

Pratique de la Mesure

L'OSCILLOSCOPE

(Suite voir N^{os} 1706 et 1707)

Nous avons vu, le mois dernier, comment calculer les éléments des cellules d'atténuation de la voie verticale de l'oscilloscope.

Un réglage de chaque cellule doit être fait pour une bonne transmission. La méthode classique utilisée est celle du « signal rectangulaire ». On injecte le signal rectangulaire dans l'entrée de la voie verticale. Les cellules d'atténuation sont réglées pour que la forme du signal soit parfaitement respectée. Se reporter à la figure 1 redonnant le schéma de l'atténuateur :

– Si le condensateur C_1 a une valeur insuffisante, les fréquences élevées passent mal et le signal est arrondi (voir fig. 2a).

– Si le condensateur C_1 a, au contraire, une valeur excessive, les fréquences élevées passent trop et le signal est différencié et présente des dépassements (voir fig. 2b).

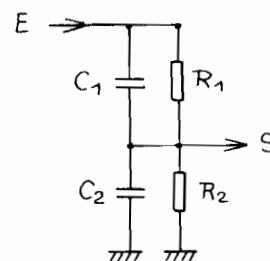


Fig. 1. – Cellule atténuatrice.

La cellule 50 mV de la figure 3, que nous vous redonnons, pour vous éviter de retourner au numéro précédent, n'est pas atténuatrice, puisque R_{22} est directement aux bornes du signal. Cette résistance fait uniquement fonction de retour de masse. Elle mesure donc $1\text{ M}\Omega$. La paire C_{17}/R_{21} est destinée à protéger l'entrée du FET et ses diodes associées. En effet, ces dernières évitent à la tension de *gate* de dépasser leur seuil critique : c'est $0,6\text{ V}$ par diode, soit donc entre $+ 1,2\text{ V}$ et $- 1,2\text{ V}$, puisque deux

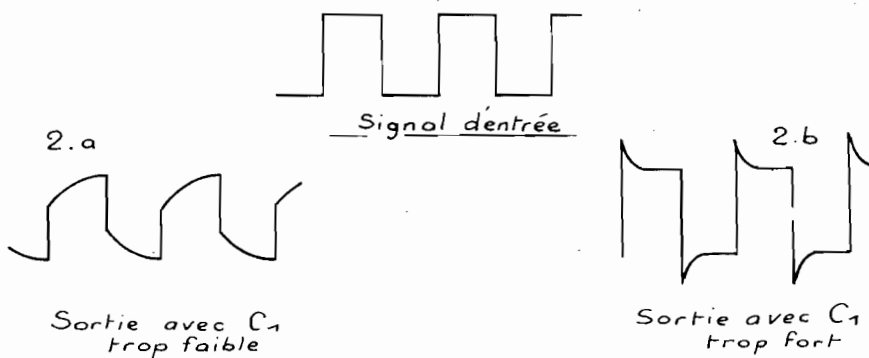


Fig. 2. – Réglage de l'atténuateur.

diodes sont en série. Toutefois, pour que cette protection se fasse, il faut limiter le courant. C'est le rôle de R₂₁.

Ainsi, si l'on applique 20 V sur l'entrée 50 mV, en choisissant R₂₁ = 200 kΩ, par exemple, on a $I = (20 - 1,2)/200\ 000 = 94\ \mu\text{A}$, que les diodes absorbent sans aucune difficulté. Sans R₂₁, il y aurait eu sans aucun doute claquage des diodes. C₁₇ compense R₂₁ aux fréquences élevées.

Observons enfin la liaison entre l'atténuateur et la borne d'entrée :

– Pour la position dessinée de l'inverseur double, cette borne d'entrée est reliée à l'entrée de l'atténuateur. C'est donc la position normale d'emploi.

– Si cet inverseur est commuté vers le bas, la borne d'entrée est décon-

nectée et l'entrée de l'atténuateur est reliée à la masse. Cette position permet de faire le réglage du zéro (comparable à l'ajustage de la position de repos de l'aiguille d'un galvanomètre). Ici l'ajustage se fait par P₃ de cadrage. A noter, d'ailleurs, que si le zéro de la déviation se fait classiquement au milieu de l'écran, on peut aussi le déplacer vers le haut ou vers le bas pour l'observation de signaux essentiellement négatifs ou positifs. Pendant ce réglage, le signal à observer n'est pas court-circuité, ce qui pourrait être grave pour l'électronique le générant !

L'amplificateur de la figure 3, comme celui de tous les oscillos modernes, « passe le continu ». Toutes les liaisons entre étages sont directes : la bande passante va de 0 à

6 MHz ! L'avantage est important puisque le spot nous indique alors les niveaux instantanés exacts par rapport à une référence de potentiel (masse en général). Toutefois, il arrive souvent qu'une tension alternative faible soit superposée à une tension continue élevée. Difficulté que nous avons déjà rencontrée avec le contrôleur universel et qui avait donné naissance à la fonction OUTPUTMETRE, rappelez-vous ! Nous avons simplement intercalé un condensateur dans la liaison ! Ici, mêmes causes et même remède. C'est la raison d'être du condensateur C₁₂.

– Si l'interrupteur parallèle est fermé, C₁₂ est court-circuité et l'ampli transmet la composante continue du signal. Ce sera le cas de tous les si-

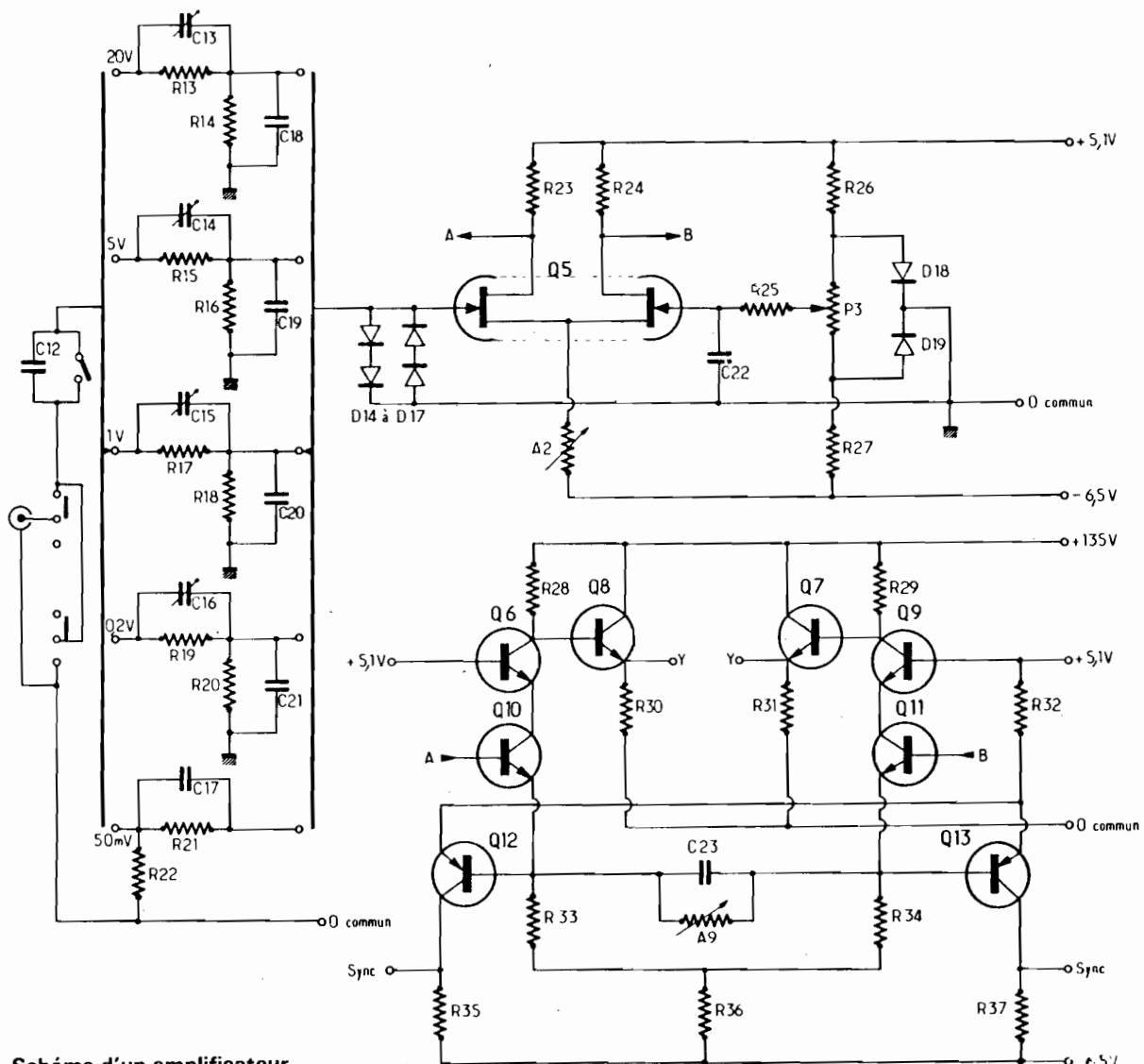


Fig. 3. – Schéma d'un amplificateur de déviation verticale.

gnaux alternatifs pour lesquels la tension moyennée est de l'ordre de grandeur de la tension crête-à-crête.

— Si l'interrupteur est ouvert, la composante continue est bloquée. Seules passent les variations alternatives à fréquence suffisante (C_{12} et R_0 , de l'oscilloscope, constituant en fait un filtre passe-haut !). On utilise ce mode à chaque fois que le niveau continu du signal est important en face de ses variations. L'exemple typique étant celui de l'observation de la tension de ronflement de la sortie d'une alimentation. C'est le cas aussi des signaux BF faibles, observés sur le collecteur d'un transistor amplificateur.

Sonde d'entrée

L'oscilloscope seul est un voltmètre assez médiocre, nous l'avons vu ! Son impédance d'entrée de $1\text{ M}\Omega$ est souvent trop basse, ce qui perturbe le montage sous test. De plus, nous avons également parlé de la nécessité de la compensation des cellules de l'atténuateur, rendue nécessaire par les inévitables capacités parasites du câblage, mais aussi par les capacités dynamiques des semi-conducteurs d'entrée de l'ampli. Il est très difficile de descendre en dessous de la vingtaine de picofarads. En fait, la quasi-totalité des oscilloscopes accusent une trentaine de pF. Ce n'est pas négligeable ! La connexion d'une telle capacité est très perturbante pour de nombreux montages. Mais un autre élément doit aussi être considéré. C'est la liaison oscillo-montage. Certes, il est possible de se servir d'un simple fil, tant côté froid (masse) que côté chaud (entrée Y). Si les signaux sont prélevés à fort niveau (plusieurs volts !), en des points où l'impédance est basse (de l'ordre de la centaine d'ohms au moins !), la solution est acceptable ! Mais, dès qu'il s'agit d'observer des signaux faibles, sous impédance moyenne ou élevée ($> 100\text{ k}\Omega$), un fil de liaison nu captera malheureusement des parasites d'induction très perturbants : en particulier un « ronflement » à 50 Hz provenant des appareils et lignes secteur de l'environnement. L'observation va alors s'avérer impossible ! Il faut dans ce cas avoir recours à une liaison blindée, séparant « le bon grain de

l'ivraie » et montrant le signal utile sans anomalie. Un tel câble blindé de liaison est presque toujours indispensable !

Mais, revers de la médaille, ce câble constitue entre âme et blindage un superbe condensateur, dont la capacité va s'ajouter à la trentaine de pF déjà existants. Quand on sait qu'un câble, genre TV, fait environ 70 pF au mètre, on comprend vite qu'un problème supplémentaire se pose ! Il serait surprenant que les fréquences élevées du signal atteignent bien l'entrée de l'oscillo si elles sont « court-circuitées » par une centaine de picofarads !

La solution de tous ces problèmes : le sonde atténuatrice ! Il s'agit tout simplement d'une cellule atténuatrice additionnelle, le plus souvent de rapport 1/10, pour simplifier son utilisation (voir fig. 4). On y retrouve les deux parties de la figure 1 :

— R_1 et C_1 en bout de câble blindé, dans la pointe de touche.

— R_2 et C_0 sont la résistance et la capacité d'entrée de l'oscilloscope.

$$\text{Exemple : } R_2 = 1\text{ M}\Omega \\ C_0 = 30\text{ pF}$$

Mais la capacité C_2 effective de la deuxième partie de la cellule est constituée en fait de C_0 en parallèle avec la capacité C_c du câble de liaison.

$$C_2 = C_0 + C_c \\ \text{soit :}$$

$$C_2 = 30 + 70 = 100\text{ pF environ.}$$

Pour une atténuation de 10, il faut que $R_1 + R_2 = 10 R_2$

$$R_1 = 10R_2 - R_2 = 9R_2$$

$$R_1 = 9 \times 1\text{ M}\Omega = 9\text{ M}\Omega$$

La sonde atténuatrice devra être compensée comme les autres cellules de l'atténuateur. Il faut que :

$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$

soit :

$$C_1 = 1 \times 100/9 \approx 11\text{ pF}$$

La capacité d'entrée de la sonde est constituée de C_1 en série avec C_2 , soit :

$$C_s = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$$

$$C_s \approx 10\text{ pF}$$

Nous pouvons alors remarquer :

- que l'impédance d'entrée « sonde + oscillo » passe à $10\text{ M}\Omega$ ($R_1 + R_2$), ce qui améliore de 10 fois les performances *voltmètre* de l'oscilloscope. Nous nous retrouvons à égalité avec le voltmètre numérique ;
- que la capacité d'entrée est réduite à 10 pF, ce qui est nettement meilleur, même si ce n'est pas parfait !
- que l'influence néfaste du câble blindé de liaison est totalement éliminée, sa capacité parasite contribuant à la compensation de l'atténuateur ainsi constitué. De plus la liaison est blindée et donc exempte de perturbations diverses ;
- que la bande passante de l'oscilloscope est sauvegardée si la sonde est parfaitement compensée par le réglage de C_1 .

Attention cependant : comme C_0 (capacité d'entrée de l'oscillo) fait partie de C_2 , il est indispensable que cette valeur soit bien constante, de gamme en gamme de l'atténuateur de l'appareil. Faute de quoi, chaque changement de gamme nécessitera une retouche de C_1 pour refaire la compensation. Ce serait très gênant !

Nous vous renvoyons à la fin de l'article du mois dernier dans lequel nous avons déjà évoqué ce problème. Vous devez maintenant mieux comprendre le rôle de C_{adj} justement prévu en conséquence.

Seul point négatif de la sonde : elle « atténue » ! Et donc réduit la sensibilité de l'oscilloscope. Par exemple, si celui-ci présente un maximum de 50 mV/division, cela ne fera plus que 500 mV/div. avec la sonde 1/10 !

Il peut donc y avoir parfois limite d'utilisation de cette sonde. Cependant, à chaque fois que sensibilité de l'oscilloscope et amplitude des signaux sont compatibles avec le prélèvement par sonde, il faut utiliser celle-ci, car c'est la seule manière de faire, permettant de voir les signaux sous une forme proche de la réalité. Tout

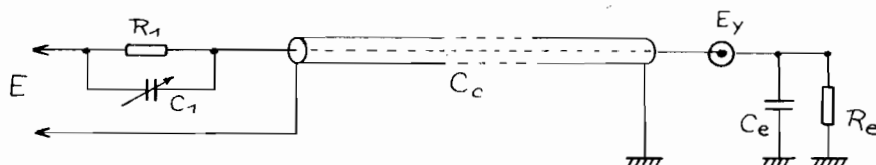


Fig. 4. — La sonde atténuatrice.

autre mode de prélèvement est perturbant, ne l'oublions pas :

- par impédance insuffisante,
- par capacité parasite trop grande,
- par induction possible, si le fil de liaison n'est pas blindé.

Formation de l'oscillogramme

Jusqu'à présent, nous ne nous sommes pas inquiétés de la formation de l'image sur l'écran du tube cathodique, ne faisant intervenir que la déviation verticale $Y = K(V_1 - V_2)$, provoquée par le signal.

Certes, cette déviation seule est déjà intéressante puisqu'elle permet de mesurer $V_1 - V_2$, mais elle n'est pas suffisante puisqu'elle ne donne pas la forme du signal ! Pour obtenir cela, il va falloir faire intervenir les plaques de déviation horizontales du tube cathodique.

Généralement, le signal observé varie dans le temps de manière périodique. C'est donc en fonction du temps que l'observation va être faite. Pour cela c'est très simple : il suffit de dévier le spot à vitesse constante de gauche à droite. A chaque position horizontale de ce spot, correspond par la déviation verticale une position verticale du point lumineux, ce qui fait que la position sur l'écran a des coordonnées qui dépendent, pour l'ordonnée, de l'amplitude du signal et, pour

l'abscisse, du temps ! Le résultat, on le devine, est une belle représentation graphique du signal en fonction du temps ! C'est exactement ce que l'on voulait !

Hélas, l'écran est trop court et le temps trop long ! L'observation va donc s'arrêter à la limite droite de cet écran, la suite étant perdue ! Dans de telles conditions, l'oscillogramme n'est qu'un très bref aperçu d'un phénomène qui dure bien plus longtemps !

Pour passer de cet aperçu à une observation en continu, il suffit de pratiquer un balayage répété de l'écran. Le spot revenant à gauche quand il est arrivé au bout de la trace.

Le phénomène peut alors s'illustrer selon la figure 5. Dans les conditions représentées, les traces successives vont se superposer et l'observateur verra une image fixe. Mais pour en arriver là, il faut que certaines conditions soient bien remplies :

- Le phénomène observé doit être périodique, c'est-à-dire se répéter identique à lui-même, à intervalles de temps constants (la période !). C'est le cas de la figure 5, évidemment.
- Pour qu'il y ait superposition des traces, il faut qu'elles soient identiques, donc doivent commencer exactement au même point (noté sur la figure *point de déclenchement*) et durer exactement le même temps.

Il faut donc avoir un balayage en

parfait synchronisme avec le signal observé. Comme il n'est pas question d'intervenir sur ce signal, c'est le balayage qui doit être amené à égalité de vitesse.

Deux méthodes sont utilisées pour cela :

Le balayage relaxé

Dans ce cas, un oscillateur à relaxation (c'est-à-dire du type RC) génère les tensions nécessaires au balayage. On notera tout de suite que, la tension en question, devant déplacer le spot à vitesse régulière, doit être elle-même à variation régulière ou *linéaire*. C'est donc une rampe à pente constante. A la fin du balayage, on revient automatiquement à zéro pour un nouveau départ et on recommence. Une telle tension est dite en dents de scie (voir fig. 6). En mode relaxé, le balayage est permanent, même hors observation. La vitesse est bien sûr réglable, de quelques périodes par seconde, à quelques centaines de milliers. Il est indispensable de prévoir plusieurs gammes, avec un vernier de réglage agissant dans toutes ces gammes.

Les oscillateurs à relaxation, étant d'un tempérament assez instable, sont difficilement étalonnables avec précision.

Pour l'observation, on va jouer sur le commutateur de gammes, puis sur

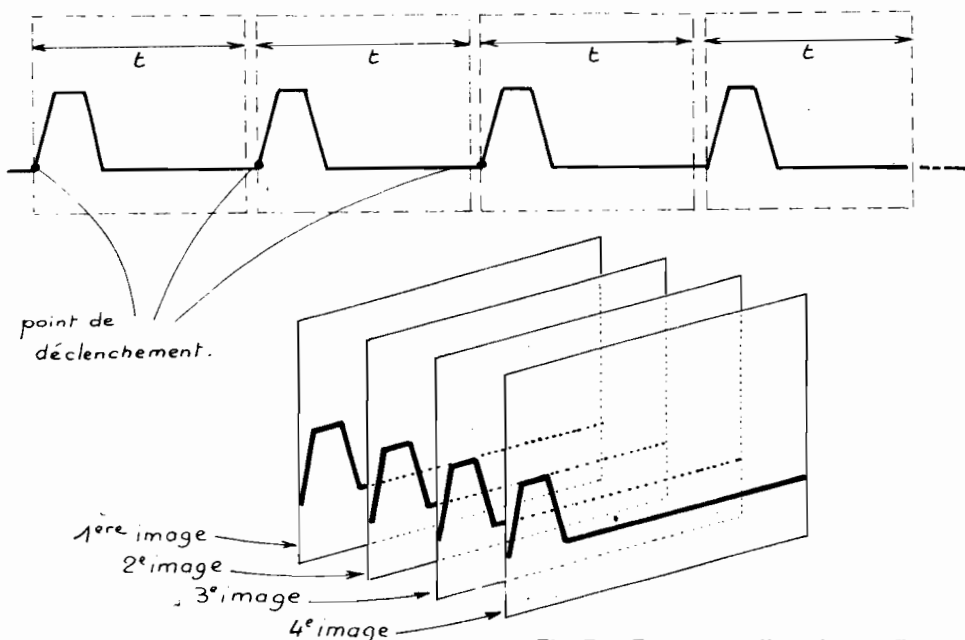


Fig. 5. - Formation d'une image fixe sur l'écran.

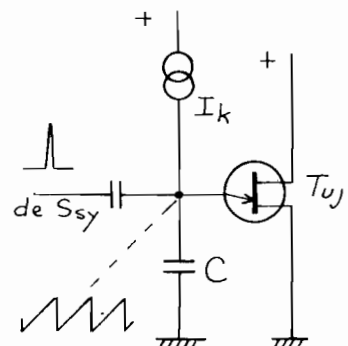


Fig. 6. - Tension en dent de scie, générée par unijonction.

le vernier jusqu'à amener signal et oscillateur à égalité de fréquence. Alors l'image s'immobilise (comme la roue de la diligence, dans les westerns !). C'est de la « stroboscopie » ! Mais l'oscillateur de balayage étant instable, cet arrêt ne dure pas et l'image se remet à défilé, soit vers la droite si le balayage « avance », soit vers la gauche s'il « retarde » !

Un verrouillage s'impose donc : c'est la synchronisation !

Pour en comprendre le fonctionnement, il faut se retourner vers l'oscillateur de relaxation. La rampe est générée par la charge, à courant constant I_k , d'un condensateur C , associé à un dispositif de décharge, par exemple un transistor *unijonction*. Un tel transistor a la propriété de se « court-circuiter » lorsque la tension d'entrée atteint un seuil donné. Ce court-circuit décharge C . La charge peut alors recommencer : il y a génération de la fameuse tension de balayage, en dents de scie ! Imaginons maintenant que, en fin de rampe, nous injectons sur l'entrée, par S_{SY}

une impulsion positive brève, laquelle, ajoutée à la tension instantanée de rampe, la fait « crever le seuil » de court-circuit. Celui-ci se produit alors à cet instant, terminant prématurément la rampe. Si l'impulsion est injectée à chaque période, la fin de charge (ou le début de la décharge) va donc parfaitement coïncider avec cette impulsion. L'oscillateur en dents de scie est **synchronisé sur les impulsions**.

Notons que :

- La période propre du relaxateur est raccourcie dans des proportions assez mal définies, ce qui augmente encore les difficultés d'étalonnage éventuel de la vitesse de balayage.
- L'impulsion doit nécessairement se produire en fin de rampe, pour provoquer le retour de balayage prématuré.
- L'amplitude de la dent de scie est légèrement réduite.

Les impulsions synchronisantes sont obtenues à partir du signal à observer, lequel est prélevé sur les sorties « sync », dans le cas de la figure 3. Les deux sorties « sync »

permettent de disposer de polarités opposées, d'où possibilité de synchro, soit sur les pentes positives du signal, soit sur les négatives.

Un comparateur est chargé de créer les impulsions. Le signal est appliqué sur une entrée, l'autre recevant la tension réglable de seuil. Quand le signal dépasse la tension de seuil, à l'instant t_1 , la sortie bascule brusquement, passant au niveau haut et y restant jusqu'à ce que, à t_2 , le signal repasse sous le seuil. La sortie rectangulaire est différenciée. L'impulsion négative est éliminée par D et la positive est injectée, comme vu plus haut, dans le relaxateur. Le réglage du niveau de seuil permet d'ajuster le point de synchronisation, donc le point du signal apparaissant au début de la trace.

Pour conclure sur ce premier mode :

- Beaucoup de difficultés pour faire un étalonnage en temps de la déviation horizontale, puisque celle-ci est fonction d'un relaxateur instable et surtout des conditions exactes de synchronisation.

- Difficulté pour obtenir l'immobilisation de la trace, le balayage devant être amené aux conditions permettant la synchronisation. D'où zones étroites de stabilité, séparées par de larges zones d'instabilité.

Le balayage relaxé est donc une méthode simple convenant aux oscilloscopes de bas de gamme. Une autre méthode plus performante est retenue pour les bons oscilloscopes. Nous l'étudierons le mois prochain.

F. THOBOIS

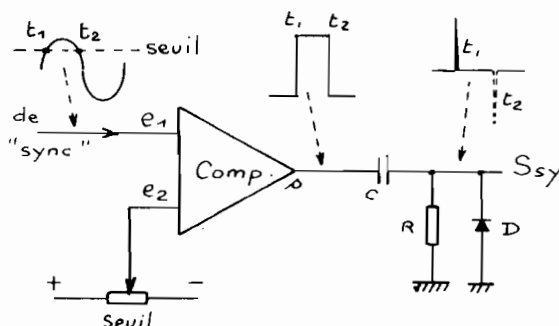


Fig. 7. - Formation des impulsions de synchronisation (l'impulsion négative est supprimée par D).

Bloc-notes

UN DATA BOOK C.MOS NATIONAL SEMICONDUCTOR

Semiconductor Corporation a publié un nouveau Databook C.MOS, représentant la source d'information la plus complète qui soit sur les produits C.MOS actuellement disponibles.

Cet ouvrage ne comporte pas moins de 1 484 pages, regroupant les feuilles de caractéristiques des 395 produits disponibles chez National, parmi lesquels figurent plus de 250 produits microC.MOS

- c'est ainsi que sont désignés chez National les produits C.MOS de pointe réalisés suivant une technologie de porte au silicium et isolation d'oxyde de très faibles dimensions. Les produits microC.MOS de National utilisent des structures à la fois N et P fabriquées avec 1, 2 ou 3 couches d'interconnexion métallique ou 1, 2 ou 3 couches d'interconnexion polysilicium. Les produits microC.MOS actuels possèdent des géométries de 2 ou 3 mi-

croC.MOS ; des géométries de 1,5, 1,25 et inférieures au micron sont en cours de développement.

Le manuel est découpé en 16 sections pratiques, par catégorie de produits, et comprend de plus un index des sections et un index alphabétique. Outre les caractéristiques des circuits intégrés, le Databook comporte des informations sur les microcontrôleurs COPs de National, sur les modules micro-ordinateurs in-

dustriels C.MOS CIM, ainsi que sur les systèmes de développement pour microprocesseurs. La dernière section est consacrée à des informations portant sur les boîtiers et leurs dimensions physiques.

La nouvelle édition 1984 du Databook C.MOS n'est disponible qu'après des distributeurs officiels National Semiconductor.

COPs et CIM sont des marques déposées de National Semiconductor Corporation.