

(IX) PRATIQUE DE LA MESURE

L'OSCILLOSCOPE

Après avoir étudié, au long de plusieurs articles, les particularités techniques de l'oscilloscope, nous avons commencé, le mois dernier, à passer en revue le détail des applications pratiques.

C'est ainsi que nous avons envisagé : la mise en service de l'appareil, avec les premiers réglages

à faire pour de bonnes observations ; la mesure des tensions continues ; la mesure des tensions crête à crête.

Nous allons poursuivre ce mois-ci en nous intéressant à d'autres mesures de tensions puis aux mesures de temps.

IV. Mesure de niveaux instantanés

Alors que les mesures de tensions continues ou même de crête peuvent se faire avec un traditionnel voltmètre à aiguille – quelque peu aménagé dans le second cas –, pour le nouveau type de mesure que nous envisageons aujourd'hui il n'en est plus question et l'oscilloscope s'avère irremplaçable.

Dès qu'un signal évolue périodiquement dans le temps, il est souhaitable de savoir, point par point, la nature de cette évolution. L'oscillogramme dûment synchronisé nous donne tous renseignements sur le sujet.

En effet, dès que le niveau de référence 0 est connu sur l'écran, le potentiel instantané de chaque point de la courbe peut être facilement déterminé. C'est ce que nous allons voir sur quelques exemples (photo A).

Nous observons un signal sinusoïdal en mode « Tone-Burst » de rapport 1/1. Ce signal est issu de notre générateur de fonctions TBF 1038, décrit dans les numéros 1482 et 1495 du *Haut-Parleur*. On constate que le signal sinusoïdal est bloqué à 0, une période sur deux. Le générateur en question permet aussi le Tone-Burst 10/10, pendant lequel il délivre 10 périodes en sinusoïdes suivies de 10 périodes à 0. Nous aurons l'occasion de montrer cela

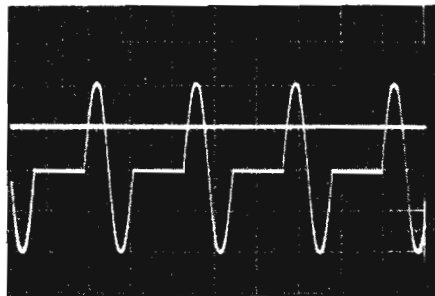


PHOTO A. – Signal Tone-Burst 1/1 issu du TBF1038 et affecté d'un offset négatif.

dans de prochaines photos. Rappelons que le Tone-Burst (ou fonctionnement en salves) permet d'intéressants essais sur les amplificateurs BF. Nous y reviendrons sans doute lors de l'étude des générateurs BF.

Le TBF 1038 fournit normalement un signal centré sur la référence 0. Mais ce centrage peut être modifié par la commande d'offset ; il est possible de placer le signal soit tout dans le positif, soit tout dans le négatif !

Dans le cas qui nous intéresse, photo A, le signal est partiellement décentré dans le négatif. Pour fixer le niveau 0, sur la photographie, nous nous sommes servi du second canal vertical, qui donne le trait horizontal de référence. Nous rappelons le procédé, déjà indiqué par ailleurs :

- mettre les deux voies Y à la masse par leurs commutateurs d'entrées ;
- superposer parfaitement les traces à l'aide des commandes de cadrage ;
- laisser une voie à la masse et injecter le signal sur l'autre. La trace voie masse donne alors le niveau 0 de la voie signal. C'est bien ce qui se passe dans le cas de la photo A.

NB. : La méthode utilisée est surtout intéressante dans le cas de la prise de photographie, car celle-ci garde alors la mémoire de la position du niveau 0. Dans le cas d'une simple observation visuelle, il est possible de se servir de l'une des lignes horizontales du graticule pour faire le même travail. On doit alors procéder un peu différemment :

- La voie signal est d'abord mise à la masse, et la trace amenée sur la ligne horizontale choisie du graticule.
- Puis la voie est reconnectée sur le signal, l'observateur sachant alors où se trouve le niveau 0, du moins s'il n'a pas la mémoire trop courte.

NB. – Avantage de cette seconde méthode : elle ne mobilise qu'une voie, l'autre restant disponible pour le traditionnel double trace.

Il va sans dire, mais encore mieux en le disant, que la mesure des niveaux instantanés doit se faire obligatoirement en entrée continue. En effet, le mode alternatif provoque un recentrage automatique de la trace sur la tension moyenne du signal et, par

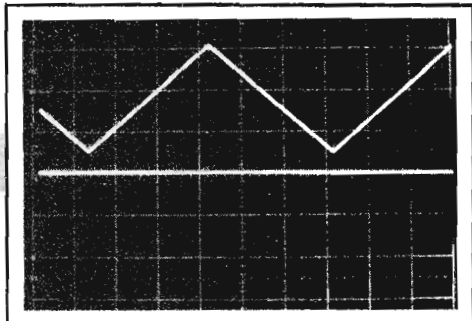


PHOTO B. – Signal triangulaire déporté dans le positif. La trace horizontale fixe le 0 V comme dans la photo précédente.

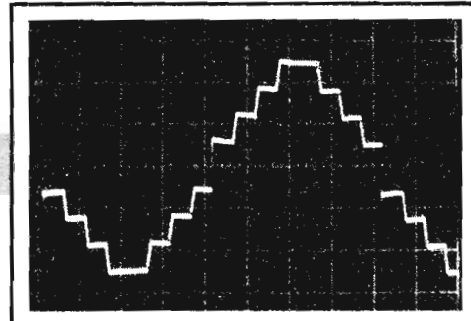


PHOTO C. – Un curieux escalier triangulaire dont nous allons essayer de fixer les divers niveaux.

conséquent, détruit la composante continue de ce dernier. Voir à ce sujet le paragraphe V.

Mais revenons à la photo A, dans laquelle nous constatons que :

- La crête haute se trouve à 1 division au-dessus de la référence 0. La sensibilité choisie pour l'observation étant de 0,2 V/div., cette crête est donc à + 0,2 V.
- La crête inférieure est à 3 divisions sous le 0 V, soit donc à – 0,6 V.
- Le niveau de repos du signal est à 1 division sous le niveau 0 V, donc à – 0,6 V.
- La tension crête à crête du signal est de 4 divisions, soit 0,8 V (photo B).

Il s'agit d'une observation du même genre, avec cette fois un signal triangulaire décentré vers le positif. Le trait horizontal marque toujours le niveau 0 V.

- La pointe positive est à 3 divisions au-dessus de 0 V. La sensibilité étant de 2 V/div., cela correspond à + 6 V.
- La pointe négative est à 1/2 division au-dessus du 0 V, soit à + 1 V.

– La tension crête à crête est de :
 $(+ 6) - (+ 1) = + 6 - 1 = + 5 \text{ V}$.

– La tension moyenne de ce signal symétrique est de : $1/2 (+ 6 + 1)$, soit + 3,5 V. Certains signaux complexes ont de nombreux niveaux intermédiaires entre ceux de crête. C'est le cas du signal de la photo C. On reconnaît une sorte d'escalier triangulaire dont nous laissons imaginer la génération ! Il est intéressant de fixer la valeur exacte des niveaux des différentes « marches ».

Cette fois, le niveau 0 n'a pas été matérialisé sur la photo à l'aide de la seconde voie, mais par la ligne d'axe horizontal du graticule. La sensibilité

verticale est de 2 V/div. Nous obtenons donc :

- Niveau de crête positive : 2,5 divisions au-dessus de 0 V, soit + 5 V.
- Niveau de crête négative : même calcul donnant – 5 V.
- Chaque partie positive ou négative de la courbe compte 4 échelons de tension, soit pour chacun : $5 \text{ V} / 4 = 1,25 \text{ V}$. Les différentes marches se situent donc, de bas en haut à – 5 V,

– 3,75 V, – 2,5 V, – 1,25 V, + 1,25 V, + 2,5 V, + 3,75 V et + 5 V.

– Nous remarquons l'absence de « marche » à 0 V. Remarquer aussi la graduation verticale à gauche du graticule : elle va de 0 % à 100 %, par pas de 10. Elle convient donc bien ici, puisque les deux crêtes se placent l'une à 0 % et l'autre à 100 % ! Mais nous reviendrons plus loin sur la signification réelle de cette graduation.

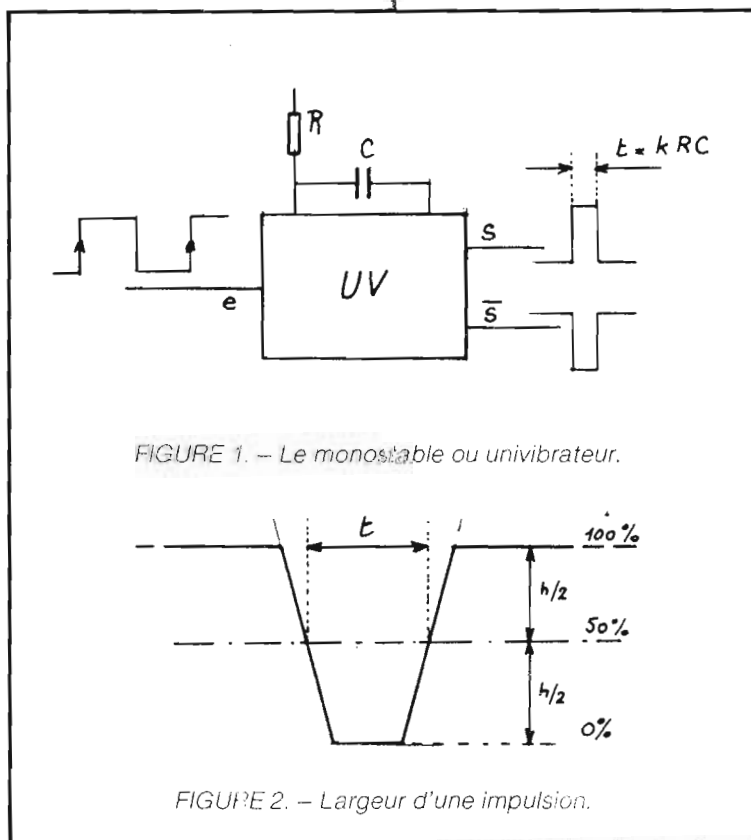


FIGURE 1. – Le monostable ou univibrateur.

FIGURE 2. – Largeur d'une impulsion.

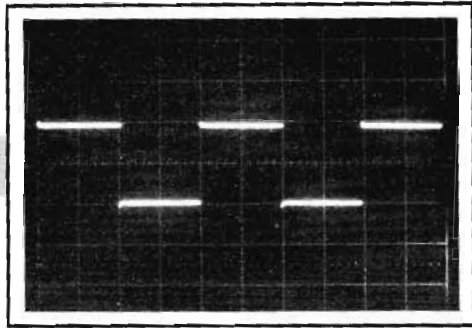


PHOTO D. — Crneau rectangulaire, type TTL et de rapport cyclique de 1/3. L'entrée Y est en mode alternatif, ce qui provoque un centrage de l'oscillogramme sur sa tension moyenne. L'axe des X est régulier.

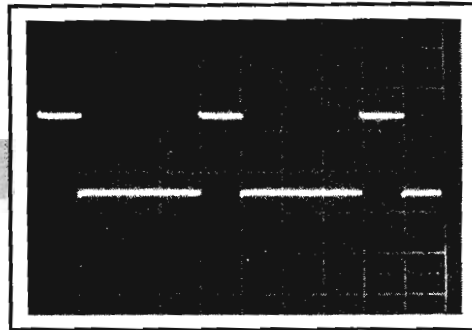


PHOTO E. — Le même signal avec un rapport cyclique de 1/3. L'axe des X donne la tension moyenne.

V. Mesure des tensions moyennes

Nous rappelons ci-après, bien que cela ait déjà été étudié dans le numéro 1698 du *Haut-Parleur*, qu'un signal périodique possède :

– **une tension crête à crête** (voir les études des photos précédentes). C'est la « distance » entre les deux crêtes.

– **Une tension moyenne.** C'est la tension qu'indique l'aiguille du contrôleur universel, celle-ci se fixant sur la « moyenne » des actions contradictoires des alternances positives et négatives du signal. Cette position moyenne se calcule à partir des aires au-dessus et en-dessous de la position cherchée. Revoir, pour révision, le n° 1698 du *Haut-Parleur*.

– **Une tension efficace.** Valeur donnant l'équivalence entre tension alternative et tension continue, au plan

énergétique défini par rapport à l'effet Joule.

L'oscilloscope donne très facilement les tensions de crête et crête à crête, nous l'avons vu. Il donne une indication assez précise de la tension moyenne, nous allons le voir. Il ne permet pas la mesure des tensions efficaces. Voyons les photos D, E et F.

– En D, un beau signal carré, du type TTL, palier bas au niveau 0 V et palier haut à + 4 V (2 V/div.). Pour la photo, l'oscilloscope a été placé en entrée alternatif. Puis le cadrage fait avec entrée à la masse, pour placer la trace (mode Auto) sur l'axe horizontal médian, cet axe matérialisant le niveau 0 V. Enfin, observation du signal : celui-ci se centre sur sa valeur moyenne, laquelle se situe donc à 50 % de l'amplitude maximum. On le voit bien sur la photo : 1 division au-dessus, 1 division au-dessous du 0 V (photos E et F). Nous avons modifié le rapport cyclique du

signal, toutes choses identiques par ailleurs :

– En E, le rapport cyclique est de 1/3 : la tension moyenne s'établit à peu près (aux incertitudes de cadrage près) au 1/4 de la tension de crête. 3/4 au-dessus et 1/4 au-dessous. Soit à $4 \text{ V} / 4 = + 1 \text{ V}$.

– En F, le rapport cyclique est de 3/1 et la tension moyenne aux 3/4 de la tension de crête, soit à + 3 V.

En observation réelle, la variation du rapport cyclique entraîne un centrage automatique du signal sur sa tension moyenne, matérialisée ici par l'axe horizontal principal.

VI. Fonction outputmètre

Nous l'appelons ainsi à cause de sa ressemblance avec la fonction similaire étudiée pour le contrôleur universel,

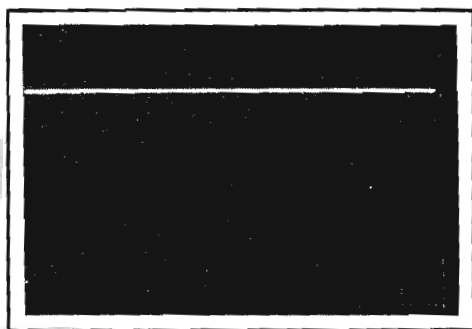


PHOTO F. — Encore le même signal avec un rapport cyclique de 3/1.

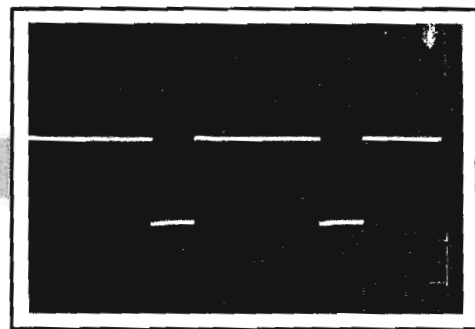


PHOTO G. — Une tension continue de + 11 V, parfaitement filtrée semble-t-il.

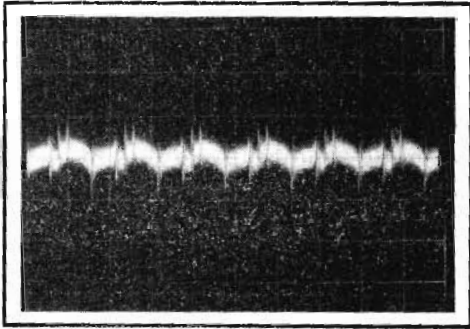


PHOTO H. – Le mode alternatif permet, en augmentant la sensibilité, de mettre en évidence le bruit existant sur la tension de + 11 V.

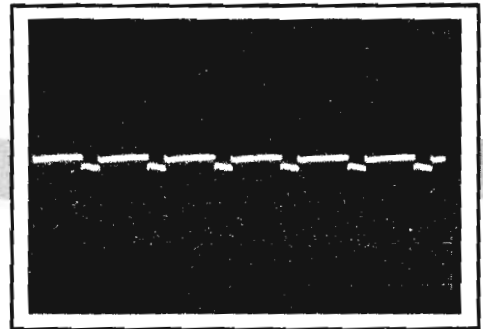


PHOTO I. – Même observation, cette fois sur la ligne + 5 V d'un circuit logique. Un bruit existe à la fréquence de commutation des basculeurs.

dans le n° 1700 du *Haut-Parleur*, lors de l'analyse du fonctionnement des contrôleurs universels. L'outputmètre étant un voltmètre alternatif avec condensateur d'isolement en série. Ce terme anglo-saxon pouvant se traduire par « voltmètre de sortie ». Cet appareil est destiné à la mesure des tensions en sorties d'étages d'amplifications BF. Ces étages, tant à lampes qu'à transistors, fournissent le signal BF utile, superposé à une tension continue provenant de l'alimentation, évidemment nécessaire, de l'étage considéré.

Dans le cas de l'oscilloscope, la fonction « outputmètre » s'obtient très simplement en passant du mode entrée continu au mode entrée alternatif. Nous venons déjà d'utiliser cette fonction dans le cas des photos D, E et F, presque sans le savoir ! En fait, pour les étages amplificateurs, le condensateur de liaison de l'entrée alternatif n'est pas vraiment nécessaire si la tension continue superposée au signal est de l'ordre de grandeur de ce dernier. Ainsi, par

exemple, si nous observons le signal BF de sortie d'un étage à transistor alimenté sous 9 V, nous allons avoir un signal alternatif dont la valeur de crête ne peut excéder les potentiels de l'alimentation, soit 0 V et + 9 V. Ce signal sera centré sur + 4,5 V si le transistor est correctement polarisé. Dans ce cas, la tension continue superposée est donc de + 4,5 V, et la tension de crête maximale du signal de 4,5 V également : les deux tensions ont bien le même ordre de grandeur. L'observation à l'oscilloscope ne posera aucun problème de cadrage, tant en entrée continu qu'en entrée alternatif ! L'oscillogramme B du signal triangulaire correspond d'ailleurs d'assez près à une situation de ce type (revoir l'étude de l'étage à transistor dans le n° 1695).

En revanche, dans d'autres cas, si la tension continue superposée est très supérieure à la tension de crête du signal à observer, il n'en sera plus de même. L'exemple typique est illustré par les photos suivantes. Il s'agit de

l'étude de la tension fournie par une alimentation.

Photo G. Voici l'oscillogramme d'une tension continue de + 11 V (5 V/div.). Le niveau 0 V correspond à l'axe horizontal médian. La tension semble parfaitement filtrée, la courbe résultante étant une droite sans défaut apparent. Vous avez deviné que l'entrée est en mode... continu ! C'est très bien. Si nous augmentons la sensibilité de l'ampli vertical, la courbe va sortir de l'écran, c'est bien sûr ! Alors passons en entrée alternatif. Pouvons la sensibilité, ce qui devient possible, la courbe se centrera sur sa valeur moyenne (voir ci-dessus), laquelle est + 11 V évidemment. La trace se place donc sur l'axe horizontal, quelle que soit la sensibilité. En revanche, au fur et à mesure de l'augmentation de cette dernière, on observe un épaississement de la courbe (photo H).

Nous voici arrivés à 10 mV/div. Notre belle horizontale nous montre alors son vrai visage : un bruit d'ampli-

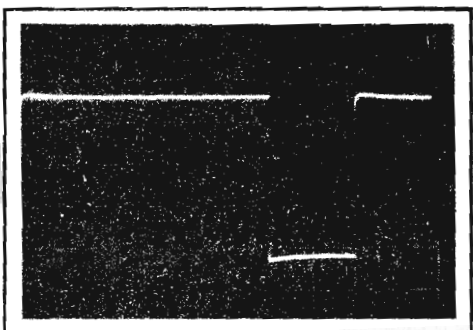


PHOTO J. – Une belle impulsion négative et rectangulaire. La mesure des durées se fait sans ambiguïté.

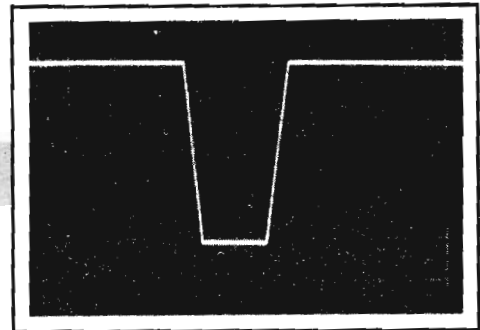


PHOTO K. – La mesure de la durée de cette impulsion trapézoïdale pose un petit problème.

tude voisine de 1,5 division, ce qui correspond à 15 mV. Ce bruit comprend des composantes à plus faible fréquence (pics positifs et négatifs) et un « fond » à fréquence élevée donnant une bande de largeur voisine de 1/2 division, soit 5 mVcc.

Ramenons les choses à leur échelle. 10 mVcc en moyenne pour une tension de 11 V, cela ne fait que 10/11 000 × 100 %, soit 0,09 %. C'est donc très peu. Voilà une bonne alimentation (photo I).

Observation similaire sur une ligne 5 V alimentant un montage logique. On retrouve sur cette ligne un bruit de commutation à la fréquence de fonctionnement. Ce bruit mesure ici 50 mV (200 mV/div.). C'est un peu moins bon, mais le montage alimenté semble fort bien s'accommoder de la situation.

Cependant, lors de la mise au point d'un système électronique, les observations et mesures précédentes sont fondamentales. Il en est de même dans le cas du dépannage. Un montage ne peut être meilleur que son alimentation. Un montage qui vieillit présente souvent des condensateurs chimiques desséchés et ayant perdu leur capacité initiale. Les lignes d'alimentation véhiculent alors un bruit énorme, fait à la fois de résidus 50 Hz du secteur et de fréquences diverses non découplées. Il s'installe alors un régime de fonctionnement anarchique pouvant surprendre l'intervenant. Un coup d'oscilloscope sur toutes les lignes d'alimentation est donc la première observation à faire en face d'un appareil présentant un symptôme curieux ! Cela est encore plus vrai lorsqu'il s'agit d'appareils à « lampes », la température de four qu'elles entretiennent contribuant allègrement au dessèchement des condensateurs.

VII. Mesure des temps

Les mesures diverses de tensions ont toujours fait référence aux graduations verticales du graticule. Les mesures de temps, pour lesquelles l'oscilloscope est un auxiliaire irremplaçable, se font au contraire par l'intermédiaire des graduations horizontales, dont la valeur peut aller, nous l'avons vu, de 2 secondes à 0,1 μ s par division.

1. Mesure de la période

(et, indirectement, de la fréquence)

Voyons, par exemple, la photo J

d'un signal TTL de rapport cyclique 6/2, soit 3/1. L'observation se fait à 10 μ s/div. La période du signal occupe 8 divisions, soit dans le temps, $8 \times 10 \mu\text{s} = 80 \mu\text{s}$ très exactement. La fréquence est l'inverse de la période :

$$F = 1/T = 1/80 \cdot 10^{-6} = 12\,500 \text{ Hz.}$$

Un retour sur la photo B, d'un signal triangulaire : la période occupe 29 subdivisions. La base de temps est réglée sur 5 ms/div., soit 1 ms par subdivision et donc une période de $29 \times 1 \text{ ms} = 29 \text{ ms}$. La fréquence est de $1/29 \cdot 10^{-3} \approx 35 \text{ Hz}$.

2. Mesure des durées intermédiaires

Dans le cas de la photo J :

– L'état haut dure 6 divisions, soit 60 μ s.

– L'état bas dure 2 divisions, soit 20 μ s.

Dans le cas de la photo B :

– La montée du triangle dure 14,2 subdivisions, soit 14,2 ms.

– La descente dure 14,8 subdivisions, soit 14,8 ms.

On peut constater une petite différence de durée entre la montée et la descente de ce signal triangulaire, issu du générateur de fonctions. Ce type de générateur utilise, comme beaucoup d'autres, un circuit intégré (le 8038 d'Intersil, dans ce cas précis) chargeant puis déchargeant à courant constant le condensateur choisi par le sélecteur de gammes. Il est très difficile de garder une parfaite égalité entre ces courants de charge et de décharge lorsque l'on fait varier la fréquence. D'où le petit défaut constaté. Défaut qui, malheureusement, va se retrouver dans la sinusoïde résultante, celle-ci étant dérivée du triangle. Il s'ensuivra une petite augmentation du taux de distorsion de cette sinusoïde. Avec un tel type de générateur, il est possible d'avoir un taux de distorsion flatteur à une fréquence donnée. Il est bien plus difficile de conserver ce taux de F_{\min} à F_{\max} .

3. Mesure de la durée d'une impulsion

On appelle impulsion un signal rectangulaire de rapport cyclique très différent de 1. En somme, un signal qui reste un temps très bref dans un état et, par contre, beaucoup plus longtemps dans l'autre. La frontière entre le signal rectangulaire normal et le signal impulsionnel est mal définie. On ne peut

pas dire que le signal de la photo D est impulsionnel, son rapport cyclique étant de 1. En revanche, les signaux E et F commencent à devenir impulsionnels (rapport cyclique de 1/3 et de 3/1). Pour E, nous parlerions d'impulsions positives et pour F d'impulsions négatives, l'impulsion correspondant toujours à la partie courte du signal. Pour être plus précis, dans le cas de J, nous dirons que cette impulsion négative a une durée de 20 μ s et se répète toutes les 80 μ s. Sa fréquence de récurrence est de 12 500 Hz (voir plus haut).

Le générateur d'impulsions de prédilection est le monostable. On injecte sur son entrée un signal rectangulaire de fréquence égale à la fréquence de récurrence désirée. On recueille alors à la sortie (ou sur des sorties complémentaires, le plus souvent) des impulsions dont la durée est déterminée par la cellule RC connectée au monostable. Voir figure 1 (circuits TTL, 74121, 74123 ou C-MOS 4528, 4538...).

Si la mesure de durée de l'impulsion J est sans ambiguïté, car de largeur constante, il n'en est plus de même de celle de l'impulsion K. C'est encore une impulsion négative mais dont les fronts de transition ont des durées notables (volontairement dans ce cas précis). Ne nous leurrions pas d'ailleurs ; un front de transition n'est jamais instantané. L'instantané n'existe pas. Tout phénomène a une certaine durée jamais nulle.

Si les fronts de J semblent ne point durer, c'est simplement parce que l'observation se fait à vitesse trop faible. Nous y reviendrons.

Mais le cas de K (!) pose problème. En effet, la largeur est essentiellement variable. Pour une telle forme et par convention, on mesure la durée au niveau 50 %, soit donc à mi-hauteur. Ainsi, sur la photo K, l'oscillogramme est centré sur l'axe horizontal (à peu près 2 divisions au-dessus et 2 divisions au-dessous). C'est sur cet axe que l'on doit faire la mesure. La base de temps étant réglée à 200 μ s/div., nous avons donc :

$$t = 2 \times 200 = 400 \mu\text{s.}$$

F. THOBOIS

N.D.L.R. — Cette série d'articles sur l'utilisation de l'oscilloscope a débuté dans notre n° 1706. Ces numéros sont encore disponibles, vous pouvez les obtenir en vous adressant à notre service « Vente au numéro », contre 17 F par exemplaire.