

Kaneda N°189

Ampli ligne pour lecteur CD à gain variable et inverseur à transistor et à tube

Traduction MJ AUDIO 2006-09

Pages 45 à 53

Partie 1

Étant donné que le niveau de sortie audio d'un lecteur CD est peut atteindre 2 V à pleine échelle, jusqu'à présent, les amplificateurs DC ont été utilisés avec un atténuateur inséré à l'entrée. C'était un élément qui ne pouvait pas être modifié tant qu'un amplificateur non inverseur de gain de 1 ou moins n'était pas utilisé.

Par conséquent, en proposant un amplificateur ligne inverseur qui peut réduire le gain à 1 ou moins, nous pouvons bénéficier d'un préampli ligne sans utiliser l'atténuateur d'entrée et qui soit très facile à utiliser. Cette fois, en utilisant ce circuit inverseur, il est présenté en même temps le modèle à semi-conducteurs et à tubes.

Conception du préampli ligne pour CD

Un préampli ligne pour CD est l'un des appareils les plus simples et le plus faciles à fabriquer parmi les amplificateurs.

Comme le niveau du signal est élevé, le gain de l'amplificateur peut être faible et vous n'avez pas du tout à vous soucier du bruit. De plus, comme les caractéristiques de fréquence du signal sont plates, aucune fonction d'égalisation spéciale n'est requise. Cependant, il est également vrai qu'il y a encore des problèmes non résolus du côté de la conception et aucun circuit définitif n'est encore apparu. Quelle pourrait en être la cause? C'est le niveau de signal élevé qui devrait être avantageux pour l'amplificateur. Bien que cela dépende du gain de l'amplificateur de puissance et de l'efficacité du haut-parleur, le niveau du signal de sortie du lecteur CD est généralement suffisamment élevé pour piloter directement l'amplificateur de puissance.

Si un atténuateur est inclus, le niveau est suffisant et il n'est pas nécessaire d'amplifier le signal. Cependant, le fait d'ajouter un simple atténuateur entre source et ampli, affaiblit le son et rend le son "ennuyeux" sans transmettre la "chaleur" de la musique. En effet, l'atténuateur n'a pas la capacité de piloter les câbles de signal ligne, les amplis de puissance ou les filtres séparateurs éventuels.

Par conséquent, une configuration dans laquelle un atténuateur et un amplificateur sont combinés pour former un préampli ligne est généralement utilisée. Cependant, cet atténuateur a de nombreux problèmes en termes de qualité sonore, et des tonalités délicates et une sensation d'énergie ont tendance à se perdre en raison de la perte d'informations due aux contacts et de la détérioration de la qualité sonore due aux résistances de l'atténuateur ou du potentiomètre. Si on veut conserver les signaux musicaux importants, l'atténuateur doit être retiré du chemin du signal.

Dans les préamplificateurs de la série DC et les préamplis ligne, l'atténuateur n'est pas utilisé en série et le gain de l'amplificateur lui-même est modifié en permanence. De plus, le gain "en boucle ouverte" (gain lorsque NFB n'est pas appliqué) et le gain "en boucle fermée" (gain lorsque NFB est appliqué) sont simultanément modifiés de la même quantité de sorte que la qualité sonore ne change pas en fonction du gain, et la quantité de NFB est liée au gain "en boucle fermée".

Au lieu de cela, le comportement est constant. Dans le cas d'une source CD, le niveau d'enregistrement varie considérablement en fonction du morceau. Dans un grand orchestre avec une large gamme dynamique, le niveau d'enregistrement moyen est réglé bas pour qu'il ne soit pas saturé, mais dans la musique de chambre, le niveau est relativement plus élevé, et dans les petites performances de jazz le niveau est souvent très élevé. Afin de correspondre à ces niveaux d'enregistrement et de changer le niveau de reproduction sur une large plage en fonction des conditions d'écoute (et d'environnement), la plage de gain du préampli ligne doit être considérablement large.

En d'autres termes, bien qu'il soit appelé "amplificateur", il doit être possible de varier en douceur et en continu de la fonction atténuateur à la fonction d'amplification du signal.

Caractéristiques d'atténuation VR

Tout d'abord, regardons les caractéristiques d'atténuation d'un volume général de réglage de volume appelé VR. La figure 1 montre un VR très couramment utilisé pour le contrôle du volume.

Les bornes 1 et 3 sont extraites des deux extrémités de la résistance circulaire, et les bornes 2 est le contact qui coulisse tout en entrant en contact avec la surface avec un ressort. Avec (1) comme masse, connectez l'entrée entre 3 et 1 et la tension de sortie est prise entre 1 et 2. La valeur nominale de VR est représentée par la valeur de résistance entre 1 et 3. L'impédance de la source de signal est supposée suffisamment faible par rapport à la valeur de résistance de VR, et l'impédance de charge en aval est supposée suffisamment élevée.

Si la résistance entre 2 et 1 est R_1 , la tension de source V_1 est transmise à l'entrée, la résistance entre 3 et 2 est R_2 et le gain de VR est (L'atténuation est traitée comme un gain négatif):

$$A = R_1 / (R_1 + R_2)$$

Il existe trois types de courbes de variation de résistance R selon les angles de rotation des atténuateurs VR. La courbe B où R augmente proportionnellement à l'angle de rotation n'est pas utilisée pour les réglages du volume. En effet, le volume augmente soudainement dans la plage où θ est petit, car l'ouïe humaine détecte le volume proportionnellement au logarithme de l'énergie du son. Une courbe logarithmique est utilisée pour les réglages du volume.

Il s'agit d'une courbe dans laquelle le taux de changement de R_1 est petit dans la plage où l'angle de rotation θ est petit, et le taux de changement de R_1 augmente lorsque l'angle de rotation θ augmente.

La figure 2 montre les résultats de mesure du type 100Kohms A de 30 mm de Cosmos. L'angle de rotation θ est représenté par une échelle qui divise l'angle de rotation total de VR en 10 parties égales, et les caractéristiques de changement de R_1 par rapport à cette échelle sont mesurées.

Le changement de la valeur de résistance est faible de 0 à 4. L'échelle de 6 à 8 présente le taux de variation le plus élevé et change de façon presque linéaire. Lorsque l'échelle est de 8 ou plus, le taux de changement diminue progressivement et les caractéristiques de saturation sont atteintes. Il s'agit d'une combinaison de lignes droites plutôt que d'une courbe lisse, qui est une ligne dite "polygonale".

A ce titre, des deux atténuateurs VR, celui le plus proche de l'écrou de montage est utilisé pour le canal gauche le plus éloigné est utilisé pour le canal droit, mais l'erreur d'appairage est assez petite et se situe bien dans la plage pratique.

La figure 3 est un calcul de la variation de gain A (dB) par rapport à l'échelle de l'angle de rotation de l'atténuateur sur la base des données de la figure 2. Lorsque le gain A (dB) change linéairement par rapport à l'échelle de rotation, il devient un atténuateur facile à utiliser comme réglage de volume. La plage de 1 à 7 est linéaire et convient pour l'ajustement du volume. Le taux de changement est important dans la plage de 1 et moins, et l'erreur d'appairage augmente dans la plage de 0,5 et moins. Lorsque l'échelle est de 7 ou plus, le taux de changement est faible et lorsque l'échelle est de 9 ou plus, le changement est presque nul. La plage pratique de cet atténuateur est de 1 à 9 globalement et la plage de changement du gain A est de 28 dB. Même s'il peut être utilisé jusqu'à 0,5 dans ce cas la plage de changement est de 34dB.

Amplificateur non inverseur

Dans le monde des amplificateurs opérationnels, les amplificateurs "inverseurs" (amplificateurs dont la phase de sortie est inversée par rapport à l'entrée) et les amplificateurs "non inverseurs" (amplificateurs dont la phase de sortie est la même que la phase d'entrée) sont utilisés presque aussi fréquemment.

La plupart des amplificateurs utilisés pour l'audio sont des amplificateurs "non inverseurs", à l'exception des amplificateurs spéciaux tels que les amplificateurs de mixage. En effet, l'amplificateur "non inverseur" a une impédance d'entrée élevée et convient à une amplification de tension. L'impédance d'entrée d'un amplificateur "inverseur" est déterminée par la résistance d'entrée, et l'impédance d'entrée est relativement petite, de sorte qu'elle peut ne pas convenir à l'amplification de tension dans de nombreux cas. La figure 4 montre un amplificateur "non inverseur". La tension d'entrée V_i est injectée dans l'entrée non inverseuse (+) de l'amplificateur, et la tension de sortie V_o est divisée par les résistances de rétroaction R_F et R_S et injectée dans l'entrée inverseuse (-) en tant que tension de rétroaction V_F .

Le gain en boucle fermée ANF de l'amplificateur non inverseur est basé sur le principe du court-circuit imaginaire, en supposant que VF de l'entrée inverseuse et V1 de l'entrée non inverseuse sont égaux :

$$V1 = Vf = V0 (RS/RS+RF)$$

De là, le gain fermé ANF devient : $A_{NF} = V0/V1 = RS/(RS+RF)$

ANF est déterminé par RF et RS, et lorsque RF = 0, ANF devient la valeur minimale 1 (0 dB). En d'autres termes, même si 100% de Vo est renvoyé à l'entrée, Le gain ANF ne descend pas en dessous de 1.

La figure 5 montre le préampli ligne CD de la série DC, qui est également décrit dans "Tout sur la fabrication des amplificateurs audio DC". RS est fixé à 1kΩ et RF est variable à VR de 50KΩ. Le gain minimum est de 0dB, le gain maximum est de 34 dB et la plage de changement de gain est de 34 dB. Si le gain maximum est trop important, réglez VR sur 20KΩ. Le gain maximum est plus petit à 26 dB, mais le gain minimum est toujours de 0 dB, donc la plage de changement de gain est réduite à 26 dB.

Dans l'amplificateur "non inverseur", la plage de variation de gain est déterminée par la valeur de VR. Avec un préampli ligne CD, le gain de 0dB à +34dB est trop important, donc le signal est atténué de 20dB avec un atténuateur de 51kohms et 5.1KΩ connecté à la section d'entrée, puis amplifié par l'amplificateur, et le gain total est donc de -20dB à + 14dB. Étant donné que le niveau du signal est trop élevé pour un système de haut-parleurs à haut rendement, si l'atténuation de l'atténuateur est de 28dB, le gain total sera de -28 dB à +6 dB.

Dans l'amplificateur "non inverseur", afin de régler le gain total dans une plage appropriée, le signal doit être atténué puis amplifié à la section d'entrée. De plus, comme le gain minimum ne peut pas être nul, le volume ne peut pas être réduit et un interrupteur de "muting" est nécessaire pour court-circuiter le signal d'entrée à la masse. On ne peut rien y faire...

Amplificateur inverseur

L'amplificateur non inverseur a une impédance d'entrée élevée et il convient bien pour l'amplification de tension.

Néanmoins, l'impédance d'entrée n'a pas forcément besoin d'être élevée pour amplifier le signal issu d'un lecteur CD. Selon l'impédance du lecteur CD, une impédance d'entrée de 20KΩ minimum est requise.

Dans ce cas, un ampli "inverseur" peut être utilisé. La figure 6 montre l'ampli inverseur.

Sa caractéristique est que l'entrée non inverseur est connectée à la masse et le signal d'entrée et la contre réaction sont envoyés dans l'entrée inverseuse. A cause du principe de court-circuit imaginaire, le courant d'entrée I est déterminé par V1 et RS cas le voltage de l'entrée inverseuse est égal au voltage de l'entrée non inverseuse (OV).

$$I=V1/Rs$$

Le court-circuit imaginaire est virtuel et non réel, donc le courant I circule dans RF et génère le voltage de sortie V0.

$$V0 = -RF I = -VI (RF/RS)$$

Le gain ANF devient:

$$A_{NF} = -V0/VI = - RF / RS$$

Le signe négatif dans la formule du gain ANF signifie que la sortie est en opposition de phase avec l'entrée. ANF est défini par le rapport de RF et RS. Si RF = RS, ANF = 1 (0dB).

Lorsque RF<RS, ANF peut être inférieur à 1. Si RS est fixe et RF variable avec un potentiomètre, ANF peut être ajusté en continu de - à + c'est-à-dire d'une atténuation à une amplification. Si RF =0, le volume peut être réduit à 0. L'impédance d'entrée de l'ampli inverseur est égale à RS, si RS est fixé entre 20 et 100 KΩ, l'ampli est adapté à l'amplification de tension d'une source CD.

Le point à noter dans l'ampli inverseur est sa capacité en courant de sortie. Puisque RF devient la résistance de charge de l'ampli, lorsque RF est petit, il faut avoir suffisamment de courant pour alimenter cette résistance. Si la plage de variation de ANF est 40dB, et pour RF=100KΩ, la valeur minimale de RF est 1KΩ. Si le courant de sortie maxi de l'ampli est 10mA, la sortie de sortie maximale sera de 10V (crête).

Tous les amplis DC sont de type "push-pull" sauf l'ampli égaliseur à tube, et les amplis symétriques ont une excellente capacité en courant. L'ampli inverseur à gain variable peut être considéré comme le plus approprié pour la source CD.

Type-P preampli ligne pour CD

La figure 7 montre le préampli ligne CD type P. À l'origine, il s'agit d'un amplificateur opérationnel à grande vitesse avec entrées inverseuses et non inverseuses, donc il n'y a pas de problème même s'il fonctionne comme un amplificateur inverseur. La gate de Tr1 est à la masse, qui est l'entrée non inverseuse, et l'entrée inverseuse se fait sur la gate de Tr2. Le signal d'entrée est injecté à travers la résistance d'entrée 51kΩ et le signal de sortie est renvoyé à la gate de Tr2 via le potentiomètre VR. VR agit comme RF, et A_{NF} est continuellement modifié par le changement de sa valeur de résistance. La plage de changement correspond à la plage de changement du potentiomètre VR, et si VR est réglé sur zéro, le volume peut être réduit à zéro.

Le type de Fet peut être vu en comparant la Fig.7 et la Fig.5, mais cet appareil à FET canal N est celui de la figure 5.

Les transistors NPN de l'étage de sortie sont remplacés par des transistors PNP. C'est la capacité spéciale d'un amplificateur de symétrie spécial de le faire. En effet, le transistor de sortie 2SC959 de la figure 5 est devenu difficile à obtenir, ce qui rend impossible pour une personne qui fabrique un amplificateur de ligne CD pour la première fois de l'obtenir. Le 2SA606 est toujours disponible et sa sonorité a déjà été testée dans un amplificateur de puissance. Il peut donc être utilisé.

En tant que concepteur de circuits, il y avait également un désir de réaliser un amplificateur dans lequel les canaux P et N étaient interchangeable. Le premier étage de l'amplificateur de ligne de la figure 7 est un transistor FET à canal P, et l'étage de sortie est un transistor PNP, il est donc appelé amplificateur de ligne de "type P". D'un autre côté, sur la figure 5, le premier étage est le même mais à FET canal N et l'amplificateur de l'étage de sortie est à transistors NPN, c'est un amplificateur de ligne de "type N".

Maintenant, changeons les caractéristiques en gain de l'amplificateur inverseur. La figure 8 montre la caractéristique de gain selon l'échelle de rotation du potentiomètre VR. Elle est similaire à la caractéristique de gain théorique de la figure 3, et c'est une caractéristique qui est simplement translatée dans la direction de l'axe vertical.

Le gain de l'amplificateur inverseur avec RS fixe et RF variable est déterminé par la valeur de résistance RF.

C'est exactement conforme à la théorie de fonctionnement.

La plage de gain variable correspond à la plage de changement de résistance du potentiomètre VR. Si vous voulez augmenter le gain, vous pouvez réduire RS à 33 kΩ ou 22kΩ. Pour réduire le gain, RS peut être augmenté à 100kΩ, ou VR peut être réglé à 50 kΩ tandis que RS reste 51kΩ. Il n'y a pas de problème car la sortie courant de l'ampli est suffisante.

C'est plus facile à adapter. Dans tous les cas, la plage de changement de gain ne change pas.

Le son de cet appareil est finalement déterminé par le circuit de correction de phase du premier étage. Si vous le rendez un peu plus grand que la capacité déterminée par la réponse en signal carré à 100kHz, le son sera brillant et moelleux. Le courant de repos I_o de l'étage de sortie est réglé sur 5 à 7 mA.

Puisqu'il y a la marge de perte du collecteur des transistors de sortie Tr, environ 10 mA peuvent être autorisés à s'écouler. De plus, en tant que convention de représentation du schéma de circuit de l'amplificateur, il est normal de dessiner le rail + de l'alimentation en haut et le rail - de l'alimentation en bas, mais sur la figure 7, une alimentation est intentionnellement inversée pour faciliter la compréhension du circuit et de la correspondance avec le schéma de la carte.

Type-N preampli ligne pour CD

La figure 9 montre le préampli ligne pour CD de type N. Le semi-conducteur est la même combinaison que sur la figure 5, et le circuit est celui dans lequel le transistor FET et Tr sur la figure 7 sont remplacés. La résistance du circuit et le courant de fonctionnement sont les mêmes. La figure 10 montre l'échelle de l'angle de rotation VR par rapport à la caractéristique de gain du préampli ligne de type N. Cette caractéristique a également une plage de gain variable déterminée par la plage variable de VR comme sur la figure 8.

Il est arrivé d'utiliser celui avec très peu d'erreur d'appareillage du potentiomètre VR, donc le gain est bien aligné même si l'échelle est de 1 ou moins.

Avec cette caractéristique, c'est suffisamment utilisable même si la plage de variation de gain est de 46 dB. Il était possible de dépasser la plage de changement de gain de l'amplificateur non inverseur de 12 dB. Si vous modifiez la valeur de VR, vous pouvez réduire l'erreur d'appareillage et élargir la gamme des changements de gain pratiques.

Alimentation pour le preampli ligne à transistors

La figure 11 montre l'alimentation du préampli ligne CD à semi-conducteur, c'est une alimentation qui peut être utilisée à la fois pour le type P et le type N. Deux alimentations DC de 27V indépendantes sont réalisées par redressement de pont, et elles sont distribuées vers une alimentation + et une alimentation -. Étant donné que le faible nombre d'étages amplificateurs dans le préampli ligne et que la consommation de courant est faible, la capacité du condensateur de filtrage après rectification peut être réduite. Un condensateur vertical peut être utilisé pour câblage sur carte, placés conjointement avec les diodes, et l'alimentation est compacte et facile à réaliser. C'est plus pratique et plus facile à réaliser dans la situation actuelle où de nombreuses personnes n'ont que des CD comme sources. Bien entendu, l'alimentation peut être séparée l'alimentation peut être utilisée ensemble avec le préamplificateur MC phono. Dans ce cas, réglez la capacité du filtre condensateur sur 4700 µF.

Amplificateur de ligne CD à tubes

De vrais amplificateurs DC à tubes sont apparus dans la série des amplificateurs DC qui avait commencé avec les transistors bipolaires en tant qu'élément actif dominant ; les amplificateurs à semi-conducteurs et les amplificateurs à tubes ont continué à évoluer, et maintenant les amplificateurs DC comportent également un grand nombre d'amplificateur à tubes.

Par conséquent, cette fois, le préampli ligne pour CD à tube est présenté en même temps que le préampli ligne à semi-conducteurs. Même avec les amplificateurs DC à tubes, nous recherchons la qualité sonore et la facilité de fabrication en parallèle.

Le câblage direct qui n'utilise pas de support de tube est devenu courant dans les amplificateurs DC à tubes, mais les tubes idéaux 384A et 386A pour les préamplificateurs sont difficiles à obtenir. Le tube 717A, qui a une base octale comportant toutes les pins et sans prise de grille en partie supérieure aurait des caractéristiques et un son similaires. Si la base octale pouvait être retirée, le même câblage de carte que le 384A pourrait être fait. Je me suis demandé s'il y avait un moyen de retirer la base octal pendant deux ans, mais j'ai finalement réalisé que je n'avais pas du tout besoin de retirer la base. Il suffit de câbler directement les broches du tube et de souder dessus. Dans ce cas, aucun courant de signal ne traverse la partie métallique de la broche. Câblage direct des fils de sortie, similaire aux tubes sub-miniatures et type 384A.

J'ai rapidement trouvé un moyen de fixer le tube. Percez un trou de 20 mm dans la carte à travers lequel huit broches passent. Placez la goupille dans le trou de la planche et enroulez l'attache Insulok (ABI100) autour de la racine de la goupille. Puisque cela seul fait que le fond de la base entre en contact étroit avec le substrat, il est fixé de manière stable. Étant donné que le tube à vide peut être tourné même après le montage, il peut être fixé à l'angle de montage optimal.

Pour le câblage entre les broches et la carte, utilisez 7 brins. Câblez le radiateur directement avec un cordon de 20 Gauge. Vous pouvez câbler jusqu'à trois cordons de 20 Gauge sur une broche. Tout d'abord, soudez le premier fil, puis empilez les deuxième et troisième fils par-dessus pour assurer un câblage fiable. C'est vraiment facile à essayer. En raison de la hauteur de la base, le câblage plan sur la carte et le câblage tridimensionnel entre les broches peuvent être répartis de manière raisonnable, et la disposition de la carte est extrêmement facile à câbler.

Jusqu'à présent, le tube MT était le principal type de câblage utilisé sur carte pour les tubes à vide, mais il s'est avéré que le tube GT est plus adapté au câblage sur carte. Le 717A est à l'origine fabriqué par Western Electric, mais peut être obtenu de chez Tungsol.

La figure 12 montre le préampli ligne CD à tubes. Le circuit de base est le même que celui du préamplificateur MC conventionnel, mais la principale caractéristique est qu'il fonctionne comme un amplificateur inverseur.

La figure 13 montre l'échelle VR par rapport aux caractéristiques de gain A du préampli à tubes. Comme avec l'amplificateur de ligne FET + Tr, le gain maximum de l'amplificateur ligne qui a la même caractéristique de changement de gain que la caractéristique de changement de valeur de résistance VR, est au plus de 6 dB.

Au stade de la conception, je pensais que la dérive en sortie se situerait bien dans la plage pratique, même sans circuit AOC, mais cela n'a pas fonctionné, et la dérive initiale à la mise sous tension et la dérive pendant un fonctionnement de longue durée dépassent la plage pratique au gain maximum. Je l'ai compris ensuite. Même avec un gain d'environ 6 dB seulement, il est difficile de fabriquer un amplificateur DC stable avec des tubes. Cependant, en réglant un AOC simple, il devient un amplificateur extrêmement stable dans toutes les conditions, et vous pouvez profiter pleinement du charme de l'amplificateur à tube et de l'amplificateur DC, de sorte que l'AOC est un circuit utile et pratique. La figure 14 est l'AOC. Ajuster I_0 de l'étage de sortie de l'amplificateur de ligne avec la résistance d'émetteur du circuit à courant constant Tr5.

Alim du preampli ligne à tube

La figure 15 montre l'unité d'alimentation électrique du préampli ligne CD à tubes. Étant donné que l'amplificateur de ligne ne nécessite pas de régulateur, la figure 16 montre un régulateur de 6,3 V pour le chauffage, qui est une simple source d'alimentation HT avec uniquement un circuit de redressement par le tube de redressement 412A.

Pour le chauffage il s'agit d'un simple régulateur utilisant le régulateur à 3 bornes LM338, mais il est fixé au panneau latéral droit de l'amplificateur pour la dissipation thermique. La diode à tension constante RD24F connectée à la ligne de chauffage filament des tubes 717A. C'est pour la polarisation du filament et maintenir la tension de cathode à moins que la tension de claquage.

(A suivre)

Tables des graphiques :

Figure 1 : atténuateur VR

Figure 2 : caractéristiques de résistance en fonction de la position de l'atténuateur VR

Figure 3 : caractéristiques d'atténuation dB en fonction de la position de l'atténuateur VR

Figure 4 : amplificateur non inverseur

Figure 5 : amplificateur ligne précédent (non inverseur)

Figure 6 : amplificateur inverseur

Figure 7 : Schéma de l'amplificateur ligne CD type P

Figure 8 : caractéristiques d'atténuation dB en fonction de la position de l'atténuateur VR – ampli type P

Figure 9 : Schéma de l'amplificateur ligne CD type N

Figure 10 : caractéristiques d'atténuation dB en fonction de la position de l'atténuateur VR – ampli type N

Figure 11 : alimentation du préampli ligne CD à transistors.

Figure 12 : Schéma de l'amplificateur ligne CD à tubes.

Figure 13 : caractéristiques d'atténuation dB en fonction de la position de l'atténuateur VR – ampli à tube.

Figure 14 : circuit AOC.

Figure 15 : alimentation du préampli ligne CD à tubes.

Figure 16 : régulateur 6,3V

Tables des photos :

Photo p49 : préampli ligne type P à alimentation intégré. Le volume peut être réglé à 0 sans utiliser l'interrupteur de "muting" conventionnel.

Photo p51 - haut : placer le transfo d'alim sur le fond du côté de l'interrupteur pour l'empêcher de basculer quand on allume. Cartes d'ampli ligne 1 et 2.

Photo p51 – bas : préampli CD ligne à tube avec alimentation séparée. Il utilise 4 tubes 717A par canal, pour l'étage différentiel d'entrée et l'étage de sortie.

Photo p53 : alimentation du préampli à tube, avec transfo R-core, redressement à tube et condensateurs chimiques haute tension, le montage est plus dense.