

SUPRA

préamplificateur phono MM/MD à bruit minimal

Thomas Scherer (Allemagne) et Ton Giesberts (labo d'Elektor)

Le vinyle fait un retour en force auprès des amateurs de hi-fi. Le son du microsillon est et reste très particulier, on ne peut pas le comparer à celui des sources numériques. Son point faible a toujours été la petitesse du signal issu du phonocapteur, donc la sensibilité au bruit de fond. Pour réduire autant que possible le bruit dans l'étage le plus critique, à savoir l'étage d'entrée du préampli correcteur, l'idée est de mettre quatre amplificateurs opérationnels spéciaux en parallèle. Ce truc, Elektor l'a déjà présenté en 1982, mais avec les transistors de l'époque !

2.0



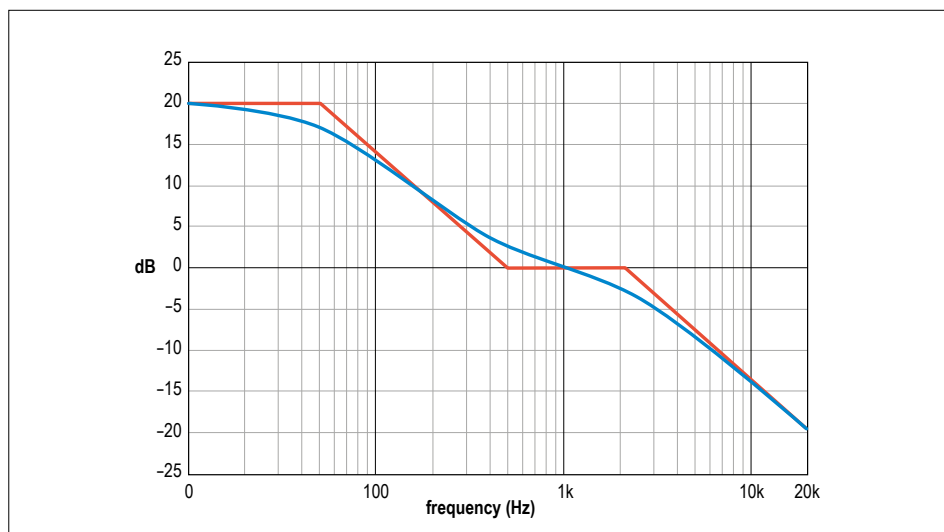


Figure 1. En théorie et en pratique, l'allure de la courbe de correction RIAA des disques vinyle.

Depuis le début de son existence, Elektor a toujours eu une prédilection pour les circuits audio. D'innombrables projets ont ainsi vu le jour, parmi lesquels certains très particuliers et novateurs. L'un d'eux fut SUPRA, un préamplificateur pour phonocapteur paru dans le numéro double d'été en 1982. Son nom découle de la contraction de *SUPER RuisArm* (à bruit *SUPER RARE*). On y est arrivé en montant dans l'étage d'entrée huit transistors à faible bruit (BC550/BC560) en parallèle. Dans cette configuration, le bruit est réduit d'un facteur $\sqrt{8} = 2,82$ fois. Une

mettre au point une nouvelle version de SUPRA, à amplificateurs opérationnels, bien entendu !

Actuellement, on trouve des circuits intégrés dont les caractéristiques de bruit sont optimisées au point qu'un ajustement au cas par cas n'est plus nécessaire. Un LT1028, par exemple, a un facteur de bruit de $0,9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Avec quatre de ces puces en parallèle, le bruit est encore réduit de moitié ! C'est tellement faible, qu'il n'y a aucune raison d'en ajouter d'autres en parallèle, parce que

tique définie en 1954 par la RIAA (*Recording Industry Association of America*). Lors de la gravure du disque, on applique la caractéristique inverse pour éviter une trop grande excursion du burin aux basses fréquences et améliorer le rapport signal/bruit dans l'aigu. La **figure 1** reproduit les courbes théorique et pratique de la caractéristique de correction RIAA. Elle s'établit sur trois constantes de temps : 3 180, 318 et 75 μs , ce qui correspond à des pôles aux fréquences de 50, 500 et 2 122 Hz.

Dans les décennies passées, les concepteurs ont pensé à différentes variantes pour créer des circuits dont la correction serait aussi favorable que possible, du tout actif au tout passif, avec diverses formes intermédiaires. Il y a toujours eu de nombreuses discussions sur la configuration qui sonnait le mieux. Ce projet repose sur une structure hybride, moitié active et moitié passive, comme vous allez le voir dans le schéma.

Le circuit

Malgré le quadruplement des amplis op, le schéma de la **figure 2** reste de grandeur plus raisonnable que redouté. À côté des quatre amplificateurs d'entrée, il faut encore un double ampli op par canal, un LM833 ici. Les valeurs mentionnées sont destinées à une cellule MM/MD (à aimant mobile, magnétodynamique) dont la tension nominale délivrée est d'environ 2 mV. Mais une simple adaptation des valeurs de quelques résistances le rendrait apte à travailler avec des cellules MC (à bobine mobile) d'une plus faible tension de sortie. C'est un sujet que nous aborderons dans une prochaine édition.

L'impédance d'entrée du préampli est déterminée par R1 (47 k Ω) et C1/C1'. Vu l'absolue symétrie, nous ne considérons ici que les composants d'un canal. Ces condensateurs, combinés au câble de connexion, forment la capacité de bouclage que le transducteur aperçoit, la meilleure valeur peut être différente pour chaque cellule. Vous pouvez l'adapter vous-même en remplaçant C1' et C26' par d'autres condensateurs si nécessaire. Il suffit de savoir que le câble de connexion vers la table de lecture peut avoir une capacité interne de 100 à 200 pF.

Les quatre entrées des amplis op IC1 à IC4 ne sont pas directement reliées en parallèle, elles sont dotées chacune d'un réseau de rétroaction propre (R5/R4 etc.

▶ le grand retour du vinyle

avancée considérable, surtout avec les cellules à bobine mobile (MC *moving coil*) dont la tension de sortie est très basse. Le résultat a conduit à un circuit imprimé de grande taille avec vingt transistors par canal !

À présent que les tables de lecture, les préamplificateurs pour phono et les disques vinyle sont en vogue, de nombreux amateurs rêvent de construire leur propre préampli phono. Sur l'internet, le SUPRA de 1982 est encore un classique, un sujet chaud que l'on retrouve dans divers forums. La tentation était forte de

les résistances du circuit, ainsi que la résistance interne de chaque puce, produisent déjà un bruit thermique plus fort. Un ampli op de ce type coûte entre cinq et dix euros, ce qui donne déjà un total assez élevé. Mais nous sommes certains qu'un véritable audiophile ne lésine pas sur la dépense quand il s'agit de la qualité sonore optimale.

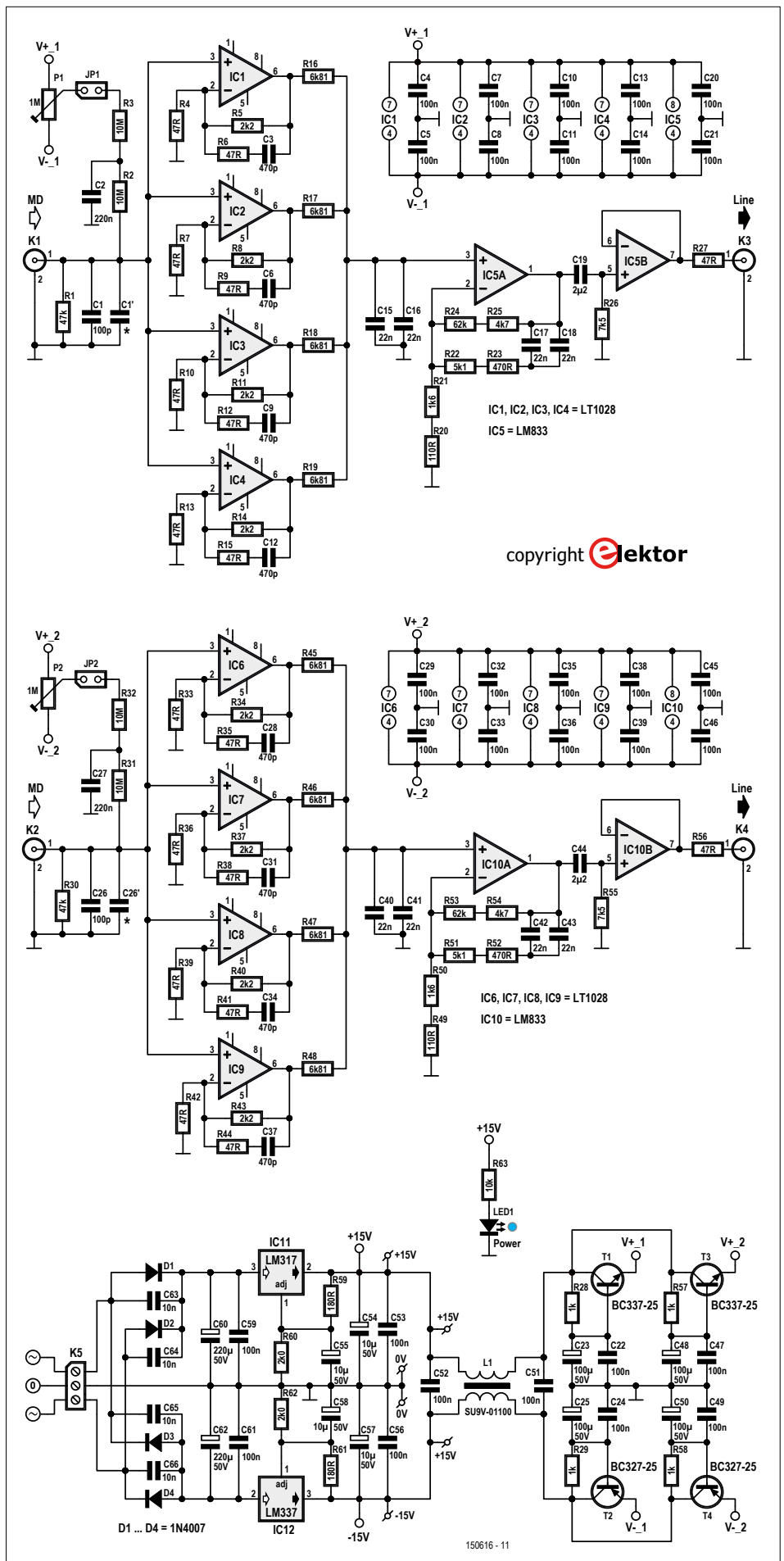
Avec cette configuration parallèle d'amplis op, nous n'avons pas encore un préampli phono convenable, il y manque le circuit de correction RIAA essentiel. Il doit amplifier davantage les fréquences basses et affaiblir les hautes selon une caractéris-

gain 48x). En outre, la bande passante de chaque ampli est déterminée par un réseau séparé. La largeur de bande en boucle ouverte (*GBW*) d'un LT1028 est de 70 MHz. Même avec une amplification de 48 fois, sa largeur de bande est encore proche de 1,5 MHz. Comme l'entrée est très sensible, il est indispensable de limiter la bande passante à une valeur pratique pour que l'ensemble ne se mette pas à jouer au récepteur de radio. Le condensateur de 470 pF la limite à environ 150 kHz. La résistance de 47 Ω en série avec ce condensateur favorise la stabilité de l'ampli op, lequel est compensé en interne pour une amplification de 2 fois. Malgré toutes ces précautions, la section d'entrée se met en oscillation si l'entrée est ouverte et qu'il n'y a pas de condensateur d'entrée. Lors des tests du circuit, veillez toujours à boucler l'entrée par une résistance de 1 k Ω tout au plus. Les signaux de sortie des amplis op sont additionnés par les résistances R16 à R19, lesquelles forment aussi avec C15/C16 le filtre passif de correction à 75 μ s pour la courbe RIAA. De cette manière, le bruit à haute fréquence est éliminé à cet endroit. Pour que la caractéristique de bruit dans ce réseau passif soit aussi basse que possible, les composants sont choisis à basse impédance. Il ne faudrait pas que l'avantage de la mise en parallèle des amplis soit réduit à néant par les composants qui suivent.

Voici une digression à propos des condensateurs utilisés dans ce circuit. Ceux à la céramique sont les pires que l'on puisse mettre dans un montage audio. Or, nous voulons tendre vers l'excellence, aussi tous les condensateurs situés aux endroits importants sont au polyester, avec une tolérance de 1 %. Ils coûtent cher, mais c'est le meilleur choix pour ce projet. Pour l'implantation de nombreux condensateurs, il y a dans le circuit imprimé des trous qui correspondent à différents écartements pour que vous puissiez utiliser d'autres modèles, comme MKT ou MKP.

L'étage suivant, avec IC5A, fournit un gain de 40 fois ; en outre, par les boucles

Figure 2. Le schéma du préamplificateur à faible bruit montre qu'il y a bien en parallèle quatre amplificateurs opérationnels par canal dans l'étage d'entrée.



de rétroaction R20 à R25/C17 et C18, il assure en même temps les deux autres corrections de la courbe RIAA à 3 180 et 318 μ s. Ces deux valeurs se distinguent d'un facteur 10, de sorte que le gain diminue de 40 à 4 fois. Si vous voulez savoir comment calculer les valeurs précises des réseaux de correction, rendez-vous sur la page du projet sur le site d'Elektor Labs [1].

Suit encore un étage tampon avec IC5B. Il constitue aussi un filtre passe-bas passif (C19/R26) avec un pôle à 10 Hz pour affaiblir d'éventuels signaux à très basse fréquence produits par les organes de roulement du tourne-disque. Pour ce condensateur aussi, une grande place

est réservée sur le circuit imprimé pour un condensateur de 2,2 μ F au polypropylène, qui a de meilleures propriétés audio que ceux au polyester, avec la possibilité d'en installer d'un autre type.

Nous avons ainsi fait le tour du circuit préamplificateur, mais retournons à sa partie d'entrée. Selon la fiche technique, le LT1028 est muni d'une compensation interne de la polarisation, mais ce courant d'entrée peut malgré tout atteindre maximum ± 180 nA (± 90 nA sur la version A). Avec quatre amplis op en parallèle, il se pourrait qu'un courant de maximum ± 720 nA circule à travers la cellule. En pratique, ce sera sûrement moins, d'au-

tant que les courants d'entrée des quatre amplis se compenseront sans doute en grande partie. Mais, par sécurité, nous avons quand même prévu un petit circuit de compensation de ce courant. Il se compose de deux résistances de valeur élevée (R2/R3 avec condensateur de découplage C2) en série avec le curseur du potentiomètre d'ajustage P1. Il peut intervenir en mettant le cavalier JP1 en place, si nécessaire. Dans ce cas, mesurez avec un multimètre à haute impédance la tension à l'entrée quand rien n'y est branché. Réglez P1 pour atteindre un minimum de tension à l'entrée. Répétez la procédure pour l'autre canal avec JP2 et P2. Mais dites-vous bien que P1

Liste des composants

Résistances :

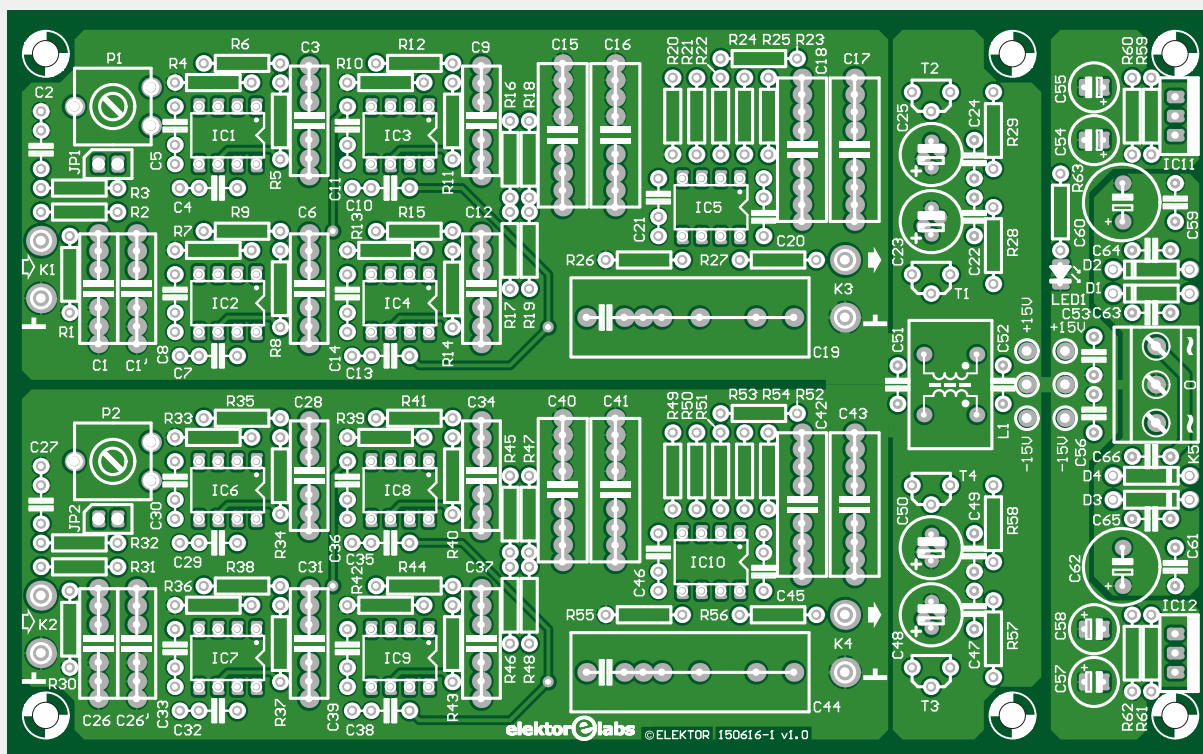
R1, R30 = 47 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R2, R3, R31, R32 = 10 M Ω , 5 %/0,25 W carbone
 R4, R6, R7, R9, R10, R12, R13, R15, R27, R33, R35, R36, R38, R39, R41, R42, R44, R56 = 47 Ω , 1 %/0,5 W film métallique
 R5, R8, R11, R14, R34, R37, R40, R43 = 2k2, 1 %/0,6 W film métallique
 R16 à R19, R45 à R48 = 6,81 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R20, R49 = 110 Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R21, R50 = 1,6 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R22, R51 = 5,1 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R23, R52 = 470 Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R24, R53 = 62 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R25, R54 = 4,7 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique

R26, R55 = 7,5 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R28, R29, R57, R58 = 1 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R59, R61 = 180 Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R60, R62 = 2,0 k Ω , 1 %/0,6 W film métallique
 R63 = 10 k Ω , 5%/0,25 W carbone
 P1, P2 = 1 M Ω , 20 %/0,15 W potentiomètre ajust. vertical

Condensateurs :

C1', C26' = non installé, cf. texte
 C1, C26 = 100 pF/160 V, 2,5 %, axial, polystyrène, max. 12,9 x 5 mm (valeurs de C1 et C26 adaptées à la cellule MM utilisée)
 C2, C27 = 220 nF/100 V, 10 %, au pas de 5/7,5 mm

C3, C6, C9, C12, C28, C31, C34, C37 = 470 pF/160 V, 2,5 %, axial, polystyrène, max. 12,9 x 5 mm, au pas de 5/7,5/10/14,6 mm
 C4, C5, C7, C8, C10, C11, C13, C14, C20, C21, C29, C30, C32, C33, C35, C36, C38, C39, C45, C46 = 100 nF/50 V, 10 %, X7R, au pas de 5,08/7,62 mm
 C15 à C18, C40 à C43 = 22 nF/63 V, 1 %, axial, polystyrène, max. 17 x 6,5 mm, au pas de 5/7,5/10/14,6/19 mm
 C19, C44 = 2,2 μ F/420 V, 10 %, polypropylène, au pas de 5/7,5/10/15/22,5/27,5 mm
 C22, C24, C47, C49, C51, C52, C53, C56, C59, C61 = 100 nF/50 V, 10 %, X7R, au pas de 5,08 mm
 C23, C25, C48, C50 = 100 μ F/50 V, 20 %, diam. max. 8 mm, au pas de 2,5/3,5 mm



et P2 ne servent pas à corriger en sortie les tensions de dérive des amplificateurs d'entrée !

Stabilisation de tension

L'alimentation est tout à fait classique avec un LM317 pour le +15 V et un LM 337 pour le -15 V. Découpler la broche d'ajustage par un condensateur électrolytique apporte un affaiblissement de l'ondulation d'environ 80 dB. Le redresseur double (D1 à D4) à l'entrée permet différentes options d'alimentation. On peut déjà utiliser un transformateur secteur à secondaire unique (18 V et 6 W) à connecter entre 0 et l'un des ~ de K5, mais un tel redressement à simple alter-

nance fait trop de vagues pour être une solution intéressante. Il est préférable de choisir un transformateur à deux secondaires, comme le FL6/18 de Block. Il a en plus deux primaires, on peut donc l'utiliser aussi sur un secteur à 115 V. Autre possibilité, une alimentation continue symétrique à part ou une petite alimentation à découpage dont nous parlerons plus loin. Les lignes positive et négative d'arrivée se raccordent alors sur les deux entrées ~ de K5. Peu importe le sens de branchement, les diodes font le nécessaire, il faut seulement que le 0 soit à la bonne place.

Les tensions de sortie des deux stabilisateurs passent alors par le filtre L1

qui atténue efficacement les parasites de mode commun. Suivent alors quatre filtres passe-bas activés par T1 à T4 avec une constante de temps de 0,1 s (R28/C23 et suivants). Les lignes positives et négatives de chaque canal sont alimentées séparément par ces filtres. De quoi nous assurer d'une alimentation absolument propre.

Choix de l'alimentation

Analogique ou à découpage, telle est la question.

Analogique

Si vous considérez qu'un convertisseur CC/CC n'a pas sa place dans un préam-

- C54, C55, C57, C58 = 10 µF/50 VF, 20 %, diam. max. 6,3 mm, au pas de 2,54mm
- C60, C62 = 220 µF/50 V, 20 %, diam. max. 10 mm, au pas de 5,08 mm
- C63 à C66 = 10 nF/50 V, 20 %, Y5V, au pas de 5,08 mm

Inductances :

- L1 = SU9V-01100, bobine d'arrêt, mode commun 2 x 10 mH/100 mA

Semi-conducteurs :

- D1, D2, D3, D4 = 1N4007, DO-41
- LED1 = LED bleue haute intensité 3 mm, T-1
- T1, T3 = BC337-25, TO-92
- T2, T4 = BC327-25, TO-92
- IC1 à IC4, IC6 à IC9 = LT1028CN8, DIP-8

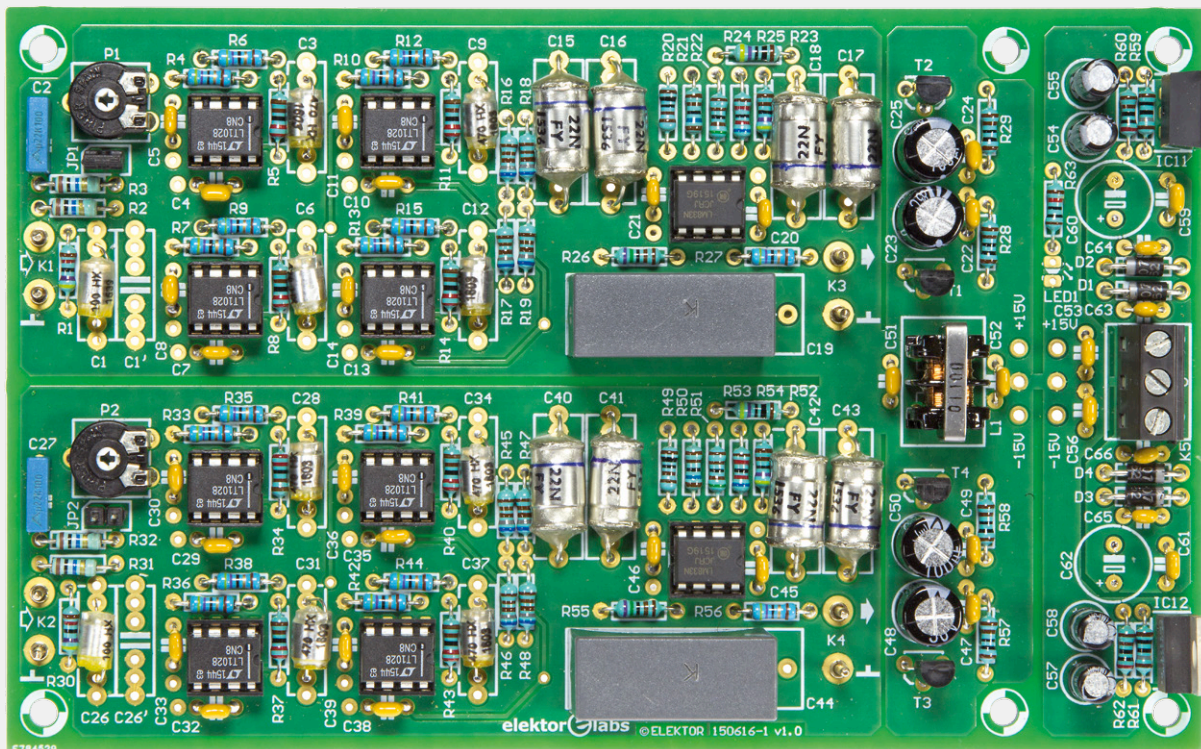
- IC5, IC10 = LM833NG, DIP-8
- IC11 = LM317, TO-220
- IC12 = LM337, TO220

Divers :

- K1 à K4, PC1 à PC6 = picot à souder diam. 1,3 mm
- K5 = borne à 3 vis, au pas de 5,08 mm
- JP1, JP2 = embase à 2 picots au pas de 2,54 mm
- JP1, JP2 = cavalier
- boîtier Hammond 1455N1602
- 2 x prise Cinch Neutrik NYS367-0 pour panneau, noire
- 2 x prise Cinch Neutrik NYS367-2 pour panneau, rouge
- circuit imprimé 150616-1

ou kit (circuit imprimé + tous composants, sauf boîtier et prises Cinch), réf. 150616-71, www.elektor.fr

Figure 3. Le circuit imprimé pour le préamplificateur est bien aéré et il ne porte que des composants traversants, c'est bien agréable !



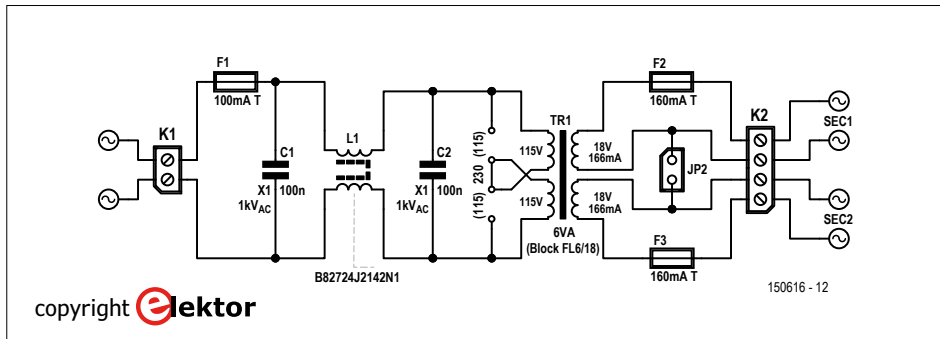


Figure 4. Si vous préférez le tout linéaire, utilisez un transformateur secteur classique. Il faudra y ajouter quelques fusibles, une bobine d'arrêt et des condensateurs antiparasites.

pli phono, nous vous proposons une carte d'alimentation séparée, dont le schéma est à la **figure 4** et le tracé des pistes à la **figure 5**. Elle accepte un transformateur de la série FL de Block, quelques fusibles et bornes à vis encartables. Pour l'implanta-

tion du transformateur, deux formats sont prévus pour des puissances différentes. Le modèle FL6/18 de la liste des composants suffit largement au circuit de phono. En raison des différentes possibilités offertes, des cases blanches sont prévues

pour y inscrire soi-même les valeurs des fusibles voisins. Du côté secteur, la place pour un filtre antiparasite est réservée pour affaiblir les perturbations là aussi. Ce filtre est constitué d'une bobine d'arrêt en mode commun (L1) et des condensateurs C1 et C2 de classe X1. Le transformateur a deux primaires et deux secondaires. Pour une tension secteur de 230 V, mettre les deux en série avec le seul cavalier JP1, pour du 115 V, les deux pour une mise en parallèle. Les secondaires sont reliés aux bornes à vis K2.

Il est préférable de placer l'alimentation analogique dans un boîtier séparé pour l'éloigner suffisamment du préampli sensible. Si vous choisissez le même boîtier pour les deux, l'ensemble sera assorti. Le câblage entre les deux boîtiers est affaire de préférence, au moyen de connecteurs ou fixés l'un à l'autre.

Liste des composants de l'alim analogique

Condensateurs :

C1, C2 = 100 nF/1 kV, X1, polypropylène, au pas de 10/12,5/15 mm

Inductances :

L1 = B82724J2142N1 bobine d'arrêt mode commun, 2x27 mH, 1,4 A

Divers :

F1, F2, F3 = porte-fusible encartable,

20 x 5 mm, 500 V/10 A

F1, F2, F3 = capot pour porte-fusible, 20 x 5 mm

F1 = fusible en verre 100 mA, 20 x 5 mm

F2, F3 = fusible en verre 160 mA, 20 x 5 mm

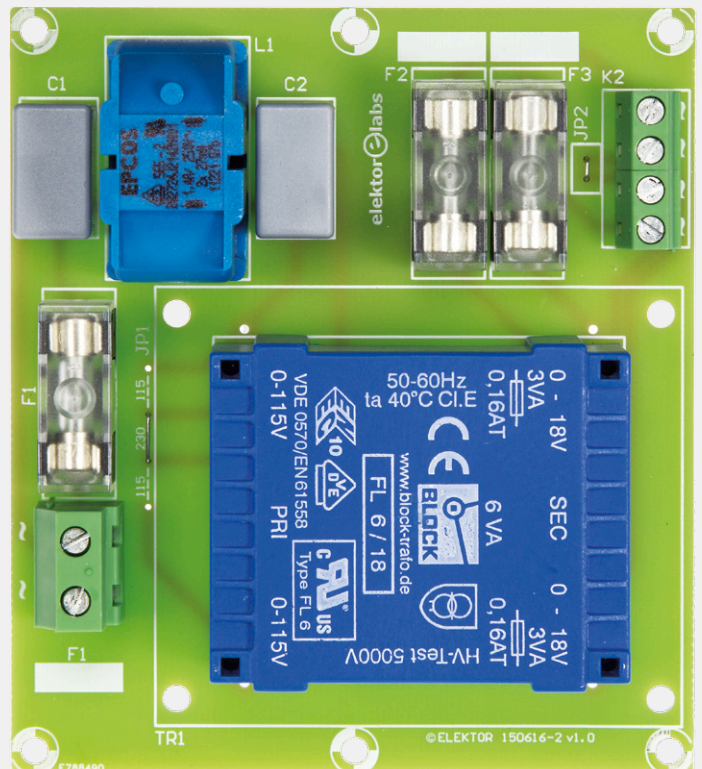
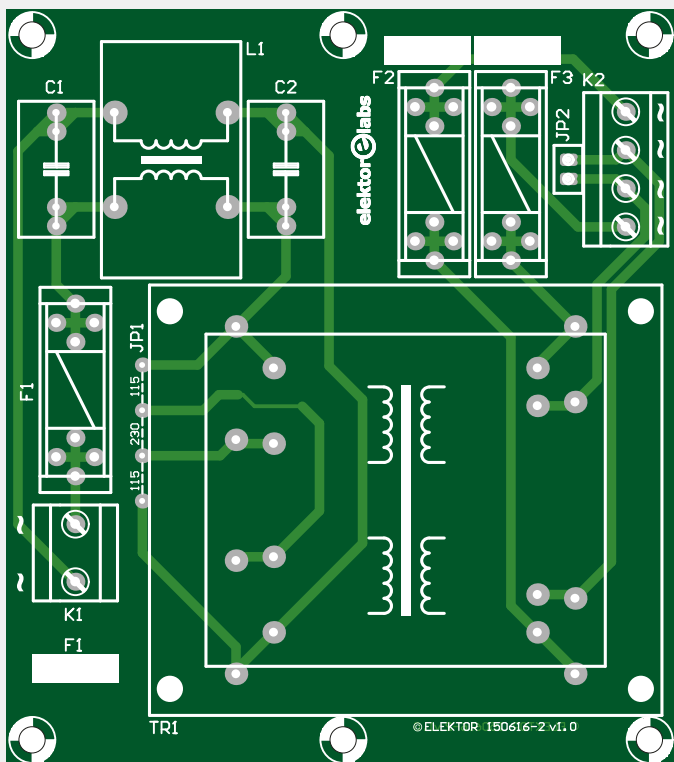
K1 = borne à 2 vis au pas de 7,62 mm, 500 V

K2 = borne à 4 vis (2x2) au pas de 5,08 mm

TR1 = transformateur secteur 6 VA, prim. 2x115 V, sec. 2x18 V/166 mA (p.ex. Block FL6/18)

JP1, JP2 = pont de câblage, cf. texte circuit imprimé réf. 150616-2 (www.elektor.fr)

Figure 5. Le circuit imprimé pour l'alimentation analogique peut servir à bien d'autres applications encore.



À découpage

On aboutit à une solution plus compacte avec une petite alimentation à découpage qui s'accorde avec le circuit imprimé du préampli dans le même boîtier. Nous avons choisi l'alimentation modulaire Alimette (**figure 6**), c'est un petit circuit qui convient à différents types de convertisseur CC/CC, décrit dans un autre article de ce magazine. Pour ce projet, le module JCE0612D24 de XP Power est un bon choix. Il fournit ± 24 V à 6 W quand la tension d'entrée se situe entre 9 et 18 V.

La tension de sortie est un peu haute pour ce cas-ci, mais nous n'avons trouvé aucun module courant à sortie symétrique entre 15 et 24 V.

Avec cette alimentation modulaire, il faut enlever les condensateurs C60 et C62 du circuit du préampli, parce que la charge capacitive maximale du convertisseur CC/CC ne peut pas dépasser 47 μ F par sortie.

Remarquez aussi qu'il ne faut pas installer certains composants sur le circuit imprimé de l'alimentation modulaire parce que la troisième tension n'est pas nécessaire ici : C7, C8, C9, D2, D3, MOD1 et K3, tandis que K1 est remplacé par un pont de câblage (cf. photo **figure 7**).

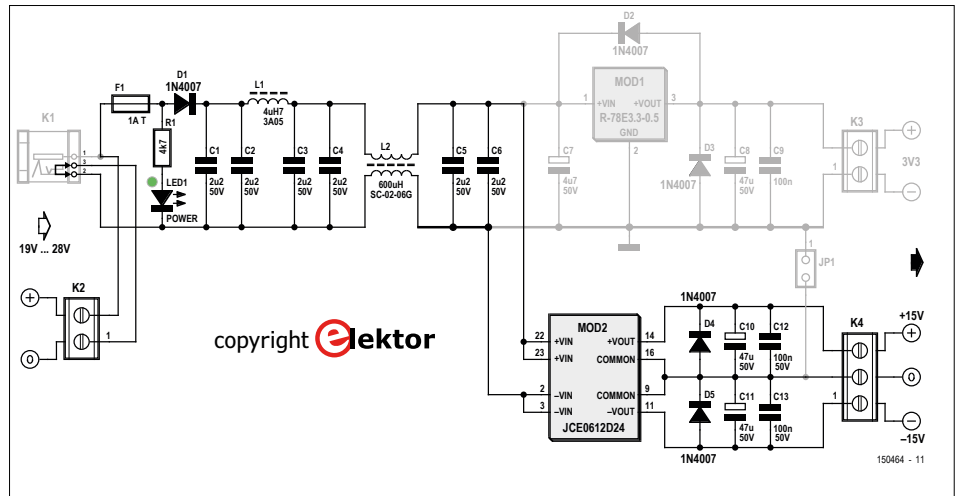


Figure 6. Mais on peut aussi installer dans le même boîtier que le préampli une alimentation à découpage modulaire, l'Alimette décrite dans un autre article de ce numéro. Les composants inutiles ici sont grisés.

Construction et habillage

Avant de vous mettre à la fabrication du préamplificateur, choisissez la configuration souhaitée. Notre prototype est la combinaison du circuit imprimé du préampli avec celui de l'alimentation modulaire. Ils s'insèrent parfaitement dans le boîtier Hammond indiqué dans la liste des composants.

L'implantation des composants ne devrait poser aucune difficulté, elle est à la portée

de soudeurs peu expérimentés, mais lisez bien tout l'article avant de vous lancer. Les condensateurs aux entrées doivent être adaptés à la cellule magnétique que vous y brancherez ; en général, le fabricant indique la valeur optimale. Vous pouvez placer les amplis op dans des supports (de bonne qualité !), surtout si vous souhaitez en essayer d'autres types plus tard. On ne doit pas installer tous les composants sur le circuit imprimé de l'alimentation modulaire, seuls ceux indi-

Liste des composants de l'alim modulaire

Résistance :

R1 = 4,7 k Ω , 5%/0,25 W

Condensateurs :

C1 à C6 = 2 μ 2/50 V, 20 %, céramique Y5V, au pas de 5,08 mm
 C10, C11 = 47 μ F/50 V, 20 %, au pas de 2,5 mm, diam. max. 6,3 mm
 C12, C13 = 100 nF/50 V, 10 %, céramique X7R, au pas de 5,08 mm

Inductances :

L1 = 4,7 μ H, 3,05 A, 80 m Ω , 10 %, radial, au pas de 5 mm (p.ex. Epcos B82144B2472K000)
 L2 = 600 μ H, 2 A, 2x50 m Ω , bobine d'arrêt mode commun, 17,5 x 14 mm (p.ex. Kemet SC-02-06G)

Semi-conducteurs :

D1, D4, D5 = 1N4007
 LED1 = LED verte, 3 mm

MOD2 = JCE0612D24 XP Power (6 W/ ± 24 V)

Divers :

K2 = borne à 2 vis au pas de 5,08 mm, encartable
 K4 = borne à 3 vis au pas de 5,08 mm, encartable

F1 = porte fusible 20 x 5 mm, 500 V/10 A, encartable
 F1 = capot pour fusible 20 x 5 mm
 F1 = fusible en verre 1 AT, 20 x 5 mm
 2 ponts de câblage !
 circuit imprimé réf. 150464-1 (www.elektor.fr)

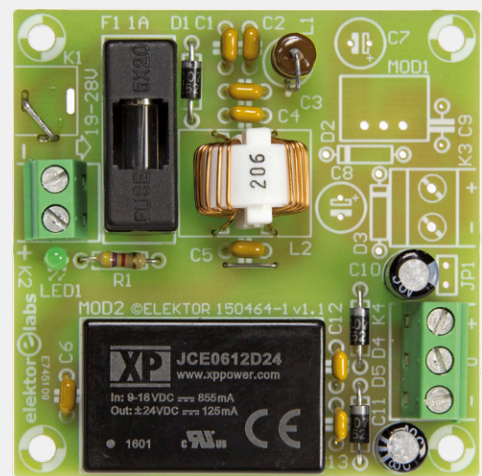
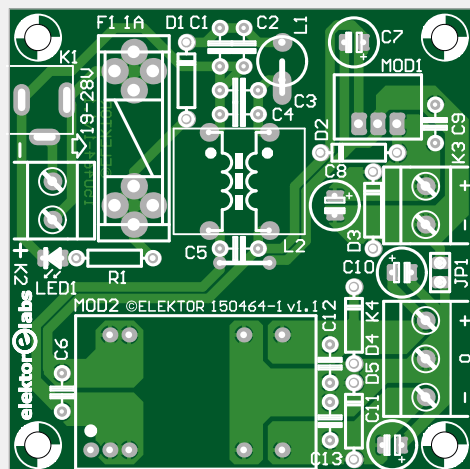


Figure 7. La carte pour l'alimentation à découpage Alimette. Remarquez les empreintes vides du fait que la troisième tension d'alimentation n'est pas nécessaire ici.



Figure 8. La pose des prises de raccordement et de l'interrupteur sur le panneau arrière.

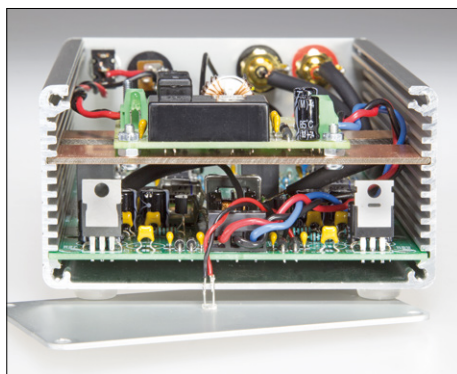


Figure 9. On voit ici comment la carte d'alimentation et le préampli se superposent dans le petit boîtier.

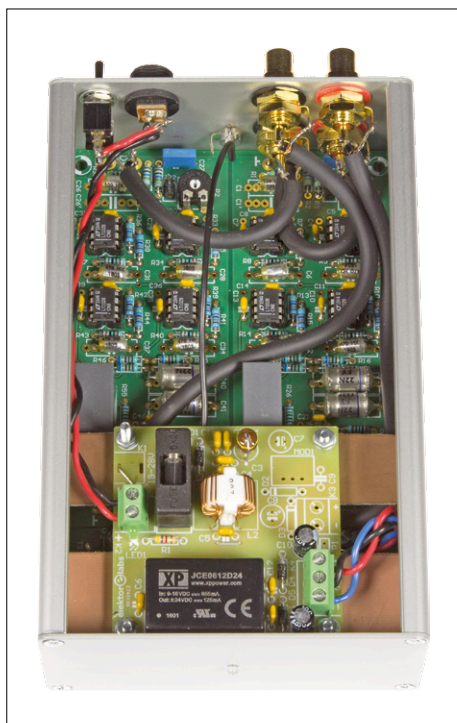


Figure 10. Le câblage intérieur demande de l'attention et du doigté, mais c'est presque fini !

qués dans la liste des composants sont nécessaires (comparez avec la photo du montage terminé).

Le circuit imprimé du préampli entre exactement dans les rainures du boîtier Hammond. On installe les prises Cinch et la borne de masse sur l'un des panneaux latéraux, comme à la **figure 8**. Nous avons choisi des prises isolées de Neutrik (cf. liste). Montez les prises Cinch de manière à ce que les raccords de masse n'entrent pas en contact avec la paroi du boîtier pour éviter les boucles de masse. Assurez-vous aussi que les prises ne touchent aucun composant du circuit, parce qu'il n'y a pas beaucoup de place ; enfin laissez une distance suffisante par rapport au bord supérieur pour que le panneau du haut ferme bien. Le raccordement pour le fil de masse de la table de lecture, nous l'avons réalisé avec un écrou et une vis de 4 mm, sur laquelle nous avons vissé une entretoise métallique avec filetage interne. À l'intérieur du boîtier, un œillet à souder, relié par un fil court au « 0 » du circuit imprimé du préampli, est maintenu par la tête de la vis de masse. Sur la partie droite du panneau latéral, il y a encore assez de place pour le connecteur d'alimentation et l'interrupteur marche/arrêt. Sur le panneau latéral de l'autre côté, on ne trouve qu'un témoin à LED qui indique quand le préampli est en service.

Les entrées et sorties sont reliées au circuit imprimé par du câble blindé de qualité. Tâchez de donner à ces câbles la même longueur pour le canal gauche et le droit.

Le circuit imprimé d'alimentation modulaire est fixé sur un morceau de plaque cuivrée de la même largeur que le préampli (100 x 62 mm). Il se glisse avec précision au-dessus du préampli dans le boîtier. La photo de la **figure 9** le montre clairement. Reste à relier les entrées et sorties de l'alimentation à l'interrupteur marche/arrêt et aux connecteurs d'alimentation sur les circuits imprimés (K2 sur la carte d'alimentation et K5 sur le préampli). Puis la LED sur la face avant sur les broches correspondantes du préampli au moyen de fins fils souples.

C'est fini ? Alors, il est temps de vérifier si tout est bien branché et si le circuit fonctionne comme prévu. Brancher l'adaptateur secteur 12 V et mesurer au multimètre les points suivants.

- ± 24 V sur K4 de la carte d'alim modulaire. La LED verte s'allume-t-elle ?
- Y a-t-il ± 15 V sur le circuit imprimé du préampli (à côté de C53/C56) ?
- Vérifier la tension d'alimentation de tous les amplis op, il doit y avoir ± 14 V environ.
- Boucler les entrées sur des résistances de 560 Ω et mesurer les tensions de décalage d'entrée (sur R1 et R30) ; il faut 0,0 mV. En fonction de cela, voir s'il faut mettre en service les potentiomètres de compensation P1 et P2.
- Mesurer les décalages en sortie de IC1 à IC4 et IC6 à IC9 (ne doivent pas dépasser quelques dizaines de millivolts).
- Contrôler les décalages des sorties de IC5 et IC10 (ne doivent pas dépasser quelques millivolts)

Si tout est juste, on peut fermer le boîtier. Branchez alors le préamplificateur phono entre la table de lecture et l'amplificateur. Allumez l'Alimette pour réchauffer le préampli, attendez un peu qu'il se mette à température. Maintenant, vous avez bien mérité d'écouter vos microsillons favoris en qualité optimale ! ◀

(150616 - version française : Robert Grignard)

Lien

www.elektormagazine.fr/labs/supra-20-high-end-preamp-for-record-player-150616-i

Caractéristiques techniques et mesures

Mesures prises avec un signal d'entrée de 2,5 mV
(impédance de source = 560 Ω)

Valeurs mesurées avec l'alimentation analogique 150616-2 (1) et
alimentation à découpage 150464-1 (2).

Rapport signal/bruit

- Linéaire :
 - > 68 dB (1)
 - > 70 dB (2)
- Entrée en court-circuit : > 88 dB
- Pondération A : > 78 dBA
 - Entrée en court-circuit : > 95 dBA
- Niveau de sortie pour 2,5 mV : 468 mV
- DHT : < 0,001 % (B = 20 kHz)
- Écart par rapport courbe RIAA : < 0,1 dB (100 Hz à 10 kHz)
 - < 1 dB (20 Hz)
 - < 0,15 dB (20 kHz)

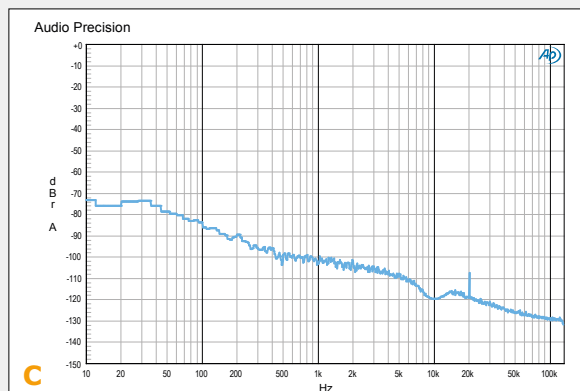
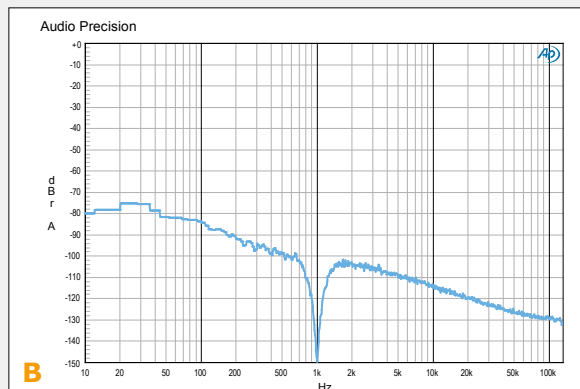
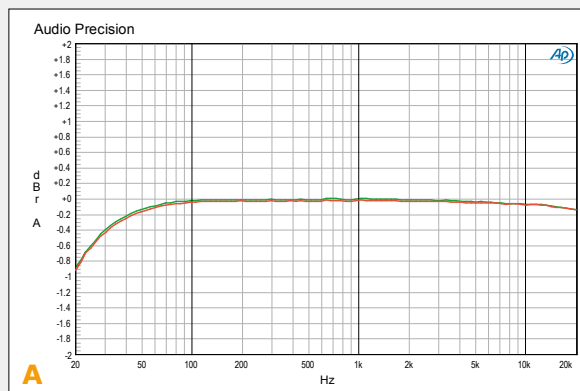
Nous avons aussi tracé différentes courbes de mesure. La plus intéressante dans ce cas-ci représente la déviation par rapport à la caractéristique théorique RIAA.

Le **graphe A** montre l'amplitude de sortie quand on applique un signal sinusoïdal corrigé selon la norme RIAA. À 20 Hz, l'écart est de $\pm 0,9$ dB. À 20 kHz, il se situe à $\pm 0,1$ dB.

Pour avoir une idée de la distorsion harmonique, nous avons réalisé une analyse par transformation de Fourier (FFT) à une fréquence de 1 kHz.

Le **graphe B** montre le spectre entre 10 Hz et 130 kHz, en éliminant la fréquence fondamentale à 1 kHz. Il n'y a pas d'harmoniques visibles dans cette gamme. Pour obtenir une image plus claire, nous avons fait la moyenne de seize mesures. Nous pouvons en conclure que la distorsion harmonique totale est inférieure à 0,001 %. Ensuite, nous avons réalisé une analyse FFT avec un signal de 10 kHz pour observer le comportement de l'ampli aux plus hautes fréquences.

On voit dans le **graphe C** que seul un deuxième harmonique est visible à un niveau de -107 dB, ce qui correspond à 0,00045 %



Amplis op de rechange

Le LT1028 est un amplificateur opérationnel cher et il en faut huit dans ce projet. Si vous trouvez que c'est trop cher, vous pouvez vous tourner vers des puces meilleur marché comme le bon vieux NE5534, dix fois moins cher. Son courant de polarisation est beaucoup plus élevé, maximum 800 nA et 1 500 nA sur toute la gamme de température spécifiée. Dans ce cas, vous devrez abaisser les valeurs de R2/R3 et R31/R32 à 2,2 M Ω .

Un NE5534 est compensé en interne pour un gain de 3 fois. Aussi, faudra-t-il remonter à 100 Ω les valeurs de R6, R9, R12, R15, R35, R38, R41 et R44. Il existe évidemment bien d'autres amplis op au brochage compatible que vous pouvez essayer.

Nous avons nous-mêmes cherché des solutions de rechange pour le LT1028, parce qu'il est déjà ancien et qu'il existe probablement aujourd'hui des puces encore meilleures. Un candidat intéressant est le LME49990. Il n'est en fait disponible qu'en boîtier SO8. Pour pouvoir l'essayer dans un support DIP, nous avons réalisé une petite carte d'adaptation de 10x10 mm SO8 vers DIP8 qui convient pour des amplis op simples ou doubles. Sur cette carte, il y a encore de la place pour un condensateur de découplage de l'alimentation. Nous publierons bientôt cet adaptateur avec une description détaillée.

