

Un appareil de laboratoire :

le GÉNÉRATEUR BF HEATHKIT IG-18

L'ETUDE et la réalisation d'amplificateurs basse fréquence, de systèmes électro-acoustiques (haut-parleurs, baffles, etc.), d'appareils électromécaniques (têtes de lecture ou de gravure, etc.) ne sauraient être menées à bien sans l'aide d'un générateur BF.

Les performances du générateur doivent être d'autant meilleures que les équipements à mettre au point ou à dépanner sont de qualité, comme par exemple les matériels Hi-Fi, si répandus maintenant.

Le générateur BF est utilisé en général pour les mesures de bande passante, de puissance, d'impédance. Il permet la mise au point des modulations d'émetteurs AM, BLU ou FM. La résonance d'un haut-parleur ou d'une enceinte acoustique ne peut pas être évaluée sans un tel appareil.

Les modèles « de laboratoire » ont une distorsion harmonique assez faible pour que l'on puisse mesurer celle d'un amplificateur Hi-Fi. En effet, il n'est pas possible de mesurer une distorsion harmonique estimée à 0,5 %, cas d'un bon amplificateur BF, avec un générateur « grand public » dont la distorsion se situe elle-même à environ 0,5 % ! (Ce qui est déjà très faible !)

La plupart des générateurs BF délivrent des signaux sinusoïdaux, dont nous venons de voir quelles mesures ils permettent, mais aussi des signaux carrés.

Ces signaux sont très intéressants quand ils sont vraiment carrés. Très riches en harmoniques ils permettent l'étude d'amplificateurs à large bande (amplificateurs d'oscilloscopes, amplificateurs vidéo, etc.) ou encore le marquage en fréquence (wobuloscope).

Le temps de montée d'un signal carré est très bref aussi l'utilise-t-on pour la mesure des temps de montée, de la suroscillation, du dépassement des amplificateurs de tous types (BF, vidéo, etc.).

La firme Heathkit propose dans une gamme importante d'appareils de mesure un générateur BF, le modèle IG18, dit « de laboratoire ». Ce vocable désigne en principe des instruments de hautes performances et nous verrons dans l'étude suivante que l'IG18 mérite bien ce titre.

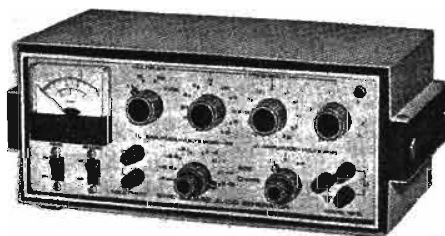


FIG. 1. — Le générateur BF Heathkit IG18.

LE GÉNÉRATEUR BF HEATHKIT IG18

Présentation

Ce générateur se présente sous la forme d'un boîtier métallique de couleur gris-crème mesurant 31 x 13 x 17 cm, les dimensions hors-tout de l'appareil étant 35 x 14 x 21 cm. La présentation est moderne et très esthétique (voir photographie). Les commandes sont facilement accessibles et les signaux disponibles sur des prises standards de 4 mm.

La fréquence est affichée par deux sélecteurs à décade, (0 à 10 et 0 à 100), un vernier fin pour le recouvrement (0 à 1) et un sélec-

les composants sont montés sur circuit imprimé. L'accessibilité est parfaite à tous les niveaux. Heathkit a certainement prévu ce câblage peu compact pour faciliter le montage de l'appareil par un amateur.

ANALYSE DU SCHEMA

Ce générateur est entièrement transistorisé (Fig. 3). Un oscillateur sinusoïdal délivre des signaux disponibles à travers un atténuateur (sortie ~). Ces signaux commandent également une bascule bistable qui fournit des signaux carrés (sortie □).

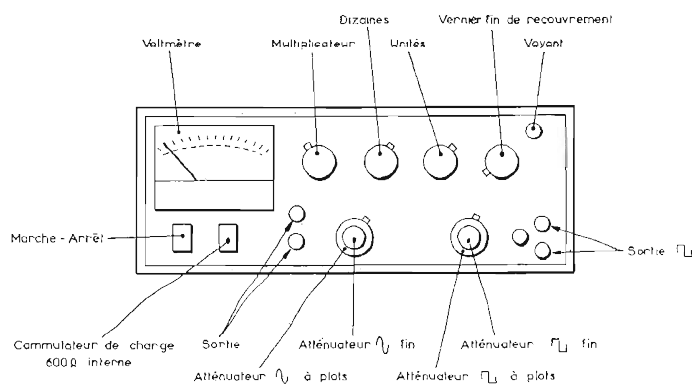


FIG. 2. — Disposition des commandes.

teur à multiplication (x 1, x 10, x 100, x 1000). La disposition exacte des boutons est donnée par la figure 2. Deux poignées souples latérales servent pour le transport de l'appareil qui pèse environ 3,3 kg.

Le câblage est rangé et aéré. Les mêmes circuits auraient aisément tenu dans un volume trois fois moindre. A part les résistances et condensateurs des filtres de l'oscillateur et les résistances des atténuateurs qui sont soudées sur les galettes des contacteurs, tous

L'OSCILLATEUR SINUSOIDAL

L'oscillateur sinusoïdal se compose d'un amplificateur différentiel (transistors Q₁ et Q₂), d'un amplificateur de tension (Q₃) et d'un amplificateur émetteur symétrique n'apportant aucun gain en tension mais abaisseur d'impédance (Q₄ et Q₅). Tous les couplages entre ces amplificateurs sont directs et la fréquence amplifiée minimum est très basse : moins de un hertz.

Supposons que le filtre en T monte entre les deux entrées A et

B de l'amplificateur différentiel soit provisoirement court-circuité.

Les signaux disponibles à la sortie D de la chaîne d'amplification sont réinjectés aux deux entrées A et B de l'amplificateur différentiel par la ligne de réaction.

Les signaux aux entrées étant les mêmes, il n'y a aucun signal à la sortie C de l'amplificateur différentiel (c'est la propriété même d'un tel montage).

Par suite il n'y a pas de signal en D : la chaîne amplificatrice est stable.

Si maintenant un filtre, ici un filtre en T, est branché entre les deux entrées A et B, les signaux amenés par la ligne de réaction sont appliqués sans altération de fréquence à l'entrée B tandis que ces mêmes signaux sont appliqués à l'entrée A à travers le filtre, où ils subissent une altération en fréquence : les courants de fréquence F égale à la fréquence de réjection du filtre sont arrêtés par le filtre. Nous retrouvons donc en B les mêmes signaux qu'en A moins les courants de fréquence F.

Un amplificateur différentiel n'amplifie que la différence qui existe entre ses entrées, il n'y aura donc à sa sortie C que des courants de fréquence F. Les courants amplifiés par Q₃, Q₄ et Q₅ se retrouvent en D puis dans la ligne de réaction : la chaîne amplificatrice n'est plus stable et oscille. La fréquence d'oscillation est rigoureusement déterminée par la fréquence du filtre, nous avons donc un oscillateur stable.

La fréquence exacte de réjection du filtre en T tel qu'il est représenté sur la figure 3 est :

$$F = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_x C_y}}$$

(où $R = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} + \frac{1}{R_z}}$)

De nombreuses combinaisons de valeurs sont possibles pour R, C_x et C_y permettant une gamme de fréquence très étendue (de 1 Hz à 100 kHz).

Le schéma exact du filtre est donné par la figure 4.

Voyons maintenant les particularités qui permettent à ce montage de donner des signaux sinusoïdaux très purs.

La résistance R₃, entre les deux entrées de l'amplificateur différentiel, tend à égaliser les signaux sur ces entrées donc, diminue le gain du montage mais en augmente considérablement la stabilité.

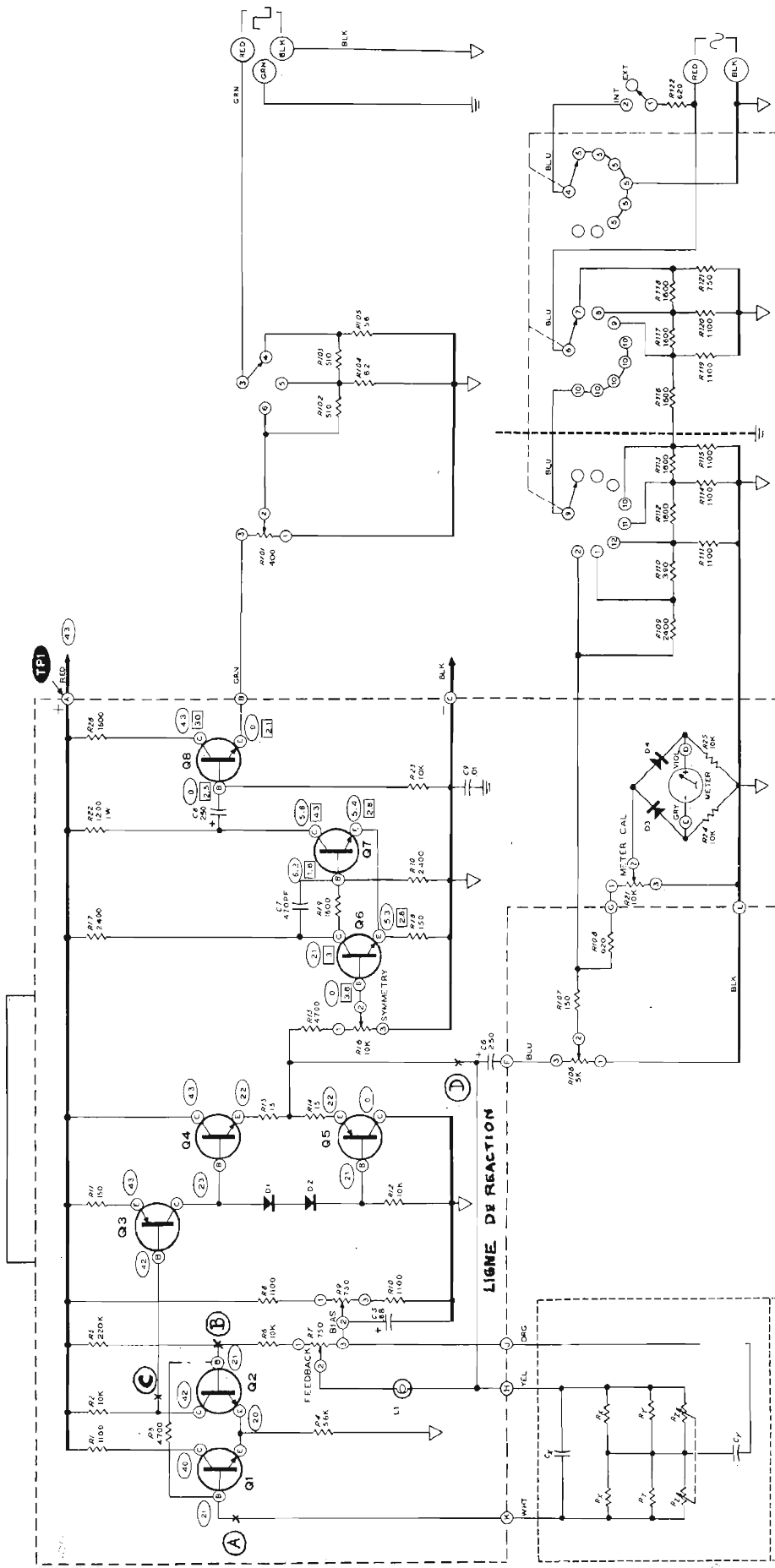


FIG. 3. - Schéma du générateur IG18.

La lampe L_1 sert de régulatrice de réaction. Si la réaction est trop forte le courant à travers la lampe augmente, le filament s'échauffe, donc la résistance du filament augmente, ce qui provoque une diminution de la réaction, diminution justement recherchée...

La résistance R_7 sert à régler la réaction en deçà de l'écrêtage et R_9 sert à polariser Q_1 et Q_2 pour la meilleure linéarité de l'amplificateur différentiel.

L'ATTENUATEUR DES SIGNAUX SINUSOÏDAUX

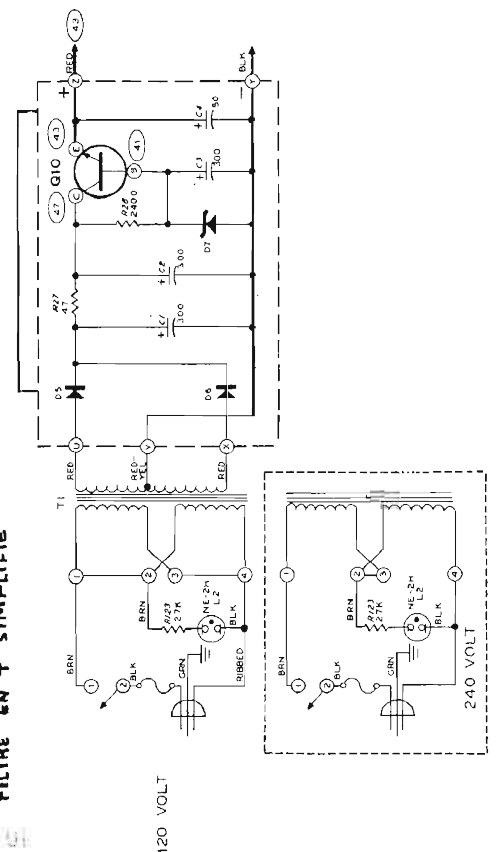
Un atténuateur progressif (potentiomètre R106) et un atténuateur à plots de séquence 1-3-10 sont intercalés entre C_6 et les bornes de sortie. Il y a 10 dB de variation entre chacune des huit positions de l'atténuateur à plots.

Les positions sont : - 50, - 40, - 30, - 20, - 10, 0, + 10, + 20 dB.

Zéro décibel correspond à une puissance de 1 mW dissipée dans une charge de 600 ohms.

Cette calibration n'est valable que pour une charge extérieure de 600 ohms.

En très haute impédance les indications de l'atténuateur restent exactes pour les six premières positions correspondant aux tensions les plus basses, si l'on prend soin de commuter une charge de 620 ohms interne au générateur (R_{22}) en parallèle sur la charge extérieure. La charge résultante se situe



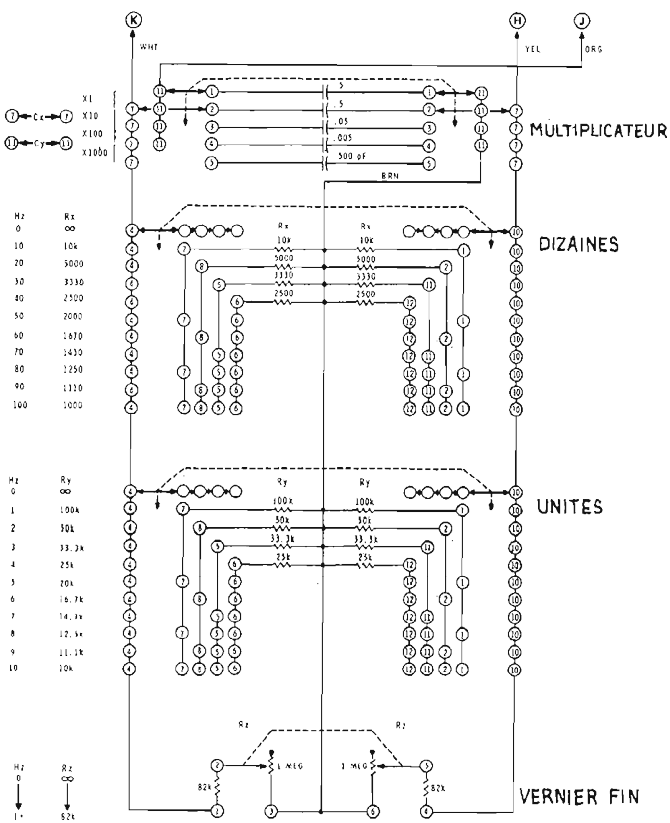


FIG. 4. — Circuit complet du filtre en T.

alors aux environs de 600 ohms ce qui ne fausse pas les indications de l'atténuateur. La sortie est flottante.

LE VOLTMETRE

La tension à l'entrée de l'atténuateur à plots, et par suite à sa sortie, puisque l'atténuateur est calibré, est lue sur un voltmètre constitué par un microampèremètre, alimenté par un circuit redresseur double alternance à deux diodes D_3 et D_4 .

Le tarage du circuit est obtenu par réglage du potentiomètre R_{21} .

Les tensions lues sur le voltmètre ne sont vraies que si l'impédance de charge du générateur est bien 600 ohms, sauf dans la position 10 V + 20 dB, car dans ce cas le voltmètre est directement relié à la sortie et la tension est exacte pour toutes les impédances.

LE GENERATEUR DE SIGNAUX CARRES

Les transistors Q_6 et Q_7 sont montés en bascule bistable : ou Q_6 est conducteur et Q_7 bloqué, ou Q_6 est bloqué et Q_7 conducteur. Le temps de basculement est très bref ce qui donne à la sortie des créneaux très francs. Cette bascule est bien connue sous le nom de trigger de Schmitt. La tension sinusoidale, issue de l'oscillateur déjà décrit, commande le basculement. R_{14} permet d'ajuster cette tension pour que le temps de conduction soit

égal au temps de blocage et donc pour que les signaux carrés soient symétriques.

Les créneaux sont ensuite amplifiés en puissance par le transistor Q_8 .

L'ATTENUATEUR DE SIGNAUX CARRES

Les mêmes remarques quant à l'impédance de la charge, restent valables autant que pour l'atténuateur de signaux sinusoidaux. Ici le circuit ne comporte que trois positions : 0,1 — 1 — 10 V crête à crête.

Ces tensions crête à crête sont exactes quand le potentiomètre R_{101} ne divise pas la tension (potentiomètre tourne à fond à gauche) et quand l'impédance de la charge est supérieure à 2 000 ohms sur la sortie flottante de ce circuit.

L'ALIMENTATION

Les différents circuits fonctionnent sous 43 V continus, obtenus à partir du secteur alternatif 50 ou 60 Hz, 110 ou 220 V.

La tension est réglée grâce au transistor Q_{10} commandé par la diode zener D_7 . Notons au passage le filtre anti-ronflement C_1 - C_2 - R_{27} dont l'efficacité se retrouvera au cours des mesures effectuées sur l'appareil.

MESURE DES CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Pour éprouver ce générateur nous avons établi le banc d'essai de la figure 5. L'appareil était alimenté sous 115 V 50 Hz stables. La température était de 20 °C. La consommation a été évaluée avec un contrôleur Métrix 462 tandis qu'un contrôleur Schneider Digitest 500 servait à mesurer la tension de sortie sinusoidale. La fréquence a été mesurée avec un fréquence-

(± 1 dB de 10 Hz à 100 kHz.)

Impédance de sortie :

600 ohms pour les gammes entre 0 et 1 V.

(600 ohms pour les gammes entre 0 et 1 V ; 800 à 1 000 ohms pour la gamme 3 V ; 0 à 1 000 ohms pour la gamme 10 V.)

Voltmètre :

Précision entre 15 Hz et 100 kHz et pour une impédance correcte : ± 5 % de la pleine échelle (± 5 % de la pleine échelle pour une impédance correcte). Dérive : la précision reste inchangée pour une variation entre - 10 % et + 20 % du secteur ou une variation entre + 18 °C et + 30 °C.

Distorsion :

Non mesurable avec un distorsionmètre à 0,3 % entre 20 et 20 000 Hz. (La figure 8 donne la distorsion annoncée par le constructeur.)

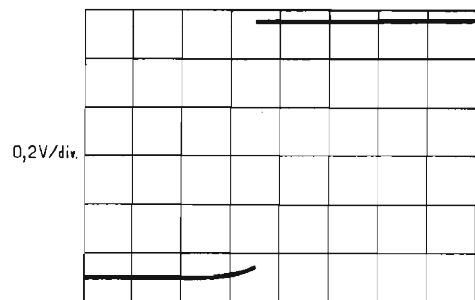


FIG. 6. — Signal carré 1 kHz - 1 Vc/c.

réussi à mesurer la distorsion harmonique car elle était trop faible. Un oscilloscope Tequipment S43 permet de visualiser les signaux carrés, d'en estimer le temps de montée (Fig. 6 et 7).

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant. Les chiffres entre parenthèses sont ceux donnés par le constructeur.

SIGNAUX SINUSOIDAUX

Gammes de fréquence :

1 Hz à 100 kHz (1 Hz à 100 kHz).

Gammes de tension :

0-3, 0-10, 0-30, 0-100, 0-300 mV, 0-1, 0-3, 0-10 V. (0-3, 0-10, 0-30, 0-100, 0-300 mV, 0-1, 0-3, 0-10 V).

Tension minimum :

Estimée à 30 µV.

Variations d'amplitude en fonction de la fréquence :

Stabilité de fréquence :

Entre la 1^{re} minute et la 5^e : - 0,6 %.

Entre la 5^e minute et la 20^e : - 0,6 %.

Entre 18 °C et 30 °C : - 4 %.

Pour une variation de - 20 % du secteur : - 2 %.

Pour une variation de + 20 % du secteur : + 0,5 %.

Variation en fonction de la position des atténuateurs : ± 0,5 %.

Précision :

Entre 20 Hz et 100 kHz : ± 4 % (± 5 %).

Note : Les caractéristiques sont exposées en trois tableaux (sinus, carré, alim) que l'on peut réunir en un seul.

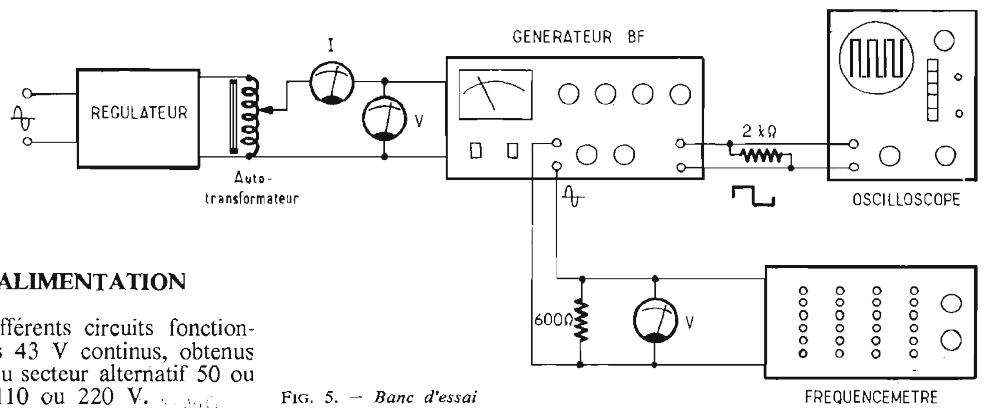


FIG. 5. — Banc d'essai

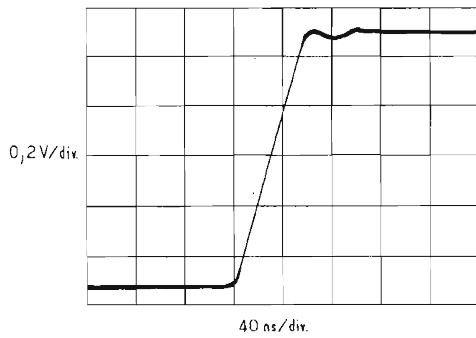


FIG. 7. — Signal carré 50 kHz - 1 Vc/c. La suroscillation provient probablement de l'oscilloscope. Le temps de montée, temps mis par le signal pour passer de 1% à 90% de son amplitude est de l'ordre de 50 ns.

SIGNAUX CARRÉS

Gammes de fréquence :
10 Hz à 100 kHz. Voir Fig. 9.
(5 Hz à 100 kHz.)

Gammes de tension C/C :
0-0,1; 0-1; 0-10 V.
Pour une impédance supérieure à 2 000 ohms (0-0,1; 0-1; 0-10 V pour une impédance supérieure à 2 000 ohms.)

Tension minimum C/C :
1 mV.

Précision en tension :
Sur une impédance de 2 000 ohms : $\pm 10\%$.

Sur une impédance > 1 mégohm : $+ 20\%$.

Dérive : la précision ne varie pas quand le secteur varie entre $- 10\%$ et $+ 20\%$ et la température entre $+ 18^\circ\text{C}$ et $+ 30^\circ\text{C}$.

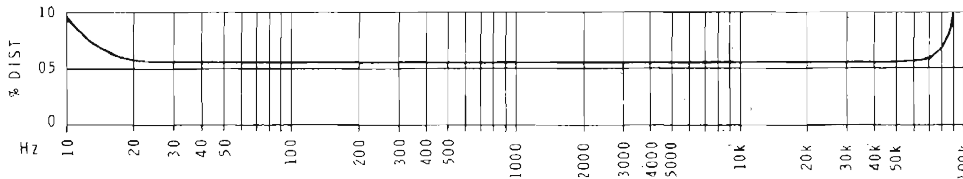


FIG. 8. -- Distorsion harmonique.

Impédance de sortie :
52 ohms pour les gammes 0,1 et 1 V C/C.

(52 ohms pour les gammes 0,1 et 1 V C/C; 0 à 220 ohms pour la gamme 10 V C/C.)

Temps de montée :
50 ns entre 10 kHz et 50 kHz. Non mesuré aux autres fréquences (< 50 ns.)

ALIMENTATION

Consommation :
100 à 130 V ou 200 à 260 V
50 Hz, 5,7 W à 115 V.

(105 à 125 V ou 210 à 250 V
50/60 Hz, 6 W.)

Mise en route : < 5 secondes.

Ronflement sur la tension continue :
Non mesurable.

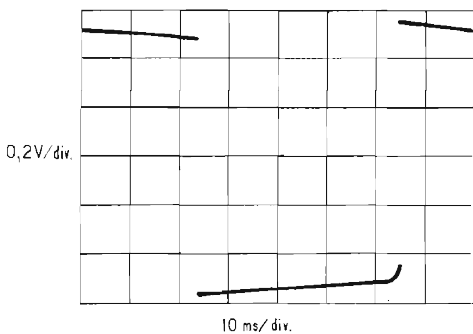


FIG. 9. — Signal carré 10 Hz - 1 Vc/c (oscilloscope passant le continu).

LES REGLAGES

Pour régler le générateur, un oscilloscope est très utile. Un voltmètre alternatif est indispensable. La précision du voltmètre incorporé dépendra entre autres de la précision du voltmètre qui aura servi aux réglages.

Voici maintenant dans l'ordre les opérations à effectuer :

- Brancher aux bornes un voltmètre alternatif fonctionnant correctement à 1 000 Hz.

même tension que sur le voltmètre externe.

- Tourner le potentiomètre de réaction à fond dans le sens des aiguilles d'une montre : un écrêtage apparaît sur l'écran de l'oscilloscope.

- Régler le potentiomètre de polarisation (marqué BIAS sur le circuit imprimé) pour obtenir un écrêtage symétrique (Fig. 10).

- Ajuster le potentiomètre de réaction pour lire 10 V sur le voltmètre incorporé.



FIG. 10

COMMENTAIRE DES

RESULTATS DES MESURES

Les performances sont excellentes et ce générateur est vraiment un instrument de laboratoire. Les valeurs mesurées correspondent aux chiffres annoncés par Heathkit et font preuve du sérieux de ce matériel.

D'un générateur de ce type on exige en général trois qualités : faible distorsion harmonique en régime sinusoïdal, stabilité de tension et de fréquence, temps de montée rapide en régime carré. Dans les trois cas les résultats sont très bons et permettent des mesures sérieuses sur d'autres appareils.

d'impédance supérieure à 50 K.ohms, de déviation totale 10 V, de classe 3 ou mieux, et un oscilloscope à haute impédance.

- Positionner les commandes comme suit :
POWER : OFF (Alimentation : arrêt)
MULTIPLIÉ : $\times 100$
DIZAINES : 10
UNITES : 0
VERNIER : 0
SINE WAVE AMPLITUDE COARSE : 10 V

- Tourner le sélecteur des dizaines et le laisser sur la position entre 10 et 100 qui correspond à la tension minimum.

- De même pour le sélecteur de multiplication.

- Réajuster la réaction pour lire 10 V sur le voltmètre interne.

- Replacer les sélecteurs pour un signal à 1 000 Hz.

- Brancher l'oscilloscope sur la sortie de signaux carrés.

- Régler le potentiomètre de symétrisation (marqué SYMMETRY sur le circuit imprimé) pour avoir un signal carré symétrique (Fig. 11).

Le générateur est réglé et prêt au service.

Une méthode de réglage sans oscilloscope est également exposée dans le manuel mais elle est moins précise et incomplète.

REALISATION PRATIQUE

Comme la plupart des appareils Heathkit le générateur IG18 est disponible soit en ordre de marche soit en pièces détachées. Une brochure de près de 80 pages et comportant de nombreux plans, schémas, photographies explique comment assembler et mettre au point l'appareil.

Un fer à souder, une pince coupante et un tournevis suffisent pour en mener à bien la construction étonnamment facile pour un appareil de laboratoire.

Le manuel de montage est très explicite aussi n'en dirons-nous pas plus à ce sujet.

- (Atténuateur \sim à plots : 10 V)
SINE WAVE AMPLITUDE FINE : à fond à gauche
(Atténuateur \sim progressif : à fond à gauche)
SQUARE WAVE AMPLITUDE COARSE : 10 V

UTILISATION

DU GÉNÉRATEUR BF

Un livre ne suffirait pas à décrire les multiples usages que l'on



FIG. 11.

- (Atténuateur \square à plots : 10 V)
SQUARE WAVE AMPLITUDE FINE : à fond à gauche
(Atténuateur \square à fond à gauche)

- S'assurer que la tension du secteur correspond bien à celle de l'alimentation (110 ou 220 V) et mettre l'appareil en marche (POWER sur ON);

- Régler le potentiomètre de réaction (marqué FEEDBACK sur le circuit imprimé) pour une déviation entre 8 et 9 sur l'échelle 0-10 du voltmètre incorporé.

- Régler le potentiomètre de tarage (marqué METER CAL sur le circuit imprimé) pour lire sur le voltmètre incorporé la

peut faire d'un tel appareil. Nous vous renvoyons aux nombreux articles du Haut-Parleur et nous nous contentons de rappeler quelques utilisations : mesures de bande passante, d'impédance, de résonance (d'une enceinte, d'un haut-parleur), de puissance, etc., dépannage à la trace, recherches de linéarité d'amplification ou de modulation, et conjointement avec d'autres appareils : mesures de distorsion, de temps de montée, etc.

Faut-il en écrire plus long pour démontrer l'utilité de cet appareil ?

F. ARNAUD