

# La radio-stéréophonie

Après la reproduction stéréophonique basse fréquence de programmes enregistrés sur disques ou sur bandes magnétiques, la radiodiffusion stéréophonique a franchi le domaine du laboratoire.

La grande Exposition de la Radio allemande qui vient d'avoir lieu à Berlin, était l'occasion de la première présentation publique en Europe, de la radio-stéréophonie en Multiplex FM, travaillant selon le procédé dit « General Electric-Zenith ». Ce système, qui a été officiellement approuvé aux U.S.A. par la F.C.C., a également été proposé par l'Union Européenne de Radiodiffusion (U.E.R.).

Une fois de plus, le radiotechnicien doit se familiariser avec cette nouvelle technique qui s'introduit dès à présent dans la vie de tous les jours.

L'exposé ci-après, rédigé d'après la brochure « Stereo-Praktikum » éditée par la société GRAETZ, permettra à nos lecteurs de comprendre les principes de base de la radio-stéréophonie.

## LA TECHNIQUE DE L'ÉMISSION STEREOPHONIQUE

La conception et le développement d'un équipement d'émission de radio-stéréophonie ne sont pas du domaine du technicien ou du dépanneur radio. Inutile par conséquent d'approfondir les problèmes qui s'y rapportent.

Mais il est cependant indispensable de connaître les principes de base de l'émission, si l'on veut bien comprendre le fonctionnement du récepteur.

### A la recherche d'un système d'émission

Trois considérations essentielles ont conduit à l'élaboration

des normes d'émission actuellement adoptées :

1. Le procédé doit être *compatible*, autrement dit, les millions d'auditeurs qui ne disposent que d'un classique récepteur de radio avec gamme FM, doivent pouvoir capter parfaitement une émission stéréophonique, en réception monophonique.
2. Il faudra encore que la *qualité* de la réception stéréophonique soit au moins égale à celle d'un bon récepteur à modulation de fréquence;
3. Enfin, le *rayon d'action utile* des émetteurs doit rester sensiblement égal, du moins en ce qui concerne la réception monophonique.

Le problème de la *comptabilité* est évidemment capital. Pratiquement, ceci signifie que le signal rayonné par l'émetteur doit toujours comporter la *somme* des informations contenues dans cha-

acun des deux canaux stéréophoniques. Lors de la réception avec un appareil monophonique, il ne faut pas que seul le signal du canal de gauche, ou seul le signal du canal de droite soit reproduit acoustiquement.

### Le système Somme-Différence A l'émission

Pour réaliser la compatibilité absolue, nous venons de voir que l'émetteur doit transmettre un signal qui soit à chaque instant la *somme* de l'information du canal de gauche (A) et du canal de droite (B).

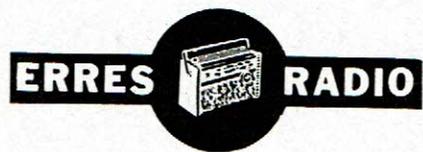
D'autre part, dans le récepteur stéréophonique, il faudra réaliser la séparation correcte entre les canaux A et B. Ceci ne sera possible que si l'émetteur est conçu en conséquence, et on arrive au résultat par un moyen vraiment remarquable par sa simplicité... encore fallait-il y penser !

— *L'émetteur stéréo ne transmet pas séparément les voies de gauche et de droite, mais bien*

— la somme des deux signaux :  
 $A + B$  (canal de gauche + canal de droite)

— et la différence des deux signaux :  
 $A - B$  (canal de gauche - canal de droite).

Mathématiquement, on peut donc écrire simplement que



(\*) Nos lecteurs se souviendront de l'article « Théorie et pratique de la radio-stéréophonie d'après le système F.C.C. » de notre collaborateur W. SCHAFF, publié dans le n° 203 (février 1963) de cette revue.

l'émetteur doit transmettre au moins deux modulations :

$$S = A + B$$

et

$$D = A - B$$

respectivement par les canaux de gauche et de droite.

Dans l'émetteur, ces informations sont transformées en tensions électriques correspondant

phase et en opposition de phase.

La figure 3 montre le principe d'une *matrice Somme-Différence* (c'est le terme technique pour désigner ce montage) qui fait appel à un tube déphaseur et un réseau de résistances. (Les sources d'alimentation en tension continue, condensateurs de liaison et de découplage n'ont pas été représentés).

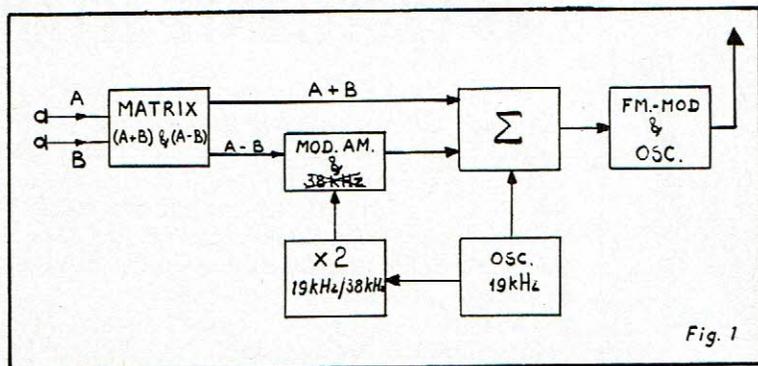


Schéma-bloc d'un émetteur radio-stéréophonique.

Comme nous le verrons plus loin, il faudra encore disposer d'un troisième signal, appelé « sous-porteuse ».

tes. Or, il est extrêmement facile de retrancher une tension d'une autre, et il est tout aussi aisé de faire leur somme :

### Le schéma-bloc d'un émetteur stéréo (fig. 1)

D'après ce qui précède, il est donc parfaitement possible de transmettre simultanément deux « programmes » par un seul émetteur : le programme «  $A + B$  » et le programme «  $A - B$  ».

Pour être complet, il faut encore y ajouter un troisième signal à fréquence fixe de 19 kHz,

### Dans le récepteur

Il faudra également utiliser une sommation et une soustraction :

— le circuit récepteur relatif au canal de gauche devra effectuer la somme

$$(A + B) + (A - B) = 2A$$

— celui consacré au canal de droite effectue la différence

$$(A + B) - (A - B) = 2B$$

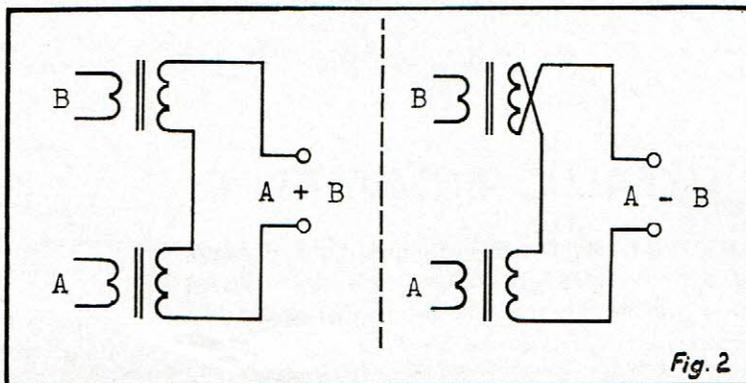
On retrouve donc bien sur le canal de gauche le signal A et sur le canal de droite le signal B.

Ceci étant acquis, rien ne s'oppose plus à la radio-stéréophonie !

### La formation des signaux S et D

On peut se demander comment on arrive à composer, à partir des signaux A et B, les signaux  $(A + B)$  et  $(A - B)$ .

Les lettres A et B représentent évidemment des sons captés res-



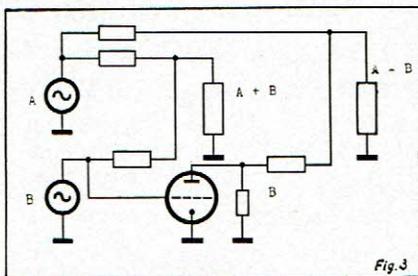
Formation des signaux somme et différence au moyen de transformateurs BF dont les secondaires sont connectés en phase et en opposition.

— Pour faire la somme, il suffit de connecter en phase les tensions correspondant aux signaux A et B.

— Pour faire leur différence, on les connectera en opposition de phase.

La figure 2 montre un premier moyen très simple pour constituer la somme et la différence des signaux en présence : on y voit deux transformateurs BF dont les enroulements secondaires sont respectivement reliés en

qui constitue le « signal pilote », encore appelé « signal de synchro-



Matrice « Somme-Différence » avec tube déphaseur.

nisation ». Nous verrons plus loin le rôle de ce signal.

La fréquence porteuse de l'émetteur stéréophonique doit par conséquent être modulée par 3 signaux : pour y arriver, on utilise l'artifice suivant :

— Les signaux  $S = A + B$  occupant une bande de fréquences de 16 Hz à 15 kHz, sont transmis de manière classique en *modulation de fréquence* dans la bande FM ou O.U.C. de 87 à 104 MHz.

Un tel domaine de fréquences BF est susceptible de satisfaire les auditeurs les plus exigeants.

— Les signaux  $D = A - B$ , transmis avec la même bande passante, modulent en amplitude (AM) une *sous-porteuse* à 38 kHz. Il en résulte deux bandes latérales de modulation, s'étendant respectivement de 23 à 37,984 kHz et de 38,016 à 53 kHz.

— La sous-porteuse à 38 kHz est supprimée, et seules les bandes latérales produites par la modulation sont transmises à un *bloc de sommation*  $\Sigma$  dans lequel le signal  $S = A + B$  est incorporé. A ce signal complexe s'ajoute encore un signal « pilote » de fréquence 19 kHz (*fréquence de synchronisation*). Ce dernier signal est produit dans un oscillateur dont l'harmonique 2 fournit la sous-porteuse de 38 kHz dont il a été question ci-avant.

La figure 4 montre le spectre de modulation d'un signal stéréophonique complet.

### Les normes d'émission stéréo F.C.C.

Voici les caractéristiques essentielles du système normalisé par la Federal Communications Commission :

— La somme des informations des canaux de gauche et de droite constitue le signal de modulation de la porteuse principale, qui est située dans la bande FM (de 87 à 104 MHz).

— La sous-porteuse est modu-

lée en amplitude, mais avec suppression de cette sous-porteuse, de manière à ne transmettre que les deux bandes latérales de modulation.

— Le signal de modulation de la sous-porteuse est le signal  $D = A - B$  dont la bande de fréquence s'étend jusqu'à 15 kHz.

— En plus de ceci, un signal pilote ou « fréquence de synchronisation » de 19 kHz est transmis, afin de permettre la reconstitution de la sous-porteuse à la réception. Le signal pilote module la porteuse principale en fréquence, avec une excursion comprise entre 8 et 10 % du swing maximum.

— La fréquence de la sous-porteuse est l'harmonique 2 du signal pilote, soit donc 38 kHz.

— La modulation de la porteuse principale par les bandes latérales de la sous-porteuse transmettant A-B est limitée à 45 % du swing maximum. Ceci est valable dans le cas où un seul des deux signaux BF est présent. Les signaux  $A + B$  et  $A - B$  peuvent donc provoquer ensemble une modulation à 90 % de la porteuse principale.

(Il en résulte que l'excursion de fréquence de l'émetteur FM, provoquée par les signaux  $(A + B)$  et  $(A - B)$  peut atteindre 90 % de l'excursion de fréquence maximum.

### La fréquence pilote

Nous venons de dire que l'émetteur stéréo-FM est modulé à environ 10 % par une fréquence fixe de 19 kHz, appelée fréquence pilote ou fréquence de synchronisation.

Les conditions de phase imposées à ce signal sont assez sévères :

La sous-porteuse pour le signal  $(A - B)$ , c'est-à-dire, l'harmonique 2 de la fréquence pilo-

te, se représente graphiquement par une sinusoïde qui coupe l'axe des temps avec une pente positive à chaque instant où la sinusoïde correspondant au signal pilote coupe également l'axe des temps. Lorsque cette condition est réalisée, l'information des canaux de gauche et de droite fournira une reproduction bi-auriculaire correcte.

Le déphasage entre  $(A + B)$  et  $(A - B)$  ne peut dépasser  $\pm 3^\circ$  si l'on veut que la diaphonie entre les deux voies stéréophoniques soit au moins de 30dB. L'importance d'une caractéristique de phase correcte apparaîtra encore plus clairement lorsque nous examinerons le problème de la réception.

### Pourquoi supprimer la sous-porteuse ?

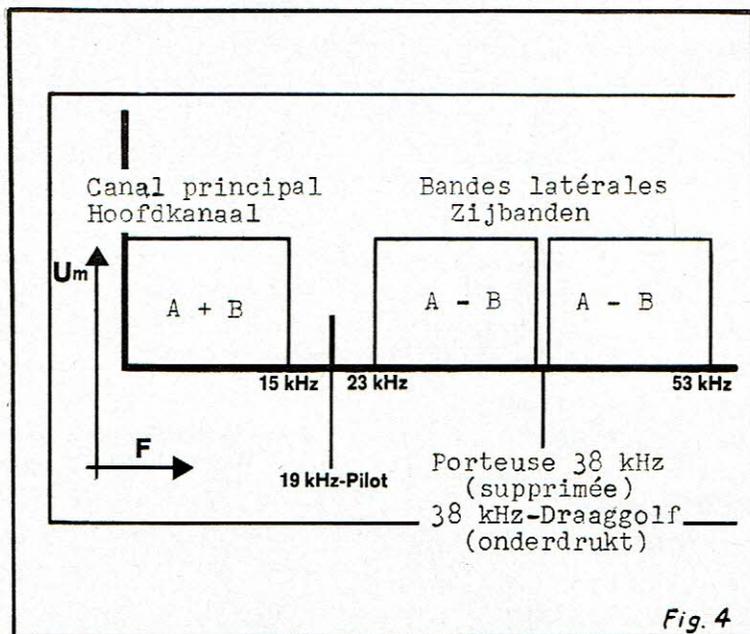
On peut se demander pourquoi l'on complique — apparemment — les choses, en supprimant la sous-porteuse à 38 kHz. La réponse est simple ; la transmission de la sous-porteuse exigerait constamment une partie de l'excursion de fréquence de la porteuse principale, tant en présence d'un signal modulateur, que sans modulation. Or, la sous-porteuse ne contient par elle-même aucune information, cette dernière étant essentiellement concentrée dans les deux bandes latérales. Cette sous-porteuse est donc tout aussi indispensable qu'elle est indésirable ! Nous allons par conséquent nous en débarrasser, dès qu'on pourra se passer d'elle.



Dans le récepteur, lorsqu'il faudra extraire la modulation AM du signal (A — B), il s'agira

de l'extraire de la modulation d'un signal stéréophonique, encore appelé « signal multiplex ».

tenu est celui de la figure 6c. Mais il manque encore le signal pilote à 19 kHz.



Spectre de modulation d'un signal stéréophonique multiplex complet.

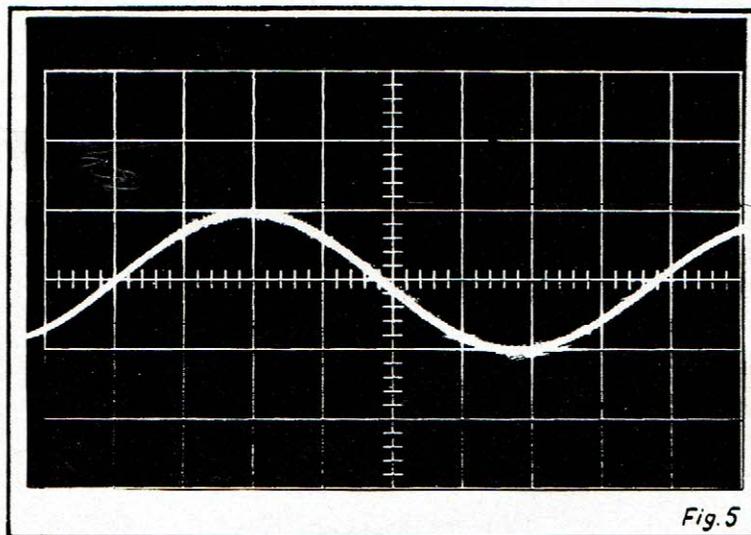
bien entendu de reconstituer la sous-porteuse de 38 kHz, pour l'ajouter aux deux bandes latérales. Ceci s'obtiendra très simplement en doublant la fréquence du signal pilote à 19 kHz. En examinant le spectre de modulation d'un émetteur FM-stéréo (fig. 4) on voit que la fréquence pilote trouve très facilement place entre 16 et 22 kHz, dans le spectre de modulation de la porteuse principale.

#### La forme des signaux à l'oscilloscope

Figure 5 : signal sinusoïdal de modulation de 1 kHz, correspondant à la voie de gauche. Nous supposons provisoirement que le canal de droite ne fournit aucun signal. Ce cas se conçoit parfaitement dans la pratique, et permet d'introduire une simplification séduisante : A + B et A — B sont identiques, puisqu'on suppose B = 0.

En partant de cette hypothèse, nous allons suivre pas à pas l'éla-

Figure 6a : le signal (A — B) module en amplitude une porteuse de 38 kHz. On voit la classique enveloppe de modulation.



Signal sinusoïdal de modulation B.F.

Figure 6b : voici la forme du signal après suppression de la sous-porteuse de 38 kHz.

Figure 6c : lorsque le signal (A + B) est ajouté à celui de la figure 6b, l'oscillogramme ob-

Figure 6d : voici le signal multiplex complet, tel qu'il se présente après incorporation du signal pilote de 19 kHz. Comme la fréquence de ce dernier est exactement la moitié de celle de la sous-porteuse, on reconnaît très distinctement le pilote sur la courbe enveloppe.

Figure 7a : lorsque le canal de droite comporte également un signal de fréquence différente (ici, de fréquence double de celle du canal de gauche), l'oscillogramme de la figure 6c devient celui de la figure 7a.

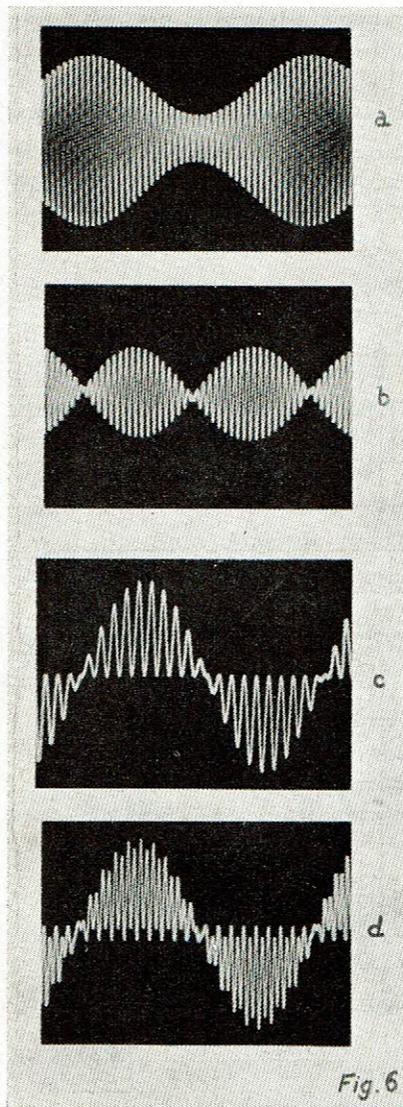
Figure 7b : et en ajoutant le signal pilote de 19 kHz, on obtient l'oscillogramme de la figure 7b.

#### LE RECEPTEUR FM-STEREO

La figure 8 montre le schéma-bloc d'un récepteur stéréophonique.



que FM. Nous ne notons rien de bien particulier entre les bornes



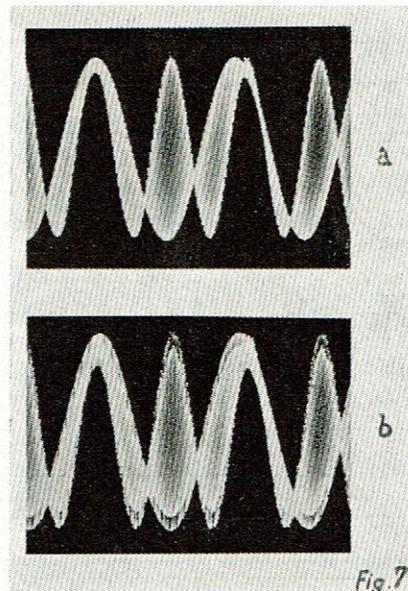
Oscillogrammes des signaux dans le cas où seul le canal de gauche contient une information BF sinusoïdale pure.

« antenne » et le détecteur de rapport qui assure normalement la démodulation. La fréquence intermédiaire est de 10,7 MHz comme c'est le cas dans la plupart des récepteurs de radio FM.

### Le Décodeur stéréo

Le Décodeur stéréo, mis au point par GRAETZ, est un petit appareil à transistors, pas plus grand qu'un boîtier de blindage pour filtre de bande. Comme ce dispositif devra souvent être incorporé ultérieurement à un ré-

cepteur stéréophonique, le fabricant a consacré une attention particulière au système de connexion. Un connecteur à 6 bro-



Oscillogrammes d'un signal multiplex, correspondant au cas où la fréquence du signal B est double de celle du signal A.

ches, sans câbles de raccordement assure un contact parfait entre le récepteur et le décodeur.

La figure 9 donne le schéma de principe de ce décodeur. Le signal multiplex-Stéréo, obtenu à la sortie du détecteur de rapport (non représenté sur le schéma) est appliqué à la borne d'entrée II du décodeur.

temps le circuit de désaccentuation.

Nous retrouvons ainsi déjà une des trois composantes du signal multiplex.

### Séparation du signal différence A—B

Le signal d'entrée à la borne II est également appliqué à la base du transistor T 401 (AC 125) à travers C 401 et R 401. Ce signal comprend la fréquence pilote de 19 kHz, les deux bandes latérales (A — B) de la sous-porteuse de 38 kHz qui a été supprimée dans l'émetteur et... un résidu indésirable du signal somme  $A + B$ . Pour éliminer ce dernier, le transistor T 401 est fortement contre-réactionné pour les fréquences basses, grâce à la résistance R 404 qui se trouve dans le circuit d'émetteur. (Par « basses fréquences », nous entendons ici celles qui se trouvent entre 50 Hz et 15 kHz, correspondant à la transmission du signal  $A + B$ ).

D'autre part, le circuit résonnant constitué par L 402 et C 405, est accordé sur 38 kHz, qui se trouve dans le circuit collecteur du transistor, contribue encore à la suppression du signal somme.

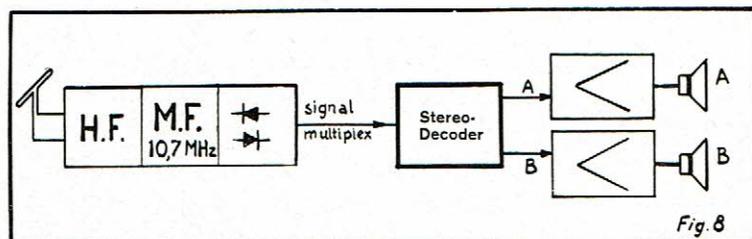


Schéma-bloc d'un récepteur stéréo-multiplex FM.

### Séparation du signal somme $A + B$

Le signal somme  $A + B$  est séparé du signal composite d'entrée au moyen d'un simple circuit résistance-capacité (R417, C 412), qui constitue en même

### Le circuit démodulateur

Le circuit L 402-C 405, accordé sur 38 kHz, permet de réaliser la démodulation des bandes latérales de la porteuse auxiliaire. Mais nous savons que cette dernière a été supprimée dans

l'émetteur. Il s'agira par conséquent de reconstituer la porteuse à 38 kHz, avant de pouvoir procéder à la détection AM des signaux A — B.

à 38 kHz, il suffit de doubler la fréquence pilote de 19 kHz. C'est le rôle des deux diodes GL 404 et GL 406, qui effectuent le redressement bi-alternance du

plifier substantiellement avant de l'ajouter comme une vraie porteuse, à ses deux bandes latérales. C'est le rôle des deux transistors amplificateurs AC 126 qui

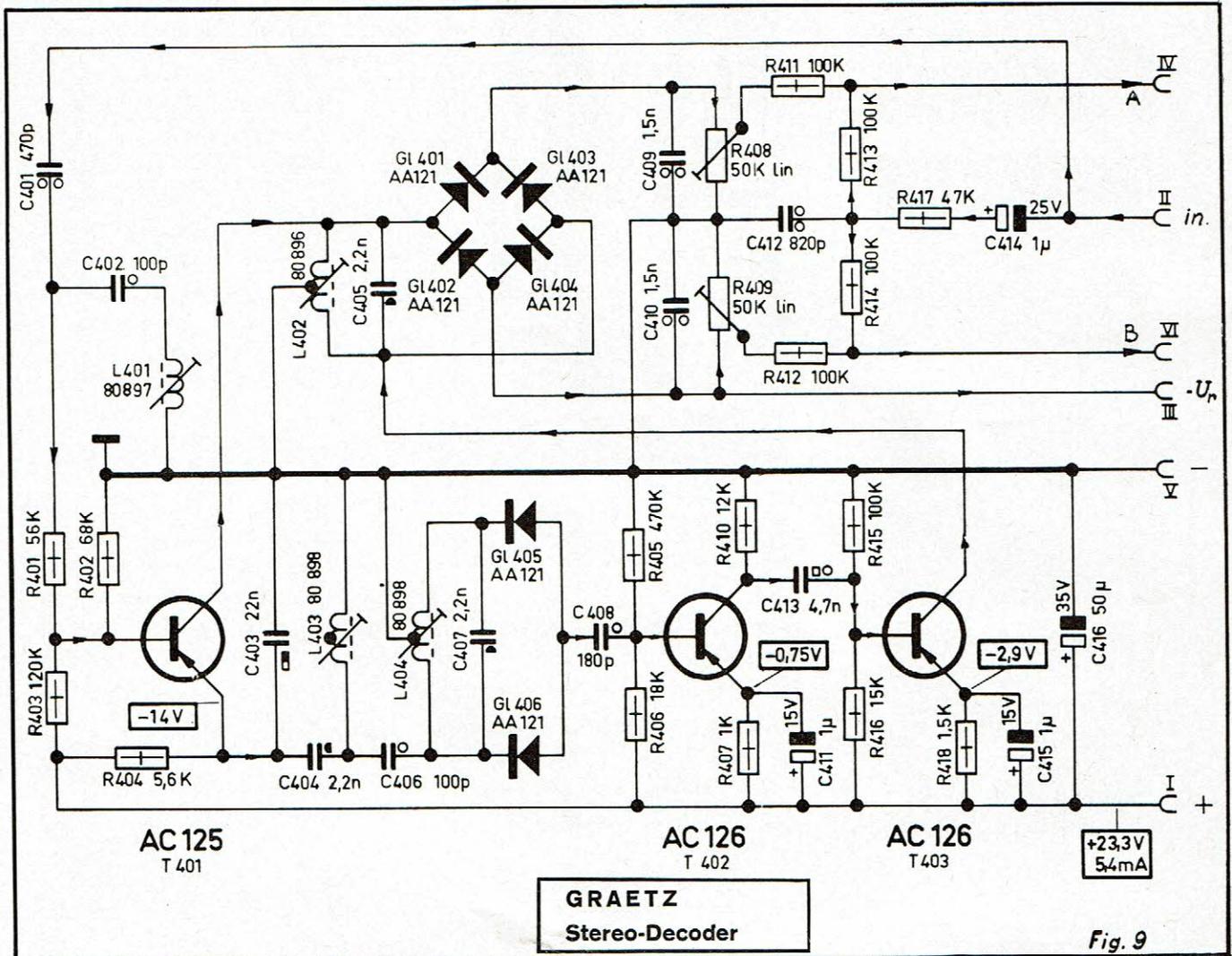


Schéma de principe du décodeur stéréo de GRAETZ.

### Restitution de la sous-porteuse.

La fréquence pilote de 19 kHz est une première fois extraite du signal composite, grâce à un filtre de bande qui est connecté à la résistance d'émetteur R 404 du transistor AC 125. Ce filtre de bande (à couplage capacitif en tête par C 406) se compose d'une part de C 403, C 404, L 403, et d'autre part de C 407 et de L 404. A la sortie de ce filtre de bande, nous retrouvons donc la fréquence pilote à l'état presque pur.

Pour obtenir la sous-porteuse

signal-pilote. La fréquence des impulsions à la sortie de ce redresseur est donc nécessairement le double de celle du signal d'entrée. Ce système présente le grand avantage que le signal de sortie ne contient pratiquement plus aucune composante de fréquence 19 kHz.

L'amplitude du signal 38 kHz ainsi restitué est nettement insuffisante par rapport à la modulation A — B, pour pouvoir assurer une démodulation convenable.

Il faudra par conséquent l'am-

plifier substantiellement avant de l'ajouter comme une vraie porteuse, à ses deux bandes latérales.

### La discrimination des signaux A et B

Nous arrivons maintenant au crucial de notre décodeur où



s'effectuera le petit jeu mathématique dont il a été question au début de notre exposé.

Le montage en pont, constitué par les 4 diodes AA 121 (GL 401 à GL 404) effectue le redressement bi-alternance de la sous-porteuse. Les alternances positives représentent le signal + (A — B), tandis que les alternances négatives représentent le signal — (A — B).

Techniquement parlant, nous dirons que l'on trouvera aux bornes du potentiomètre R 408 le signal + (A — B); tandis que le signal — (A — B) apparaît aux bornes du potentiomètre R 409. On est en effet amené à utiliser des potentiomètres afin de pouvoir adapter correctement l'amplitude du signal différence (A — B) à celle du signal somme (A + B). Pratiquement, l'équilibrage optimum correspondra à une diaphonie aussi réduite que possible.

Les alternances positives et négatives du signal différence (A — B) sont prélevées respectivement au curseur du potentiomètre R 408 et du potentiomètre R 409, et transmises aux bornes de sortie BF via les résistances de découplage R 411 et R 412.

A la borne IV on obtiendra :

$$\begin{array}{r} A + B \\ + A - B \\ \hline = 2A \end{array}$$

A la borne VI on trouvera :

$$\begin{array}{r} A + B \\ - (A - B) \\ \hline = 2B \end{array}$$

Le signal BF correspondant au canal stéréophonique gauche apparaît donc à la borne IV, tandis que le signal correspondant à la voie de droite est disponible à la borne VI du décodeur.

Ces signaux sont ensuite diri-

gés vers l'amplificateur BF stéréophonique.

### Importance de la caractéristique de phase

Nous avons déjà signalé l'importance de la concordance de phase qui doit exister entre le signal pilote et la sous-porteuse. Supposons en effet que le pilote à 19 kHz subisse un déphasage de 90° sur le trajet qui sépare le modulateur du décodeur.

Lors de la multiplication de fréquence pour retrouver la sous-porteuse de 38 kHz, le déphasage est multiplié par deux et atteint par conséquent 180°. Cela signifie qu'à la sortie du décodeur apparaît le signal + (A — B) alors qu'il faudrait y trouver — (A — B).

Le haut-parleur de droite reproduirait alors les sons qui devraient être rayonnés par le haut-parleur de gauche. La concordance de phase entre le pilote et la sous-porteuse doit donc être réalisée afin que les informations des deux canaux stéréophoniques soient fidèlement et correctement reproduites.

### L'INDICATEUR OPTIQUE DE STEREOPHONIE

Bientôt — nous l'espérons ! — nous aurons l'occasion de capter régulièrement des émissions stéréophoniques. Dans ce cas, il sera intéressant que le récepteur soit muni d'un indicateur optique capable de signaler automatiquement l'existence d'une telle émission.

GRAETZ a conçu un montage extrêmement simple, utilisant une petite ampoule au néon.

A cet effet, la chute de tension  $U_r$  qui se produit aux bornes de R 409 (voir le schéma du décodeur, fig 9) est utilisée pour commuter une triode. La figure

10 montre le schéma du montage utilisé.

La tension de commande  $U_r$  disponible à la borne III qui est au maximum de 4 V et qui n'existe qu'en présence d'un signal multiplex transmis par

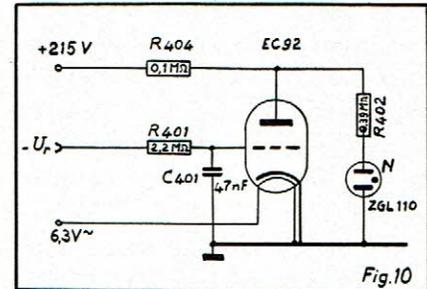


Schéma de l'indicateur optique de stéréophonie.

l'émetteur, polarise négativement la grille de la triode. Le courant anodique est alors presque nul et l'anode est portée au potentiel de la haute tension (env. + 215 V). Le tube au néon N s'allume par conséquent. (La résistance R 402 limite le courant à travers le tube N).

Lorsque le signal capté ne provient pas d'une émission stéréophonique, il n'y a pas de tension de commande  $U_r$  et la triode du circuit indicateur n'est pas polarisée. Il circule de ce fait un courant assez important dans la triode, provoquant une forte chute de tension aux bornes de R 404. La tension anodique est alors inférieure à la tension d'amorçage de l'ampoule au néon.

(Adapté d'après Marcus Tuner, « Stereo-Praktikum » GRAETZ).

J. D. N.

