

Amplificateur stéréo à tubes 2x30 Watt

Push Pull Ultra Linéaire de tétrodes KT66 en classe AB



(philbob mars 2015)

[<http://bidulic.free.fr/>]

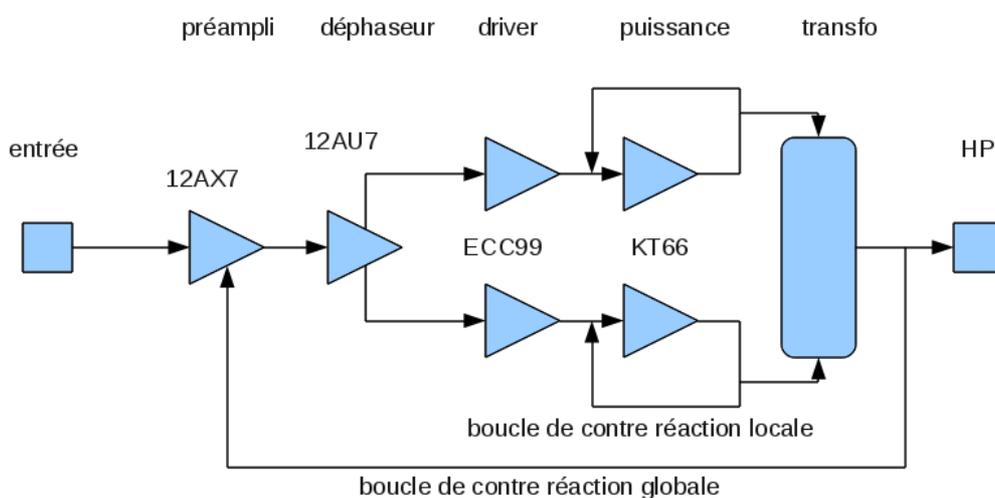
Table des matières

1Présentation.....	3
L'amplificateur.....	3
Face avant.....	4
face arrière.....	5
implantation.....	5
2Spécifications.....	6
3Branchements.....	9
Secteur.....	9
Entrées.....	9
Sorties.....	9
Masse.....	9
Boucles de masse.....	10
4Schémas.....	10
Schéma haute tension.....	11
Schéma temporisation.....	11
Schéma polarisation.....	11
Schéma chauffage continu.....	11
Schéma chauffage alternatif.....	12
Schéma amplificateur.....	12
5réglages.....	12
Réglage de la polarisation.....	13
Pré-réglage initial.....	13
Réglage statique.....	14
Réglage dynamique.....	14
réglage de la tension de chauffage continue.....	15
réglage de l'oeil magique.....	15
6Mesures.....	17
Réponse aux signaux carrés.....	17
Classe de fonctionnement.....	20
Courants de cathode des KT66.....	21
7Ouverture de l'amplificateur.....	23
8Composants.....	24
Tubes.....	24
condensateurs.....	25
transformateurs.....	25
potentiomètre.....	25
sélecteur.....	25
Fournisseurs.....	25
9entretien et usage.....	26
10Remplacement des tubes.....	27
Durée de vie des tubes.....	27
Quand remplacer les tubes ?.....	27
11Annexes.....	28

1 Présentation

L'amplificateur

Cet amplificateur est un push pull de tétrodes KT66 montées en ultra linéaire. Le schéma reprend les caractéristiques d'un montage « Williamson » fondé sur un étage pré amplificateur, un étage déphaseur, un étage drivers et un étage de puissance. La contre réaction est fractionnée en une boucle locale (liaison des KT66 en ultra linéaire) et une boucle globale.



La puissance de sortie est assurée par un push pull de tétrodes KT66 . La classe de fonctionnement est du type AB. Tel que construit, l'amplificateur délivre 30 W par canal dans d'excellentes conditions de distorsion ($d_{TH} < 1\%$) et peut sans risque délivrer 2 x 45 W sur des transitoires.

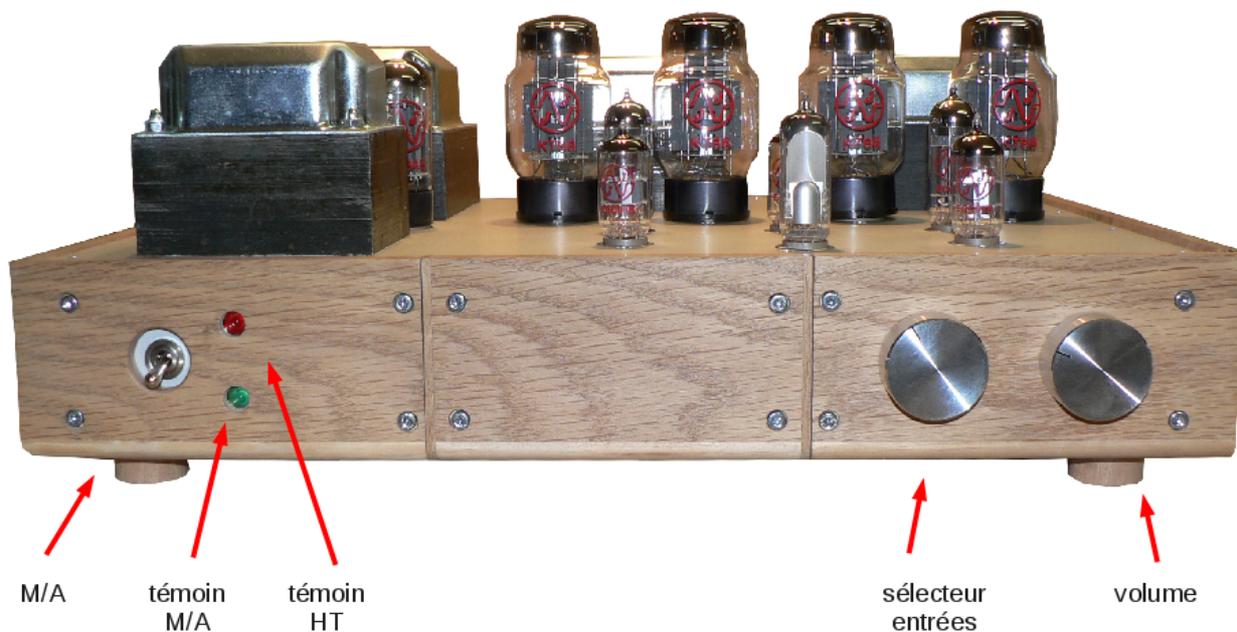
Cet amplificateur est destiné à des haut-parleurs dont l'impédance est de l'ordre de 8 Ω .

En fonctionnement, les tubes de puissance peuvent atteindre une température de 250°C. Il est conseillé de positionner l'amplificateur dans un endroit aéré et hors de portée des enfants.

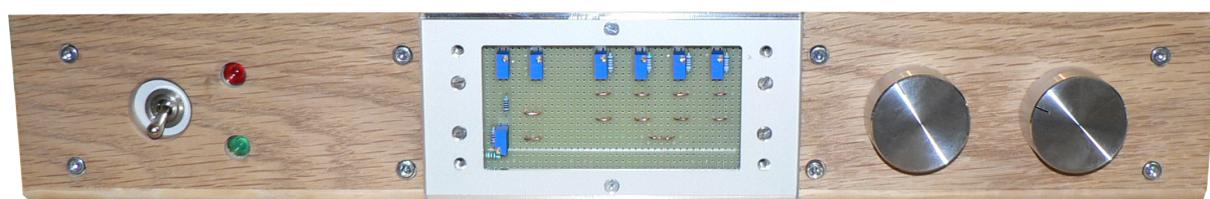
Face avant

La face avant est constituée d'un interrupteur de Marche/Arrêt, d'un voyant vert de marche, d'un témoin rouge de présence de la haute tension. Celui ci s'allume environ 17 secondes après la mise en marche.

Pour les contrôles, il y a un sélecteur d'entrée à 3 positions et un potentiomètre de volume.



La partie centrale du bandeau peut être dévissée. Elle donne alors accès à un panneau de réglage et de contrôle de l'amplificateur.



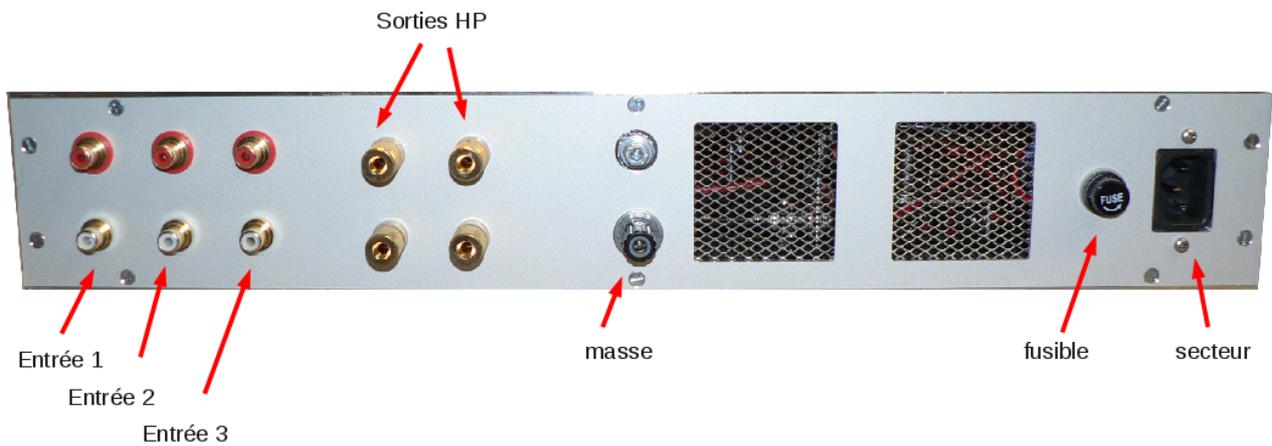
En cas de changement de signal d'entrée, il est recommandé de baisser le volume. De même lors de l'arrêt de l'amplificateur, il est souhaitable de baisser le volume. La production de la haute tension est équipée d'un réseau amortisseur dont le but est d'éviter la délivrance d'un « plop » sonore dans les haut-parleurs lors de l'arrêt de l'amplificateur.

A la mise sous tension, l'amplificateur nécessite un délai d'environ 17 secondes avant d'être opérationnel (temps de chauffage des tubes). C'est également le temps nécessaire à l'établissement de la haute tension. Les tubes de puissance atteignent leur plein pouvoir émissif environ 30

secondes après la mise en marche. Il est recommandé d'attendre ce temps avant d'utiliser l'amplificateur à pleine puissance.

face arrière

La face arrière regroupe toutes les connections de l'ampli : Le secteur, les entrées et les sorties.



implantation

Implantation des composants en face supérieure.



2 Spécifications

Cet amplificateur est construit suivant une ligne très classique et très simple. L'objectif est de disposer d'une puissance de sortie de 2 x 30 W et de pouvoir commuter 3 entrées différentes.

L'architecture retenue est de type « Williamson » et met en oeuvre un pré ampli, un déphaseur cathodyne, un driver et un étage de puissance monté en push pull. Les tétrodes sont couplées en ultra linéaire au transformateur de sortie. La contre réaction est fractionnée en une boucle locale et une boucle globale.

Un oeil magique (tube EM80) sert de vu-mètre sur le signal d'entrée. La déviation maximale est atteinte pour un signal de +/- 1,7 V crête à crête.

Le choix des tubes, double triode 12AX7 / ECC83 pour le pré ampli et 12AU7 / ECC82 pour le déphaseur est guidé par leurs caractéristiques audio et par le fait que ces tubes sont toujours fabriqués et donc très répandus. De même, on retrouve l'excellente double triode ECC99 dans le rôle du driver. Ce tube est choisi pour sa grande linéarité. Enfin, on ne présente plus la KT66, tétrode à faisceau dirigé qui, couplée en ultra linéaire, offre une généreuse puissance de sortie de 30 W par canal.

Le tableau ci dessous dresse les caractéristiques principales de cet ampli.

SPECIFICATIONS	
Type	Push Pull
4 Tubes de puissance	KT66
2 Tubes pré ampli	12AX7 / ECC83
1 Tube déphaseur	12AU7 / ECC82
2 Tubes drivers	ECC99
1 Tube de visualisation (oeil magique)	EM80
2 Tubes redresseurs	GZ34
Classe de fonctionnement	AB
Puissance de sortie	2 x 30 W
Couplage au transfo de sortie	Ultra linéaire
Spécifications entrées	
Sensibilité	Environ 0,5 V crête à crête
Impédance	70 k Ω
Connecteur	Embase RCA
Distribution de masse sur les entrées	Le blindage des câbles RCA est raccordé à la masse du châssis et donc à la terre du réseau EDF.
Sélection	3 entrées possibles sélectionnables par commutateur rotatif en face AV
Spécifications sorties	
Impédance HP	De 6 Ω à 8 Ω
Impédance de sortie	0,84 Ω
Facteur d'amortissement (sur HP 8 Ω)	9,5
Connecteur HP	Embase à visser et à fiche Φ 4 mm Les fiches noires sont à la masse de l'ampli
Alimentation secteur	
Protection secteur	Fusible 6 A (type verre Φ 5 mm long 20mm) situé dans un porte fusible en face AR
Spécifications ampli	
Haute tension continue (étage de puissance)	378 V
Haute tension continue (étage drivers)	291 V
Haute tension continue (étage déphaseur)	238 V

Haute tension continue (oeil magique)	184 V
Haute tension continue (pré ampli)	193 V
Polarisation des tubes de puissance	Fixe -40 V (dérivée d'une Vneg de -62 V)
Courant de repos des tubes de puissance	40 mA / tube
Distorsion à 30 W	<1% (typique 0,3% @ 25 W)
Bande passante	De 3 Hz à 115 kHz (@ -6dB)
Contre réaction locale (ultra linéaire)	6 dB
Contre réaction globale	20 dB
Contre réaction totale	26 dB
Gain de l'ampli	30 dB
Chauffage tubes de puissance et drivers	6,3 V alternatif (référéncé à la masse)
Chauffage tubes étage pré ampli, déphaseur et oeil magique	6,3 V continu (référéncé à 40 V)
Temps de mise en chauffe	Environ 17 secondes. Point de repos des KT66 atteint en 30 secondes.
Commandes et contrôles en face AV	
Interrupteur M/A	Coupure bipolaire
Sélecteur d'entrée	3 positions
Volume	Potentiomètre stéréo logarithmique 100 kΩ (Z entrée 70 kΩ)
Voyant M/A	Led verte
Voyant présence HT	Led rouge
Vu-mètre	Oeil magique
Commandes et contrôles en face AR	
Prise de masse	par fiche Φ 4 mm
Commandes et contrôles en face avant derrière le cache	
Polarisation fixe	Un réglage par tube de puissance, prise de mesure pour la polarisation négative et pour le courant de chaque tubes de puissance
Ajustement déviation oeil magique	Un réglage par canal
Ajustement chauffage 6,3 Vcc	Un réglage par potentiomètre multi tours

Divers	
Refroidissement	Convection naturelle (ouïes en faces inférieure et arrière)
Température pendant le fonctionnement	Max 50°C (hors tubes)
Châssis	Boîtier aluminium 2,5 mm et parement bois (toutes les parties métalliques sont raccordées à la terre)

3 Branchements

Secteur

Secteur 220 – 230 Vac 50-60 Hz. Puissance absorbée environ 150 W.

Cordon 3 fils phase, neutre, terre.

IMPORTANT : Raccordement à la terre impératif.

Protection par fusible 6 A retardé (type verre Φ 5 mm long 20mm).

Entrées

Fiches RCA branchement asymétrique. Le point froid qui correspond au blindage du câble est raccordé à la masse de l'ampli. Les 3 entrées ont les mêmes caractéristiques.

En général, les sources type lecteur CD nécessitent d'être raccordées à la masse. L'impédance d'entrée est de 70 k Ω , la sensibilité est de l'ordre de 0,5 V crête à crête.

Ces entrées ne conviennent pas pour une platine vinyle qui nécessite un pré ampli à correction RIAA.

Sorties

Les sorties sont adaptées pour des haut parleurs d'impédance comprise entre 6 Ω à 8 Ω . Le bornier permet le vissage direct du câble ou le branchement de fiches banane Φ 4 mm. Les bornes noires sont raccordées à la masse du châssis. Le courant délivré aux HP peut atteindre 2 A, prévoir des câbles d'enceinte dont la section est d'au moins 2x2,5 mm².

IMPORTANT : ne pas faire fonctionner l'ampli à vide sans raccorder les haut parleurs.

IMPORTANT : ne pas faire fonctionner l'ampli avec les sorties en court circuit.

Masse

Une embase pour fiche banane Φ 4 mm est disponible en face arrière pour raccorder la masse de l'ampli à certaines sources (typiquement pour un pré ampli RIAA de platine vinyle).

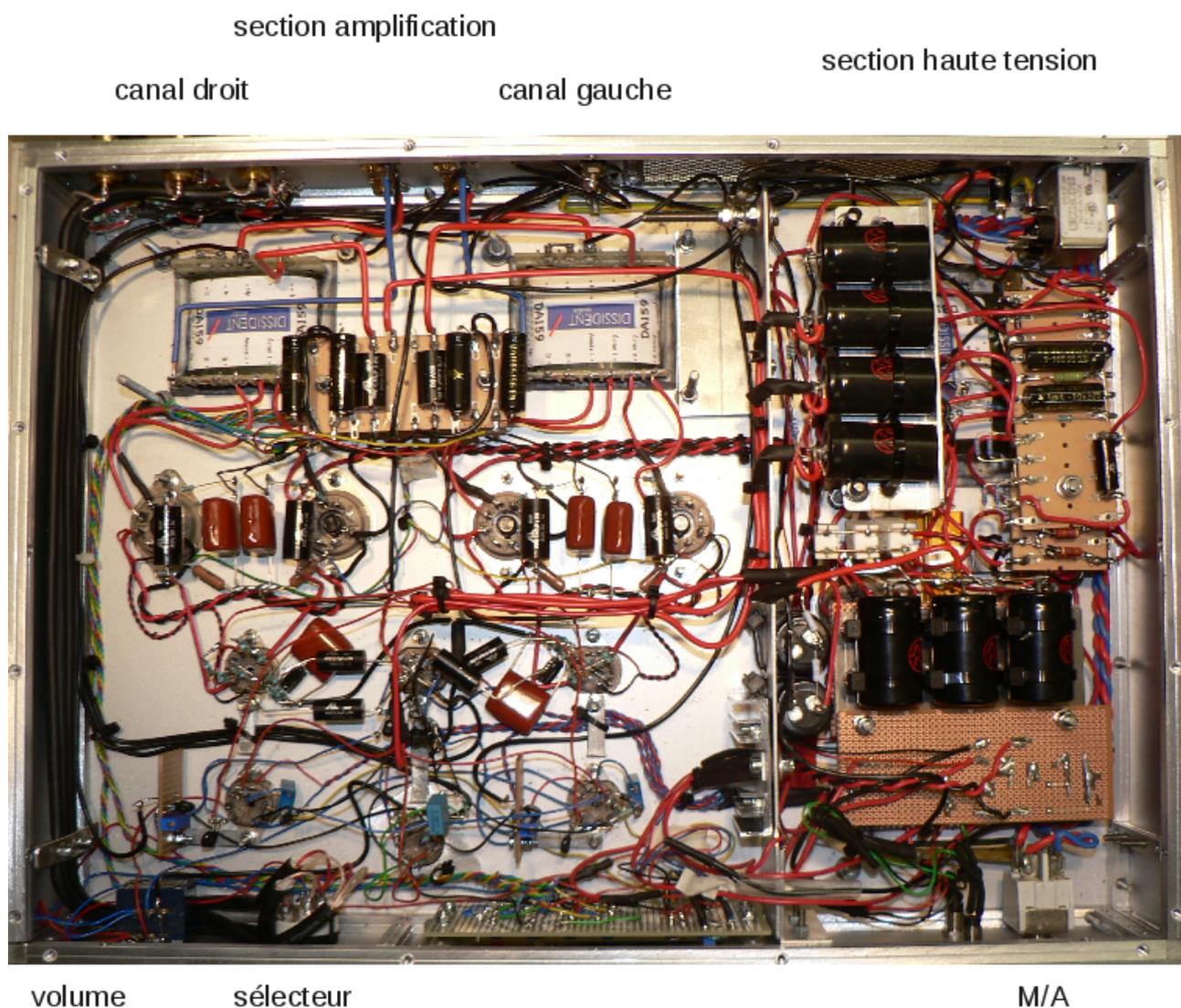
La masse électrique de l'amplificateur est reliée à la terre du secteur.

Boucles de masse

Dans la mesure du possible, le raccordement entre les différents éléments d'une chaîne ne doit pas créer de boucle de masse. Ces boucles sont susceptibles d'engendrer de la ronflette. Les appareils modernes sont construits avec une double isolation électrique et ne sont pas raccordés à la terre du secteur. Le potentiel de leurs sorties est donc flottant. Cela n'est pas le cas de cet ampli qui, pour des raisons de sécurité doit être raccordé à la terre. Le non référencement de la sortie d'une source à l'entrée de l'ampli produit un fort ronflement à 50 Hz. Pour annuler cette ronflette, il faut référencer la source à la masse de l'ampli. C'est pour cette raison que le blindage des câbles RCA est relié à la masse du châssis.

4 Schémas

Vue de l'intérieur de l'ampli



L'amplificateur est divisé en deux compartiments : L'un qui abrite la production des tensions, l'autre qui accueille l'amplification du signal. Les compartiments sont séparés par une cloison en aluminium. Les deux canaux d'amplification sont identiques. Le câblage est réalisé « en l'air » et sur plaques à cosses.

Schéma haute tension

La haute tension est obtenue par redressement du secondaire 450-450 V du transformateur d'alimentation. Le redressement est réalisé par un pont complet mixte : Deux diodes silicium et deux diodes à vide GZ34. La configuration retenue est un redressement par self en tête. Le lissage des hautes tensions est produit par une cascade de filtre en π . En fin de ligne, une Led rouge est alimentée et fait office de témoin de présence HT. Cette Led sert également à décharger les condensateurs HT à l'arrêt de l'ampli.

L'établissement de la HT est progressif, environ 17 secondes, et intervient au moment où les tubes sont chauds. L'extinction de la HT est relativement rapide, environ 5 secondes. La ligne de production de la haute tension est dotée d'une temporisation dont le fonctionnement est décrit plus loin.

Schéma temporisation

Un dispositif de limitation du courant est installé sur la ligne de haute tension pour éviter les surintensités à la mise sous tension lorsque les tubes sont en capacité de conduire. Cette configuration se rencontre lorsque l'on remet sous tension l'amplificateur quelques secondes après son arrêt. Les capacités sont déchargées mais, les tubes encore chauds conservent leur pouvoir émissif et le courant d'appel peut dépasser les limites des diodes à vide. Pour éviter cela, une résistance de 470Ω est insérée dans la ligne haute tension, Cette résistance est shuntée par un relais au bout d'une temporisation d'environ une seconde après la mise sous tension.

La temporisation est réalisée par un circuit intégré NE555 monté en mono stable. La sortie de ce circuit commande un transistor 2N2222 qui pilote un relais de commutation. La temporisation est d'environ une seconde et se réarme automatiquement à la mise sous tension de l'amplificateur.

Schéma polarisation

La polarisation des tubes de puissance est du type fixe. Elle est obtenue par une tension négative à laquelle est référencée la tension de grille de chaque tétrode. Cette tension est dérivée d'un enroulement du secondaire du transformateur d'alimentation prévu à cet effet. La tension prélevée est de -65 Vac et est redressée par un pont complet de diodes silicium puis filtrée par un filtre en π . A la sortie de ce filtre se trouvent 4 potentiomètres desquels sont issues les tensions de polarisation des tétrodes. Des condensateurs placés au plus près des tubes de sortie parachèvent le filtrage des tensions de polarisation.

Schéma chauffage continu

Le chauffage sous $6,3 \text{ V}$ continu est obtenu par redressement d'un secondaire du transformateur d'alimentation 10 V . La tension est d'abord redressée par 4 diodes silicium puis filtrée par une forte capacité ($2 \times 4700 \mu\text{F}$). La tension est alors régulée par un régulateur LT1084. En sortie, la tension de $6,3 \text{ V}$ alimente les filaments des 2 triodes amplificatrices, du déphaseur, de l'oeil magique ainsi qu'une Led verte signalant la mise en marche de l'ampli. Cette tension redressée est référencée à environ $+40 \text{ V}$ (tension générée en fin de ligne HT). Le $6,3 \text{ V}$ sert également à la carte de temporisation.

A noter que la dissipation thermique du régulateur est d'environ 3 W . Celui ci est disposé sur un radiateur fixé à la paroi interne de séparation de l'ampli.

Schéma chauffage alternatif

La production de la tension de chauffage des tubes de puissance ainsi que celle des drivers provient d'un secondaire spécifique du transformateur d'alimentation. Le point milieu des enroulements est réalisé à l'aide de résistance de $560\ \Omega$ référencées à la masse.

Schéma amplificateur

L'architecture de cet ampli est très classique. On retrouve l'architecture de Williamson. En entrée, un pré ampli basé sur une triode 12AX7 attaquée sur sa grille par le signal prélevé en sortie du potentiomètre de volume. La polarisation est automatique avec une entrée pour la contre réaction en pied de cathode. Suit un déphaseur cathodyne basé sur une triode 12AU7. La cathode des 12AX7 n'est pas découplée et la charge de plaque accueille un réseau compensateur limitant la bande passante de cet étage.

Pré ampli et déphaseur sont couplés en direct. Les sorties du déphaseur attaquent les drivers par une liaison capacitive référencée à la masse. Les drivers sont montés avec un léger couplage de cathode. Les grilles des drivers sont protégées des oscillations parasites par une résistance de $1\ \text{k}\Omega$.

La sortie des drivers est du type capacitive avec résistance de $15\ \text{k}\Omega$ (contre les oscillations parasites).

La sortie des drivers sont référencées à une polarisation négative, chaque sortie possède sa propre polarisation. Vient enfin l'étage de puissance constitué de deux tétrodes KT66 montées en push pull. Le couplage au transformateur de sortie est du type ultra linéaire avec prise écran à 40%. Le point de fonctionnement au repos est ajusté pour que le courant traversant chaque tétrode soit de $40\ \text{mA}$.

La boucle de contre réaction est classiquement prise sur le secondaire du transformateur de sortie et réinjectée en pied de cathode du pré ampli via une résistance en parallèle avec une capacité de faible valeur. La contre réaction totale, indispensable sur un amplificateur à tétrodes, est composée d'une boucle locale et d'une boucle globale.

La boucle locale provient du couplage en ultra linéaire et réduit de $6\ \text{dB}$ le gain de l'ampli.

La boucle globale est donnée par l'injection du signal de sortie sur le pré ampli. La cellule de ré-injection comporte une résistance de $47\ \text{k}\Omega$ associée à une capacité de $33\ \text{pF}$, ce qui provoque une réduction de gain de $20\ \text{dB}$. La contre réaction totale est donc de l'ordre de $26\ \text{dB}$. Dans cette configuration, l'impédance de sortie de l'ampli est de $0,84\ \Omega$ et le facteur d'amortissement en sortie est d'environ 10 (sur une charge de $8\ \Omega$)

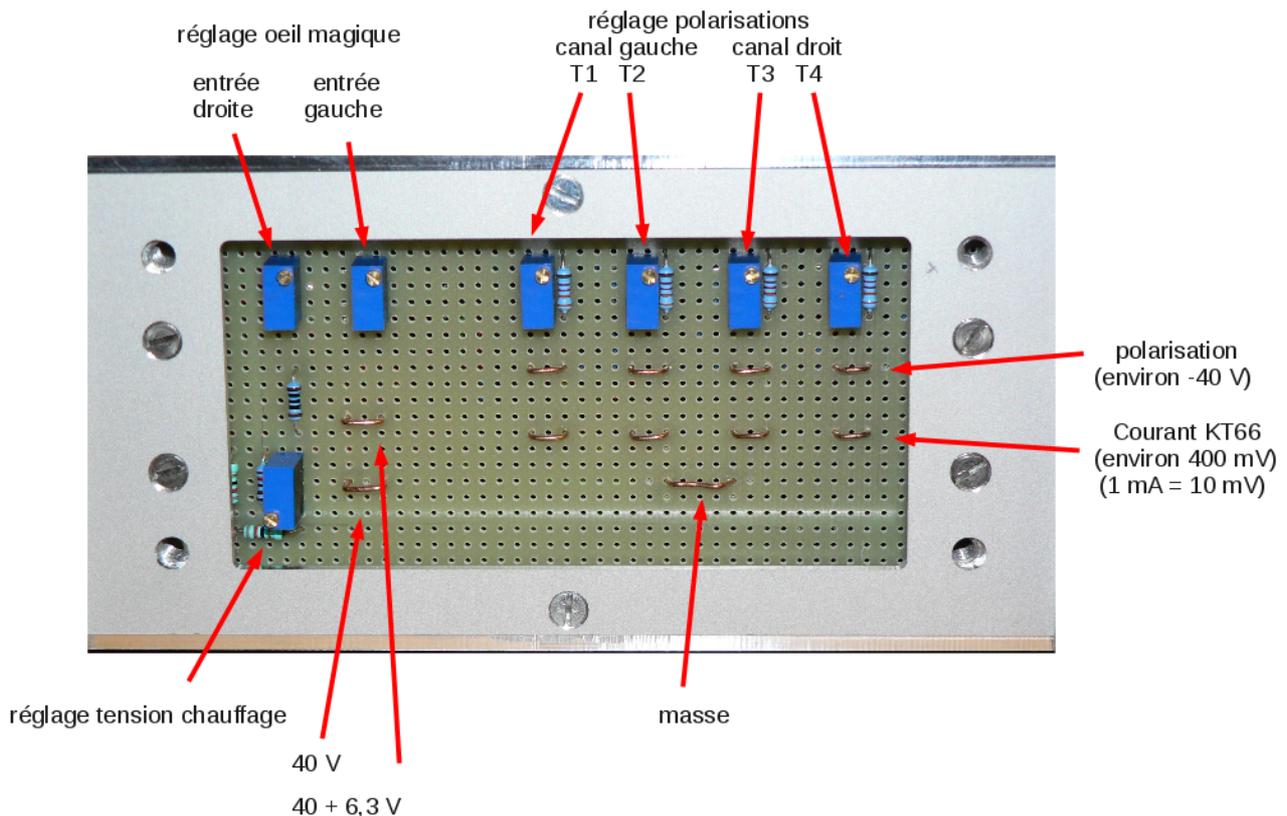
Avec ces réglages, la distorsion reste inférieure à $0,8\%$ à la puissance maximale et passe en dessous de $0,3\%$ à $25\ \text{W}$. (ces valeurs sont issues de la simulation, elles n'ont pas été mesurées sur l'ampli)

5 réglages

Les réglages peuvent se faire avec la sortie raccordée aux haut parleurs, néanmoins il est préférable de débiter sur des charges résistives de $8\ \Omega$ de forte puissance ($50\ \text{W}$). Le matériel nécessaire à ces opérations est constitué d'un multimètre, d'un oscilloscope et d'un générateur basse fréquence.

La reprise des réglages n'est normalement pas nécessaire. Elle peut s'envisager lors du changement des tubes de puissance pour ajuster et équilibrer les courants des KT66.

Pour accéder aux réglages de l'ampli, démonter le panneau central en face avant.



Sur le panneau de réglage de la face avant, pour la polarisation, il y a des cavaliers de cuivre qui servent à brancher les pinces croco du voltmètre ou les sondes de l'oscillo. Pour mémoire, la tension de polarisation est une mesure directe, cette tension est négative. La mesure du courant est obtenue par la mesure de la tension qu'il engendre en traversant une résistance de 10Ω située en pied de chaque cathode. Dans ces conditions, un courant de 40 mA donnera une mesure de 400 mV.

Réglage de la polarisation

La polarisation des tubes de puissance (KT66) détermine le point de fonctionnement de l'étage final de l'ampli ainsi que sa classe (A, AB). Ce réglage est important car il conditionne à la fois l'équilibre du push pull mais le courant de repos de chaque tube. Avec 400 V de haute tension le courant maximum à ne pas dépasser est de 65 mA par tube. Le courant de repos choisi pour cet ampli est de 40 mA et détermine le fonctionnement en classe AB, Voir les figures de classe dans le chapitre des mesures.

Pré-réglage initial

C'est le premier réglage à faire lorsque l'ampli vient d'être câblé. Il n'y a pas lieu d'y revenir par la suite, même lors d'un changement de tubes. Le but de ce réglage est de positionner les potentiomètres afin que les tensions de polarisation soient de l'ordre de -45 V.

Matériel nécessaire : voltmètre.

Brancher le voltmètre entre la masse et la borne de mesure de polarisation. Mettre l'ampli sous tension et régler la tension en agissant sur le potentiomètre concerné. Répéter ce réglage sur les 3 autres tubes.

Réglage statique

Le réglage statique est à faire à chaque changement de tubes. Le but de ce réglage est d'amener chaque tube à débiter un courant au repos de 40 mA afin d'équilibrer chaque push pull et d'équilibrer le canal gauche avec le canal droit..

Matériel nécessaire : voltmètre.

Pour cette opération, l'ampli doit être en ordre de marche normale depuis au moins 1 minute (les tubes doivent être chauds), impérativement volume à zéro. (par précaution, débrancher les entrées RCA)

Pour le canal gauche, brancher le voltmètre entre la masse et la borne de mesure du courant du tube n°1. Régler le potentiomètre concerné pour obtenir une tension de 400 mV. Faire de même avec le tube n°2. Comme il y a couplage entre les deux tubes, le réglage de l'un agit légèrement aussi sur le réglage de l'autre. Cette opération doit être faite plusieurs fois de suite afin d'arriver au réglage souhaité.

Faire de même avec le canal droit et les tubes n°3 et n°4.

Nota : Ce réglage doit être fait lors d'un changement de tube KT66 puis repris après 10 heures de service, une fois que les tubes sont « rodés ».

Réglage dynamique

Le réglage statique peut être amélioré par la recherche de l'équilibre dynamique de chaque push pull. Il s'agit cette fois d'équilibrer le courant maximum de chaque tube d'un canal alors que celui-ci débite. En effet, il y a parfois un léger déséquilibre entre les courants maximum alors que les courants de repos sont identiques. Cela vient de la dispersion des caractéristiques des composants (tubes, transfos, résistances, etc...)

Matériel nécessaire : générateur BF, oscilloscope 2 traces, 2 résistances 8 Ω 50 W.

Retirer les HP et faire débiter chaque canal sur une résistance 8 Ω .

Régler le générateur BF pour obtenir en sortie un signal sinusoïdal d'amplitude 1 V et de fréquence 1 kHz. Ce signal sera présenté à l'entrée RCA concernée.

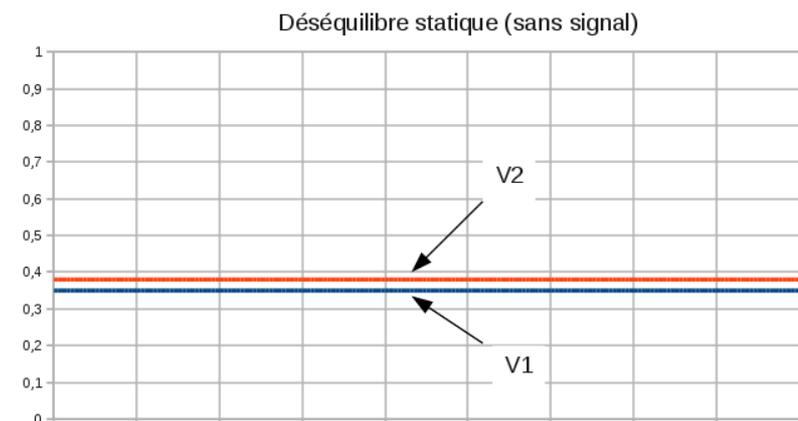
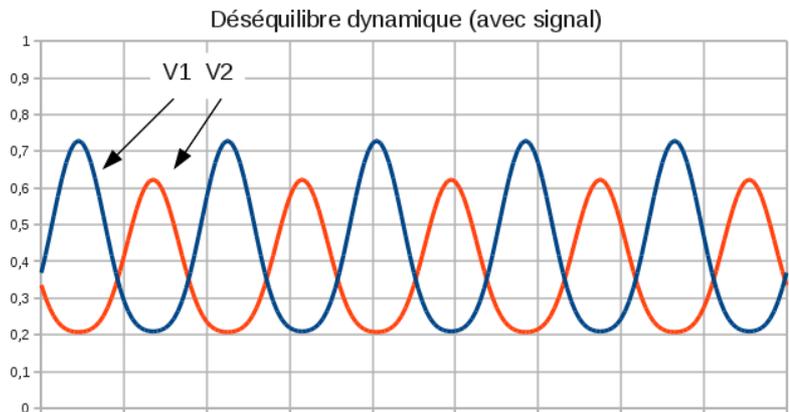
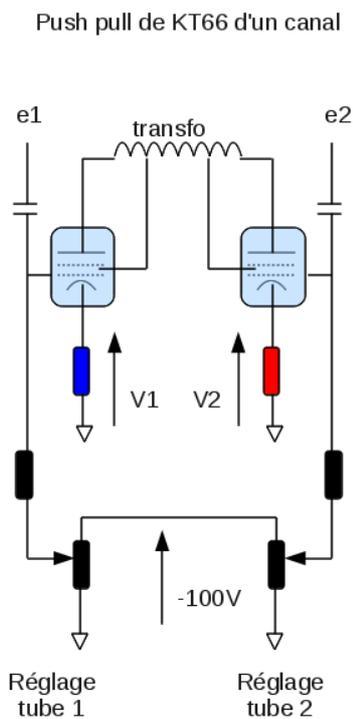
Mettre le volume à zéro, positionner la sonde de l'oscillo sur la borne rouge de la sortie HP, augmenter petit à petit le volume de manière à obtenir une tension de sortie de +/-10 V (20 V crête à crête). Cela correspond à une puissance de sortie d'environ 7 W.

Cela étant fait, positionner les sondes de l'oscillo sur la borne de mesure du courant de chacun des tubes du canal à régler (tube n°1 n°2 pour le canal gauche, tube n°3 n°4 pour le canal droit)

Régler l'oscillo sur DC calibre 500 mV et superposer les traces (en l'absence de signal, les traces sont normalement confondues si le réglage statique est bon).

En présence de signal, le courant de chaque tube varie. (rappel : les deux tubes sont déphasés de 180°). Régler aux potentiomètres les valeurs de polarisation pour que les maximum des courants soient identiques.

Couper le signal du générateur, vérifier que les courants de repos sont voisins de 40 mA et contrôler l'éventuel déséquilibre. Il est fort possible qu'il y ait quelques mA d'écart. Si l'écart est fort (>10 mA), cela indique qu'un des deux tubes est « usé », son remplacement est à prévoir, voire même le remplacement des deux tubes.



réglage de la tension de chauffage continue

Le réglage de la tension de chauffage s'effectue en face avant. A côté du potentiomètre de réglage se trouvent deux cavaliers en cuivre. Positionner les pinces croco du multimètre sur ces deux cavaliers et régler la valeur de la tension à 6,3 V.

ATTENTION, le circuit de chauffage n'est pas référencé à la masse mais à un potentiel de 40 volt. Il convient donc de ne pas employer une sonde d'oscillo car sa prise masse réaliserai alors un court circuit entre la masse et la tension de référence du chauffage.

réglage de l'oeil magique

L'oeil magique sert de vu-mètre sur le signal entrant. La déviation ne dépend donc pas du volume

de sortie de l'ampli. Le niveau entrant est typiquement compris entre +/-0,5 V et +/-2V. Ce sont les niveaux habituellement constatés en sortie d'un lecteur CD. Le but du réglage est d'obtenir la déviation maximale pour un signal d'entrée choisi ici à +/-1,7 V.

Le signal entrant est stéréo mais le circuit électronique de pilotage de l'oeil magique le convertit en signal mono de sorte que c'est le signal le plus fort (gauche ou droite) qui agit sur la déviation.

Matériel nécessaire : générateur BF, oscilloscope.

Régler le générateur BF pour obtenir en sortie un signal sinusoïdal d'amplitude 1,7 V et de fréquence 1 kHz. Ce signal sera présenté à l'entrée RCA gauche, l'entrée droite sera débranchée.

Le réglage est visuel. Ajuster à l'aide du potentiomètre pour que la déviation soit proche de la déviation maximale. Alimenter les entrées RCA gauche et droite avec le signal puis ajuster l'autre potentiomètre jusqu'à ce que la déviation augmente à nouveau très légèrement. A ce stade, la sensibilité de l'oeil magique est sensiblement identique sur les deux canaux.

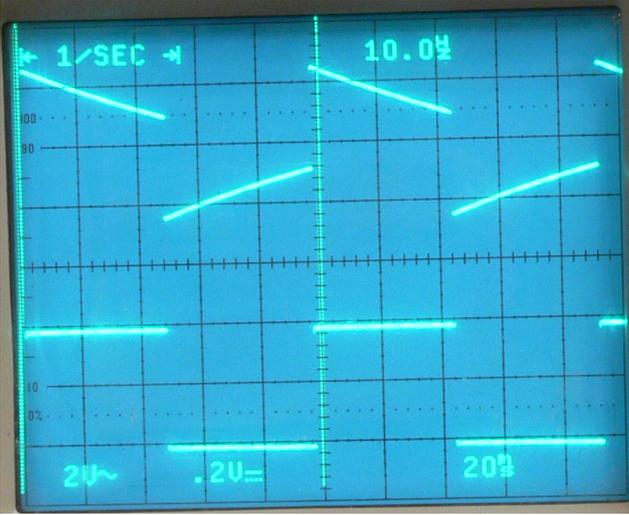
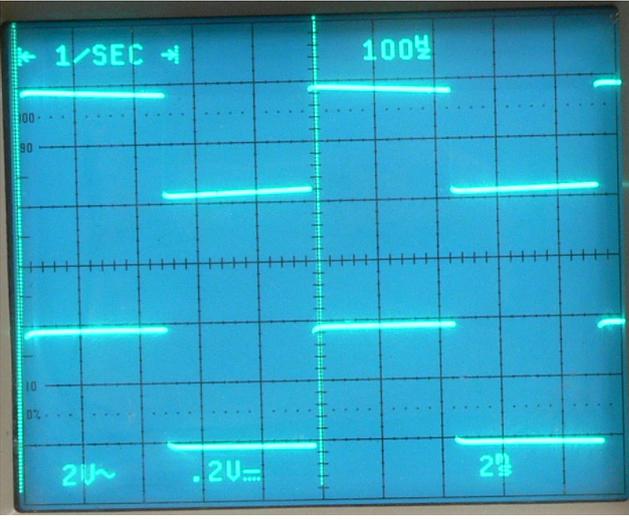


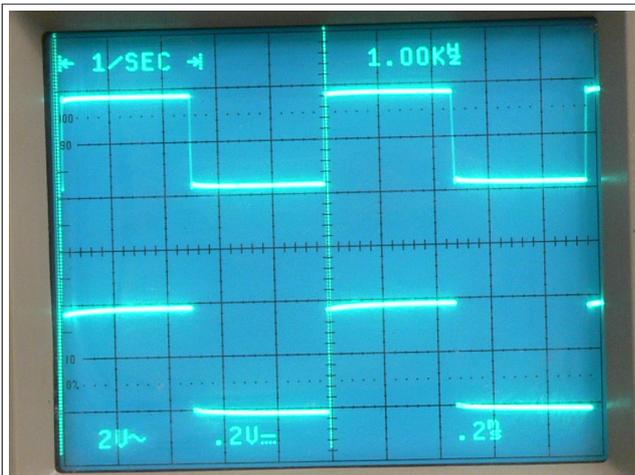
6 Mesures

Ci dessous quelques mesures réalisées avec un générateur BF et les sorties de l'amplificateur débitant sur charge ohmique de 8Ω .

Réponse aux signaux carrés

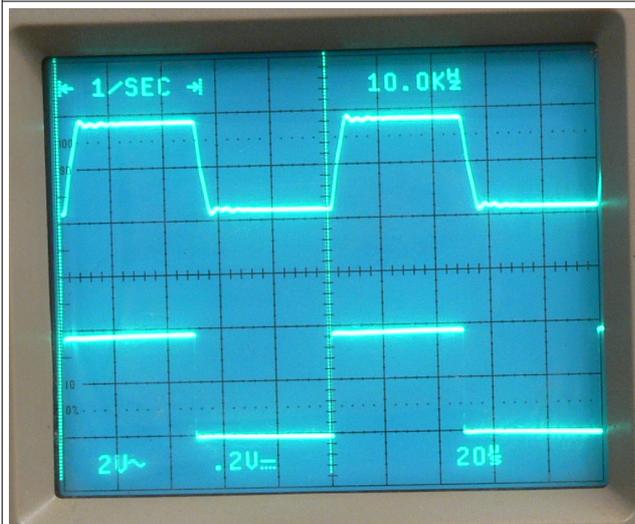
Pour ces mesures, la puissance de sortie est fixée à 0,5 W crête.

Trace du haut : sortie de l'amplificateur Trace du bas : signal d'entrée sur la 12AX7 d'entrée	Remarques
	<p>Réponse à 10 Hz</p> <p>Sur un signal sinusoïdal, la bande passante basse à été mesurée à 3 Hz (niveau de sortie divisé par deux). C'est extrêmement bas pour un transformateur de sortie. La décroissance du plateau est liée à la décharge des capas et au fait que le transfo de sortie ne passe pas le continu.</p>
	<p>Réponse à 100 Hz</p> <p>Les plateaux des carrés sont pratiquement horizontaux.</p>



Réponse à 1 kHz

Réponse idéale.



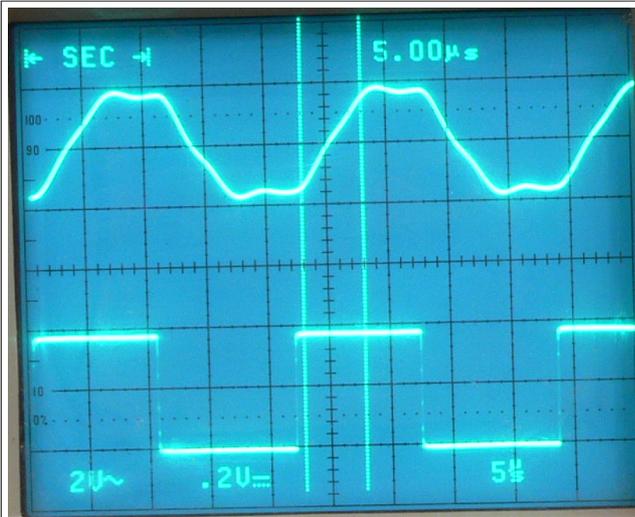
Réponse à 10 kHz

On voit le front montant et la très légère oscillation en palier.
La contre réaction ne provoque quasiment pas d'overshoot.



Réponse à 20 kHz.

Réponse toujours très correcte.



Détail du front de montée.

Environ 5 μ s ce qui laisse entrevoir une bande passante haute d'au moins 100 kHz.

Le réglage de la boucle globale de contre réaction ne provoque pas beaucoup d'overshoot. Cela est dû à l'excellente qualité du transfo de sortie et à l'installation d'un réseau amortisseur efficace.

Aucun risque d'entrée en oscillation, la marge de phase est grande.

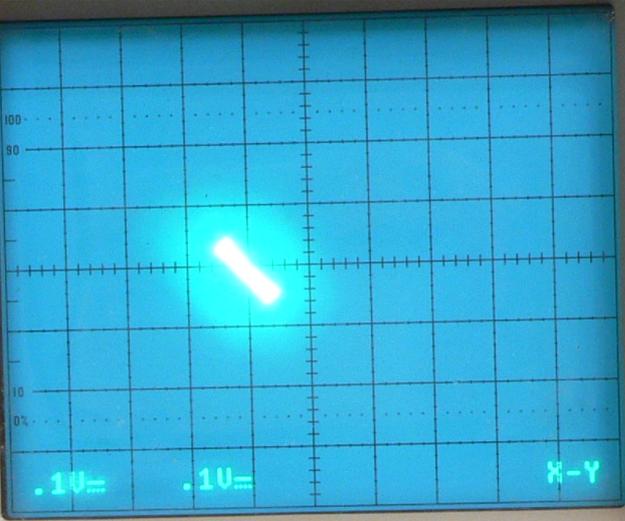
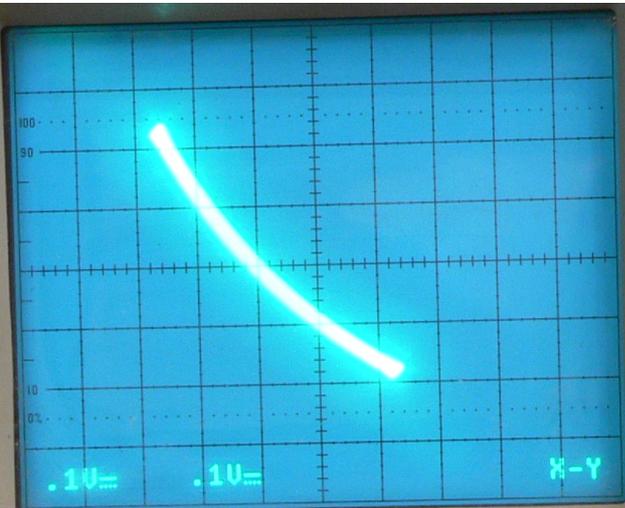


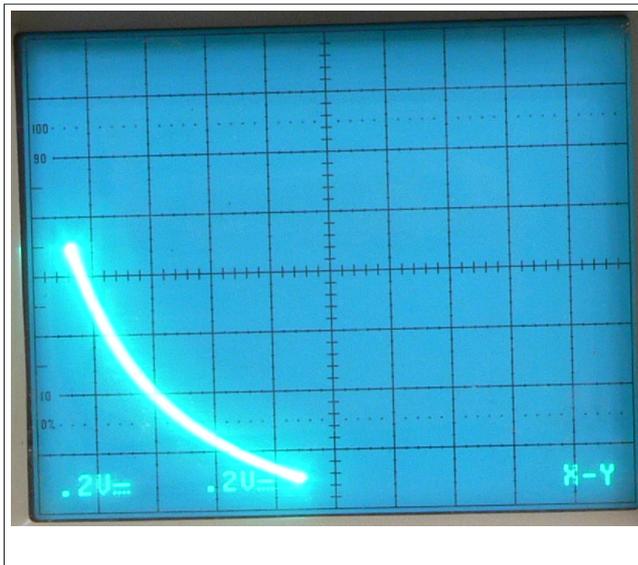
Limite de bande passante.

Le carré devient sinus et le niveau de sortie est divisé par deux. La limite est obtenue vers 119 kHz.

Classe de fonctionnement

L'amplificateur fonctionne en classe AB. Ci dessous la figure de classe obtenue en traçant le graphe XY avec l'image des courants des cathodes d'un push pull d'un des deux canaux. La sortie débite sur une charge purement ohmique de 8Ω et le signal d'entrée est sinusoïdal.

Graphe XY	Remarques
 <p>The image shows an XY graph on a grid. The horizontal axis is labeled 'X' and the vertical axis is labeled 'Y'. A bright blue line is drawn across the grid, showing a linear relationship between the two axes. The line is slightly tilted. At the bottom of the grid, there are labels: '.10V' on the left, '.10V' in the middle, and 'X-Y' on the right. The grid has major lines every 10 units and minor lines every 2 units.</p>	<p>Puissance crête de sortie environ 125 mW.</p> <p>Echelle 100 mV : soit 10 mA / carreau</p> <p>Point de repos 40 mA.</p> <p>A cette puissance on est en classe A.</p>
 <p>The image shows an XY graph on a grid. The horizontal axis is labeled 'X' and the vertical axis is labeled 'Y'. A bright blue curve is drawn across the grid, showing a non-linear relationship between the two axes. The curve starts at a high value on the X-axis and curves downwards towards the Y-axis. At the bottom of the grid, there are labels: '.10V' on the left, '.10V' in the middle, and 'X-Y' on the right. The grid has major lines every 10 units and minor lines every 2 units.</p>	<p>Puissance crête de sortie environ 3 W.</p> <p>Echelle 100 mV : soit 10 mA / carreau</p> <p>Point de repos 40 mA.</p> <p>On est passé gentiment de la classe A à la classe AB.</p>



Puissance crête de sortie environ 12,5 W.

Echelle 200 mV : soit 20 mA / carreau

Point de repos 40 mA.

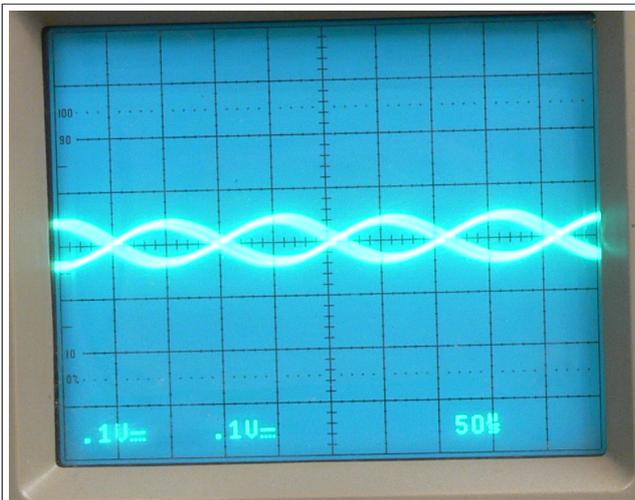
A partir de cette puissance, on migre progressivement de la classe AB riche en classe AB pauvre.

Dans un tube, le courant min est d'environ 10 mA, le courant max est d'environ 90 mA.

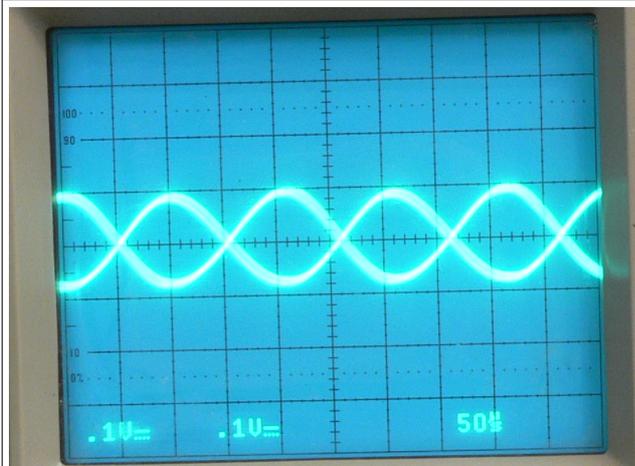
Courants de cathode des KT66

Ci dessous l'allure des courants de cathode d'un des deux canaux, les sorties de l'amplificateur débitant sur charge ohmique de 8 Ω .

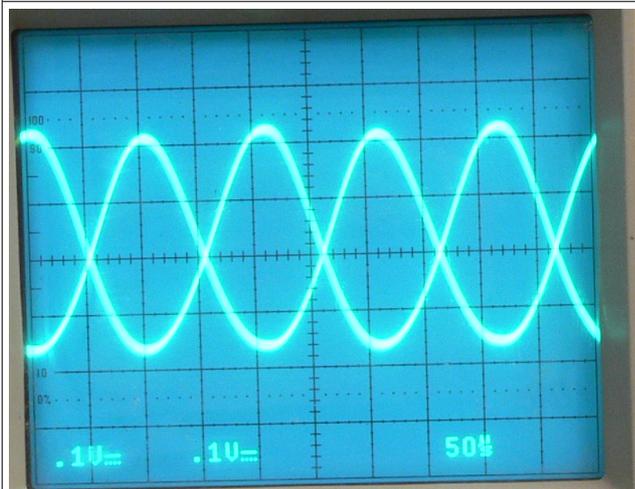
Courants de cathode	Remarques
	<p>Sans signal d'entrée.</p> <p>Echelle 100 mV : soit 10 mA / carreau</p> <p>Point de repos 40 mA.</p> <p>L'équilibrage statique est respecté.</p>



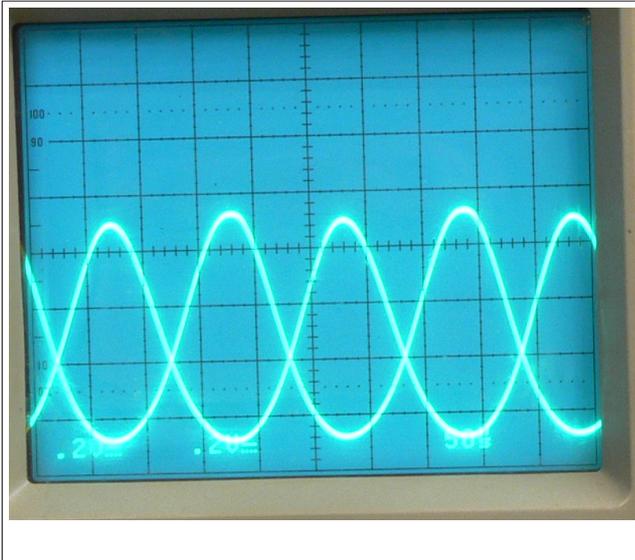
Niveau de sortie 1 V crête à crête.
 Echelle 100 mV : soit 10 mA / carreau
 Point de repos 40 mA.
 On est en classe A.



Niveau de sortie 2 V crête à crête.
 Echelle 100 mV : soit 10 mA / carreau
 Point de repos 40 mA.
 On est toujours en classe A.



Niveau de sortie 5 V crête à crête.
 Echelle 100 mV : soit 10 mA / carreau
 Point de repos 40 mA.
 On est en classe AB.



Niveau de sortie 10 V crête à crête.

Echelle 200 mV : soit 20 mA / carreau

Point de repos 40 mA.

On est en classe AB.

On remarque qu'un tube débite légèrement plus que l'autre. Le courant max est environ de 90 mA.

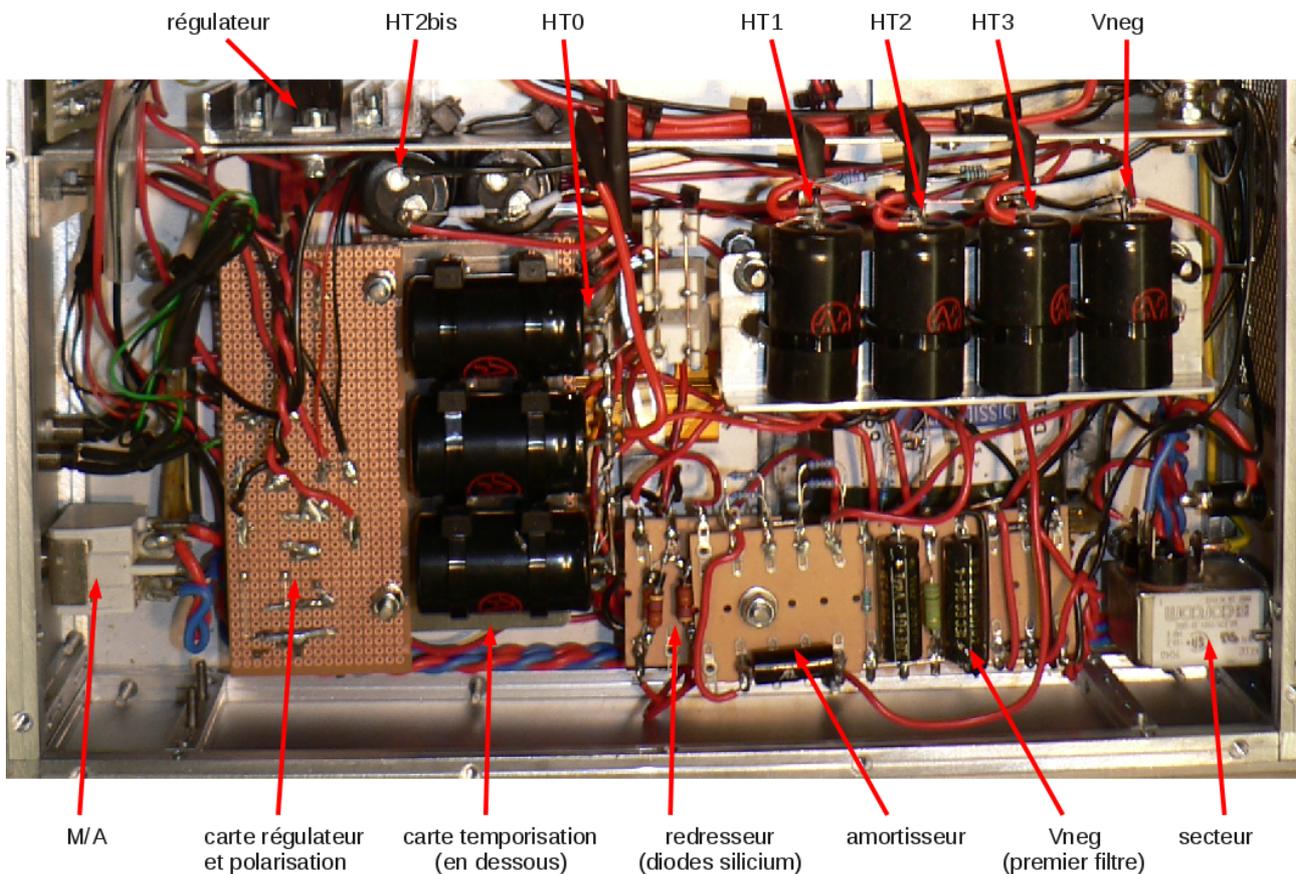
7 Ouverture de l'amplificateur

Pour accéder à l'intérieur de l'amplificateur, cela suppose le démontage des parements en bois latéraux et la fixation de deux plaques faisant office de berceau. Une fois équipé, l'amplificateur est retourné et le capot inférieur peut être dévissé.



ATTENTION : l'ampli va fonctionner capot ouvert. La présence de **haute tension mortelle** appelle à la plus **grande prudence**. Cette opération doit être effectuée avec des moyens adaptés et par une personne habituée et consciente des **risques d'électrisation**. Même hors tension, les condensateurs conservent un certain temps leur tension de charge. Attendre une minute après l'arrêt de l'amplificateur et toujours vérifier l'absence de haute tension avant d'intervenir.

Les opérations de placement des sondes oscillo et multimètre sont à faire ampli impérativement hors tension.



Le compartiment haute tension est relativement dense et certaines fonctions sont disposées sur des cartes logées en dessous des condensateurs de filtrage. Pour y accéder, il est nécessaire de démonter les platines support de condensateur et de dessouder une partie du câblage haute tension. C'est le cas de la carte temporisation qui comporte le circuit NE555 et son relais de commutation.

8 Composants

Tubes

tubes de puissance :	tétrodes KT66	marque JJ
tubes pré ampli :	triode 12AX7 / ECC83	marque JJ
tube déphaseur :	triode 12AU7 / ECC82	marque JJ
tubes driver :	triode ECC99	marque JJ
tubes redresseur :	diode GZ34	marque JJ
tube de visualisation	oeil magique EM80	marque Radio Orion

9 entretien et usage

L'amplificateur ne demande pas d'entretien particulier. Seul un remplacement de tube peut s'avérer nécessaire.

L'amplificateur peut fonctionner de manière continue sans risque de surchauffe. Veiller néanmoins à le placer dans un endroit aéré. Les tétrodes KT66 dissipent beaucoup de puissance en chaleur, environ 25 Watt par tube au repos. Il est donc préférable de ne rien disposer au dessus de l'amplificateur.

Les tubes sont des composants fragiles. Eviter de les soumettre aux chocs ou vibrations. Ne pas déplacer l'amplificateur lorsque les tubes sont chauds. Les tubes sont également microphoniques et donc sensibles aux vibrations. Placer l'amplificateur sur un support stable qui filtre bien les vibrations.

Excepté l'oeil magique EM80 qui peut être retiré, ne jamais faire fonctionner l'amplificateur s'il manque un ou plusieurs tubes.

REMARQUE IMPORTANTE : Le tube KT66 est souvent déclaré comme électriquement identique à la penthode EL34 et l'on peut être tenté d'utiliser ces dernières en lieu et place des KT66. Cet amplificateur **n'accepte pas** les EL34. En effet, l'EL34 possède une grille en broche n1 qui doit être câblée à la masse. Ce branchement n'est pas réalisé dans l'amplificateur et la modification n'est pas recommandée.

10 Remplacement des tubes

Durée de vie des tubes

La durée de vie des tubes est comprise entre 5000 et 10000 heures et dépend des conditions d'usage.

Pour les tubes de puissance KT66, on peut compter sur un fonctionnement de 10000 heures, soit environ 9 ans à raison de 3 heures d'écoute quotidienne.

Pour les tubes 12AX7, la durée de vie estimée est de 10000 heures.

L'oeil magique va progressivement perdre de sa luminosité. Son remplacement est facultatif et envisageable tous les 4 ans.

Afin de prolonger la vie des tubes, la haute tension a volontairement été abaissée. Le courant de repos des tubes de puissance a été également réduit.

Quand remplacer les tubes ?

Le remplacement d'un tube est impératif si l'on constate l'absence de chauffage, si le signal sonore est fortement dégradé ou si des bruits très brefs se font entendre. Pour les tétrodes KT66, il faut pour le moins remplacer la paire associée au canal incriminé mais il est préférable de changer les 4 tubes afin d'éviter la disparité canal gauche canal droit.

NOTA : L'ampli peut très bien fonctionner sans l'oeil magique.

ATTENTION : Il existe plusieurs types de tubes faisant office d'oeil magique. Seul le modèle EM80 convient. Le brochage et les tensions de fonctionnement des autres tubes ne sont pas compatibles.

D'une manière générale, il est totalement déconseillé de remplacer un tube par un modèle différent. Les points de fonctionnement ne sont pas identiques, le brochage n'est pas nécessairement le même, les valeurs limites sont certainement différentes. Autant de risques de dégradation du signal de sortie, voire d'endommagement de l'amplificateur.

Choisir des tubes de marque connue et si possible de fabrication actuelle. Les tubes « NOS » (new old stock) sont à éviter car leurs caractéristiques ne sont pas garanties, il s'agit trop souvent de fabrications rebutées ne répondant pas aux spécifications.

ooo00000ooo

11 Annexes

schéma alimentation

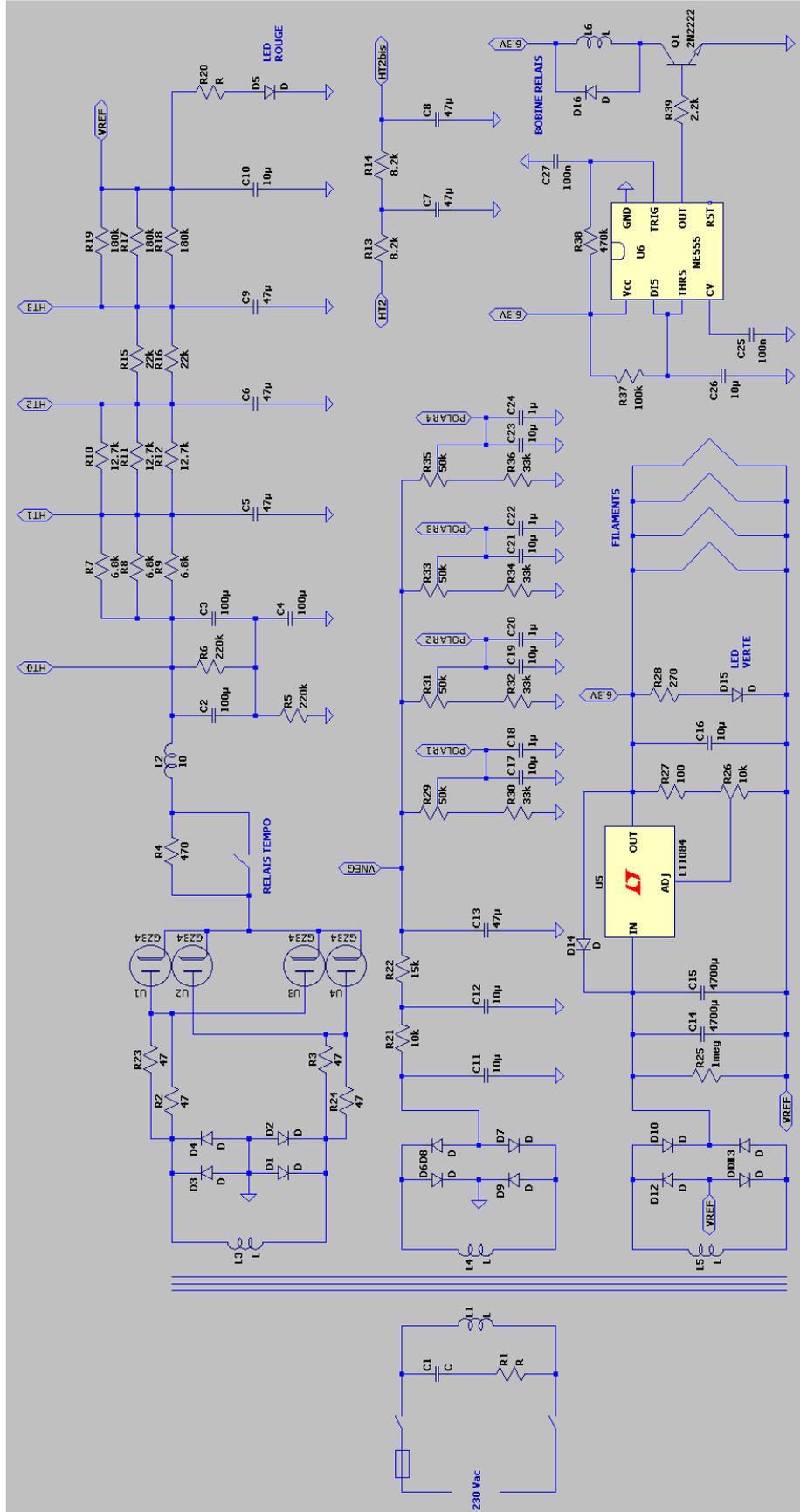


schéma amplificateur

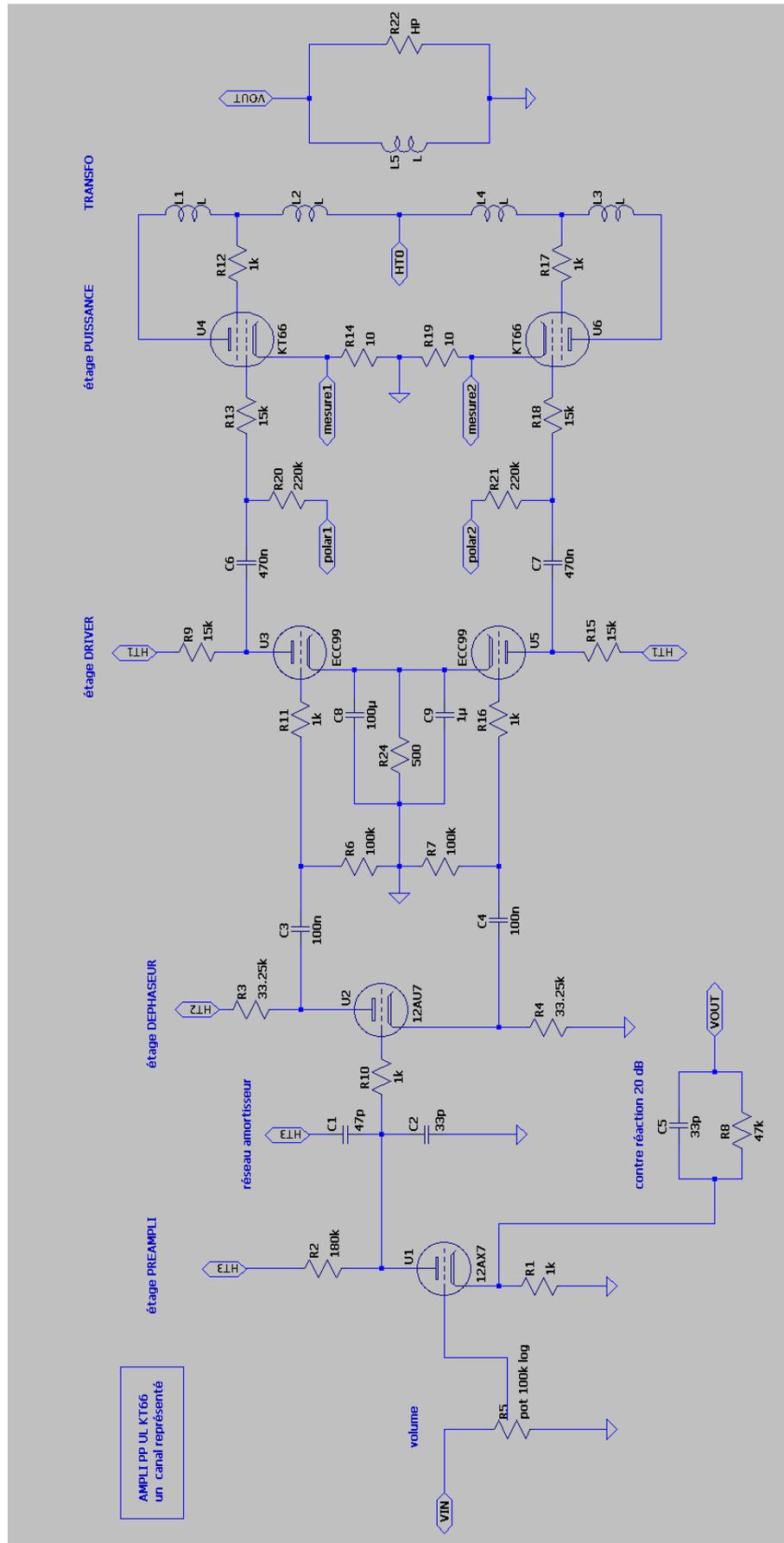


schéma oeil magique

