

12. LES GENERATEURS de signaux rectangulaires

(Suite voir N° 1507)

LA connaissance du bon fonctionnement d'un circuit amplificateur s'exprime par de nombreux paramètres (gain, bande passante, stabilité, déphasage, etc.) qui sont mesurés ou appréciés séparément au moyen d'un générateur sinusoïdal et d'un ou plusieurs mesureurs. Ce procédé est précis mais long et souvent fastidieux à mettre en œuvre : on le réserve plutôt aux opérations de recherche et de mise au point sur un montage.

Dans le cas assez général où l'on ne désire effectuer qu'un contrôle de performances, il est possible d'évaluer la plupart des caractéristiques d'un amplificateur en faisant appel à un générateur de signaux rectangulaires associé à un oscilloscope.

Cette méthode est préconisée pour l'évaluation des caractéristiques globales des matériels à haute fidélité (amplificateurs, haut-parleurs ou enceintes, filtres, alimentations...). Elle nécessite, cependant, une certaine interprétation de la forme des signaux de sortie lorsqu'on applique une tension brusque à l'entrée d'un montage. Si l'on a quelques connaissances en électronique, cette interprétation est assez facile, voire intuitive : nous en donnerons quelques exemples ainsi que la description de plusieurs appareils, dont un générateur de « Tone Burst ».

QU'EST-CE QU'UN SIGNAL RECTANGULAIRE ?

Ce titre peut faire sourire les techniciens.

En fait, il nous paraît nécessaire d'insister sur les qualités essentielles que doit posséder un signal rectangulaire (quelquefois appelé signal carré) pour être parfaitement utilisable.

Un signal rectangulaire est lié à une tension ou un courant dont la variation entre une valeur minimale et une valeur maximale n'est plus progressive comme pour un signal sinusoïdal, mais très brutale. On considérera deux niveaux (de tension, par exemple) bien distincts : le niveau bas et le niveau haut. Le passage périodique brutal de l'un de ces niveaux à l'autre est appelé basculement. La tension s'exprime en valeur crête ou crête à crête suivant que le niveau bas est nul ou négatif lorsque le niveau haut est positif.

Le passage d'un niveau de tension bas au niveau haut doit se faire le plus rapidement possible (de préférence dans un temps inférieur au $1/100^e$ de la période de récurrence).

Le passage d'un niveau de tension haut au niveau bas doit se faire dans les mêmes conditions que précédemment.

La tension de maintien au niveau haut ou au niveau bas doit

être rigoureusement constante (sans inclinaison ni suroscillation) à mieux que le $1/50^e$ de la tension crête.

La durée de maintien de la tension constante est fixe. Le basculement bas-haut se produit à chaque période de récurrence. Il en est de même du basculement haut-bas. Ces deux phénomènes sont espacés d'une demi-période de récurrence ($\pm 5\%$).

A QUOI SERVENT LES SIGNAUX RECTANGULAIRES ?

L'utilisation d'une source de signaux rectangulaires place le montage en essai dans des conditions beaucoup plus réalistes que si l'on emploie un classique générateur sinusoïdal.

Ceci peut s'expliquer facilement : dans la réalité, la plupart des signaux que reçoit un amplificateur audiofréquence, un oscilloscope, un téléviseur, etc. est composée de tensions complexes dans leur forme, occupant un spectre assez large, ce qui n'est donc pas simulé par un signal à fréquence unique. Un signal rectangulaire occupe un spectre étendu en fréquence, de sorte que lorsque l'on applique un tel signal à l'entrée d'un appareil ou d'un montage, tout se passe comme si l'on envoyait simultanément plu-

sieurs signaux sinusoïdaux d'amplitude et de fréquence différentes.

L'originalité, dans l'utilisation de ces signaux réside dans le fait que l'interprétation de la réponse d'un montage à une telle sollicitation, passe par l'examen visuel de la forme du signal à l'entrée puis à la sortie du montage en essai. Ce procédé très moderne d'investigation implique l'utilisation d'un oscilloscope stable, à base de temps déclenchée, ayant une bande passante suffisamment étendue devant celle de l'unité à tester (en particulier, le fait de passer le continu est un avantage incontestable). Il est préconisé d'employer un modèle à double trace, ou d'utiliser un commutateur électronique extérieur, qui fera apparaître simultanément le signal d'entrée et celui de sortie rendant facile la comparaison des formes. Toutefois ce perfectionnement n'est pas une obligation et un simple inverseur entrée/sortie, placé à l'entrée de l'amplificateur vertical, pourra faire l'affaire.

Quelques oscillogrammes typiques sont présentés sur la figure 1.

En A, le signal d'origine est indiqué : en général, les transitions sont à peine visibles sur l'écran à luminosité normale, en raison de la très grande vitesse de déplacement vertical du spot pendant les basculements.

Un signal qui se présente sous

la forme B est la réponse d'un montage transmettant mal les fréquences très basses. Dans ce cas, dès que le niveau de tension stable est établi, l'amplificateur tend à revenir vers une tension nulle (on ne passe pas le continu) d'autant plus rapidement que l'atténuation des fréquences basses est prononcée.

En C, on observe un phénomène de limitation dans la transmission des fréquences élevées. Tout se passe comme si, l'amplificateur ayant quelque peine à suivre une variation brusque, traînait à s'établir au niveau de tension constante haut ou bas. C'est le cas, en particulier, d'un amplificateur Hi-Fi passant insuffisamment les aigus; les transitions deviennent alors visibles sur l'écran.

En D, enfin, on observe le cas typique d'un amplificateur un peu trop nerveux et qui a tendance à « partir » en oscillation: dès le basculement, une surtension se crée puis s'amortit après plusieurs inversions, ce qui indique une

action retardée d'une contre-réaction.

Des trois oscillogrammes B, C ou D on peut, bien sûr, en déduire un certain nombre d'autres qui seront des combinaisons des cas cités. Il va de soi que la largeur des créneaux ou la valeur de la demi-période de récurrence devra être choisie de façon à favoriser l'apparition du phénomène observé pour l'analyse d'un montage particulier dont on sait qu'il devra donner une réponse connue.

On pourra ainsi observer l'influence d'une variation de valeur d'un composant, du réglage d'un élément ajustable... etc. sur l'allure du signal observé: ce qui montre l'intérêt de cette méthode, par exemple, pour régler les circuits de correction d'un préamplificateur Hi-Fi en position linéaire. On pourra également observer la réponse d'une enceinte (en mesure de courant) et faire ainsi apparaître des défauts d'adaptation acoustique importants.

Les applications des signaux

rectangulaires et du « signal tracing visuel » sont fort nombreuses et ne se limitent pas au seul domaine des audio-fréquences. C'est ainsi que l'on pourra corriger les circuits des sondes à faible capacité ou de l'atténuateur d'entrée d'un amplificateur vertical d'oscilloscope, mesurer des déphasages (retard entre le signal d'entrée et celui de sortie), mesurer les caractéristiques de lignes à retard (TV couleur), vérifier l'adaptation d'un câble coaxial, apprécier le coefficient de surtension d'une inductance, etc.

Pour détailler toutes ces applications, il serait nécessaire de dispenser un cours d'électronique générale qui sortirait du cadre de ces articles.

COMMENT OBTENIR DES SIGNAUX RECTANGULAIRES: L'ÉCRÉTAGE

Le procédé le plus connu consiste à transformer un signal périodique de forme appropriée

(par exemple, sinusoïdal) en un signal rectangulaire de même période. Si l'on connaît la fréquence du signal sinusoïdal, on en déduira facilement la durée des créneaux obtenus sachant que:

$$T = \frac{1}{Fr}$$

(Fr = fréquence de récurrence en Hz, kHz, ou MHz)
(T = période, respectivement en secondes, ms ou μs)

Le créneau a une durée égale à T/2.

La méthode de transformation sinus/rectangle la plus simple fait appel au phénomène de saturation et coupure sur un dispositif à semi-conducteur. Le montage est élémentaire s'il ne comprend que des diodes montées tête-bêche (faisant appel ou non au phénomène d'avalanche) mais les résultats sont médiocres. En utilisant un montage amplificateur, l'effet est beaucoup plus net: on a pu observer, lorsque la tension alternative augmentait à l'entrée d'un amplificateur, que le signal de sortie était écrêté à une valeur bien

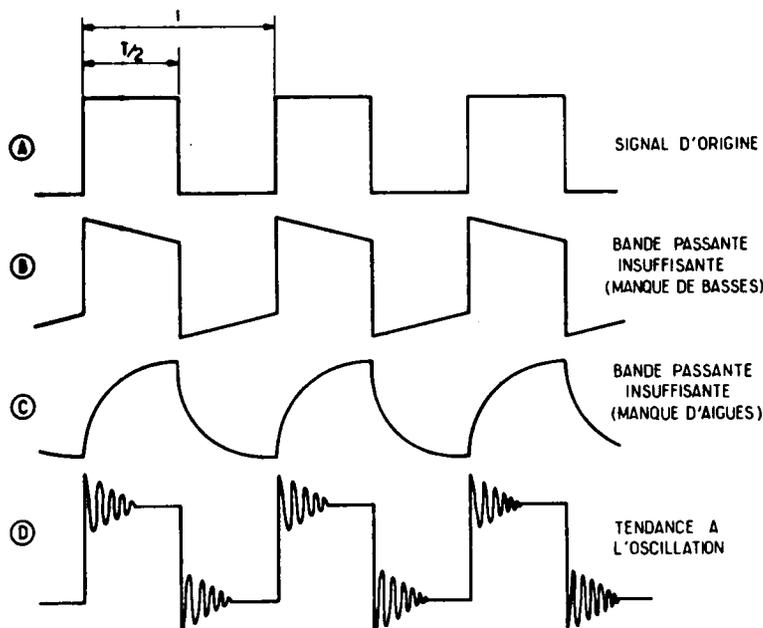


Fig. 1. - Utilisation de créneaux rectangulaires pour le contrôle d'un amplificateur Hi-Fi.

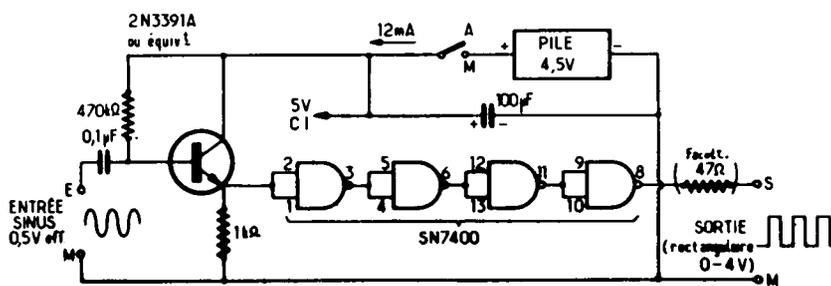


Fig. 2a.

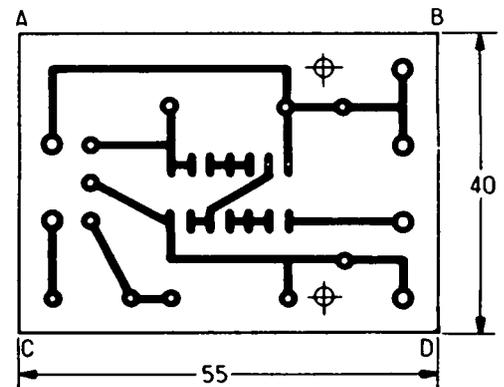


Fig. 2b.

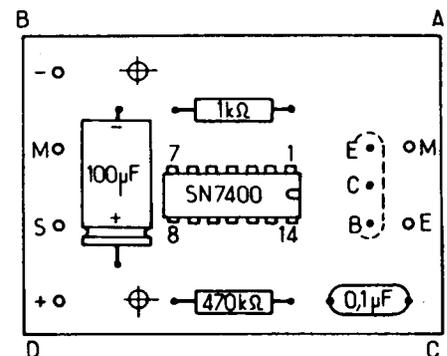


Fig. 2c.

définie et coupé en dessous d'une autre valeur (cut-off).

Ces seuils sont généralement stables et assez indépendants du niveau d'entrée, de sorte que si l'amplitude est très importante, on obtiendra des signaux rectangulaires.

Pour obtenir une forme plus proche de la perfection, il est nécessaire d'avoir un gain d'amplification très élevé. On peut y parvenir en utilisant plusieurs étages en cascade, mais la meilleure solution reste, sans conteste, celle qui fait appel aux circuits intégrés. Nous citons pour mémoire, les amplificateurs différentiels intégrés, nécessitant des tensions d'alimentation symé-

triques (tension de sortie également symétrique).

Nous préconisons, pour sa grande simplicité, le montage de la figure 2 qui ne fait appel qu'à un transistor NPN, un circuit logique SN7400 (quadruple porte Nand), deux résistances et un condensateur, le tout étant alimenté par une pile de 4,5 V.

Le transistor est monté en émetteur follower. Il permet d'abaisser l'impédance de la liaison pour l'attaque de la première porte dont la sortie est en série avec l'entrée de la seconde et ainsi de suite jusqu'à la quatrième.

Comme ces portes sont constituées d'amplificateurs fonctionnant en tout ou rien, donc très

facilement saturables, on obtiendra ainsi un signal de sortie assez satisfaisant avec ce montage, aux dimensions, à la consommation et au prix de revient modestes.

La tension d'entrée devra être au moins de 500 mV efficaces (soit environ 1,5 V crête à crête). Elle pourra monter à plusieurs volts sans inconvénients. La tension de sortie se présente sous la forme de créneaux positifs (4 V de tension crête). La fréquence pourra aller de 10 Hz à plus de 100 kHz. Avec un transistor VHF à l'entrée, on peut facilement dépasser le megahertz.

La figure 2 donne toutes les indications pour réaliser la carte imprimée correspondante. On

notera la présence éventuelle d'une résistance de 47 Ohms à placer en série avec l'utilisation, si l'on désire protéger le circuit intégré contre les méfaits d'un court circuit prolongé sur sa sortie.

LE MONTAGE BISTABLE

Pour basculer d'un état à un autre dans le minimum de temps rien ne remplace l'utilisation d'une bascule bistable dont l'exemple le plus réputé est constitué par le fameux trigger de Schmitt.

Un tel montage, comme son nom l'indique, peut avoir deux états stables suivant que la tension d'entrée est en deçà ou au-

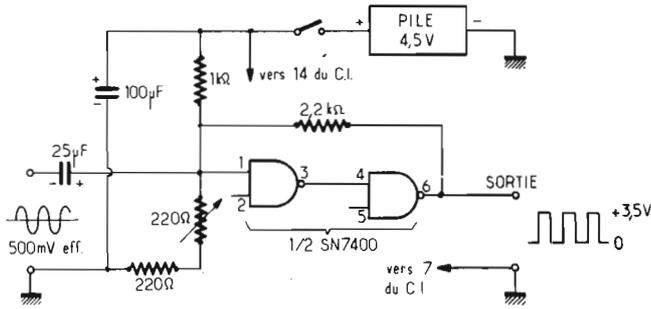


Fig. 3a.

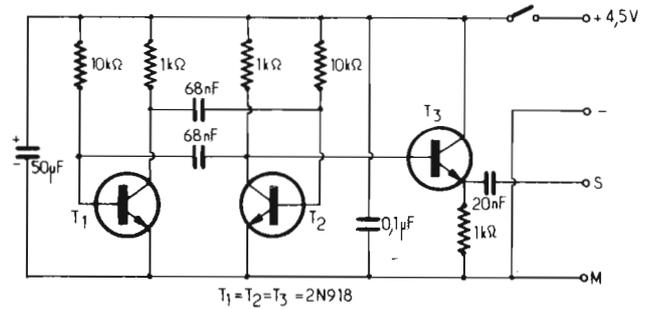


Fig. 4a.

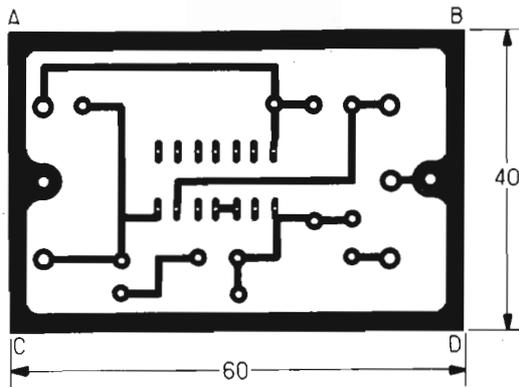


Fig. 3b.

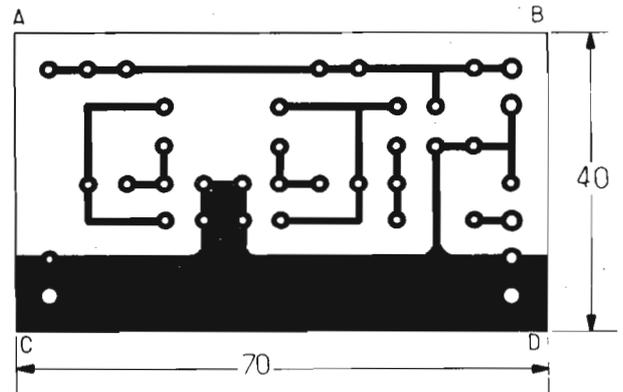


Fig. 4b.

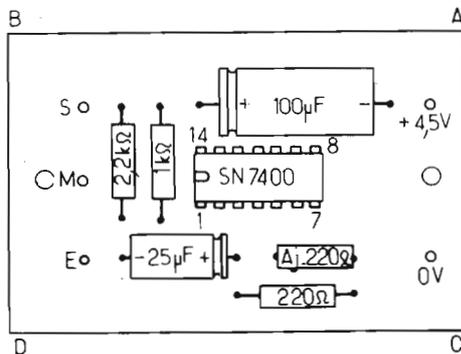


Fig. 3c.

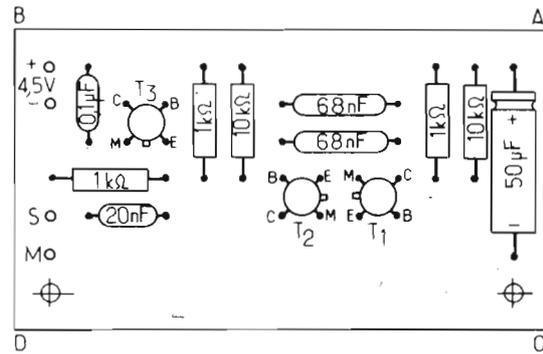


Fig. 4c.

Fig. 3. - Transformateur de signaux sinusoïdaux en signaux rectangulaires au moyen d'un trigger de Schmitt à circuit intégré.

Fig. 4. - Montage multivibrateur astable élémentaire.

delà d'un seuil à la montée, et d'un autre seuil à la descente. Il est donc nécessaire d'attaquer ce circuit par une tension périodique dont l'amplitude crête à crête soit largement plus grande que la différence entre les seuils de basculement des deux états.

Ce fonctionnement a largement été exposé dans la presse technique spécialisée et nous ne le traiterons pas ici, sinon par le biais d'un exemple que nous avons d'ailleurs déjà cité dans le chapitre consacré aux oscillateurs B.F.

Le schéma est celui de la figure 3. On n'utilise qu'un seul circuit logique SN7400 monté en trigger de Schmitt suivant les indications données par le constructeur.

L'entrée est à impédance relativement faible, ce qui n'est pas gênant si l'on utilise cet appareil à la sortie d'un générateur 600Ω au moins. Dans le cas contraire, on pourra pallier cet inconvénient en disposant un transistor en émetteur follower comme celui de la figure 2.

Le trigger de la figure 3 est tout à fait classique et ne nécessite pratiquement aucune mise au point. Il est recommandé de respecter les valeurs indiquées de façon à obtenir un fonctionnement sans histoires. La résistance de 220 Ω réglable permet d'ajuster la symétrie des créneaux. La tension obtenue en sortie est de +3,5 V environ avec une alimentation par pile de 4,5 V.

LE MULTIVIBRATEUR

Il est possible d'obtenir un signal à variations brusques de tension en réalisant un multivibrateur astable qui ne comporte que 2 transistors. Il existe une multitude de ces montages et nous nous bornerons à décrire le plus élémentaire d'entre eux (voir figure 4).

Les transistors T1 et T2 intercouplés de bases à collecteurs entrent spontanément en oscillation ; la période obtenue est proportionnelle à la constante de temps (identique sur T1 et T2) des circuits de base. On a :

$$T = 1,4 RC \text{ (T en sec., si R est en ohms et C en farads)}$$

Par exemple pour le montage de la figure 4, on aura :

$$T = 1,4 \cdot 10^4 \cdot 68 \cdot 10^{-9} = 0,95 \cdot 10^{-3}$$

soit sensiblement 1 ms.

On prélève le signal obtenu sur le collecteur du transistor T2 et on l'envoie sur un transistor

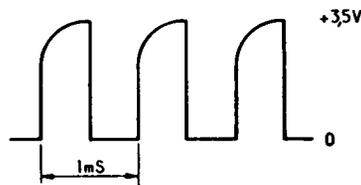


Fig. 4 d.

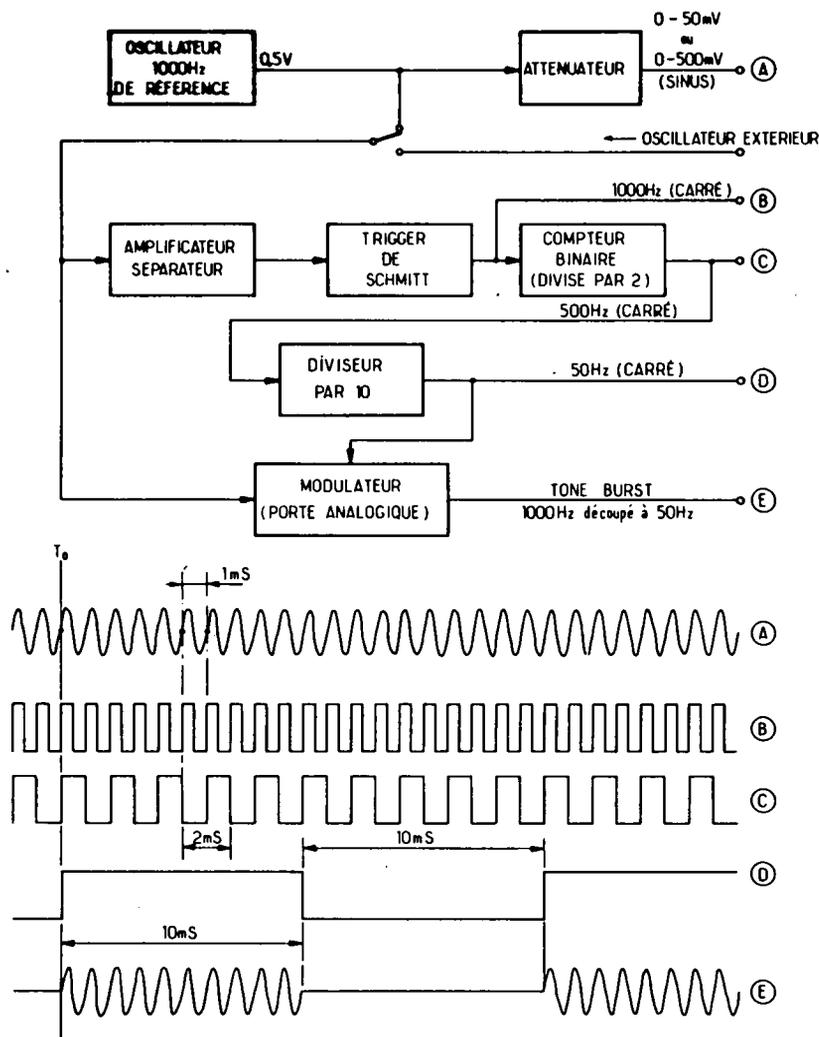


Fig. 5. - Diagramme fonctionnel du générateur combiné sinus/rectangle et forme des signaux.

monté en émetteur follower de façon à éviter l'action du circuit d'utilisation, généralement à faible impédance, sur le circuit du multivibrateur.

Il est nécessaire de prévoir un double découplage de la source d'alimentation ($50 \mu F + 0,1 \mu F$) pour assurer un fonctionnement correct.

Le montage décrit fonctionne donc au voisinage de 1 kHz, mais en choisissant la valeur des condensateurs de façon appropriée, on pourra obtenir un signal basculant jusqu'à plus de 1 MHz

avec des transitions très brutales.

L'allure des signaux, toutefois, n'est rectangulaire que sur la partie niveau bas. Le niveau haut est atteint avec une constante de temps correspondant à celle d'un circuit collecteur, ce qui donne cet aspect arrondi à la fin de la partie croissante. Ceci n'est pas très grave si l'on ne considère que la partie descendante pour l'analyse d'un amplificateur. On peut obtenir des signaux parfaitement rectangulaires avec des montages multivibrateurs un peu sophistiqués, mais les temps de transition

ne seront pas inférieurs à ceux d'une bonne bascule bistable.

Le multivibrateur peut également (et surtout) servir de générateur de tension d'entrée à une bascule bistable comme celle de la figure 3. La simplicité de réglage des fréquences sur une large plage, jusqu'à des fréquences relativement élevées et sa bonne stabilité rendront ce montage attrayant pour constituer une base de temps de générateur de signaux rectangulaires.

UN GÉNÉRATEUR COMBINÉ SINUS/RECTANGLE/TONE BURST

Nous ne multiplierons pas plus les descriptions de petits montages.

Tenant compte de l'utilisation préférentielle des circuits produisant des tensions rectangulaires, à des mesures de performances Hi-Fi, nous proposons aux lecteurs un appareil assez complet fournissant trois catégories de signaux dont les caractéristiques sont les suivantes :

- un signal sinusoïdal de réfé-

rence à 1 000 Hz avec une distorsion intrinsèque très faible (0,1 %) et une bonne stabilité d'amplitude,

- des signaux rectangulaires respectivement à 1 000 Hz, 500 Hz et 50 Hz par rectangularisation puis division du signal sinusoïdal de référence,
- une tension brusque dite

« Tone Burst » pour l'essai des amplificateurs par simulation des conditions réelles d'utilisation. Cette tension est en parfait synchronisme de phase avec l'oscillateur de référence.

On trouvera sur la figure 5, le diagramme fonctionnel et les oscillogrammes des différents signaux obtenus. On rapprochera

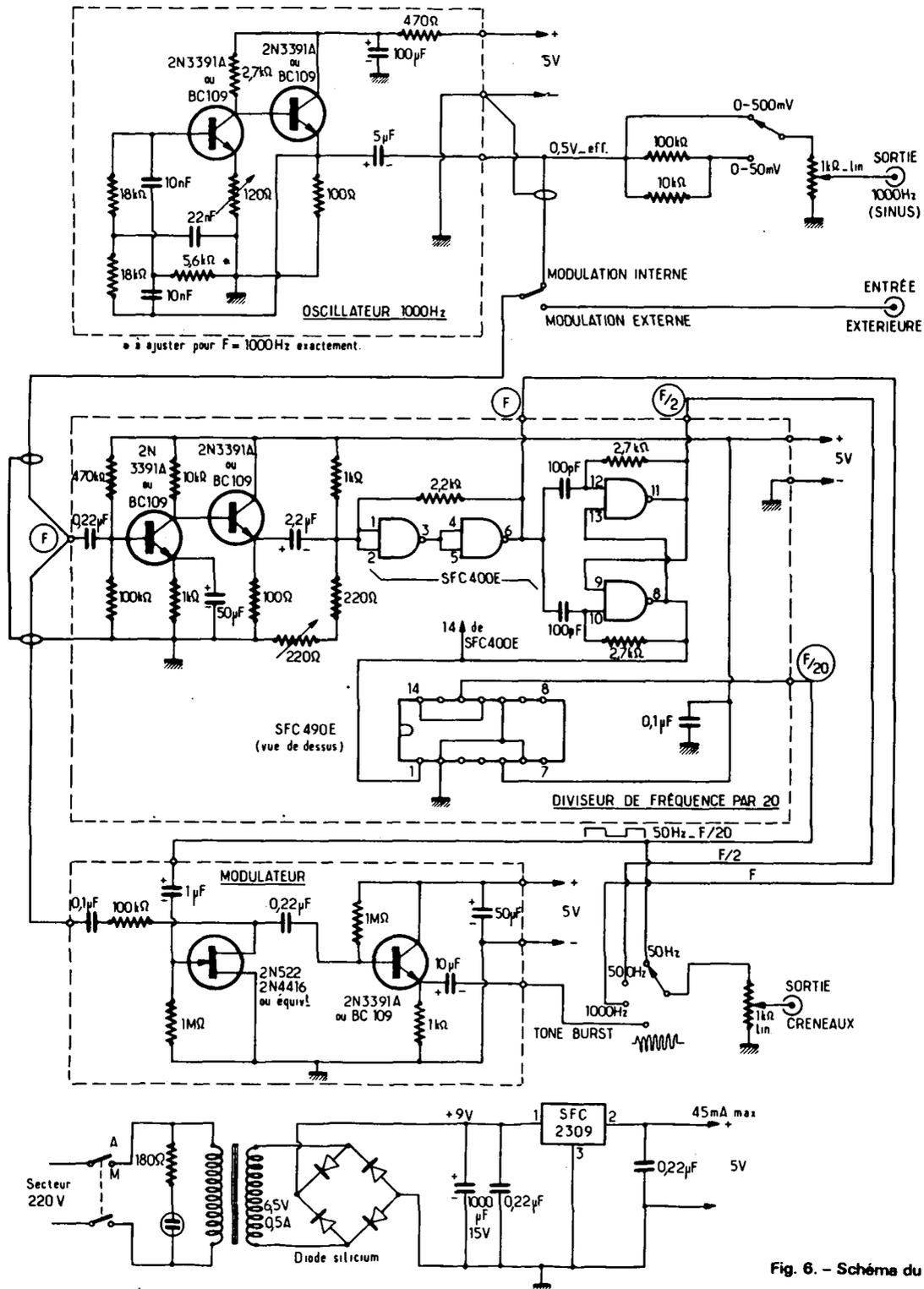


Fig. 6. - Schéma du générateur combiné.

cette figure de la figure 6 pour bien comprendre les explications qui suivent.

Les circuits essentiels sont groupés sur 3 cartes imprimées. La première carte comprend l'oscillateur de référence dont la description a déjà été donnée dans le chapitre consacré aux générateurs B.F. Il comporte deux transistors à liaison directe. Une réaction négative est réalisée entre l'émetteur du second transistor et la base du premier, au moyen d'un filtre en double T, ayant un affaiblissement très grand sur 1 000 Hz. Nous renvoyons le lecteur aux explications déjà données sur ce petit montage qui fonctionne à la perfection. Si l'on se limite à sortir 500 mV eff., en réglant la résistance d'émetteur du premier transistor, on obtiendra une très faible distorsion.

Le signal de sortie, prélevé sur l'émetteur du second transistor

est à basse impédance. Il est envoyé sur un atténuateur comprenant un réducteur commutable 1/10 et un potentiomètre pour le réglage progressif de sorte que l'on peut obtenir des tensions de 0 à 50 mV ou de 0 à 500 mV (signal A).

On peut utiliser l'oscillateur de référence ou un oscillateur extérieur (un inverseur est prévu à cet effet) pour exciter les circuits suivants qui comprennent successivement un amplificateur séparateur à transistors assurant un début d'écrêtage du signal alternatif et un trigger de Schmitt faisant appel à un demi SN7400 (ou SFC400).

L'amplificateur séparateur écrêteur comprend deux transistors à liaison directe dont le second est un abaisseur d'impédance à émetteur follower. Le gain est donc fourni par le premier étage.

Le trigger de Schmitt est un

montage identique à celui présenté sur la figure 3. Il comporte un réglage de symétrie. Le signal de sortie du trigger est disponible (signal B).

L'opération suivante est réalisée par la seconde partie du SN7400 montée en bascule bivalente divisant par deux la fréquence du signal (compteur binaire). A chaque transition négative, le potentiel de sortie change d'état de sorte que la période du signal résultant est multipliée par deux. On dispose alors d'un signal rectangulaire de 500 Hz de récurrence (signal C).

Ce dernier signal est envoyé sur un diviseur par dix, comprenant le compteur décimal SN7490 (ou SFC490E) qui donnera les créneaux symétriques de 50 Hz (signal D).

L'ensemble des circuits, de l'entrée de l'amplificateur séparateur à la sortie du diviseur par dix constitue une carte autonome

appelée diviseur de fréquence par vingt. Cette carte peut être excitée par tout signal dont la fréquence se situe entre 100 Hz et 100 kHz environ et d'amplitude égale ou supérieure à 30 mV eff. Le signal rectangulaire de sortie aura donc une fréquence de récurrence de 5 Hz à 5 kHz rigoureusement synchrone avec le signal d'entrée. La tension crête à la sortie de la carte est constante et égale à environ +4 V.

La dernière carte comporte un modulateur à transistor FET que nos lecteurs ont sans doute peu l'habitude de voir utiliser à cet usage. La tension sinusoïdale d'entrée est envoyée à travers un condensateur d'isolement et une résistance série de 100 k Ω sur le drain du FET. Ce dernier se comporte comme une résistance variable avec la tension apparaissant sur sa grille. L'effet de variation de résistance n'est valable que pour de faibles écarts de ten-

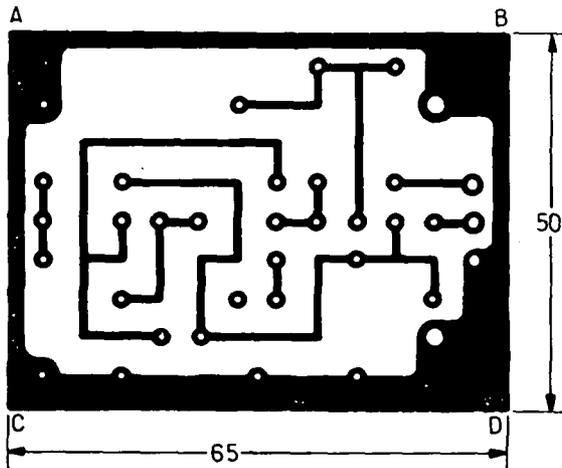


Fig. 7a.

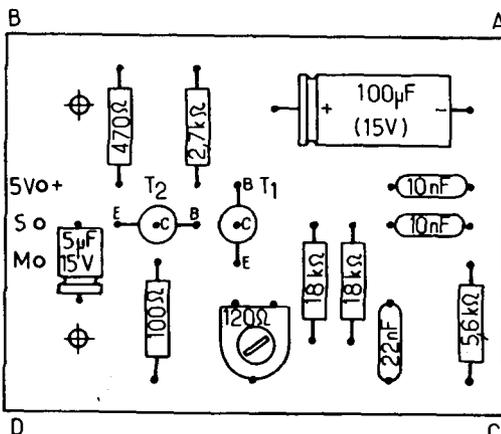


Fig. 7b.

Fig. 7. - Carte imprimée de l'oscillateur de référence à 1000 Hz.

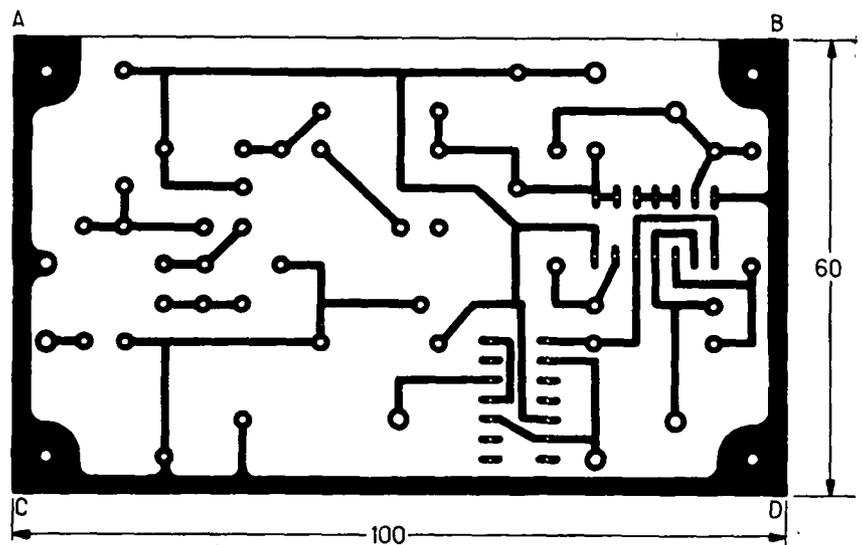


Fig. 8a.

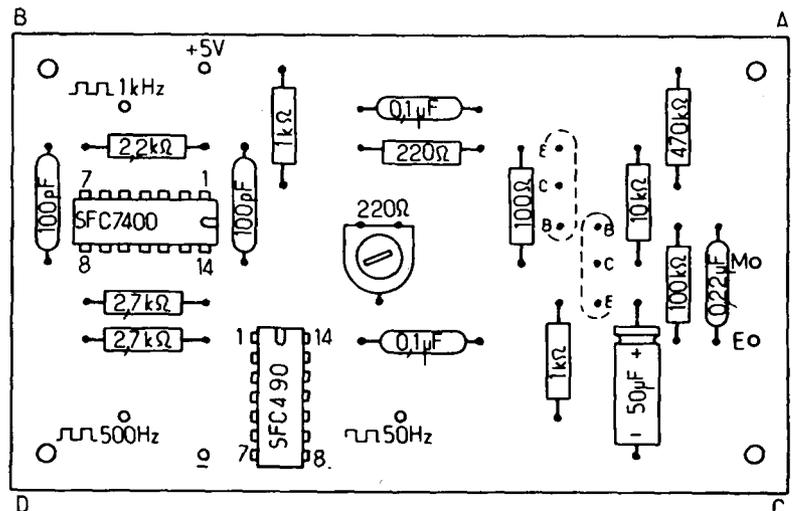


Fig. 8b.

Fig. 8. - Carte imprimée du diviseur de fréquence par 20.

sion. En fait ceci n'est guère gênant car le signal envoyé sur la grille est rectangulaire. On a donc réalisé un diviseur de tension, modulé en créneaux, qui a comme propriété de faire apparaître à sa sortie un signal de 1 000 Hz découpé par des créneaux à 50 Hz (cas de l'utilisation de l'oscillateur de référence) ou plus généralement des trains de sinusoides découpées à une fréquence 20 fois plus faible. La modulation est très propre. Elle est envoyée sur un étage séparateur abaisseur d'impédance à émetteur follower. (Signal E).

Cette dernière tension, dite de Tone Burst, est très utile pour l'évaluation des performances des amplificateurs Hi-Fi que l'on pourra essayer dans des conditions particulièrement intéressantes. Le signal étant découpé, on pourra pousser au maximum la tension de sortie de l'amplificateur en essai, sans risques d'échauffement, pour voir à quelle tension apparaît l'écrêtage, si la récupération de l'alimentation se passe bien après cette « explosion sonore », si le temps d'établissement du signal de sortie est assez rapide, s'il existe une tendance à l'accrochage, etc. Nous prions les lecteurs intéressés de consulter les articles ou ouvrages consacrés à ce sujet.

Puisque, comme nous l'avons

indiqué, la fréquence du modulateur et celle du signal de référence sinusoidal sont synchrones, le nombre de sinusoides contenues dans un créneau est exactement de 10 (voir le signal E), ce qui facilite grandement les estimations visuelles sur la qualité du signal de sortie d'un amplificateur.

Nous préconisons une alimentation secteur bien régulée qui pourra être constituée d'un transformateur 220 V/6,3 V (0,5 A eff.) suivi d'un redresseur en pont et d'un stabilisateur à circuit intégré SFC2309 prévu pour sortir une tension de 5 V.

Le signal rectangulaire de sortie est commutable sur chacune des 4 positions 50 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz et Tone Burst ; sa tension est réglable de 0 à + 3,5 V crête environ au moyen d'un potentiomètre.

RÉALISATION DU GÉNÉRATEUR MISE AU POINT

On trouvera sur les figures 7, 8 et 9 les dessins des circuits imprimés et les implantations sur les cartes des différents composants ainsi que la disposition des arrivées et départs.

Ces dessins sont suffisamment

explicités pour qu'il soit besoin d'y ajouter d'autres commentaires que les précautions habituelles de prudence à prendre pour la soudure du FET et des circuits intégrés.

Le plan de câblage de la figure 10 montre que l'ensemble est contenu dans un coffret métallique de 240 x 120 x 80 mm. On respectera, le plus possible, les dispositions relatives des sous-ensembles et des interconnexions, ainsi que l'emplacement des prises de masse.

Le transformateur de 6,5 V (0,5 A) est peut être un peu largement calculé puisque le débit secondaire est inférieur à 50 mA, mais ceci évite toute élévation de température et tout rayonnement parasite.

Les cartes imprimées sont disposées composants vers le dessus. Elles sont maintenues sur la plaque de fond au moyen d'entretoises de 5 mm, de vis et d'écrous de 3 mm. Le circuit intégré stabilisateur, soudé sur un relais à trois cosses, sera muni d'un petit radiateur à ailettes.

On trouvera sur la figure 11, une suggestion de présentation du panneau avant.

La mise au point de l'appareil est extrêmement simple :

— on réglera l'oscillateur de façon à obtenir une fréquence de 1 000 Hz exactement, en ajustant

une résistance du double T (voir figure),

— on réglera le niveau d'oscillation par la résistance ajustable de 120 Ω pour obtenir 0,5 V en sortie,

— par examen oscillographique (sortie créneaux, commutateur sur Tone Burst) on réglera le départ des oscillations sinus dans le créneau de modulation pour une présentation identique à celle de la figure 5 (signal E) au moyen de l'ajustable de 220 Ω situé sur la carte diviseur de fréquence par 20.

Les performances de ce petit générateur, facile à construire, sont les suivantes :

Signal sinusoidal : 1 000 Hz, 0,5 V eff., $\pm 0,25$ dB, distorsion H. = 0,1 %.

Signal rectangulaire : 50, 500 et 1 000 Hz, + 4 V crête, temps de montée 20 μ s.

Signal Tone Burst : créneau de 10 sinusoides séparé par un créneau de silence de même largeur, tension parasite (silence) < - 40 dB, tension modulée 0,5 V eff. max.

J.C.

(à suivre)

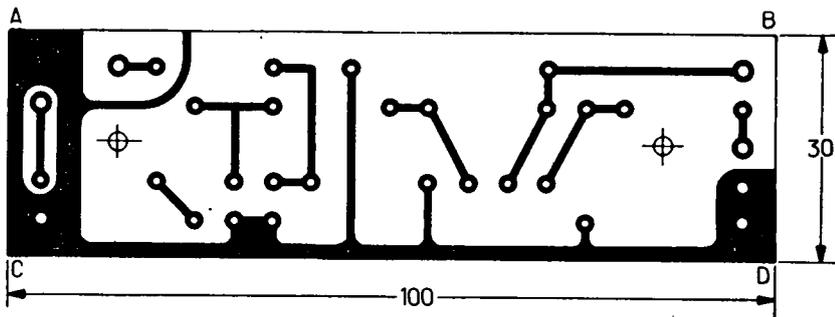


Fig. 9a.

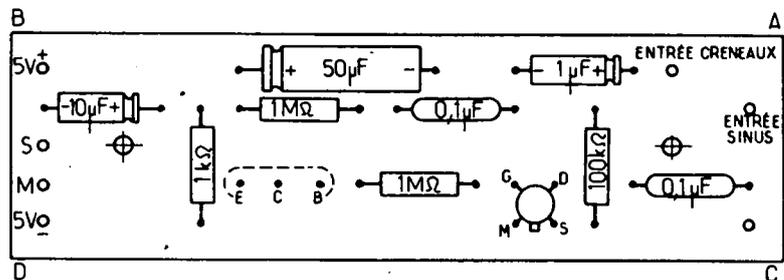


Fig. 9b.

Fig. 9. - Carte imprimée du modulateur.

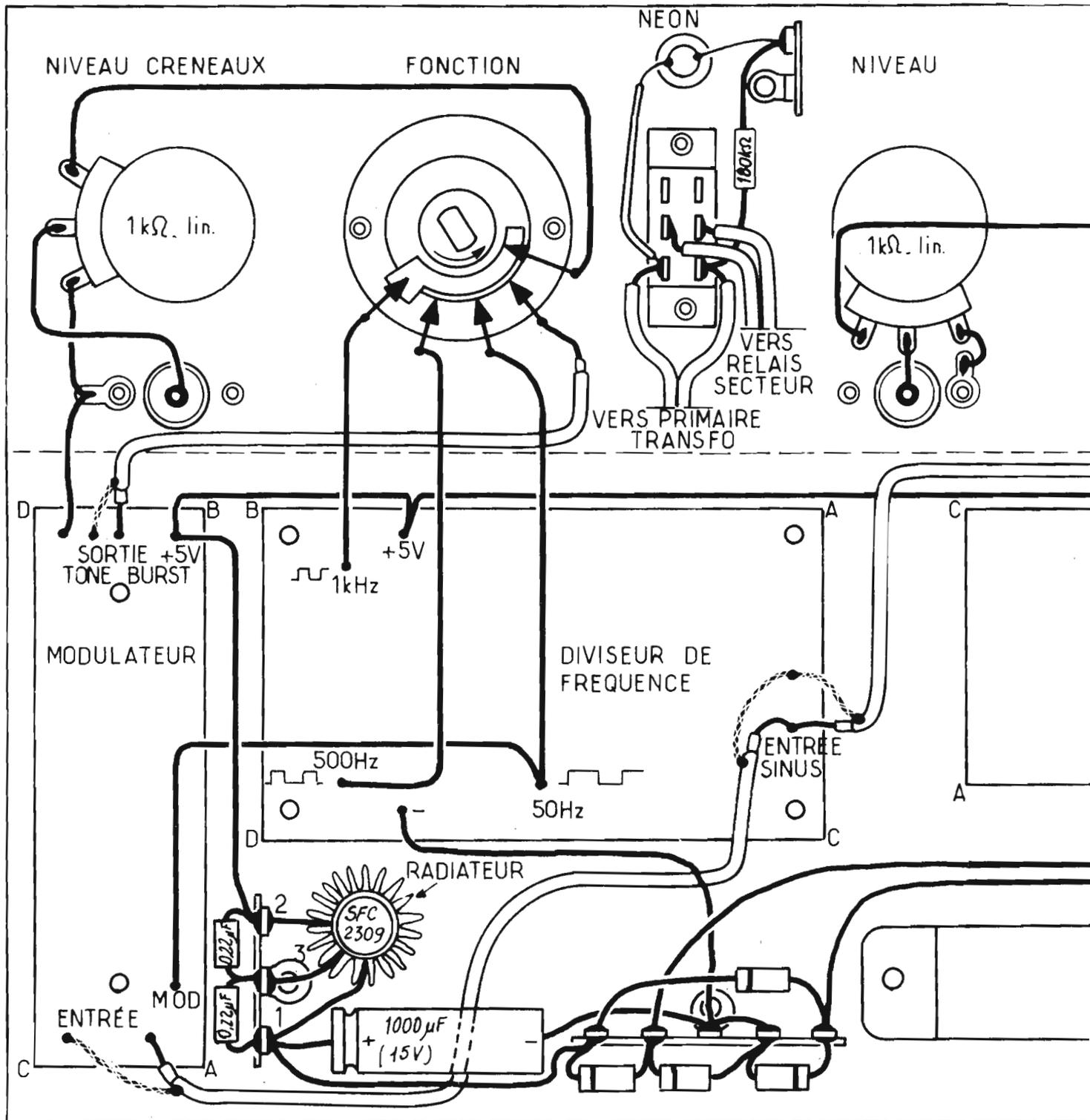


Fig. 10. - Plan de câblage du générateur combiné.

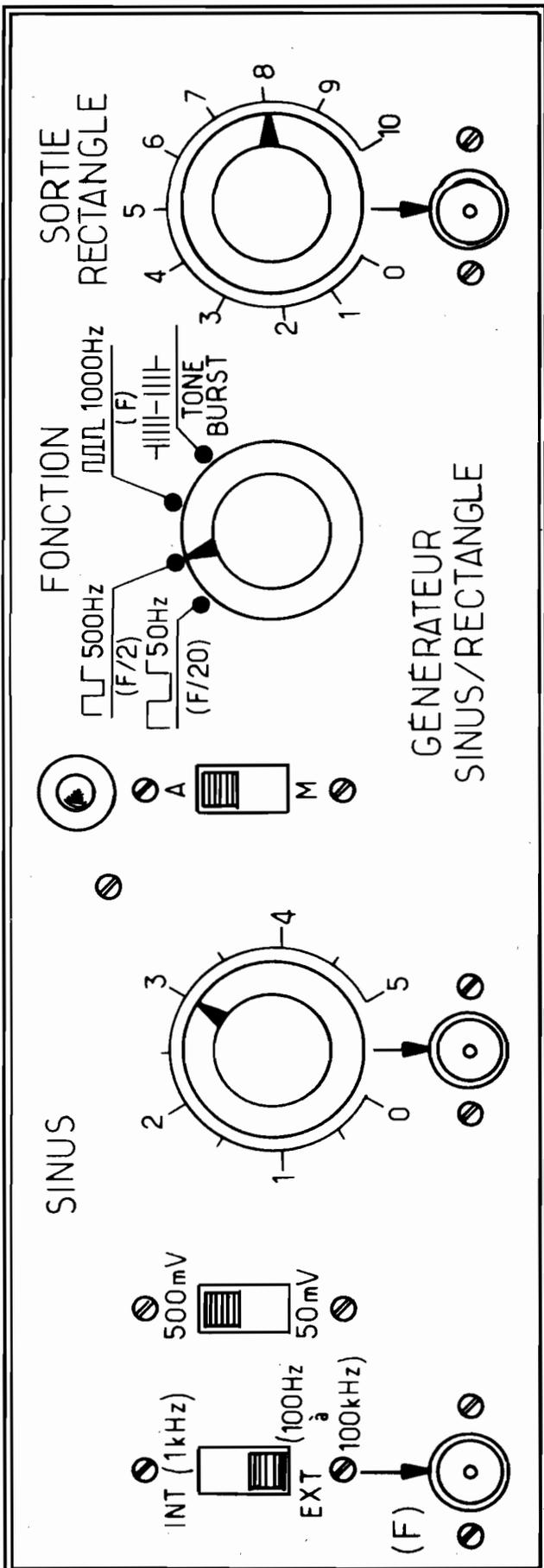
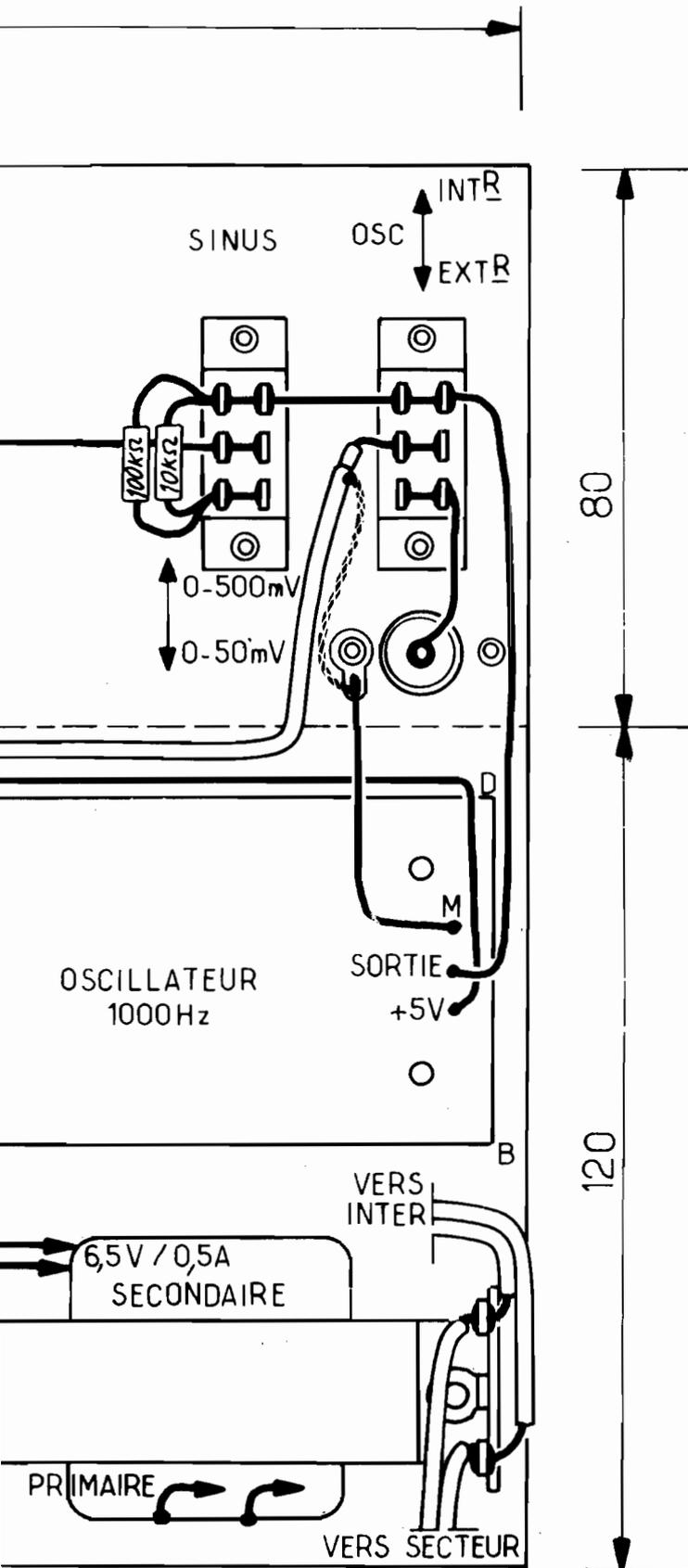


Fig. 11. - Face avant du générateur combiné.