

Push Pull de TETRODES 6L6 Amplificateur monobloc



Cette réalisation, très classique, met en œuvre un push-pull de tétrodes 6L6 fonctionnant en classe AB1. Elle développe une puissance de 34 W RMS, pour un taux de distorsion de l'ordre de 2 %.

L'ensemble du projet est disposé sur et dans un petit châssis métallique Hammond, de faibles dimensions. Tubes et transformateurs sont apparents, afin de faciliter l'évacuation thermique. Cependant, ce châssis accepte un capot de protection, ce qui donne à notre amplificateur un look rétro des années 50.

Le schéma

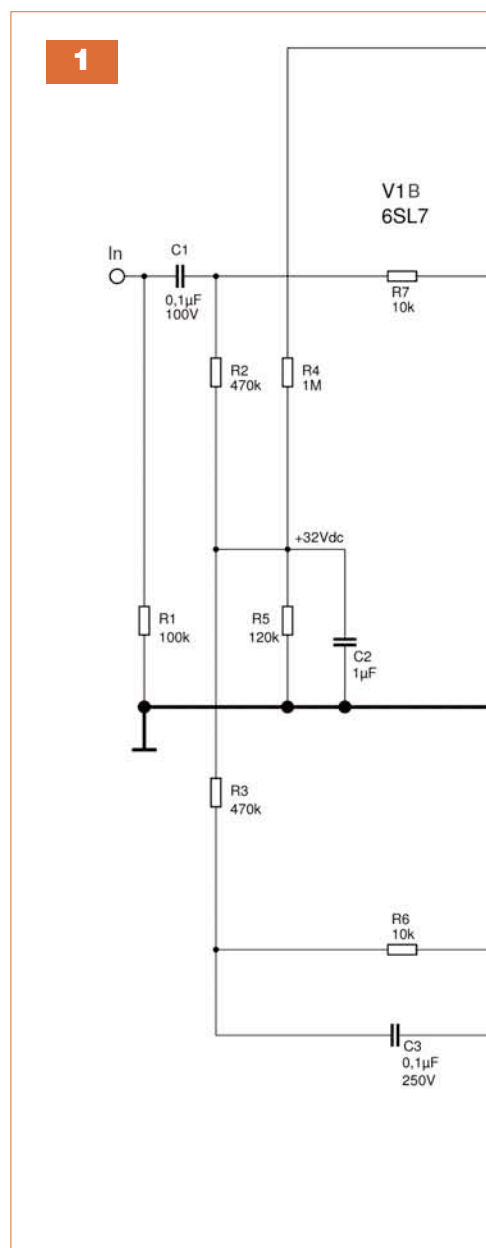
Le circuit d'entrée et déphaseur

L'impédance d'entrée est fixée à 80 k Ω , mais peut être fixée à toute valeur au choix en modifiant la valeur de R1.

Le signal est injecté sur la grille, en broche 4 de la 6SL7 (V1B) (figure 1). Le gain de cet étage est de 50 (34 dB) sans contre-réaction. Le tube 6SN7 (V2B) est monté en cathode «suiveuse» et le couplage V1 vers V2 est direct. La polarisation de la grille des deux éléments du premier tube (V1)

est fixée à 32 Vdc par le pont diviseur R4/R5. Ceci nous permet de limiter, drastiquement, les variations du point de fonctionnement dues aux dispersions des caractéristiques Vgk.

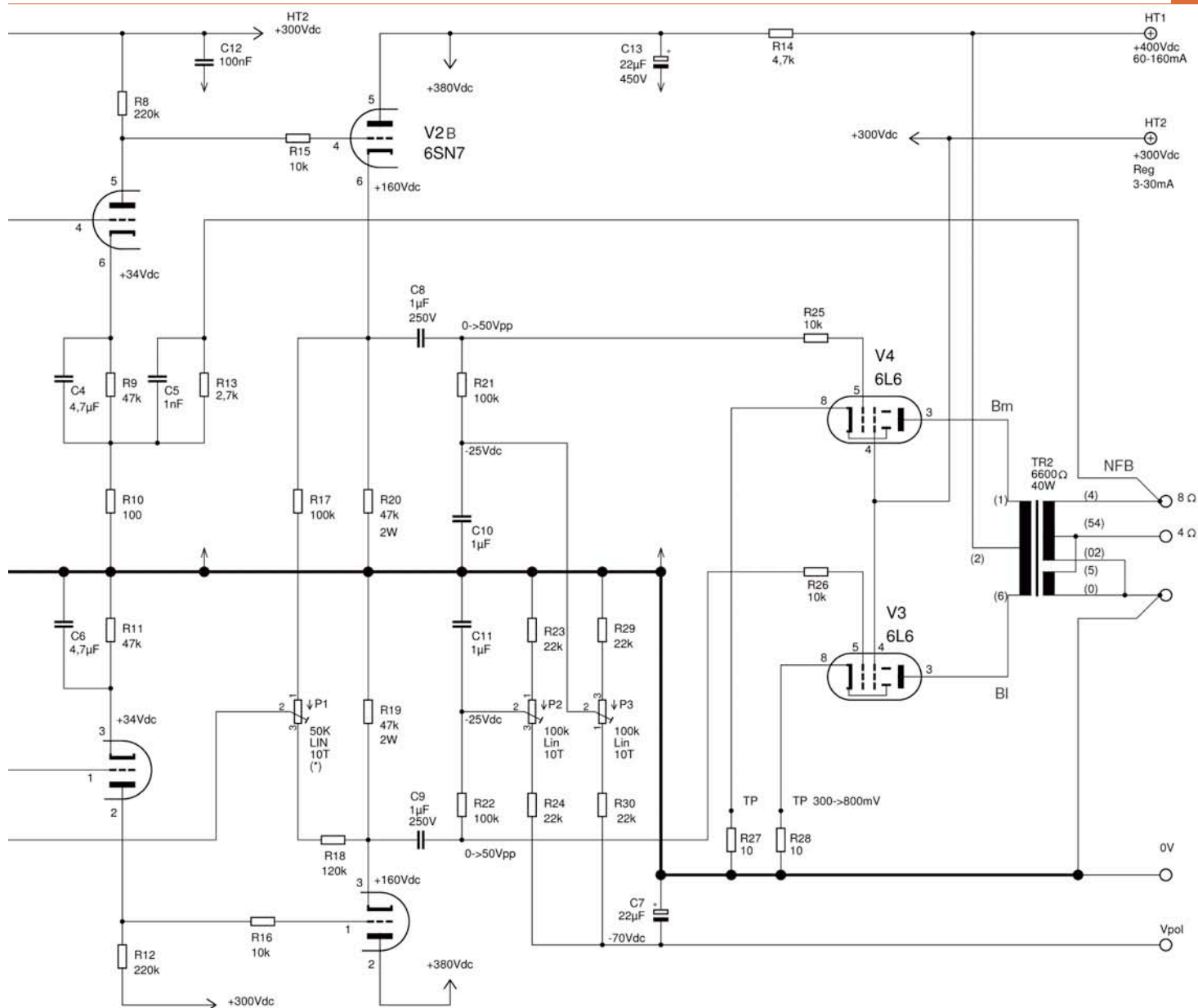
Le déphaseur est du type «paraphase». Il a été décrit en détail dans le n°314, sous la plume de notre collaborateur R. Bassi. L'ajustable P1 permet de doser l'amplitude du signal déphasé et d'injecter, exactement, le niveau requis aux tubes de puissance, sans affecter le point de fonctionnement des «drivers». Son réglage permet de réduire le taux de distorsion à son minimum. Pour autant que les tétrodes de sortie soient bien appariées, ce réglage correspond à une amplitude identique du signal sur chacune des cathodes. Un simple voltmètre AC est alors utilisé pour ce réglage. Les deux signaux déphasés se retrouvent aux cathodes de la 6SN7 (V2). L'avantage de ce type de circuit est d'obtenir une parfaite symétrie et une attaque des tubes de puissance à basse impédance.



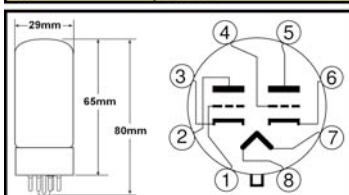
Le choix des tubes 6SL7 et 6SN7 s'est imposé logiquement pour ce type de réalisation. Leur réputation de fiabilité n'est plus à démontrer (figures 2 et 3).

Le Push-Pull

Le Push-Pull met en œuvre deux tétrodes 6L6GC. Ce tube, au culot Octal de huit broches, admet une dissipation anodique maximale de 30 W. Le chauffage du filament ne nécessite que 0,9 A, sa pente est de 5,2 mA/V et... il est exceptionnellement robuste... (figure 4).

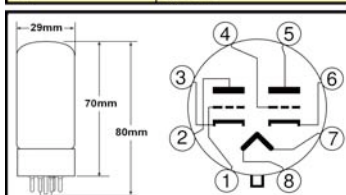


6SL7	
Filaments	6,3 V - 0,3 A
V-I nominal	250 V - 2,3 mA
Va max	300 V
Ik max	10 mA
Wa max	1 W
S	1,6 mA/V
μ	70
Ri	44 kΩ



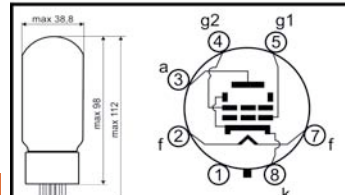
2

6SN7	
Filaments	6,3 V - 0,6 A
V-I nominal	250 V - 9 mA
Va max	300 V
Ik max	20 mA
Wa max	5 W
S	2,6 mA/V
μ	20
Ri	7,7 kΩ



3

6L6GC	
Filament	6,3 V / 0,9 A
Va max	500 V
Vg2 max	450 V
Ik max	250 mA
Wa max	30 W
Wg2 max	5 W
μ	5,2 mA/V
Ri	33 kΩ



4

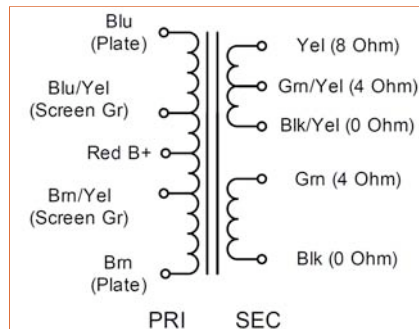
As Push-Pull Class AB₁ Amplifier

PLATE VOLTAGE	400 max.	Volts
SCREEN VOLTAGE	300 max.	Volts
SCREEN DISSIPATION	3,5 max.	Watts
PLATE AND SCREEN DISSIPATION (Total).....	24 max.	Watts

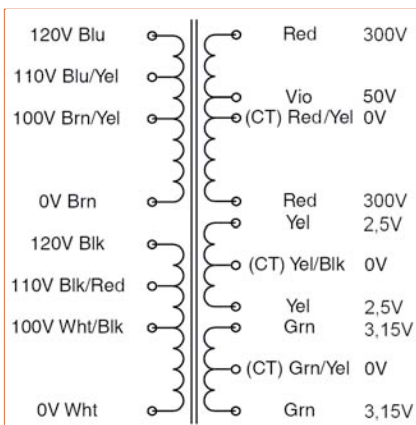
TYPICAL OPERATION Values are for two tubes.

	Self-Bias		Fixed Bias		
Plate Voltage	400	400	400	400	Volts
Screen Voltage	250	300	250	300	Volts
D-C Grid Voltage.....	—	—	-20	-25	Volts
Self-Bias Resistor	190	200	—	—	Ohms
Peak A-F Grid-to-Grid Volt.	43.8	57	40	50	Volts
Zero-Signal Plate Current..	96	112	88	102	Milliamperes
Max-Signal Plate Current..	110	128	124	152	Milliamperes
Zero-Signal Screen Current.	4.6	7	4	6	Milliamperes
Max-Signal Screen Current.	10.8	16	12	17	Milliamperes
Load Resist. (Plate-to-plate).	8500	6600	8500	6600	Ohms
Total Harmonic Distortion..	2	2	2	2	Per cent
Third Harmonic Distortion..	2	2	2	2	Per cent
Max-Signal Power Output..	24	32	26.5	34	Watts

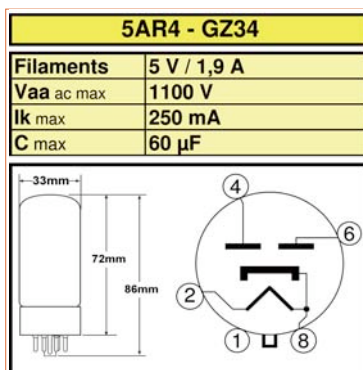
5



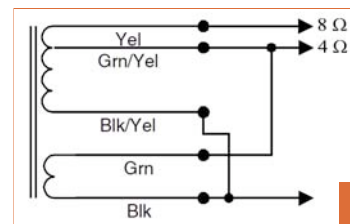
6



9



10



7

Quasiment octogénaire, puisque développée et lancée en 1936, cette tétrode est devenue une légende. Elle fonctionne idéalement avec une tension d'écran fixe et de préférence bien stable. C'est pourquoi la schéma-thèque ne le propose pas souvent en montage ultra-linéaire. Sa durée de vie, en conditions normales (design center ratings), excède les 5 000 h d'écoute.

Nous avons opté pour la polarisation individuelle des grilles de «commande». Le Push est alimenté en +415 Vdc non-stabilisés aux anodes et +300 Vdc stabilisés aux grilles «écran». Les cathodes sont reliées à la masse par des résistances de 10 Ω. Les potentiomètres P2 et P3 fixent le courant de repos à 30 mA, pour une tension de polarisation de -25 Vdc environ. La dissipation de chaque tube, au repos, est de 12 W. A la puissance maximale, le courant de chaque cathode s'élève à 80 mA et chaque tube dissipe alors un total de 32 W.

Les tubes mis en service sont des JJ Electronic. Nous fonctionnons en

classe AB₁ jusqu'à la puissance maximale. Nous fonctionnons, ici, exactement dans les conditions reprises dans les spécifications de la 6L6 (figure 5).

Le transformateur de sortie

Le modèle choisi est un Hammond 1650H (figures 6 et 7). Son impédance primaire fait 6 600 Ω. Le secondaire permet le raccordement fixe de charges de 4 Ω, 8 Ω ou 16 Ω.

La bande passante s'étend de 30 Hz à 30 kHz à la puissance nominale de 40 W.

Circuit de contre-réaction et d'amortissement

Le signal de sortie, prélevé directement au bornier du HP, est réinjecté dans le circuit de cathode de V1B par la cellule de contre-réaction R13/C5. Nous avons, volontairement, opté pour un taux de contre-réaction assez faible : 8 dB. La qualité du montage et certainement celle des tubes de sortie nous permettent de nous contenter de ce faible taux de

contre-réaction. En l'absence de contre-réaction, le taux de distorsion à 34 W est inférieur à 5 %. C'est également un gage de stabilité pour l'amplificateur. En l'absence de charge, le Push n'accroche pas et ne présente pas d'instabilité à basse fréquence du type «motor boating».

Ce faible taux influence, également, le comportement à l'écrêtage. Ce dernier se produit de manière assez douce, alors qu'un taux de contre-réaction, plus élevé, aurait tendance à rendre le «clipping» plus abrupt. En l'absence de contre-réaction, l'impédance interne de l'amplificateur est de 8 Ω. Le raccordement d'une charge de 8 Ω fait chuter la tension de sortie de 10 Vac à 6,4 Vac.

L'impédance interne fait 4,5 Ω et le facteur d'amortissement est de 2.

Il est possible d'améliorer ce facteur en augmentant le taux de contre-réaction, toutefois les 8 dB constituent un bon compromis.

En raison du faible taux de contre-réaction, il n'a pas été nécessaire, ici, de placer un circuit d'amortissement, afin de limiter la bande passante interne à 30 kHz.

Le temps de montée est de 6 μs.

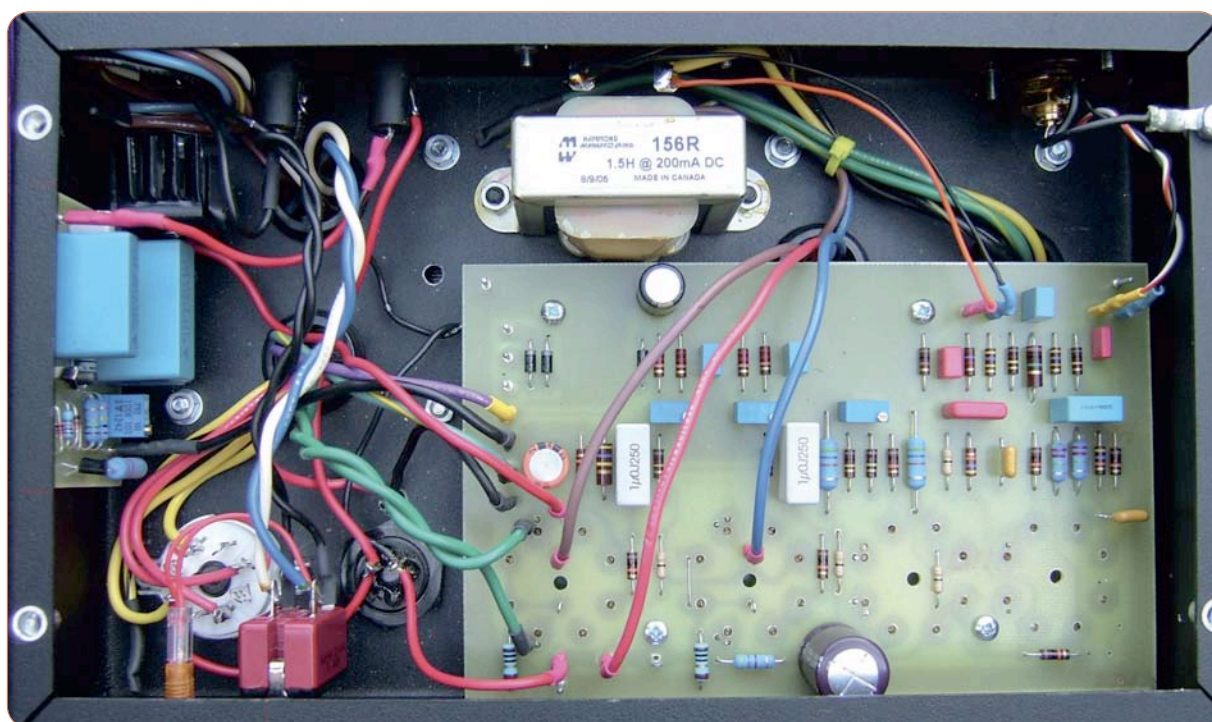
Circuit d'alimentation

Un transformateur de 130 VA fournit les tensions de chauffage de 6,3 Vac et 5 Vac, la HT de 600 Vac à prise centrale et celle de 50 Vac pour la polarisation (figure 8).

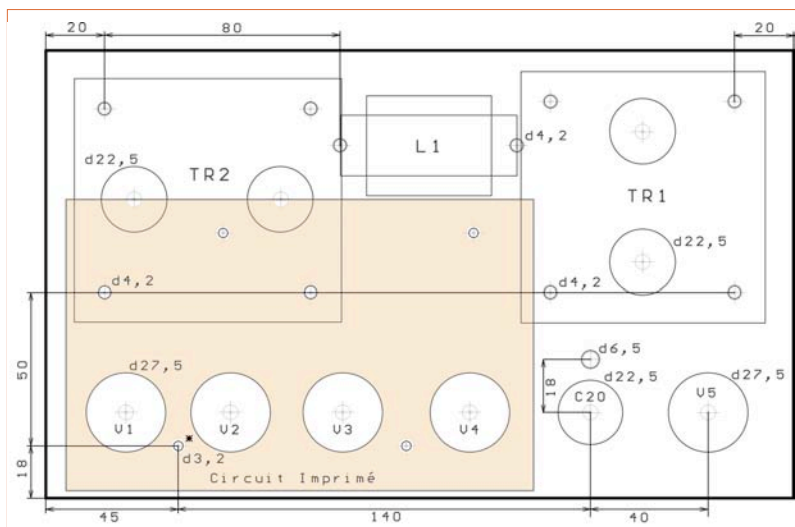


59

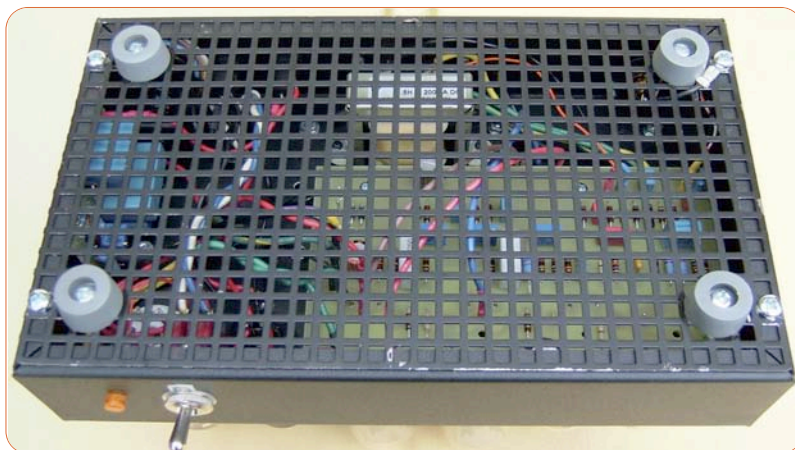
A



12



B



Il est plus facile de réaliser, en premier lieu, la partie mécanique, en se servant de la carte amplificatrice non câblée et les divers éléments.

Les **photos A** et **figure 12** sont assez didactiques et vous serviront de guide pour la réalisation.

Percer un premier trou de référence, marqué d'un astérisque, avec une bonne précision.

Y fixer la carte amplificatrice, à l'**extérieur** du châssis, cuivre apparent, avec une vis M3 et un écrou.

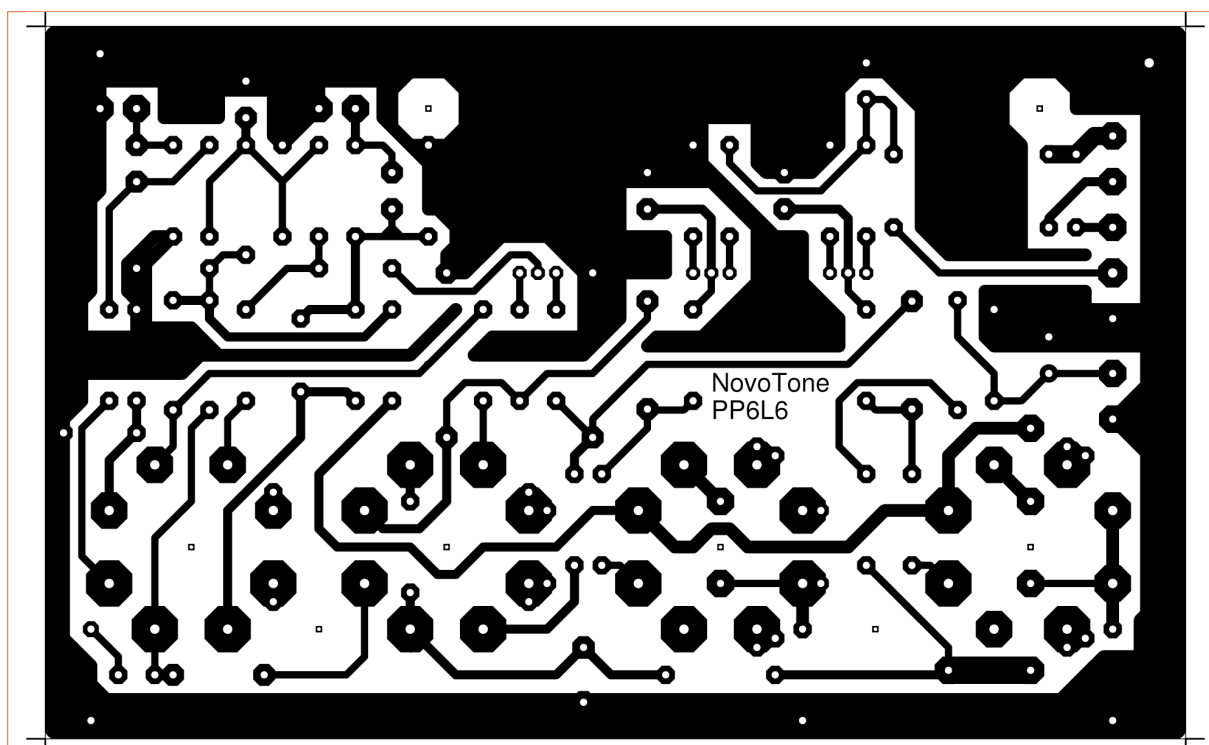
A l'aide de la carte bien positionnée orthogonalement, percer les autres trous. Le perçage des cinq culots Octal est réalisé à l'aide d'un emporte-pièce de Ø 27,5 mm et celui des cinq trous de passage des fils et du condensateur C20 avec un emporte-pièce de Ø 22,5 mm.

Ces dimensions d'emporte-pièces sont normalisées et disponibles auprès des distributeurs d'outillage.

L'orientation des tôles du transformateur d'alimentation doit absolument être perpendiculaire à celle du transformateur de sortie, pour supprimer tout risque de voir se développer une tension «induite» de 50 Hz.

Cette tension est nulle dans la configuration choisie.

Une grille en fer (**photo B**) ajourée, à



laquelle sont fixés quatre pieds de 20 mm de haut, viendra se fixer sur les bords du châssis.

Les circuits imprimés

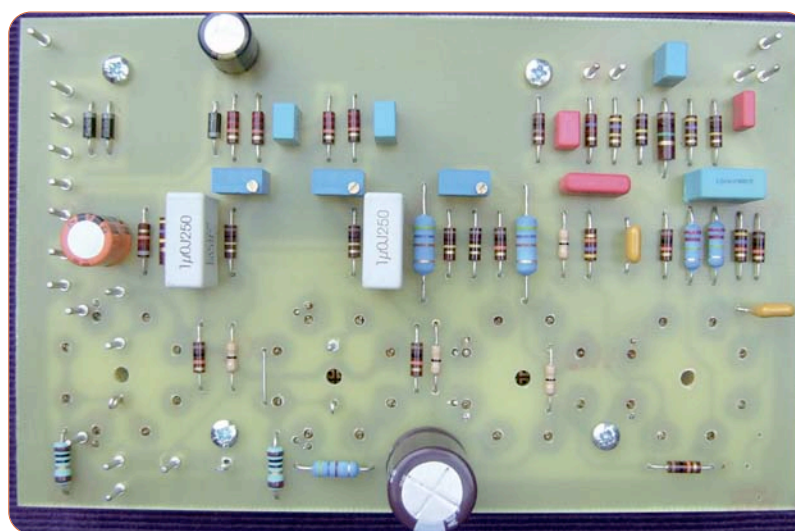
Nous recommandons de ne compléter les cartes imprimées qu'après s'être assuré que la mécanique ne pose plus de problème.

La carte amplificatrice (**photo C - figures 13 et 14**) mesure 159 x 99 mm. La première opération consiste à insérer les dix neuf picots de 1,3 mm et les trois points de tests. Souder ensuite les quatre supports Octal du **côté cuivré**.

Le placement de ces supports est prévu pour que l'épaule du support vienne épouser le fond du châssis lorsque la carte est fixée à l'aide d'entretoises de 15 mm.

Les résistances **notées «0»** sont des pontages. Veiller particulièrement aux ergots détrompeurs des tubes Octal, repérés sur la figure 14 par les points noirs entre les broches 1 et 8. Il est préférable de pré-tester la carte en dehors du châssis.

Mais, cela nécessite de disposer d'une tension d'alimentation continue, variable jusqu'à 380 Vdc, ou d'un autotransformateur variable. Le test se fait sans les tubes de sortie.



Vérifier les valeurs des tensions aux cathodes de la 6SN7. Une tension de 160 Vdc indique un point de fonctionnement correct.

Un signal de 200 mVpp en entrée se traduit par une tension de 10 Vpp sur les broches 5 des tétrodes.

En l'absence d'alimentation HT de test, notez que la carte est déjà fonctionnelle à partir de 40 Vdc. Sous 50 Vdc, la tension aux cathodes des 6SN7 est de +28 Vdc et le gain de 40. Le potentiomètre P1 est ajusté pour obtenir exactement la même tension AC à chaque cathode.

La carte régulatrice +300 V fait l'objet des **figures 15A et 15B**.

Elle a été utilisée dans notre n°378 sous l'intitulé «Étude d'une alimentation haute tension».

Le montage final

Les premiers éléments à fixer sont les quatre entretoises M3 / F-F de 15 mm servant au maintien de la carte amplificatrice. Ensuite, fixer les accessoires de la face arrière et terminer par les deux transformateurs et la self de filtrage (**photo D**).



- Condensateurs

C1 : 100 nF / 100 V / 5 mm
C2, C10, C11 : 1 μ F / 50 V / 5 mm
C3 : 100 nF / 250 V / 10 mm
C4, C6 : 4,7 μ F / 50 V / 10 mm
C5 : 1 nF / 100 V / 5 mm
C7, C14 : 22 μ F / 100 V / 5 mm
C8, C9 : 1 μ F / 250 V / 15 mm
C12 : 100 nF / 400 V / 10 mm
C13 : 22 μ F / 450 V / 7,5 mm

R1, R17, R21, R22 : 100 k Ω / 1/4 W / 5%
R2, R3 : 470 k Ω / 1/4 W / 5%
R4 : 1 M Ω / 1/2 W / 5%
R5, R18 : 120 k Ω / 1/4 W / 5%
R6, R7, R15, R16, R25, R26 : 10 k Ω / 1/4 W / 5%
R8, R12 : 220 k Ω / 1 W / 5%
R9, R11 : 47 k Ω / 1/4 W / 5%
R10 : 100 Ω / 1/4 W / 5%
R13 : 2,7 k Ω / 1/4 W / 5%
R14 : 4,7 k Ω / 1 W / 5%
R19, R20 : 47 k Ω / 2 W / 5%
R23, R24, R29, R30 : 22 k Ω / 1/4 W / 5%
R27, R28 : 10 Ω / 1/2 W / 1%

R31 : 470 k Ω / 1/2 W / 5%
B32 : 82 k Ω / 1/4 W / 5%

- Divers

D1, D2, D3 : 1N4007
P1 : 50 kΩ / 10 T
P2, P3 : 100 kΩ / 10 T
19 picots + souliers de 1,3 mm
3 points de tests
4 supports Octal pour CI

CARTE RÉGULATRICE +300 V

- Résistances

R1 : 220 k Ω / 3 W / 5%
R2 : 10 k Ω / 1/2 W / 1%
R3 : 150 k Ω / 1 W / 5%
R4 : 100 k Ω / 1 W / 5%
R5 : 10 M Ω / 1/2 W / 1%
P1 : adjustable 100 k Ω / 10W

- Condensateurs

C1 : 220 nF / 630 V / 22,5 mm
C2 : 470 nF / 630 V / 22,5 mm
C3 : 470 nF / 630 V / 27,5 mm
C4 : 4,7 nF / 630 V / 10 mm

- **Semiconducteurs**

D1 : zéner 5,1 V
D2 : zéner 5,6 V
D3, D4, D5 : 1N4007

Q1 : MPSA92
Q2 : BUZ80 F

HORS CARTES

Châssis 152 x 254 x 51 mm (Hammond 1441-16BK3)

Grille de fond : 152 x 254 mm

TR1 : alimentation (Hammond 372DX)

TR2 : sortie (Hammond 1650H)

C20 : 2 x 50 μ F / 350 V / Châssis

Intercalaire isolant pour C20

L1 : self de filtrage 1,5 H / 200 mA / 56 Ω (Hammond 156R)

S1 : switch DP 3A

V1 : 6SL7

V2 : 6SN7

V3, V4 : 6L6GC

V5 : 5AR4 - voir texte

Socle Octal pour châssis pour 5AR4

F1 : fusible 630 mA - lent

F2 : fusible 200 mA - lent

Ne1 : voyant néon

4 pieds de 10 mm

4 entretoises M3 / FF de 15 mm - métal

8 entretoises de 4,2 x 10 mm (TR1, TR2)

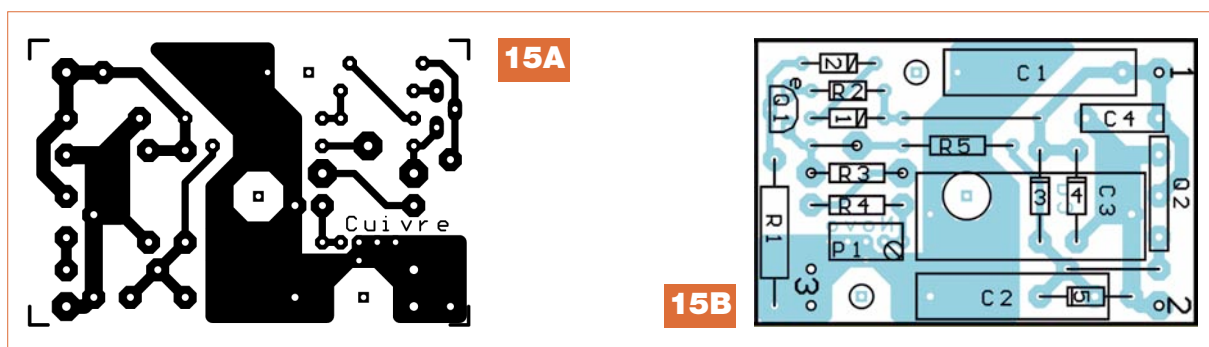
2 porte-fusibles pour châssis

Bornier HP mono

Socle RCA

Socle secteur

Cordon secteur



La carte régulatrice +300 V est fixée en tout dernier lieu, contre le côté gauche du châssis (photo A).

La masse

L'ensemble des circuits est «flottant». La mise à la masse du châssis se fait en un seul point, via la vis de fixation de la grille de fond située près du socle RCA (photo B). S'assurer que, sans ce contact de masse, le circuit est bien «flottant» par rapport au châssis. Si ce n'est le cas, il faudra chercher et lever la «fuite» coupable.

Mise sous tension

La première mise sous tension se fait, de préférence, à l'aide d'un auto-transformateur variable. S'assurer, dès la montée de la haute tension, que les potentiomètres P2 et P3 de la polarisation des grilles sont bien au maximum de la tension négative. Surveiller la montée de la haute tension, jusqu'à obtenir la tension nominale du primaire du transformateur. La haute tension s'établira à +415 Vdc. Vérifier que la HT2 se stabilise bien à +300 Vdc. Les potentiomètres de polarisations sont ajustés pour obtenir un courant de 30 mA aux cathodes des deux 6L6, ou +300 mVdc aux bornes des résistances de 10 Ω .

La tension de polarisation des grilles doit être de -25 Vdc environ. Ce réglage sera revu plusieurs fois au cours des premières heures de fonctionnement.

Le réglage précis de P1 nécessite de disposer d'un générateur de faible distorsion et d'un distorsiomètre. L'outil de test de distorsion présenté dans notre hors-série n°5 vous permet de réaliser cette opération aisé-



ment et à faible coût. Placer une charge de 8 Ω au bornier de sortie, injecter le signal à 1 000 Hz, de manière à obtenir 12 Vac en sortie (18 Weff). Ajuster P1 pour obtenir un minimum de distorsion.

En l'absence de cet outil, le réglage se fait sans les tubes de sortie.

Ajuster P1 pour obtenir, exactement, la même tension alternative à la sortie de chaque cathode des 6SN7 sur R25 et R26.

Quelques mesures...

La réponse aux signaux carrés présentée en **figure 16** démontre une bonne tenue du palier à 100 Hz et un excellent comportement aux transitoires, le dépassement est nul.

Le temps de montée est de 6 μ s, soit une fréquence de coupure de 50 kHz à -3 dB. La mise en parallèle d'une charge réactive de 1 μ F / 8 Ω laisse le signal imperturbable. La **figure 17** montre la représentation spectrale de

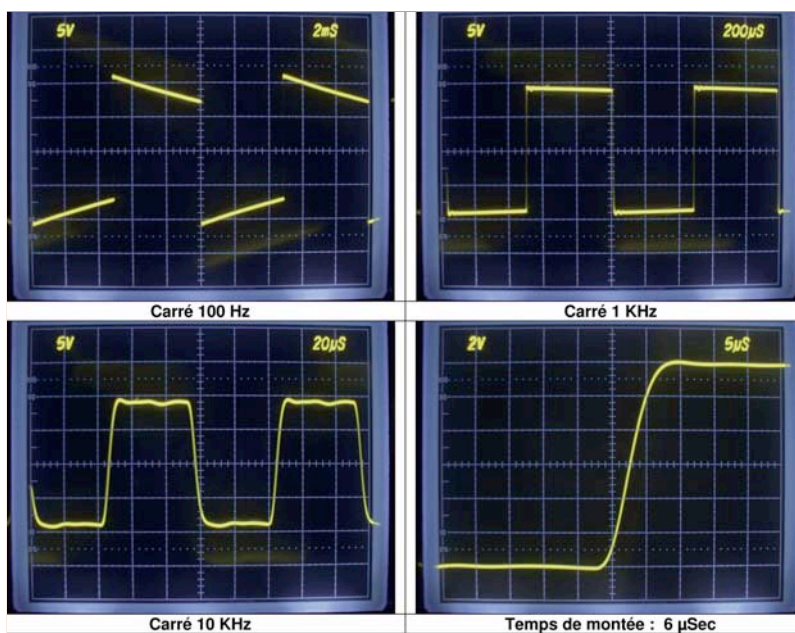
la distorsion à 1 dB de la puissance nominale. Noter la prédominance des harmoniques impairs, les harmoniques pairs étant atténués à cause de la symétrie de l'étage de sortie.

La mesure de la distorsion d'intermodulation se fait en injectant un sinus de 60 Hz, auquel on superpose un signal à 7 kHz à -12 dB (1/4). Le résultat à 7 kHz est étudié sur un analyseur de spectre. La DIM est inférieure à 1 % par rapport à la fondamentale à 60 Hz.

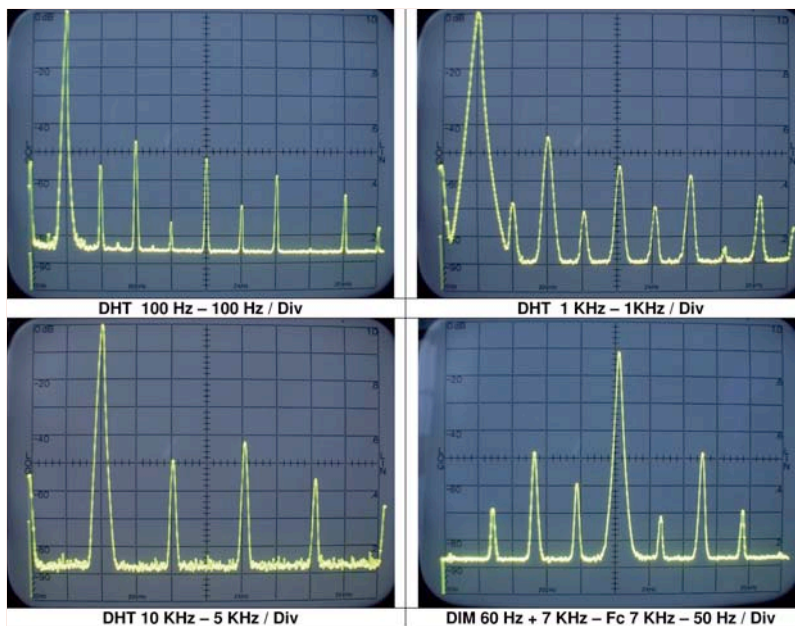
La **figure 18** présente l'évolution de la DHT en fonction de la puissance.

La **figure 19** présente les niveaux de bruit et ronflements en sortie. Le niveau de référence est de -20 dBV, les signaux mesurés sont inférieurs à -75 dBV. Le bruit mesuré en sortie au millivoltmètre est de 400 μ Vac ou 50 μ Vac en pondération A. Ce qui nous donne -75 dB Lin ou 90 dBA comme rapport signal/bruit à 1 Weff. L'écrouissage se produit de manière progressive vers 45 Vpp, c'est le «soft

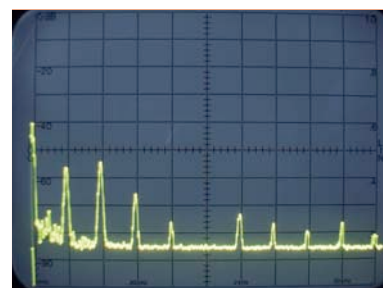
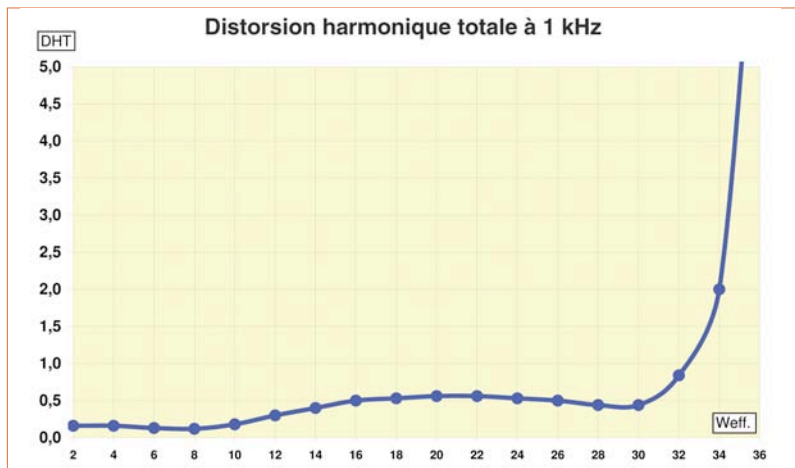
16



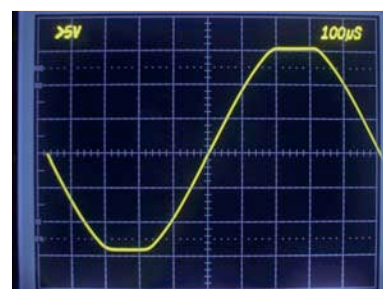
17



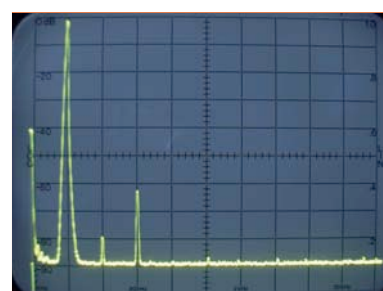
18



19



20



21

clipping» typique des étages de sortie à tubes peu ou pas contre-réactionnés (**figure 20**). Cette caractéristique «bluffe» l'auditeur, car elle donne l'impression d'une puissance apparente bien supérieure.

Enfin, à 1 Weff, notre réalisation affiche une DHT inférieure à 0,1 % (**figure 21**). Le résumé des caractéristiques techniques de notre prototype est présenté en **figure 22**.

Conclusion

C'est une réalisation simple, dont le coût reste abordable. Aucun composant ne fait l'objet d'une fabrication «sur mesure».

Les tubes sont disponibles auprès de nombreux distributeurs, tant en NOS qu'en nouvelle fabrication.

Le test d'écoute confirme le temps

Caractéristiques Techniques

Puissance nominale	34 W RMS
Puissance impulsionnelle	40 W
DHT + Bruit à 28 W (-1 dB)	< 1% (typ: 0,5%)
Distorsion d'intermodulation à 28 W	< 1%
Temps de montée	6 µs
Sensibilité	1 Vac pour 34 W
Réponse en fréquence à -1 dB à 28 W	25 Hz → 30 kHz
Impédance de sortie	8 Ω
Impédance d'entrée	80 kΩ
Taux de contre-réaction (NFB)	8 dB
Impédance interne	4,5 Ω
Facteur d'amortissement (DF)	2
Bruit de fond (A-Weighted)	< 100 µV
Rapport S/B (A-Weighted) à 1 W	> 90 dBA
Tubes : 4 (+ Redresseuse)	6SL7 - 6SN7 - 2x6L6 - (5AR4)
Consommation au repos	240 V - 0,3 A - 72 VA
Dimensions	254x170x170 mm
Poids	7,7 kg



E

22

de montée par une excellente définition des transitoires.

Avec deux blocs «mono», la puissance impulsionnelle de 2 x 40 Weff est impressionnante et secoue, sans ménagement, nos deux enceintes KEF Q50 de 92 dB/1 W/1 m de sensibilité. Le résultat se traduit par une restitution détaillée du message

musical et un parfait équilibre du spectre.

Le grave est précis et sans traînage. Cet amplificateur est présenté dans un habillage compact. De plus, ce châssis accepte un capot de protection qui lui confère le look rétro des années 50 (photo E).

J.L. VANDERSLEYEN

Pour les données de fabrication, des cartes imprimées ou quelque problème d'approvisionnement, **voire l'obtention de la carte régulatrice 300 V pré-régulée**, n'hésitez pas à me contacter à l'adresse : jl.vandersleyen@skynet.be ou via notre site www.novotone.com



Et si vous réalisiez votre ampli à tubes...

Une sélection de 9 amplificateurs de puissances 9 Weff à 65 Weff à base des tubes triodes, tétrodes ou pentodes

Des montages à la portée de tous en suivant pas à pas nos explications

Je désire recevoir le CD-Rom (fichiers PDF) « Et si vous réalisiez votre ampli à tubes... »

France : 30 € Union européenne : 32 € Autres destinations : 33 € (frais de port compris)

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code Postal : _____ Ville-Pays : _____

Tél. ou e-mail : _____

Je vous joins mon règlement par : ☐ chèque ☐ virement bancaire (IBAN : FR76 3006 6109 1100 0200 9580 176/BIC : CMCIFRPP)
A retourner accompagné de votre règlement à : **TRANSOCÉANIC** 3, boulevard Ney 75018 Paris Tél. : 01 44 65 80 80

EP386