

Informations TECHNIQUES

EL 84

PENTODE
DE PUISSANCE
12 WATTS



BULLETIN ÉDITÉ PAR LE BUREAU DE DOCUMENTATION DE LA DIVISION TUBES ÉLECTRONIQUES
DE LA S. A. LA RADIOTECHNIQUE

SEPTEMBRE 1953

EL 84

**PENTODE AMPLIFICATRICE
DE PUISSANCE - 12 WATTS**

UN NOUVEAU TUBE FINAL, A POSSIBILITÉS MULTIPLES POUR RECEPTEURS ET AMPLIFICATEURS

DÉPUIS de nombreuses années, on a pris l'habitude d'employer, sur l'étage final des récepteurs, un tube qui fournit une puissance de sortie d'environ 4,5 W. Les exceptions ont été peu nombreuses, et l'on pouvait donc croire que cette ligne de conduite serait toujours suivie...

Les progrès de l'optique électronique ont permis d'accroître sensiblement la pente de ces tubes, et l'on peut ainsi se contenter d'appliquer une tension de signal BF beaucoup moins grande. De ce fait, les formules de récepteurs économiques à faible gain de préamplification BF, ou même sans préamplification, ont pu devenir intéressantes et viables.

On considérerait donc, jusqu'à maintenant, qu'une puissance de sortie de 4,5 W, fournie par une pentode bien étudiée, admettant sur l'anode une puissance dissipée de 9 W, était largement suffisante pour les récepteurs usuels, à modulation d'amplitude.

On ne peut plus l'admettre aujourd'hui, car les programmes de construction d'émetteurs ont, récemment,

tout modifié. L'exploitation de la radio-diffusion à modulation de fréquence (FM) par un grand nombre de stations étrangères a déjà démontré, d'une façon certaine, que ce procédé permet d'obtenir, facilement, une excellente fidélité musicale, une qualité d'audition qui peut rivaliser avec celle des meilleurs équipements professionnels.

Les émissions à FM transmettent des bandes de fréquences BF beaucoup plus larges que celles des stations à modulation d'amplitude (en abrégé : AM). Les réglementations obligent d'ailleurs ces stations AM à diminuer, dans de fortes proportions, la dynamique du signal de modulation à basse fréquence. Au contraire on comprime peu la modulation BF des émetteurs à FM, car le niveau de bruit à la réception est beaucoup plus faible que celui qui affecte les émissions en AM. Dans tous les pays où un même programme peut être reçu, à volonté, sur FM ou sur AM, on a pu vérifier que les auditeurs donnent toujours la préférence à la FM, même lorsque les niveaux de bruit sont les mêmes, par suite de l'inégalité des champs reçus. Les services des PTT

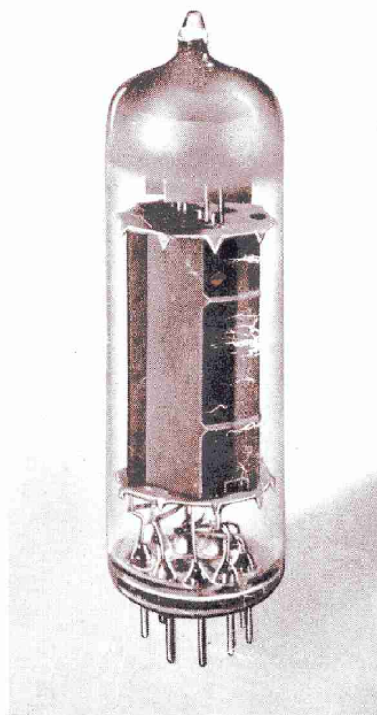


Fig. 1. — La pentode de puissance EL 84 (grandeur naturelle).

vont faire installer, dans toutes les régions, des stations FM.

Il existe d'autres nécessités. Un téléviseur de luxe exige également une amplification basse fréquence dont la qualité corresponde à la large bande (12 kHz environ) et à la bonne dynamique de la modulation sonore.

Un large public a aussi accueilli avec faveur les nouveaux

disques et il faudra bien que le simple usage de la prise de pick-up révèle à l'auditeur, toutes les qualités possibles de ses enregistrements favoris.

Dans tous ces domaines d'activité, le constructeur retrouve donc, aujourd'hui, le problème de la haute fidélité et il sait bien que l'unique solution consiste à augmenter la puissance de sortie des récepteurs. La différence de qualité ainsi obtenue est tellement sensible qu'aucune oreille ne peut s'y tromper.

La pentode Noval (9 broches) de 12 W «Miniwatt Dario» EL 84, a été étudiée spécialement pour répondre à toutes ces exigences nouvelles. En raison du soin apporté au choix de ses caractéristiques, on peut en tirer un rendement de 50 % et disposer d'une **puissance de sortie de 6 W**. Il convient de souligner que ce résultat est obtenu, non seule-

ment avec des tubes « moyens », mais aussi avec ceux que les tolérances inévitables de production classent au-dessous de la moyenne. Lorsqu'on règle le tube EL 84 pour une puissance, dissipée sur l'anode, de 12 W, la pente est un peu plus grande que 11 mA/V.

Un signal BF de très faible amplitude (moins de 5 V) est donc suffisant pour obtenir la puissance de sortie maximum.

On peut aussi régler le tube EL 84 pour une puissance dissipée sur l'anode de 9 W et ses performances sont encore supérieures, dans ces conditions d'emploi, à celles de la pentode de puissance EL 41.

Par ailleurs, cette pentode standard de 12 W offre de très intéressantes ressources pour la construction d'amplificateurs de puissances moyennes et d'amplificateurs de salon. Avec deux tubes EL 84, disposés en push-pull classe AB ou classe B, on obtient une **puissance de sortie de 17 W**. La tension sur les anodes est de 300 V seulement,

et l'alimentation qui la fournit n'est pas encombrante. On peut donc considérer la pentode de puissance EL 84 comme un tube standard et universel (embase Noval) dont les résultats pratiques couvrent toutes les puissances de sortie usuelles et moyennes, jusqu'à 20 W environ.

Ce que l'on exige d'un tube de puissance

1° Le rendement du tube doit être élevé et la distorsion de courbure doit être faible.

2° Il faut pouvoir observer des tolérances de fabrication étroites afin que la puissance de sortie spécifiée puisse être obtenue avec tous les tubes.

3° Il faut que la sensibilité soit grande : un signal BF de faible amplitude doit suffire pour obtenir la puissance de sortie maximum.

4° Il faut pouvoir utiliser une résistance de grille de forte valeur. Une faible valeur de R_{g1} réduit le gain du préamplificateur ou, si cet étage n'existe pas, accroît la distorsion du détecteur.

5° La dissipation sur l'anode doit représenter un fort pourcentage de la puissance totale d'alimentation.

DESCRIPTION DU TUBE EL 84

Caractéristique $i_a = f(V_a)$

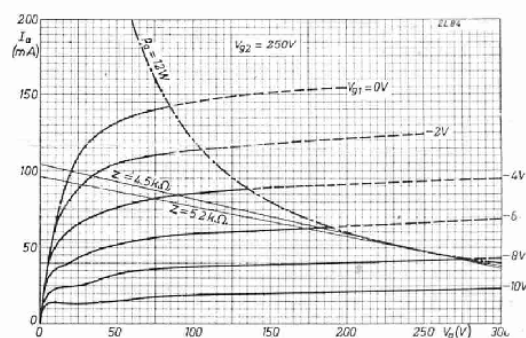


Fig. 3. — Famille des courbes $i_a = f(V_a)$. La courbe en trait mixte $P_a = 12W$ est la courbe limite, où l'on atteint cette dissipation. Droites de charge pour 5,2 K Ω et 4,5 K Ω .

La famille de courbes $i_a = f(V_a)$, pour différentes tensions négatives de la grille 1, et pour une tension constante de la grille 2, doit présenter les particularités suivantes :

- A) Le « genou » de la courbe doit correspondre à une faible tension de l'anode.
- B) L'émission secondaire doit être faible.
- C) Le courant de la grille 2 doit être modéré.
- D) Le tube doit présenter une forte résistance interne.

La condition A assure les plus grandes variations de la tension et du courant d'anode, nécessaires pour obtenir un haut rendement. A la suite de nombreux essais, on a pu déterminer les distances optima entre l'anode et la grille 2, et entre la grille 3 et l'anode. Si l'on place la grille 3 (g_3) au voisinage immédiat de l'anode, les trajectoires électroniques, déviées dans le plan de g_3 , ont leurs foyers derrière l'anode. On peut alors donner à la grille 3 un assez grand pas et dans le plan de cette grille les trajectoires seront à peine modifiées (fig. 4a). Si l'on réduit trop la distance entre l'anode et la grille 2, la

déflexion des électrons augmente et le « genou » de la courbe s'arrondit (fig. 4 c).

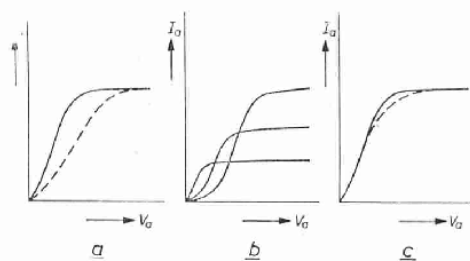


Fig. 4. — a) Effet de la grille 3 placée trop loin de l'anode. La caractéristique prend la forme indiquée par les traits interrompus.

b) Effet d'une charge d'espace excessive correspondant à une trop grande distance entre anode et grille 2.

c) Effet de fortes déflexions dues à une trop petite distance d'anode à grille 2. La caractéristique a dans ce cas la forme indiquée par les traits interrompus.

La condition B est remplie, en partie, par l'insertion d'une grille 3, entre la grille 2 et l'anode. Au contraire, dans les tubes à faisceaux, on ne dispose que de l'action de la charge d'espace entre l'anode et la grille 2. La suppression de l'émission secondaire dans les pentodes dépend très peu de la densité de courant, alors qu'elle en dépend fortement avec un tube à faisceaux. Si l'on travaille sur charge inductive, la droite de charge se transforme en une ellipse de charge, et l'on a une distorsion moindre, avec une pentode, qu'avec un tube à faisceaux.

L'émission secondaire d'une pentode peut être rendue très faible, par la simple réduction du pas de la grille 3. Toutefois, une suppression complète de l'émission secondaire n'est pas nécessaire. Il suffit de faire en sorte qu'il ne puisse se produire aucune émission secondaire appréciable pour les charges normales recommandées.

Il est très désirable de réunir la condition C, car la dissipation sur la grille 2 influence directement le rendement total des tubes et, de plus, la température de la grille 2 doit être modérée.

Le courant de la grille 2 dépend des dimensions géométriques, du diamètre du fil de grille, de son pas, et de la distance entre les grilles 1 et 2.

Si, avec les mêmes tensions d'anode et de grille 2, les électrons n'étaient pas déviés par les grilles, le courant de grille 2 serait donné par le rapport d'interception de la grille 2, et il serait : $I_{g2} = (I_k \cdot d_2) : p_2$ où :

d_2 = diamètre de la grille 2

p_2 = pas de la grille 2.

Mais, par suite de la déviation des électrons qui intervient, à la traversée des grilles, le courant de grille-écran dépasse sa valeur d'interception ci-dessus.

De ce point de vue, le tube EL 84 est meilleur encore que le tube EL 41. On peut exprimer cette action relative sur la grille 2 par un coefficient. Ce coefficient indique le rapport entre la valeur réelle de I_{g2} et la valeur théorique. Pour le tube EL 84, il est de 1,4 et pour le tube EL 41 de 1,6. On voit donc qu'il y a eu perfectionnement, puisqu'on se rapproche plus de la valeur théorique du coefficient.

Pour y parvenir, il a fallu définir une valeur correcte pour le rapport (distance de g_2 à g_1 : pas de g_2) et donner, au tube EL 84, un rapport d'interception plus favorable que celui du tube EL 41.

La condition D est encore plus indispensable. Le rapport de la pente dynamique à la pente statique croît, lorsque la résistance interne r est plus élevée. L'amplification est plus grande et le signal exigé à l'entrée est plus faible. De plus, la caractéristique $I_a = f(V_a)$ s'aplatit. On obtient donc un courant d'anode plus uniforme, même à la courbure, et le rendement se trouve augmenté grâce à la résistance interne, relativement forte.

D'autres renseignements, sur ce point particulier sont donnés plus loin, au paragraphe « Résistance interne d'une pentode de puissance », page 6.

Si l'on veut comparer, plus facilement, les caractéristiques $I_a = f(V_a)$ de différents tubes pour étage final BF, on trace un graphique (fig. 5) avec des coordonnées réduites et sans dimensions. En abscisses, on porte le rapport de la tension sur l'anode à la tension sur la grille 2 et, en ordonnées, le rapport I_a/I_{a1} . I_{a1} est le courant anodique du tube penthode « théorique » $I_{a1} = I_k (1 - d_2/p_2)$. Cette caractéristique particulière réduite indique mieux le rendement de sortie lorsqu'elle est tracée pour une tension nulle de la grille 1. Les courbes (fig. 5) sont donc établies pour $V_{g1} = 0$ V et $V_{g2} = 250$ V.

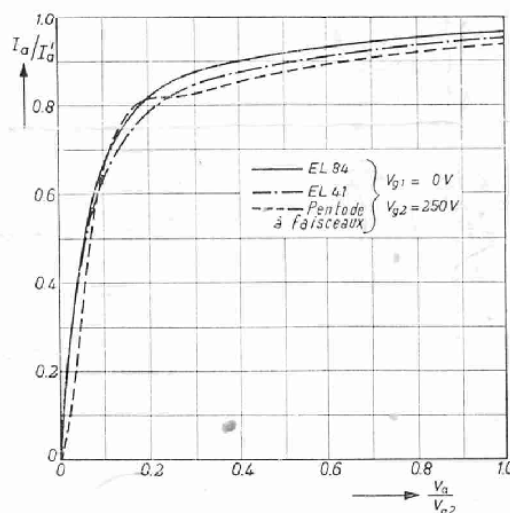


Fig. 5. — En ordonnées : Rapport du courant réel I_a de diverses pentodes de puissances au courant I_{a1} de la pentode idéale.

En abscisses : Rapport $V_a : V_{g2}$.

Plus le coude est à gauche et plus la performance du tube est satisfaisante.

La courbe en trait plein est celle du tube EL 84, le trait mixte correspond au tube EL 41 et le trait interrompu à une pentode à faisceaux.

Impédance de charge d'anode et droite de charge. — La famille de courbes $I_a = f(V_a)$ fournit toutes les données utiles pour le choix correct de la droite de charge d'anode. On conseille habituellement d'utiliser une résistance de charge donnée par le rapport (tension de l'anode : courant anodique), ces valeurs étant prises au point P (point de repos sur la caractéristique).

Si l'on règle les tensions pour avoir $P_a = 12 \text{ W}$, l'impédance de charge adaptée est $Z = 5,2 \text{ k}\Omega$ pour le tube EL 84. La droite de charge correspondante a été tracée, également, sur la figure 3. La représentation schématisée de la figure 6, montre les caractéristiques dynamiques $i_a = f(V_{g1})$ correspondantes. L'examen de ces courbes montre que la distorsion par harmonique 3 (D_3), pour les signaux forts, forme une proportion importante de la distorsion totale. A l'ordinaire, et toujours pour de forts signaux, la distorsion par harmonique 2 (D_2) est plus faible. Rappelons en effet, qu'une caractéristique dynamique $i_a = f(V_{g1})$ qui serait exactement symétrique par rapport au point P (de repos) de la figure 6, correspondrait à un contenu d'harmonique 2, nul.

Utilisation sur charge d'anode réduite. — On désire assez souvent obtenir, pour les distorsions, un rapport ($D_3 : D_2$) différent du précédent, c'est-à-dire diminuer D_3 et, nécessairement, augmenter D_2 . Ce résultat peut être obtenu, avec l'EL 84, par l'emploi d'une résistance de charge d'anode plus faible, par exemple : $Z = 4,5 \text{ k}\Omega$ (voir les figures 3 et 6).

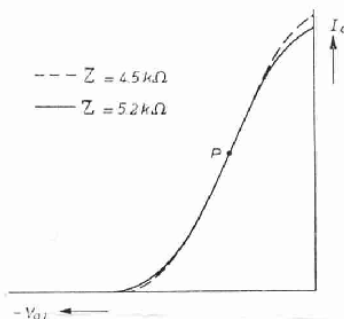


Fig. 6. — Allure de la caractéristique dynamique $i_a = f(V_{g1})$.
Charge de $5,2 \text{ k}\Omega$: trait plein.
Charge de $4,5 \text{ k}\Omega$: trait interrompu.

La courbure légère de la caractéristique (fig. 6), à droite du point de repos P, est encore moins prononcée si l'on adopte cette valeur de charge. On obtient une réduction sensible de D_3 et une augmentation de D_2 .

Sous ce rapport, le point important est encore que la caractéristique $i_a = f(V_{g1})$ ait été choisie de sorte qu'un rendement de 50 % soit obtenu, même lorsque la valeur maximum instantanée de la tension de grille 1 (V_{g1}) se trouve au-dessous de zéro Volt.

Caractéristique $i_a = f(V_{g1})$

Les points de cette courbe où l'on atteint la dissipation d'anode spécifiée, $P_a = 12 \text{ W}$, sont déterminés par la droite en traits interrompus de la figure 7. Aux points d'intersection, on a : $i_a = 48 \text{ mA}$ avec une tension de l'anode de 250 V . Pour les tubes de puissance, on préfère avoir la même tension sur la grille 2, soit 250 V .

On aurait pu doter le tube d'une faible pente. Il aurait eu un coefficient d'amplification entre grille 2 et grille 1 (K_{g1g2}) faible en proportion (courbe a de la figure 7).

Au contraire, avec un tube à forte pente, et K_{g1g2} de grande valeur, l'allure de la caractéristique $i_a = f(V_{g1})$ est celle de la courbe b.

Si l'on a une forte pente, la puissance de sortie maximum est obtenue pour une faible tension de signal, ce qui offre des avantages très importants. On peut, en effet, employer le

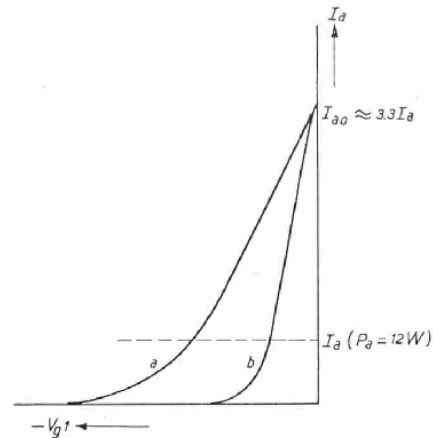


Fig. 7. — Allure des caractéristiques statiques $i_a = f(V_{g1})$ de pentodes de puissance :
a) à faible pente.
b) à forte pente.

tube pour construire des récepteurs sans préamplification, ou avec faible amplification préalable. On peut aussi tirer profit du grand gain total en BF et appliquer, sans inconvénient, un fort taux de contre-réaction.

Bien que la pente d'un tube EL 84, réglé pour $P_a = 12 \text{ W}$, dépasse celle de la pentode de 9 W (EL 41), on ne l'a pas prévue plus élevée car il faudrait réduire de trop la distance entre grille 1 et cathode. On aurait, par là même, obtenu un effet d'îlot, très prononcé, entre les mailles de G_1 . Il aurait produit une forte courbure, dans la région basse de la courbe $i_a = f(V_{g1})$, une dispersion plus grande des tubes fabriqués. On aurait eu de la distorsion principalement pour les faibles puissances de sortie. Le problème du bruit de cathode et de la solidité des supports aurait ajouté d'autres difficultés.

Relativement au tube EL 41 on a sensiblement augmenté la longueur des électrodes et l'on a donc trouvé la possibilité d'augmenter la distance grille 1-cathode, ce qui réduit l'effet d'îlot de la grille.

Après avoir choisi la pente, il reste à savoir quelle valeur de K_{g1g2} sera adoptée. Un tube à forte pente admet, évidemment, un recul de grille plus petit qu'un tube à pente faible. Pour une forme et une disposition données des électrodes, la forte pente implique, un fort K_{g1g2} , et par conséquent, une distance importante entre G_2 et G_1 . Or, un courant de grille commence à se produire, pour une tension négative de la grille de commande de $0,7$ à $0,8 \text{ V}$. Donc, on ne doit pas choisir K_{g1g2} trop grand. Si l'on réduisait trop le recul de grille d'un tube, l'apparition du courant de grille limiterait alors le rendement à moins de 50 %, et les tubes aux tolérances basses ne seraient pas utilisables.

La valeur optimum de K_{g1g2} dépend surtout de l'exigence d'un rendement de 50 %, pour un tube aux tolérances basses. Les mesures de la puissance de sortie maximum du tube EL 41 en fonction de la tension de la grille 2 montrent que cette pentode de 9 W répond déjà à cette exigence. On a trouvé que le rapport nécessaire entre le courant anodique pour tension de grille 1 nulle (i_{a0}) et le courant anodique pour tension de grille 1 normale (i_a) est de 2,65.

Le courant anodique (I_{a0}), d'un tube EL 84 aux tolérances basses, a donc été fixé à la valeur (I_{a0}) = $2,65 \times 48 = 126$ mA.

On peut alors déterminer la caractéristique $I_a = f(V_{g1})$ en tenant compte des tolérances de fabrication. La précision de construction étant plus grande avec ce tube, on a pu réduire la dispersion du courant d'anode, pour une tension fixe de grille, de 30 % à 20 %. D'après ces considérations, on a donc donné, au tube EL 84, un K_{g1g2} de 19.

C'est suffisant pour assurer la bonne régularité des tubes et le recul de grille est assez grand. Ainsi, un tube aux tolérances basses donne encore le rendement de 50 %.

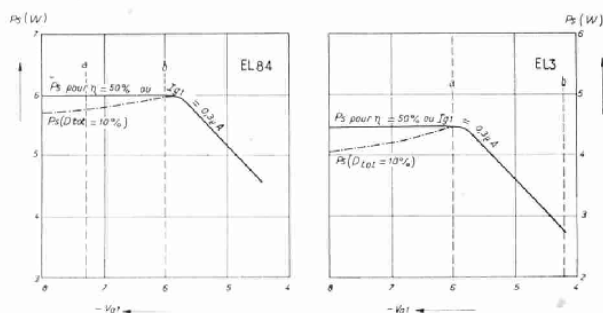


Fig. 8. — En ordonnées : Puissance de sortie :

1° Pour un rendement de 50 % ou à la naissance du courant de grille (trait plein).

2° Pour une distorsion totale de 10 % (trait mixte).

En abscisses : Tension négative de grille nécessaire pour obtenir 12 W (EL 84) ou 9 W (EL 41).

La limite verticale « a » correspond à un tube au milieu des tolérances. La limite « b » à un tube au bas des tolérances.

La figure 8 commente ce résultat sous la forme de comparaisons de courbes. On lit la puissance de sortie avec rendement de 50 % ou la puissance de sortie à la naissance du courant de grille (trait plein) en fonction de la tension négative de grille qui donne 12 W avec l'EL 84, et 9 W avec l'EL 3. La droite-limite « a » vaut pour un tube à la moyenne des tolérances et la droite « b » pour un tube acceptable. Ce dernier exige, en effet, une tension négative de grille plus faible pour avoir les dissipations anodiques spécifiées.

Avec les tubes EL 84 qui se classent en « b », on a facilement un rendement de 50 %. Les tubes EL 3 classés « a » donnent aussi ce rendement mais les tubes « b » ne l'atteignent pas. La supériorité du tube EL 84 est bien explicable : recul de grille relativement grand et différence entre tubes plus faible (faible distance entre les droites « a » et « b » de la figure 8).

Il est très rare qu'on en vienne à régler pour chaque tube la tension négative de grille puisqu'on emploie, le plus souvent, la polarisation automatique ou semi-automatique. Il ne faut pas alors déduire, de la figure 8, qu'un tube « b » étant moins polarisé qu'un tube « a », un effet correcteur est obtenu. Les conséquences ne peuvent pas être lues sur le graphique. Si la dissipation anodique du tube « b » est un peu plus faible, il en sera de même pour la puissance de sortie.

On a également étudié le tube EL 84 pour l'équipement de récepteurs où l'on trouverait suffisante une dissipation d'anode de 9 W.

Deux procédés différents, décrits en détail dans les tableaux de caractéristiques ci-après, peuvent être suivis pour régler le tube sur cette dissipation.

Avec $V_a = 250$ V, si l'on réduit V_{g2} à 210 V, le résultat est

obtenu pour une tension de grille $V_{g1} = -6,4$ V. Le courant de la grille 2 est réduit (3,9 mA au lieu de 5,2 mA) et la pente est légèrement plus élevée que celles du tube EL 41. Les puissances de sortie sont sensiblement les mêmes. La réduction de V_{g2} diminue légèrement le recul de grille, mais il est encore largement suffisant pour assurer un rendement de 50 %. Et il n'y a pas encore de risque de courant de grille, aux points positifs des alternances (fig. 9).

On alimente souvent l'anode, à partir du premier condensateur de filtre au lieu de la sortie. Si cette disposition n'est pas adoptée, on produit la chute de tension par une résistance R_{g2} , et l'on découple G_2 vers la masse à l'aide d'un condensateur électrolytique.

Les courbes de la figure 9, ainsi que les courbes des pages suivantes, ont été tracées en appliquant une tension fixe à la grille 2. Le courant moyen de grille 2 augmente avec le signal. Donc, si l'on emploie une résistance R_{g2} , la tension de grille 2 est diminuée et la puissance de sortie sera, dans ce cas, inférieure à celle notée sur la figure 9.

Il est exact que la distorsion est alors assez grande, mais toutefois bien inférieure à celle que l'on aurait si le tube se trouvait commandé au delà du point d'apparition du courant de grille.

Avec ce mode d'utilisation du tube, la puissance disponible en pointe est très élevée.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION

En raison des dimensions de l'ampoule, il fallait réduire la dissipation totale du tube et ce problème est toujours difficile. Le tableau ci-dessous compare, sous ces aspects, deux pentodes de puissance :

	EL 84	EL 41
Puissance dissipée sur l'anode	12 W	9 W
Puissance dissipée sur la grille 2	1,35 W	1,3 W
Puissance dissipée par la cathode	4,8 W	4,5 W
Puissance dissipée totale ..	18,15 W	14,8 W
	122 %	100 %

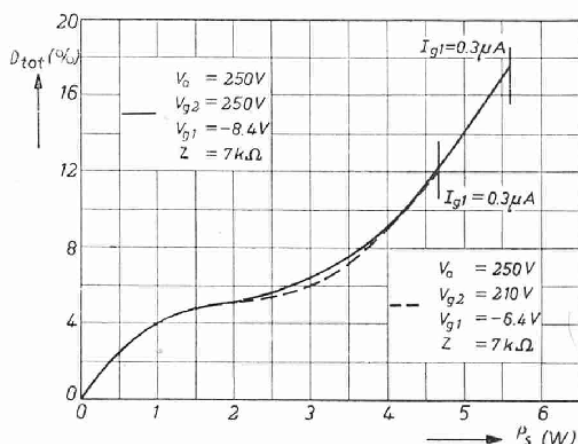


Fig. 9. — Distorsion totale D_{tot} (EL 84) selon puissance de sortie P_s , pour deux réglages différents donnant une dissipation de 9 W.

La puissance totale plus grande du tube EL 84 tient principalement à la puissance, importante, dissipée sur l'anode. En effet, la dissipation sur la grille 2 est maintenue sensiblement égale à celle du tube EL 41 et seule la puissance de chauffage est un peu plus grande.

Afin de maintenir des températures assurant la sécurité en tous les points du tube, et pour les surcharges normales prévues, on a légèrement augmenté les dimensions du système d'électrodes. Le diamètre de l'anode est plus grand, de 17 %, que celui du tube EL 41, ce qui augmente la surface de rayonnement.

Pour éviter l'émission de la grille 1, sa température revêt une particulière importance. Elle est inférieure à celle de la grille de l'EL 41 (réglée à 9 W), et ne dépasse pas 285° C pour $P_a = 12$ W. A cette température de grille, la sécurité est complète. Pour réunir ces conditions, la grille a été dotée d'une grande surface de rayonnement et doublement connectée à la base par deux supports de grille supplémentaires à forte conduction thermique, visibles sur la figure 2.

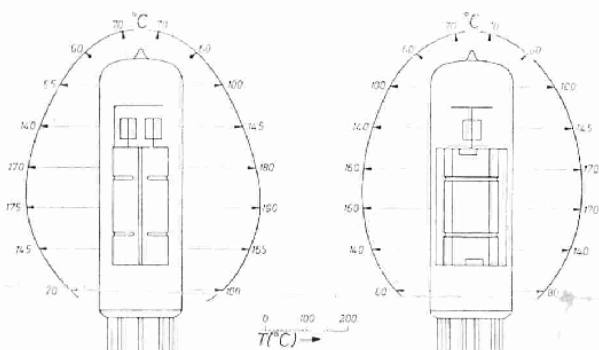


Fig. 10.— Température T de l'ampoule pour $P_a = 12$ W, $V_a = 250$ V, $I_a = 48$ mA. Elle est indiquée par la distance entre la courbe et les parois de l'ampoule.

La figure 10 représente, graphiquement, la température T , en °C, de l'ampoule avec $P_a = 12$ W. La température est relativement basse, surtout vers le socle. On peut donc utiliser, sans risque d'émission de grille, une forte valeur de résistance de grille 1. Avec polarisation automatique, R_{g1} ne doit pas, toutefois, dépasser 1 M Ω . Avec tension négative fixe, R_{g1} ne doit pas dépasser 0,3 M Ω . Ces valeurs sont très favorables, car, avec une pentode à l'étage précédent, on peut bénéficier pleinement du gain obtenu.

De plus, lorsque la pentode finale est attaquée directement par la sortie du circuit de détection, le rapport (charge en alternatif : charge en continu) du détecteur est grand, dans le cas présent, ce qui réduit la distorsion du détecteur pour les grandes profondeurs de modulation.

On sait que l'effet de paroi (effet S) des tubes est causé par l'accumulation de charges électriques sur le verre de l'ampoule ou sur d'autres parties isolantes du tube : supports en mica, par exemple. Les potentiels des points isolés peuvent varier avec la tension d'anode. Ils influencent alors le courant électronique par un effet d'induction, ce qui peut provoquer une distorsion importante appelée « effet S ».

Pour éviter tout effet de ce genre, l'anode du tube EL 84 est presque complètement fermée. Et, aux endroits où les

supports en mica font face au système d'électrodes, ils sont blindés par plaquettes métalliques. Les charges ne peuvent s'accumuler sur les supports. On obtient aussi, grâce à ces moyens, une réduction notable de la capacité de couplage C_{g1} .

Résistance interne d'une pentode de puissance. —

On peut considérer qu'il existe, pour une pentode, une résistance interne ρ'' dont la valeur dépend de la répartition du courant et une résistance interne « électrostatique » ρ' , et qui dépend des distances géométriques et des tensions d'électrodes. Ces deux résistances internes en groupement parallèle, nous donnent la résistance interne ρ usuelle.

$$1 : \rho = (1 : \rho') + (1 : \rho'')$$

Or, la conductance $(1 : \rho')$ est sensiblement égale au produit de la pente S par le coefficient de pénétration D_{g1} , de l'anode par rapport à la grille 1. Ce coefficient est donné par la relation entre les autres coefficients :

$$D_{g1} = (D_{g2}g_1 \cdot D_{g3}g_2 \cdot D_{g3}) :$$

$$[(1 + D_{g2}g_3 + D_{g3}) \cdot (1 + D_{g1}g_2 + D_{g3}g_2) - (D_{g2}g_2 \cdot D_{g3}g_3)]$$

Si, au lieu d'une pentode en général, on considère, en particulier, une pentode de puissance, on constate que ρ'' est ordinairement très grand et que ρ est pratiquement égal, dans ce cas, à ρ' . La valeur calculée de ρ' pour le tube EL 84, est de 40 k Ω au point de repos. Or, la valeur mesurée de ρ est 38 k Ω . On voit qu'il n'est pas possible (d'après la relation qui donne D_{g1}) de modifier indépendamment la résistance interne ρ' . En effet, $D_{g2}g_1$, $D_{g3}g_2$ et D_{g3} sont déjà fixés par d'autres caractéristiques du tube.

On a pu, grâce à ces études précises, avoir une forte résistance interne ρ pour le tube de puissance EL 84.

QUALITÉ DU TRANSFORMATEUR ET PUISSANCE DE SORTIE

Immédiatement après les considérations qui portent sur le rendement des tubes, on doit porter une attention particulière au transformateur de sortie pour haut-parleur, qui ne doit pas présenter une résistance excessive. Un transformateur, avec résistances fortes, réduit la tension d'anode et la puissance de sortie.

Nous avons examiné, de ce point de vue, les résultats obtenus sur un étage de sortie en classe A, avec tube EL 84. La tension négative de grille étant de $-7,3$ V fixe, l'essai consiste à faire varier la résistance totale de primaire du transformateur de sortie. r_1 est la résistance fixe du primaire, à laquelle on ajoute une résistance variable r_2 qui permet de régler la tension sur l'anode, à la valeur lue.

Les divers relevés, ainsi obtenus, sont consignés dans le tableau suivant, pour plusieurs jeux de tensions normales d'utilisation. Ils sont destinés à montrer les résultats obtenus avec des transformateurs de sortie de qualités diverses. En effet, les courbes de puissance des tubes sont tracées, en général, sur une résistance de charge équivalente pour éliminer l'influence du transformateur de sortie. Le tableau ci-dessous complète donc, pour la pratique, les indications précises données par les courbes.

Tension de l'anode Va (V)	Tension de la grille 2 Vg ₂ (V)	$r_1 + r_2$ (Ω)	Puissance de sortie Ps (W) avec D = 10%	Tension d'entrée Ve (V)	Courant anodique la max. (mA) avec signal	Courant anodique la min. (mA) sans signal
250	250	237	5,70	3,77	51	48,5
240	250	487	4,45	3,75	48	48
230	250	737	4,32	3,60	47,5	48
220	250	930	3,38	3,30	45,5	47,5
210	250	1140	2,82	3,02	44	47
200	240	1400	2,10	2,75	43	46

Ce tableau montre bien l'influence néfaste, sur le rendement de l'étage final, d'un transformateur de sortie qui présente une résistance excessive ($r_1 + r_2$ du tableau).

de la double triode ECC 83 (12 AX 7). L'une des triodes attaque le push-pull par son anode, l'autre par sa cathode. Les grilles 1 et 2 du push-pull avec tubes EL 84 en classe AB sont munies de résistances pour éviter toute possibilité d'oscillation. Un condensateur C_2 peut être branché sur le demi-primaire du transformateur de sortie (HP) pour compenser la phase, en corrigeant la différence des capacités des enroulements avec la masse. La boucle de contre-réaction englobe, à travers le secondaire du transformateur de sortie, les éléments R_1 (C_1 éventuellement) et la résistance de cathode de la première triode de l'ECC 83. La valeur de R_1 n'est pas indiquée sur le schéma, puisqu'elle dépend de l'impédance de bobine mobile et du taux de contre-réaction choisi. On a employé $R_1 = 47000 \Omega$ avec une bobine mobile de 7Ω . Le condensateur C_1 est ajouté éventuellement, si l'on désire égaliser la courbe de réponse sur les fréquences élevées.

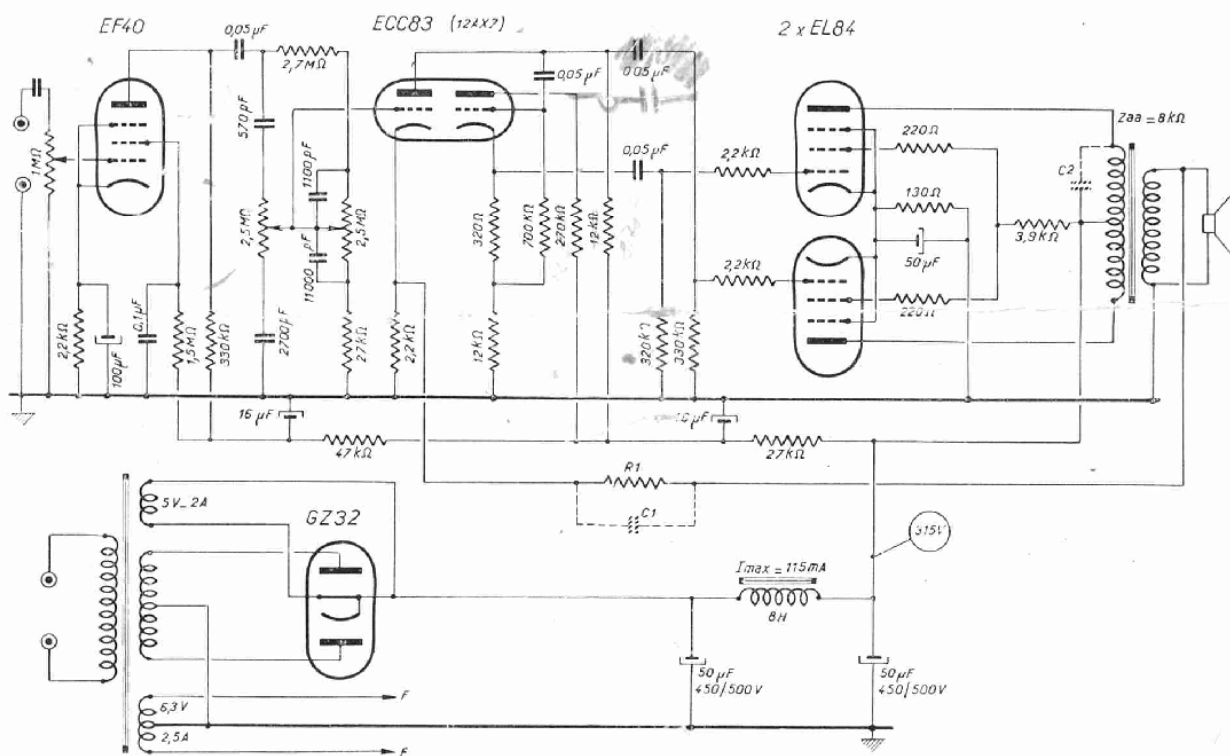


Fig. 11. — Amplificateur push-pull, classe AB, avec deux pentodes EL 84.

SCHÉMA DE MONTAGE COMPLET D'UN AMPLIFICATEUR PUSH-PULL CLASSE AB AVEC DEUX PENTODES EL 84 (Puissance de sortie : 16 W)

Cet amplificateur (fig. 11), alimenté par valve GZ 32, comporte plusieurs dispositions particulières intéressantes. La préamplification est faite par un tube, à faible bruit microphonique, EF 40, avec réseau filtrant, pour tonalité et amplitude réglables, en sortie. Le déphasage est obtenu par l'utilisation

La tension indiquée à la source d'anode (315 V) n'est pas une donnée fixe puisqu'elle dépend de la résistance de la bobine d'arrêt BF.

Avec les valeurs indiquées, on obtient, sur cet amplificateur, pour une tension à l'entrée $V_e = 90 \text{ mV}$, une puissance de sortie de 16 W avec une distorsion totale de 3,5 %. On dispose donc, ainsi, d'un amplificateur de haute qualité, puissant, peu encombrant et d'un prix de revient comparative-ment très accessible.

CARACTÉRISTIQUES DU TUBE EL 84 (*)

Chauffage

Indirect par courant alternatif ou continu

$V_f = 6,3 \text{ V}$

Alimentation en parallèle — Cathode isolée du filament

$I_f = 0,76 \text{ A}$

CARACTÉRISTIQUES NOMINALES DE FONCTIONNEMENT

Emploi en classe A - Un tube

Tension de l'anode	$V_a =$			250			V
Tension de la grille 2	$V_{g_2} =$			250			V
Tension négative de grille	$V_{g_1} =$			- 7,3			V
Résistance de cathode	$R_k =$			135			Ω
Charge d'anode	$Z =$			5,2			k Ω
Tension d'entrée	$V_e =$	0	0,3	3,4	4,3	4,7 (1)	V_{eff}
Courant anodique	$I_a =$	48	—	—	49,5	49,2	mA
Courant de la grille 2	$I_{g_2} =$	5,5	—	—	10,8	11,6	mA
Pente	$S =$	11,3	—	—	—	—	mA/V
Résistance interne	$\rho =$	38	—	—	—	—	k Ω
Coefficient d'amplif. de G_2 par rapport à G_1	$K_{g_2 g_1} =$	19	—	—	—	—	
Puissance de sortie (2)	$P_s =$	0	0,05	4,5	5,7	6	W
Distorsion harmonique 2 (2)	$D_2 =$	—	—	3,0	2,0	1,8	p. 100
Distorsion harmonique 3 (2)	$D_3 =$	—	—	5,8	9,5	10,5	p. 100
Distorsion totale (2)	$D_{tot} =$	—	—	6,8	10	11,7	p. 100

Tension de l'anode	$V_a =$			250			V
Tension de grille 2	$V_{g_2} =$			250			V
Tension négative de grille	$V_{g_1} =$			- 7,3			V
Résistance de cathode	$R_k =$			135			Ω
Charge d'anode	$Z =$			4,5			k Ω
Tension d'entrée	$V_e =$	0	0,3	3,5	4,4	4,8 (1)	V_{eff}
Courant anodique	$I_a =$	48	—	—	50,6	50,5	mA
Courant de la grille 2	$I_{g_2} =$	5,5	—	—	10	11	mA
Pente	$S =$	11,3	—	—	—	—	mA/V
Résistance interne	$\rho =$	38	—	—	—	—	k Ω
Coefficient d'ampl. de G_2 par rapport à G_1	$K_{g_2 g_1} =$	19	—	—	—	—	
Puissance de sortie (2)	$P_s =$	0	0,05	4,5	5,7	6,0	W
Distorsion harmonique 2 (2)	$D_2 =$	—	—	5,7	5,0	4,8	p. 100
Distorsion harmonique 3 (2)	$D_3 =$	—	—	4,5	8	9,5	p. 100
Distorsion totale (2)	$D_{tot} =$	—	—	7,5	10	11,5	p. 100

Tension de l'anode	$V_a =$			250			V
Tension de la grille 2	$V_{g_2} =$			250			V
Tension négative de grille	$V_{g_1} =$			- 8,4			V
Résistance de cathode	$R_k =$			210			Ω
Charge d'anode	$Z =$			7			k Ω
Tension d'entrée	$V_e =$	0	0,3	—	3,5	5,5 (3)	V_{eff}
Courant anodique	$I_a =$	36	—	—	36,8	36	mA
Courant de grille 2	$I_{g_2} =$	4,1	—	—	8,5	14,6	mA
Pente	$S =$	10	—	—	—	—	mA/V
Résistance interne	$\rho =$	40	—	—	—	—	k Ω
Coefficient d'amplif. de G_2 par rapport à G_1	$K_{g_2 g_1} =$	19	—	—	—	—	
Puissance de sortie (2)	$P_s =$	0	0,05	—	4,2	5,6	W
Distorsion harmonique 2 (2)	$D_2 =$	—	—	—	1,7	—	p. 100
Distorsion harmonique 3 (2)	$D_3 =$	—	—	—	8,7	—	p. 100
Distorsion totale (2)	$D_{tot} =$	—	—	—	10	—	p. 100

(*) Ces caractéristiques sont provisoires.

(1) Rendement de 50 %.

(2) Mesurée avec tension négative de grille fixe.

(3) Courant de la grille 1 $I_{g_1} = +0,3 \text{ A}$.

Tension de l'anode	$V_a =$	250			V	
Tension de la grille 2	$V_{g_2} =$	210			V	
Tension négative de grille.....	$V_{g_1} =$	- 6,4			V	
Résistance de cathode	$R_k =$	160			Ω	
Charge d'anode	$Z =$	7			k Ω	
Tension d'entrée.....	$V_e =$	0	0,3	3,4	3,8 (3)	V_{eff}
Courant anodique.....	$I_a =$	36	—	36,6	36,5	mA
Courant de la grille 2	$I_{g_2} =$	3,9	—	7,3	8,0	mA
Pente.....	$S =$	10,4	—	—	—	mA/V
Résistance interne	$\rho =$	40	—	—	—	k Ω
Coefficient d'ampl. de G_2 par rapport à G_1	$K_{g_1 g_2} =$	19				
Puissance de sortie (2)	$P_s =$	0	0,05	4,3	4,7	W
Distorsion harmonique 2 (2)	$D_2 =$	—	—	10	—	p. 100
Distorsion harmonique 3 (2)	$D_3 =$	—	—	1,8	—	p. 100
Distorsion totale (2)	$D_{tot} =$	—	—	9,3	—	p. 100

Emploi en classe B - Deux tubes.

Tension des anodes	$V_a =$	250	300	V
Tension des grilles 2	$V_{g_2} =$	250	300	V
Tension négative de grille 1	$V_{g_1} =$	- 11,6	- 14,7	V
Charge d'anode	$Z_{aa} =$	8	8	k Ω
Tension d'entrée	$V_e =$	0	8	V_{eff}
Courant anodique	$I_a =$	2×10	$2 \times 37,5$	mA
Courant de la grille 2	$I_{g_2} =$	$2 \times 1,1$	$2 \times 7,5$	mA
Puissance de sortie	$P_s =$	0	11	W
Distorsion totale	$D_{tot} =$	—	3	p. 100

Emploi en classe AB - Deux tubes.

Tension des anodes	$V_a =$	250	300	V		
Tension des grilles 2	$V_{g_2} =$	250	300	V		
Résistance de cathode	$R_k =$	130	130	Ω		
Charge d'anode	$Z_{aa} =$	8	8	k Ω		
Tension d'entrée	$V_e =$	0	8	0	10	V_{eff}
Courant anodique	$I_a =$	2×31	$2 \times 37,5$	2×36	2×46	mA
Courant des grilles 2	$I_{g_2} =$	$2 \times 3,5$	$2 \times 7,5$	2×4	2×11	mA
Puissance de sortie	$P_s =$	0	11	0	17	W
Distorsion totale	$D_{tot} =$	—	3	—	4	p. 100

CAPACITÉS (mesurées à froid - R.M.A.)

Capacité d'entrée	$C_{g_1} =$	11 pF
Capacité de sortie	$C_a =$	6 pF
Capacité de couplage	$C_{g_1} =$	< 0,5 pF
Capacité grille-filament	$C_{g_1 f} =$	< 0,25 pF

VALEURS A NE PAS DÉPASSER

Tension de l'anode (4)	$V_a \text{ max} =$	300 V
Puissance dissipée sur l'anode (4)	$P_a \text{ max} =$	12 W
Tension de la grille 2 (4)	$V_{g_2} \text{ max} =$	300 V
Puissance dissipée sur la grille 2	$P_{g_2} \text{ max} =$	2 W
Tension négative de grille	$V_{g_1} \text{ max} =$	- 100 V
Tension négative de grille pour I_{g_1} de $\pm 0,3 \mu A$	$V_{g_1} \text{ max} =$	- 1,3
Courant cathodique	$I_k \text{ max} =$	65 mA
Résistance du circuit de grille 1 (polarisation automatique)	$R_{g_1} \text{ max} =$	1 M Ω
Résistance du circuit de grille 1 (polarisation fixe)	$R_{g_1} \text{ max} =$	0,3 M Ω
Tension entre cathode et filament	$V_{fk} \text{ max} =$	100 V

(2) Mesurée avec tension négative de grille fixe.

(3) Courant de la grille 1 $I_{g_1} = \pm 0,3 \mu A$.

(4) Lorsque les tensions d'alimentation, y compris celle de filament sont fournies par un vibreur, à partir d'une batterie, les valeurs de V_a et de V_{g_2} sont 250 V max. et celle de P_a est alors de 9 W.

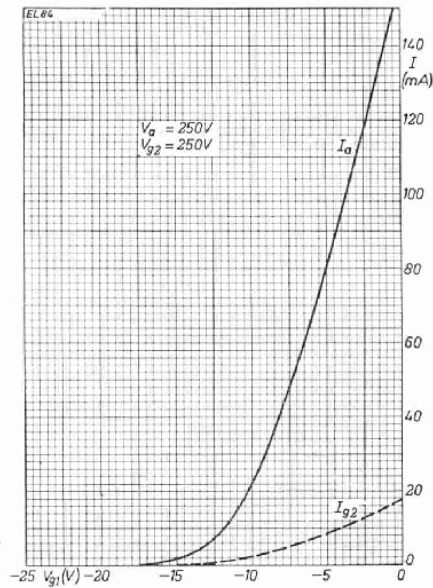


Fig. 12. — Courant anodique I_a et courant de grille (I_{g2}) en fonction de la polarisation de la grille 1 (V_{g1}).

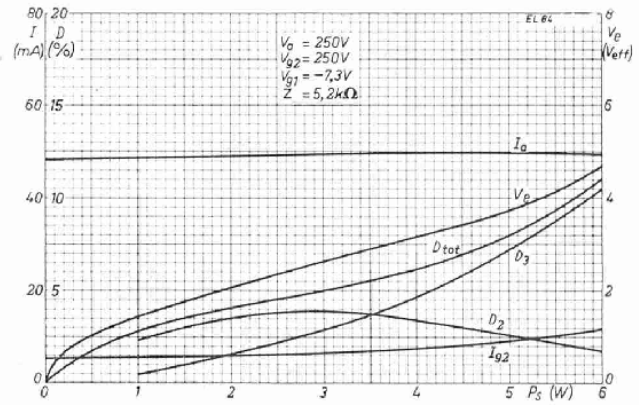


Fig. 13. — Courant anodique (I_a), courant de grille 2 (I_{g2}), tension d'entrée V_e . Distorsions D totale, D_2 et D_3 , d'après la puissance de sortie P_s , avec polarisation de $-7,3V$ et charge d'anode $Z = 5,2k\Omega$.

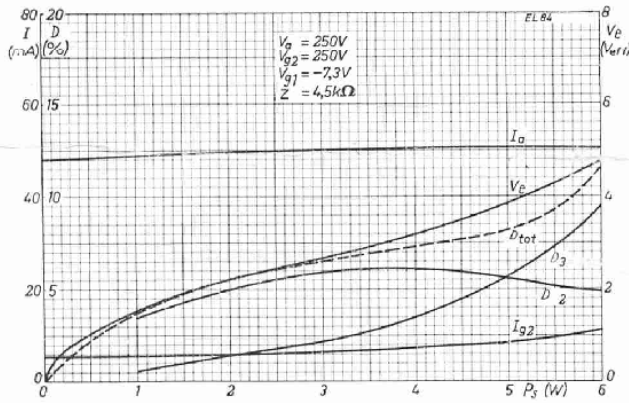


Fig. 14. — Comme à la fig. 13, mais avec charge $Z = 4,5k\Omega$.

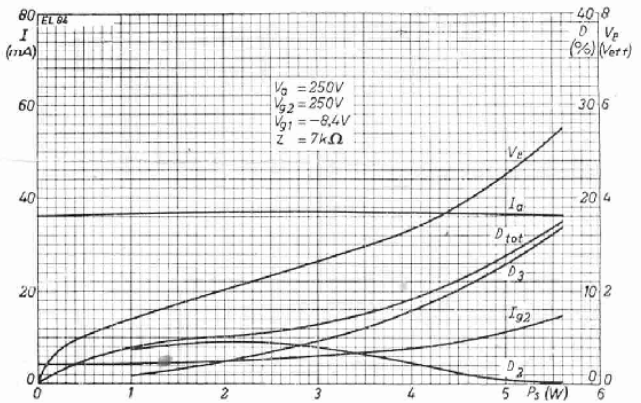


Fig. 15. — Comme à la fig. 13 mais avec $V_{g1} = -8,4V$ (dissipation 9 W sur l'anode) et $Z = 7k\Omega$.

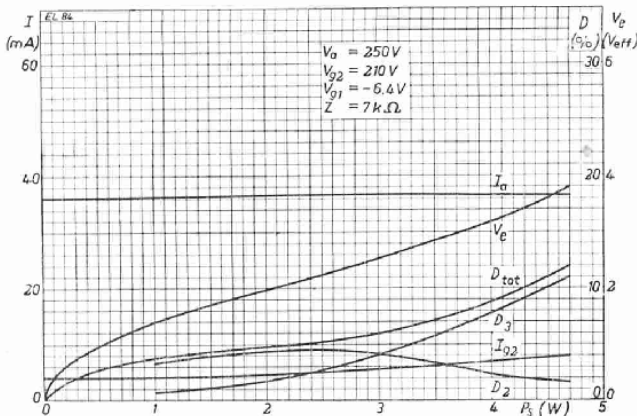


Fig. 16. — Comme à la fig. 13 mais avec $V_{g1} = -6,4V$ et tension de la grille 2, réduite à 210 V (dissipation 9 W sur l'anode) et $Z = 7k\Omega$.

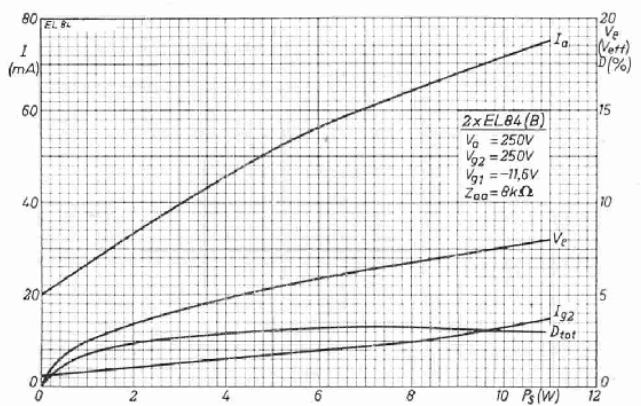


Fig. 17. — I_a - I_{g2} - tension d'entrée V_e et distorsion totale D_{tot} en fonction de la puissance de sortie P_s pour deux tubes EL 84 en classe B avec $V_a = V_{g2} = 250V$.

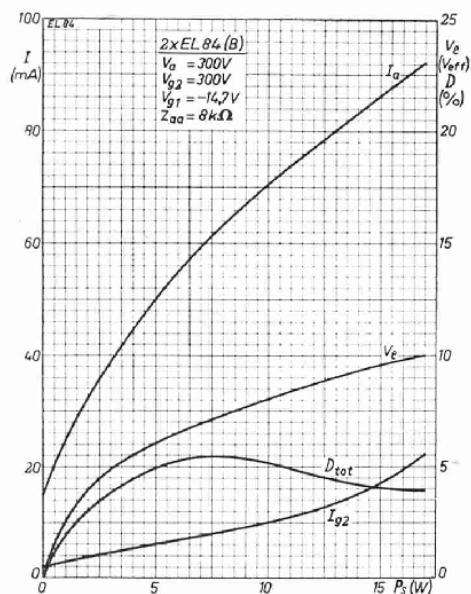


Fig. 18. — Comme à la fig. 17, mais avec $V_a = V_{g_2} = 300$ V.

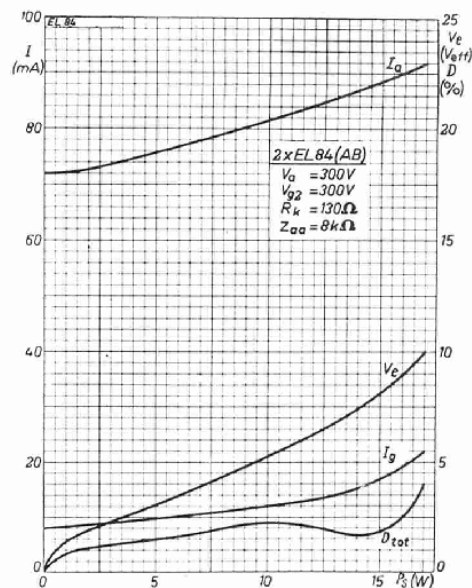


Fig. 20. — Comme à la fig. 19, mais avec :
 $V_a = V_{g_2} = 300$ V.

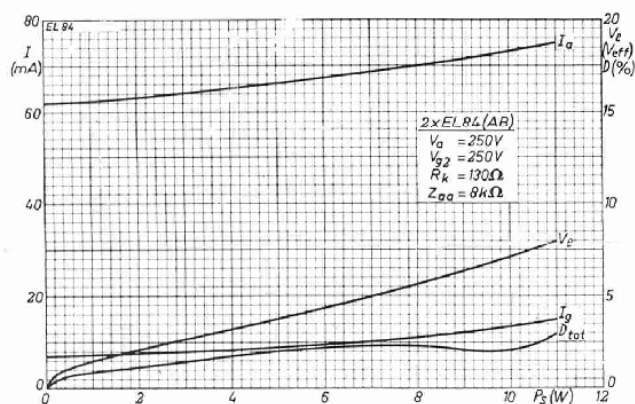


Fig. 19. — Comme à la fig. 17 mais pour deux tubes EL 84 en classe AB avec $V_a = V_{g_2} = 250$ V.

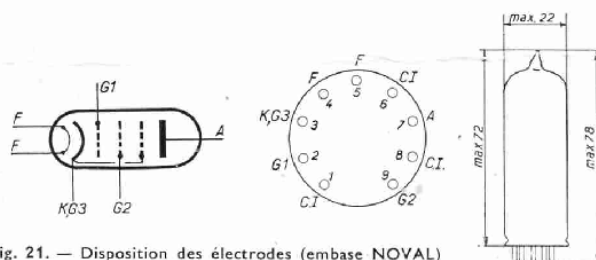


Fig. 21. — Disposition des électrodes (embase NOVAL) et dimensions en mm de la pentode de puissance EL 84.

CARACTÉRISTIQUES DU TUBE EL 84 BRANCHÉ EN TRIODE (*)

Par branchement en triode de l'EL 84, il faut entendre, dans tout ce qui suit, la triode obtenue en réunissant la grille 2 et l'anode directement, ces électrodes étant branchées en commun.

Les caractéristiques statiques sont alors :

Tension de l'anode	$V_a = 250$ V
Tension de la grille	$V_g = -8$ V
Courant anodique	$I_a = 48$ mA
Coefficient d'amplification	$K = 19$
Résistance interne	$r_i = 1\,900 \Omega$
Pente	$S = 10$ mA/V

La figure 22 donne les caractéristiques moyennes $I_a = f(V_a)$ du tube EL 84 en triode, pour différentes tensions négatives de la grille 1. On a noté, sur la figure, le point de repos ($V_g = -8$ V) de la caractéristique statique usuelle. On a figuré également, en traits interrompus, la courbe-limite de puissance de la triode.

(*) Ces caractéristiques sont provisoires.

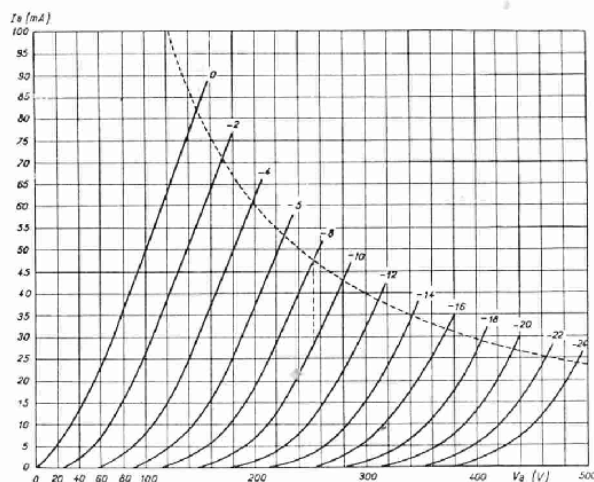


Fig. 22. — Caractéristiques moyennes $I_a = f(V_a)$ du tube EL 84 utilisé en triode.

Conditions d'utilisation du tube EL 84 en triode

Un tube en classe A

(auto-polarisation).

Tension de l'anode	V_a	=	250	300 V
Résistance de cathode	R_k	=	125	215 Ω
Courant cathodique	I_k	=	54	45 mA
Impédance de charge	Z_a	=	4 000	4 000 Ω
Tension d'entrée	V_e	=	7,9	8,7 Veff
Puissance de sortie	P_s	=	2	3 W
Distorsion totale	$D\%$	=	7,4	7,5 —

$D\%, V_e$ (Veff)

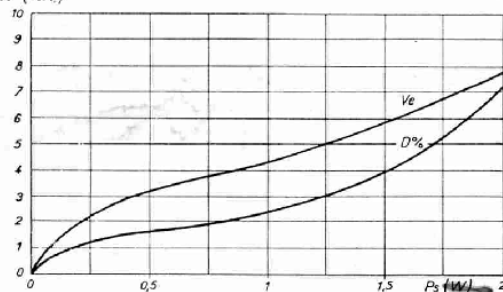


Fig. 23. $V_a = 250$ V.

$D\%, V_e$ (Veff)

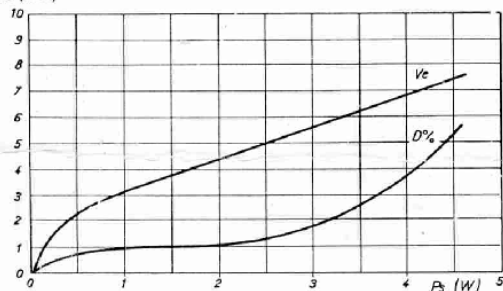


Fig. 25. $V_a = 250$ V.

Conditions d'utilisation de deux tubes EL 84 en triodes, montage push-pull en classe AB

Tension de l'anode	V_a	=	250	300 V
Résistance de cathode	R_k	=	120	150 Ω
Courant cathodique sans signal	I_{ko}	=	70	70 mA
Courant cathodique max.	I_{kmax}	=	75	75 mA
Impédance de charge	$Z_{aa'}$	=	5 000	7 000 Ω
Tension d'entrée	V_e	=	7,7	10 Veff
Puissance de sortie	P_s	=	4,6	7 W
Distorsion totale	$D\%$	=	5,8	5 —

$D\%, V_e$ (Veff)

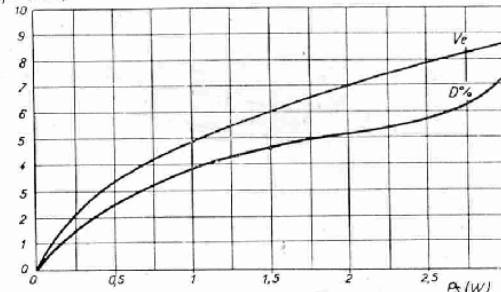


Fig. 24. $V_a = 250$ V.

$D\%, V_e$ (Veff)

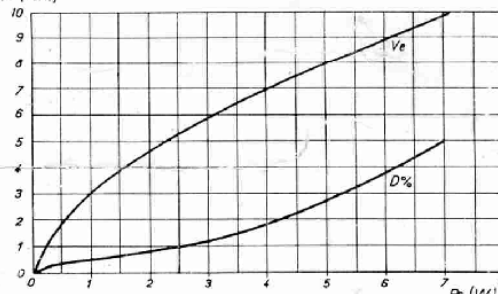


Fig. 26. $V_a = 300$ V.

La tension d'entrée nécessaire et le taux de distorsion obtenu peuvent être lus sur les courbes des figures 23 et 24 pour une EL 84 en triode, étage de puissance en classe A, pour les tensions de l'anode de 250 et 300 V, respectivement, avec impédances de charge $Z = 4\,000\ \Omega$.

Les figures 25 et 26 donnent des indications correspondantes pour l'utilisation de deux tubes EL 84 en amplification push-pull, classe AB. L'impédance de charge Z est de $5\,000\ \Omega$ pour 250 V, et de $7\,000\ \Omega$ pour 300 V.

On remarquera que le push-pull de $2 \times$ EL 84 en triodes permet d'obtenir une puissance de sortie de 7 W avec une distorsion totale de 5 %, pour une tension d'entrée de 10 Veff. On voit qu'à puissance de sortie égale, la tension d'entrée V_e n'est que de 4 V pour le push-pull à deux EL 84 en pentodes, alors qu'il faut 10 V pour le push-pull de deux EL 84 en triodes.

Le Gérant : R. GONDROY.

Les schémas publiés sont donnés sans garantie quant à leur protection éventuelle par des brevets.



S. A. LA RADIOTECHNIQUE — DIVISION TUBES ÉLECTRONIQUES

130, avenue Ledru-Rollin - PARIS XI^e - Téléph. : VOLtaire 23-09. - Adr. Télégr. : TUBELEC - PARIS
USINES ET LABORATOIRES : 51, rue CARNOT - SURESNES (Seine) - Téléph. : LONGchamp 21-70 et 22-32