

Le Retour des Amplis à lampes



Etudiants :

Nadir Çaoui

Mathis Le Courtois

Quentin Marland

Thomas Nicolas

Etienne Saby

Enseignant-responsable du projet :

Richard Grisel

Date de remise du rapport : **13/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 47**

Intitulé du projet : ***Le Retour des Amplis à Lampes***

Type de projet : ***étude/modélisation/application***

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

L'objectif du projet a tout d'abord été d'appréhender le fonctionnement d'un ampli à lampes et les différences qu'il présentait en comparaison à un ampli à transistor.

Ensuite, il nous a été donné pour objectif de monter un ampli à lampes à partir du kit TT Molly. Cela devait nous permettre d'effectuer des mesures pratiques.

En parallèle, nous devons faire des mesures théoriques sur le logiciel PSpice.

L'ensemble de ces mesures devaient enfin nous permettre de comparer la théorie à la pratique.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : ***Ampli - Lampe - Transistor - Mesures***

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 6 |
| 2. Méthodologie / Organisation du travail | 7 |
| 3. Travail réalisé et résultats..... | 8 |
| 3.1. Présentation de la technologie d’amplification à tube & simulation | 8 |
| 3.1.1. Présentation Tube/Transistor | 8 |
| 3.1.2. Fonctionnement de l’amplification à lampes en général | 9 |
| 3.1.3. Fonctionnement du Molly..... | 11 |
| 3.2. Travaux réalisés | 14 |
| 3.2.1. Théorique et étude..... | 14 |
| 3.2.2. Montage | 14 |
| 3.2.3. Mesures pratiques & théoriques | 15 |
| 3.2.3.1. Mesures pratiques..... | 15 |
| 3.2.3.2. Mesures Théoriques | 16 |
| 4. Conclusions et perspectives | 18 |
| 5. Bibliographie..... | 20 |
| 6. Annexes..... | 21 |
| 6.1. Mesures Pratiques..... | 21 |
| 6.2. Documentation technique..... | 24 |

TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| 1 - Ampli AC 30 | 6 |
| 2 - Graphique représentant la répartition du temps | 7 |
| 3 - Schéma représentant les éléments internes à une triode..... | 9 |
| 4 - Schéma représentant le fonctionnement du Molly..... | 11 |
| 5- Photo du molly prise une fois le montage terminé | 14 |
| 6- Photo prise lors de la prise des mesures | 15 |
| 7- Schéma représentant le circuit électronique du Molly | 15 |
| 8- Tableau et graphique représentant les différentes mesures de tensions aux points de la Figure 5 en fonction de la fréquence imposée par un Générateur Basse Fréquence (GBF) ... | 16 |
| 9- Graphique représentant le gain en dB en fonction de la fréquence..... | 16 |
| 10- Capture d'écran du site www.ampbooks.com | 17 |
| 11- Photo prise lors du test de l'ampli avec une basse..... | 18 |
| 12- Graphiques Représentant la tension en fonction du temps..... | 22 |
| 13 - Graphique représentant le gain en dB en fonction de la fréquence en Hz | 23 |
| 14- Schéma technique du Molly..... | 24 |
| 15- Schéma de montage du Molly | 25 |
| 16 - Caractéristique de la lampe ECC83 S | 26 |
| 17- Caractéristique de lampe ECC 99 | 27 |
| 18 - Caractéristiques de la lampe EF 86 | 28 |

1. INTRODUCTION

Les amplificateurs à lampes sont connus pour leurs restitution acoustique de qualité remarquable, adorés par les puristes mélomanes, ils sont couramment utilisés pour amplifier les instruments électriques comme des guitares.

Historiquement, la technologie de l'ampli à tube -autre nom de l'ampli à lampe- est arrivée avant celle du transistor, apparu lui dans les années 50. A cette période le procédé d'amplification étant devenu moins coûteux le système Hi-Fi à transistor s'est très largement popularisé chez les particuliers aux dépend des tubes.

Cependant, nous observons ces dernières années un retour des amplificateurs à lampes, jamais vraiment délaissés chez les guitaristes et bassistes, mais d'avantage dans le milieu haute fidélité au profit de leurs homologues à transistors. Plus qu'un effet de mode, ce changement influe beaucoup sur le marché haut de gamme de la restitution audio Hi-Fi. Dynavox par exemple, site spécialisé dans le matériel audio propose plusieurs rééditions d'amplificateurs à tubes. Chez les musiciens, les amplificateurs à lampe n'ont cessé d'être utilisés, en témoignent les marques de légende comme Marshall, Fender ou Vox.



1 - Ampli AC 30

Après discussion avec notre tuteur de projet, nous avons convenu que notre travail se concentrerait sur la réalisation d'une réplique simplifiée et "low power" du modèle AC 30 de VOX, commercialisé en 1958.

Notre objectif premier a été de comprendre le fonctionnement du système, dans un second temps nous devons exécuter des simulations sur le modèle numérique correspondant. L'étape suivante consistait au montage de l'amplificateur et aux tests de son fonctionnement. Enfin, nous avons recueilli plusieurs mesures pour comparer notre réalisation aux valeurs théoriques obtenues par simulation.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

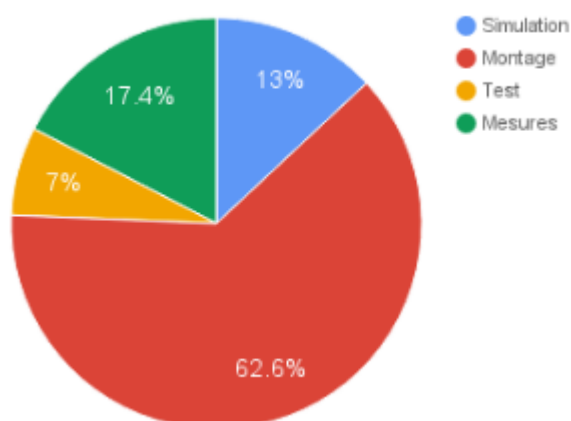
Afin de mener à bien notre projet de P6, nous avons commencé par appréhender le fonctionnement général d'un ampli à lampes. Notre tuteur, M. Grisel nous a tout d'abord expliqué le fonctionnement grossier d'un ampli à transistor (le plus répandu aujourd'hui) afin que l'on comprenne ce qui le différencie des amplis à lampes.

Pour mettre en pratique ces connaissances, il nous a appris à manipuler le logiciel PSpice qui nous permis de modéliser le circuit interne d'un ampli à lampes et de faire des mesures théoriques.

Afin de comparer ces mesures théoriques avec des mesures réelles, nous avons décidé avec le professeur de monter un ampli à lampes au cours des séances suivantes. L'INSA a donc gracieusement commandé dans le cadre de notre projet un kit de montage d'ampli à lampes : TT kit molly.

Dans cette optique, nous avons scindés notre groupe en deux équipes. L'une s'occupait des plaques électroniques, et plus précisément de la soudure des composants, et l'autre s'occupait de fixer les différents éléments sur le bâti. Nous avons tourné afin de tous participer aux différentes tâches et bien comprendre le montage.

Une fois l'ampli monté, nous avons commencé à prendre des mesures avec un oscilloscope à l'aide de pinces placées à différents endroits du circuit, afin de les comparer aux mesures théoriques.



2 - Graphique représentant la répartition du temps

3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Présentation de la technologie d'amplification à tube & simulation

3.1.1. *Présentation Tube/Transistor*

Il existe aujourd'hui deux technologies se partageant le monopole de l'amplification acoustique : Les tubes et les transistors.

Les avantages du transistor sont sa fiabilité, sa miniaturisation et la tenue de ses caractéristiques dans le temps. Les amplificateurs à transistors ont pris le dessus en termes de vente car moins chers à fabriquer, théoriquement plus fiables, et du fait de leur miniaturisation, plus faciles à intégrer dans un coffret de dimensions compatibles avec nos intérieurs modernes. Ils sont réputés plus neutres, descendants plus bas dans le grave, plus puissants et faciles d'usage.

En revanche, la plupart des audiophiles préfèrent la technologie à lampe, reprochant aux transistors un son trop « électronique », manquant de vie, de chaleur, notamment sur les voix.

La différence peut s'apercevoir à l'écoute, pour les plus avertis, mais elle s'observe surtout au niveau du prix. Cela s'explique par certains composants nécessaires uniquement sur la technologie à lampes comme les transformateurs de sortie par exemple. De plus les transistors ne coûtent presque rien en comparaison avec les tubes à vides.

“L'écoute transistor est plus droite, plus fidèle, moins romantique.” Conclut Christian, conseiller-blogueur pour Fnac. (Source n°1)

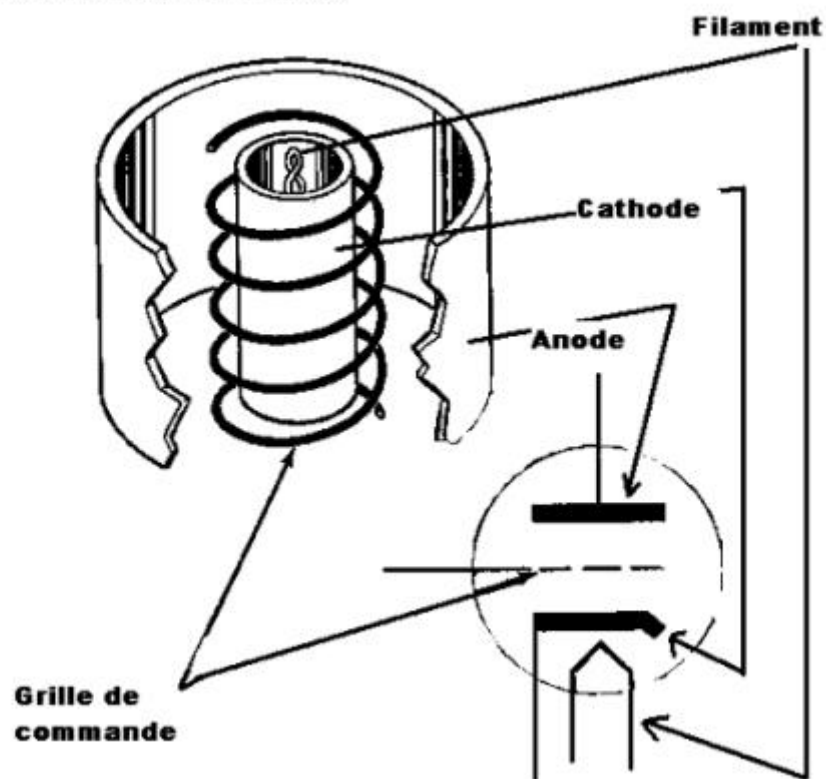
3.1.2. Fonctionnement de l'amplification à lampes en général

Premièrement, qu'est-ce qu'une lampe ?

Une lampe de type "triode à chauffage indirect" est un tube à vide ressemblant à une ampoule avec 5 pattes :

- 2 pattes pour le filament chauffant ;
- une patte pour la cathode ;
- une patte pour l'anode, appelée « plaque » ;
- une patte pour la grille.

Éléments internes de la triode



3 - Schéma représentant les éléments internes à une triode

Le processus d'amplification peut se décomposer en 5 étapes :

1. La source (Guitare ou autre) produit un signal électrique sous forme de tension alternative chargée positivement et négativement de manière cyclique. La fréquence de ce signal définit directement la note jouée.

2. Le filament, soumis à une tension, chauffe la cathode -constituée d'un métal plaqué d'oxydes qui favorisent l'émission d'électrons-. C'est pour cette raison que l'ensemble du dispositif est enfermé dans une ampoule contenant un gaz spécial et non comburant empêchant le filament de se consumer instantanément.

La température élevée de la cathode va alors exciter les électrons qui seront attirés par la plaque de l'anode.

3. On assiste donc à une "migration" des électrons de la cathode vers l'anode. Or, entre ces deux composants, se trouve la grille. Cette dernière, portée à sa propre tension continue et fixe, est chargée négativement. Son potentiel est également proche de celui de la pentode. La grille va donc repousser les électrons, comme le feraient deux aimants de même signe. Si la tension de la grille est suffisante, on peut même totalement bloquer le flux d'électrons.

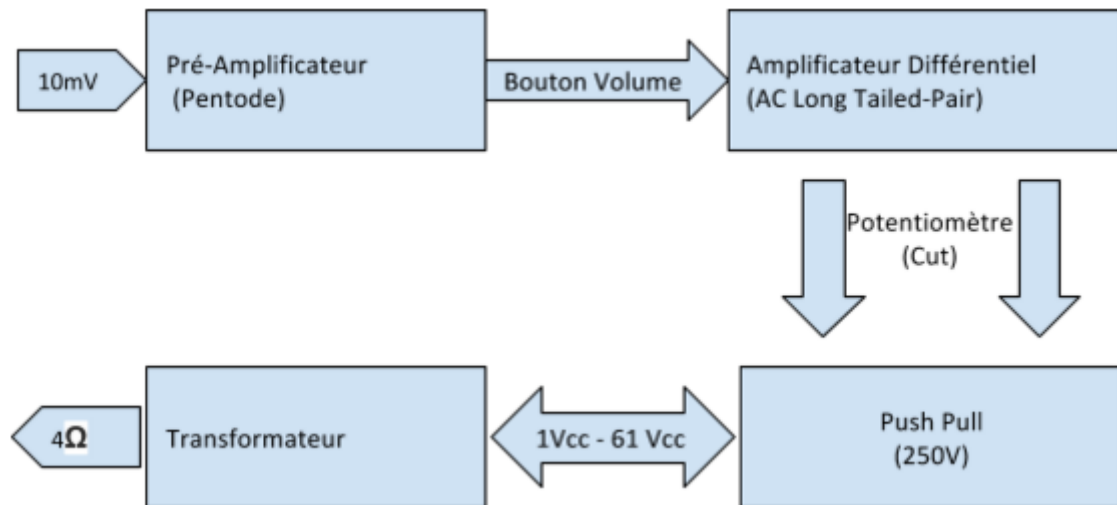
Il se trouve que la guitare est directement reliée à cette même grille. Ainsi, le signal électrique émis par la guitare, même très faible, va modifier la charge électrique de la grille qui va laisser passer un flux électrique, autrement dit, la masse des électrons de la cathode "migrant" vers l'anode.

Ainsi, en jouant avec la tension de la grille, on libère un nombre plus ou moins grand d'électrons allant vers l'anode. Et ce flux électrique est à la même fréquence que le signal émis par votre guitare. On assiste donc à une amplification.

4. Le système que nous venons de décrire est le premier étage d'amplification, on parle alors de pré-amplification. Un second étage, dit de puissance, est ensuite appliqué au signal déjà pré-amplifié : c'est le rôle de la deuxième lampe. Le phénomène que nous venons d'expliquer se reproduit alors.
5. L'amplificateur est relié à un haut-parleur qui par sa membrane convertit les oscillations électriques en mouvement mécanique. Ce mouvement mécanique est à la source des ondes sonores de mêmes fréquences que le signal original.

Dans notre cas, la réplique du Vox AC-30 utilise des pentodes pour son amplification et non pas des triodes comme expliqué précédemment. Le principe d'amplification ne change pas pour autant, il est certes plus complexe mais les étapes décrites précédemment restent vraies.

3.1.3. Fonctionnement du Molly



4 - Schéma représentant le fonctionnement du Molly

A la sortie de la guitare, la tension oscille entre 10 et 50 mV, ce qui est un signal très faible. Cette dernière va être alors progressivement amplifiée, lors de 3 différentes étapes successives, jusqu'à obtenir le beau son que nous connaissons.

En premier lieu, se trouve la pentode, qui est montée comme un amplificateur simple. Cet amplificateur est d'ailleurs inverseur, cela veut dire que si la tension d'entrée est positive, elle ressort négative, et inversement. Cette pentode permet d'amplifier le signal d'entrée. Dans notre cas, l'amplification est d'un gain de 60, cela veut dire que le rapport entre la tension de sortie et celle d'entrée (crête à crête) est de 60. Nous avons pu vérifier cela grâce à nos mesures sur le circuit et les simulations sur le logiciel PSpice. Ainsi la tension d'entrée est multipliée par 60. La pentode est également utilisée pour la tonalité.

La pentode est ensuite suivie par le potentiomètre de volume, autrement dit, le bouton qui va nous permettre de régler le volume. Ce dernier s'apparente à un pont diviseur de tension, c'est à dire un rapport de résistance qui va permettre de moduler l'amplitude du signal d'entrée à sa guise.

Le signal, déjà amplifié par la pentode, poursuit sa route jusqu'à l'AC long tailed pair. Cet appareil électronique est un amplificateur différentiel, composé de deux entrées ayant chacune une tension propre. Cette différence de potentiel est alors multipliée à la sortie : le signal est amplifié. Nous avons pu mesurer que le gain était de 30.

De plus, l'amplificateur différentiel permet de séparer le signal initial en deux signaux en opposition de phase : des signaux de même norme mais de signe opposé. Ainsi, l'amplitude est deux fois plus importante. La symétrie alors créée permet également de limiter la distorsion.

Le signal arrive alors au potentiomètre de limite de bande passante, le cut, qui permet de couper les bandes hautes.

Enfin, le signal arrive au push-pull, dernier étage d'amplification. Littéralement, cela veut dire « tirer et pousser ». Chacun des deux signaux, de même amplitude en norme mais de signal opposé est amplifié séparément. Ainsi lorsqu'un signal est « poussé » d'un côté dans les positifs, l'autre est « tiré » dans les négatifs avec un même coefficient. A la sortie le signal est recomposé avec une amplitude plus forte.

Prenons un exemple pour bien comprendre ce système. Imaginons qu'à la sortie de l'AC long tailed pair, nous ayons deux signaux de même norme mais de signe opposé, disons l'un à 100 V et l'autre à -100 V. Il y a donc une amplitude crête à crête de 200 V. Au niveau du push-pull chaque signal est indépendamment amplifié par un coefficient 2 par exemple. Chaque signal est donc respectivement à 200 V et -200 V. L'amplitude C-C est donc de 400 V. A sa sortie le signal recomposé sera donc de $200 - (-200) = 400$ V.

Le premier avantage de ce dispositif est donc une amplification importante du signal, mais il y a deuxième avantage plus intéressant. Lorsque le push-pull n'est pas polarisé, sa consommation sera presque nulle au repos car la moyenne entre les deux signaux 200 V et -200 V fait 0. Ce système a donc l'avantage d'être économique et d'avoir un rendement élevé, c'est la classe B. Malheureusement cette classe B privilégie cet aspect économique à celui de la tonalité et du son. Ainsi les signaux de faibles amplitudes ne sont pas transmis, le son est plus « pauvre ».

Il est alors intéressant de combiner les avantages économiques de la classe B avec les avantages de faible distorsion de la classe A.

Passons, enfin au dernier composant de notre schéma, le transformateur. A la sortie du push-pull, la résistance vue au primaire est de 15 k Ω tandis les enceintes de sortie sont de résistance 4 ou 8 omhs. Le transformateur va ainsi transférer la puissance en assurant l'adaptation d'impédance par division de la tension et multiplication de l'intensité. Le transformateur peut être comparé à un engrenage, son but est de fournir la même puissance à la sortie : c'est un rapport de spires.

Formules :

$P = U \cdot I$ Puissance en Watt

$$V_1 = R_1 \cdot I_1$$

$$V_2 = R_2 \cdot I_2$$

En faisant alors le rapport des résistances on a $\frac{R_2}{R_1} = N^2$ avec le nombre de spires.

$$\text{On a donc } \frac{R_2}{R_1} = \frac{15000}{4} = 3750 \text{ ains i } \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{(3750)} = 61$$

Malgré les quelques pertes, on considère que la puissance au primaire est égale à celle du secondaire. Le transformateur est donc abaisseur de tension et amplificateur de courant. La tension est divisée par 61 tandis que le courant est multiplié par le même coefficient. Le signal électrique est alors adapté aux enceintes de sortie.

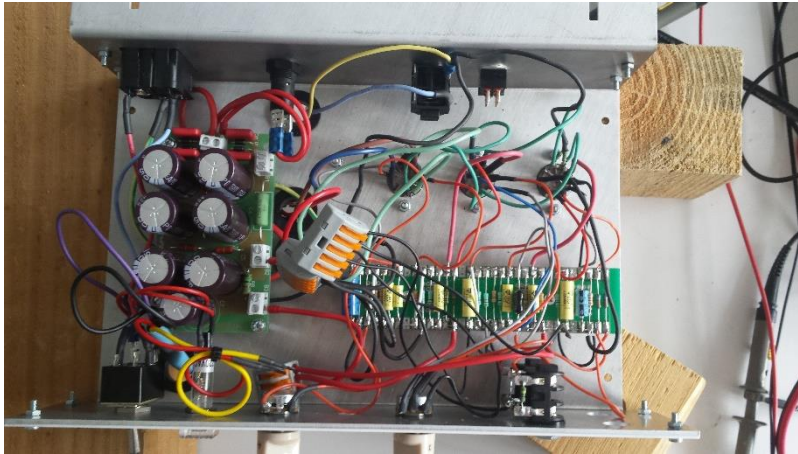
Notre amplificateur Molly est donc de classe AB, le côté économique de la classe B est privilégié par rapport au son. C'est une des différences principales différences que nous ayons noté avec l'amplificateur de type Fender fait par l'autre groupe. Leur son était alors de meilleure qualité. En effet, pour la classe A quasiment la totalité du signal d'entrée est utilisé mais pour autant le rendement n'est pas bon. En effet, le point de repos de ce type d'amplificateur est situé au « milieu » de sa droite de charge. L'amplificateur dissipe donc beaucoup de chaleur (énergie perdue) et même au repos à cause de cette polarisation assez élevée.

Lors des essais réalisés avec une guitare, nous avons pu noter que le son de notre amplificateur (Vox AC 30) était clair et cristallin. Au contraire, celui réalisé par l'autre groupe avait un son plus "distordu" et grave. Il est intéressant de noter que cette différence sonore s'explique par la présence de notre push-pull et de ses propriétés.

3.2. Travaux réalisés

3.2.1. Théorique et étude

3.2.2. Montage



5- Photo du molly prise une fois le montage terminé

Comme expliqué précédemment, nous avons scindé le groupe en deux équipes afin d'avancer plus vite sur le montage du Molly. Chaque membre du groupe a travaillé dans chacun des deux groupes.

D'un point de vue électronique, notre amplificateur Molly regroupe

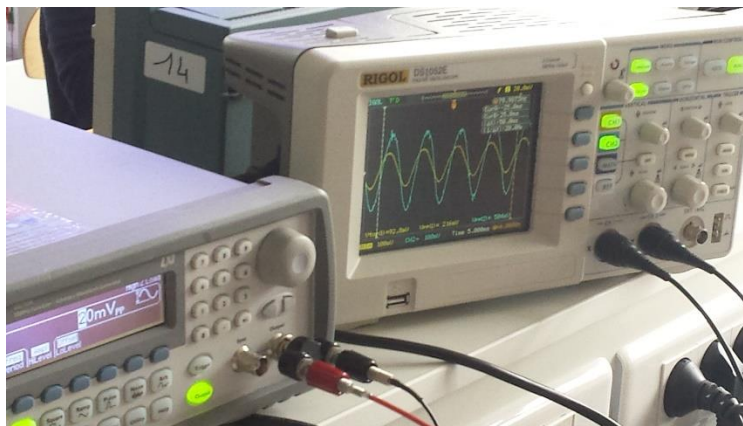
deux gros composants, un circuit électrique pour l'alimentation et une plaque de jonction des composants regroupant essentiellement résistances et condensateurs.

Nous avons donc eu à souder les différents composants minutieusement afin d'éviter tout type de court-circuit pouvant altérer les mesures. Grâce au schéma proposé par le fournisseur, nous avons reproduit la même disposition de résistances et de condensateurs afin de se rapprocher au maximum des résultats théoriques calculés auparavant sur le logiciel PSpice. Les différents composants présents sur cette plaque sont en réalité des rapports servant à amplifier ou diminuer le signal émis. En effet, le potentiomètre de volume est en réalité un rapport de résistances et de condensateurs permettant de changer le signal.

Du point de vue du montage, le kit fournissait déjà un bâti ainsi que toutes les vis et boulons nécessaires à la construction de l'ampli. Sans aucun plan, nous avons donc monté les différents éléments sur le châssis en s'assurant d'un agencement. Nous devons ensuite relier les circuits imprimés entre eux et aux potentiomètres tout en garantissant l'isolation électrique des soudures avec de la gaine thermo-rétractable pour éviter tout court-circuit.

Enfin, nous avons ajouté un interrupteur qui nous permettrait par la suite de passer de 4 à 8 Ohm d'impédance.

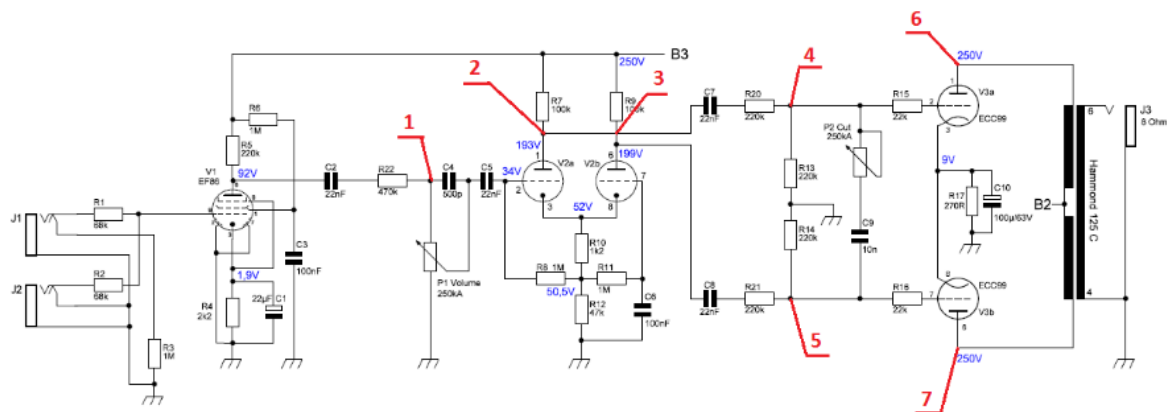
3.2.3. Mesures pratiques & théoriques



6- Photo prise lors de la prise des mesures

3.2.3.1. Mesures pratiques

Pour la partie mesures pratiques, nous avons effectué le relevé de la tension aux bornes de points stratégiques de l'ampli. Nous avons ainsi pu évaluer le déphasage ou non du signal, son amplitude crête-crête, qui nous a permis de calculer le gain, en chaque point.



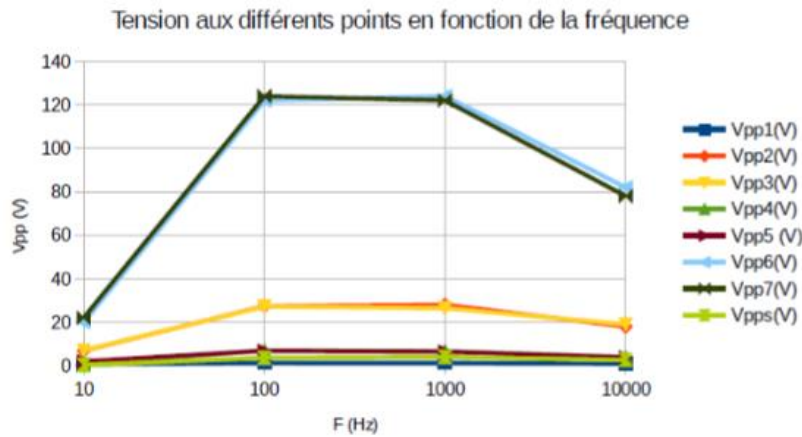
7- Schéma représentant le circuit électronique du Molly

- Tensions mesurées à l'oscilloscope, aux différents points du circuit représentés sur la figure 4 (Tension en ordonnée, temps en abscisse) :

Cf Annexe 1

L'augmentation de la tension d'entrée implique une diminution du courant dans le circuit du haut et par opposition une augmentation dans le circuit de gauche. Ce phénomène correspond à une amplification différentielle.

| F (Hz) | Vpp1(V) | Vpp2(V) | Vpp3(V) | Vpp4(V) | Vpp5 (V) | Vpp6(V) | Vpp7(V) | Vpps(V) |
|--------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 10 | 0,6 | 6,8 | 7 | 1 | 2 | 20 | 22 | 0,34 |
| 100 | 1,3 | 27,4 | 27,2 | 7 | 6,8 | 122 | 124 | 3,6 |
| 1000 | 1,2 | 28 | 26,4 | 6,7 | 6,4 | 124 | 122 | 4 |
| 10000 | 1 | 18 | 19 | 3,8 | 3,8 | 82 | 78 | 2,6 |

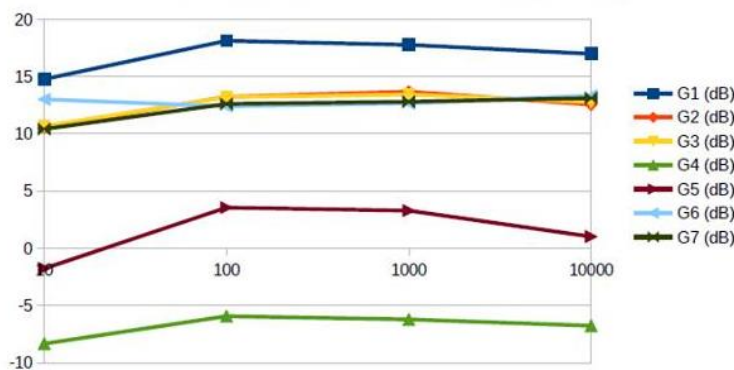


8- Tableau et graphique représentant les différentes mesures de tensions aux points de la Figure 5 en fonction de la fréquence imposée par un Générateur Basse Fréquence (GBF)

Ces mesures nous ont permis par la suite de tracer les courbes de gain pour chaque point.

- Gain

| F (Hz) | G1 (dB) | G2 (dB) | G3 (dB) | G4 (dB) | G5 (dB) | G6 (dB) | G7 (dB) |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 10 | 14,77121255 | 10,54357662 | 10,6694679 | -8,32508913 | -1,76091259 | 13,01029996 | 10,41392685 |
| 100 | 18,12913357 | 13,23807211 | 13,20625552 | -5,92652523 | 3,55387658 | 12,41261791 | 12,60912772 |
| 1000 | 17,7815125 | 13,67976785 | 13,42422681 | -6,21083229 | 3,290587193 | 12,67346882 | 12,80179857 |
| 10000 | 16,98970004 | 12,55272505 | 12,78753601 | -6,75488908 | 1,026623419 | 13,34030256 | 13,12311006 |



9- Graphique représentant le gain en dB en fonction de la fréquence

Ce graphique nous présente le gain en décibels pour chacun des points, en fonction de la fréquence, calculé à partir de la formule $G = 20 \log(Vs/Ve)$.

3.2.3.2. Mesures Théoriques

- Gain en décibel théorique

Pour le calcul théorique du gain, nous avons utilisé LTSPice, les modèles étant plus adéquats que ceux de PSpice. Nous avons effectué les mesures aux mêmes points que ceux indiqués sur la figure 5.

Cf Annexe 2

On observe une diminution du gain pour les hautes et basses fréquences ce qui correspond à la bande passante de la chaîne d'amplification.

- Calcul théorique avec le site : <https://www.ampbooks.com/>

The screenshot shows a web interface for calculating amplifier gain. It features a 'more' button, a table of calculated gains, a 'recalculate' button, and a table of component values.

| | |
|---------------------------|------------------|
| inverted voltage gain | 30.09 (29.57 dB) |
| non-inverted voltage gain | 29.17 (29.30 dB) |

| | |
|---|-------|
| 12AU7 12AT7 12AX7 12AY7 6SN7 6751 6386 6922 | 12AX7 |
| plate resistor R_{L1} (k Ω) | 100 |
| plate resistor R_{L2} (k Ω) | 100 |
| cathode resistor R_K (ohms) | 1200 |
| tail resistor R_T (k Ω) | 47 |
| grid resistor R_{Gpa} (k Ω) | 1000 |

Copyright © 2015 Amp Books LLC

10- Capture d'écran du site www.ampbooks.com

Le gain théorique calculé par le logiciel est de 30dB, diminué par la résistance de charge. Quant au calcul théorique lui, il est de 25dB en prenant en compte la résistance de charge.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Même si les courbes de gain pratiques correspondent aux courbes de gain théorique, dans la réalité, on se confronte aux limites du modèle, comme l'a démontré le calcul du gain total. Le modèle théorique nous aura néanmoins permis de faire une bonne approximation du modèle réel, il aurait pu nous permettre de détecter des anomalies de montage s'il y en avait eu par exemple.

Afin de voir si notre ampli pouvait réellement fonctionner avec un instrument de musique électrique, nous avons fait appel à un camarade guitariste pour le tester. Il s'est avéré que l'ampli, branché à une enceinte, permettait la sortie d'un son clair et réglable grâce au potentiomètre de volume. Nous l'avons testé à différentes impédances, 4 ohms puis 8 ohms et le son était satisfaisant dans les deux cas. Un léger manque de distorsion s'est fait sentir en comparaison au modèle réalisé par l'autre groupe, mais l'appréciation du son reste une affaire de goût et notre groupe en est ravi.

Il est à noter que l'amplificateur réalisé est une réplique "Low Power", doté uniquement d'une puissance de 10 Watts contre 40 pour la version originale du VOX AC-30. Cette différence de puissance aurait évidemment son importance sur une scène, cependant elle n'est pas nécessaire à une utilisation personnelle.



11- Photo prise lors du test de l'ampli avec une basse

Nous avons été agréablement surpris par le résultat et nous ressentons une certaine fierté face au rendu de notre ampli, monté de nos propres mains et de celles des deux techniciens Pascal Williams et Hélène Rade que nous remercions pour leur aide aux soudures et au montage.

S'intéressant tous de près ou de loin à la musique, ce projet nous a d'abord intéressé par son intitulé : "Le retour des amplis à lampes". Lors des premières séances il nous a fallu définir les objectifs et nous avons immédiatement manifesté notre envie de placer la construction de cette machine au cœur de notre sujet.

Nous avons beaucoup aimé ce projet pour l'intérêt personnel que représente la musique, l'aspect ludique de la construction et la satisfaction de voir le résultat final fonctionner. Groupe soudé, le travail en équipe et une répartition des tâches optimale nous ont permis de mener à bien ce projet. Une fois de plus, la réalisation d'un projet en groupe nous a permis de lier le scolaire à la vie professionnelle.

Ainsi, ce projet a été une réussite à tout point de vue. Il nous a permis de combiner notre intérêt pour la musique et les instruments, tout en alliant physique et électronique. Bien sûr, des améliorations restent à prévoir, mais nous serions ravis de voir un jour notre ampli utilisé aux concerts de l'INSA.

Nous remercions particulièrement Richard Grisel qui nous a accompagnés tout au long de ce projet et qui a tout mis en œuvre pour le voir aboutir.

5. BIBLIOGRAPHIE

<http://www.fnac.com/Guide-d-achat-amplificateur-a-tube-ou-a-transistor/cp17605/w-4>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Triode_\(électronique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Triode_(électronique))

<http://renaud.battle.free.fr/index24.htm>

<http://www.leblogquigratte.fr/2011/11/04/comment-fonctionne-un-ampli-a-lampe-explications-simples/>

<http://www.valvewizard.co.uk/>

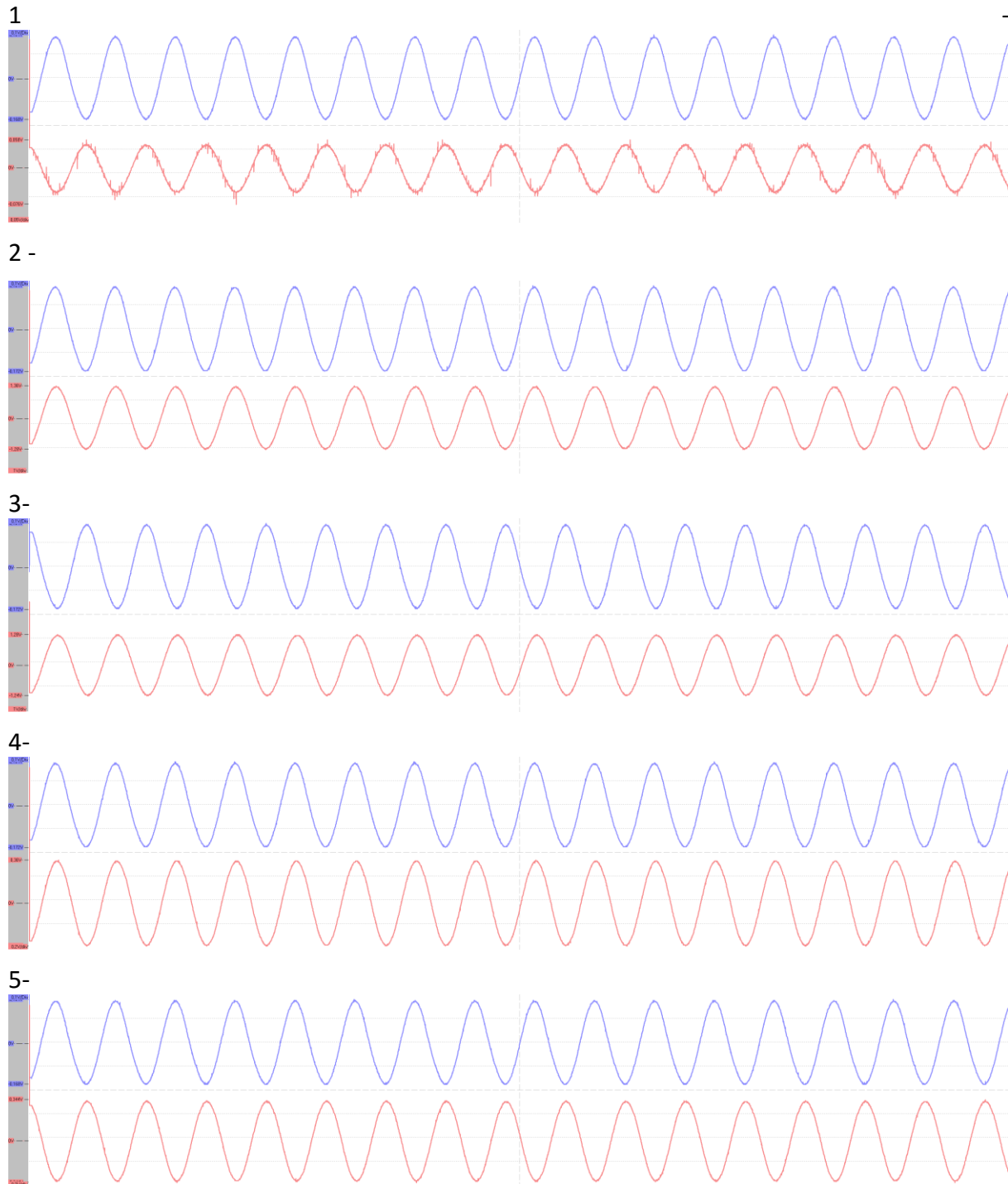
<https://www.ampbooks.com/mobile/classic-circuits/fender-champ-5e1-preamp/>

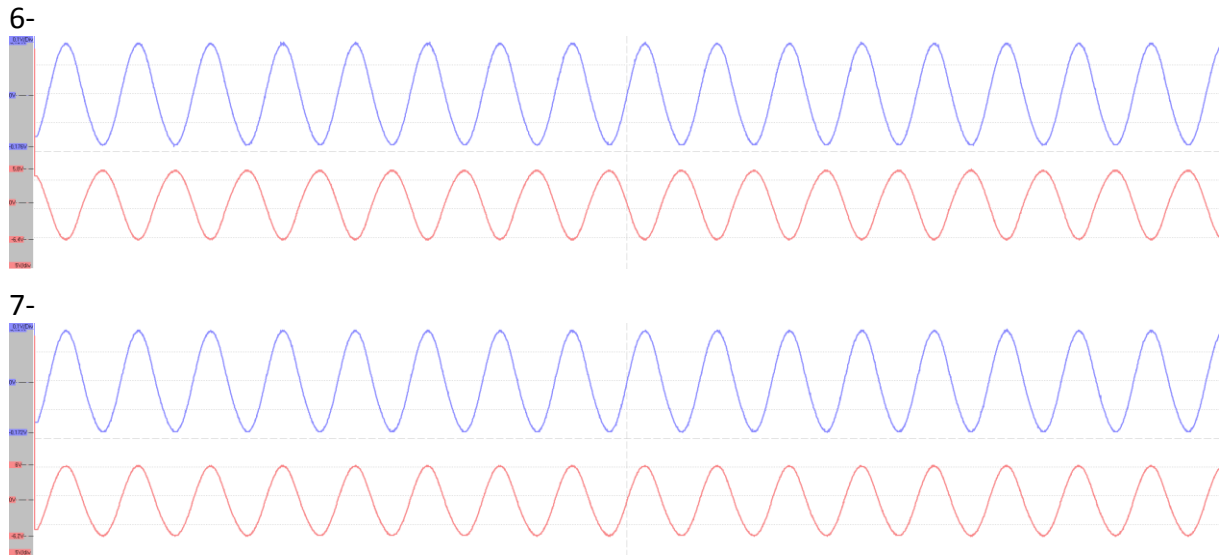
<https://www.ampbooks.com/>

6. ANNEXES

6.1. Mesures Pratiques

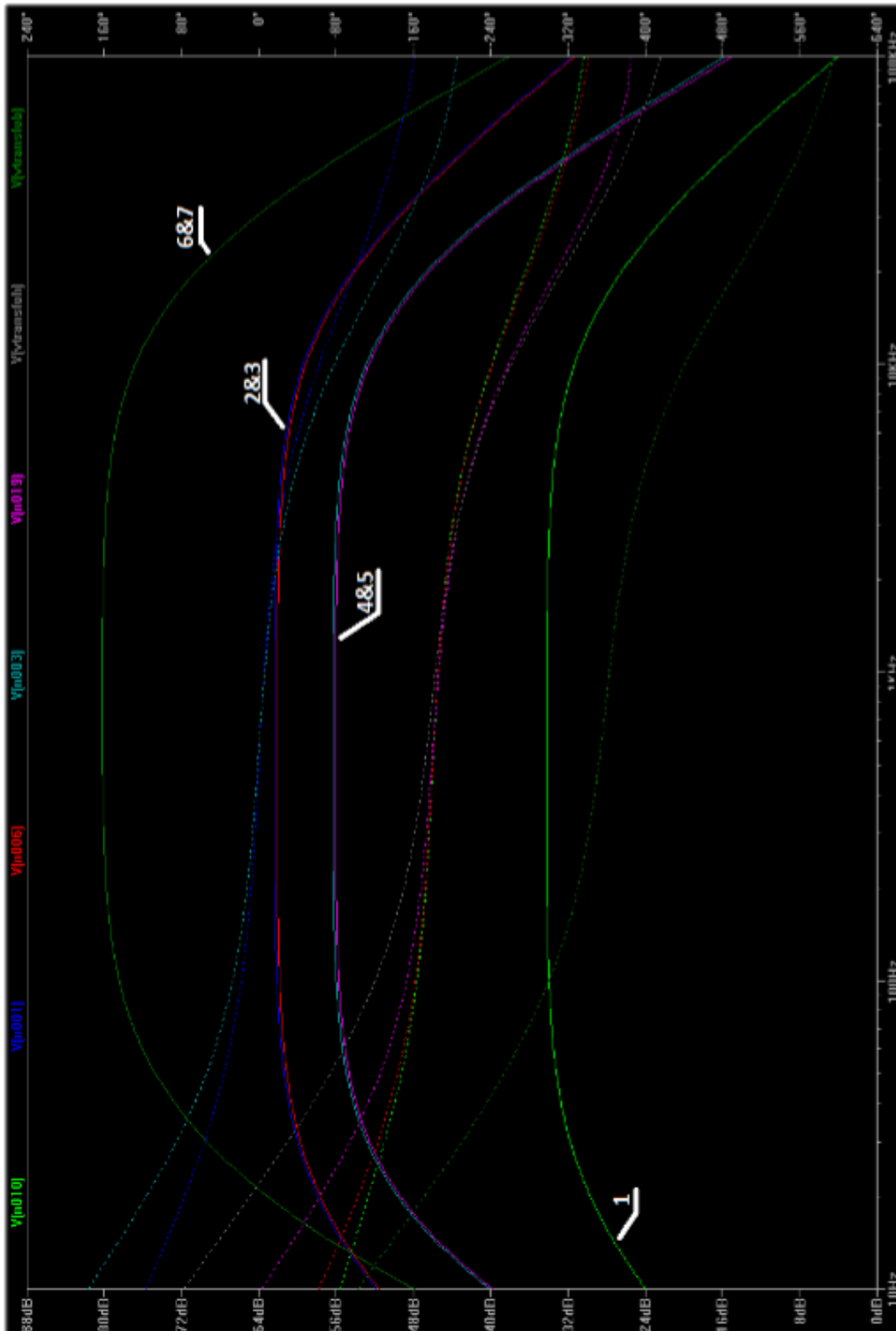
Annexe 1 :





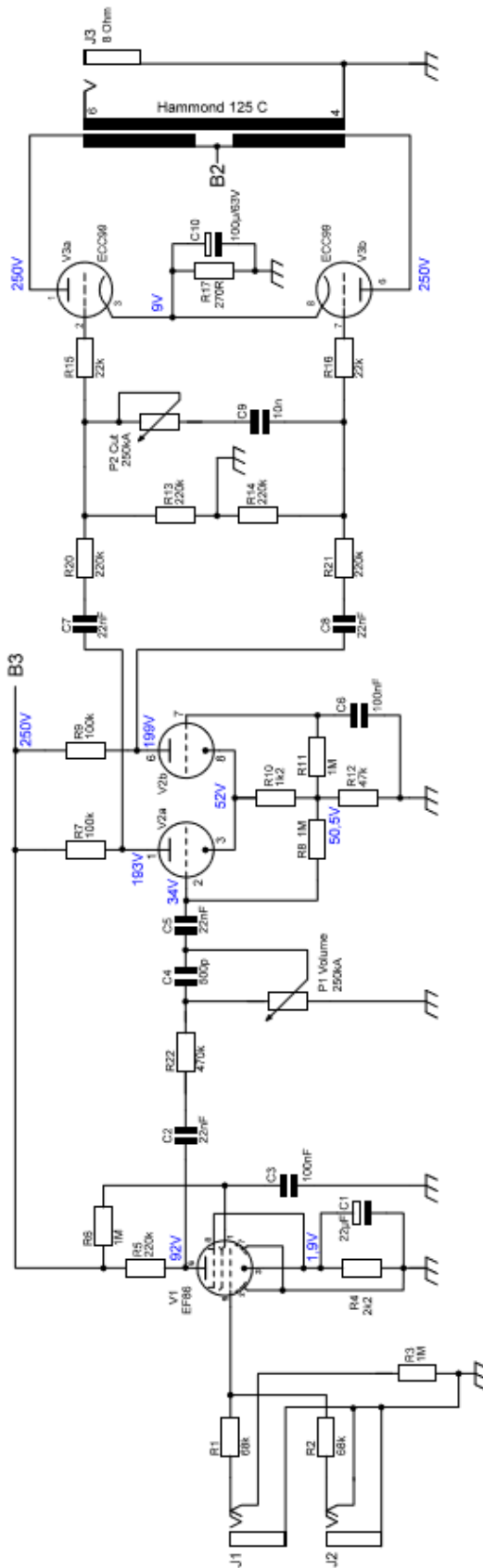
12- Graphiques Représentant la tension en fonction du temps

Annexe 2



13 - Graphique représentant le gain en dB en fonction de la fréquence en Hz

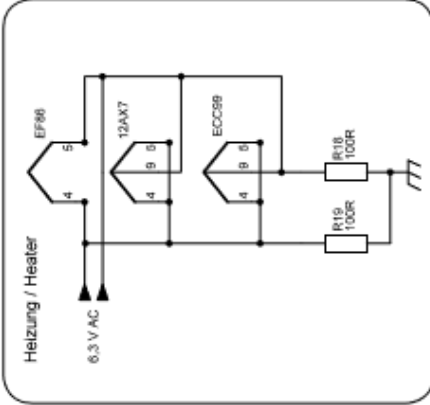
6.2. Documentation technique



Output configurations Hammond 125 series:

ECC99
 4 Ohm = 1 (black) + 3 (green) = 15 kOhm prim.
 8 Ohm = 4 (yellow) + 6 (white) = 12.8 kOhm prim.
 16 Ohm = 3 (green) + 6 (white) = 12.8 kOhm prim.

ECC82
 4 Ohm = 5 (violet) + 6 (white) = 22 kOhm prim.
 8 Ohm = 2 (orange) + 4 (yellow) = 22.5 kOhm prim.
 16 Ohm = 1 (black) + 4 (yellow) = 21.5 kOhm prim.



| Änderungen | | Bezeichnung | | Blattzahl |
|------------|------|-------------|-----------------|------------|
| Datum | Name | gez.: | Molly Schematic | Blatt-Nr.: |
| | | | | |
| | | | Zeichnungs-Nr.: | V 1.34 |

Copyright by Tube-Town GmbH
 Nur für private, nicht kommerzielle Anwendung. Nachbau auf eigene Gefahr.
 Only for private, non commercial use. Build it at your own risk.

14- Schéma technique du Molly

ECC83 S

R. F. DOUBLE TRIODE
Base: NOVAL

$U_r = 6,3/12,6 \text{ V}$
 $I_r = \text{ca.} 300/150 \text{ mA}$

Typical characteristic:

$U_a = 250 \text{ V}$
 $U_g = -2 \text{ V}$
 $I_b = 1,2 \text{ mA}$
 $S = 1,6 \text{ mA/V}$
 $R_0 = 62,5 \text{ k}\Omega$
 $\mu = 100$

Limiting values:

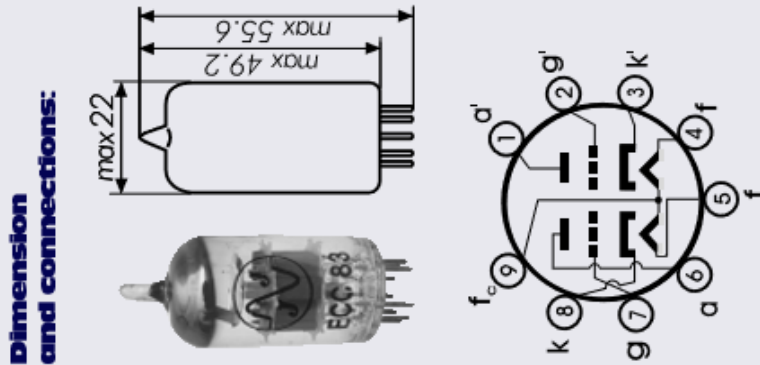
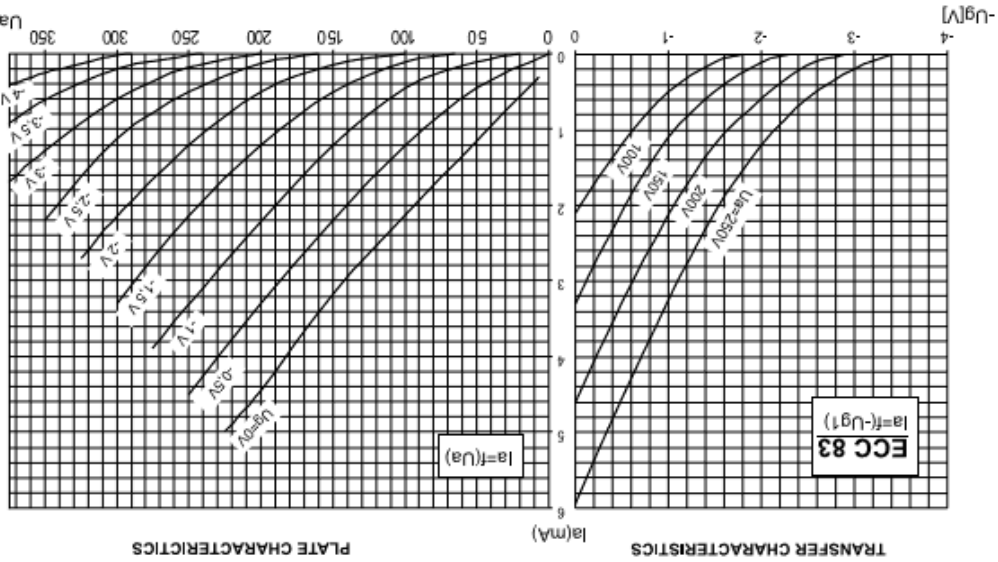
$U_a = 300 \text{ V}$
 $W_a = 1 \text{ W}$
 $I_k = 8 \text{ mA}$
 $U_g = -50 \text{ V}$
 $R_g = 2,2 \text{ M}\Omega$
 $U_{k/r} = 180 \text{ V}$
 $R_{k/r} = 150 \text{ k}\Omega$

Capacitances:

system I. system II.
 $C_{a/k} = 1,6 \text{ pF}$
 $C_a = 0,33 \text{ pF}$
 $C_{g/a} = 1,7 \text{ pF}$

Operating characteristics:

| | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------------|
| $U_b =$ | 250 | 400 | 250 | 400 | 250 | 400 | V |
| $R_a =$ | 47 | 100 | 100 | 220 | 220 | 220 | k Ω |
| $R_g =$ | 150 | 330 | 330 | 680 | 680 | 680 | k Ω |
| $R_k =$ | 1,2 | 0,68 | 1,5 | 0,82 | 2,7 | 1,2 | k Ω |
| $I_b =$ | 1,18 | 2,45 | 0,86 | 1,72 | 0,48 | 1,02 | mA |



Dimension and connections:

ECC99

R. F. DOUBLE TRIODE
Base: NOVAL

$U_r = 6,3$ or $12,6$ V
 $I_r = 800$ or 400 mA

Typical characteristic:

$U_a = 150$ V
 $U_g = -4$ V
 $I_a = 18$ mA
 $S = 9,5$ mA/V
 $R_i = 2,3$ k Ω
 $\mu = 22$

Limiting values:

$U_a = 400$ V
 $I_k = 60$ mA
 $U_{k/r} = 200$ V
 $W_a = 5$ W

Capacitances:

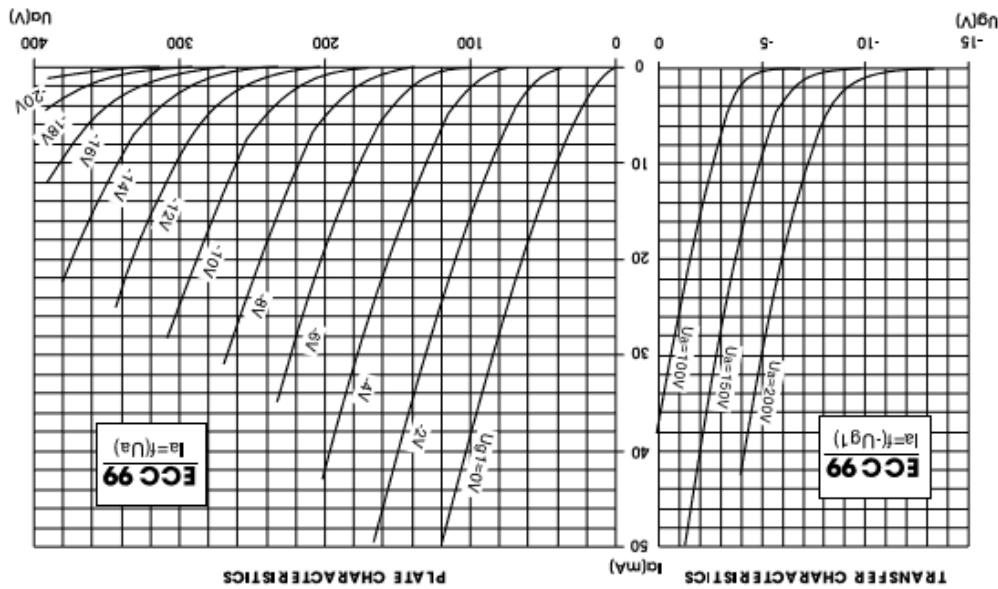
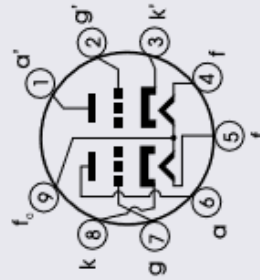
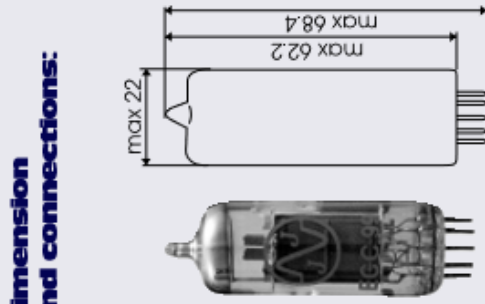
system I. system II.
 $C_{0/k} = 5,8$ 5,8 pF
 $C_a = 0,91$ 0,81 pF
 $C_{0/a} = 5,1$ 5,1 pF

Recommended use:

Driver of power triodes such as 300 B, 2A3..., Output stage headphone amplifiers, preamplifiers, power stage little P-P triode amplifiers (10W-4xECC99) and parallel voltage power supplies. Can be used instead of 5687, E182CC, 6840, 6BL7.

Note:

Outlets on some of these types, could have different set-up.



17- Caractéristique de lampe ECC 99

**MAZDA
BELVU**

PENTODE DE TENSION
Préamplificateur A.P. à faible bruit

EF 86
6 CF8

CARACTERISTIQUES GENERALES

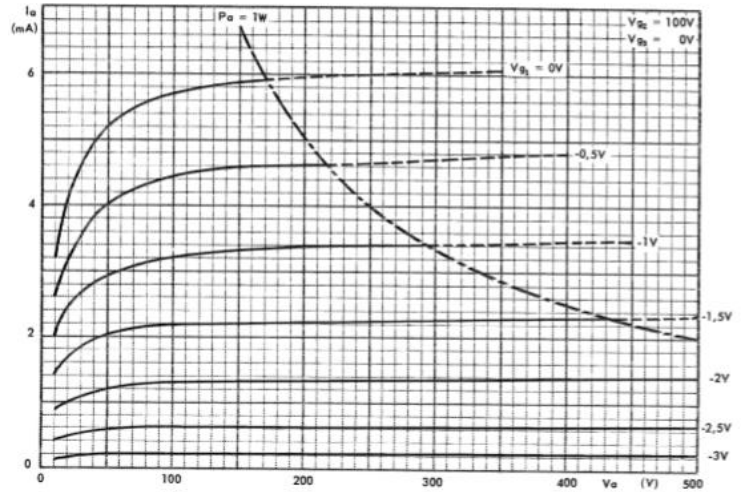
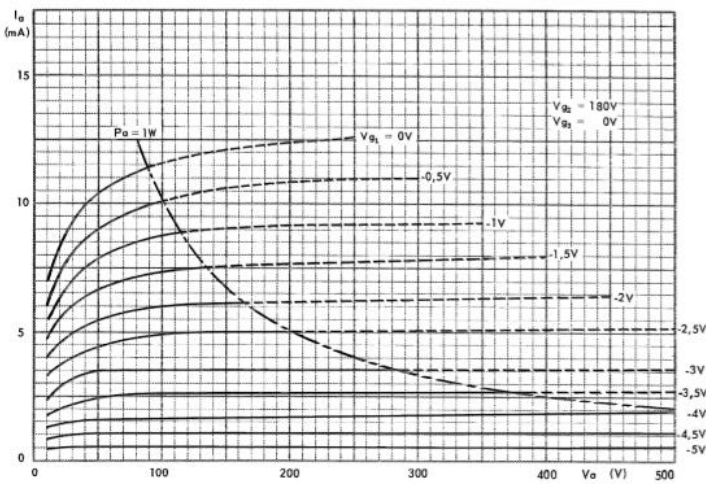
Cathode à chauffage indirect

Alimentation du filament en parallèle

| | | |
|---------------------------|----|--------------|
| Tension filament | Vf | 6,3 V |
| Courant filament | If | 200 mA |
| Ampoule | | A22-2 |
| Embrase | | 9C12 (Noval) |
| Position de montage | | quelconque |

Capacité interélectrodes (sans blindage extérieur)

| | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----------|
| Capacité d'entrée | Ce | 3,8 pF |
| Capacité de sortie | Cs | 5,3 pF |
| Capacité grille n° 1/anode | Cg _{1/a} | 0,05 pF |
| Capacité grille n° 1/filament | Cg _{1/f} | 0,0025 pF |



18 - Caractéristiques de la lampe EF 86