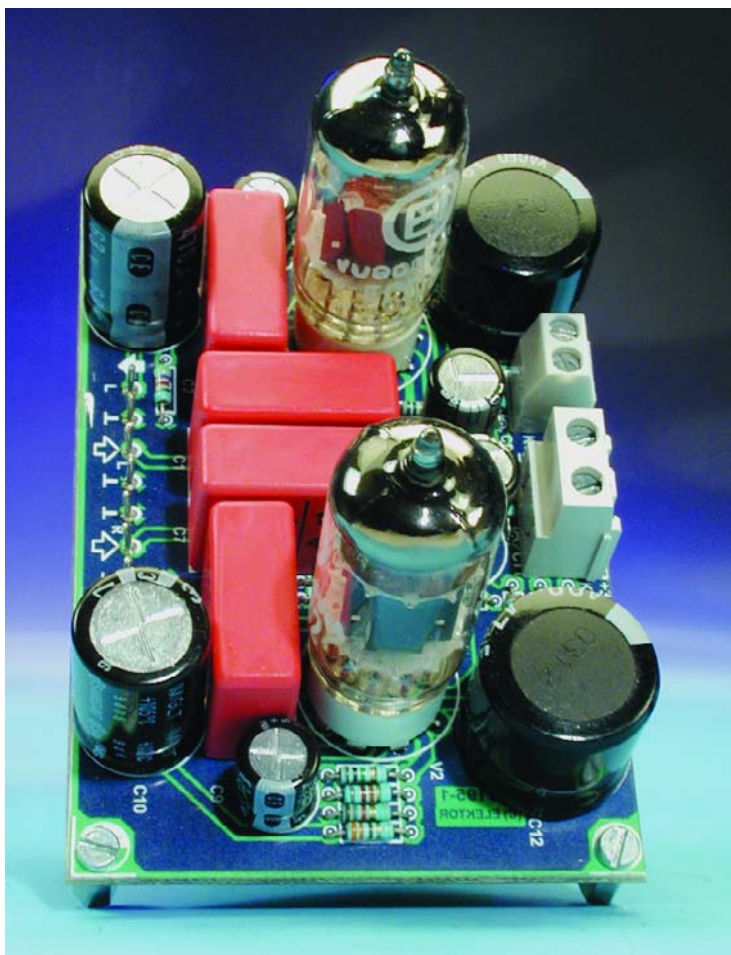


# Ampli OTL pour casque

Ampli à tubes « sans fer »

Dr. phil. nat. Hansjörg Friedli

Il est possible de réaliser, à l'aide de composants modernes faciles à trouver, un amplificateur pour casque d'écoute au rendu superbe. Pas de transformateur de sortie, l'absence de « contre-réaction supra-nationale » et de bons condensateurs de couplage garantissent une réponse en fréquence bien linéaire ainsi que, de par le concept judicieux adopté, une diaphonie intercanaux faible.



## Valeurs de mesure (avec filtre)

Tension d'alimentation	187 V
THD+N (1 mW/600 $\Omega$ )	2,3% droite 1,86% gauche
S/N (1 mW/600 $\Omega$ )	>93 dB >100 dBA
Ondulation de la tension de chauffage	30 mV <sub>CC</sub>
Puissance consommée totale	17 W

Les experts des tubes savent que même un tube de puissance, capable de délivrer quelques centaines de milliampères de courant d'anode, n'est pas en mesure d'attaquer un haut-parleur ayant une impédance de 8  $\Omega$ , en raison de la résistance interne d'un tube qui est de plusieurs kilohms. L'adaptation des 2 impédances est pratiquement toujours réalisée à l'aide d'un transformateur. En soi, il n'y aurait pas grand chose à critiquer à l'utilisation d'un tel convertisseur de tension selon la « loi des leviers » si chaque transformateur pris dans le trajet du signal ne signifiait pas des pertes au niveau du son. Si l'on veut minimiser ces pertes le plus possible, il faudra impérativement opter pour une technologie de bobinage complexe et très soignée, utiliser une tôle de bonnes caractéristiques pour l'armature du transformateur et un nouveau de bonne section.

Cependant, lorsque l'impédance de la charge n'est pas de quelques ohms seulement mais qu'elle est, comme c'est le cas avec de nombreux casques d'écoute, de plusieurs centaines d'ohms, et qu'en outre, la puissance requise en

sortie n'est pas très importante, l'amplificateur doit pouvoir se passer de transformateur de sortie ce qui lui permet de porter le qualificatif d'OTL (*Output Transformer Less*, sortie sans transfo). La charge à commander est attaquée directement par les tubes.

La version OTL présentée ici est une cathode-suiweuse, qui convient à la commande d'un (voire deux) casque(s) d'écoute d'une impédance nominale d'au moins 300  $\Omega$ .

## Le circuit

Comme le montre le schéma de la **figure 1**, le tube utilisé ici comme amplificateur est une double triode du type ECC82 facile à trouver. On connaît des versions de meilleure qualité ou de durée de vie plus longue de ce type de tube sous la dénomination E802CC ou E82CC. Pour pouvoir moduler un casque d'écoute à un niveau suffisant on a besoin d'un étage préamplificateur. On utilise à cet effet le système triodes avec les contacts de support 1, 2 et 3. Le signal d'entrée arrivant sur la platine commence par rencontrer P1, un potentiomètre de 50 k $\Omega$  (non représenté sur le schéma et qui sert d'organe de commande de volume) et est couplé directement par le biais du condensateur C1. La résistance R1 définit la tension de polarisation de grille négative nécessaire. Le facteur d'amplification (gain) est en fait défini par la résistance R8, le niveau maximal de la tension d'entrée l'étant par R2. La valeur attribuée à R9 est telle que le courant de repos d'anode se trouve dans une partie aussi linéaire que possible de la courbe de réponse. La tension d'entrée inversée et amplifiée disponible est appliquée, par le biais de C2, à la grille d'un second système dont la résistance de cathode prend la forme d'une paire de résistances, R5 et R6. La résistance-série définit la résistance de fonctionnement alors que le rapport entre les 2 résistances permet un réglage correct de la tension de polarisation de grille. La paire R4/C3 servent à la découpler de la charge, à la réguler et appliquée, en provenance de R3, à la grille. Il circule, en fonction de la tension de grille, un courant d'anode répondant à la

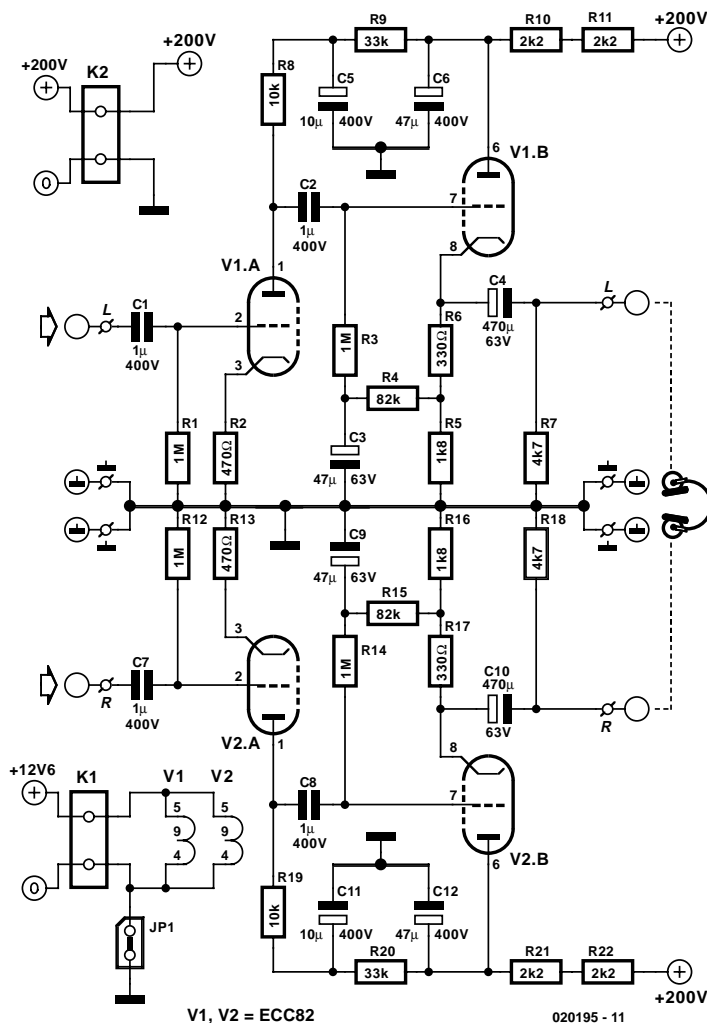


Figure 1. L'électronique de l'ampli est centrée sur 2 ECC82.

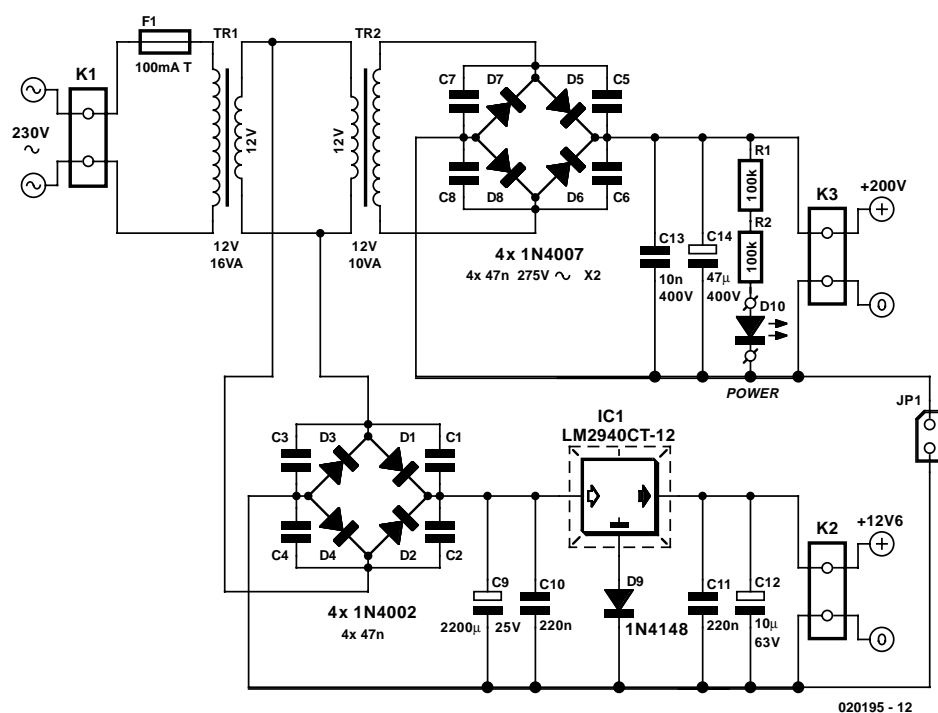


Figure 2. La Haute-Tension est fournie par une paire de transformateurs secteurs.

## Liste des composants de l'amplificateur

### Résistances :

R1,R3,R12,R14 = 1 M $\Omega$   
 R2,R13 = 470  $\Omega$   
 R4,R15 = 82 k $\Omega$   
 R5,R16 = 1k $\Omega$ 8  
 R6,R17 = 330  $\Omega$   
 R7,R18 = 4k $\Omega$ 7  
 R8,R19 = 10 k $\Omega$   
 R9,R20 = 33 k $\Omega$   
 R10,R11,R21,R22 = 2k $\Omega$ 2

### Condensateurs :

C1,C2,C7,C8 = 1  $\mu$ F/400 V (MKP4 ou MKS4 250 V)  
 C3,C9 = 47  $\mu$ F/63 V radial  
 C4,C10 = 470  $\mu$ F/63 V radial  
 C5,C11 = 10  $\mu$ /400 V radial (tel que, par exemple, B. ECA2GHG100 de Panasonic, Farnell 219-9320)  
 C6,C12 = 47  $\mu$ F/400 V radial (chez Selectronic par exemple)

### Tubes :

V1,V2 = ECC82 (Conrad 120855) avec support Noval (Conrad 120529)\*

### Divers :

JP1 = embase autosécable à 2 contacts + cavalier  
 K1 = bornier à 2 contacts au pas de 5 mm (RM5)  
 K2 = bornier à 2 contacts au pas de 7,5 mm (RM7,5)

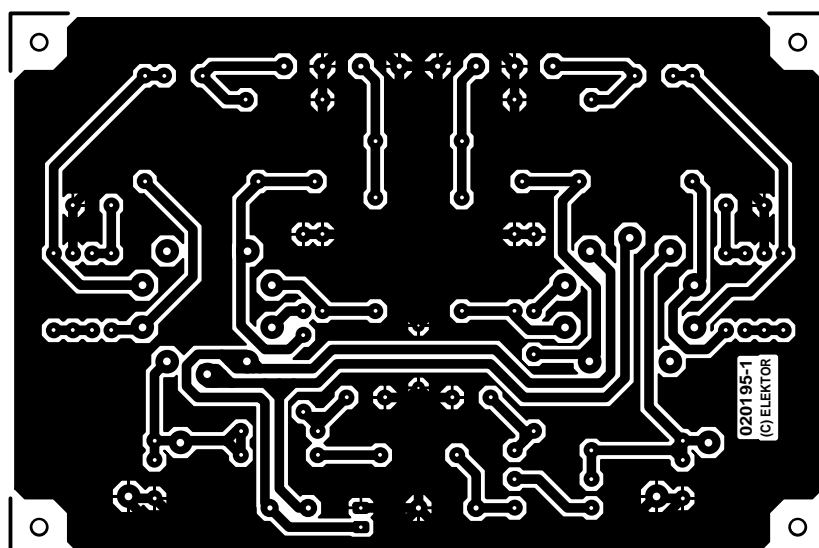
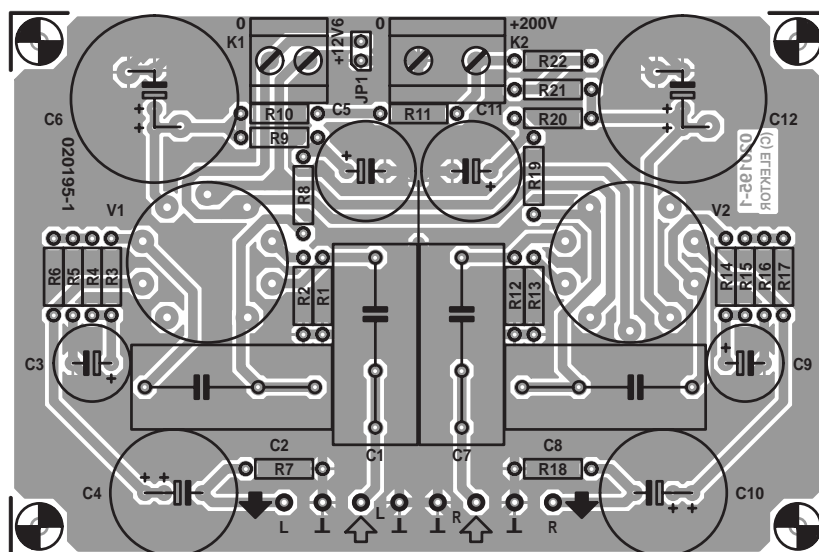


Figure 3. Dessin des pistes de la platine de l'amplificateur.

courbe caractéristique, courant produisant, au travers du couple de résistances R5+R6, une tension fortement proportionnelle. Cette tension attaque ensuite le casque d'écoute, par le biais du condensateur de couplage C4. R7 force la sortie, en ce qui concerne la tension continue, au potentiel de la masse et évite ainsi la production de craquements de commutation lors de la connexion du casque d'écoute.

## L'alimentation

La **figure 2** représenté l'alimentation de l'amplificateur pour casque. La génération de la Haute-Tension (HT) fait appel à un transformateur secteur classique. L'enroulement faisant normalement office d'enroulement secondaire est connecté aux points 12 V du transformateur secteur proprement dit. Au niveau de l'enroulement primaire du trans-

formateur « renversé » (tout comme la crème du même nom), le transformateur d'anode, on dispose, à vide, d'une tension de quelque 2 000 V CA. Cette tension alternative (d'où le CA pour Courant Alternatif) subit un redressement avant d'être lissée par le condensateur C14. La tension servant ultérieurement de tension continue de chauffage est redressée par les diodes D5 à D8 et lissée par C15. Les condensateurs pris en parallèle sur les diodes servent à éliminer les parasites HF. À l'aide du régulateur de tension intégré du type LM2940CT12 (à faibles pertes) et d'une diode au silicium (Si) prise dans la ligne de masse on obtient sans trop de chichi, une tension de 12,6 V. La LED D10 ne sert pas uniquement

à visualiser la mise sous tension, elle constitue, de concert avec R1 et R2, une charge à vide servant parallèlement à assurer la décharge de C14 au cas où il n'y aurait, occasionnellement, rien de connecté au bornier K3.

## Dessin des pistes

Le dessin des pistes de la platine d'amplification représenté en **figure 3** a été conçu de manière à pouvoir utiliser les condensateurs « normaux » de type MKS4, mais aussi des condensateurs mieux adaptés aux applications audio mais plus encombrants (C1, C2, C7 et C8) au pas de 15 ou de 22,5, des MKP4 de WIMA à tension de service plus élevée par exemple. On pourra utili-



ser, pour les condensateurs de fort volume, C6 et C12, des versions au pas de 5 ou 7,5, voire de 10 mm pour des types encliquables.

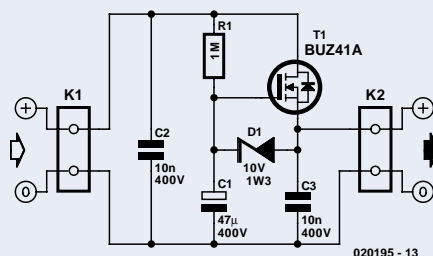
Les derniers types de condensateurs évoqués possèdent un diamètre plus important et captent ainsi moins de chaleur des tubes placés à proximité. On utilisera de préférence des condensateurs répondant bien aux impulsions et présentant une inductance faible; ils devront en tout état de cause être spécifiés pour une température de 105 °C.

La tension est appliquée à un canal au travers, respectivement, des paires R10+R11 et R21+R22. Les résistances « chauffent », en fonction de la tension d'alimentation, entre 0,18 et 0,25 W. Il faudra partant bien tenir compte de la puissance dissipable admissible. Il existe des résistances, qui à taille identique, les résistances 1/4 watt à film métal par exemple, sont capables de dissiper entre 0,3 et 0,4 W, les composants de la série PR01 de BCcomponents étant même en mesure de dissiper 1 W. Il n'est pas mauvais de penser à monter ces 4 résistances légèrement au-dessus du circuit imprimé pour leur permettre de mieux évacuer la chaleur.

Il a également été fait en sorte, lors du dessin de cette platine, à ce que les 2 canaux stéréo soient aussi écartés l'un de l'autre que possible. Les contacts de masse des 4 condensateurs de filtrage au niveau des anodes sont reliés, canal par canal, à une masse commune. À noter la présence, sur la platine de l'amplificateur, d'un unique pont de câblage (pris entre C5/C11 et C1/C7).

L'électronique de l'alimentation secteur prend place sur une seconde platine sur laquelle on pourra monter la platine de l'amplificateur en gigogne. Il est cependant à noter que l'amplificateur présente une certaine sensibilité aux champs parasites dont l'intensité dépend beaucoup du type de transformateur utilisé. Les composantes 50 Hz présentes dans le spectre (cf. les courbes de mesure A et B) sont une indication évidente de la présence des 2 transformateurs qui se trouvaient, lors de la mesure, à une vingtaine de centimètres. Les diodes D1 à D4 sont des 1N4002, solides déjà, mais il y a suffisamment de place

## Filtre pour la tension d'anode



Ce circuit est celui d'un filtre RC de puissance servant à diminuer l'ondulation (résiduelle) d'une tension d'alimentation non régulée. Ce filtrage se traduit inévitablement par la perte de quelques volts. Un FETMOS du type BUZ41A (500 V/4,5 A) prévu pour la haute-tension est monté en source-suiveuse simple. Par le biais de la paire R1/C1 la grille est amenée très progressivement à la tension de consigne; ce n'est qu'au

bout de 4 minutes (ce qui correspond à la durée de 5 durées RC) que l'on atteint 99% de la tension de sortie nominale. Cette temporisation n'a pas d'effet néfaste vu qu'il faut également aux tubes un certain temps pour chauffer et atteindre leur température de croisière. Un simple coup d'oeil à la courbe B permet de constater l'effet positif de ce filtre.

La chute de tension aux bornes de T1 dépend principalement de la tension de coupure (cut-off) entre la grille et la source; elle se situe aux alentours de 3,5 à 4 V. La grille est protégée contre les surtensions par la diode zener D1. La présence de C2 et C3 est indispensable pour éviter l'entrée en oscillation du circuit. Nous n'avons pas dessiné de platine pour ce petit circuit qu'il sera facile de réaliser sur un morceau de platine d'expérimentation à pastilles. La réduction de l'ondulation induite par ce filtre est impressionnante.

pour monter des modèles de diodes encore plus costauds. Les condensateurs C5 à C8 au pas de 15 doivent (!) être des exemplaires X2.

Si l'on veut éliminer toute ondulation

de la tension de chauffage, on pourra utiliser pour TR1, un transformateur de 15 V/20 VA, dont les dimensions sont légèrement supérieures ce qui ne permet pas de le monter sur la platine. Bien que dans ce cas-là la dissipa-



tion augmente, le radiateur prévu pour IC1 peut faire face à la situation. Nous avons également essayé un transformateur 15 V/16 VA qui dérivait cependant 23 VA du secteur (étant partant en surcharge évidente). Rien ne vous interdit, au contraire, d'essayer différents types de transformateurs; on peut obtenir des rapports très différents qui sont influencés par le type, la tension à vide et sous charge, la taille du noyau, le matériau utilisé. Le rapport des enroulements est toujours calculé en prenant la tension du secondaire hors charge; dans le cas d'un transformateur de 9 V (nominaux) cela donne de l'ordre de 12 V.

On pourra, pour compenser la puissance réactive, prendre un petit condensateur (de quelque 150 nF/250 VAC X2) en parallèle sur le côté HT de TR2. Ceci accroît même quelque peu la tension d'anode, la puissance consommée et le courant ne diminuant eux de 6 à 7% seulement.

## Liste des composants de l'alimentation

### Résistances :

R1, R2 = 100 kΩ

### Condensateurs :

C1 à C4 = 47 nF céramique  
C5 à C8 = 47 nF/275 VAC/X2 RM15  
C9 = 2 200 µF/25 V radial  
C10, C11 = 220 nF  
C12 = 10 µF/63 V radial  
C13 = 10 nF/400 V RM7,5 ou I0  
C14 = 47 µF/400 V radial (22215266109 BC Components, Farnell 322-7984)  
(22215266479 BC Components, Farnell 322-8009)  
ECA2GHG470 Panasonic (par ex. chez Farnell 319-9356)

### Semi-conducteurs :

D1 à D4 = 1N4002  
D5 à D8 = 1N4007  
D9 = LED rouge faible courant  
IC1 = LM2940CT-12 avec radiateur tel que Fischer SK104 (50,8 mm)

### Divers :

JP1 = embase autosécable à 2 contacts + cavalier  
K1, K3 = bornier à 2 contacts au pas de 7,5 mm (RM7,5)  
K2 = bornier à 2 contacts au pas de 5 mm (RM5)  
F1 = porte-fusible encartable + fusible 100 mA/retardé  
TR1 = transfo secteur 12 V/16 VA tel que, par exemple, BV054-5383.0K (ERA)  
TR2 = transfo secteur 12 V/10 VA tel que, par exemple, BV048-5383.0H (ERA)

L'approche à 2 transformateurs présente l'avantage d'une séparation de la tension de chauffage et de la

Haute-Tension. Il n'en cependant pas moins interconnecter les 2 potentiels de masse correspondants. Cette

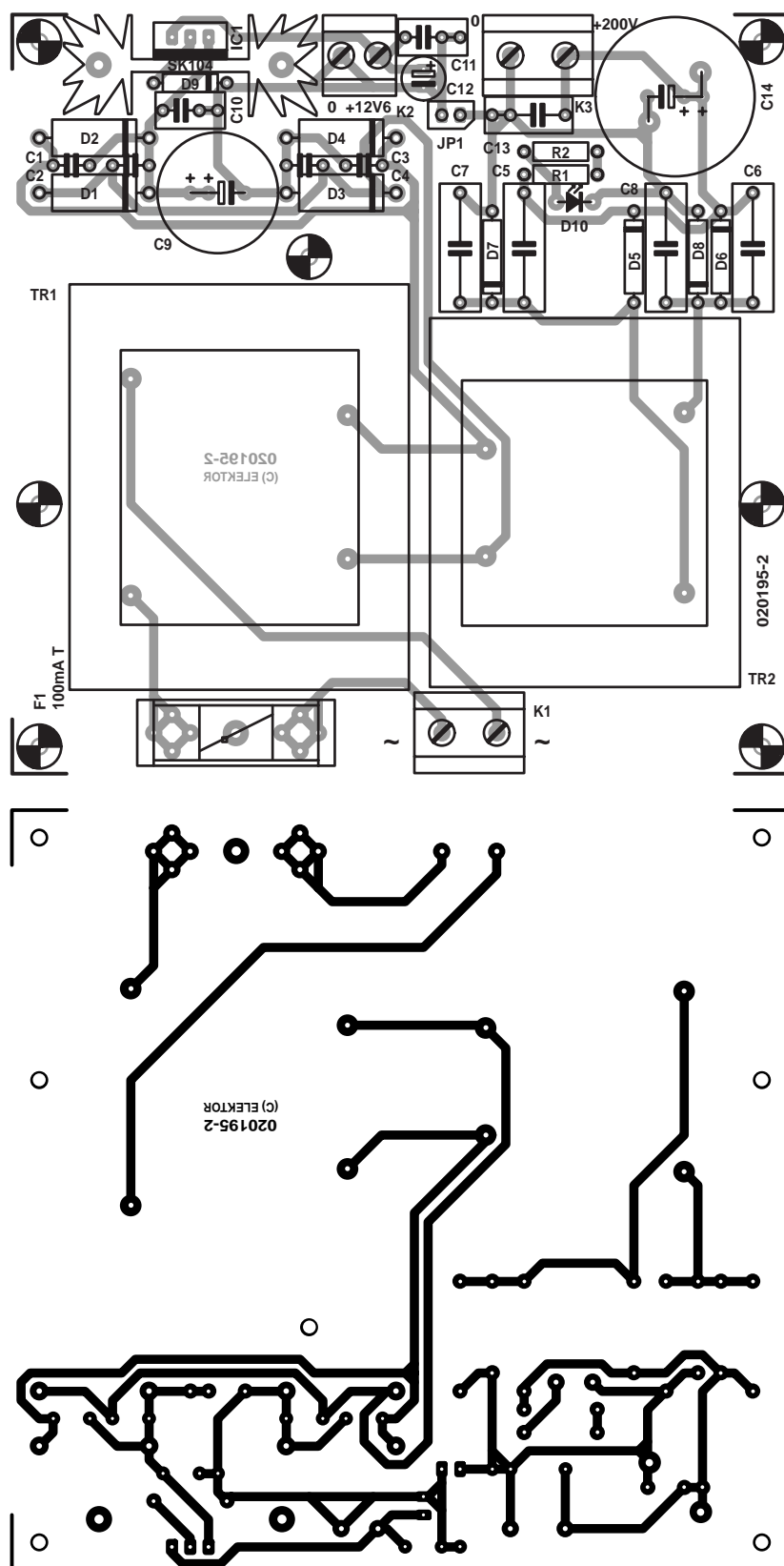


Figure 4. La platine de l'alimentation pourra être montée en sandwich sur celle de l'amplificateur.

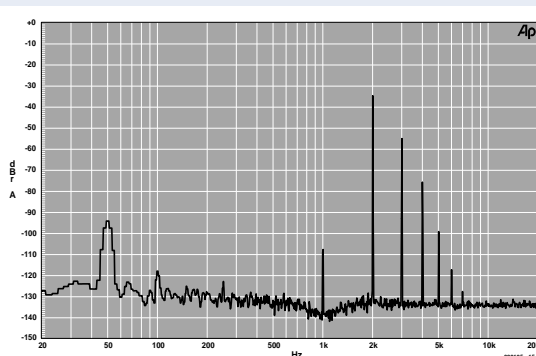
## Courbe et sonorité

La **courbe A** rend le spectre de fréquences d'un signal de 1 kHz (1 mW dans 600 W). Les distorsions (canal droit) atteignent 2,3%; elles sont principalement dues à l'harmonique du second ordre.

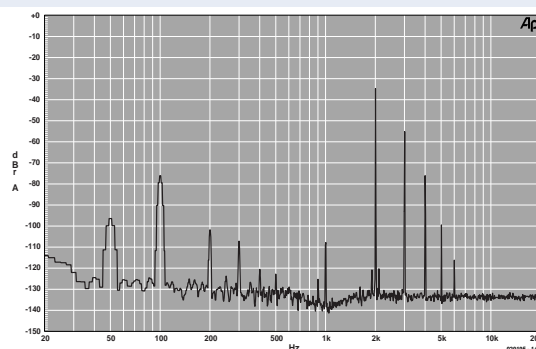
Il faut en outre remarquer la très grande influence de l'ondulation de la tension d'alimentation d'anode non régulée. Nous avons développé à cet effet un filtre actif (cf. l'encadré) qui élimine quasi-totalement la composante 100 Hz et les harmoniques. L'effet indéniable de ce filtre est visualisé par la **courbe B**. Pour finir, la **courbe C** rend la distorsion en fonction de la puissance de sortie. On constate que les distorsions augmentent assez linéairement avec la puissance de sortie. Aux alentours de 5 mW l'amplificateur arrive « en butée ».

Il est difficile, à l'aide de chiffres seuls, de décrire ce dont est capable un appareil audio. L'aspect marquant de la sonorité de l'amplificateur est sa dynamique : les parties à fort niveau sont présentes, les parties douces sont vraiment douces. Le son est chaud, spatial, aux niveaux élevés peut-être un peu moins précis dans la définition dans la partie supérieure du spectre de fréquences, ce qui pourrait se traduire par petite diminution du plaisir que peuvent offrir les voix d'opéra. Le son est très agréable et cela même si

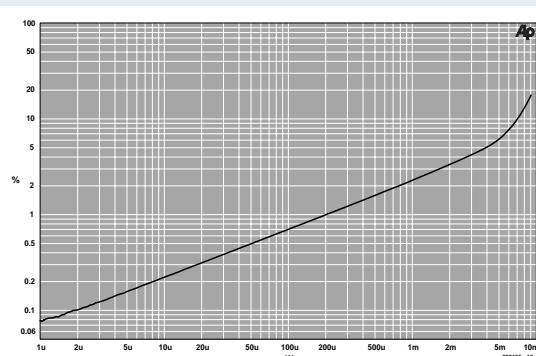
l'écoute dure un certain temps. Les graves ne posent pas de problème, en tout cas, une musique bien bardée de graves comme de la musique pop ou du jazz est extrêmement agréable à écouter !



**Courbe de mesure B.** La prise dans le circuit du filtre s'est avérée payante : les composantes 100 Hz ont sensiblement diminué.



**Courbe de mesure A.** Le spectre obtenu en l'absence de filtre de tension d'anode.



**Courbe de mesure C.** Les distorsions croissent de façon linéaire avec l'augmentation de la modulation.

connexion peut se faire soit au niveau de la platine de l'amplificateur soit au niveau de celle de l'alimentation (JP1), voire sur les deux.

### La réalisation

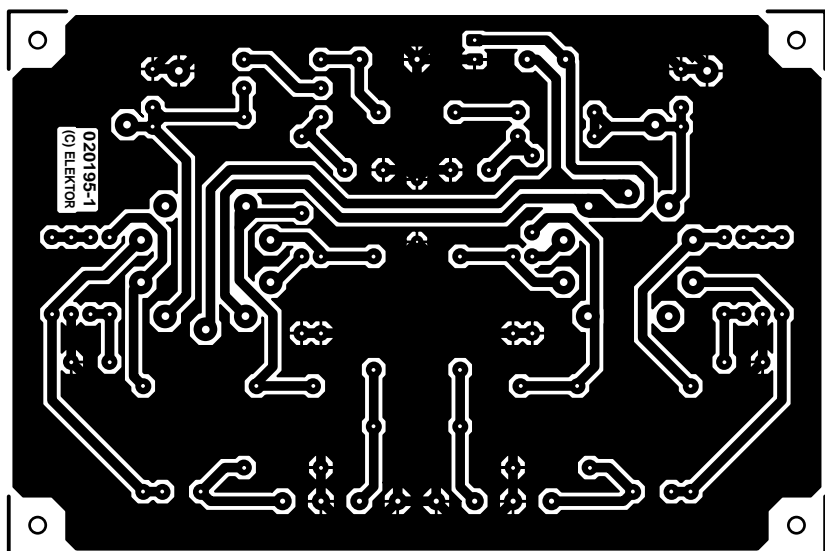
La mise en place des composants sur les platines n'appelle pas de remarque particulière, tous les composants trouvant place normalement, c'est-à-dire côté « composants ». Comme nous disions plus haut, le régulateur devra être refroidi. Sa surface de radiateur est reliée à sa broche centrale; dans le présent schéma, elle se trouve, en raison de la présence de la diode, 0,6 V au-delà du potentiel de la masse. Nous ne vous ferons pas l'injure de signaler qu'il faudra, dans le cas des condensateurs, veiller à respecter la polarité. Il faudra, dans le cas des 4 condensateurs de 1 µF aussi, faire attention à la polarité cor-

recte. Comme la connexion de grille constitue le point le plus sensible d'un circuit à tubes, ce point devra être relié au feuillet intérieur du condensateur. Le feuillet extérieur est souvent identifié par un trait; il fait office de blindage. Les seules pièces externes restant à connecter sont les embases Cinch, le potentiomètre, le jack et l'interrupteur secteur, ce qui vous laisse une grande liberté quant au choix du coffret dans lequel prendra place l'ensemble du montage et le positionnement des différents organes de commande. Le dessin des pistes représenté en figure 3 présente une belle symétrie de sorte que rien n'empêche de l'exposer aux regards avec ses tubes et ses composants. Si vous ne voulez pas que la platine soit visible mais que vous aimeriez bien exposer les tubes, il vous faudra effectuer une gravure en miroir de la platine. Les supports pour les tubes

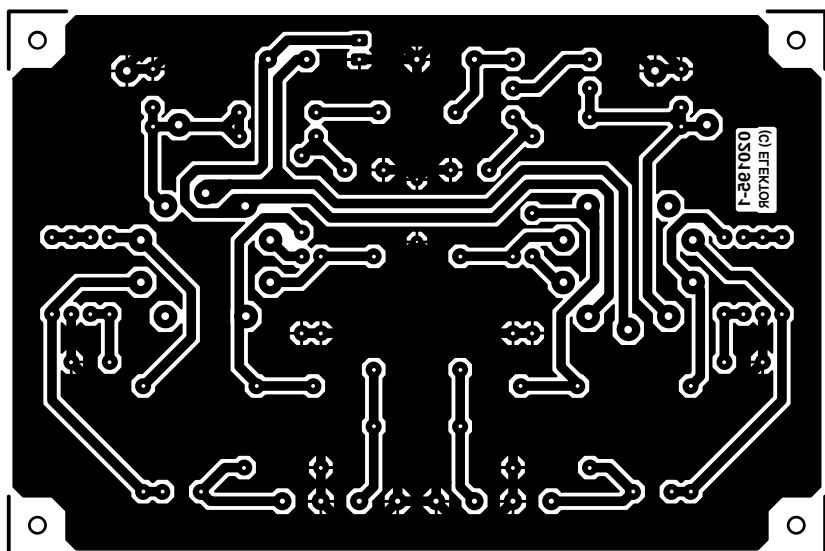
viendront dans ce cas-là prendre place côté cuivre de la platine où ils seront également soudés, le reste des composants étant monté comme d'habitude de sorte qu'ils seront, une fois montés, orientés vers le bas. Les polarités ne changent pas elles.

La totalité des lignes de 230 V doivent être réalisées en conducteur isolé de section suffisante. Il est également indispensable de veiller à l'isolation des points de soudure et de placer une plaquette d'isolation entre la tôle de montage et la face inférieure du transformateur. Il est important en outre de veiller à une bonne circulation de l'air. Le double interrupteur marche/arrêt est intercalé dans la ligne 230 V. Il faudra veiller, lors du positionnement des transformateurs, à les placer le plus loin possible des entrées. Si les transformateurs se trouvent trop près des entrées on ne manquera pas d'entendre, si les embases Cinch se trouvent en l'air et que l'on ouvre le potentiomètre, le crépitement clair typique du 50 Hz.

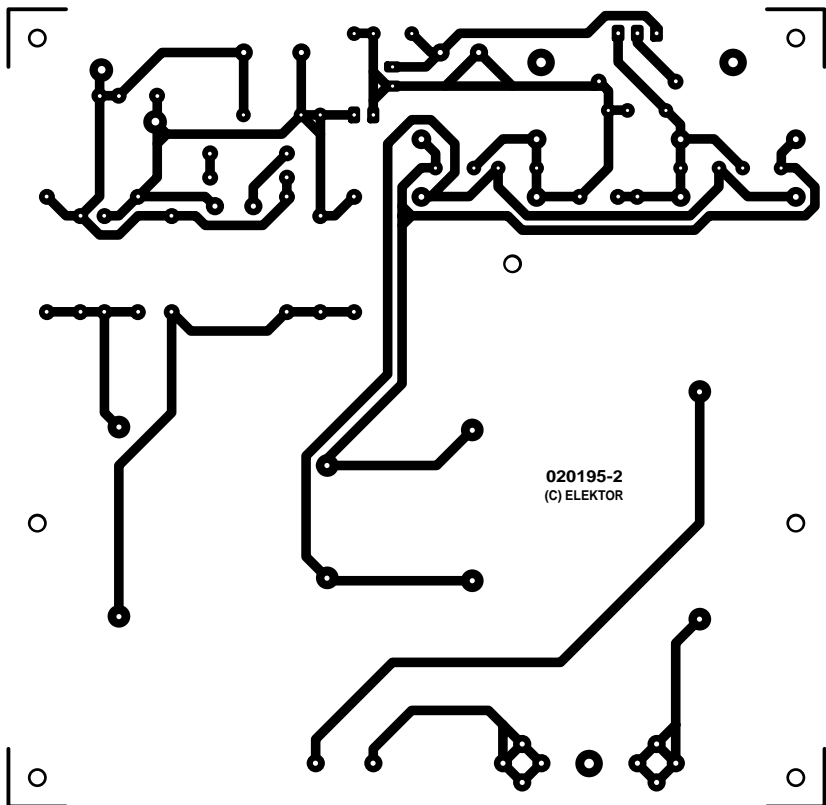
(020195)



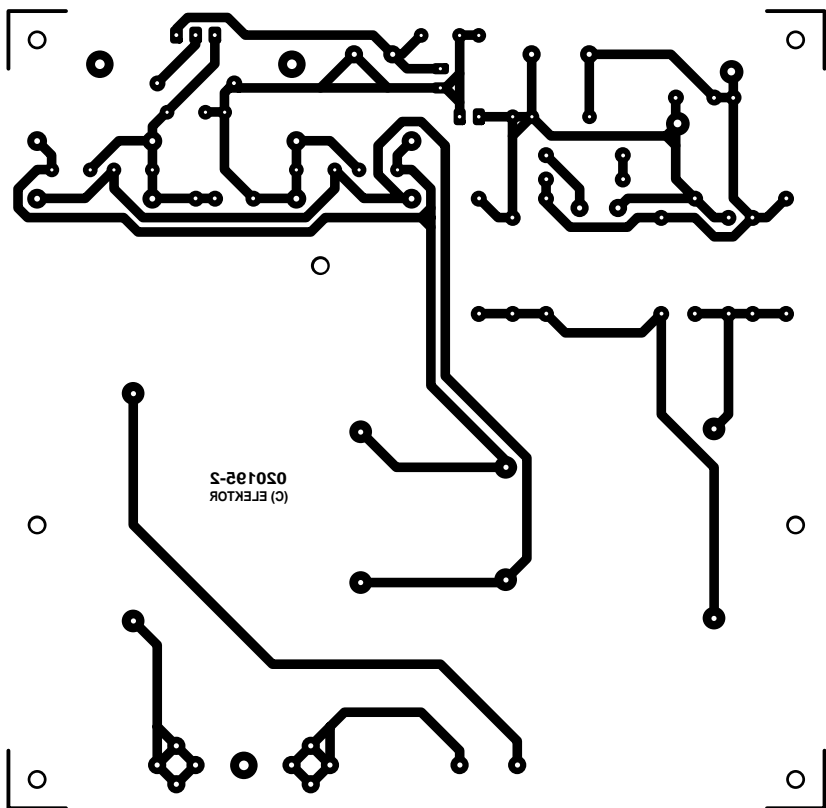
non reflected



reflected



non reflected



reflected