amplificateur à tubes

J.P Güls

haut de gamme et sans contre-réaction

"La vie est un éternel recommencement".
L'audio haute-fidélité a des ressemblances certaines avec la haute-couture: à intervalles plus ou moins réguliers on voit réapparaître un modèle qui réveille d'anciens souvenirs. Dans le monde de la miniaturisation à tous crins qui devient le nôtre, la publication de cet amplificateur à tubes peut sembler quelque peu anachronique. Et pourtant, de très nombreux audiophiles fanatiques ne jurent que par les tubes qui sont sensés donner au son un "moelleux" très caractéristique.

Le principe de cet amplificateur à tubes repose sur un principe resté relativement méconnu en Europe et aux Etats-Unis: le principe du SRPP (= Shunt Regulated Push Pull). Bien que très prisé en HF, ce principe fut utilisé pour la première fois en BF par le japonais Anzai à la fin des années soixante. Depuis lors, on a vu apparaître une dizaine de variantes basées sur ce principe, l'ampli à tube SRPP étant devenu au Pays du Soleil Levant un standard comme de nombreux autres. Commercialement il n'en a malheureusement pas été de même pour la simple raison que quelques années plus tard, l'invasion de tous les domaines de l'électronique par les transistors relégua les tubes au rang de composants préhistoriques. Il serait bien dommage que ce principe se perde comme il l'est déjà en pratique; il est en effet impossible de le réaliser en version discrète (à transistors), l'absence de contre-réaction entraînant dans ce cas un taux de distorsion bien trop élevé.

Caractéristiques techniques

■ Tubes:	2 × ECC 83, 2 × ECC 81 (préampli MD) 2 × ECC 82 EZ 81/EZ 80
■ Gain:	44 dB (préampli MD) 22 dB(ampli ligne)
■ Rapport signal/bruit:	78 dB (préampli MD) 86 dB (ampli ligne)
■ Tolérance par rapport à la courbe RIAA:	±3 dB
■ Impédance de sortie:	2,4kΩ
■ Taux de distorsion:	<0,1 % (1 V, 20 Hz–20 kHz)

Le principe SRPP

Il existe une différence fondamentale entre le principe SRPP et les autres concepts utilisés pour la fabrication d'amplificateurs à tubes grand public. Son originalité réside principalement dans le montage en push-pull des tubes, alors qu'en ce qui

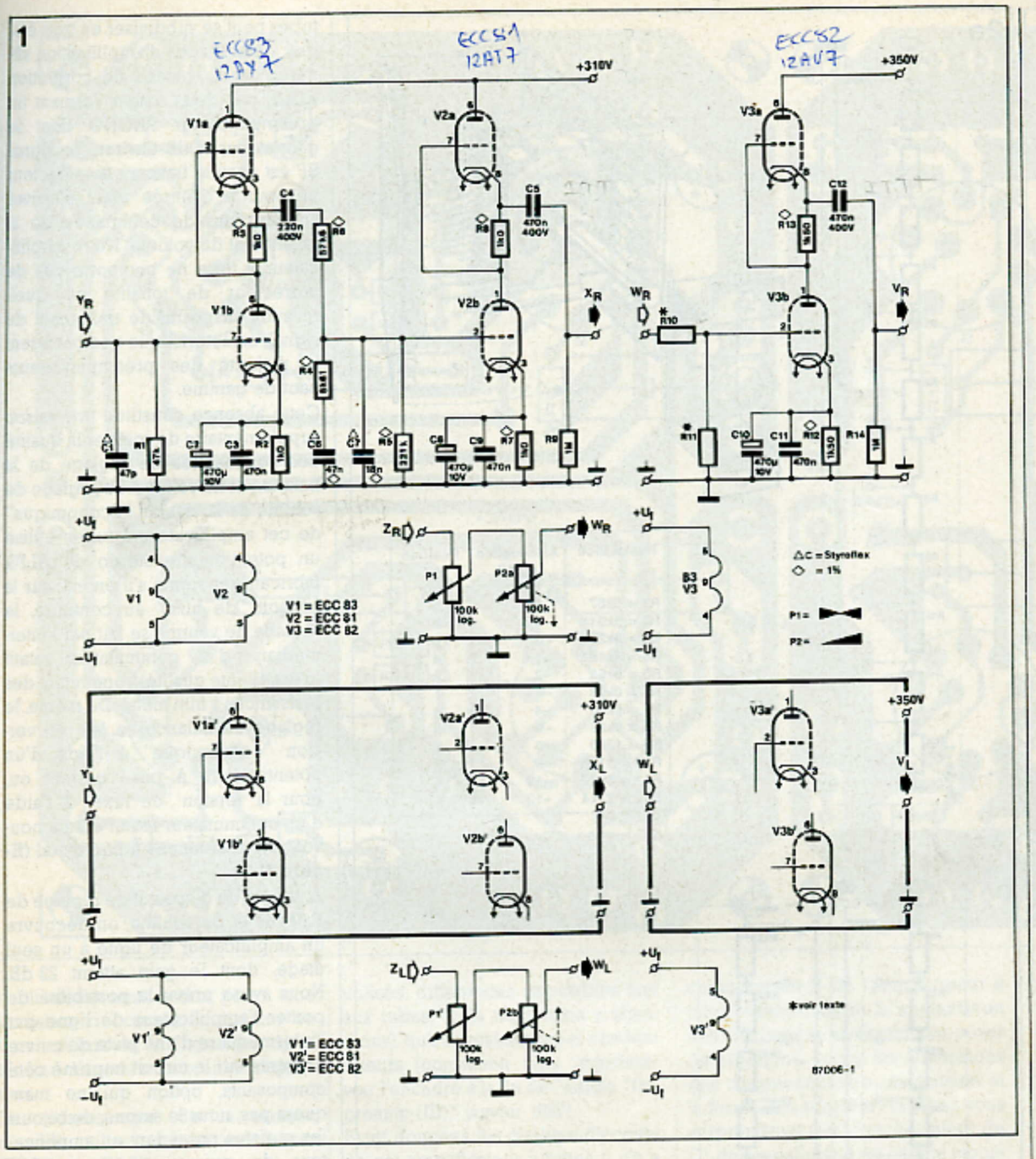


Figure 1. Schéma de l'amplificateur à tubes sans contre-réaction. On peut envisager d'utiliser individuellement les différents sous-ensembles qu'il comporte. Pour plus de clarté, nous avons subdivisé chacun des tubes (V = valve) en deux parties baptisées respectivement a et b. Les longs délais de production des circuits imprimés expliquent la différence existant entre les valeurs des tensions d'alimentation de V3 indiquées sur les schémas et la platine. Nous avons opté pour une tension de 350 V.

concerne la tension continue, ces derniers se trouvent montés en série: ce qui explique que pour obtenir la tension d'anode nominale de 150 V par tube, la tension de service doit être de 300 V. La tension de polarisation de la grille est obtenue, comme c'est le cas sur la majorité des montages à tubes, par l'intermédiaire de la résistance de cathode. La tension du signal est appliquée à la grille de commande du tube du bas sur le schéma de la **figure 1**; l'anode du tube inférieur et la grille de commande du tube supérieur étant interconnectées, la tension alternative chutant aux bornes de la résistance de cathode non pontée du tube supérieur sert de tension de commande déphasée pour le tube supérieur, la chute de tension continue aux bornes de R3 créant la tension de grille nécessaire à ce dernier (voir figure 1).

Par ce type de contre-réaction, la résistance de sortie du tube est réduite d'un facteur 3 ou 4, de sorte que l'étage à charge cathodique indispensable à tout amplificateur à tube, célèbre par ses nombreuses influences négatives sur le son, devient superflu.

Comme on le voit, le principe de fonctionnement du SRPP est simple. Raison de plus pour s'extasier devant les résultats de mesure et plus encore ceux des tests d'écoute comparative avec d'autres amplificateurs à tubes. Résumons sommairement les qualités typiques de cet amplificateur à tubes:

- Taux de distorsion très faible
- Excellente linéarité
- Facteur d'amplification (gain) important
- Marge avant surmodulation importante
- Impédance de sortie faible (fonction du type de tube utilisé).

Ces avantages indiscutables permettent à un préamplificateur basé sur le principe SRPP de se passer de circuit de contre-réaction, à tel point que l'on peut ponter les résistances de cathode de la moitié inférieure des tubes qu'il comporte, et mesurer un taux de distorsion inférieur à 0,1 % pour des niveaux de sortie "civilisés". Contrairement aux autres circuits à tubes, le taux de distorsion diminue aux fréquences élevées. De par le gain élevé de cet étage et l'importante marge avant surmodulation qui le caractérise, il est recommandé d'opter pour un réseau de correction RIAA passif (aux avantages multiples) de préférence à un réseau de correction actif.

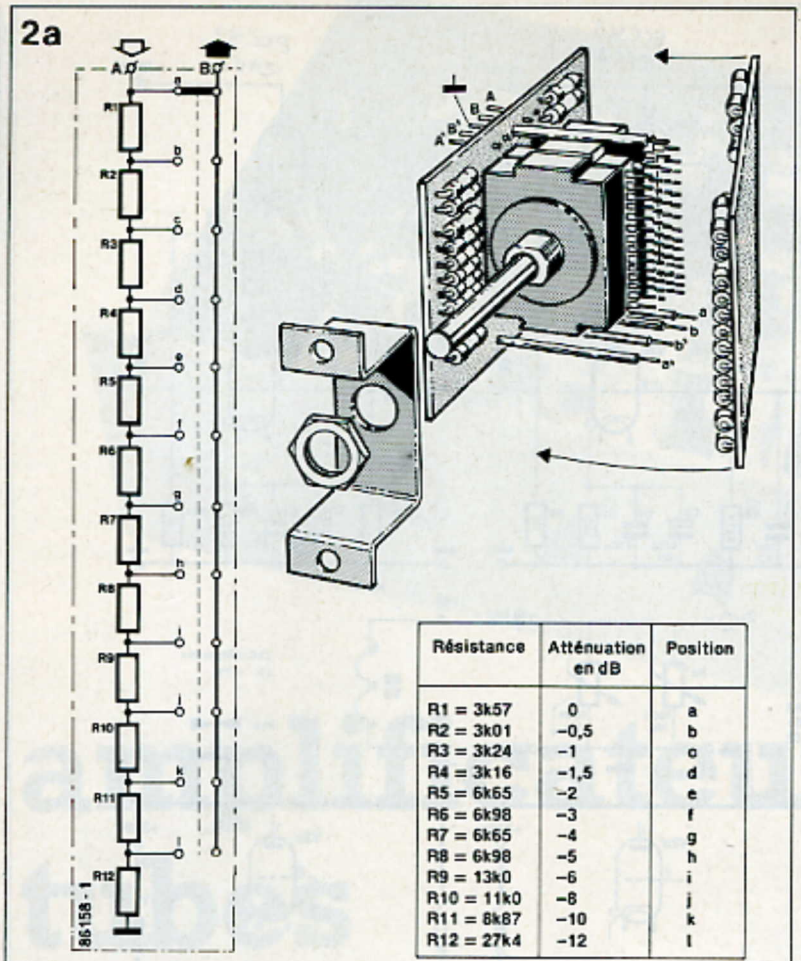
Le schéma

L'électronique de l'amplificateur à

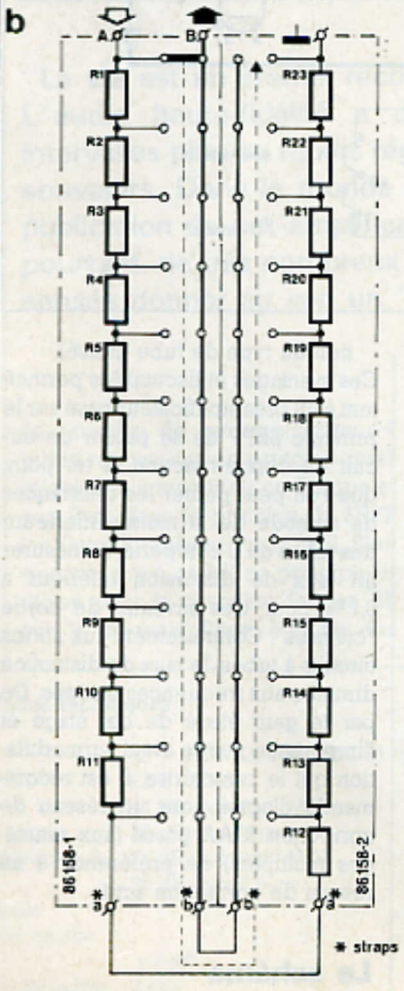
Le lecteur aura sans doute compris que les lettres L et R suscriptes des figures 1 et 4 représentent respectivement les canaux Gauche et Droit. Nous avons adopté ces dénominations pour garder la compatibilité entre les schémas et la sérigraphie des platines concernées.

Figure 2a. Réglage de balance réalisé par commutateur. Pour une version stéréo il en faudra bien évidemment deux.

Figure 2b. Réglage de volume par commutateur. Pour la version "de luxe" il en faut deux exemplaires. Pour la version "économique" on pourra le remplacer par un potentiomètre stéréo (d'excellente qualité cependant).



Résistance	Atténuation en dB	Position
R1 = 3k57	0	a
R2 = 3k01	−0,5	b
R3 = 3k24	−1	c
R4 = 3k16	−1,5	d
R5 = 6k65	−2	e
R6 = 6k98	−3	f
R7 = 6k65	−4	g
R8 = 6k98	−5	h
R9 = 13k0	−6	i
R10 = 11k0	−8	j
R11 = 8k87	−10	k
R12 = 27k4	−12	l



Résistance	Atténuation en dB
R1 = 19k1	−2
R2 = 16k2	−4
R3 = 13k3	−6
R4 = 10k5	−8
R5 = 8k45	−10
R6 = 6k65	−12
R7 = 5k36	−14
R8 = 4k22	−16
R9 = 3k32	−18
R10 = 2k61	−20
R11 = 2k10	−22
R12 = 1k65	−24
R13 = 1k30	−26
R14 = 1k05	−28
R15 = 825Ω	−30
R16 = 931Ω	−33
R17 = 649Ω	−36
R18 = 464Ω	−39
R19 = 412Ω	−43
R20 = 261Ω	−47
R21 = 165Ω	−51
R22 = 105Ω	−55
R23 = 178Ω	∞

Figure 3. Représentation de la sérigraphie de l'implantation des composants du circuit imprimé dessiné conçu à l'intention de l'amplificateur à tubes en version stéréo.

Liste des composants du circuit principal

Résistances (1 % film métallique, 0,5 W):
R1 = 47 k
R2,R3*,R7,R8* = 1 k
R4 = 6k81
R5 = 221 k
R6 = 57k6
R9,R14 = 1 M
R10,R11 = valeur fonction de l'application
R12,R13* = 1k5
*1 = commutateur à 1 circuit 12 positions doté de 11 résistances de valeurs R1 = 3k57, R2 = 3k01, R3 = 3k24, R4 = 3k16, R5 = 6k65, R6 = 6k98, R7 = 6K65, R8 = 6k98, R9 = 13k0, R10 = 11k0, R11 = 8k87,

tubes peut se subdiviser en trois étages: deux étages d'amplification séparés par le réseau de correction RIAA; ces deux étages forment un préamplificateur PHONO dont le gain atteint 44 dB environ. Le signal BF est ensuite transmis au sélecteur de source d'entrée avant d'arriver aux organes de commande de la balance et du volume. Notre amplificateur à tube ne comporte pas de correcteur de tonalité ou quelqu'autre dispositif de traitement du signal, caractéristique que partagent la majorité des préamplificateurs haut de gamme.

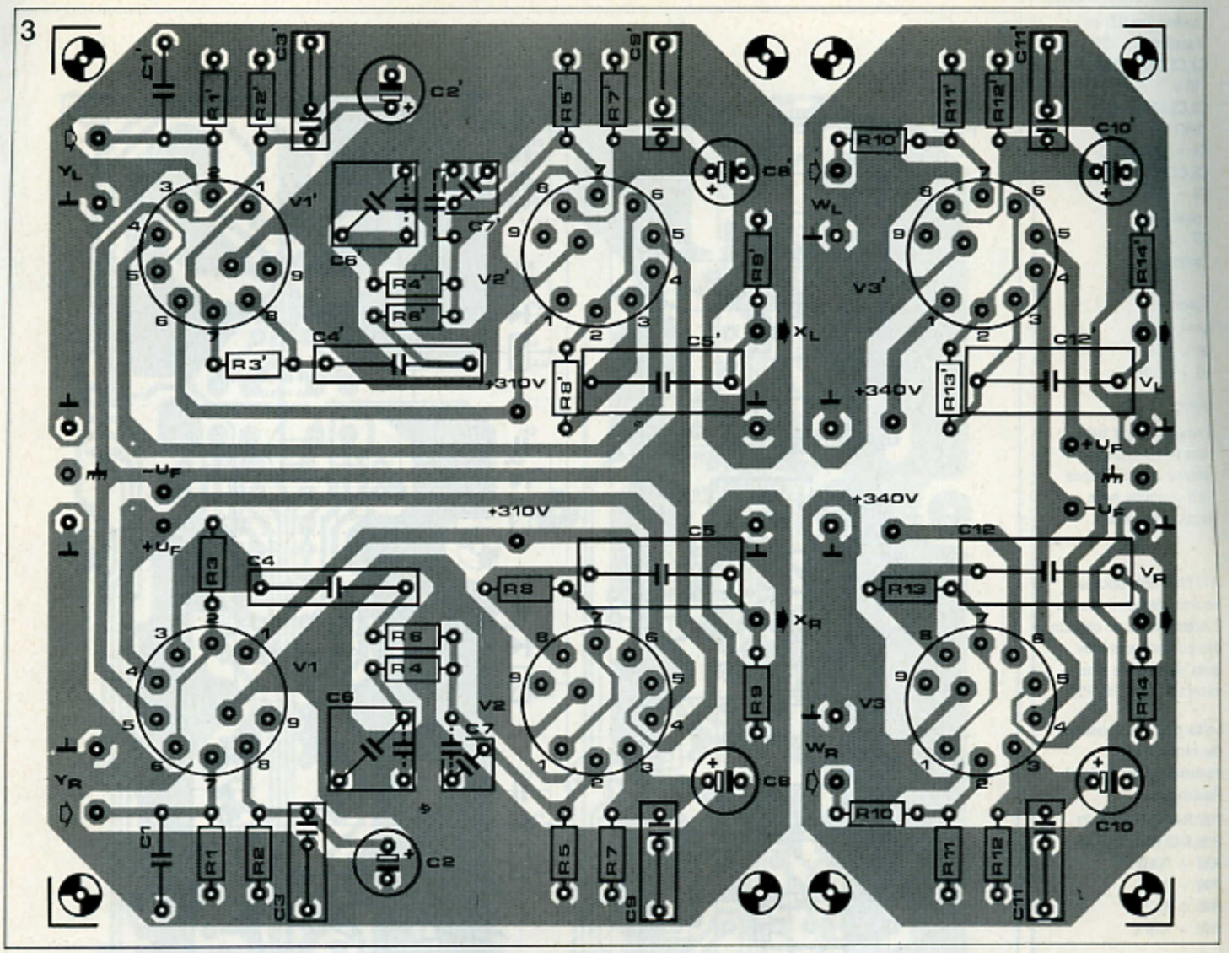
Cette absence constitue une raison supplémentaire de soigner la qualité des commandes de réglage de la balance et du volume. Le réglage de volume de la version "économique" de cet amplificateur à tubes utilise un potentiomètre stéréo de ALPS, fabricant renommé s'il en est; sur la version "de luxe" au contraire, le réglage de volume se fait par l'intermédiaire d'un commutateur rotatif (d'excellente qualité) commutant des résistances à film métal. De même, le réglage de balance se fait, en version "économique", à l'aide d'un potentiomètre à piste cermet ou, pour la version "de luxe", à l'aide d'un commutateur rotatif doté à nouveau de résistances à film métal (**figure 2**).

A la suite du dispositif de réglage de balance et de volume, on découvre un amplificateur de ligne à un seul étage, dont le gain atteint 22 dB. Nous avons prévu la possibilité de ponter l'amplificateur de ligne par l'intermédiaire d'une piste de cuivre présente sur le circuit imprimé côté composants, option qui ne manquera pas, nous le savons, de réjouir les puristes possédant un amplificateur de puissance à sensibilité d'entrée relativement élevée. Le choix de cette possibilité entraîne cependant une augmentation de l'impédance de sortie. Avec un amplificateur de ligne à base de ECC 82, l'impédance de sortie atteint 2,4 kΩ environ. Il faudra de ce fait penser à effectuer une adaptation d'impédance correcte entre le préamplificateur et l'amplificateur.

Dans le cas d'un préamplificateur à correction RIAA passive, la recherche d'un rapport signal/bruit élevé peut être délicate. Pour cette raison, il est indispensable d'implanter un tube d'excellente qualité dans le premier étage de l'amplificateur.

Cette même raison explique la relative complexité de l'alimentation adoptée: après redressement, la tension continue d'anode et la tension de chauffage passent par un étage de filtrage et de régulation. Pour la protection de l'appareil (et celle de

3



l'utilisateur) nous avons prévu une limitation de courant qui entre en fonction lors de la disparition de la tension d'anode du circuit de régulation.

Le redressement de la tension d'anode utilise un tube redresseur (EZ-80 ou EZ 81); comparée à un redressement par semi-conducteur, cette solution comporte différents avantages garantissant le maintien de la qualité du son fourni par le circuit. La taille de l'alimentation prend en outre une part (non négligeable) dans le moelleux du son obtenu à la sortie de l'amplificateur, sujet auquel nous reviendrons plus en détail dans le prochain article.

La qualité du son

Pour la réussite parfaite de ce montage, il est important de veiller au choix des composants et de sélectionner avec soin leur source. Plusieurs mois de tests (mesures et écoutes comparatives) effectués avec un important matériel, nous ont permis de constater des différences sonores sensibles, attribuables aux sources diverses des composants utilisés, différences imputables tant aux tubes, (cela nous nous y attendions), qu'aux résistances et condensateurs (constation plus imprévue, voir l'encadré à la fin de l'article "the preamp (III)" janvier 1987).

Etant données les qualités d'écoute de cet amplificateur à tubes il n'y a aucun risque à le mesurer aux préamplificateurs de sa catégorie; si de plus vous êtes d'avis que la qualité du son est le critère de jugement le plus important, il dépassera un certain nombre de ses concurrents. Résumons les qualités sonores caractéristiques de cet appareil:

- Neutralité de ton rare (sans accentuation d'une plage de fréquence particulière)
- Dynamique insurpassable (qui ne manquera pas de charmer les possesseurs de lecteurs de C.D.)
- Transparence exceptionnelle
- Excellent rendu des sons instrumentaux
- Reproduction unique des voix et des percussions.

La réalisation

La **figure 3** montre la sérigraphie du circuit imprimé de l'amplificateur à tubes version stéréo. L'implantation des composants ne devrait pas poser de problème, seules les dimensions des condensateurs haute tension et la forme des supports de tubes vous surprendront peut-être. La valeur de C1 dépend du type de cellule monté sur votre table de lecture. Les commandes de balance et de volume seront réalisées en respectant les indications de la **figure 2**. En ce qui concerne ces commandes, on peut également opter pour les potentiomètres indiqués dans la liste des composants (version économique). Au cours de quelques séances d'écoute comparative, on recherchera la valeur optimale à donner à la résistance de cathode (faire passer R3 et R8 à 1k1 et R13 à 1k4 par exemple). Les résistances R10 et R11 ne sont mises en place que si l'on prévoit d'utiliser l'amplificateur ligne seul, ou lorsque l'on trouve que son gain (22 dB) est trop élevé. Lors d'une utilisation standard, ces deux résistances (R10 et R10') sont remplacées par un strap.

L'alimentation et l'automatisme de mise en fonction feront l'objet d'une description détaillée dans le second

R12 = 27k4) montées selon les indications de la figure 2a ou potentiomètre cermet 100 k log

P2 = commutateur à 1 circuit 24 positions doté de 23 résistances (valeurs R1 = 19k1, R2 = 16k2, R3 = 13k3, R4 = 10k5, R5 = 8k45, R6 = 6k65, R7 = 5k36, R8 = 4k22, R9 = 3k32, R10 = 2k61, R11 = 2k1, R12 = 1k65, R13 = 1k3, R14 = 1k05, R15 = 825Ω, R16 = 931Ω, R17 = 649Ω, R18 = 464Ω, R19 = 412Ω, R20 = 261Ω, R21 = 165Ω, R22 = 105Ω, R23 = 178Ω) montées selon les indications de la figure 2b ou potentiomètre stéréo 2 × 100 k log (ALPS K 272A)

*voir texte

Condensateurs:

C1 = 47 p styroflex

(valeur fonction de l'application, voir texte)
C2,C8,C10 = 470 µ/ 10 V
C3,C9,C11 = 470 n MKT
C4 = 220 n/400 V
C5,C12 = 470 n/400 V
C6 = 47 n 1 % polystyrène
C7 = 18 n 1 % polystyrène

Tubes:
V1 = ECC83
V2 = ECC81
V3 = ECC82

Divers:
3 supports pour tube type noval châssis (en stéatite de préférence et à contacts lyres dorés si possible)

ATTENTION: pour une version stéréo, il faudra 2 exemplaires de chacun des composants indiqués dans cette liste, exception faite de P2.

Liste des composants du circuit de commutation (relais)

Résistances:
R37,R41,R43 = 2k21
R38,R42,R44 = 1 M
R39 = 10k0
R40 = 10k2
R45 = 4k75
R46 = 475 k

Condensateurs:
C33...C37,C39 = 100 n

Semi-conducteurs:
D1...D6 = 1N4148

Divers:
ReA...ReF = relais miniature 12 V à deux paires de contacts, tels que Siemens W11-V23102-A 0006-A111 ou Omron G2V-2 ou SDS DS 2E-M (Deisenhofen)
K1 = barette de picots tronçonnable droite (2 × 5 contacts) au pas de 2,54 mm
16 embases cinch femelle châssis plaquées or

4

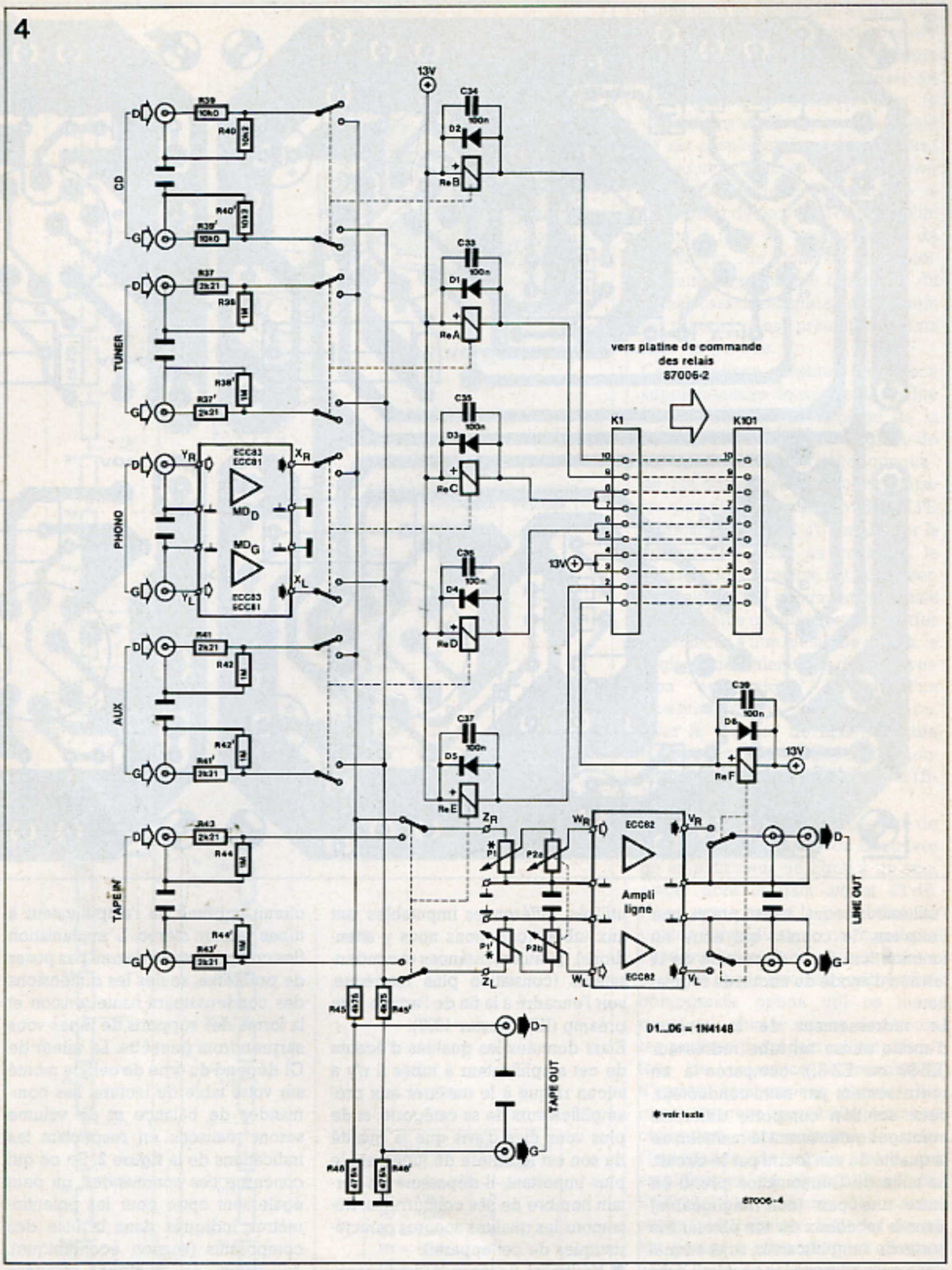


Figure 4. Schéma du circuit de commutation par relais des sources de signaux d'entrée.

article consacré à cet amplificateur à tubes.

La commutation des sources de signaux d'entrée se fait par l'intermédiaire de relais implantés sur un circuit imprimé séparé qu'ils partagent avec les embases châssis d'entrée et de sortie. L'électronique du circuit de commutation des signaux d'entrée est représentée en **figure 4**. Le préamplificateur correcteur et l'amplificateur de ligne y sont représentés sous la forme d'un bloc. Il n'est pas difficile de reconnaître les entrées à gauche, les sorties à droite et les relais au centre.

Le niveau du signal de sortie que fournit un lecteur de CD est notablement plus élevé que celui disponible en sortie d'un lecteur de cassettes ou d'un tuner, ce qui explique qu'il faille atténuer ce signal, atténuation réalisée par l'intermédiaire d'un diviseur de tension (R39/R40). La présence des autres diviseurs de tension (superflus en fait) a pour seul but d'améliorer la diaphonie: les entrées non utilisées sont mises à la masse par l'intermédiaire des résistances R38, R40, R42 et R44, procédé entraînant une atténuation supplémentaire. Les relais sont attaqués par un circuit de commande dont les sorties A à F rassemblées au connecteur K1 sont interconnectées à la platine de commande des relais par l'intermédiaire d'un câble multibrin. Nous reviendrons à cette partie du montage dans l'article du mois prochain.

La **figure 5** donne la sérigraphie et le dessin des pistes de la platine des connecteurs. Si vous êtes un lecteur assidu d'Elektor, cette platine ne devrait pas vous être inconnue. En ef-

5

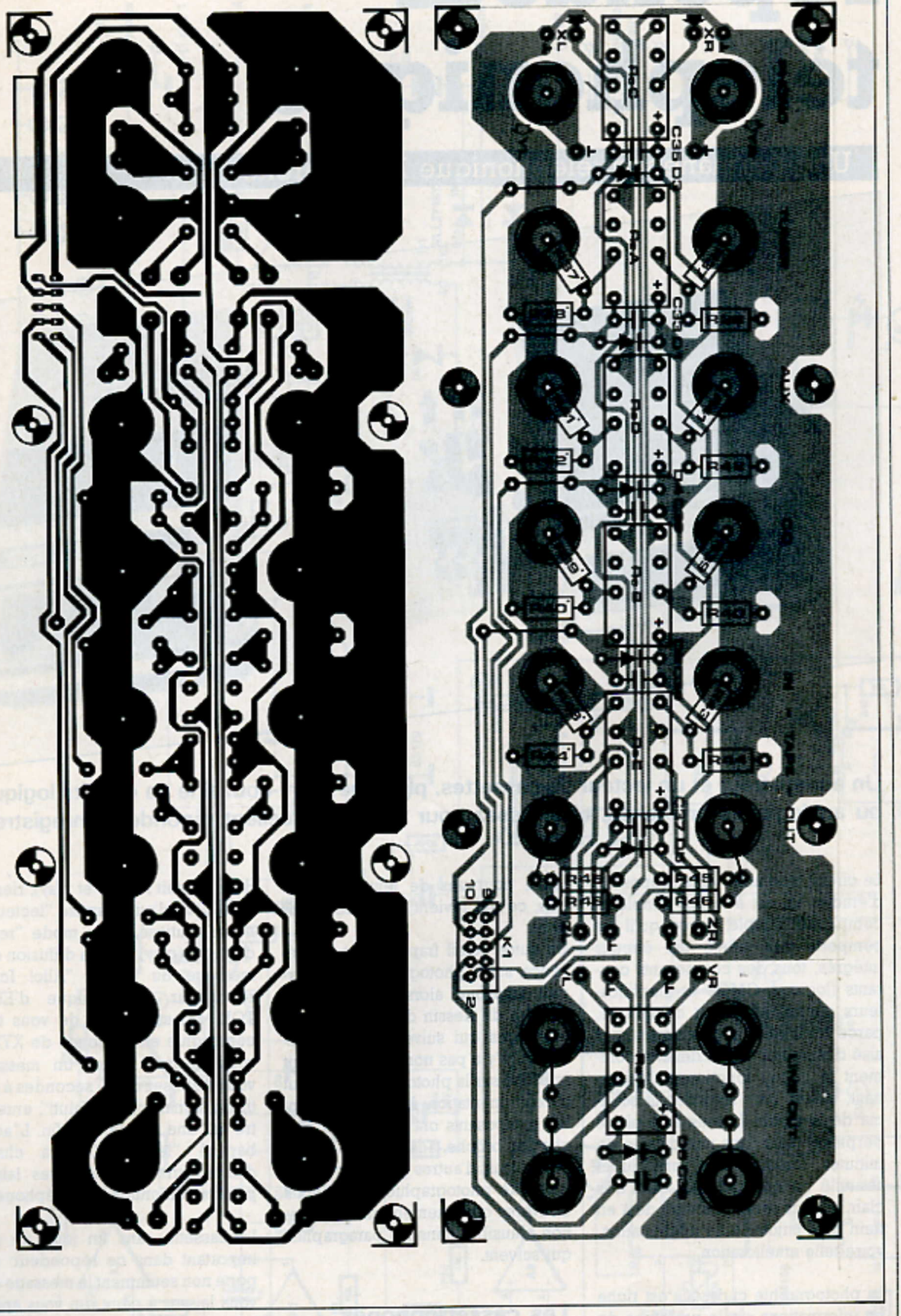


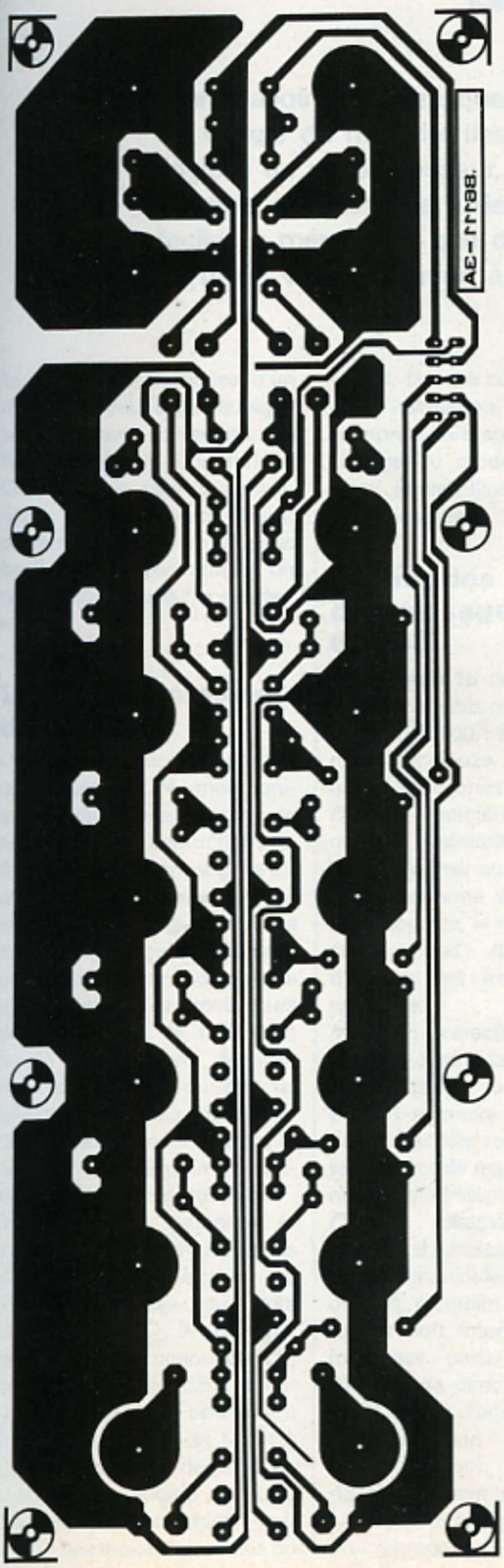
Figure 5. Représentation de la sérigraphie de l'implantation des composants du circuit de commutation par relais des signaux d'entrée.

fet, à quelques petites modifications près, c'est celle que nous avons utilisée dans **"the preamp"**. Elle est conçue de manière à permettre une implantation directe des embases cinch. Les relais ReA...ReF sont des relais miniatures pour circuit imprimé; étant donné le niveau extrêmement faible des signaux qu'ils ont à véhiculer, il est impératif que ces relais soient d'excellente qualité, une résistance de transfert élevée produirait une atténuation trop importante. Il existe diverses marques de relais convenant parfaitement à cette application: Siemens et SDS, énumération non exhaustive!!! On veillera à ce que les embases cinch femelles châssis utilisées soient d'excellente qualité: une version plaquée or n'est pas un luxe superflu.

La suite au prochain numéro!

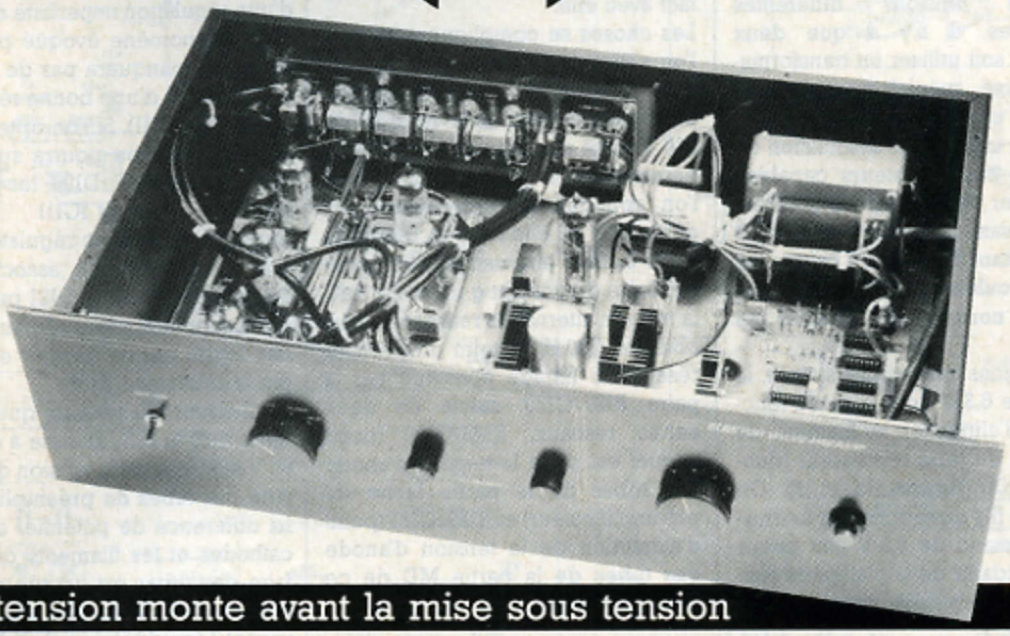
69 mm

Amplificateur à tubes: platine des relais et des embases



préamplificateur à tubes (II)

J.P. Güls



la tension monte avant la mise sous tension

Le second et dernier article consacré à la réalisation de ce préamplificateur en décrit l'alimentation et le circuit de commande des relais, sous-ensembles qui associés au circuit principal et à la platine des relais et des embases de sortie permettent de réaliser un préamplificateur complet. Il ne reste plus ensuite qu'à rechercher un coffret digne des qualités de ce préamplificateur pour transformer le tout en véritable objet d'art.

Caractéristiques techniques mesurées (revues et corrigées):

Rapport signal/bruit:	
Préampli MD:	59 dB (lin.), 76 dB (pondéré A)
Préampli ligne:	77 dB (lin.), 88 dB (pondéré A)
Total:	57 dB (lin.), 73 dB (pondéré A)
Gain (à 1 kHz):	
(préampli MD):	44 dB
(ampli ligne):	22 dB
Diaphonie:	
Gauche -- Droite:	−70 dB (10 kHz)
AUX -- TUNER:	−78 dB (10 kHz)
Courbe de réponse:	20 Hz à 100 kHz (± 1 dB)
Tolérance par rapport à la courbe RIAA:	<0,3 dB (Z_{Ter} = 47 kΩ//100 pF)
Taux de distorsion:	<0,01 % (U_{sor} = 1 V, 20 Hz−20 kHz)
Impédance de sortie:	2,4kΩ
Taux de montée de la tension de sortie (slew rate):	6,4 V/µs

Il va sans dire que lors de la réalisation de ce préamplificateur, il n'est pas indispensable, pour arriver à construire un appareil d'excellente facture, de respecter au pied de la lettre toutes les indications données dans le texte. Cependant, si l'on désire construire un système opérationnel, il y a deux sous-ensembles indispensables: le circuit du préamplificateur proprement dit, le circuit principal décrit dans le premier article du mois dernier (que l'on pourra ne doter que de la partie MD ou de la partie Ligne selon ses besoins), et l'alimentation. La description des deux types de préamplificateurs en question (MD et Ligne) a fait l'objet du premier article. Nous allons donc ici nous intéresser à ...

... l'alimentation

Etant données les tensions nécessaires, l'alimentation du préamplificateur à tubes possède un certain embonpoint, si ce n'est un embonpoint certain, caractéristique sans doute due au fait que nous avons tenu, primo (par principe) à la doter d'un circuit de protection, secundo à ce qu'elle soit aussi en mesure d'assurer l'alimentation du circuit de commande des relais et tertio à la nécessité de disposer de trois tensions d'alimentation pour le préamplificateur proprement dit. Nous avons en outre prévu un dispositif de régulation de la (haute) tension d'anode que nous recommandons avec insistance de ne pas supprimer. Le concept sur lequel est basé ce préamplificateur nécessite en effet la présence d'un dispositif de suppression des fluctuations de la tension d'alimentation (même s'il n'est que de faible envergure); en l'absence d'une telle régulation le risque est grand de se trouver confronté à des tensions parasites basse-fréquence importantes.

Un simple coup d'oeil au plan de câblage de la figure 3 montre que la tension secteur n'est pas appliquée directement au primaire du transformateur. Dès cet endroit nous avons implanté un dispositif de protection constitué d'un varistor monté en parallèle sur les bornes de la prise secteur, une paire de condensateurs qui étouffent dans l'oeuf toute crête de tension naissante de quelqu'im-

portance lors de la mise hors tension de l'appareil, parasites que l'amplificateur de puissance ne manquerait pas d'amplifier et qui feraient leur apparition dans les enceintes sous la forme de craquements (très) désagréables.

Et de fil (en aiguille), nous en arrivons au transformateur! Vu le nombre de tensions différentes nécessaires, il n'y a que deux solutions: soit utiliser un transformateur bobiné spécialement à cette intention et fournissant les 5 tensions, soit utiliser une association de plusieurs transformateurs capables de générer ces 5 tensions différentes. S'agissant de tensions élevées, **il est important de veiller à ce que les deux enroulements 360 V respectent les normes de sécurité en vigueur.**

Commençons par le plus simple, la tension de 6,3 V dont la seule fonction est d'alimenter le filament de chauffage du tube redresseur (duodiode) V101 (**figures 1a** et **3**). On reliera les fils du secondaire fournissant la tension de 6,3 V aux points correspondants de la platine de l'alimentation, connexion simple s'il en est. Cependant, étant donnée la capacité présente entre la cathode et le filament de chauffage de ce redresseur, il faut envisager la présence sur l'enroulement de 6,3 V de niveaux de tension continue plus importants, raison pour laquelle on veillera à l'isolation correcte de cette ligne et on évitera d'entrer en contact avec elle.

Les choses se compliquent lorsque l'on s'attaque aux tensions plus élevées (figure 1a). Intéressons-nous pour commencer à la tension de 360 V prise aux bornes d'un double enroulement à point milieu, et que l'on applique au redresseur duodiode V101 où elle subit un redressement double alternance. Par l'intermédiaire du contact g du relais ReG la tension alternative redressée ainsi obtenue (100 Hz) atteint un premier réseau de filtrage constitué par la paire R127/C129, suivie de deux autres réseaux, R128/C130 (point auquel est prise la tension d'anode des tubes de la partie Ligne du préamplificateur) et R129/C131 (point d'extraction de la tension d'anode des tubes de la partie MD de ce même appareil).

Le circuit de régulation haute tension basé sur le régulateur IC111, un TL783 aux caractéristiques similaires à celles du LM317, peut être remplacé par la résistance R128 (à la condition impérative que l'amplificateur branché en aval possède un filtre infrasonore efficace capable de supprimer les ondulations sonores nées d'une régulation imparfaite de la tension, phénomène évoqué plus haut et qui ne manquera pas de poindre en l'absence d'une bonne régulation basée sur IC111). Si l'on opte pour la solution R128, on pourra suuprimer les diodes D119...D122, les résistances R135...R138 et IC111.

Dans la version avec régulateur intégré, la diode D122 associée aux diodes zener D119...D121 protège le régulateur intégré; le niveau du courant fourni par ce dernier est limité par la résistance R138.

Le diviseur de tension que constituent R130 et R131 abaisse à quelque 90 V le niveau de la tension de chauffage des tubes du préamplificateur. La différence de potentiel entre les cathodes et les filaments de chauffage des tubes est limitée de cette manière à 90 V environ, valeur convenant à tous les types de tubes utilisables pour cette réalisation. Les tubes du préamplificateur exigent une tension de chauffage continue; cette tension est fournie par une alimentation séparée basée sur IC1, un régulateur du type LM317 (partie inférieure du schéma de la **figure 1a**). L'ajustable P101 permet de régler à 12 V environ la tension de sortie (utilisée un peu plus loin comme tension de chauffage) fournie par le régulateur; le transistor T101 garantit une certaine progressivité à l'augmentation de cette tension à la mise sous tension de l'alimentation.

La troisième alimentation que comporte le préamplificateur (**figure 1b**) est basée sur un régulateur de tension intégré commun, un 7812 (IC109); elle fournit la tension d'alimentation du circuit de commande des relais ainsi que celle nécessaire à ces relais eux-mêmes (implantés sur le circuit des embases de sortie).

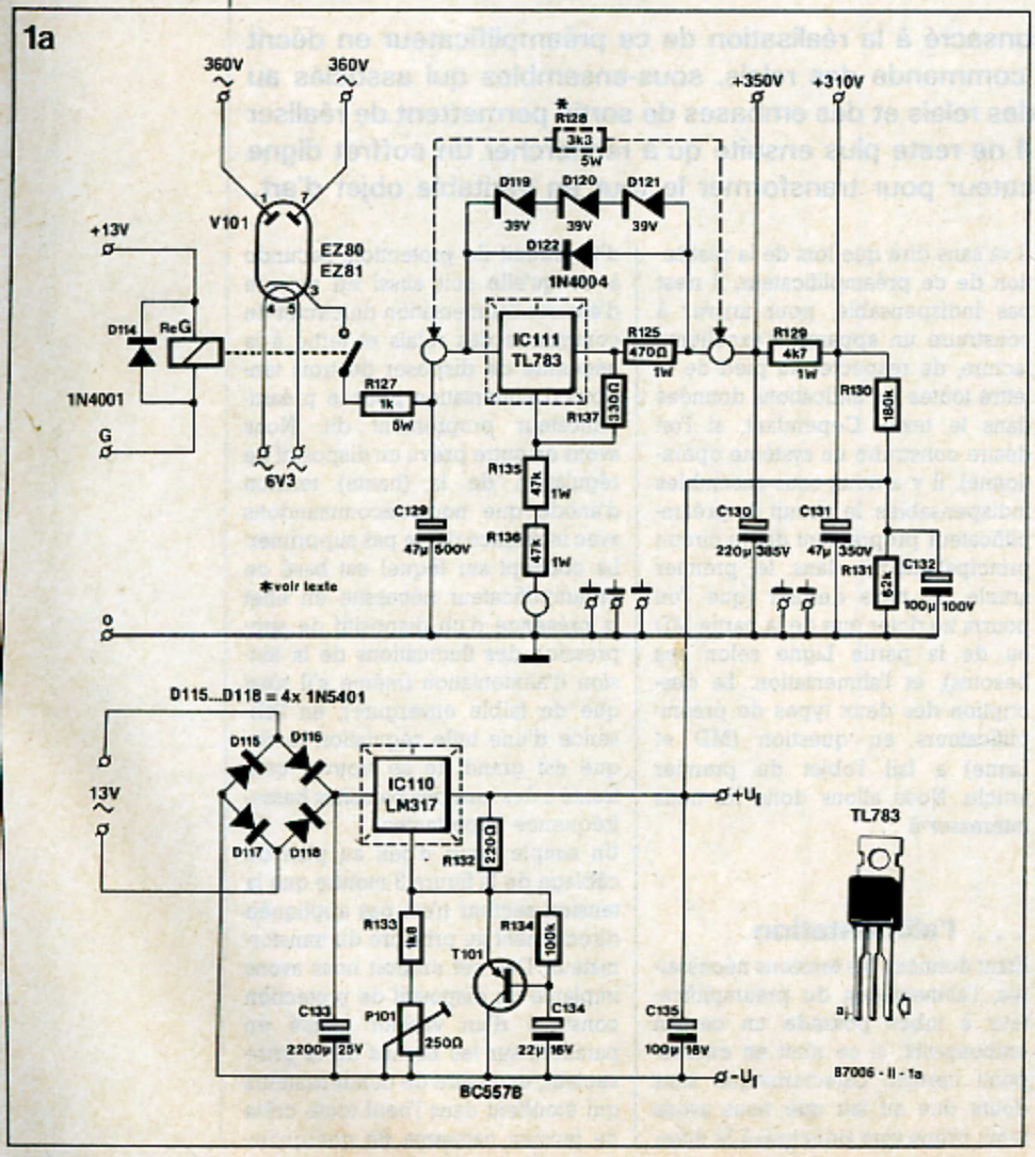


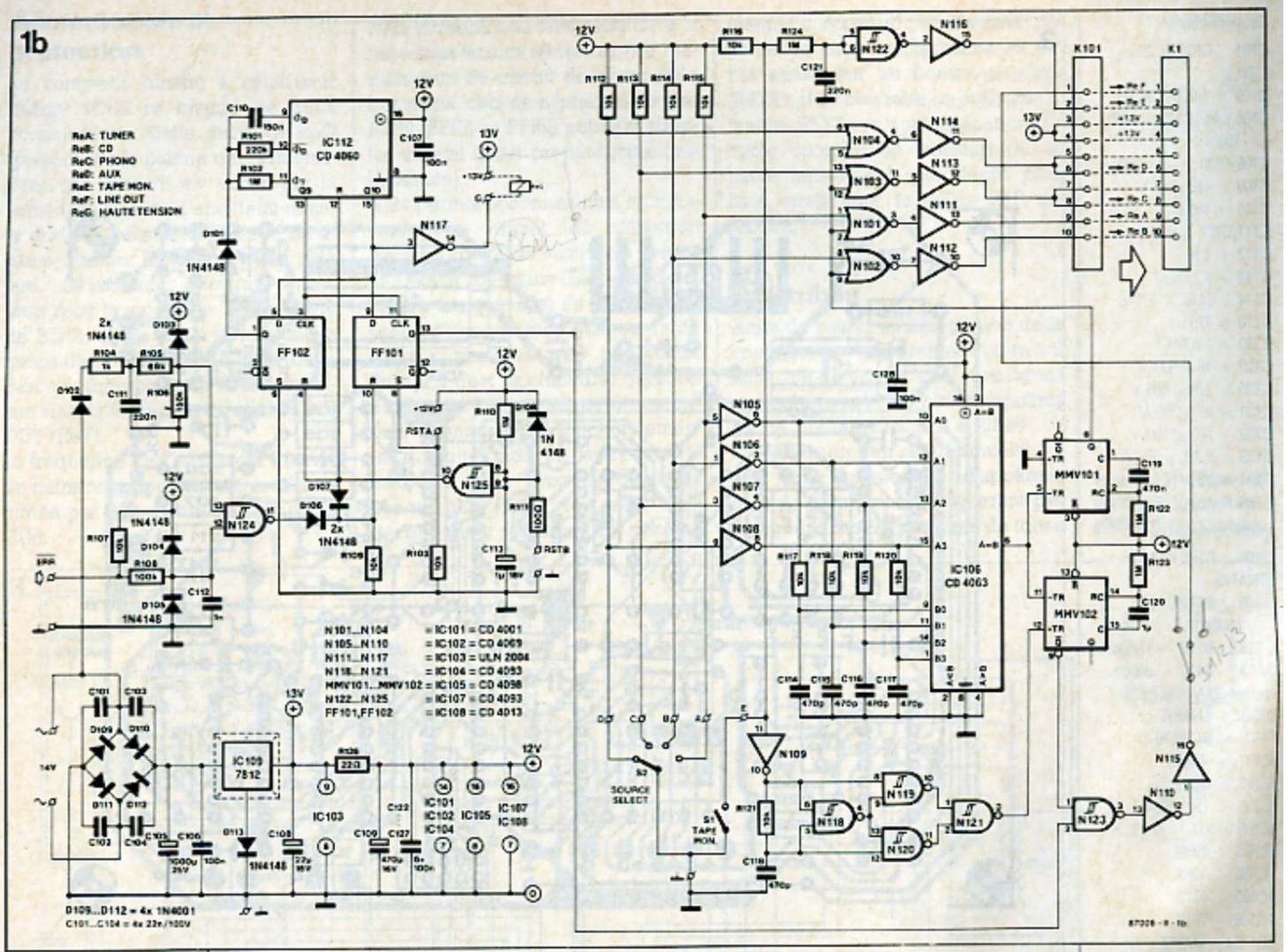
Figure 1a. Schéma de l'alimentation du préamplificateur à tubes.

Le circuit de commande des relais

La mise en (ou hors) ligne du relais sélecté par le commutateur de source s'effectue à l'aide d'étages de commande. Nous avonc conçu le circuit de commande des relais de manière à éliminer totalement tout risque de plocs ou autres cracs gênants.

Voici les fonctions que remplit ce circuit:

— Une fois l'appareil mis sous ten-



sion, le relais de sortie n'est excité qu'après une brève **temporisation**.

— Lors de la coupure de la tension d'alimentation (à la suite d'une action sur l'interrupteur secteur par exemple), le relais de sortie décolle **immédiatement**.

— Lors de la sélection d'une source de signal différente ou d'une action sur l'interrupteur TAPE MONITOR, le relais est à chaque fois mis hors fonction pendant un bref instant.

La **figure 1b** donne le schéma du circuit de commande des relais dont un examen superficiel pourrait donner à penser qu'il est relativement complexe. Bien au contraire, il ne comporte en fait que quelques sous-ensembles bien distincts: un comparateur (IC106), deux multivibrateurs monostables (MMV101 et MMV102) et une porte EXOR constituée par les portes N118...N121. Dans la partie centrale au bas du schéma on retrouve le sélecteur de source S2 (SOURCE) et l'interrupteur S3 (TAPE MONITOR) qui permet une écoute Moniteur. Tout en haut à droite on retrouve le connecteur de sortie vers les relais de la platine des embases.

TUNER — CD — PHONO — AUX

Par l'intermédiaire des résistances R112...R115 les plots inutilisés du sélecteur de source S2 sont mis au niveau logique haut. Un plot est activé (au niveau logique bas) lorsque il est relié à la masse par l'intermédiaire du contact mère du sélecteur. La position du sélecteur (et donc les états logiques de ses différents plots) sont transmis aux entrées A0...A3 du comparateur (IC106) par l'intermédiaire des tampons N105...N108. IC106 compare le quartet de bits appliqué à ses broches A0...A3 à celui présent à ses entrées B0...B3. En raison de la courte temporisation créée par les réseaux R117/C114...R120/C117, les deux quartets sont différents pendant quelques microsecondes. Cette situation explique que lors d'un changement de la position de S2 la sortie A=B de IC106 fournisse pendant un bref instant un niveau logique bas. Cette impulsion descendante déclenche les multivibrateurs monostables MMV101 et MMV102 dont les durées sont respectivement de 0,5 et de 1 seconde. En cas de déclenchement simultané des deux multivibrateurs, on obtient une coupure instantanée tant de la ligne véhiculant le signal d'entrée (par l'intermédiaire de N101...N104) que du relais de sortie ReF (LINE OUT, par l'intermédiaire de N123). Après écoulement de la constante de stabilité de MMV101, l'entrée que l'on vient tout juste de sélecter est mise en ligne et, à la fin de celle de MMV2, c'est au tour du relais ReF d'être excité.

TAPE

Lors de la fermeture de S1, la porte N109 associée au réseau R12/C118 et à la fonction EXOR que constituent les portes N118...N121 produit une impulsion positive qui déclenche MMV102. De ce fait, un basculement de S1 entraîne une mise hors-circuit immédiate du relais LINE OUT ReF. Ensuite, après écoulement d'une certaine durée (déterminée par le réseau R124/C121), le relais ReE est excité et colle; puis lorsque la durée de stabilité du multivibrateur MMV102 est écoulée à son tour, le relais LINE OUT est réexcité. On remarquera en passant que le relais d'entrée ne décolle jamais et que la liaison vers TAPE OUT reste maintenue en permanence.

LINE OUT

Le relais LINE OUT ne peut transmettre le signal de sortie du préamplificateur qu'après déblocage de la porte N123 par le signal de la sortie Q de la bascule FF101.

Figure 1b. Schéma du circuit de commutation des relais utilisé lors de la sélection d'une source de signal d'entrée différente.

Liste des composants

Résistances 5 % film métallique:

R101 = 220 k
R102,R110,R122...R124 = 1 M
R103,R107,R109, R112...R121 = 10 k
R104 = 1 k
R105 = 68 k
R106 = 150 k
R108,R134 = 100 k
R111 = 100 Ω
R125 = 470 Ω/1 W
R126 = 22 Ω
R127 = 1 k/5 W*
R128 = 3k3/5 W*
R129 = 4k7/1 W
R130 = 180 k
R131 = 62 k
R132 = 220 Ω
R133 = 1k8
R135,R136 = 47 k/1 W
R137 = 330 Ω
P101 = ajust. 250 Ω

*voir texte

Condensateurs:
C101...C104 = 22 n/100 V
C105 = 1 000 µ/25 V
C106,C107,C122...C128 = 100 n
C108,C134 = 22 µ/16 V
C109 = 470 µ/16 V
C110 = 150 n
C111,C121 = 220 n
C112 = 1 n
C113 = 1 µ/16 V
C114...C118 = 470 p
C119 = 470 n
C120 = 1 µ MKT
C129 = 47 µ/500 V
C130 = 220 µ/385 V
C131 = 47 µ/350 V
C132 = 100 µ/100 V
C133 = 2 200 µ/25 V
C134 = 22 µ/16 V
C135 = 100 µ/16 V

Semi-conducteurs:
D101...D108,D113 = 1N4148
D109...D112,D114, = 1N4001
D115...D118 = 1N5401
D119...D121 = diode zener 39 V/400 mW
D122 = 1N4004
T101 = BC 557B
IC101 = 4001
IC102 = 4069
IC103 = ULN2004
IC104,IC107 = 4093
IC105 = 4098
IC106 = 4063
IC108 = 4013
IC109 = 7812
IC110 = LM317
IC111 = TL783 ou 783
IC112 = 4060

Tubes:
V101 = EZ80 ou EZ81

Divers:
1 support Noval pour tube (à contacts lyres dorés si possible)
S1 = interrupteur simple
S2 = commutateur rotatif 1 circuit/4 positions
K101 = barrette de picots tronçonnable droite (2 x 5 contacts) au pas de 2,54 mm
radiateurs pour IC109...IC111
Sx = interrupteur secteur double
F1 = fusible 1 A retardé
Varistance (SIOV) type SK10K250

2

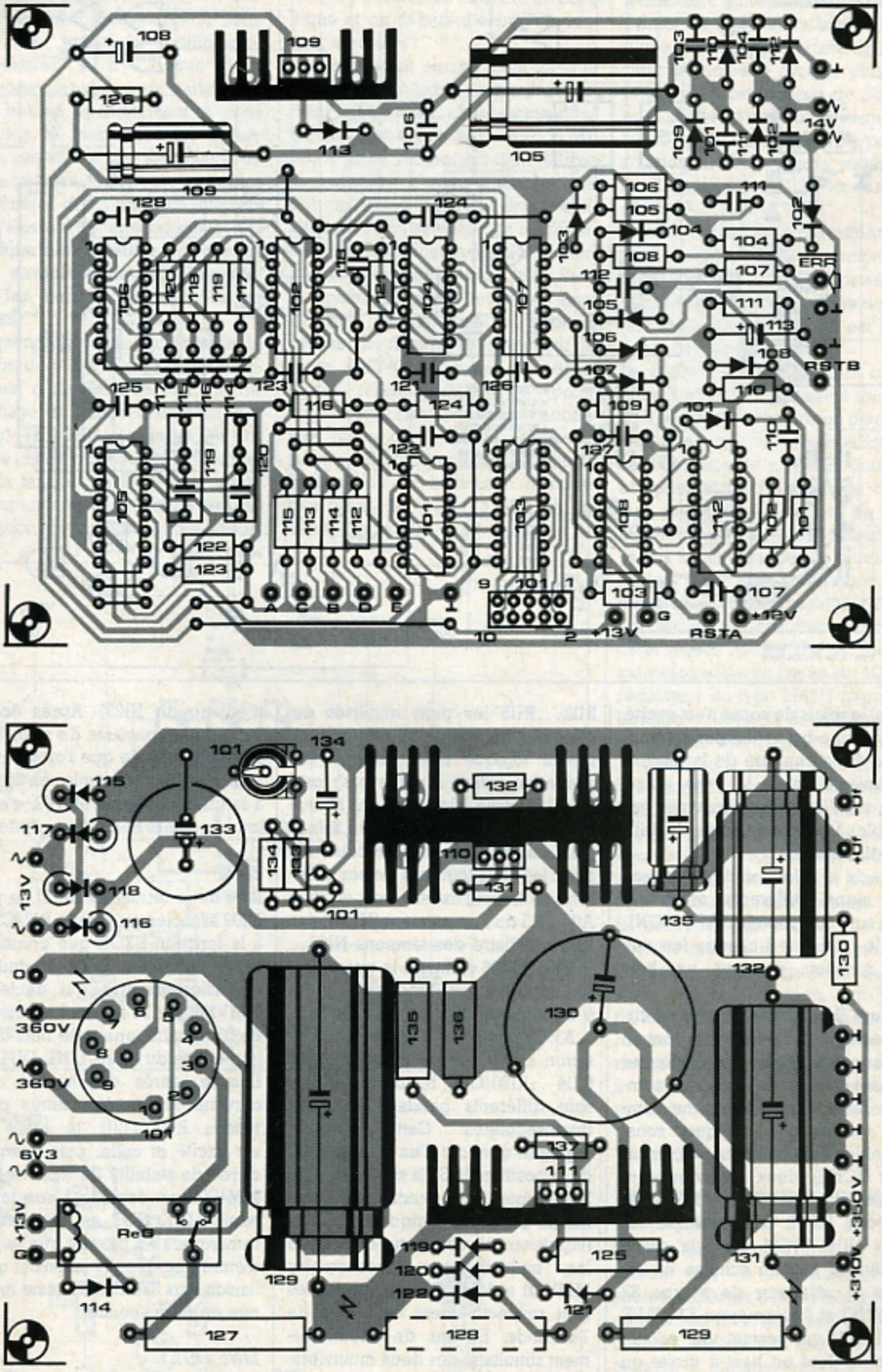


Figure 2. Proposée en une seule pièce, ce circuit imprimé pourra, en fonction des besoins de chaque réalisateur de ce montage, être coupé en deux.

Alimentation et protection

Le compteur binaire à oscillateur intégré IC112 se charge de deux commutations. Celle du relais ReG (présent sur la platine de l'alimentation), qui lorsqu'il est excité par la sortie Q10, au bout d'une demi-minute environ, permet le passage de la haute tension. Ensuite, un peu plus tard, 30 secondes environ après avoir reçu le signal de la sortie Q10 de IC112, durée de la constante de temps de FF101, le signal Q de cette bascule libère la porte N123 permettant ainsi la fermeture du relais LINE OUT (ReF).

La fréquence de l'oscillateur interne de notre compteur binaire est déterminée par les valeurs de R101 et de C110.

N125 introduit une temporisation à la mise sous tension (*Power up*) de l'alimentation du circuit de commande des relais, ceci de manière à ce que IC112, FF101 et FF102 puissent adopter un état initial prédéterminé (initialisation).

N124 permet la connexion à ce montage d'un circuit de détection d'erreur conçu de manière à fournir un signal d'erreur (ERR, actif au niveau logique bas) en cas de présence d'une tension continue ou de signaux parasites trop importants. Puisqu'il n'est pas (encore) question de décrire l'électronique de ce circuit, donnons-en le fonctionnement en quelques mots: en cas de problèmes tels ceux évoqués quelques lignes plus haut, le relais ReF décolle pour protéger le système (étage ou appareil) placé en aval. La sortie de cette configuration se fait par action sur un bouton-poussoir (RSTA); si au contraire on actionne la touche RSTB, on aura exécution du cycle complet de transfert de la haute tension tel que décrit plus haut, avant que le relais ReF ne recolle.

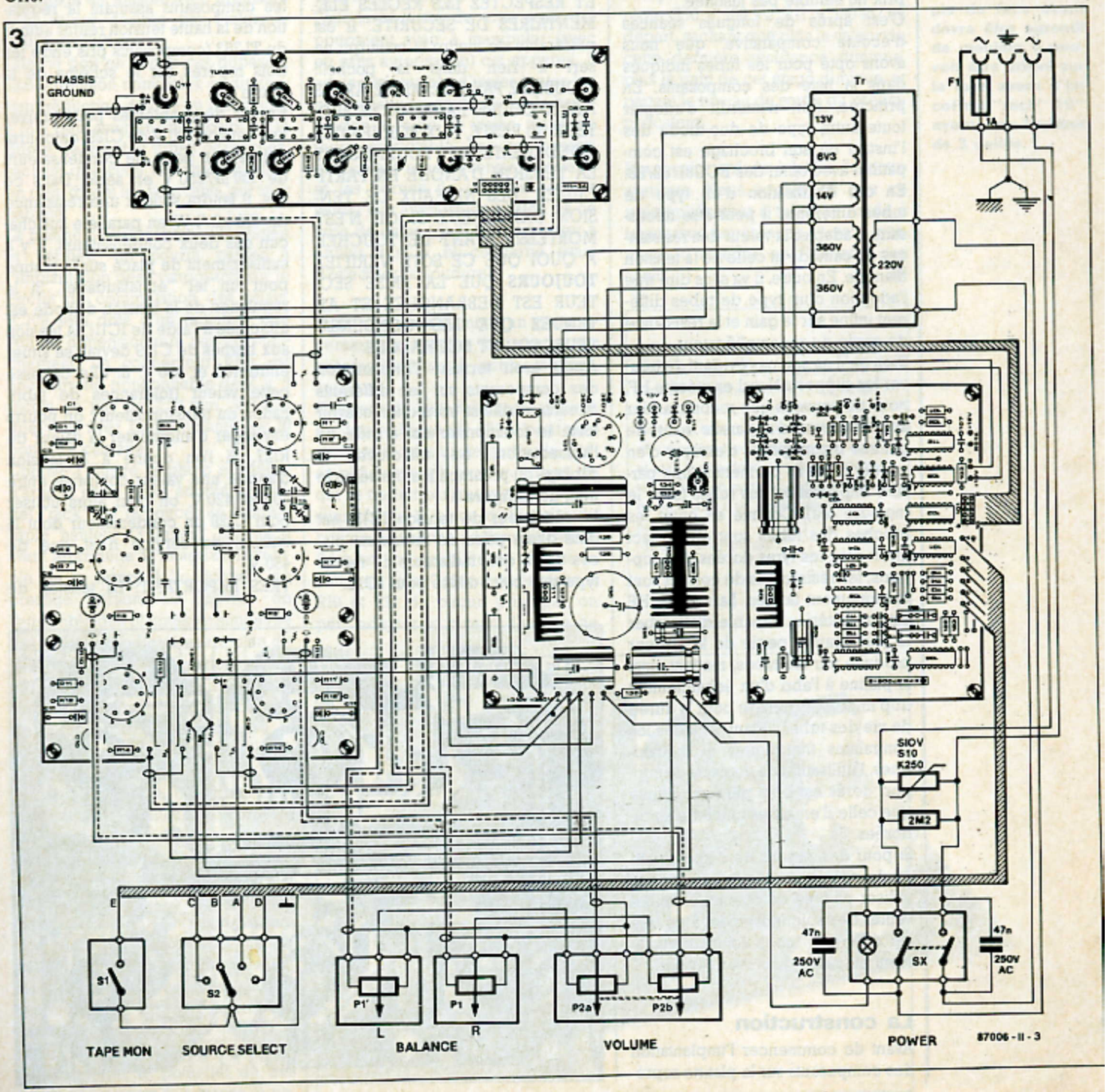
Les tubes

Avant de passer au paragraphe de la construction proprement dite, il nous faut consacrer quelques lignes aux composants les plus importants de ce préamplificateur à tubes ... les **tubes** (on s'en serait douté!!!).

Les vrais passionnés d'appareils haut de gamme ne manqueront pas d'acquérir quelques paires de tubes

Tr = transformateur (unique ou en combinaison) fournissant 2 × 360 V/ 0,05 A, 6,3 V/1A, 13 V/1,5 A, 14 V/1 A)

Figure 3. Plan de câblage du préamplificateur à tubes.



excédentaires de manière à trouver ceux qui à l'écoute donnent le meilleur son. Lors de nos essais, les tubes estampillés Telefunken, Valvo, Siemens, SEL, etc... ne nous ont pas déçus. Bien qu'à ce que nous sachions, ces firmes ne fabriquent plus elles-mêmes ces tubes, la qualité ne semble pas avoir eu à en souffrir. Les tubes d'origine américaine, fabriqués entre autres par General Electric, RCA et Sylvania conviennent tout autant à ce montage que ceux de fabricants (européens ou non) réputés tels que Mullard (Philips GB), Mazda ou Tungsram. Les versions professionnelles de ces tubes, E81CC, E82CC et E83CC, sont sensiblement plus onéreuses que leurs homologues grand public; mais à l'écoute, cette différence de prix ne semble pas justifiée.

C'est après de longues séances d'écoute comparative, que nous avons opté pour les tubes indiqués dans la liste des composants. En principe, rien n'interdit d'adopter toute autre type de duo-diode dès l'instant où son brochage est compatible avec celui des ECC81/82/83. En cas d'utilisation d'un type de tubes différents, il peut être nécessaire d'adapter la valeur des résistances de cathode et celle de la tension d'anode. En outre, il va sans dire que l'adoption d'un type de tubes différent influe sur le gain et la résistance de sortie du préamplificateur.

Bien qu'il ne soit pas évident de trouver les supports Noval en stéatite HF, nous ne pouvons que recommander aux amateurs d'appareils haut de gamme incorrigibles d'essayer d'en acquérir, car ils permettent une parfaite implantation des tubes (sans le moindre jeu). Comme en outre les broches des tubes sont en contact étroit avec les lyres dorées des supports, les résistances de contact sont extrêmement faibles. La stéatite HF est un matériau capable d'absorber la plus grande partie de la chaleur produite par les tubes, mettant ainsi la platine à l'abri d'un échauffement trop important (néfaste pour la durée de vie des tubes). Etant données les contraintes thermiques et mécaniques, l'utilisation de contacts de support dorés est bien plus importante que celle d'embases cinch de sortie dorées.

Si pour des raisons de disponibilité ou de coût, vous décidez de ne pas utiliser ce type de contact, il faudra veiller très soigneusement à ce que les différents tubes soient parfaitement en place dans leur support.

La construction

Avant de commencer l'implantation des composants sur la platine représentée en **figure 2**, il faudra, en fonction des circonstances et des besoins, séparer les deux parties qui constituent le circuit imprimé.

Cette décision prise, implantez les composants dans l'ordre habituel en veillant à effectuer de bonnes soudures.

Débutez par l'alimentation. Après avoir terminé l'implantation des composants commencez par vérifier cette partie du montage, car sans une alimentation parfaitement fonctionnelle, il est illusoire d'espérer réaliser un préamplificateur à tubes digne de ce nom.

ATTENTION: L'ALIMENTATION VEHICULE DES TENSIONS DANGEREUSES!!! LORS DE TESTS, MESURES ET/OU MODIFICATIONS, PRENEZ LES PRECAUTIONS D'USAGE ET RESPECTEZ LES REGLES ELEMENTAIRES DE SECURITE. Il est préférable de mettre la main qui ne sert à rien dans la poche!!! N'OUBLIEZ PAS QUE MEME APRES AVOIR COUPE LA TENSION SECTEUR, IL RESTE, AUX BORNES DES CONDENSATEURS FOURNISSANT LA TENSION D'ANODE EN PARTICULIER, DES NIVEAUX DE TENSION DANGEREUX SI CE N'EST MORTELS!!! AVANT DE TOUCHER A QUOI QUE CE SOIT, VERIFIEZ **TOUJOURS** QUE LA PRISE SECTEUR EST DEBRANCHEE ET ATTENDEZ QUE LES CONDENSATEURS SOIENT DECHARGES.

Après avoir terminé l'implantation des composants sur les différents circuits, vérifié sa correction et avoir testé le fonctionnement à vide de l'alimentation, on effectuera le câblage du préamplificateur selon le plan de la **figure 3**.

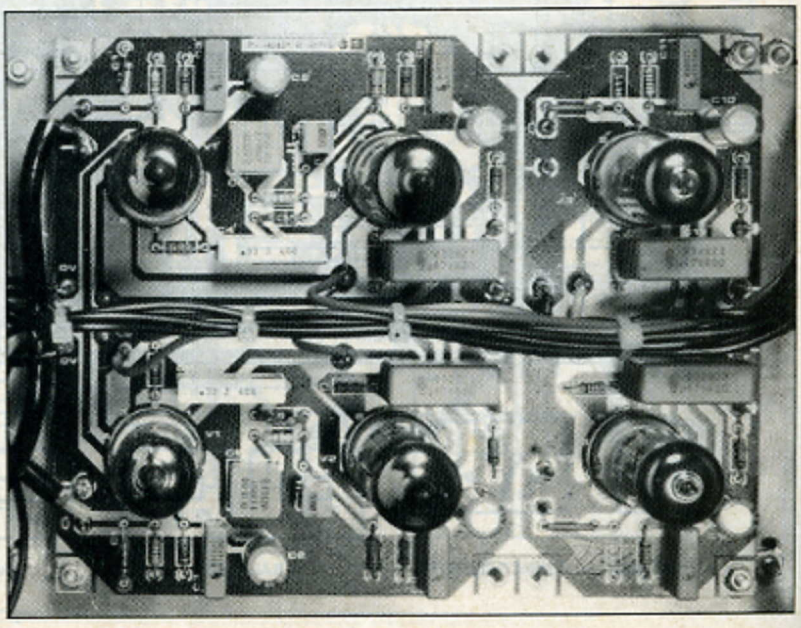
Le régulateur de tension IC110 est doté d'une paire de radiateurs placés dos à dos, radiateurs du même type que celui utilisé pour IC111.

Modifications possibles (que l'on ne peut cependant pas considérer comme autant d'améliorations).

Si l'on désire éviter l'utilisation d'un tube redresseur dans l'alimentation, on pourra le remplacer par une paire de diodes du type 1N4007: connecter les cathodes à la broche 3 du support et l'une des anodes à la broche 1, l'autre à la broche 7. Il est important, en raison de la plus faible chute de potentiel occasionnée par les diodes, de faire en sorte (par augmentation de la valeur de R127) que la tension aux bornes de C129 soit toujours inférieure à 450 V. Si l'on prévoit de ne pas effectuer de régulation de la tension à l'aide de IC111 et de n'implanter que la résistance R138, on pourra bien évidemment se passer de la mise en place de tous les composants assurant la régulation de la haute tension réunis autour du TL783 (composants pris entre les trois repères sur le schéma de la figure 1a).

En cas de problèmes pour trouver une version 500 V de C129, on pourra mettre une paire de condensateurs de 100 µF/250 V en série. Dans ce cas, il faudra souder une résistance de 470 kΩ/1 W en parallèle sur chacun ces deux condensateurs. Il y a suffisamment de place sur la platine pour un tel "échafaudage". Si la régulation de la tension d'anode est effectuée à l'aide de IC111, la tension aux bornes de C129 devrait se situer entre 400 et 450 V. Si elle dépasse cette valeur (tolérances de fabrication du transformateur), on pourra envisager d'augmenter la valeur de R127. Si l'on donne à la tension d'anode une valeur comprise entre 400 et 420 V, on peut alors utiliser pour C129 un condensateur dont la tension de service n'est que de 450 V.

TRES IMPORTANT: La tension de



4

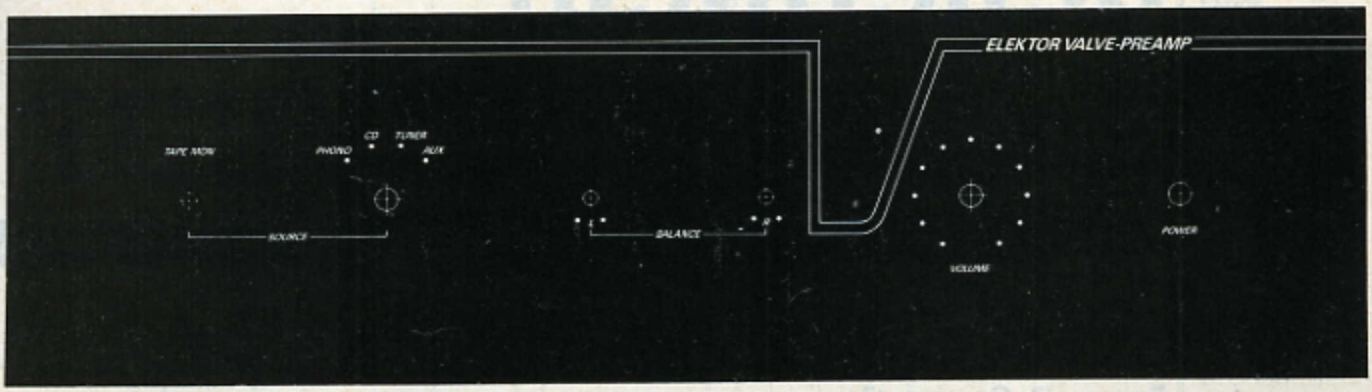


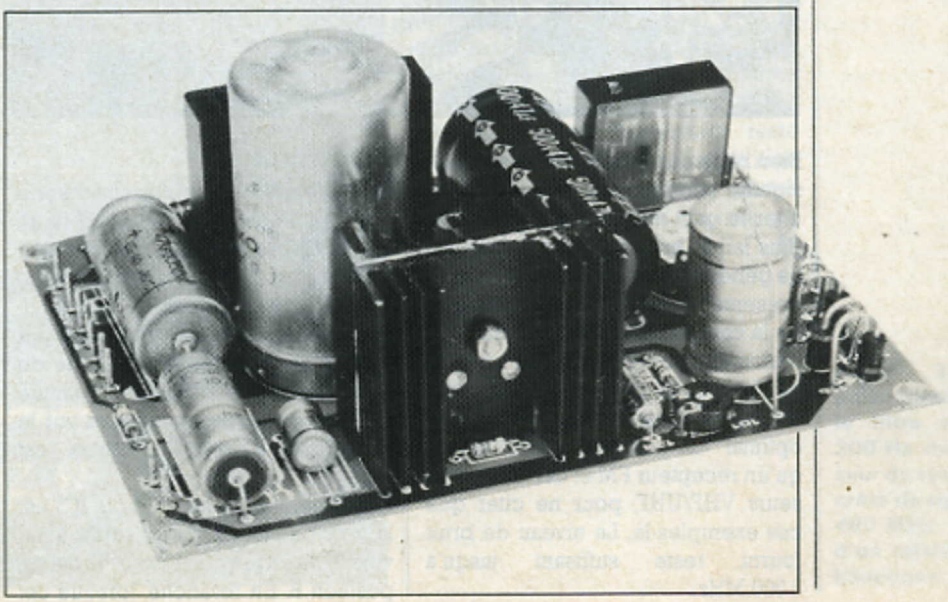
Figure 4. Cet exemple de face avant devra être agrandi de manière à pouvoir être utilisé sur la face avant d'un coffret "rack" 19" ayant une hauteur de 3 unités.

chauffage est ajustée avec précision à la valeur désirée par l'intermédiaire de P101.
Elle ne doit *en aucun cas* dépasser 12,6 V (tension nominale); sa diminution (réduction de 5 % au maximum) à 12 V peut avoir un effet positif sur la durée de vie des tubes concernés, sachant que cette réduction n'influe en rien, disent les fabricants, sur leur fiabilité.
La platine de l'alimentation terminée et vérifiée, on pourra passer à l'implantation des composants sur le circuit de commutation des relais. IC109 sera doté d'un radiateur que l'on ne dimensionnera pas trop chichement. Le connecteur K101 est une barrette tronçonnable de 2 x 5 picots au pas de 2,54 mm. Vérifiez que vous avez bien implanté les **16** ponts de câblage.
Comme l'illustre la photo en début d'article, nous avons adopté un coffret "rack" de 19 pouces en modèle triple hauteur (3 Unités). Une face avant reproduite à l'image de l'exemple de la **figure 4** lui donnera un prestige certain. Le câblage de l'ensemble des platines terminées se fera selon les indications du plan de la figure 3. Les connexions $\overline{ERR}$, RSTA et RSTB restent inutilisées pour l'instant. Remarquez en passant que les composants de protection à la mise sous tension sont soudés à même l'interrupteur secteur. Le schéma représente une prise secteur à cache pour fusible incorporé, placée dans la face arrière. L'interrupteur secteur que nous avons adopté comportait un voyant à filament alimenté en 12 V; son ampoule est connectée aux bornes de la tension de chauffage des tubes, ce qui permet de suivre parfaitement le lent établissement de cette tension. Il faut cependant faire très attention à l'isolation des deux fils reliant le voyant aux bornes de la tension de chauffage, car le potentiel de ces points par rapport à la masse (à travers R130) atteint 90 V.
Pour la sécurité de tous ceux qui pourraient avoir à manipuler (avec ou sans autorisation) cet appareil, il est indispensable d'isoler toutes les connexions en contact avec la haute tension à l'aide de gaine plastique thermorétractable. Les composants en contact avec la tension secteur, et les bornes de la prise secteur seront eux aussi isolés à l'aide de ce type de gaine (qu'il faudra penser à enfiler sur le fil concerné avant d'effectuer la soudure).

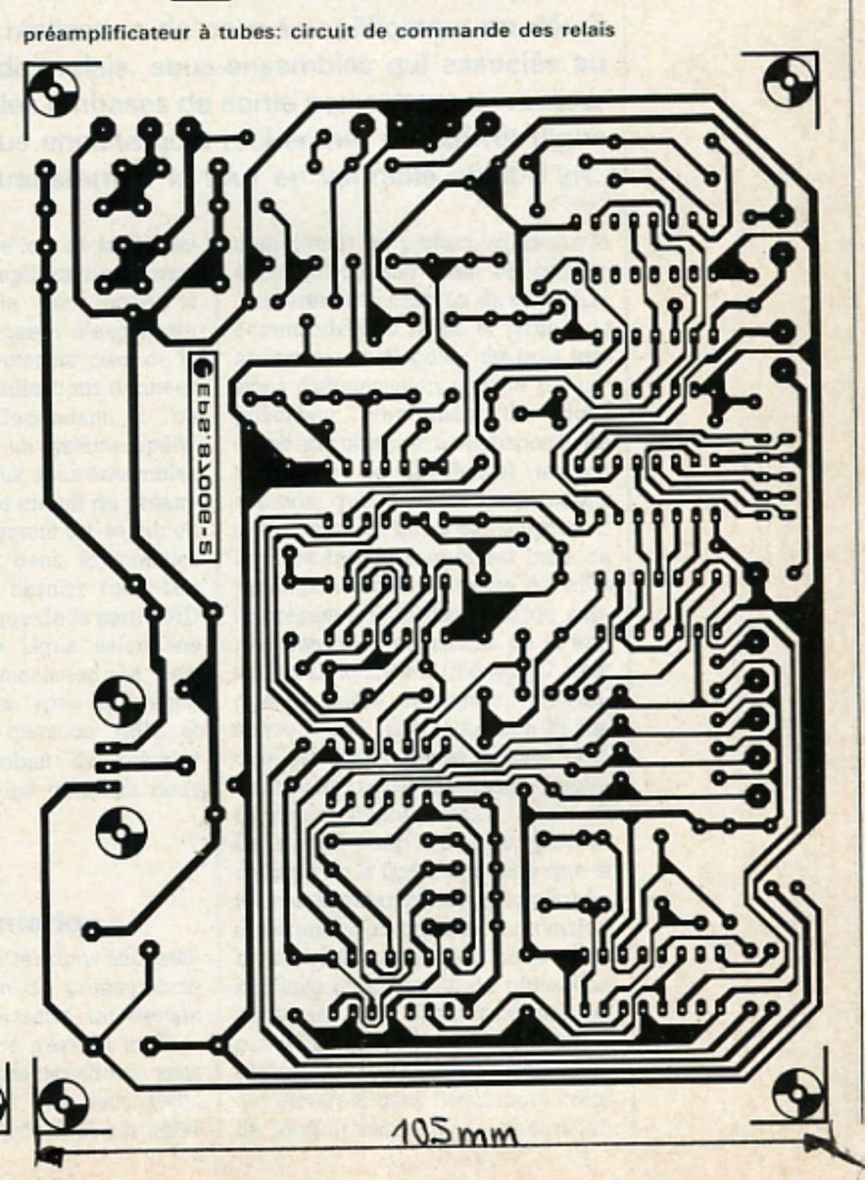
Avant d'en avoir terminé, un mot concernant l'adaptation de niveau du préamplificateur à votre système audio.
En raison du gain relativement élevé de l'étage Ligne (22 dB), il peut arriver que le niveau de sortie du préamplificateur soit trop important, ce qui se traduit par une réduction très sensible de la plage d'efficacité du bouton de volume de l'amplificateur. Résultat: impossibilité de réduire le volume à zéro. Grâce aux résistances R10 et R11 du circuit principal, on peut adapter le niveau d'entrée de l'étage ligne. On adoptera comme règle: R10 = 100 kΩ, R11 = 100 kΩ au départ, sachant que plus la valeur de cette dernière résistance diminue, plus le gain de cet étage diminue, et partant le niveau de sortie du préamplificateur.

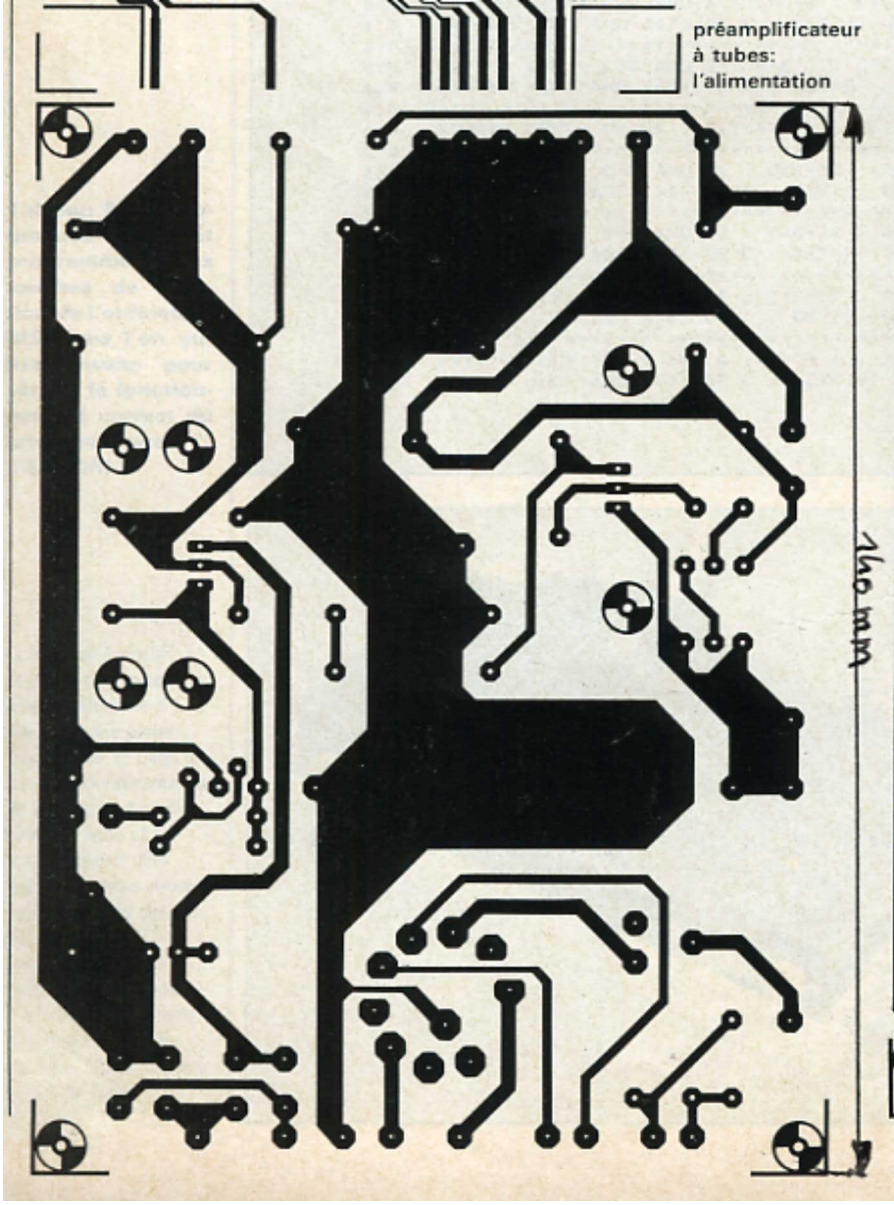
Nous voici arrivés à la fin de notre aventure. Nous souhaitons que ce préamplificateur à tubes réponde à toutes vos espérances et vous permette d'accéder au "nirvana des sons". ⏮

Ndlr: Un excès d'enthousiasme nous a fait commettre l'erreur impardonnable de baptiser "amplificateur" à tubes ce qui en fait est un "préamplificateur" à tubes, sachant que le montage décrit ici ne comporte pas d'étage de puissance et qu'il faudra donc, lors de son implantation dans un système audio, le connecter en amont d'un amplificateur de puissance.
"Errare humanum est".



préamplificateur à tubes: circuit de commande des relais




préamplificateur
à tubes:
l'alimentation
140 mm