

# un générateur de fonctions simple

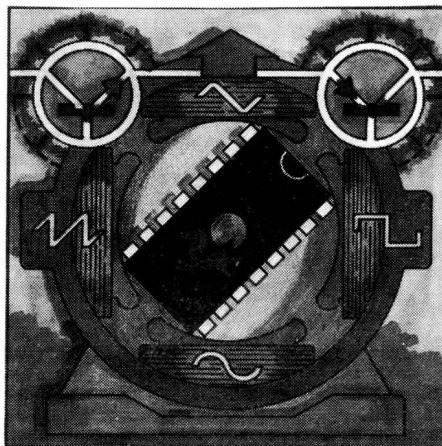
La plupart des générateurs de fonctions disponibles dans le commerce présentent un net inconvénient: ils représentent un investissement considérable pour le constructeur amateur qui, contrairement au dépanneur radioélectricien par exemple, n'utilisera probablement jamais à fond toute la gamme des possibilités offertes par un instrument construit par des professionnels. Pour cette raison, le circuit décrit ci-dessous, utilisant un circuit intégré spécial pour générateur de fonctions, de type XR 2206, a été étudié en vue de trouver le juste milieu entre le prix et les performances. Bien que ne représentant pas le nec plus ultra en matière de spécifications, il offre une large gamme de formes d'onde, il est simple aussi bien à construire qu'à calibrer, et il très facile à utiliser.

Le générateur de fonctions peut fournir, par commutation, des formes d'onde de sortie sinusoïdales, carrées, triangulaires, en dents de scie, ou des impulsions rectangulaires. Il est muni d'une échelle de fréquences à calibration linéaire couvrant la gamme de 9 Hz à 220 kHz. En plus d'un étage de sortie spécial assurant une faible impédance de sortie, il dispose de trois gammes calibrées de tension de sortie: 0... 10 mV, 0... 100 mV et 0... 1 V (efficace). Le circuit peut être calibré sans l'aide d'un oscilloscope, et sa conception compacte permet de le monter facilement dans un boîtier seyant.

## Le XR 2206

Le circuit utilise un circuit intégré spécialement conçu pour générateurs de fonctions, de type XR 2206 (Exar), dont la figure 1 représente le schéma de branchement et le bloc diagramme interne. Le cœur de ce circuit intégré est un oscillateur commandé en tension — ou VCO — (en fait il s'agit plutôt d'un oscillateur commandé en courant — ou CCO — bien que la feuille de caractéristiques du constructeur l'appelle un VCO). La fréquence de l'oscillateur est définie par la valeur du condensateur et de la résistance externes,  $C_{ext}$  et  $R_{ext}$ . Un courant de commande,  $I_f$ , est commuté par l'intermédiaire de commutateurs de courant intégrés vers l'une des deux sorties de courant (broche 7 ou 8)

**Un générateur de fonctions est un appareil universel et très utile qui donne au constructeur un moyen simple et efficace de vérifier le fonctionnement de ses réalisations. C'est donc un élément pratiquement indispensable de l'appareillage de base de tout constructeur amateur.**



du circuit intégré, suivant l'état logique du sélecteur d'entrée (broche 9), rendant ainsi possible une modulation par saut de fréquence (FSK).

La sortie du VCO est tamponnée par un transistor intégré, dont le collecteur est accessible sur la sortie de synchronisation, broche 11. Cette sortie fournit une impulsion de forme d'onde rectangulaire. De plus, le signal du VCO fournit la base nécessaire à la génération des signaux effectués dans les sections multiplicateur et convertisseur sinusoïdal. Les broches 13... 16 permettent d'ajuster la pureté sinusoïdale (facteur de distorsion) et la symétrie. Le niveau continu du signal de sortie peut être ajusté par l'intermédiaire de la broche 3.

Les ondes de forme sinusoïdale, triangulaire et en dents de scie sont tamponnées par un étage suiveur de tension, puis transmises à la sortie à basse impédance, sur la broche 2. L'amplitude des signaux sinusoïdaux/triangulaires peut varier linéairement sous l'action d'une tension de commande appliquée à l'entrée AM (broche 1 du circuit intégré). Ceci rend possible la modulation d'amplitude du signal de l'oscillateur.

La tension disponible entre les broches 7 et 8 (connection de courant) est stabilisée à 3 V (valeur typique) à l'intérieur du circuit intégré. Comme cette tension de référence ne présente qu'un très faible coefficient de température ( $6 \times 10^{-5}$  V/°C), la stabilité en température de la fréquence de l'oscillateur est également très bonne.

Le courant de commande  $I_f$  peut varier entre 1  $\mu$ A et 3 mA; cependant la meilleure stabilité en température est obtenue dans la gamme comprise entre 15  $\mu$ A et 750  $\mu$ A.

La fréquence du VCO est définie par ce courant  $I_f$  et par la valeur du condensateur externe  $C_{ext}$ , le courant de commande étant réglé au moyen de la résistance  $R_f$  connectée entre les broches 7 ou 8 et la masse. L'équation donnant la fréquence est la suivante:

$$f = \frac{I_f}{3 C_{ext}} \quad (\text{Hz, A, F})$$

$$f = \frac{1}{R_{ext} C_{ext}}$$

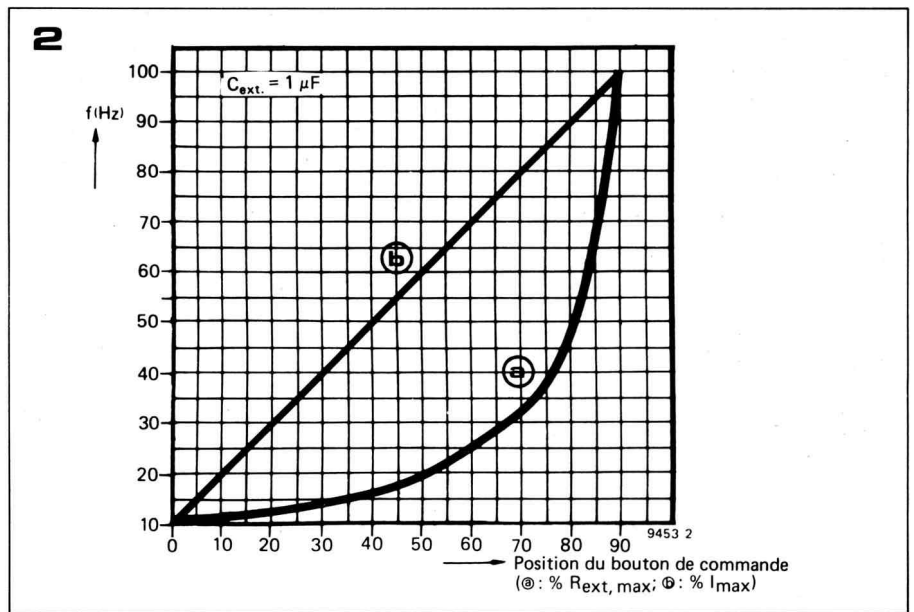
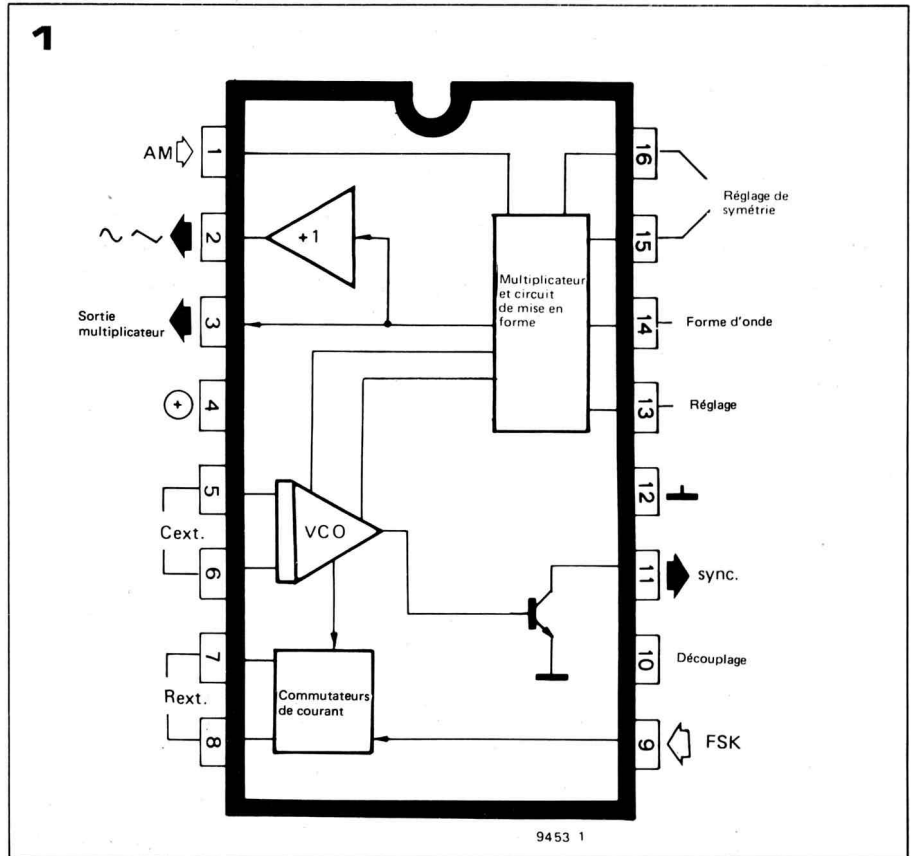
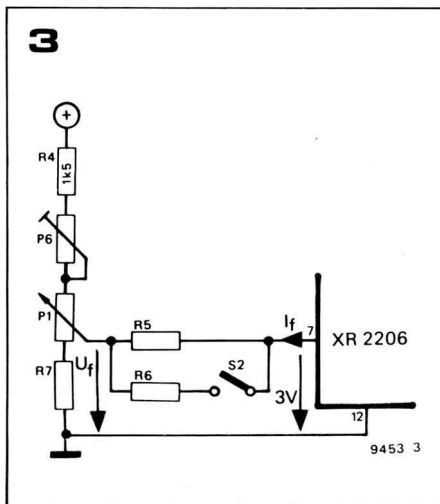
Il résulte de la fonction précédente que le graphe de la fréquence en fonction de la valeur de  $R_{ext}$  n'est pas linéaire, mais hyperbolique (voir la figure 2, courbe a). Il serait possible d'obtenir une réponse approximativement linéaire au moyen d'un potentiomètre antilogarithmique. Cependant, en faisant preuve d'un peu d'ingéniosité il est possible de faire varier linéairement le courant de commande, de sorte que l'échelle des fréquences résultante soit également linéaire (voir la figure 2 courbe b). Ce résultat est obtenu de la façon suivante. Il existe sur la broche 7 du circuit intégré une tension constante de 3 V. Le courant qui s'écoule depuis cette broche jusqu'à la masse est directement proportionnel à la fréquence de sortie, de sorte qu'une variation linéaire de ce courant entraînera naturellement une variation de fréquence linéaire.

Nous voyons sur la figure 3 que cette variation de courant est obtenue au moyen du diviseur de tension constitué par R4, P1, P6 et R7. Les valeurs de composants de ce diviseur sont choisies de telle sorte que la tension  $U_f$  du curseur de P1 puisse varier entre 0,3 et 2,8 V. Cette tension détermine la chute de tension aux bornes de R5 ( $= 3 V - U_f$ ) et, d'après la loi d'Ohm, le courant  $I_f$  traversant cette résistance, donc la valeur de la fréquence. Puisqu'il existe une relation linéaire entre la chute de tension et le courant, il est possible d'obtenir, à l'aide d'un potentiomètre linéaire, une graduation linéaire du réglage de la fréquence:

$$I_f = \frac{3 V - U_f}{R_5}, \text{ donc}$$

$$f = \frac{3 V - U_f}{3 \times R_5 \times C_{ext}} \text{ (Hz, V, } \Omega, \text{ F)}$$

Lorsque l'interrupteur S2 est fermé, en supposant que  $R_5 = R_6$ , le courant de commande est doublé, ce qui entraîne un doublement de la fréquence du VCO. La gamme de réglage de P1 permet de faire varier la fréquence sur un petit peu plus qu'une décade, par exemple de 9 Hz à 110 Hz.



Le réglage fin s'effectue au moyen de P6.

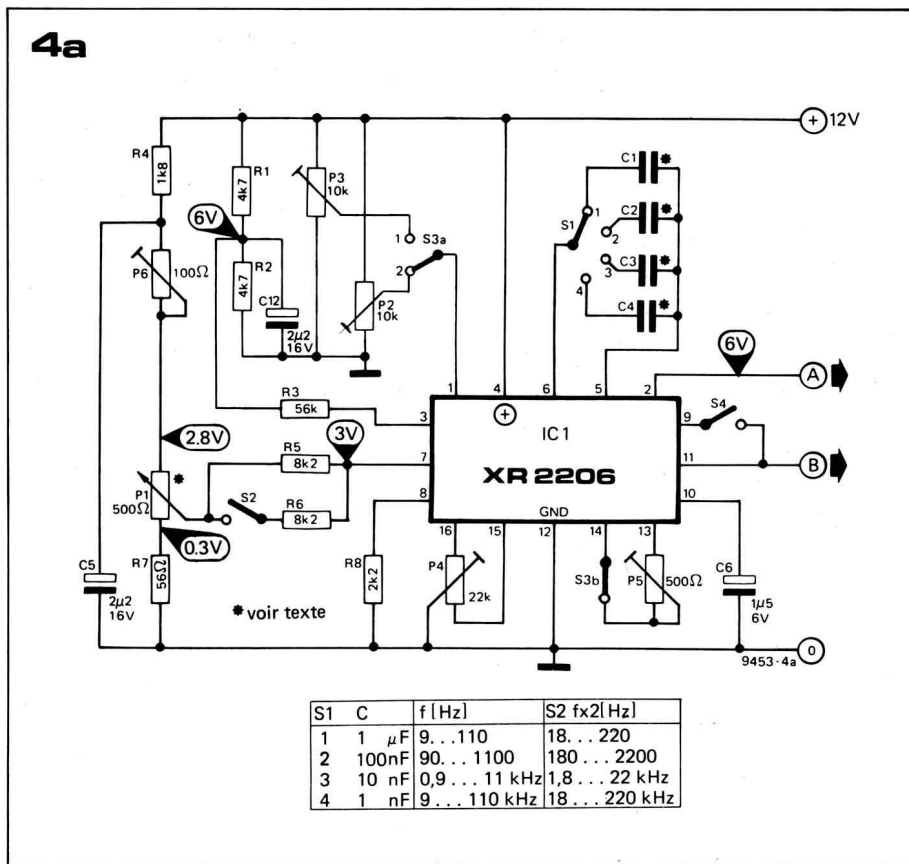
**Le générateur**

La figure 4 représente le schéma complet du générateur. La broche 2 sert de sortie pour les ondes de forme sinusoïdale, triangulaire et en dents de scie, tandis que les signaux carrés et les impulsions rectangulaires sont disponibles sur la broche 11. C1 à C4 sont les condensateurs externes définissant la fréquence ( $C_{ext}$ ). La commutation entre les diverses gammes de fréquence s'effectue au moyen de S1; C5, C6 et C12 sont des condensateurs de découplage. Le pont diviseur de tension R1/R2 divise par deux la tension d'alimen-

tation, et par l'intermédiaire de la broche 3 sert à régler le niveau de la composante continue du circuit intégré. Il en résulte que la tension continue existant sur la broche 2 est également

$$\frac{U_b}{2} = 6 V. \text{ On peut faire varier}$$

l'amplitude du signal de sortie au moyen de P2 et de P3. Le réglage s'effectue séparément pour les ondes sinusoïdales (P2) et triangulaires ou en dents de scie (P3), de sorte que les valeurs crête à crête des trois tensions soient les mêmes; le contacteur S3a assure la commutation entre P2 et P3. La symétrie des ondes de forme triangulaire et sinusoïdale peut être ajustée au moyen du potentiomètre P4, tandis que l'on peut faire varier le



- Figure 1. Bloc diagramme interne du circuit intégré générateur de fonctions XR 2206
- Sortie multiplicateur
  - Commutateurs de courant
  - Multiplicateur et circuit de mise en forme
  - Réglage de symétrie
  - Forme d'onde
  - Réglage
  - Découplage

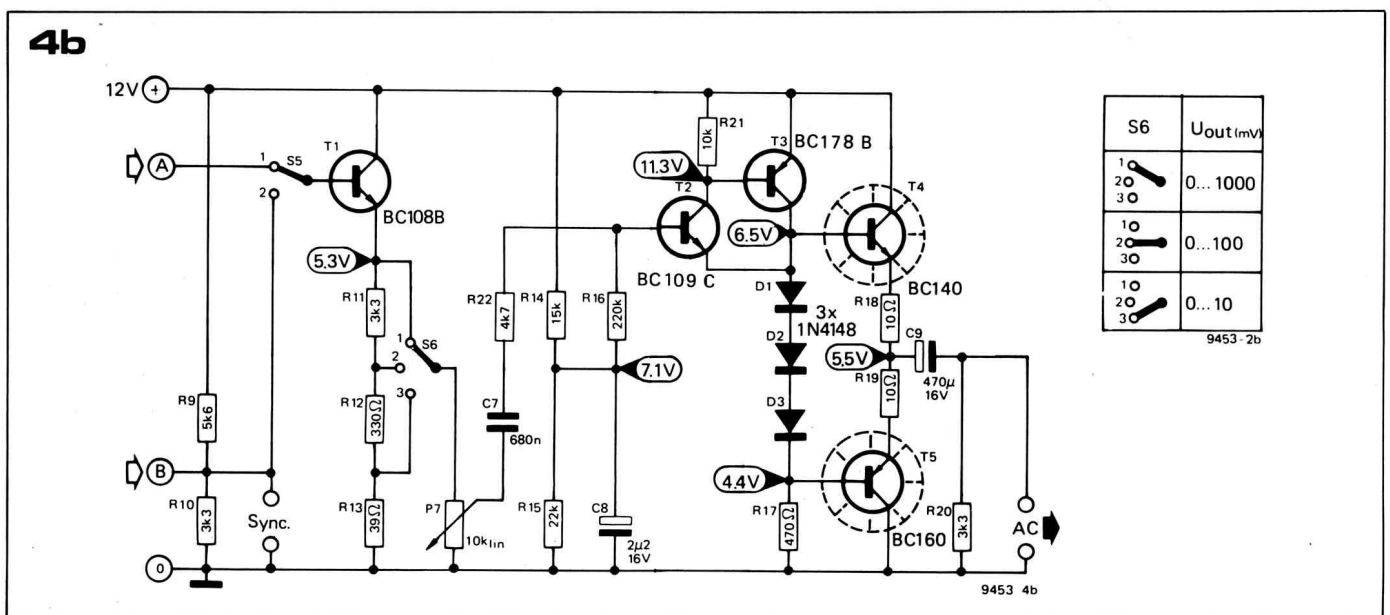
Figure 2. La principale caractéristique de ce générateur de fonctions est la linéarité de l'échelle des fréquences qui augmente considérablement la facilité de fonctionnement. Position du bouton de commande

Figure 3. Avec le XR 2206, cette configuration partielle du circuit permet d'obtenir une échelle de fréquence à graduation pratiquement linéaire.

Figure 4a. Schéma complet de la partie générateur de fonctions. Voir texte.

Figure 4b. L'étage de sortie garantit au générateur une impédance de sortie faible, et permet de régler avec précision la tension de sortie.

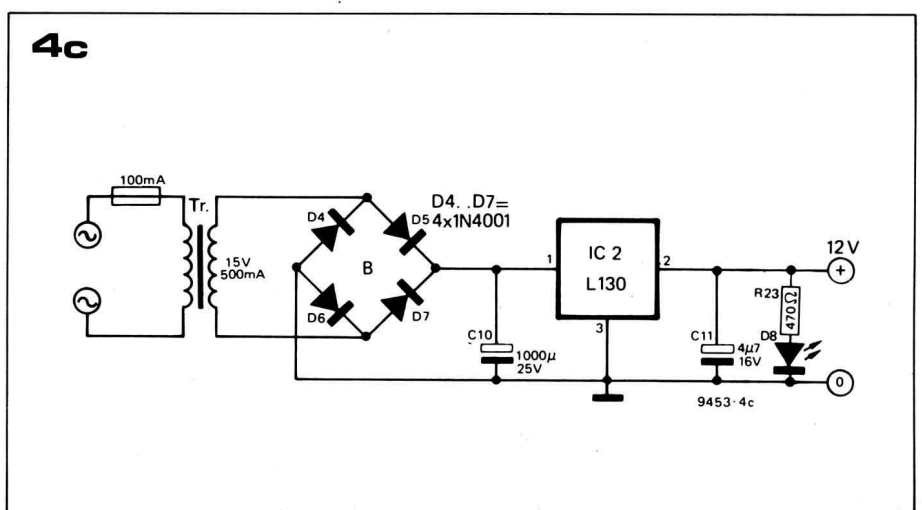
Figure 4c. L'alimentation est construite autour d'un régulateur de tension intégré.



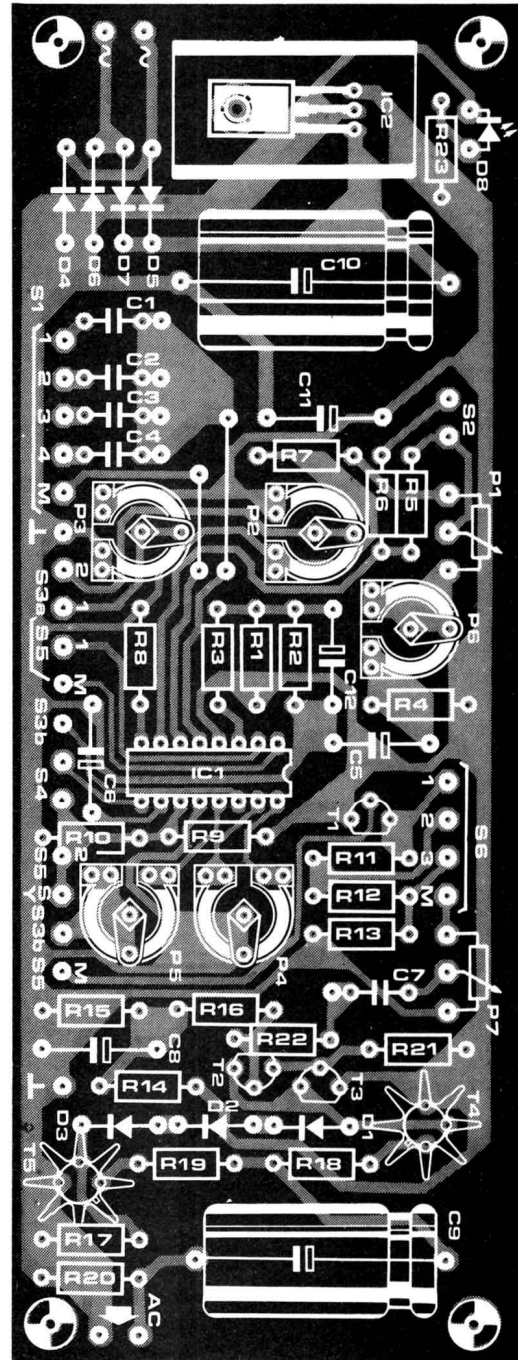
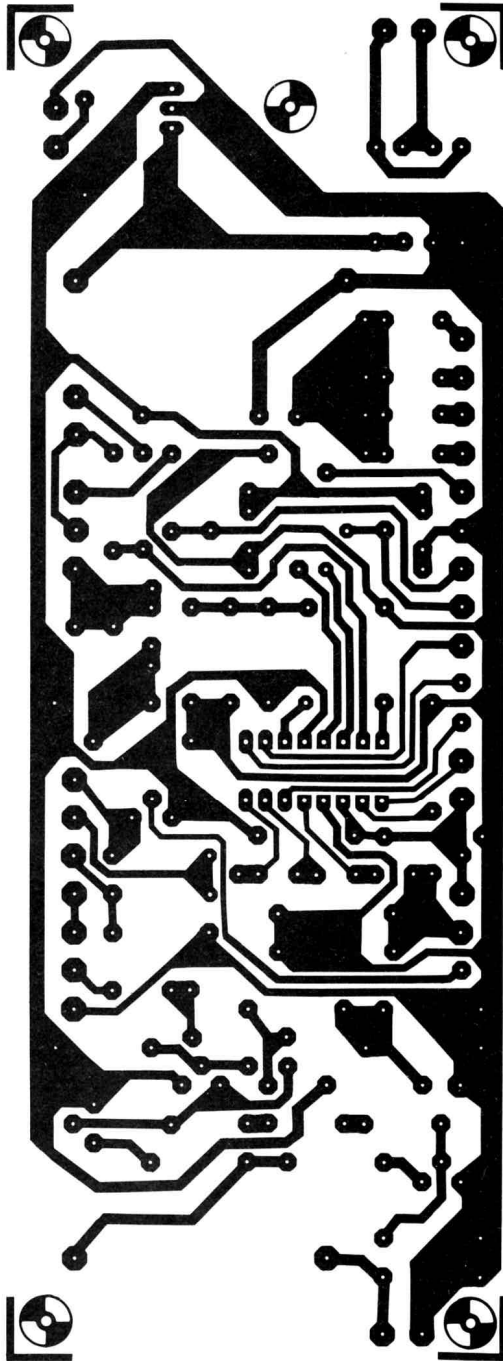
facteur de distortion des signaux au moyen de P5. La commutation entre les ondes de forme sinusoïdale et triangulaire s'effectue au moyen de S3b. Lorsque l'interrupteur S4 est fermé, il apparaît sur la sortie A un signal en dents de scie. La source de courant intégrée va alors commuter entre les broches 7 et 8 à une cadence égale à la fréquence des impulsions rectangulaires existant à la sortie B, ce qui équivaut à une modulation "automatique" par saut de fréquence. La pente du flanc arrière est déterminée par la valeur de R8, qui ne doit pas être inférieure à 1 kΩ.

#### L'étage de sortie

Un bon générateur de signaux possède nécessairement une impédance de sortie



5



## Liste des composants

## Résistances

R1,R2,R22 = 4k7  
 R3 = 56 k  
 R4 = 1k8  
 R5,R6 = 8k2  
 R7 = 56  $\Omega$   
 R8 = 2k2  
 R9 = 5k6  
 R10,R11,R20 = 3k3  
 R12 = 330  $\Omega$   
 R13 = 39  $\Omega$   
 R14 = 15 k  
 R15 = 22 k  
 R16 = 220 k  
 R17,R23 = 470  $\Omega$   
 R18,R19 = 10  $\Omega$   
 R21 = 10 k

## Potentiomètres

P1 = 500  $\Omega$  bobiné  
 P2,P3 = 10 k ajustable  
 P4 = 22 k ajustable  
 P5 = 500  $\Omega$  ajustable  
 P6 = 100  $\Omega$  ajustable  
 P7 = 10 k linéaire

## Condensateurs

C1 = 1  $\mu$ F  
 C2 = 100 nF  
 C3 = 10 nF  
 C4 = 1 nF  
 C5,C8,C12 = 2 $\mu$ 2/16 V tantale  
 C6 = 1 $\mu$ 5/6 V tantale  
 C7 = 680 nF  
 C9 = 470  $\mu$ /16 V  
 C10 = 1000  $\mu$ /25 V  
 C11 = 4 $\mu$ 7/16 V

## Semiconducteurs

IC1 = XR 2206  
 IC2 = L 130  
 T1 = BC 108 (107, 109, 546, 547, 548)B  
 T2 = BC 109 (107,108,546, 547, 548, 549)C  
 T3 = BC 178 (177,179,556, 557, 558)B  
 T4 = BC 140  
 T5 = BC 160  
 D1 ... D3 = 1N4148  
 D4 ... D7 = 1N4001  
 D8 = Diode électroluminescente

## Commutateurs

S1 = contacteur 1 circuit, 4 positions

S2 = interrupteur 1 circuit

D3a,S3b,S4,S5 = contacteur 4 circuits, 5 positions, ou 3 inverseurs (un double et deux simples)  
 S6 = contacteur 1 circuit, 3 positions

## Divers

Tr = transformateur 15 V/500 mA  
 Fusible 100 mA avec support  
 2 radiateurs type T05 (pour T4/T5)  
 4 douilles, diamètre 4 mm

faible, et une tension de sortie précise et facile à régler. L'étage de sortie représenté par la figure 4b remplit ces deux conditions.

Les signaux sinusoïdaux, triangulaires ou en dents de scie venant de la sortie A de l'étage générateur arrivent à la base de T1 par l'intermédiaire du commutateur S5. Les signaux carrés et les impulsions sont disponibles sur la sortie B du générateur, cette sortie étant constituée par la borne collecteur d'un transistor séparateur contenu dans le circuit intégré (voir la figure 1). R9 est la résistance de charge de collecteur de ce transistor, et en même temps constitue avec R10 un diviseur de tension qui limite l'amplitude des signaux carrés à environ 4,5 V. Ceci rend la sortie de synchronisation compatible avec les circuits TTL, tout en la protégeant contre les court-circuits; on peut donc l'utiliser pour piloter des circuits TTL, ou comme signal de synchronisation et de déclenchement d'un oscilloscope.

T1, qui est connecté en émetteur suiveur, isole les sorties à impédance relativement élevée du générateur ( $600 \Omega$  et  $2000 \Omega$ ).

Les rapports de division des diviseurs de tension R11...R13 sont de 1,10 et 100, ce qui divise l'amplitude de sortie en trois gammes d'une décade, commutables au moyen de S6. La tension de sortie peut varier continuellement à l'intérieur de ces gammes au moyen de P7.

L'étage de sortie proprement dit se compose des transistors T2 à T5 qui constituent ensemble un suiveur de tension à couplage continu. T2 et T3 forment un émetteur suiveur composé d'une paire Darlington complémentaire, ce qui assure à l'étage de sortie une impédance d'entrée élevée, tout en permettant d'attaquer les transistors de sortie

Figure 5. Implantation des composants et cliché de la carte de circuit imprimé du générateur de fonctions (EPS 9453).

#### Liste des composants

##### Commutateurs

S1 = contacteur 1 circuit, 4 positions

S2 = interrupteur 1 circuit

D3a, S3b, S4, S5 = contacteur 4 circuits, 5 positions, ou 3 inverseurs (un double et deux simples)

S6 = contacteur 1 circuit, 3 positions

##### Divers

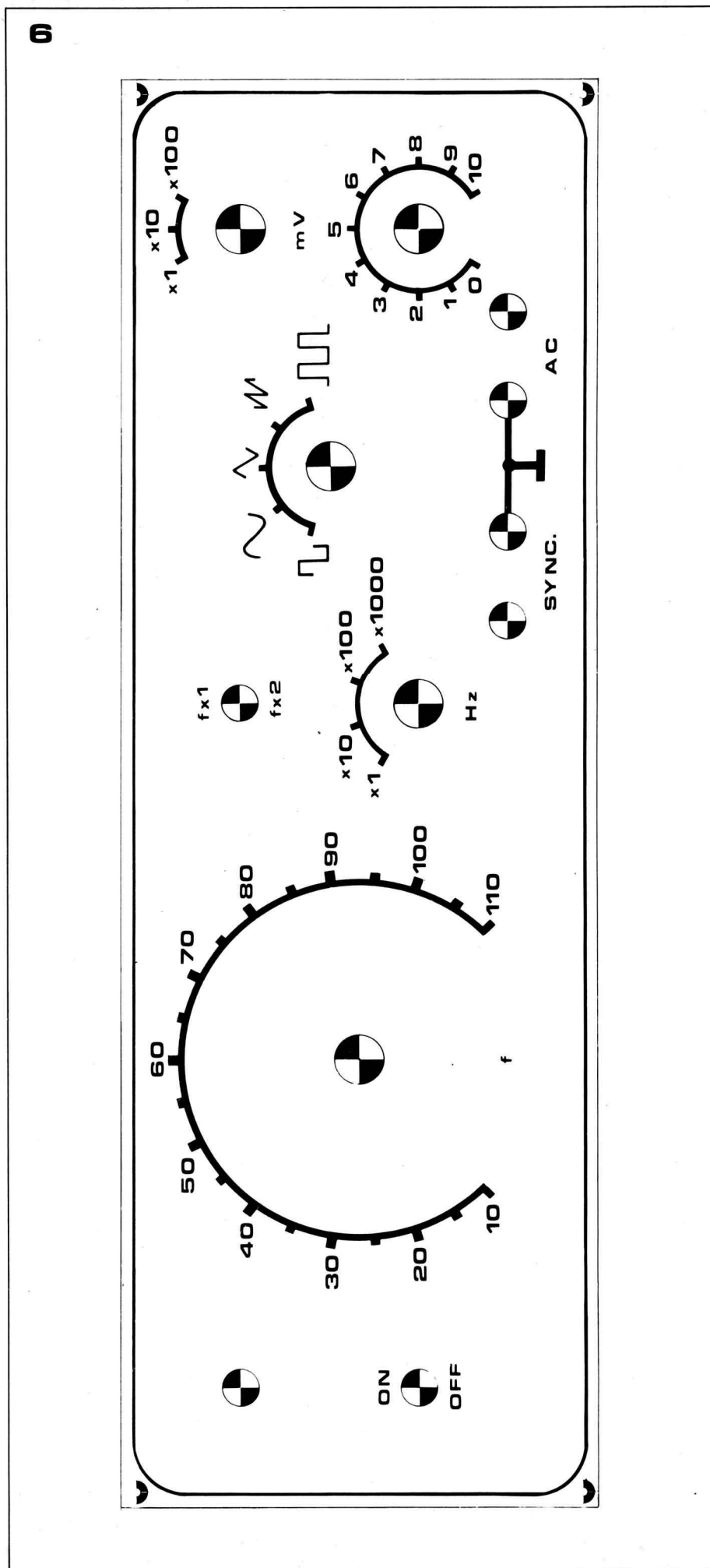
Tr = transformateur 15 V/500 mA

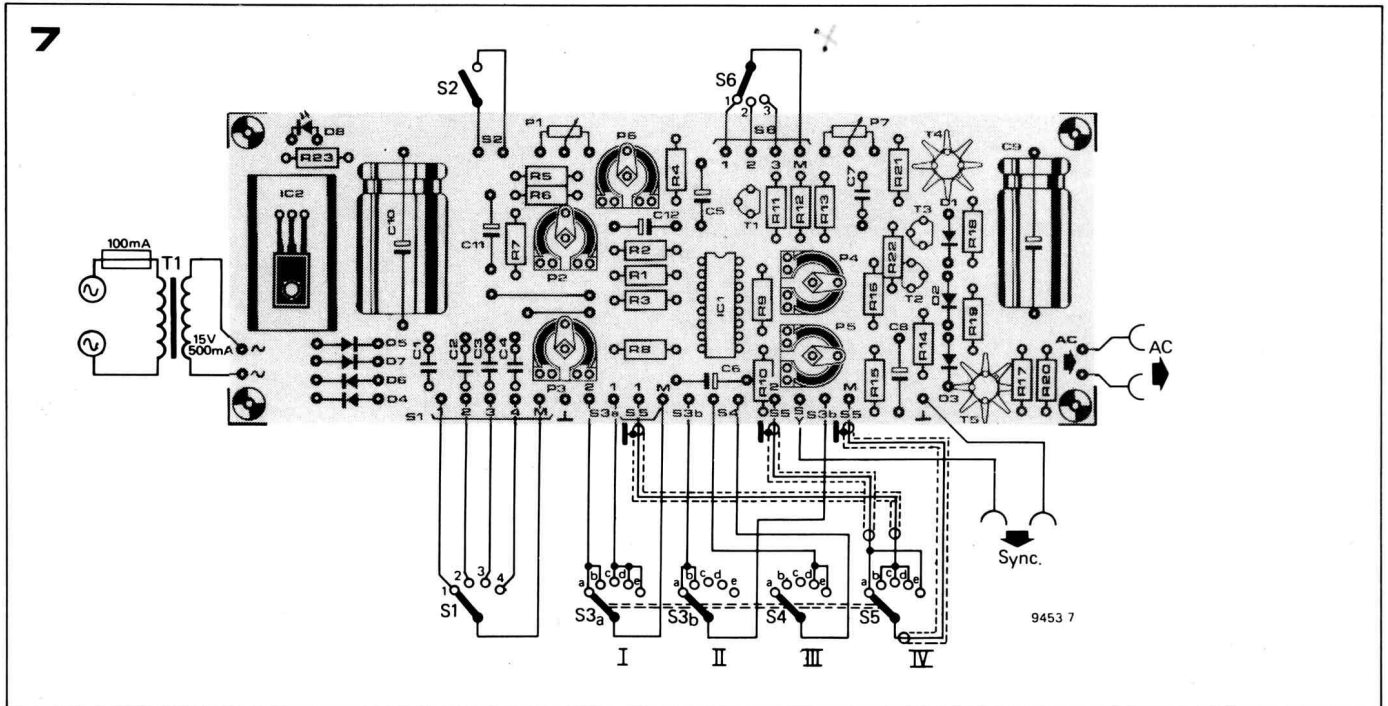
Fusible 100 mA avec support

2 radiateurs type T05 (pour T4/T5)

4 douilles, diamètre 4 mm.

Figure 6. La présentation ergonomique de la face avant facilite la mise en oeuvre du générateur de fonctions.





**8**

AC	S3a	S3b	S4	S5
	X	X		
	X	X		

X = indifférent

9453 8

T4 et T5, qui constituent aussi une paire complémentaire, à partir d'une source de basse impédance. L'impédance d'entrée élevée réduit la charge sur P7 et permet d'utiliser pour C7 un condensateur qui ne soit pas électrolytique. A travers les diodes D1 . . . D3, les transistors T4 et T5 reçoivent une tension de polarisation de base qui fait circuler dans les résistances d'émetteur un courant de repos d'environ 30 mA. Cette précaution réduit de façon sensible la distorsion de l'étage de sortie. Le signal de sortie est couplé par C9. L'impédance de sortie alternative est d'environ 5 Ω, ce qui signifie que le générateur peut être connecté directement à un haut-parleur. La sortie alternative est également protégée contre les court-circuits.

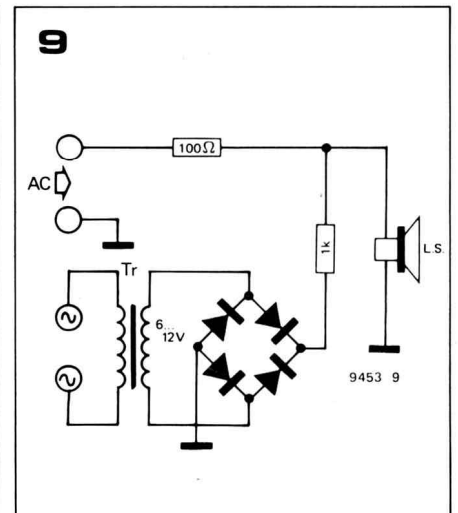
**L'alimentation**

L'alimentation (voir la figure 4c) se passe de commentaires, étant construite autour d'un régulateur à circuit intégré qui fournit une tension de 12 V stabilisée. Comme l'alimentation, le générateur et l'étage de sortie sont montés

Figure 7. Schéma de câblage des prises, commutateurs et potentiomètres sur la face avant.

Figure 8. Le contacteur à plusieurs positions utilisé pour choisir la forme d'onde peut être remplacé par trois inverseurs séparés (S3a, S3b, S4 et S5) indifférent

Figure 9. Ce circuit supplémentaire simple permet d'étalonner la fréquence avec précision.



tous ensemble sur la même carte de circuit imprimé, la seule connexion externe à établir est celle du transformateur secteur (environ 15 V/0,5 A). La diode électroluminescente D8 fournit l'indication de Marche-Arrêt.

**Le circuit imprimé et la face avant**

L'ensemble du générateur est monté sur une seule carte de circuit imprimé (voir la figure 5), ce qui en facilite considérablement la construction. La figure 6 représente une suggestion d'implantation de la face avant.

Les commandes et les prises individuelles sont disposées en groupes fonctionnels pour faciliter l'emploi. La LED D8, servant d'indicateur d'alimentation, est montée au-dessus de l'interrupteur Marche-Arrêt. A leur droite se trouve le potentiomètre P1 qui commande la fréquence du signal. L'importance de l'échelle, facile à lire, permet de régler finement la fréquence. La gamme de fréquences désirées peut être choisie à l'aide du commutateur "Hz": (x1, x10, x100, x1000); c'est-à-dire 10 . . . 110 Hz, 100 Hz . . . 1,1 kHz,

1 kHz... 11 kHz et 10 kHz... 110 kHz. Chacune de ces fréquences peut être doublée à l'aide du commutateur  $f \times 2$ , de sorte que huit gammes de fréquences sont disponibles en tout. Le commutateur de sélection des diverses formes d'onde est situé à droite des commandes de fréquence.

La tension de sortie peut varier progressivement entre 0... 10 mV, 0... 100 mV et 0... 1000 mV, la gamme convenable étant choisie au moyen du commutateur "mV" ( $\times 1$ ,  $\times 10$  et  $\times 100$ ). Le signal de sortie est disponible entre les bornes "AC", et le signal de synchronisation entre les bornes "sync".

### Câblage et construction

Le schéma de câblage fourni (voir la figure 7) facilite mieux encore la construction du générateur de fonctions. En particulier le câblage du commutateur de sélection des diverses formes d'onde peut sembler assez compliqué à première vue. Il faut utiliser un contacteur à 4 circuits, 5 positions, qui doit d'abord être câblé de façon "interne", puis soudé aux points de connexion appropriés sur le circuit imprimé (voir la figure 7). Il est recommandé d'utiliser du fil blindé pour le commutateur S5 afin d'éviter sur ces fils toute intermodulation venant des signaux carrés. Le câblage des commutateurs S1, S2 et S6 ainsi que celui des sorties alternative et de synchronisation ne présentera pas de problème particulier.

### Composants

Il est recommandé d'utiliser pour P1 un potentiomètre bobiné, car ce modèle a en général une meilleure linéarité que les potentiomètres au carbone. Bien sûr, on peut aussi employer un potentiomètre 10 tours à bouton de commande démultiplié, qui permet un réglage de fréquence extrêmement précis: cependant, la dépense supplémentaire entraînée par un tel composant est sensible. Seuls des condensateurs à faible tolérance (MKM) conviennent pour C1... C4.

Il faut aussi mentionner qu'il est bien entendu possible de remplacer par trois commutateurs séparés (voir la figure 8) le contacteur à plusieurs positions prévu pour sélectionner la forme d'onde désirée. Cette solution complique légèrement la procédure de mise en œuvre, et l'économie éventuellement réalisée dépend du type de contacteur utilisé.

### Calibration

Après avoir soudé les composants sur le circuit imprimé et câblé les commutateurs et potentiomètres externes, il faut vérifier soigneusement l'ensemble de la réalisation. On peut alors mettre l'appareil sous tension, celle-ci doit être égale à 12 V, à mieux que 10% près.

### Calibration de l'amplitude

- Placer d'abord le commutateur S6

sur la position 1 ( $\times 100$ ), et tourner le potentiomètre P7 à fond dans le sens des aiguilles d'une montre (amplitude maximum)

- Sélectionner un signal sinusoïdal de fréquence approximative 1 kHz.
- Régler P2 pour avoir l'amplitude minimum, c'est-à-dire tourner le curseur vers la masse.
- Régler P4 et P5 à mi-course.
- Brancher sur la sortie alternative du générateur un contrôleur universel disposant d'un calibre de tension alternative de  $2 V_{eff}$  et régler P2 pour avoir une tension de sortie de 1 V ou de  $2 V_{eff}$ .

L'étape précédente exige une petite explication. L'avantage résultant du choix de la tension de sortie la plus grande ( $2 V_{eff}$ ) est compensé par la détérioration de la qualité de la forme d'onde aux fréquences élevées (supérieures à 50 kHz environ). Il est donc recommandé de régler la tension de sortie à 1 V pour conserver une onde de forme suffisamment pure jusqu'à des fréquences d'environ 200 kHz.

Pour obtenir le faible facteur de distorsion (0,5% typique) annoncé dans les feuilles de caractéristiques du circuit intégré, il faut effectuer une calibration complémentaire à l'aide d'un distorsiomètre. Il faut signaler à ce sujet qu'en dépit d'une implantation du circuit imprimé soigneusement étudiée, et de l'utilisation de fils blindés vers et à partir du commutateur S5, il existera vraisemblablement de l'intermodulation (en particulier dans le circuit intégré lui-même) entre les sorties carrée et sinusoïdale.

Aux fréquences supérieures, ceci entraîne l'apparition d'impulsions brèves superposées au signal sinusoïdal. Pour des applications exigeant un facteur de distorsion minimum, la solution la plus simple de ce problème consiste à court-circuiter la sortie des signaux carrés, supprimant ainsi la source de distorsion.

- Le réglage grossier de la distorsion du signal de sortie s'effectue à l'aide de P5, tandis que P4 permet de faire le réglage fin. Si l'on ne dispose pas d'un distorsiomètre, le réglage de P4

et de P5 à mi-course doit donner des résultats satisfaisants.

- L'amplitude des signaux triangulaires et en dents de scie peut être réglée au moyen de P3. Commuter sur la forme d'onde triangulaire, et tourner P3 jusqu'à ce que le contrôleur indique environ 0,8 V.

On peut naturellement procéder au réglage à l'aide d'un oscilloscope: ondes sinusoïdales: au moyen de P2 régler l'amplitude à  $2,82 V_{c\cdot c}$  (équivalent de  $1 V_{eff}$ ) ou  $5,65 V_{c\cdot c}$  ( $2 V_{eff}$ ); ondes triangulaires: au moyen de P3 régler l'amplitude à  $2,82 V_{c\cdot c}$  ou  $5,65 V_{c\cdot c}$ .

### Calibration de fréquence

Il existe deux méthodes principales pour calibrer l'échelle des fréquences du générateur de fonctions.

La première consiste à se servir d'un compteur de fréquences connecté à la sortie de synchronisation, à placer P1 sur 100 Hz, et en agissant sur P6 à faire coïncider la fréquence lue au compteur avec la graduation de l'échelle.

La seconde méthode consiste à utiliser le circuit de la figure 9. La tension alternative d'environ 6 à 12 V fournie par le transformateur de sonnerie est redressée puis alimente un haut-parleur à travers une résistance de 1 k $\Omega$ . Ceci revient à appliquer au haut-parleur une tension continue pulsée, de fréquence 100 Hz, parfaitement audible. De plus, le haut-parleur reçoit du générateur de fonctions (sortie alternative) un signal sinusoïdal de 100 Hz, à travers une résistance de 100 ohms. Comme ces deux signaux s'additionnent, il se produit une note de battement suivant qu'ils sont en phase ou en opposition de phase. Au moyen de P6 on peut alors régler la fréquence du générateur de fonctions jusqu'au battement zéro. Ce n'est que dans très peu de cas que l'on pourra obtenir un battement zéro absolu, puisque la fréquence du secteur et celle du générateur sont soumises toutes les deux à des fluctuations périodiques. Pour cette raison, il suffit d'obtenir une fréquence de battement inférieure à 5 Hz.

