



CODEUR STÉRÉOPHONIQUE SIMPLE POUR ÉMETTEUR FM

Il peut être intéressant de réaliser un codeur stéréophonique, à titre expérimental, par exemple pour retransmettre dans une autre pièce du domicile, à l'aide d'un petit émetteur FM, le son d'un programme issu d'un téléviseur nicam, ou d'un magnétoscope stéréophonique.

Principe de la transmission en stéréophonie

Le but est de transmettre sur une même fréquence porteuse deux signaux audio (canal gauche et canal droit, ou G et D), avec un taux de diaphonie le plus faible possible (séparation maximum entre ces canaux), tout en assurant la compatibilité monophonique. Ce résultat est obtenu en transmettant la somme des signaux G + D (voie monophonique) ainsi que leur différence G - D (voie stéréophonique). Il en découle que l'amplitude du signal de la voie monophonique est maximum lorsque les signaux appliqués sur les voies G et D sont exactement identiques en amplitude et en phase. Le signal de la voie stéréophonique est alors théoriquement nul. Inversement, l'amplitude du signal de la voie stéréophonique atteint son maximum lorsque les signaux G et D sont d'égale amplitude, mais de phase opposée. Le signal de la voie monophonique est alors nul. À la réception, le décodeur stéréo recrée les canaux gauche et droit en effectuant les relations $G = 1/2 ((G + D) + (G - D))$ et $D = 1/2 ((G + D) - (G - D))$. Le signal de la voie stéréophonique est transmis par modulation d'ampli-

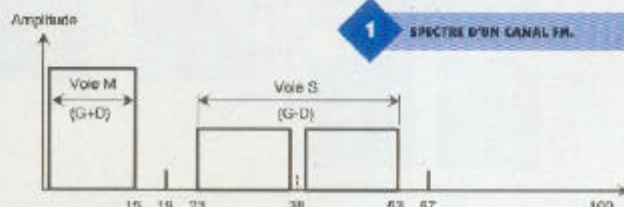


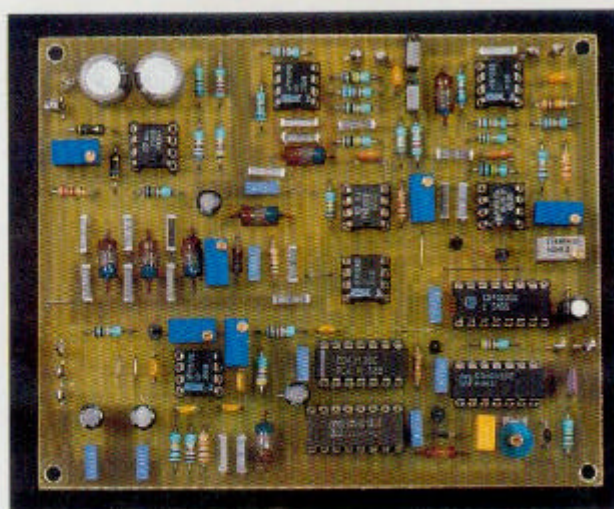
tude d'une porteuse à 38 kHz. Cette porteuse est supprimée, de façon qu'elle n'interfère pas avec le signal utile. Un signal à 19 kHz, dit fréquence pilote, et synchronisé avec la porteuse à 38 kHz, permet au récepteur de recréer cette porteuse, afin d'en extraire le signal contenu dans ses bandes latérales. Un canal de transmission FM stéréo se compose donc d'une bande de fréquence de 30 Hz à 15 kHz correspondant à la voie mono, de la fréquence du pilote à 19 kHz, et des bandes latérales du 38 kHz, s'étendant de 23 à 53 kHz et correspondant à la voie stéréo. En l'occurrence, les voies gauche et droite sont multiplexées à la fréquence de 38 kHz, chacune des voies étant transmise successivement pendant une durée de 13 µs environ. Le haut du canal peut servir à diverses transmissions de données, comme le RDS (Radio Data System). La figure 1 illustre le spectre d'un tel canal FM.

Le schéma électrique

S'il existe maintenant des circuits intégrés réalisant la fonction de codeur stéréo (utilisés par exemple dans certains casques stéréo HF sans fils), ceux-ci, ainsi que certains composants qu'ils mettent en œuvre, sont très peu distribués dans l'hexagone. La réalisation que nous vous proposons utilise des composants conventionnels, dans un montage offrant quelques garanties quant à l'encombrement spectral, et possédant les réglages de niveaux permettant de s'adapter à la plupart des situations. Le synoptique de la figure 2 résume le fonctionnement de ce codeur stéréo, et la figure 3 en représente le schéma électrique. La génération du 38 kHz et du 19 kHz est obtenue à partir d'un oscillateur à 456 kHz. En effet, plutôt que d'utiliser un quartz de fréquence "exo-

1 SPECTRE D'UN CANAL FM.





VUE DE LA CARTE PRINCIPALE

tique", nous avons recours ici à un résonateur céramique à 455 kHz. De faible coût, ce composant est taillé par le fabricant pour fonctionner à sa fréquence caractéristique de 455 kHz, lorsqu'il est chargé par une capacité de l'ordre de 40 pF, mais accepte volontiers d'osciller à 456 kHz grâce à une capacité série, constituée, en l'occurrence, par C_3 en parallèle avec CV_1 , dans le montage constitué par le trigger IC_{10} . Le signal en sortie 3 de celle-ci est tamponné par IC_{11} , permettant en outre la commutation en mode mono, avant d'être appliqué sur l'entrée clock de IC_9 . Il s'agit d'un 4010, câblé ici en diviseur par 6. Le signal à 76 kHz disponible sur sa sortie est dirigé ensuite sur l'entrée clock de la bascule D de IC_{12} , en sortie de laquelle nous disposons du 38 kHz, mis en forme par IC_{13} et IC_{14} , pour être acheminé sur la commande du

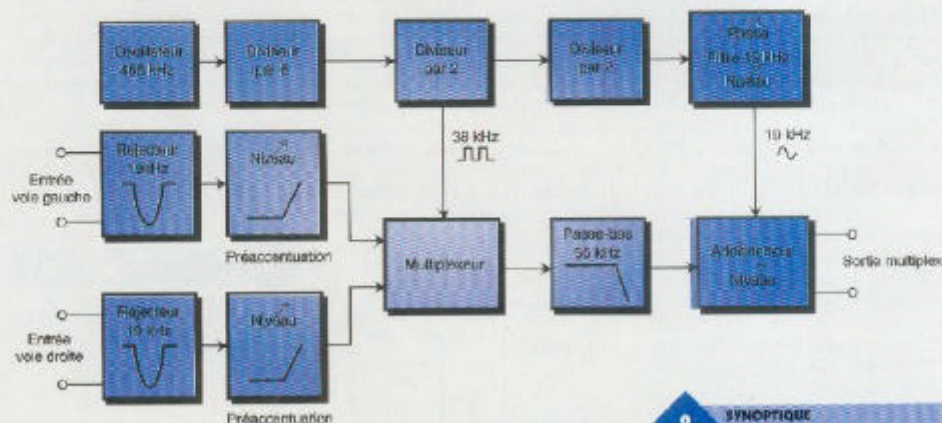
multiplexeur IC_7 . Il s'agit en l'occurrence d'un classique 4053, dont un tiers se consacre au multiplexage des voies G et D, lesquelles parviennent à ses entrées en broches 19 et 13. L'entrée VEE est connectée au -8V, de façon à exploiter le maximum de dynamique possible. En mode monophonique, la porte IC_{15} force la commutation sur le canal droit. La deuxième bascule D contenue dans IC_7 se charge de diviser par 2 le signal à 38 kHz. Le signal rectangulaire à 19 kHz qui en résulte subit une intégration par le réseau $R_7/R_8/P_1/C_5$ avant d'être appliqué sur l'entrée de l'amp. opérationnel, monté en boucle ouverte, constitué par K_{10} . Le signal disponible en sortie de celui-ci, réglable en phase par P_1 , est appliqué sur l'entrée du filtre passe-bas IC_{16} . Le circuit oscillant formé par $L_1/C_6/C_7$ sélectionne la fréquence fondamentale, de 19 kHz,

tandis que la capacité C_{10} en affaiblit les harmoniques. On dispose finalement, sur la sortie 7 de IC_{16} , d'un signal sinusoïdal à 19 kHz, dont l'amplitude est ajustable par le potentiomètre P_2 .

Les circuits d'entrée des canaux gauche et droit sont identiques, à deux différences près : Le canal gauche comporte en entrée un jeu de deux cavaliers qui permettent d'inverser la polarité du signal, ceci à des fins de réglage, comme nous le verrons plus loin. Les valeurs des résistances afférentes à l'étage IC_8 sont telles que le gain de tension est identique si l'amplificateur fonctionne en mode inverseur. Le canal droit possède un réglage d'offset, opéré par P_3 sur IC_8 , afin d'annuler la tension résiduelle à 38 kHz, en sortie de IC_9 .

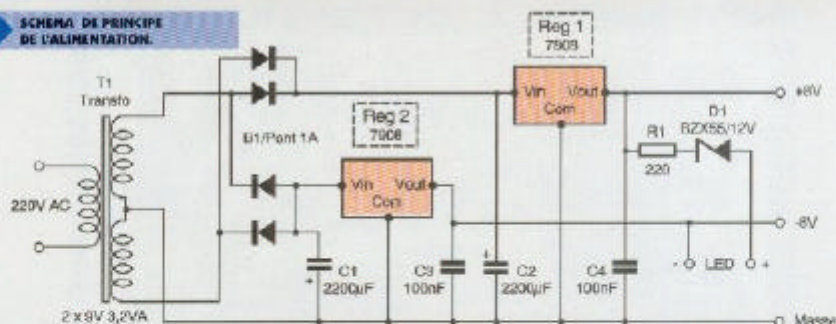
En sortie du premier étage IC_8 (ou IC_7 sur la voie droite) se trouve un circuit réjecteur accordé sur 19 kHz, constitué par L_2 (ou L_1), et ses capacités associées. Ce réjecteur a pour but d'affaiblir les signaux à 19 kHz, ou proches de cette fréquence, éventuellement présents à l'entrée. En effet, en raison de la préaccentuation qui suit, ces signaux pourraient atteindre une amplitude préjudiciable à la sous-porteuse pilote.

On trouve ensuite la cellule de préaccentuation à 50 μ s, formée par C_{13} (ou C_{14}), et R_{14}/R_{15} (ou R_{12}/R_{13}). Rappelons que la préaccentuation a pour but d'augmenter l'amplitude des signaux de fréquence élevée, afin de maintenir le rapport signal sur bruit. En effet, l'amplitude du signal est par nature d'autant plus faible que sa fréquence est élevée. La préaccentuation s'exprime en général



2 SYNOPSIS DE FONCTIONNEMENT

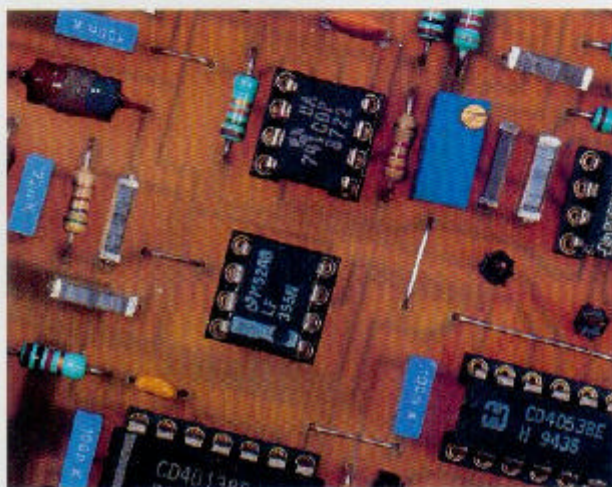
5 SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ALIMENTATION.



potentiomètres seront positionnés conformément au plan d'implantation. Une fois câblées, les cartes seront montées dans un boîtier de préférence métallique, en ayant soin de disposer la carte codeur de façon que ses entrées G et D soient le plus possible éloignées du transformateur d'alimentation. Les liaisons entre les entrées et la sortie multiplex de la carte avec les connecteurs du boîtier seront réalisées de préférence par du câble blindé.

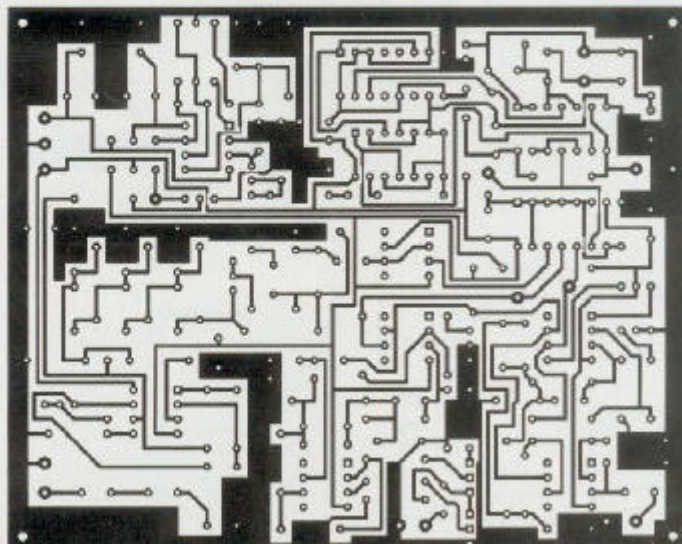
Mise en service et réglages

Après les contrôles habituels, mettre sous tension et vérifier les tensions d'alimentation. Pour mener à bien le réglage de ce montage, il faut dispo-



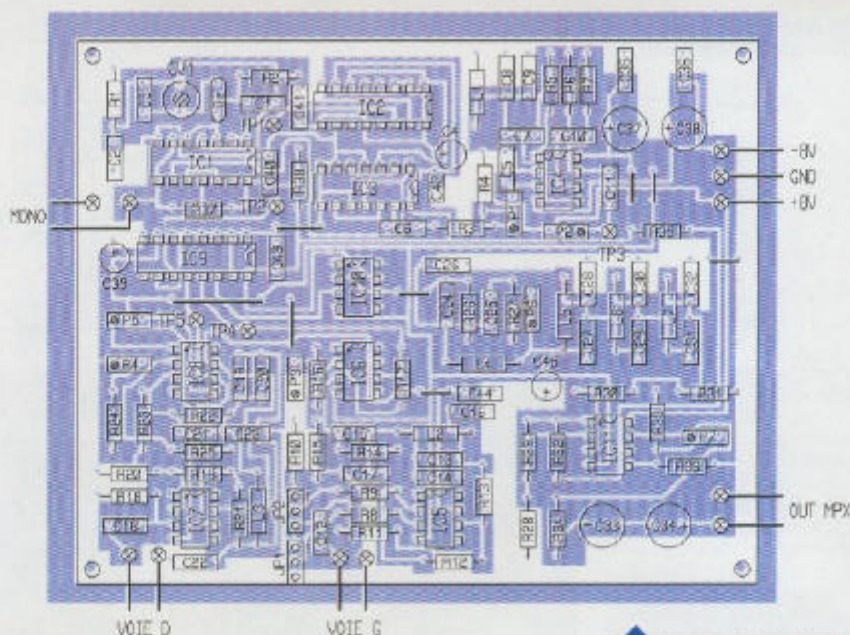
6 TRACÉ DU CIRCUIT IMPRIMÉ.

À GAUCHE DU 781, ON DISTINGUE LA 680µH.



ser au moins d'un fréquencemètre, d'un oscilloscope, et d'un générateur audio (sinus). Dans la procédure de réglage qui suit, nous supposons que le niveau nominal à 1 kHz des sources audio G et D, ainsi que le niveau de sortie multiplex (ou d'entrée de l'émetteur) sont de 0 dBm, soit 775mVeff/600Ω.

- Connecter l'entrée du fréquencemètre sur TP₁.
- Mettre l'inverseur en position stéréo, et régler CV₁ pour obtenir exactement 456 kHz sur le fréquencemètre.
- Connecter le fréquencemètre sur TP₂ et vérifier que l'on mesure bien 38 kHz.
- Vérifier à l'oscilloscope (entrée en DC) sur TP₂ que le signal rectangulaire, à une amplitude d'environ 8V et que les fronts sont bien raides.
- Connecter la sonde de l'oscilloscope en TP₃. On doit observer un signal parfaitement sinusoïdal, dont l'am-



plitude, peu critique, doit se situer autour de 8V C/C. Vérifier au fréquencesmètre que la fréquence est bien de 19 kHz.

- Retirer IC₁ de son support. Placer les cavaliers JP₁ et JP₂ en position "normal", c'est-à-dire en 1 et 2. Connecter le générateur audio simultanément sur les voies G et D (strapper les entrées en parallèle).

- Connecter la sonde de l'oscilloscope en TP₁ (voie gauche) et vérifier que la composante continue n'excède pas quelques mV. Régler le générateur à 1 kHz et 0 dBm, soit 2,2V C/C (vérifier ce niveau à l'oscilloscope) et régler P₁ pour obtenir 2,2V C/C.

- Réduire le niveau du générateur de 10 dB (soit 730mV C/C) et en régler la fréquence à 10 kHz. Vérifier que l'on retrouve environ 2,2V C/C par

l'effet de la préaccentuation. Augmenter progressivement la fréquence du générateur. Le niveau en TP₁ doit continuer à monter jusqu'à environ 15 kHz, puis redescendre progressivement pour atteindre un minimum à 19 kHz, par l'effet de la réjection. Ce minimum doit être au moins cinq fois inférieur au niveau mesuré à 15 kHz (-14dB).

- Effectuer le même réglage sur la voie droite en reprenant les points 7 et 8 et en remplaçant TP₁ par TP₂ et P₁ par P₂.

- Déconnecter le générateur et mettre les entrées G et D en court-circuit.

- Brancher la sonde de l'oscilloscope sur la sortie multiplex du codeur. Régler P₃ pour obtenir un minimum de résidu à 38 kHz (pousser la sensibilité verticale de l'oscilloscope

8 IMPLANTATION DES ELEMENTS.

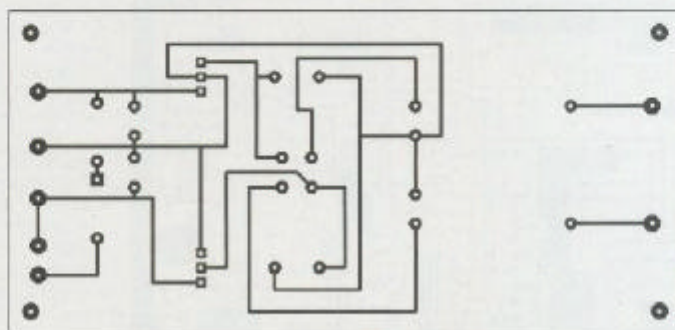
pour une observation plus facile).

- Enlever le court-circuit sur les entrées, et rébrancher le générateur, à 1 kHz et 0 dBm. Si les réglages précédents ont été effectués correctement, on doit observer en sortie multiplex une trace parfaitement fine. Si tel n'est pas le cas, on peut reprendre légèrement le réglage de P₁ ou P₂ (mais pas les deux !), de manière que les deux traces G et D soient confondues.

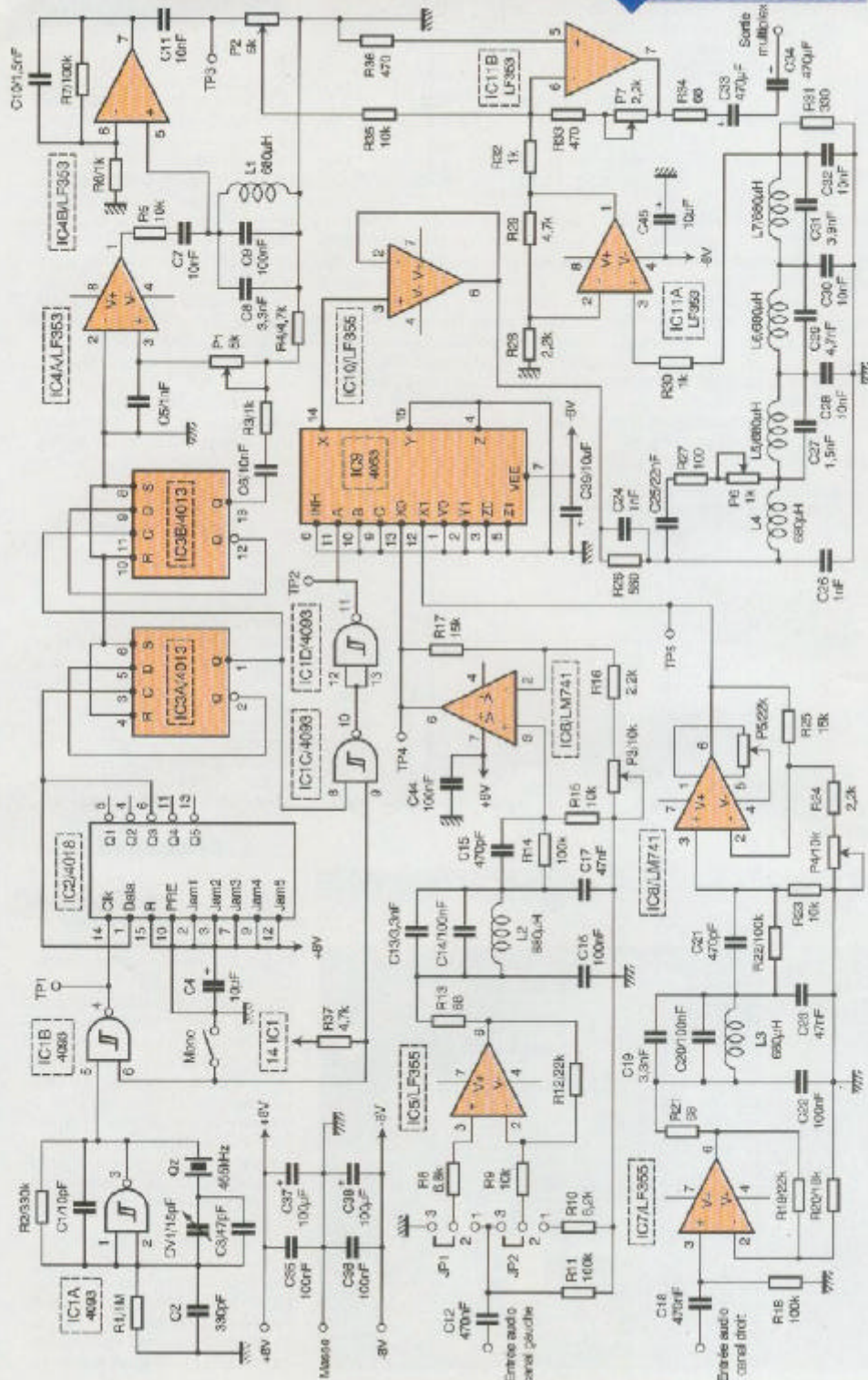
- Régler P₃ pour obtenir l'amplitude de 2,2V C/C en sortie multiplex.

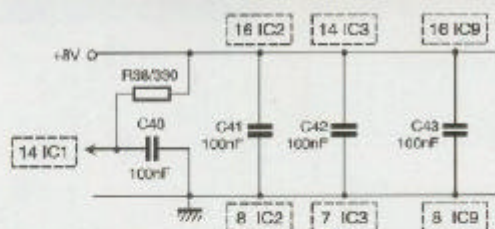
- Déconnecter du générateur l'une des entrées G ou D, et court-circuiter celle-ci.

7 TRACÉ DU CIRCUIT IMPRIMÉ.



SCHEMA DE PRINCIPE



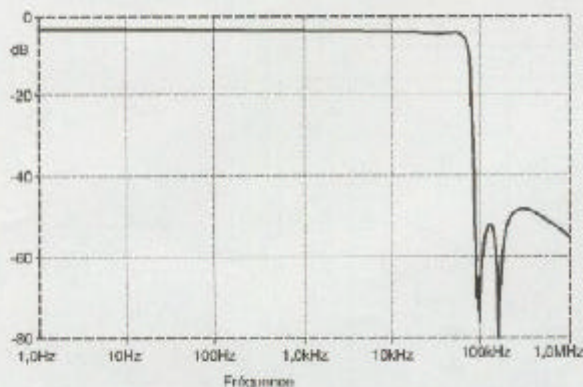


par la constante de temps de la cellule qui l'établit. Sa valeur standard est de 50 μ s en Europe, tandis qu'elle est fixée à 75 μ s aux USA. A la réception, une cellule de désaccoutumance effective l'opération inverse afin de rétablir l'amplitude originale du signal.

Il faut noter au passage que l'émetteur sur lequel sera enregistré ce code stéréo, ne devra pas comporter lui-même de circuit de préaccoutumance. S'il en comporte un, celui-ci

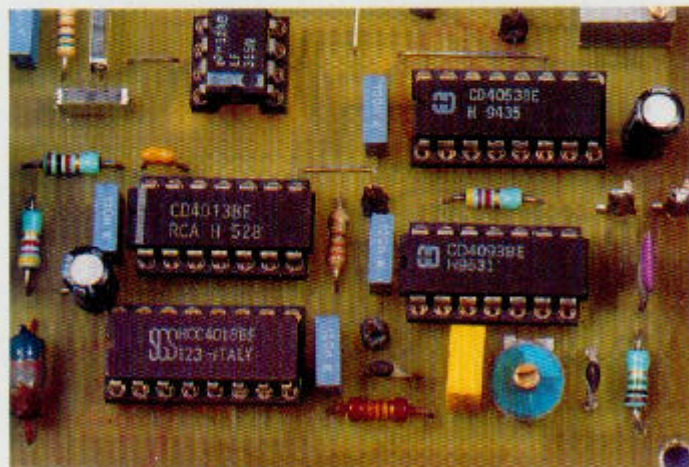
devra impérativement être désactivé. Bien entendu, cet émetteur devra par ailleurs être en mesure de "passer" la bande nécessaire au signal multiplex.

Le signal multiplex en sortie 14 de IC₂ est tamponné par IC₃ avant d'être appliqué au filtre passe-bas, à basse impédance, qui fait suite. Ce filtre est destiné à éliminer les harmoniques dues au multiplexage à 38 kHz, et sa réponse amplitude-fréquence théorique est reproduite sur la **figure 4**.



4 RÉPONSE DU FILTRE PASSE-BAS.

EN JAUNE LE RÉSONATEUR 455KHz.



3b DÉCOUPLAGES ALIMENTATION.

Un filtre actif, de mêmes caractéristiques, à base d'amplis opérationnels, aurait nécessité un plus grand nombre de composants de précision. Le potentiomètre P_1 permet de régler finement le haut de la bande du filtre. Il importe en effet que cette bande soit la plus "plate" possible afin de ne pas introduire de diaphonie entre les voies G et D. L'amplificateur qui suit en compense la perte d'insertion, et applique le signal sur l'étage additionneur. En sortie de celui-ci, dont le gain est réglable à l'aide de P_1 , on dispose bien du signal multiplex comprenant le 19 kHz du pilote.

A l'exception des entrées et de la sortie, toutes les liaisons entre étages sont directes. Cela est rendu possible par l'utilisation d'une alimentation symétrique.

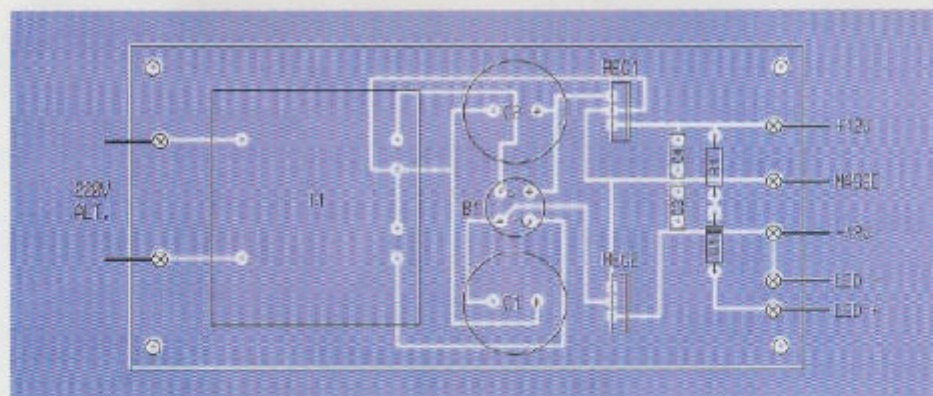
L'alimentation

L'alimentation est réalisée sur un circuit séparé, et n'appelle pas de commentaire particulier. La faible consommation du montage permet de se contenter d'un transformateur de 3 VA, de 0 fois 0V. Les régulateurs utilisés sont d'ailleurs dépourvus de dissipateurs. Le zéner D_1 n'autorise l'allumage de la LED que si les deux sources d'alimentation sont présentes. Le schéma électrique de l'alimentation est visible en **figure 5**.

Réalisation

Il n'y a pas de difficulté à signaler quant à la réalisation des deux circuits. On commencera de préférence par se procurer les composants. En cas de différences physiques (nombre de pas), il sera encore possible de modifier le tracé du circuit imprimé. Il est par contre impératif de respecter au plus près les valeurs des composants, en particulier ceux qui concernent le filtre passe-bas. Si l'on a le bonheur de disposer de lots de composants, et d'un multimètre équipé des fonctions selmètre et capacimètre, on pourra sélectionner avantageusement les valeurs les plus proches.

Comme à l'habitude, il est recommandé de souder d'abord les straps. Les dessins des circuits imprimés sont représentés respectivement sur les **figures 6** et **7**, tandis que l'implantation des composants est visible sur les **figures 8** et **9**. Les



9 IMPLANTATION DES ÉLÉMENTS.

- Synchroniser l'oscilloscope par son entrée de synchronisation externe, en connectant celle-ci sur le générateur, ou, si l'on possède une deuxième sonde, sur TP₃ ou TP₄ selon l'entrée restée branchée sur le générateur.
- Régler le générateur autour de 5 kHz, de façon à visualiser une image stable de l'enveloppe du signal en sortie multiplex.
- Régler P₁ de manière à obtenir la base du signal la plus plate et horizontale possible, comme indiqué sur la **figure 10**. Le rapport entre la crête du signal et celle de l'ondulation résiduelle à la base du signal exprime le taux de diaphonie entre les voies G et D.
- Déconnecter le générateur, et mettre les entrées en court-circuit. Replacer K₄ sur son support. Laisser la sonde de l'oscilloscope branchée sur la sortie multiplex et repasser l'oscilloscope en synchro interne.
- Régler P₁ pour obtenir un signal sinusoïdal à 19 kHz d'environ 200 mV C.C. En effet, il doit exister un rap-

port de 10 entre l'excursion due au signal modulant total et celle due au pilote seul.

- Placer les cavaliers JP₁ et JP₂ en position "réglage", c'est-à-dire en 2 et 3. Ceci permet d'obtenir deux signaux G et D en opposition de phase sans avoir recours à un générateur disposant de deux sorties indépendantes, rare chez l'amateur.

- Reconnecter le générateur sur les deux entrées G et D, synchroniser à nouveau l'oscilloscope en externe et régler le générateur autour de 1 kHz afin de visualiser les points du signal de façon stable.

- Régler la phase du pilote avec P₁ de façon à aligner au mieux les points du signal comme indiqué sur la **figure 11** (en poussant éventuellement la sensibilité verticale de l'oscilloscope pour une observation plus facile).

- Replacer les cavaliers en position "normale". Le codeur est réglé.

Essais

Connecter la sortie multiplex du codeur sur l'entrée de l'émetteur. Mettre sous tension codeur et émetteur, et allumer un récepteur FM (stéréo) accordé sur la fréquence de l'émetteur. En toute rigueur, il conviendrait maintenant de régler le niveau d'entrée de l'émetteur pour obtenir une excursion de 7,5 kHz sans signal sur les entrées du codeur (pilote seul). Il faudrait, pour ce faire, disposer d'un démodulateur-excisomètre ou au moins d'un analyseur de spectre, ce qui n'est pas le lot de tout un chacun ! En pratique, et dans l'enceinte du domicile avec

un émetteur de faible puissance, on peut procéder de la façon suivante :

- Sans signal sur les entrées, augmenter progressivement le niveau d'entrée de l'émetteur, ou à défaut, le niveau de sortie du codeur par P₁ jusqu'à obtenir l'allumage du voyant stéréo sur le récepteur. Continuer à augmenter un peu le niveau au-delà de manière à avoir une petite marge et être sûr que le codeur du récepteur est franchement verrouillé.

- Brancher le générateur à 1 kHz, 0 dBm sur l'entrée gauche du codeur. Vérifier que le son "sort" bien du haut-parleur gauche du récepteur. Si le récepteur dispose de prises de sorties gauche et droite, on pourra connecter l'oscilloscope sur la sortie droite et reprendre légèrement le réglage de P₁ et P₂ sur le codeur afin d'obtenir le minimum de signal.

- Débrancher le générateur de la voie gauche pour le connecter sur la voie droite, et vérifier que c'est bien le haut-parleur droit du récepteur qui est sollicité.

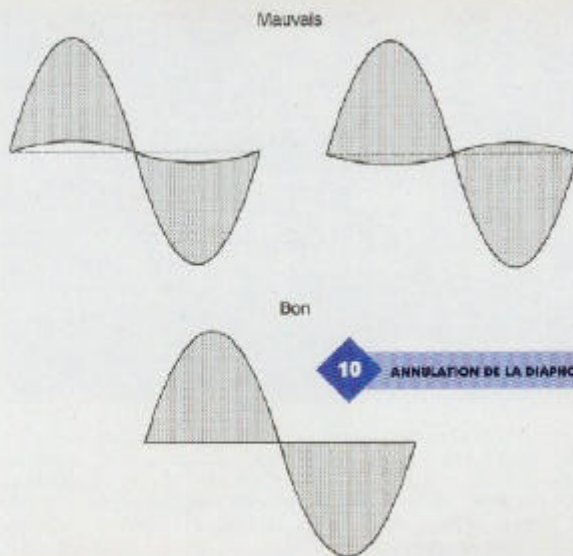
- Basculer l'inverseur du codeur en position mono et vérifier que les deux haut-parleurs du récepteur sont en action et que le voyant stéréo est éteint. À noter qu'en position mono, seule la voie droite du codeur est active.

- On peut maintenant connecter les sources audio dédiées aux voies gauche et droite. Rappelons que l'émission est interdite sans autorisation spéciale et que ces essais ne peuvent être qu'expérimentaux en utilisant un émetteur de très faible puissance.

R. LEBRIN

ALIMENTATION





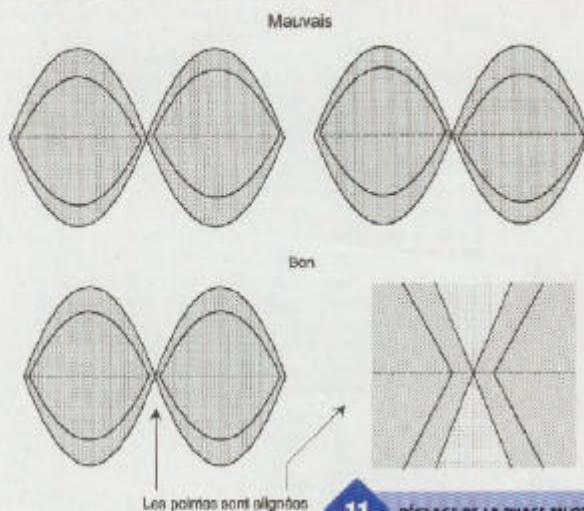
10 ANNULATION DE LA DIAPHONIE

Nomenclature

Carte codeur

R₁ : 1 M Ω (marron, noir, vert)
 R₂ : 330 k Ω (orange, orange, orange)
 R₃, R₄, R₁₀, R₁₈ : 1 k Ω (marron, noir, rouge)
 R₅, R₂₅, R₂₇ : 4,7 k Ω (jaune, violet, rouge)
 R₆, R₉, R₁₅, R₂₁, R₂₅ : 10 k Ω (marron, noir, orange)
 R₇, R₁₁, R₁₆, R₁₈, R₂₂ : 100 k Ω (marron, noir, jaune)
 R₈ : 6,8 k Ω (bleu, gris, rouge)

R₁₀ : 8,2 k Ω (gris, rouge, rouge)
 R₁₈, R₁₉ : 22 k Ω (rouge, rouge, orange)
 R₁₂, R₂₁, R₂₄ : 68 Ω (bleu, gris, noir)
 R₁₆, R₂₀, R₂₂ : 2,2 k Ω (rouge, violet, rouge)
 R₁₇, R₂₃ : 15 k Ω (marron, vert, orange)
 R₂₀ : 18 k Ω (marron, gris, orange)
 R₂₆ : 560 Ω (vert, bleu, marron)
 R₂₇ : 100 Ω (marron, noir, marron)



11 RÉGLAGE DE LA PHASE PILOTE.

R₃₃, R₃₆ : 470 Ω (jaune, violet, marron)
 R₃₁, R₃₈ : 330 Ω (orange, orange, marron)
 C₁ : 10 pF Céramique
 C₄ : 330 pF Céramique
 C₃ : 47 pF Céramique
 C₄, C₁₇, C₂₅ : 10 pF Chimique
 C₅ : 1 nF Céramique
 C₄, C₁₇, C₁₁ : 10 nF Céramique
 C₈, C₁₂, C₁₉ : 3,3 nF MKT 5 %
 C₉, C₁₄, C₁₆, C₂₀, C₂₂ : 100 nF MKT 5 %
 C₁₀ : 1,5 nF Céramique
 C₁₀, C₁₈ : 470 nF Céramique
 C₁₅, C₂₁ : 470 pF Céramique
 C₁₇, C₂₃ : 47 nF MKT 5 %
 C₂₀, C₂₆ : 1 nF MKT 5 %
 C₂₅ : 22 nF Céramique
 C₂₀, C₂₇, C₂₉ : 10 nF MKT 5 %
 C₂₇ : 1,5 nF MKT 5 %
 C₂₉ : 4,7 nF MKT 5 %
 C₃₁ : 3,9 nF MKT 5 %
 C₃₂, C₃₈ : 470 μ F/16V Chimique
 C₃₃, C₃₆, C₃₈ à C₄₄ : 100 nF Céramique
 C₃₇, C₃₉ : 100 μ F/25V Chimique
 P₁, P₂ : 5 k Ω 25t
 P₃, P₄ : 10 k Ω 25t
 P₅ : 20 k Ω 25t
 P₆ : 1 k Ω 25t
 P₇ : 2 k Ω 25t
 IC₁ : 4093
 IC₂ : 4018
 IC₃ : 4013
 IC₄, IC₁₁ : LF353
 IC₅, IC₇, IC₁₀ : LF355
 IC₆, IC₈ : LM741
 IC₉ : 4053
 L₁ à L₇ : 680 μ H (# 6 1:2)
 Q₁ : Résonateur 455 kHz
 ZTB455K
 CV₁ : Ajustable 2/15 pF

Carte alimentation

T₁ : Transfo ERA 2x9V/3,2VA
 B₁ : Pont redr.1A
 C₁, C₂ : 2200 μ F/25V Chimique
 C₃, C₄ : 100 nF Céramique
 Reg₁ : 7808
 Reg₂ : 7908
 R₁ : 220 Ω (rouge, rouge, marron)
 D₁ : BZX55 12V

Divers

LED rouge 5mm
 Interrupteur secteur
 Interrupteur mono
 Cosses type poignard pour CI
 Cordon secteur
 Coffret EB16/05 FA
 Picots à souder
 Cavaliers