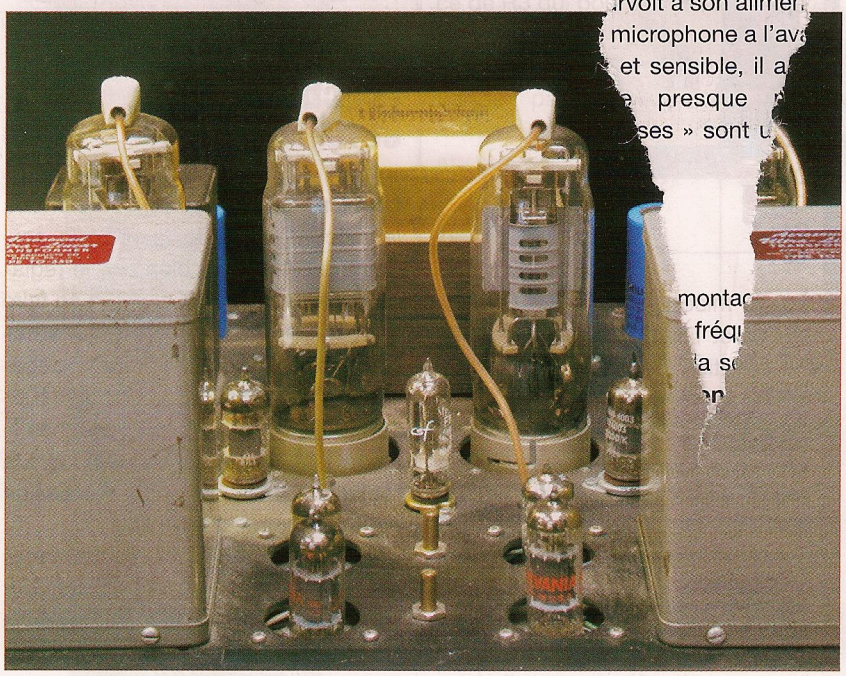
ANALYSE D'UN MONTAGE « BIZA M E »

Push-pull de 2x100 W à CV 7

En ce début d'année 2009, contrairement à notre habitude, nous vous proposons l'étude d'un circuit étrange, utilisant des tubes dits « inutilisables en audio ». Nous démontrerons ainsi que « tous » les tubes sont utilisables en audio, à la condition expresse de créer un circuit *ad hoc* permettant d'exploiter des caractéristiques, souvent étranges, de tubes exotiques.



Il convient, en effet, de préciser que ce que vous entendez d'un amplificateur, c'est le circuit et uniquement le circuit, les composants (de qualité) n'entrant que pour une très faible part dans le résultat final.

Si vous équipez un amplificateur donné avec des condensateurs, des tubes, des résistances, etc. de « course », vous n'obtiendrez que des résultats médiocres si le circuit est mal fagoté !... Comme le dit justement un ami : « Si vous possédez une voiture qui ne tient pas la route car mal fichue, ce ne sera pas en changeant les pneus que vous en ferez une Ferrari ». De même pour l'audio, à mauvais circuit, mauvais résultats assurés.

Mais, me direz-vous, qu'est-ce qu'un bon circuit ? Réponse : c'est un tout ! Ce n'est pas en juxtaposant des éléments intrinsèquement performants, les uns derrière les autres, que vous obtiendrez un appareil audible. Rien ne sert de reproduire le « meilleur » inverseur de phase, couplé avec le « meilleur » driver, lui-même attaquant les « meilleurs » tubes et le « meilleur » transformateur de sortie que vous obtiendrez de bons résultats.

Un appareil audio doit être considéré comme un tout, de l'entrée à la sortie. Tous les éléments du circuit doivent être interdépendants et réagir les uns par rapports aux autres. C'est vrai en mécanique et cela se vérifie en électronique. On peut toujours analyser un schéma, petit morceau par petit morceau, à condition de garder présent à l'esprit que chaque morceau fait partie d'un tout indissociable, surtout lorsqu'il s'agit du traitement analogique d'un signal musical.

Mais revenons à notre amplificateur bizarre.

Le tube CV57

D'où sort-il, celui-là ? De la guerre, eh oui ! Le CV57 fut le premier tube conçu spécialement par et pour les Anglais afin de piloter, par impulsions, les premiers magnétrons utilisés dans les premiers radars en 1940, lors de la bataille d'Angleterre ! Bigre ! C'est un ami qui nous signala un « nid » de ces tubes inutilisables en audio et destinés à la destruction. Nous nous trouvâmes alors devant plusieurs centaines de boîtes marquées « CV57/1941/RAF » (Royal Air Force). Quel beau tube (**photo A**) !... mais qu'en faire ?

Cet « engin » fut utilisé jusqu'en 1942 pour fournir des impulsions de forte intensité d'une durée d'environ 20 ms et exciter le magnétron CV64, lui-même au cœur des radars grandes ondes et ondes moyennes de la défense aérienne et maritime britannique de l'époque. Il était capable de fournir des impulsions de 5 A sous 11 000 V !

Deux CV57 en parallèle fournissaient 10 A au magnétron CV64, soit une puissance instantanée de 110 kW ! Ce n'était pourtant pas encore assez. En 1942, les Britanniques mirent au point le CV85 (baptisé « Trigatron »)

capable, à lui seul, de fournir 150 kW ! Les CV57 partirent à la casse. C'est ainsi que nous en récupérâmes une partie ! Question hallucinante, que faire de ce tube ?

Si deux CV57 sont capables de délivrer 110 kW en crête, un push-pull de CV57 doit pouvoir, sans problème, délivrer nos « minables » 100 Weff nécessaires à la reproduction musicale, ceci sans épuiser les cathodes prévues pour des courants instantanés de 5 A.

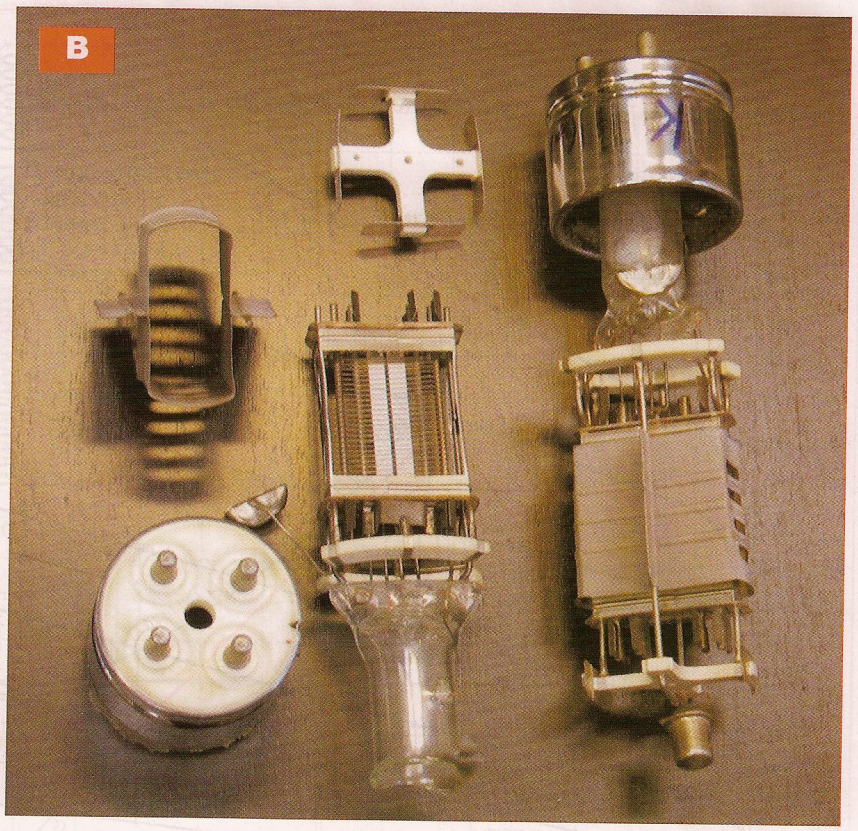
Anatomie du CV57

C'est une tétrode de 190 x 50 mm, socle « Jumbo » à quatre broches comme pour une 845. La sortie de l'anode s'effectue au sommet du tube. Première idée : le faire fonctionner en triode. Un ami l'utilise ainsi en remplacement d'une 300B avec des résultats, paraît-il, similaires.

Au-delà de quelques watts, le tube flambe et explose ! Curieux ! Afin d'en avoir le cœur net, nous en avons cassé un ! Et là... nous avons tout compris (**photo B**) !

L'énorme cathode (chauffage indirect sous 12 V/1,75 A) est entourée par les deux grilles (commande et écran), placées à tout au plus 1/4 de millimètre de la surface émissive de la cathode. L'écran a rigoureusement le même pas que la grille de « commande », les spires sont alignées.

A


B

L'anode, elle, se trouve loin, très loin, de la cathode et des grilles (1) et (2) à environ un demi-centimètre, comme visible sur la photo B.

Nous comprenons ce qui se passe lorsque notre ami réunit l'anode et la grille (2) à la haute tension de 400 V. La grille (2) est si près de la grille (1) et de la cathode qu'elle sert d'anode. C'est elle qui capte la majorité des électrons, d'où les 3 W maximum dissipés par cette dernière !

Cette tétrode est-elle définitivement inutilisable ? Pourquoi ne pas utiliser la grille (2) « écran » comme grille de « commande » car, enfin, une grille, c'est une grille et les électrons qui se promènent entre la cathode et l'anode se moquent éperdument de la dénomination que nous autres humains lui donnons...

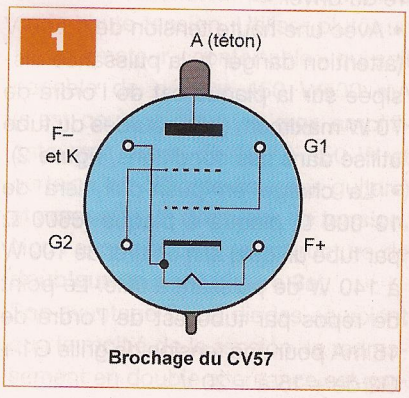
D'ailleurs, cette idée d'utiliser l'écran comme grille de « commande » est vieille comme l'électronique à tubes. Elle fut utilisée pour fabriquer des amplificateurs à très forte puissance (Bouyer). Pour ce faire, il était utilisé des tétrodes 807 (super 6L6). On arrivait à tirer de ces tubes 150 à 200 W en push-pull avec un inconvénient majeur (nous avons fait l'expérience avec des 6550 et rencontré le même problème).

Utilisé ainsi (commande par G2), le courant d'écran est important, la puissance à fournir est de l'ordre de 15 à 20 W, soit un amplificateur de puissance pour driver l'amplificateur superpuissant ! Peu rationnel !

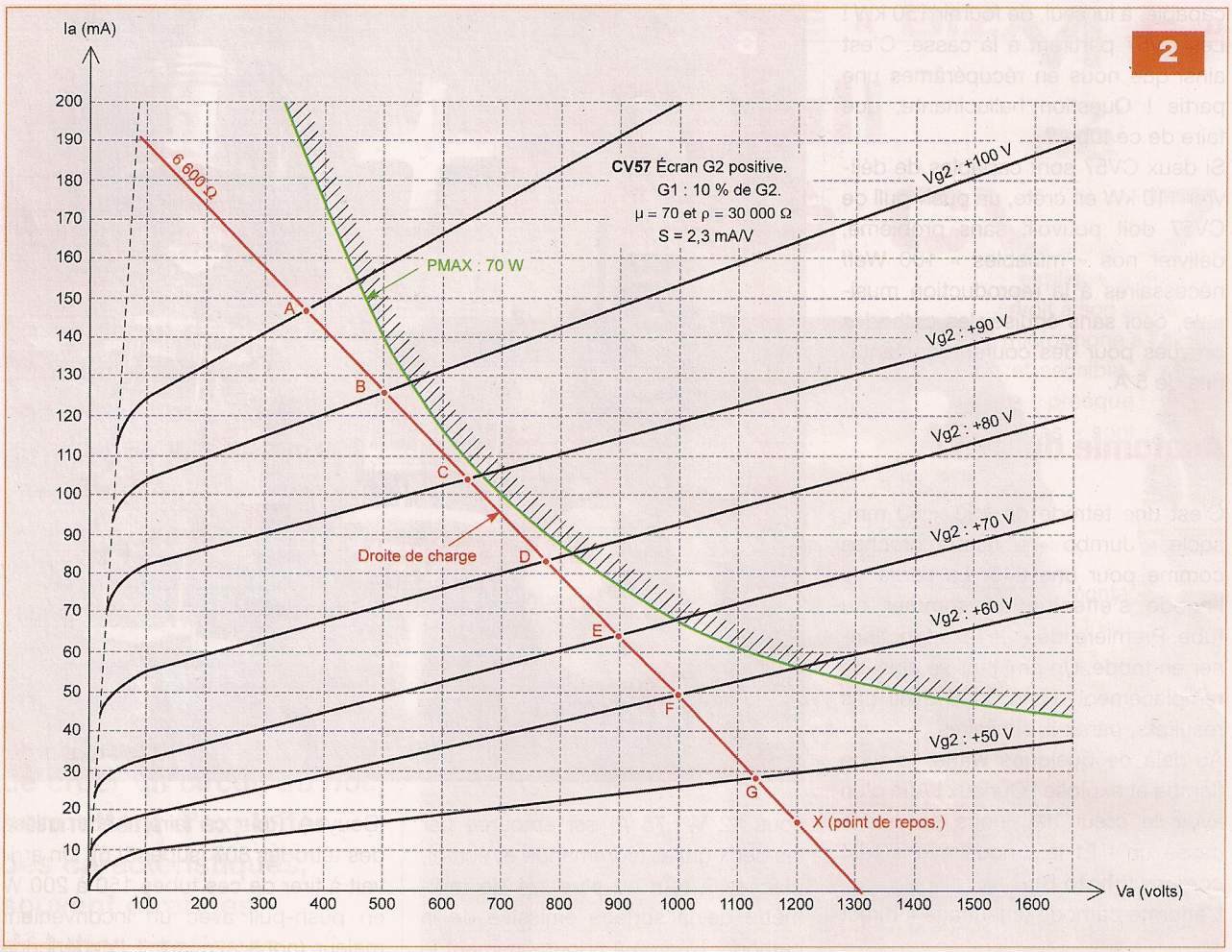
Revenons au CV57.

Tout d'abord, le brochage. Attention, les brochages indiqués, en particulier sur les sites internet, sont faux. Le vrai brochage est indiqué en **figure 1**.

Premier travail à effectuer : tracer les courbes Ia = f(Vg).



Brochage du CV57



Je passe sous silence tous les essais de tracés de courbes qui ont été réalisés sur ce tube (G2 positive, G2 négative, G1 négative, G2 positive, etc.) Sachez seulement qu'il y a de bonnes surprises :

• Le courant maximum consommé par G2 positive, couplé avec G1 par une résistance de 300 kΩ (G1 est excitée dans ces conditions par 10 % de la tension G2), n'excède jamais 10 mA, soit une puissance consommée de l'ordre de 1 W pour une tension d'excitation de 100 V.
Cela va simplifier d'autant la structure du driver.

• Avec une haute tension de 1 200 V (attention danger !), la puissance dissipée sur la plaque est de l'ordre de 70 W maximum (voir courbes du tube utilisé dans ces conditions, **figure 2**).

• La charge en push-pull sera de 13 000 Ω plaque à plaque (6600 Ω par tube unique) afin de tirer de 100 W à 140 W de puissance utile. Le point de repos par tube est de l'ordre de 15 mA pour une tension de grille G1 + G2 de + 15 à + 20 V.

• Pour une puissance en crête de l'ordre de 100 W à 140 W, la consommation du courant fourni par la haute tension n'excédera jamais 100 mA par tube, soit 400 mA en stéréo push-pull. Les cathodes de ces tubes, prévues pour des courants de crête de 5 A, tiendront le coup !

Le cahier des charges

Ceci est valable lorsque vous désirez créer un amplificateur avec des tubes inconnus.

• Commencer par tracer un réseau de courbes Ia = f(Vg) en s'aidant d'un montage simple (voir cours précédents) et en se munissant d'un voltmètre et d'un milliampèremètre précis (figure 2)

• Sur le réseau de courbes, tracer l'hyperbole de dissipation maximale (isopuisance, voir cours précédents). Pour le CV57, nous avons opéré dans le noir et coupé la haute tension dès le léger rougissement de l'anode. C'est barbare, mais il n'y a pas moyen d'opérer autrement.

• Placer la droite de charge tangente à la courbe d'isopuissance en essayant d'obtenir AB = BC = CD, etc. Pour la CV57, on trouve pour un tube 6600 Ω, ce qui donne environ 13 000 Ω en push-pull plaque à plaque.

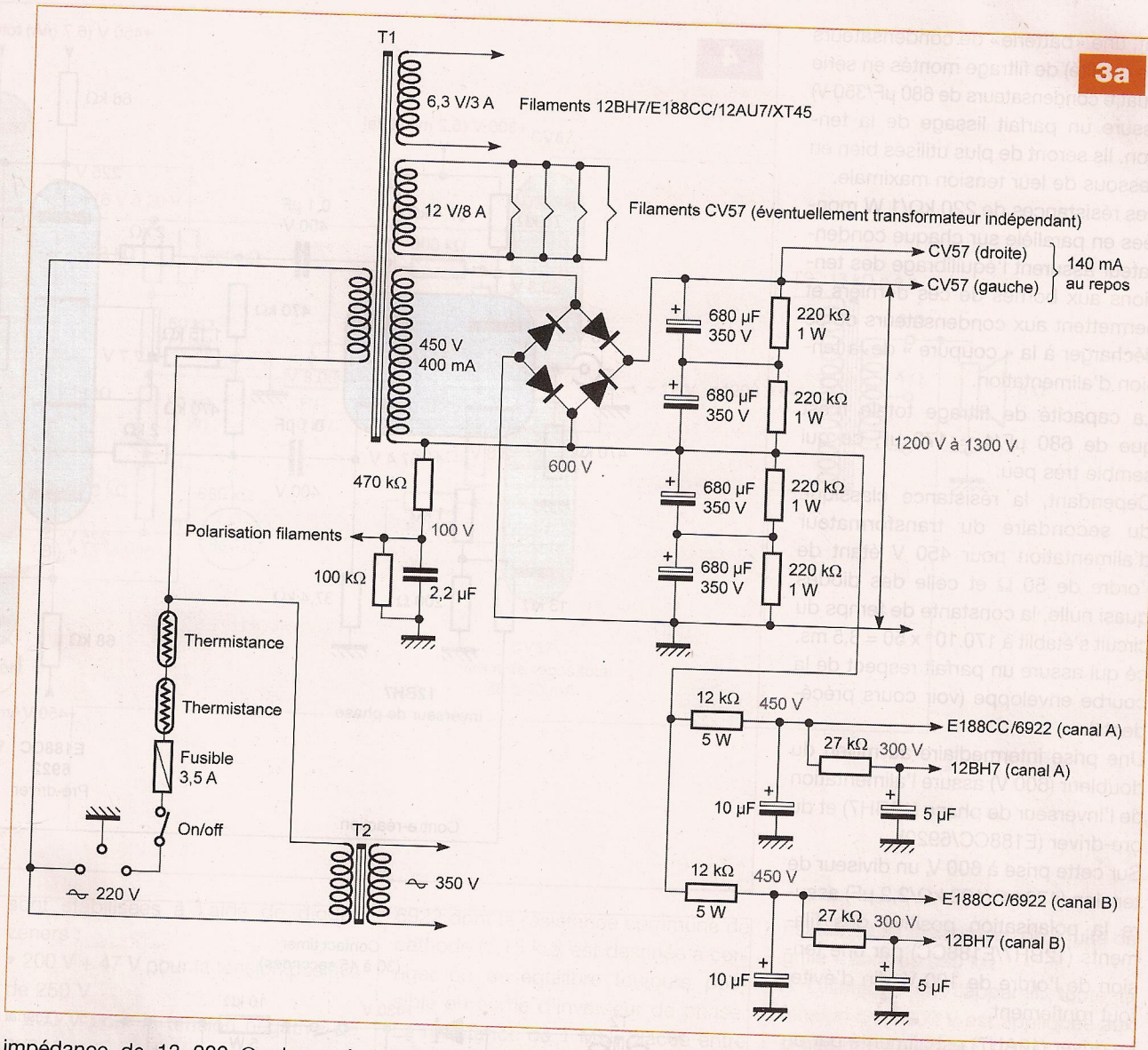
• Définir le point de repos (point X sur le réseau de courbes, en posant GX presque égal à la moitié de FG (ça marche pour tous les push-pull de tétrodes en classe AB).

• Définir la valeur de la haute tension : la perpendiculaire menée de « X » nous indique 1200 V.

• Nous aurions pu placer d'autres droites de charges mais, par exemple pour 11 000 Ω, nous aurions été obligés de porter la haute tension aux environs de 2 000 V, ce qui aurait été vraiment trop dangereux !

• Définir le cahier des charges proprement dit :

- La haute tension doit pouvoir délivrer sans chuter environ 400 mA sous 1200 V pour deux canaux en stéréo
- Trouver deux transformateurs de sortie présentant au primaire une



impédance de 13 000 Ω plaque à plaque et capables de supporter une puissance minimale de 100 W. C'est pratiquement irréalisable selon les fabricants de transformateurs, sans qu'il n'y ait des pertes insupportables dans le registre des aigus. Sachant comment fonctionne un transformateur (voir cours précédents), nous nous sommes rabattus sur des transformateurs de push-pull à impédance classique, plaque à plaque 6600 Ω/100 W. En connectant nos enceintes d'impédances 8 Ω sur les sorties 4 Ω des transformateurs, nous obtiendrons aux primaires 13 200 Ω (on ne va pas chipoter pour 200 Ω !). Cette méthode est un pis-aller, mais elle a fait ses preuves ! Vous pouvez l'utiliser pour toutes vos maquettes lorsque vous ne possédez pas le transformateur *ad hoc*.

- le driver doit pouvoir délivrer une puissance de 1 W pour exciter nos CV57 sous 100 à 150 V en crête. Voilà la bonne surprise : une simple 12AU7 (ECC82) en cathode follower est capable de cet exploit sans difficulté. Le pré-driver devra être capable de fournir un gain en tension de l'ordre de 200, soit environ 50 dB, ce qui est courant et facile à obtenir.

- Attention : le filament de la CV57 est réuni à la cathode (broche 2, voir schéma). L'alimentation des filaments des CV57 sera impérativement de 12 V, **en alternatif** surtout pas redressé (fortes perturbations avec une alimentation continue).

À la mise sous tension, un « timer » de l'ordre de 30 s bloquera les CV57 **par les grilles** avec une tension négative de l'ordre de 100 V à 200 V. Si cela était négligé, le courant s'établissant dans les tubes à la mise sous tension serait énorme et destructeur !

L'alimentation

Attention, danger ! Les tensions mises en œuvre sont dangereuses. Si vous n'êtes pas rompu à la manipulation de tensions supérieures à 800 V, je vous déconseille formellement de vous lancer dans l'aventure !

Tout d'abord, comment fait-on pour obtenir 1200 V ? Inutile de chercher « le » transformateur pour parvenir à cette haute tension. Utiliser plutôt un transformateur « confortable » qui soit capable de délivrer 450 V/400 mA (c'est courant pour les gros amplificateurs à tubes de 100 à 150 W et certains amplificateurs pour guitare) et construire **un doubleur de tension**. Nous avons adopté une structure de **doubleur en pont** (**figure 3a**).

Son avantage ? Les diodes ne voient que la moitié de la tension, le redressement en double alternance est par-

fait, une «batterie» de condensateurs (de qualité) de filtrage montés en série (quatre condensateurs de 680 µF/350 V) assure un parfait lissage de la tension. Ils seront de plus utilisés bien en dessous de leur tension maximale.

Des résistances de 220 kΩ/1 W montées en parallèle sur chaque condensateur assurent l'équilibrage des tensions aux bornes de ces derniers et permettent aux condensateurs de se décharger à la « coupure » de la tension d'alimentation.

La capacité de filtrage totale n'est que de 680 µF/4 = 170 µF, ce qui semble très peu.

Cependant, la résistance classique du secondaire du transformateur d'alimentation pour 450 V étant de l'ordre de 50 Ω et celle des diodes quasi nulle, la constante de temps du circuit s'établit à $170.10^{-6} \times 50 = 8{,}5$ ms, ce qui assure un parfait respect de la courbe enveloppe (voir cours précédents).

Une prise intermédiaire au milieu du doubleur (600 V) assure l'alimentation de l'inverseur de phase (12BH7) et du pré-driver (E188CC/6922).

Sur cette prise à 600 V, un diviseur de tension (470 kΩ/100 kΩ/2,2 µF) assure la polarisation positive des filaments (12BH7/E188CC) par une tension de l'ordre de 100 V afin d'éviter tout ronflement.

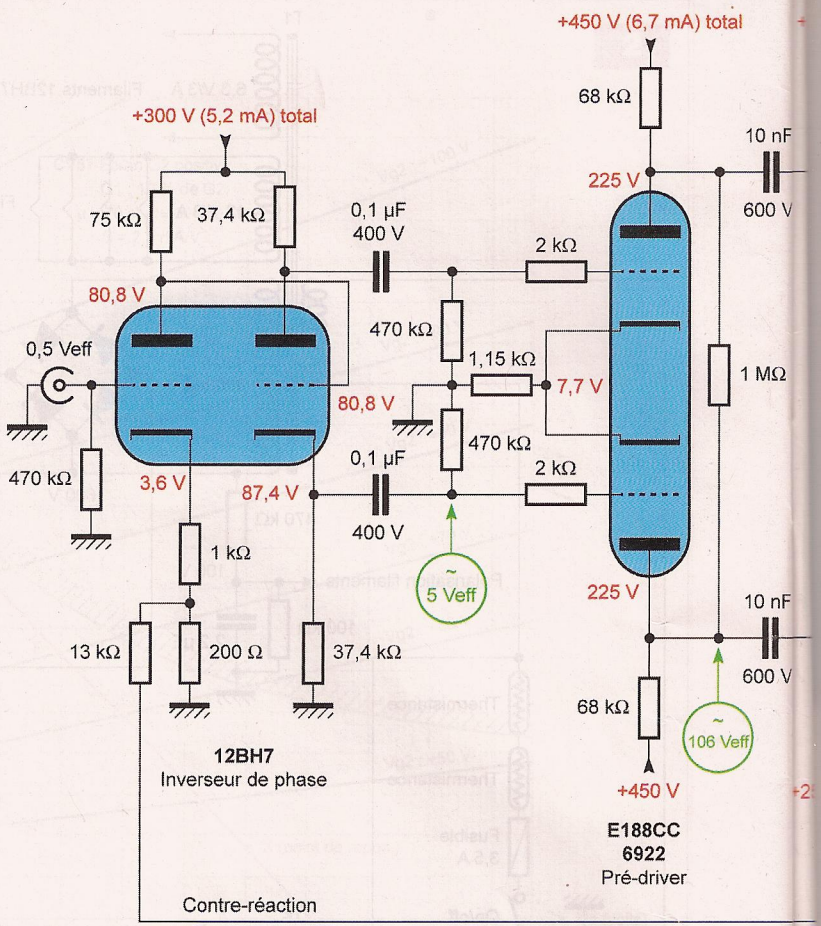
Le driver (12AU7) est alimenté par un petit transformateur indépendant (sécurité) fournissant 350 V/40 mA (**figure 3b**).

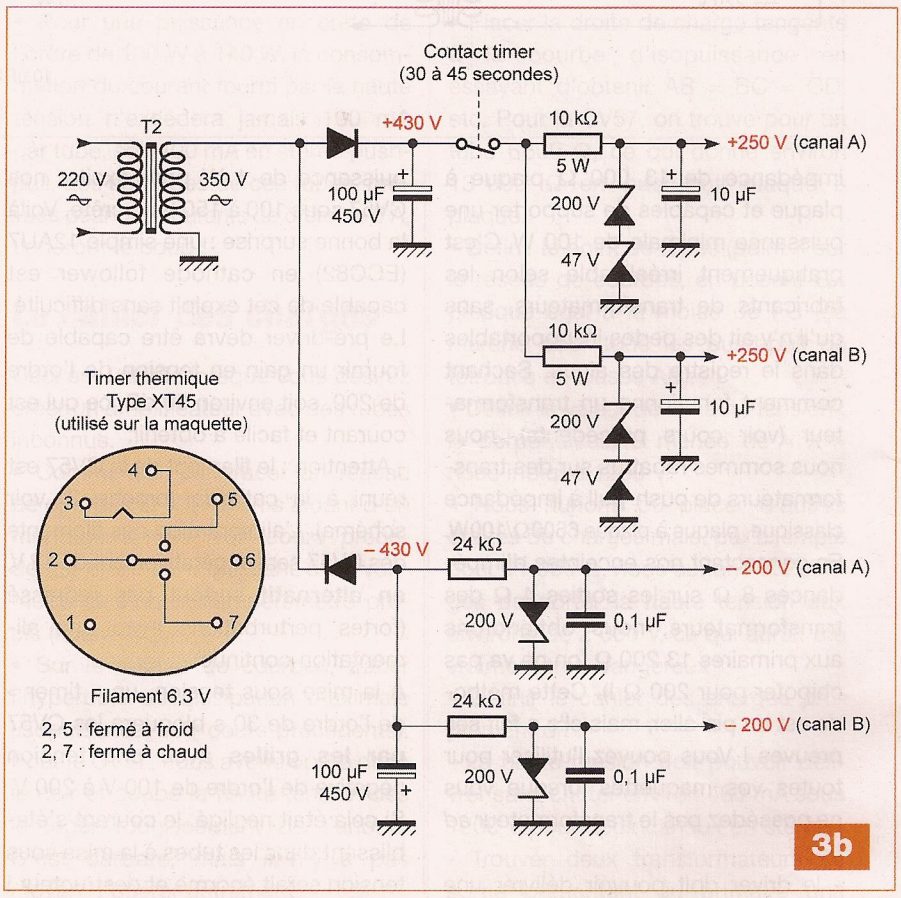
Ceci permet d'obtenir les tensions de 250 V (canaux A et B) et les tensions négatives de – 200 V destinées à polariser et bloquer les CV57 à l'allumage après environ 30 s. Le redressement et le filtrage des drivers est à simple alternance (filtrage : 2x100µF). Le courant mis en jeu est, en effet, très faible (environ 20 mA pour les deux canaux).

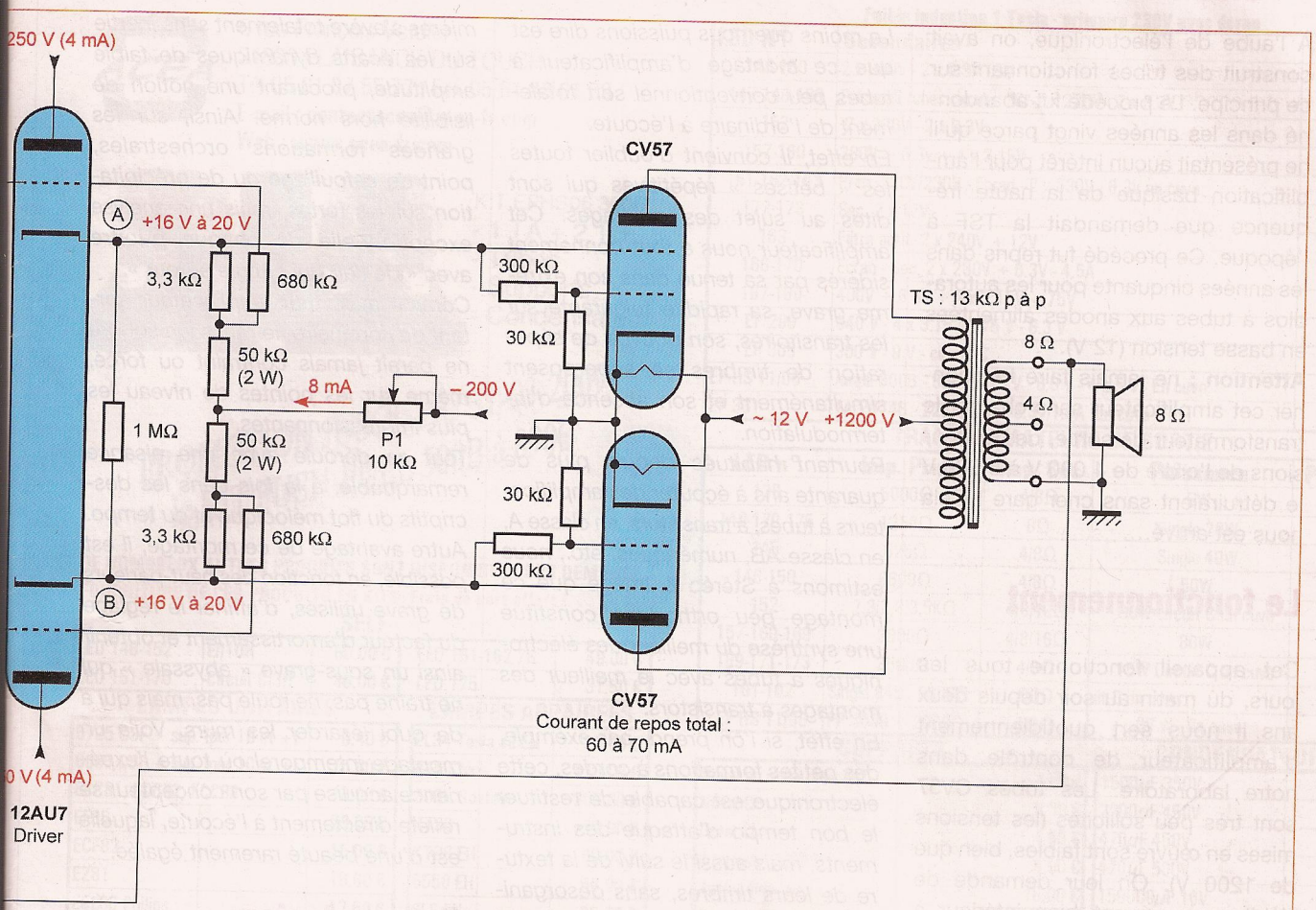
Pour le timer, vous avez le choix, puisque nombre de schémas simples sont disponibles dans la littérature spécialisée. Vous pouvez, à la rigueur, remplacer le contact du relais temporisé par un simple interrupteur, veiller dans ce cas à respecter la durée du préchauffage (30 s) des CV57.

Les tensions de + 250 V et – 200 V

4







sont stabilisées à l'aide de diodes zéners :

- 200 V + 47 V pour la tension positive de 250 V
- 200 V pour la tension négative de 200 V.

Le schéma définitif

Nous avons choisi une structure classique pour l'entrée, l'inverseur de phase et le pré-driver. Les tubes ont été choisis en fonction de leurs caractéristiques (linéarité, gain, qualités subjectives). À l'entrée, se trouve une 12BH7 qu'il est possible de remplacer par une 12AU7 ou une 6CG7/6FQ7 sans rien changer (**figure 4**).

Vous reconnaîssez l'inverseur cathodyne (deux charges de 37,4 kΩ) piloté en liaison directe par une demi-12BH7, sur la cathode de laquelle est appliquée la contre-réaction globale de l'amplificateur (résistance de 200 Ω, polarisation automatique 1 kΩ + 200 Ω). Les tensions et les courants sont indiqués sur le schéma.

Le pré-driver utilise une E188CC/6922 dont la résistance commune de cathode (1,15 kΩ) est destinée à corriger un déséquilibre toujours possible en sortie d'inverseur de phase. La résistance de 1 MΩ, placée entre les deux anodes, parfait l'équilibre de l'ensemble. Le pré-driver délivre une tension de 300 V crête à crête pour une tension à l'entrée de l'amplificateur de 0,5 Veff. À la sortie du pré-driver, la liaison est effectuée à travers deux condensateurs de 10 nF isolés à 600 V.

Remarquer la faible valeur des condensateurs de liaisons de ces étages préamplificateurs, inverseur, pré-driver. Ils permettent de respecter une constante de temps de l'ordre de 8 ms afin de respecter la courbe enveloppe du signal (voir cours précédents).

Les étages drivers et de puissance

Le driver est une simple 12AU7/ECC82 dont la charge des cathodes est de l'ordre de 50 kΩ (3,3 kΩ pour la polarisation). Les résistances de « fuite de grille » sont de 680 kΩ.

À l'allumage de l'appareil, toute la tension de – 200 V est appliquée aux grilles des CV57, les 12AU7 ne sont pas alimentées car la tension d'anode est absente.

À la fermeture du contact du « relais timer », 250 V sont appliqués sur les anodes : les 12AU7 débitent. La tension aux points (A) et (B) s'établit aux environs de + 16 V à + 20 V, réglable par P1 (10 kΩ). Les CV57 sont alors polarisées convenablement, le courant de repos des deux branches du push-pull s'établit aux environs de 60 à 70 mA.

Côté CV57, il convient de préciser ici que les tubes ne fonctionnent pas de façon traditionnelle.

Les grilles G1 et G2 agissent comme **des accélérateurs d'électrons**. Il n'y a pas de charge d'espace entre les cathodes et les grilles de ces tubes. G1 + G2 se conduisent comme une cathode fictive, **la charge d'espace prend naissance entre les grilles et l'anode**.

À l'aube de l'électronique, on avait construit des tubes fonctionnant sur ce principe. Le procédé fut abandonné dans les années vingt parce qu'il ne présentait aucun intérêt pour l'amplification basique de la haute fréquence que demandait la TSF à l'époque. Ce procédé fut repris dans les années cinquante pour les autoradios à tubes aux anodes alimentées en basse tension (12 V).

Attention : ne jamais faire fonctionner cet amplificateur sans charger le transformateur de sortie, des surtensions de l'ordre de 4 000 V à 5 000 V le détruiraient sans crier gare ! Cela nous est arrivé....

Le fonctionnement

Cet appareil fonctionne tous les jours, du matin au soir depuis deux ans. Il nous sert quotidiennement d'amplificateur de contrôle dans notre laboratoire. Les tubes CV57 sont très peu sollicités (les tensions mises en œuvre sont faibles, bien que de 1200 V). On leur demande de débiter un courant bien inférieur à leurs capacités réelles.

Nos transformateurs de sortie étaient fabriqués en 1950 par Acrosound TO350, leur fabrication est de nouveau assurée aujourd'hui par Sowter, en Grande-Bretagne.

À l'écoute : la parole à *Stéréo & Image*

Pour l'écoute, je laisse la parole aux oreilles d'or de notre revue sœur Stéréo & Image qui a testé et trituré cet amplificateur selon son habitude !

Le moins que nous puissions dire est que ce montage d'amplificateur à tubes peu conventionnel sort totalement de l'ordinaire à l'écoute.

En effet, il convient d'oublier toutes les « bêtises » répétitives qui sont dites au sujet des montages. Cet amplificateur nous a tout bonnement sidérés par sa tenue dans son extrême grave, sa rapidité fulgurante sur les transitoires, son pouvoir de séparation de timbres se superposant simultanément et son absence d'intermodulation.

Pourtant habitués depuis plus de quarante ans à écouter des amplificateurs à tubes, à transistors, en classe A, en classe AB, numériques, etc., nous estimons à Stéréo & Image *que ce montage peu orthodoxe constitue une synthèse du meilleur des électroniques à tubes avec le meilleur des montages à transistors.*

En effet, si l'on prend, par exemple, des petites formations à cordes, cette électronique est capable de restituer le bon tempo d'attaque des instruments, mais aussi le suivi de la texture de leurs timbres, sans désorganisation des harmoniques supérieurs, même sur les plus forts écarts de niveau. Ainsi, la constance dans la qualité des timbres est remarquable, aussi bien à faible niveau d'écoute qu'à niveau réaliste, ce que l'on peut atteindre facilement avec des systèmes à haut rendement sans aucune impression d'écrêtage ou de duretés parasites.

En effet, contrairement à nombre de montages à transistors qui ne fonctionnent qu'à partir d'un certain niveau sonore, ce montage à tubes « détournés » de leurs fonctions premières s'avère totalement sans inertie sur les écarts dynamiques de faible amplitude, procurant une notion de lisibilité hors norme. Ainsi, sur les grandes formations orchestrales, point de cafouillage ou de précipitation sur les fortes, mais une analyse exceptionnelle de chaque pupitre avec « de l'air qui circule autour ».

Comme avec tout amplificateur sortant de l'ordinaire, le message sonore ne paraît jamais contraint ou forcé, même sur les pointes de niveau les plus impressionnantes.

Tout se déroule avec une aisance remarquable, à la fois dans les descriptifs du flot mélodique et du tempo.

Autre avantage de ce montage, il est possible, en fonction des haut-parleurs de grave utilisés, d'affiner le réglage du facteur d'amortissement et obtenir ainsi un sous-grave « abyssale » qui ne traîne pas, ne roule pas, mais qui a de quoi lézarder les murs. Voilà un montage intemporel où toute l'expérience acquise par son concepteur se reflète directement à l'écoute, laquelle est d'une beauté rarement égalée.

En conclusion

Il n'est pas question ici de nous autoféliciter. Sachez seulement que le taux de distorsion de cet appareil s'élève à 1,8 % **à toutes les fréquences** (de 20 Hz à 20 kHz) et **à toutes les puissances** (de 0,1 W à 100 W contrairement aux amplificateurs traditionnels). L'utilisation de ces tubes n'a pas fini de nous surprendre !

Bonne réalisation

R. BASSI

Haute Fidélité Musicale
&
Haute Définition Vidéo

UNE NOUVELLE APPROCHE

Chaque mois en kiosque

Pour tout renseignement
TRANSOCÉANIC
3, boulevard Ney 75018 Paris - Tél. : 33 (0)1 44 65 80 80