Préamplificateur Phono MM 1 (Moving Magnet)

Préamplificateur Phono MM

1 Pourquoi un préamplificateur phono

Au début des disques 78 tours, l'enregistrement était très limité en fréquence car les fréquences graves demandaient une excursion du sillon incompatible avec la surface du disque. On se contentait alors d'une plage de 150Hz à 3000Hz. Entre 1925 et 1956, chaque compagnie de disque a mis au point une courbe de préaccentuation qui renforce les aigus et atténuent les graves lors de l'enregistrement. La courbe inverse est appliquée à la sortie de la platine pour écouter le disque.
Comme il devenait commercialement ingérable de changer les réglages du préamplificateur en fonction du label de disque, l'association des éditeurs phonographiques américain (Recording Industry Association of America ou RIAA) a mis au point un standard pour cette courbe en 1956 en se basant sur le format utilisé par RCA et Victor depuis 1953.

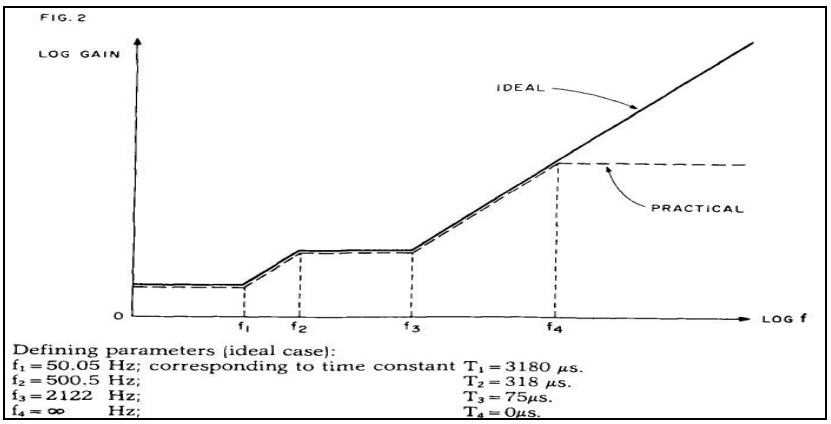

Figure 1: Courbe de réponse RIAA à l'enregistrement

La précision du suivi de cette courbe fait partie des qualités demandées à ce préampli. Le schéma d'un préamplificateur RIAA est assez simple. La courbe à 6dB/octave correspond à une cellule de filtrage du 1er ordre (1 condensateur). Pour avoir une bonne précision, il faut donc utiliser des condensateurs de précision. Notez que les anciennes cellules piézo-électriques utilisées sur les électrophones entre 1930 et 1950 ont une courbe naturelle de 6db (sans le palier entre 500 et 2122Hz). Elles n'ont donc besoin que d'un préamplificateur linéaire (type microphone) pour avoir le gain. Ces cellules ne sont pas hi-fi du tout, utilisent une pression de 5 à 10g et nous recommandons vivement de les oublier.

La cellule phono délivre un signal de très bas niveau: 5mV pour les modèles à aimant mobile, 0,5mV pour celle à bobine mobile. Il faut donc augmenter le niveau pour l'amener aux 0,5V usuels d'une entrée ligne. L'autre critère de qualité du préamplificateur est donc son niveau de bruit intrinsèque. Travailler à d'aussi bas niveau nécessite l'emploi de composant à très bas niveau de bruit et d'une alimentation très silencieuse (c'est à dire produisant peu de perturbations qui se retrouverait dans le signal).

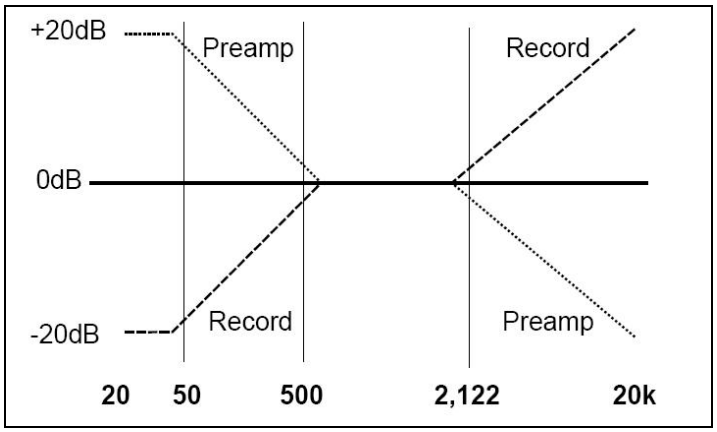

Figure 2: Courbe de réponse RIAA en lecture

Les préamplis phono RIAA se font rares sur les appareils récents et, souvent de qualité modeste. La précision du respect de cette courbe est très importante et nécessite des composants très rigoureusement triés: la reconstruction de cette courbe reposant sur "seulement" quelques condensateurs et résistances. Les composants actifs (circuits intégrés, transistors ou lampes) doivent être sélectionnés par rapport à leur très faible bruit de fond tout en préservant un gain suffisant. Le préamplificateur RIAA travaille comme un excellent préamplificateur micro avec une égalisation extrêmement précise et un niveau de bruit très bas.

Cela explique que l'alimentation est souvent déportée pour ne pas interférer avec les signaux très faibles et que le coffret doit être soigné pour réduire au maximum les effets microphoniques sur les condensateurs, tout en assurant un bon blindage électromagnétique.

2 Le préamplificateur pour aimant mobile

Nous limiterons le préamplificateur aux cellules à aimant mobile qui présente un niveau de sortie relativement élevé (max 5 mV) et un prix abordable (de 20 € à 1000 €).

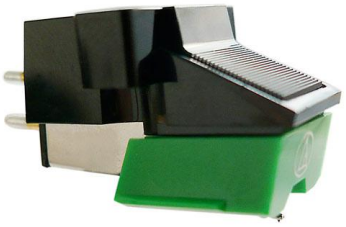

Figure 3 : Une cellule moderne ; Audio Technica AT95E

Le préamplificateur RIAA a donc 2 fonctions :

- Amplifier le signal très faible (5 mV) venant de la cellule jusqu'à un niveau proche de 0,5V, soit 40 dB au minimum
- Appliquer une courbe de réponse inverse de celle utilisée en écriture
  - Pôle à 50 Hz
  - Zéro à 500 Hz
  - Pôle à 2122 Hz

Tout ceci en assurant un rapport signal/bruit le meilleur possible.

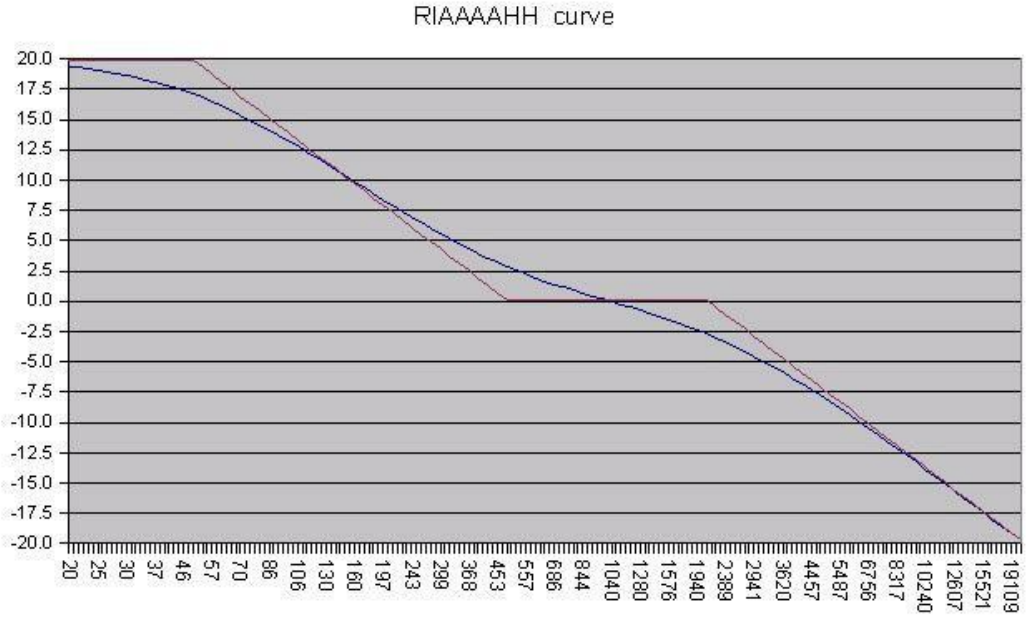

Figure 4: Pôles et Zéros de la courbe de réponse RIAA

2.1 Le préamplificateur

Le schéma du préampli, hors alimentation, est illustré par la figure 4 :

Préamplificateur Phono MM 1 (Moving Magnet)

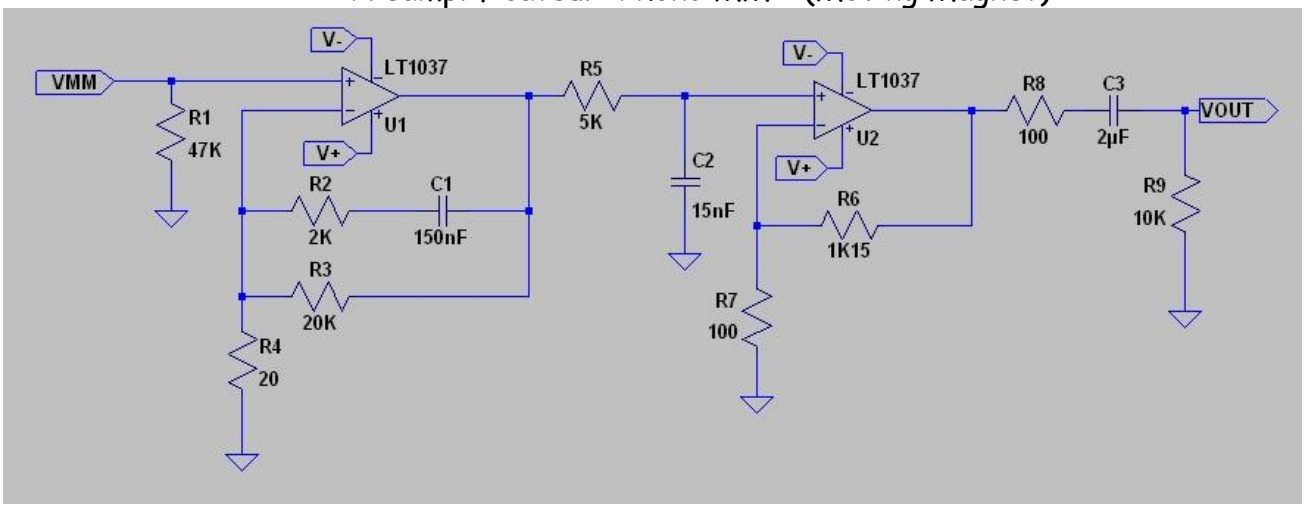

Figure 5 : Schéma du préamplificateur phono

Le préamplificateur est basé sur l'amplificateur opérationnel OP37 (LT1037 chez Linear Technology) qui garantit un grand gain ainsi qu'une bande passante suffisamment étendue pour un niveau de bruit optimum compte tenu de la résistance de charge de la cellule de 47 Kohms. Le premier étage a un gain de 100 (40 dB) à 1000Hz et prend en charge le pôle à 50 Hz et le zéro à 500 Hz. Il est suivi par un filtre passif (R5, C2) qui est en charge du pôle à 2122 Hz. Le deuxième ampli opérationnel est câblé pour un gain de 12.5. Enfin la cellule (R8, C3, R9) assure un filtrage passe haut aux basses fréquences (-3dB environ à 6 Hz).

2.2 L'alimentation

Le schéma de l'alimentation est illustré par la figure 5

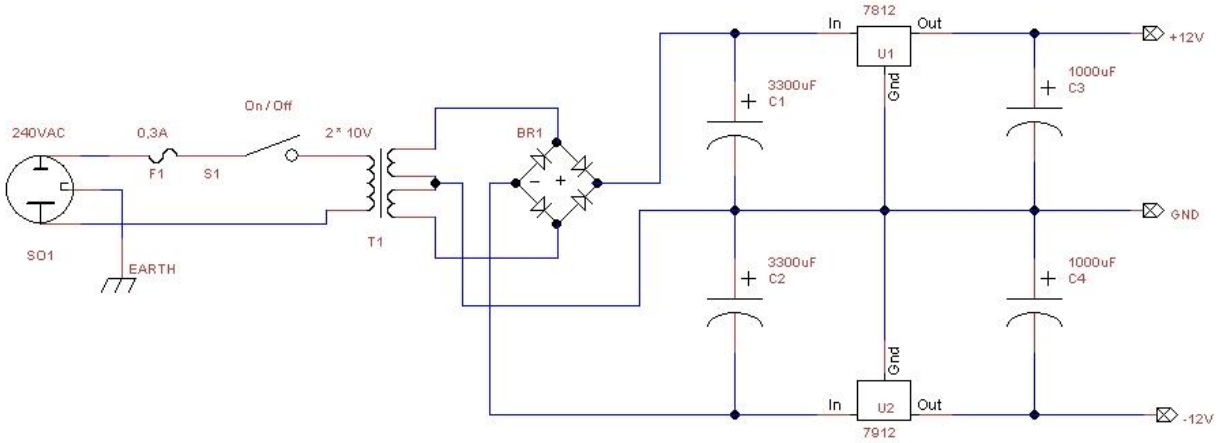

Figure 6: Alimentation du préamplificateur

Le transformateur en amont (230 VAC / 2 * 10 VAC) génère une tension, après redressement et filtrage par C1 et C4, de +/- 14 VDC. La régulation de tension est basée sur la paire classique 7812 (+12V) et 7912 (-12V) solidement épaulés par les capacités C3 et C4 et le réseau implanté dans le boîtier préamplificateur (10Ω/ 1000 uF).

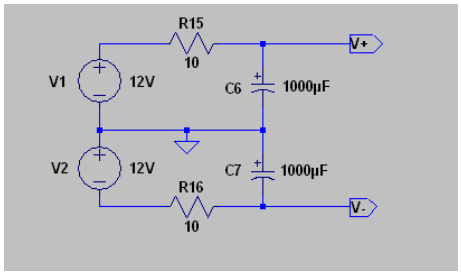

Figure 7 : Filtrage de l'alimentation sur la carte préamplificateur

3 La construction

Le préamplificateur Phono MM est réalisé en deux boîtiers, un pour l'alimentation et l'autre pour le préamplificateur lui-même. Ceci pour éloigner le plus possible les signaux faibles venant de la cellule du transformateur contenu dans l'alimentation. Un câble terminé par des jacks 6,5mm relie les deux boîtiers.

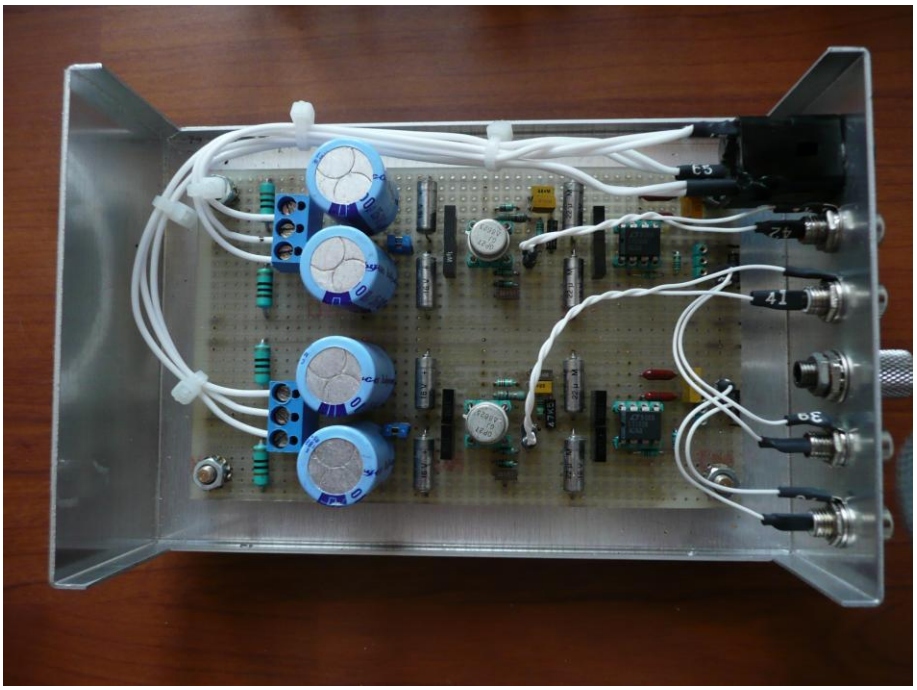

Figure 8 : Le préamplificateur Phono

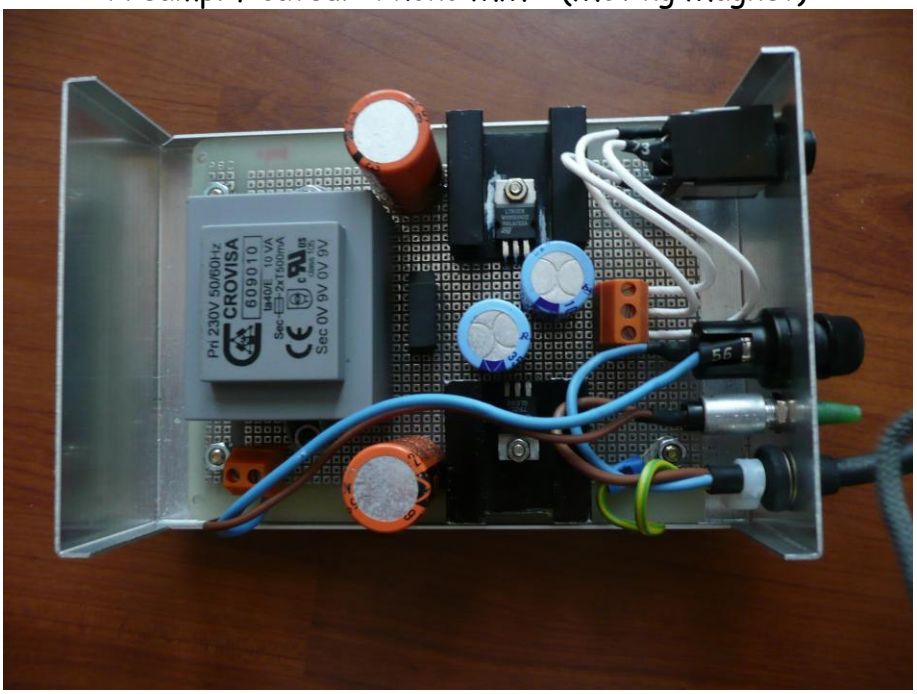

Figure 9: L'alimentation du préampli

4 Performances .

Les performances sont d'abord simulées grâce au logiciel LTSpice IV. La bande passante est mesurée en mettant en série un circuit de type anti-RIAA suivi du préamplificateur. En mettant en série le circuit anti-RIAA et le préamplificateur phono, on doit obtenir la bande passante plate dans la bande audio ($A^{-1} * A = 1$), de 20Hz à 20 KHz avec du gain.

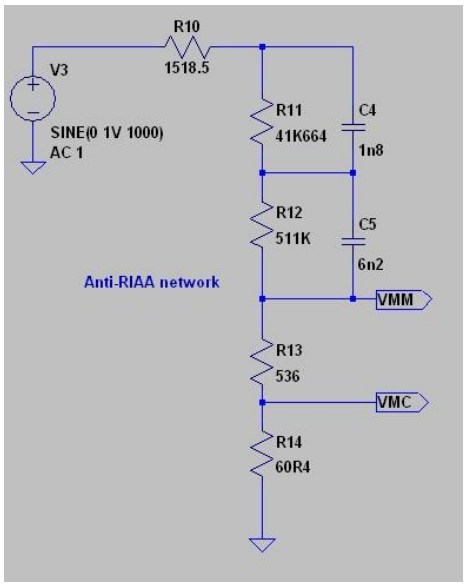

Figure 10 : Circuit anti-RIAA

La courbe de réponse du circuit anti-RIAA est illustrée par la figure 9 :

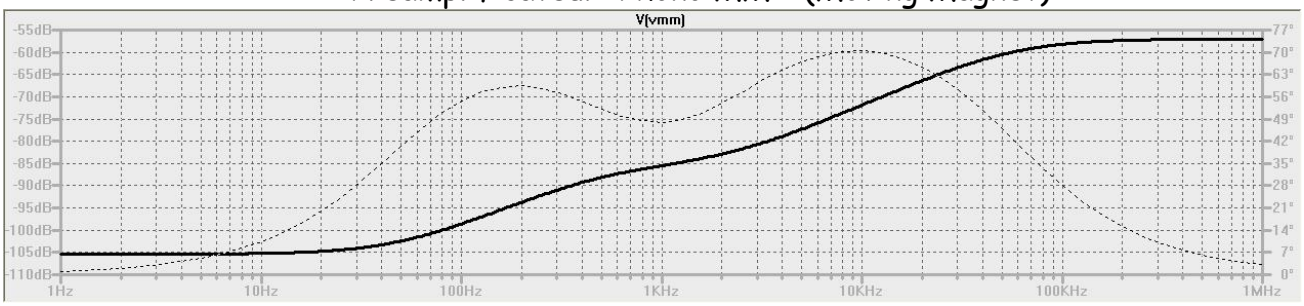

Figure 11: Courbe de réponse simulée du circuit anti-RIAA

On obtient pour le préamplificateur la courbe de réponse corrigée ci-dessous qui répond bien aux objectifs de linéarité dans la bande audio, tant en gain qu'en phase (au moins dans la bande 100Hz – 10 KHz).

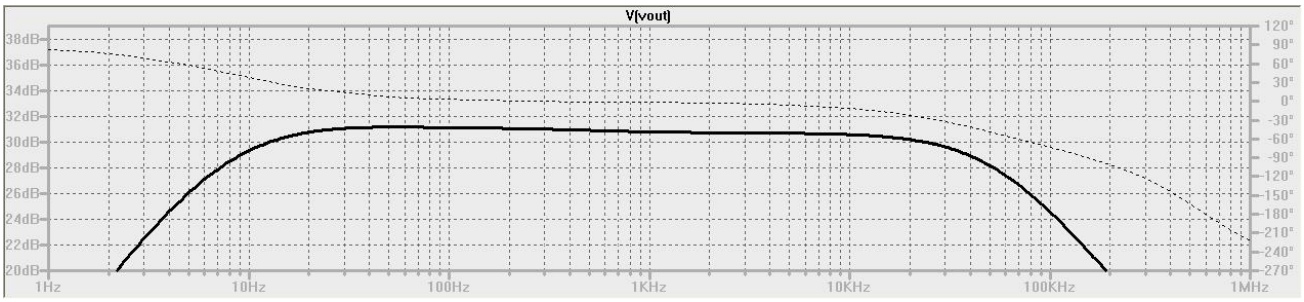

Figure 12 : Courbe de réponse simulée (RIAA + anti-RIAA)

La courbe de réponse réelle est présentée sur la figure 11. Ne pas tenir compte des irrégularités de la bande passante en dessous de 100 Hz, ni de l'échelle en dB, ceci est dû à la méthode de mesure. Seule est importante ici la variation de gain. On reste dans ± 0,5 dB de 100Hz à 20KHz.
La différence entre la simulation et le matériel s'explique par la tolérance des composants (tant pour le préamplificateur que pour le circuit anti-RIAA)

.

Figure 13 : Courbe de réponse réelle (compensée anti-RIAA)

La bonne linéarité du préamplificateur est révélée par la réponse aux signaux en dents de scie. La trace du bas (vert) est le signal d'entrée (toujours du couple anti-RIAA + préamplificateur) et le signal de sortie est la trace du haut (rouge). Les oscillations visibles principalement aux sommets des triangles sont dues à l'échantillonnage numérique.

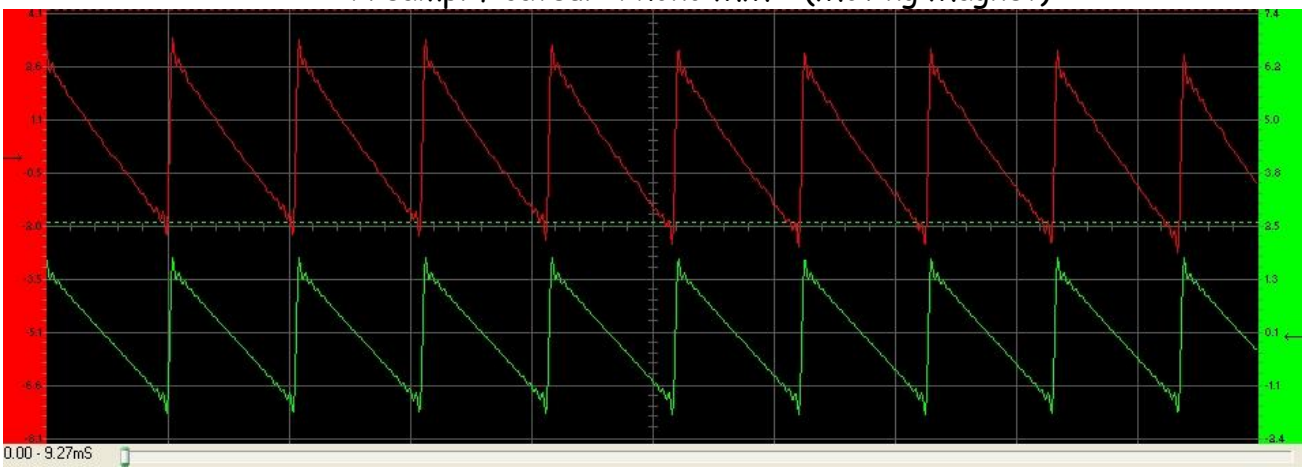

Figure 14 : Réponse à un signal en dents de scie

5 Utilisation

Figure 15 : Connecteurs à l'arrière des boîtiers

Le branchement de l'appareil est assez simple :

- Brancher le cordon de sortie RCA de la platine vinyle sur l'entrée IN (L = Left = Gauche, R = Right = Droit), ainsi que le fil de masse venant de la platine
- Brancher un cordon RCA de la sortie du préamplificateur (L OUT R) vers une entrée haut niveau de l'amplificateur
- Connecter les deux boîtiers grâce au cordon Jack-Jack 6,35mm
- Brancher le cordon secteur
- Mettre l'interrupteur de l'alimentation sur ON (la diode bleue en façade du préamplificateur s'allume)

Nota : il n'y a aucun réglage… En fait, si : on a la possibilité de rajouter un condensateur en parallèle avec la résistance d'entrée du préamplificateur (47KΩ), ceci pour atténuer la tendance de la plupart des cellules à accentuer les aigus (de 10 KHz à 20 KHz). Ce réglage est délicat et ne peut être fait à l'oreille mais nécessite une mesure de la réponse en fréquence. Son utilité est questionnable car au delà de 60 ans, on n'entend plus rien au-delà de 10KHz…☺

Préamplificateur Phono MM 1 (Moving Magnet)

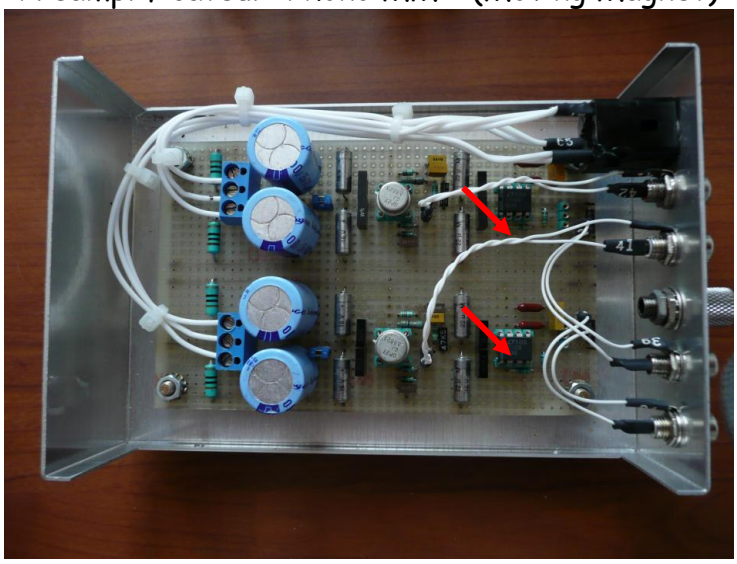

Figure 16 : emplacement condensateur d'entrée optionnel (~100 pF)

Et surtout, écouter de la Musique