

# Un amplificateur

## sans condensateurs

Ou l'art  
d'utiliser les  
bonnes vieilles  
"45"  
à la sauce  
Hi-Fi...

Réalisé par un de nos camarades amateur-émetteur, Robert LAFOND, F9GF, il y a quelques années et remanié depuis, au gré de l'évolution de la technique, cet amplificateur pourrait justifier le slogan : « Supprimons les intermédiaires », ou encore : « Directement du producteur au consommateur ». En effet, l'amplificateur proprement dit n'utilise absolument aucun condensateur, ce qui ne signifie nullement que son auteur soit sans capacités ! On ne saurait y trouver que les capacités inter-électrodes des tubes et les capacités parasites du câblage.

Nous allons en donner deux versions : l'une avec étage final à charge anodique pour l'utilisation en sonorisation, l'autre avec étage final à charge cathodique pour l'écoute d'appartement.

### Examen du schéma

L'amplificateur comporte trois étages : deux étages amplificateurs de tension équipés de tubes 6SN7 et un étage final de puissance équipé d'un push-pull parallèle de tubes triodes 45 à chauffage direct.

Le premier étage est un déphaseur de Schmitt fortement déséquilibré ; afin de pouvoir mettre la cathode du tube  $T_1$  à la masse, il a fallu employer une résistance commune de cathode

de faible valeur, sans quoi la polarisation n'eût pas été correcte.

Avec la faible valeur de résistance utilisée, la tension de sortie de  $T_2$  ( $V_{s_2}$ ) est environ 16 % de celle de  $T_1$  ( $V_{s_1}$ ) :

$$\frac{V_{s_2}}{V_{s_1}} = \frac{Rk(1 + \mu)}{Rk(1 + \mu) + \rho + R_p} = \frac{1000(1 + 14)}{1000(1 + 14) + 30\,000 + 50\,000} = 0,16;$$

$\mu = 14$  et  $\rho = 30\,000 \Omega$  sont les valeurs du coefficient d'amplification et de la résistance interne pour un débit de 1 mA (débit réel du tube).

Un potentiomètre de 500  $\Omega$  réunit les cathodes et la position correcte du curseur est celle qui assure l'égalité des tensions continues des plaques de  $T_1$  et  $T_2$  et des grilles de  $T_3$  et  $T_1$  qui y sont réunies.

La résistance de 250  $\Omega$  environ insérée dans chaque cathode a un effet négligeable, car la pente des tubes est faible : 0,5 mA/V environ dans les conditions d'emploi ( $J_p = 1$  mA) et la contre-réaction qui en résulte est insignifiante.

Le deuxième étage fonctionne en déphaseur de Schmitt pour les 84 % de la tension de sortie de  $T_1$  et en amplificateur push-pull pour les 16 % de tension de sortie de  $T_1$  et  $T_2$ . Il va contribuer à réduire le déséquilibre à 20 % de sa valeur :

$$\frac{V_{s_1}}{V_{s_2}} = \frac{30\,000(1 + 15)}{30\,000(1 + 15) + 20\,000 + 100\,000} = 0,80$$



A la sortie de T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>, le déséquilibre sera réduit à 16 % environ.

L'étage final constitué par un push-pull parallèle de tubes 45 est attaqué directement par le deuxième étage, sans condensateurs de liaison. Ses grilles se trouvent à un potentiel continu de 150 V environ; les filaments sont portés à une tension plus positive (210 V environ) par une résistance de l'ordre de 3 kΩ. Si l'on néglige le pont entre + H.T. et masse dont cette résistance fait partie et les débits des autres tubes et de la partie supérieure du pont, on peut dire que l'étage final fonctionne aussi en déphaseur de Schmitt et contribue à réduire le déséquilibre résiduel de 70 %.

Les tubes 45 sont des triodes qui datent de trente ans; aussi allions-nous en rappeler les caractéristiques:  $V_f = 2,5$  V;  $I_f = 1,5$  A;  $\phi = 1,6$  kΩ;  $\mu = 3,5$ ;  $S = 2,1$  mA/V. Pour  $V_p = 275$  V et  $V_g = -56$  V, on a  $I_p = 36$  mA et  $P = 2$  W sur une charge de 4,6 kΩ.

Dans les conditions d'emploi:  $V_{pf} = 540 - 210 = 330$  V;  $I_p = 25$  mA par tube environ, soit 100 mA pour les quatre tubes.

La puissance de cet amplificateur s'est révélée très supérieure à celle d'un amplificateur de grande marque d'une puissance nominale de 20 W (la qualité aussi, d'ailleurs).

Le transformateur de sortie est un modèle présentant une impédance de 8 kΩ de plaque à plaque, pour une charge secondaire de 8 Ω, et prévu pour un push-pull de pentodes EL 84

La grande originalité du montage réside dans le mode d'alimentation des divers étages. Un pont potentiométrique est branché entre + H.T. et masse et la partie inférieure de ce pont côté masse est la résistance commune de cathodes de l'étage final. Sur cette résistance est effectuée une prise qui alimente le premier étage à partir d'une tension de 100 V. Le deuxième étage est alimenté sur la résistance constituant la partie supérieure du

pont (côté H.T.) à partir d'une tension de 240 V.

L'instabilité de ce genre d'amplificateurs est bien connue. Or, celui que nous venons de décrire ne souffre aucunement de ce défaut. Sa stabilité est telle qu'on peut retirer un des deux tubes 45 dans chaque branche du push-pull, remplacer les 6 SN 7 par des 6 SL 7 (tubes à grand coefficient d'amplification) sans que l'amplificateur ne s'en ressente beaucoup.

Le type d'alimentation employé intervient certainement pour beaucoup dans cette stabilité, car il y a opposition de phase entre le courant du premier étage, d'une part, et celui du deuxième et le courant cathodique de l'étage final, d'autre part.

En remplaçant le transformateur de sortie par des résistances, cet amplificateur ferait un excellent amplificateur à courant continu ou de fréquences basses pour un oscilloscope.

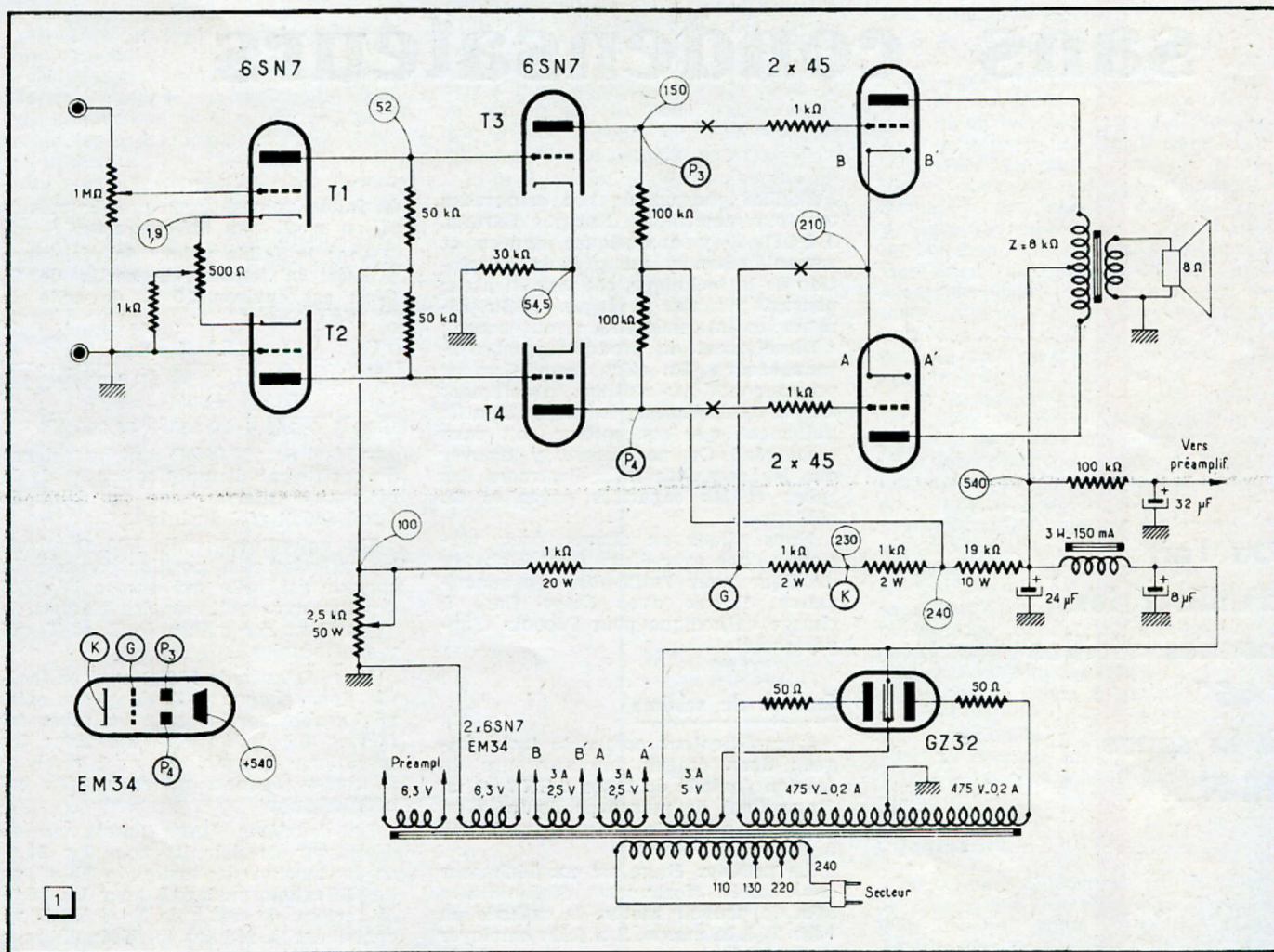


Fig. 1. — Amplificateur à liaisons directes entre étages. C'est la version à charge anodique. La résistance ajustable de 2,5 kΩ a une valeur de l'ordre de 1 kΩ et pourra être remplacée par une résistance de cette valeur. Le principe peut être appliqué à un amplificateur de courant continu ou un amplificateur d'oscilloscope. Les tensions ont été relevées avec un contrôleur de 10 kΩ/V.



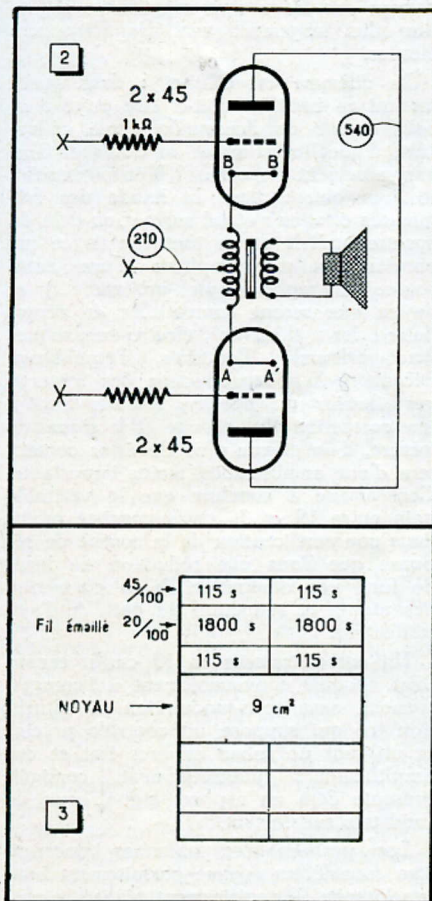


Fig. 2. — Etage final à charge cathodique. La modification est très facile à réaliser. Il suffit de transporter le transformateur de sortie des circuits de plaques dans ceux des filaments et de relier les plaques directement au + H.T.

Fig. 3. — Détails de réalisation du transformateur de sortie.

### Variante à charge cathodique

L'amplificateur utilisé à l'origine pour la sonorisation fut employé par la suite à des usages plus sédentaires ; la puissance important peu, l'amplificateur fut transformé en faisant fonctionner l'étage final avec charge cathodique. Les plaques des 45 furent reliées directement au + H.T. et le transformateur de sortie inséré entre les filaments des tubes.

La puissance diminue, mais resta plus que suffisante pour une écoute d'appartement et la qualité s'améliora d'une façon très appréciable au point que bien que n'ayant aucune boucle de contre-réaction globale, l'amplificateur peut mériter le qualificatif de haute fidélité.

Il est bien évident que l'emploi de tubes 45 n'est pas indispensable. Des essais faits avec des tubes 6L6 en triodes ont été concluants. On pourrait fort bien utiliser des EL 84 en triodes ou des EL 34 également en triodes.

Il suffirait de changer la prise d'alimentation du deuxième étage pour assurer à ces tubes une polarisation convenable (10 V environ pour des EL 84, 25 V pour des EL 34).

La mise au point d'un tel amplificateur n'est nullement délicate, car il se produit une sorte d'auto-ajustement des polarisations grâce aux valeurs élevées des résistances de cathodes.

Un œil magique EM 34 est connecté de la façon indiquée sur le schéma. Il permet de constater la mise sous tension de l'amplificateur (son filament rougit), d'évaluer d'après l'intensité de la luminosité verte du tube la valeur de la haute tension, donc de la tension du secteur, enfin d'apprécier les tensions sur les plaques du deuxième étage ou, ce qui revient au même, sur les grilles du dernier.

### Précisions

Nous terminerons cette description en donnant quelques conseils fournis par l'auteur. Quand on règle le potentiomètre de 500 Ω placé entre les cathodes des tubes T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>, on constate une zone de réglage où la modulation est déformée et une autre où se produit un fort ronflement ; c'est entre les deux que se trouve le réglage correct.

Le transformateur de sortie est réalisé avec un noyau de tôles (1,6 W/kg) de 9 cm<sup>2</sup> de section sans entrefer. Le bobinage est symétrique et fractionné (fig. 3). Chaque demi-primaire a 1800 spires et est inséré entre deux

bobines secondaires de 115 spires chacune. Les deux bobines primaires sont en série, les quatre bobines secondaires en parallèle.

Les condensateurs de filtrage sont des condensateurs de 4 μF « Ducati » à l'huile. Il y en a deux en parallèle en tête de filtre et six en parallèle en sortie. On peut régler la valeur de la haute tension en changeant la valeur des capacités d'entrée du filtre.

On pourra fort bien utiliser en entrée deux condensateurs électrochimiques de 16 μF - 500 V en série et, en sortie, deux de 50 μF - 350 V en série, en utilisant l'habituel pont de résistances pour équilibrer les tensions sur les capacités en série.

Pour l'utilisation de cet amplificateur derrière la partie H.F. - M.F. - détection d'un appareil de radio, un bon filtre moyenne fréquence sera indispensable afin d'éliminer toute composante M.F.

Un amplificateur pour guitare, que nous pensons décrire ultérieurement, fonctionne lui aussi sans aucune capacité de liaison ; il est le seul, à notre connaissance, à pouvoir supporter sans distorsion les attaques extrêmement violentes propres à cet instrument quand il est aux mains d'un guitariste digne de ce nom.

Nous avons connu d'excellents amplificateurs qui, soumis à ce régime, n'en pouvaient mais, et nous pensons que c'est la pire torture à laquelle on peut soumettre un amplificateur et ses haut-parleurs.

R. BRAULT.

## Diodes régulatrices au silicium

(SUITE DE LA PAGE 93)

dont la tension crête à crête est parfaitement déterminée.

Cette propriété peut être mise à profit dans des appareils ayant besoin d'un signal de niveau bien stable ; la simplicité et l'économie de cette solution sont évidentes. Un appareil américain destiné à mesurer α ou β sur les transistors fonctionne sur ce principe.

Si l'on dispose d'une tension alternative de grande amplitude (50, ou mieux 100 V efficaces ou davantage), ce petit écreteur équipé d'une diode de 6 V environ, fournit des signaux carrés qui, s'ils ne sont pas parfaits, sont du moins très présentables.

J. RIETHMULLER.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Zener, Proc. Roy. Soc. London, 145 A, 523 (1934) ;
- [2] K.G. McKay and K.B. McAfee, Phys. Rev., 91, 1079 (1953) ; K.G. McKay, Phys. Rev., 94, 877 (1954).

Une nouvelle méthode à Monte-Carlo :

## LE CALCUL ÉLECTRONIQUE

Nous pensons qu'il est intéressant de signaler l'initiative prise cette année par les organisateurs du 27<sup>e</sup> Rallye de Monte-Carlo pour effectuer plus rapidement les nombreux et complexes calculs qu'ont nécessités les classements de cette compétition automobile.

Un Centre de calcul électronique a été mis en place par IBM. Il était composé de neuf machines à cartes perforées dont : une trieuse électronique, une tabulatrice IBM 421 et un calculateur électronique IBM 604. Cet équipement était servi par une équipe de huit spécialistes.

La nouvelle méthode a permis aux organisateurs d'améliorer les épreuves de contrôle du Rallye par exemple : possibilité pour tous les concurrents de disputer l'épreuve du classement ; suppression de l'épreuve de freinage ; adjonction de contrôles supplémentaires et de nouvelles clauses que le dépouillement manuel ou semi-mécanique ne permettait pas. Les différents classements nécessitent la préparation de 10 000 cartes perforées à l'avance de tous les renseignements indicatifs ; numéros d'étape, d'équipe, de voiture, marque. Ces cartes furent complétées des données nécessaires aux calculs au fur et à mesure de l'arrivée à Monte-Carlo des carnets de bord conservés par les conducteurs eux-mêmes.

Le calculateur électronique a effectué à la vitesse de 10 500 opérations à la minute les calculs nécessaires aux classements qui furent imprimés aussitôt automatiquement par la tabulatrice 421 fonctionnant à la vitesse de 150 lignes à la minute.



### Ampli « Loyez »

Cet amplificateur débute par le déphaseur décrit par ailleurs dans le chapitre VII.

Il utilise un étage final équipé de tubes EL84 en régime ultralinéaire.

Quatre modes de R.N.T sont mis en pratique :

- 1° La réaction négative de grille-écran propre au circuit U.L. ;
- 2° et 3° : 2 boucles de R.N.T internes réalisant une correction au moyen d'un couplage par résistances entre l'étage final et les deux étages qui le précèdent, couplage réalisé en tenant compte des phases respectives des courants dans les différents étages ;
- 4° Un circuit de R.N.T. globale, tout à fait classique, servant en même temps à parfaire le déphasage à l'entrée (fig. XVII-31).

Les avis sur l'opportunité de ces boucles de réaction internes sont très divers et très contradictoires. Nous pensons que la question de phase jouant un rôle capital dans l'efficacité de tout circuit de R.N.T, tout circuit propre à la corriger le plus efficacement, c'est-à-dire englobant le minimum d'étages, comme c'est le cas de boucles de R.N.T internes, ne peut être que recommandable, même si en diminuant le gain des étages intermédiaires, il diminue l'efficacité de la R.N.T globale. Mais il faut, bien entendu, que ces boucles ne fassent pas travailler ces étages dans les parties non linéaires de leurs caractéristiques.

Les performances de cet amplificateur semblent indiquer qu'il n'en est pas ainsi.

Distorsion à 1 KHz  $< 0,015\%$  à 10 watts.

Bande à  $\pm 1$  db, 10 à 150 000 Hz.

On notera que l'amplificateur était accompagné de son préamplificateur sur entrée « radio » lors du relevé des performances ci-dessus.

### Amplificateur à liaisons directes « Lafon »

Cet amplificateur qui ne comporte aucune capacité de liaison est extrêmement intéressant car il ne peut exister de rotation de phase ailleurs que dans le transformateur de sortie pour ce qui est des fréquences basses qui s'étendent jusqu'au courant continu de l'entrée jusqu'aux plaques de l'étage de sortie. En chargeant l'étage final par des résistances ohmiques, il ferait un excellent amplificateur vertical d'oscilloscope pour fréquences basses. La réponse aux fréquences élevées est excellente, car malgré qu'il n'utilise que des triodes, celles-ci sont à faible résistance interne 8 K $\Omega$  pour les ECC82 et à faible gain, donc leurs capacités d'entrée ne sont pas très élevées.

L'amplificateur dans sa forme originale comporte 3 étages ; une 6SN7 amplificatrice de tension utilisant un déphaseur de Schmitt assez

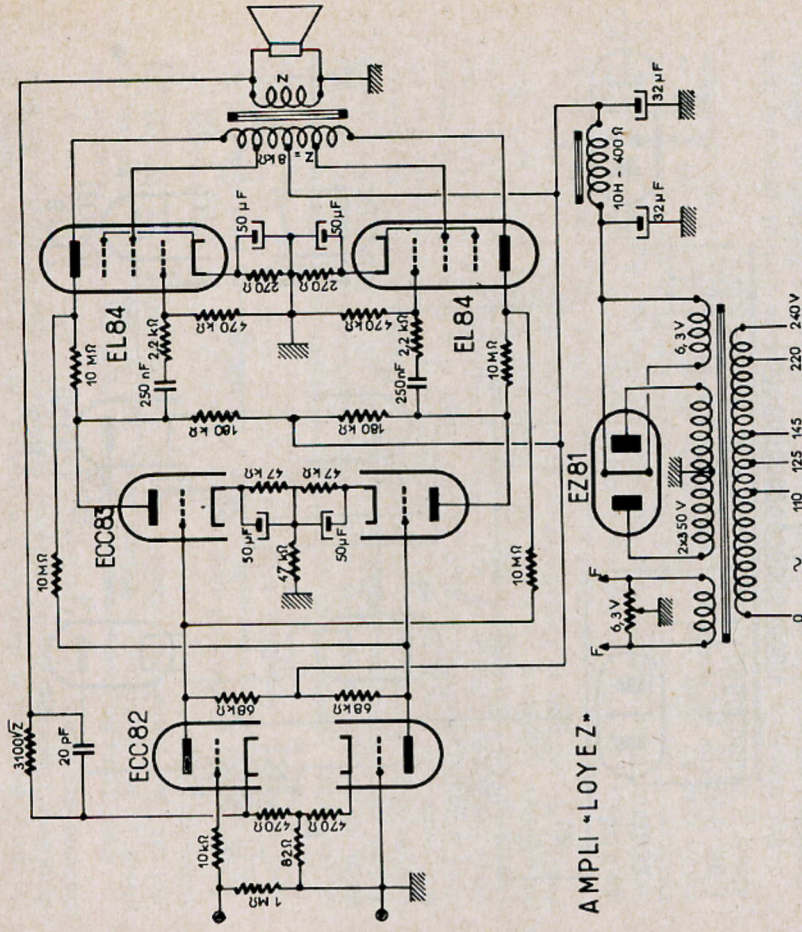


FIGURE XVII-31

Amplil Loyez de très haute qualité. On notera les quatre circuits de R.N.T. 1° Contre-réaction d'écran U.L. 2° Deux boucles de R.N.T. locales avec changement de phase quand on change d'étage. 3° Circuit de R.N.T. globale corrigé le déséquilibre du déphaseur.

déséquilibré, un deuxième étage amplificateur de tension utilisant le même type de tube et contribuant à l'amélioration du déphasage par contre-réaction de cathode, enfin l'étage final comporte deux triodes à résistance commune de cathode de valeur élevée qui participe aussi à l'amélioration du déphasage (fig. XVII-32).

Le potentiomètre inséré entre les cathodes des 2 triodes du premier étage sert à égaliser les débits des 2 triodes afin que leurs plaques soient au même potentiel continu, ce qui est indispensable pour la liaison directe avec l'étage suivant. On remarquera l'alimentation de cet étage en haute tension qui est faite sur la charge de cathode de l'étage final



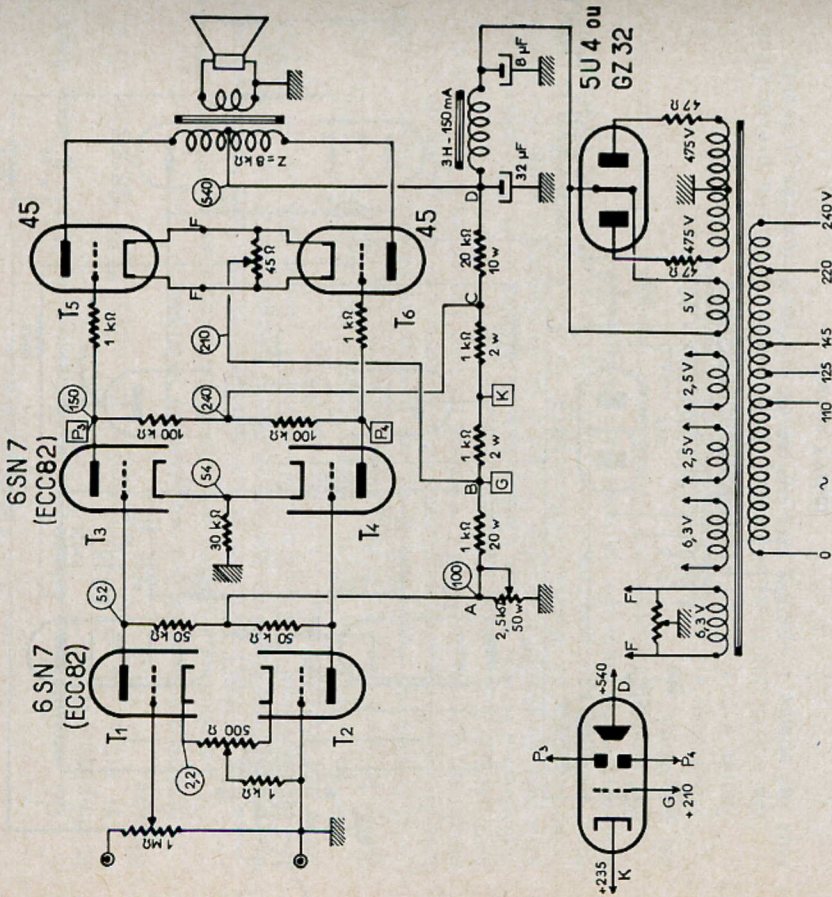


FIGURE XVII-32

Amplificateur Lafon à liaison directe intégrale. On notera le dispositif astucieux d'alimentation des divers étages. Cet amplificateur est remarquable par sa stabilité.

en un endroit convenable. La liaison directe avec le deuxième étage porte les grilles de cet étage au potentiel des plaques du premier, soit 50 V environ. Pour rendre le potentiel de cathode supérieur à cette tension, il a fallu utiliser une résistance de cathode élevée.

Il y a une sorte d'auto-ajustement des tensions et débits, mais on peut y aider en utilisant entre la masse et le point d'alimentation du premier étage une résistance ajustable qu'on réglera afin d'assurer au deuxième étage une polarisation convenable de 3 V environ.

La tension d'alimentation du deuxième étage doit être plus élevée que la tension des cathodes des tubes de puissance afin de compenser

la chute de tension dans les résistances de plaque des triodes du deuxième étage qui est, en général, plus élevée que la tension de polarisation des tubes de l'étage final.

Pour cela, un pont est établi entre la haute tension (à la sortie du filtre) et les cathodes de l'étage final. Sur ce pont, une prise en un endroit judicieusement choisi, assure l'alimentation des triodes du deuxième étage.

Cet étage, avons-nous dit, parfait l'équilibrage ; en effet, il est alimenté par un déphaseur dont la charge de cathode est trop faible (1 K) pour assurer un équilibre raisonnable des tensions de sortie et le déséquilibre est de l'ordre de 80 % ; les tensions alternatives présentes sur la résistance commune de cathode du deuxième étage sont donc inégales et ne s'annulent pas dans cette résistance. L'une sur  $T_3$  étant 4 fois plus forte que l'autre, la différence est 3 fois ; tout se passe comme si seule une tension égale à 3 fois la tension présente sur  $T_4$  existait seule ; il y a donc sur  $T_3$  phénomène de contre-réaction qui réduit considérablement le gain de cet étage et à la sortie du deuxième étage le déséquilibre n'est plus que de l'ordre de 15 %. L'étage final contribue par le même principe à diminuer encore cet écart et à le situer aux environs de 5 %. Avec des tubes à plus grand gain dans l'étage de puissance, l'amélioration serait plus grande.

Les tubes de l'étage final étaient des triodes 45 à chauffage direct dont nous rappellerons ici les caractéristiques, car ce sont des tubes ancestraux mais nous n'avons pas souvenir d'avoir vu dans les caractéristiques d'autres tubes la mention : distorsion 0 % qui figurait parmi celles des 45. Pour  $V_p = 275$  V,  $I_p = 36$  mA ;  $V_g = -56$  V ;  $f = 1700$   $\Omega$  ;  $S = 2$  mA/V ;  $K_s = 3,5$  ;  $Z_p = 4$  K $\Omega$  ;  $W_s = 2$  w ; chauffage direct : 2,5 V — 1,5 A.

Ces tubes en apparence de puissance minime sortent pourtant une puissance respectable que beaucoup d'amplificateurs équipés de lampes modernes leur envieraient.

On remarquera l'absence totale de contre-réaction et pourtant la qualité était excellente ; nous avons tort de parler au passé, car cet amplificateur, créé il y a une dizaine d'années, fonctionne toujours. Il a l'avantage d'être d'une stabilité à toute épreuve et de s'accommoder de n'importe quel tube final. Ainsi nous avons pu, avec son auteur Robert Lafon F9GF), mettre soit  $2 \times 45$  soit  $4 \times 45$  en push-pull parallèle, soit des 6L6 en triodes et même des EL84. (Le transformateur avait différents enroulements de chauffage filament.)

Le principe en est extrêmement intéressant et il est facile de l'adapter à des tubes modernes.

Ainsi nous avons imaginé un amplificateur de ce type fonctionnant avec une tension totale de 340 V au lieu des 540 V du circuit original.

Les ECC82 remplacent sans histoire les 6SN7, donc nous pouvons conserver les mêmes tensions d'alimentation pour les étages amplificateurs de tension.



Construisons l'étage final avec des tubes EL86 qui utilisent des tensions d'alimentation et des débits moyens (fig. XVII-33).

Leur polarisation doit être 15 V environ.

Si l'on conserve les tensions d'alimentation des 2 premiers étages, les grilles des EL86 seront portées à 150 V ; il faudra que la tension de cathode soit 165 V.

Si on admet un débit de 170 mA pour le débit cathodique des 2 EL86 et 15 mA pour le débit du pont (le débit des 2 ECC82 est négligeable comparé à ces débits), le débit total dans la charge de cathode des EL86 sera 185 mA. Pour obtenir une chute de tension de 165 V, la

résistance cathodique devra être  $R = \frac{165}{185} = 900 \Omega$ . Une simple règle de 3 donnera la valeur de la résistance comprise entre masse et point d'alimentation du premier étage pour obtenir une tension de 100 V :

$$R = \frac{100}{185} = 610 \Omega \text{ ou } \frac{165}{900 \Omega \times 100} = 610 \Omega.$$

Quant à la partie supérieure du pont, si l'on alimente les EL86 par une tension normale plaque-cathode de 170 V, on devra obtenir cette chute de tension dans la résistance cathode-HT sous le débit prévu de 15 mA.

Elle aura donc pour valeur :

$$\frac{170}{15} = 11\,300 \Omega \text{ environ.}$$

On assurera la polarisation correcte de l'étage final en alimentant le deuxième étage à partir d'une HT de 240 V. Comme l'extrémité de la résistance de 11 300  $\Omega$  est à 340 V, il faudra perdre 100 V entre la prise et le + 340 V, ce qui donne une résistance de  $\frac{100}{15} = 6\,600 \Omega$ .

Le pont entre masse et + 340 V sera donc composé des résistances suivantes en série :

Masse — 610  $\Omega$  — prise premier étage — 290  $\Omega$  — cathode EL86 — 4 700  $\Omega$  — prise deuxième étage — 6 600  $\Omega$  — + 340 V.

Les résistances de 610  $\Omega$  et 290  $\Omega$  pourront être combinées en 1 seule ajustable et à colliers.

On prendra une résistance bobinée de 1 000  $\Omega$ -40 W.

On pourra faire de même pour les 2 autres en utilisant une résistance bobinée de 15 K $\Omega$ -10 W ajustable et à colliers.

Il est évident que cet amplificateur n'est pas économique, car il consomme dans la résistance de cathode une puissance égale à celle qui est prise par l'étage final mais avec un bon transformateur de sortie et une

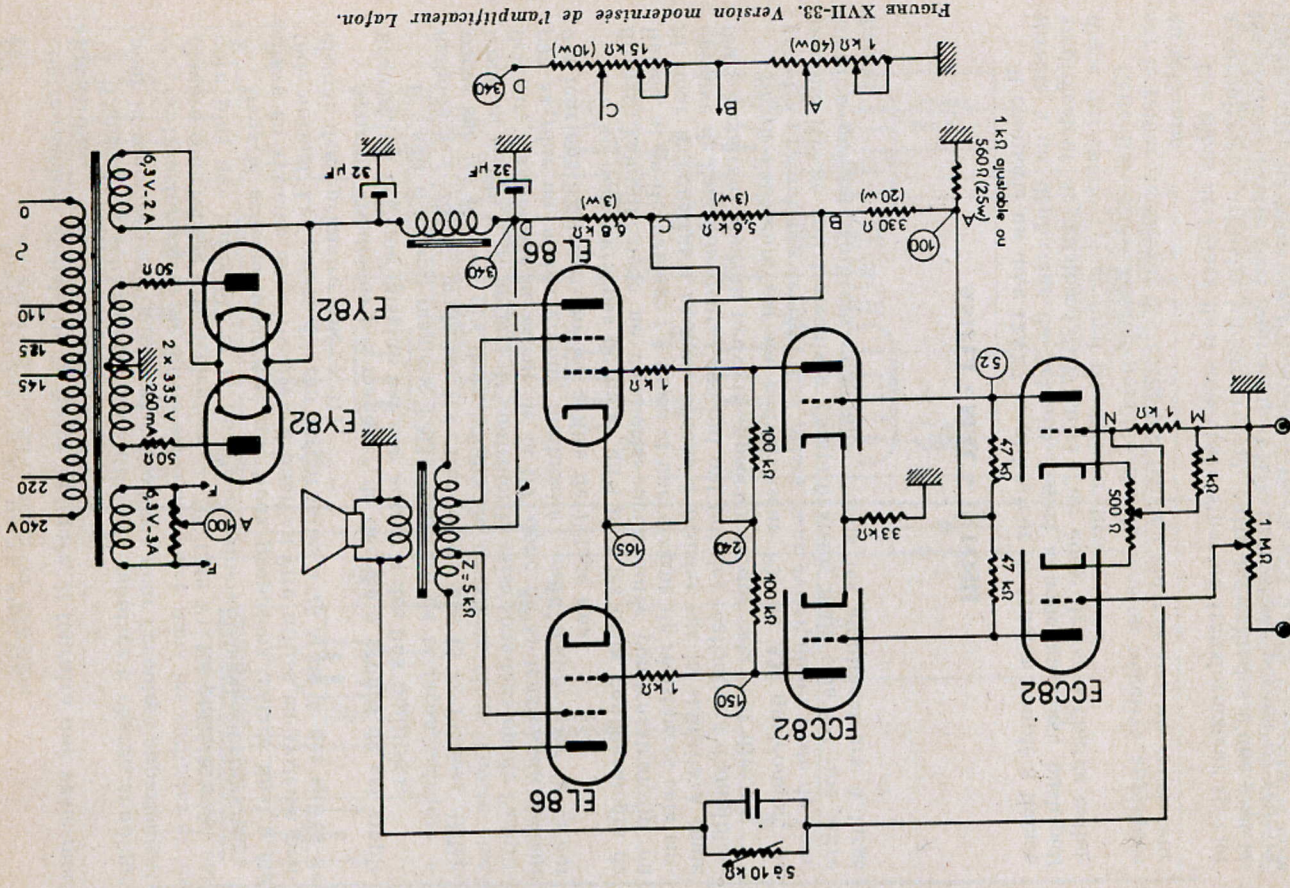


Figure XVII-33. Version modernisée de l'amplificateur Lafon.



contre-réaction globale de la forme indiquée, il fournira une vraie qualité Hi-Fi.

L'auteur du schéma original l'utilise en montage à charge anodique pour la sonorisation et à charge cathodique pour l'écoute d'appartement.

Le transformateur de sortie est alors placé dans les cathodes et les plaques sont reliées directement au + HT (540 V). La puissance est encore plus que suffisante et la qualité considérablement améliorée.

Dans le schéma modernisé que nous proposons, l'étage final a été prévu en système ultra-linéaire ; il pourrait être utilisé en système pentode normal. Les prises d'écran seront faites à 25 à 30 % des spires de chaque demi-primaire côté + HT.

Nous ne voudrions pas manquer de décrire à propos de cet amplificateur, un système imaginé par son auteur à des fins multiples.

Il s'agit d'un œil magique EM34 connecté de la façon suivante — cathode à + 235 V, grille sur les cathodes (!) des 45 — Plaques défléctrices sur les plaques des deux triodes du deuxième étage, l'autre électrode au + 540 V. Il permet de contrôler la mise sous tension de l'amplificateur, d'apprécier la valeur de la HT donc de la tension du secteur par sa plus ou moins grande luminosité ; enfin d'apprécier la valeur des tensions d'attaque sur les grilles de l'étage final.

On ne manquera pas de noter qu'à part les deux condensateurs de filtrage, l'amplificateur ne comporte aucun autre condensateur, ni en liaison ni en découplage ; 4 tubes et une dizaine de résistances cela suffit pour le construire et nous tenons à insister sur la stabilité à toute épreuve de l'amplificateur. Ceux qui ont fait des réalisations d'amplificateurs à courant continu peuvent apprécier ce que cela veut dire.

Si on l'alimente par un convertisseur FM ou AM quelconque, de grandes précautions devront être prises pour éviter qu'un reste de composante HF ne soit transmis à l'amplificateur, mais cela est une autre histoire qui est d'ailleurs commune à tous les amplificateurs à large bande.