

Tube-Preamp (I)

Préamplificateur à ECL86

Par Gerhard Haas

Le bon vieux tube à vide renaît. C'est pourquoi nous vous présentons un préamplificateur Ligne pouvant prétendre au qualificatif de haut de gamme qui en est équipé.



Les amplificateurs à tubes jouissent en effet d'une popularité qui ne se dément pas dans le haut de gamme. Bien que les semi-conducteurs modernes offrent de grandes possibilités, le bon vieux tube à vide a encore de beaux jours devant lui dans le domaine de la haute qualité audio. Les appareils équipés de tubes se multiplient au foyer comme au studio : compresseurs, équilibreur, simples

étages d'amplification, filtres, etc. On tente ainsi d'atteindre un son plus chaud et plus agréable que ne saurait offrir la technique « sans âme » à base de semi-conducteurs. L'époque du numérique a produit de très nombreux enregistrements très « agressifs » qui ont pu être « adoucis » par l'utilisation adéquate et systéma-

tique de la technique des tubes. Le préamplificateur présenté ici améliore en général la qualité de reproduction des CD. Ce préamplificateur a été conçu sans aucun compromis. Le signal ne trouve que des tubes sur son chemin, tandis que les semi-conducteurs se chargent des fonctions auxiliaires. Les deux technolo-

gies se complètent donc. Dans cette perspective, le chemin du signal ne comporte même pas de semi-conducteurs pour sa commutation.

Le tube détermine le concept

Le choix de l'élément amplificateur, un tube, détermine en majeure partie la topologie du circuit. Étant donné le choix restreint de types de tubes, on a recours à un certain nombre de configurations de base qui sont toutefois partiellement entachées de graves inconvénients.

Un préamplificateur typique sera équipé, par exemple, de doubles triodes telles que ECC81, ECC82, ECC83, ECC88 ou similaires. Le tube ECC 83 possède une amplification élevée en boucle ouverte, mais son courant de régime ne dépasse pas de l'ordre de 1 à 1,5 mA. L'amplification des ECC 81 et ECC 82 est plus faible, mais ils peuvent fonctionner avec un courant atteignant 10 mA. Les ECC 88, (ou leur équivalent PCC 88) qui sont principalement utilisés dans les blocs d'accord pour téléviseurs le sont aussi souvent en B.F. car ils peuvent atteindre un courant de régime de 15 mA avec une tension de fonctionnement de 90 V seulement. Deux doubles triodes en cascade offrent toutefois une amplification bien plus élevée que celle qui est nécessaire de nos jours tout en ne fournissant pas assez de courant. C'est pourquoi on a souvent recours à un montage à cathode asservie pour réduire la résistance de sortie du circuit à tubes, ce qui fait bien décroître la résistance dynamique de sortie mais ne l'élimine jamais complètement.

La **figure 1** représente le montage type à cathode asservie d'un tube ECC 83. La résistance dynamique de sortie R_a est donnée par (valeurs type du tube ECC 83) :

Amplification en boucle ouverte
 $\mu = 100$

Résistance interne
 $R_i = 62,5 \text{ k}\Omega$

Courant d'anode
 $I_a = 1 \text{ mA}$

Résistance de cathode
 $R_k = 47 \text{ k}\Omega + 1,5 \text{ k}\Omega$

$$R_a = \frac{R_i \cdot R_k}{R_i + R_k \cdot (\mu + 1)}$$

$$R_a = \frac{62,5 \cdot 48,5}{62,5 + 48,5 \cdot (100 + 1)} = 611 \Omega$$

Cette résistance de sortie semble aussi basse qu'on pourrait le désirer. Mais c'est en fait (à vrai dire uniquement en cas de saturation), la résistance totale de la cathode (48,5 kΩ) ou la résistance interne du tube qui détermine la résistance de sortie du circuit. Si l'on assume que la résistance totale de couplage et des câbles n'est que de 500 pF, ce qui est vite atteint lorsque la longueur des câbles est de quelques mètres, on subira une atténuation de 14 dB à 20 kHz. C'est pourquoi on recommande souvent de limiter la longueur des câbles à 1,5 m et de n'utiliser que des modèles dont la capacité est aussi réduite que possible. C'est une façon de s'attaquer aux symptômes plutôt qu'à la cause. Les différences de restitution sonore dues aux différents types de câbles sont déterminées dans ces cas par la conception de l'amplificateur. L'utilisation d'un seul tube pour les 2 canaux constitue une erreur fonda-

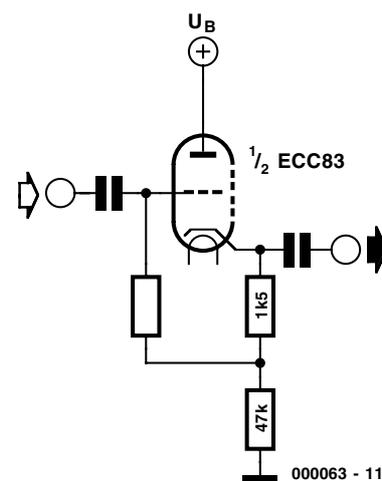


Figure 1. Configuration classique d'un préamplificateur à tubes avec un tube ECC83 pour les 2 canaux.

mentale datant des débuts de la stéréo haute fidélité et qui s'est maintenue jusqu'à présent contre vents et marées. La diaphonie capacitive dans l'ampoule du tube et entre les connexions du socle influence en effet défavorablement la séparation des canaux et donc le rendu spatial et la résolution fine du son. Les amplificateurs à tube sont souvent dépourvus de contre-réaction. Cela peut avoir constitué une solution acceptable au temps de la mono, mais une reproduction stéréo correcte requiert une contre-réaction

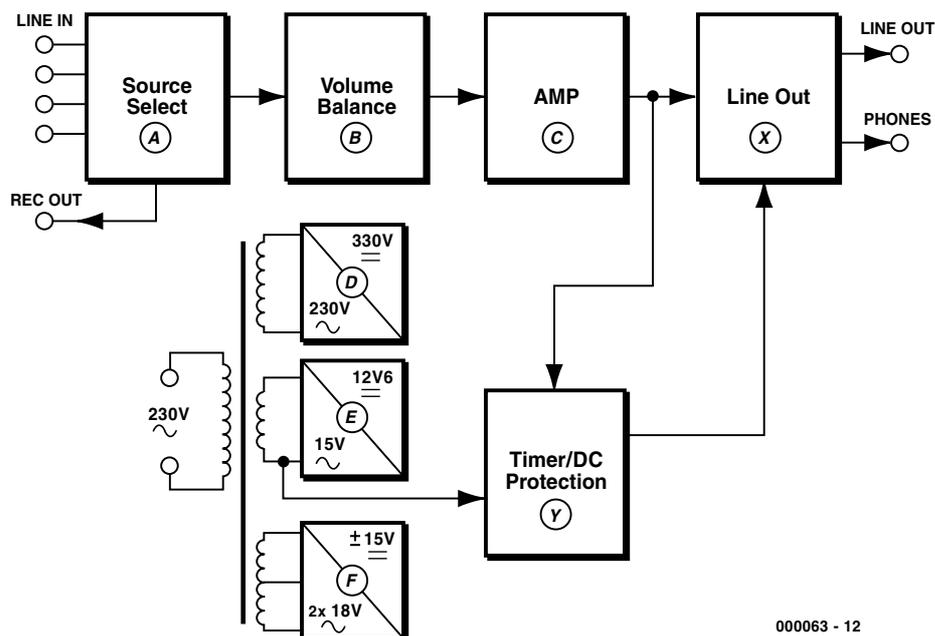


Figure 2. Schéma fonctionnel du préamplificateur modulaire.

sevère qui garantit l'identité de fonctionnement entre les deux canaux – quelles que soient les tolérances des tubes. La distorsion est très basse, même aux niveaux les plus élevés et la réponse est plate. On remplit ainsi les conditions pour une qualité maximale du préamplificateur. C'est pourquoi le préamplificateur présenté ici s'écarte quelque peu des sentiers battus. L'amplificateur idéal possède une résistance d'entrée élevée, une amplification élevée en boucle ouverte et une faible résistance de sortie, des caractéristiques qu'atteignent aisément les amplificateurs opérationnels en technologie semi-conducteurs. La chose est beaucoup plus malaisée avec des tubes. Pour éviter les défauts de conception évoqués plus haut, on utilisera un tube double de type ECL86 qui dispose d'une triode dont les caractéristiques sont exactement celles d'un ECC83. La partie pentode peut servir d'amplificateur de puissance fournissant une puissance de 4 W avec une distorsion de 10 % pour un courant d'anode de 36 mA. La combinaison appropriée d'une triode et d'une pentode permet de réaliser une sorte d'amplificateur opérationnel qui présente les mêmes caractéristiques favorables qu'un amplificateur opérationnel moderne à semi-conducteurs.

Conception modulaire

La **figure 2** montre le schéma fonctionnel du préamplificateur mono-canal. On a fait appel à une conception modulaire : chaque fonction est implémentée sur sa propre platine. La chaîne d'amplification est constituée par 4 éléments : le commutateur de sélection d'entrée, le réglage de volume/d'équilibrage, le préamplificateur proprement dit et enfin un commutateur entre la sortie casque et la sortie haut niveau. Un circuit de protection et de temporisation place les sorties à la masse lorsqu'il détecte une erreur dans le signal de sortie. L'alimentation est décentrée. La structure modulaire permet de modifier le circuit et offre en outre une séparation des canaux et un rapport signal/bruit tous deux très favorables. Ces avantages font plus que compenser le plus grand travail de câblage requis. Dans la description par groupe de fonction qui suit, la numérotation des composants suit la numérotation sur les platines. Contrairement à la tradition d'Elektor, les composants ne sont pas numérotés pour le montage tout entier mais indépendamment pour chaque platine. Un seul canal de la chaîne d'amplification est montré, la numérotation pour l'autre canal étant donnée entre parenthèses ou accompagnée d'un accent aigu (').

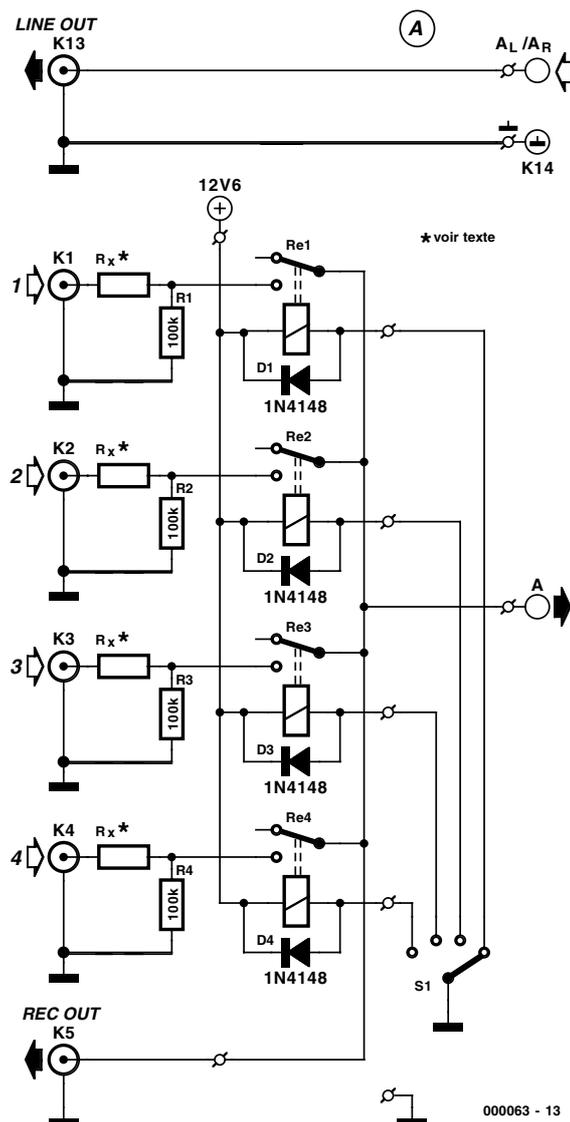


Figure 3. Liaison vers l'extérieur : circuit de la platine des relais avec E/S.

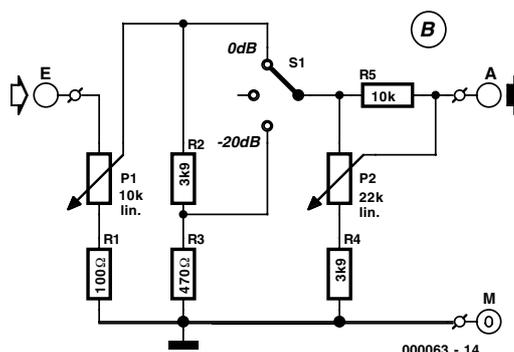


Figure 4. Réglage du volume et de la symétrie.

CHOIX DE L'ENTRÉE PAR RELAIS

La section des relais d'entrée reproduite dans la **figure 3** est prévue pour 4 sources de signaux K1 à K4 (K5 à K9) qui peuvent être commutées sur une ligne commune par des relais à lames souples à une seule rangée de broches Re1 à Re4 (Re5 à Re8). Cette platine est systématiquement blindée et isolée du reste, ce qui constitue le premier pas dans la stratégie de séparation systématique des canaux.

Chaque douille d'entrée comporte une résistance de 100 k Ω , R1 à R4 (R5 à R8), qui fait dériver les charges statiques vers la masse et élimine ainsi les crachotements causés par les déconnexions et les commutations des sources de signaux. Les résistances Rx peuvent être utilisées avec des sources de signaux de différents niveaux et dimensionnées en conséquence. Il faudra toutefois se rappeler que la résistance série constitue la résistance de source pour la sortie enregistrement K5 (K7). On devra compter avec des pertes de niveau si la valeur de cette résistance est trop élevée. Les relais 12 V alimentés par la tension continue du chauffage de +12,6 V présente sur l'embase K6 sont excités par le commutateur multi-plots S1 raccordé à des picots à souder.

La platine comporte aussi les prises de sortie haut niveau (Line Out) K13 (K15) et leurs liaisons de masse K14 (K16) qui sont toutefois totalement séparées électriquement du reste. Les prises de sortie de l'enregistreur doivent être externes et sont raccordées aux picots à souder K5 et K7 (masse à K17).

RÉGLAGE DU VOLUME

Le signal provenant du point K5 (K7) de la platine des relais est également envoyé au circuit de la **figure 4** qui sert à régler le volume, la symétrie (*balance*) et le silencieux (*mute*). Les potentiomètres utilisés, qui comportent 41 crans, offrent une bonne reproductibilité de position. L'équilibreur dispose en outre d'une position médiane. Le circuit du silencieux S1 permet d'élargir le domaine de réglage de façon à permettre d'ajuster, avec doigté, même les volumes faibles. On peut redimensionner la résistance si le pas de 20 dB ne fait pas l'affaire. La

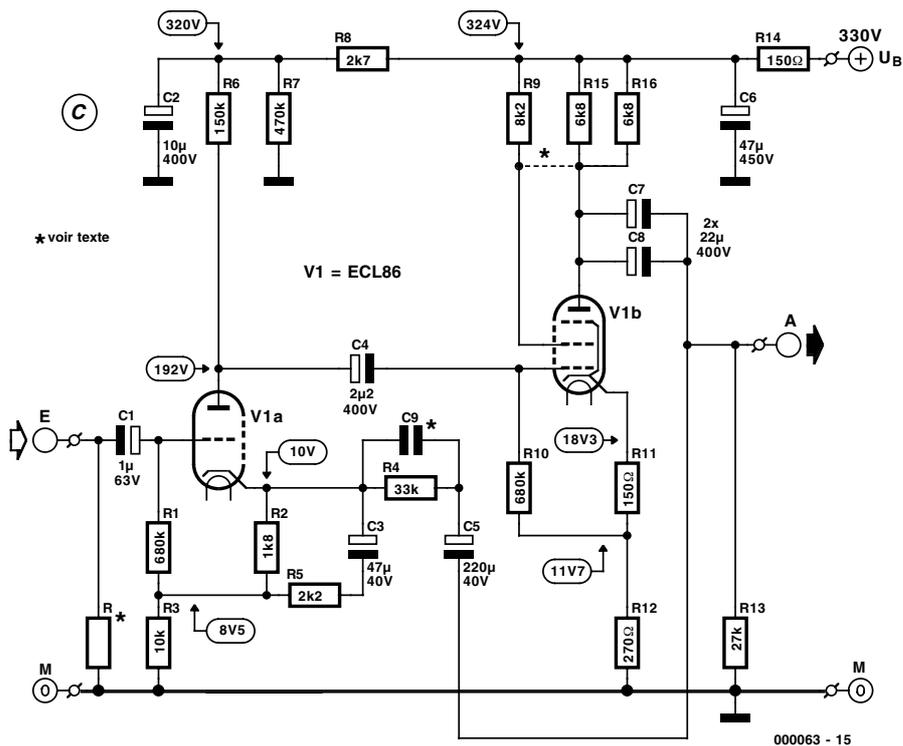


Figure 5. Le clou : étage d'amplification à tubes.

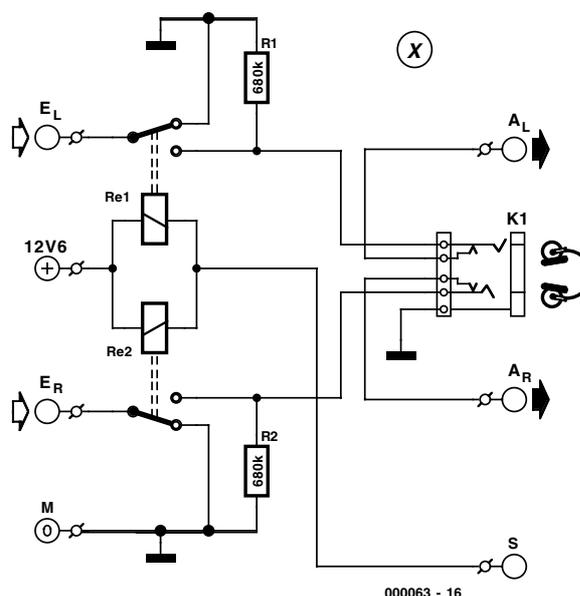


Figure 6. Commutateur sorties casque/haut niveau.

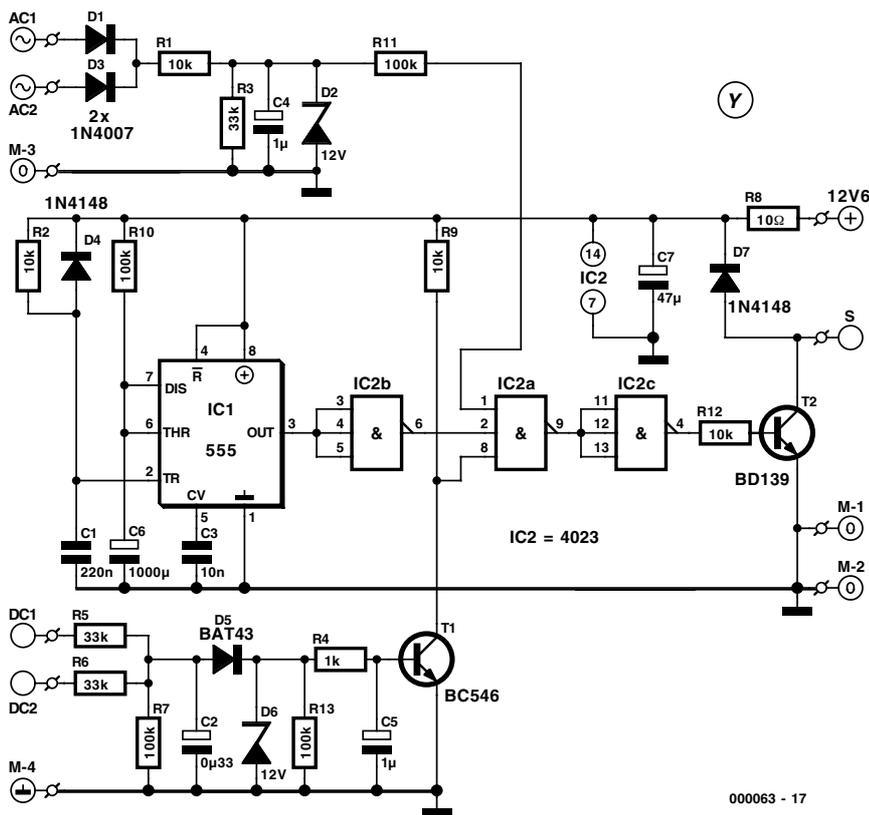


Figure 7. Le circuit de protection surveille l'état du préamplificateur et excite les relais de sortie.

somme de R2 (3,9 kΩ) et de R3 (470 Ω) devrait rester à peu près la même, sinon les valeurs peuvent être modifiées selon besoin. Le chemin du signal est interrompu lorsque le commutateur se trouve en position médiane : la sortie est muette.

La caractéristique du potentiomètre de volume P1 est linéaire (et donc bien uniformément répartie), mais elle est un peu « tordue » par R1 entre le minimum du potentiomètre et la masse pour compenser les inégalités des canaux inhérentes à la réalisation constatées au début de la plage du potentiomètre. Cet ajustement ne permet toutefois plus de mettre le niveau complètement à zéro. Le réglage de la symétrie P2 possède une plage d'ajustement d'environ +3 dB à -4 dB donnée par R4/R5, ce qui est amplement suffisant pour une correction moyenne. Le dimensionnement indiqué pour la position médiane de l'équilibrage et les résistances de 100 kΩ de la platine des relais conduisent à une résistance d'entrée d'environ 2,2 kΩ. Cette valeur est raisonnable pour toutes les sources de signaux modernes et elle est assez basse pour que la sensibilité aux parasites et que le souffle soient minimes tous les deux.

L'AMPLIFICATEUR

La section d'amplification de la figure 5 donne une impression familière. V1a est la partie triode (1/2 ECC83) du tube ECL 86. Le point de fonctionnement statique fixé par R2 est d'à peine 1 mA. Le signal amplifié est envoyé à la partie pentode V1b à travers C4. Les deux systèmes de tubes ne sont pas montés de façon habituelle : les résistances de cathode et de fuite de grille de chacun d'entre eux ne sont pas reliées directement à la masse, mais par l'intermédiaire d'une résistance propre (R3 et R12). Chaque système possède donc sa propre contre-réaction. Cela contraint le système de tubes à rester au voisinage du point de fonctionnement fixé, ce qui évite d'avoir à sélectionner individuellement les tubes. La résistance de travail de V1b est constituée par les 2 résistances en parallèle R15 et R16 (6,8 kΩ/4,5 W). Cela répartit la dissipation de puissance, qui n'est pas négligeable, entre 2 boîtiers de composants. Le

signal est découplé par les condensateurs de 22 μF C7 et C8 montés en parallèle. Le circuit en parallèle offre, par rapport à un unique condensateur de 47 μF, une division par 2 de l'ESR (*Equivalent Series Resistance*), la résistance-série équivalente, ce qui améliore le transfert des aigus. R13 joue le rôle de découplage pour les tensions statiques. Le signal de sortie induit une contre-réaction par C5 et R4 pour mieux stabiliser les propriétés du circuit. L'amplification d'entrée de V1a dépend de la résistance de travail R6, de la tension de régime (tension sur C2) et du montage de la cathode. Pour le courant alternatif, R2 et R5 sont montées en parallèle. L'amplification est déterminée par le rapport entre le circuit parallèle composé de R2 et R5, et R4. On peut modifier l'amplification d'entrée en jouant sur R5 ou R4. En d'autres termes : plus R5 est petite ou R4 plus forte, plus le gain (l'amplification) est important. C5 sépare la composante continue de la composante alternative pour éviter que le point de fonctionnement statique de V1a ne se déplace. Ne pas toucher à R2 pour modifier l'amplification sous peine de faire sortir ce point de fonctionnement de ses limites !

La tension de fonctionnement +U_B de 330 V est découplée et filtrée par R14 et C6 pour éviter la diaphonie entre canaux au travers de l'alimentation. La tension d'alimentation de V1a est découplée et filtrée un peu plus encore par R8 et C2. R7 sert de résistance de décharge et permet de décharger complètement les condensateurs électrolytiques à haute tension une fois que la tension d'alimentation est coupée.

VARIATIONS

On peut supprimer la résistance d'entrée R car les réglages de volume et de la symétrie dérivent la tension statique. Mais on peut utiliser toute valeur appropriée selon la façon dont la partie amplificatrice est utilisée. Ne placer la liaison marquée entre R9 et l'anode de V1b que si l'on désire utiliser le (tube) pentode comme un quasi triode. Les résistances R15/R16 combinées sont alors pontées et R9 est bien sûr éliminée. Ceux qui veulent effectuer des

essais de tonalité du préamplificateur peuvent essayer les 2 versions. Les instructions de montage données ici ne s'appliquent qu'à la version avec R9 montée. Le condensateur C9 n'est normalement pas utilisé non plus et ne sert qu'à compenser la courbe de réponse et à combattre toute tendance aux oscillations lorsque cela s'avère nécessaire.

SORTIE À HAUT NIVEAU (LINE) OU CASQUE

Le tube ECL86 présente encore un autre avantage comme préamplificateur : la partie pentode peut fournir une puissance de sortie de 4 W. On peut tirer profit de cette caractéristique en montant une douille de jack à commutation (K1) entre la sortie de l'amplificateur et la sortie haut niveau (Ligne). La sortie haut niveau est alors mise automatiquement hors circuit lorsqu'un casque est raccordé. La partie pentode du tube ECL86 débite un courant assez élevé pour exciter sans difficulté ni perte de qualité sonore un casque d'une impédance de 300 Ω ou plus, même s'il est connecté par un long câble blindé. Les câbles blindés ordinaires font parfaitement l'affaire.

La partie de circuit de la **figure 6** comporte en outre 2 relais commandés par le circuit de protection. Les résistances (680 kΩ) dérivent les tensions statiques vers la masse.

PROTECTION INTÉGRALE

Le circuit de protection de la **figure 7** accomplit simultanément plusieurs tâches. Il faut que 3 conditions soient remplies pour pouvoir mettre le préamplificateur « en ligne »

Lorsque l'amplificateur est mis en marche, les sorties sont initialement court-circuitées par celles des relais. La sortie temporisateur, broche 3 de IC1, passe à l'état BAS environ 100 s plus tard, une fois que les tubes ont chauffé et tous les processus de charge sont terminés. On évite ainsi le ronflement, l'amorçage et autres bruits parasites dans le haut-parleur pendant la phase d'échauffement du préamplificateur. La sortie de l'inverseur IC2B fait alors passer l'entrée 1 de la porte NAND IC2a à HAUT.

Si les broches AC1 et AC2 reliées directement à l'enroulement de

chauffage sont sous tension -D1 et D3 redressent les 2 alternances de la fréquence du réseau- C4 est chargé à 12 V (D2) au travers de R1. L'entrée 1 de IC2A se trouve à ce moment au niveau HAUT.

La composante de tension continue des 2 signaux de sortie est déterminée aux bornes de DC1 et DC2. Une tension continue peut se manifester si, par exemple, un condensateur électrolytique de découplage a claqué. Les composantes alternatives sont court-circuitées par C2, tandis que R7 décharge le condensateur et

fixe ainsi la constante de temps de la surveillance. Si la tension continue dépasse 1,3 V, T1 est ouvert par la diode D5 et par R4, ce qui fait passer l'entrée 8 de la porte IC2a à BAS. Une diode (à barrière de) Schottky dont la tension directe est faible fera réagir le circuit même si la composante continue est très faible. T1 n'est bloqué que lorsque la tension continue est nulle ou presque, de sorte que R9 positionnera l'entrée 2 de la porte sur HAUT. R13 assure que T1 est bloqué dans ce cas. D6 limite la tension maximale pouvant être appliquée à la base de T1. R4 et C5 ne causent qu'un bref délai qui empêche le circuit d'être activé par la plus

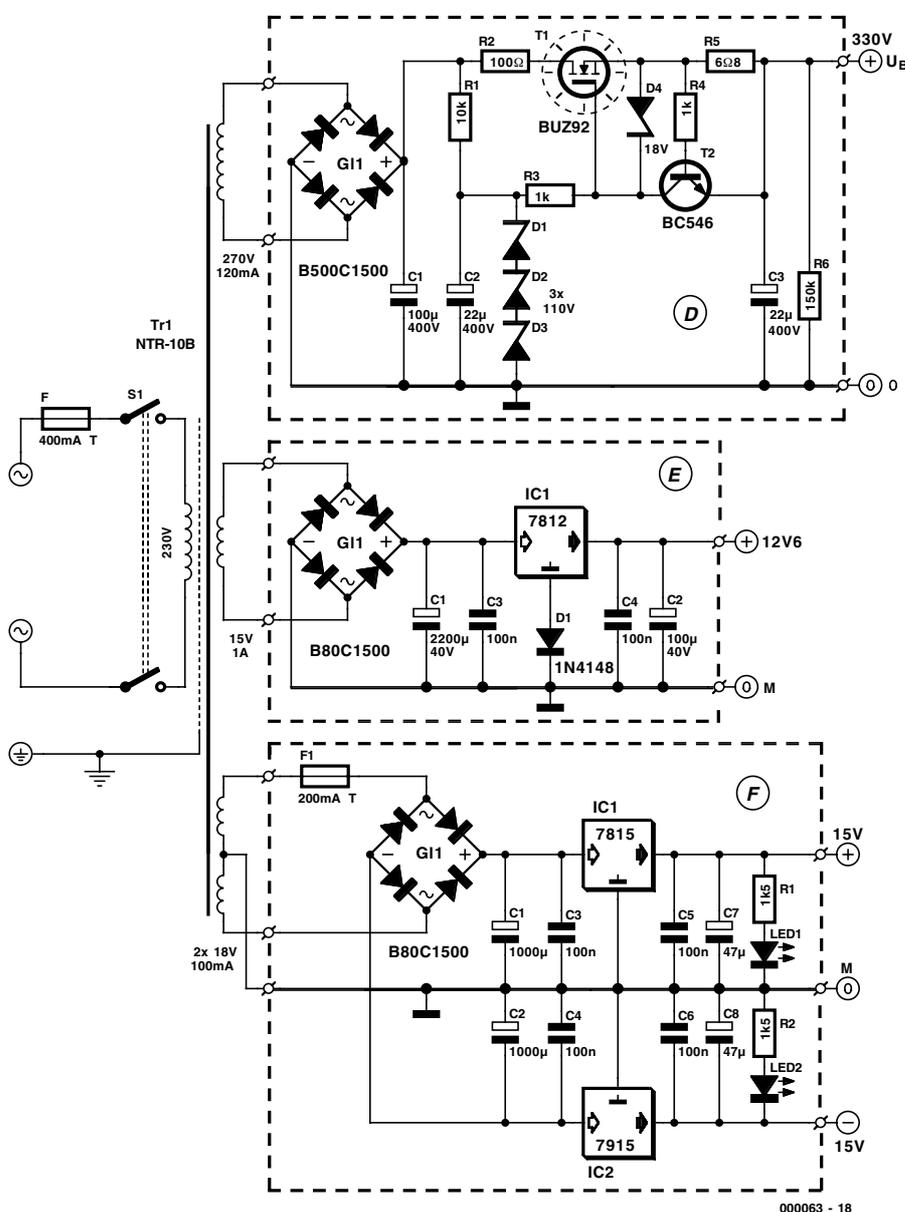


Figure 8. Combinaison haute tension, basse tension et alimentation secteur facultative.

légère perturbation.

Ce n'est que lorsque ces trois conditions sont remplies et que toutes les entrées de la porte logique se trouvent au niveau HAUT que le circuit de protection libèrera les relais de sortie par l'inverseur IC2c et le transistor d'attaque T2.

Lorsque le transformateur du réseau est mis hors circuit, l'entrée 1 de la porte passe presque aussitôt au niveau bas, ce qui provoque le retour des relais en position de repos, évitant aux appareils montés en aval dans la chaîne d'être soumis à des perturbations de tension lors la phase de décharge des condensateurs. Le circuit de réinitialisation R2, D4 et C1 remet le temporisateur IC1 à l'état initial même si la tension du secteur n'a été interrompue que brièvement, de sorte que le délai d'attente sera toujours intégralement appliqué. Ce retard peut être modifié par R10 et C6. Il est donné par $t = 1,1 \cdot R \cdot C$. Le circuit de protection est alimenté par la partie de l'alimentation qui fournit le tension de chauffage de 12,6 V.

Un transformateur – trois alimentations

Une alimentation de qualité est indispensable pour assurer la bonne marche d'un préamplificateur. Lorsque l'amplificateur se contente de peu de courant, il est possible de réaliser une alimentation peu coûteuse basée sur des semi-conducteurs modernes qui soit dotée d'un bon filtrage et d'une bonne stabilité. La **figure 8** reproduit le circuit complet de l'alimentation. Chaque partie de circuit encadrée de pointillés correspond ici aussi à une platine.

Le préamplificateur nécessite une haute tension pour les tubes ainsi qu'une basse tension continue pour le chauffage des tubes, les relais et l'électronique à semi-conducteurs. Le transformateur secteur NTR-10 B, dont le primaire est protégé par 2 fusibles de 0,4 A à action retardée, fournit les tensions nécessaires et d'autres encore ; ses tôles magnétiques de 0,35 mm d'épaisseur à grains orientés dont la dispersion et les pertes sont particulièrement faibles ne sont normalement utilisées que dans des transformateurs B.F. haut de gamme. Le bobinage en couches et l'imprégnation sous vide effectués avec soin – ce qui est impossible avec les transformateurs toroïdaux – offrent une stabilité à long terme, une protection contre la corrosion et suppriment le bourdonnement. La résine d'imprégnation pénètre dans l'enroulement du transformateur et protège chaque spire. Un essai de rigidité diélectrique à 4 000 V entre primaire et secondaire ainsi qu'un blindage statique raccordé au conducteur de pro-

tection assurent la sécurité électrique. Il est clair qu'un transformateur haut de gamme comme celui-ci ne se trouve pas dans un supermarché de l'électronique mais ne peut être acquis qu'auprès de l'entreprise de l'auteur de cet article.

La partie HT se trouve dans la partie supérieure du schéma. Le circuit filtre le ronflement au-dessous du niveau de son propre bruit. R1 et D1 à D3 fournissent une bonne tension de référence de l'ordre de 330 V. Le transistor de régulation longitudinale T1 est un V FET à haute puissance type BUZ92 en boîtier TO-220. Cela permet de réaliser une alimentation H.T. compacte dotée d'un radiateur de petite taille. Le radiateur est monté directement sur la platine, ce qui permet de réaliser de courtes liaisons H.T. R5, R4 et T2 assurent la limitation de courant ; elle est fixée, avec le dimensionnement indiqué, à 90 mA environ. R6 décharge les condensateurs électrolytiques après la coupure du courant. La diode zener D4 limite la tension de grille de T1 qui ne doit pas dépasser 20 V.

Le chauffage est assuré par du courant continu pour éviter la naissance de ronflement. Le préjugé répandu que le chauffage à courant continu est nuisible aux tubes est tout simplement un non-sens. Il importe uniquement de porter le filament à une température déterminée pour que la cathode puisse émettre un nombre suffisant d'électrons. Qu'on atteigne cette température en se servant de courant continu ou de courant alternatif ne joue en fin de compte aucun rôle. La valeur « tordue » de 6,3 V du chauffage des lampes est par ailleurs une relique des temps héroïques de la technique des tubes, lorsque la tension de chauffage était fournie par 4 batteries zinc-charbon. Pour éviter que les filaments des tubes –très coûteux à l'époque– ne soient détruits derechef lorsqu'on leur appliquait la tension de batteries neuves qui dépassait quelque peu 1,5 V, on avait prévu une marge de sécurité de 0,3 V.

Chaque ECL 86 consomme 0,66 A à 6,3 V. Les 2 filaments sont raccordés en série pour diminuer les pertes de chauffage. Un régulateur 12 V, dont la tension est relevée à la base par une diode 1N4148, fournit une ten-

sion continue de chauffage de 12,6 V « gonflée » simplement mais efficacement. Cette tension sert aussi à actionner les relais de commutation d'entrée. La platine en aluminium du régulateur de tension, qui doit être monté de façon à être isolé, lui sert en même temps de radiateur.

La partie inférieure du schéma contient aussi une alimentation symétrique de ± 15 V. Elle n'est pas indispensable et peut donc être considérée comme superflue. La tension symétrique permet d'alimenter des appareils externes comme un préamplificateur correcteur de distorsion ou autre au moyen d'une source de tension isolée de la terre. Lorsque le préamplificateur possède une source de tension supplémentaire, on peut faire l'économie d'alimentations secteur enfichables et de leur câble pour les appareils auxiliaires que l'on peut allumer et éteindre directement à partir du préamplificateur. Dans ce cas aussi, la platine en aluminium du régulateur de tension, qui doit être monté de façon à être isolé, lui sert en même temps de radiateur. Ce transformateur est aussi protégé par 2 fusibles aux sorties de tension.

(000063-1)

La seconde partie de cet article sera dévolueaux dessins des platines, à leurs sérigraphies, aux plans de montage, aux listes des composants & pièces, à des instructions de montage détaillées du préamplificateur et, bien entendu, à des résultats de mesures exhaustives.

Bibliographie :

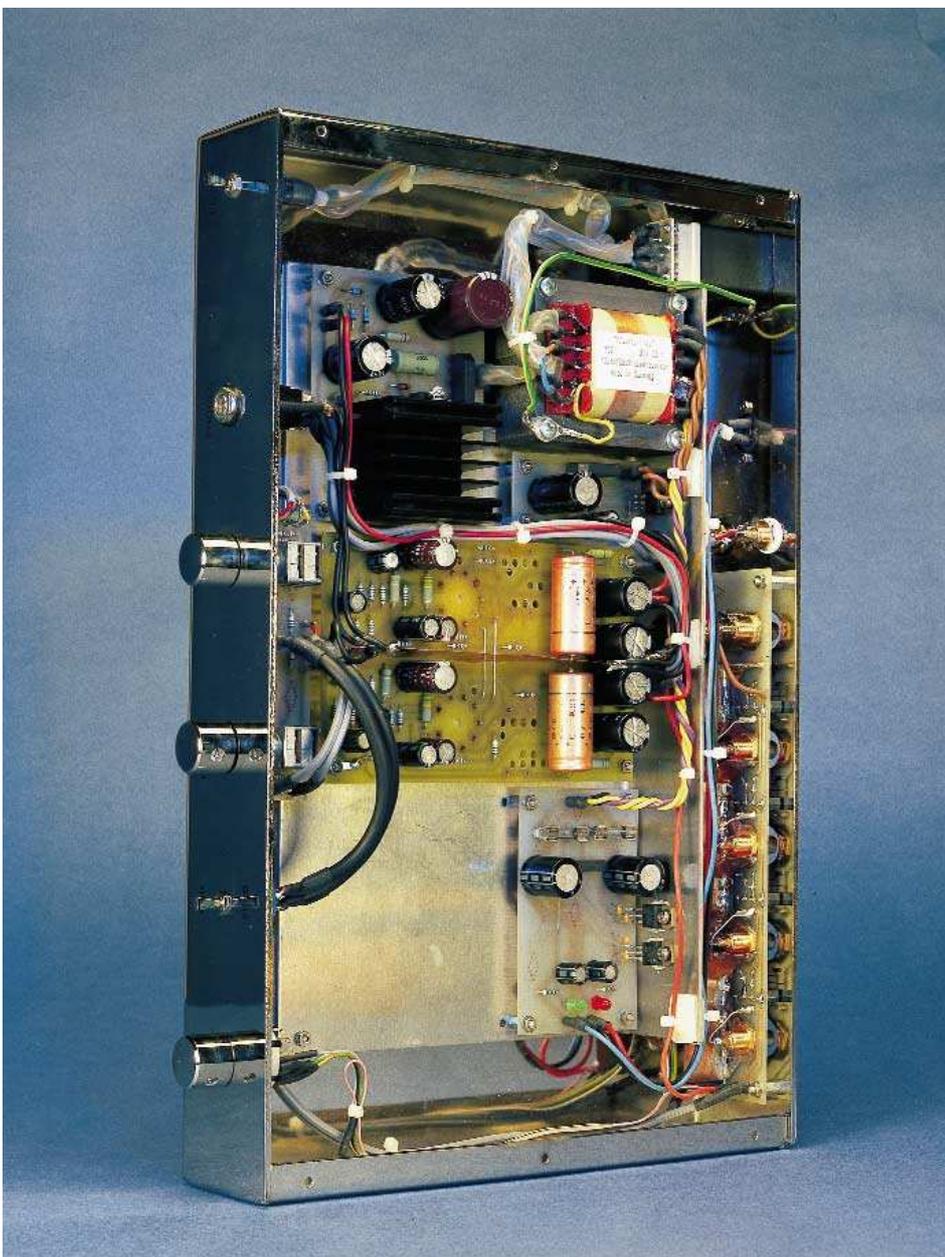
1. *Amplificateurs à tubes de 10 W à 100 W à transformateurs de sortie toriques, M. Van der Veen, (Publitrionic)*
2. *Amplificateurs à tubes pour Guitare et Hi-Fi, G. Dutheil, (Publitrionic)*
3. *Guide des tubes BF, caractéristiques –brochages – applications (Publitrionic)*

Tube-Preamplifier (II)

Réalisation, première partie

Projet : Gerhard Haas

Il est indispensable, pour réaliser un amplificateur haut de gamme à très haute fidélité, de faire appel à des composants de la meilleure qualité possible. C'est la seule façon d'atteindre à coup sûr et pour longtemps les valeurs de mesure indiquées.



Il est tout aussi important de suivre les recommandations données dans le corps du texte et dans la liste des composants et de même n'accepter aucun « type de remplacement » bon marché. Le matériau de base utilisé

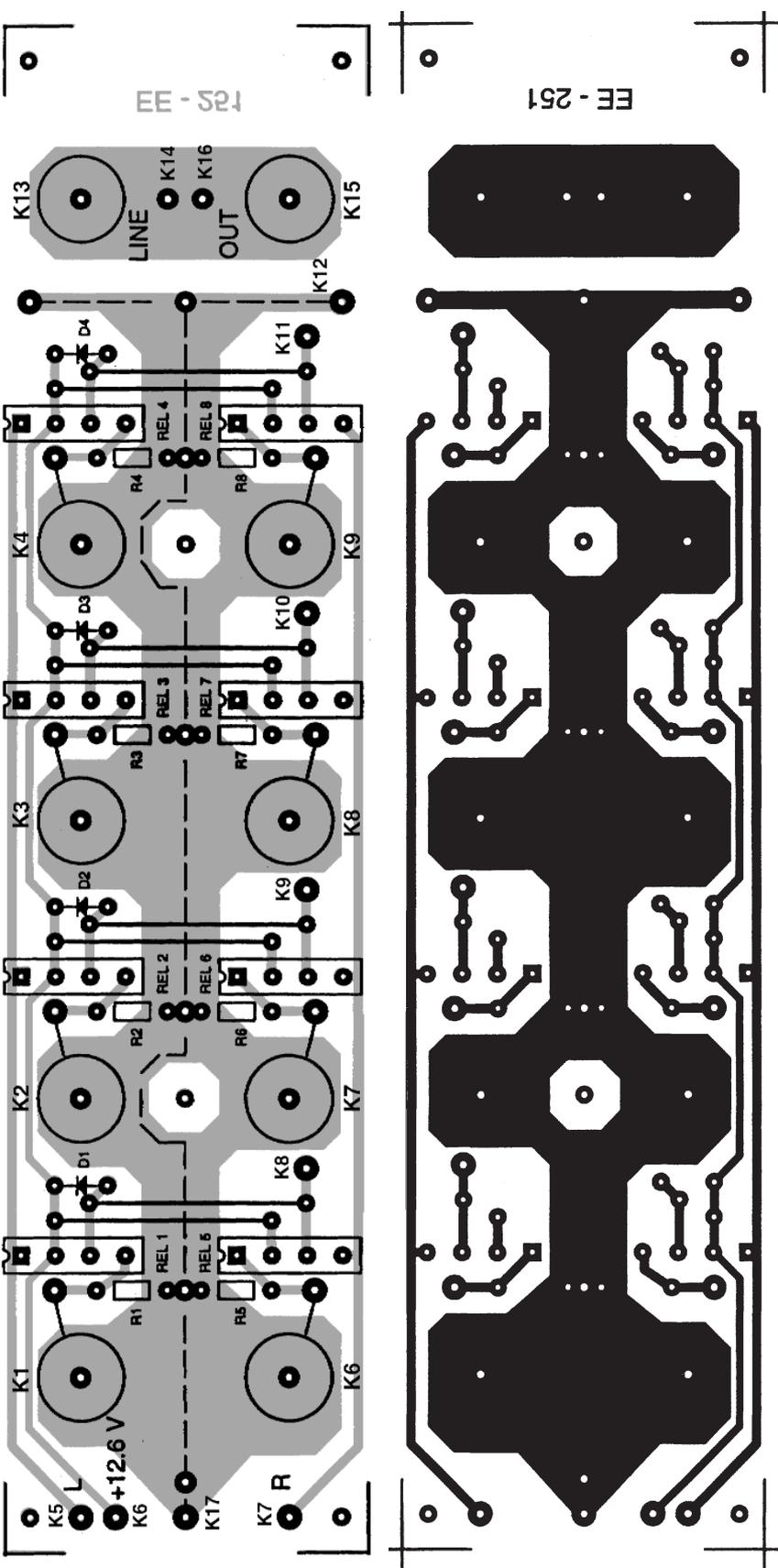
Attention :

Corrections concernant la partie I

La liaison en pointillés entre R9 et le tube VIb n'est pas optionnelle. Comme nous l'apprend la sérigraphie de l'implantation des composants la résistance R9 pourra être montée soit en position R9 soit en position R9*. En mode pentode (par défaut), R9 sera montée en position R9, c'est-à-dire pour relier la grille de suppression (g2) à la tension d'anode de +324 V. C'est la configuration représentée par le schéma de la figure 5. La liaison représentée en pointillés est sans objet.

La configuration en quasi-pentode implique le positionnement de cette résistance en R9*, c'est-à-dire entre la grille de suppression et l'anode.

La figure 6 ne comporte pas les diodes de suppression de retro-emf prises aux bornes des bobines des relais. Ces diodes sont bien présentes sur la platine et existent bien dans la liste des composants. La résistance R10 de la figure 7 doit avoir une valeur de 390 k Ω (et non pas de 100 k Ω); de même, C6 doit prendre une valeur de 220 μ F (et non pas de 1 000 μ F).



Liste des composants de la platine d'entrée

Résistances :

R1 à R8 = 100 kΩ

Rx = cf. texte

Divers :

Re1 à Re8 = relais Reed SIL 12 V unipolaire à contact travail

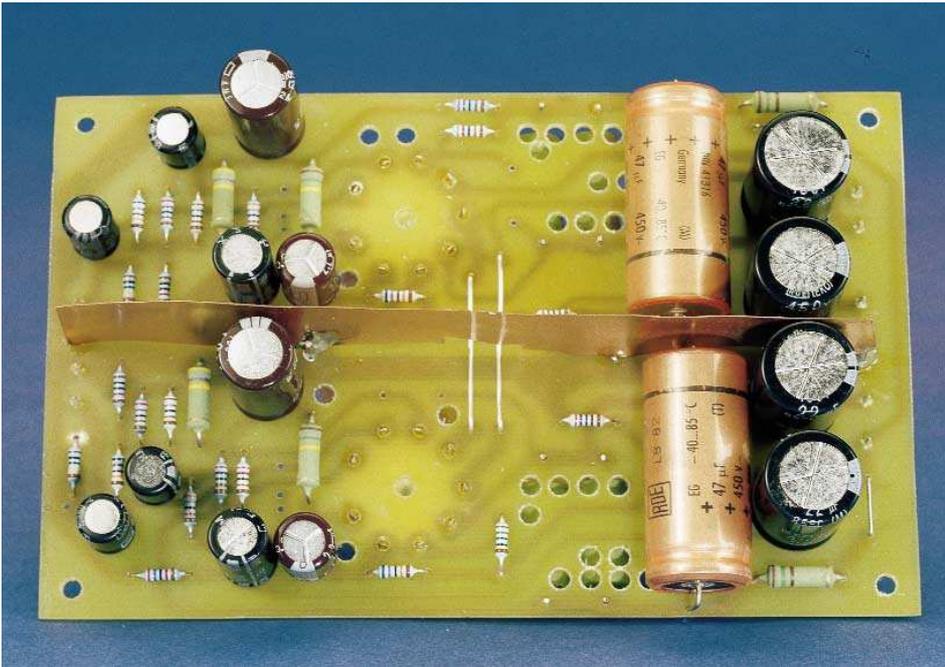
K1 à K9 = embase Cinch pour montage châssis

2 embases Cinch pour montage châssis pour sorties enregistrement

S1 = rotacteur 1 circuit 4 positions, avec coupure entre les positions



Figure 1. Platine des relais ; sérigraphie de l'implantation des composants, dessin des pistes et photographie.



par Experience Electronics pour ce projet est de la résine époxy renforcée aux fibres de verre et recouverte d'une couche de cuivre de 70 μm . Toutes les résistances de la liste de pièces qui ne sont pas autrement spécifiées sont du type 0,7 W à couche métallique, à tolérance de 1 % et pour dimension de grille de 10 mm. Les résistances 2 W et 4,5 W, faites d'oxyde métallique, ont une tolérance de 5 % et des dimensions de grille de 15 mm et 25 mm. La qualité des prises Cinch plaquées or et des potentiomètres doit bien entendu être irréprochable. Quelques mots sur le boîtier avant de se mettre au travail. La meilleure électronique du monde ne peut donner tout ce qu'elle a que dans un boîtier « à sa mesure ». La tension de fonctionnement élevée des amplifi-

Liste des composants de la platine de l'amplificateur (pour 1 canal)

Résistances :

- R1 = 680 k Ω
- R2 = 1k Ω 8
- R3 = 10 k Ω
- R4 = 33 k Ω
- R5 = 2k Ω 2
- R6 = 150 k Ω /2 W
- R7 = 470 k Ω /2 W
- R8 = 2k Ω 7

- R9 = 8k Ω 2
- R10 = 680 k Ω
- R11 = 150 Ω
- R12 = 270 Ω
- R13 = 27 k Ω
- R14 = 150 Ω /2 W
- R15,R16 = 6k Ω 8/4W5

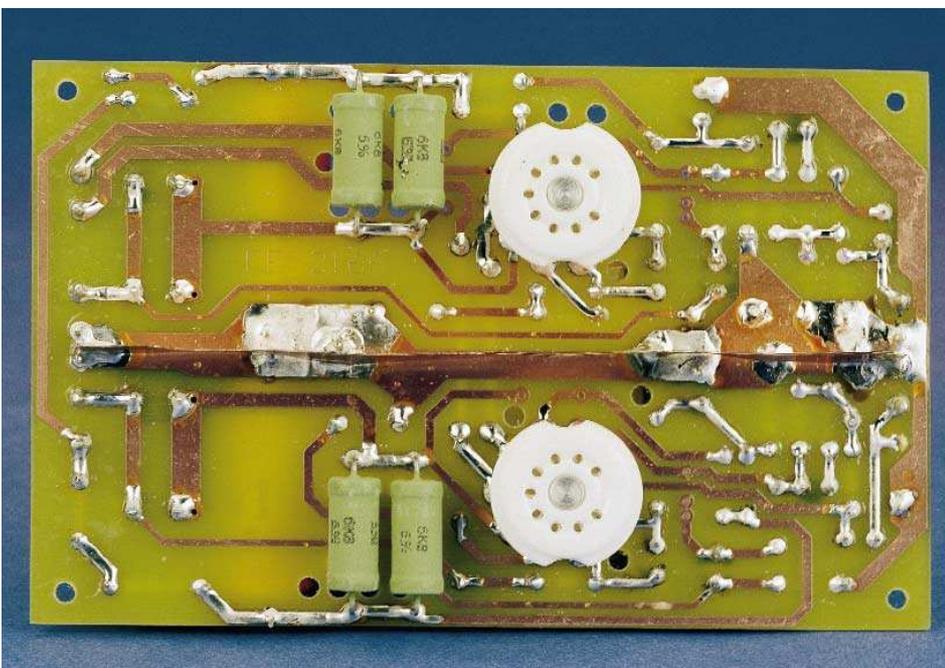
Condensateurs :

- C1 = 1 μF /63 V, RM 5
- C2 = 10 μF /400 V, RM 5
- C3 = 47 μF /40 V, RM 5
- C4 = 2 μF 2/400 V, RM 5

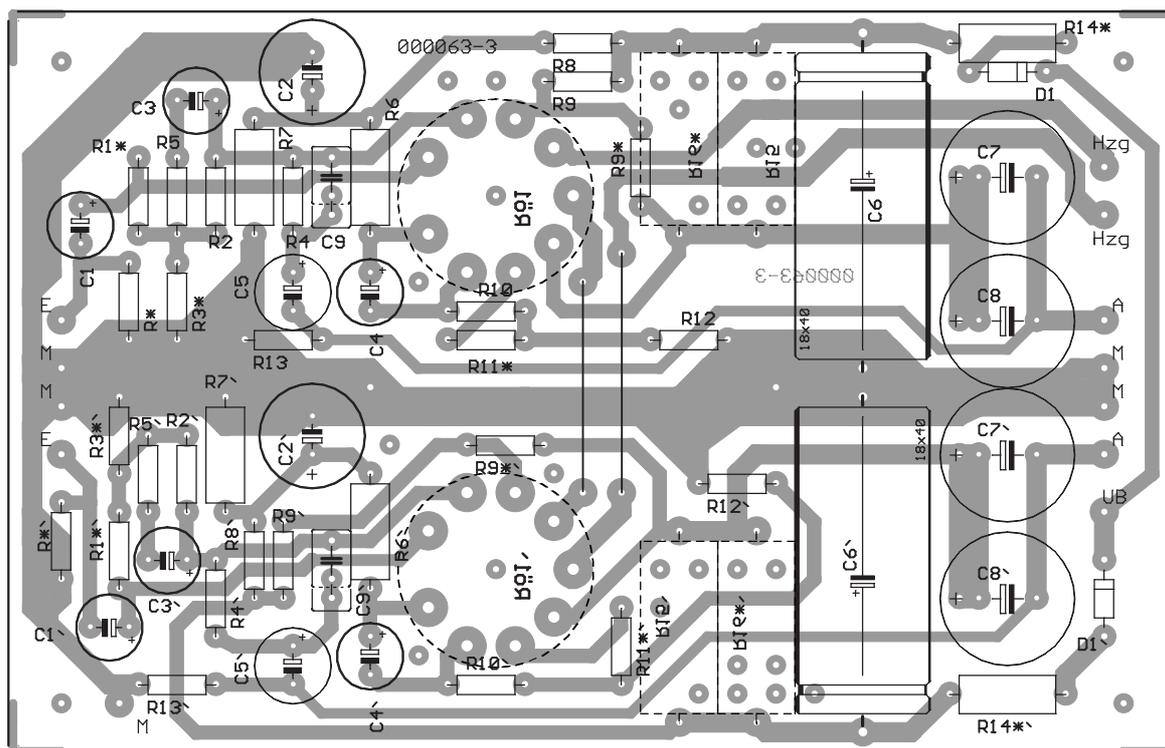
- C5 = 220 μF /40 V, RM 5
- C6 = 47 μF /450 V couché, 18,5 x 41 mm
- C7,C8 = 22 μF /400 V, RM 7,5
- C9 = cf. texte

Divers :

- D1 = cf. texte
- VI = ECL 86
- Support Noval céramique encartable
- Picots
- Tôle de cuivre



cateurs à tubes requiert que l'on accorde une attention toute particulière à la sécurité ! Un boîtier métallique raccordé au conducteur de protection (mise à la terre) blinde et protège à la fois. Comme eût dit à peu près La Fontaine : « Le plumage du boîtier doit être égal à son ramage ». Toutes les parties du circuit sont montées dans un boîtier en aluminium. Ce métal présente l'avantage de ne pas être magnétique ce qui évite la distorsion du même nom. Il s'agit de plus d'un matériau très bien adapté à la phase de conception. Le boîtier utilisé est soudé sans joints, poli et recouvert d'une couche de nickel très brillante. Le nickel possède un ton plus chaud que le chrome bleuâtre, ce qui rehausse l'aspect que devrait avoir un amplificateur à tubes. La plaque sur



laquelle est montée toute l'électronique permet d'éviter la pose de trop nombreuses vis au sommet du boîtier. Cette plaque n'est vissée au

châssis que par 8 vis à fente en croix recouvertes d'une couche de nickel brillante. L'aspect de l'appareil est donc plaisant à souhait.

Montage de la platine

Passons au montage. Commençons par la platine des relais de la **figure 1**. Les prises Cinch sont vissées sur la platine ; leur piste doit être

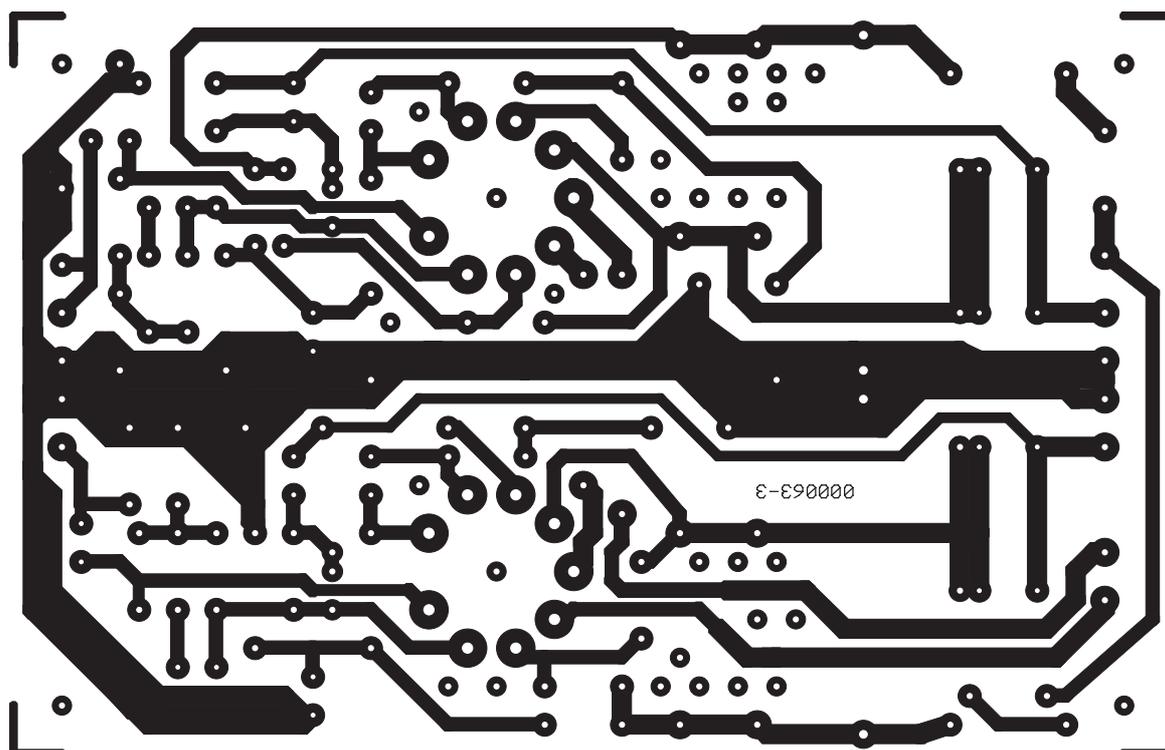


Figure 2. Platine de l'amplificateur est montée symétriquement avec les 2 tubes au centre.

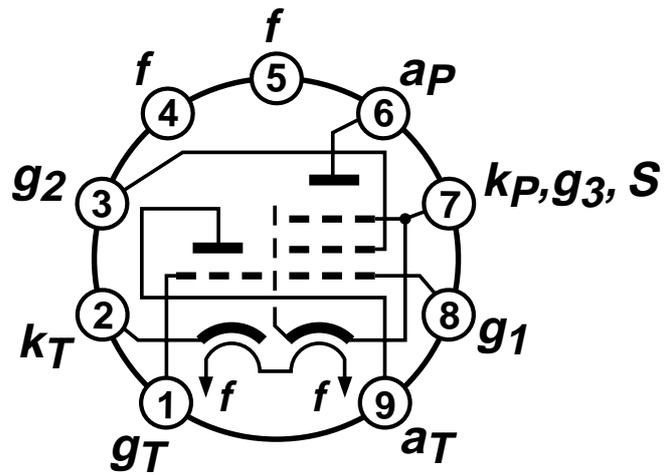
étamée à cet endroit pour assurer un bon contact. Immobiliser les écrous de fixation par une goutte de soudure. Cette précaution assure un contact fiable et durable à la masse. En effet, bonjour les distorsions si la masse présente déjà une résistance de contact à cet endroit ! La photo illustre la disposition des composants sur la platine et leur montage. Des feuilles de cuivre de 0,15 mm d'épaisseur soudées entre les prises les blindent à gauche et à droite et séparent les canaux l'un de l'autre. Encore une remarque : de nombreux appareils modernes comportent des prises Cinch disposées verticalement dans un module en plastique à monter au dos de l'appareil et dont les broches sont soudées directement à la platine. Cette solution peut s'avérer commode et peu coûteuse à monter pour un fabricant, mais le faible écartement et l'absence de blindage empêchent déjà à ce stade une bonne séparation des canaux de l'appareil.

Le soudage des écrous, qui s'accompagne d'un important développement de chaleur, doit être effectué avant de poser les résistances, les diodes, les relais et les broches à souder.

La structure de la platine principale de l'amplificateur représentée dans la **figure 2** est telle qu'elle peut être réutilisée pour d'autres applications. La diode zener D1 signalée par un astérisque est remplacée par un cavalier dans ce montage. Elle ne représente en effet qu'une option pour d'autres applications dans lesquelles la tension d'alimentation de l'amplificateur est plus élevée. Lorsqu'une alimentation stabilisée est utilisée, ses caractéristiques avantageuses restent inchangées grâce à la faible impédance de la diode zener, alors qu'une résistance série élevée les altèreraient.

Il faut veiller à quelques détails lors du montage de la platine. Les socles sont montés du côté des soudures afin que les tubes fassent élégamment saillie hors du châssis et soient bien visibles. Cela résout par la même occasion le problème de la dissipation de chaleur. La **figure 3** montre l'attribution des ergots des socles. Les résistances de puissance R15 et R16 sont aussi montées du côté des soudures à une certaine distance de la platine pour faciliter la dissipation de la chaleur considérable qu'elles dégagent. Un certain nombre de trous d'aération aux endroits libres de la platine ne fera certainement aucun mal, bien au contraire : ils empêcheront la chaleur de s'accumuler. Tous les autres composants sont montés du côté normal de la platine qui est fixée au châssis au moyen d'entretoises.

La mise en place des composants sur la platine de l'électronique de protection (**figure 4**)



000063 - 2 - 14

Figure 3. Brochage du socle du tube ECL86 vu du dessous.

k_P	Cathode de la pentode	g_3	Grille de ralentissement de la pentode
s	Blindage interne	f	Filament de chauffage
g_T	Grille de la triode	k_T	Cathode de la triode
g_2	Grille-écran de la pentode	a_P	Anode de la pentode
g_1	Grille de la pentode	a_T	Anode de la triode



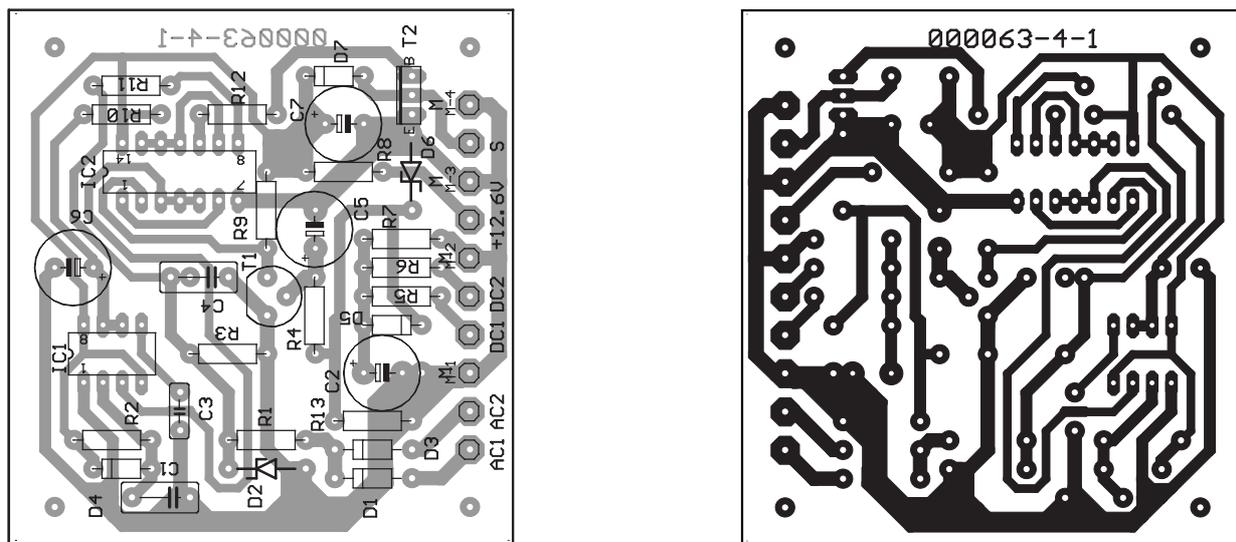


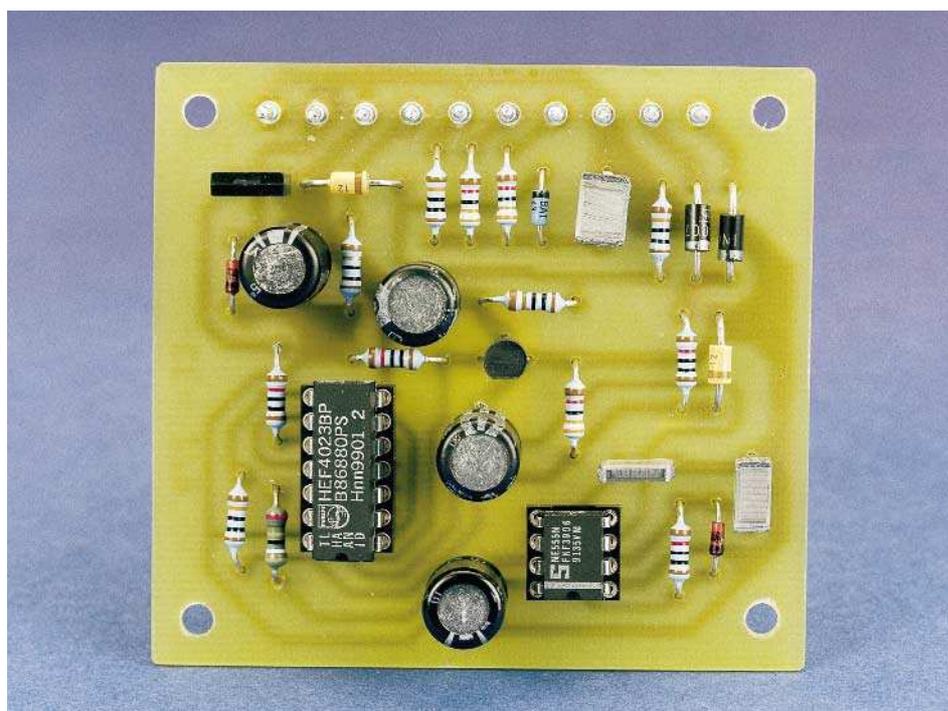
Figure 4. Sérigraphie et dessin des pistes de la platine du circuit de protection.

n'appelle que peu de remarques. Rien n'interdit d'utiliser des supports pour les circuits intégrés DIL (Dual In Line). Il faudra faire attention, comme vous le faites toujours d'ailleurs, n'est-ce pas, à ne pas vous tromper lors du positionnement des composants et à bien en respecter la polarisation. Pas de risque de problème dans ce cas-là.

(000063-2)

Note :

Experience Electronics Propose des kits, les platines et les composants du Tube-Preamp .



Liste des composants du circuit de protection

Résistances :

- R1,R2 = 10 kΩ
- R3 = 33 kΩ
- R4 = 1 kΩ
- R5,6 = 33 kΩ
- R7 = 100 kΩ
- R8 = 10 Ω
- R9 = 10 kΩ
- R10 = 390 kΩ
- R11 = 100 kΩ
- R12 = 10 kΩ

R13 = 100 kΩ

Condensateurs :

- C1 = 0μF22 MKT RM 7,5
- C2 = 0μF33 MKT RM 7,5
- C3 = 10 nF céramique RM 5
- C4,C5 = 1 μF/63 V RM 5
- C6 = 220 μF/40 V RM 7,5
- C7 = 47 μF/40 V RM 5

Semi-conducteurs :

- D1,D3 = 1N4007
- D2,D6 = diode zener 12 V/1W3
- D4,D7 = 1N4148

- D5 = BAT43
- T1 = BC546B
- T2 = BD139-16
- IC1 = 555
- IC2 = 4023

Divers :

- I support DIL à 8 broches à contacts dorés
- I support DIL à 14 broches à contacts dorés
- Picot

Tube Preamp (II)

Partie 2a : réalisation et résultats de mesure

Projet : Gerhard Haas

Une fois terminée l'opération d'implantation des composants sur les différentes platines qui le constituent, on pourra enfin procéder au câblage du Tube Preamp. Le résultat (tant visuel que mesuré) a de quoi impressionner.

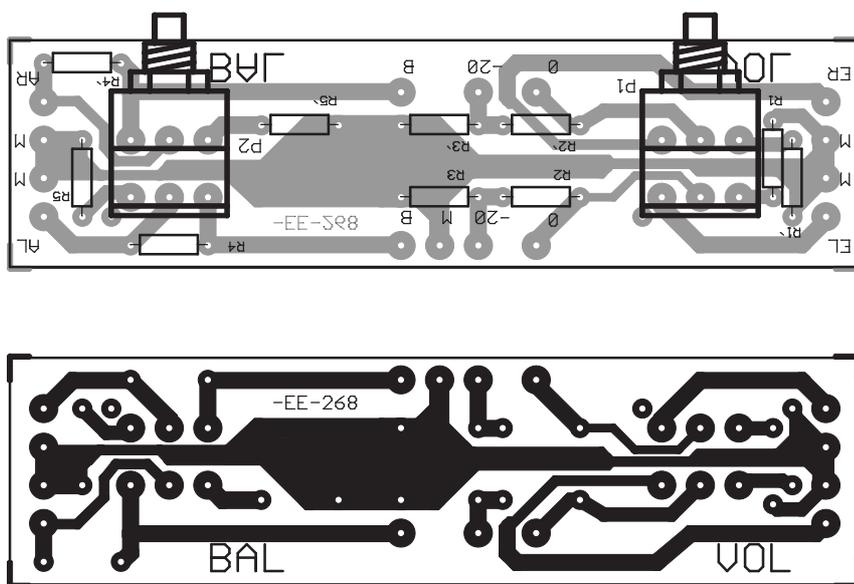
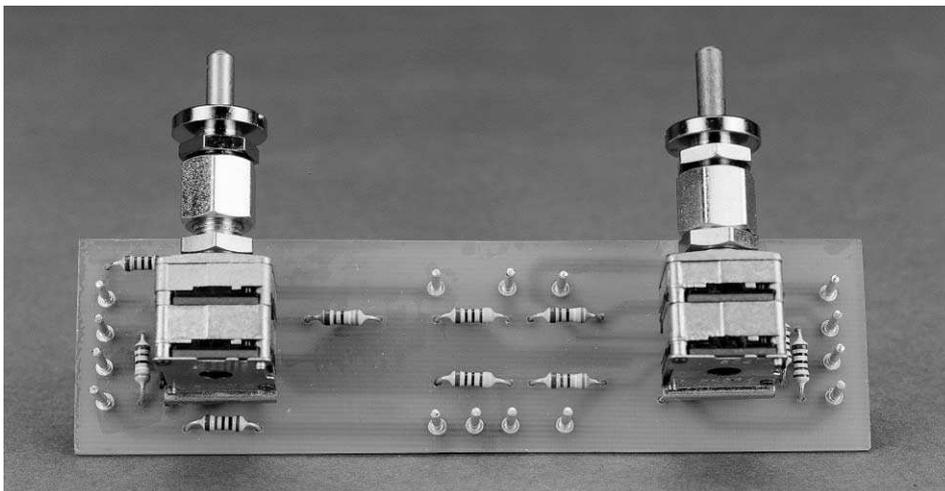


Figure 1. Platine de faible taille du volume et de la balance.

Cependant il reste, avant de pouvoir passer à cette étape si importante qu'est la réalisation, à implanter les composants sur 4 platines additionnelles, à savoir la platine de volume et de balance (**figure 1**), la petite platine des relais de sortie (**figure 2**) ainsi que les platines d'alimentation Haute et Basse Tension (**figures 3 et 4** respectivement).

La platine de faible taille représentée dans la figure 1 comporte les relais de sortie et la douille de jack de commutation. Elle ne nécessite aucun élément de fixation car la douille assume ce rôle. Il faut à tout prix éviter de se tromper en attribuant l'entrée et la sortie du signal de l'amplificateur : le jack n'est protégé que si le câblage est correct. Veiller aussi à ce que la polarité des relais soit bien celle indiquée sur le



Liste des composants du réglage de volume

- R1, R1' = 100 Ω
- R2, R2', R4, R4' = 3kΩ
- R3, R3' = 470 Ω
- R5, R5' = 10 kΩ
- P1, P2 = potentiomètre 10 kΩ linéaire à crémaillère (crans sensibles)
- 2 supports pour potentiomètre
- S1 = interrupteur à bascule 2 circuits/3 positions (de bonne qualité à contacts dorés)
- Picots

schéma de montage. Les contacts sont à l'abri des salissures dans des relais entièrement fermés. Ils sont en outre dorés et, selon la fiche de données, homologués à 250 V.

Il est inutile de s'attarder sur le montage de la platine du circuit de protection (figure 2) et sur celui des deux platines d'alimentation des figures 3 et 4. On peut se servir de socles pour les circuits intégrés. Veiller (comme toujours) à la position correcte et à la polarité de tous les composants et tout ira bien. Nous n'avons pas représenté ici de platine pour l'alimentation secteur symétrique facultative. Les informations livrées par les nombreux projets Elektor devraient suffire.

Les platines dont tous les composants ont été posés sont prêtes à être montées dans le boîtier. Le boîtier prévu décrit ci-dessus comporte

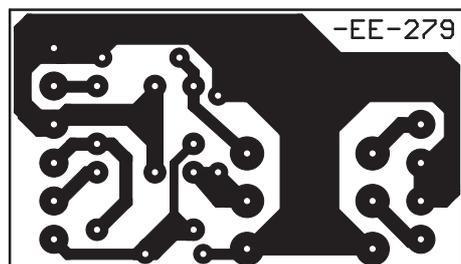
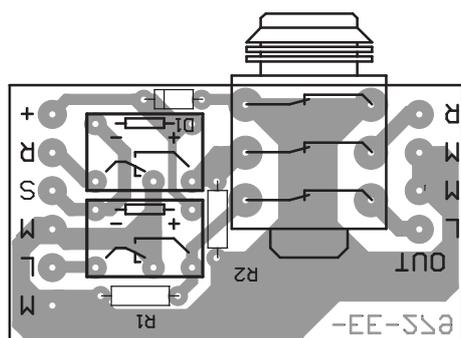


Figure 2. La petite platine des relais de sortie et de la prise du casque.

Liste des composants du casque/commutateur Ligne

- R1, R2 = 680 kΩ
- Re1, Re2 = relais unipolaire inverseur 12 V (Omron G6E)
- K1 = embase jack stéréo encartable (Source : Re-an)

Liste des composants de l'alimentation Haute Tension

- Résistances :**
 R1 = 10 kΩ/2 W
 R2 = 100 Ω/4W5
 R3, R4 = 1 kΩ
 R5 = 6Ω8/2 W
 R6 = 150 kΩ/2 W

- Condensateurs :**
 C1 = 100 μF/400 V, RM 10
 C2, C3 = 22 μF/400 V, RM 7,5

- Semi-conducteurs :**
 T1 = BUZ92
 T2 = BC546
 D1 à D3 = diode zener 10 V/1W3
 D4 = diode zener 18 V/1W3
 G11 = pont B500C1500, modèle plat

- Divers :**
 Radiateur pour T1 : SK 68/50 (Fischer) par exemple
 Petit matériel d'isolation et de montage pour T1 et le radiateur
 Picots

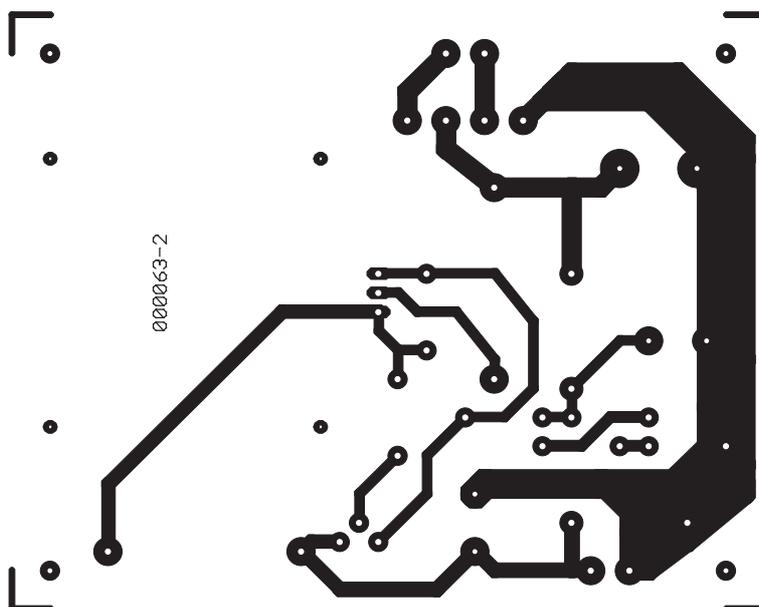
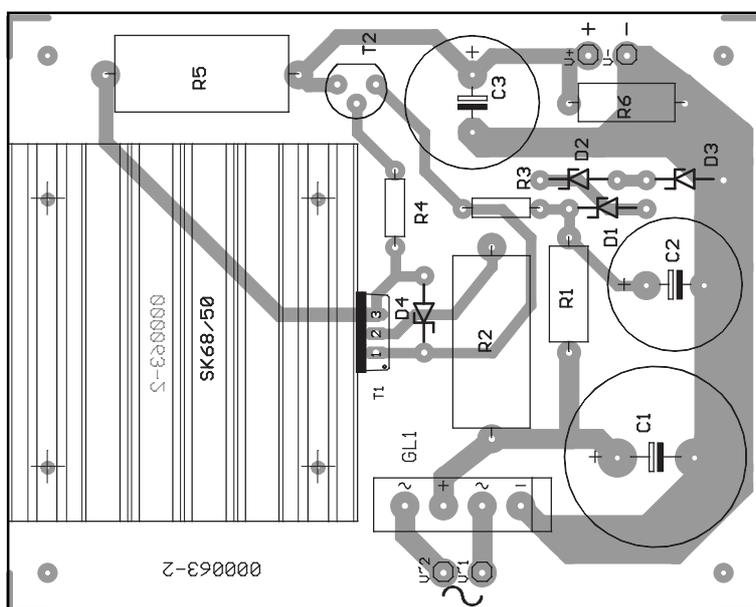


Figure 3. La platine de l'alimentation Haute Tension (HT) et ...

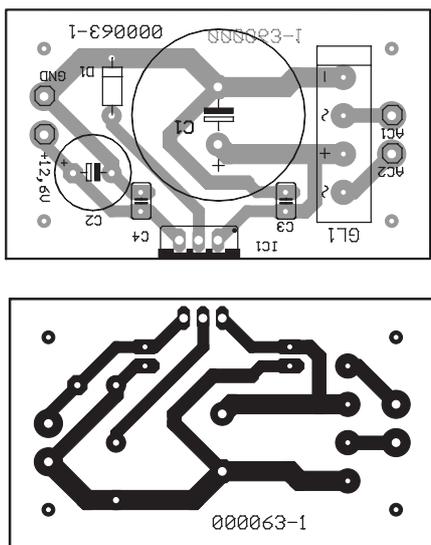


Figure 4. ... celle de l'alimentation Basse Tension.

Liste des composants de l'alimentation Basse Tension

- C1 = 2 200 μ F/40 V, RM 7,5
- C2 = 100 μ F/40 V, RM 5
- C3, C4 = 100 nF céramique RM 5
- GL1 = pont B80C1500 (modèle plat)
- D1 = 1N4148
- IC1 = 7812 (TO 220)
- Petit matériel d'isolation pour IC1
- Si1, Si2 = fusible 0,2 A lent + porte-fusible encartable
- Picots

déjà tous les trous nécessaires ; il suffit donc de visser les éléments (dont également la prise secteur, les interrupteurs, les potentiomètres et les douilles de l'enregistreur). Si vous construisez votre boîtier vous-même, veillez à y disposer rationnellement les platines et à bien les fixer. Il suffit par exemple de disposer le module d'entrée à proximité immédiate du transformateur d'alimentation – et bonjour les ronflements.

Tiré au cordeau

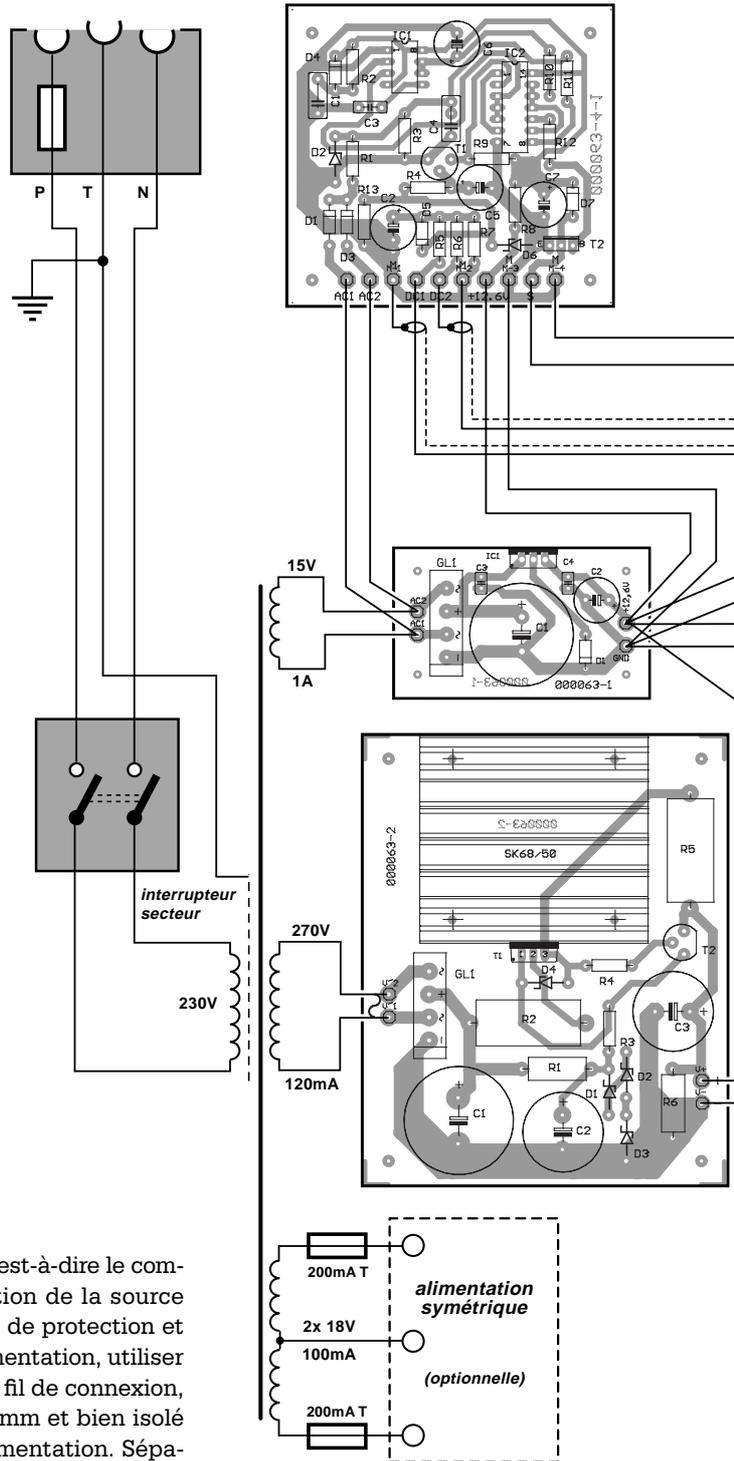
Le câblage des platines montées est la tâche qui devrait s'avérer la plus ardue. La méthode la plus sûre (oui, même au laboratoire d'Elektor) consiste à cocher chaque liaison effectuée sur une copie du plan de câblage de la figure 5.

Toutes les lignes qui transmettent le signal audio doivent être blindées et de bonne qua-

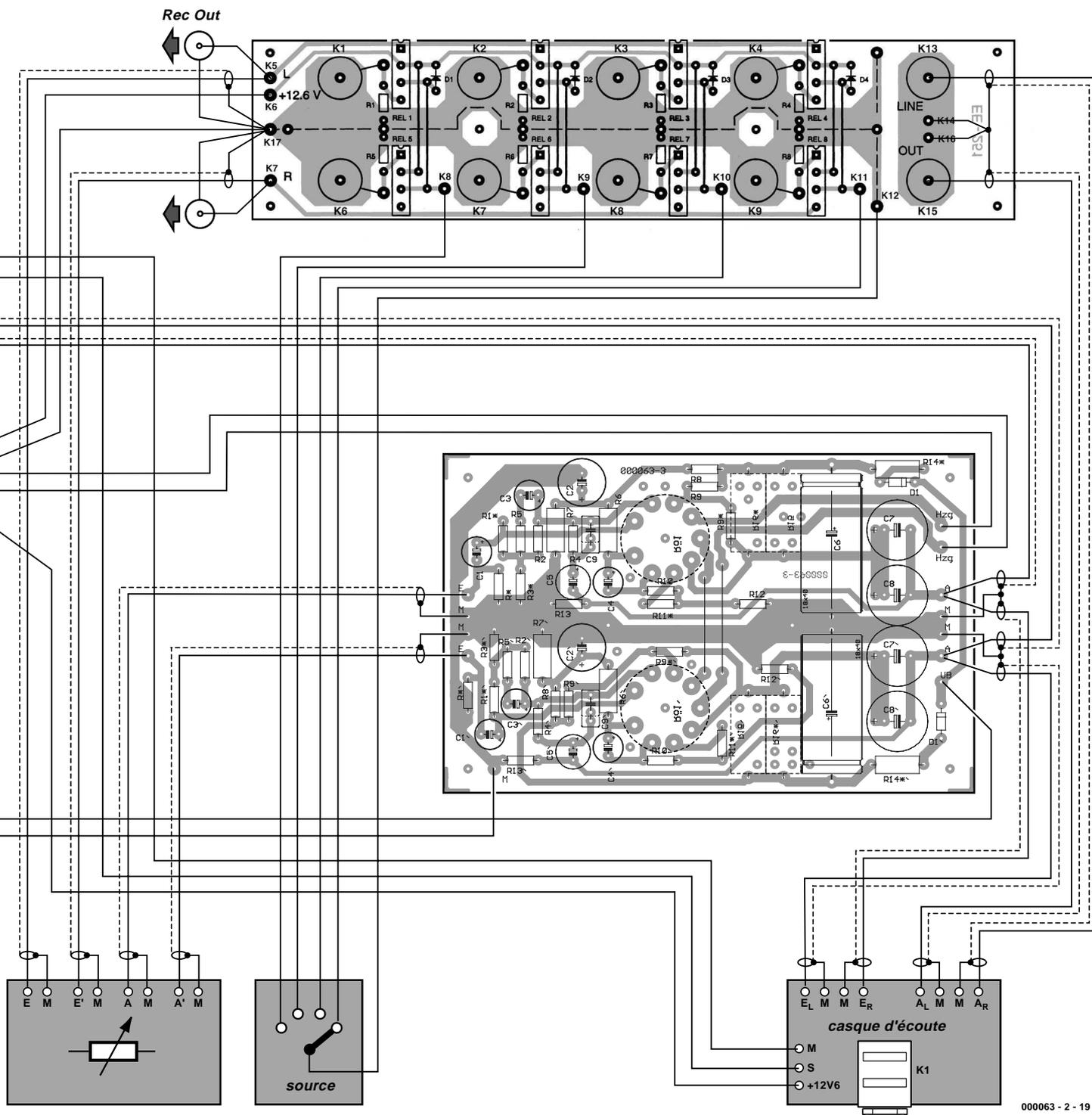
lité. Pour le reste, c'est-à-dire le commutateur de sélection de la source du signal, le circuit de protection et l'ensemble de l'alimentation, utiliser tout bonnement du fil de connexion, d'une section de 1 mm et bien isolé dans le cas de l'alimentation. Séparez aussi bien que possible les liaisons des signaux des fils de connexion et fixez les câbles au boîtier à l'aide d'attaches. Les douilles de la sortie enregistreur sont reliées à la platine à partir de la barre de liaison par des cavaliers.

Le grand moment

Une fois que le câblage est complètement au point et que tout a été vérifié 2 et même 3 fois, on peut se risquer à tenter un premier essai de



fonctionnement. Retirer tout d'abord la liaison entre le transformateur réseau et la platine haute tension (et mettez-la à l'abri de tout contact). La tension de chauffage doit immédiatement monter à 12,6 V et être à l'épreuve des courts-circuits. Elle peut varier entre $\pm 5\%$. Les filaments des tubes doivent briller visiblement après 1 à 2 minutes. Cela constituera plus tard l'indication que le préam-



000063 - 2 - 19

plificateur est en fonctionnement. Pour une indication plus précise, il suffit de raccorder une LED en série avec une résistance de protection et une diode 1N4007 à l'enroulement 15 V du transformateur réseau. On peut aussi tester à ce stade le bon fonctionnement des relais. Brancher la haute tension à la suite de ce premier essai. Elle doit atteindre sa valeur nominale peu

après l'enclenchement. Pas de fumée ? Contrôler les valeurs nominales du schéma de câblage, puis le parcours de la B.F. et ses modifications au moyen d'un générateur sinusoïdal et d'un oscilloscope. Essai réussi ? Visser le boîtier, raccorder le préamplificateur à tubes à une source de signaux et à un amplificateur final et tout mettre en marche. Les cathodes des tubes ont besoin

Figure 5. Le câblage du Tube Preamp dans toute sa complexité.

d'un certain temps de chauffe pour émettre un nombre suffisant d'électrons ; un appareil à tubes ne fonctionne donc vraiment qu'après environ 2 à 5 minutes. Mais il ne donne le meilleur de lui-même qu'au bout de 10 à 20 minutes, lorsque les tubes ont atteint leur équilibre thermique. Rien ne devrait alors plus venir troubler votre jouissance auditive.

Résultats de mesure

Le laboratoire d'Elektor a soumis le préamplificateur à tubes à des essais très stricts dont nous ne voulons naturellement pas vous cacher les résultats. Les chiffres sont indiqués dans le tableau dans toute leur rigueur, tandis que les courbes de mesure méritent quelques commentaires. Toutes les mesures ont été effectuées après une période de chauffe de 4 heures. La tension d'entrée efficace était de 1 V et la tension efficace de sortie de 2 V. Les sorties ont été terminées par 10 kΩ, les entrées libres par 600 Ω (potentiomètre de symétrie en position médiane).

Rapport signal/bruit	Estimation acoustique	100 dBA
	Linéaire de 22 Hz à 22 kHz	87 dB
THD+souffle	1 kHz, B = 80 kHz	<0,05 %
	1 kHz, B = de 22 Hz à 80 kHz	<0,01 %
	1 kHz, B = de 400 Hz à 22 kHz	<0,05 %
IMD	(50 Hz : 7 kHz = 4:1)	<0,02 %
DIM	(rectangle 3,15 kHz + sinus 15 kHz)	0,003 %
Séparation des canaux	1 kHz	84 dB
	20 kHz	63 dB
Diaphonie	1 kHz	<-115 dB
	20 kHz	<-93 dB
Impédance d'entrée	Vol. min.	6,4 kΩ
	Vol. max.	2,1 kΩ
Impédance de sortie		<200 Ω
Facteur d'amplification		2,54
Bande passante		de 3,5 Hz à 500 kHz
Plage de réglage de la symétrie		de +3 à -4,7 dB
Atténuateur		18 dB
THD	Tension de sortie 50 V _{eff}	0,1 %

Quelques remarques :

Les mesures ont été effectuées sans blindage des tubes, de sorte que des perturbations H.F. provenant de l'environnement de mesure (labo Elektor avec appareils de mesure de PC) pouvaient influencer les résultats de mesure. Il faut blinder les tubes si des sources de perturbations H.F. se trouvent à proximité de l'amplificateur. Voici ce qu'indiquent les 5 courbes de mesure :

A) Caractéristique de l'amplitude

L'échelle fortement agrandie jusqu'à 200 kHz (limite de puissance de notre générateur audio) indique une légère montée de la caractéristique. Mais la courbe est comme tirée au cordeau dans la plage audio qui nous intéresse !

B) Séparation des canaux

Les courbes se passent de commentaire, elles sont pratiquement identiques pour les 2 canaux. Elles ne commencent qu'à 200 Hz pour éliminer de ces mesures l'influence de l'ondulation de la tension d'alimentation.

C) Spectre de fréquence

On remarque l'influence de l'ondulation de la tension d'alimentation sur le spectre de fréquence. Le spectre de l'ondulation atteint environ 800 Hz. Cela explique la différence relativement élevée entre les mesures basées sur une estimation acoustique et les mesures linéaires (100 dBA ou 87 dB). Les tons de 1 kHz (1 V_{eff}) sont dominés par la deuxième harmonique qui atteint jusqu'à -90 dB. L'influence de champs parasites (en l'occurrence ceux d'un écran de type ancien se trouvant au voisinage de l'amplificateur) se reconnaît aux pics dans le haut du spectre de fréquence (30 kHz et 60 kHz) qui apparaissent lorsque les tubes ne sont pas blindés.

D) THD+souffle

La courbe a été déterminée pour une largeur de bande de 22 Hz à 80 kHz. La fraction causée par des signaux parasites est due à l'ondulation résiduelle de la tension d'alimentation et probablement aussi au rayonnement du transformateur.

E) Réponse aux transitoires

Un signal rectangulaire à l'entrée (10 kHz, 1 V) provoque une légère suroscillation d'environ 10 % à la sortie.

