

AMPLIFICATEURS
SONORISATION
ENREGISTREMENT ET
REPRODUCTION PAR
DISQUES ET RUBANS

BASSE FRÉQUENCE
HAUTE FIDÉLITÉ

N° 103

Générateur Basse Fréquence

LEADER

L. A. G. - 55



S'il est un appareil de mesure dont le spécialiste de la basse fréquence ne peut se passer que difficilement, c'est — à n'en pas douter — du générateur B. F. (sinusoidal et rectangulaire). Un tel générateur peut — selon la technique retenue — faire appel au battement de deux oscillateurs H. F., ou mieux mettre en œuvre des circuits R. C. (pont de Wien).

Le générateur B. F. examiné ci-après (*) appartient à cette seconde catégorie d'appareils et, comme tels, est caractérisé par une grande stabilité, un taux d'harmoniques très réduit et une mise au point facile. Cela n'est d'ailleurs pas sa seule particularité car, outre les signaux sinusoidaux, il est à même de délivrer des signaux rectangulaires et une onde de forme complexe, utilisée pour la mesure de la distorsion d'intermodulation. Il s'agit donc d'un appareil assez évolué dont nous allons passer en revue les principales caractéristiques.

● Sinusoïdal

$\pm 0,5$ dB de 20 Hz à 200 kHz
 $V_s = 5 V_{eff}$; $d < 1\%$

● Rectangulaire

$\pm 0,5$ dB de 20 Hz à 20 kHz
 $V_s = 25 V c. à c.$

● Complexe

50 — 4000 Hz (rapport 4 à 1)
 $V_s = 25 V c. à c.$

Dans les générateurs R. C. qui — rappelons-le — ne sont autres que des amplificateurs dotés de deux boucles de réaction (l'une positive et l'autre négative), la grosse difficulté consiste à maintenir le montage juste à la limite de l'entrée en oscillation, la première boucle tendant à faire osciller l'ensemble et la seconde... tendant à l'empêcher d'osciller, sauf pour une fréquence déterminée par un circuit sélectif R. C. (pont de Wien).

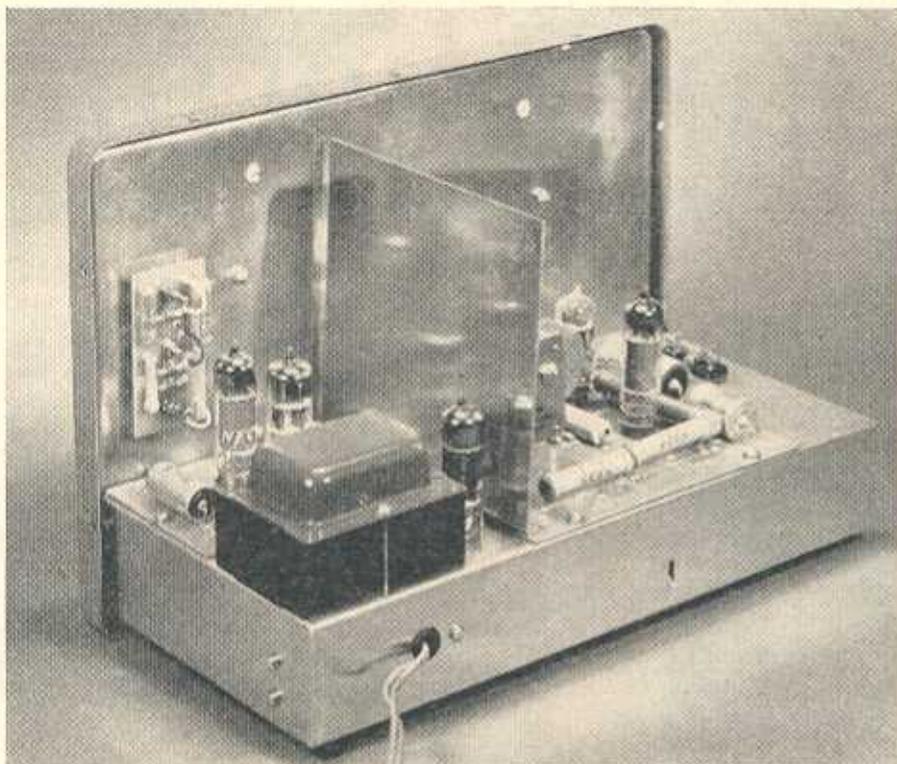
Pour arriver à ce résultat, on est obligé de s'en remettre à un système de régulation automatique permettant — une fois le montage amené au seuil critique correspondant à une sinusoïde pure — de maintenir constant le gain de l'amplificateur, et ce en dépit de la variation de fréquence du signal, de la modification des tensions d'alimentation ou du vieillissement des composants (tubes notamment).

Le montage retenu

Contrairement à l'habitude, l'élément régulateur utilisé n'est pas constitué par le filament métallique d'une ampoule veilleuse montée en série dans une des branches du pont, mais par une thermistance (fig. 1). Il s'agit là d'une solution beaucoup plus séduisante, qui offre d'ailleurs l'avantage — la thermistance n'étant pas parcourue par le courant de cathode (I_c) de V_1 — de fournir un signal de sortie pratiquement constant à toutes les fréquences.

Mais revenons au schéma de principe de la figure 1, où l'élément régulateur est constitué par une thermistance dont la résistance diminue lorsque la tension à ses bornes augmente (fig. 2) : nous constatons que tout accroissement de

(*) Il s'agit du modèle « L.A.G.-55 », distribué par les Etablissements Tranchant, 22 bis, rue de Terre-Neuve, Paris (20^e). Tél. : PYR. 46-90.



Cette photographie de trois-quarts arrière permet de distinguer l'emplacement des divers composants sur le châssis. A noter que la partie « signaux sinusoïdaux » est isolée du reste du montage par un écran.

l'amplitude du signal de sortie (U_S) se traduit par une augmentation de la tension de réaction (U_R) et de la tension de contre-réaction (U_{CR}). En conséquence, le potentiel de cathode de V1 s'élève davantage que celui de sa grille (diminution de la résistance de la thermistance) et le gain de l'amplificateur baisse. Un phénomène inverse se produit lorsque l'amplitude du signal de sortie diminue, permettant — dans ces conditions — de rattrapper la perte d'amplification correspondante, et cela quelle qu'en soit la cause. Tel est, brièvement exposé, le fonctionnement du montage; examinons maintenant l'aspect pratique de la question.

Obtention des signaux sinusoïdaux

Le « cœur » du générateur B. F. ne met en œuvre qu'un nombre de composants réduit. C'est ainsi que deux tubes — V1 et V2 — (fig. 3) suffisent à la production des signaux sinusoïdaux, dont les fréquences s'échelonnent — en quatre gammes — de 20 Hz à 200 kHz; on notera que, grâce à l'emploi d'une thermistance, la constance du signal de sortie est remarquable ($\pm 0,5$ dB entre 20 Hz et 200 kHz); cet élément régulateur n'est d'ailleurs pas étranger non plus à la faiblesse du taux de distorsion dont se trouvent affectés les signaux ($< 1\%$ à 20 kHz); c'est là une constatation qui ne peut que réjouir les techniciens.

Les circuits, très classiques, font appel — ainsi que nous l'avons précédemment indiqué — au montage à pont de Wien, dont les éléments actifs (R1-C1 et R2-C2) sont repérés sur le schéma de la figure 3.

Ces divers éléments sont rendus variables, soit par le jeu d'un contacteur (cas des résistances R1 et R2), soit par la manœuvre d'un condensateur double (C1 et C2): grâce à l'action conjuguée de ces deux commandes, l'utilisateur est



Grâce à la thermistance, les signaux sinusoïdaux relevés à diverses fréquences ont une amplitude remarquablement constante.

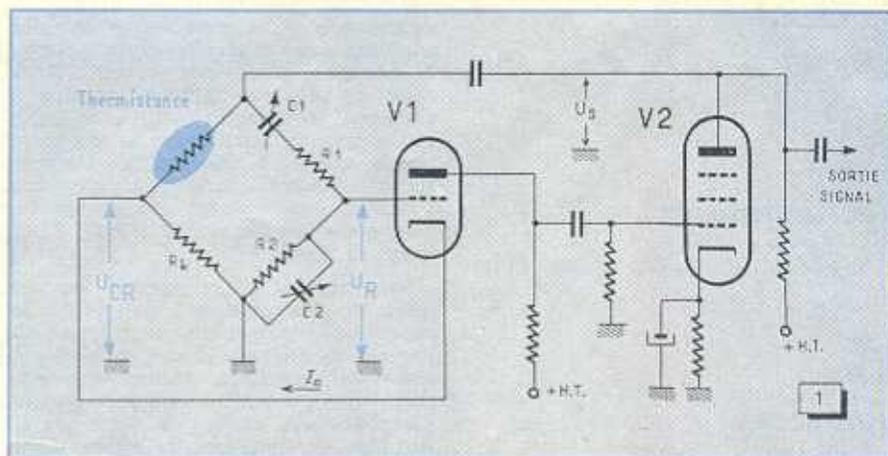
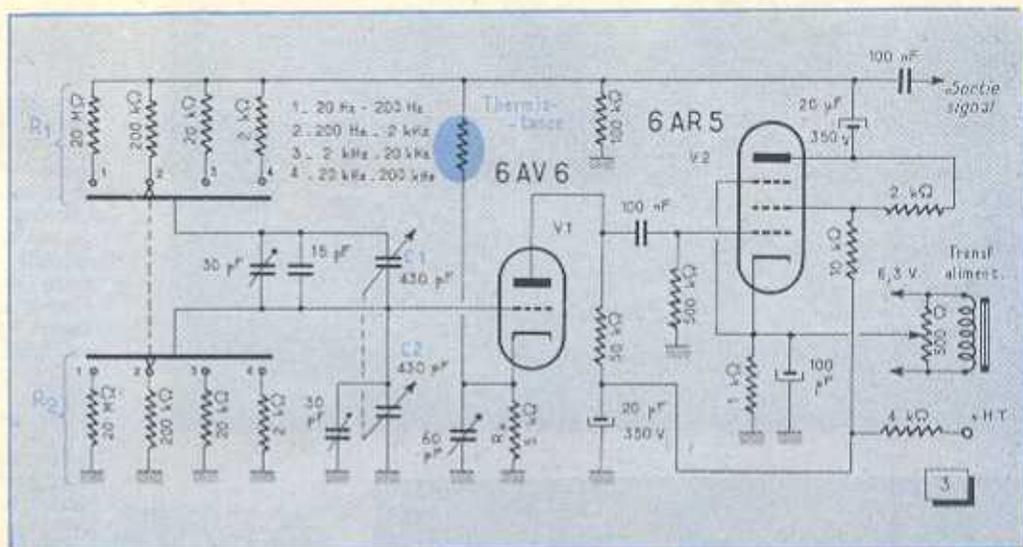


Fig. 1. — Schéma de principe d'un oscillateur R. C. à pont de Wien; U_R et U_{CR} représentent respectivement les tensions de réaction et de contre-réaction.



Fig. 3. — Le générateur de signaux sinusoïdaux ne met en œuvre que deux tubes (V1 et V2). La régulation automatique d'amplitude est obtenue grâce à une thermistance.



à même d'explorer la totalité des gammes de l'appareil et ce, d'une façon très souple. Ces gammes sont les suivantes :

- 1 : 20 Hz - 200 Hz;
- 2 : 200 Hz - 2000 Hz;
- 3 : 2000 Hz - 20 000 Hz;
- 4 : 20 000 Hz - 200 000 Hz.

On remarquera — en parallèle sur C1 et sur C2 — deux petits condensateurs ajustables destinés à parfaire l'alignement de l'appareil et à permettre la concordance entre les fréquences délivrées par ce dernier... et les indications portées sur le cadran.

fréquences les plus élevées — ce qui permet de compenser la perte d'amplification due aux inévitables capacités parasites : cette petite « astuce » a pour mérite de linéariser la courbe de réponse de l'étage jusqu'aux fréquences les plus hautes délivrées par l'appareil (200 kHz).

Le second étage est équipé d'un tube 6 AR5 (V2), modérément chargé. Ici le découplage du circuit de cathode est réalisé de manière à être efficace, même aux fréquences les plus basses (20 Hz). On notera que la cathode de ce tube est reliée, via un potentiomètre de 500 Ω , à un point milieu artificiel établi sur la

Ci-dessous et de haut en bas : signaux rectangulaires relevés respectivement à 20 Hz et 20 kHz.

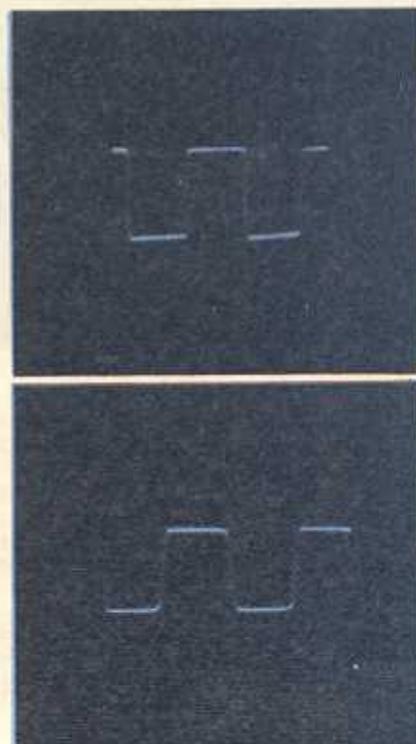
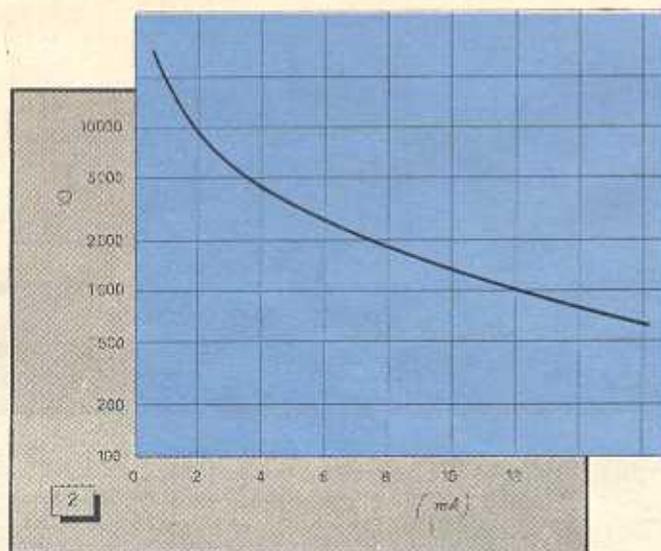


Fig. 2. — Variation de la résistance d'une thermistance en fonction du courant qui la traverse.



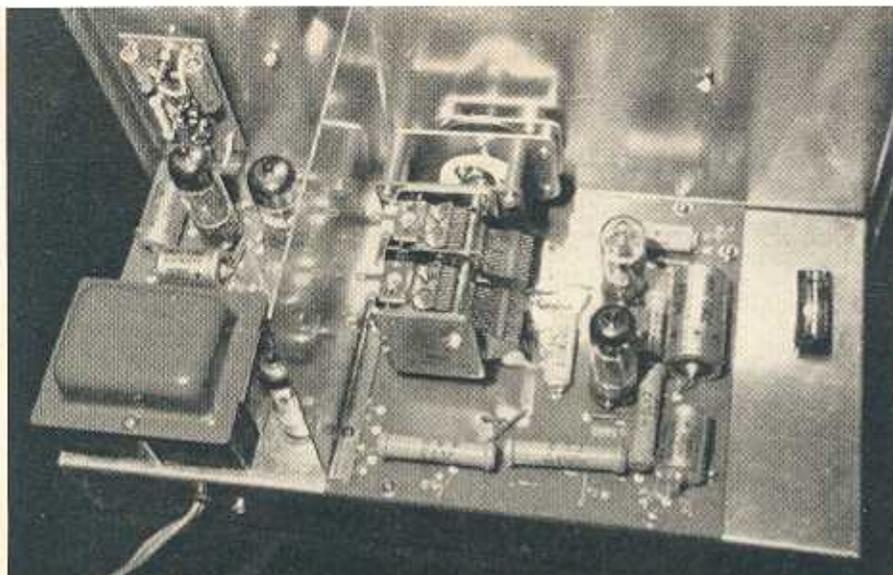
Le premier tube (V1) est monté de façon classique et n'attire aucun commentaire particulier, à l'exception toutefois du circuit de cathode, dont la résistance de 5 k Ω est découplée par un condensateur ajustable de faible valeur (3/30 pF). Rappelons que, ce faisant, on crée une contre-réaction d'intensité diminuant le gain de l'étage — sauf pour les

lignes de chauffage à 6,3 V : cette précaution permet une compensation très efficace des tensions de ronflement à 50 Hz qui, autrement, risqueraient de moduler inopinément les signaux sinusoïdaux, voisins de cette fréquence, délivrés par le générateur.

Prélevés sur la plaque de V2, les signaux — préalablement amplifiés par

les deux étages — sont réinjectés à l'entrée de V1, via un condensateur de forte valeur (20 μ F). La thermistance est branchée sur cette ligne de réaction : à titre indicatif précisons que sa résistance à 25 °C est de l'ordre de 150 k Ω et que, à 65 °C, cette dernière « tombe » aux environs de 10 k Ω (*).

(*) La thermistance modèle B 8-320-03-P/150 k de Coprin correspond à ces caractéristiques. On peut se la procurer chez Radio-Voltaire, 155, avenue Ledru-Rollin, Paris-11^e. Tel. : ROQ. 98-64.



résumé comme suit : les deux moitiés de la double triode étant alimentées en série, la tension plaque de V_{3a} est relativement faible (70 à 80 V); comme ce tube fonctionne sans polarisation, il se trouve très rapidement bloqué en présence d'une alternance négative appliquée sur sa grille et le signal disponible sur sa plaque est évidemment écrêté. Aux alternances positives, la chute de tension — aux bornes de la résistance de 500 k Ω montée en série dans la connexion de grille — due au courant grille, limite l'excursion de la tension anodique dans l'autre sens : il y a donc également écrêtage et l'action de la triode V_{3a} se trouve en quelque sorte renforcée par celle de V_{3b} , les deux tubes étant couplés entre eux par une liaison directe.

Les signaux, prélevés sur l'anode de V_{3b} , sont ensuite acheminés vers l'étage de sortie constitué par un cathodyne. On notera que c'est au niveau de l'étage écrêteur que s'opère la sélection des divers signaux (sinusoïdaux, rectangulaires ou complexes).

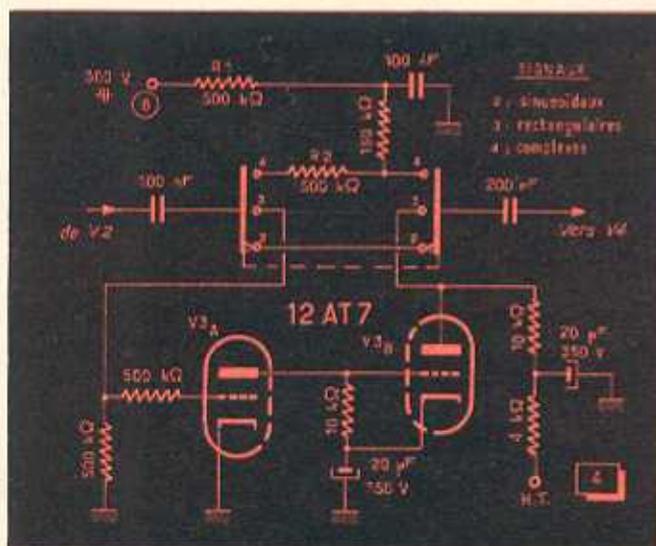


Fig. 4. — Les signaux rectangulaires sont obtenus au moyen d'un amplificateur - écrêteur équipé d'une double triode.

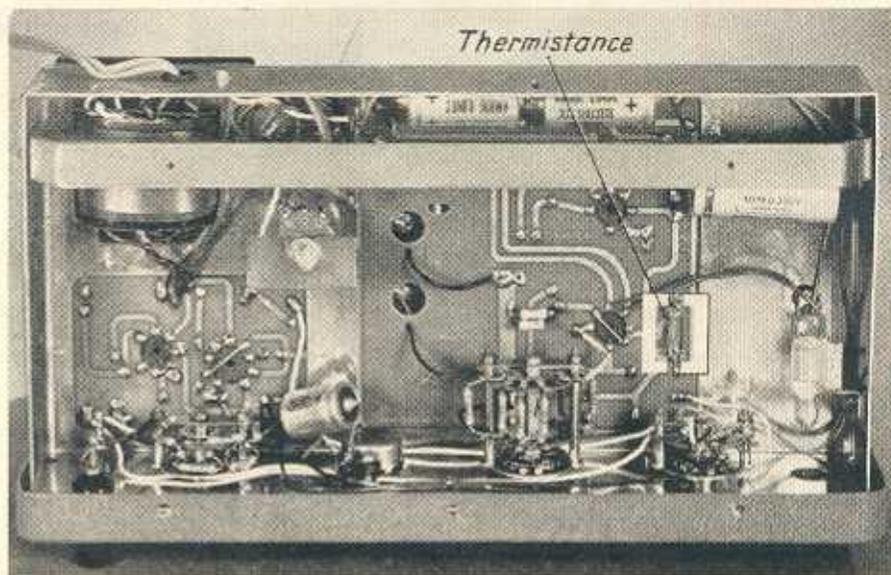
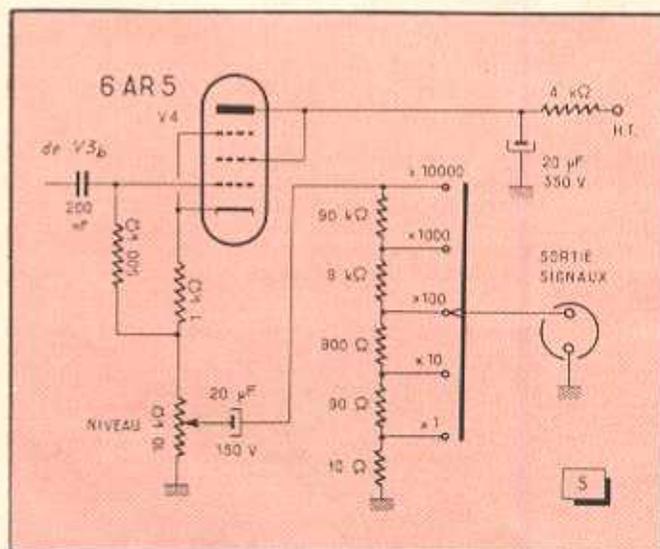
Les signaux rectangulaires

Disposant de signaux sinusoïdaux, il eût été dommage de ne pas songer à les convertir en signaux rectangulaires, d'autant que ces derniers permettent de juger de la qualité d'un montage B. F. en mettant parfaitement en évidence des phénomènes tels que la distorsion de phase, la transmodulation ou la réponse aux transitoires, toutes choses qui échappent à l'examen en régime sinusoïdal.

Pour ce faire, le constructeur a fait appel à un montage écrêteur à triodes (fig. 4). Certes, un tel circuit ne se comporte pas aussi bien qu'une bascule de Schmitt (notamment aux fréquences supérieures à 20 kHz), mais — et les oscillogrammes accompagnant l'article le prouvent — les résultats obtenus sont très probants.

Cet étage est normalement mis en service lorsque le commutateur représenté est placé en position 3. Le fonctionnement de l'ensemble peut être

Fig. 5. — L'étage de sortie est réalisé à partir d'un tube 6 AR 5 monté en cathodyne; de ce fait les signaux sont disponibles à basse impédance.



L'étage de sortie

Le raccordement direct de l'impédance d'utilisation à la source de signaux sinusoïdaux ou rectangulaires risquant d'en perturber le fonctionnement, un étage de couplage a été prévu, constitué par le tube V4 monté en cathodyne (fig. 5).

Le prélèvement des signaux s'opère — à basse impédance — dans le circuit de cathode du tube considéré. Un potentiomètre de 10 k Ω , monté en série dans le circuit de cathode du tube, est destiné au réglage « fin ». Il est relié, par l'intermédiaire d'un condensateur de 20 μ F, à un atténuateur (simplifié) décimal permettant un réglage par bonds du niveau de sortie.

Les divers signaux étant disponibles à basse impédance, on peut — dans une certaine mesure — ne pas tenir compte des capacités parasites du câble blindé de liaison : cette faculté est surtout appréciée lors de l'utilisation des signaux rectangulaires dont on peut ainsi conserver le profil en « marches d'escalier ».

Grâce aux valeurs des condensateurs de liaison (qu'il s'agisse du circuit de grille ou du circuit de cathode de V4) les signaux rectangulaires à 20 Hz sont correctement transmis. Un découplage énergique de l'anode de l'étage cathodyne n'est pas étranger à cette bonne transmission : il a d'ailleurs l'avantage de supprimer toute trace d'ondulation résiduelle, les signaux — ainsi qu'en témoignent les oscillogrammes — étant parfaitement « nets ».

Les signaux complexes

Utilisation du filtre passe-haut

Tout technicien sait que, en injectant deux signaux de fréquence différente dans un dispositif non linéaire, le signal

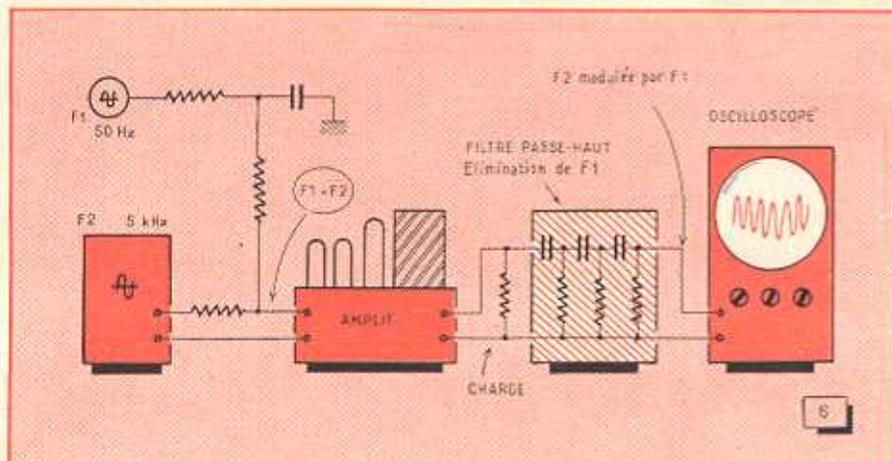


Fig. 6. — Montage à réaliser pour déterminer le taux de distorsion d'intermodulation d'un amplificateur.

dont la fréquence est la plus élevée se trouve modulé par celui dont la fréquence est la plus faible; c'est exactement ce qui se passe avec un amplificateur B. F. dont la caractéristique n'est

pas linéaire (ce qui est, hélas, fort courant !). Le problème consiste tout d'abord à produire une onde complexe, résultant de l'addition de deux fréquences F1 (50 Hz) et F2 (5000 Hz), ces signaux étant entre eux approximativement dans le

rapport (tension) de 4 à 1. On y parvient par exemple grâce à un montage tel que celui de la figure 4 (contacteur en position 4), les résistances R1 et R2 mélangeant — dans le rapport convenable — le signal à 50 Hz venant du secteur (F1) et le signal F2 (5000 Hz) issu du générateur.

L'onde complexe résultante est alors envoyée à l'amplificateur sous mesure,

pas linéaire (ce qui est, hélas, fort courant !).

Ce phénomène — très gênant — porte le nom de distorsion d'intermodulation : il peut être mis en évidence conformément au schéma de la figure 6 et grâce à l'action conjuguée du générateur pas linéaire (ce qui est, hélas! fort courant).

Fig. 8. — Figures observées sur l'écran d'un oscilloscope, selon que l'appareil examiné est exempt (A) ou non (B) de distorsion d'intermodulation.

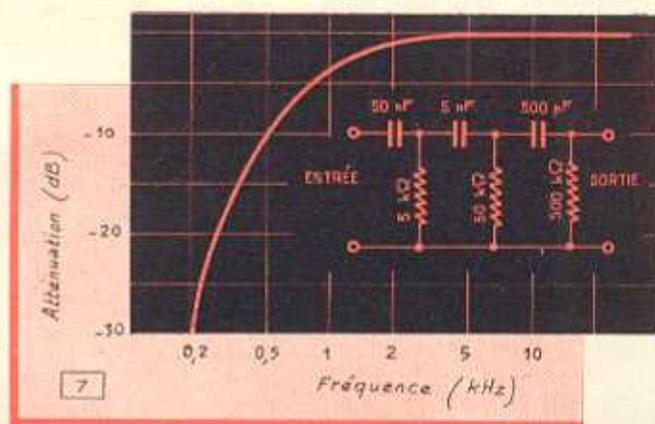
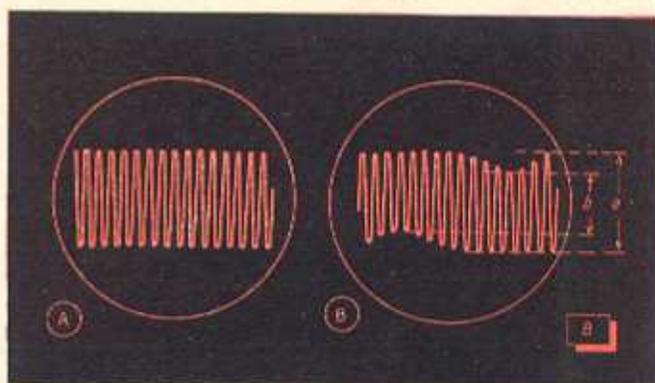


Fig. 7. — Courbe de réponse et schéma du filtre passe-haut.



prélevée à sa sortie puis appliquée à l'entrée verticale d'un oscilloscope après avoir traversé un filtre passe-haut. Ce filtre passe-haut (fig. 7) est chargé d'éliminer la fréquence F1 (50 Hz) ayant servi à moduler la fréquence F2.

Si tout est correct, c'est-à-dire si l'amplificateur n'est pas affecté par la distorsion d'intermodulation, on doit observer sur l'écran de l'oscilloscope une image conforme à celle de la figure 8_A. Si au contraire l'amplificateur n'est pas linéaire, il y a création d'une distorsion d'intermodulation et l'on peut alors observer une image du genre de celle de la figure 8_B.

Cette figure permet d'apprécier de façon simple le taux de distorsion d'intermodulation dont est affecté l'appareil, grâce à la formule ci-après :

$$\text{Taux de distorsion (\%)} = \frac{a-b}{a+b} \times 100,$$

les longueurs a et b étant mesurées directement sur l'écran de l'oscilloscope conformément au dessin.

Ch. DARTEVELLE.