

# Analyseur d'intermodulation



## HEATHKIT IM 5248

L'ANALYSEUR d'intermodulation IM 5248 d'Heathkit succède à l'IM 48 qui faisait partie d'une gamme d'appareils de laboratoire aussi accessibles qu'efficaces. Les performances des appareils à mesurer s'améliorant, il était nécessaire d'améliorer aussi la sensibilité des appareils de mesure, de repousser leurs limites, l'appareil de mesure devant être, en principe, meilleur que l'appareil à mesurer. Aujourd'hui, les amplificateurs ont vu leurs performances tellement améliorées que même avec un appareil comme l'IM 5248, nous avons parfois des problèmes. Cet IM 5248, nous en avons acheté un, en kit, l'avons monté, mis au point (de temps en temps, on fait des erreurs de câblage, vous le savez si vous câblez vos mon-

tages...) étalonné et utilisé. C'est lui que nous employons souvent pour les bancs d'essais.

La mesure d'intermodulation est une mesure que l'on pratique essentiellement sur les amplificateurs de puissance, parfois sur les magnétophones (distorsion élevée en général). Peu d'appareils permettant la mesure globale ou SMPTE sont disponibles, un concurrent d'Heathkit (et réciproquement) c'est Amcron avec son IMA, cet Amcron coûte 5 à 6 fois plus cher que l'Heathkit, il est un peu plus sensible et dispose d'un système d'atténuateurs qui permet de faire des mesures d'intermodulation en fonction du niveau sans avoir de réglage de niveau à faire sur le générateur.

### PRINCIPE DE L'ANALYSEUR D'INTERMODULATION

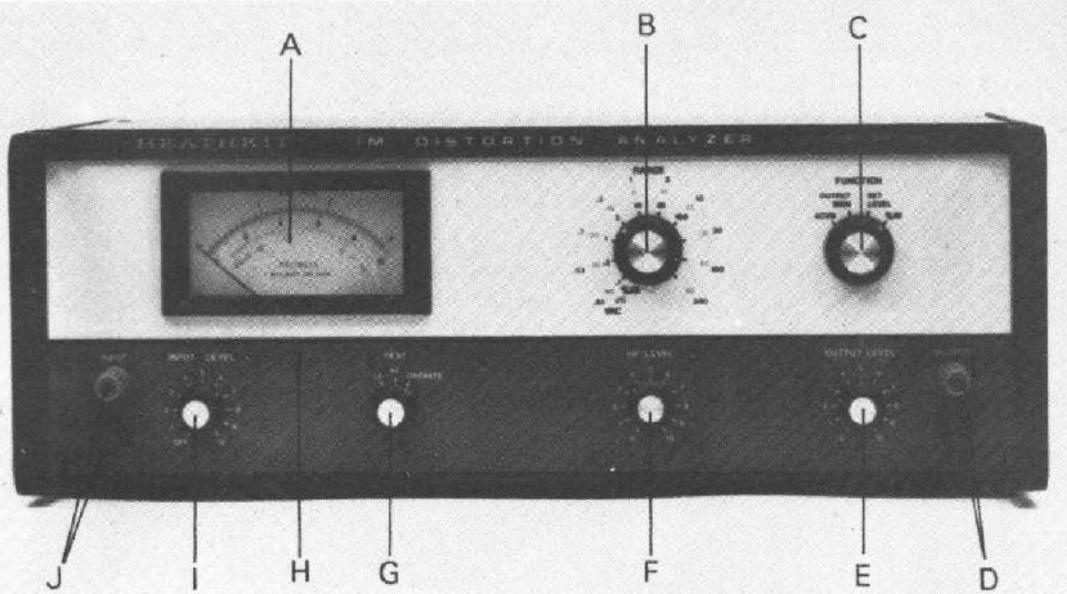
L'intermodulation est une modulation qui se produit lorsque plusieurs signaux sont en présence et injectés dans un système non linéaire en amplitude. Intermodulation = modulation entre composantes.

La figure 1 donne le principe de la modulation par un système non linéaire. Nous considérons là un système qui écrête, amplificateur à transistors par exemple. Nous avons représenté un écrêtage progressif, il peut être plus ou moins franc sur les montages pratiques.

Le signal se compose d'une tension à fréquence basse, 70 Hz par exemple et d'une

autre de fréquence plus élevée, 6000 Hz. L'amplitude du signal à fréquence haute est plus faible, ce qui correspond à une réalité physique du son.

Sur la partie linéaire de la caractéristique de transfert de l'étage amplificateur, le signal d'entrée est parfaitement reproduit. Par contre, lorsque le signal arrive vers le sommet de la sinusoïde BF, il y a une diminution du gain différentiel, et l'amplitude des sinusoïdes HF ne peut plus augmenter, il y a écrêtage des sinusoïdes. Cet écrêtage produit, comme on le voit sur la figure, une modulation des fréquences hautes au rythme de la fréquence basse. Ce cas particulier se rencontre fréquemment lorsque l'on fait les mesures à pleine puissance du taux d'intermodulation d'un amplificateur de puissance.



- A) Galvanomètre à trois échelles
- B) Sélecteur de gamme de sensibilité
- C) Sélecteur de fonction
- D) Bornes de sortie du signal composite
- E) Niveau de sortie
- F) Niveau HF, réglage du rapport 4/1
- G) Sélecteur pour réglage du rapport 4/1
- H) Zéro mécanique
- I) Niveau d'entrée
- J) Bornes d'entrée.

Une fois que l'on se place au-dessous de la distorsion par écrêtage (et de la chute de la tension d'alimentation), nous avons une distorsion qui est provoquée par une non-linéarité plus douce de l'amplificateur.

Une courbe d'intermodulation aura donc une allure très caractéristique, une faible variation de distorsion pour les puissances inférieures à la puissance où l'écrêtage commence et une brusque remontée de la distorsion, sitôt que la moindre atteinte est faite au signal.

A ce propos, nous signalons un phénomène courant qui est celui de la décharge des condensateurs d'alimentation. La tension d'alimentation baisse au moment de la demande d'énergie c'est-à-dire lorsque la puissance atteint sa crête. La décharge du condensateur produit périodiquement une baisse de tension se traduisant par un écrêtage, donc une modulation en amplitude du signal.

La mesure d'intermodulation suivant SMPTE consiste à mélanger avant l'entrée de l'appareil à tester deux signaux l'un de fréquence basse, l'autre de fréquence élevée. L'IM 5248 dispose de deux générateurs internes, l'un fonctionne à 60 Hz, l'autre à 7000 Hz. D'autres couples de fréquences peu-

vent être utilisés, la différence du résultat existe mais sera difficilement expliquée. Une analyse spectrale des composantes serait nécessaire pour approfondir ces phénomènes.

Les signaux de sortie des générateurs sont mélangés dans un rapport de 1 à 4, 4 parties de fréquence basse pour une de fréquence haute. Ce signal est envoyé dans l'appareil à tester.

A la sortie de l'appareil, le signal entre dans l'analyseur. Cet analyseur commence par éliminer la fréquence basse pour ne conserver que la fré-

quence haute. Cette fréquence haute est modulée par la fréquence basse comme nous l'avons vu sur la figure 1.

Pour mesurer le taux d'intermodulation, il restera à détecter la modulation d'amplitude. Nous aurons donc un circuit détecteur suivi d'un filtre passe-bas qui éliminera le résidu HF de la tension détectée. L'amplitude de la composante basse-fréquence donnera le taux de distorsion par intermodulation.

La mesure consiste donc à juger le taux de modulation de la fréquence haute utilisée.

### ANALYSEUR IM 5248

Nous commencerons par faire un parallèle entre les deux appareils. Le premier mesureur d'intermodulation d'Heathkit était en fait un appareil multifonction. Il était à tubes (tant pis pour les « rétros ») s'appelait en fait analyseur audio, c'est un nom plus ambitieux. Il assurait les fonctions suivantes : millivoltmètre (10 mV de sensibilité) et échelle en dB, mesureur de puissance de sortie sur charge

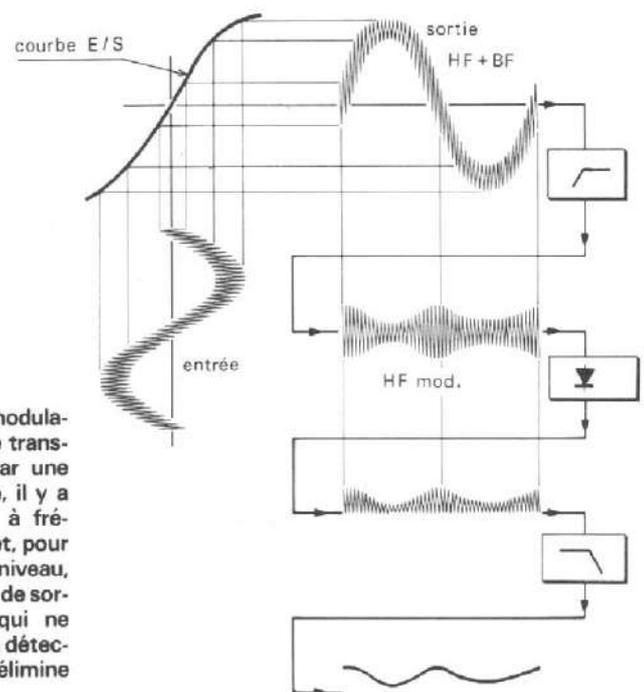


Fig. 1. - Explication graphique de l'intermodulation. La courbure de la caractéristique de transfert due à une saturation se traduit par une réduction de l'amplification différentielle, il y a distorsion harmonique pour la tension à fréquence basse par déformation du sommet, pour la fréquence haute, il y a réduction de niveau, d'où une modulation périodique. Le signal de sortie passe dans un filtre passe-haut qui ne conserve que la HF modulée, puis dans un détecteur et enfin dans un filtre passe-bas qui élimine la fréquence haute.

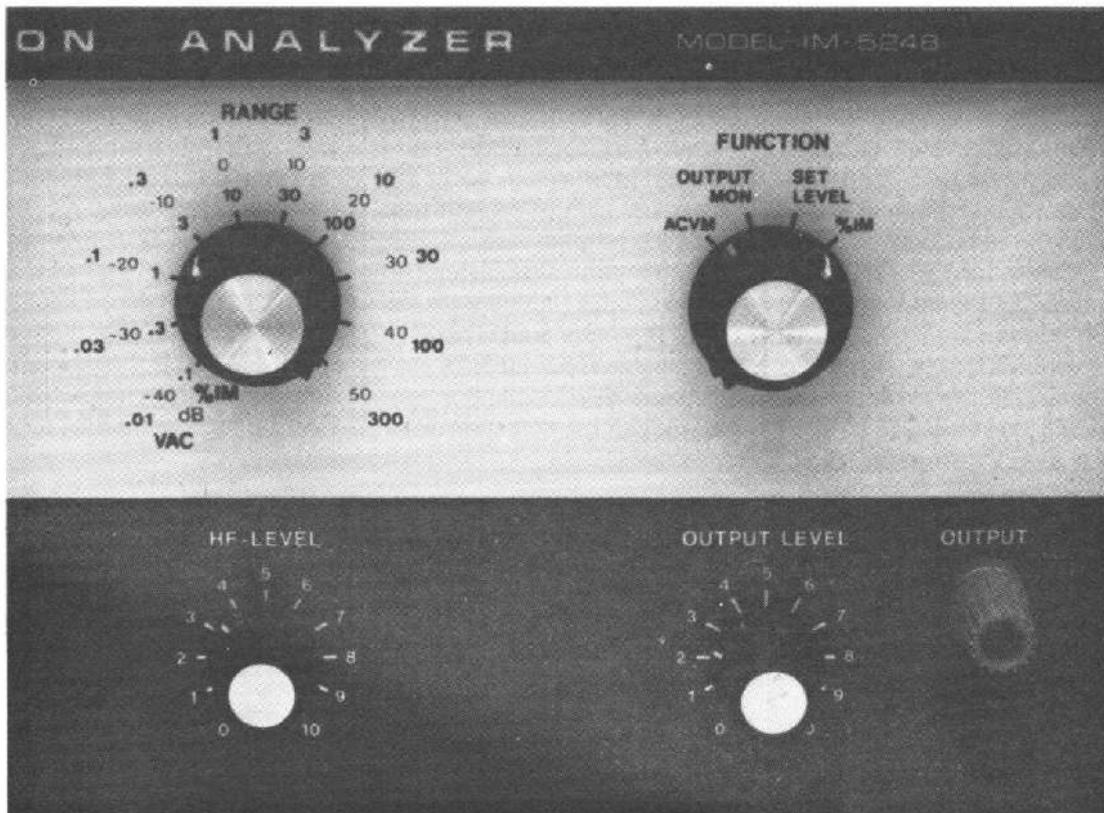


Photo A. - Une vue qui permet de se rendre immédiatement compte des possibilités offertes par l'appareil. On notera la multiplicité des échelles, dB, volts alternatifs de %IM.

retrouve sur l'IMA d'Amcron.

A l'arrière de l'appareil, des bornes permettent d'utiliser des générateurs externes, c'est une possibilité intéressante, on peut en particulier faire appel pour certaines mesures à un générateur synchronisé sur la fréquence du secteur.

## PRÉSENTATION

La présentation de ces nouveaux appareils (nous pensons également au distorsiomètre harmonique du même constructeur) est du style Rack, c'est-à-dire que l'appareil est assez large et se termine par deux poignées. Ces poignées sont en métal moulé, leur traitement de surface leur donne un aspect noir mat. La façade est blanche et bleue, nous retrouvons le bleu pour les panneaux latéraux de l'appareil. Le voyant témoin de fonctionnement est éliminé et la mise en route est signalée par l'allumage du cadran dont les inscriptions deviennent parfaitement visibles.

Nous adresserons un reproche au constructeur, reproche que nous retrouverons, inversé, pour l'étude du distorsiomètre harmonique IM 5258. En effet, sur cet appareil, nous trouvons les bornes d'entrée sur la gauche de l'appareil alors que pour le distorsiomètre harmonique elles sont sur la droite. Tout va bien si vous pouvez placer les deux appareils l'un à côté de l'autre, mais si ils doivent être l'un au-dessus l'autre, la situation est plus délicate et exige des précautions au moment du branchement (à chaque test). Ce qui peut sembler un détail mineur se rappelle à votre souvenir pour la durée de vie de l'appareil. Comme chez Heathkit il faut attendre près de dix ans pour avoir un remplaçant, nous devons abuser de notre patience.

La qualité de la présentation est indéniable, la nouvelle

interne ou externe. Puissance de la charge 25 W en permanence, 50 W intermittent. Il était aussi mesureur d'intermodulation. La charge pouvait servir pour toutes les mesures, y compris celle d'intermodulation, ce qui évitait d'utiliser des charges externes. C'était très bien pour les amplificateurs d'autrefois dont la puissance de sortie était fort modeste, mais dépassée aujourd'hui. Un commutateur permettait de choisir la valeur des résistances de charge ou de les supprimer pour travailler sur charge externe. Ce commutateur assurait aussi la sélection de la gamme pour la lecture directe de la puissance de sortie des amplificateurs.

Tournons la page sur le passé pour retrouver le 5248.

La mesure de puissance a disparu de l'appareil. Nous trouvons un sélecteur à quatre fonctions. La première c'est le voltmètre alternatif. La sensibilité est de 10 mV à 300 V

pour la pleine déviation avec la progression habituelle de racine de 10 en racine de 10, ce qui permet d'avoir d'une part une bonne utilisation des échelles et d'autre part la lecture directe en décibel. Le 0 dB est ici de 0,775 V et il correspond au dBm. Nous avons donc la lecture directe en dBm. La sensibilité est suffisante pour beaucoup d'applications traditionnelles. C'est une fonction annexe qui pourra être mise à profit pour des mesures sur des appareils stéréophoniques. Il sera bon en effet de disposer en plus d'un IM 5248 dans le laboratoire, d'un appareil dont la sensibilité soit de 1 mV à pleine déviation.

La seconde position du commutateur de fonctions permet de mesurer directement le signal de sortie afin de régler d'une part son niveau, d'autre part le rapport entre les composantes. Cette dernière fonction sera utile pour la mise au point et si on doit

utiliser un ou des générateurs externes.

Une amélioration a été apportée à l'appareil, il s'agit de l'adaptation du niveau de sortie entre l'amplificateur essayé et le circuit de mesure. Alors que sur l'IM 48 il fallait placer le sélecteur de sensibilité sur un repère donné, cette opération est accomplie automatiquement sur l'IM 5248. La seule opération d'alignement consiste à placer le potentiomètre de sensibilité de façon à ce que l'aiguille dévie au maximum.

La dernière position donne accès à la mesure de l'intermodulation, valeur donnée par rapport aux 100 % obtenus à partir du réglage de sensibilité.

La gamme a été étendue pour les faibles sensibilités. Le sélecteur donne une déviation à pleine échelle pour un taux d'intermodulation de 0,1 % au lieu de 1 % pour l'ancien modèle. Cette sensibilité de 0,1 % à pleine échelle se

siéried'appareils ne dépareillera pas les laboratoires les plus modernes. De nets progrès ont été accomplis depuis quelque temps.

## ETUDE DU SCHEMA

L'appareil se décompose suivant ces éléments :  
 — Oscillateur 7 kHz avec les transistors Q101 à Q105

- Oscillateur 60 Hz, transistors Q111 à Q115
- Amplificateur de mélange des signaux : IC 101
- Amplificateur de sortie : transistors Q106 à Q109
- Amplificateur d'entrée : IC102, Q129, Q131
- Filtre passe-haut Q132 à Q134
- Démodulateur D115 et ampli de démodulation Q135, Q136
- Filtre passe-bas, Q137 à Q139, amplificateur de sortie du filtre : Q141 à Q143

- Atténuateur d'entrée : SW5 A et B
- Amplificateur d'entrée : Q122 et Q123
- Amplificateur de mesure Q124 à Q128.

Les deux oscillateurs utilisent le montage à pont de Wien. Les circuits sélectif utilisent les condensateurs C102 et C101 pour l'oscillateur à 7 kHz et les condensateurs C115 et C116 pour l'oscillateur à basse fréquence. La stabilisation de l'oscillateur est assurée par une détection de la

tension de sortie par D101 ou D102, la tension détectée étant envoyée sur la porte d'un transistor à effet de champ dont on utilise la résistance interne pour faire varier le coefficient d'amplification de l'amplificateur. Lorsque la tension de sortie de l'oscillateur est nulle, le transistor à effet de champ est conducteur, il assure le découplage de la résistance d'émetteur de Q101 ou Q111. L'augmentation du gain produit l'oscillation. Le réglage du niveau est

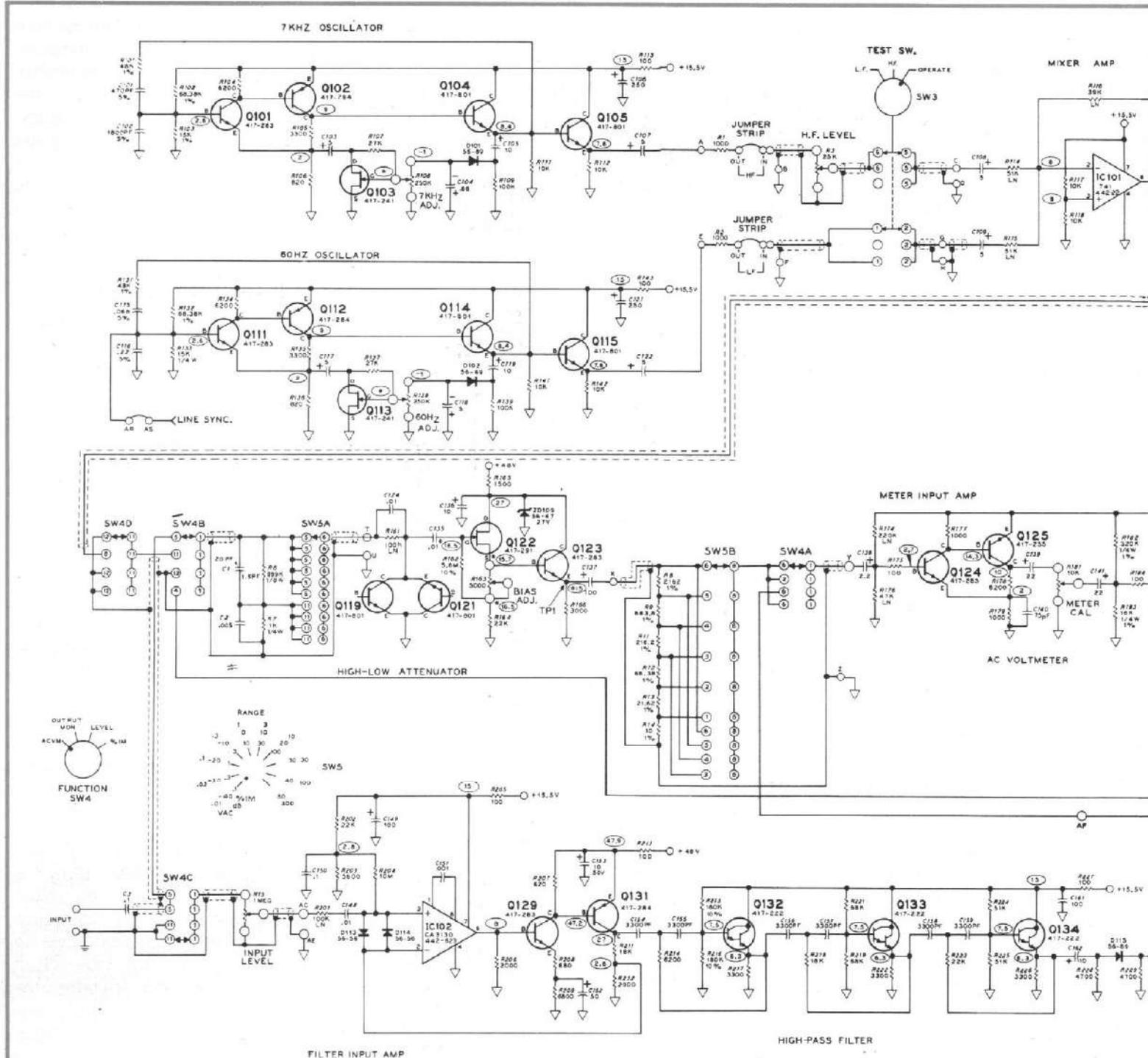


Fig. 2. - Schéma de principe complet de l'analyseur d'intermodulation Heathkit 52/8.

assuré par des potentiomètres qui ajustent la tension de commande des transistors à effet de champ.

Les sorties des deux oscillateurs vont sur des bornes qui autorisent l'utilisation de générateurs externes pour effectuer d'autres mesures. Le commutateur SW3 sert à éliminer les tensions indésirables lorsque l'on règle le niveau de chaque composant pour obtenir le rapport de tension 4/1 couramment employé.

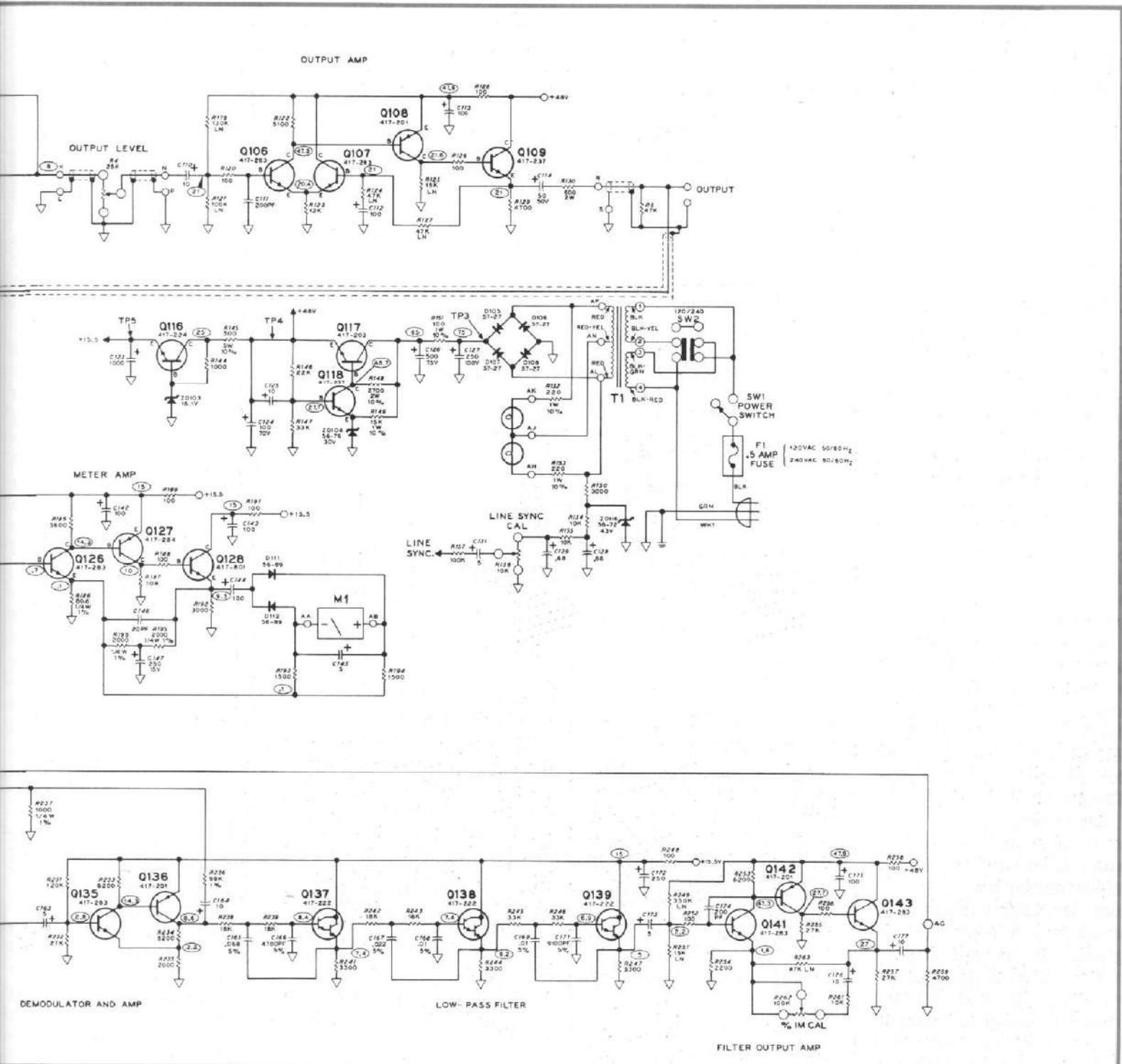
L'amplificateur de mélange

fait appel ; à un circuit intégré IC101 qui ne doit pas en principe apporter d'intermodulation, il en est de même pour l'amplificateur de sortie. La mesure de l'intermodulation propre de l'ensemble des circuits peut d'ailleurs se faire en reliant la sortie du générateur interne à l'entrée de l'appareil. Cette mesure permet de déterminer la limite de mesure de l'appareil. Sur l'échantillon dont nous disposons, nous avons une distorsion d'intermodulation, rési-

duelle de 0,02 %, c'est une valeur un peu supérieure à celle qui est donnée par le constructeur, 0,01 %. L'origine de cette distorsion d'intermodulation est difficile à décèler, sans doute faudrait-il faire appel à son concurrent pour déterminer la cause.

IC101 fonctionne en mélangeur, ce circuit précède le potentiomètre de niveau de sortie R4. C'est ce potentiomètre qui permet de doser la tension qui sera injectée à l'entrée des appareils à tester.

Les quatre transistors Q106 à Q109 sont montés en amplificateur à couplage direct, R127 assure la contre-réaction en continu et en alternatif, le dernier taux étant assuré par R124 et C112. On notera l'utilisation d'une tension élevée pour l'alimentation du dernier étage, ce qui permet à l'amplificateur de ne travailler qu'avec une excursion de tension relativement réduite. Par contre, la tension de fonctionnement d'IC101 est limitée à 15,5 V, elle aurait pu être choi-



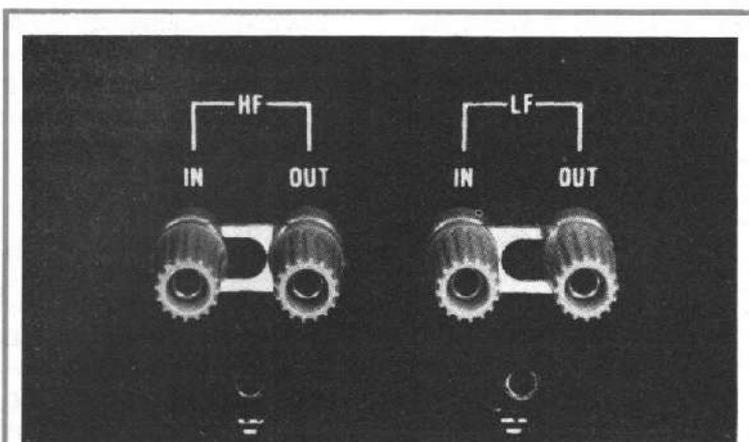


Photo B. - Les prises d'entrée des tensions à mélanger et les sorties des générateurs audio. Les cavaliers permettent une mise à la masse des oscillateurs pour éviter leur interférence avec les générateurs externes.

sie plus élevée, cette alimentation n'étant pas à point milieu.

Une mesure de distorsion des générateurs montre qu'en sortie de IC101, nous trouvons la distorsion résiduelle, cette distorsion résiduelle semble donc bien venir du circuit intégré : elle peut également provenir tout simplement du circuit d'entrée.

L'entrée du signal audio se fait sur le potentiomètre de 1 Mégohm placé à la sortie du commutateur de fonctions SW4. Ce commutateur permet d'envoyer directement la tension d'entrée sur l'amplificateur de mesure dans le cas où on sélectionne la fonction millivoltmètre alternatif. Ce commutateur relie également directement la sortie à l'entrée pour le contrôle des composantes HF et BF.

L'amplification est confiée à un circuit intégré IC102 couplé en continu à deux transistors Q129 et Q131. Deux diodes, D113 et D114, montées tête bêche limitent l'amplitude de la tension différentielle d'entrée du circuit intégré.

Les transistors Q132 à 134 constituent un filtre passe-haut, la structure de chaque cellule est du type à source contrôlée. Ce filtre est un Butterworth à 6 pôles, la fréquence de coupure est de 2000 Hz. C'est ce filtre qui élimine la composante à basse fréquence du signal. La pente de ce filtre est de 36 dB/octave. La HF est

ensuite détectée par D115, le signal détecté est filtré au travers d'un second filtre qui cette fois est du type passe-bas. La fréquence de coupure de ce filtre est de 500 Hz, on retrouve une structure identique à celle du premier filtre. Un amplificateur à gain variable permet d'étalonner le cir-

cuit de mesure de l'intermodulation.

A l'entrée de l'amplificateur du voltmètre, nous trouvons deux transistors qui sont utilisés en diode pour la protection du transistor d'entrée à effet de champ. Les tolérances des caractéristiques du FET sont compensées par un réglage de la polarisation.

L'atténuateur est divisé en deux sections, la première est un atténuateur de 60 dB, atténuateur de type compensé. La seconde section réalise la progression en racine de 10.

Nous retrouvons pour l'amplificateur de mesure des étages à couplage direct et alternatif, le redressement est à double alternance, le galvanomètre est installé dans la boucle de contre-réaction ce qui permet d'éliminer les tensions de seuil des diodes.

L'alimentation est stabilisée, une première stabilisation délivre une tension de 48 volts pour les circuits principaux, la

seconde une tension de 15,5 V pour les oscillateurs et les circuits intégrés.

La tension secteur peut être présélectionnée, l'utilisateur a le choix entre 100 à 135 V et 200 à 270 V.

## RÉALISATION

La qualité du câblage sera laissée à la discrétion du constructeur. Si vous savez faire des soudures propres, pas de problème, vous vous retrouverez avec un appareil de mesure digne de ce nom. Dans le cas contraire, lisez très attentivement les instructions de soudure, et le résultat sera le même. La construction ne pose pas de problème particulier ; le kit est préparé avec une précision remarquable, pas un détail n'est laissé à l'initiative du constructeur. Nous y som-

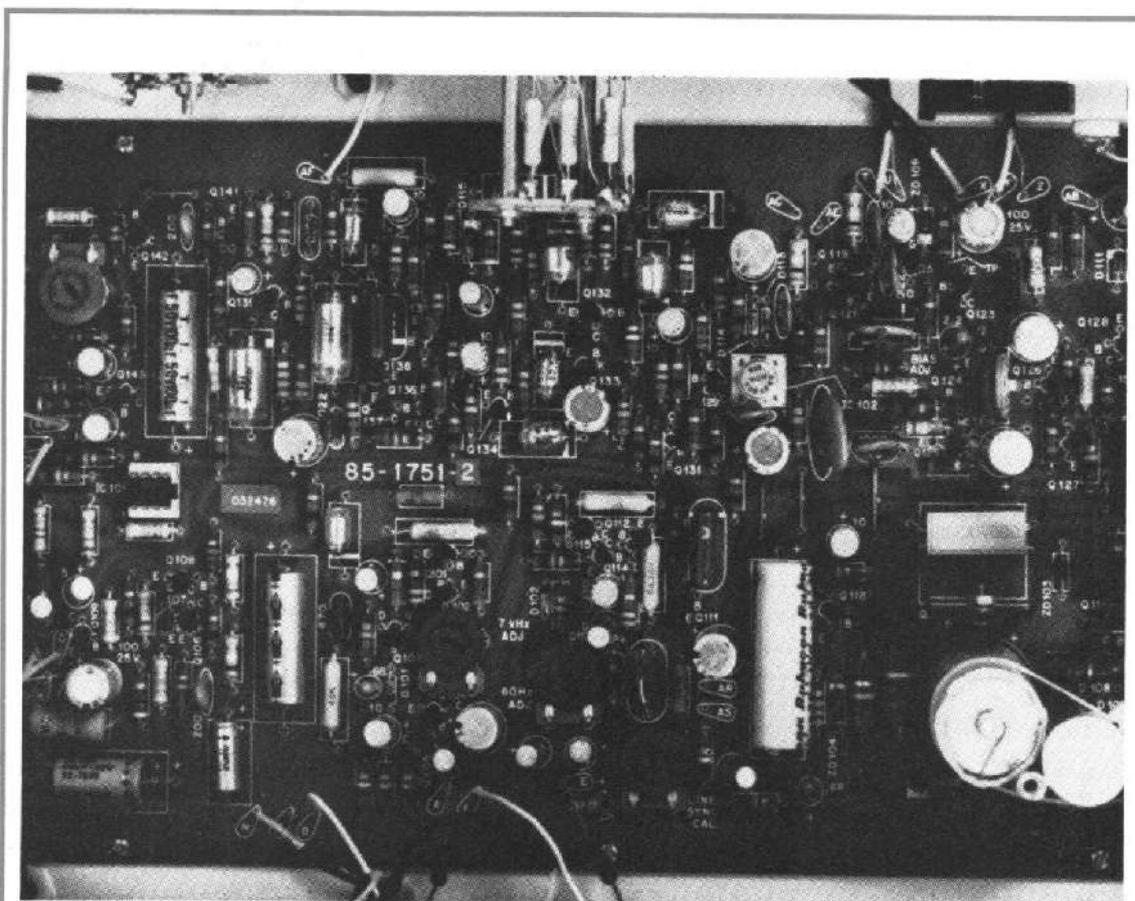


Photo C. - Le circuit imprimé en verre époxy, on note le repérage des composants, références pour les semi-conducteurs, valeur pour les résistances et les condensateurs.

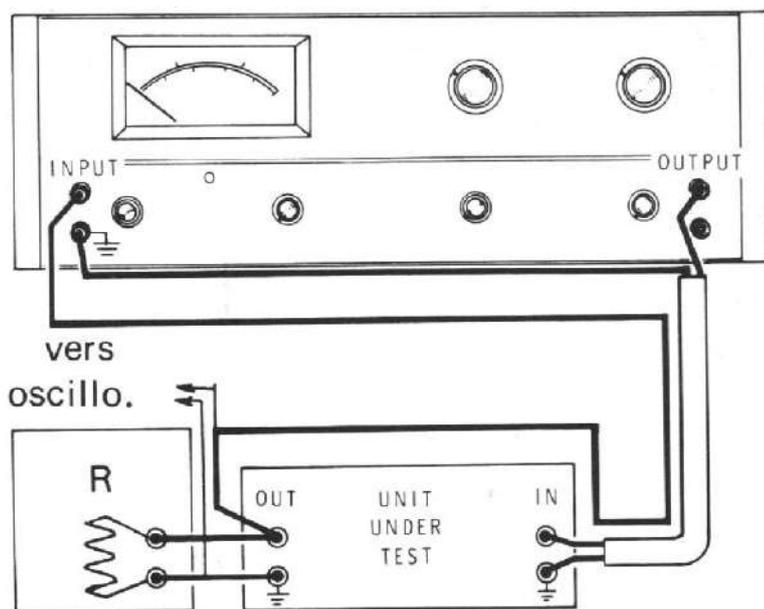


Fig. 3. - Raccordement de l'analyseur d'intermodulation à un appareil à mesurer, il sera bon de brancher un oscilloscope qui permettra de connaître le moment à partir duquel la distorsion par écrêtage apparaît, la mesure de distorsion se faisant, pour la pleine puissance un peu au-dessous de l'écrêtage.

mes habitués. La seule restriction que l'on puisse faire est la livraison de l'appareil avec une notice anglaise, les traductions sont en cours, de toute façon, les schémas sont suffisamment clairs pour qu'il n'y ait pas de problème. Les composants ont leur valeur repérée sur le circuit imprimé, il faut faire attention à placer les résistances à faible bruit là où elles doivent aller (certaines résistances sont agglomérées, les autres sont à couche).

Une fois les erreurs de câblage réparées, l'appareil a fonctionné du premier coup. L'inattention et la hâte sont propices aux erreurs de montage. Une bonne vérification (polarité des condensateurs, des diodes, des transistors) évitera les déboires et la déception.

#### UTILISATION

La mesure se fait en branchant l'appareil à mesurer aux bornes de l'IM 5248. Le mesureur d'intermodulation est à la fois émetteur de signal et récepteur. Il a deux bornes d'entrée et deux de sortie. Une précaution est indispen-

sable, celle de n'avoir qu'une seule masse. Certains amplificateurs ne supportent pas de voir reliées les masses de sortie et d'entrée. Il est donc indispensable de suivre le schéma de la figure 3 pour éviter les oscillations qui se traduiraient par une augmentation considérable de l'intermodulation. Une telle erreur de manipulation est courante, même dans des laboratoires sophistiqués, elle suffit à attribuer à de bons appareils de mauvaises performances. On ne peut pas reprocher à un amplificateur d'avoir des problèmes de bouclage de masse, les enceintes qui chargent l'amplificateur sont totalement indépendantes du tourne-disques ou d'une autre source. Pour limiter les risques, on pourra introduire une cheville dans la prise de masse de la sortie de l'IM 5248, cette cheville interdisant tout branchement erroné.

Hormis ce détail pratique, nous n'avons eu aucun problème de fonctionnement en plusieurs mois d'utilisation. C'est déjà une référence.

Un oscilloscope monté en parallèle sur la charge sera un auxiliaire précieux pour la détection de l'écrêtage.

#### CONCLUSION

L'IM 5248 est un appareil utile dans un laboratoire d'étude. Il l'est moins dans un laboratoire de maintenance. Par contre, si on désire avoir plusieurs appareils de mesure de niveau, l'acquisition d'un IM 5248 permettra de disposer d'un millivoltmètre aux performances adaptées aux fréquences audio. Un appareil très sérieux, d'un prix raisonnable.

Etienne LÉMERY

#### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE L'ANALYSEUR D'INTERMODULATION HEATHKIT IM 5248

##### Mesure d'intermodulation :

Gammes : 0,1 à 100 %, échelonnée suivant une progression 1/3/10. Lecture possible 0,01 % plus résiduel.

Résiduel : moins de 0,01 % avec les générateurs internes. Précision : 5 % de la pleine échelle.

Impédance d'entrée : 1 M $\Omega$ .

Sensibilité HF : 100 mV minimum.

Fréquence de l'oscillateur : 60 à 7000 Hz.

Amplitude de sortie du générateur : ajustable de 100 mV à 3 V (50 mV à 1,5 V sur 6000  $\Omega$ ) avec 60 et 7000 Hz rapport 4/1.

Impédance de l'entrée BF : pour générateur externe : 51 k $\Omega$ , 10 Hz à 500 Hz. - HF : 18 k $\Omega$  à 25 k $\Omega$ , 2 Hz à 100 kHz.

Impédance de sortie des oscillateurs : 1000  $\Omega$ .

##### Millivoltmètre alternatif :

Sensibilité : 10 mV à 300 V, progression 1-3-10.

Impédance d'entrée : 1 M $\Omega$ . Précision :  $\pm 4$  % de la pleine échelle à 1 kHz plus précision de l'étalonnage.

Réponse en fréquence de 10 mV à 10 V : 10 Hz à 1 MHz  $\pm 1$  dB. - 30 V à 300 V : 10 Hz à 100 kHz  $\pm 1$  dB.

Alimentation : 100 à 135 V et 200 à 270 V 50/60 Hz 15 W. Dimensions : 38 x 29 x 13,7 cm.

Poids : 4,5 kg.

Les fréquences 60 et 7000 Hz dans le rapport d'intensité 4/1 sont conformes aux normes SMPTE et IEEE de mesure d'intermodulation.