

★ Ci-contre. — Vue intérieure de l'appareil terminé montrant la disposition adoptée des organes. ★

# MODULATEUR de fréquence PROFESSIONNEL

## RÉALISATION ET APPLICATIONS

★  
★ *Faisant suite à la description* ★  
★ *de l'oscillographe modèle profes-* ★  
★ *sionnel publiée dans notre der-* ★  
★ *nier numéro, F. Haas présente* ★  
★ *ci-dessous son complément indis-* ★  
★ *pensable : le modulateur de fré-* ★  
★ *quence qu'il a également réalisé* ★  
★ *pour son laboratoire.* ★  
★ *On appréciera la clarté de cet* ★  
★ *exposé où l'on retrouve toutes les* ★  
★ *qualités de l'auteur de « Labora-* ★  
★ *toire Radio » et de « Mesures* ★  
★ *Radio ». Il parle ici des ques-* ★  
★ *tions qu'il connaît bien, qui sont* ★  
★ *pour lui le pain quotidien. Notons* ★  
★ *que c'est lui-même qui a fait les* ★  
★ *oscillogrammes et même la photo* ★  
★ *ci-dessus de son appareil.* ★

### Principe du traceur automatique

Soit à relever la courbe de sélectivité d'un amplificateur M.F., de fréquence 472 kHz, pour fixer les idées.

Pour cela, on injecte à l'entrée un signal provenant d'un générateur H.F., la sortie étant reliée à un indicateur de niveau, par exemple un voltmètre à lampe (fig. 1). En relevant la tension de sortie pour un certain nombre de

fréquences situées entre 462 et 482 kHz, par exemple, on peut tracer la courbe de sélectivité de l'amplificateur.

Cette méthode du relevé *point par point* est précise, mais malheureusement très lente. Comme en procédant à l'alignement, il faut pouvoir juger de l'influence de toute modification du réglage sur la courbe, on serait conduit à faire un grand nombre de relevés, et la méthode serait pratiquement irréalisable. On a donc cherché à établir un dispositif traçant automatiquement cette courbe de réponse. L'écran d'un tube cathodique semble être l'endroit idéal pour voir se dessiner ces courbes.

En reliant la sortie de l'amplificateur aux plaques YY' d'un tube cathodique, nous obtenons une déviation verticale proportionnelle à l'amplitude de la tension de sortie. Il faut maintenant mettre en évidence cette amplitude en fonction de la fréquence. Pour cela, supposons que la plaque X soit branchée sur le curseur d'un potentiomètre, relié à une batterie de piles selon la figure 2. Si E est la tension aux bornes de la batterie, le curseur prend sur son parcours complet toutes les valeurs comprises entre  $-E/2$  et  $+E/2$ , car le point milieu de la pile est relié à la masse. Simultanément, le spot trace une ligne horizontale sur l'écran.

Si nous accouplons mécaniquement avec ce potentiomètre un petit condensateur branché sur l'oscillateur du gé-

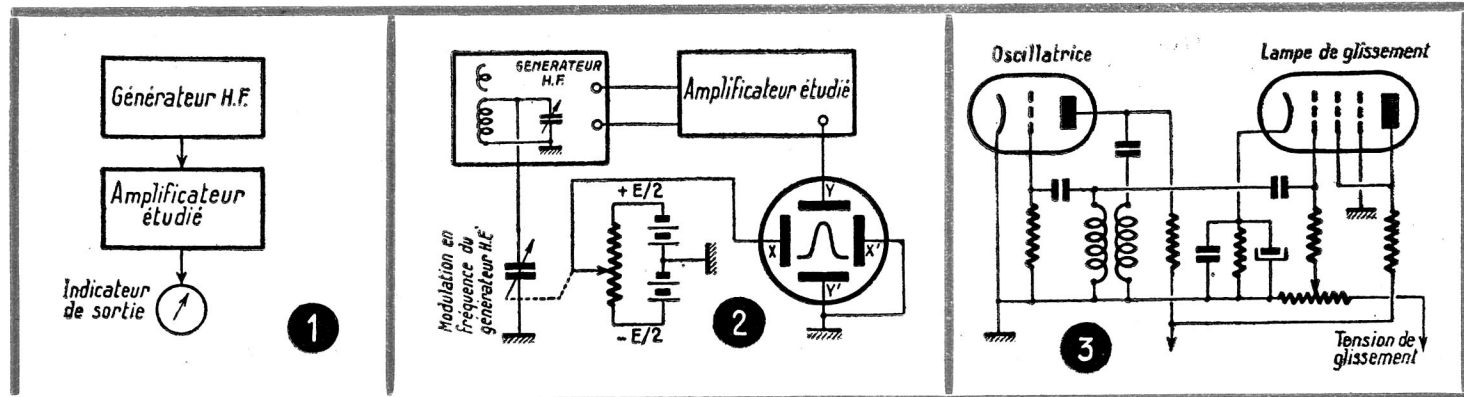
nérateur, et de valeur telle que sa rotation produise une variation de la fréquence émise comprise entre 462 et 482 kHz, et linéaire en fonction de l'angle, nous avons réalisé un traceur automatique. En effet, il sera possible de graduer l'écran horizontalement en fréquence, et verticalement en tension de sortie, et la courbe de sélectivité apparaîtra.

Ce genre de modulateur mécanique de fréquence, comportant un petit moteur, était fabriqué industriellement il y a une quinzaine d'années. Il est actuellement abandonné au profit du modulateur électronique, plus souple et répondant mieux à l'esprit de la technique d'aujourd'hui.

### La lampe de glissement

Electroniquement, on peut réaliser le glissement (ou variation de la fréquence autour d'une valeur moyenne) au moyen d'une lampe dite « de glissement », basée sur l'effet Miller. Sans entrer dans le détail de ce qui se passe (1), disons que l'espace grille-cathode de la lampe se comporte comme une capacité, variable en fonction de la pente. Branchée en dérivation sur un circuit oscillant, elle produira donc un glissement de fréquence, si l'on produit une variation de la pente.

(1) Voir, à ce sujet, *La Modulation de Fréquence*, par E. Aisberg (Editions Radio).



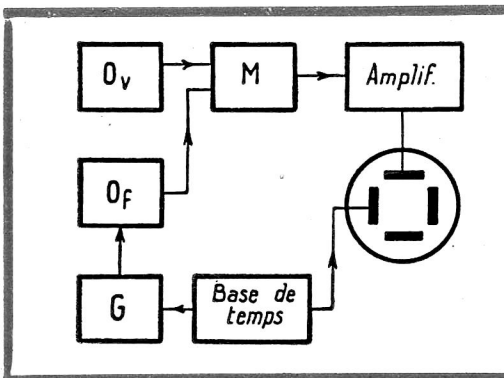


Fig. 4. — Principe du modulateur de fréquence à battements utilisé avec un oscillographe.

Cette variation sera aisément créée au moyen d'une tension périodique de glissement appliquée à la grille, ce qui cause une variation de la pente. Nous arrivons ainsi au montage de la figure 3, qui montre l'association de la lampe de glissement à l'oscillatrice normale. En effectuant le glissement par une fraction de la tension de balayage, la fréquence produite est proportionnelle au déplacement horizontal du spot, et c'est bien la courbe de sélectivité qui apparaît sur l'écran.

### Modulateur à battements

On remarquera que le circuit « accordé » de l'oscillateur ne comporte pas de condensateur. En effet, la variation de capacité produite par la lampe de glissement est faible (de l'ordre de quelques dizaines de pF), et pour obtenir un glissement appréciable, il importe que la capacité résiduelle du circuit soit faible. Pour la même raison, ne peut-on pas songer à monter un condensateur variable sur cet oscillateur en vue d'obtenir une variation de la fréquence moyenne sur une certaine plage, car le « swing » (ou déplacement de fréquence) serait essentiellement variable.

Si l'on désire couvrir une certaine bande de fréquences, il faut produire un battement entre l'oscillateur fixe  $O_f$ , modulé en fréquence, et un oscillateur variable  $O_v$ . Les deux signaux sont injectés dans un mélangeur M (fig. 4).

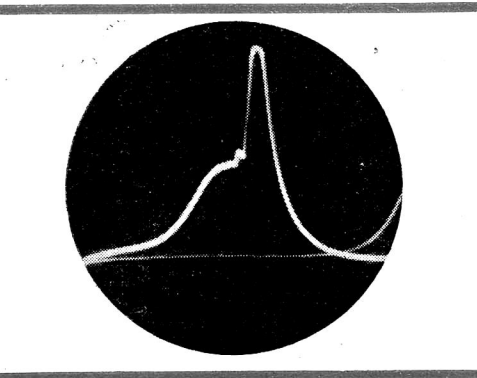


Fig. 5. — Oscillogramme à simple trace ; l'amplificateur est volontairement désaccordé.

A la sortie de M, on recueille la fréquence somme ou différence, modulée à swing constant.

Dans l'appareil décrit,  $O_f$  oscille sur 1.000 kHz, et  $O_v$  est variable entre 1.100 et 2.650 kHz. Nous utiliserons la fréquence différence, qui couvre la bande de 100 à 1.650 kHz. On remarquera que  $O_f$  tombe dans la gamme, ce que l'on évite généralement dans les dispositifs à battements. Ici, cet inconvénient n'est pas grave, et nous permet de faire fonctionner les oscillateurs sur des fréquences plus basses, ce qui signifie une précision accrue.

### Méthode de la simple et double traces

Dans le montage de la figure 4, on obtient toujours une image à simple trace, telle que l'oscillogramme de la figure 5. En effet, que la tension de balayage soit sinusoïdale ou en dents de scie, la loi de variation est la même pour le balayage et le glissement. Dès lors à une abscisse déterminée de l'écran correspondra toujours la même fréquence. Signalons, cependant, qu'en balayage sinusoïdal on peut voir apparaître une image dans le genre de celle de la figure 6, qui montre deux traces identiques, mais décalées. Si l'on modifie la phase de la tension de glissement, ces deux figures se recouvrent. Il s'agit donc bien, là encore, d'une simple trace, et c'est pour la mettre bien

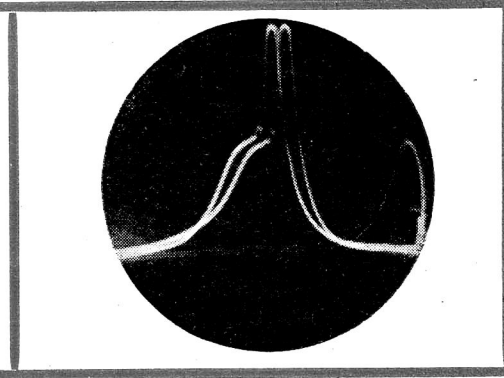


Fig. 6. — Simple trace, avec déphasage ; toujours avec amplificateur désaccordé.

en évidence que nous avons rendu la courbe dissymétrique à dessein, en désaccordant l'amplificateur.

Supposons maintenant que le glissement de fréquence soit fait à l'aide d'une tension de forme triangulaire, le balayage étant linéaire et à fréquence double. Le diagramme de la figure 7 montre ce qui se passe. Pendant la première période de la tension en dent de scie, c'est-à-dire de l'instant O à T, le spot se déplace de gauche à droite, et la fréquence instantanée du modulateur passe de 462 à 482 kHz, traçant sur l'écran la courbe N° 1. Après un retour très rapide, le spot voyage à nouveau de gauche à droite dans le temps de T à 2T ; mais, cette fois-ci, la fréquence du modulateur passe de 482 à 462 kHz, produisant la courbe N° 2.

On remarquera que cette courbe est identique à la première, à l'inversion des côtés près : c'est là une double trace, dont l'oscillogramme de la figure 8 montre un exemple. La symétrie n'est ici, d'ailleurs, pas parfaite, car le flanc de l'une des courbes accuse des dentures, signe d'accrochage, alors que l'autre n'en possède pas. L'explication de ce phénomène est simple : l'accrochage ne se produit que pour une variation de fréquence dans un sens, et pas dans l'autre, et l'amplificateur est instable, sans être franchement « accroché ».

Quels sont les avantages et inconvénients de cette méthode de la double

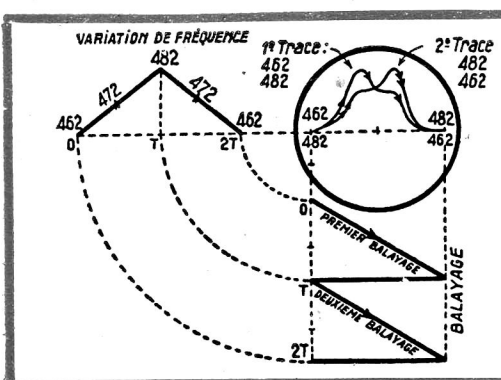


Fig. 7. — Diagramme de la formation d'une double trace.

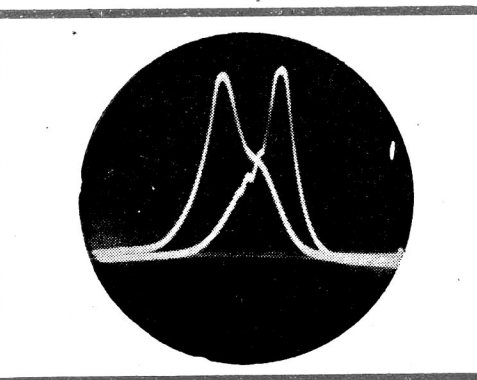


Fig. 8. — Double trace ; les deux courbes sont inversées.

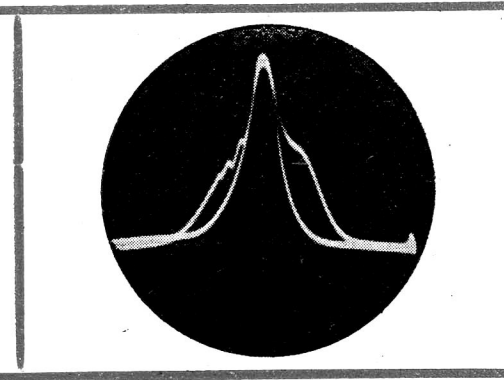


Fig. 9. — Double trace ; la fréquence est correcte.





horizontale de l'oscillographe décrit dans le N° 130 de *Toute la Radio*. La tension de balayage étant disponible sur une basse impédance, cet appareil se prête particulièrement à ce montage. En cas d'utilisation d'un autre oscillographe, il pourrait être nécessaire de lui adjoindre une lampe à charge cathodique, afin de pouvoir effectuer la liaison entre les deux appareils à basse impédance.

### Réalisation de l'appareil

Voici quel est, dans notre réalisation, l'emplacement des organes de commande sur la platine. Le condensateur variable est muni d'un grand

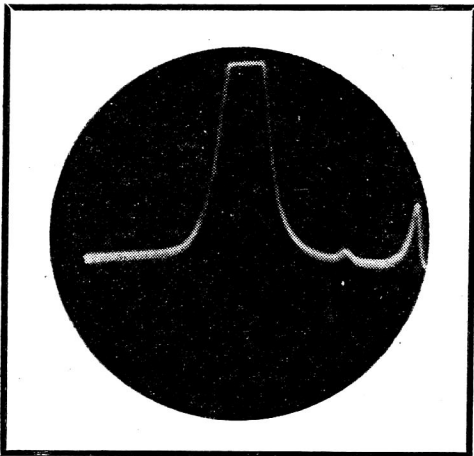


Fig. 14. — La pointe de résonance est aplatie par surcharge de l'amplificateur.

cadran démultiplicateur à étalonnage direct en fréquence de sortie. A côté, le potentiomètre de dosage du swing. En bas, de gauche à droite, il y a l'inverseur ST-DT, un condensateur ajustable en parallèle sur  $O_1$ , l'atténuateur à décade et l'atténuateur progressif (potentiomètre). Signalons, cependant, que le condensateur ajustable peut être relégué à l'intérieur, ou même supprimé. La tension de sortie est délivrée par le jack en bas, à droite. Les bornes à gauche servent à la synchronisation.

Sur la photo représentant le châssis vu par derrière, on voit la disposition des lampes. Le condensateur variable utilisé est d'un modèle ancien, de très bonne qualité.

Voici quelques renseignements au sujet des bobinages. Pour  $O_1$ , nous avons adopté un pot fermé réglable *Saphir*. Sur la carcasse à gorges que comporte ce pot, nous avons enroulé 85 spires de fil 15/100 pour l'accord, et 10 spires pour la réaction, dans une gorge voisine.  $O_2$  est constitué par 38 spires 2/10 enroulées en nid d'abeille sur un tube bakélite de 12 mm, muni d'un noyau magnétique réglable. La prise cathode se trouve à 5 spires, à partir de la masse. La bobine d'arrêt est un modèle « toutes ondes ».

### Mise au point

Le câblage étant terminé, on procède d'abord au réglage et étalonnage des oscillateurs, qui doit être fait séparément. On court-circuite d'abord  $O_1$ , et on débranche la grille de la triode mé-

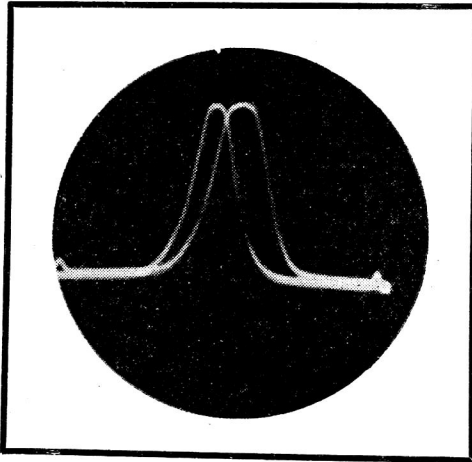


Fig. 15. — Double trace. La courbe est symétrique, mais la fréquence est incorrecte.

langeuse de gauche de  $O_1$ , pour la relier à une hétérodyne correctement étalonnée. En connectant un casque au jack de sortie, on observe le battement entre  $O_1$  et l'hétérodyne. S'il y a lieu, on procède à quelques retouches, afin de cadrer  $O_1$  entre 1.100 et 2.650 kHz, et on étalonne le cadran point par point.

Maintenant, c'est le tour de  $O_2$ , qui est réglé par le même procédé.  $O_2$  est maintenant court-circuité, et la grille de la mélangeuse droite, débranchée du bobinage, est reliée à l'hétérodyne. Par des retouches, on amène  $O_2$  sur 1.000 kHz exactement. Pour mener à bien cette opération, le potentiomètre commandant le swing doit être au zéro (fréquence non modulée).

La forme correcte de l'onde triangulaire est contrôlée à l'oscillographe, en le branchant sur la cathode de la 6C5. L'appareil est maintenant prêt à servir.

### Utilisation

Il nous reste maintenant à essayer l'appareil. A cet effet, on relie le cordon d'alimentation du modulateur à l'oscillographe, en réunissant sa synchronisation aux bornes du modulateur prévues à cet effet (à moins que l'oscillographe ne comporte une synchronisation efficace sur 50 Hz). Au moyen d'un cordon blindé terminé par un jack, on injecte un signal de 472 kHz dans l'entrée de l'amplificateur M.F., sa sortie étant reliée à l'entrée de l'amplificateur Y de l'oscillographe. On doit voir apparaître la courbe de sélectivité et étudier l'action des différentes commandes sur cette courbe.

Donnons maintenant quelques cour-

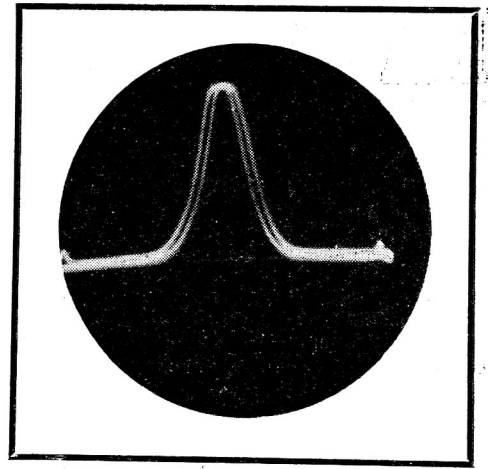


Fig. 16. — Double trace. Le réglage est correct.

bes de réglage. L'oscillogramme de la figure 13 correspond à un amplificateur bien réglé. Comme c'est une simple trace, la précision en fréquence n'est pas très grande. Le petit « top » à droite correspond à une résonance parasite.

La figure 14 semble correspondre à une musicalité excellente ; malheureusement, il n'en est rien ; il s'agit tout simplement d'une saturation de l'amplificateur, due à une amplitude exagérée. On voit, d'ailleurs, que l'amplitude de la résonance parasite est fortement augmentée.

La figure 15 montre une forme de courbe correcte, mais un léger décalage en fréquence, mis en évidence par la double trace. En alignant correctement les moyennes fréquences, on obtient la figure 16, où le dédoublement de la trace est à peine visible.

Bien que nos exemples ne portent que sur la partie M.F., on alignera de même les gammes P.O. et G.O. du récepteur, qui se trouvent dans l'intervalle des fréquences couvert. La gamme O.C. n'est pas comprise dans les possibilités de l'appareil, car ça aurait été compliquer le montage, en diminuant la précision en fréquence. De plus, en raison de la faible sélectivité des circuits O.C., la sélectivité totale sera celle des M.F.

### Mesure du swing

Sur cet appareil, la mesure du swing est très facile. Il suffit de déporter la pointe de la courbe de la figure 13 à l'extrême gauche de l'écran, et de lire la fréquence sur le cadran. On refait ensuite la même opération sur la droite. Le déplacement total est égal à la différence entre ces deux lectures. Il est ainsi possible de faire correspondre la courbe aux divisions tracées sur un écran transparent superposé à celui du tube cathodique, ce qui permet la mesure précise de la sélectivité.

F. HAAS,  
Ingénieur E.E.M.I.