

ISSN 0753-7409

LOISIRS ELECTRONIQUES D'AUJOURD'HUI

N° 143

Leed

EN SAVOIR PLUS : LES PRINCIPES

DE BASE DES HAUT-PARLEURS

DÉCODEUR PAL/RVB

TRACEUR DE COURBES POUR TRANSISTORS

L'OCTUOR : BLOC DE PUISSANCE MONO

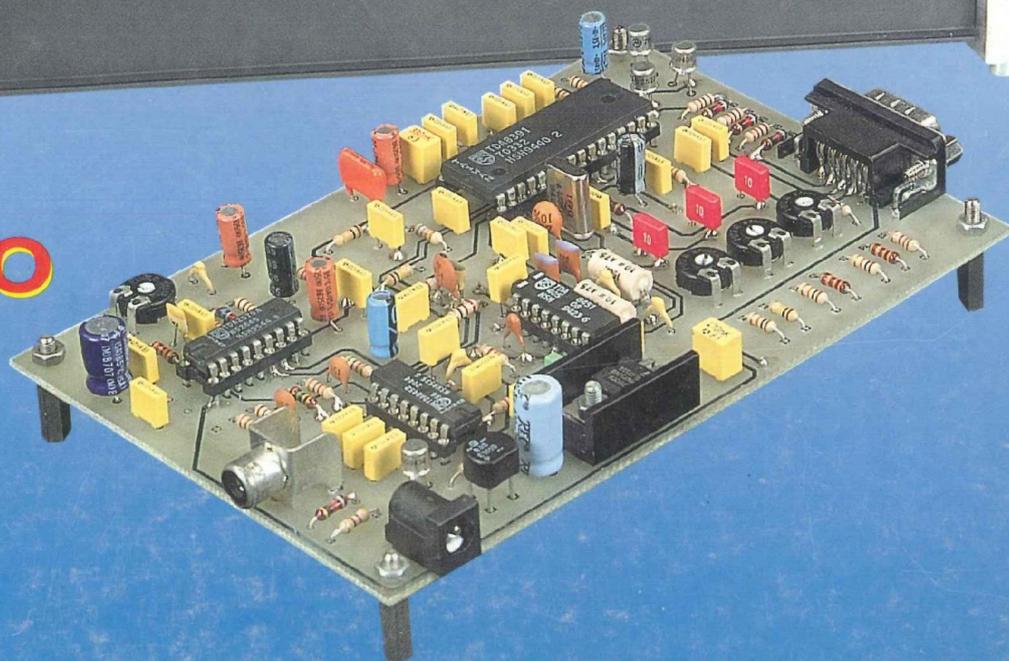
EN QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL 84 : 54 Weff

DE L'AUDIO HAUT DE GAMME



DE LA VIDÉO

DÉCODEUR PAL/RVB



M 1226 - 143 - 28,00 F



BIMESTRIEL SEPTEMBRE / OCTOBRE 1997 / BELGIQUE 204 F.B. / CANADA \$ 4,95

IDD M

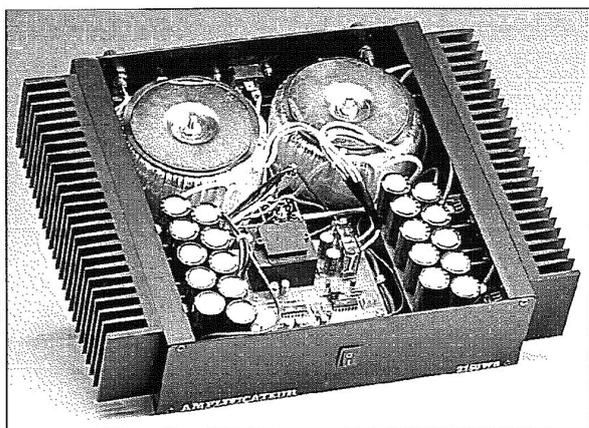
POUR VOS RÉALISATIONS UN CHOIX IMPORTANT DE TRANSFORMATEURS TORIQUES - COFFRETS - DISSIPATEURS

* Transformateurs toriques
Puissance de sortie de 15 VA à 500 VA
(jusqu'à 1000 VA sur commande)

* Transformateurs moulés
Puissance de sortie de 1,5 VA à 20 VA

* Coffrets
Série TM 85-55-80
Série PR - Hi-Fi
Série LC

* Dissipateurs
de 17,5 °C / W à 0,5 °C / W
Nombreuses références en stock

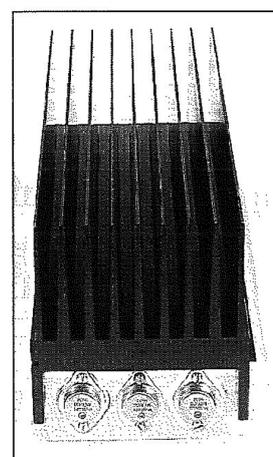
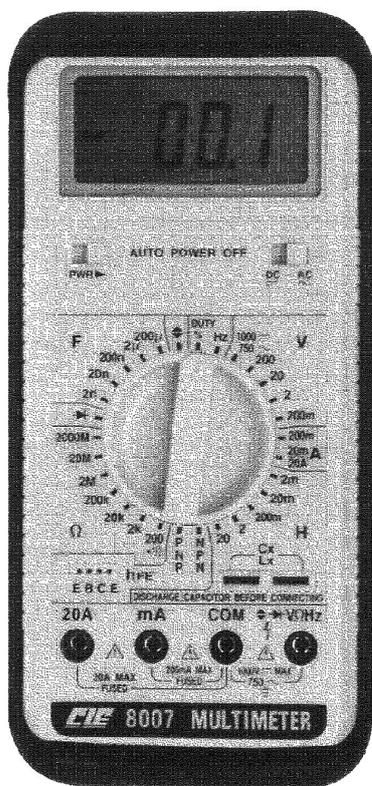


NOS APPAREILS DE MESURE

Modèle 8007

1 Pont RLC + 1 Multimètre
Le tout dans le même BOITIER
12 Fonctions 39 Calibres
3 1/2 Digits. 1000 VCC. 750 VAC
20 A CC et CA Fusibles mA et 20 A
Résistances jusqu'à 2000 MΩ
Capacités de 2 nF à 20 μF
Inductances de 2 mH à 20 H
Fréquencemètre jusqu'à 20 MHz
Test de continuité, de Diodes, de Transistors
Gaine de protection, Arrêt automatique

PRIX = 649 F TTC



LES MULTIMÈTRES -
PINCES
AMPÈREMÉTRIQUES -
SONOMÈTRES -
GÉNÉRATEURS -
FRÉQUENCÈMÈTRES -
THERMOMÈTRES, etc...



Je souhaite recevoir une documentation sur :

- Les transformateurs
- Les coffrets
- Les dissipateurs
- Les appareils de mesure

Expédition contre 3 timbres à 3,00 F

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code Postal : Ville :

(Ecrivez lisiblement en majuscules)

Pour nous joindre :

par téléphone au : 01 39 54 59 59

par télécopie au : 01 39 54 48 90

par courrier au : 30 rue Moxouris

78150 Le Chesnay France

Led

Société éditrice :
Editions Périodes
Siège social :
1, bd Ney, 75018 Paris

SARL au capital de 51 000 F
Directeur de la publication :
Bernard Duval

LED

Mensuel : 28 F
Commission paritaire : 64949
Locataire-gérant des
Editions Fréquences

Tous droits de reproduction réservés
textes et photos pour tous pays
LED est une marque déposée
ISSN 0753-7409

Services Rédaction-**Abonnements :**

(1) 44.65.80.88 poste 7314
1 bd Ney, 75018 Paris
(Ouvert de 9 h à 12 h 30
et de 13 h 30 à 18 h
Vendredi : 17 h)

Ont collaboré à ce numéro :

Bernard Dalstein
Bernard Duval
Georges Matoré

Abonnements

6 numéros par an :
France : 125 F
Etranger : 175 F
(Ajouter 50 F pour les expéditions
par avion)

Publicité

Régie publicitaire EGC
17 rue Paul Séramy
77300 FONTAINEBLEAU
Tél : 60 72 25 11
FAX : 60 74 05 33
M. Vincent MIAUX

Réalisation

- PV Editions
Photogravure
Sociétés PRS et PCS
Impression
Berger Levraut - Toul
Photos
Antonio Delfin

4**EN SAVOIR PLUS SUR :
LES PRINCIPES DES
HAUT-PARLEURS**

M. Matoré nous fait accomplir un tour d'horizon des principes de base ayant conduit à l'élaboration des haut-parleurs, ces appareils que nous utilisons tous les jours, sans jamais avoir une pensée à l'adresse de tous les chercheurs qui, par leur inestimable travail, ont contribué et contribuent toujours à faire en sorte que nous puissions reproduire le son de mieux en mieux.

taliseur vidéo présenté dans cette même revue, il peut assurer l'acquisition des images couleurs en une seule passe (sans passer par les filtres de couleur Rouge, Vert et Bleu).

32**TRACEUR DE COURBES
POUR TRANSISTORS
NPN/PNP**

Quiconque a un jour monté un amplificateur Hi-Fi à transistors s'est heurté au problème de l'appariage des transistors de l'étage d'entrée. Les revues spécialisées recommandent de le faire au Beta-mètre, mieux encore avec un traceur de courbes.

EL84. Nous l'avons donc «bichonné» pour en tirer des performances maximales et exceptionnelles, autant statiques que dynamiques. Ainsi la mise sous tension de l'appareil n'est absolument pas trahie par l'enceinte qui ne ronfle pas, pas plus qu'elle ne souffle, c'est le silence total.

Sa puissance de sortie de plus de 50 Weff permet d'y raccorder une enceinte à faible ou haut rendement.

L'OCTUOR possède un tonus époustouffant avec un grave ferme et puissant (nous descendons à 15 Hz !). Son médium/aigu est très précis, aéré, naturel, faisant apparaître une multitude de micro-informations à l'écoute.

16**DÉCODEUR PAL/RVB**

Ce décodeur PAL/RVB relativement compact ne nécessite aucune mise au point délicate, tous les réglages se font à l'œil, devant l'écran d'un téléviseur !

Les débouchés sont multiples : il peut tout simplement permettre de relier un magnétoscope PAL à un téléviseur qui ne reconnaît que le standard SECAM. Associé au digi-

36**BLOC AMPLI MONO DE
54 Weff / 4-8-16 Ω
QUADRUPLE PUSH-PULL
D'EL84**

L'OCTUOR sera la dernière réalisation proposée dans la série des amplificateurs de puissance à tubes

**SERVICE CIRCUITS
IMPRIMÉS**

Il permet aux lecteurs d'obtenir des circuits imprimés en verre époxy, avec cuivre étamé, en versions percées ou non percées (une remise de 25 % est consentie aux abonnés).

Les gravures se faisant à réception de commande, les circuits imprimés des précédents numéros sont donc toujours disponibles.

DROITS D'AUTEUR

Les circuits, dessins, procédés et techniques publiés par les auteurs dans Led sont et restent leur propriété. L'exploitation commerciale ou industrielle de tout ou partie de ceux-ci, la reproduction des circuits ou la formation de kits partiels ou complets, voire de produits montés, nécessitent leur accord écrit et sont soumis aux droits d'auteur. Les contrevenants s'exposent à des poursuites judiciaires avec dommages-intérêts.

Nous vous invitons à un tour d'horizon des principes structurels et fonctionnels de ces appareils qui, installés en sortie d'une chaîne amplificatrice audiofréquence, procèdent à la restitution du son.

Le haut-parleur étant une extrapolation de l'écouteur téléphonique, son invention se confond avec celle du téléphone.

Voyons donc comment est né le téléphone...

Ecossais d'origine, né à Edimbourg en 1847, Alexander Graham Bell fait dans cette ville ses études supérieures de médecine, il reçoit son diplôme de «Doctor of Medicine» à l'âge de 23 ans. En 1872 il se voit attribuer, à l'Université de Boston, la chaire de «Physiologie Vocale» et prend alors la nationalité américaine.

Il consacre plusieurs années d'un travail de recherche à la réalisation d'un dispositif destiné à visualiser les vibrations sonores, à l'usage des mal entendants, plus banalement appelés sourds, autrefois...

Bell imagine un moyen de transmettre le son à distance, il invente le téléphone, qu'il présente en 1876...

Voyons en le principe, schématisé par la figure 1.

Une languette métallique, ferreuse, est disposée entre un bobinage et un aimant, elle subit l'influence magnétique de l'aimant.

Les couches d'air environnant la languette exercent sur cette dernière une pression variant au rythme du son qu'elles véhiculent.

La languette entre en vibration, son mouvement mécanique étant la traduction du phénomène acoustique...

L'action magnétique de l'aimant sur le bobinage se trouve modifiée par le mouvement de la languette métallique, selon

la loi de variation du son, imposée à la languette.

Résultant de la variation du flux magnétique, un signal électrique prend naissance chez le bobinage, aux bornes duquel il se trouve disponible.

Ce signal est la traduction du son faisant vibrer la languette métallique.

Le montage dont nous venons de démontrer le mécanisme transforme l'énergie acoustique en énergie mécanique, puis il transforme l'énergie mécanique développée en énergie électrique. Ce montage est par conséquent un transducteur d'énergie...

Le signal électrique obtenu est injecté dans le bobinage d'un montage absolument identique au précédent (partie droite du schéma de la figure 1).

Le signal engendre chez ce bobinage un champ électromagnétique, dont la grandeur varie selon la loi de variation du signal injecté, en se conjuguant avec le champ magnétique de l'aimant.

La languette métallique (ferreuse) du système, soumise à la résultante magnétique, entre en vibration, son mouvement mécanique obéissant à la loi de variation du signal parcourant le bobinage, signal provenant du premier montage et qui est la traduction du son faisant vibrer la languette du premier montage, l'émetteur...

La languette du second montage, le récepteur, impose aux couches d'air qui l'environnent le mouvement mécanique qui est la réplique de celui de la languette du montage émetteur.

L'appareil de Bell transmet le son (et aussi la parole !) dans les deux sens.

Le récepteur ... «parle haut».

Certains ne manqueront pas de remar-

quer que le terme de langue anglaise bell signifie cloche, clochette, grelot, sonnaïlle, timbre, etc.

Fort curieusement, telephone bell est la sonnerie du téléphone de Bell...

Pour situer l'invention du téléphone dans le déroulement de l'histoire, nous précisons que la communication à distance par courant électrique était déjà une réalité à l'époque de Bell, sous la forme du télégraphe (par fil conducteur), aboutissement des travaux du français Ampère (1820), du britannique Wheatstone (1838), de l'américain Morse (1843)...

Vous connaissez tous ces grands noms ! Au temps de Bell, pour l'homme de la rue la science était devenue, par ses découvertes et ses prouesses, capable d'expliquer tous les phénomènes, elle était aussi le puissant vecteur entraînant l'industrialisation dans son essor.

La transmission à distance de la parole était par conséquent un des nombreux objectifs qui devaient être atteints un jour ou l'autre...

Le français Charles Bourseul (1854) et l'allemand Reiss (1861) avaient énoncé les principes de ce qui serait le téléphone, mais ils n'eurent pas le temps, ni les moyens de concrétiser leurs projets.

Sachons respecter les mérites de ces chercheurs dont l'histoire n'a pas retenu les noms !

Graham Bell, lui, réussit...

Fin 1877 l'allemand Wermer, de la firme Siemens (un nom qui vous dit quelque chose !), dépose un brevet d'invention pour un haut-parleur à membrane mobile.

Au début de la radiotélégraphie, la télégraphie par ondes hertziennes, appelée populairement chez nous la T.S.F. (Télégraphie Sans Fil) et Wireless (sans fil) en langue anglaise, l'écoute des messages, rédigés en Morse (points et traits), se faisait au casque.

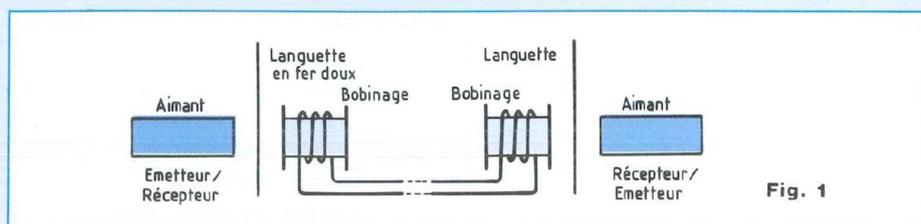


Fig. 1

Pour les amateurs de technologie nous indiquerons que les casques étaient constitués de deux écouteurs de téléphone, à haute impédance (plusieurs milliers d'ohms), disposés en série...

En 1920, en Angleterre, la Marconi Company commence ses véritables émissions radiodiffusées quotidiennes.

Ces émissions sont suivies, au casque, par 300 auditeurs disposant d'un poste à galène !

Il faut savoir que l'impédance sortie des systèmes était fort basse et la technique de l'amplification, par «lampe radio», n'était pas encore généralisée !

Rapidement toutefois la «détectrice à réaction» et la «lampe amplificatrice» permettaient l'écoute des émissions par plusieurs personnes à la fois, grâce au haut-parleur.

Les haut-parleurs du début étaient constitués d'un gros écouteur téléphonique, dont la membrane se tenait devant l'entrée d'un pavillon, lequel semblait fort curieusement inspiré de ceux équipant les phonographes à cylindre !

La technique évoluait, vite...

En 1922 les français Gaumont et Huguenard présentaient plusieurs modèles de haut-parleurs électrodynamiques, ils brevetaient leur invention...

Dès 1925 la société américaine Western Electric nous envoyait «sa» production, laquelle connaissait un énorme succès.

Nous retrouvons chez le haut-parleur classique d'aujourd'hui, de grande série, les principes structurels et fonctionnels de ceux de Gaumont et Huguenard...

Mais n'allez surtout pas en déduire que la technologie a stagné, de nombreuses conceptions ont vu le jour, qui ont connu en leur temps des succès divers.

Nous ferons la connaissance du haut-parleur à ruban, du haut-parleur ionique, du haut-parleur électrostatique...

Le jour où l'électronique a su élargir l'espace des enregistrements sur disques en vinyle (les 33 tours, souvenez-vous !) et maîtriser la courbe de réponse des amplificateurs à tubes, la Haute Fidélité était née, qui allait s'appeler plus simplement la Hi-Fi...

Nous devons reconnaître que l'évolution des haut-parleurs est intimement liée à celle de la Hi-Fi.

Nombreux sont les constructeurs qui partirent à la conquête du marché, vantant les mérites de leurs amplificateurs audio-fréquence «passant» de 20 hertz à 100 000 hertz, cependant que le client même peu averti sait bien que son oreille «ne monte pas» au-dessus de 15 à 18 000 Hz !

Les constructeurs enfermèrent les haut-parleurs dans des enceintes acoustiques mal accueillies par les maîtresses de maison, lesquelles trouvaient franchement inesthétiques ces énormes caisses, au demeurant plutôt inutiles, qui venaient encombrer leur salle de séjour et faisaient beaucoup trop de bruit à leur goût...

Mais la Haute Fidélité s'imposait, qui faisait de plus en plus d'adeptes, sa clientèle se montrait de plus en plus exigeante et l'éducation musicale allait son chemin, faisant découvrir Mozart... qui n'avait

Les principes des haut-parleurs

jamais été autant joué auparavant !

La connaissance scientifique, dans toute sa rigueur, fut introduite en profondeur dans la réalisation des haut-parleurs et des enceintes acoustiques, des formules mathématiques s'énonçaient, c'était maintenant la quantification dans l'électro-mécano-acoustique, cette technique évoluant avec l'apparition de matériaux nouveaux.

Des progrès vraiment remarquables ont été accomplis dans tous ces domaines, à la recherche de la meilleure reproduction des sons...

Cependant, si l'électronique domine parfaitement la fonction amplificatrice en Hi-Fi, il faut bien se dire que la physique sera toujours incapable, même par la mesure la plus sophistiquée, de décrire et évaluer les impressions sensorielles auditives (tout comme les autres impressions sensorielles d'ailleurs !), pas plus qu'elle ne saura jamais prévoir avec certitude le rendu d'un système de reproduction du son dans un environnement...

LA TRANSDUCTION

En dernier ressort, le travail du haut-parleur consiste à imprimer aux couches d'air environnantes le mouvement qui est l'image d'un signal électrique, lui-même image du son à reproduire.

Revenons à l'écouteur téléphonique de Bell !

Cet appareil est un transducteur, qui convertit d'abord l'énergie électrique, le signal entrée, en énergie mécanique, il fait vibrer la languette, ce en quoi il est un moteur électrique.

Ensuite il convertit l'énergie mécanique en énergie acoustique, la languette imprimant son mouvement aux couches d'air voisines, il est de ce fait un convertisseur d'énergie mécano-acoustique.

Si la conversion d'énergie mécanique en

énergie acoustique se montre nécessaire, voire incontournable, pour la restitution du son, elle est toujours précédée par la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, sauf chez le haut-parleur ionique, lequel est le seul à effectuer directement la conversion d'énergie électrique en énergie acoustique, nous verrons cela...

Chez les haut-parleurs qui sont le siège des deux conversions successives d'énergie, le dispositif assumant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique est appelé tout simplement le moteur, ne vous en montrez donc pas surpris !

Le moyen le plus évident et aussi le plus simple dont l'idée vient à l'esprit, pour imprimer le mouvement aux couches d'air, est de faire actionner une membrane par un moteur fonctionnant sur le principe électromagnétique de l'écouteur téléphonique de Bell.

Immédiatement nous déduisons que le niveau sonore obtenu à la reproduction du son sera étroitement lié à la puissance développée...

Nous déduisons également que si nous désirons reproduire des sons graves la surface de la membrane devra être grande...

Nous savons très bien en effet qu'une lame (ou corde) vibrante (en état de vibration !) émet un son d'autant plus grave qu'elle est longue.

La note du bourdon (cloche) est beaucoup plus grave que celle de la clochette, le son du piccolo est beaucoup plus aigu que celui de la flûte traversière...

Parallèlement, les phénomènes sont intimement associés, les dimensions du local d'écoute et la nature de ses parois auront une profonde influence sur la qualité du son restitué, le rendu des graves sera sérieusement altéré si le local est trop petit...

Il ne faut jamais demander à un contrebassiste de se produire dans une chambre de bonne !

Passons maintenant, si vous le voulez bien, au premier principe de haut-parleur, celui du...

HAUT-PARLEUR À ARMATURE SIMPLE

La figure 2 nous présente son schéma structurel simplifié.

Précisons que, pour la commodité, le dessin n'est pas à échelle, en particulier pour ce qui est de la représentation de la membrane !

Nous retrouvons bien là le principe de l'écouteur téléphonique de Bell...

L'armature correspond à la languette de l'écouteur, elle est maintenue tout près de l'entrefer d'un circuit magnétique et porte la membrane qui va imprimer son mouvement aux couches d'air.

Le circuit magnétique est constitué d'un aimant en U associé à deux pièces polaires biseautées, le flux magnétique se boucle en passant par l'armature.

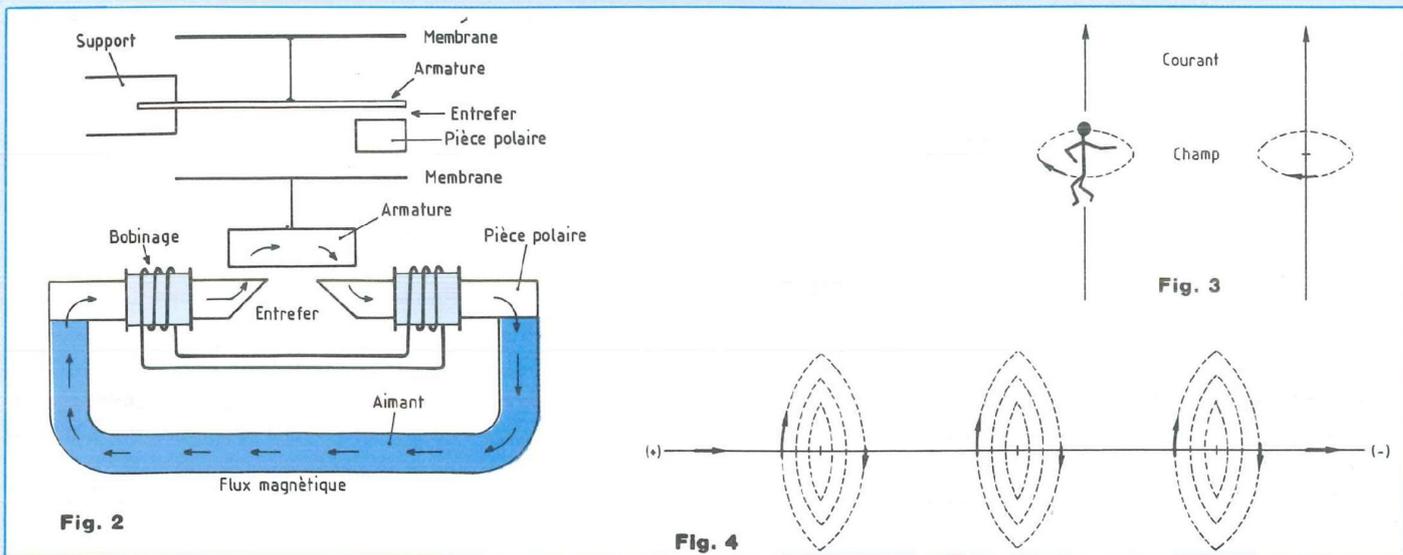
Le signal est injecté dans deux bobinages disposés en série, schématisés dans leur plus simple expression.

Les enroulements de ces bobinages sont réalisés de façon que les champs électromagnétiques développés chez les bobinages soient orientés complémentairement, au lieu de s'opposer et de s'annuler.

Revoyons rapidement, à cette occasion, le phénomène électromagnétique engendré par le passage d'un courant dans un conducteur.

Remontons dans le passé...

En 1819, le danois Hans Christian Oersted ayant approché une boussole d'un fil de cuivre dans lequel passait le courant électrique fourni par une pile, constatait que l'aiguille de la boussole



changeait d'orientation, cependant que la déviation cessait lorsque le transit du courant était interrompu...

Cette observation, toute simple, allait être la base, le point de départ de notre actuelle électrotechnique !

Oersted déduisait que le fil parcouru par le courant électrique produisait un champ magnétique analogue à celui d'un aimant, puisque l'aiguille de la boussole changeait de direction, tout comme si un aimant était approché de l'instrument !

Le fil étant en cuivre, métal non magnétique, indifférent à l'action exercée sur lui par un aimant, la déviation de l'aiguille de la boussole ne pouvait pertinemment provenir du fil.

Cette déviation ne se produisant que lors du passage du courant, c'était donc le courant lui-même qui engendrait un champ magnétique...

Ne jugeons pas banal, mais apprécions l'esprit critique, d'observation et la rigueur dans la simplicité du raisonnement d'Oersted !

Aujourd'hui nous savons que le déplacement d'une charge électrique transforme

une partie de l'énergie électrique en énergie magnétique.

Un courant électrique est un déplacement, un transfert de charges électriques, d'électrons et de lacunes.

Plus l'intensité du courant est forte, plus le champ électromagnétique engendré par lui est important...

Il est un moyen simple et amusant de connaître l'orientation du champ électromagnétique (que nous ne voyons pas !), il suffit de poser la question au «bonhomme d'Ampère», nous devons le procédé à l'illustre Ampère lui-même!

Le courant entrant par les pieds et sortant par la tête de l'observateur (figure 3) engendre un champ magnétique circulaire perpendiculaire au sens de passage du courant, partant de l'extrémité du bras gauche tendu et passant devant l'observateur.

Le champ électromagnétique régnant autour d'un conducteur transisant le courant est constitué de couches concentriques, symbolisées par le schéma de la figure 4.

Si nous formons une boucle avec le fil

conducteur, le champ électromagnétique produit va entourer le fil, de la façon que nous montre la figure 5.

Un fil conducteur enroulé constitue une succession ininterrompue de spires, un bobinage, un solénoïde, engendrant le champ électromagnétique dont la figure 6 schématise le profil.

En d'autres termes nous dirons que le courant électrique passant dans un solénoïde engendre un champ électromagnétique ayant les mêmes propriétés qu'un champ magnétique naturel...

Revenons au montage schématisé par la figure 2.

L'écartement entre l'armature et les pièces polaires est réglable par un dispositif à vis, avec système de blocage, pour conserver solidement verrouillée la position de réglage, le dispositif n'est pas représenté sur le dessin.

Réfléchissons !

L'armature est attirée par le champ électromagnétique développé dans le circuit, mais elle ne doit pas être gênée dans son mouvement vibratoire.

Il ne faut pas qu'elle vienne buter, battre

Les principes des haut-parleurs

contre les pièces polaires, ce qui limiterait son déplacement.

Il ne faut pas non plus qu'elle soit «hap-pée» et retenue «collée», immobilisée par les pièces polaires qui l'attirent, lorsqu'elle atteint l'écartement maximal de sa position de repos.

Tout cela est évident, non ?

Or nous savons que la force d'attraction exercée par un système magnétique (ou électromagnétique !) sur un corps métallique (ferreux) varie selon le carré de l'inverse de la distance séparant le système du corps attiré...

Ce phénomène est naturellement présent chez le dispositif considéré, la force d'attraction électromagnétique exercée sur l'armature grandit avec le rapprochement de l'armature, mais elle croît «paraboliquement», selon le carré du rapprochement !

C'est dire que la force d'attraction de l'armature est bien loin de suivre linéairement la forme et l'amplitude du signal d'activation, ce qui se traduit par une distorsion du son reproduit.

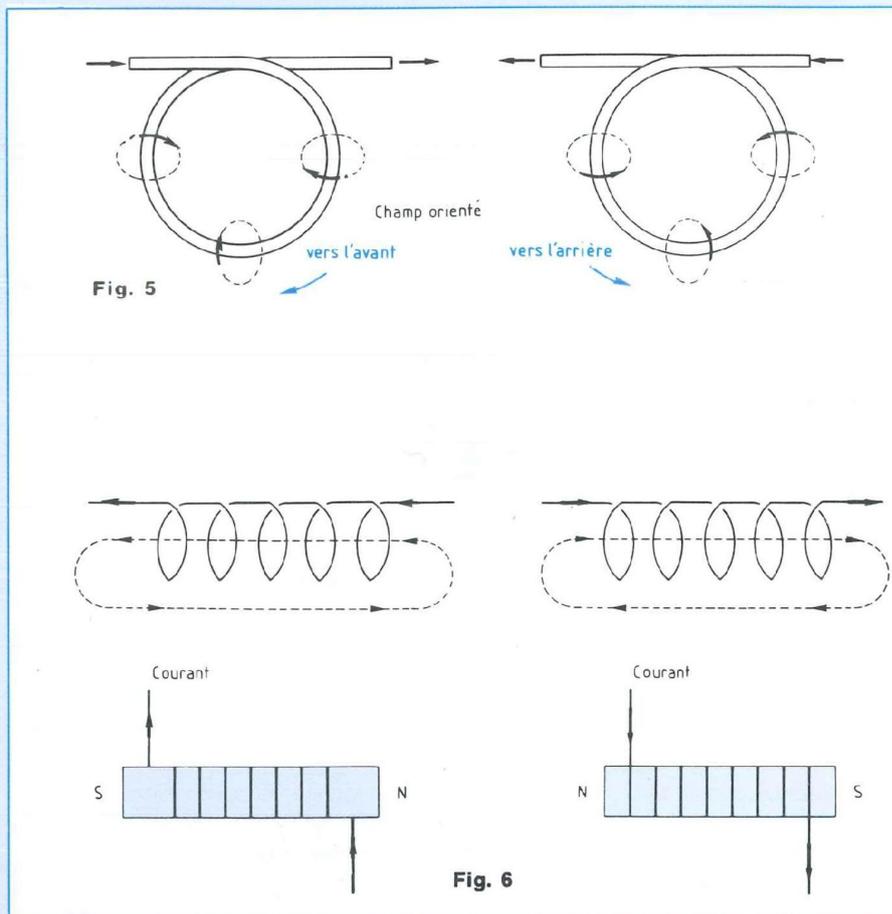
Le phénomène est inhérent au principe même, il est inévitable, incontournable et nous ne pouvons qu'atténuer ses effets.

Le remède consiste à incliner l'armature par rapport aux pièces polaires, comme le montre le dessin reproduit en figure 7. Réfléchissons !

L'action de levier exercée sur l'armature est proportionnelle à la longueur (l) de l'armature et à la force d'attraction (F), mais inversement proportionnelle au carré de la distance (d) entre l'armature et la pièce polaire :

$$l \cdot F / d^2$$

L'action exercée en extrémité B de l'armature est par conséquent plus importante que celle s'exerçant en A, il convient d'éloigner «B» de la pièce polaire plus



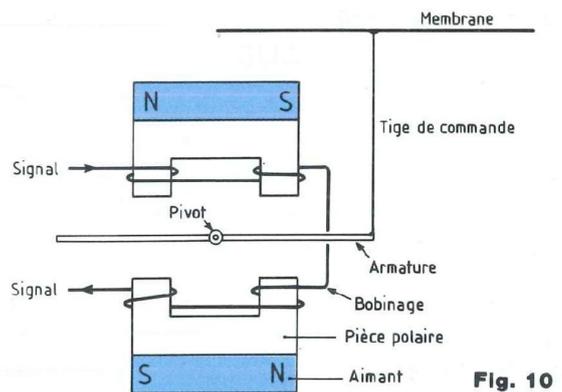
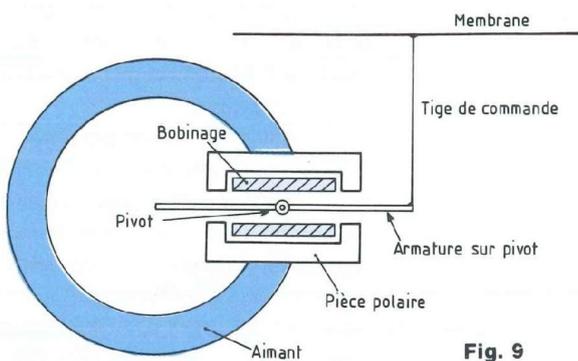
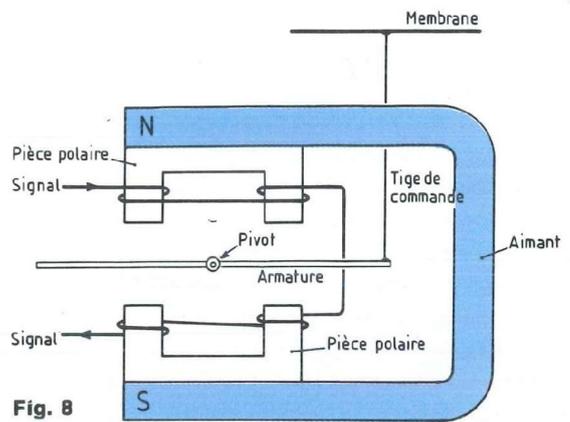
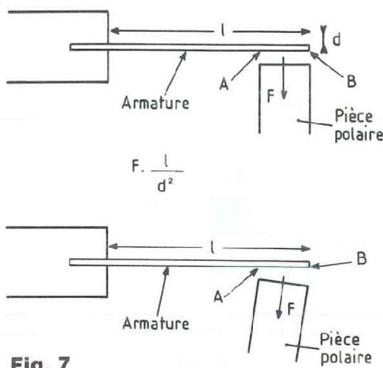
que nous en éloignons «A». Pour ce faire il suffit d'incliner l'armature par rapport à la pièce polaire... Il va sans dire que le réglage est quelque peu délicat, disons même critique, mais les résultats sont probants ! Nous venons de considérer les phénomènes physiques dont le haut-parleur à armature simple est le siège. Nous avons vu de quels inconvénients était affecté le principe même de ce type de haut-parleur, nous en avons compris le pourquoi et nous avons vu comment remède leur avait été apporté. Des progrès s'accomplissaient, qui conduisaient à l'élaboration du...

HAUT-PARLEUR À ARMATURE ÉQUILIBRÉE

Reportons-nous au schéma reproduit par la figure 8.

Précisons que, là encore, pour la commodité, le dessin n'est pas à l'échelle ! Nous rencontrons un aimant en U, de bonnes dimensions, dont les branches sont porteuses chacune d'une pièce polaire au profil particulier.

Les pièces polaires reçoivent un bobinage dont l'enroulement est astucieusement conditionné, afin que les actions électromagnétiques engendrées par le



passage du (même) courant dans les bobinages s'additionnent au lieu de s'annuler. Lorsqu'un bobinage «pousse» (en anglais push), le bobinage en regard «tire» (en anglais pull), c'est le principe appelé push-pull...

Nous connaissons très bien les avantages du montage push-pull, lequel permet, en composant des forces agissantes, de développer des puissances importantes.

Nous devons préciser que chez le montage dont nous étudions présentement le fonctionnement, l'armature, réalisée en fer doux, est montée sur un pivot positionné dans l'axe du dispositif électromagnétique, le mouvement de l'armature est transmis à la membrane (légère) par une tige (légère).

Chez l'écouteur dont la figure 9 représente le principe structurel, deux pièces polaires en U sont fixées sur les extrémités d'un aimant en forme de fer à cheval. La cavité formée enferme le bobinage, constitué d'un seul enroulement, à l'intérieur duquel évolue l'armature métallique, montée sur pivot.

L'armature commande le mouvement de la membrane, confectionnée à l'époque en mica, pour la légèreté. Ce dispositif, inventé par Baldwin, a connu en son temps beaucoup de succès...

Réfléchissons ! Chez tous les systèmes comportant une armature disposée entre les pièces polaires associées à un aimant, l'armature, en l'absence de signal d'activation développé chez le bobinage, subit une attraction permanente orientée d'un côté, de la part des pièces polaires.

Ces systèmes exigent des ressorts de compensation et ... un réglage pas très facile à effectuer ! C'est pourquoi il a été imaginé de mettre en œuvre deux aimants associés chacun à une pièce polaire, comme le montre le schéma reproduit par la figure 10.

cès...

Réfléchissons !

Chez tous les systèmes comportant une armature disposée entre les pièces polaires associées à un aimant, l'armature, en l'absence de signal d'activation développé chez le bobinage, subit une attraction permanente orientée d'un côté, de la part des pièces polaires.

Ces systèmes exigent des ressorts de compensation et ... un réglage pas très facile à effectuer !

C'est pourquoi il a été imaginé de mettre en œuvre deux aimants associés chacun à une pièce polaire, comme le montre le schéma reproduit par la figure 10.

Les principes des haut-parleurs

Une telle disposition des éléments constitutifs conduit à une atténuation très efficace du déséquilibre résultant de l'attraction par les pièces polaires.

Ce principe a été retenu pour la construction de nombreux casques d'écoute, puis de haut-parleurs, chez lesquels la membrane était disposée devant l'entrée d'un pavillon.

Mais disons que si la qualité obtenue à la restitution du son devient très supérieure à celle recueillie avec le système à armature simple, la puissance sonore demeure toutefois moyenne...

HAUT-PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE

Nous vous avons dit tout à l'heure que l'invention du haut-parleur à membrane mobile solidaire d'une bobine, que nous devons à nos compatriotes Gaumont et Huguenard, avait été déterminante, qu'elle avait surtout connu (chez nous ...) un énorme succès technique et financier (!) lors de son retour des U.S.A.

Rappelons-en brièvement le principe !

Une membrane mobile est solidaire d'un bobinage dont l'axe lui est perpendiculaire (figure 11).

Le bobinage peut se déplacer longitudinalement, sur son axe.

Le signal d'activation est injecté dans le bobinage, il engendre chez lui un champ électromagnétique, dont le profil est à l'image du signal.

Le bobinage se comporte par conséquent à la façon d'un aimant, dont le champ magnétique est variable, au rythme du signal, mais ce «faux aimant» peut se déplacer sur son axe.

Soumis à l'action du champ magnétique permanent d'un aimant qui, lui, est fixe, le «bobinage-aimant» est attiré ou repoussé par l'aimant permanent, selon la loi de variation du signal d'activation.

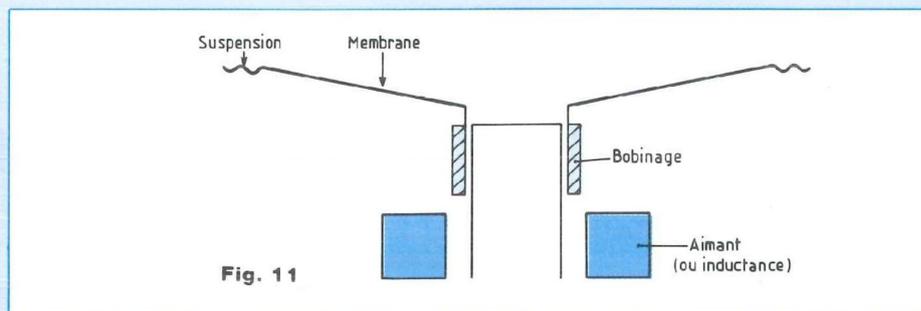


Fig. 11

Le bobinage, mobile, se déplace sur son axe à la façon d'un piston, en imposant son mouvement à la membrane dont il est solidaire.

Finalement, la membrane imprime son mouvement aux couches d'air environnantes, le son est ainsi reproduit...

Si l'apparition de matériaux nouveaux a considérablement développé les performances du haut-parleur électrodynamique, elle n'a absolument rien changé à son principe !

Voyons plutôt, par un petit rappel de l'évolution de la technologie...

Pour leur fonctionnement les tubes électroniques exigent des tensions d'alimentation beaucoup plus élevées que celles demandées par nos montages à transistors d'aujourd'hui.

Voilà pourquoi il était autrefois tout à fait classique de rencontrer, chez un récepteur radio, un volumineux (et lourd !) transformateur, dont un enroulement secondaire délivrait les 2 x 250, ou 2 x 300 volts nécessaires pour produire la tension d'alimentation redressée-filtrée demandée par les anodes des tubes électroniques, tension classiquement de grandeur 250 volts.

Le même transformateur possédait un enroulement secondaire délivrant une tension de 6,3 volts, destiné au chauffage des filaments des cathodes des «lampes» et un enroulement spécial délivrant une tension de 5 volts, pour le

chauffage du filament du tube redresseur de l'alimentation, la «valve à deux plaques», pour le redressement double-alternance de la tension secteur.

Au temps où n'existaient pas les redresseurs secs au sélénium et encore moins ceux au silicium, la valve 5 Y3 GB a connu ses heures de gloire, certains doivent se souvenir...

Le courant pulsé disponible après redressement était traité par une cellule de filtrage composée de deux condensateurs électrochimiques et une inductance, appelée communément «self de filtrage», un bobinage confectionné sur tôles magnétiques, à la façon des transformateurs.

Il faut se dire que la technologie de l'époque héroïque ne savait pas encore produire d'aimants permanents réellement ... permanents, nous voulons dire qui conservaient durablement leur activité magnétique initiale.

Traversée par le courant pulsé issu du redressement, l'inductance de filtrage développait un champ électromagnétique continu, à très faible ondulation résiduelle et ce champ pouvait être substitué à celui du nécessaire aimant permanent du haut-parleur.

Il était donc tout naturel de disposer dans le haut-parleur l'inévitable inductance de filtrage, au lieu et place de l'aimant.

Ce procédé alourdissait considérablement le haut-parleur et ne conduisait pas,

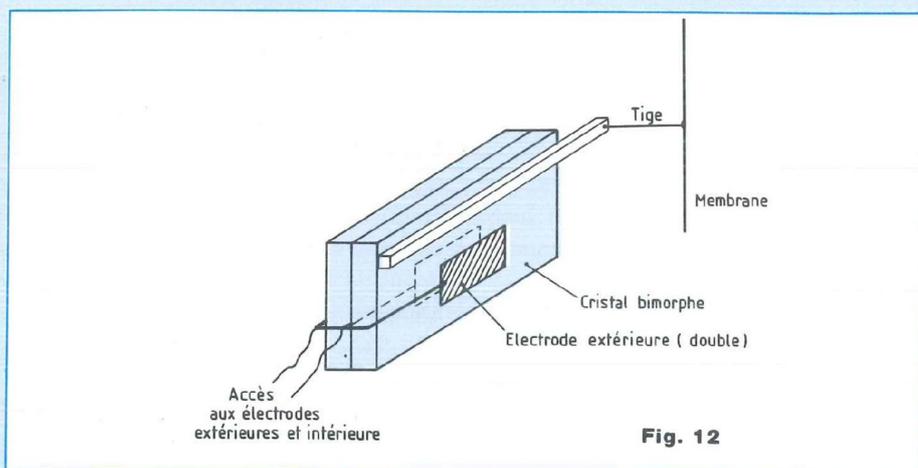


Fig. 12

c'est vrai, à l'obtention d'un son aussi pur que celui recueilli avec le concours d'un aimant permanent.

Ajoutons à cela que la qualité des condensateurs électrochimiques de l'époque des « lampes » était loin de valoir celle à laquelle nous sommes désormais habitués de nos jours.

Ces condensateurs étaient facilement « fuyards », ils « séchaient » vite et une défaillance chez eux se reconnaissait par une « ronflette » entachant la tension (continue) d'alimentation, se superposant au son issu du haut-parleur...

La ronflette a toujours été (elle l'est toujours !) annonciatrice de claquage de condensateur (s) chez la cellule de filtrage, accompagné des dégâts qui s'ensuivent, un malheur n'arrivant jamais seul.

Vous ne l'aviez donc pas remarqué ?

Les anciens vous diront qu'une défaillance des condensateurs de filtrage avait toutes les chances de provoquer, au moins, le claquage du tube redresseur, la « valve », ce qui avait une incidence très nette sur le prix de revient de la remise en état de (bon) fonctionnement du récepteur radio...

L'apparition des aimants à cristaux orientés, par exemple les Ticonal, aux très

hautes performances, fit accomplir d'immenses progrès dans la qualité des haut-parleurs électrodynamiques, tout en faisant disparaître de la circulation, définitivement, le haut-parleur « à excitation », à inductance (de filtrage) incorporée...

Nous ne nous étendrons pas davantage aujourd'hui sur le haut-parleur électrodynamique, nous aurons l'occasion de revenir ultérieurement sur le sujet, abordant l'étude plus quantifiée des phénomènes dont il est le siège.

Nous allons maintenant considérer le principe du ...

HAUT-PARLEUR PIÉZO-ÉLECTRIQUE

Il y a de cela une quarantaine d'années, au moment des premiers balbutiements de la Hi-Fi (le vilain propos que vous allez nous reprocher !), à l'époque des amplificateurs à push-pull à deux tubes EL84, dont certains amateurs doivent se souvenir, étaient mis sur le marché de petits haut-parleurs appelés « tweeters » ...

Le terme de langue anglaise tweeter signifie « qui pépie ».

Chez ces haut-parleurs nouveaux arrivants s'exploitaient les propriétés de la

piézo-électricité.

Ces dispositifs, d'un diamètre d'une dizaine de centimètres, étaient destinés (le pépiement) à la reproduction des sons aigus, en association avec des haut-parleurs de diamètre plus important, affectés plus précisément à la reproduction des sons graves.

C'était le début de la sortie audiofréquence selon deux plages de fréquences, sur deux voies !

La transmission vers les tweeters des signaux de fréquence élevée, pour reproduction, n'exigeait pas de filtre passe-haut constitué d'une inductance et d'un condensateur, un simple condensateur faisait l'affaire, d'une capacité de quelques microfarads, de type non polarisé.

Les tweeters de l'époque fonctionnaient au demeurant fort bien, mais ils ne développaient que très peu de puissance, raison possible pour laquelle ils ne connurent pas le succès attendu, ils disparurent de la scène...

Nous estimons, c'est là notre opinion strictement personnelle, qu'ils n'ont pas fait en ce temps l'objet des travaux de recherche qu'ils méritaient.

C'est beaucoup plus tard qu'apparaissent sur le marché ces transducteurs piézo-électriques qui prolifèrent comme les virus en période d'épidémie, qui habitent chez nos montres, nos réveils, nos ordinateurs, nos caisses enregistreuses, les jouets, chez les machines-outils, les véhicules à deux roues et moteur de faible puissance (mais si, c'est vrai !), les engins de manutention autour desquels l'attention doit être attirée acoustiquement...

Au passage nous ne manquerons pas de souligner les efforts développés parallèlement dans le domaine des phonocapteurs piézo-électriques (lecture de disques), celui des capteurs de son, des

Les principes des haut-parleurs

transducteurs pour liaisons par ultrasons...

Mais le véritable haut-parleur piézo-électrique, dont personne ne parlait plus, fait sa rentrée depuis quelque temps !

Si vous étiez d'un naturel curieux, ce qui ne saurait en l'occurrence être un défaut, vous seriez allés constater discrètement que l'écouteur du combiné de votre poste téléphonique, de la dernière génération, est un petit transducteur piézo-électrique !

Après le rappel de ce déroulement de l'histoire, voyons le principe de fonctionnement du haut-parleur piézo-électrique ! Il est bien connu que certains cristaux, naturels, ceux de quartz en particulier, ou artificiels, présentent cette remarquable propriété de faire apparaître des charges d'électricité de signe inverse sur leurs parois opposées, lorsqu'ils subissent une déformation mécanique.

Ce phénomène est exploité chez l'allume-gaz «piézo», le petit appareil bien connu produisant des étincelles, par manœuvre d'une gâchette.

Un marteau frappe violemment un cristal, entre les faces opposées duquel se développe une différence de potentiel qui, convenablement traitée, est traduite par une avalanche d'étincelles jaillissant entre deux électrodes.

Ces étincelles apportent l'énergie d'activation capable d'allumer le mélange de gaz et d'air conditionné par le brûleur, dans les proportions requises pour la bonne combustion.

Au lieu de battre le cristal, montrant beaucoup moins de brutalité envers lui (!), nous pouvons lui faire délivrer des signaux électriques qui sont la traduction de faibles déformations mécaniques.

Des générations, et des générations de phonocapteurs (équipant les lecteurs de disques vinyle) et de microphones ont été réalisées sur ce principe.

Mais le phénomène est réversible !

Soumettons le cristal à un signal électrique, il se déforme mécaniquement, il entre en vibration.

Imprimant ses déformations aux couches d'air avec lesquelles il est en contact, il reproduit le son image du signal.

Le cristal est bel et bien un transducteur, il transforme l'énergie électrique en énergie mécanique, elle-même transformée en énergie acoustique...

Ce principe est également développé dans l'élaboration de plateaux (vibrants) destinés à tester la résistance aux vibrations d'objets très variés.

Des bacs à «ultra-sons» sont utilisés pour le nettoyage de petites pièces mécaniques, en bijouterie, c'est un exemple... Chez de tels appareils le cristal est soumis à une tension alternative d'excitation dont la fréquence est ajustée sur la fréquence de résonance du cristal.

Voyons comment est constitué le haut-parleur piézo-électrique, reportons-nous à la figure 12 !

L'âme du système est «bimorphe», c'est-à-dire constituée de deux plaquettes de cristal, soudées de façon à compenser certaines tensions mécaniques internes qui viendraient altérer la linéarité de la courbe de réponse (acoustique) sous les effets de l'excitation par le signal électrique d'activation...

Voilà dit l'essentiel à propos, du haut-parleur piézo-électrique, nous passons maintenant au principe du ...

HAUT-PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE À RUBAN

Nous devons énormément au britannique sir John Ambrose Fleming, un grand pionnier de la radiotélégraphie, il inventa en particulier la diode à vide (1904), appelée valve de Fleming, dont dérivèrent les tubes électroniques, les «lampes»...

Un jour il remarqua qu'un conducteur parcouru par un courant électrique, soumis à l'action du champ magnétique d'un aimant, est déplacé de la position qu'il occupe, par une force invisible.

Il comprend le phénomène, il énonce la règle qui porte son nom, bien connue sous l'expression mnémotechnique utilisée pour la mémoriser, la règle des trois doigts de la main gauche, de Fleming...

La figure 13 est là pour nous la rappeler. «Je pousse le champs en courant»

Pour construire un haut-parleur à ruban il suffit donc, en simple, de faire passer le courant électrique, c'est le signal son, dans un ruban conducteur disposé entre les deux armatures d'un aimant, comme nous le montre la figure 14...

HAUT-PARLEUR IONIQUE

Tournons-nous maintenant vers le seul système transducteur effectuant directement la conversion d'énergie électrique en énergie acoustique !

Le français Klein a été le premier, en 1952, à présenter une réalisation toute différente des autres, en ses principes.

Son «lonophone» utilise la particularité d'un gaz de s'ioniser sous les effets d'un champ électrique variable selon une très haute fréquence.

Reportons-nous au schéma reproduit par la figure 15.

Le petit volume d'air de la chambre est soumis aux effets d'un champ électrique créé par application aux électrodes d'une tension alternative selon une fréquence très élevée.

L'air dans la chambre s'échauffe, il s'ionise, devenant ce qu'il est convenu d'appeler un «plasma».

Si le champ électrique appliqué est modulé par un signal audiofréquence, superposé à la tension créatrice du champ, la pression de l'air dans la

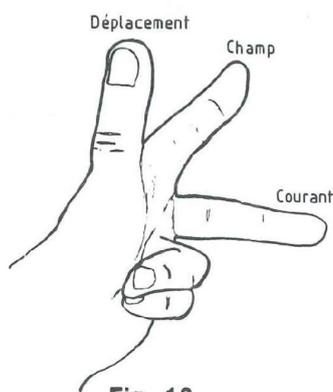
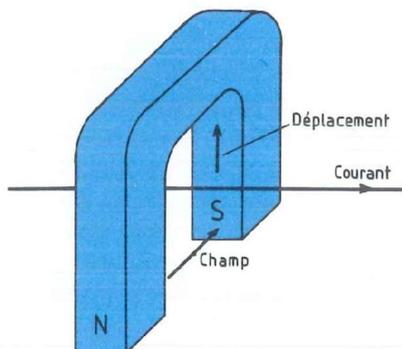


Fig. 13

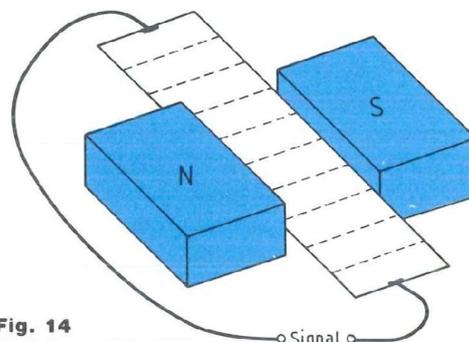


Fig. 14

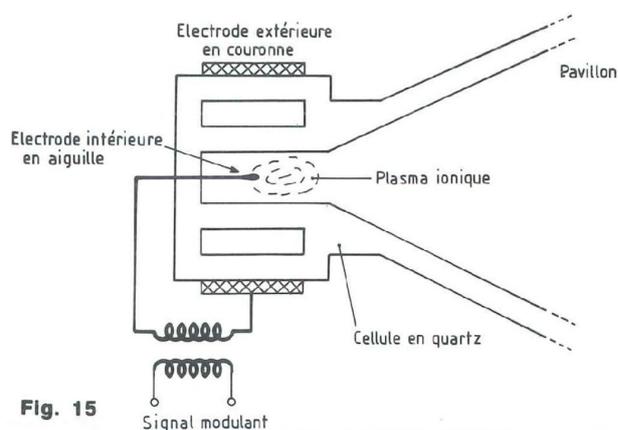


Fig. 15

chambre varie selon la loi de variation du signal modulant...

Une ossature en quartz reçoit d'une part l'électrode extérieure, qui la ceinture et d'autre part l'électrode intérieure, en son axe.

L'électrode centrale est réalisée en alliage conducteur composé d'or, de platine, etc., dont la température de fusion est extrêmement élevée.

Lors de la mise sous tension, cette dernière électrode, en forme d'aiguille, est le siège de l'effet Corona.

L'activité, l'agitation des électrons s'intensifie dans la région de sa pointe, de nombreux électrons quittent le métal, formant un nuage autour de la pointe de l'électrode.

Cette agitation cesse au bout de quelques instants et un signal modulant peut alors être injecté dans le bobinage couplé à celui de production du champ électrique.

Voilà qui provoque une variation de la grandeur du champ électrique, selon la loi de variation du signal modulant, avec pour conséquence la variation de la pression de l'air ionisé, du plasma, à l'intérieur de la chambre, selon la même loi.

La variation de pression du plasma est directement transmise aux couches d'air environnantes par le pavillon, le son est ainsi reproduit...

Pour la curiosité, nous préciserons que la fréquence du champ électrique engendrant l'ionisation de l'air de la chambre

est usuellement comprise entre 20 et 30 kilohertz, située au-dessus de l'espace des fréquences «audibles».

Voilà, en bref, comment et pourquoi le haut-parleur ionique est un transducteur «simple», convertissant directement l'énergie électrique en énergie acoustique...

HAUT-PARLEUR ÉLECTROSTATIQUE

Commençons par ouvrir une petite parenthèse !

Vous connaissez les effets des décharges d'électricité statique.

Vous avez sûrement déjà ressenti la désagréable «piqûre» due précisément à

Les principes des haut-parleurs

une telle décharge, au moment où vous introduisiez la clef dans la serrure d'une portière de voiture...

En enlevant un pull de laine, ou certains sous-vêtements, vous avez entendu le crépitement et vous avez vu les étincelles caractéristiques qui proviennent également de décharges électrostatiques engendrées par le frottement.

Savez-vous qu'en l'occurrence sont développées des tensions continues pouvant atteindre les 18 à 20 000 volts ?

Fort heureusement pour nous, les quantités d'électricité alors en jeu sont faibles et causent des désagréments, non pas des dégâts, la puissance développée étant faible...

A l'approche de l'orage l'atmosphère s'ionise et de nombreux corps se chargent d'électricité statique.

Parlez-en donc à votre chat, dont les poils se hérissent sous l'action de ces charges !

Vous avez certainement remarqué le phénomène (lui aussi !) en le caressant, vous avez dû alors entendre le crépitement significatif de déplacement de charges et les « piqûres » lui ont peut-être fait très mal, n'en riez pas !

N'oublions jamais que des charges importantes (en quantité d'électricité), accumulées par des masses métalliques, constituent un réel et très sérieux danger, qui peuvent développer dans leur transfert l'énergie d'activation capable d'enflammer un mélange combustible et pour quoi pas ... explosif !

Elles peuvent entraîner la mort par électrisation, c'est connu...

Voilà pourquoi s'impose la mise à la terre des masses métalliques, charpentes, réservoirs, ce sont des exemples.

La mise à la terre est le plus sûr moyen de drainer en permanence, vers la terre, ces charges susceptibles de s'accumuler là où il ne le faut pas !

Car la terre avale toutes les charges

d'électricité qui lui sont présentées, songez donc à la foudre ...

Des corps chargés d'électricité de signe opposé s'attirent, des corps chargés d'électricité de même signe se repoussent.

La règle de bureau, en matière plastique, frottée avec un chiffon de laine, se charge et attire de petits morceaux de papier posés sur la table.

Les confettis sont retenus, fixés par la règle, puis ils sont rejetés (par la règle), parce qu'ils sont devenus porteur d'une charge d'électricité du même signe que celui de la règle...

Si vous n'aviez jamais fait l'expérience, ce serait le moment de vous y adonner, les enfants (vous voyez qui ?) vous en seront reconnaissants, nous vous l'assurons !

Une autre expérience, plus « scientifique », met en œuvre une balance à plateaux suspendus, métalliques, conducteurs (de l'électricité).

L'un des plateaux est relié à l'une des bornes d'une batterie (figure 16).

Une plaque métallique, conductrice, est maintenue tout près du même plateau, par le dessous, mais elle est séparée de lui par une plaque isolante.

Lorsque la plaque métallique est connectée avec la seconde borne de la batterie, la balance accuse un déséquilibre, l'un de ses plateaux s'abaisse, cependant que l'autre s'élève...

Il faut noter, c'est très important, que la plaque isolante interdit le passage de courant continu, fourni par la batterie, allant de la plaque métallique conductrice vers le plateau, tout comme dans le sens inverse d'ailleurs.

La batterie ne débite pas de courant, sa force électromotrice sert uniquement à polariser le système !

Voilà qui met en évidence le phénomène d'attraction par charges d'électricité et qui fait aussi penser au condensateur, lequel

accepte des charges qu'il retient et restitue ensuite...

Ce phénomène de déplacement de masses (les plateaux de la balance) par des forces d'attraction à caractère statique et non pas dynamique, a donné l'idée de réalisation du haut-parleur électrostatique, cela dès les années 1930 !

Voyons son principe, reportons-nous au schéma reproduit à la figure 17.

Sur une de ses faces, qui est la face extérieure du dispositif, une fine membrane reçoit un dépôt métallique conducteur, à la façon d'une armature de condensateur. Son autre face, la face intérieure, est non conductrice.

La membrane est maintenue tendue entre des supports, sa face intérieure est en contact direct avec une grille conductrice souple.

Nous retrouvons bien là l'expérience de la balance !

La « polarisation » du dispositif est nécessaire pour permettre le déplacement de la membrane, tout comme la batterie est nécessaire pour déséquilibrer la balance de l'expérience.

Une source de tension auxiliaire, figurée sur le dessin, assure cette polarisation.

Une résistance de forte valeur permet l'application du potentiel disponible aux bornes de la source auxiliaire, sans débiter de courant, il s'agit bien de polarisation...

Le signal modulant, d'activation, est appliqué aux deux armatures du dispositif, la face métallisée de la membrane et la grille, par l'intermédiaire d'un condensateur, lui qui est perméable à la transmission du signal (variable !), mais s'oppose au passage du courant continu. La membrane subit les forces d'attraction variables qui résultent de l'application du signal, elle entre en vibration et met en mouvement les couches d'air qui l'environnent.

Voilà, en simple, pourquoi et comment

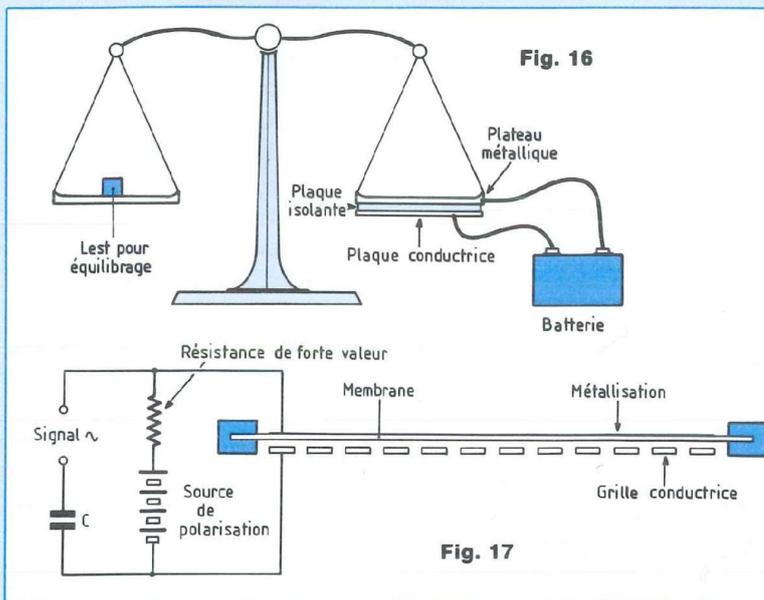


Fig. 16

Fig. 17

fonctionne le haut-parleur électrostatique. Pour la curiosité nous préciserons que la tension de polarisation nécessaire doit être très élevée, classiquement de l'ordre de 300 à 600 volts.

Constituée d'une feuille isolante en sandwich entre deux armatures conductrices, la membrane du haut-parleur électrostatique dont nous venons de voir le principe constitue un condensateur, dont la capacité se situe communément entre 1 et 10 nanofarads.

En fonction de la fréquence des signaux audiofréquence auxquels est soumise la membrane-condensateur, le dispositif offre une impédance qui, selon les caractéristiques de la réalisation, se situe dans un espace s'étendant de quelques 1000 à... 10 000 ohms.

Il nous faut par conséquent inévitablement installer, entre l'étage de sortie de la chaîne amplificatrice et les bornes d'entrée de ce haut-parleur, un transformateur adaptateur des impédances ...

Vous connaissez l'esprit des chercheurs, jamais satisfaits des performances de leurs réalisations, il était tout naturel qu'ils songent au haut-parleur électrostatique push-pull...

La figure 18 nous présente le schéma structural de ce transducteur.

La membrane, souple, métallisée sur ses deux faces, dispose d'un espace pour évoluer, en flexion.

Cet espace est géométriquement délimité par deux grilles parallèles qui se voient appliquer le signal disponible aux extrémités de l'enroulement secondaire du transformateur adaptateur des impédances, dont nous venons de découvrir l'indispensable rôle.

Le signal est injecté dans le bobinage qui constitue l'enroulement primaire du même transformateur, il engendre le développement de son homologue dans le bobinage du secondaire.

La tension de polarisation est appliquée entre le point milieu du secondaire du transformateur d'adaptation et la membrane, par le jeu d'une résistance de très forte valeur et d'un condensateur, comme opéré précédemment.

Les grilles ne sont pas en court-circuit électrique, elles sont soumises à des tensions variables, qui sont en opposition de phase, puisque provenant des extrémités du bobinage du secondaire du transformateur adaptateur d'impédances.

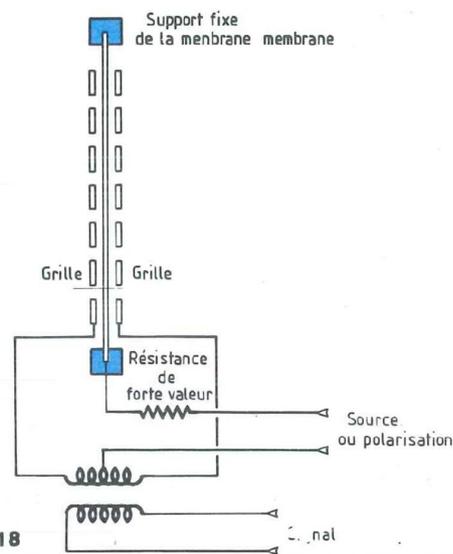


Fig. 18

Lorsqu'une grille «pousse», l'autre grille «tire», nous sommes bien en présence d'un montage push-pull, qui vaut au système la qualification de haut-parleur électrostatique à double effet, est-ce vu ?

Il est clair que ce dispositif est en dernier ressort le siège d'une puissance développée pratiquement double de celle recueillie chez le haut-parleur précédent, appelé haut-parleur électrostatique à simple effet, dont la membrane ne possède qu'une seule grille.

Il va sans dire que les (deux) grilles, séparées de la membrane, permettent le contact «mécanique» de la membrane avec les couches d'air environnantes, grâce à leurs perforations...

Nous venons d'accomplir un tour d'horizon des principes de base ayant conduit à l'élaboration des haut-parleurs, ces appareils que nous utilisons tous les jours, sans jamais avoir une pensée à l'adresse de tous les chercheurs qui, par leur inestimable travail, ont contribué et contribuent toujours à faire en sorte que nous puissions reproduire le son de mieux en mieux...

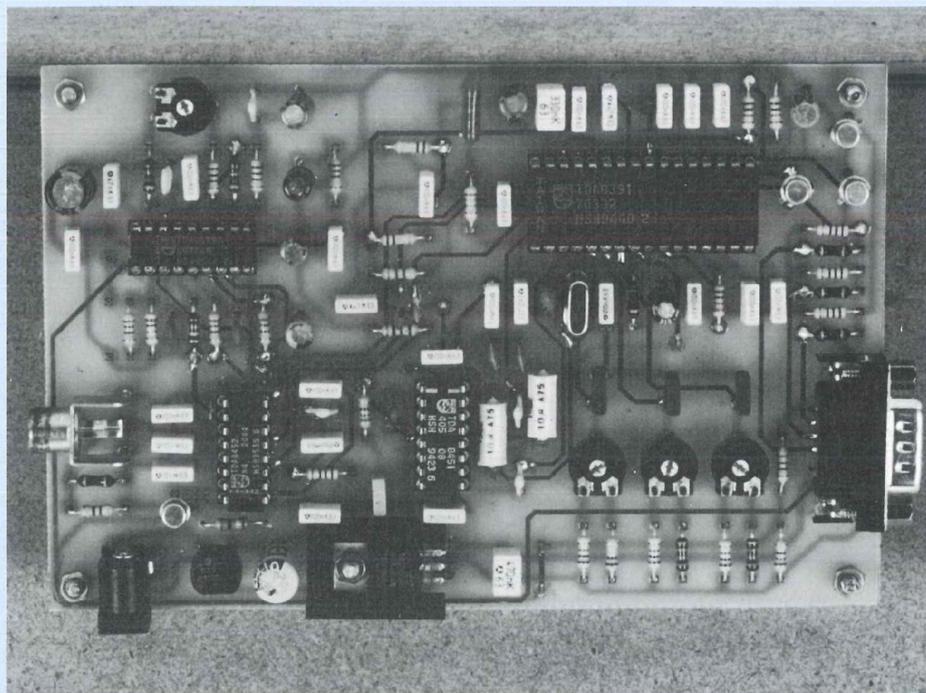
Georges Matoré

DIGITALISEUR VIDEO ÉVOLUTIF

Décodeur PAL / RVB,

destiné à l'acquisition d'images vidéo couleur

Après une assez longue attente, nous sommes en mesure de vous proposer un décodeur PAL / RVB relativement compact et ne nécessitant aucune mise au point délicate: tous les réglages se font à l'œil, devant l'écran d'un téléviseur!



Les débouchés de ce décodeur sont multiples : il peut permettre tout simplement de relier un magnétoscope PAL à un téléviseur qui ne reconnaît que le standard SECAM. Associé au digitaliseur vidéo présenté il y a quelques mois (numéros 133 à 135), il pourrait assurer l'acquisition des images couleurs en une seule passe (sans passer par les filtres de couleur Rouge, Vert et Bleu).

RÉFLEXION PRÉALABLE SUR L'INTÉRÊT DE RÉALISER UN TEL MONTAGE

Le passage de l'acquisition monochrome à la couleur posait essentiellement des problèmes de rentabilité et de disponibilité des composants. En effet, le problème de rentabilité était soulevé par l'apparition récente de «caméras digitales» à connecter directement sur le port parallèle

le (ou série) d'un compatible PC, voire de modules d'acquisition couleur à petit prix. Finalement, les configurations proposées sont figées et limitées la plupart du temps à des résolutions limitées (par exemple, 320x240, alors que notre digitaliseur assure l'acquisition sur 384x256 pixels, voire 512x256 pixels au maximum en modifiant la fréquence de l'horloge pixel). En ce qui concerne la disponibilité des composants, le problème réside dans la rapidité d'évolution des dispositifs dédiés au traitement de la couleur sur les téléviseurs. Les structures modernes utilisent des techniques numériques très délicates à mettre en œuvre avec des moyens amateurs, en raison principalement des types de boîtier utilisés (principalement des «pavés» carrés de 84 broches au minimum en technologie CMS, et initialisés par logiciel). Ces mêmes composants, bien que bon marché mais délicats à domestiquer, ne sont disponibles que pour des productions de masse (1 000 pièces au minimum) incompatibles avec un projet de réalisation amateur. Nous nous sommes donc rabattus sur les solutions analogiques les plus récentes de chez Philips, avec des composants encore bien répandus dans la distribution, mais dédiés aujourd'hui à la maintenance des téléviseurs en service.

LE SIGNAL VIDÉO-COMPOSITE MONOCHROME

Les points élémentaires (ou pixels) qui composent la totalité de l'image vidéo sont transmis séquentiellement sur un écran de télévision. La caméra vidéo délivre au total 25 images de 625 lignes par seconde. Si on se contentait d'envoyer cette image telle quelle, ce processus entraînerait un scintillement désagréable de l'image car elle se serait formée trop lentement sur l'écran du téléviseur. Afin d'éviter ce désagrément, on effectue un balayage entrelacé qui consiste à transmettre successivement

DÉCODEUR PAL/RVB

deux demi-images de 312,5 lignes chacune, comme l'indique l'illustration de la figure 1. La première demi-image est constituée des lignes impaires (1,3,5,...), tandis que la seconde demi-image est constituée des lignes paires (2,4,6,...). Une demi-image s'appelle une trame. La caméra délivre donc au total 50 trames par seconde. Le chronogramme de la figure 2 indique la forme du signal vidéo-composite pour une ligne vidéo. Une impulsion négative de 4,7 μ s, indiquant le départ d'une nouvelle ligne, est suivie du «palier de suppression» (le niveau de ce palier arrière comme référence du noir avec les sources monochromes). Enfin, le signal qui suit correspond à l'évolution de l'intensité lumineuse reçue sur cette ligne, pendant 52 μ s. La détection d'une nouvelle trame est obtenue par l'envoi d'une série «d'impulsions lignes» inversées, qui ne contiennent pas d'information vidéo. Ceci est illustré en figure 3, qui présente une séquence de «synchronisation trame».

CODAGE DE LA COULEUR

L'origine des codages NTSC, PAL et SECAM provient de la nécessité de transporter sur un seul canal (transmission hertzienne oblige !) toutes les informations nécessaires à la restitution de l'image couleur. Pire encore, le signal vidéo-composite choisi doit être compatible avec le parc des récepteurs N&B existants !. A la base, le codage d'une image couleur est obtenu à partir des trois couleurs fondamentales utilisées en synthèse additive : le rouge, le vert et le bleu (figure 4). En effet, la combinaison de ces trois teintes suffit pour obtenir la totalité des nuances à reproduire. L'ensemble des informations séparées «rouge», «vert» et «bleu» est désigné sous le terme «signal RVB» (ou RGB, car Vert = Green en anglais). Le casse-tête des ingénieurs va consister à coder ce

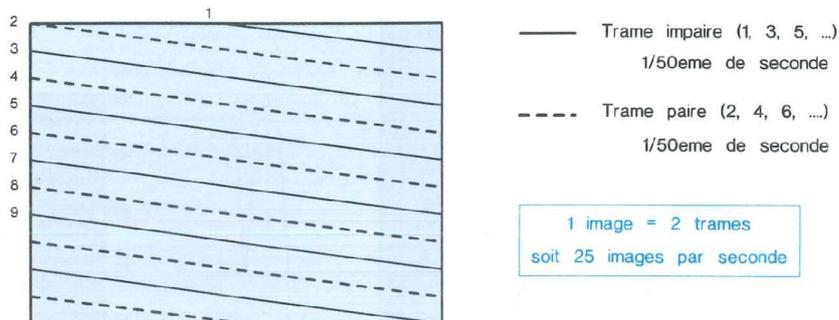


Figure 1: balayage entrelacé

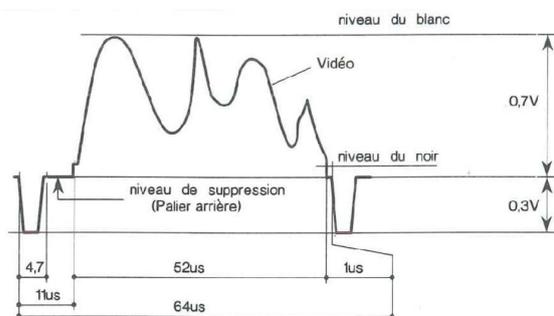


Figure 2: ligne vidéo-composite

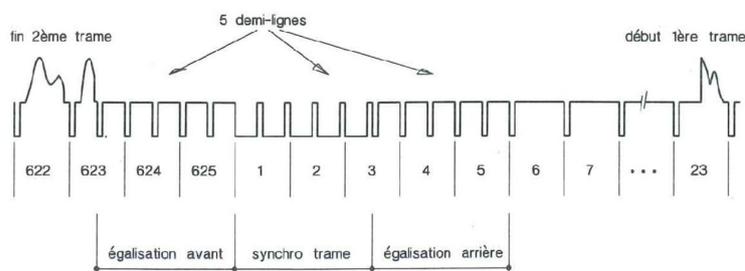
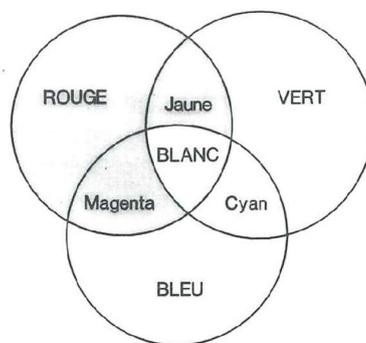


Figure 4: Synthèse additive des couleurs



Jaune = rouge + vert
Magenta = rouge + bleu
Cyan = bleu + vert

ACQUISITION D'IMAGES VIDÉO COULEUR

signal RVB en un seul signal composite nommé «Chrominance», qui contiendra toutes les informations couleur RVB. Ce signal doit être ensuite mélangé à l'information vidéo N&B (nommée «Luminance») destinée aux téléviseurs monochromes. Cette information luminance (Y) sera générée à partir de la source RVB, dans les proportions suivantes :

$$Y = 0,3R + 0,59V(G) + 0,11B$$

Ces proportions sont dictées principalement par la réponse spectrale de l'oeil humain, qui est particulièrement sensible au vert et très peu au bleu (figure 5). L'image N&B résultante respecte les contrastes d'origine de l'image couleur (en terme de sensation visuelle). Le deuxième intérêt de ces proportions réside dans le codage du signal Chrominance (noté CHR). Puisque la Luminance comporte une grande part de vert, on a eu l'idée de ne transmettre que les informations «rouge» et «bleu» dans la chrominance. Ce principe est justifié sur le schéma fonctionnel de la figure 6 : par le biais d'opérations algébriques (multiplications, additions et soustractions), il est possible de récupérer les trois couleurs fondamentales RVB à partir de Y, R et B. Dans la réalité, certaines contraintes physiques que nous précisons plus loin ont conduit les concepteurs à ne conserver dans CHR que les valeurs composites (R - Y) et (B - Y). Ainsi, les circuits de décodage utiliseront directement ces deux signaux, associés à Y, pour retrouver la composante verte (G). On peut montrer mathématiquement à partir de la relation indiquée plus haut que le signal composite (G - Y) sera récupérable à partir de (R - Y) et (B - Y) :

• Y peut être scindé en trois fractions inégales : $Y = 0,3Y + 0,59Y + 0,11Y$

• donc $0,3R + 0,59G + 0,11B = 0,3Y + 0,59Y + 0,11Y$

Figure 5: Sensibilité spectrale de l'oeil en vision de jour (normalisée CIE)

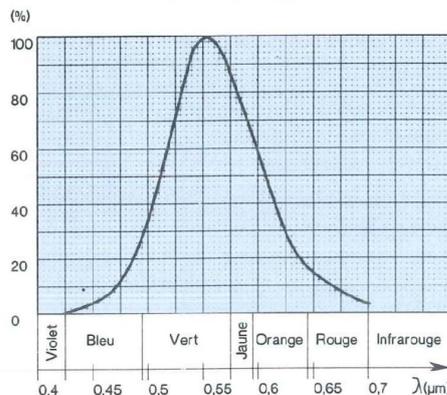
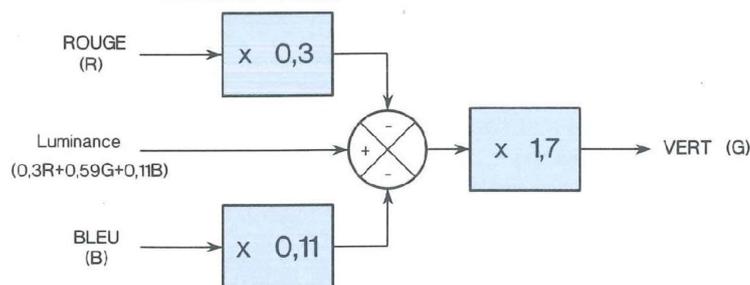


Figure 6: extraction du vert à partir de R, B et Y



• en factorisant :
 $0,59 (G - Y) = 0,3 (Y - R) + 0,11 (Y - B)$

• on en déduit :
 $(G - Y) = - 0,51 (R - Y) - 0,19 (B - Y)$

Finalement, la chrominance sera modulée en amplitude avant d'être mélangée au signal Y, afin d'insérer CHR à l'intérieur de la bande allouée au signal Y. Pour le comprendre, reportons-nous au diagramme de la figure 7.1 : la largeur de bande disponible pour chaque canal vidéo est strictement limitée (8 MHz en PAL, voie audio comprise). Il est donc hors de question de placer la chrominance à l'extérieur de cette bande, sous peine de déborder sur un canal voisin. La solution adoptée est représentée en figure 7.2 : une sous-porteuse de 4,43 MHz

(en PAL) assure le transport de la chrominance avec le minimum de dégradation de la luminance. En fait, pour que l'information CHR ne perturbe pas Y, la bande passante de la luminance sera filtrée à moins de 4 MHz à la réception (figure 7.3). L'exposé qui précède sur le traitement du signal vidéo couleur est valable pour les trois principaux standards utilisés dans le monde. Cependant, la construction du signal CHR dépendra du standard employé.

LE STANDARD VIDÉO PAL (PHASE ALTERNATION BY LINE = INVERSION DE PHASE À CHAQUE LIGNE)

Le premier standard ayant vu le jour est

DÉCODEUR PAL/RVB

Figure 7.1: répartition des canaux vidéo

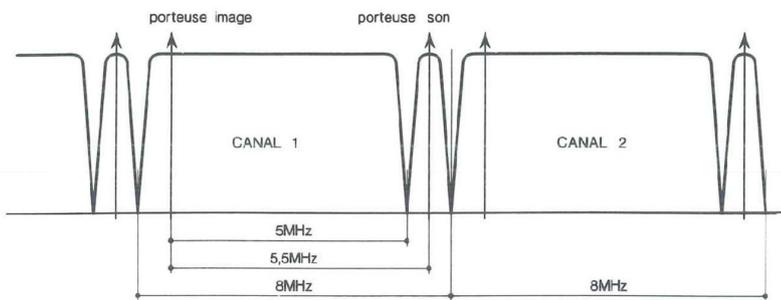


Figure 7.2: insertion de la chrominance dans la bande vidéo

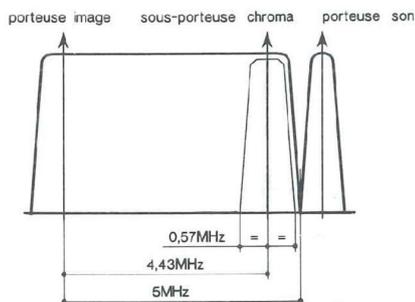
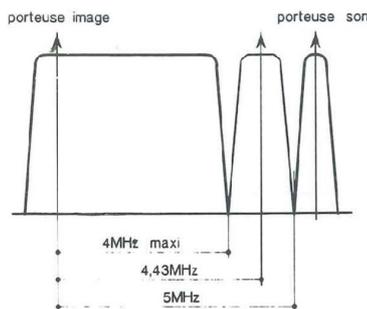


Figure 7.3: bande passante résultante pour la luminance



le NTSC (National Television System Comitee), adopté par les américains en 1953. Le PAL, développé par les européens, est inspiré du NTSC dont il reprend les bases, tout en améliorant son principal défaut : l'apparition inévitable de légères variations de phase. Cette imper-

fection altère sensiblement la fidélité des couleurs transmises. L'élaboration du signal CHR passe par de nombreuses étapes, illustrées sur la figure 8 :

1. la luminance est soustraite des signaux Rouge et Bleu afin de réduire leur amplitude globale, et ainsi limiter l'influence de

CHR sur Y lors du mélange final. On obtient donc les deux signaux primaires (R - Y) et (B - Y) visibles sur les chronogrammes 8.2 et 8.7.

2. (R - Y) et (B - Y) sont modulés en quadrature par une sous-porteuse à 4,43 MHz (diagrammes 8.3 et 8.8). En d'autres termes, cela signifie que (R - Y) sera directement modulé par la sous-porteuse initiale de 4,43 MHz, alors que (B - Y) sera modulé par une sous-porteuse de 4,43 MHz déphasée de 90° par rapport à la première (diagrammes 8.1 et 8.6). C'est ici que se situe la principale différence entre le NTSC et le PAL : afin de compenser d'éventuelles dérives de phase dans CHR, le signal (R - Y) est transmis une ligne sur deux en opposition de phase (on y reviendra plus loin).

3. Afin de ne pas dégrader Y inutilement lors de l'absence de couleur dans le signal vidéo, on fait appel à une modulation sans porteuse (ou "modulation équilibrée"), afin qu'il ne subsiste plus que la luminance dans un éventuel passage en N&B. Cette modulation consiste à soustraire algébriquement la sous-porteuse au signal modulé. Le résultat est visible sur les diagrammes 8.5 et 8.10.

4. Le signal CHR final (figure 9) correspond au mélange des deux composantes (R - Y) et (B - Y) modulées sans porteuse.

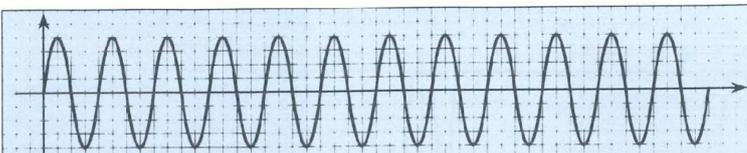
Finalement, la ligne vidéo-composite couleur prendra la forme indiquée en figure 10 : la sous-porteuse est implantée sur le palier arrière de l'impulsion de synchronisation ligne, afin de fournir une référence à l'électronique du décodeur. On peut observer, sur la période de 52 microsecondes qui correspond à une ligne utile, le signal CHR mélangé à Y.

LE CODAGE PAL

Revenons un instant sur la modulation en quadrature, afin de bien montrer les différences entre NTSC et PAL. Le diagramme de la figure 11a utilise une représen-

ACQUISITION D'IMAGES VIDÉO COULEUR

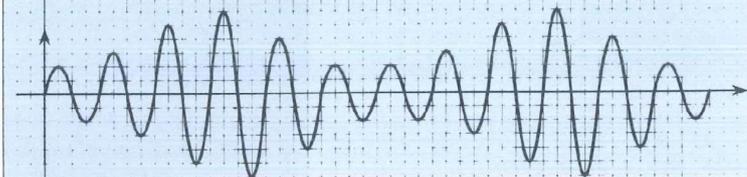
8.1. Sous-porteuse à 4,43MHz



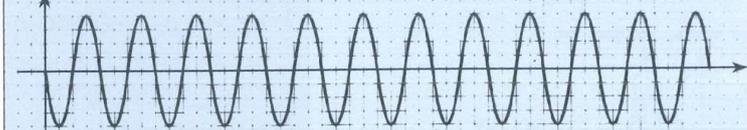
8.2. (B-Y)



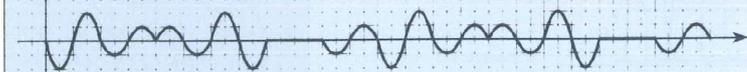
8.3. Sous-porteuse modulée par (B-Y)



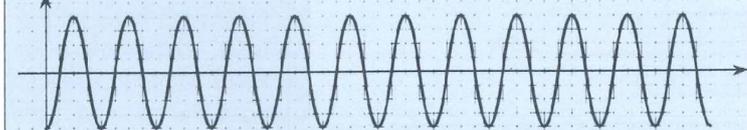
8.4. Sous-porteuse à 4,43MHz déphasée de 180°



(B-Y) avec suppression de porteuse



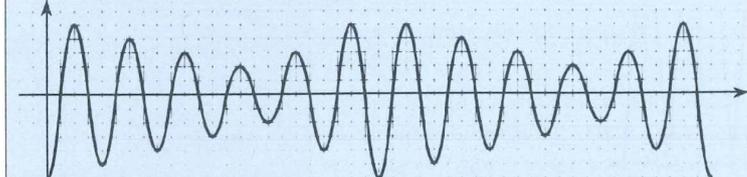
8.6. Sous-porteuse à 4,43MHz déphasée de 90°



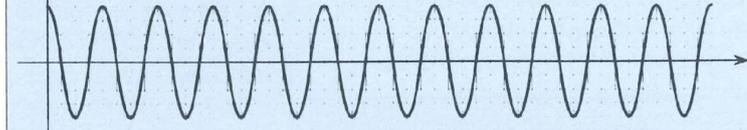
8.7. (R-Y)



8.8. Sous-porteuse modulée par (R-Y)



8.9. Sous-porteuse à 4,43MHz déphasée de 270°



(R-Y) avec suppression de porteuse

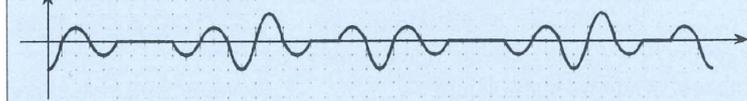


Figure 9: Signal CH

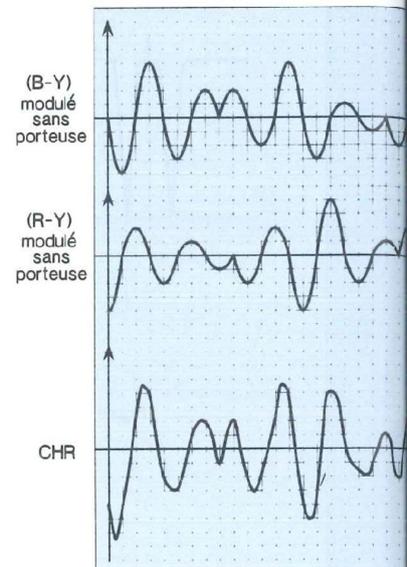
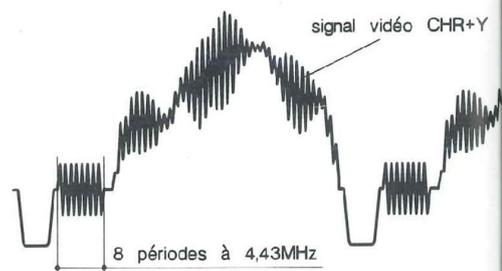


Figure 10: ligne vidéocomposite couleur



tation vectorielle du signal CHR en NTSC. Pour simplifier l'analyse, les porteuses à 4,43 MHz déphasées de 90° et modulées par les composantes (B - Y) et (R - Y) seront notées respectivement [B] et [R]. Si une dérive de phase survient

DÉCODEUR PAL/RVB

avant mélange avec Y

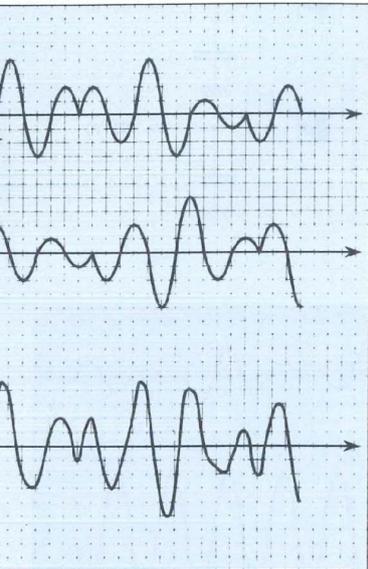


Figure 11.a: CHR en NTSC

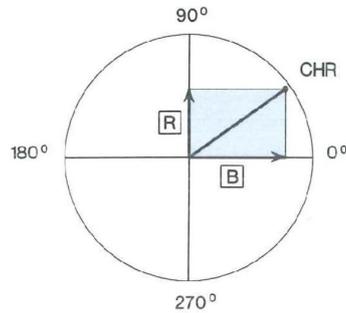
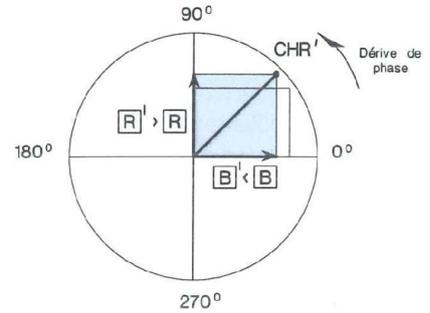


Figure 11.b: Dérive de phase en NTSC



11.c: compensation de la dérive de phase en PAL

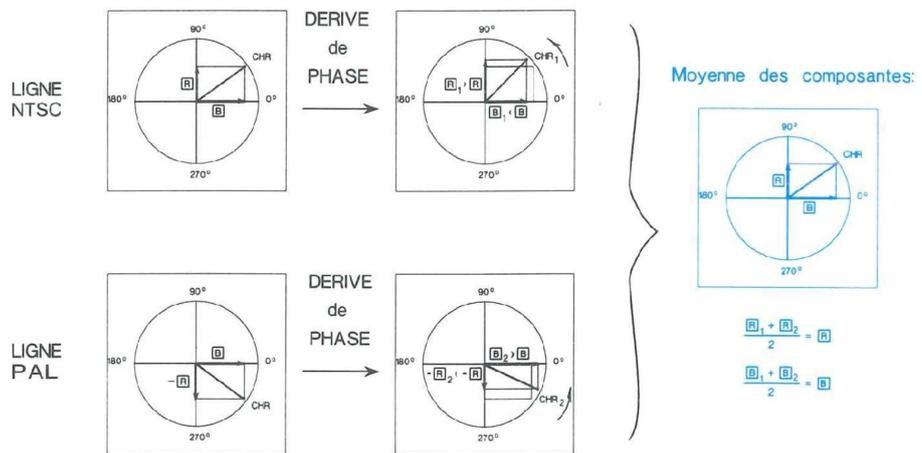
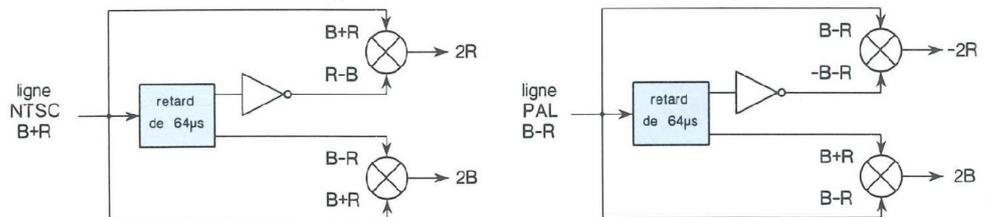


Figure 12: séparation des composantes (B-Y) et (R-Y)



dans la transmission de CHR. l'amplitude des vecteurs [B] et [R] est altérée (figure 11b). En PAL, on transmet alternativement [R] et -[R]. La ligne qui contient [R] est nommée «ligne NTSC», puisqu'elle est conforme à ce standard. La ligne sui-

vante, qui contient -[R], est nommée «ligne PAL». Lors d'une dérive de phase, l'erreur produite sur la ligne NTSC est compensée par l'erreur générée sur la ligne PAL, dont l'effet est inverse (figure 11c). Evidemment, cette correction n'est

satisfaisante que si les variations de teinte entre deux lignes sont négligeables.

LE DÉCODAGE PAL

A la réception, il suffit d'effectuer la

ACQUISITION D'IMAGES VIDÉO COULEUR

somme des signaux [B] et [R] sur deux lignes consécutives afin de restaurer la teinte d'origine et séparer les composantes (B - Y) et (R - Y). Le «module de séparation» chargé de cette fonction doit donc utiliser une ligne à retard de 64 μ s pour mélanger simultanément les composantes de deux lignes successives (figure 12). On remarquera que la composante rouge est en opposition de phase une ligne sur deux : un circuit annexe, appelé «commutateur PAL», permet de rétablir la phase de [R] en sortie du module de séparation. Les signaux recueillis sont ensuite démodulés : la porteuse à 4,43 MHz est ajoutée, afin d'obtenir une modulation AM classique, puis un étage de détection (diode + condensateur) assure la restitution des signaux (B - Y) et (R - Y) en bande de base (figure 13). On peut alors effectuer le dématricage, c'est à dire générer (G - Y) à partir des composantes (B - Y) et (R - Y), avant de rajouter Y à chacun d'entre eux (figure 14).

ANALYSE FONCTIONNELLE DU DÉCODEUR PAL => RVB

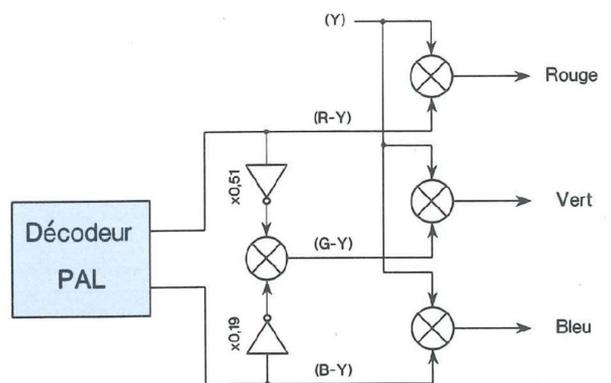
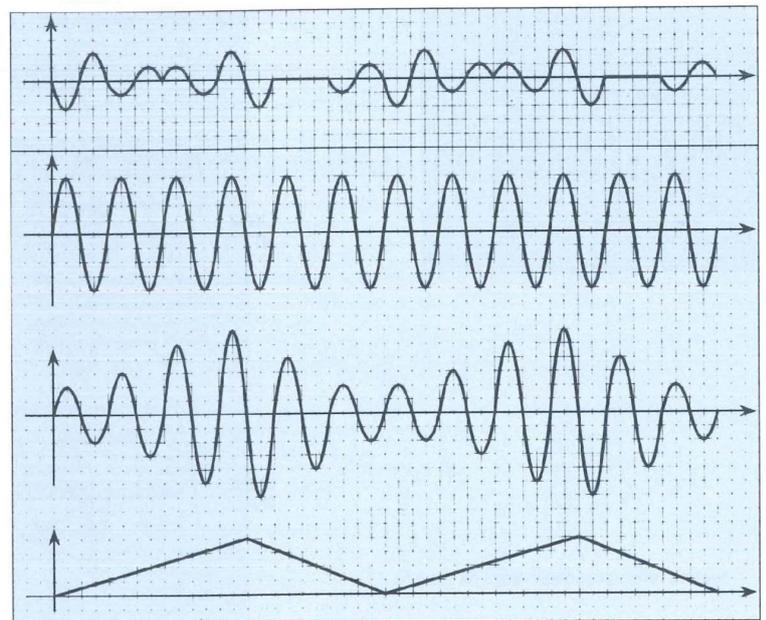
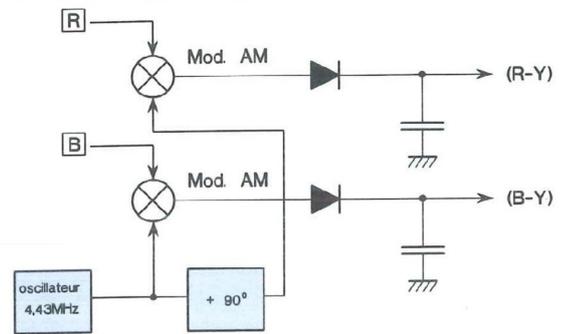
L'organisation fonctionnelle de la figure 15 met en évidence quatre fonctions principales, réalisées chacune à partir d'un circuit intégré spécifique. La source vidéo est préalablement dirigée sur un filtre à échantillonnage qui est chargé de la séparation des composantes «luminance» et «chrominance» du signal vidéo-composite. Cette structure provoque un léger retard sur le signal filtré : le signal vidéocomposite est donc également retardé (exactement de 0,62 μ s) de façon à le replacer en phase avec les signaux filtrés, avant d'être utilisé par IC2. Ce composant est chargé de réaliser le signal «SANDCASTLE» destiné à la synchronisation des circuits de décodage PAL. Ce signal présenté en figure 16 indique par différents niveaux la position des tops de synchronisation ligne, de synchronisation trame et de la sous-porteuse chroma. Le nom «SANDCASTLE»,

Figure 13.a: démodulation

Figure 13.b: chronogrammes de démodulation

modulation AM conventionnelle

Figure 14: dématricage



qui signifie en anglais «château de sable», a été choisi en raison de sa forme particulière.

Le décodeur PAL, chargé de séparer les signaux «R - Y» et «B - Y», est situé dans le même boîtier que le démodulateur et le

DÉCODEUR PAL/RVB

Figure 15: organisation fonctionnelle du décodeur

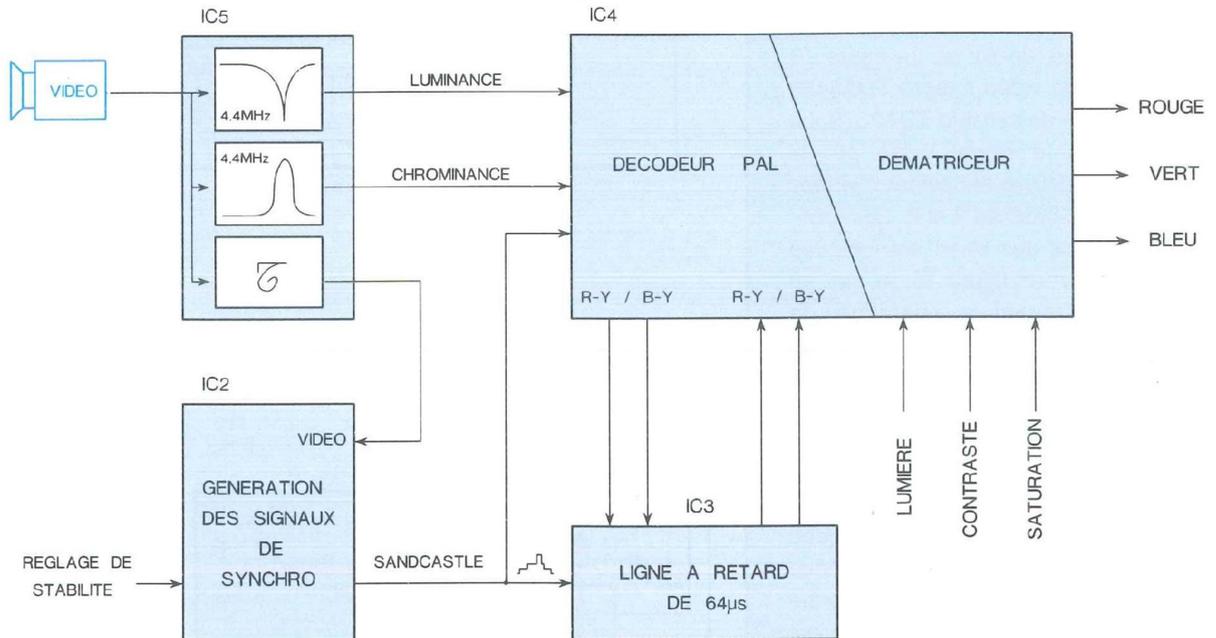
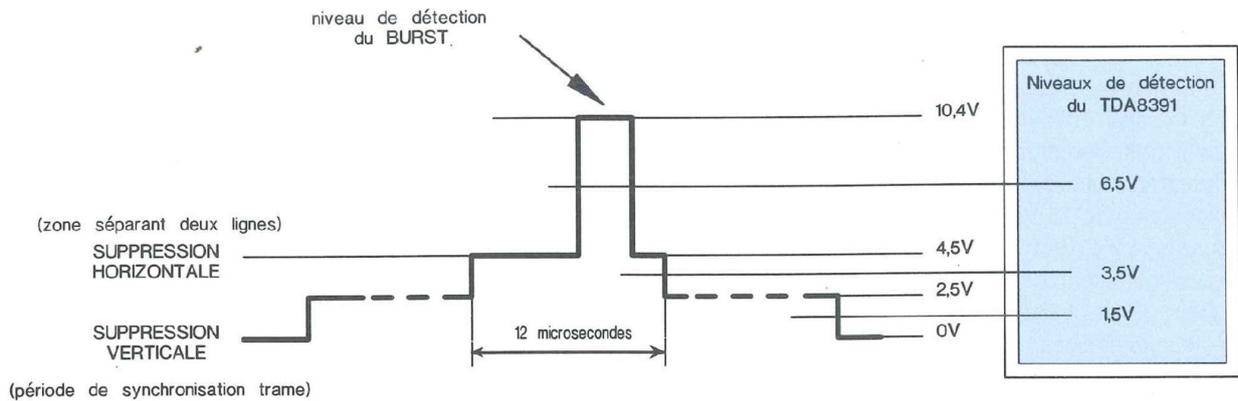


Figure 16: SIGNAL SANDCASTLE



dématriceur (qui assure la restitution des signaux de base R, V et B). Pour des raisons technologiques, la ligne à retard de

64 µs destinée au décodage PAL est externe, et matérialisée par IC3. Rappelons que cette ligne à retard assu-

re la mise en concordance temporelle de deux lignes successives (conformément à la figure 12).

SCHÉMA STRUCTUREL DU CIRCUIT D'ENTRÉE

Le montage complet a été divisé en deux parties pour plus de clarté. La figure 17 présente le filtre vidéo intégré TDA8452 et le générateur de synchro TDA2579. Le premier reçoit le signal vidéo sur la broche 14, et délivre les signaux vidéos séparés sur les broches 3 et 5. La réponse en fréquence des filtres est indiquée pour information en figure 18, et met en évidence la fréquence charnière de 4,43 MHz. Une horloge externe issue du décodeur PAL (Fout) et cadencée à 8,86 MHz détermine avec précision la fréquence de coupure des filtres. Notons que le TDA8452 est prévu pour fonctionner également avec le standard NTSC. Il possède en outre deux entrées vidéo (broches 14 et 16) qui sont sélectionnées à partir du niveau appliqué sur la broche 9. Le signal vidéocomposite retardé est disponible sur la broche 4. Le câblage du TDA2579 correspond directement à la solution proposée dans les documentations d'origine. Une exception toutefois : la sortie Vsync a été dotée de quelques composants optionnels, afin de récupérer un signal de synchronisation trame exploitable dans d'autres applications. Cette sortie ne sera pas exploitée dans le décodeur PAL. Une alimentation a été directement prévue sur la carte, afin d'en faciliter la mise en oeuvre : elle pourra recevoir indifféremment le secondaire d'un transformateur de 12 V, une alimentation continue de 15 V ou un adaptateur secteur de 15 V à 18 V. La consommation des circuits n'étant pas négligeable, le régulateur devra être doté d'un radiateur de petites dimensions.

SCHÉMA STRUCTUREL DU DÉCODEUR

Le schéma structurel de la figure 19 présente le coeur du décodeur, matérialisé par un TDA8391. Les composantes [lumi-

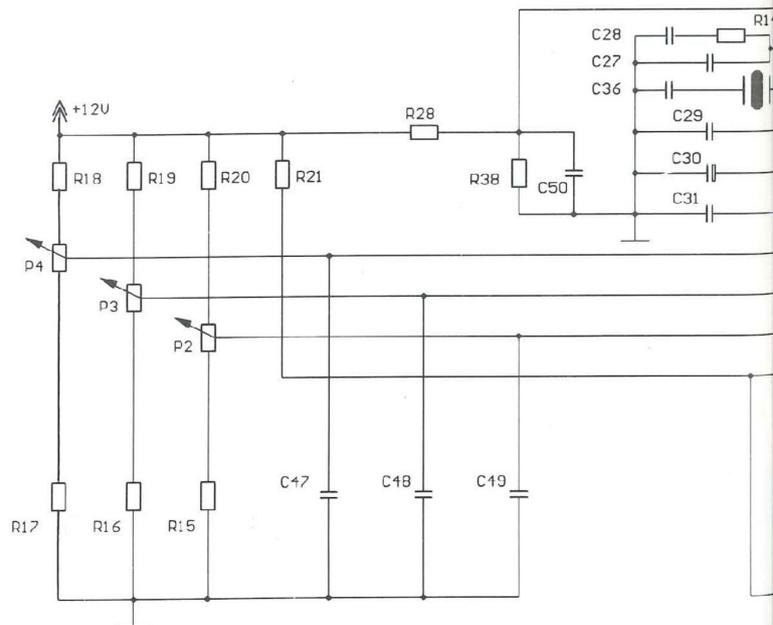
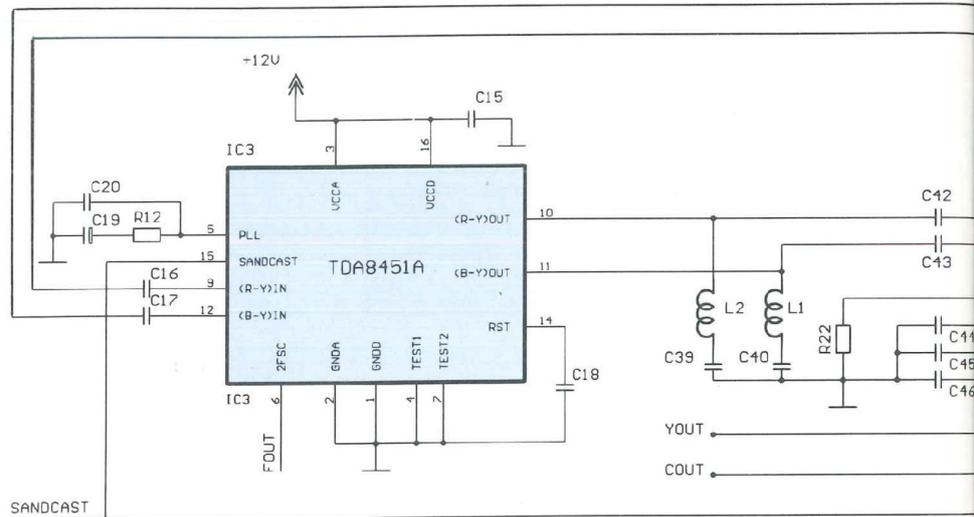
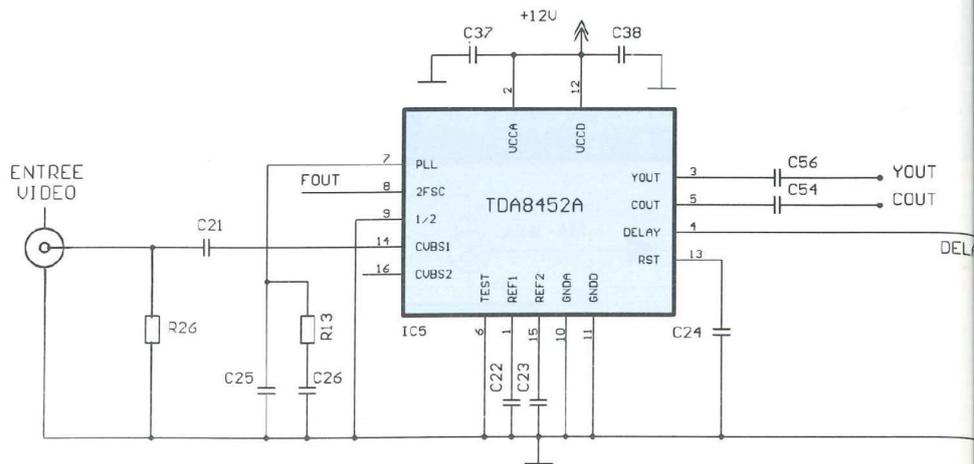


Fig. 19

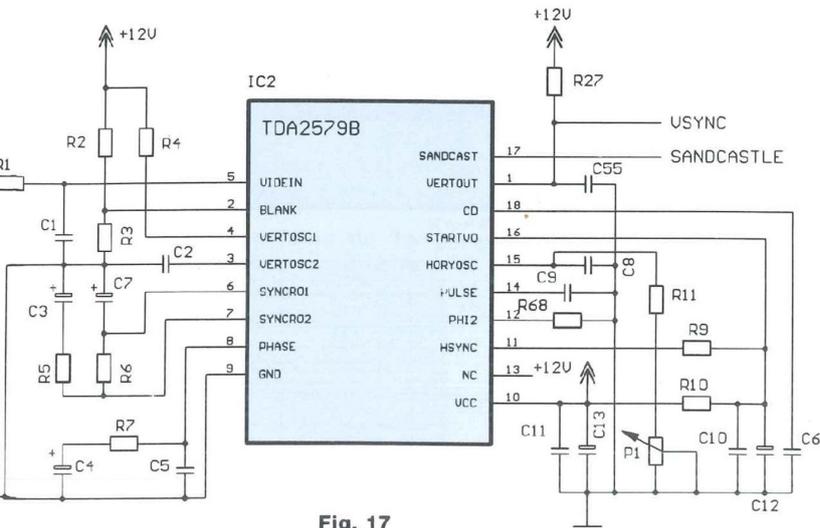
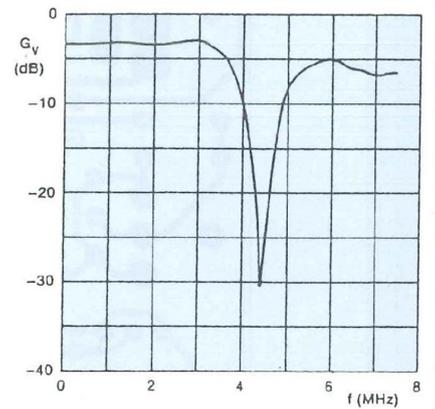
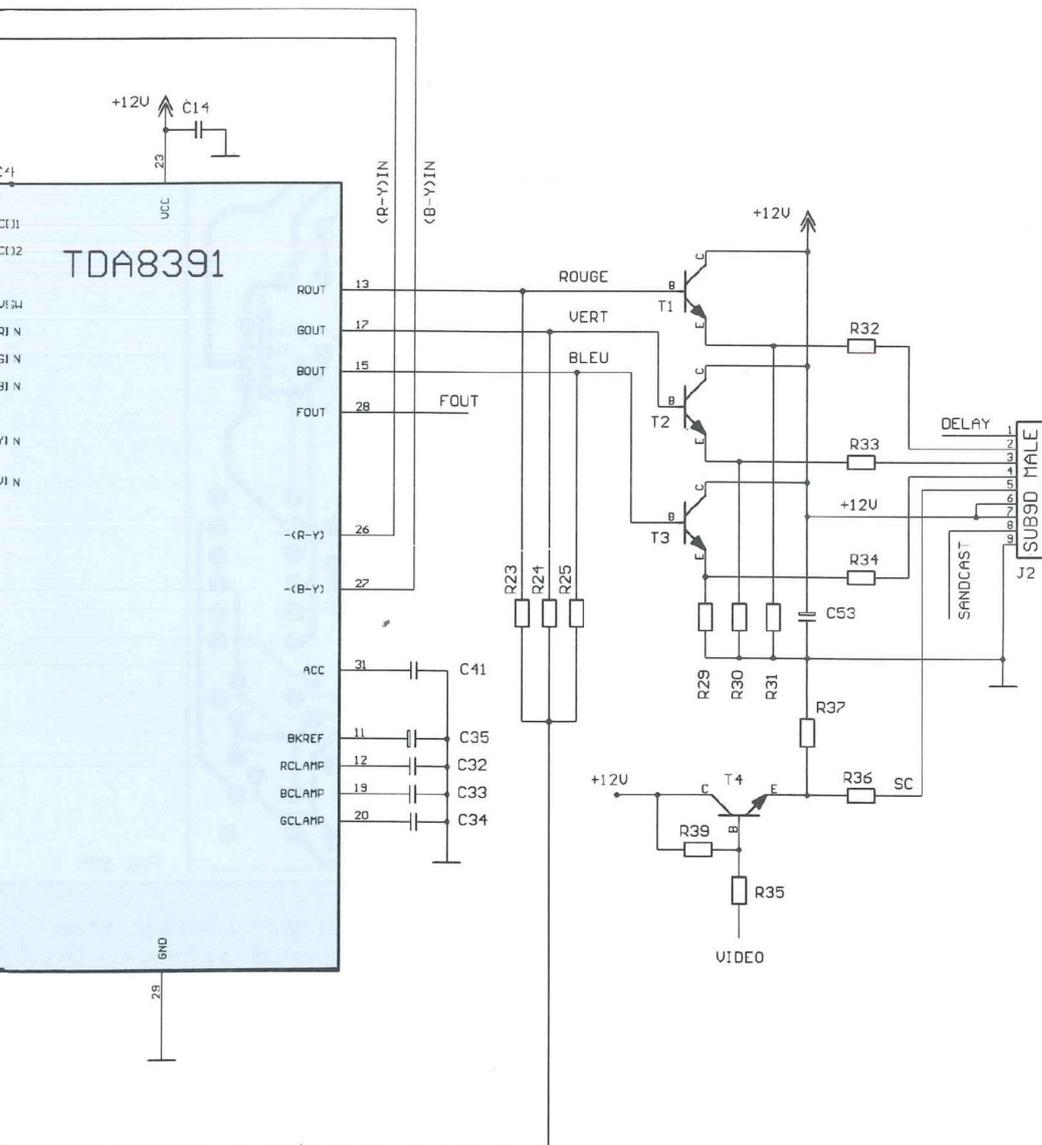
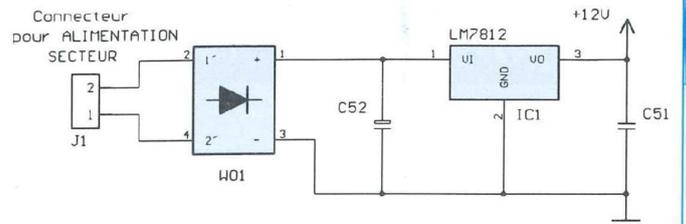
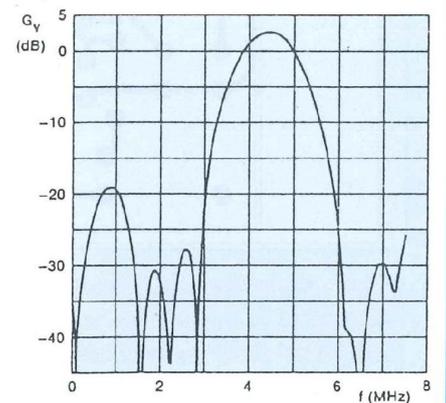


Fig. 17



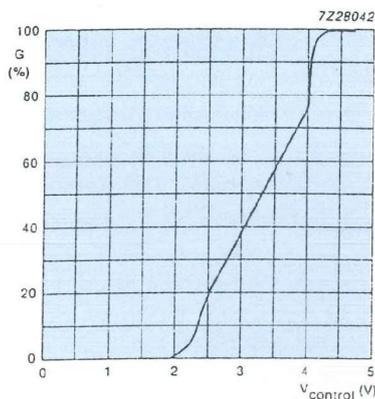
Typical frequency response of luminance signal.



Typical frequency response of chrominance signal.

Fig. 18

ACQUISITION D'IMAGES VIDÉO COULEUR



Typical saturation control curve.

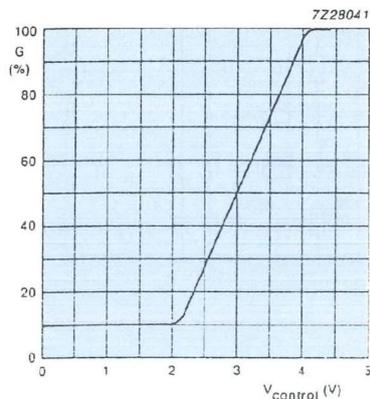
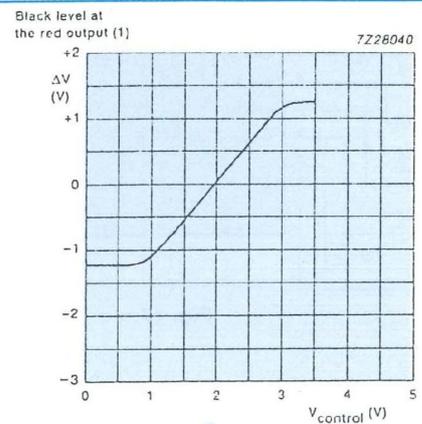


Fig. 20



(1) with respect to the measuring pulse.

Typical brightness control curve.

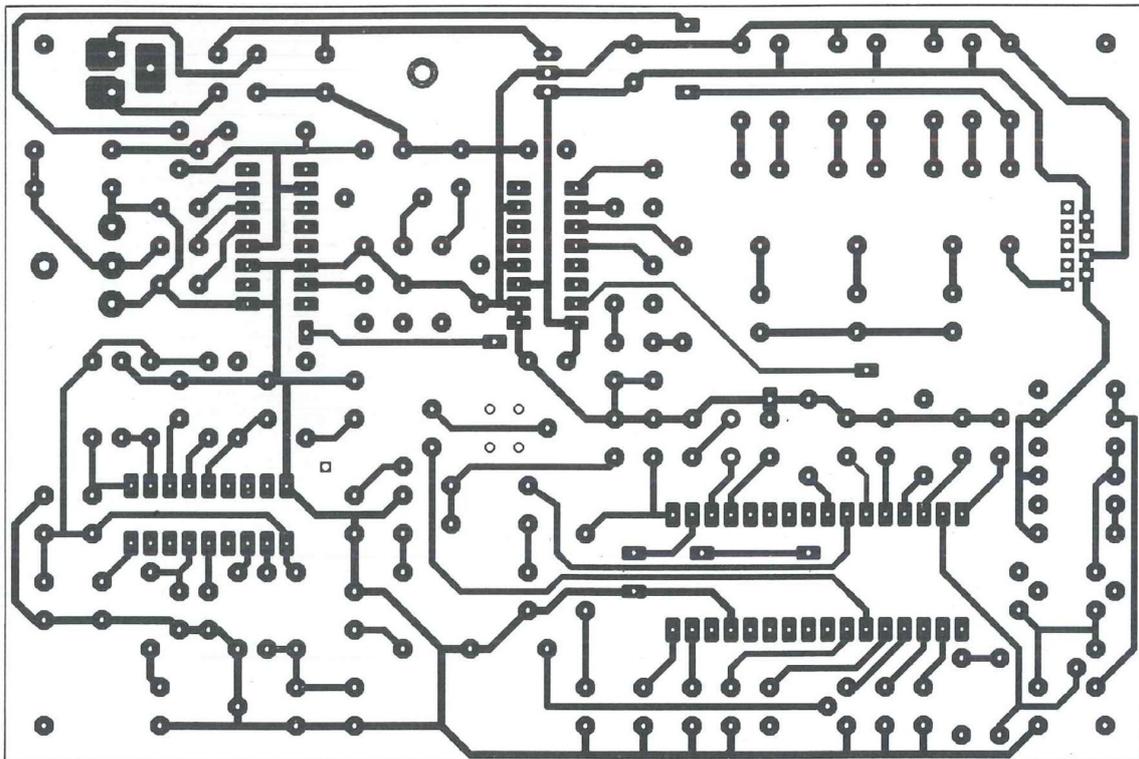


Fig. 22

nance (Yout]) et [chrominance (Cout)] sont dirigées respectivement sur les broches 25 et 30. Le décodeur régénère [R - Y] et [B - Y] à partir de la chrominance, et dirige ces informations vers la ligne à retard TDA8451, qui lui renvoie les signaux après 64 μ s. Les signaux de différence de couleur seront démodulés

dans le TDA8391 (figures 13a et 13b) puis dématricés à partir de la luminance. La démodulation utilise un oscillateur externe à quartz, asservi par une PLL afin de produire une fréquence double (soit 8,86MHz), qui est disponible sur la broche 28. Le décodeur offre la possibilité d'agir sur trois paramètres convention-

nels en vidéo : la lumière (réglage de la composante continue du signal), le contraste (réglage du gain) et la saturation des couleurs (proportion de couleur dans le signal vidéo). Ces réglages sont accessibles par P2, P3 et P4. Les composants R15 à R20 ont été calculés de façon à respecter les plages de variation

DÉCODEUR PAL/RVB

Brochage de la péritel

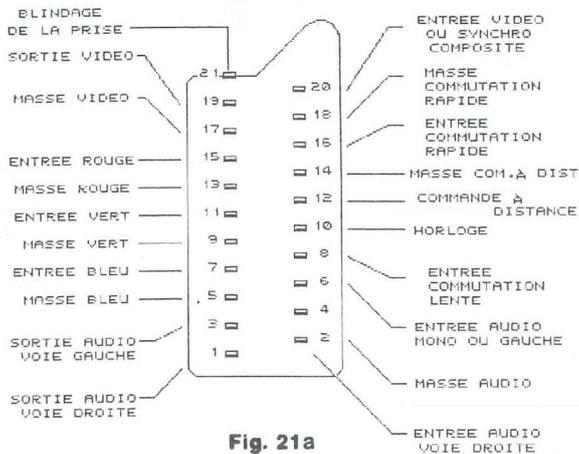


Fig. 21a

Brochage du connecteur SUB/9D
(fiche femelle à souder coté soudures)

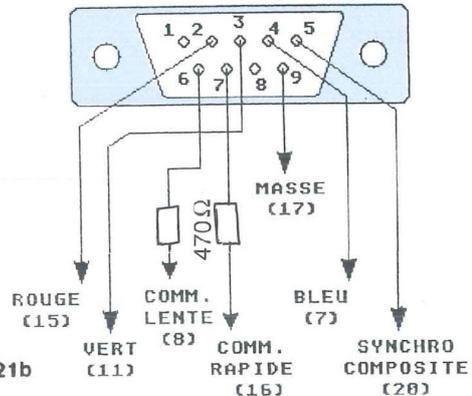


Fig. 21b

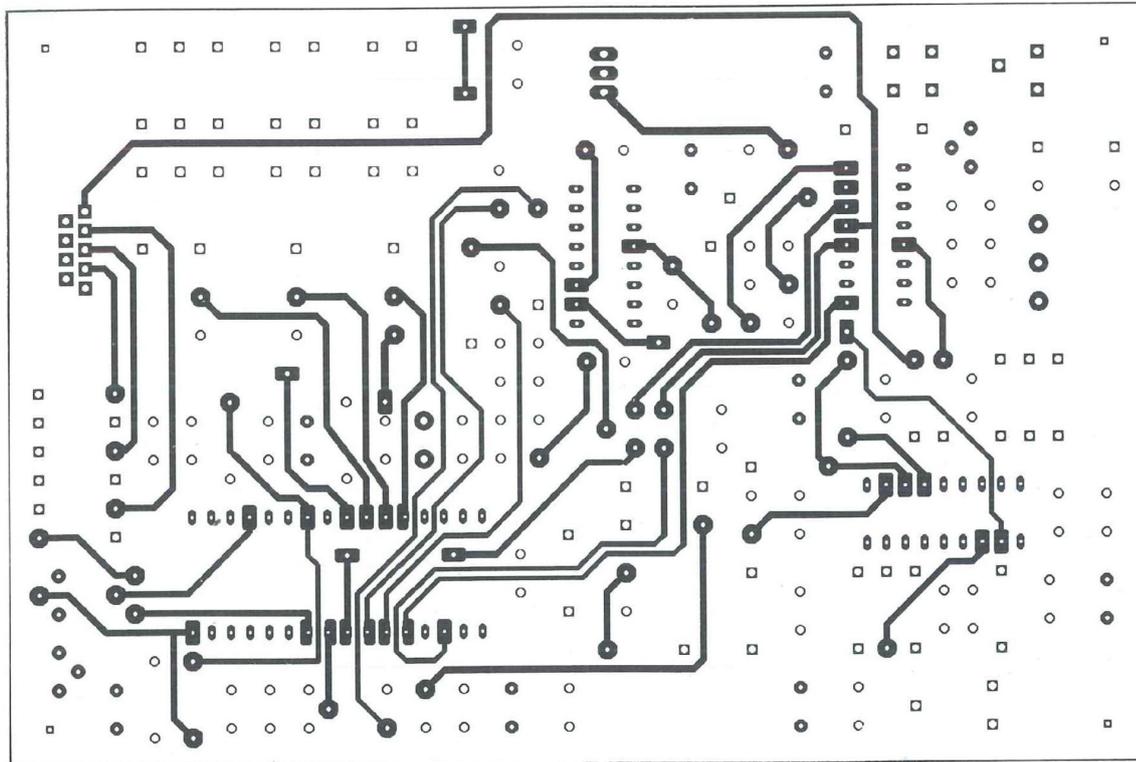


Fig. 23

linéaire des paramètres de correction, indiquées en figure 20 (soit de 1 V à 3 V pour la lumière et de 2V à 4V pour la saturation et le contraste). Enfin, les signaux décodés Rouge (broche 13), Vert (broche 17) et Bleu (broche 15) sont dirigés sur un étage d'adaptation à transistor très classique. Le signal vidéocomposite

leur est associé pour piloter la prise péritel d'un téléviseur à partir d'un connecteur Sub9D. Le brochage correspondant d'un câble [décodeur-péritel] est indiqué en figure 21. Les lecteurs qui ont réalisé le module d'acquisition vidéo sur Atari ou PC pourront récupérer leur adaptateur, qui est compatible avec ce câblage. La

possibilité de relier directement le décodeur à une prise péritel permet de simplifier considérablement la mise au point du montage. Lorsque tout sera opérationnel, le signal pourra être dirigé vers un module de conversion (la carte de numérisation à CA3306 publiée dans le numéro 134, par exemple) afin d'en assurer l'acquisi-

ACQUISITION D'IMAGES VIDÉO COULEUR

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

- Résistances $\pm 5\%$ - 1/4 W

R1 = 1 k Ω
R2 = 10 k Ω
R3 = 1 k Ω
R4 = 150 k Ω
R5 = 22 Ω
R6 = 5,6 k Ω
R7 = 1,2 k Ω
R8 = 1 k Ω
R9 = 6,8 k Ω
R10 = 1 k Ω
R11 = 33 k Ω
R12 = 3,3 k Ω / 1 k Ω (voir texte)
R13 = 1 k Ω
R14 = 68 k Ω
R15 = 10 k Ω
R16 = 10 k Ω
R17 = 10 k Ω
R18 = 100 k Ω
R19 = 33 k Ω
R20 = 33 k Ω
R21 = 8,2 k Ω
R22 = 82 Ω
R23 = 10 k Ω
R24 = 10 k Ω
R25 = 10 k Ω
R26 = 82 Ω
R27 = 1 k Ω
R28 = 100 k Ω
R29 = 1 k Ω
R30 = 1 k Ω
R31 = 1 k Ω
R32 = 82 Ω
R33 = 82 Ω
R34 = 82 Ω
R35 = 470 Ω
R36 = 82 Ω
R37 = 1 k Ω
R38 = 100 k Ω
R39 = 3,9 k Ω

- Ajustables

P1 = 4,7 k Ω
P2 = 22 k Ω
P3 = 22 k Ω
P4 = 22 k Ω

Condensateurs

C1 = 150 pF
C2 = 150 pF
C3 = 22 μ F
C4 = 4,7 μ F
C5 = 100 nF
C6 = 47 nF
C7 = 2,2 μ F
C8 = 2,7 nF
C9 = 100 nF
C10 = 1 nF
C11 = 100 nF
C12 = 22 μ F
C13 = 100 μ F
C14 = 100 nF
C15 = 100 nF
C16 = 1 nF
C17 = 1 nF
C18 = 100 nF
C19 = 1 μ F/100 nF (voir texte)
C20 = 33 nF/1 nF (voir texte)
C21 = 100 nF
C22 = 100 nF
C23 = 10 nF
C24 = 100 nF
C25 = 100 nF
C26 = 1 nF
C27 = 2,2 nF
C28 = 56 nF
C29 = 100 nF
C30 = 22 μ F
C31 = 100 nF
C32 = 100 nF
C33 = 100 nF
C34 = 100 nF
C35 = 1 μ F

C36 = 22 pF
C37 = 100 nF
C38 = 100 nF
C39 = 220 pF
C40 = 220 pF
C41 = 330 nF
C42 = 4,7 nF
C43 = 4,7 nF
C44 = 100 nF
C45 = 100 nF
C46 = 100 nF
C47 = 100 nF
C48 = 100 nF
C49 = 100 nF
C50 = 100 nF
C51 = 470 nF
C52 = 470 μ F
C53 = 2,2 μ F
C54 = 100 pF
C55 = 47 nF
C56 = 10 nF

Composants actifs

pont de diode 1 A / 60 V : WO1
T1 = 2N2222
T2 = 2N2222
T3 = 2N2222
T4 = 2N2222
IC1 = LM7812
IC2 = TDA2579A/B
IC3 = TDA8451/TDA8451A
IC4 = TDA8390/TDA8391
IC5 = TDA8452/TDA8452A

- Divers

support 32 broches x 1
support 18 broches x 1
support 16 broches x 1
support 14 broches x 1
L1, L2 : 10 μ H
Quartz 4,4336MHz
radiateur en U pour T0220

tion sur ordinateur. Grâce au décodeur PAL, les filtres de couleur ne seront plus nécessaires, ce qui permet de gagner en luminosité, en contraste et en fidélité.

Avec trois CA3306 et deux mémoires de 8 bits en parallèle, on pourrait assurer directement l'acquisition d'une image en 65536 couleurs.

RÉALISATION DU DÉCODEUR

Nous avons été contraint de recourir à un

DÉCODEUR PAL/RVB

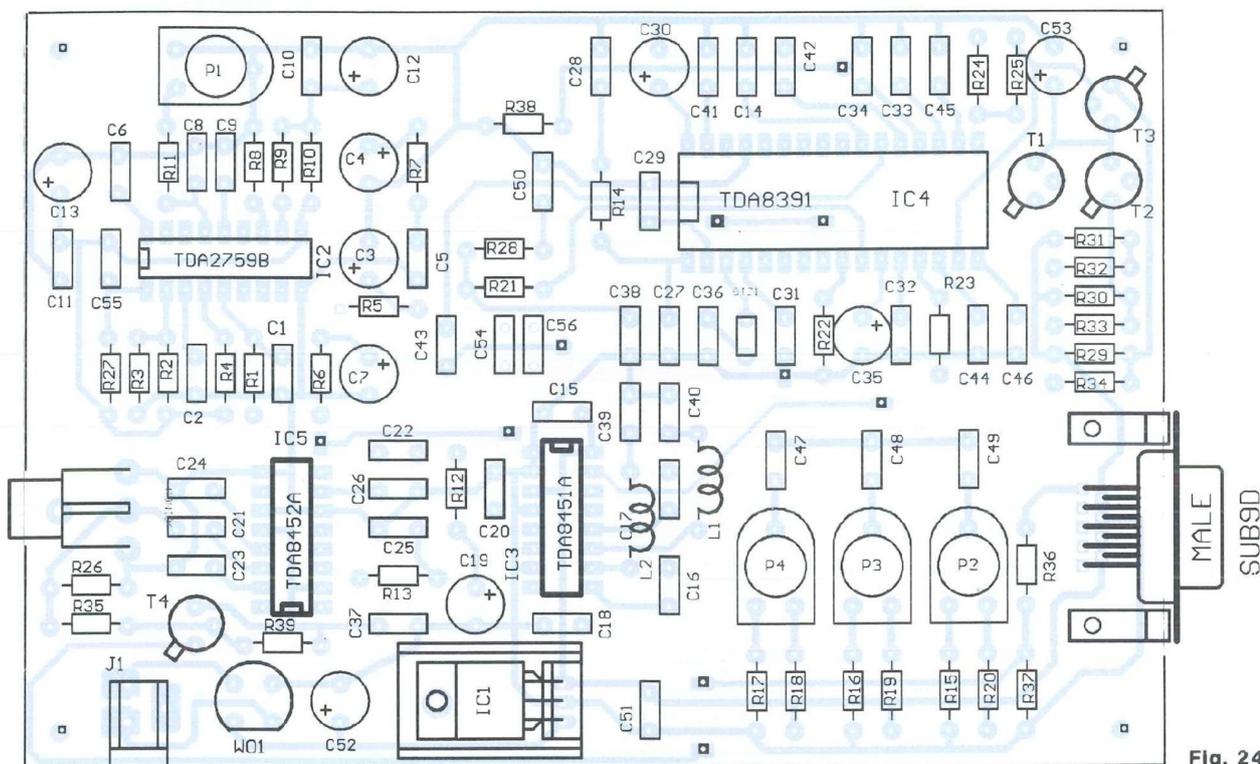


Fig. 24

circuit Epoxy double-face afin d'obtenir un ensemble compact qui respecte certaines règles d'implantation en vidéo (la fréquence des signaux utiles est dans la gamme 1 MHz - 10 MHz). Le tracé des pistes de la face inférieure est indiqué en figure 22, tandis que le tracé des pistes de la face supérieure (coté des composants) est indiqué en figure 23. Lors du soudage, il sera prudent de commencer à implanter les straps de liaison entre les deux faces (il y en a 10, repérés sur le plan d'implantation de la figure 24). Le soudage des composants demandera beaucoup de soin sur la face supérieure, car il y a de nombreuses connexions au niveau des circuits intégrés : chacune des soudures devrait être vérifiée à l'ohmmètre avant de procéder à l'alimentation du montage. Et puisque c'est le point le plus délicat, il faudra souder les supports de C.I. après les straps, avant tout autre composant. Utilisez des «barrettes-tuli-

pe» sécables, qui permettent un accès plus facile du fer à souder entre les broches des circuits intégrés. Pour la suite, c'est comme vous le sentez, bien que la logique conduise à implanter dans l'ordre les résistances, condensateurs, et autres composants passifs, pour finir avec les diodes, transistors et connecteurs. Le radiateur est indispensable sur IC1 : ne l'oubliez pas. Cependant, il ne doit pas être placé contre le circuit imprimé, car des pistes passent juste au dessous et risqueraient d'être court-circuitées par la surface du radiateur. En conséquence, on veillera à placer une rondelle entre l'époxy et le radiateur avant de le fixer avec le régulateur (la circulation d'air en sera améliorée).

RÉALISATION DU CÂBLE DE LIAISON DÉCODEUR-PÉRITEL

Le brochage de la prise Péritel est indi-

qué sur la figure 21a. L'entrée 8 de commutation lente permet d'accéder au signal audio et vidéo composite de la télévision. Il suffit de lui appliquer une tension continue de +12 volts pour l'activer. Dans ce cas, il est possible d'injecter des signaux en provenance de sources externes sur les broches 2, 6 et 20. L'entrée 16 dite de commutation rapide permet d'introduire des informations vidéo sur les broches 15 (rouge), 11 (vert) et 7 (bleu). Si cette option est utilisée (et c'est notre cas), il est impératif d'envoyer les signaux de synchronisation composite qui leur sont associés sur l'entrée 20 de la prise péritel. Une petite précision : si l'entrée 8 de commutation lente permet d'accéder à la péritel en lui appliquant une tension continue de +12 volts, l'entrée 16 dite de commutation rapide ne demande que quelques volts (et l'impédance d'entrée de cette broche est très faible!). une résistance de limitation de

ACQUISITION D'IMAGES VIDÉO COULEUR

470 ohms est donc prévue sur chacune des broches (6) et (7) du connecteur Sub-9D (figure 21b). Cette valeur procure une bonne adaptation d'impédance sur les deux entrées, qui reçoivent ainsi un signal conforme à ce qui est prévu à l'origine (11,8 V sur l'entrée lente et entre 1 V et 2 V sur l'entrée rapide). Signalons que ces résistances n'ont pas été implantées sur le circuit imprimé pour une raison très simple : la source de 12 V issue du décodeur alimentera ultérieurement la carte d'acquisition. Le circuit imprimé recevra un connecteur sub-9D mâle : il faut donc réaliser un câble comportant à une extrémité une fiche sub-9D femelle (qui contient les résistances de 470 ohms), et à l'autre extrémité une fiche péritel. Le câble utilisé pour le cordon de liaison au moniteur doit de préférence être blindé, de longueur 1m50 à 2m au maximum, et doit comporter au moins 7 brins indépendants. Le repérage des brins est assuré par les différentes couleurs du câble blindé, ce qui simplifie le câblage.

MISE EN ROUTE DU DÉCODEUR PAL

Câbler indifféremment sur le pont de diodes le secondaire d'un transformateur de 12 V, une alimentation continue de 15 V ou un adaptateur secteur de 15 V à 18 V. Après avoir vérifié la présence des tensions +12 V sur les supports, implan-

tez les circuits intégrés. La tension sur les curseurs des potentiomètres doit varier entre 1 et 3 volts pour P4, ou 2 et 4 volts pour P2 et P3. Placez ensuite tous les potentiomètres en position médiane. Connectez une source vidéo PAL à l'entrée, puis un moniteur TV en sortie. L'image vidéo doit apparaître sur l'écran du téléviseur, sous réserve que la commutation péritel ait pu avoir lieu correctement. Régler en premier P1 pour stabiliser l'image (un mauvais réglage à ce niveau provoque le défilement de l'écran, avec des distorsions dans l'image). Il ne reste plus qu'à ajuster les autres potentiomètres afin d'obtenir une image couleur satisfaisante. Si, malgré tout, l'image reste en N&B, c'est probablement que la valeur de C36 n'est pas adaptée au quartz utilisé : il suffit d'essayer d'autres valeurs pour C36 entre 10 pF et 33pF. En effet, ce condensateur permet d'ajuster précisément la fréquence de l'horloge de référence à quartz (à +/- 1 kHz près). Cette condition est indispensable pour que le décodage soit efficace. Encore un dernier mot : lors d'ultimes essais, et selon les directives du constructeur, un condensateur de 100 nF a été ajouté directement entre les broches d'alimentation du TDA8391 (broches 23 et 29, sous le circuit imprimé), afin d'améliorer la qualité du signal vidéo. Il n'est pas obligatoire, mais les améliorations sont sensibles et cette correction ne coûte pas cher.

ADAPTATION DU MONTAGE À DIFFÉRENTES RÉFÉRENCES DE CIRCUITS INTÉGRÉS

Le décodeur fonctionne directement avec un TDA8390 à la place du TDA8391. La différence essentielle réside dans la présence des résistances de polarisation R28 et R38 dans le TDA8391. Le TDA8452A est directement remplaçable par le TDA8452, plus ancien. La différence entre ces deux composants se situe au niveau du filtrage pour le standard Sécam, qui n'est pas utilisé ici. Par contre, si le TDA8451A génère sa propre horloge interne à partir du signal externe Sandcastle, le TDA8451 (son prédécesseur) utilise le signal [Fout] issu du décodeur. Il faudra alors câbler une liaison entre la broche 6 du TDA8451 et la broche 8 du TDA8452A, si c'est l'ancienne version de la ligne à retard qui est utilisée. Quelques valeurs de composants sont également à modifier :

- TDA8451 :
R12 = 1 k Ω
C19 = 100 nF
C20 = 1nF
- TDA8451A :
R12 = 3,3 k Ω
C19 = 1 μ F
C20 = 33nF

Bernard Dalstein

EDITIONS PERIODES

1, boulevard Ney 75018 PARIS

Vous avez réalisé des montages personnels que vous aimeriez publier dans notre revue. N'hésitez pas à nous joindre soit par téléphone, soit par courrier afin d'obtenir les renseignements nécessaires pour une éventuelle collaboration à Led.

BON DE COMMANDE

à adresser aux EDITIONS PÉRIODES
Service abonnements
1, boulevard Ney 75018 Paris

N° 131

Rubriques

- L'électronique de l'infra-rouge (cours N°5)
- Les tubes électroniques (cours N°4 : la tétrode, la pentode, les tubes complexes)
- Carillon de porte de 10 notes
- Boîte à rythme programmée
- Amplificateur guitare 25 Weff (2^e partie)

N° 132

Rubriques

- Le capteur de température LM335
- Serrure à carte codée
- Préampli différentiel pour micro symétrique
- Filtre anti-larsen pour microphone
- Doubleur de canaux pour oscilloscope
- Compteur universel
- Interrupteur sonore (clap inter)
- Générateur BF économique à très faible distorsion

N° 133

Rubriques

- La correction acoustique des locaux
- Minuterie programmable
- Automatisation d'éclairage
- Digitaliseur vidéo pour Atari et compatible IBM-PC (1^{ère} partie)
- Convertisseur inverseur de puissance ± 12 V / 0,5 A
- Alarme auto/moto à capteur inductif

N° 134

Rubriques

- La classe d'amplification A ou B
- Table de mixage
- Digitaliseur vidéo pour Atari et compatible IBM-PC (2^e partie)
- Générateur de fonctions 20 Hz à 100 kHz en 4 gammes
- Automatisation de charge pour batteries au plomb 12 V

N° 135

Rubriques

- Le filtrage actif
- Digitaliseur vidéo pour Atari et compatible IBM-PC (3^e partie)
- Commandes de moteurs
- Variateur de puissance et sécurité pour fer à souder
- Emetteur automatique FOXTROT
- Télécommande infra-rouge 16 voies programmables

N° 136

136 Rubriques

- En savoir plus sur le MAX038
- Comprendre le son des tubes
- Amplificateur à tubes. Double push-pull d'EL84 - 28 Weff (1^{ère} partie)
- Digitaliseur vidéo pour Atari et compatible IBM-PC (4^e partie)
- Mini-Labo Audio (1^{ère} partie)
- Symétriseur de signaux audios

N° 137

Rubriques

- Le calcul des paramètres d'un haut-parleur
- Mini-Labo Audio (2^e partie)
- Amplificateur pour instruments et sonorisation de 40 Weff
- Amplificateur stéréo à tubes. Double push-pull d'EL84 - 2 x 28 Weff (2^{ème} partie)
- En savoir plus sur le HA2645 de HARRIS

N° 138

Rubriques

- Le redressement avec tubes électroniques diodes (cours N°5)
- Amplificateur à tubes EL84, 2x5 Weff en classe A
- Amplificateur à transistors, 2x100 Weff en classe A-B
- Amplificateur à circuits intégrés TDA 1510 / TDA 1515
- Analyseur de spectre audio

N° 139

Rubriques

- Les cathoscopes ou tubes cathodiques (cours N°6)
- Le TDA 7294 de SGS-THOMSON, amplificateur stéréo de 2x70 Weff / 8 Ω ou 1 x 200 Weff / 8 Ω
- Amplificateur hybride tube/transistor : le TRANSITUBE, 2x35 Weff / 8 Ω en pure classe A
- Filtre actif pour caisson extrême grave

N° 140

Rubriques

- Les amplificateurs audio à tubes électroniques (cours N°7)
- Le Quatuor ! Amplificateur classe A de 2x20 Weff à tubes EL84
- Le traitement numérique du signal
- Amplificateur professionnel de 2x350 Weff / 8 Ω (1000 Weff / 8 Ω en version pontée)
- Booster auto-radio économique de 2x18 Weff / 4 Ω

N° 141

Rubriques

- Les amplificateurs audio à tubes électroniques (cours N°8 : correction de fréquence des signaux)
- Amplificateur professionnel de 2x350 Weff / 8 Ω (1000 Weff / 8 Ω en version pontée) : le MONSTRE - 2^{ème} partie
- Minuteur cyclique
- Booster à tubes pour autoradio (double push-pull d'EL84) 1^{ère} partie

N° 142

Rubriques

- Les amplificateurs audio à tubes électroniques (cours N°9 : La Rétroaction)
- Amplificateur professionnel de 2x350 Weff / 8 Ω (1000 Weff / 8 Ω en version pontée) : le MONSTRE - 3^{ème} partie
- Préamplificateur tous tubes 5 entrées avec correcteur de tonalité débrayable
- Laboratoire miniature comprenant : Générateur de fonctions + alimentation stabilisée + chargeur de batteries CdNi

Je vous fais parvenir ci-joint le montant
de F par CCP par chèque bancaire
par mandat

30 F le numéro (frais de port compris)

Je désire :

...n° 131 ...n° 132 ...n° 133 ...n° 134
...n° 135 ...n° 136 ...n° 137 ...n° 138
...n° 139 ...n° 140 ...n° 141 ...n° 142

NOM : PRÉNOM :

N° : RUE

CODE POSTAL : VILLE :

TRACEUR DE COURBES POUR TRANSISTORS PNP/NPN

Quiconque a un jour monté un amplificateur hifi à transistors s'est heurté au problème de l'appairage des transistors de l'étage d'entrée. Les revues spécialisées recommandent de le faire au Beta-mètre, mieux encore avec un traceur de courbes.

Malheureusement, un traceur de courbes, étant donné son prix, a rarement sa place dans le laboratoire d'un amateur. Toutefois, un oscilloscope est plus courant et il est possible d'en faire un traceur avec ce petit appareil qui, si son étalonnage ne permet pas des mesures à 0,1 %, autorise des contrôles rigoureux et des comparaisons nécessaires aux transistors des amplis hifi.

FONCTIONNEMENT

Le but est de tracer les caractéristiques I_C fonction de V_{CE} . Le fonctionnement s'explique au vu des caractéristiques à obtenir et du synoptique. Une horloge commande simultanément un générateur de rampe et un générateur d'escalier. Chaque marche de l'escalier va déterminer, par la résistance R_B une valeur I_B . A chaque valeur I_B correspond une rampe, qui, par R_C , va balayer V_{CE} et I_C . Le générateur d'escalier a 10 «marches» ; on aura donc 10 valeurs de I_B pour tracer 10 caractéristiques. Il suffira ensuite d'envoyer I_C en Y et V_{CE} en X à l'oscilloscope, branché en mode «XY».

L'HORLOGE

Elle est constituée d'un montage devenu classique du 555, C1 se charge à travers R1 + R2, et se

décharge à travers R2. Le temps de décharge de C1 ($0,1 \mu F$) à travers R2 (470Ω) peut être négligé devant le temps de charge à travers R1 ($10 k\Omega$). Les seuils sont à $1/3 V_{CC}$ et $2/3 V_{CC}$.

Calcul de la période : elle correspond à la charge de C1 à travers R1 + R2 entre $1/3 V_{CC}$ et $2/3 V_{CC}$ sous une tension de $2/3$ de V_{CC} . Soit une charge sous une tension $E = 2/3 V_{CC}$ avec basculement à $E/2$.

$$E/2 = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$\rightarrow t = 0,7(R1 + R2)C1 = 0,73 \text{ ms}$$

Soit une fréquence de 1,36 kHz.

On mesure sur la maquette $f = 1,2$ kHz, compte tenu de la présence de C3 et R9, ramenés en parallèle sur C1.

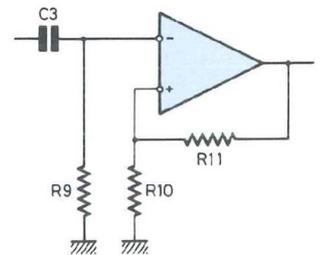
GENERATEUR DE MARCHÉ D'ESCALIER

Il est constitué d'un compteur binaire pur suivi d'un «mini-convertisseur numérique-analogique».

On donne ci-contre le schéma de ce «mini-convertisseur». a_0 à a_3 représentent les inverseurs qui connectent les résistances à la masse ou à V_{CC} - $a_0... a_3 = 0$ si l'inverseur va à la masse, $a_0... a_3 = 1$ si l'inverseur va à V_{CC} .

Les fanatiques de calculs s'amuseront...

L'expression de V_S est :



Etage amplificateur.

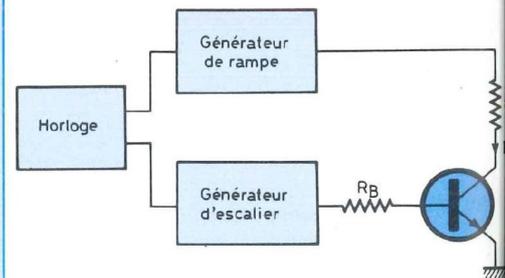


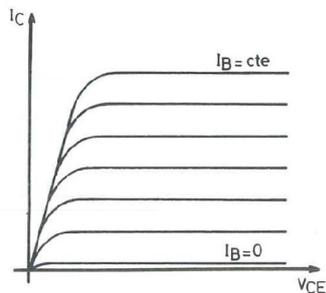
Schéma de principe complet du traceur de courbes.

$$V_S = V_{CC} \left[\frac{R1}{R2} - \frac{R1}{R} \right] \left(a_0 + \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{4} + \frac{a_3}{8} \right)$$

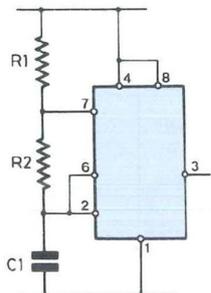
$a_0... a_3$ vont représenter les quatre sorties du compteur par dix 4518 pour $a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = 0$, on désire $V_S = + V_{CC}$ (le système est inverseur).

On en déduit $R1 = R2$. (On prendra $R8 = R7 = 47 k\Omega$) pour $a_0 = a_3 = 1$, $a_1 = a_2 = 0$, on désire $V_S = - V_{CC}$ (soit le chiffre 9 en binaire).

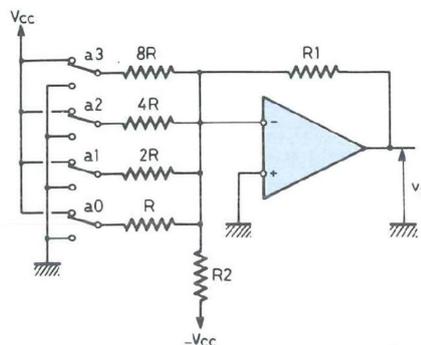
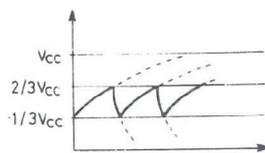
LA BONNE PAIRE



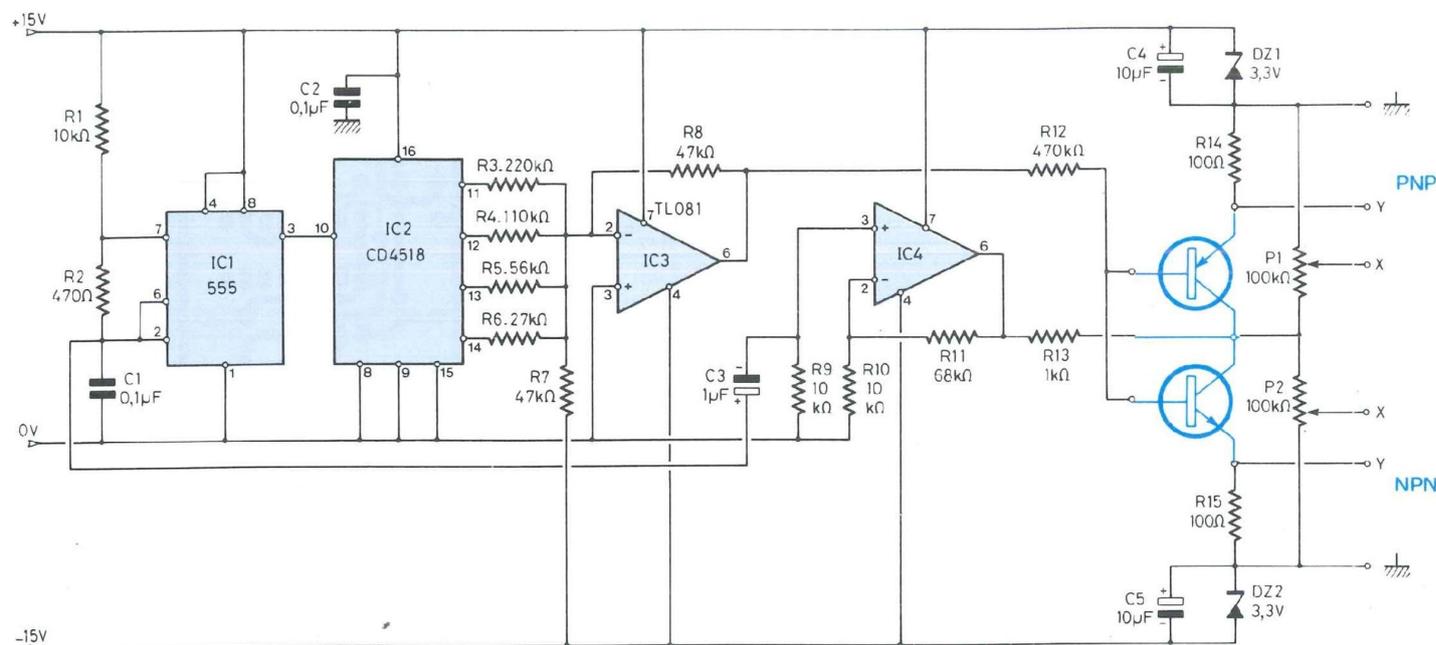
Caractéristique I_c/V_{ce} .



Une horloge classique avec un 555.



Mini-convertisseur numérique-analogique.



$$v_s = -V_{cc} \Rightarrow \frac{R_1}{R} \left(1 + \frac{1}{8}\right) = 2$$

$$\Rightarrow R = \frac{1,13}{2} R_1 = 26,4 \text{ k}\Omega$$

On prendra $R_6 = 27 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 56 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 220 \text{ k}\Omega$. En mettant à l'entrée de ce « convertisseur » un compteur binaire pur, on obtient successivement toutes les valeurs analogiques possibles, soit un escalier « descendant » comportant 10 marches d'environ 3 V chacune, entre + 15 et - 15 volts.

GENERATEUR DE RAMPE

Le but est d'obtenir une rampe de tension parfaitement synchrone avec chaque marche d'escalier. Des montages performants à amplis OP existent. On aurait pu prendre un intégrateur équipé d'un dispositif de décharge du condensateur pour la synchronisation. N'ayant pas besoin d'une rampe parfaite, l'auteur a préféré utiliser la rampe existante aux bornes du condensateur C1 de l'étage horloge.

Cette tension est ramenée à l'entrée d'un étage amplificateur. C3 élimine la composante continue. La tension crête aux bornes de C1 est de

$$\frac{2}{3} V_{cc} - \frac{1}{3} V_{cc} = 5 \text{ V}$$

Il faut donc que l'ampli ait un gain de 6 pour obtenir une tension comprise entre + 15 et - 15 V.

REMARQUE CHOIX DES COMPOSANTS

La fréquence élevée de l'horloge a

TRACEUR DE COURBES POUR TRANSISTORS

été choisie telle que le réseau de courbe soit stable sur l'écran (environ 100 Hz). Cette fréquence a imposé de prendre pour IC3 un bi-FET à haut slew-rate. L'utilisation d'un 741 serait possible en diminuant la fréquence ($R1 = 33 \text{ k}\Omega$), sous peine de voir, sur l'écran, des courbes dans n'importe quel sens.

COMPLEMENT DE CONSTRUCTION

Les résistances R12 et R13 sont de valeurs assurant un compromis pour la mesure des transistors petits signaux. Elles peuvent être éventuellement modifiées.

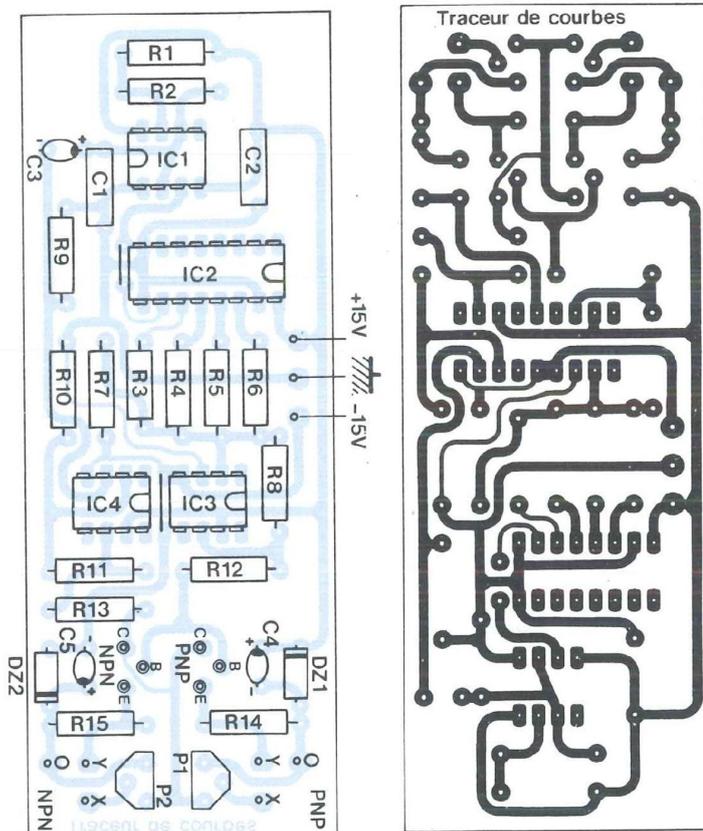
L'ETAGE DE MESURE

La résistance R12 constitue la résistance de polarisation de la base du transistor testé. Avec $R12 = 470 \text{ k}\Omega$, la variation de I_B sera de $6 \mu\text{A}$ par courbe sur le réseau de caractéristiques.

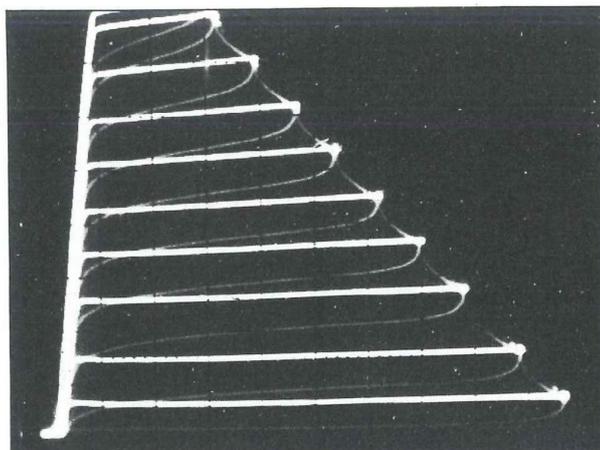
La résistance R13 constitue la charge du transistor testé. Les diodes DZ1 et DZ2 servent à se démarquer des tensions de déchet des amplis-OP et à ainsi obtenir la courbe $I_B = 0$. R14 et R15 sont utilisées en détecteur de courant I_C ($\approx I_E$). P1 et P2 atténuent la valeur mesurée de V_{CE} .

UTILISATION

- Alimenter le montage en + 15 et - 15 volts
- Positionner l'oscillo sur «XY»
- Brancher la masse sur la borne «0» (NPN ou PNP selon le transistor à tester)
- Brancher l'entrée X sur la borne «X»
- Brancher l'entrée Y sur la borne «Y»
- Enficher le transistor à tester sur son support



Un petit circuit imprimé regroupe tous les composants de ce traceur de courbes.



Un transistor 2N2222 à l'essai.

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

- Résistances à couche

± 5 % 1/2 W

R1 - 10 kΩ

R2 - 470 Ω

R3 - 220 kΩ

R4 - 110 kΩ

R5 - 56 kΩ

R6 - 27 kΩ

R7 - 47 kΩ

R8 - 47 kΩ

R9 - 10 kΩ

R10 - 10 kΩ

R11 - 68 kΩ

R12 - 470 kΩ

R13 - 1 kΩ

R14 - 100 Ω

R15 - 100 Ω

- Condensateurs non polarisés

C1 - C2 - 0,1 μF

- Condensateurs «tantale goutte»

C3 - 1 μF/16 V

C4 - C5 - 10 μF/16 V

- Semiconducteurs

DZ1 - DZ2 - BZX55 - 3,3 V

IC1 - NE555

IC2 - CD4518

IC3 - TL081

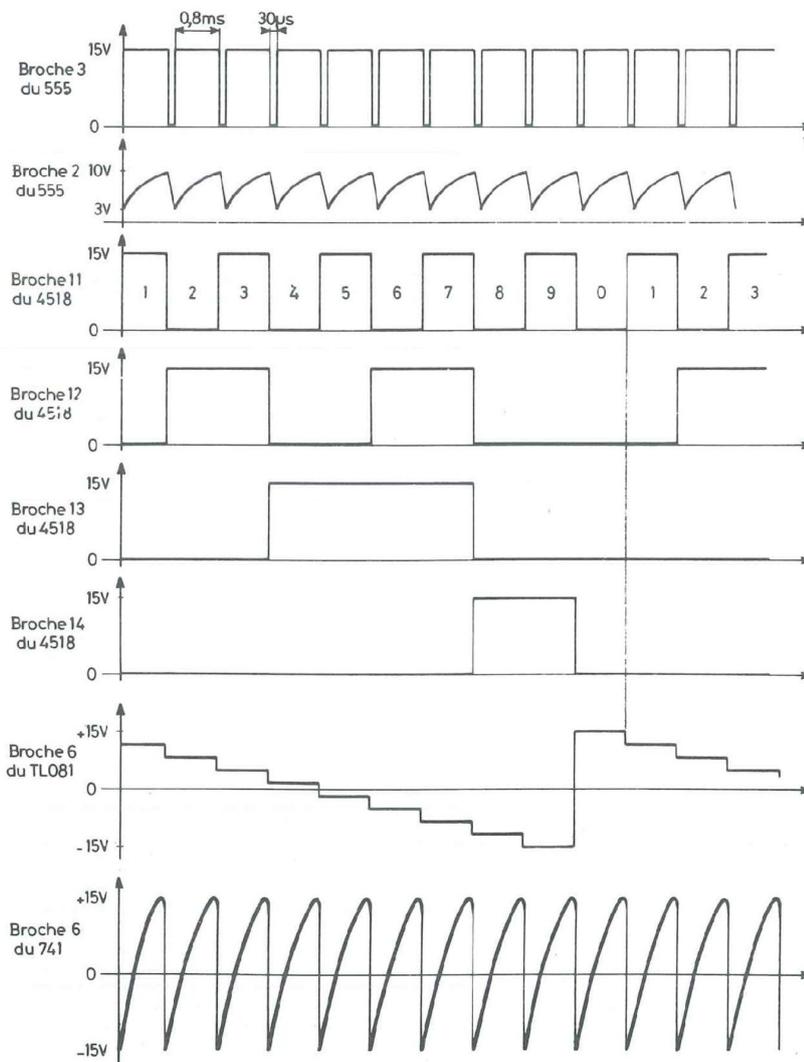
IC4 - LM741

- Ajustables

P1 - P2 - 100 kΩ

- Divers

2 supports pour transistors T05



Oscillogrammes relevés en différents points du montage.

— Ajuster P1 et P2, et l'atténuateur de l'oscillo.

Remarque : La masse oscilloscope est distincte de la masse alimentation.

Toute alimentation de faible puis-

sance (100 mA maximum), symétrique, de tension ± 15 V, décrite dans LED pourra convenir (celle de l'égaliseur par exemple).

La mise en coffret est simple. Outre les sorties oscillo, on pourra prévoir,

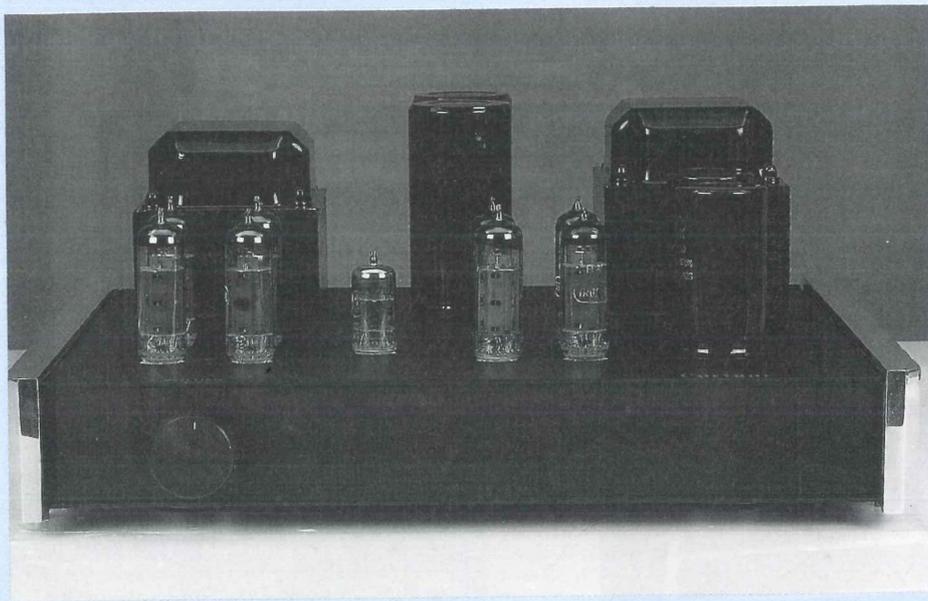
pour chaque type de transistor, deux supports distincts commutables par un inverseur, de manière à faciliter l'appairage.

P.R.

L'OCTUOR

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL 84 54 Weff/4 ou 8 Ω

Cette réalisation sera la dernière proposée dans la série des amplificateurs de puissance à tubes EL84. Bien qu'appréciant beaucoup cette petite pentode pour son extraordinaire dynamique, nous l'abandonnerons pour travailler dorénavant sur les tubes 6L6, EL34, 300B, ce qui nous permettra de faire des comparaisons subjectives avec nos 5 appareils en service. Quelle que soit l'étude publiée dans cette revue, l'EL84 nous a toujours donné satisfaction, souhaitons qu'il en soit de même avec d'autres tubes !



L'OCTUOR est un bloc amplificateur monophonique qui peut fournir plus de 50 Watts efficaces, ce qui l'autorise à accepter tous types d'enceintes à haut ou faible rendement. Nous avons vu au fil de ces études que

le simple fait de relier des tubes en parallèle tout en diminuant dans le même rapport l'impédance primaire du transformateur de sortie permettait d'augmenter la puissance de l'amplificateur.

Ainsi, du push-pull qui délivrait 12 Weff, avons-nous obtenu du double push-pull une puissance de 28 Weff pour terminer

avec cette dernière réalisation sur une puissance de 54 Weff.

L'impédance primaire du transformateur de sortie est passée de 8 k Ω à 4 k Ω puis à 2 k Ω avec ce dernier projet (théoriquement 2 x 8 tubes et une impédance de 1 k Ω permettraient de dépasser les 100Weff ! mais nous n'expérimenterons pas).

Le fait de relier en parallèle de plus en plus de tubes mal appariés risque en effet de rendre l'amplificateur instable et incontrôlable, stoppons donc nos expérimentations avec ce quadruple push-pull qui ne nécessite pas de réglages pointilleux et fonctionne dès la mise sous tension.

Une constatation que nous avons pu faire lors de l'écoute attentive de ces différents amplificateurs équipés de tubes EL 84 est l'accroissement de la dynamique qui est fonction du nombre de tubes reliés en parallèle. Cette pratique permet en effet de diminuer la résistance interne des tubes, est-ce la seule raison ?

Toujours est-il que l'OCTUOR a un tonus époustoufflant avec un grave ferme et puissant (nous descendons à 15 Hz !) et un médium/aigu très précis, aéré, naturel, faisant apparaître une multitude de micro-informations.

LE SCHÉMA

Comme vous pouvez le constater en observant la figure 1, ce schéma est dérivé du simple et du double push-pull. Il se complique un peu plus chaque fois avec l'apparition de nouvelles pentodes, mais au niveau de la triode ECC83, rien ne bouge.

Revoyons rapidement le fonctionnement.

LA PRÉAMPLIFICATION

Une demie triode ECC83 traite la modulation appliquée sur sa grille par l'intermédiaire du potentiomètre P1 qui sert de commande de volume.

Cet étage est polarisé d'une part par la

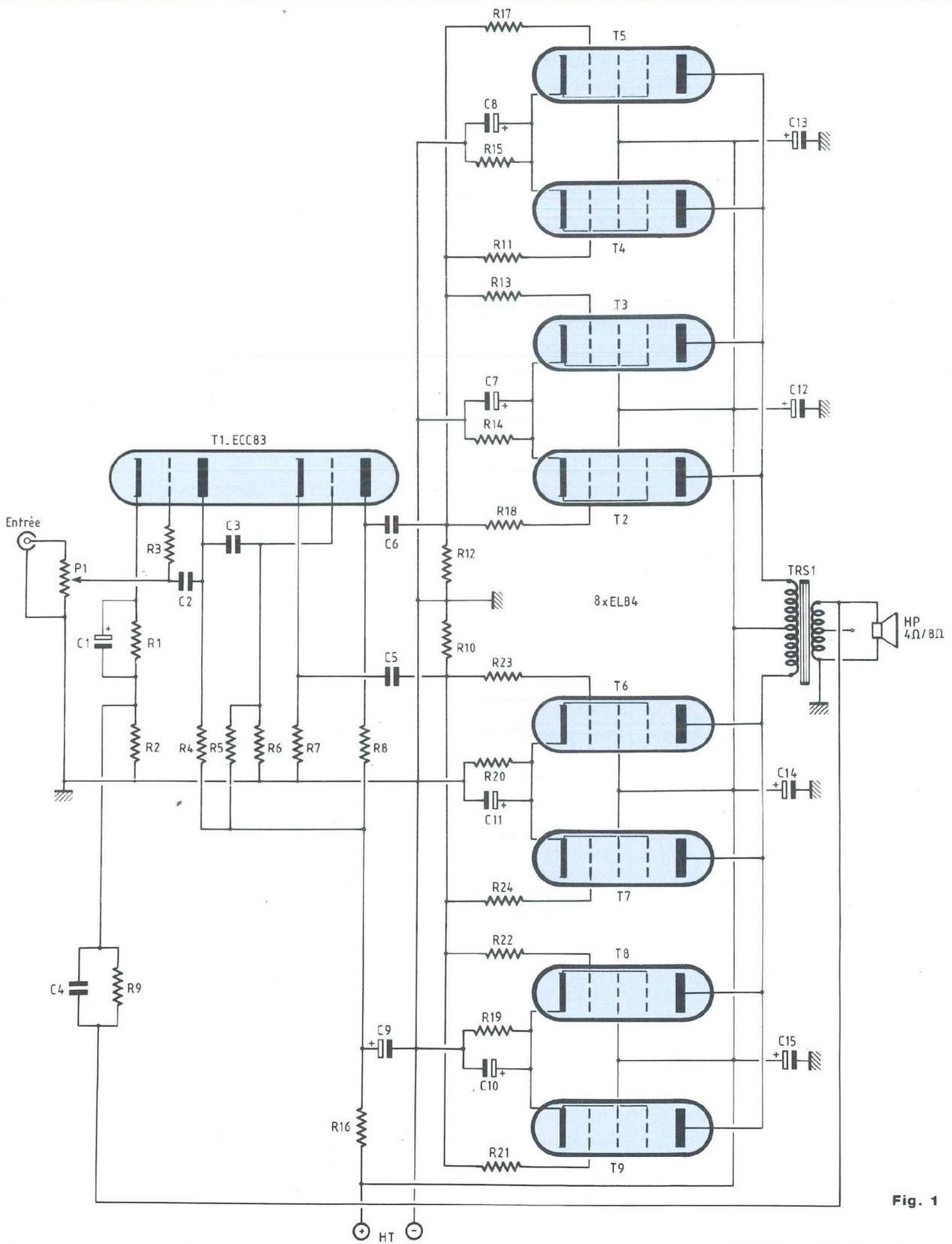


Fig. 1

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff

résistance d'anode R4 reliée au + H.T. au travers de la cellule de filtrage R16/C9 (elle nettoie la tension continue de tout résidu alternatif, la ronflette) et d'autre part par les résistances de cathode R1 et R2 reliées en série.

C'est aux bornes de R2 qu'est appliquée la rétroaction dont nous a parlé monsieur Matoré dans notre précédent numéro (cours n°9 du Led 142). La cellule de rétroaction est composée de C4/R9. Ces deux éléments R/C permettent d'optimiser le fonctionnement de l'amplificateur en fonction du transformateur de sortie TRS1. La résistance R9, en fonction de sa valeur modifie le gain de l'amplificateur et permet donc de jouer sur la sensibilité d'entrée (signal max. à appliquer aux bornes de P1 pour obtenir la puissance max. au secondaire de TRS1).

Le condensateur C4 optimise la réponse de l'amplificateur aux fréquences élevées (signal carré observé à 10 kHz à l'oscilloscope). Il permet de lisser au mieux les plateaux positifs et négatifs du signal carré tout en modifiant légèrement le temps de montée. Il ne faut pas non plus que le signal carré se transforme en dent de scie !

La résistance de polarisation de cathode R1 (R2 avec ses 100 Ω n'ayant aucune influence par rapport aux 2 700 Ω de R1) est découplée par un condensateur qui fait le tri entre les tensions continue et alternative. C1 stabilise donc le potentiel de la cathode en étant perméable à tout ce qui est alternatif, potentiel qui ne dépend plus alors que du seul courant anodique.

La cellule R1/C1 forme un filtre qui limite la réponse de l'amplificateur aux basses fréquences.

Avec les valeurs sélectionnées de 2,7 k Ω et 47 μ F, la fréquence de coupure f_0 à -6 dB intervient, en se basant sur la relation :

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi \cdot R \cdot C}$$

à 1,25 Hz

L'anode est portée au repos à un potentiel de + 209 V à partir d'une tension d'alimentation de + 278 V (tension mesurée après la cellule de filtrage R16/C9).

Avec une résistance de charge R4 de 100 k Ω , nous pouvons en déduire le courant anodique I_A :

$$I_A = \frac{278 - 209}{100 \cdot 10^3} \approx 0,69 \text{ mA}$$

Ce même courant traverse ensuite les résistances R1 et R2, polarisant ainsi la cathode de T1 à $U_k = 2,8 \cdot 10^3 \cdot 0,69 \cdot 10^{-3}$ soit 1,93 V (nous avons mesuré sur le prototype 1,97 V).

Le signal amplifié par cette demie triode est prélevé sur l'anode par le condensateur de liaison C3 pour l'injecter dans la grille du deuxième étage.

Comme pour C1, C3 bloque la tension continue élevée (nous venons de voir + 209 V) présente sur l'anode tout en ne transmettant que le signal alternatif à la grille suivante.

LE DÉPHASEUR

Le but est de recueillir deux signaux de même amplitude mais en opposition de phase pour piloter le push-pull de sortie. Or, nous savons que le signal injecté dans la grille d'une triode est récupérable en phase sur sa cathode mais déphasé de 180° sur son anode (ce que nous recherchons).

Il suffit donc de prélever nos deux signaux sur ces électrodes, aux bornes de leurs résistances de charge qui doivent bien entendu avoir la même valeur, pour disposer de deux signaux de même amplitude (courant anodique et courant cathodique étant identiques).

R7 et R8 ont une valeur de 47 k Ω .

La résistance d'anode R8 est, comme pour l'étage précédent, portée au potentiel de + 287 V, tandis que celle de cathode R7 est reliée à la masse sans être découplée.

Les tensions continues élevées présentes aux bornes de R7 et R8 obligent à prélever les signaux déphasés au moyen des condensateurs C5 et C6.

Si le potentiel de cathode du premier étage n'est que de 1,97 V, nous pouvons mesurer aux bornes de R7 une tension de + 49,2 V.

La grille du déphaseur est polarisée à partir du pont résistif R5/R6, toujours depuis la tension d'alimentation de + 278 V. Au point commun de R5/R6 nous mesurons un potentiel de + 46,1 V. La seconde grille de l'ECC 83 est donc polarisée à - 3,1 V.

La cellule C3/R6 limite les basses fréquences à 1,54 Hz (1,25 Hz pour R1/C1).

LE PUSH-PULL

Chaque branche comporte quatre tubes EL 84 reliés en parallèle. Leurs cathodes sont polarisées deux à deux par des cellules R/C. Les tensions aux bornes des résistances de 82 Ω sont voisines de 8 V, ce qui donne un courant anodique de 49 mA par tube. Il ne faut pas que ces tensions soient trop éloignées les unes des autres, ce qui indiquerait un mauvais appairage des pentodes.

Les tensions anodiques sont de + 290 V pour une haute tension de + 296 V.

Ces valeurs fluctuent légèrement en fonction du réseau EDF qui n'est pas toujours un exemple de stabilité. A la rédaction, la tension secteur se promène entre 220 et 240 V !

Les modulations sont appliquées aux grilles des pentodes au travers des résistances de neutrodynage qui stabilisent le fonctionnement de l'amplificateur (voir le cours n° 7 de Monsieur Matoré). Sans elles, le risque d'entrée en oscillation du montage serait grand.

Les condensateurs de forte valeur qui découplent les résistances de cathode autorisent un fonctionnement de l'amplificateur aux très basses fréquences. En effet, avec les cellules R/C composées des résistances de 82 Ω comme nous l'avons vu en début de paragraphe, associées à des valeurs capacitives de 1 000 μ F, la fréquence de coupure intervient à 1,95 Hz !

Le transformateur de sortie TRS1 a son point milieu porté au + H.T., tandis que les extrémités chargent les anodes et recueillent les deux demi-alternances du signal amplifié.

L'impédance est de 2 k Ω plaque à plaque, soit 1 k Ω par branche.

Comme il est bien connu qu'un transformateur ne fonctionne qu'en alternatif, le secondaire de TRS1 ne recueille que le signal débarrassé de toute tension continue. C'est probablement un des avantages majeur du tube face au transistor, car aucune composante continue n'est présente aux bornes du haut-parleur. Ce n'est pas le cas avec le transistor surtout si l'amplificateur fonctionne avec une tension d'alimentation symétrique $\pm U$, il y a toujours des dérives différentes entre le +U et le - U.

Rappelons que la très réputée marque Mc Intosh équipe des amplificateurs transistorisés de transformateurs de sortie ! Afin de satisfaire tous les besoins, le secondaire du transformateur de sortie TRS1 permet d'y raccorder des charges d'impédances 1/4/8/16 Ω .

Les condensateurs C12 - C13 - C14 et C15 servent de réservoir d'énergie et donnent un tonus d'enfer à l'OCTUOR. Leur implantation sur le circuit imprimé n'a pas été faite par hasard.

L'ALIMENTATION

La haute tension est obtenue à partir d'un transformateur qui fournit deux tensions secondaires alternatives de 225 V, ce qu'indique la figure 2. Le point milieu sert de masse de référence, le 0 V. Les extrémités sont reliées aux anodes de diodes de redressement. Leurs cathodes réunies permettent d'y prélever une tension continue positive qui est filtrée par C16. Une cellule complémentaire R25/C17 parfait le filtrage.

Comme pour nos précédentes réalisations à tubes, le chauffage des filaments s'effectue avec une tension continue, mais ici de + 12,6 V et non pas de + 6,3 V.

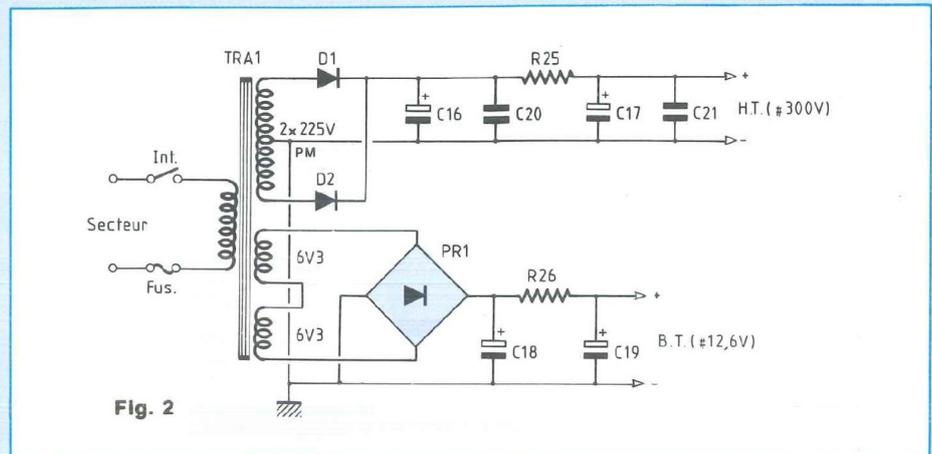


Fig. 2

Les deux enroulements 6,3 V sont donc reliés en série pour disposer d'une tension alternative de 12,6 V qui est ensuite redressée par un pont de diodes puis filtrée par une cellule en π C18/R26/C19.

LE MODULE

LE CIRCUIT IMPRIMÉ

Le dessin des pistes cuivrées vous est proposé en figure 3 à l'échelle 1.

De dimensions 230 x 92 mm, ce C.I. va regrouper la presque totalité des composants de l'OCTUOR (à l'exception du transformateur de sortie et du potentiomètre de volume).

Des pastilles de surface importante ont été prévues pour le soudage des supports NOVAL.

Commencer par forer toutes les pastilles à \varnothing 0,8 mm, ce qui permet un bon centrage du foret. A ce diamètre, vous pourrez insérer toutes les résistances.

Pour les condensateurs de liaison et ceux de découplage de cathode des EL 84, il faut reforer à \varnothing 1 mm.

Les picots à souder nécessitent des perçages à \varnothing 1,3 mm. Continuer au foret de \varnothing 1,5 mm pour les condensateurs de filtrage et les supports NOVAL, enfin au foret de \varnothing 3,2 mm pour les cinq trous de fixation.

S'il ne vous est pas possible d'étamer les

surfaces cuivrées de votre C.I., nous vous conseillons de les désoxyder en les frottant doucement avec un tampon JEX. Le cuivre retrouve son éclat métallique et l'adhérence de la soudure en est grandement facilitée.

Avant de commencer le câblage de la plaquette, vérifiez qu'aucune micro-coupeure d'une piste ne viendra perturber le fonctionnement de l'OCTUOR (il doit fonctionner dès la première mise sous tension !).

Vérifiez également qu'il n'y a pas de court-circuit entre deux pistes, incident qui peut être plus grave de conséquence qu'une micro-coupeure.

LE CÂBLAGE

Le plan d'insertion des éléments de la figure 4 associé à la nomenclature des composants doit vous permettre de travailler sans commettre d'erreur.

Il faut commencer par souder les 9 supports NOVAL côté pistes cuivrées, ce qu'indique la figure 5. Les perçages à \varnothing 1,5 mm permettent d'introduire les extrémités des pattes des supports, mais pas de traverser le circuit imprimé. C'est suffisant néanmoins pour les immobiliser en pressant fortement.

Pour chaque support, vérifiez qu'il est bien positionné parallèlement au C.I., qu'il ne penche pas d'un côté. Souder

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff

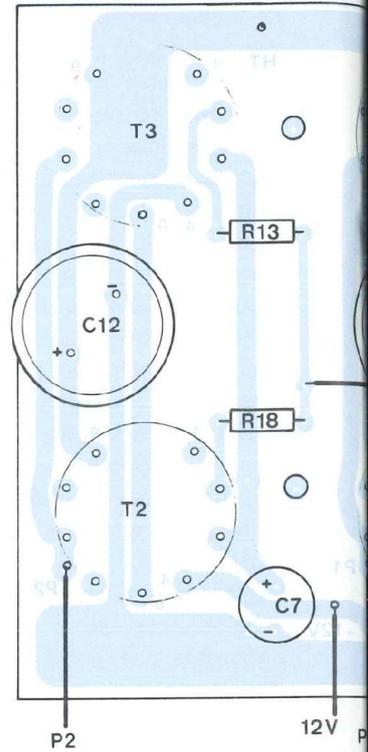
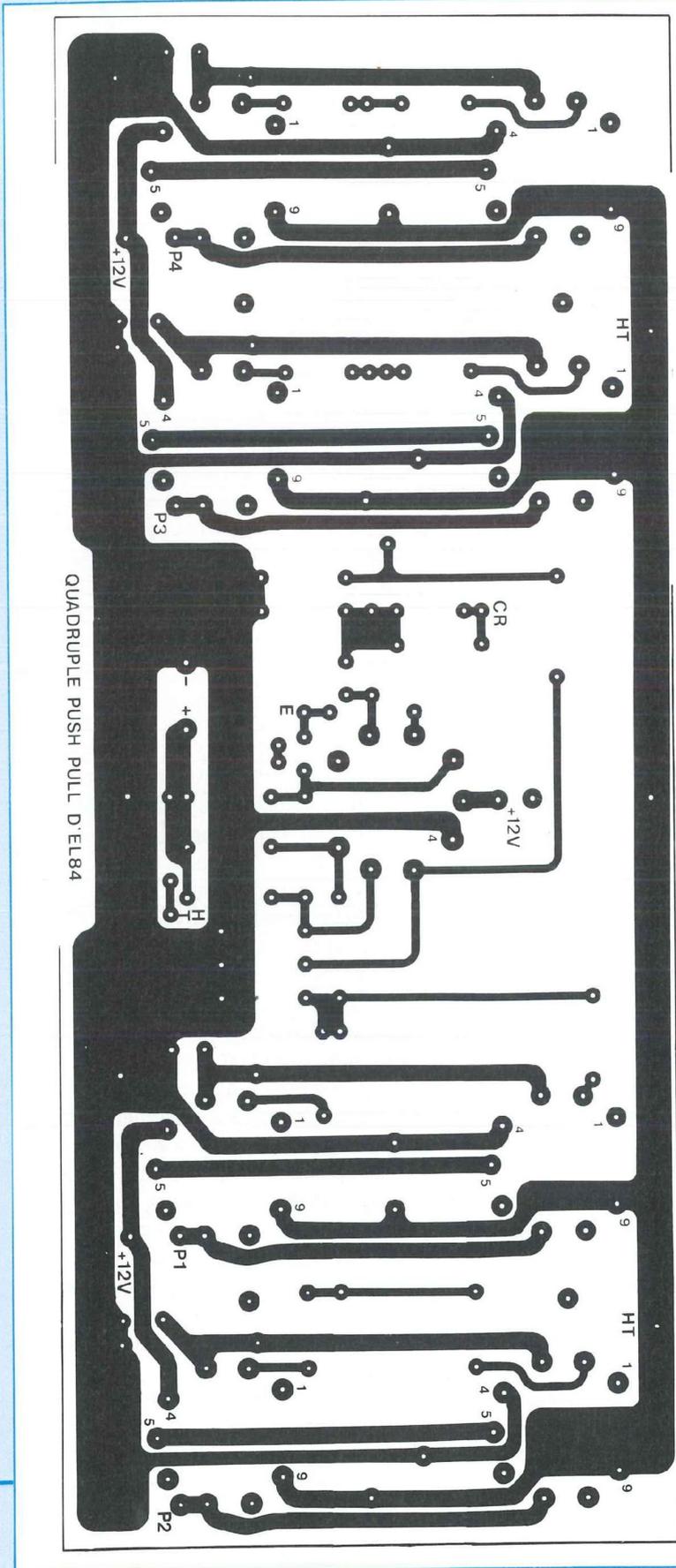


Fig. 3

- Résistances à couche (ou couche métal) $\pm 5\%$. - 1/2W (ou 1/4W)

- R1 - 2,7 k Ω
- R2 - 100 Ω
- R3 - 100 k Ω
- R4 - 100 k Ω
- R5 - 2,2 M Ω
- R6 - 470 K Ω
- R7 - 47 K Ω
- R8 - 47 k Ω
- R9 - 2,2 k Ω
- R10 - 470 k Ω
- R11 - 10 k Ω
- R12 - 470 k Ω
- R13 - 10 k Ω
- R14 - 82 Ω /2 W
- R15 - 82 Ω /2 W
- R16 - 10 k Ω /1 W
- R17 - 10 k Ω
- R18 - 10 k Ω
- R19 - 82 Ω /2 W
- R20 - 82 Ω /2 W
- R21 - 10 k Ω

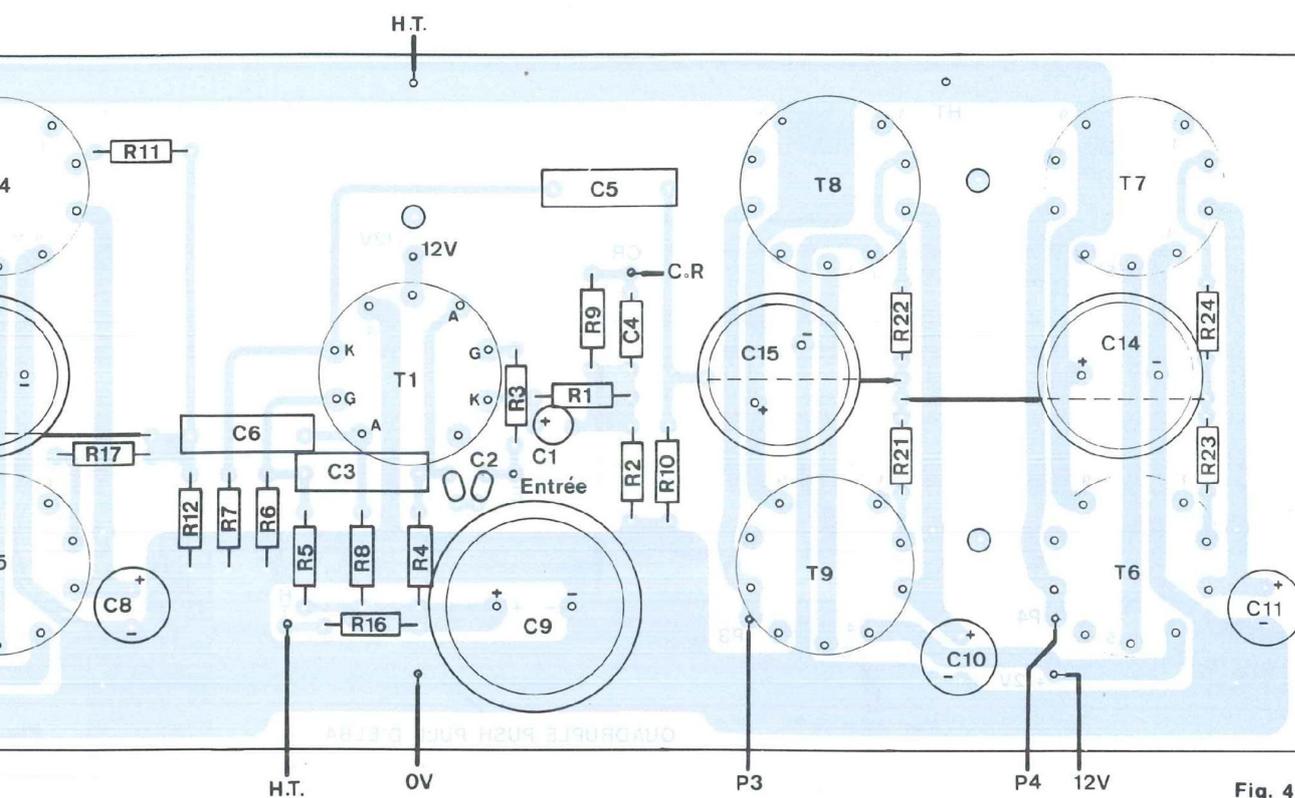


Fig. 4

NOMENCLATURE DES COMPOSANTS

R22 - 10 k Ω
R23 - 10 k Ω
R24 - 10 k Ω

Résistances bobinées

R25 - 10 Ω / 7 W
R26 - 1 Ω / 50 W sur radiateur

Condensateurs non polarisés

C2 - 22 pF/160 V (ou 2 x 47 pF/100 V céramique soudés en série)
C3 - 0,22 μ F/250 V ou 400 V
C4 - 1 nF / 400 V
C5 - 0,1 μ F/250 V ou 400 V
C6 - 0,1 μ F/250 V ou 400 V
C20 - C21 - 4,7 μ F à 10 μ F/400 V (aléatoire)

Condensateurs électrochimiques (sorties radiales)

C1 - 47 μ F/16 ou 25 V
C7 - 1 000 μ F/16 ou 25 V
C8 - 1 000 μ F/16 ou 25 V
C9 - 100 μ F/385 V

C10 - 1 000 μ F/16 ou 25 V
C11 - 1 000 μ F/16 ou 25 V
C12 - C13 - C14 - C15 - 100 μ F/385 V
C16 - C17 - 1 500 μ F/350 V
C18 - C19 - 47 000 μ F/16 V

Tubes

T1 - ECC83 ou 12AX7
T2 à T9 - EL84

Semiconducteurs

D1-D2 - Diodes de redressement (genre BY299) 2 A/800 V
PR1 - Pont redresseur 8 A/600 V (genre KBPC806)

Divers

9 supports NOVAL pour C.I.
TRA1. Transformateur d'alimentation
- Primaire 220 V/230 V
- Secondaire 2 x 225 V + 2 x 6V3/6 A
TRS1. Transformateur de sortie
- Primaire : impédance 2000 Ω

- Secondaire : impédances
1-4-8-16 Ω

Picots à souder

2 fiches bananes châssis femelles isolées pour HP

1 prise CINCH châssis isolée

Prise secteur + Inter + porte-fusible (fusible 2,5 A)

P1. Potentiomètre 10 k Ω /log

2 coffrets IDDM réf TM55360

Visserie de 3 et 4 mm diverse

4 pieds caoutchouc

Fil de câblage de 1 mm² de section : couleurs rouge/noire/jaune/bleue/verte

Fil de câblage de 0,38 mm² de section

1 m câble blindé 1 conducteur

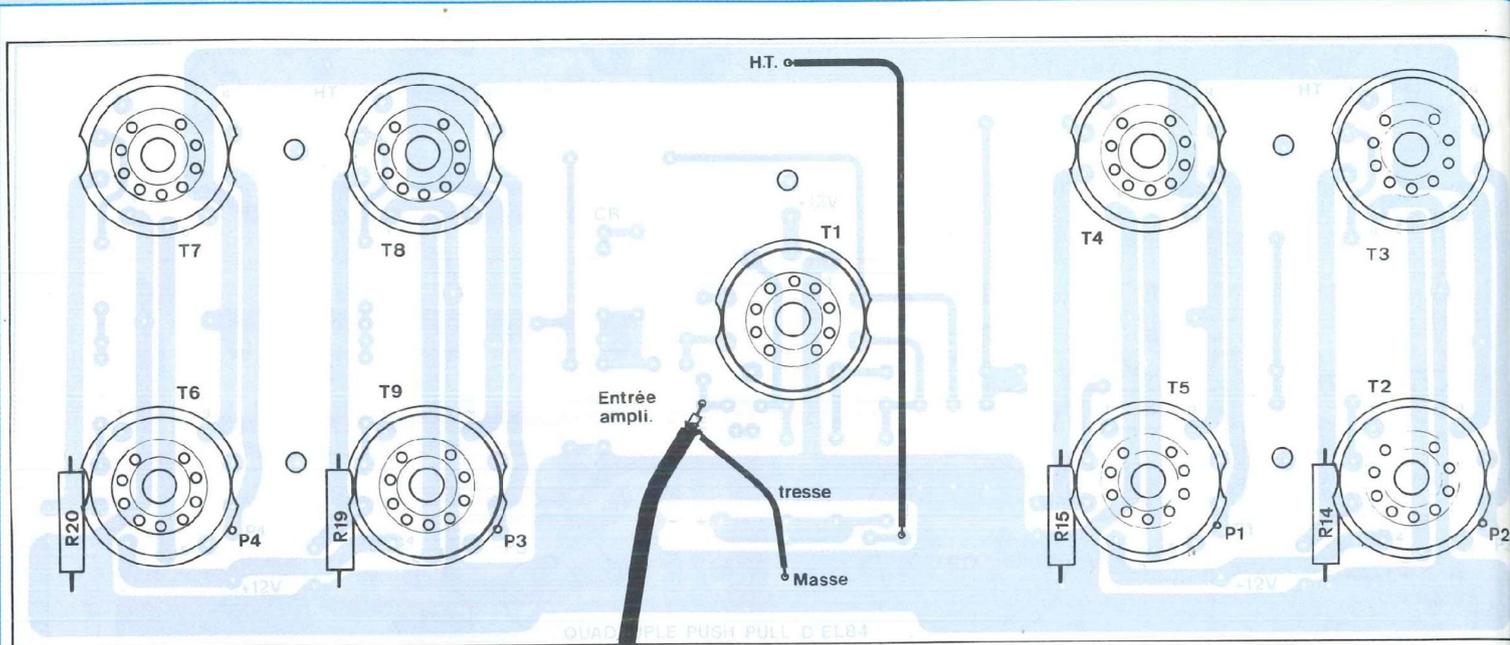
Fil de cuivre étamé de 10/10^e

5 entretoises métalliques mâles/femelles de 10 mm. Filetage M3

NOTA

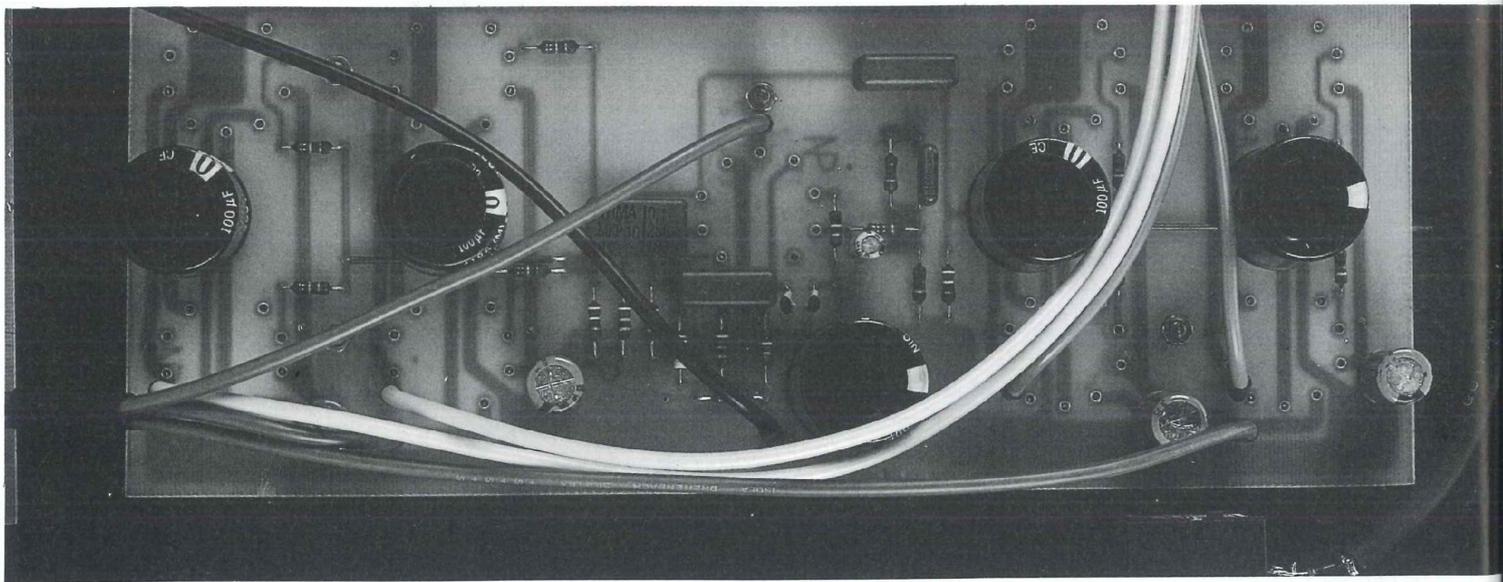
Sur le prototype, toutes les résistances à l'exception de celles de 2 W sont des modèles à couche métallique 1 W

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff



Modulation de P1

Fig. 5



alors la patte 5, puis à l'opposé la patte 1 ou la 9. Revérifier le parallélisme support/C.I. et s'il est correct souder les 7 autres pattes. Répéter 9 fois cette opération qui demande soin et patience mais qui permettra lors de la fixation du module au châssis d'avoir tous les supports NOVAL bien plaqués contre celui-ci, sans faire de vague.

Continuer le câblage en insérant sur l'autre face les composants de petites tailles (les straps par exemple), les résistances, les picots, puis progresser suivant la hauteur des autres éléments capacitifs.

Les composants apparaissant en figure 4 étant tous mis en place, souder côté pistes (côté supports) les résistances de

cathode de 2 W, en surélevant les corps de celles-ci de 2 à 3 mm afin de faciliter l'évacuation thermique.

Souder un câble blindé de 20 cm de longueur, le point «chaud» sur la pastille (E), la tresse de masse sur la pastille (-) du chimique du filtrage C9.

Raccorder le + H.T. de l'étage d'entrée (tube T1) au + H.T. général.

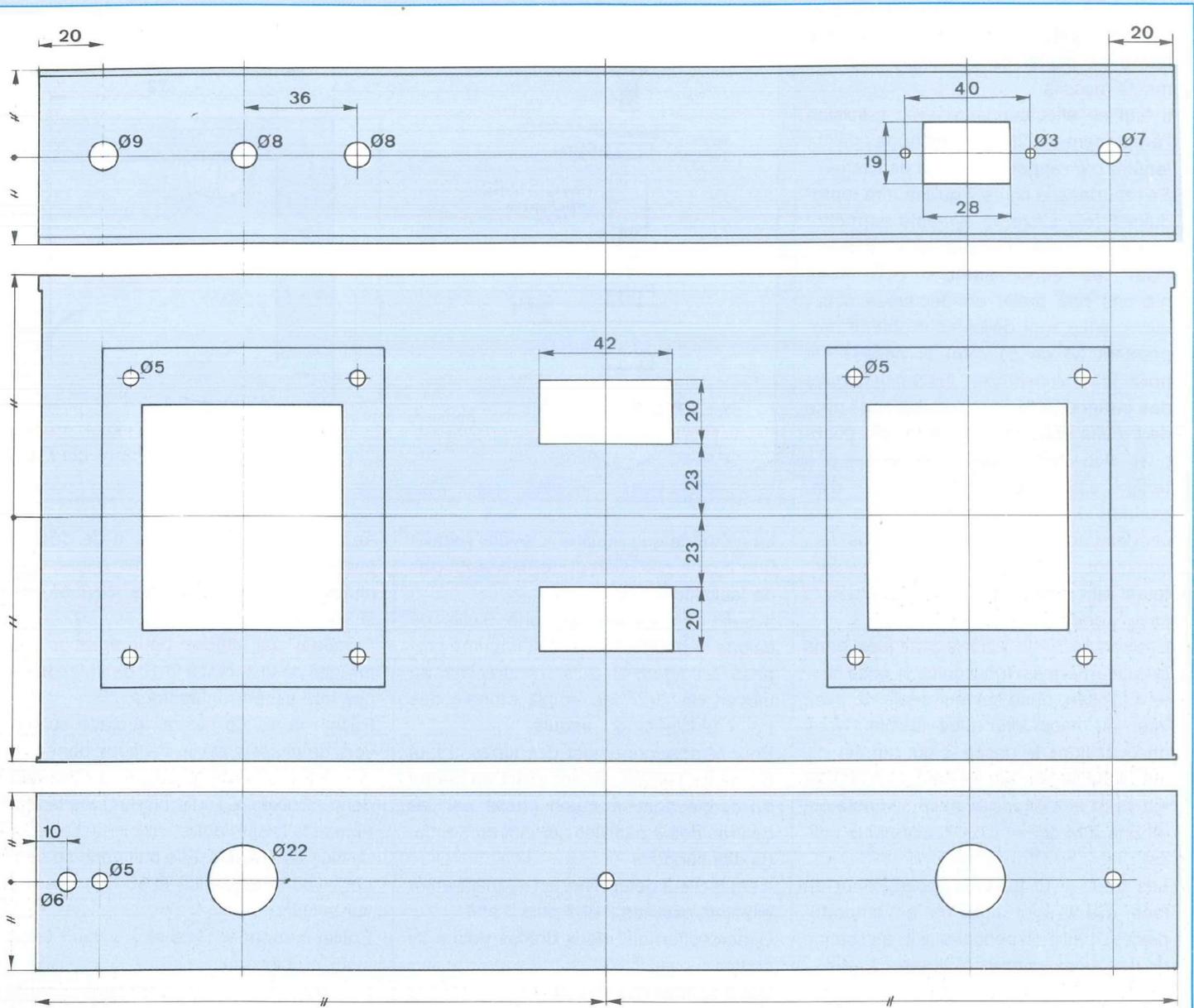


Fig. 6

LE CHÂSSIS

Bien que monophonique, cette réalisation nécessite l'emploi de deux coffrets IDDM référence TM 55360 vissés dos à dos. Nous restons fidèles à cette conception, n'en ayant retiré que des avantages. L'aluminium se travaille beaucoup plus facilement que le fer.

Le coffret arrière reçoit les lourds transformateurs et les condensateurs de filtrage de la haute tension, le coffret avant l'électronique et les condensateurs de filtrage de la basse tension (chauffage des filaments en continu en + 12,6 V).

LE COFFRET ARRIÈRE

La figure 6 donne toutes les indications

indispensables pour les perçages et découpes à pratiquer dans le châssis arrière, les emplacements réservés aux transformateurs et aux condensateurs. Afin de ne pas surcharger en cotations cette figure 6, nous indiquons uniquement le positionnement des transformateurs d'alimentation et adaptateur d'impédance (ils ont les mêmes dimensions)

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff

sur le châssis, ce qui suffit pour leur placement après avoir dessiné sur une feuille de papier ou de calque ces éléments massifs.

Il faut en effet connaître avec précision l'emplacement de la découpe de la fenêtre par rapport aux trous de fixation. Se reporter à la figure 7 qu'il faudra reproduire 2 fois. L'axe de symétrie permettra un parfait positionnement sur le châssis. Pour les condensateurs H.T. nous n'avons pas prévu de coupes circulaires, elles sont délicates à obtenir proprement (\varnothing de 51 mm) et nécessitent pour le maintien des électrochimiques des colliers de serrage (nous avons opté pour cette solution avec le double push-pull). Nous avons préféré découper une fenêtre dans le châssis qui permet d'introduire les 4 canons isolants des condensateurs. Nous verrons plus loin comment s'obtient leur fixation (les lecteurs qui connaissent le QUATUOR le savent déjà !).

L'ouverture de la fenêtre pratiquée dans la face arrière est fonction de la prise secteur utilisée, prise secteur seule ou avec inter ou avec inter plus fusible. Nous déconseillons le passe-fil qui permet d'y introduire le cordon secteur. L'OCTUOR est lourd à transporter, avec un câble qui «traîne à la patte» c'est encore plus délicat !

Les trous à \varnothing 22 mm² apparaissant en face avant sont obtenus à l'emporte-pièces, outil indispensable à la réalisation de nos amplificateurs à tubes.

LE COFFRET AVANT

Il renferme l'électronique regroupée sur un seul circuit imprimé et deux condensateurs de filtrage, sans oublier le potentiomètre de volume vissé en face avant.

Comme pour toutes les réalisations à tubes publiées, le plus délicat dans ce travail de mécanique est sans nul doute l'emboutissage des trous destinés au passage des tubes NOVAL. Plus il y a de trous, plus il faut être précis et éviter les décentrages.

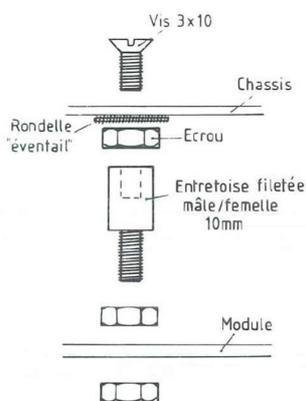


Fig. 9

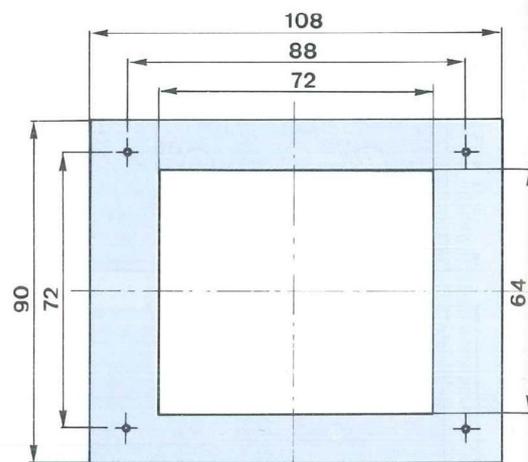


Fig. 7

La méthode que nous employons permet une bonne précision et ne nécessite pas de fastidieuses cotations.

Il suffit de dessiner sur une feuille de calque le pourtour du circuit imprimé proposé en figure 3 puis d'y préciser au moyen de croix les emplacements des trous de fixation du module.

Pour le positionnement des tubes, il faut connaître l'emplacement exact du centre du cercle dont le rayon passe par les centres des 9 pastilles servant au soudage des supports.

Il est facile à déterminer en joignant entre elles les pastilles 2 et 7 puis 3 et 8.

L'intersection des deux droites pointe ce centre.

Les 9 centres mis en évidence, tracer des cercles de \varnothing 30 mm. Ils serviront au positionnement précis de l'emporte-pièces au moment de l'emboutissage du châssis.

La feuille de calque prête, il suffit de la scotcher ou de la coller sur le châssis l'emplacement indiqué en figure 8.

Pointer avec précision les 14 trous qui seront percés à \varnothing 3 mm.

La vis de l'emporte-pièce demande pour son passage un trou de \varnothing 11 ou 12 mm. Nous allons donc agrandir 9 des 14 trous forés précédemment à \varnothing 3 mm.

Auparavant nous conseillons de découper au cutter le calque pour dégager le châssis à l'intérieur des cercles de \varnothing 30 mm.

Procéder par étapes pour agrandir les forages de \varnothing 3 mm à \varnothing 12 mm afin de ne pas trop décentrer les trous.

Passer la vis de l'emporte-pièce au travers du châssis par le dessous dans l'un des 9 trous (partie coupante à l'intérieur donc). Enfiler la partie plane dans le filetage et la laisser entrer en contact avec le dessus du châssis. Elle doit venir se centrer avec le cercle de \varnothing 30 mm dessiné sur le calque.

Enfiler la rondelle plate puis visser l'écrou jusqu'au blocage.

Si l'emporte-pièce est bien centré, continuer à visser en utilisant une clé à molette jusqu'à obtenir la découpe circulaire de \varnothing 22 mm. L'aluminium ne demande pas une pression trop importante pour céder.

Si l'emporte-pièce est un peu décentré par rapport au cercle de \varnothing 30 mm, avec le foret (et la perceuse évidemment !) agrandir le trou de \varnothing 12 mm en forçant à l'opposé du décentrage, le rond n'a pas besoin d'être parfait ne servant qu'au passage du filetage de l'emporte-pièce et disparaissant après emboutissage.

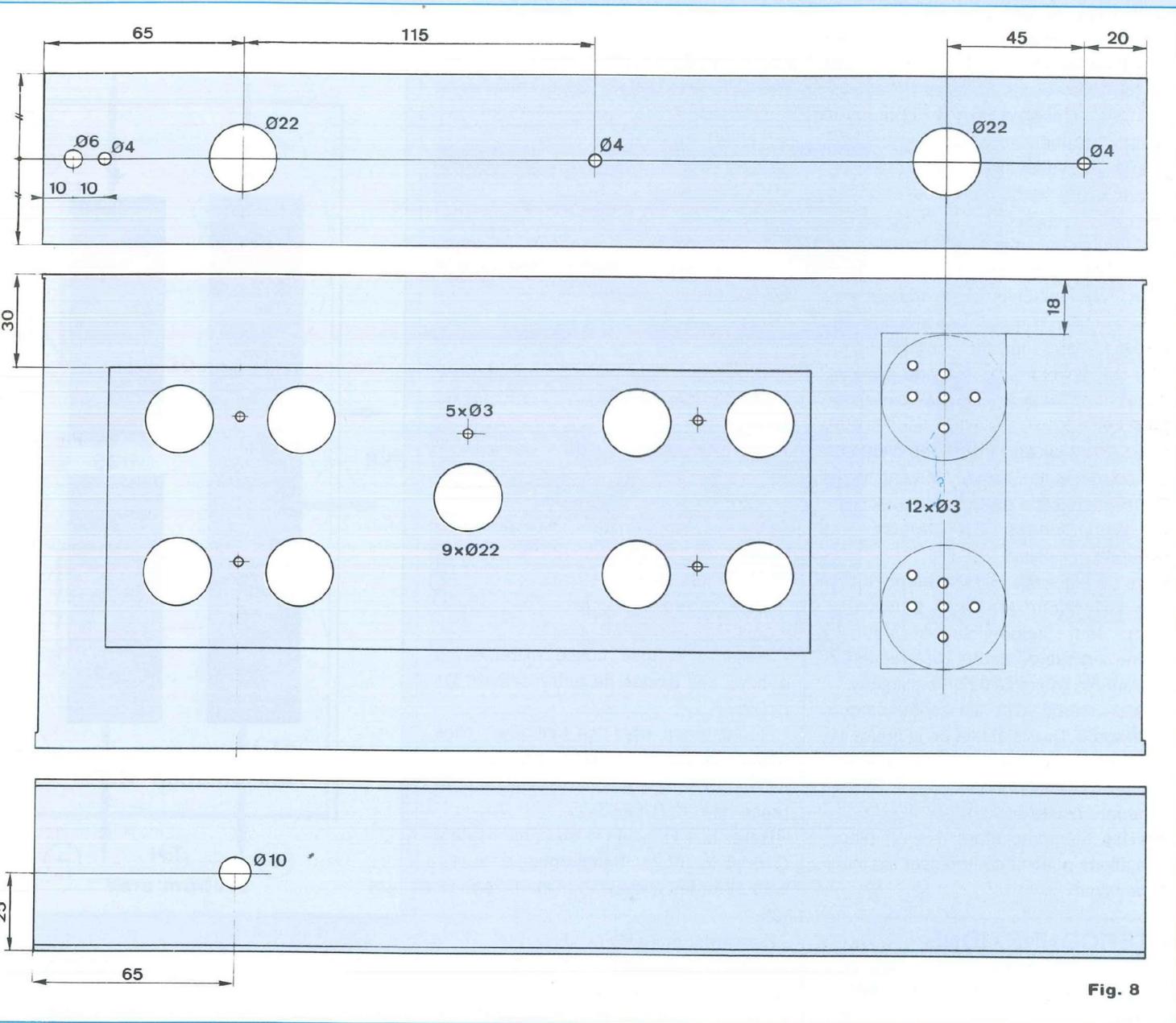


Fig. 8

FINITION DU CHÂSSIS

Les deux coffrets travaillés, il ne reste plus qu'à les assembler dos à dos avec de la visserie de 4 mm. On dispose ainsi d'un châssis de 360 x 308 mm.

Les trous et découpes que nous venons de pratiquer dans les coffrets IDDM n'ont pu être obtenus sans laisser quelques traces.

Afin de gommer ces petits «bobos» il est utile de repeindre le châssis de l'OCTUOR en pulvérisant deux à trois couches de peinture.

Auparavant, munir le châssis des pattes de fixation du module en pratiquant comme indiqué en figure 9. La hauteur ainsi obtenue permet au support NOVAL de venir affleurer le dessus du châssis.

Avec de la colle araldite, noyer les fentes des têtes de vis et laisser durcir avant de peindre.

La peinture bien sèche, c'est le moment si vous désirez habiller votre amplificateur de déposer quelques transferts. C'est plus difficile une fois les prises visées au châssis !

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff

EQUIPEMENT DU CHÂSSIS

Commencer par visser les prises à l'arrière de l'amplificateur ainsi que l'interrupteur. La Cinch et les borniers HP sont à isoler du châssis. Vérifier à l'ohmmètre leur bon isolement.

Visser le potentiomètre en face avant en utilisant écrou et contre-écrou et après avoir coupé son axe à 15 mm du canon fileté. Mettre en place les transformateurs, celui d'alimentation à droite (face avant vers soi). Orienter le transformateur adaptateur d'impédance afin que son secondaire soit situé face aux prises de sortie HP et les trois cosses du primaire vers le module (cas du transformateur CHRÉTIEN).

Fixer le module au moyen des 5 pattes. Les supports de tubes doivent venir affleurer le dessus du châssis, et doivent être bien centrés par rapport aux découpes circulaires.

Mettre en place les condensateurs de filtrage H.T. (entre les deux transformateurs), leur immobilisation s'obtient comme indiqué en figure 10, avec le circuit imprimé et les cales en plexiglass.

Faire de même avec les condensateurs de filtrage B.T. en s'aidant de la figure 11. Le circuit imprimé est vissé directement au châssis. Les condensateurs C18 et C19 sont ensuite soudés.

Tous les éléments étant mis en place, nous allons pouvoir commencer les interconnexions.

INTERCONNEXIONS

Rien de bien difficile, les liaisons n'étant pas nombreuses. Nous utilisons personnellement du câble au silicone de section 1 mm². La gaine offre le gros avantage de ne pas fondre lors de la fusion de la soudure, ce qui est fort déplaisant avec d'autres câbles ordinaires.

Pour la contre-réaction du fil de section de 0,38 mm² suffit.

Nous utiliserons également, mais ce n'est pas indispensable, du fil de cuivre étamé de 10/10° pour interconnecter les cosses

du secondaire du transformateur de sortie.

Il sera en effet possible, avec le transformateur CHRÉTIEN suivant le câblage de ses cosses, d'obtenir des impédances de sortie de 1 - 4 - 8 ou 16 ohms.

Allons-y pour le câblage, et commençons par le secteur.

Quelle que soit la plaquette secteur utilisée, prise seule ou avec inter ou avec inter plus fusible, il faudra toujours effectuer les mêmes interconnexions.

- Relier l'une des cosses de la prise mâle secteur (sauf celle réservée à la terre !) à l'interrupteur. Puis repartir de l'autre cosse de l'inter vers le primaire 220 V du transformateur d'alimentation.

- Relier la deuxième cosse de la prise secteur au porte-fusible. Repartir ensuite de l'autre cosse du porte-fusible vers la seconde cosse primaire 220 V du transformateur.

Le circuit primaire est établi.

Le secondaire possède deux enroulements H.T. de 225 V avec point milieu.

- Relier à chaque cosse extrême les anodes des diodes de redressement D1 et D2.

- Réunir entre elles les cathodes, elles déterminent le + H.T. par rapport au point milieu qui sera le 0 V, la masse de référence de l'OCTUOR.

- Relier le + H.T. au (+) du condensateur C16 et le 0V du transformateur au (-), C16 étant le condensateur de filtrage de tête.

- Raccorder entre les (+) de C16 et C17 la résistance bobinée.

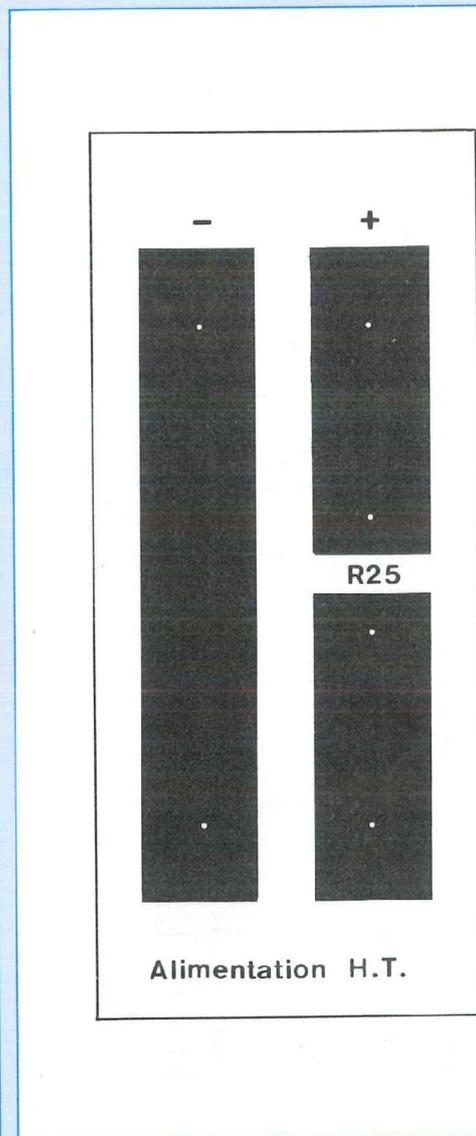
Nous avons également au secondaire deux enroulements séparés de 6V3/6A, soit 4 cosses.

- Relier entre elles les deux cosses du milieu, de façon à avoir un seul enroulement de 12V6.

- Relier les cosses extrêmes au pont redresseur PR1, entrées alternatives ~

- Relier le (+) du pont PR1 au (+) du condensateur C18, le 0V du transformateur au (-) de PR1 et au (-) de C18.

- Relier entre les polarités (+) de C18 et



C19 la résistance bobinée.

Les alimentations H.T. et B.T. sont prêtes à fonctionner pour délivrer environ + 300V et + 12 V, suivant le réseau EDF appliqué au primaire du transformateur.

Nous allons maintenant nous occuper des quelques interconnexions du module.

- Relier les picots P1 et P2 à une cosse du transformateur de sortie marquée P.

- Faire de même avec les picots P3 et P4 qui vont rejoindre l'autre cosse P (P = plaque ou anode de l'EL84).

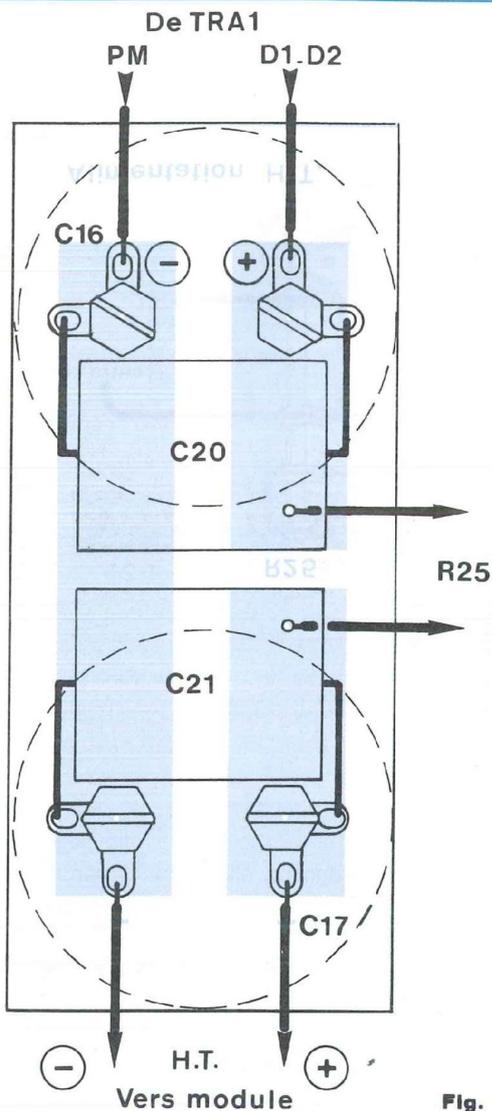


Fig. 10

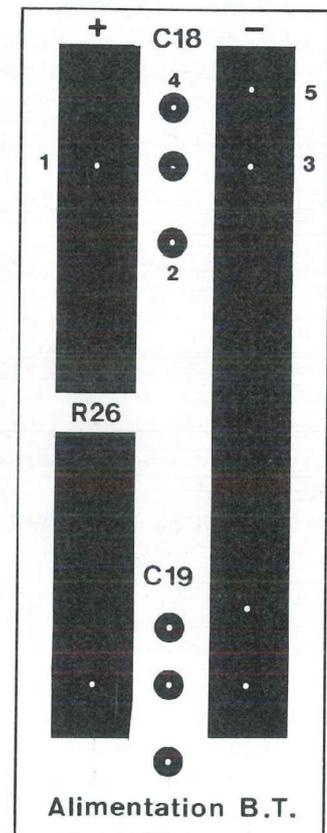
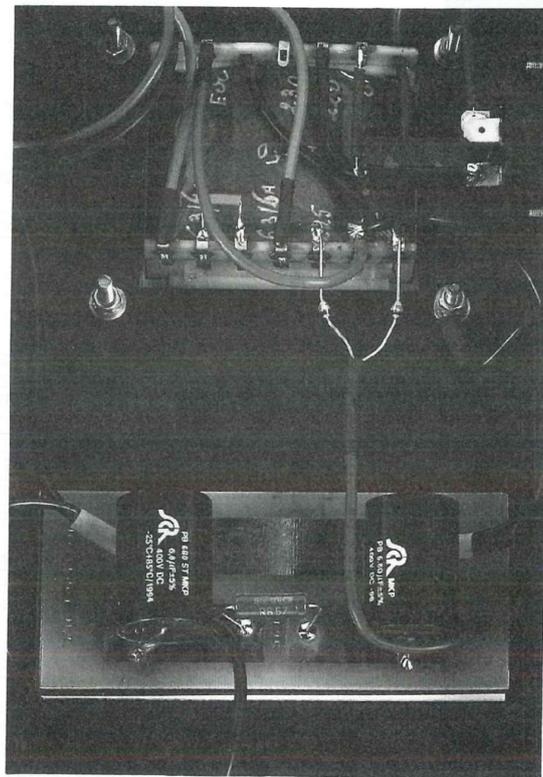


Fig. 11

- Relier le (+) H.T. à la cosse H.T. du transformateur, puis au (+) du condensateur de filtrage H.T. C17.
- Relier les picots 12V au (+) du condensateur de filtrage B.T. C19.
- Relier le picot C.R (rétroaction) au secondaire du transformateur de sortie, sur la cosse que l'on peut considérer comme étant le «point chaud»; puisque l'autre est reliée à la masse (cosse qui est fonction de l'impédance sélectionnée, 1-4-8 ou 16 Ω).

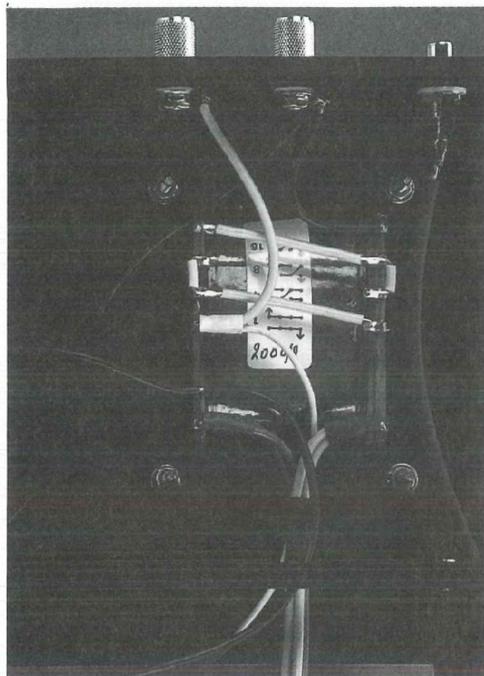
- De cette même cosse, repartir ensuite vers la prise de sortie HP (borne (+)) visée au châssis à l'arrière de l'OCTUOR.
- Sur la cosse de masse du secondaire du transformateur, souder un fil qui va aller rejoindre l'autre prise de sortie HP (borne (-)), puis un second qui se connectera au (-) du condensateur C17 (sur une cosse à souder).
- Relier le picot 0V du module à cette même cosse.
- Souder un câble blindé à la prise Cinch,

lui faire traverser les deux châssis, puis venir le raccorder au potentiomètre de volume.

Pour plus de facilité, les 3 cosses étant orientées vers le haut, c'est la cosse de droite (face avant vers soi) qui reçoit la tresse de masse et celle de gauche «le point chaud», l'âme du conducteur.

- Raccorder également le blindé du module à ce potentiomètre, la tresse au même endroit et l'âme du conducteur cette fois-ci sur la cosse centrale.

QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff



au (-) du condensateur C17
(sur une cosse à souder).

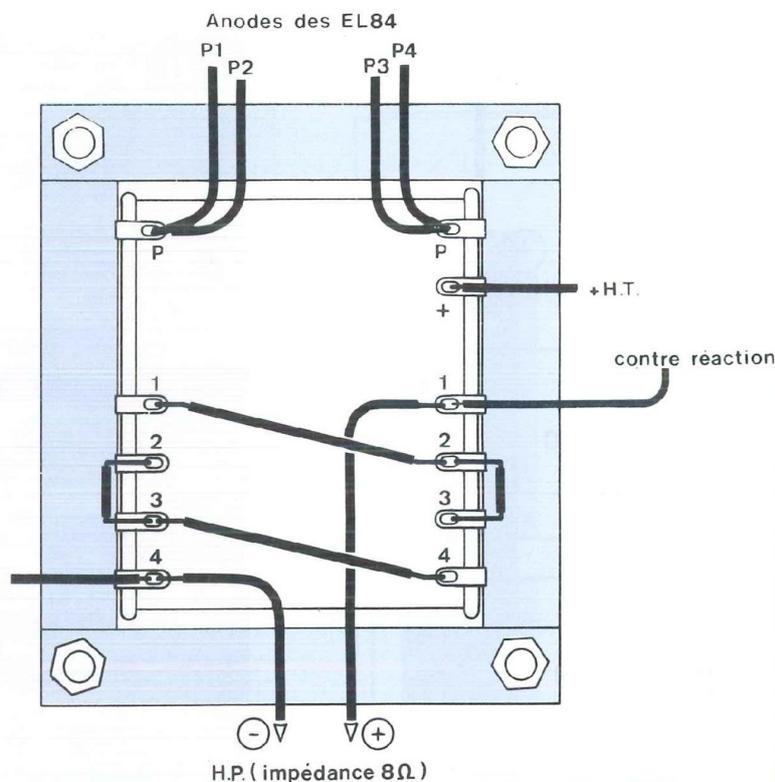


Fig. 12

Pour en revenir au transformateur de sortie, la figure 12 précise les interconnexions à effectuer (cas du transformateur CHRÉTIEN) au primaire et au secondaire, pour une impédance de sortie de $8\ \Omega$. La figure 13 donne les assemblages à obtenir au niveau des cosses pour les autres impédances de 4 et $16\ \Omega$.

A ce niveau nous avons utilisé du fil de cuivre étamé de $10/10^{\circ}$.

- Raccorder la prise écran du transformateur d'alimentation à la cosse $0V$ de ce même élément.

- Raccorder le (-) de C16 au châssis de l'OCTUOR en utilisant une cosse à souder et la vis de fixation du transformateur d'alimentation située près des diodes de redressement haute tension D1 et D2.

Les interconnexions sont terminées, il n'y a plus qu'à mettre un fusible dans son logement et effectuer la première mise en service.

PREMIER ESSAI

PREMIÈRE ÉCOUTE

Pour les lecteurs qui ne possèdent pas

d'appareils de mesure, ils vont pouvoir tout de suite constater que leur OCTUOR est correctement câblé.

Il suffit de raccorder une enceinte acoustique aux bornes HP et un lecteur de CD à la Cinch d'entrée.

Mettre le potentiomètre de volume en position «mini», c'est-à-dire bouton tourné à fond vers la gauche, puis basculer l'interrupteur.

Les filaments des tubes vont rougir. On doit alors entendre à 20 cm de l'enceinte un très léger bruit de souffle si l'appareil est bien câblé ou un violent accrochage (sifflement strident) s'il ne l'est pas.

C'est plus impressionnant que méchant. Basculer l'interrupteur M/A et inverser le câblage des deux cosses (P) au primaire du transformateur de sortie. Tout doit rentrer dans l'ordre.

Vous êtes arrivés au bout de vos peines et votre OCTUOR est prêt à vous démontrer ses capacités dynamiques. Comme

nous à la rédaction elles vous surprendront. Après cela, qui pourra encore avancer qu'un amplificateur à tubes «n'a pas de grave», mis à part ceux qui le disent sans jamais en avoir écouté !

NOTRE IMPRESSION

Simple push-pull, double push-pull puis quadruple push-pull. Qu'avons-nous pu constater avec ces trois réalisations issues d'un même schéma et utilisant toutes des pentodes EL84 ?

Mis à part la réserve de puissance qui est passée de 12Weff à 28Weff puis à 54Weff , nous avons tout de suite pu déceler à l'écoute une dynamique croissante et un extrême-grave de plus en plus présent, de plus en plus puissant, stable et précis. Ça «cogne» sans traînage à faible comme à forte puissance.

Les lecteurs qui nous ont suivis depuis notre retour aux amplis à tubes ont pu remarquer «les petites touches» succes-

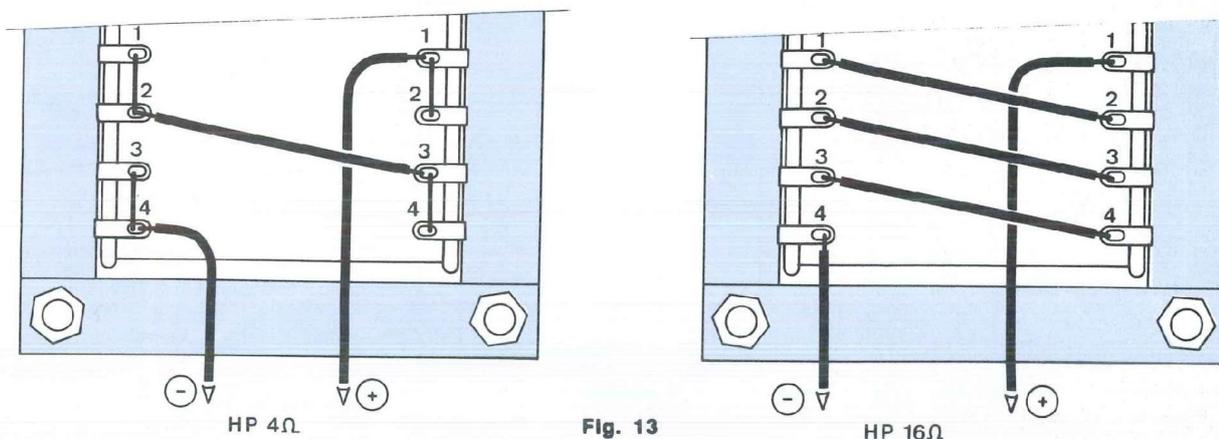


Fig. 13

sives apportées autour du premier schéma de base publié dans le N° 130 de Led. La modification d'une valeur de composant, l'implantation de condensateurs complémentaires, la mise en parallèle croissante de tubes EL84, diminuant de ce fait la résistance interne, tous ces petits plus font que l'OCTUOR est une bombe audio.

QUELQUES MESURES

Tension secteur : 226 V ~

De cette valeur dépend le + H.T. et donc la puissance de sortie maximale de l'OCTUOR.

A la rédaction le + H.T. peut varier de + 295 V à + 305V.

- Alimentation H.T. : + 298 V

- Alimentation B.T. : + 12,8 V

- Puissance max. à 1 kHz sur charge 8 Ω : 54 W_{eff}

- Sensibilité d'entrée pour P Max : 0,9 V_{eff}

La sensibilité est liée à la valeur de la résistance de rétroaction R9. La cellule R9/C4 permet de peaufiner la réponse de l'amplificateur sur signal carré à 10 kHz comme l'indiquent nos oscillogrammes.

Le lecteur qui possède générateur et oscilloscope pourra travailler cette cellule sur son propre amplificateur en fonction du transformateur de sortie utilisé.

DU QUADRUPLE PUSH-PULL AU CLASSE A !

Il n'y a qu'un pas... que nous n'avons pas franchi pour le moment, mais qui ne devrait pas poser de problèmes insurmontables. Le plus délicat reste la fabrication du transformateur de sortie qui, pour cette application, doit avoir une impédance primaire de 625 Ω.

Côté électronique, comme pour le QUATUOR, il faudrait déplacer l'interconnexion du condensateur de liaison C5 au niveau de celui de C6, c'est-à-dire prélever le signal sur l'anode de la triode et non plus sur la cathode.

L'ÉCOUTE

Une écoute en monophonie donne quelques indications lorsque l'on connaît bien ses disques tests, mais cela ne suffit pas.

Un deuxième bloc a donc été construit, en suivant scrupuleusement le schéma de câblage fourni par l'article, afin de contrôler le pas à pas que nous vous avons proposé. La seule différence étant que nous l'avons construit symétrique-

ment par rapport au premier, la position des éléments étant inversée sur les châssis.

L'écoute en stéréophonie est impressionnante. Nous retrouvons les mêmes qualités du médium/aigu révélées par le double push-pull avec son extraordinaire transparence qui fait oublier les enceintes et anime les micros informations présentes sur les enregistrements mais qui sont souvent gommées par beaucoup d'amplificateurs.

Le grave et l'extrême-grave sont beaucoup plus puissants et plus fermes avec l'OCTUOR qu'avec le double push.

Impressionnant également le silence des appareils en absence de modulation, les enceintes sont muettes ! Seul le rougeolement des filaments des tubes traduit la mise sous tension des amplificateurs.

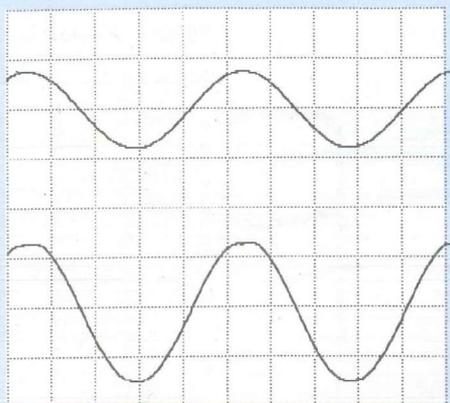
Après nous être battus avec le câblage de la ligne de masse un bon moment, nous avons réussi à exterminer la ronflette totalement.

Respectez donc ce câblage important.

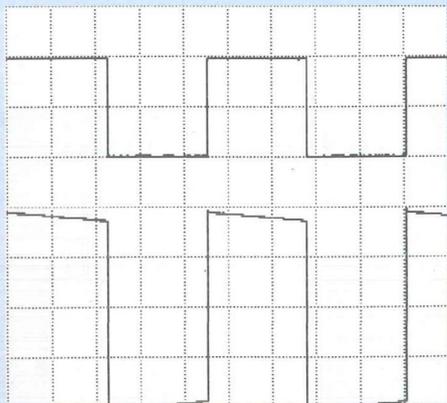
QUELQUES OSCILLOGRAMMES

Ils termineront cette étude de l'OCTUOR que nous ne regrettons pas d'avoir

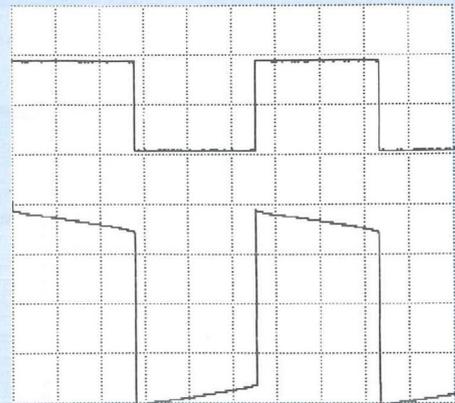
QUADRUPLE PUSH-PULL D'EL84 POUR 54 Weff



1 : Signal sinusoïdal à 1 kHz à la limite de l'écrêtage. La puissance est de 54 Weff.



2 : Signal carré à 40 Hz à une puissance de 50 Weff.



3 : Signal carré à 20 Hz à une puissance de 50 Weff, impressionnant !



4 : Signal carré à 10 kHz à une puissance de 50 Weff. Le temps de montée est de 4,5 μ s. La cellule de rétroaction est ici de 2,2 k Ω /1 nF.

menée à la Rédaction, tant les résultats obtenus sont surprenants !

A vous maintenant de les découvrir.

NOTA

Dans notre prochain numéro, nous ferons un comparatif entre les transformateurs de sortie CHRETIEN et ceux de marque ACEA, tout en nous arrêtant sur la rétroaction. Nous verrons son influence sur le signal de sortie.

Bernard Duval



6 rue François Verdier
31830 PLAISANCE du TOUCH
(près de TOULOUSE)

☎ : 05 61 07 55 77

Fax : 05 61 86 61 89

LA QUALITE AERONAUTIQUE
MILITAIRE ET SPATIALE
AU SERVICE DE L'AUDIOPHILE

• TRANSFORMATEUR D'ALIMENTATION

faible induction 1 tesla - capoté - primaire 220/230V av écran

Led N°	Sec	Poids	TTC
136	2*220V -2*6,3V	2,8kgs	330 F
137-138	» »	4,3kgs	422 F
139	2*300V 2*6,3V	2,8kgs	330 F
140	2*225V 2*6,3V	3,1kgs	480 F
142	PRE AMPLI TUBES circuit « C »	1,2kgs	500 F
143	2*230/240V 12V	4,6kgs	520 F

• TRANSFORMATEUR DE SORTIE

136	:8000 Ω -	4/8/16 Ω	2,2kgs	400 F
137/138	:4000 Ω - 40 W	4/8/16 Ω	3,0kgs	480 F
139	:5000 Ω -	4/8/16 Ω	1,2kgs	210 F
140	:1250 Ω -	4/8 Ω	2,8kgs	480 F
143	:2000 Ω - 60 W	4/8 Ω	4,0kgs	560 F

MONO-LAMPE : 30 W en « C » 300B cuve moulée.....1 200 F

Voir photo sur Nouvelle Revue du Son n°203 Déc.96 page 4

• TRANSFORMATEUR TORIQUE : nous consulter

141 Le MONSTRE 3 TORIQUES Le jeu de 3 1200 F

• SELF A NOYAU DE FILTRAGE (liste non limitative)

143 3 H R=56 Ω circuit « c » 0,9kgs 330 F

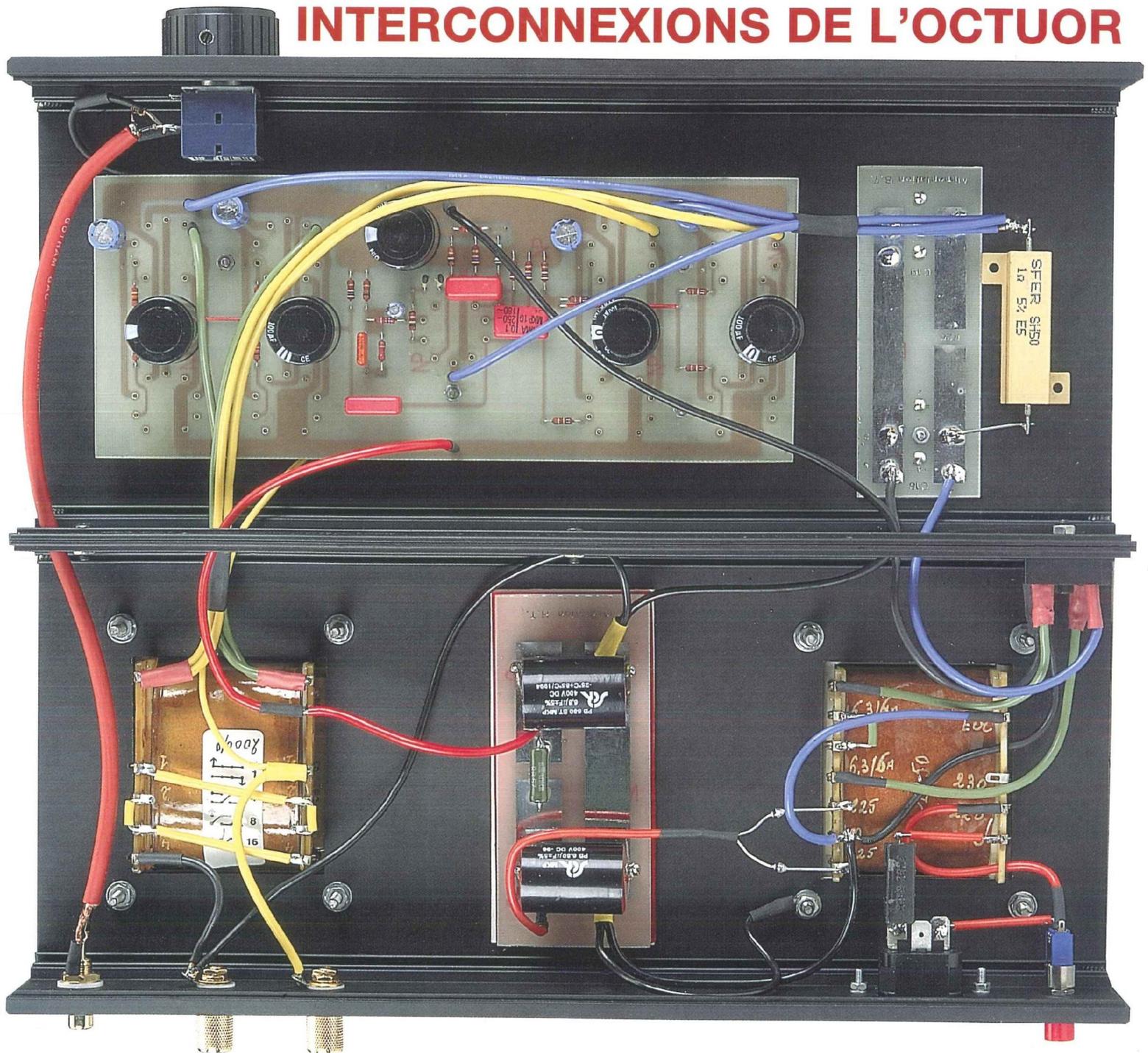
• SELF A AIR : (nous consulter) - Capot chromé : 55 F

REGULATEUR DE TENSION SECTEUR 1 & 2,3 KVA

•CORDONS D'ALIM : blindés-3 x 1,34mm²-65 brins 250 F

Conditions de vente : règlement par chèque joint à la commande. Port en sus nous consulter.

INTERCONNEXIONS DE L'OCTUOR



SERVICE CIRCUITS IMPRIMÉS

Support verre époxy FR4 16/10 - cuivre 35 µm

	Qté	Circuits non percés	Circuits percés	Total
* Décodeur PAL/RVB		93,00 F	150,00 F	
* L'OCTUOR				
- carte amplificatrice		84,00 F	136,00 F	
- alimentation H.T.		22,00 F	24,00 F	
- alimentation B.T.		18,00 F	20,00 F	
* Traceur de courbes pour transistors NPN/PNP		18,00 F	28,00 F	
Numéro d'Abonné :	Remise consentie 25 %	(Total TTC x 3) 4		
Frais de port et emballage				10 F
Total à payer				F

NOM :

PRÉNOM :

N° : RUE

CODE POSTAL :

VILLE :

Paiement par CCP par chèque bancaire par mandat
libellé à l'ordre de

EDITIONS PÉRIODES

1, boulevard Ney, 75018 Paris
Tél. : 01 44 65 80 88 poste 7315

ST QUENTIN RADIO

Prix Toutes Taxes Comprises 20,6%

6 Rue de St Quentin 75010 PARIS / Tél 01 40 37 70 74 - Fax 01 40 37 70 91

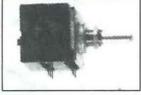
Prix donnés à titre indicatif

TRANSISTORS ET CIRCUITS INTÉGRÉS

IRF 150.....82F	MPSA 42.....2F
IRFP 150.....44F	MPSA 92.....2F
IRF 530.....22F	NE 5532AN.....10F
IRF 540.....15F	NE 5534AN.....8F
IRF 840.....24F	OP 22HP.....45F
IRF 9530.....18F	OP 776P.....19F
IRFP 240.....32F	OPA 604.....26F
IRFP 350.....30F	OPA 627.....179F
LF 356N.....9F	OPA 2604.....40F
LM 317T.....20F	SSM 2017.....30F
LM 317K.....20F	SSM 2018.....44F
LM 317HVK.....63F	SSM 2110.....67F
LM 337T.....8F	SSM 2120.....73F
LM 344H.....	SSM 2131.....30F
HA2.2645-5 55F	SSM 2139.....39F
LM 395T.....27F	SSM 2141.....30F
LM 675T.....46F	SSM 2142.....43F
LT 1028.....60F	SSM 2210.....35F
LM 3886.....61F	SSM 2220.....40F
MAT 02FH.....89F	SSM 2402.....57F
MAT 03FH.....99F	SSM 2404.....49F
MAX 038.....148F	TDA 1514A.....39F
MJ 15001.....21F	TDA 1520B.....22F
MJ 15002.....26F	TDA 7250.....44F
MJ 15003.....22F	TDA 7294.....81F
MJ 15004.....23F	2N 3055.....11F
MJ 15024.....33F	2N 3440.....7F
MJ 15025.....33F	2N 3904.....22F
MJE 340.....5F	2N 3906.....2F
MJE 350.....5F	2N 5401.....3F
MPSA 06.....2F	2N 5416.....6,50F
MPSA 56.....2F	2N 5551.....3F

Potent. PRO ALPS

AUDIO PROFESSIONNEL, doubles log 2x10K, 2x20K, 2x50K, 2x100K. 99F pièce, par 5 (*) : 85F, par 10 et (+) : 85F (*) : même emballages



Potent. SFERNICE PE 30

Piste Cermet, dissip. max 3W/70°C, axe métal 40mm, cosses à souder. MONO LINÉAIRE

470 ohms, 1K, 2K, 4K, 10K, 22K, 47K, 100K, 220K.....75F



CONDENSATEUR POLYPROPYLENE

22nF/630V axial.....6F 100nF/630V axial.....8F
33nF/630V axial.....7F 220nF/630V axial.....13F
47nF/630V axial.....9F50 470nF/630V axial.....23F50

CONDENSATEUR POUR AMPLI TUBE REVUE LED

10µF/400V Polypropylène.....135F
1500 µF/ 400V CO 39 (51x105mm).....175F
2200µF/385V RIFA.....365F
4700µF/16V AERVOX (5 picots).....150F

CONDENSATEUR CLASSE X2

Condens. MKT classe X2 (pour filtre antiparasites secteur). 250 AC. Radial.
0,47µF-9F / 0,22µF-7F / 0,33µF-8F / 0,1µF-6F / 47nF-5F / 22nF-4F

Potent. SFERNICE P11

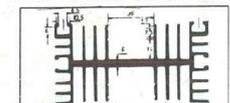
Piste CERMET 1 Watt/70°C, axe long métal 50mm, pour Circuit Impr.

MONO LINÉAIRE : 470 ohms, 1K, 2K, 4K, 10K, 22K, 47K, 100K, 220K, 470K, 1M.....29F
MONO LOG. : 470 ohms, 1K, 2K, 4K, 10K, 22K, 47K, 100K, 220K, 470K, 1M.....34F
STÉRÉO LINÉAIRE : 2x2K, 2x4K, 2x10K, 2x22K, 2x47K, 2x100K, 2x220K, 2x470K.....50F
STÉRÉO LOG. : 2x2K, 2x4K, 2x10K, 2x22K, 2x47K, 2x100K, 2x220K, 2x470K.....62F



RADIATEURS

Radiateur CO1161PIR208
150mm.....98F
200mm.....139F



FICHES PROFESSIONNELLES XLR NEUTRIK

	Prolong. Male	coudé Mâle	Prolong. femelle	Coudé femelle	Chassis mâle	Chassis femelle
3 br	30F	49F	35F	55F	30F	35F
4 br	35F	55F	45F	68F	45F	48F
5 br	51F	..	61F	..	45F	65F
6 br	66F	..	70F	95F
7 br	75F	..	80F

Pour réaliser les «AMPLI» à TUBES de la revue LED !

Transformateurs fabriqués par M Chrétien, un grand Monsieur des transfos.!

TRANSFO SÉRIE 8020 LED N°130 ALIMENTATION : 220V/230V - 2x220V + 2x6,3V (2,8 Kg)..... 375F IMPÉDANCE : 8000 ohms / 4, 8, 16 ohms (2 Kg)..... 455F	Faites le total des masses des différents transfo pour évaluer le poids approximatif, ajoutez quelques centaines de grammes pour l'emballage.
TRANSFO SÉRIE 4004 LED n° 136/137 ALIMENTATION : 220V/230V - 2x220V + 2x6,3V (4 Kg)..... 505F IMPÉDANCE : 4000 ohms / 4, 8, 16 ohms (3 Kg)..... 555F	
TRANSFO SÉRIE 2005 LED N° 139 ALIMENTATION : 220V/230V - 2x300V + 2x6V3 (2,8 Kg)..... 365F IMPÉDANCE : 5000 ohms / 8 ohms (1,1 Kg)..... 265F	
TRANSFO SÉRIE 1250 LED N° 140 ALIMENTATION : 220V/230V - 2x225V + 2x6V3 (4,6Kg)..... 555F IMPÉDANCE : 1250 ohms / 8 ohms (2,4 Kg)..... 465F	
ALIM. préampli à tube: 220V/230V - 2x300V + 2x6V3 (1,5Kg) PRO01... 375F	

TUBES

ECC 81.....70F	EL 84 par 10... 45F pièce	COFFRET (noir)
ECC 82.....60F	EZ 81.....89F	TM 55360.....Prix 188F
ECC 83.....60F	Support NOVAL CI... 22F	TM 80205.....Prix 132F
EL 34.....135F	par 10.....19f pièce	
EL 84 SOVTEK.....65F		

CABLE AUDIO PRO.

GOTHAM (Suisse) (Le mètre)
GAC 1 : 1 cond. blindé ø 5,3mm, R. ou noir.....12F
GAC 2 : 2 cond. blindés ø 5,4mm.....12F
GAC 2 mini : 2 cond. blindés ø 2,2mm.....5F
GAC 2 AES/EBU (pour son digital).....36F
GAC 3 : 3 cond. blindés ø 4,8mm.....16F
GAC 4 : 4 cond. blindés ø 5,4mm.....18F

MOGAMI (Japon) (Le mètre)
2534 : 4 cond. (sym.) blindés ø 6mm.....20F
2592 : 2 cond. blindés ø 6mm (+gaine carb.).....12F
2582 : 2 cond. blindés ø 6mm.....12F

CÂBLE Néglex pour Haut-parleur MOGAMI (Le mètre)
2972 : 4 cond. de 2mm², ø 10mm.....46F
2921 : 4 cond. de 2,5mm², ø 11,5mm.....46F
3082 : 2 cond. de 2mm², ø 6,5mm (pour XLR).....20F

HA52Y système

Système d'alarme "sans fil" avec sirène flash sans fil "solaire". La centrale d'alarme HA52Y dispense de travaux d'installation longs et coûteux d'un système d'alarme classique. Toutes les liaisons entre les différents éléments se font par radio, y compris avec la sirène extérieure. La sirène est alimentée par une cellule solaire incorporée et ne nécessite ni entretien, ni changement de pile. Le système 52Y a été conçu pour être mis en oeuvre par tout amateur disposant de l'outillage domestique de base. Prix : 2495F



Cette page ne représente qu'un aperçu de ce que nous distribuons, voir notre catalogue. (tarif sur disquettes 3 1/2 sous Windows, disponibles sur demande). IMPORTANT: vous aimeriez trouver des composants que nous ne faisons pas, faites-nous part de vos désirs et nous tenterons dans la mesure du possible de vous satisfaire.

FICHES PROF. NEUTRIK

Fiches JACK PRO.
Mono mâle 6,35mm.....25F
Mono mâle coudé 6,35mm.....25F
Stéréo mâle 6,35mm.....32F
Stéréo mâle coudé 6,35mm.....55F
Stéréo femelle prolongateur.....55F



BATTERIES ÉTANCHES

6V/1,2Ah - 97x25x51mm / 0.28Kg.....102F
6V/3Ah - 134x34x50mm / 0.62Kg.....112F
6V/4Ah - 70x48x102mm / 0.79Kg.....153F
6V/6Ah - 151x34x94mm / 1Kg.....163F
6V/8Ah - 151x50x94mm / 1.7Kg.....184F
6V/10Ah - 151x50x94mm / 1.85Kg.....214F
12V/1,2Ah - 98x48x51mm / 0.6Kg.....194F
12V/2Ah - 178x34x60mm / 0.85Kg.....214F
12V/3Ah - 134x67x60mm / 1.2Kg.....255F
12V/4Ah - 195x47x70mm / 1.7Kg.....280F
12V/5,5Ah - 151x65x94mm / 2.45Kg.....255F
12V/10Ah - 150x100x95mm / 3.8Kg.....395F
12V/12Ah - 150x97x95mm / 4.2Kg.....395F
12V/15Ah - 181x75x167mm / 6.2Kg.....465F
12V/24Ah - 166x175x125mm / 8.5Kg.....592F

ITC 582

Multimètre digital 3 1/2 digits/ 1999 pts
- Aff. cristaux liquides 3 1/2 digits, polarité auto.
- Sélect. de gamme central rot., 30 positions
- Sensibilité de 100µV
- Indication de dépassement "1" à l'affichage
- Indication de polarité auto. sur gamme DC
- Toutes gammes protégées sauf 10A
- Essai diode par courant fixe 1,5mA
- Test hFE de transistor avec Ib=100µA
- Pas de BEEP sonore
Tension continue (DC) : de 100µV à 1000V
Tension alternative (AC) : de 0,1V à 750V
Courant continu (DC) : de 100pA à 10A
Résistance : de 0,1ohm à 2Mohms



MODULES HYBRIDES "MIPOT"

Appl. : transm. de données, syst. de sécurité etc...
Émetteur Subminiature 8mW, 433,92MHz.....69F
Émetteur AM antenne intégrée 433,92MHz.....149F
Récepteur AM 433 MHz.....65F
Emet. AM sortie 50 ohms 433,92MHz.....196F
Récep. AM S.hétérodyne 433,92MHz.....202F
Émetteur FM antenne intégrée 433,92MHz.....227F
Récepteur AM super hétérodyne 433,92MHz.....576F

MODULES HYBRIDES "ASTREL"

Emet. FM -PLL sortie 50 ohms 433 MHz.....356F
Récept. FM -PLL sortie 50 ohms 433 MHz.....663F
Module émetteur+récepteur 8mW/FM 433,92MHz.....1270F

ANTENNE POUR MODULES HYBRIDES

33cm / souple.....86F
17cm / simple.....86F
17cm / Rigide version professionnelle.....186F

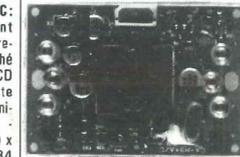
SÉCURYTALK

Sécuritétalk représente actuellement le SEUL système de protection DISSUA-SIF pour automobiles, susceptible de décourager un éventuel intrus de toucher à votre véhicule. Son principe : couplé à votre alarme habituelle, le Sécuritétalk analyse le comportement des personnes qui resteraient trop longtemps très près de votre véhicule. Deux messages vocaux sont transmis par haut-parleur, indiquant que le véhicule est protégé, et invitant un visiteur insistant à s'éloigner. Si ce dernier ne s'éloigne pas pas, Sécuritétalk déclenche votre alarme avant effraction. Il peut également être couplé à une télé-alarme (telle que PA-1) pour vous prévenir à distance. Livré avec module électronique à micro-contrôleur et synthèse de parole, module de détection hyper fréquence, haut-parleur et nécessaire de câblage. Alimentation 12V continus - 22mA. Deux types de messages sont livrables : automobile ou bateau (version tropicalisée)...Prix : 790F



MODULE CAMÉRA N & B MINIATURE

Module CA-H34C : 54x38x27mm seulement 33g - Avec LED d'éclairage - pour sujet rapproché - Caméra noir et blanc CCD 1/3" standard CCIR - haute sensibilité : éclairement minimum 0,1 Lux (F1,8) - haute résolution : 380(H) x 450(V) lignes/ 297984 pixels - Alimentation : 12V nominal (11 à 13V dc/ <150mA) - objectif miniature. Prix : 895F
Module CA-H32C : 37x38x27mm seulement 27g - haute sensibilité : éclairement 1 Lux - haute résolution : 380(H) x 450 (V) lignes/ 297984 pixels - Objectif grand angle standard - Branchement sur prise péritel - Alimentation : 12V. Prix : 890F



ITC 975

Multimètre digital 3 1/2 digits/ 1999 pts

- Aff. cristaux liquides 3 1/2 digits, polarité auto.
- Sélect. de gamme central rotatif
- Sensibilité de 100µV
- Indication de dépassement "1" à l'affichage
- Indication de polarité auto. sur gamme DC
- Toutes les gammes protégées sauf 20A
- Essai de diode par courant fixe 1,5mA
- Test hFE de transistor avec Ib=100µA
- BEEP sonore pour continuité
Tension continue (DC) : de 100µV à 1000V
Tension alternative (AC) : de 0,1V à 750V
Courant continu (DC) : de 100pA à 20A
Courant alternatif (AC) : de 1µA à 20A
Résistance : de 0,1ohm à 2Mohms



CONDENS. 0,1µF/250V polypro...4F50 | 1 µ F / 1 0 0 V .
WIMA 0,22µF/250V polypro...6F00 | polycarbonate...10F

EXPÉDITION COLISSIMO ENTREPRISE (*) UNIQUEMENT : mini 100F de matériel.
Tarifs postaux Ile de France (75,77,78,91,92,93,94,95) : 0-250g = 20F; 250g-2Kg = 28F; 2Kg-5Kg = 48F; 5Kg-10Kg = 58F; 10Kg-15Kg = 88F; 15Kg-20Kg = 108F.
Autre dép. France Métropole : 0-250g = 28F; 250g-2Kg = 38F; 2Kg-5Kg = 58F; 5Kg-10Kg = 72F; 10Kg-15Kg = 98F; 15Kg-20Kg = 128F. DOM-TOM et étranger nous consulter.
 Paiement : chèque, mandat, carte bleue. (*) comme un recommandé, réception à signer.

Horaires d'ouverture : du lundi au vendredi de 9h30 à 12h30 et de 14h à 19h. Le samedi de 9h30 à 12h30 et de 14h à 18h30. Fermé le samedi en juillet et août.
N'hésitez pas à nous demander un devis pour la fourniture des composants de vos réalisations.

Catalogue St Quentin Radio : 15 F au comptoir/30F par correspondance. Gratuit pour toute commande dépassant 100F. (à demander)
Appliquez une remise de 10% par 10 pièces de même référence.