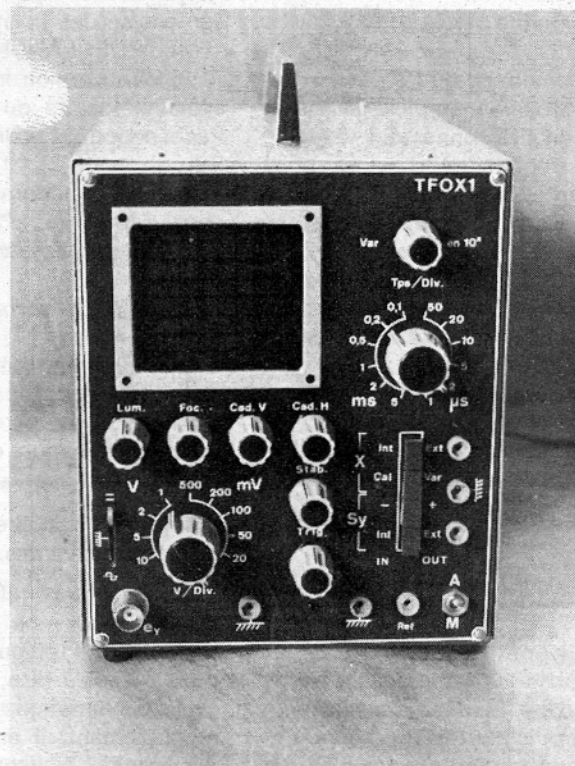


CONSTRUISONS NOS APPAREILS DE MESURE

UN PETIT OSCILLOSCOPE PERFORMANT LE TFOX 1



DANS le cadre de nos descriptions détaillées d'appareils de mesure, nous avons le plaisir, aujourd'hui, de vous présenter celle d'un oscilloscope très facile à réaliser, tout en étant de bonne qualité. L'étude a été menée de manière à obtenir un prix de revient assez bas, mais sans faire de concessions : Là où il fallait un composant de classe, nous l'avons choisi sans hésiter. C'est ainsi qu'un tube rectangulaire moderne, à grande sensibilité a été retenu, qu'un transformateur sur circuits double C a été adopté. Pour le reste, nous avons systématiquement éliminé les composants chers ou difficiles à trouver : Pas de circuits intégrés, par exemple !

La conception mécanique a aussi été soigneusement étudiée pour aboutir à une réalisation simple et efficace. Nous savons bien que l'amateur moyen a toujours des problèmes sur ce plan. Il nous a donc paru indispensable d'avoir une tôlerie minimum, des circuits imprimés clairs et des interconnexions limitées.

En ce qui concerne les performances, le tableau de la figure 1 nous en donne le détail. Disons simplement que nous avons voulu :

- Un amplificateur vertical passant le continu, de bonne bande passante, suffisante pour la quasi totalité des travaux de

l'amateur... et de pas mal de professionnels ! Le tout avec une sensibilité honnête, mais étalonnée, donc permettant des mesures précises d'amplitude.

- Une base de temps du type déclenchée, assurant une synchronisation parfaite des signaux observés et permettant un étalonnage précis des temps.

Le TFOX 1 est donc un oscilloscope sérieux, présentant les mêmes possibilités que beaucoup d'appareils commerciaux de classe professionnelle et plus coûteux. Mais le TFOX 1... vous le monterez vous-même et en serez fier !

Cette description est d'ailleurs faite à l'intention des amateurs préférant encore la réalisation personnelle au tout fait ! Nous donnerons donc tous les détails mécaniques nécessaires. Ah ! Cette mécanique !! Couper, plier, percer... 90 % de toute réalisation électronique sérieuse ! Quand il ne reste plus qu'à souder les composants... c'est presque fini !

Mais... vous n'aimez pas ça !!

C'est bien dommage... pour vous ! Vous voilà mûr pour le dernier Superkit de Trucmachin : une vis à serrer et c'est fini !!

... mais comme aurait pu le dire la fable :

« Si ne voulez plier, alors payez !! »

Déviati on verticale

- Sensibilité maximum : 20 mV/div.
- Atténuateur étalon né par pas de 1, 2, 5 ; 9 positions, jusque 10 V/div. ; précision : 3 à 5 %.
- Bande passante : 0 à 6 MHz.
- Entrée commutable continu/alternatif.
- Position ampli à la masse, signal déconnecté.
- Impédance d'entrée constante de 1 M Ω .
- Capacité d'entrée constante de 30 pF environ.
- Sonde à haute impédance utilisable sur tous les calibres . Z = 10 M Ω ; atténuation de 10, portant à 100 V/div, l'admissibilité d'entrée.
- Entrée protégée contre les surtensions.

Déviati on horizontale**Balayage interne :**

- 12 vitesses étalon nées par pas de 1, 2, 5, allant de 1 μ s/div à 5 ms/div
- précision de 3 à 5 %.
- Vitesse variable progressivement sur les positions 10 x .
- Mode DECLANCHE.
- Synchronisation interne par signaux positifs ou négatifs ; Pas d'action du cadrage vertical.
- Niveau minimum de synchro : Moins de 1/2 division, soit 2 à 3 mm de déviation verticale.
- Verrouillage correct jusque 5 MHz environ.
- Synchronisation externe possible, avec les mêmes caractéristiques.
- Niveau minimum de 30 mV.

Balayage externe :

- Sensibilité : 300 mV/div.
- Bande passante de 50 Hz à 1 MHz.

Tube cathodique :

- D 7 201 GH de BRIMAR
- Type rectangulaire
- Ecran utile de 55 x 45 mm.
- Spot fin et lumineux
- Blindage mumétal.

Dimensions :

- 14 x 17 x 22 cm

Alimentation :

Secteur 220 V, 27 W.

Technologie :

- Tout transistors, sans circuit intégré.

I. CARACTERISTIQUES D'UN OSCILLOSCOPE

La pratique de l'électronique impose l'utilisation d'un oscilloscope. Bien sûr, vous arriverez sans doute à monter le 43^e modèle de gradateur de lumière sans cet appareil, mais aucun montage tant soit peu complexe ne peut être envisagé sans moyen d'investigation. Or l'oscilloscope permet d'y voir ! Pour un emploi efficace, encore faut-il en avoir bien assimilé le principe et c'est ce que nous allons

essayer de vous faire faire dans les lignes suivantes.

Les signaux électriques, fabriqués par nos montages, sont presque toujours périodiques, c'est-à-dire que leur cycle de variations se répète régulièrement. Il en est ainsi des signaux sinusoïdaux, rectangulaires, triangulaires... etc. La représentation graphique permet de visualiser les modalités de variation de ces fonctions. Puisqu'il s'agit de « voir » la valeur prise par le signal selon l'instant considéré, on utilisera un système d'axes repères :

- un axe horizontal, dit des X, gradué en temps.
- un axe vertical, dit des Y et gradué en amplitude du signal. Voir figure 2.

Le report systématique de chaque situation, amplitude-temps : $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots$ donne un ensemble continu de points appelé Courbe Représentative. Cette courbe est une vue symbolique du phénomène. Il est donc très important de bien en avoir compris la génération et la signification. Or, pour avoir à l'enseigner chaque année, à quelques dizaines d'étudiants en herbe, nous savons com-

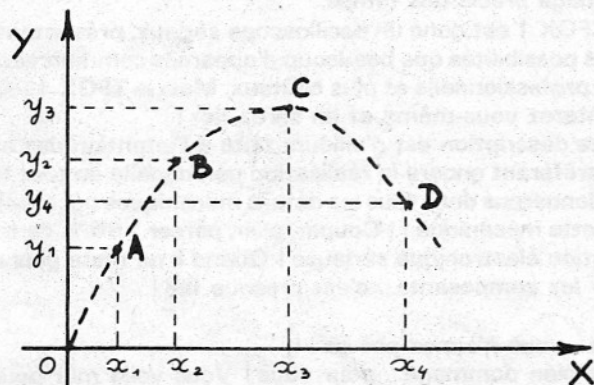


Fig. 2. - Système d'axes permettant la représentation graphique.

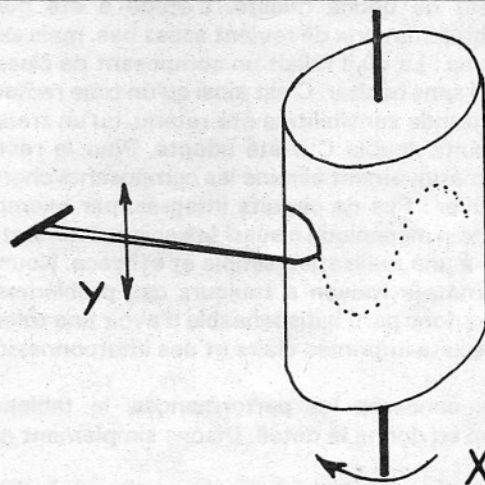


Fig. 3. - Tracé mécanique d'une courbe.

bien la représentation graphique est une abstraction difficile à bien assimiler et utiliser. Ce ne sont d'ailleurs pas les « perles » entendues d'amateurs... voire de professionnels, qui nous inciteraient à penser le contraire.

Nous conseillons donc vivement aux réalisateurs en puissance du TFOX 1, s'ils ne se sentent pas trop à l'aise avec ces notions théoriques de retourner aux sources en constatant que ce qui s'apprend sur les bancs de l'école n'est pas toujours inutile.

La méthode OSCILLOGRAPHIQUE (de « graphe » = écrire) a permis depuis longtemps le tracé automatique des courbes représentatives pour des fonctions à variations relativement lentes. Le baromètre enregistreur en est l'exemple typique. Voir figure 3. Les centrales électriques ou « dispatching » sont équipées d'enregistreurs de défauts utilisant ce principe : Les sinusoïdes des trois phases s'inscrivent sur des bandes de papier à défilement rapide. (plusieurs mètres par minute). Un tel procédé a l'avantage énorme de fournir un document que l'on peut garder. Malheureusement, dès que les signaux sortent du domaine de la très basse fréquence, l'inertie mécanique des enregistreurs les rend inaptes à tout service.

Un second procédé, dit Oscilloscopique (de scope = voir) prit alors le relais. Les physiciens des XVIII^e et XIX^e siècles firent ainsi merveille

avec des oscilloscopes à miroir tournant (voir fig. 4). La rotation du miroir dévie le pinceau lumineux, issu de la source S, horizontalement et proportionnellement au temps. La vibration transversale du petit miroir fixé sur l'élément vibrant à étudier, le dévie verticalement et proportionnellement à l'amplitude du signal.

La composition des deux mouvements fait apparaître la courbe représentative sur l'écran E. Bien entendu, la vitesse de rotation doit être réglée à une valeur dépendant de la vibration, de manière à avoir une observation fixe. La légèreté du petit miroir, donnant une faible inertie, permet des inscriptions bien plus rapides que précédemment. Mais la limite est cependant vite atteinte et ne dépasse guère le domaine des sons musicaux ou de basse fréquence.

C'est l'avènement du tube à rayons cathodiques qui permit de disposer d'un « stylet » lumineux, sans la moindre inertie (du moins en première approximation) rendant possible le tracé automatique de courbes de signaux très rapides. (Plusieurs centaines de mégahertz, de nos jours)

Rappelons rapidement le fonctionnement de ce « tube cathodique » : Voir figure 5. Dans une enceinte de verre, rappelant vaguement la forme d'un entonnoir, on trouve, à l'extrémité du col, une source émissive d'élec-

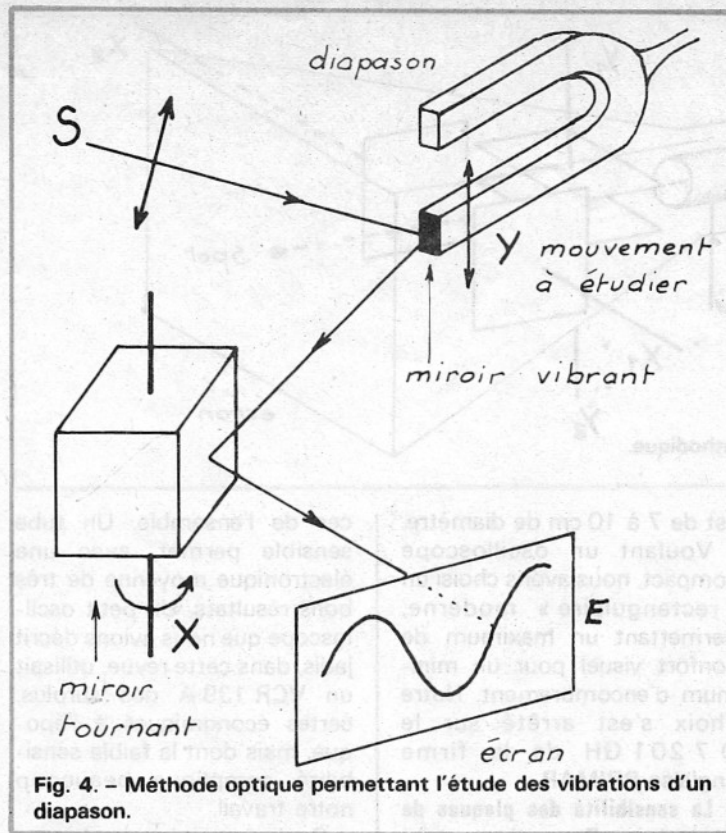


Fig. 4. - Méthode optique permettant l'étude des vibrations d'un diapason.

trons : la cathode. Le pouvoir émissif est obtenu par le choix de la substance (oxyde de baryum, par ex.) et par la haute température à laquelle elle est portée à l'aide d'un filament de chauffage. Dans ces conditions, un « brouillard » d'électrons entoure la cathode. (Effet Edison). Cette dernière doit d'ailleurs son nom au fait qu'elle est reliée au pôle négatif d'un générateur à tension élevée, le pôle positif étant relié à une électrode en forme de tuyau : l'anode. Dans ces

conditions, le champ électrique existant entre cathode et anode, oblige les électrons à quitter la cathode et à partir vers l'anode, à une vitesse d'autant plus grande que la différence de potentiel (ddp) est forte.

Entre ces deux électrodes, les électrons vont traverser un jeu de plaques annulaires, dites de concentration (ou de focalisation - focus -) transformant leur flux plus ou moins ordonné, en un mince pinceau, aussi fin que possible.

Sur sa lancée, ce pinceau va atteindre le centre de la face avant de l'ampoule, recouverte d'une matière fluorescente et l'impact donnera un point (ou spot) d'autant plus lumineux que la vitesse est grande et que les électrons sont nombreux.

La vitesse, déterminée par la ddp cathode-anode étant fixe, on va disposer, au voisinage de la cathode, sur le trajet des électrons, un anneau porté à une contre-tension variable (donc tension négative). En augmentant cette contre-tension, un nombre croissant d'électrons seront repoussés et la luminosité du spot diminuera.

Cette électrode de commande est le WEHNELT.

Dans les conditions exposées, nous l'avons dit, le spot atteint le centre de l'écran. Il faut maintenant le dévier. Pour cela on dispose de deux paires de plaques X_1, X_2 et Y_1, Y_2 au voisinage de l'anode. Le potentiel moyen est celui de l'anode. Si l'on crée un déséquilibre de potentiel entre 2 plaques parallèles, le pinceau d'électrons sera dévié en se rapprochant de la plaque relativement positive.

Les plaques X_1, X_2 assurent, par leur position verticale, la déviation horizontale.

Les plaques horizontales Y_1, Y_2 assurent la déflexion verticale.

Le tube cathodique est le cœur d'un oscilloscope moderne. Il en détermine déjà

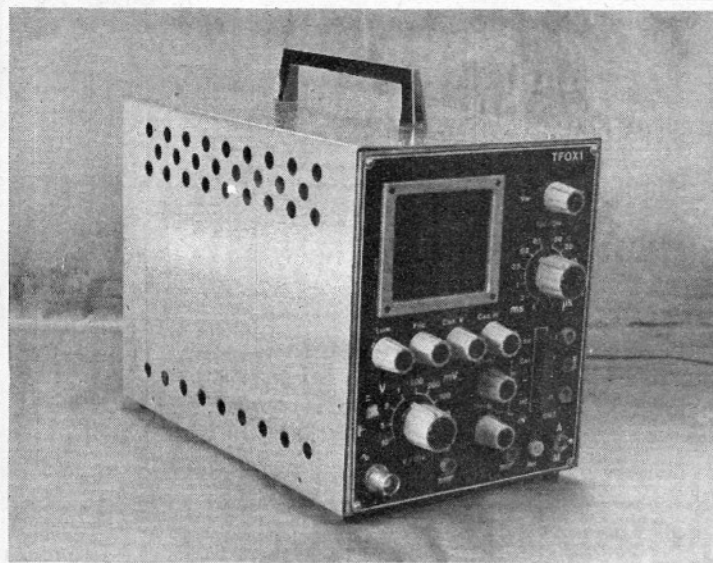


Photo 1. - Le TFOX 1 terminé.

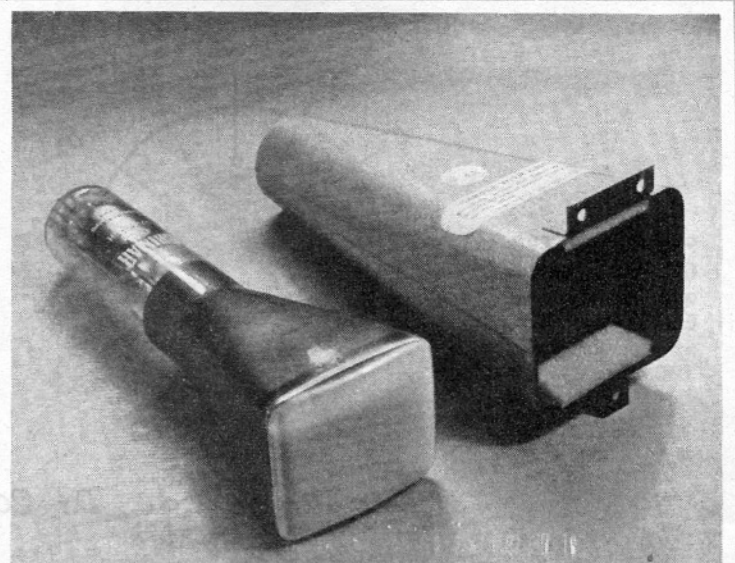


Photo 2. - Le DG 7201 GH de Brimar et son blindage mumétal.

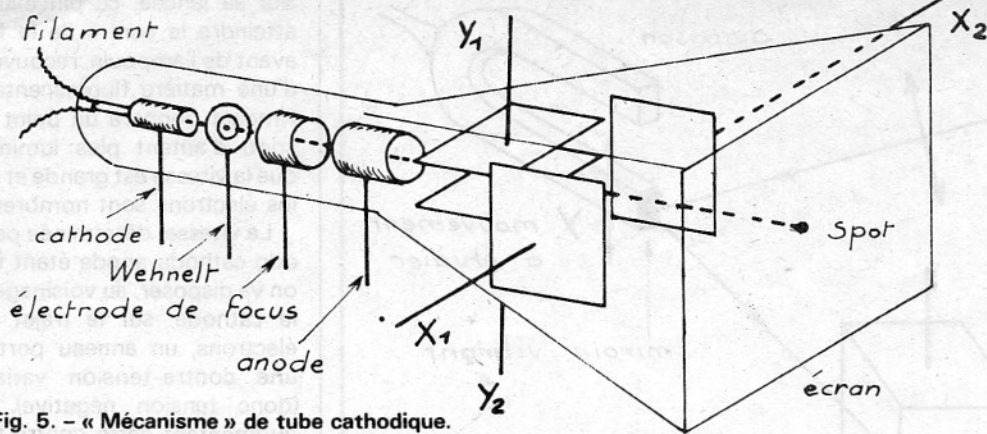


Fig. 5. - « Mécanisme » de tube cathodique.

les performances. Le choix en est donc important. Les paramètres essentiels sont :

- la dimension de l'écran permettant une vision aussi bonne que possible. Il ne faut pas choisir un trop petit tube, sauf pour certaines applications très spéciales. Un gros tube encombrant est souvent très cher. (hormis quelques tubes des surplus, dont certaines expériences malheureuses nous ont appris à nous méfier).
La dimension raisonnable

est de 7 à 10 cm de diamètre.

Voulant un oscilloscope compact, nous avons choisi un « rectangulaire » moderne, permettant un maximum de confort visuel pour un minimum d'encombrement. Notre choix s'est arrêté sur le D 7 201 GH de la firme anglaise BRIMAR.

- **La sensibilité des plaques de déviation.** Paramètre très important dans le cas d'un montage à transistors, car directement lié aux performan-

ces de l'ensemble. Un tube sensible permet, avec une électronique moyenne de très bons résultats. Un petit oscilloscope que nous avons décrit jadis, dans cette revue, utilisait un VCR 139 A des surplus, certes économiques à l'époque, mais dont la faible sensibilité compliqua beaucoup notre travail.

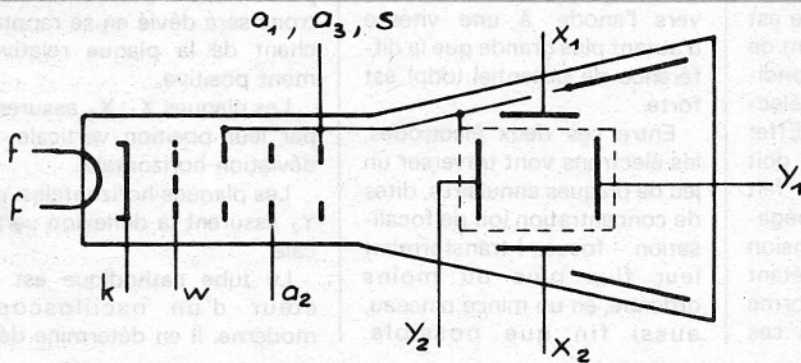
Quel que soit le tube, la sensibilité est en raison inverse de la ddp cathode-anode. Il est alors indispensable de choisir

judicieusement cette ddp pour concilier luminosité et bonne sensibilité.

Certains tubes perfectionnés sont à post-accélération et éliminent cette interdépendance. Ce n'est pas le cas du D 7 201 GH lequel permet toutefois, avec une ddp de quelque 1 000 V, assurant un spot fin et lumineux, une sensibilité élevée, surtout sur la voie Y, réservée au signal.

La figure 6 donne quelques renseignements sur ce tube. On y trouve la disposition interne des électrodes, le brochage, les caractéristiques principales et la disposition réelle des plaques de déviation. La photo n° 2 nous fait voir le D 7 201 GH.

Nous avons indiqué que le spot était dévié sous l'effet des champs électriques transversaux des plaques de déviation. Cependant, le faisceau d'électrons est aussi dévié par un champ magnétique. (Les tubes de TV utilisent ce mode de déflexion).



D7_201GH Brimar

. Filament : 6,3v 0,12A

. Utilisation typique :

$V_{a1} = 1kV$ $V_{a2} = 130v$

$V_w = -37,5v$ (cut-off)

32V/cm en X, 16V/cm en Y

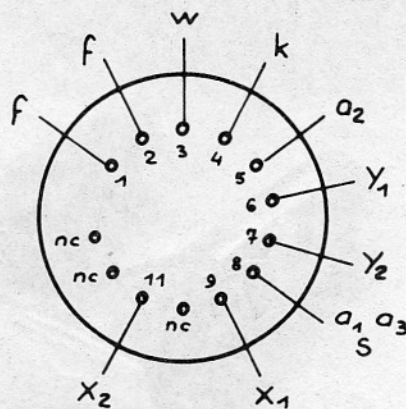
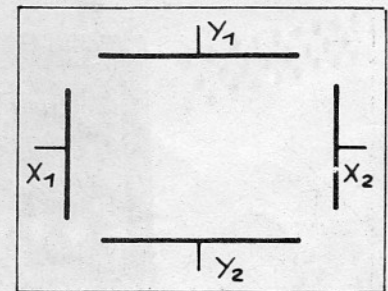


Fig. 6. - Le D 7201 GH. Tube cathodique rectangulaire. Ecran utile : 55 x 45 mm. Longueur : 190 mm.

Brochage du D7.201

La broche 3 vers le haut



Position des plaques vues côté écran.

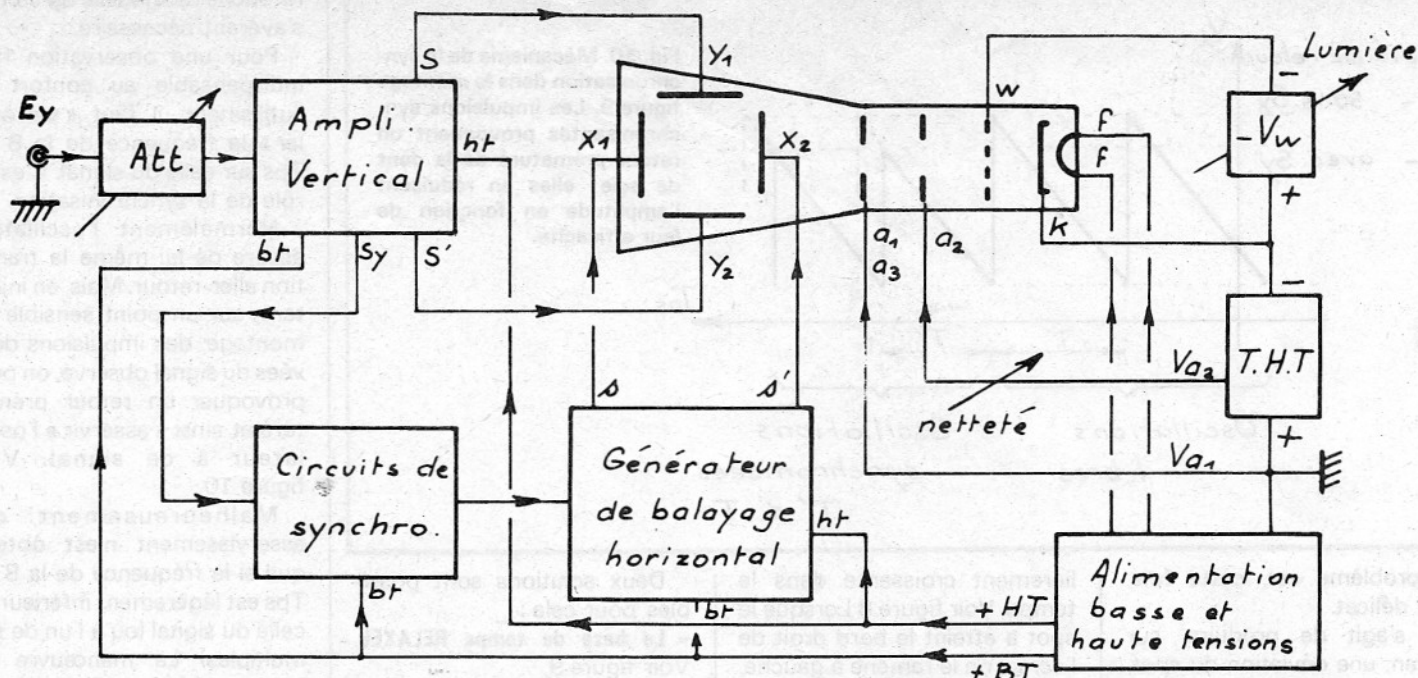


Fig. 7. - Schéma-bloc d'un oscilloscope.

Ici, il s'agit pour nous d'un phénomène parasite. En effet, notre oscilloscope contiendra inévitablement un transformateur d'alimentation, dont les fuites magnétiques vont perturber les oscillogrammes en provoquant des déviations parasites se composant avec les déviations utiles. Il est capital d'éliminer ce défaut.

Pour cela il existe une et une seule bonne solution : le blindage en MUMETAL. Le fabricant du tube fournit sur demande le blindage spécifique du tube utilisé. Malgré la dépense supplémentaire, il ne faut pas tergiverser et acheter

ce blindage. La photo n° 2 montre le blindage spécial pour le D 7 201 GH. Sa référence est MS 33. Attention, le mumetal ne supporte ni choc, ni torsion, ni usinage ultérieur. Il faut donc manipuler cette pièce avec beaucoup de précautions.

A cette occasion, nous vous donnons d'ailleurs un conseil issu de nos propres mésaventures : N'achetez le tube cathodique et son blindage, qu'à la dernière minute, juste au moment de l'utiliser effectivement. Sinon, vous risquez de constater amèrement que cette pièce coûteuse, stockée

trop longtemps dans votre armoire, présente quelque défaut... mais se trouve hors garantie !!

Vous l'avez compris, un oscilloscope contient donc déjà :

- un tube cathodique et son blindage,
- une alimentation assurant le chauffage du filament, la ddp cathode-anode et la contre-tension réglable de wehnelt. Voir figure 7. mais pour rendre tout cela opérationnel, il faut compléter avec :
- **Un amplificateur des signaux observés** permettant l'attaque convenable des plaques Y₁ et

Y₂. Sur le plan général il s'agit d'un montage sans grand intérêt. Asymétrique à l'entrée, il doit être symétrique en sortie. Le coefficient d'amplification du montage doit être réglable, soit de manière continue (alors non étalonnée) ou par points fixes et étalonnés. Dans ce dernier cas, la mesure de l'amplitude sur l'écran permet de déterminer avec précision celle du signal Y injecté en entrée. Dans ce but un transparent, placé devant le tube est gradué verticalement.

- **Une base de temps** permettant l'attaque des plaques X₁ et X₂.

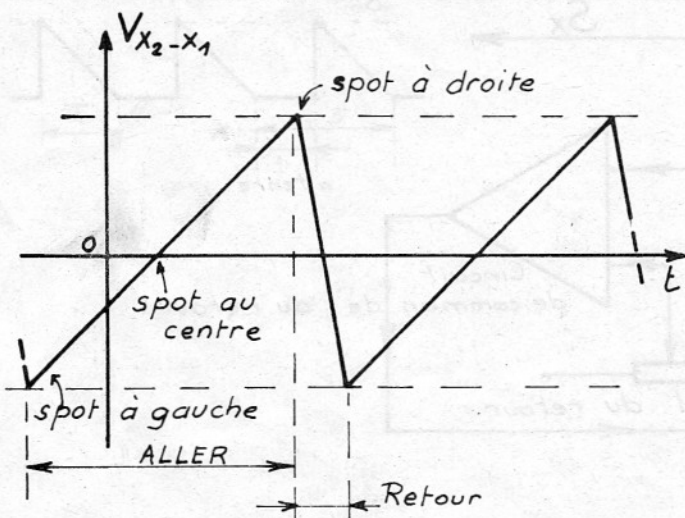


Fig. 8. - Signaux de balayage.

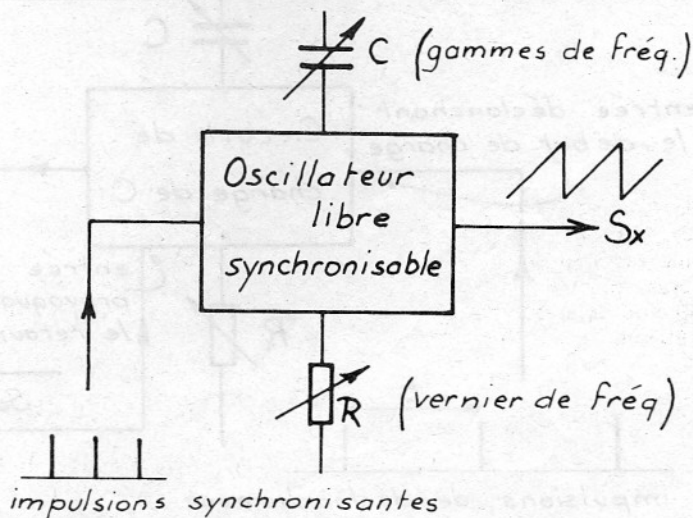


Fig. 9. - Base de temps relaxée.

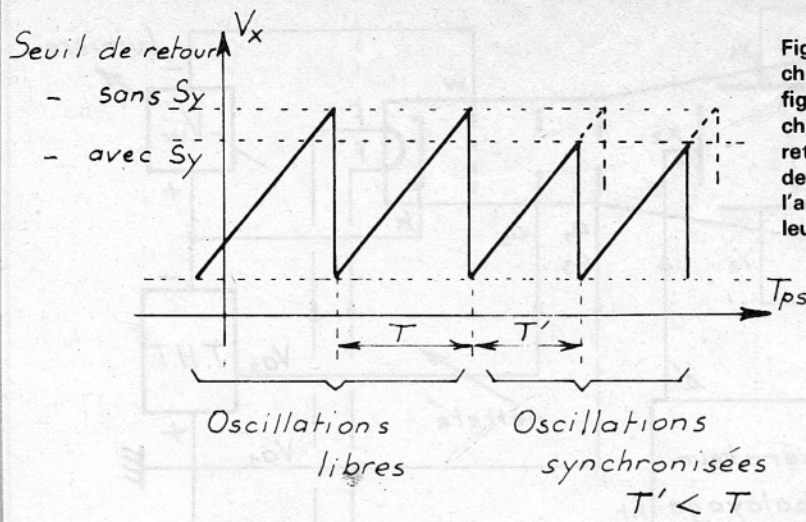


Fig. 10. Mécanisme de la synchronisation dans le montage figure 9. Les impulsions synchronisantes provoquent un retour prématuré de la dent de scie ; elles en réduisent l'amplitude en fonction de leur efficacité.

retouche continue du vernier s'avérant nécessaire.

Pour une observation fixe, indispensable au confort de l'utilisateur, il faut « verrouiller » la fréquence de la B de Tps sur celle du signal. C'est le rôle de la synchronisation.

Normalement l'oscillateur assure de lui-même la transition aller-retour. Mais, en injectant, sur un point sensible du montage, des impulsions dérivées du signal observé, on peut provoquer un retour prématuré et ainsi « asservir » l'oscillateur à ce signal. Voir figure 10.

Malheureusement, cet asservissement n'est obtenu que si la fréquence de la B de Tps est légèrement inférieure à celle du signal (ou à l'un de ses multiples) La manœuvre du bouton de fréquence de la B de Tps donne ainsi des zones stables étroites, séparées de zones de décrochages beaucoup plus larges. Si la fréquence du signal varie pendant l'observation, il faut refaire le réglage.

Par ailleurs, comme on le voit en figure 10, les impulsions synchronisantes, en raccourcissant la durée de l'aller, modifient les caractéristiques du balayage. Dans de telles conditions, il est assez difficile de garantir un quelconque étalonnage de la vitesse, permettant une mesure précise.

En conclusion, la base de temps relaxée est un moyen simple de réaliser un oscillos-

Le problème est, cette fois, plus délicat.

Il s'agit de produire, sur l'écran, une déviation du spot, de gauche à droite, à vitesse constante mais réglable dans une large gamme. Ce déplacement est presque toujours chiffré en temps nécessaire pour parcourir une unité de longueur. Cette unité de longueur apparaît en graduation horizontale du transparent. On l'appelle « Division ». Ainsi, la base de temps du TFOX 1 permet de « balayer » horizontalement l'écran, au minimum de vitesse, à raison de 5 ms par division et au maximum de vitesse, à raison de $1 \mu s$ par division. Chaque division mesure pratiquement 6 mm.

Pour assurer ce balayage linéaire, il faut développer entre X_1 et X_2 , une ddp régulière-

lièrement croissante dans le temps. Voir figure 8 Lorsque le spot a atteint le bord droit de l'écran, on le ramène à gauche, à très grande vitesse, en ramenant la ddp à sa valeur initiale et... on recommence. Le signal nécessaire, présente, on le voit en figure 8, une forme en dents de scie caractéristique.

Chaque aller du balayage inscrit sur l'écran, par composition avec la déviation verticale, une petite portion du signal étudié. Pour que ces inscriptions successives apparaissent immobiles à l'observateur, il faut qu'elles se recouvrent parfaitement. On devine donc qu'il est indispensable d'assurer une dépendance très étroite entre la fréquence du signal observé et celle de la base de temps.

Deux solutions sont possibles pour cela :

- La base de temps RELAXÉE. Voir figure 9.

Dans ce cas, le balayage est assuré de manière PERMANENTE, par un oscillateur autonome assurant la génération du signal en dents de scie. La fréquence du balayage, donc sa vitesse est réglable d'une part par gammes et d'autre part par vernier d'ajustage dans chaque gamme. Sans autre complication, il est ainsi possible en jouant de ces réglages, d'amener la fréquence B de Tps, à une valeur égale à celle du signal observé et l'on voit une période, ou à sa moitié, et l'on voit deux périodes, ou au tiers, et l'on voit trois périodes..., etc.

L'immobilisation absolue est toutefois impossible : une

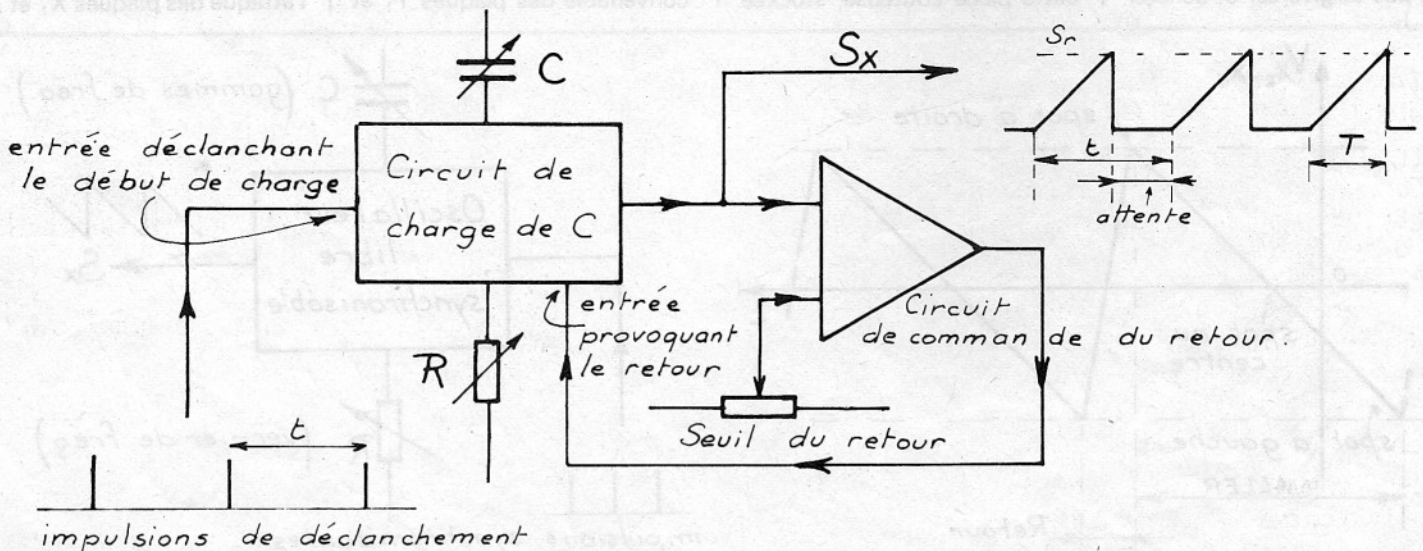


Fig. 11. - Principe de la base de temps déclenchée. T est rigoureusement indépendant de t.

cope. C'est la solution des appareils très économiques. Elle présente cependant des difficultés d'utilisation, par l'acuité des réglages nécessaires.

— **La base de temps DECLENCHEE.** Voir figure 11.

Le cœur du montage est cette fois un oscillateur du type monostable, ou univibrateur, c'est-à-dire « monocoup ». Une impulsion d'entrée le fait démarrer : Un condensateur se charge à courant constant, en engendrant une rampe linéaire, provoquant l'aller du balayage. Lorsque cette tension est suffisante pour amener le spot à l'extrême droite de l'écran, le condensateur est brutalement déchargé et le spot ramené au départ. Le montage reste alors au repos, jusqu'à l'arrivée de l'impulsion suivante.

Chaque impulsion DECLENCHE ainsi UN balayage du tube. Bien entendu, les impulsions sont dérivées du signal à observer.

L'avantage important du procédé, est que la vitesse du

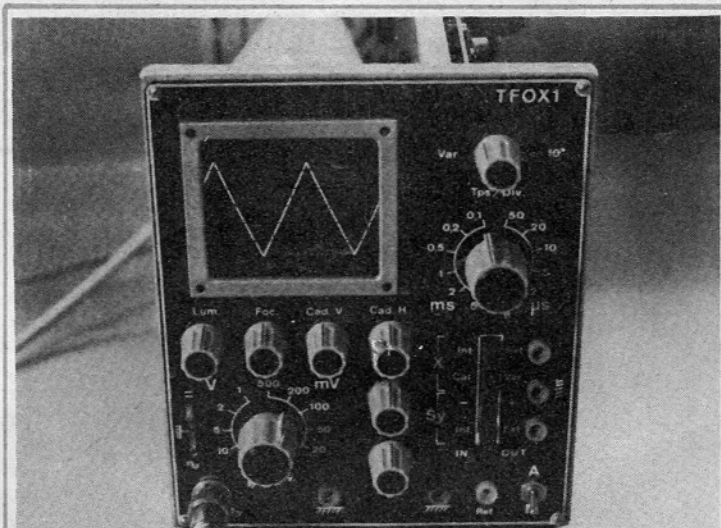


Photo 3. — Photographie illustrant l'excellente linéarité du TFOX 1, tant sur le plan vertical qu'horizontal. Remarquer aussi la qualité de la concentration et la très bonne luminosité.

balayage est totalement indépendante de la fréquence des impulsions qui n'en assurent que le départ. Celui-ci se faisant toujours au même point de la période du signal, la synchronisation est toujours parfaite, que la fréquence du signal varie ou pas.

La vitesse constante permet

un étalonnage rigoureux et valable, quelles que soient les conditions.

La base de temps déclenchée est ainsi la seule à permettre la réalisation d'oscilloscopes d'usage facile et permettant des mesures précises. Tous les montages professionnels en sont dotés et depuis

quelques années, certaines réalisations à but plus modeste en bénéficient également.

Le TFOX 1 se voulant un appareil performant aura donc une base de temps déclenchée.

En se reportant quelques lignes plus haut, on se rappelle que, le spot au repos, à gauche de l'écran, attend l'impulsion suivante. Mais, dans ces conditions, immobile, il est très brillant et risque de brûler la couche sensible du tube.

Un circuit additionnel dit « d'effacement » bloque alors le faisceau d'électrons pendant cette période d'attente. Le spot n'est plus visible que pendant l'ALLER du balayage.

Cette brève étude du principe d'un oscilloscope étant achevée, nous donnerons dans notre prochain numéro, l'analyse détaillée du schéma exact de notre TFOX 1.

(à suivre)

F. THOBOIS