemble R_1 et R_2 , en parallèle en alternatif, doit avoir une valeur élevée pour ne pas court-circuiter les composants du réseau.

La formule pour le calcul des éléments du filtre est un peu différente de la première :

$$C (\mu F) = \frac{390}{F (\text{Hz}) \times R (\text{k}\Omega)}$$

UN DEUXIEME AMPLIFICATEUR COMME DEPHASEUR

Pourquoi ne pas utiliser comme déphaseur de 180° un deuxième transistor en émetteur commun ? Ceci apporte-

rait, outre le déphasage, un gain supérieur, ce qui pourrait sembler un avantage. Un tel montage de deux transistors couplés, nous en avons parlé dans un article précédent, puisqu'il s'agit en réalité de l'astable. Et nous avons vu que l'oscillation, en sortie, était loin d'être une sinusoïde...

Un oscillateur à deux transistors peut donner une tension sinusoïdale, si nous introduisons un filtre sélectif comme liaison entre les deux transistors. Ceci est précisément le cas de l'oscillateur « Pont de Wien ».

OSCILLATEUR PONT DE WIEN

C'est un oscillateur RC basé sur autre principe. Son avantage est que sa variation de fréquence est plus facilement obtenue.

Il se compose essentiellement de deux étages à transistor et d'un réseau RC reliant la sortie à l'entrée, tout en favorisant une certaine fréquence (fig. 9).

Le réseau RC est un diviseur de tension dont le rapport varie avec la fréquence. En regardant la figure 10, on se rend compte que pour une fréquence très basse, proche du continu, la tension en sortie du filtre est vraiment très faible, C_S ayant une réactance très élevée. Pour les fréquences beaucoup plus hautes, la tension de sortie du filtre est également de petite amplitude, puisque C_P agit alors comme un court-circuit à ces fréquences. Entre ces deux cas extrêmes, la transmission de la sortie vers l'entrée de l'oscillateur est favorisée pour une certaine fréquence égale à :

$$F = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\text{avec } R = R_p = R_s \text{ et } C = C_p = C_s.$$

On imagine que cette fréquence doit être assez floue. Pour qu'il y ait oscillation, les calculs donnent une valeur de gain égale à 3. La partie amplificatrice de cet oscillateur devra donc avoir cette valeur sans trop la dépasser afin d'éviter les distorsions. Un schéma complet est donné fi-

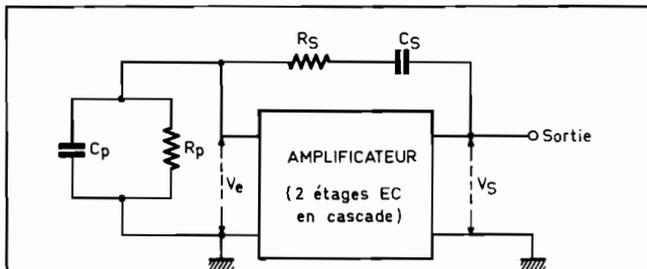


Fig. 9. - Schéma de principe de l'oscillateur Pont de Wien.

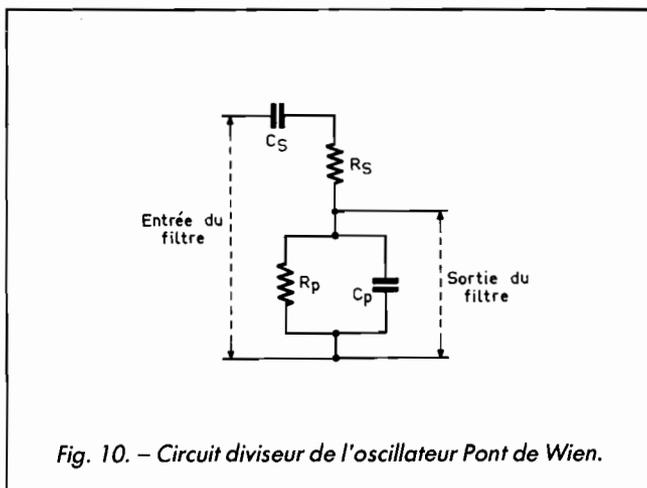


Fig. 10. - Circuit diviseur de l'oscillateur Pont de Wien.

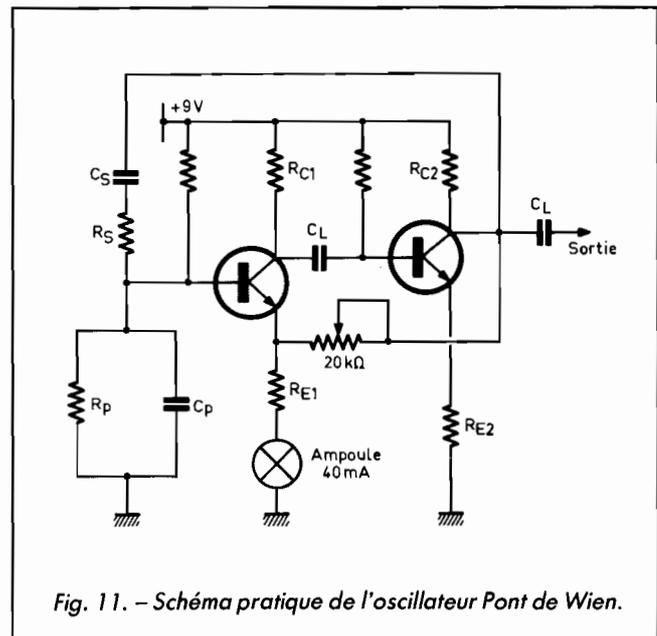


Fig. 11. - Schéma pratique de l'oscillateur Pont de Wien.

gure 11. On remarque un circuit apportant une réaction négative de la sortie vers l'entrée : un potentiomètre monté en résistance variable relie le collecteur du dernier étage à l'émetteur du premier. Le réglage du potentiomètre dose le gain afin d'être à la limite de l'accrochage. Le circuit RC étant peu sélectif, un fort taux de réaction positive amènerait, non seulement une forte distorsion du signal d'oscillation, mais également une fréquence d'oscillation assez loin de la valeur recherchée. Certains schémas comportent une thermistance en série avec le potentiomètre de contre-réaction, ce qui rend constante l'amplitude en sortie.

Une thermistance a comme caractéristique d'avoir une résistance dont la valeur est fonction de la température. Cette variation de température peut provenir soit d'un changement de l'environnement, soit du courant traversant cette thermistance. Il existe deux types de thermistances, celles à coefficient de température positif (CTP) et celles à coefficient négatif (CTN). Ainsi, dans le schéma, une augmentation du niveau de sortie crée un accroissement de courant dans la thermistance, d'où diminution de la résistance de celle-ci et augmentation de la contre-réaction négative, ce qui entraîne une diminution du gain global. Ces thermistances nécessitent un fort courant

pour être efficaces. On préfère plutôt, dans les oscillateurs Pont de Wien, la remplacer par une petite ampoule pour lampe de poche (3,5 V - 0,04 A) dont la résistance augmente avec le courant. On la place alors en série avec la résistance d'émetteur du premier étage.

La variation de fréquence de l'oscillation s'effectue en utilisant pour R_p et R_s un potentiomètre double sur le même axe. On prendra comme valeur 10 k Ω . Quant aux condensateurs C_p et C_s , leur valeur est identique, elle est donnée par la formule :

$$C (\mu F) = \frac{10^6}{2 \pi \times R (k\Omega) \times F (Hz)}$$

Nous rappelons que l'amplification totale doit être faible. Les résistances d'émetteurs n'étant pas découplées, le gain de tension de chaque étage est égal à R_c/R_E . On pourra prendre $R_{E1} = R_{E2} = 1,5 \text{ k}\Omega$ et $R_{C1} = R_{C2} = 4,7 \text{ k}\Omega$.

L'excès de gain sera réduit en réglant la résistance variable de contre-réaction de 20 k Ω .

On retouchera éventuellement la valeur des résistances de polarisation pour augmenter le signal et réduire la distorsion.

Le montage pourra être complété par un étage de sortie tel celui décrit dans le dernier numéro, figure 7.

J.-B.P.

BLOC NOTES

NEC PLUS ULTRA

C'est au cours d'un récent voyage à Saint-Etienne, où est implanté Enertec Instruments, que l'on a découvert un produit fabuleux : l'oscilloscope à mémoire numérique 100 MHz type 5602. L'objet en question est capable de saisir et de mémoriser

des signaux répétitifs tout comme des signaux uniques, dans quatre mémoires d'une capacité de 1 K chacune, ou deux traces dans 4 K, ou une trace dans 8 K. Un système de détection de sous-échantillonnage (fréquence insuffi-

sante) élimine les risques d'apparition de fausse image (par repliement). L'échantillonnage aléatoire permet de disposer du prédéclenchement quelle que soit la vitesse de balayage. Les signaux enregistrés et leur configuration d'acquisition sont sauvegardés dans des mémoires non volatiles. Ces derniers paramètres (sensibilités et vitesses de balayage sont par ailleurs sélectionnées automatiquement, afin d'obtenir une image immédiatement exploitable et stable.

L'appareil, utilisé de manière autonome, est piloté par un jeu de menus sur écran. Intégré dans un système, il est entièrement programmable via les interfaces IEEE 488 et RS 232 C intégrées.

Quelques spécifications :

- 2 voies à échantillonnage simultané.
- Bande passante 100 MHz, en temps équivalent.

- Fréquence d'échantillonnage 40 MHz max.

- Résolution 8 bits.

- Fonctionnement en A, B, A et B, XY.

- Chaînage des segments de mémoire jusqu'à 8 K.

- Base de temps de 20 s à 5 ns/div (loupe).

- Déclenchement sur sortie de fenêtre programmable.

- Mesure de tensions, de différences de tensions, de temps relatifs, d'intervalles, de fréquences.

- Traitements des données : moyennage (2 éch. à 256 éch.), lissage, sommation, produit (mesure de puissance).

- Programmable RS 232 C/V24 et IEEE 488 en série, sortie recopie d'écran sur table traçante XY en analogique ou numérique (HPGL).

- Masse : 13,6 kg.

- Prix : 64 000 F (sondes comprises !).

