

CHAPITRE IX

LES LAMPES

166) **Classification des lampes.** — Les lampes peuvent être classées comme il suit :

- a) *diode,*
- b) *triode,*
- c) *bigrille,*
- d) *à cran,*
- e) *à distance critique,*
- f) *pentode,*
- g) *à faisceaux,*
- h) *à électrodes flottantes,*
- i) *à émission secondaire,*
- j) *doubles,*
- k) *complexes,*
- l) *lampes miniature,*
- m) *lampes « glands » ou « Acorn »,*
- n) *lampes subminiature,*
- o) *tubes indicateurs d'accord,*
- p) *triodes à gaz (thyratrons),*
- q) *valves,*
- r) *répartiteurs de tension à gaz (stabilivolt).*

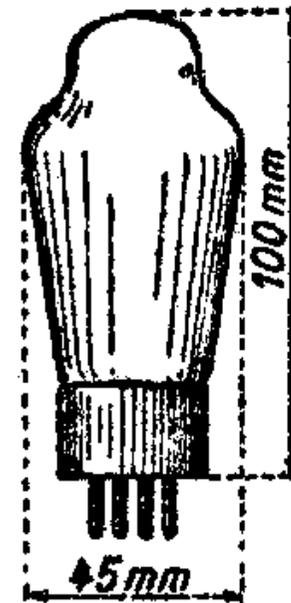


Fig. 94.

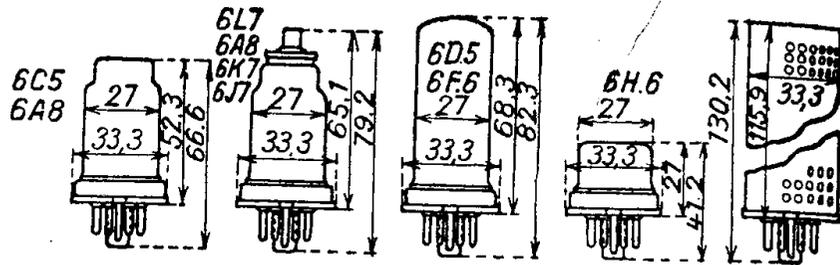


FIG. 95.

Les lampes peuvent encore être classées en tubes à pente fixe, à pente variable et à pente basculante.

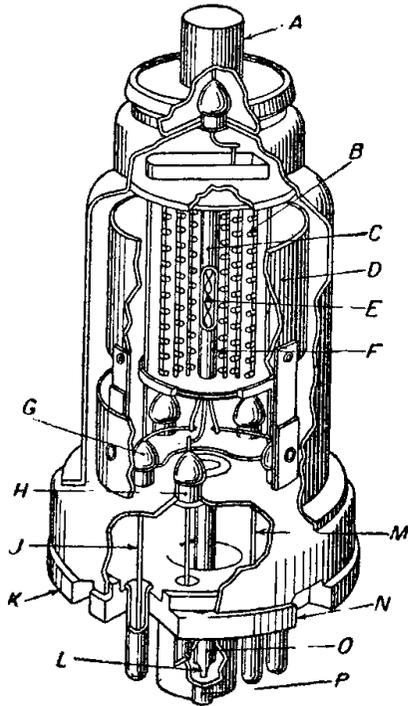


FIG. 96.

On peut encore distinguer les lampes :

- a) à chauffage direct par batterie,
- b) à chauffage direct,
- c) à chauffage indirect.

Suivant le mode de construction, on peut encore classer les tubes en :

- a) lampes verre,
- b) lampes métal-verre et
- c) lampe tout métal.

Les fig. 94 et 95 montrent respectivement un tube verre et une série de lampes tout métal.

La fig. 96 montre l'architecture d'une lampe tout métal.

La fig. 97 montre en a une lampe miniature, en b, une lampe gland et en c une lampe subminiature.

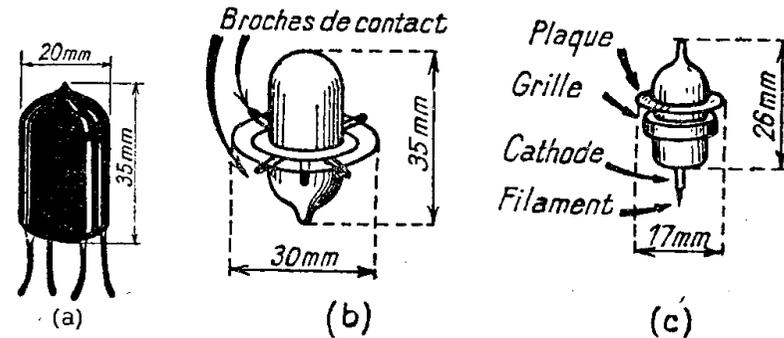


FIG. 97.

167) Classification des lampes en fonction du nombre d'électrodes. — La fig. 98 montre les principaux types de lampes classés en fonction du nombre des électrodes.

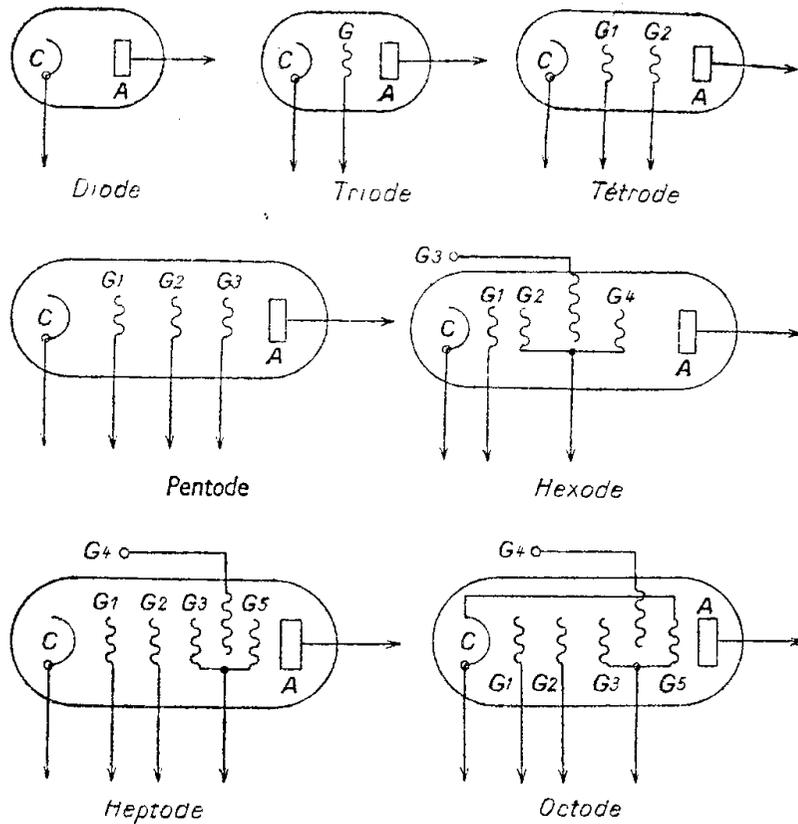


FIG. 98.

168) **Classification des tubes d'après leurs fonctions.** — Les lampes peuvent être classées en tenant compte de leurs fonctions principales : *détectrices*, *amplificatrices HF*, *amplificatrices BF* et *oscillatrices*.

Des subdivisions peuvent être établies ; ainsi on peut classer les lampes amplificatrices BF en lampes à *faible*, *moyenne* et *grande puissance*.

169) **Généralités sur les lampes.** — Nous nous proposons d'examiner ci-dessous les *données essentielles* relatives aux lampes.

170) **Le tube diode.** — La fig. 99 montre la constitution de ce tube.

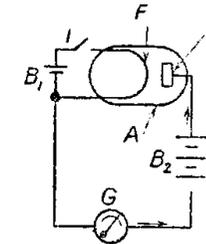


FIG. 99.

On dispose essentiellement d'une ampoule A vidée d'air dans laquelle on trouve un filament F chauffé par une batterie B1 et une plaque ou anode A portée à un potentiel positif à l'aide d'une batterie B2.

Un galvanomètre G est inséré en série dans le circuit.

171) **Effet Edison.** — Si on abaisse l'interrupteur I le filament F est parcouru par le courant de la batterie B1.

Pour une température suffisante, le filament F émet des électrons qui sont attirés par la charge positive de la plaque A.

Les électrons de nature négative neutralisent une fraction de la charge positive de la plaque A. La batterie B2 débite alors sur la plaque, libérant une quantité d'électricité égale à celle qui a été neutralisée par les électrons. Comme les électrons arrivent sur la plaque d'une façon continue, la batterie B2 débite également d'une façon continue, ce qui fait que le galvanomètre G

reste dévié aussi longtemps que l'interrupteur I reste baissé.

Les diodes (et les lampes en général) utilisant des cathodes à oxydes n'ont pas de courant de saturation. Le courant plaque I_p croît en même temps que la tension plaque, ceci jusqu'à destruction de la cathode.

172) **Résistance interne.** — La courbe de la fig. 140 montre que l'élément diode a une *résistance interne* égale à l'inverse de la tangente de l'angle fait par la partie ascendante rectiligne de la courbe avec l'axe horizontal des v_p .

Dans cette *partie rectiligne* le courant I_p croît proportionnellement à v_p .

Quand la tension plaque est faible, les électrons émis repoussent vers la cathode ou filament F les électrons d'émission plus récente, ce qui résulte du fait que les uns et les autres sont chargés négativement, ce qui entraîne une répulsion mutuelle.

Les électrons émis agissent donc du point de vue attractif en sens inverse de la plaque.

Si on fait croître la tension plaque, l'attraction exercée par cette électrode équilibre de plus en plus efficacement la répulsion mutuelle des électrons.

Le courant plaque I_p croît donc, ceci jusqu'à la valeur de saturation i_p qui correspond au plus fort flux électronique que peut délivrer le filament F.

Le courant de chauffage est limité par la valeur qui donne la fusion du filament F.

Cette valeur est de 2.500 à 2.700° pour le tungstène, température qui correspond au blanc éblouissant.

173) **Loi de Langmuir.** — Cette loi de forme :

$$(1) \quad i_p = K. V_p^{\frac{3}{2}}$$

montre que le courant i_p est proportionnel au cube de la racine carrée de la tension plaque.

En fait, à cause de l'inégale répartition de la température, le long du filament, l'exposant $3/2$ s'annule, de sorte que la loi de variation du courant plaque i_p en fonction de v_p peut être représentée par la relation plus simple :

$$(2) \quad i_p = K. v_p$$

avec K = coefficient qui dépend de la nature du filament.

174) **Loi de Richardson.** — Cette loi donne la valeur du courant de saturation en fonction de la nature du filament et de sa température.

On a, d'après cette loi :

$$(3) \quad I_s = AT^2 e^{-\frac{B}{T}}$$

Dans cette relation :

I_s = courant de saturation en ampère par cm^2 de filament.

A = constante = 60,2.

T = température absolue = $t^\circ\text{C} + 273^\circ$.

$e = 2,718$.

B = constante qui dépend de la nature du filament.

B = 52.400 pour le tungstène.

Cette loi est difficile à appliquer avec les nouvelles cathodes à oxydes (sans limite de saturation définie).

Néanmoins, son allure qui montre que i_p croît très vite avec l'augmentation de la température du filament reste vraie.

175) **Vitesse des électrons.** — Le temps de parcours, ou *temps de transit* des électrons entre filament et plaque, dépend de leur vitesse v , laquelle est une fonction de la tension plaque V_p .

Cette vitesse v a pour expression :

$$(4) \quad v = \sqrt{\frac{2e V_p}{m}} \cdot 10^7$$

relation dans laquelle :

v = vitesse de l'électron en cm,

e = charge de l'électron = $1,59 \times 10^{-19}$ coulomb.

m = masse de l'électron = $9,02 \times 10^{-28}$ gramme.

V_p = voltage plaque.

Cette relation se simplifie en calculant avec

$$(5) \quad \frac{e}{m} = 1,8 \times 10^8 = \text{constante.}$$

On a alors :

$$(6) \quad v = \sqrt{2 V_p (1,8 \cdot 10^8)} \cdot 10^7$$

A l'intérieur de l'ampoule, les électrons vont de la cathode F à l'anode A.

Le courant fourni par la batterie B2 circule dans le circuit extérieur dans le sens conventionnel + vers —.

Si on relève la courbe caractéristique d'une diode : courant plaque I_p en fonction de la tension plaque v_p , on trouve un tracé de la forme indiquée par la fig. 100.

En rendant la plaque de plus en plus positive en partant de $v_p = 0$, on observe que le courant plaque I_p

part d'une valeur nulle, croît lentement pour v_p faible, puis ensuite linéairement jusqu'à une certaine valeur v_p . Au delà de cette valeur un accroissement de la tension plaque ne provoque plus aucun accroissement de courant plaque. Le courant plaque i_p limite est dit *courant de saturation*.

On peut lui donner une valeur plus forte en augmentant l'émission électronique, c'est-à-dire en chauffant davantage le filament.

Ainsi, pour une tension plus importante de la batterie B1, la valeur du courant de saturation passe de i_p en i_p' .

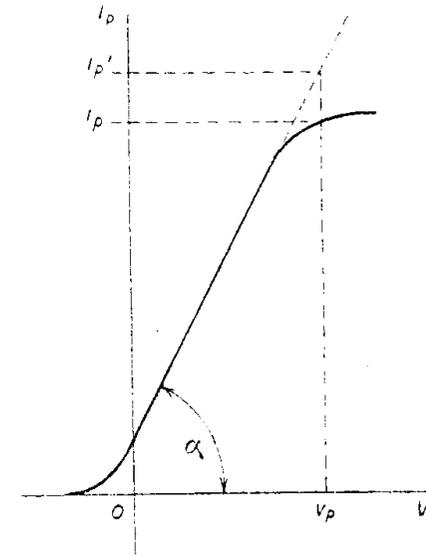


FIG. 100.

La courbe de la fig. 100 est valable pour une diode à filament de tungstène.

Le temps de transit est à considérer dans les lampes pour ondes très courtes et également pour le calcul de la déviation dans les tubes cathodiques.

176) **Tube triode.** — Le tube triode est établi comme l'indique la fig. 101.

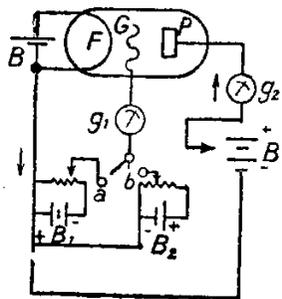


Fig. 101.

Un filament F contenu dans une ampoule vidée d'air est chauffé par une batterie B.

En regard, on trouve une grille G et une plaque PL. La grille G porte un appareil de mesure g_1 . Elle aboutit à une manette M qui permet de mettre en service une des deux batteries B1 ou B2, celles-ci complétées par des potentiomètres. Suivant la position a ou b de la manette M, la grille g est reliée (à travers le curseur d'un de ces potentiomètres à la batterie B1 ou B2. Comme ces batteries sont montées en sens inverse l'une par rapport à l'autre, on a le moyen de rendre la grille G positive ou négative par rapport à l'extrémité O du filament prise comme origine des potentiels de grille et de plaque. La plaque PL est reliée à une prise faite sur une batterie B3, ce qui permet de rendre cette plaque plus ou moins positive. Un appareil de mesure g_2 est placé en série dans cette plaque. Si on ferme les circuits, on constate un passage de courant dans le circuit

plaque, courant qui circule dans le sens indiqué par les flèches. Pour une *tension de grille* vg faiblement négative, on constate l'apparition d'un courant grille qui augmente au fur et à mesure que la grille devient plus positive.

177) **Production du courant plaque.** — Le courant plaque ou plus exactement le courant dans le circuit extérieur de la lampe, s'explique par l'*effet Edison*. Le filament F, porté à une température suffisante (2.400° pour le tungstène), émet des *électrons* ou particules d'électricité *négative*. Ces électrons sont attirés par la charge positive de la plaque, neutralisent à son contact une certaine quantité d'électricité, laquelle est remplacée par une quantité égale, celle-ci fournie par la batterie B3 qui débite. Si la grille G est très négative (M en position a et curseur à l'extrémité droite du potenti.), le potentiel négatif de grille repousse les électrons négatifs et le courant plaque disparaît.

178) **Charge d'espace.** — Le filament F (ou cathode), en cédant des électrons, devient positif. Sa charge positive tend à retenir les électrons dans son voisinage. Comme ces électrons sont négatifs, ils tendent à s'opposer à l'émission de nouveaux électrons, puisque ceux-ci sont négatifs et que les *charges de même nom se repoussent*.

La charge d'espace se manifeste sous forme d'un nuage d'électrons entourant le filament.

178 bis. **Action de la tension plaque.** — L'électron au voisinage du filament est sollicité par deux forces, une qui résulte de l'attraction du filament rendu positif plus la résistance opposée au mouvement électronique par la charge d'espace et l'autre *en sens inverse* qui résulte de l'attraction exercée par la tension plaque.

Si la tension plaque est assez grande, son action

l'emporte et l'électron amorce une trajectoire dans le sens filament vers plaque. Pour rejoindre la plaque, l'électron est obligé de passer à travers les mailles de la grille.

Suivant le signe et la grandeur de son potentiel, la grille G aide ou s'oppose à l'action de la plaque. Ceci donne le moyen de contrôler le courant plaque simplement par variation de la tension grille.

179) **Nature des filaments ou cathodes.** — Avec un filament de tungstène, le *courant plaque* I_p est de l'ordre de 7 milli-ampères par watt de chauffage.

Cette valeur passe à 50 Ma avec le tungstène Thorié.

Les lampes à filament chauffé directement ne sont plus utilisées, sauf dans quelques cas particuliers. Aujourd'hui on utilise surtout des *cathodes à chauffage indirect*.

La fig. 142 montre la disposition d'une triode utilisant une *cathode chauffée indirectement*.

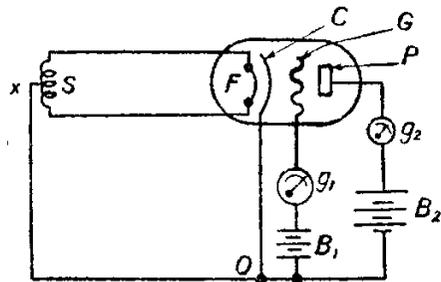


FIG. 102.

Le filament F sert à chauffer la cathode C émettrice d'électrons, le courant de chauffage est donné par le secondaire S. Le point milieu X de S est relié au point à potentiel nul O qui correspond à la sortie de la cathode. Cette connexion n'est pas indispensable, elle

est faite seulement en vue de réunir deux points : sortie de cathode O et points X qui sont à la fois à un potentiel égal et nul. D'une façon générale, il est bon de relier ensemble les points au même potentiel, il ne peut résulter aucun courant entre eux. Néanmoins, si pour une cause quelconque une tension apparaît entre deux points théoriquement au même potentiel un courant s'établit qui ramène les points considérés à leur potentiel de repos.

Sur la fig. 102 les tensions de grille et de plaque sont données par des batteries B1 et B2. Dans la réalité, la tension B2 est fournie par un redresseur excité par le courant alternatif du secteur, la tension B1 ou de grille est fournie généralement par chute de tension dans une résistance. Ces questions seront examinées plus loin.

Les cathodes C à chauffage indirect sont constituées (fig. 103) par un fil chauffant F placé à l'intérieur d'un manchon *m* réfractaire recouvert d'oxydes de métaux alcalino-terreux.

L'enduit émissif *e* est représenté sur la figure par un pointillé.

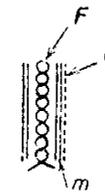


FIG. 103.

Du point de vue des courants débités, on obtient des intensités de l'ordre de 150 Ma par watt de chauffage. Enfin, point intéressant la surface de la cathode est équipotentielle.

180) **Fonctions de la lampe triode.** — Comme déjà

vu, il est possible de commander le courant plaque par variation de la tension grille. On a alors :

$$(7) \quad I_p = f(vg).$$

Dans ce cas, le tube peut être considéré comme un *relais*, une faible impulsion de tension appliquée sur la grille déclenchant la production d'un courant plaque fort.

La lampe triode (ou plus complexe) peut encore être considérée comme un *transformateur d'intensité*. On lui fournit des *volts* sur la grille et elle rend des *ampères* (des milli) dans son circuit plaque.

181) **Courbes caractéristiques.** — Le montage de la fig. 101 permet d'étudier les propriétés d'une triode et de tracer les courbes correspondantes.

A cette fin on fait varier les potentiels de grille vg et de plaque vp .

On vérifie que le tube est pratiquement sans *inertie*, une variation de tension grille entraînant une variation du courant plaque avec un retard qui correspond au temps de passage des électrons de la grille à la plaque. Ce temps, ou *temps de transit*, est à considérer seulement dans le cas des très hautes fréquences.

La variation en courant plaque est continue si la variation de la tension grille est également continue.

En l'absence de courant grille, le tube fonctionne sans consommer d'énergie, la résistance cathode grille pouvant être considérée comme infinie.

En fait, il y a une consommation absolument négligeable.

Un inconvénient important de la triode est la *capacité* qui existe entre ses électrodes. Par ailleurs, la *résistance interne est faible*, de même que les *coefficients d'amplification*.

182) **Amélioration des coefficients d'une lampe.** — L'introduction de grilles supplémentaires permet d'accroître la résistance interne e , et de diminuer la capacité intérieure.

183) **Points d'entrée et de sortie d'une lampe.** — La fig. 104 montre les *points d'entrée* et de *sortie* d'une lampe. L'entrée de bornes e_1 et e_2 est faite entre grille G et cathode C . La sortie de bornes s_1 et s_2 est faite entre plaque P et cathode C .

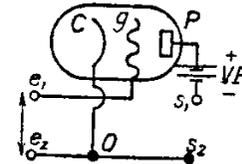


FIG. 104.

Le point O relié à la cathode C , et origine des potentiels, est commun à l'entrée et à la sortie.

184) **Coefficients caractéristiques d'un tube.** — Soit le montage d'expérience de la fig. 101. La manette M est dans la position a , permettant d'appliquer sur la grille des tensions allant de zéro jusqu'à $-v =$ la tension de la batterie B_1 . Des voltmètres non figurés permettent à tout instant de relever la valeur des tensions de plaque et de grille.

Deux sortes de courbes peuvent être relevées :

a) $I_p = f(vg)$ à tension vp constante, et

b) $I_p = f(vp)$ à tension vg constante.

La courbe I de la fig. 105 montre la caractéristique $I_p = f(vg)$ pour $vp = 80$ v. Le courant plaque I_p est nul pour toutes les tensions négatives de grille supérieures à -8 volts.

Diminuons progressivement la tension négative de grille (en déplaçant le curseur du potentiô de la batterie B1 vers $ld +$).

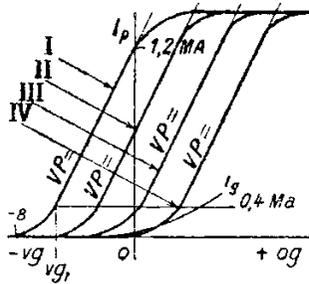


FIG. 105.

Le courant plaque apparaît d'abord lentement, puis à partir d'une valeur $vg1 = 4v$ se met à croître d'une façon *pratiquement* linéaire le courant plaque a une valeur $= Ip = 0,4 Ma$.

Quand la tension grille vg est rendue nulle : grille au même potentiel que le point o origine des potentiels, le courant a une valeur de $1,2 Ma$.

Si maintenant on rend la grille de plus en plus *positive* (M en b et curseur de B2 déplacé vers le $+$) le courant plaque continue à croître, mais en même temps un courant apparaît dans le circuit de grille. Ce courant ig est d'autant plus grand que la grille g est plus *positive*.

Si on augmente *indéfiniment* la tension positive, il arrive un moment où le courant plaque cesse de croître. On dit que la saturation est atteinte.

Si on répète la même opération avec une tension plaque plus faible, soit $60 v$, on trouve une courbe II identique à la courbe I, mais décalée sur la droite. Finalement, on peut tracer autant de courbes que l'on veut en prenant un nombre égal de tension plaque.

Sur la fig. 105 la courbe ig montre le mode de variation du courant grille ig .

La fig. 106 montre une famille de courbes $Ip = f(vp)$ pour différentes valeurs de la tension plaque.

Il y a lieu de remarquer :

- a) que les parties droites des courbes sont parallèles ;
- b) que les mêmes parties droites sont pour des

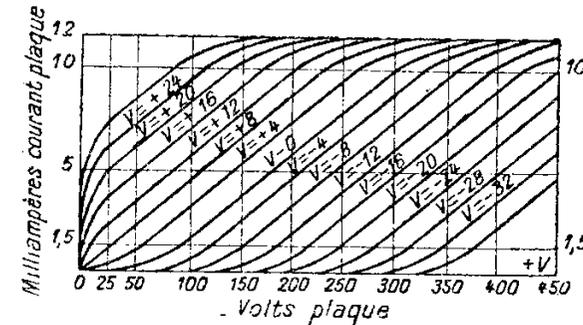


FIG. 106.

différences égales de tension grille, situées à égale distance les unes des autres.

Il est facile de passer d'une forme de courbe à l'autre.

185) **Tracé des courbes $Ip = f(vg)$ à l'aide d'un réseau $Ip = f(vp)$.** — La fig. 107 montre à gauche un réseau $ip = f(vp)$ pour différentes valeurs de vg .

Pour une valeur donnée de tension plaque $vp1$, et pour $vg = 0$, le courant plaque est $i1$, correspondant au point m .

En rendant la grille de plus négative : — 2, — 4, — 6, — 8, — 10, on obtient, en laissant $vp 1$ fixe les

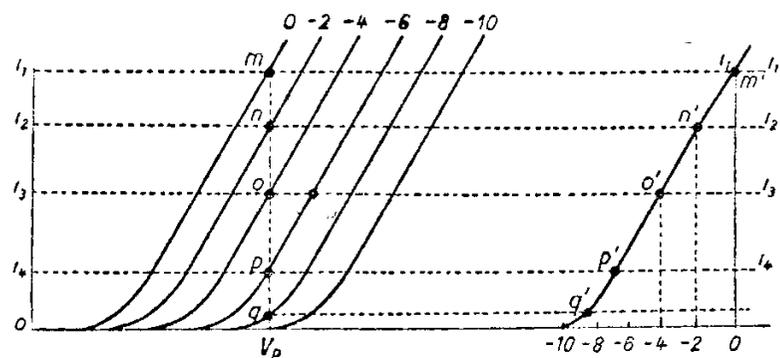


FIG. 107.

points *n, o, p, q* correspondants aux courants plaque *i2, i3, i4, i5*.

Il suffit de reporter points et valeurs de courant sur un système d'axes donnant pour *vp* constant *ip* en fonction de *vg*.

En recommençant la même opération avec des tensions plaques différentes, on a le moyen de tracer la famille de courbes $ip = f(vg)$.

Remarque. — Le coude supérieur de la courbe $ip = f(vp)$ existe pour les cathodes à chauffage direct, il s'explique par le fait que le filament libère pour des valeurs de *vp* et *vg* données tous les électrons qu'il peut fournir. C'est une limite supérieure de l'émission électronique.

Cette limite n'existe pas pour les cathodes à oxyde des lampes à chauffage indirect. Il n'y a pas de saturation. Si on pousse la tension plaque, le courant plaque continue à croître proportionnellement *jusqu'à destruction de la cathode*.

185 bis) Résistance interne. — Les courbes données montrent qu'il y a une relation entre le courant plaque et la tension plaque.

On en conclut que le tube possède une certaine résistance interne.

Celle-ci est de forme :

$$(8) \quad \rho = \frac{\Delta Vp}{\Delta ip}$$

soit une lampe donnant avec $vg = 0$ et $vp = 80$ un courant plaque $Ip = 2mA$.

Portons la tension plaque à 120 volts, l'accroissement de tension Δvp est $120 - 80 = 40$ volts.

Notons la nouvelle valeur du courant, soit 3,6 milli, nous aurons $\Delta ip = 2 - 3,6 = 1,6$ MA ou 0,0016 ampère,

On aura par suite :

$$\rho = \frac{40}{0,0016} = 25.000 \text{ ohms.}$$

185 ter) Variations de la résistance interne. —

La résistance interne ρ varie si on fait varier la tension grille ou la tension plaque.

186) Coefficient d'amplification en volts. — En considérant les courbes des fig. on voit qu'une variation de la tension grille de valeur *v* volts entraîne la même variation du courant plaque qu'une variation *Kv* volts de la tension plaque.

Le terme *K* est le coefficient d'amplification de la lampe en volts.

Par suite, *K* peut être mis sous la forme :

$$(9) \quad K = \frac{\Delta vp}{\Delta vg}$$

Supposons que pour $vg = -3$ et $vp = 80 v$ nous ayons $Ip = 0,6$ MA.

Portons vp à 100 volts, d'où $\Delta vp = 100 - 80 = 20$ volts.

Le courant plaque Ip va passer de 0,6 Ma à 0,95 Ma. Cherchons la variation de tension grille nécessaire pour ramener le courant plaque de 0,95 à 0,6 Ma.

La courbe montre qu'il faut porter la tension grille de -3 à -8 volts. Par suite, $\Delta vg = 4,8 - 3 = 1,8$. La relation (9) devient donc :

$$K = \frac{\Delta vp}{\Delta vg} = \frac{20}{1,8} = 11$$

En d'autres termes, le coefficient d'amplification K donne la mesure du nombre de volts qu'il faut appliquer sur la plaque P pour obtenir un accroissement du courant plaque égal à celui donné par un volt appliqué à la grille.

186 bis) **Durchgriff.** — Les Allemands utilisent l'inverse du coefficient d'amplification ou Durchgriff (D).

Dans l'exemple qui précède $K = 11$, on aurait :

$$D = \frac{1}{K} = \frac{1}{11} = 0,09 \text{ ou } 9 \%$$

186 ter) **Coefficient d'amplification en ampères ou pente.** — Ce coefficient, représenté par la lettre S , a pour valeur :

$$(10) \quad S = \frac{\Delta Ip}{\Delta vg}$$

Il s'exprime en MA par volt grille. On écrit $S = \text{MA/V}$

Soit $vp = 80 v$ et $vg = -3$, $ip = 0,8$ MA.

Portons vg à -2 , ip passe à 0,9 MA, d'où $\Delta ip = 0,1$. C'est une valeur de pente très faible.

Avec les tubes triodes modernes on a S de l'ordre de 2 MA/v.

Il est commode de faire $\Delta vg = 1$.

187) **Conductance mutuelle ou transconductance.** — Les Américains appellent encore la pente S *conductance mutuelle* ou *transconductance* en remarquant que sa valeur :

$$(11) \quad S \text{ en micromohs} = \frac{Ip}{vg} = \frac{1}{\left(\frac{vg}{Ip}\right)}$$

est précisément l'inverse d'une résistance de forme vg/Ip .

188) **Transparence de grille.** — La transparence de grille est donnée par le rapport $\frac{1}{K}$ et s'exprime en tant pour cent.

189) **Expression analytique des coefficients d'une lampe.** — Dans le cas d'une triode, on a :

$$(12) \quad K = \frac{\Delta vp}{\Delta vg}$$

$$(13) \quad \rho = \frac{\Delta vp}{\Delta ip} \quad \text{et}$$

$$(14) \quad S = \frac{\Delta v g}{\Delta i p}$$

Dans les lampes complexes, à plusieurs grilles, ces relations se compliquent du fait de la présence des grilles supplémentaires.

190) **Dépendance mutuelle des coefficients.** — On peut relier ensemble les coefficients K, S et ρ, P, cas dans lequel on a :

$$(15) \quad \begin{cases} K = \rho \times S, \\ S = K/\rho \text{ et} \\ \rho = K/S \end{cases}$$

191) **Qualité d'une lampe.** — La qualité d'une lampe Q peut être exprimée par la relation

$$(16) \quad Q = K \cdot S$$

192) **Emploi d'un abaque.** — La fig. 108 donne un abaque pour le calcul des coefficients : K, S, ρ, D et Q.

193) **Courant grille.** — Dans le cas d'une lampe mal vidée, les électrons brisent les molécules gazeuses (ionisation), ce qui donne (cas où le phénomène se passe entre grille et plaque) un électron expulsé qui est attiré par la plaque et un noyau positif (ion+) qui est attiré par la grille négative. La grille peut aussi, dans certaines conditions, émettre des électrons.

Le courant grille, qui s'inverse quand il y a ionisation, donne une mesure du degré de vide du tube.

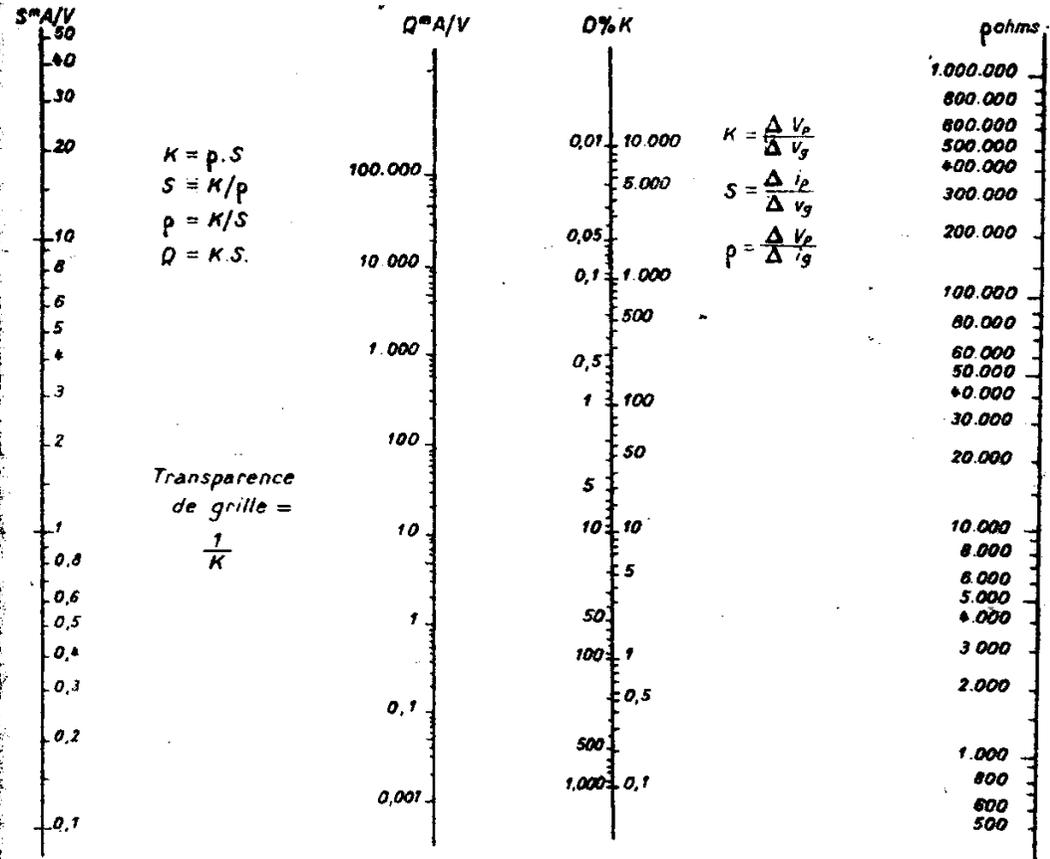


FIG. 108.

La résistance interne grille cathode a enfin pour expression :

$$(17) \quad \rho g = \frac{\Delta v g}{\Delta i g}$$

194) **Bigrille.** — Cette lampe qui peut être considérée comme un premier perfectionnement de la triode correspond au schéma de la fig. 109.

La grille g_1 est utilisée en *accélératrice*, son rôle essentiel est de neutraliser l'effet de la *charge d'espace* ou « nuage » d'électrons qui se forme au *voisinage de la cathode C*.

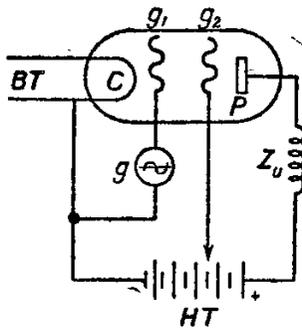


FIG. 109.

Dans ce but, la grille g_2 reçoit un potentiel positif fourni par une batterie séparée ou plus simplement obtenu par une prise faite sur la batterie plaque (+ HT).

La grille g_1 est la *grille de commande* sur laquelle on applique la tension alternative à *détecter* ou à *amplifier*.

Cette tension est fournie, fig. 109, par un *alternateur fictif g*, en fait un C. O.

La *détection* est obtenue à l'aide d'un *condensateur shunté* placé en série dans le circuit de la grille g_2 .

L'utilisation Z_u est un téléphone ou un amplificateur BF.

195) **Caractéristiques.** — Les courbes caractéristiques sont données par la fig. 110.

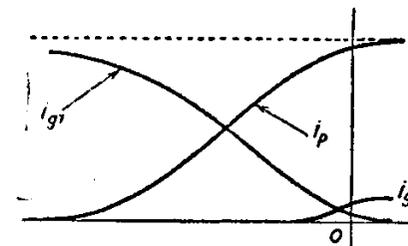


FIG. 110.

196) **Avantages.** — a) Par suite de l'action de la grille accélératrice g_1 , la bigrille peut fonctionner avec une tension plaque très faible et même nulle (*unidyne*). Exactement, on fait le retour de grille sur le + BT, cas dans lequel la tension plaque est égale à + BT.

b) L'allure inverse des courbes $I_{g1} - I_p$ permet de faire des *montages symétriques* (cryptadyne);

c) La répartition symétrique des capacités entre grilles et également entre les *capacités de pied* (entre broches de la lampe) permet de faire des montages *neutrodynes* : *Isodyne* de R. Barthélemy et *Isophase* établi par nous.

197) **Lampes à grille écran ou tétrode.** — C'est une lampe bigrille (fig. 111) dont les grilles sont inversées.

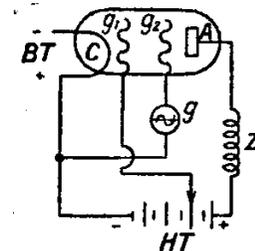


FIG. 111.

La tension de signal g est appliquée sur la grille g_1 . La grille g_2 remplit une double fonction :

a) Portée à un potentiel positif, soit par batterie série ou plus simplement par prise faite sur la batterie HT, elle détruit la charge d'espace formée autour de la cathode C.

Ensuite, la grille g_2 forme un écran électrostatique séparant la grille de commande g_1 de la plaque P.

Il en résulte une diminution de la capacité interne $g_1 p$.

Cette capacité est de l'ordre de 3 cm. C. G. S. dans une triode, elle tombe à 10^{-3} cm. dans une tétrode.

La grille g_2 imprime aux électrons issus de la cathode C une vitesse v qui dépend de son potentiel. La tension ou potentiel de plaque influe relativement peu.

Fortement accélérés par le potentiel de g_2 les électrons franchissent sans difficulté appréciable les spires de la même grille et parviennent à la plaque.

Point remarquable : La vitesse de déplacement des électrons dépend essentiellement de la tension de la grille écran g_2 , ce qui fait que la plaque intervient peu.

Il s'ensuit que le courant plaque I_p ne dépend que très peu de la tension plaque.

D'après la définition donnée pour le coefficient d'amplification K d'une triode, on voit qu'une variation de la tension de la grille de commande g_1 ne peut être compensée que par une variation très importante de la tension plaque.

Il s'ensuit que le coefficient d'amplification en volts K d'une tétrode est de beaucoup plus important que le même coefficient d'une triode.

Alors que dans une triode, on compte avec des $K = 10$ on obtient avec des tétrodes des $K = 1.000$, c'est-à-dire 100 fois plus grands.

La résistance interne est élevée de l'ordre du Mégohm.

La charge de plaque R (ou Z) est toujours petite devant P et, de ce fait, peut être négligée. Il s'ensuit que le rendement d'une pentode est pratiquement indépendant de la charge plaque.

198) *Influence de la tension d'écran.* — Un accroissement de la tension d'écran a pour effet de déplacer vers la gauche la courbe $I_p v_g$, ce qui revient à augmenter l'admission de grille.

199) *Régions d'utilisation d'une tétrode.* — Nous reproduisons fig. 112 la courbe caractéristique $v_p I_p$ d'une tétrode, ceci pour différentes tensions statiques de plaque.

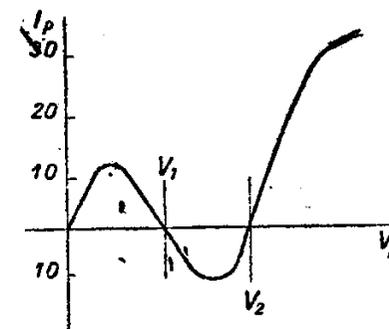


FIG. 112.

Cette courbe montre que la lampe est utilisable seulement pour des tensions plaque comprises entre v_{p1} et v_{p2} . La valeur v_{p1} correspond au début des parties rectilignes de caractéristiques.

La valeur v_{p2} est imposée par la plus forte tension plaque admissible.

En outre, dans les régions ascendantes de courbe, le tube a une résistance positive ρ telle que

$$(18) \quad \text{tg } \alpha = \frac{1}{\rho} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\rho = \frac{1}{\text{tg } \alpha}}$$

Dans les régions plongeantes, on a :

$$(19) \quad -\text{tg } \alpha' = \frac{1}{\rho'} \quad \text{d'où} \quad \boxed{-\rho' = \frac{1}{\text{tg } \alpha'}}$$

La résistance ρ' est négative. Le tube se met à osciller tout seul et, de ce fait, devient inutilisable.

C'est là l'effet *Dynatron*, lequel est mis à parti pour établir des *oscillateurs* montés comme l'indique la fig. 113.

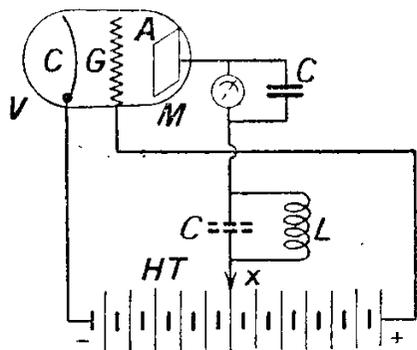


FIG. 113.

La fréquence produite manque de stabilité, aussi le système est-il peu utilisé.

200) **Coefficient d'amplification d'une tétrode.** — Une lampe *tétrode* a un coefficient d'amplification K de forme :

$$(20) \quad \boxed{K = p \cdot q}$$

avec p : coefficient d'amplification de l'élément triode formé par la C g_1 et g_2 . cette électrode portée à un potentiel positif étant considérée comme *anode* et q = coefficient d'amplification K de l'ensemble $g_2 - p$, ceci d'après l'équation de définition : $K = \Delta v_p / \Delta v_g$.

On a alors :

$$(21) \quad \boxed{K = (\rho_1 \cdot S_1) (\rho_2 \cdot S_2) = (\rho_1 \cdot \rho_2) \cdot (S_1 \cdot S_2)}$$

On peut admettre que l'on dispose de deux éléments de lampe de résistance interne P1 et P2 montés en cascade, mais il faut tenir compte que le circuit de g_2 considéré comme *anode* n'est pas chargé. (Voir fig. 114.)

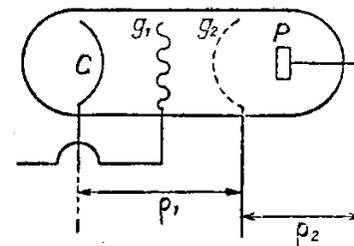


FIG. 114.

201) **Action de la tension d'écran sur l'allure des courbes.** — La fig. 115 montre la variation de K en fonction de la tension v d'écran.

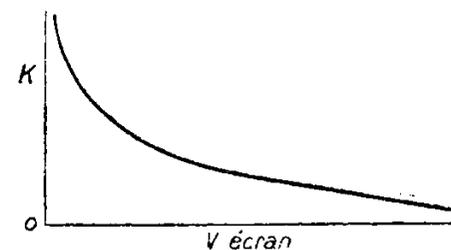


FIG. 115.

La fig. 116 montre la variation de S en fonction de v_{g2} .

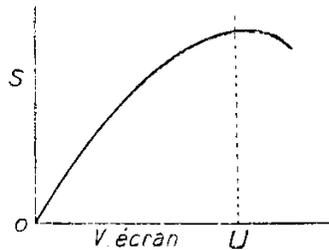


FIG. 116.

202) **Pentodes.** — En utilisant une lampe à écran, il arrive, en cours de fonctionnement, que la tension plaque se trouve inférieure à la tension d'écran, cas dans lequel on retrouve le fonctionnement en dynatron déjà vu.

La résistance interne du tube se trouve alors *négative* d'où entrée en oscillation de la lampe.

On évite cet effet et en même temps on évite le crochet de R négative (voir fig. 112) en disposant entre g_2 et plaque une grille à spires peu serrées, dite grille *suppressor* ou g_3 , dont le rôle est d'absorber les électrons secondaires émis par l'anode, qui fonctionne alors comme une cathode.

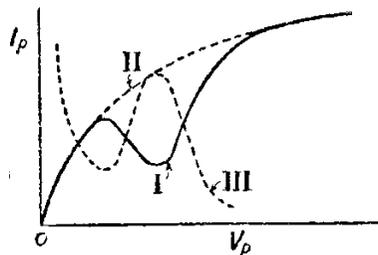


FIG. 117.

La fig. 117 montre en I la courbe d'une *tétrode* et en II la courbe d'une *pentode*.

La courbe III montre à titre complémentaire comment varie le *courant d'écran* dans une lampe à écran.

La grille g_3 des pentodes doit être reliée à un point à potentiel nul.

A cette fin, la même grille g_3 est reliée (fig. 118) en *a*, *b* et *c*, soit au point milieu du filament dans le cas de lampes à chauffage direct, à la cathode ou à la masse dans le cas de lampes à chauffage indirect ou même

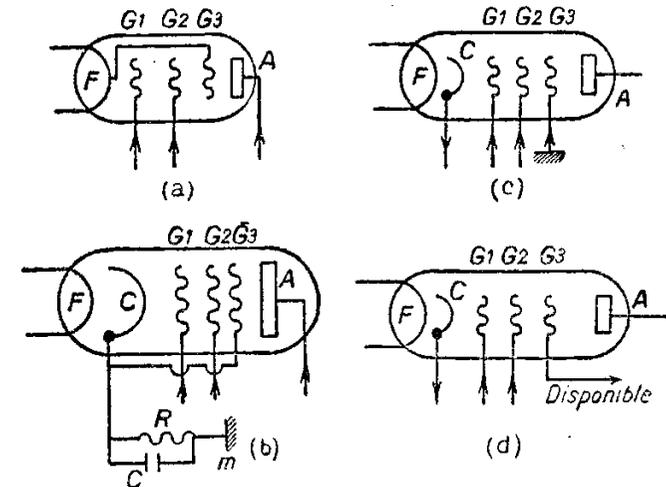


FIG. 118.

fig. 118, en *d* rendue disponible en vue de son utilisation en grille de commande (mais avec moins d'efficacité que la grille g_1).

203) **Comparaison des courbes triode et pentode.** — La fig. 119 montre en *a* les courbes d'une triode et en *b* les courbes d'une pentode.

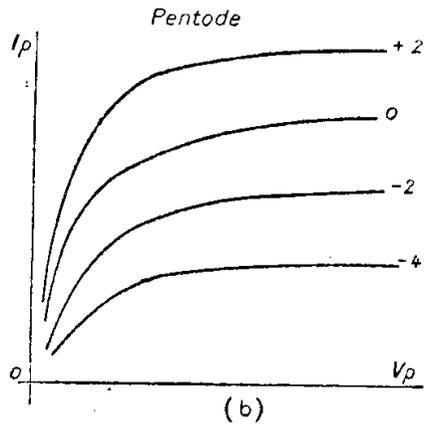
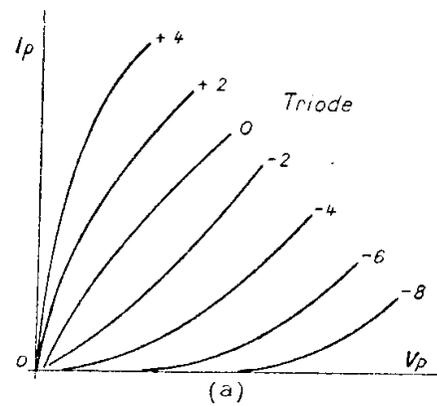


FIG. 119.

204) **Lampe à pente variable.** — L'amplification des signaux de *grande amplitude* peut être faite avantageusement avec une lampe à *pente faible* et inversement.

On pourrait en ce sens imaginer deux lampes de pentes différentes pouvant être mises en service facultativement à l'aide d'un commutateur.

La fig. 120 montre la disposition de principe correspondante (fig. 120).

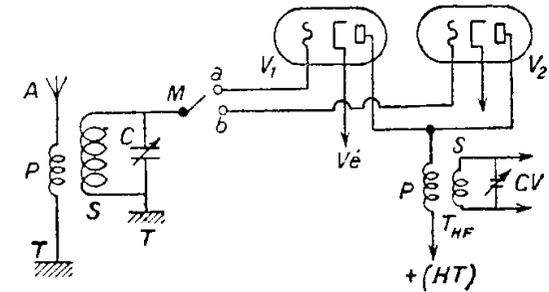


FIG. 120.

Supposons la lampe v_1 à *grande pente* et la lampe v_2 à *faible pente*.

Pour des *signaux faibles* M sera en position (a) correspondant à l'utilisation de v_1 .

Pour des *signaux forts*, M sera en position (b) correspondant à l'utilisation de v_2 .

Le commutateur M peut être remplacé par un *potentiomètre*.

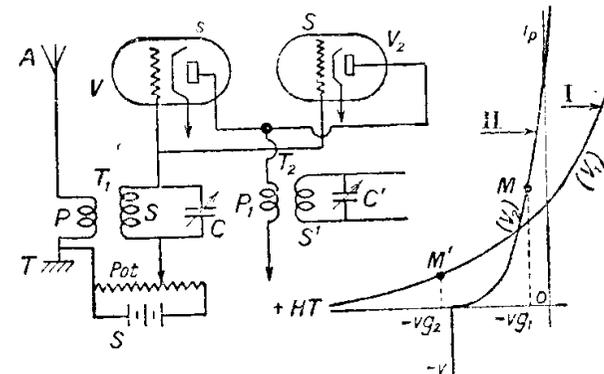


FIG. 121.

Soient fig. 121, les lampes v_1 et v_2 à faible et à grande pente, de courbes respectives I et II.

Si on donne à la tension grille une valeur $-vg_1$, le point de fonctionnement est en M sur la courbe II de la lampe v_2 . C'est la lampe v_2 à grande pente qui fonctionne en même temps que v_1 reste au repos.

Rendons les grilles plus négatives en déplaçant le curseur du potentiomètre.

Soit $-vg_2$ la tension appliquée à l'ensemble $v_1 - v_2$.

Le point de fonctionnement se trouve alors reporté en M', point situé sur la courbe I de la lampe v_1 .

La lampe v_1 à faible pente est alors seule à fonctionner, le courant plaque de la lampe v_2 étant éteint pour une polarisation $-v$.

Il serait possible d'utiliser une lampe double, mais comme les électrodes : cathodes et plaques, seraient communes, on voit qu'il suffit de prendre une lampe ayant deux grilles enroulées avec un pas différent et connectées l'une à la suite de l'autre.

La fig. 122 montre cette disposition appliquée à une lampe pentode.

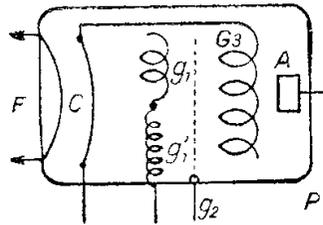


FIG. 122.

Mais il y a mieux : on peut obtenir l'équivalent de n lampes à pente croissante en utilisant une grille à pas de plus en plus serré.

Une autre solution consiste à utiliser une grille faite en deux parties à pas différent avec une coupure entre les deux. La fig. 123 montre cette disposition.

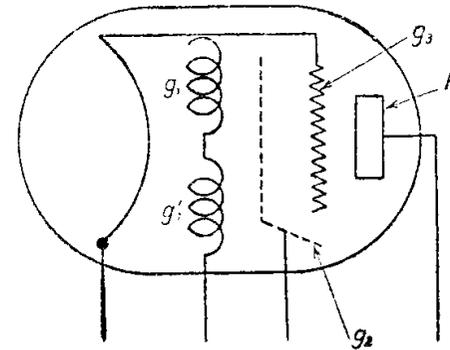


FIG. 123.

Si l'ensemble $g_1 - g_1'$ est à fort potentiel négatif, les électrons sont repoussés d'une façon à peu près égale par les deux demi-grilles g_1 et g_1' , de sorte que les électrons passent surtout par la coupure.

On a alors l'équivalent d'une lampe à très faible pente convenant pour la réception des signaux à grande amplitude.

Si on diminue la tension négative des grilles g_1 et g_1' , celles-ci laissent passer de plus en plus d'électrons, le plus grand nombre de ces électrons passant à travers la grille à pas lâche.

Il s'ensuit que la pente augmente, cas dans lequel la lampe acquiert une sensibilité de plus en plus grande.

En diminuant toujours les volts négatifs, les deux grilles g_1 et g_1' finissent par travailler de la même manière, donnant ainsi à la lampe une admissibilité moyenne.

Des variantes de construction existent ; ainsi, on peut utiliser (fig. 124) une grille de freinage g_f entre

les deux grilles g_1 et g_1' , deux grilles à pas constant avec coupure, jouer sur la forme et le centrage de la cathode...

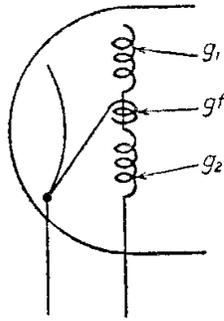


FIG. 124.

205) **Lampes à pente basculante.** — Fonctionnement analogue à celui des lampes à *pente variable*, mais avec cette particularité que la tension de régulation agit sur la grille écran.

On vérifie en la circonstance que le coefficient K de la lampe décroît quand la tension d'écran augmente. Ce résultat est obtenu en alimentant l'écran à travers une *résistance série*.

Il est facile de vérifier que l'application d'une *tension négative* sur la grille d'entrée d'une lampe à écran (ou d'une pentode) provoque une diminution du courant d'écran. La chute de tension dans la R écran diminue, d'où un *accroissement* de la tension d'écran, ce qui entraîne une *diminution* du coefficient d'amplification.

En considérant la *pente* de la lampe, on voit, fig. 125, que l'on obtient pour, par exemple, trois tensions d'écran, trois *portions de droites* telles que AB , $A'B'$ et $A''B''$.

La tension qui contrôle la pente est celle du V. C. A.

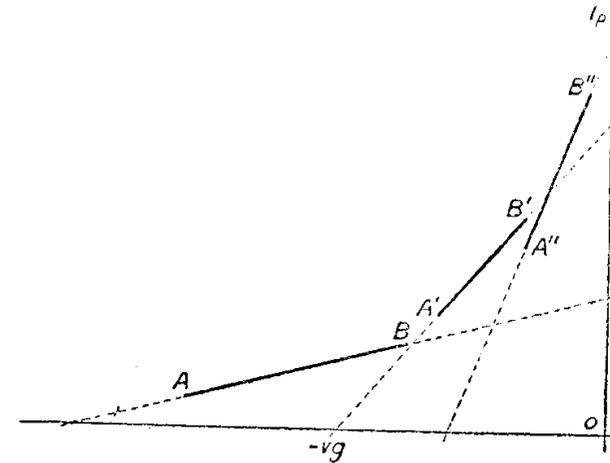


FIG. 125.

En résumé, la disposition : pente basculante, peut être considérée comme un système de pente variable.

206) **Lampes à distance critique.** — Harries en Angleterre a trouvé qu'il était possible, dans une lampe à écran, d'éviter le coude de résistance négative par un réglage précis de la distance écran-anode.

En faisant varier cette distance, on trouve que la forme de la courbe caractéristique de plaque varie beaucoup.

Cette courbe, pour une distance écran-anode *précisément critique* (d'où le nom de la lampe), devient particulièrement bonne, analogue à celle trouvée pour une 6L6.

207) **Lampes à émission secondaire.** — La fig. 126 montre le schéma de principe d'une lampe à émission secondaire.

Les électrons issus de la cathode C sont dirigés

sur une cathode froide C' portée à un potentiel positif.
Sous l'impact électronique, cette cathode C' émet

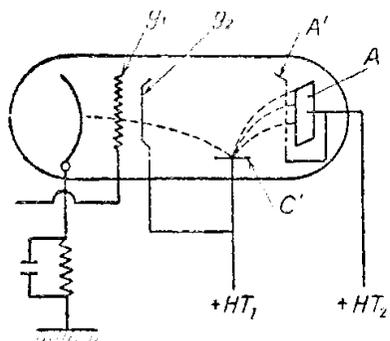


FIG. 126.

des *électrons secondaires*, lesquels sont attirés par l'anode A, complétée par une anode A'.

Dans la lampe 4696, le *pouvoir de multiplication* est égal à 5, d'où par comparaison à une lampe ayant une même valeur de courant plaque, une pente 2,6 fois plus grande.

La fig. 127 montre la construction d'une lampe multiplicatrice d'électrons.

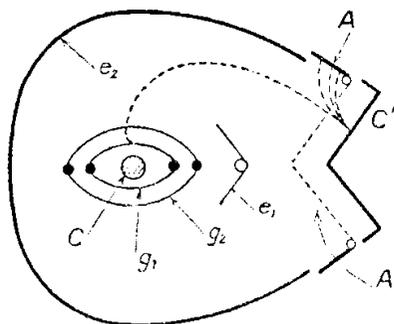


FIG. 127.

Les éléments constitutants sont : C = cathode émettrice d'électrons primaires, $g1$ = grille de contrôle, $g2$ = grille écran, $e1$ et $e2$ = électrodes de concentration. C' = cathode froide, A = anode et A' anode-écran en forme de grillage.

Pour un pouvoir multiplicateur de 5, un électron primaire issu de C provoque l'émission de cinq électrons secondaires issus de C' . En considérant les nouveaux corps émissifs dont on dispose maintenant, on peut envisager des pouvoirs multiplicateurs de 10. La fig. 128 montre l'allure de la courbe I_p/vg de la « multiplicatrice » 4696.

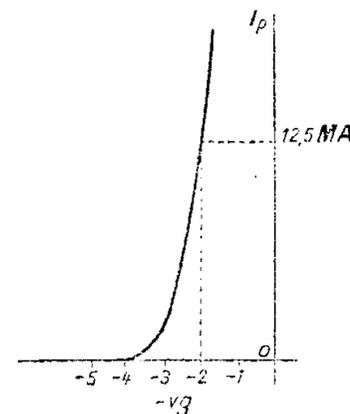


FIG. 128.

Les lampes multiplicatrices peuvent être utilisées en amplification BF, cas dans lequel on peut faire du déphasage en utilisant la cathode C' comme électrode de phase 1 et l'anode A comme électrode de phase 2.

Leur emploi en télévision est des plus intéressants, car il permet de se libérer des amplificateurs à grand nombre de lampes.

208) **Lampes à faisceaux.** — La fig. 129 montre la disposition de principe d'une lampe à faisceaux dirigés.

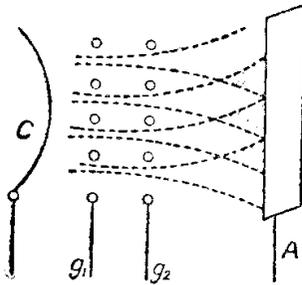


FIG. 129.

On dispose essentiellement d'une cathode C, de deux grilles g_1 et g_2 dont les spires sont placées dans un même plan et d'une anode A.

Les électrons issus de la cathode C passent en « nappes » entre les spires de g_1 et g_2 comme l'indique le dessin.

La grille g_2 est portée à un potentiel fortement positif, ce qui a pour effet de provoquer l'épanouissement des faisceaux électroniques dans l'intervalle $g_2 - A$.

Ces épanouissements se recouvrent au niveau de l'anode (parties hachurées sur la figure), ce qui donne au niveau de la plaque une zone de concentration électronique qui joue le même rôle que la troisième grille des trigrilles.

Citons comme types de lampes à concentration électronique les tubes 6V6 G et 6 L 6.

209) **Courbes caractéristiques.** — La fig. 130 montre les courbes caractéristiques d'une 6L6.

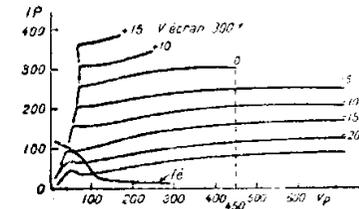


FIG. 130.

210) **Lampes à électrodes flottantes.** — La fig. 131 montre la disposition d'une 6 B5 à électrodes flottantes.

En réalité, les deux éléments triodes de la lampe sont montés en couplage direct à l'intérieur de l'ampoule.

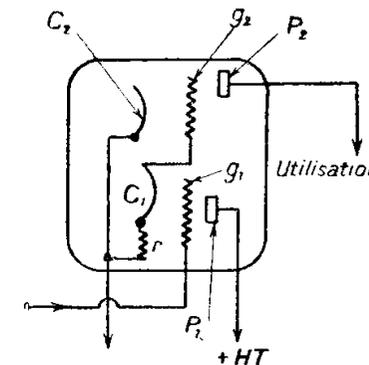


FIG. 131.

211) **Lampes complexes.** — Les lampes que nous allons examiner sont utilisées en changement de fréquence. Il s'agit toujours de lampes doubles avec un élément jouant le rôle de détecteur et un élément utilisé en oscillateur.

212) **Lampes à cathode fictive.** — Il s'agit de lampes du type *octode* et *heptode* (ou *pentagrid*). La fig. 132 illustre le principe utilisé.

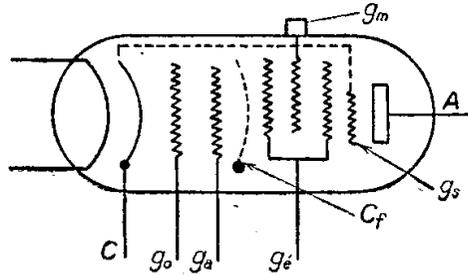


FIG. 132.

L'élément oscillateur est constitué par la cathode C, la grille g_0 (oscillatrice) et la grille g_a (grille anode).

Cette grille est d'ailleurs réduite à sa plus simple expression, constituée par une simple tige métallique interposée entre g_0 et g_e .

L'ensemble C g_0 g_a forme un élément triode, mais avec cette particularité que la grille anode g_a n'absorbe qu'une faible partie du flux électronique.

Tout se passe alors comme si on avait une triode à plaque pleine et une cathode fictive C_f se formant en arrière de cette plaque pleine.

C'est cette cathode qui assure le fonctionnement de l'élément modulateur : g_m = grille d'entrée ou modulatrice, g_e = grille écran et A = anode finale.

Une grille *suppressor* g_s peut être ajoutée comme l'indique le dessin.

213) **Lampes à faisceaux dirigés.** — La fig. 133 montre la coupe d'une *octode à faisceaux*.

Le flux électronique issu d'une cathode C assure

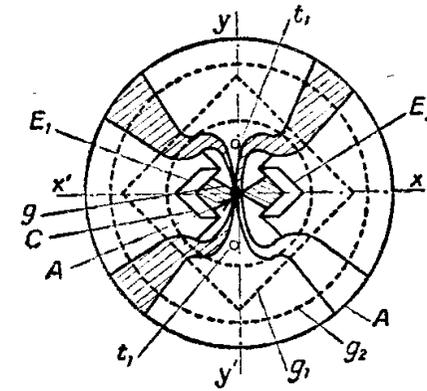


FIG. 133.

d'abord le fonctionnement d'un élément triode oscillateur de grille g et d'anode A.

Deux écrans doubles symétriques E_1 et E_2 disposés de manière à présenter deux ouvertures diamétralement opposées laissent s'échapper le flux électronique. Le flux passant est encore de chaque côté divisé en deux faisceaux par les tiges t_1 et t_2 utilisées en réflecteurs.

A la suite, on trouve les éléments d'une lampe tri-grille, de grille de contrôle g_1 , de grille écran g_2 et d'anode A.

Les flux électroniques assurant le fonctionnement des deux éléments triode et pentode agissent à *angle droit* suivant des axes x x' et y y' , ce qui assure l'indépendance des deux fonctions oscillation et première détection (ou modulation).

Cette disposition permet d'éviter le *glissement de fréquence* qui se manifeste quand la régulation V. C. A. agit trop énergiquement.

214) **Lampes complexes à éléments séparés.** — On cherche toujours à rendre aussi grande que possible l'indépendance des deux fonctions *oscillation* et *première détection*.

Ce résultat est obtenu par l'emploi de lampes *octodes à faisceaux* ou de lampes complexes du type *hexode* et *triode hexode*.

La fig. 134 montre la disposition d'une *hexode*.

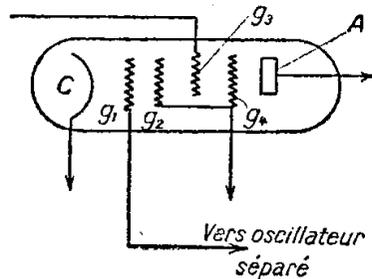


FIG. 134.

L'élément modulateur est constitué par la cathode C, la grille de contrôle g_3 , la grille écran g_2-g_4 et par l'anode A. Les *oscillations locales* sont introduites dans la lampe au moyen de la grille d'entrée g_1 reliée à un *oscillateur triode*. Cette solution revient à la solution du *changement de fréquence par deux lampes*.

Le même résultat peut être obtenu en réunissant dans une même ampoule l'élément de lampe *triode* et l'élément de lampe *hexode*, ce qui donne la combinaison finale *triode hexode*.

La fig. 135 montre cette disposition. L'élément *hexode* est figuré au-dessus de la ligne pointillée et l'élément *triode* au-dessous. La cathode C est commune.

215) **Pente de conversion.** — Il y a lieu, dans un

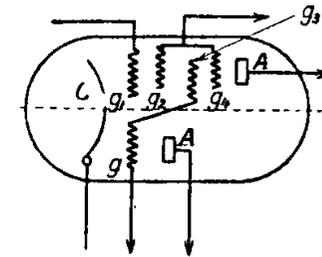


FIG. 135.

étage changeur de fréquence (fig. 136), de considérer trois tensions :

- u_1 de signal,
- u_2 d'hétérodyne,
- u_3 de fréquence transformée.

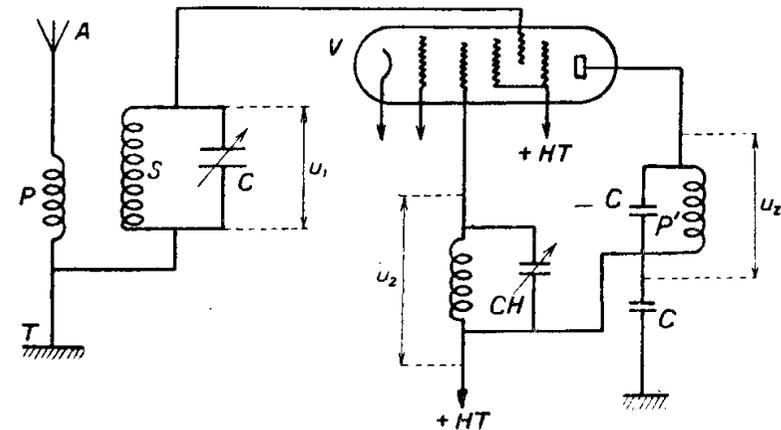


FIG. 136.

On vérifie que le *gain de conversion* :

$$(22) \quad g = \frac{u_3}{u_1}$$

a pour valeur :

$$(22 \text{ bis}) \quad g = Sc \frac{\rho \cdot Z}{\rho + Z}$$

relation dans laquelle :

g = gain de conversion,

Sc = pente de conversion de la lampe changeuse de fréquence,

ρ = résistance interne de la lampe, et

Z = impédance du primaire du tesla de sortie (MF).

Si on connaît g (par mesure), on en tire la pente de conversion :

$$(23) \quad Sc = \frac{g}{\left(\frac{\rho \cdot Z}{\rho + Z} \right)}$$

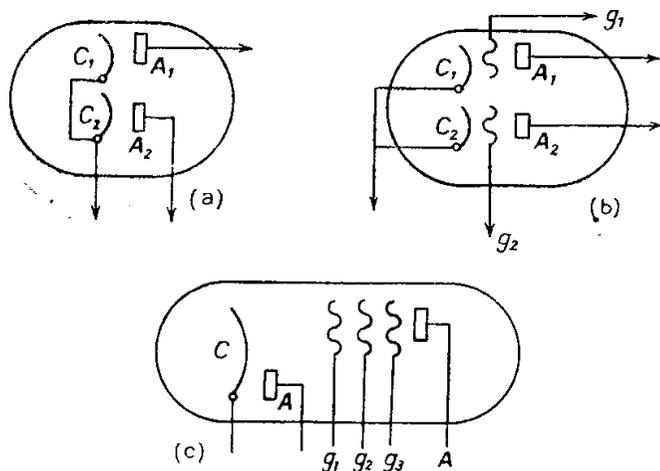


FIG. 137 a, b et c.

216) **Lampes multiples.** — Deux éléments de lampe (au moins) sont réunis dans une même ampoule.

La fig. 137 montre en *a* : une double diode, en *b* : une double triode, en *c* : une diode pentode.

De nombreuses combinaisons sont possibles. En particulier, un *élément de valve* peut être associé à un élément de lampe finale.

217) **Triodes à gaz ou thyatron.** — La fig. 138 montre le schéma d'un *thyatron*.

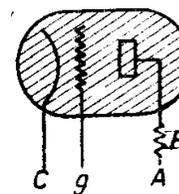


FIG. 138.

Les éléments sont ceux habituels de la triode : cathode *c*, grille *g* et anode *A*. La différence réside dans le remplissage de l'ampoule qui est fait avec un gaz inerte (néon, etc...) ou une vapeur métallique (vapeur de mercure), ce qui donne au tube des propriétés particulières :

Si la grille *g* est à potentiel nul, l'intervalle *C g p* est isolant.

Si on donne à la grille *g* un potentiel de plus en plus positif, il arrive un instant où une décharge s'amorce à travers le tube.

Le courant qui passe est très fort, aussi il convient de mettre en série dans le circuit d'anode une *résistance R de protection*.

Le passage de ce courant fort s'explique par *ionisation* de l'atmosphère contenue dans l'ampoule.

Une fois la décharge amorcée, elle ne peut plus être arrêtée que par coupure du circuit plaque.

En appelant v_a la tension d'anode et v_g la tension positive de grille pour laquelle la décharge s'amorce, on a un rapport :

$$(24) \quad \boxed{\frac{V_a}{V_g} = K}$$

lequel est dit *rapport de commande de grille*.

Quand on coupe le circuit plaque, l'atmosphère de l'ampoule ne revient au repos qu'après un certain temps dit *temps de désionisation*. Les thyratrons ont reçu de multiples applications; ici nous retiendrons seulement leur emploi pour l'établissement des *bases de temps* pour oscillographes de mesure et de télévision.

218) **Valves**.—Nous distinguerons les valves *mono* et *bip*laques, celles-ci représentées par la fig. 139 en *a* et *b*.

Le fonctionnement de la *monoplaque* représentée en *a* est celui déjà vu de la *diode*.

La *bip*laque figurée en *b* résulte de l'assemblage dans une même ampoule de deux valves monoplaques.

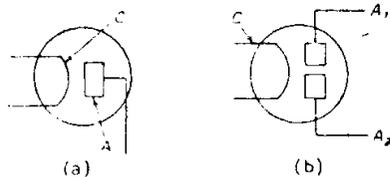


FIG. 139.

La *monoplaque* redresse une alternance sur deux de la tension alternative qui lui est appliquée.

La *bip*laque, faite de deux monoplaques, fonction-

nant alternativement, redresse les deux alternances de courant.

219) **Valves à haute et à basse pression**. — Les valves à haute pression (du type *Tungar*) redressent de fortes intensités sous de faibles tensions.

Les valves à basse pression possèdent des propriétés inverses, redressant des tensions élevées, mais avec de petites intensités.

Phanotrons. — Il s'agit de valves à atmosphère de vapeur de Hg. Très faible résistance interne, gros débit, à ne pas mettre en court circuit.

220) **Stabilisateurs de tension à gaz (stabilivolt)**. — La conductibilité des gaz ionisés est utilisée pour l'établissement de *diviseurs de tension*, lesquels mis en série avec un *régulateur fer-hydrogène* deviennent en même temps des stabilisateurs de tension.

A l'heure actuelle, on dispose en ce sens du *stabilivolt* constitué par un *tube au néon* contenant cinq électrodes concentriques.

En associant un tel tube, comme vu plus haut, avec un régulateur fer-hydrogène, on obtient un système qui distribue des tensions réparties à 70 volts d'intervalle, lesquelles restent constantes quel que soit le débit demandé. Le plus fort modèle qui existe est prévu pour 600 volts et 200 MA.

La fig. 140 montre la disposition d'un tel *stabilisateur*.

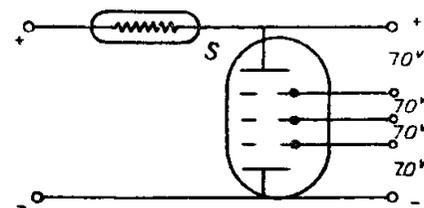


FIG. 140.

221) **Indicateurs visuels d'accord.** — Pratiquement, on utilise des indicateurs cathodiques.

Un indicateur visuel de cette catégorie est constitué par l'assemblage dans une même ampoule :

- 1° d'un oscillographe miniature ;
- 2° d'une lampe amplificatrice de commande.

Le tout a les dimensions d'une lampe de T. S. F. et également la même présentation.

L'écran fluorescent du tube cathodique est construit en forme de coupelle et est disposé au sommet du tube.

L'indicateur mis en service, l'écran laisse voir un ou plusieurs secteurs lumineux, de largeur variable suivant la valeur de la tension continue appliquée à la grille de la lampe de commande contenue dans le tube.

Partant de ce fait, on voit qu'il suffit pour obtenir l'indication visuelle de l'acuité de l'accord d'envoyer sur la grille de la lampe contrôlant l'oscillographe une tension proportionnelle à l'amplitude moyenne de l'onde reçue.

Plus l'accord est exact, plus cette amplitude est grande et plus les secteurs lumineux s'élargissent.

Ce résultat est obtenu en reliant la grille de la lampe amplificatrice du tube indicateur à la borne donnant la tension de V. C. A., laquelle satisfait précisément à la condition de proportionnalité indiquée plus haut.

La coupelle indicatrice étant placée au bout du tube, celui-ci doit être monté horizontalement, son sommet venant prendre appui sur une fenêtre permettant de voir ladite coupelle.

Les indicateurs visuels d'accord à tubes cathodiques actuellement en usage sont :

- 1° l'œil magique américain ;
- 2° le trèfle cathodique européen.

La figure 141 montre la disposition de l'indicateur dit « œil magique », et le mode de fixation sur le récepteur.

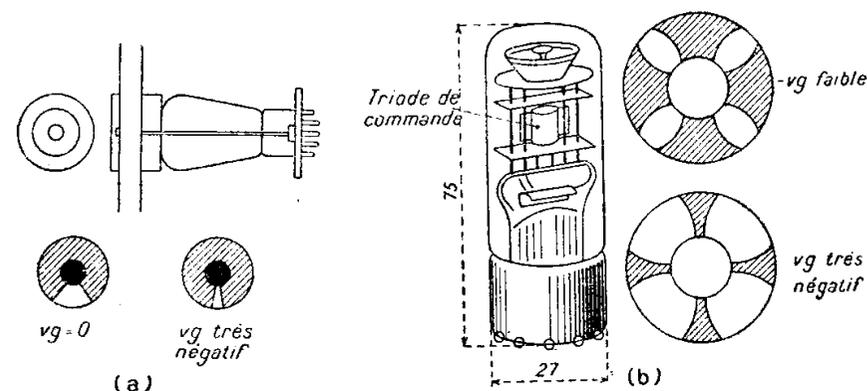


FIG. 141.

La lampe triode C. G. P. de commande est normale dans le tube indicateur 6E5 et à pente variable dans le tube 6G5.

Aujourd'hui, on construit des indicateurs d'accord cathodiques à deux sensibilités.

222) **Lampes glands, miniature et subminiature.** — L'exploitation des ondes très courtes a conduit à la création de tubes très petits, donc à électrodes rapprochées en vue de réduire le plus possible le temps de transit.

Pour les ondes de $\lambda < 1$ mètre on utilise des lampes « Acorn » ou « glands ».

Les lampes *miniatures* sont de très faible encombrement.

Les tubes *subminiatures* permettent de descendre aux ondes centimétriques.

223) **Lampes d'émission.** — Les lampes d'émission ont évolué dans le même sens que les lampes de réception : au début *triodes*, puis *tétraodes*, puis *pentodes*. Le développement de ces questions ne nous permet pas de les traiter ici.

CHAPITRE X

FONCTIONS DES LAMPES

224) **Fonctions des lampes.** — Les principales fonctions des lampes sont :

- a) la *détection* ;
- b) l'*amplification* et
- c) l'*oscillation*.

Dans la *détection*, le point de fonctionnement est pris sur un coude de caractéristique.

Dans l'*amplification* et l'*oscillation*, ce sont les régions *pratiquement* droites des courbes caractéristiques qui sont utilisées.

Dans tous les cas, le fonctionnement est *dynamique*, ce qui entraîne un *changement de position* des courbes caractéristiques.

En particulier, à l'état dynamique la courbe I_p/v_g de la caractéristique plaque est plus inclinée qu'à l'état *statique*.

225) **Caractéristiques dynamiques.** — La connaissance de ces caractéristiques est indispensable pour l'étude des lampes en fonctionnement. Nous rappelons (fig. 142), en trait plein, la forme d'une courbe caractéristique $I_p = f(v_g)$.

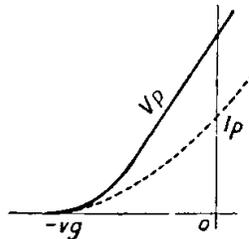


FIG. 142.

Une telle courbe est tracée statiquement, c'est-à-dire la lampe mise *en court circuit* ou, si on préfère, *sans résistance d'utilisation* dans son circuit plaque.

Si on met une *résistance en série* dans la plaque, la courbe *s'incline* comme l'indique le *pointillé*.

Cette nouvelle courbe est dite *caractéristique Dynamique*.

Il y a lieu de tenir compte, en la circonstance : 1° que cette résistance R crée une chute de Tension P_2 i_p et 2° que l'on travaille à courant variable, de sorte que la valeur de la tension effective de plaque varie continuellement.

La conséquence la plus immédiate de ce fait est que le *point de fonctionnement* ne reste pas sur une courbe caractéristique, mais se déplace entre autant de courbes qu'il y a de tensions plaque *effectives* intermédiaires.

Ce déplacement se fait suivant une loi qui dépend de la nature de la charge de plaque : *ohmique* ou *inductive*.

226) **Puissance dissipée.** — Une lampe est faite par construction pour dissiper une certaine puissance

$$P = V_p \cdot I_p.$$

Pour évaluer cette puissance, il suffit de connaître la puissance maximum dissipée par la plaque.

Par ailleurs, on sait que

$$(1) \quad I = \frac{P}{U}$$

ou, dans notre cas : $i_p = \frac{P \text{ (watts)}}{V_p}$.

Prenons, par exemple, une lampe de 10 watts de dissipation anodique.

Soit trois tensions plaques V_{p1} , V_{p2} et V_{p3} égales à 100, 250 et 500 volts.

Nous aurons pour celles-ci des courants :

$$i_{p1} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ A pour } V_{p1} = 100 \text{ v,}$$

$$i_{p2} = \frac{10}{250} = 0,04 \text{ A pour } V_{p2} = 250 \text{ v, et}$$

$$i_{p3} = \frac{10}{500} = 0,02 \text{ A pour } V_{p3} = 500 \text{ v.}$$

Il est facile de vérifier que l'on a :

$$P = V_{p1} \cdot i_{p1} = V_{p2} \cdot i_{p2} = V_{p3} \cdot i_{p3}.$$

La puissance P est constante mais, ce qui est connu, elle peut être obtenue avec beaucoup d'intensité et peu de volts, ou le contraire.

La figure 143 montre la façon de tracer la courbe de puissance dissipée.

Le calcul qui précède permet de porter trois points

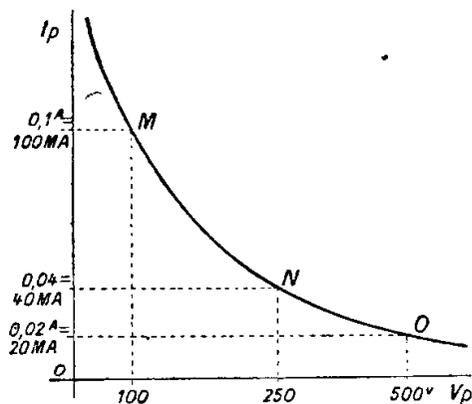


FIG. 143.

MNO sur un système d'axes donnant V_p en abscisse et I_p en ordonnées.

Au demeurant, deux points tels que M et O auraient été suffisants, étant donné que la courbe, qui résulte de la loi d'Ohm, est un arc d'hyperbole facile à tracer quand on connaît deux de ses points.

227) Zone utilisable des caractéristiques. —

Par construction encore, une lampe est faite pour supporter une tension plaque max. : $V_p \text{ max}$ qui ne peut être dépassée sans inconvénient. De même, il y a une valeur de courant plaque $I_p \text{ max}$ qui ne doit pas être dépassée.

Connaissant la courbe de puissance dissipée d'une lampe (fig. 144), on portera 1°, à partir de $I_p \text{ max}$ une droite horizontale qui viendra couper la courbe de puissance en un point B et, 2°, à partir de $V_p \text{ max}$, une droite verticale qui viendra couper la courbe de puissance en un point C .

On obtient ainsi un polygone $ABCDE$ qui définit la zone utilisable des caractéristiques.

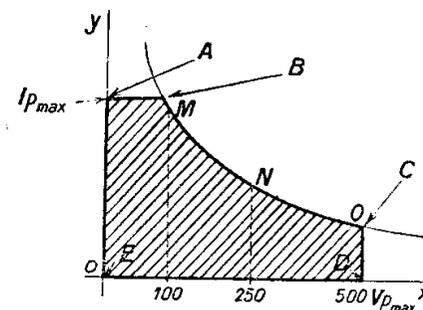


FIG. 144.

228) Droite de charge. — La figure 145 montre une droite de charge pour une triode.

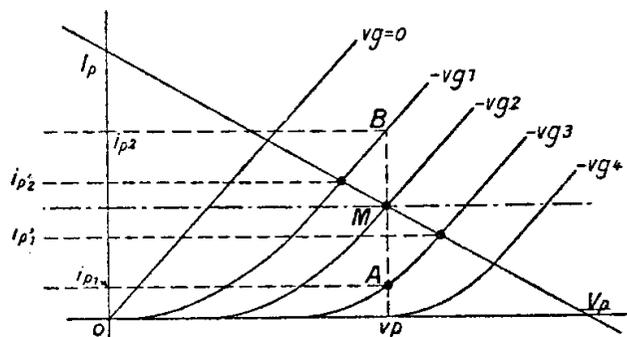


FIG. 145.

Fixons-nous un point de fonctionnement M , c'est-à-dire une polarisation négative de grille égale à $-vg_2$ et une certaine tension plaque vp .

A l'état statique (lampe *en court circuit*), une tension alternative appliquée sur la grille et variant de $-vg_1$ à $-vg_3$ fera varier le courant plaque de ip_1 à ip_2 . La Tension plaque vp reste fixe. On pourra alors admettre que la *droite de charge* est une droite AB passant par M . La droite de charge pour résistance R de plaque $= 0$ est une verticale. Si maintenant on charge la plaque avec une résistance, la droite de charge commencera à s'incliner sur l'horizontale. La Tension plaque à considérer sera de forme $HT - (R \cdot ip)$ avec $H.T. =$ Tension de la source plaque — chute de Tension dans la R de plaque.

Pour R de plaque infinie, la droite de charge serait horizontale.

La quantité $HT - (R \cdot ip)$ est l'équation de la droite de charge. On voit que celle-ci peut pivoter sur le point de fonctionnement M .

La pente de la droite de charge est en valeur absolue proportionnelle à l'inverse de la résistance de charge de plaque.

Nous verrons plus loin la façon de tracer une droite de charge pour une R plaque donnée et en tenant compte de la dissipation anodique.

229) **Tracé de la caractéristique dynamique.** — Sur la figure 146 en *b*, le pointillé montré la pente statique.

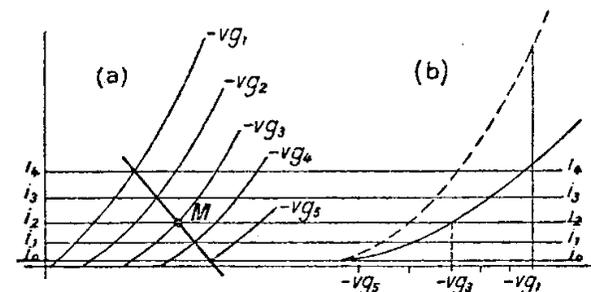


FIG. 146.

Sur la même figure en *a*, on voit une droite de charge posée sur le réseau $Ip = f(Vp)$.

Pour $-vg_1$ (en *a*), le courant plaque (en *b*) est i_4 .

Pour $-vg_2$ (en *a*), le courant plaque (en *b*) est i_3 .

Pour $-vg_3$ (en *a*), le courant plaque (en *b*) est i_2 , et ainsi de suite.

Connaissant les valeurs de courant plaque pour les différentes valeurs de vg , on a le moyen de tracer la courbe dynamique de la lampe.

Cette courbe est plus inclinée que la courbe statique, et cela d'autant plus que la charge de plaque est plus élevée.

Il semblerait qu'il y ait intérêt à charger peu la plaque de la lampe. En fait, plus la R de plaque est faible, plus les variations de Tension $R ip$ aux bornes sont petites, et ces variations de Tension sont celles qui, précisément, représentent le signal amplifié.

230) **Recherche de la charge optimum.** — Le maximum de puissance a lieu quand la R de plaque est égale à la résistance interne de la lampe.

En fait, avec les triodes, on prend des R_p plus élevées.

Dans le cas des pentodes à grand ρ , la R de plaque est toujours petite devant ρ .

231) **Cas des pentodes.** — La figure 147 montre une droite de charge placée sur le réseau de courbes $I_p = f(V_p)$ d'une pentode.

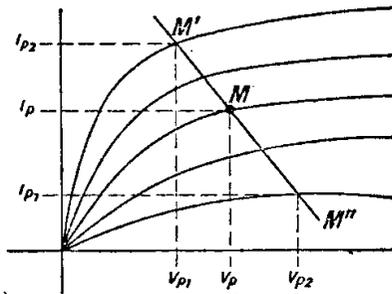


FIG. 147.

232) **Condition de non distorsion.** — Le fonctionnement est sans distorsion quand l'égalité $M M' = M M''$ est satisfaite.

Ces indications données, nous allons pouvoir passer à l'examen annoncé des fonctions des lampes.

233) **Détection Diode.** — Le but de la détection est de rendre audibles les courants de haute fréquence induits dans l'antenne de réception.

A cette fin, on peut utiliser une lampe à deux électrodes ou *Diode*, montée comme l'indique la figure 148.

Le courant ne peut passer que dans le sens anode a vers cathode c .

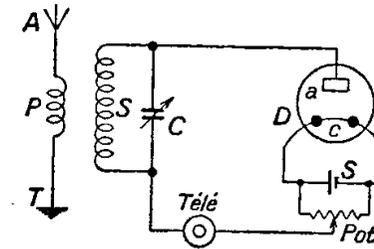


FIG. 148.

Il s'ensuit que le circuit de la diode D est parcouru par des impulsions de courant toutes de même sens, lesquelles font vibrer au passage la plaque de l'écouteur téléphonique *Télé*.

Dans la réalité, comme la diode D n'est pas un détecteur parfait, il y a lieu de considérer différents effets :

- a) Influence de la diode au point de vue constante de temps du circuit ;
- b) Réduction de la sélectivité du CO en fonction de la résistance interne de la diode, laquelle se trouve en shunt sur le même circuit ;
- c) Abaissement résultant du rendement et
- d) Distorsion.

234) **Éléments d'une détection diode.** — Il y a lieu de considérer le CO (circuit S. C) comme un générateur $H F$ débitant sur la diode D qui fonctionne en charge résistante.

La diode D est à considérer à son tour comme un générateur $B F$; débitant sur le téléphone *Télé* qui fonctionne en charge inductive.

235) **Détection par triode.** — La *Détection par la grille* montre le schéma utilisé pour obtenir cette détection.

Au repos, la grille g reliée au $+$ de la batterie $B T$ à travers P et S est rendue légèrement positive, d'où la production d'un certain *courant grille*.

Si maintenant on applique une *Tension de signal* entre grille et filament, on voit que les alternances $+$ font croître le courant grille.

Ce courant grille accru, ig , traverse la résistance r de grille dans le sens indiqué par la flèche, développant à ses bornes une tension $u = r \cdot ig$, laquelle fait baisser le potentiel de grille.

La grille étant *plus négative*, il y a, par voie de conséquence, diminution du courant plaque ip .

Ainsi un signal appliqué à une lampe détectant par la grille est de faire baisser son courant plaque.

La bonne sensibilité de la détection grille a pour contre-partie la *saturation* de la grille dans le cas de la réception de signaux forts.

La même détection peut être complétée utilement par une *réaction*, ce qui permet d'augmenter à la fois la *sélectivité* et la *sensibilité*.

236) **Détection quadratique.** — La détection grille telle qu'elle est montrée par la figure 149 est qua-

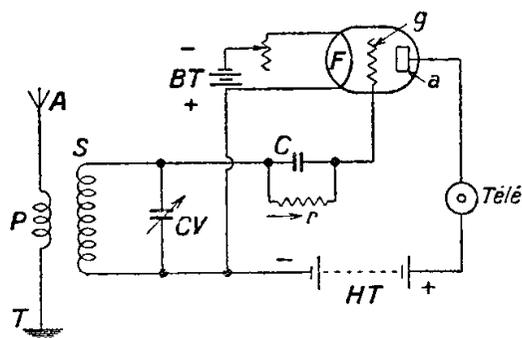


FIG. 149.

dratique, c'est-à-dire que le *courant détecté* est proportionnel au carré de la Tension de signal appliquée.

237) **Détection de puissance.** — En prenant pour le condensateur shunté $C Y$ (fig. 149) une valeur de Y élevée : de 1 à plusieurs mégohms on obtient un montage très sensible, donc convenant pour la réception des *signaux faibles*.

Pour la réception des *signaux forts*, il y a intérêt à utiliser une *détection de puissance*, laquelle est obtenue en prenant une résistance r faible : 0,25 à 0,5 M Ω et une Tension plaque forte : 120 ou 150 volts.

238) **Détection linéaire.** — Dans une telle détection, le courant redressé est proportionnel à la Tension HF appliquée.

Une détection linéaire peut être obtenue au moyen d'une *diode* (fig. 150) ou d'une triode détectant par la

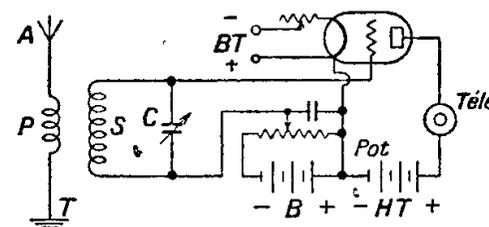


FIG. 150.

plaque. La figure 150 montre le schéma d'une lampe montée en *déetectrice plaque*.

La grille est rendue *négative* au moyen d'une batterie B associée à un potentiomètre *pot*.

On règle la Tension grille au moyen du potentiomètre de manière à se trouver à l'origine du courant plaque.

Si on applique alors entre grille et cathode une

Tension alternative de signal, il est facile de voir figuré 151, que les alternances *négligables* sont sans effet sur le courant plaque I_p , qui reste nul.

Inversement, les alternances *positives* font croître le courant plaque de zéro jusqu'à une certaine valeur i_p qui dépend de la pente de la caractéristique.

Le passage des seules alternances positives correspond à la détection du signal.

Pour de fortes amplitudes, la détection est *linéaire*.

Pour des signaux faibles, donc de faible amplitude, la *rectification* s'effectue sur la *région courbe* de la caractéristique, d'où une *détection quadratique*.

La détection par la plaque convient pour la détection des signaux forts.

De par son fonctionnement, que nous venons de voir, la *réception d'un signal entraîne une augmentation de courant plaque*.

Le fait de travailler avec une grille négative rend négligeable l'amortissement créé par la lampe sur le C O.

La figure 151 illustre le principe de la *détection plaque*.

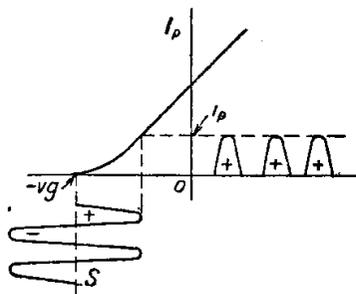


FIG. 151.

239) **Détection plaque avec lampe à chauffage indirect.** — La polarisation négative de grille est

obtenue par l'insertion d'une forte résistance dans le circuit de cathode. Cette question sera examinée plus loin.

240) **Détection Sylvania.** — La fig. 152 donne le schéma de cette détection.

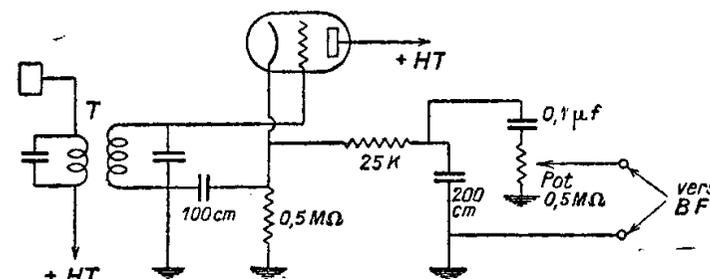


FIG. 152.

Ce circuit est à utiliser dans un récepteur après une amplification HF ou MF suffisante. Ceci tient au fait que la R élevée de cathode, qui sert de *R de détection*, introduit dans le fonctionnement un effet de contre-réaction qui diminue la sensibilité.

En outre, le facteur d'amplification de la lampe n'intervient pas comme dans le cas de la détection par la grille ou par la plaque, ce qui oblige à prévoir une lampe BF supplémentaire.

L'emploi d'éléments c et r de détection de faible valeur tend à diminuer la constante de temps, d'où une meilleure reproduction des fréquences aigues, amélioration encore accrue par l'effet *contre-réactif* déjà indiqué.

Du côté des avantages, signalons encore la *forte polarisation négative* de la grille, d'où une très grande impédance d'entrée, et un non-amortissement du CO qui débite sur la lampe.

Ceci facilite grandement la sélectivité. Par ailleurs, du fait de son mode de fonctionnement, le détecteur Sylvania est apte à suivre les grandes profondeurs de modulation, ceci sans altération sensible de la qualité musicale.

Enfin, il n'est pas inutile de souligner que ce même détecteur, *bien réglé*, se rapproche assez des conditions théoriques d'un *détecteur parfait*.

241) **Détection par pentode.** — Les pentodes peuvent être utilisées en détection *par la grille* ou *par la plaque*.

La *sensibilité* obtenue est plus grande que dans le cas d'une détection par triode, ce qui s'explique par le plus grand pouvoir amplificateur de ces lampes.

Par contre, les risques de *distorsion* sont plus grands, ce qui tient à la forme des caractéristiques : début de courbe I_p/v_g trop long et régions droites utilisables trop courtes.

242) **Détection triode ou pentode considérée comme une rectification diode associée à une amplification.** — On peut admettre qu'une lampe détectant par la grille correspond à un détecteur Diode constitué par les deux électrodes cathode et grille, cette dernière jouant le rôle d'anode.

Dans ce cas, la résistance shuntée de détection peut être considérée comme la *résistance de charge* de la diode. Comme la grille continue, par ailleurs, à contrôler le flux électronique et qu'elle reçoit la tension détectée, tout se passe, dans le cas d'une *détection grille*, comme si on avait une diode suivie d'une triode amplificatrice BF, ces deux éléments étant en *couplage direct*.

Dans le cas d'une détection *par la plaque*, et du même point de vue, on peut dire que tout se passe

comme si on avait une détection *diode* précédée d'une amplification HF.

Dans les deux cas : détection grille et plaque pour bénéficier entièrement du gain apporté par l'amplification de la lampe, il faudrait que celle-ci travaille sur une région linéaire de ses caractéristiques, ce qui n'est pas le cas.

Ainsi s'explique et se justifie la tendance moderne en faveur de l'emploi d'une détection simple par diode plus une amplification auxiliaire par lampe.

De ce point de vue, l'emploi d'une lampe double : *diode triode* ou *diode pentode*, apparaît comme une solution rationnelle du problème de la détection.

243) **L'amplification.** — Une lampe peut être utilisée en *amplificatrice* à la condition de choisir un *point de fonctionnement* placé sur une partie droite de la caractéristique i_p/v_g , lequel doit en outre correspondre à une tension négative $-v_g$ de grille.

La fig. 153 illustre le principe de cette utilisation.

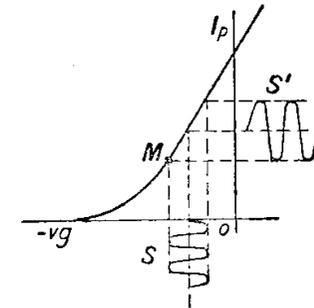


FIG. 153.

La courbe considérée est celle dynamique de la lampe.

Soit M le *point de fonctionnement*, on voit qu'un signal S appliqué à l'entrée de la lampe (entre cathode

et grille) est restitué à la sortie du tube (entre plaque et cathode) avec des dimensions S' plus importantes.

La différence entre le signal entrant s et le signal sortant s' plus grand représente le *gain* donné par la lampe.

Ainsi vue, la lampe peut être considérée comme un *relais* recevant des signaux *faibles* et rendant des signaux *forts* de même forme.

L'amplification exprimée par le gain est obtenue aux dépens de la source de tension plaque qui alimente l'anode du tube.

La lampe peut encore être considérée comme un *transformateur d'intensité* : elle reçoit des variations de tension et rend des variations proportionnelles de courant.

244) **Expression analytique du gain procuré par une lampe.** — D'après la définition du coefficient d'amplification en volts K :

$$(2) \quad K = \frac{\Delta v_p}{\Delta v_g}$$

on voit qu'une augmentation de 1 volt grille produit le même effet qu'un accroissement de la tension plaque égale à K .

Il s'en suit que l'on peut écrire

$$(3) \quad K \cdot \Delta v_g = \Delta v_p$$

En appliquant à la grille d'une lampe une variation de Tension $+ v_g$ on obtient une variation de courant plaque :

$$(4) \quad \Delta i_p = \frac{K}{o + R} \cdot \Delta v_g$$

245) Classification des lampes amplificatrices.

— Les lampes peuvent être montées :

- a) en *amplificatrices de tension* et
- b) en *amplificatrices de puissance*.

Dans la première catégorie se rangent les lampes *amplificatrices à haute et à moyenne fréquence*.

Dans la seconde catégorie on trouve les lampes *amplificatrices à basse fréquence*.

Ces dernières peuvent encore être classées en lampes à *faible, moyenne et grande puissance*.

Les *amplificatrices à faible puissance* sont utilisées comme lampes d'entrée (ou étages « Driver ») dans les amplificateurs BF.

La lampe d'entrée (Driver) peut être suivie d'une seule lampe à moyenne puissance quand la puissance dont on a besoin n'est pas très grande.

Quand on a besoin d'une puissance importante, la lampe à moyenne puissance est suivie d'une lampe finale à grosse puissance.

Suivant les points de fonctionnement choisis, les lampes peuvent fonctionner en classe A, B ou C, avec ou sans courant grille. Toutes ces questions seront examinées plus loin.

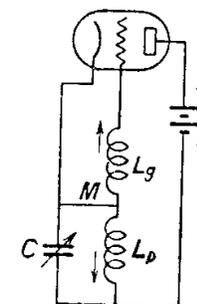


FIG. 154.

246) **L'oscillation.** — Une lampe peut engendrer des courants alternatifs à haute fréquence.

Ce résultat est obtenu en couplant *négativement* (—M) deux selfs, l'une faisant partie du *circuit grille* d'une lampe et l'autre constituant le *circuit plaque*. La fig. 154 montre cette disposition.

247) **Fréquence des oscillations produites par une oscillatrice.** — La fréquence d'oscillation est définie par les valeurs L_p . C. du circuit plaque.

Il est possible aussi d'accorder la self grille L_g , mais dans ce cas les capacités en dérivation sur le C. O. sont plus élevées. L'accord du circuit plaque est donc préférable.

248) **Condition Eolienne.** — Pour qu'une lampe oscille il faut satisfaire à la condition :

$$(5) \quad \boxed{KM = L + (CR \rho)}$$

Dans cette relation on a :

K = coefficient d'amplification de la lampe (en volts).

M = induction mutuelle entre L_g et L_p (en H).

C = capacité d'accord de la self L_p (en μ F).

R = somme des résistances ohmiques et de perte HF du CO (en ohms).

ρ = résistance interne de la lampe (en ohms).

En faisant passer (Equation 5) KM dans le second membre, on obtient :

$$(6) \quad \boxed{L + (CR \rho) - KM = 0}$$

d'où :

$$(7) \quad \boxed{M = \frac{(\rho CR) + L}{K}}$$

Dans cette relation on a :

$$(8) \quad \boxed{M = \sqrt{L_g \cdot L_p}}$$

Du point de vue « Réception », les relations qui précèdent sont à utiliser pour le *calcul des circuits d'oscillation locale* des changeurs de fréquence (1).

FIN DU TOME I

(1) Cette question est examinée particulièrement dans l'ouvrage : *Le problème technique du C.A.P. Radio*, par R. TABARD.