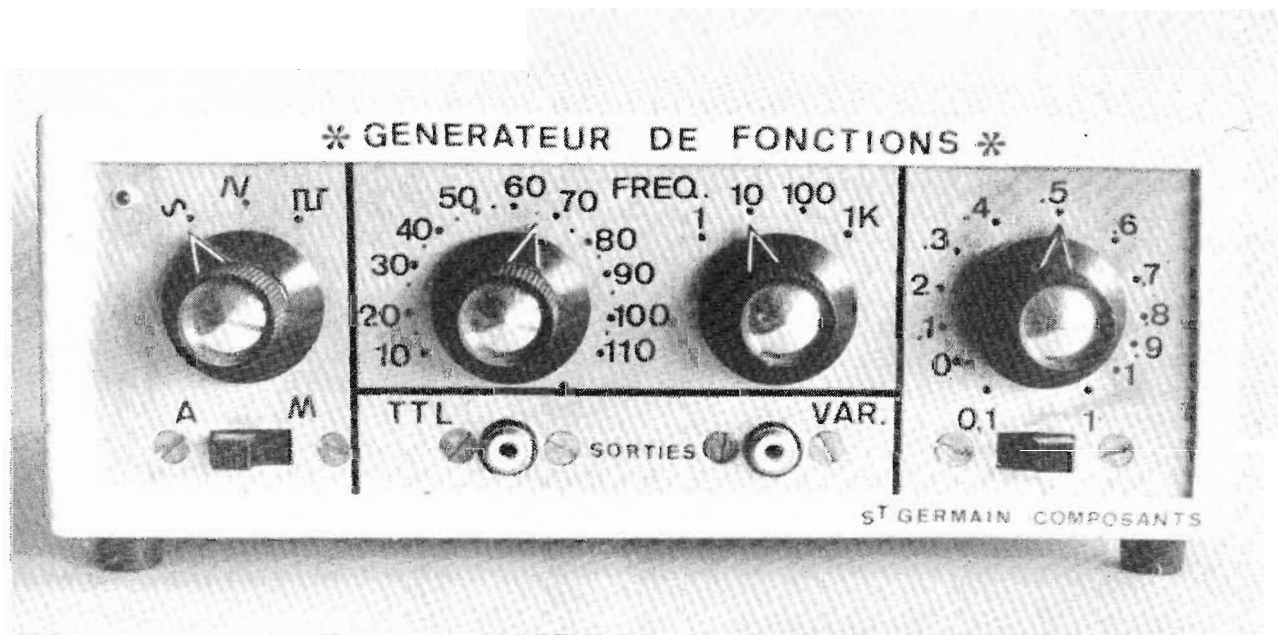


16 – RÉALISATION D'UN GÉNÉRATEUR DE FONCTIONS



Présentation générale de l'appareil

LES grands testeurs de circuits que sont les amateurs électroniciens sont avides d'appareils aux larges possibilités. Le générateur de fonctions devrait combler tous leurs souhaits, du moins dans le domaine des « basses fréquences » qui recrute le plus d'adeptes.

Cet appareil, en effet, permet, en liaison avec un bon oscilloscope, de connaître les performances d'un circuit audiofréquence, tant du point de vue de l'amplitude, de la fréquence ou de la phase. Il permet d'apprécier la bande pas-

sante, la linéarité, la distortion, la stabilité..., de faciliter les réglages et les mises au point délicates, tout cela en régime dynamique, c'est-à-dire dans un mode de fonctionnement qui s'apparente le mieux à la réalité.

La description qui suit fait appel à un montage simple, compact, relativement facile à réaliser et à régler. Les composants sont courants, parfaitement définis : ils ont été achetés chez St-Germain Composants pour un coût global inférieur à 300 F.

CONCEPTION D'ENSEMBLE DU GÉNÉRATEUR REGLAGE DE LA FREQUENCE

Le générateur de fonctions est un générateur qui fournit des signaux périodiques de formes différentes, dans une large plage de fréquences de récurrence. A chaque forme correspond une application particulière et une interprétation précise des résultats.

Nous limiterons les fonctions couvertes par le généra-

teur décrit à 3 formes : sinusoïdale, triangulaire et rectangulaire.

La conception d'un tel appareil, sortant des signaux stables, synchrones, de forme pure et d'amplitude rigoureusement constante n'est pas évidente avec des circuits à composants discrets.

Avec le secours de la microélectronique, l'intégration des circuits couvrant des fonctions complexes s'est développée. On trouvera, avec la réalisation proposée, une très bonne application d'un circuit monolithique assurant

la génération et la stabilisation des signaux désirés sous un très faible volume et pour un coût absolument imbattable. C'est ainsi que nous le proposons aux amateurs qui trouveront 3 générateurs dans un même appareil.

Le circuit retenu (il en existe d'autres) est le XR-2206C de R-OHM Corp. Il comporte un générateur interne, commandé en courant, qui peut fonctionner entre 0,01 Hz et 1 MHz avec une remarquable stabilité.

Nous avons limité la variation de 10 à 100 000 Hz, pour des raisons de simplicité et de facilité de mise au point, ce qui couvre largement le spectre utilisable en audiofréquences.

Les formes des signaux sont obtenues, dans le circuit, depuis un signal triangulaire, par une bascule à 2 états pour les signaux rectangulaires et par une mise en forme par conformateur pour les sinusoïdaux.

L'un des intérêts de ce circuits intégré particulier est qu'il comporte un réglage de symétrie et de forme d'onde sinusoïdale qui réduit la distorsion harmonique à moins de 0,5 %, ce qui est assez remarquable pour ce type de montage.

On trouvera ci-après le brochage et quelques caractéristiques du circuit XR 2206C :

Broche 1 : Masse ou modulation d'amplitude.

2 : sortie sinus ou triangle.

3 : réglage de niveau maximal de sortie.

4 : alimentation positive.

5/6 : condensateur C pour $F = 1/RC$.

7 : résistance R pour $F = 1/RC$.

8 : autre résistance R'.

9 : commutation éventuelle R/R'.

10 : découpage.

11 : sortie rectangle.

12 : commun alimentation, masse.

13/14 : réglage de forme d'onde et commut. sinus/triangle.

15/16 : réglage de symétrie.

Tension d'alimentation : 10 à 26 V.

Stabilité en température : meilleure que 20 ppm/°C.

Rapport F_{max}/F_{min} maximal : 2 000/1.

Influence de la tension d'alimentation : 0,01 %/V.

Distorsion en sinus : moins que 0,5 %.

Temps de montée du rectangle : inférieur à 250 ns.

Temps de descente du rectangle : inférieur à 50 ns.

Linéarité du triangle : 1 %.

Stabilité d'amplitude pour $F_{max}/F_{min} = 1 000$: inférieure à 0,5 dB.

Pour la mise en œuvre du circuit, la variation de fréquence peut être obtenue de 2 façons.

La méthode la plus simple, proposée sur la figure 1A, fait appel à une simple résistance variable. Pour des valeurs de

condensateur C et de résistance R, on obtient la valeur de la fréquence par l'inverse du produit de ces deux premières valeurs : $F = 1/RC$.

Si l'on fait varier R on aura une variation de fréquence suivant une loi hyperbolique, comme indiqué sur la figure, avec un tassement important des fréquences élevées.

La variation de résistance qui donnerait, sur un cadran, des indications linéaires devrait donc s'échelonner suivant une loi inverse, soit 1, 1/2, 1/3, 1/4, etc. Ceci ne peut être facilement obtenu par une variation continue. Seule, une commutation de résistances distinctes pourra donner des indications exploitables : par exemple une décade.

Pour pallier cet inconvénient et offrir à l'utilisateur une variation quasiment linéaire, il est nécessaire d'adopter un montage différent tel que celui de la figure 1B. En fait, la borne 7 (ou la borne 8) est une source de tension V1, à faible impédance, de 3 volts. Le fait de faire varier R comme dans l'exemple précédent amenait une variation du courant $I = V1/R$. Or la fréquence de l'oscillateur commandé est proportionnelle à I :

$$F = \frac{320 \bar{I} \text{ (mA)}}{C \text{ (}\mu\text{F)}} \text{ (Hz)}$$

de sorte que si l'on fait varier I de façon linéaire, on aura également une variation li-

néaire de la fréquence.

Ce résultat est obtenu par un courant dérivé, lui-même engendré par une contre-tension V2 réglable.

Pour bien comprendre le fonctionnement de ce dispositif, il faut préciser que la source de tension réglable V2 provient d'un diviseur potentiométrique, de faible résistance, aux bornes d'une diode zener, et que la résistance R est de valeur relativement élevée.

Lorsque le curseur du potentiomètre est en position haute, on ajuste R3 pour que la tension Vo aux bornes du potentiomètre soit égale à V1. Dans ce cas, il ne passe aucun courant à travers R1 et $F_{min} = 1/RC$. Dans le cas où R2 est nulle (curseur vers le bas), on obtient :

$$F_{max} = (R + R1)/R.R1C.$$

En choisissant $R = 10 R1$, on aura un rapport de 1 à 11 entre les fréquences extrêmes, ce qui correspond bien à l'application proposée. Entre ces deux valeurs, la tension V2 varie de 0 à 3 V. Le courant dérivé dans R1 est sensiblement proportionnel à V2 et l'on obtient donc une variation linéaire de fréquence par la manœuvre du potentiomètre.

En utilisant les valeurs de composants indiquées sur la figure, on obtiendra une variation de 10 à 110 Hz en passant de 1 000 Ω à 0. Le point 50 Hz, facile à contrôler, correspondra à $R2 = 600 \Omega$.

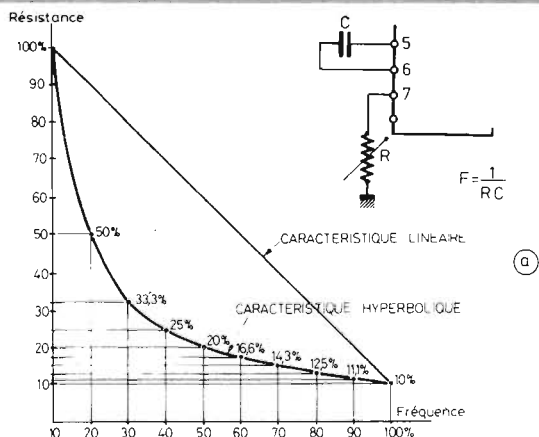
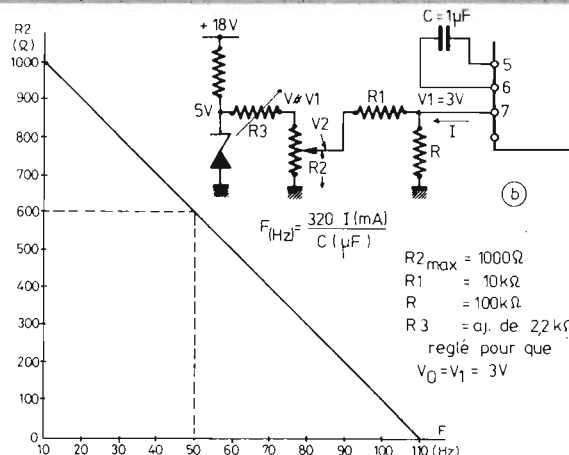


Fig. 1. - Principe de la commande de fréquence :
a) Par variation de résistance (caractéristique hyperbolique).



b) Par variation de tension (caractéristique linéaire).

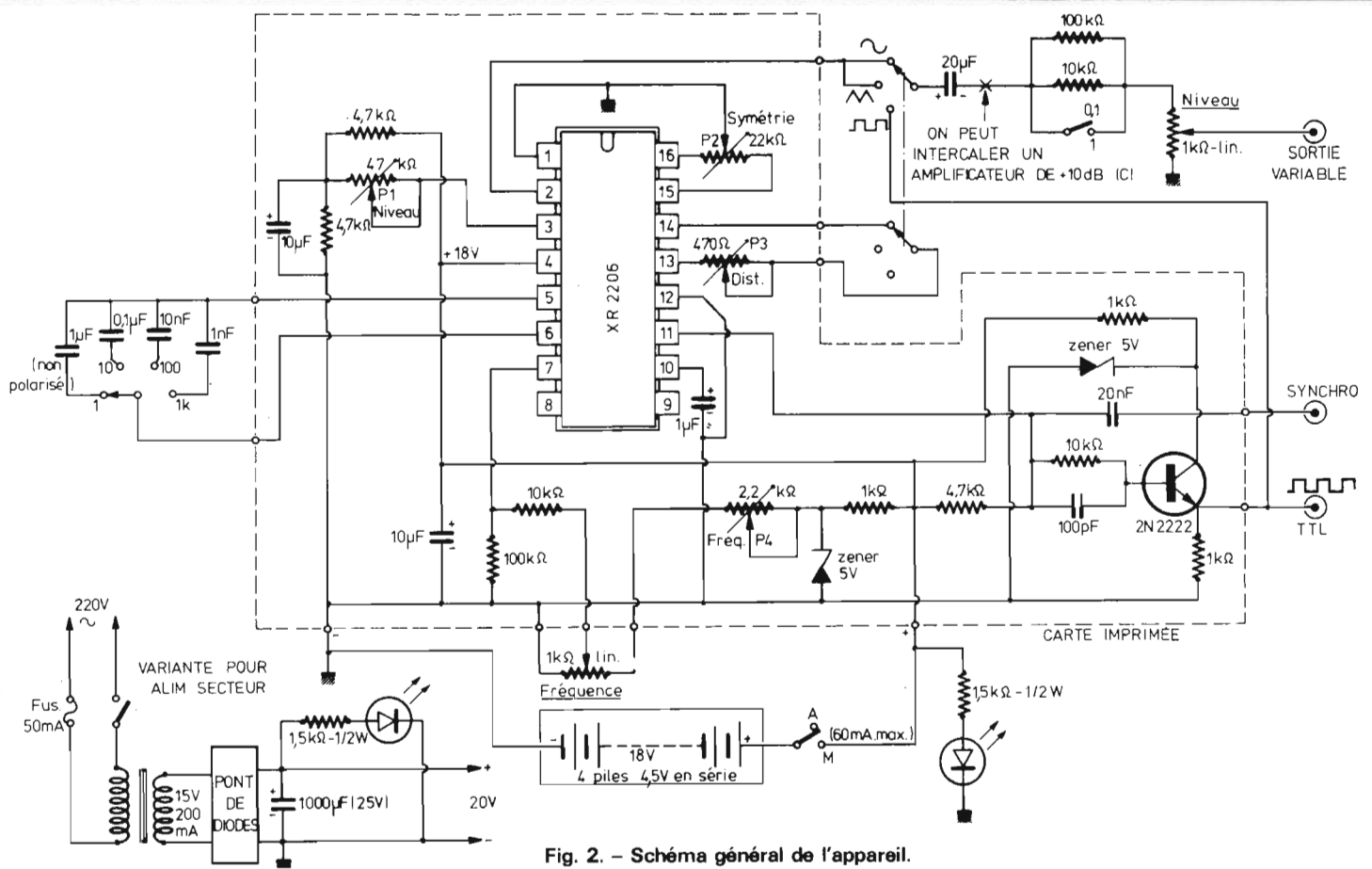


Fig. 2. - Schéma général de l'appareil.

SCHEMA GENERAL DU GENERATEUR

Il est indiqué sur la figure 2. Le circuit est branché conformément aux indications du constructeur. La tension d'alimentation est de 18 à 20 V pour obtenir un signal de sortie d'amplitude suffisante.

Le condensateur C peut prendre 4 valeurs de $1\mu\text{F}$, $0,1\mu\text{F}$, 10nF et 1nF donnant respectivement des coefficients 1, 10, 100 et 1 000 à la valeur de la fréquence indiquée par le curseur du potentiomètre linéaire.

La borne 3 du circuit est réunie à un pont découplé entre +18 V et masse. Le potentiomètre P1 de $47\text{k}\Omega$ sert à régler l'amplitude du signal de sortie sinus ou triangle, disponible en 2.

La tension rectangulaire est prélevée sur 11. Elle alimente une sortie « Synchro », isolée du continu et un amplificateur à seuil de tension qui permet

de limiter à +5 V l'amplitude de crête du signal rectangulaire, rendant celui-ci compatible avec les circuits digitaux TTL. Cette sortie est, de plus, à faible résistance ce qui lui confère une « sortance » élevée. Le condensateur de 100pF dans le circuit de base du transistor 2N2222 diminue sensiblement le temps de montée du signal.

La sortie « variable » est commutée sur les sorties sinus/triangle ou rectangle du circuit. La variation de niveau s'opère au moyen d'un potentiomètre linéaire de $1\text{k}\Omega$. Un atténuateur fixe de 1/10 est inséré dans la sortie par un commutateur.

Le potentiomètre ajustable P2, placé entre 15 et 16 (curseur à la masse) sert à régler la symétrie du signal de sortie. Entre 13 et 14 est branchée une résistance ajustable P3 qui permet de trouver le point de fonctionnement optimal du circuit de mise en forme sinusoïdale, au minimum de distorsion harmoni-

que. Si l'on ouvre le circuit par le commutateur à 3 positions, le signal de sortie devient triangulaire.

Avec les valeurs présentées sur le schéma, pour un fonctionnement correct du générateur, il est préconisé de limiter l'amplitude maximale du signal sinusoïdal à 800 mV.

L'alimentation peut être réalisée facilement au moyen de 4 piles plates de 4,5 V : la consommation n'excède pas 60 mA, même en prévoyant une diode LED indiquant la mise en route de l'appareil. Ceci confère à ce générateur une autonomie d'une dizaine d'heures.

Pour ceux qui préfèrent une alimentation secteur, il est facile de monter un transformateur 220/15 V (200 mA) aux bornes d'un pont de diodes. Le filtrage sommaire est suffisant et la tension obtenue (légèrement supérieure) est acceptable à condition de ne pas dépasser 22 V.

REALISATION DES CIRCUITS

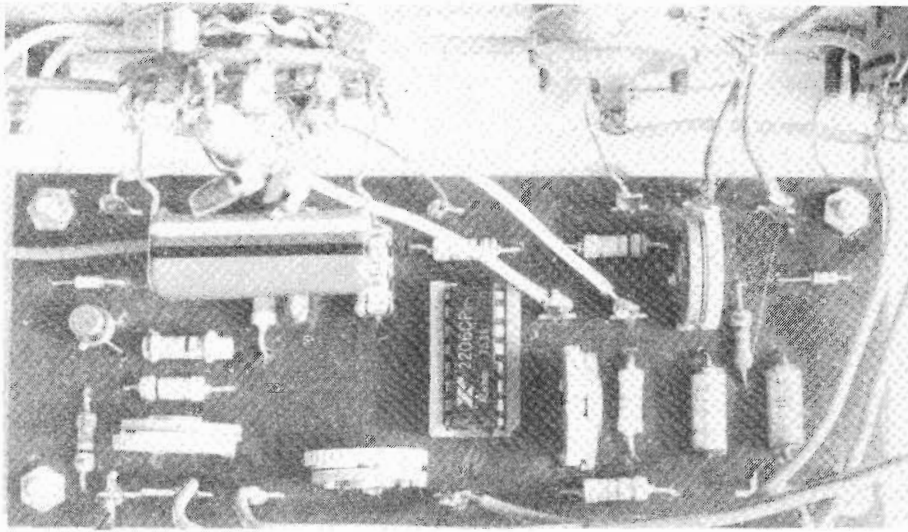
La figure 3 représente le dessin de la carte imprimée et la disposition des composants pour la version nominale, à variation continue linéaire.

Le circuit intégré sera monté sur un support ou soudé directement sur le circuit. On devra disposer d'un bon fer à souder, bien isolé et à panne suffisamment fine.

La figure 4 se rapporte à une version à variation en décade de fréquences utilisant un commutateur à 10 positions. Dans ce cas, on peut utiliser le même circuit imprimé que précédemment à la condition de supprimer :

- une résistance de $10\text{k}\Omega$,
- une résistance de $1\text{k}\Omega$
- Une diode zener de 5 V.

Il convient également, dans ce cas, de remplacer la résistance ajustable de $2,2\text{k}\Omega$ par une de $1\text{k}\Omega$ et de disposer 2 connexions sur le circuit comme l'indique la figure.



Détail du circuit imprimé

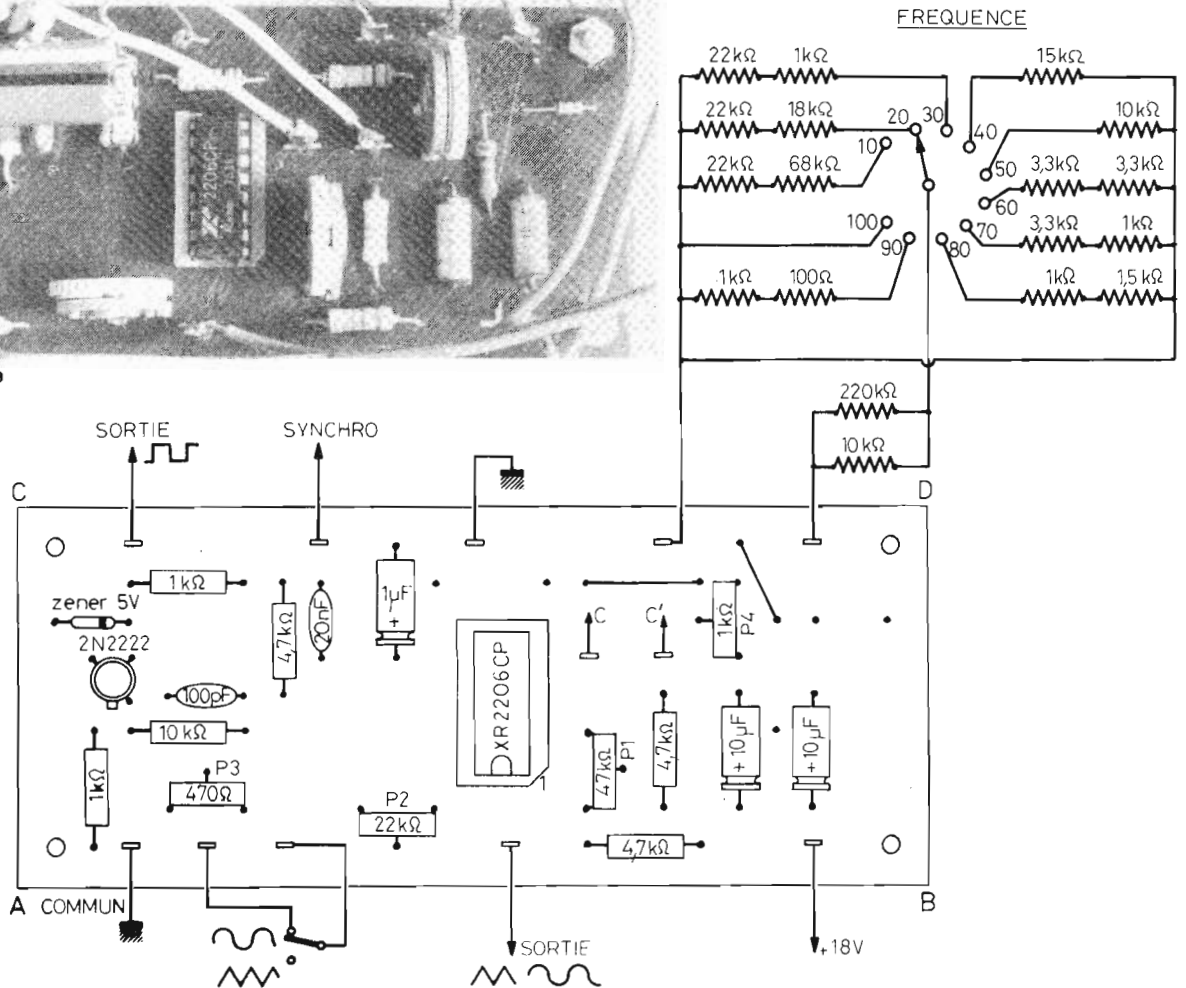


Fig. 4. - Câblage de la carte imprimée en version commutateur (décade de fréquence).

LISTES DES COMPOSANTS

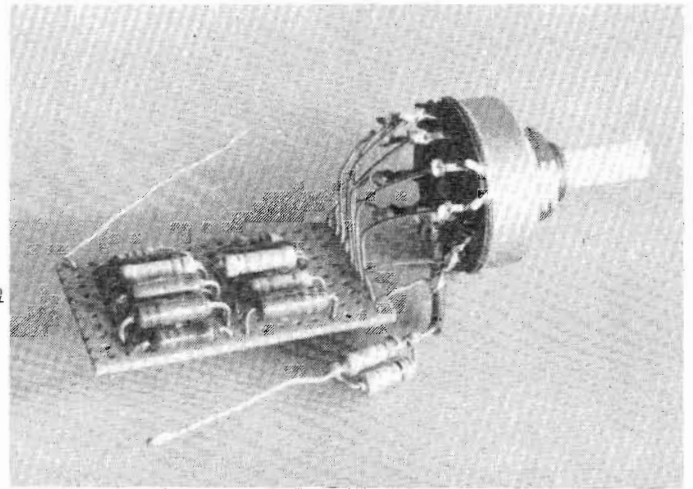
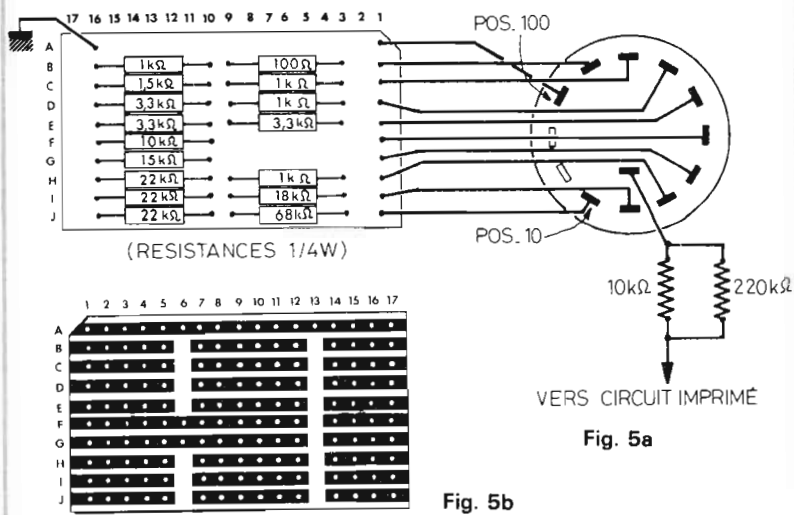
(version nominale à variation continue de fréquence)

- 1 coffret VERO 75/1511 D + 4 boutons à index + visserie.
- 3 embases CINCH, 2 inverseurs doubles à glissière,
- 1 circuit une face cuivrée 50 x 120 mm,
- 1 commutateur 2 x 3 positions,
- 1 commutateur 4 positions (1 circuit),
- 2 potentiomètres linéaires de 1 kΩ (dont un bobiné, de préférence),
- 4 résistances ajustables (470 Ω, 2 200 Ω, 22 kΩ et 47 kΩ).

- 11 résistances 5 % :
 - 3 x 1 kΩ 1/4 W.
 - 1 x 1,5 kΩ (0,5 W).
 - 3 x 4,7 kΩ 1/4 W.
 - 2 x 10 kΩ 1/4 W.
 - 2 x 100 kΩ 1/4 W.
- 4 condensateurs chimiques (25 V) : 20 μF, 2 x 10 μF et 1 μF,
- 4 condensateurs non polarisés (polyester, par exemple) isolés à 100 V au moins : 1 μF, 100 nF, 10 nF, 1 nF, triés à mieux que 5 %, si possible,
- 1 condensateur 100 pF mica ou polystyrène,
- 1 condensateur 20 nF disque céramique (400 V), 20 %,

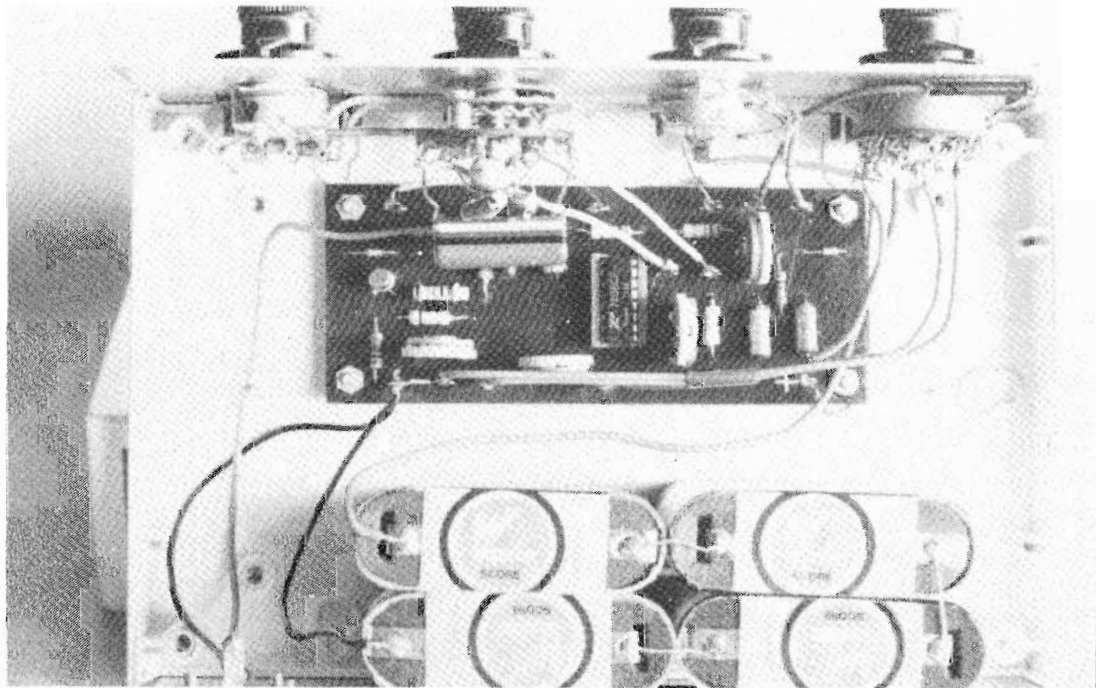
- 1 circuit XR2206 de R-OHM (EXAR INTEF. SYSTEMS) avec éventuellement 1 support,
- 1 transistor 2N2222,
- 2 diodes Zener 5 V (ou 5,1 V),
- 1 diode LED miniature.
- Option à décade de fréquences :** voir texte
- Option à alimentation secteur :**
 - 1 transformateur 220 V/15 V (200 mA),
 - 1 fusible et 1 porte fusible (50 mA),
 - 1 pont de redressement (ou 4 diodes silicium),
 - 1 condensateur 1 000 μF (25 V),

- Option amplificateur + 10 dB :**
 - 1 circuit, une face cuivrée de 50 x 80 mm,
 - 2 transistors 2N3391A, 2N2222 ou équivalent,
- Résistances 1/4 W (5 %) :
 - 1 x 100 Ω.
 - 2 x 470 Ω.
 - 1 x 1 kΩ.
 - 1 x 1,5 kΩ.
 - 1 x 10 kΩ.
 - 1 x 100 kΩ.
- 1 potentiomètre ajustable de 47 kΩ.
- Condensateurs chimiques (25 V) : 2,2 μF, 15 μF, 100 μF.

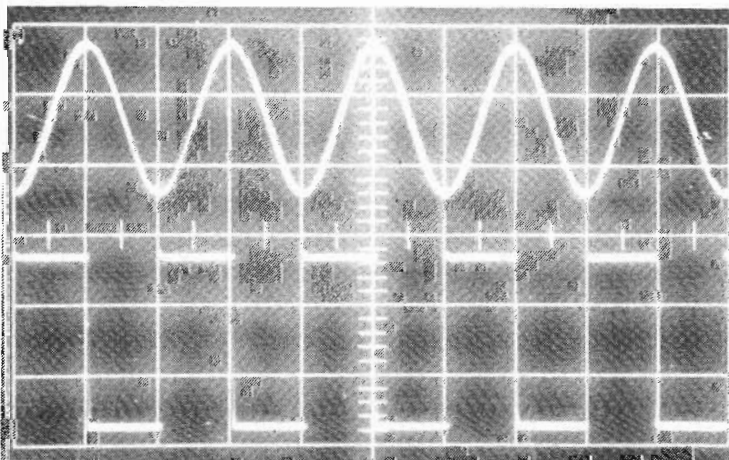


Commutateur pour décade de fréquence

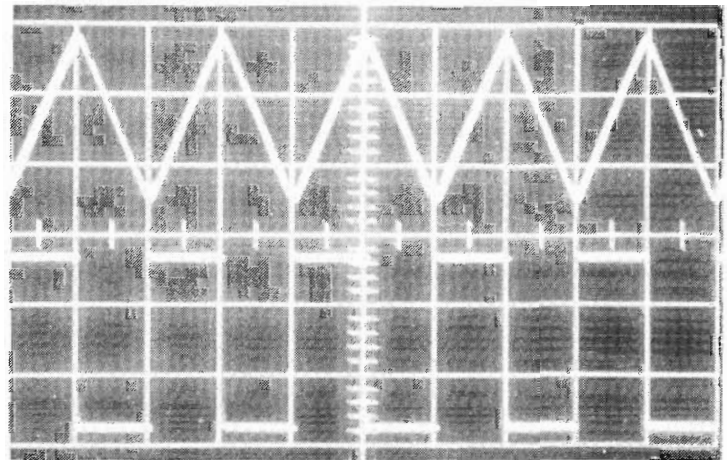
Fig. 5. - Petite carte Veroboard (pas de 2,5 mm) supportant les résistances du commutateur.



Aspect général du câblage



Signaux de sortie : sinus + rectangle



Signaux de sortie : triangle + rectangle

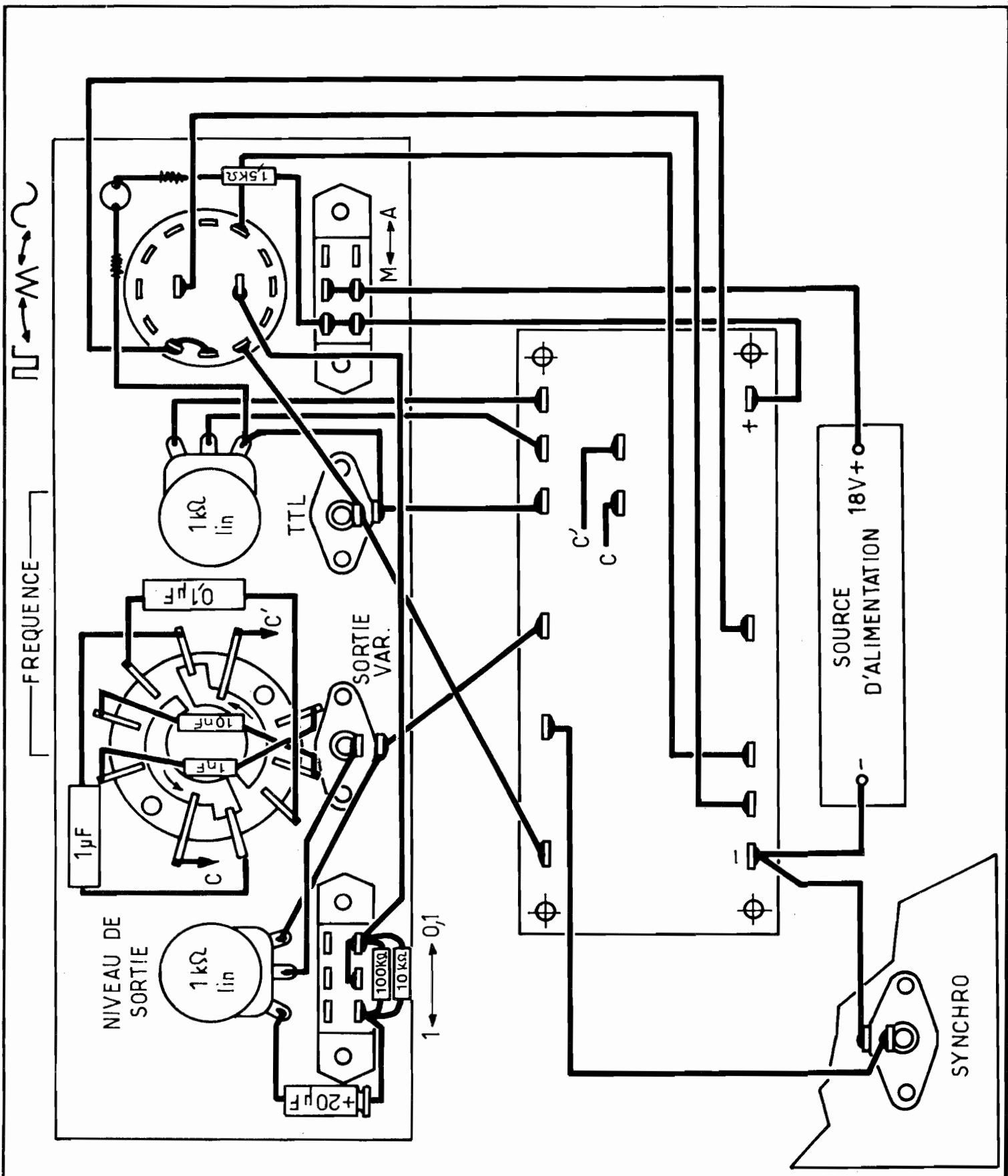


Fig. 6. - Interconnexions (version à variation linéaire continue de fréquence).

entre curseur et masse, la résistance du potentiomètre que l'on règle à la valeur de 600Ω . Sans changer ce réglage, après avoir déconnecté l'ohmmètre on met l'appareil en route sur la position sinus. Au moyen d'un oscilloscope, ou d'un simple dispositif de comparaison, comme celui que nous avons décrit au chapitre calibration (H.P. N° 1486, p. 192 ou N° 1507, p. 205), on calibre l'appareil par le secteur.

On s'assurera que la fréquence produite est bien voisine de 50 Hz, sinon on modifiera la valeur du condensateur de $1 \mu F$ pour une valeur plus précise de fréquence.

L'étalonnage du cadran pour les autres points pourra se faire en mesurant la résistance R2 (voir figure 1B) et en indiquant les valeurs de fréquence correspondantes.

En passant sur la gamme 10, on contrôlera que les fréquences 100, 150, 200 Hz etc. sont assez bien définies par les graduations de l'appareil.

Les deux dernières gammes seront vérifiées de la même façon mais en utilisant un générateur étalonné ou un fréquencemètre. Si l'on ne dispose pas de l'un de ces appareils, on se contentera de trier des condensateurs à mieux que 5 %.

Le réglage de la distorsion se fera, à 1 000 Hz avec un distorsiomètre (par exemple analogue à celui que nous avons décrit dans le H.P. N° 1495, p. 336 et 337). On agit successivement sur les potentiomètres ajustables P2 et P3 jusqu'à obtenir un minimum de distorsion. On a pu ainsi mesurer 0,2 à 0,3 % de distorsion harmonique entre 20 Hz et 20 kHz, la spécification du constructeur indiquant moins de 0,5 %.

Si on ne dispose pas de distorsiomètre, on se bornera à régler P2 et P3 à mi-course.

Le potentiomètre P1 sert à ajuster le niveau. On utilisera une fréquence sinusoïdale de 100 ou 200 Hz et un voltmètre alternatif sur une gamme où l'on pourra mesurer 0,8 V eff. C'est sur cette valeur que l'on

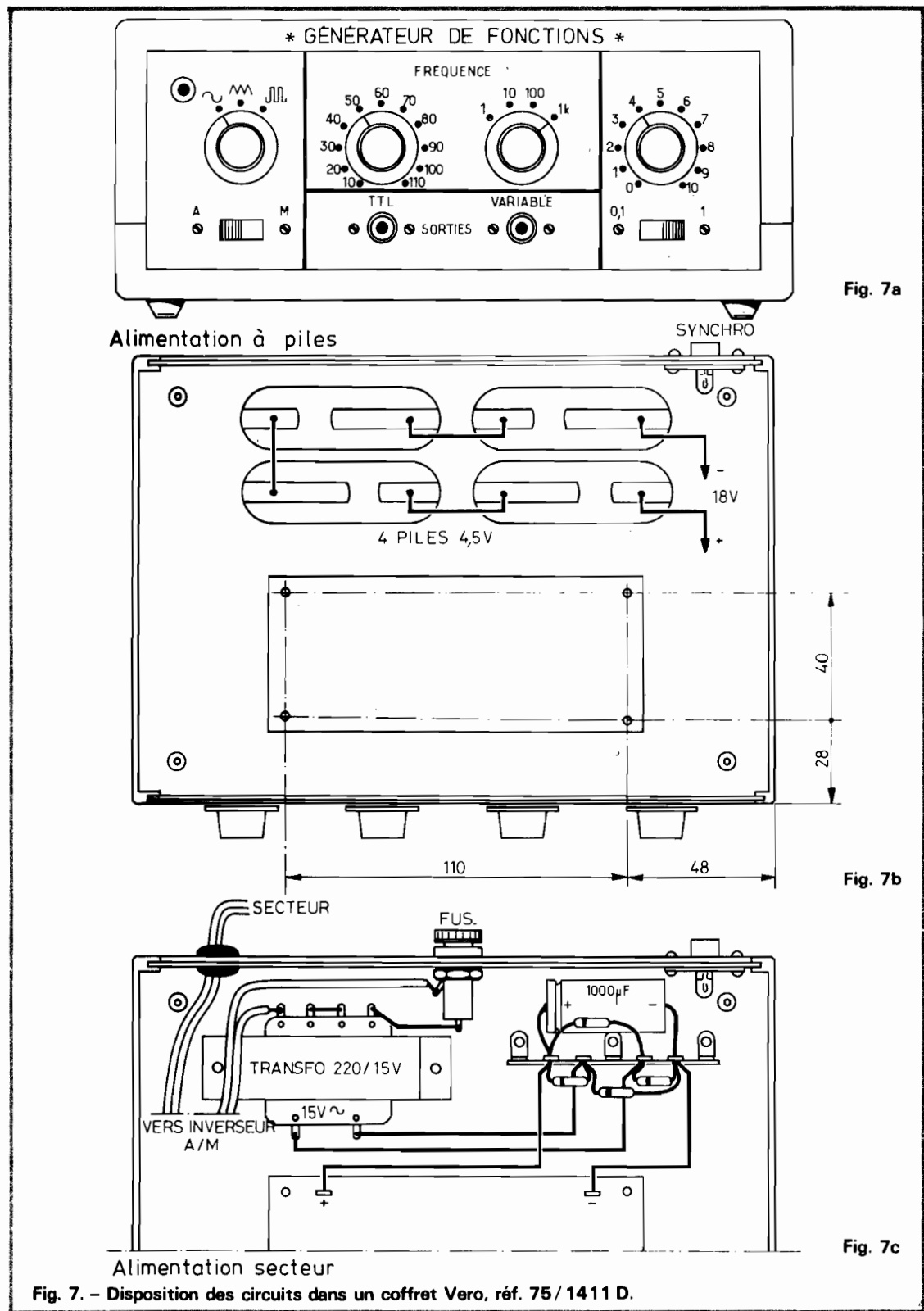


Fig. 7. - Disposition des circuits dans un coffret Vero, réf. 75 / 1411 D.

réglera l'amplitude maximale (le potentiomètre de niveau de sortie étant sur le maximum et le commutateur 0,1/1 sur la position 1. Il n'est pas recommandé de sortir une tension plus élevée, car on risquerait d'augmenter la distorsion en sinus et de diminuer la linéarité en triangle.

On pourra graduer le poten-

tiomètre de sortie en valeurs de tension ou encore en décibels ($0,8 \text{ V} = \text{référence } 0 \text{ dB}$). Sans retoucher au niveau, la tension restera stable dans toute la gamme à 0,5 dB près.

D'aucuns pourront trouver que la tension de sortie est un peu faible pour assurer la modulation complète de certains montages. A ceux-là nous

proposons d'insérer un amplificateur linéaire de + 10 db (soit 3,16 en rapport de tensions), ce qui porte l'amplitude maximale de sortie à 2,5 V eff. environ. Cet amplificateur pourra être monté à l'endroit indiqué sur la figure 2.

Deux schémas sont proposés. Nous recommandons

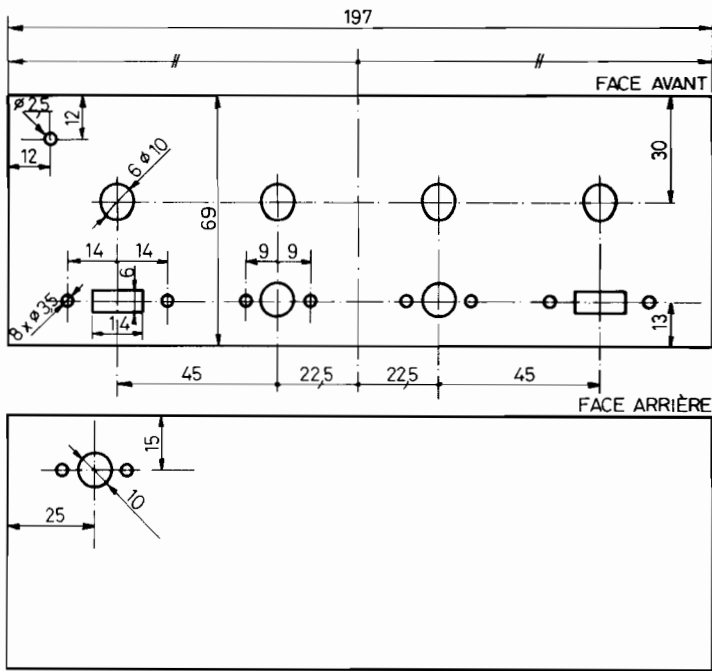
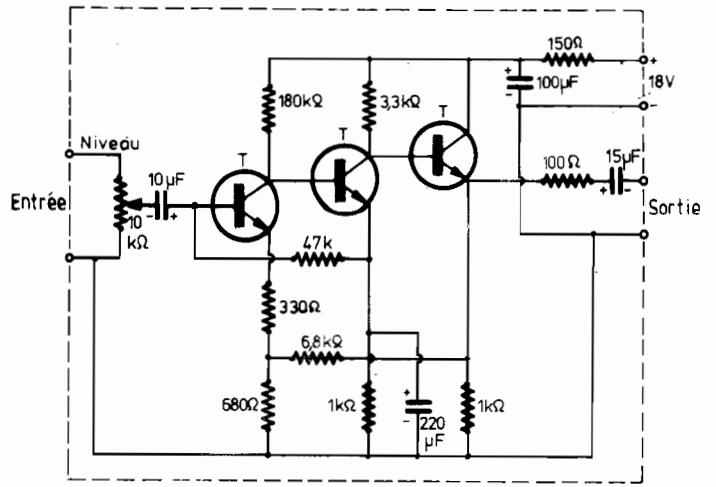
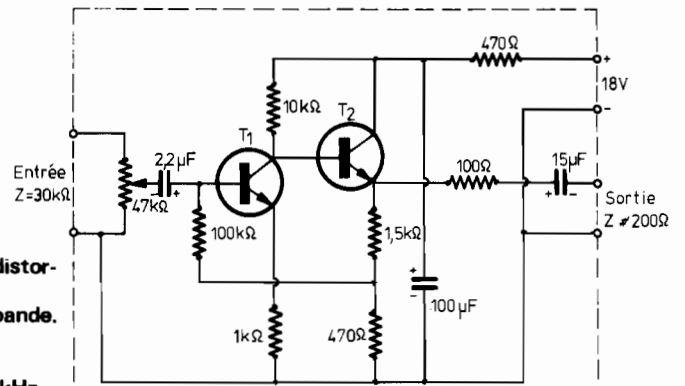


Fig. 8. - Plan de perçage des deux faces.



T = 2N2926 pt orange - 2N2222 - 2N3391A ou équivalents.

Fig. 9a



T₁ = T₂ = 2N2222 - 2N3391A ou équivalents

Fig. 9b

Fig. 9. - Deux versions d'amplificateur de sortie (+ 10 dB):
 N° 1 : Amplificateur de sortie (+ 10 dB) à 3 transistors à faible distorsion.
 N° 2 : Amplificateur de sortie (+ 10 dB) à 2 transistors à large bande.
 Gain max = 20 dB - (sortie max : 3 V eff.)
 Bande A ± 1 dB - 3 Hz A 400 kHz.
 Distorsion < 0,2 % (pour 2,5 V eff. en sortie) de 20 Hz à 20 kHz.
 Débit < 7 mA sous 18 V.

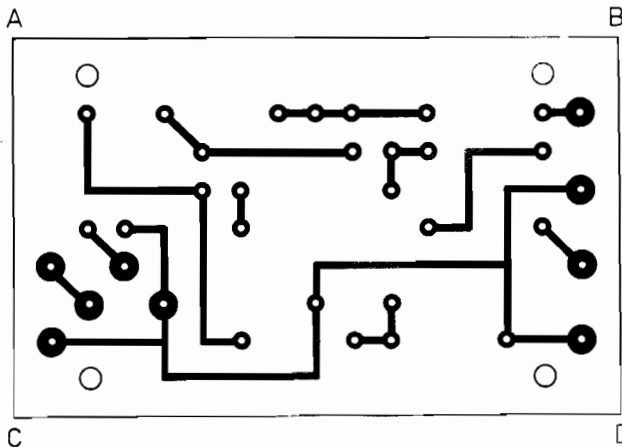


Fig. 10a

CIRCUIT 50x80mm

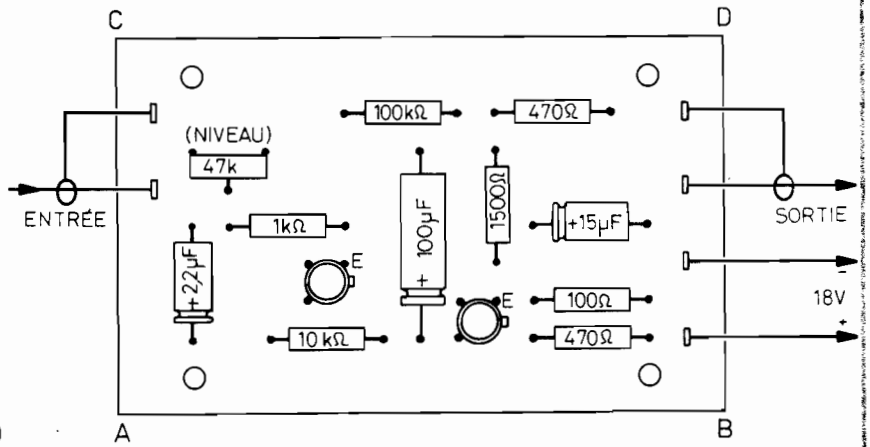


Fig. 10b

Fig. 10. - Carte imprimée de l'amplificateur de sortie N° 2.

l'utilisation de l'amplificateur N° 2, très simple, parfaitement stable et performant, qui n'utilise que des composants courants.

Afin de ne pas trop compliquer la carte du circuit oscillateur, nous proposons de réaliser cet amplificateur sur une petite carte séparée de 50 x 80mm, comme le montre la figure 10. Les deux cartes

seront montées côte à côte en décalant celle de l'oscillateur vers la gauche.

UTILISATION DU GÉNÉRATEUR DE FONCTIONS

On consultera les articles ou ouvrages spécialisés qui donnent beaucoup de détails

sur la façon d'utiliser ce type de générateur. Nous résumerons les applications de cet appareil comme suit :

— en fonction sinusoïdale, on utilise l'appareil comme un simple générateur audiofréquence ; il permettra donc de vérifier toutes les caractéristiques des matériels intéressés : amplificateurs Hi-Fi, filtres etc. dont on appréciera la sen-

sibilité, la bande passante, la distorsion, la stabilité,

— en triangulaire et en rectangulaire (il est alors nécessaire de disposer d'un oscilloscope), on peut examiner la linéarité en amplitude, déterminer un seuil d'écrêtage, apprécier la fidélité de réponse à variation brusque etc.

(à suivre)
 J.C.