



THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

I - TETRODES ELECTRONIQUES

Afin de comprendre la raison pour laquelle on a réalisé d'autres types de tubes électroniques dont les TETRODES, il faut étudier, de façon plus détaillée, le fonctionnement de la triode.

Les électrodes de la triode, étant proches et isolées l'une de l'autre, peuvent être considérées comme armatures d'un condensateur. On dit alors qu'entre les deux électrodes, il existe une CAPACITE INTERELECTRODE.

Dans une triode, il existe trois capacités interélectrodes.

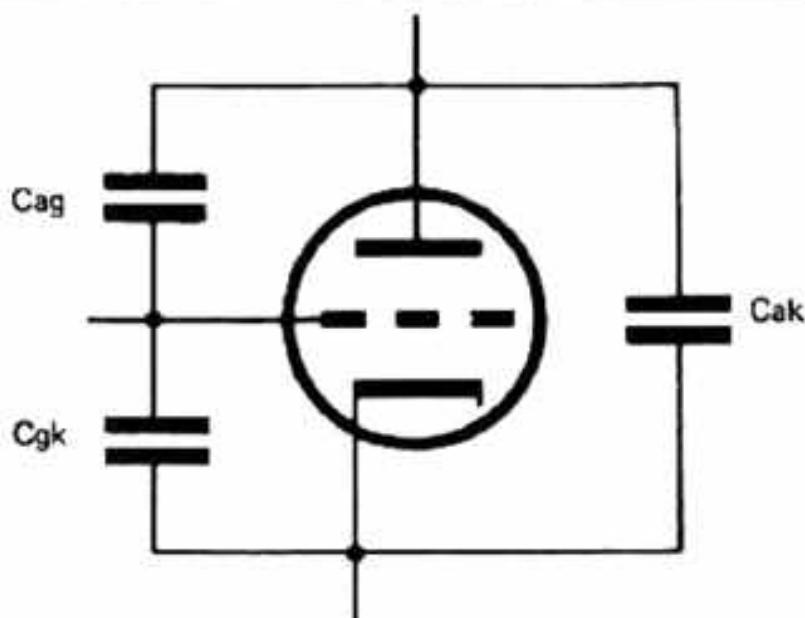
Pour mieux comprendre l'effet de ces 3 capacités, on suppose qu'elles sont dues à de véritables condensateurs. On dessine alors ceux-ci extérieurement à la triode (voir figure 1).

Le premier condensateur correspond à la capacité qui existe entre l'anode et la grille.

Le second condensateur correspond à la capacité qui existe entre la grille et la cathode. Enfin, le troisième condensateur correspond à la capacité qui existe entre l'anode et la cathode. Ces condensateurs sont désignés dans l'ordre, par les abréviations C_{ag} , C_{gk} et C_{ak} .

Ces condensateurs ont une valeur capacitive de l'ordre de quelques picofarads. Elle est indiquée par le constructeur qui est en mesure d'effectuer des mesures précises sur les tubes. Ces mesures sont effectuées à vide, c'est-à-dire sur un tube non relié à un circuit.

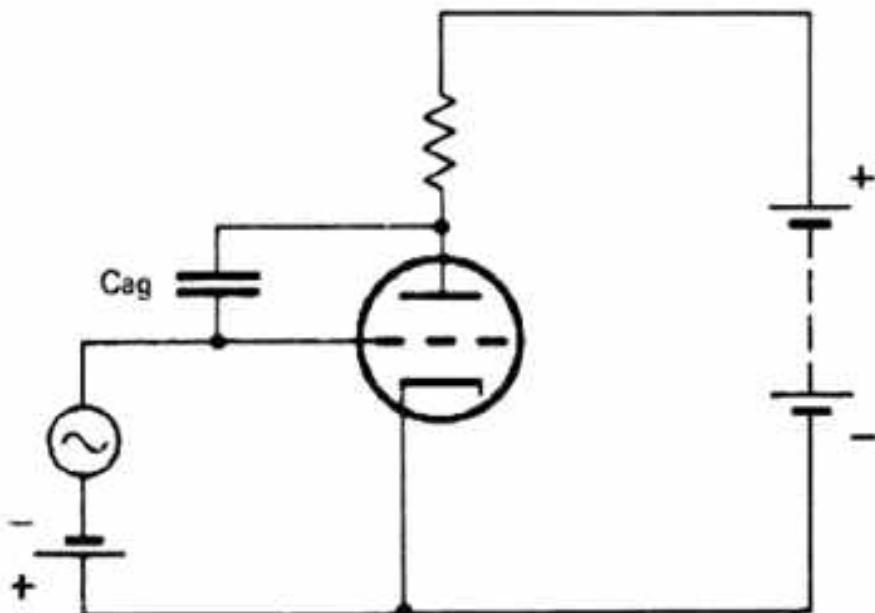
Pour les sujets traités dans cette leçon, concernant le fonctionnement de la triode, il suffit de ne considérer que l'effet de la capacité C_{ag} , entre l'anode et la grille.



CAPACITE INTERELECTRODE D'UNE TRIODE

Figure 1

Examinons pour cela le circuit d'emploi de la triode de la figure 2. Ce circuit, par rapport à celui décrit dans la leçon précédente, comporte en plus, le condensateur relié entre l'anode et la grille, pour représenter la capacité C_{ag} existant entre ces électrodes.



EFFET DE LA CAPACITE ENTRE ANODE ET GRILLE

Figure 2

On voit immédiatement que ce condensateur constitue une liaison entre l'anode et la grille de la triode. En effet, le signal amplifié, présent dans le circuit anodique retourne en partie dans le circuit de grille, par l'intermédiaire de cette liaison.

Ainsi, par suite de la capacité entre l'anode et la grille de la triode, on assiste à une restitution d'une partie du signal anodique au circuit de grille.

Le signal qui retourne dans le circuit de grille fait varier le courant anodique. Celui-ci n'est donc plus contrôlé uniquement par le signal d'entrée, mais aussi, et de façon involontaire, par le signal restitué.

De ce fait, dans de nombreux cas, on peut avoir un fonctionnement irrégulier du tube.

Les irrégularités de fonctionnement se produisent surtout quand le signal à amplifier a une fréquence assez élevée. En nous rappelant que la réactance d'un condensateur diminue quand la fréquence augmente, nous comprenons pourquoi la capacité C_{ag} constitue pour la restitution du signal, une voie d'autant plus facile que la fréquence de ce signal est plus élevée.

Aussi, pour amplifier régulièrement des signaux de fréquence assez élevée, il faut empêcher la restitution du signal due à la capacité de C_{ag} .

On place, à cet effet, une deuxième grille entre l'anode et la grille de commande, réalisant ainsi une TETRODE, c'est-à-dire un tube électronique à quatre électrodes.

La nouvelle grille est appelée grille écran (celle qui existe déjà dans la triode est appelée grille de commande ou grille de contrôle).

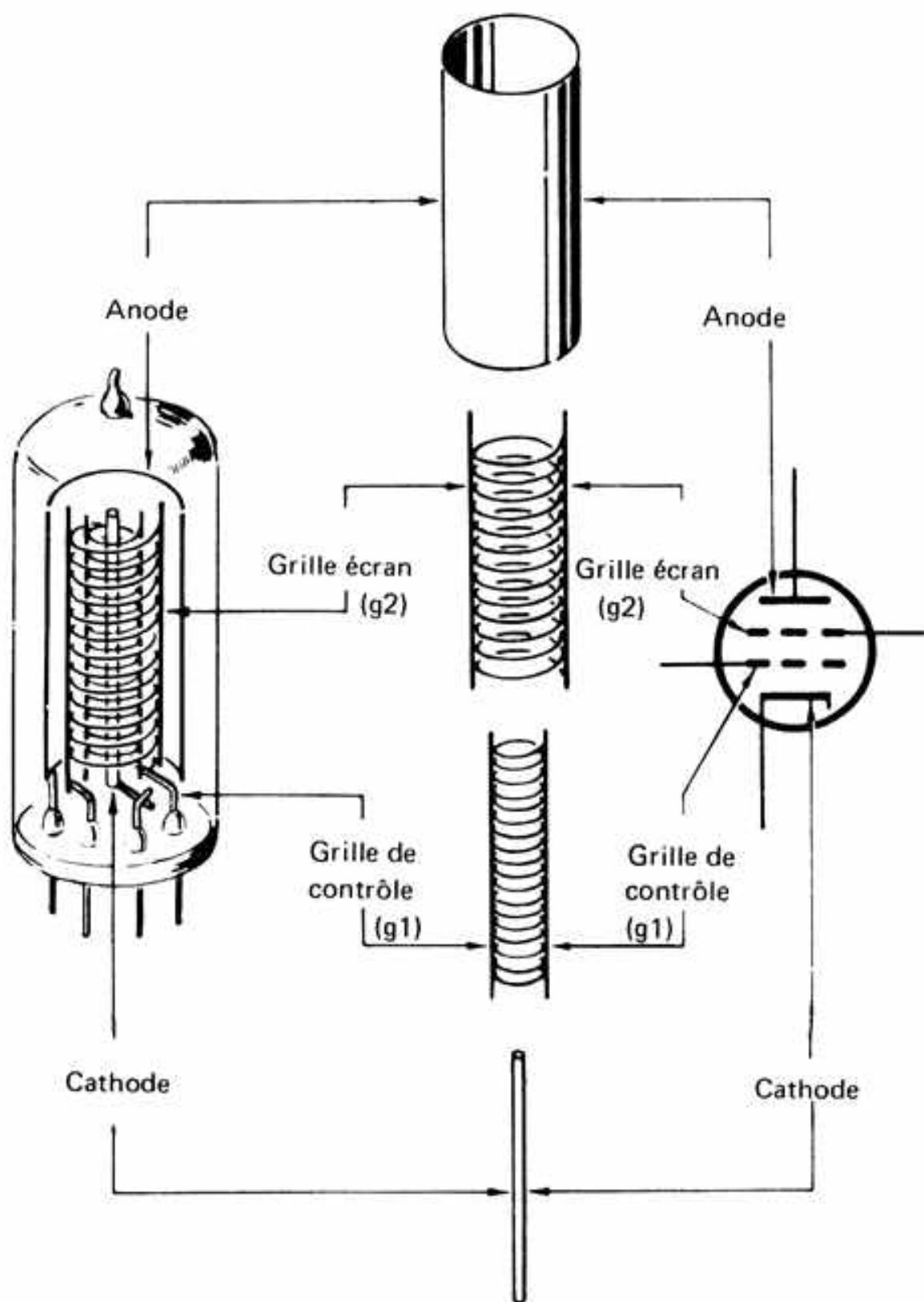
On désigne très souvent la grille de commande par l'abréviation "g1", car c'est elle qui est traversée la première par les électrons, qui, de la cathode se dirigent vers l'anode. La grille écran, traversée ensuite par ces électrons, est désignée par l'abréviation "g2".

La figure 3 représente la constitution d'une tétoode.

Dans la partie gauche de la figure, on voit la disposition des électrodes à l'intérieur du tube. L'anode a été dessinée en coupe, et dans la partie centrale, on voit séparément les quatre électrodes.

Celles-ci sont reproduites sur le symbole graphique de la tétoode, reporté dans la partie droite de la figure.

Examinons maintenant le circuit d'emploi de la tétoode (figure 4-a). Ce circuit ne diffère de celui de la triode que par la présence de la batterie B_{g2} , qui alimente la grille écran.



TETRODE ELECTRONIQUE ET SON SYMBOLE GRAPHIQUE

Celle-ci est portée à un potentiel positif par rapport à la cathode, et elle favorise ainsi le flux des électrons vers l'anode.

Toutefois, la grille écran positive, attire les électrons. Mais, une très petite partie de ceux-ci seulement est effectivement recueillie par cette électrode, car la vitesse des électrons est suffisante pour leur permettre de franchir la grille écran.

Cependant les électrons recueillis par la grille écran donnent naissance à un COURANT DE GRILLE ECRAN I_{g2} . Celui-ci circule normalement dans le sens conventionnel indiqué par les flèches de la figure 4-a.

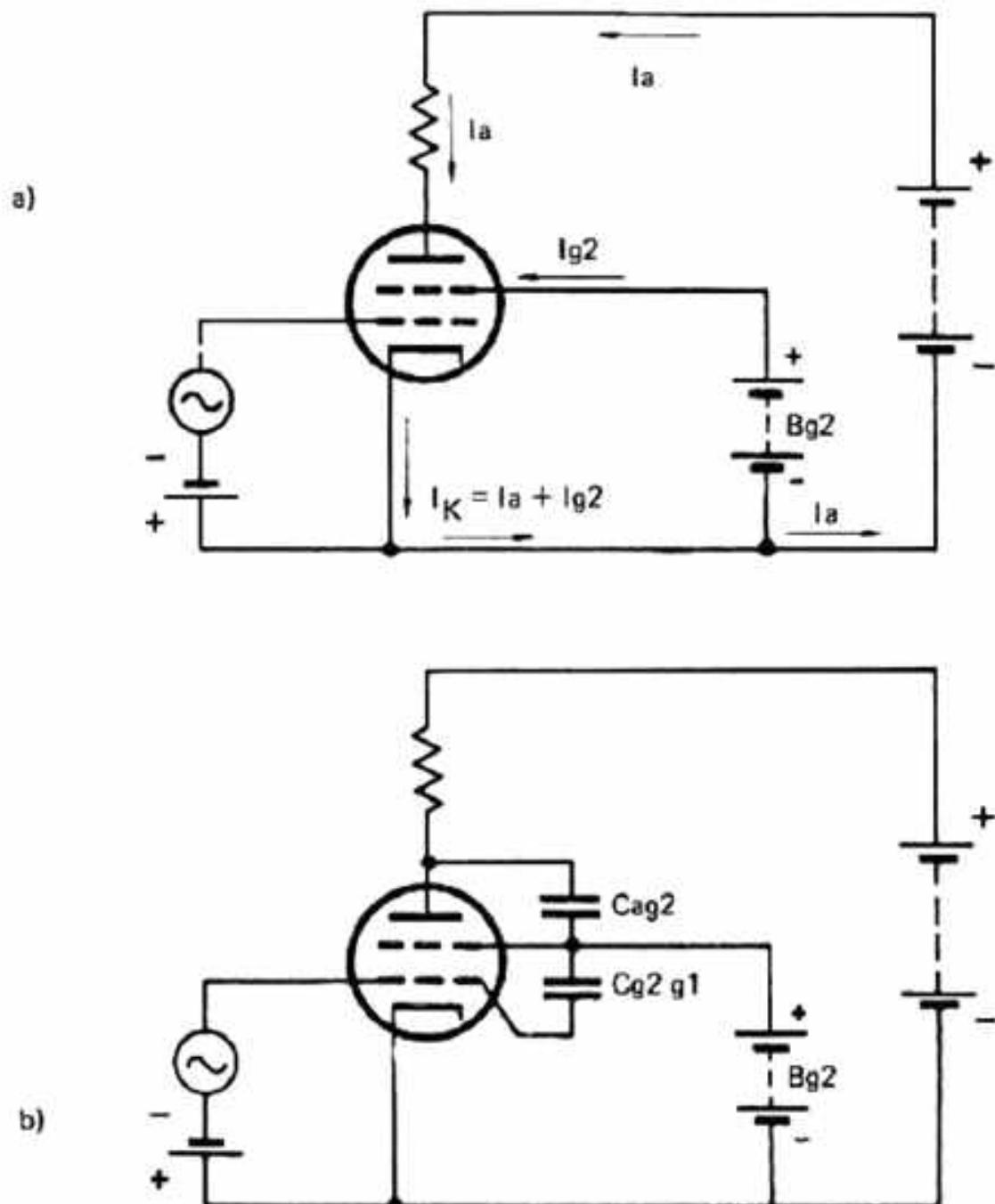
Sur cette figure, on voit aussi que la liaison cathodique de la tétoode est parcourue par le courant anodique I_a et par le courant de grille écran I_{g2} . La somme de ces deux courants est donc appelée COURANT CATHODIQUE, et on l'indique par I_k .

Pour bien comprendre l'action de la grille écran, c'est-à-dire comment cette grille évite le retour du signal d'anode à la grille de commande, étudions la figure 4.

Sur celle-ci, on a indiqué les capacités interélectrodes dont il faut tenir compte dans le cas de la tétoode. Ces capacités sont représentées par deux condensateurs reliés entre les électrodes qui correspondent aux armatures de ces condensateurs.

On voit ainsi qu'il existe une capacité entre l'anode et la grille écran (C_{ag2}) et une capacité entre la grille écran et la grille de commande (C_{g2g1}).

La restitution du signal présent sur l'anode ne peut se produire que par l'intermédiaire de la capacité C_{ag2} .



CIRCUIT D'EMPLOI DE LA TETRODE ET CAPACITES
INTERELECTRODES

Figure 4

Mais lorsque le signal arrive sur la grille écran, il trouve deux voies possibles : l'une constituée par la capacité C_{g2g1} et l'autre par la batterie B_{g2} qui alimente la grille écran.

Cette batterie ne présente qu'une résistance interne très faible, alors que la capacité C_{g2g1} présente une certaine réactance. Il est alors évident que le signal va emprunter la voie la plus facile et traverser la batterie pour s'écouler à la masse, sans atteindre la grille.

I - 1 - CARACTERISTIQUES ANODIQUES DE LA TETRODE

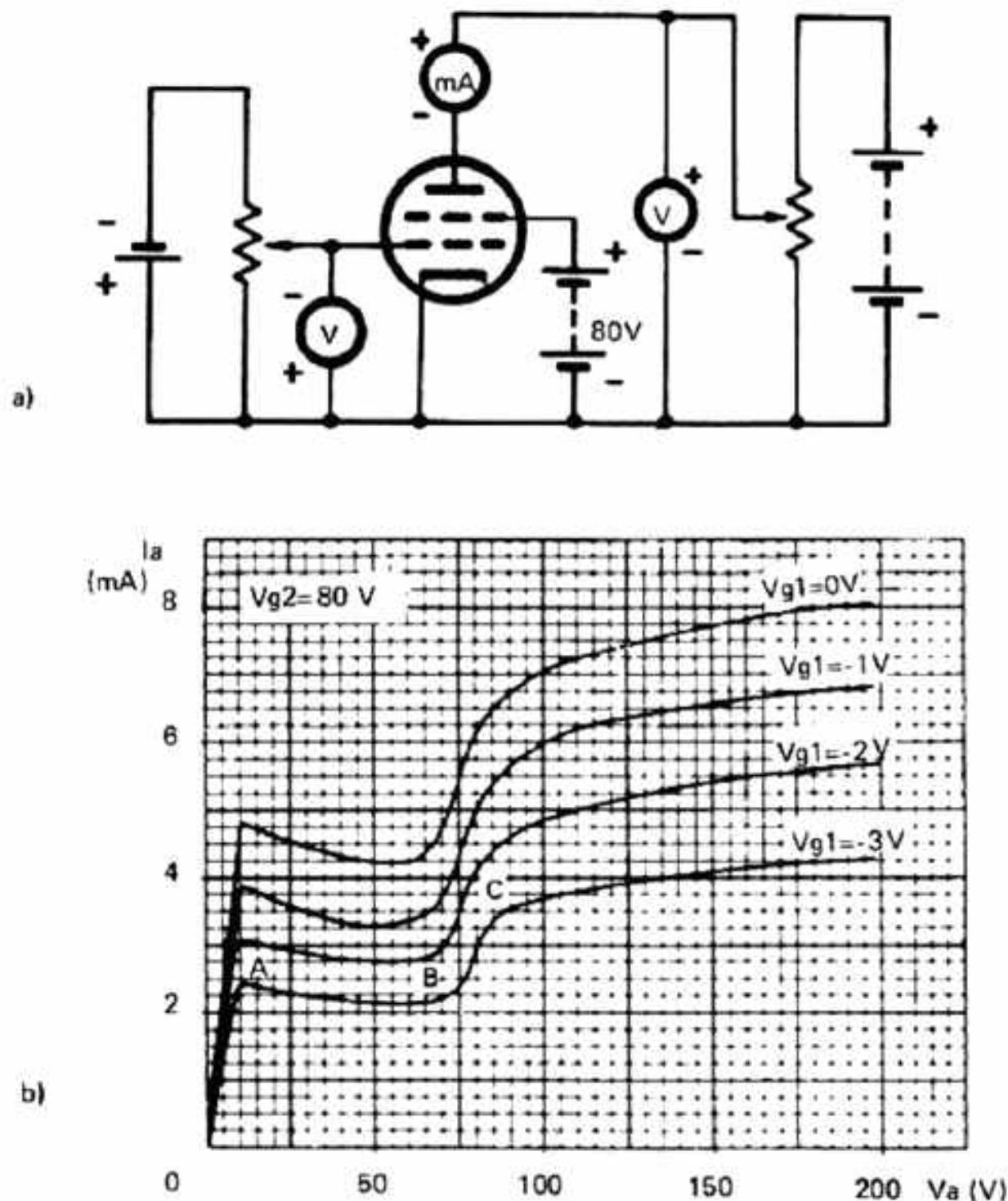
Pour avoir une idée précise du fonctionnement de la tétoode, il faut étudier ses caractéristiques, en réalisant le circuit de la figure 5-a.

Ce circuit ne diffère de celui de la triode que par la présence de la batterie qui fournit la tension de 80 volts pour la grille écran. Cette tension ne varie pas, et les caractéristiques anodiques obtenues pour la tétoode dépendent d'une tension déterminée de la grille écran.

En effet, si l'on augmente la tension de grille écran sans changer la valeur des autres tensions, on favorise l'acheminement des électrons vers l'anode. Le flux électronique augmente, donnant ainsi naissance à un courant anodique plus important.

Sur la figure 5-b, on a indiqué la valeur de 80 volts pour la grille écran. Sur chaque courbe caractéristique, on a également indiqué la valeur de la tension de la grille de commande V_{g1} .

On voit immédiatement que l'introduction de la grille écran modifie considérablement les caractéristiques anodiques du tube par rapport à celles de la triode.



CARACTERISTIQUES ANODIQUES D'UNE TETRODE.

Figure 5

Par exemple, pour la caractéristique obtenue avec une tension V_{g1} de -3 volts, on voit que le courant anodique augmente d'abord très rapidement jusqu'en A lorsque la tension anodique augmente.

Ensuite, il diminue jusqu'en B, la tension anodique continuant à augmenter. Enfin, le courant anodique augmente de nouveau, d'abord assez rapidement, jusqu'en C, puis de plus en plus lentement jusqu'à ce qu'il devienne presque constant dans la dernière partie de la caractéristique.

L'explication de cette allure du courant anodique, en particulier, sa diminution entre A et B, nécessite l'étude du comportement des électrons dans le tube.

Au sujet de la diode, on a dit que l'énergie cinétique acquise par les électrons, se dissipait sous forme de chaleur sur l'anode du tube.

Le même phénomène se produit dans la tétrode. Toutefois, dans ce tube, les électrons sont accélérés non seulement par l'anode, mais également par la grille écran (qui est positive).

Ainsi, même si la tension anodique est faible, le courant anodique peut atteindre rapidement des valeurs assez élevées, sous l'effet de l'accélération provoquée par la grille écran. On comprend alors la rapide augmentation du courant jusqu'au point A.

Ensuite, quand la tension anodique augmente, les électrons subissent une accélération supplémentaire. On devrait donc avoir une augmentation correspondante du courant anodique. On voit au contraire (figure 5-b) que le courant anodique diminue entre A et B.

Ce phénomène provient des électrons, qui, arrivant sur l'anode à une grande vitesse, heurtent violemment celle-ci, et détachent ainsi des électrons appartenant aux atomes superficiels de la plaque métallique (anode).

Ces électrons constituent l'EMISSION SECONDAIRE d'anode.

On les appelle électrons secondaires par opposition aux électrons provenant de la cathode, que l'on appelle électrons primaires.

Dans la tétrode, l'énergie cinétique des électrons primaires n'est donc pas entièrement transformée en chaleur lors du choc contre l'anode.

En effet, une partie de cette énergie est absorbée par les électrons qui se détachent de l'anode, et franchissent la barrière de potentiel.

Ces électrons secondaires se trouvent ainsi entre l'anode et la grille écran, et lorsque celle-ci a une tension supérieure à la tension anodique, ils sont attirés par cette électrode, faisant AUGMENTER LE COURANT DE GRILLE ECRAN.

D'autre part, l'anode recevant les électrons primaires en provenance de la cathode, mais cédant aussi à la grille écran les électrons secondaires qu'elle émet, la valeur du courant anodique est donnée par la différence entre les électrons primaires et secondaires.

Quand la tension anodique augmente, les électrons secondaires augmentent plus rapidement que les électrons primaires. En conséquence, le courant anodique diminue (diminution du courant entre A et B de la figure 5-b).

Cependant, la tension anodique continuant à augmenter, atteint et dépasse la valeur de la tension de la grille écran.

A ce moment, les électrons secondaires ne sont plus attirés par la grille écran, mais retournent sur l'anode.

Il en résulte évidemment une augmentation du courant anodique (caractéristique anodique comprise entre B et C de la figure 5-b).

Après le point C, la courbe devient presque horizontale, ce qui signifie que le courant anodique n'augmente désormais que très peu, même si la tension anodique augmente. Ce fait provient de la présence de la grille écran qui limite l'effet d'attraction de l'anode sur les électrons émis par la cathode.

Dans ces conditions, le courant anodique est commandé exclusivement par la tension appliquée à la grille de commande.

Cette progression irrégulière du courant de la tétrode constitue un inconvénient. On a cherché à éliminer celui-ci en réalisant un nouveau tube électronique, qui remplace la tétrode dans toutes les applications pratiques.

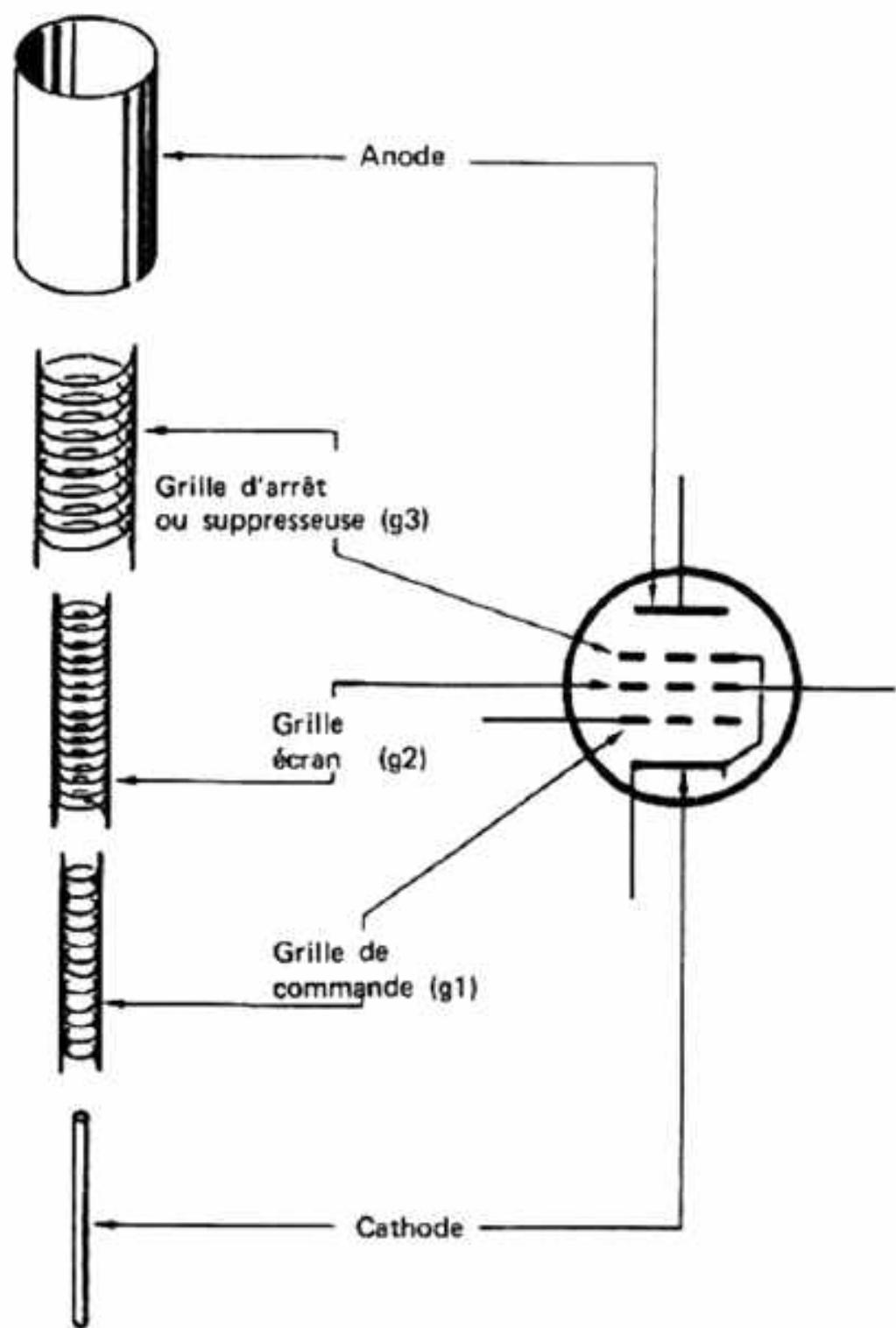
II - PENTODES ELECTRONIQUES

Le tube électronique qui a remplacé la tétrode est appelé PENTODE. Il possède cinq électrodes, comme on peut le voir sur la figure 6.

Le tube pentode (on écrit aussi PENTHODE) comporte en plus de la grille de commande et de la grille écran, une troisième grille appelée GRILLE D'ARRET ou SUPPRESSEUSE.

On la désigne par l'abréviation "g3", car les électrons provenant de la cathode, traversent d'abord la grille de commande (g1) puis la grille écran (g2) et enfin la grille d'arrêt (g3).

Sur le symbole graphique de la figure 6, on voit en effet que la grille supresseuse est placée entre la grille écran et l'anode.



PENTODE ELECTRONIQUE ET SON SYMBOLE GRAPHIQUE

Figure 6

La grille supresseuse a pour but d'empêcher les électrons secondaires émis par l'anode de rejoindre la grille écran (cas de la tétrode). Pour cela, elle est reliée à la cathode de façon à être au même potentiel que celle-ci.

Dans certains types de pentode, la supresseuse est reliée à la cathode, à l'intérieur même du tube (voir figure 6).

Dans d'autres types, la grille supresseuse n'est pas reliée à l'intérieur du tube. Dans ces cas, cette grille sort sur une broche spéciale, afin de permettre la liaison extérieurement.

Les électrons secondaires émis par l'anode, ne peuvent pas dépasser la grille supresseuse qui se trouve au même potentiel que la cathode. Ils retournent donc sur l'anode au lieu de rejoindre la grille écran.

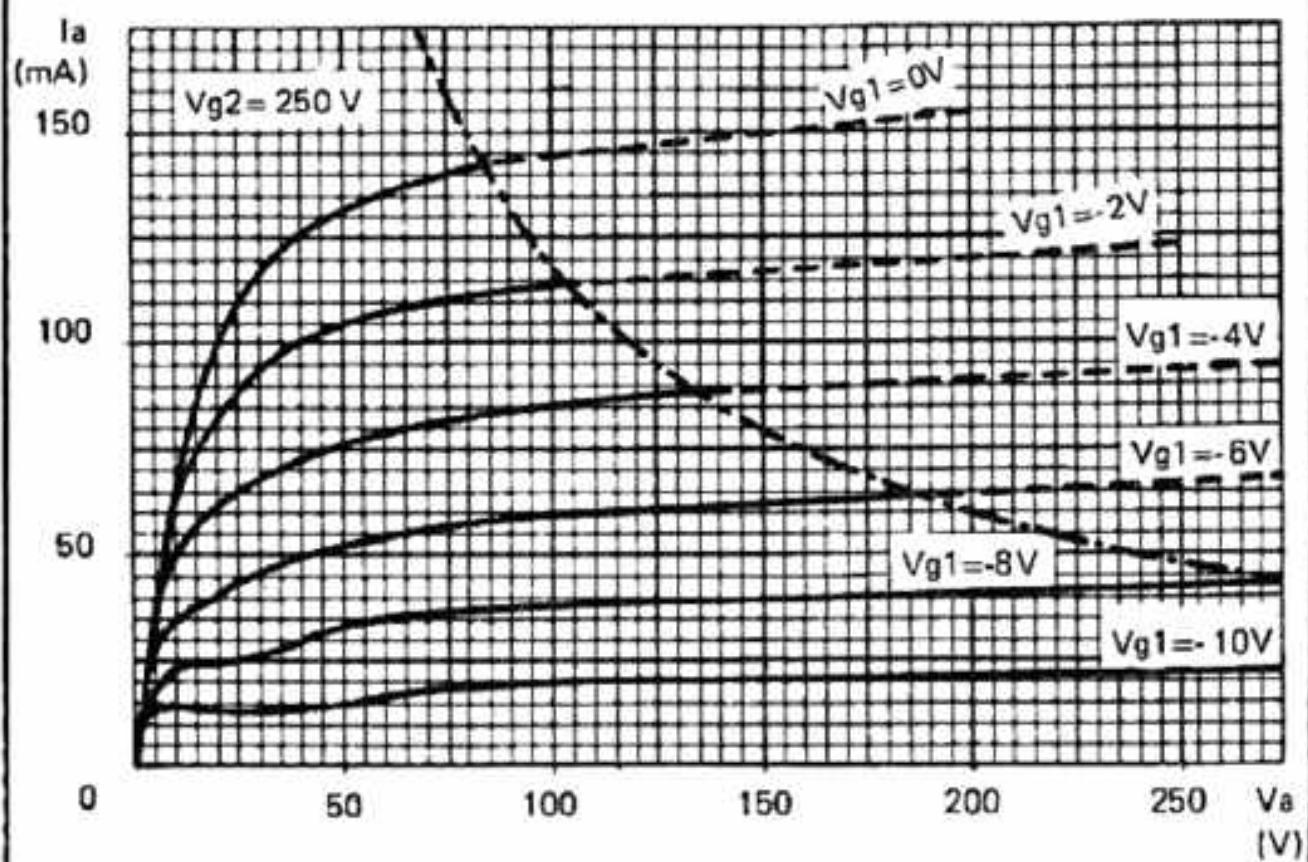
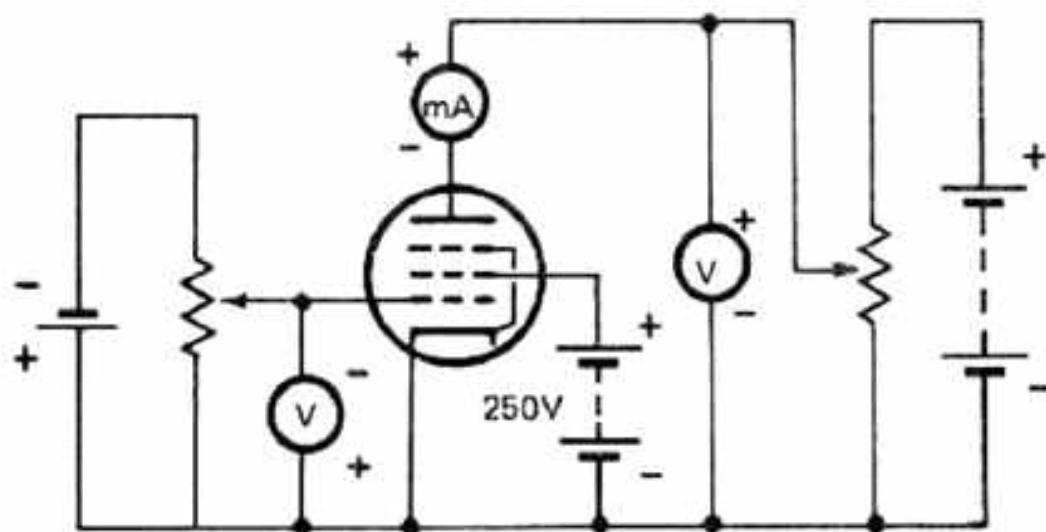
Les électrons primaires au contraire, ne sont pas arrêtés par la grille supresseuse, car ils possèdent une vitesse plus grande que celle des électrons secondaires.

On élimine ainsi l'allure irrégulière des caractéristiques anodiques concernant la tétrode.

En effet, le courant anodique de la pentode n'est pas diminué par le courant secondaire comme c'est le cas pour la tétrode.

II - 1 - CARACTERISTIQUES ANODIQUES DE LA PENTODE

Les caractéristiques anodiques de la pentode sont donc différentes de celles de la tétrode, comme on le voit figure 7.



CARACTERISTIQUES ANODIQUES D'UNE PENTODE.

Figure 7

Sur cette figure, on a représenté le circuit permettant de relever ces caractéristiques. celui-ci est semblable au circuit utilisé pour la tétrode, la grille supresseuse étant simplement reliée à la cathode à l'intérieur du tube.

Pour le relevé de ces caractéristiques, on a choisi une tension de grille écran $V_{g2} = 250$ volts. Cette tension est obtenue par une batterie reliée entre la grille écran et la masse.

Sur le graphique, on a tracé la ligne en traits et points qui délimite la zone de dissipation anodique maximum.

Les courbes caractéristiques de la pentode ne présente pas l'affaissement des courbes caractéristiques de la tétrode. Il n'y a que dans le début de la courbe obtenue avec une tension de grille de commande $V_{g1} = -8$ volts, que l'on note encore une légère diminution du courant anodique.

Chaque courbe caractéristique de la pentode, présente une partie importante presque horizontale. Cela signifie que le courant anodique, après avoir atteint rapidement une valeur déterminée (différente selon la tension V_{g1}) n'augmente pratiquement plus, même si la tension anodique continue à augmenter.

En conclusion, on peut dire que DANS UNE PENTODE, LE COURANT ANODIQUE EST PRATIQUEMENT INDEPENDANT DE LA TENSION ANODIQUE ET DEPEND EXCLUSIVEMENT DE LA TENSION DE GRILLE DE COMMANDE.

Pour déterminer la variation du courant anodique en fonction de la tension de grille de commande, on relève les caractéristiques mutuelles de la pentode, en procédant comme on l'a déjà expliqué pour la triode.

La figure 8 représente les courbes caractéristiques mutuelles de la pentode du type européen EL 84 (dont les caractéristiques anodiques sont données figure 7).

Pour chaque courbe caractéristique, est indiquée la tension anodique correspondante, ainsi que la tension de grille écran. Il convient en effet, de ne pas oublier que le courant dépend non seulement de la tension anodique, mais aussi de la tension de la grille écran.

Ainsi, sur la figure 8, on peut voir deux caractéristiques obtenues avec la même tension anodique $V_a = 250$ volts, la première avec une tension écran $V_{g2} = 250$ volts, la seconde avec une tension $V_{g2} = 210$ volts.

On voit clairement que le courant anodique relatif à la courbe $V_{g2} = 250$ volts est supérieur à celui de la courbe correspondant à une tension d'écran de 210 volts.

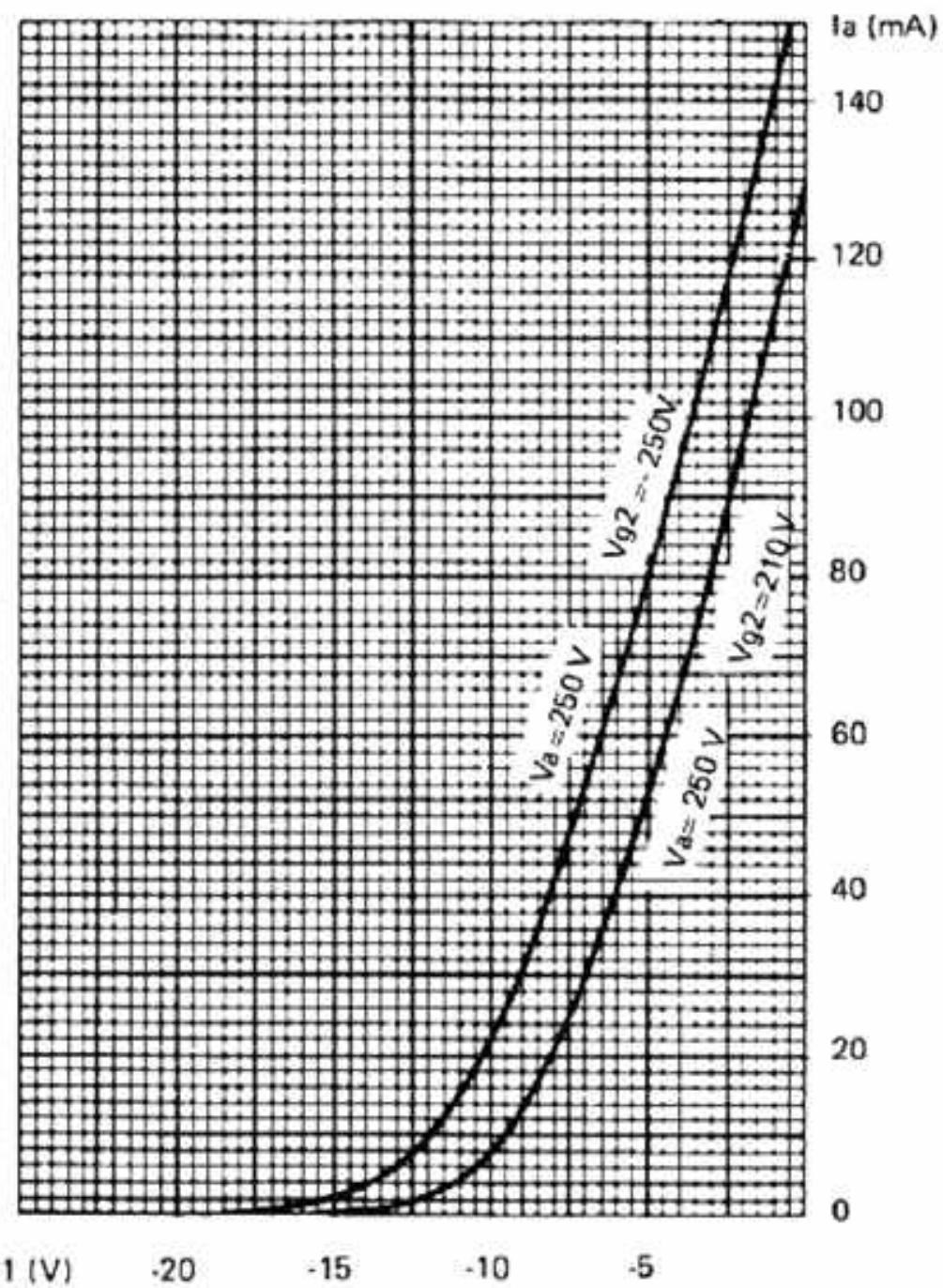
Rappelons à ce sujet que **LE COURANT ANODIQUE EST D'AUTANT PLUS ELEVE QUE LA TENSION DE GRILLE ECRAN EST PLUS GRANDE.**

Les caractéristiques anodiques et mutuelles d'une pentode s'utilisent comme on l'a déjà vu pour la triode.

Sur la famille des caractéristiques anodiques statiques, on peut tracer la droite de charge et déterminer les conditions de fonctionnement de la pentode dans les conditions normales d'emploi.

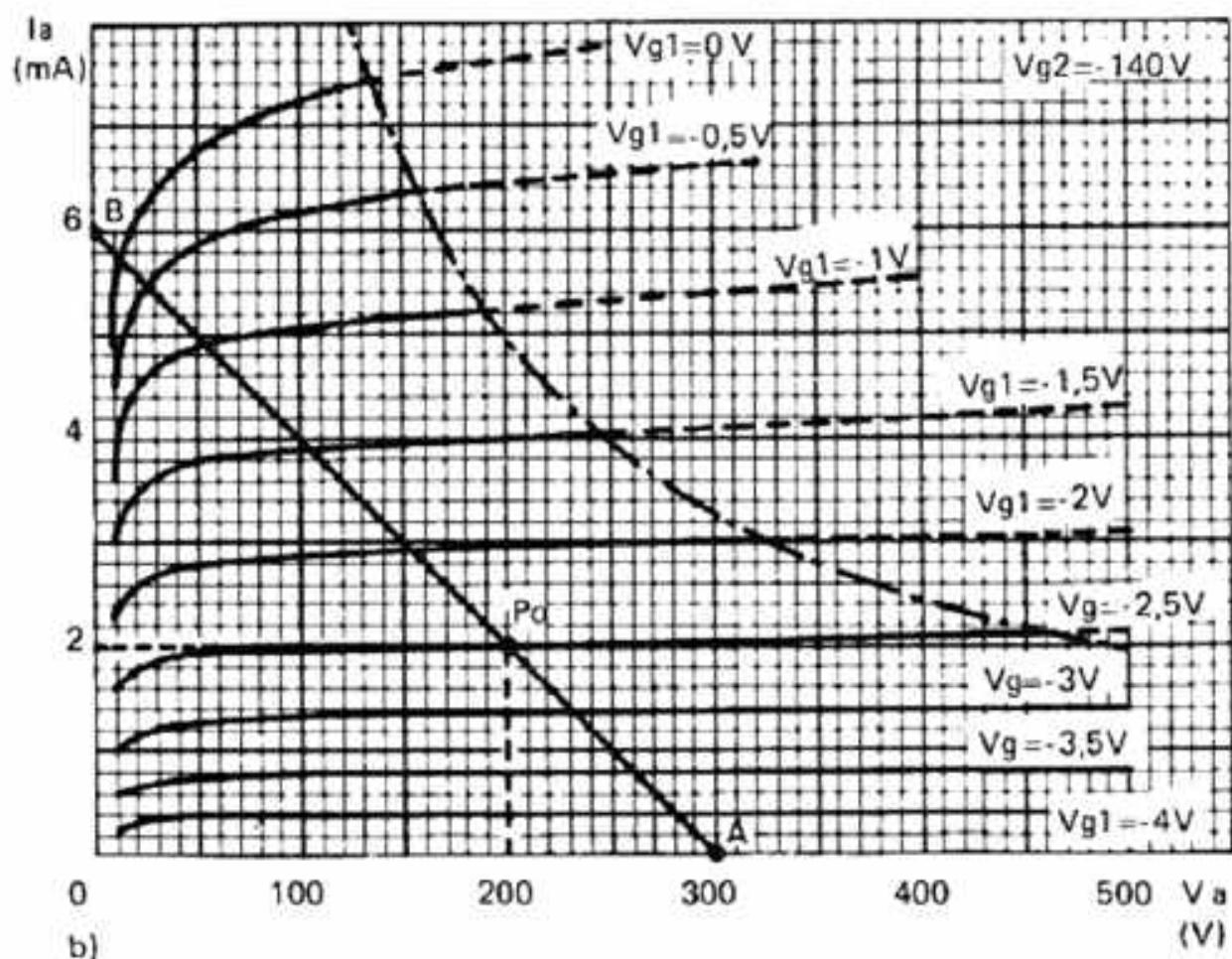
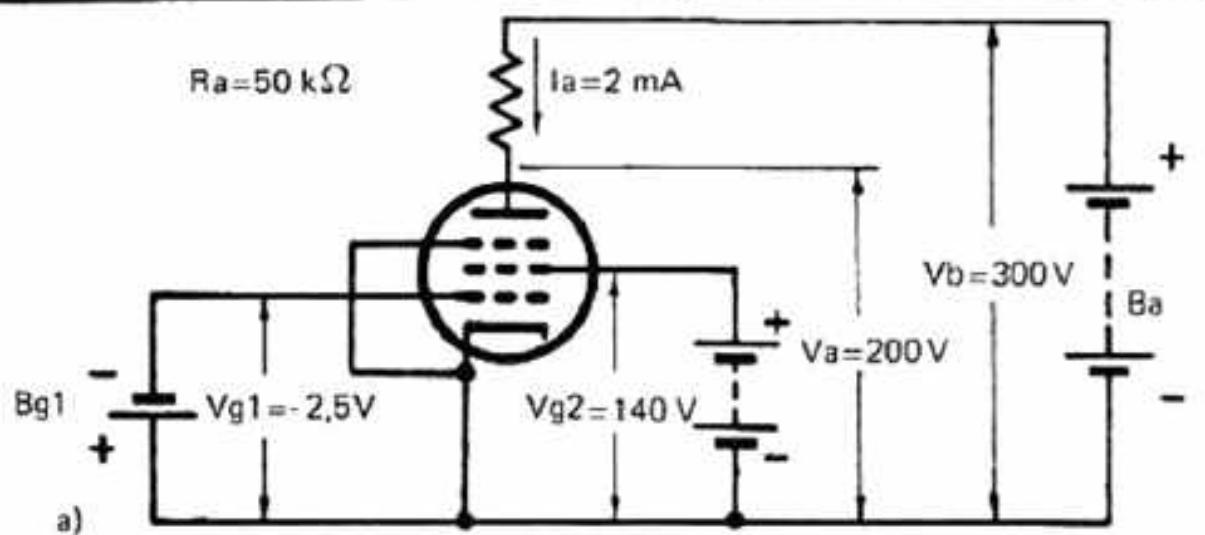
La figure 9-a représente le circuit d'emploi de la pentode du type européen EF 86 en condition de repos (c'est-à-dire sans signal d'entrée).

Ce circuit ne diffère de celui de la triode que par la présence de la batterie $B_{g2} = 140$ volts, qui alimente la grille écran. On doit noter que



CARACTERISTIQUES MUTUELLES D'UNE PENTODE.

Figure 8



DROITE DE CHARGE D'UNE PENTODE.

Figure 9

la grille supresseuse est reliée extérieurement à la cathode, car dans ce tube, la liaison intérieure grille d'arrêt - cathode n'existe pas.

Si la pentode est alimentée par l'intermédiaire d'une résistance de charge $R_a = 50 \text{ k}\Omega$, reliée à une batterie $B_a = 300 \text{ volts}$, on peut tracer la droite de charge comme indiqué figure 9-b.

Le début des courbes caractéristiques n'a pas été tracé, car les valeurs indiquées dans cette partie ne sont pas intéressantes en général.

Pour tracer la droite de charge, on détermine tout d'abord le point A de l'axe horizontal qui correspond à la valeur de 300 volts fournie par la batterie anodique B_a .

Ensuite, on détermine le point B de l'axe vertical qui correspond à la valeur de 6 mA du courant anodique, obtenue en divisant la tension de 300 volts par la résistance de 50 k Ω ($300 : 50 = 6 \text{ mA}$).

Quand on a trouvé les points A et B, on les réunit par un trait, qui est précisément la droite de charge cherchée.

Puisqu'une tension de polarisation $V_{g1} = 2,5 \text{ volts}$ est appliquée à la pentode, on détermine le point où la droite de charge rencontre la caractéristique anodique relative à cette tension de la grille de commande.

Ce point, indiqué par P_0 sur la figure 9-b permet de voir que, dans les conditions de repos, une tension $V_a = 200 \text{ volts}$ est appliquée à la pentode, et que le courant anodique I_a a une valeur de 2 mA.

La chute de tension provoquée par la résistance doit donc être de $300 - 200 = 100 \text{ volts}$, et en effet, en multipliant la valeur de la résistance par la valeur du courant anodique, on obtient $50 \times 2 = 100 \text{ volts}$.

Grâce à la droite de charge, on peut voir comment varient la tension anodique et le courant anodique, lorsqu'un signal est appliqué à la grille de commande.

On procède comme on l'a déjà vu pour la triode, et là aussi, on constate que la composante alternative de la tension anodique a une amplitude bien supérieure à la tension alternative appliquée à la grille de commande.

Cela signifie que la pentode peut être utilisée dans un montage amplificateur de tension.

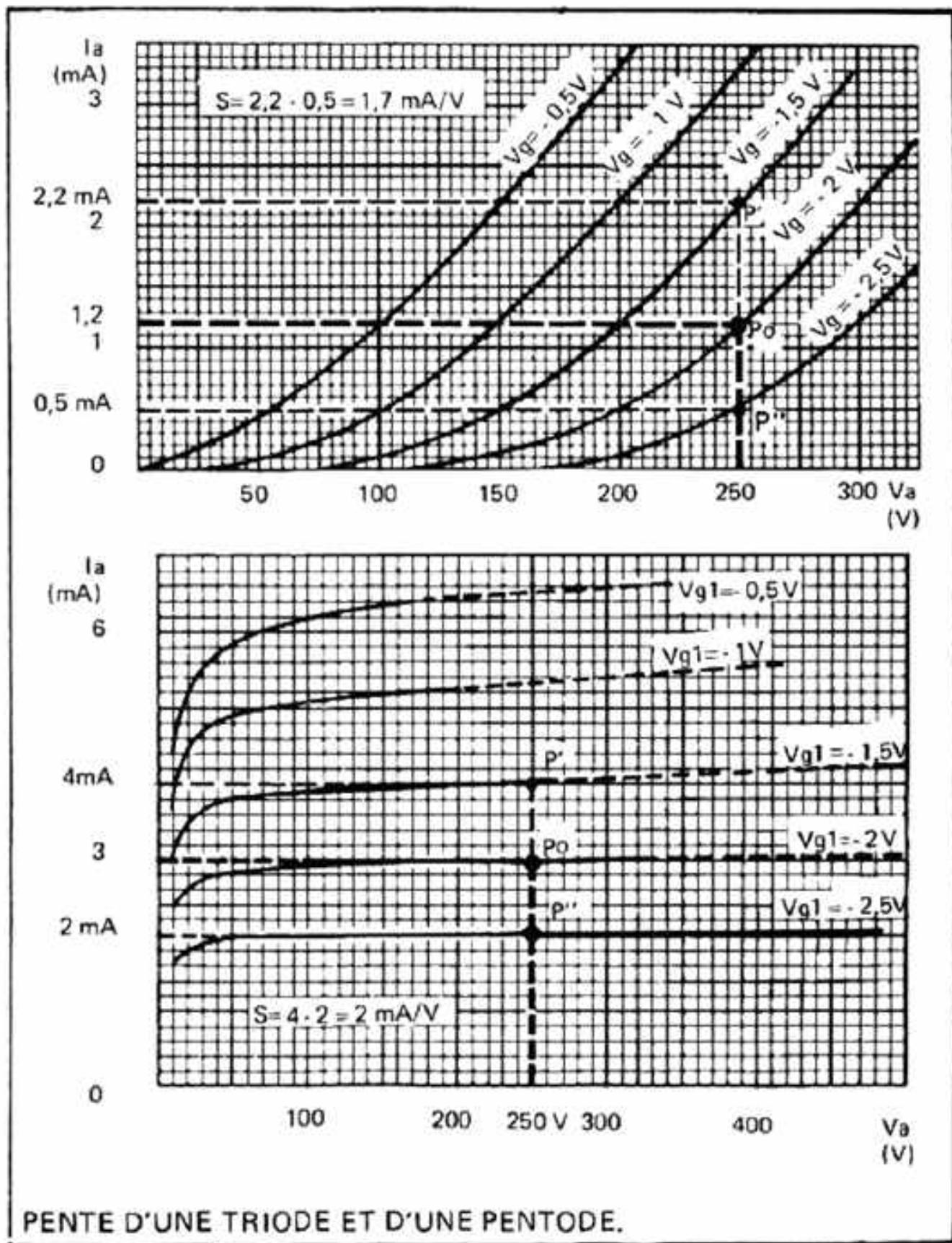
La pentode présente l'avantage de permettre l'amplification des signaux HF, tout en éliminant les inconvénients de la triode relatifs à la restitution du signal amplifié.

Pour la pentode, on indique les trois paramètres différentiels déjà définis pour la triode. En ce qui concerne la détermination graphique de ceux-ci, on ne peut pratiquement exécuter que celui de la pente en raison de la différence importante que les caractéristiques anodiques de la pentode présentent par rapport à celles de la triode.

Sur la figure 10 sont reportées les caractéristiques anodiques de la triode étudiée dans la leçon précédente et une partie des caractéristiques anodiques de la pentode étudiée sur la figure 9.

Pour la triode, on a repris la délimitation graphique de la pente déjà étudiée. En procédant de la même façon, on détermine la même délimitation pour la pentode.

On suppose que, pour ce tube aussi, le point de repos P_0 correspond aux valeurs de -2 volts de la tension de grille de commande et de 250 volts de la tension anodique.



PENTE D'UNE TRIODE ET D'UNE PENTODE.

Figure 10

Du point P_0 , on a tracé une ligne verticale jusqu'à l'intersection avec les points P' et P'' des caractéristiques relatives à la tension de grille de commande de $-1,5$ V et de $-2,5$ V.

De ces points, on a ensuite tracé deux lignes jusqu'à l'intersection avec l'axe vertical. On trouve ainsi que le courant anodique de la pentode varie entre 4 mA et 2 mA lorsque la tension de la grille de commande varie de $0,5$ V en plus et en moins par rapport à la tension de polarisation, c'est-à-dire de 1 V au total.

La différence entre les valeurs du courant anodique ($4 - 2 = 2$) donne directement la pente de la pentode, qui est donc de 2 mA/V.

Cette valeur n'est pas très différente de celle de $1,7$ mA/V trouvée pour la triode. En effet, la pente indique l'aptitude de la première grille à contrôler le courant anodique. Cette aptitude ne dépend pas ou ne dépend que très peu de la présence d'autres grilles supplémentaires.

Sur la figure 11, sont de nouveau reportées les caractéristiques de la figure 10, pour déterminer maintenant la résistance différentielle intérieure des tubes (c'est-à-dire la résistance interne ρ).

On voit tout de suite que, en répétant pour la pentode le procédé indiqué pour la triode, il n'est pas possible de déterminer le point P' sur la caractéristique relative à la tension de grille de contrôle $V_{g1} = -2$ V.

Puisque cette caractéristique est presque horizontale, il faudrait pour rencontrer au point P' la ligne horizontale relative au courant anodique de $3,5$ mA, poursuivre jusqu'à des valeurs très grandes de la tension anodique.

On trouverait alors que, pour faire varier de 1 mA le courant anodique il faut une variation très importante de la tension anodique. Mais, étant donné que cette variation donne directement la valeur de la résistance interne, on peut en déduire que, pour la pentode, ce paramètre a une valeur beaucoup plus grande que pour la triode.

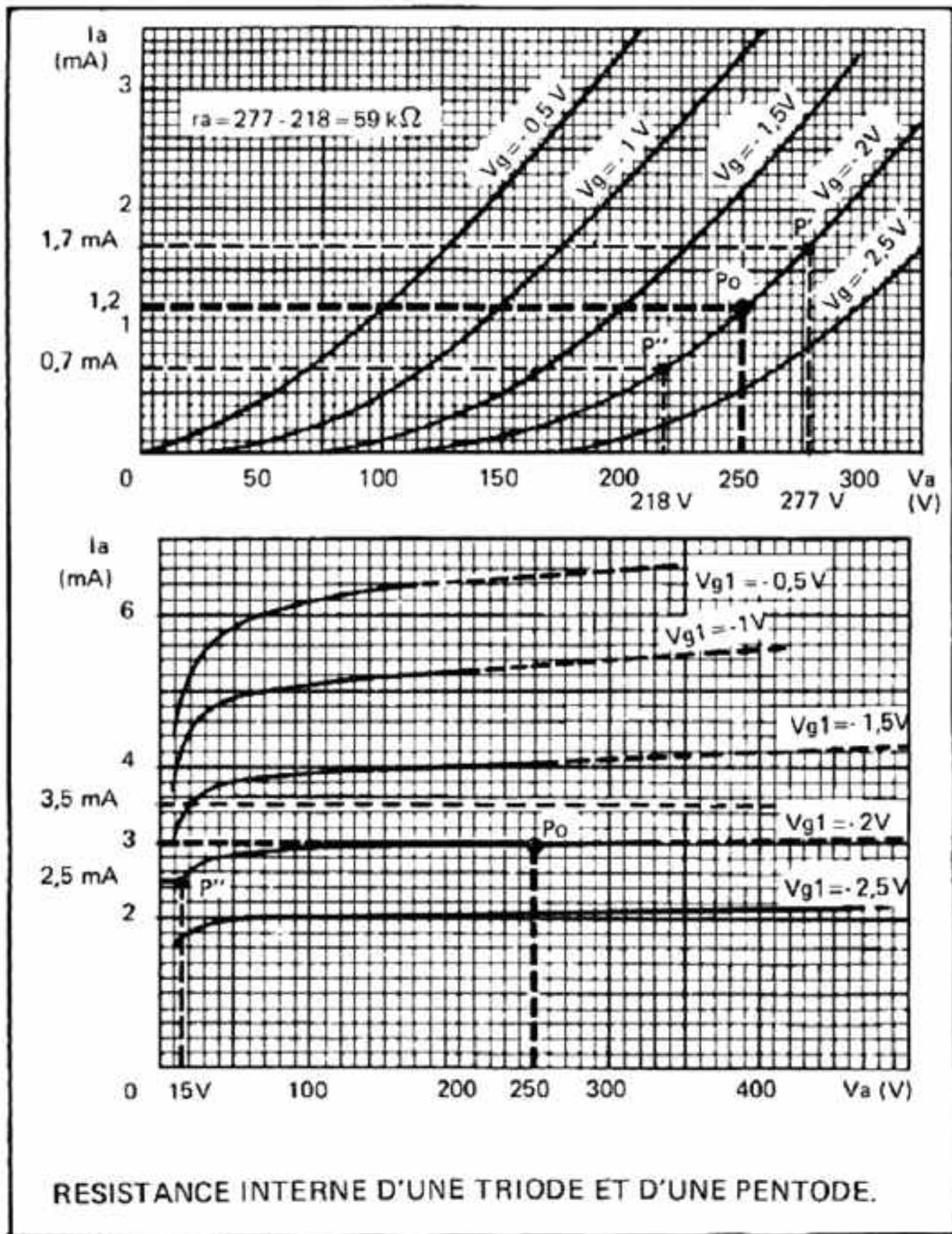


Figure 11

En effet, tandis que la résistance interne pour les triodes peut avoir au maximum une valeur de l'ordre de quelques dizaines de kilohms, elle peut atteindre pour la pentode des valeurs de l'ordre du mégohm.

On rencontre une difficulté analogue dans la détermination du coefficient d'amplification, comme on peut le constater sur la figure 12, où sont encore reportées les caractéristiques anodiques de la triode et de la pentode.

Dans ce cas, la ligne horizontale tracée depuis la point P_0 ne rencontre pas au point P'' la caractéristique de la pentode relatives à la tension de grille contrôle $V_{g1} = -2,5$ V.

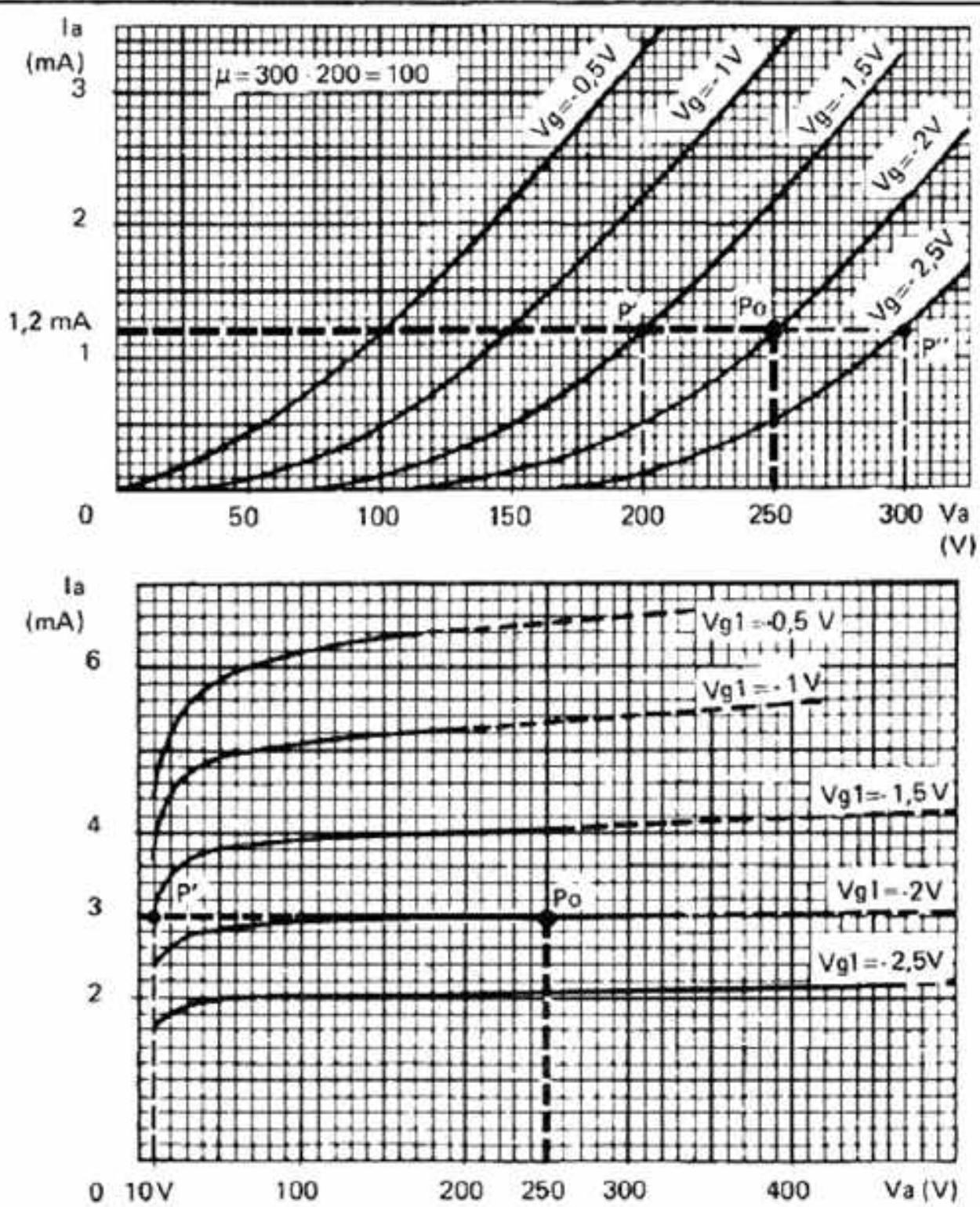
Comme cette caractéristique est presque horizontale, il faudrait pour rencontrer au point P'' la ligne horizontale tracée depuis le point P_0 , poursuivre jusqu'à des valeurs très grandes de la tension anodique.

Par conséquent, on trouverait dans ce cas aussi, une valeur élevée au coefficient d'amplification.

Ce fait est une conséquence de la valeur importante de la résistance interne de la pentode. En effet, comme le coefficient d'amplification est égal au produit de la pente par la résistance interne, si celle-ci est grande, le coefficient d'amplification est élevé.

Rappelons-nous que LA PENTODE A UNE RESISTANCE INTERNE ET UN COEFFICIENT D'AMPLIFICATION BEAUCOUP PLUS IMPORTANTS QUE LA TRIODE.

Ces deux paramètres différentiels sont très différents de ceux de la triode. Ils tiennent compte de l'influence de la tension anodique qui, comme on l'a vu, est très réduite dans la pentode, en raison de la présence de la grille écran.



COEFFICIENT D'AMPLIFICATION D'UNE TRIODE ET D'UNE PENTODE

Figure 12

La difficulté rencontrée dans la détermination graphique de la résistance interne et du coefficient d'amplification, se présente également dans la détermination expérimentale de ces paramètres, si l'on utilise pour cela les circuits décrits dans la leçon précédente pour la triode.

Il est évident en effet, que par suite de l'influence réduite de la tension anodique sur le courant anodique, il faudrait pour obtenir la variation de 1 mA du courant anodique, ou pour maintenir constant ce courant lorsque la tension de grille varie de 1 V, une variation très importante de la tension anodique.

Pour cette raison, les valeurs de ces paramètres, indiquées par les constructeurs des pentodes, sont déterminées au moyen d'appareils particuliers qui permettent de surmonter cette difficulté.

En conclusion, la grille écran de la pentode élimine les inconvénients rencontrés dans la triode, par suite de la restitution du signal de sortie sur le circuit d'entrée.

D'autre part, la grille d'arrêt élimine les inconvénients rencontrés dans la tétrode par suite de l'émission secondaire.

III - TETRODES A FAISCEAUX DIRIGES

Les inconvénients relatifs à l'émission secondaire peuvent être éliminés par un système différent, adopté dans les TETRODES A FAISCEAUX DIRIGES.

Ces tubes sont appelés tétrodes car ils comprennent quatre électrodes comme une tétrode normale, mais ils se comportent comme une pentode grâce à la disposition particulière de ces électrodes.

En réalité, une tétrode à faisceaux dirigés possède deux PLAQUES DE CONCENTRATION disposées entre la grille écran et l'anode, comme on le voit sur la figure 13-a, illustrant la constitution de ce tube.

Les plaques de concentration sont toujours reliées à la cathode, à l'intérieur même du tube (voir figure 13-b).

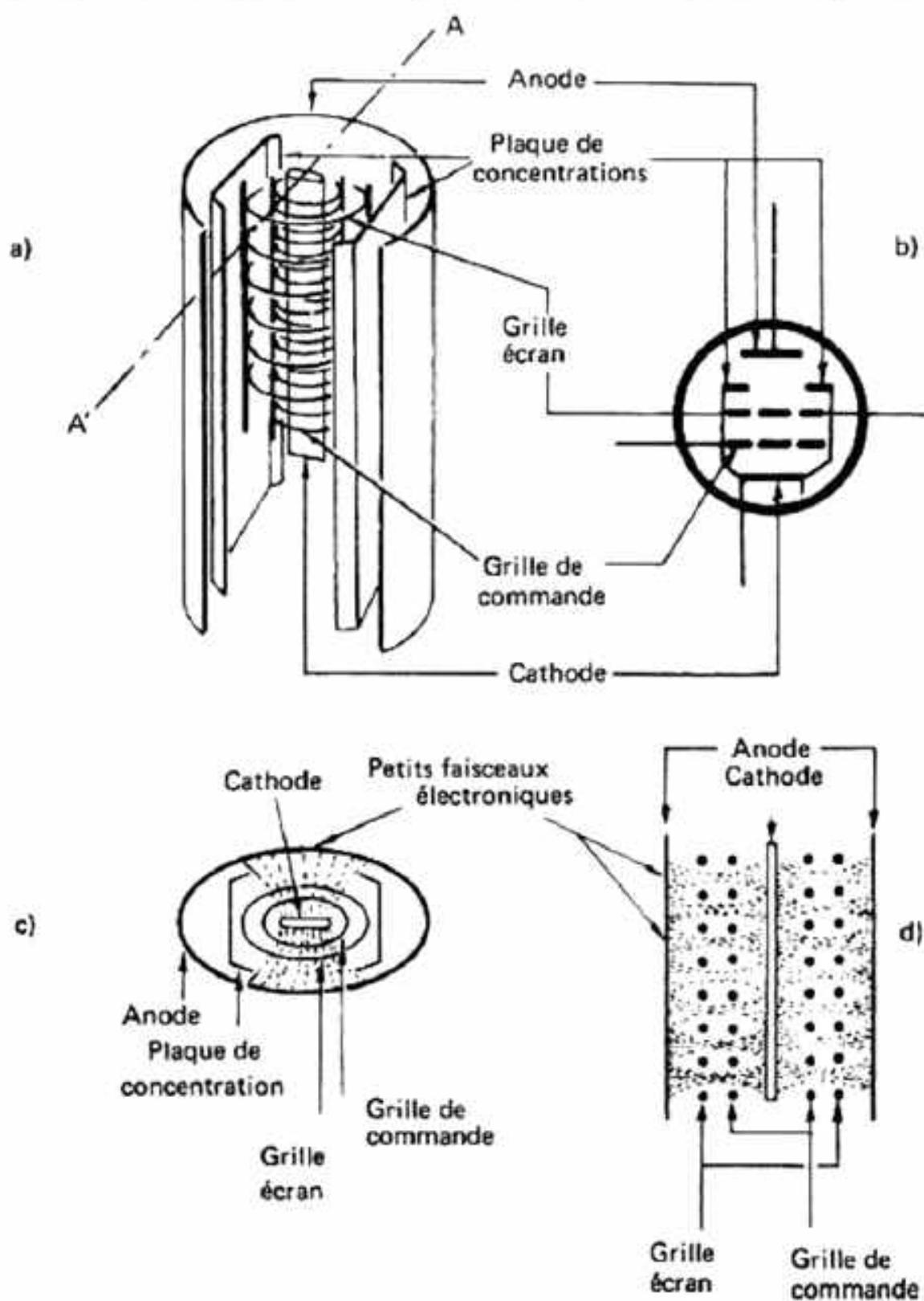
En observant la tétrode par le haut, les électrodes apparaissent comme sur la figure 13-c.

Grâce à la présence des plaques de concentration, les électrons qui sortent de la cathode sont concentrés en petits faisceaux électroniques qui atteignent une zone assez limitée de l'anode.

Ce phénomène est favorisé par la forme particulière de la cathode. La section de celle-ci n'est pas circulaire, mais presque rectangulaire, de façon à présenter une plus grande superficie, perpendiculairement à la direction des électrons.

Si l'on coupait la tétrode selon la ligne A-A' (figure 13-a), chacune des deux parties ainsi obtenue, observée latéralement, se présenterait comme on le voit sur la figure 13-d, où les points indiquent les sections des spires des deux grilles.

On doit aussi noter que les spires de la grille de commande correspondent aux spires de la grille écran. Ainsi, si l'on regarde de la cathode vers l'anode, les spires de la seconde grille sont invisibles, car elles sont cachées derrière les spires de la première.



TETRODE A FAISCEAUX DIRIGES.

Figure 13

En raison de cette disposition, les électrons qui se déplacent vers l'anode sont contraints de se réunir en plusieurs petits faisceaux, comme sur la figure 13-d.

La formation de plusieurs petits faisceaux électroniques, réalisés par les plaques de concentration et par la disposition des grilles que l'on vient de décrire, permet d'obtenir, dans l'espace compris entre la grille écran et l'anode, une concentration d'électrons importante.

Ces électrons donnent lieu à une charge spatiale négative capable de repousser sur l'anode les électrons secondaires.

La tétrode à faisceaux dirigés se comporte donc comme une pentode. Ses caractéristiques anodiques ont donc une allure très proche de celle de la pentode, comme on peut le voir figure 14.

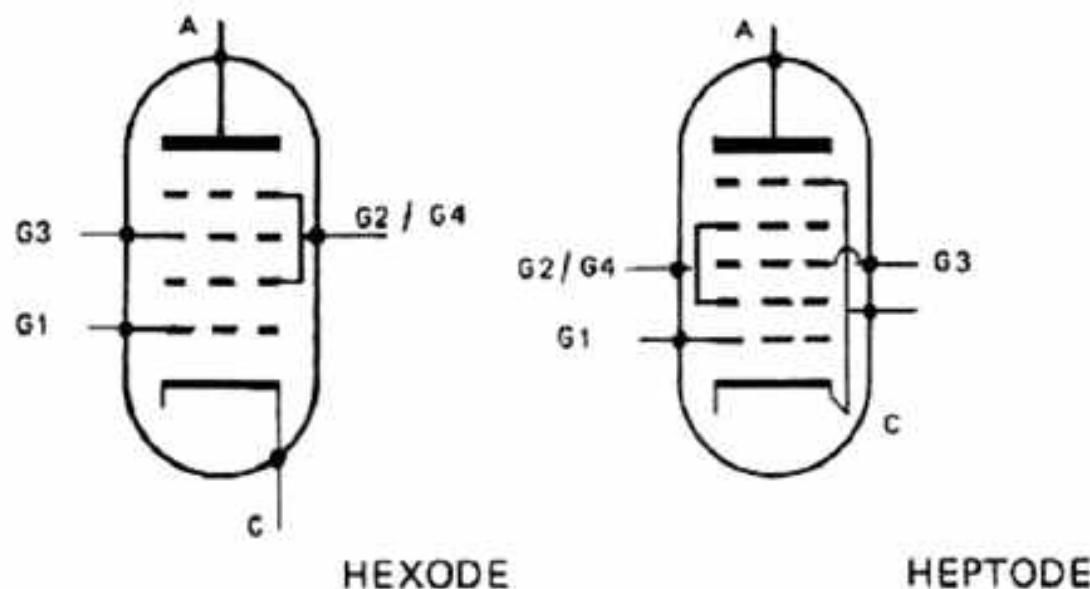
Ces caractéristiques concernent le tube tétrode à faisceaux dirigés 6AQ5, de type américain.

La disposition particulière des spires des deux grilles de la tétrode à faisceaux dirigés a également l'avantage de réduire sensiblement le courant de grille écran.

En effet, seuls quelques électrons peuvent arriver sur la grille écran, car cette électrode, par rapport à la cathode d'où proviennent les électrons, est cachée derrière la grille de commande.

Mentionnons enfin deux autres types un peu particulier de tubes électroniques : l'HEXODE et l'HEPTODE.

L'HEXODE comprend 6 ELECTRODES et l'HEPTODE 7 ELECTRODES.



La première constitue une modification de la TETRODE, mais ici G1 et G3 constituent DEUX GRILLES DE COMMANDE, sur lesquelles on peut APPLIQUER DEUX SIGNAUX DIFFERENTS.

Quant à la seconde, il s'agit d'une modification de la pentode, G1 et G3 constituant également DEUX GRILLES DE COMMANDE.

Ces tubes sont essentiellement utilisés en MELANGEUR DE FREQUENCES.

Dans l'HEXODE G2 et G4 forment des GRILLES ECRAN et sont reliées au + HT.

Dans l'HEPTODE G2 et G4 sont également des grilles ECRAN.

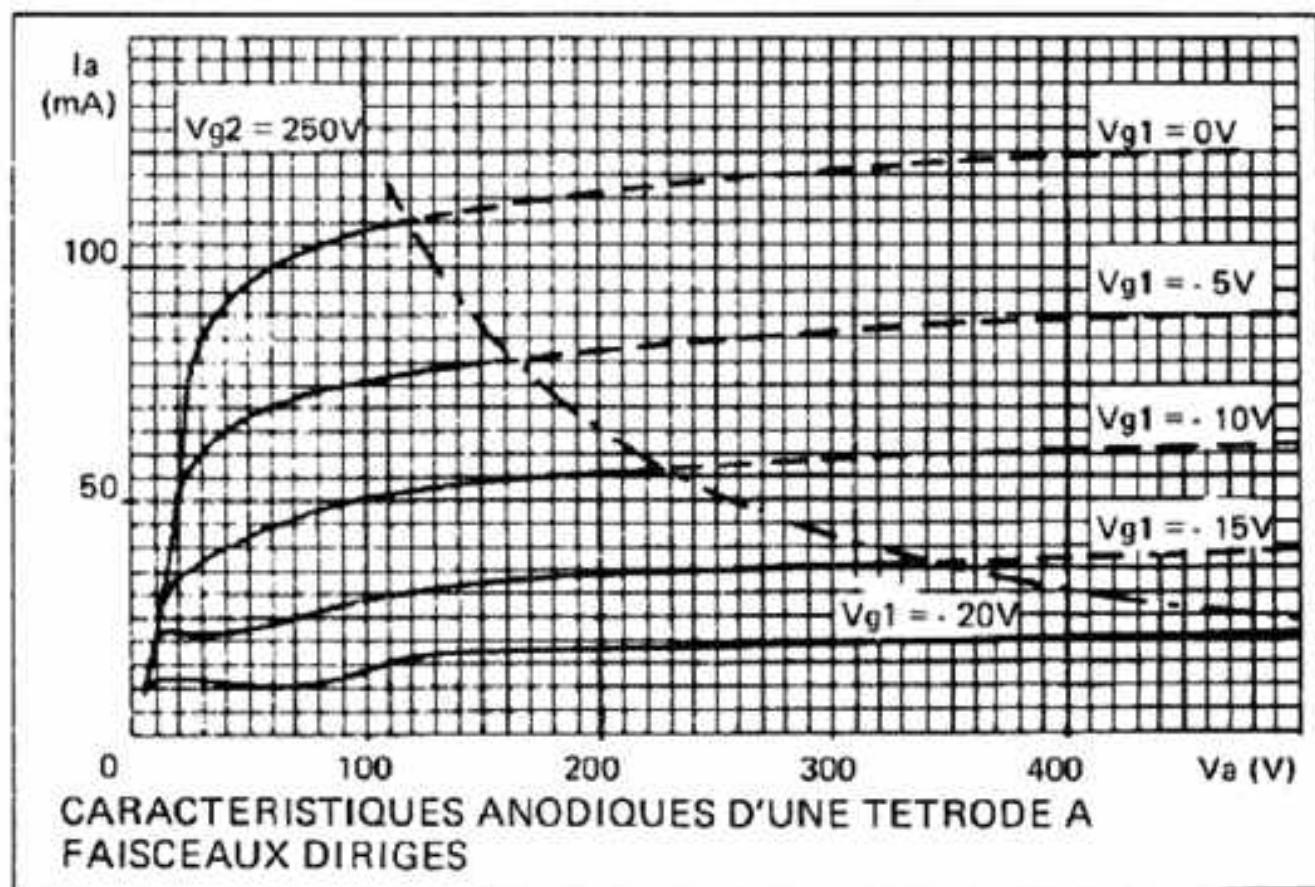


Figure 14

On trouve surtout ces tubes dans l'étage d'entrée des récepteurs de radio (ETAGE CHANGEUR-MELANGEUR DE FREQUENCE).

IV - TUBES MULTIPLES

La diode, la triode, la pentode et la tétraode à faisceaux dirigés, sont les types fondamentaux de tubes électroniques utilisés en électronique.

Toutes les fois que de petites puissances sont en jeu, comme c'est le cas par exemple, dans les récepteurs de radio, il est possible de réunir dans une même ampoule, deux ou plusieurs tubes de même type ou de type différent.

On réalise ainsi des TUBES MULTIPLES.

En étudiant le redressement du courant alternatif, on a déjà vu que l'on utilise des doubles diodes à cathode unique.

On construit aussi des doubles diodes à cathodes séparées. Chaque cathode émet dans ce cas des électrons pour une anode particulière. Ces tubes sont représentés sur les schémas par le symbole graphique de la figure 15-a.

On trouve également des doubles triodes, formées de deux triodes distinctes de même type (figure 15-b).

La figure 15-c représente le symbole graphique d'un tube multiple qui comprend deux diodes, une triode et une cathode unique.

Enfin, la figure 15-d représente le symbole graphique d'un tube multiple très utilisé, la triode-pentode.

V - ALIMENTATION DES TUBES

Tous les tubes électroniques étudiés jusqu'à présent sont du type à chauffage indirect, étant munis d'une cathode. Ainsi, leurs filaments peuvent être alimentés avec le courant alternatif provenant du transformateur d'alimentation.

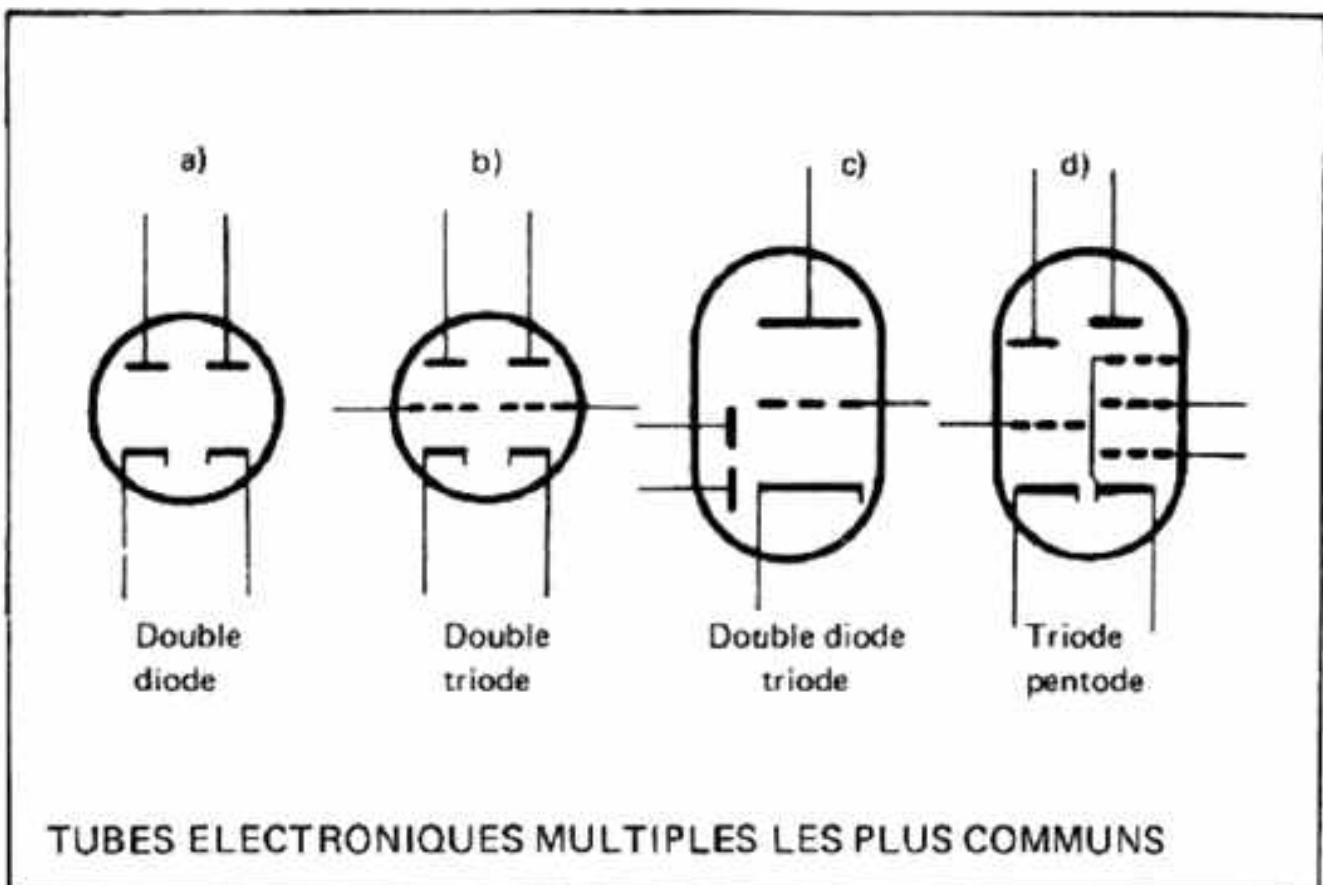


Figure 15

Rappelons que dans le cas de tubes à chauffage direct, il serait nécessaire d'avoir recours à un générateur de courant continu.

Maintenant que l'on a étudié le phénomène de l'amplification, on peut comprendre ce qui se produirait si l'on chauffait le filament d'un tube sans cathode, avec un courant alternatif.

Dans ce cas, le filament servant de cathode, il en résulterait que le potentiel appliqué entre cathode et grille ne serait pas constant.

Puisque la tension secteur a une fréquence de 50 Hz, et varie entre la valeur zéro et la valeur maximum positive ou négative deux fois durant chaque période, le potentiel entre grille et filament varierait de la même façon entre une valeur maximum et une valeur minimum 100 fois par seconde.

L'émission électronique varierait donc également avec une fréquence de 100 Hz, et le tube serait alors traversé par un courant variable de même fréquence (exactement comme si un signal de 100 Hz était appliqué à l'entrée du tube).

Dans le circuit anodique, on obtiendrait ainsi non seulement le signal injecté sur la grille de commande, mais aussi, en superposition, un signal de 100 Hz, qui produirait un ronflement inopportun.

Il faut noter que dans le cas des tubes à chauffage indirect, les variations de la tension secteur n'ont aucune influence.

Il suffit de penser, en effet, que n'importe quel corps, après avoir été chauffé, met un certain temps pour perdre la chaleur reçue. La température de ce corps diminue lentement, et pour cette raison, on dit qu'il présente une inertie thermique.

Le filament lui aussi, du fait de son inertie thermique, conserve une partie de la chaleur reçue, durant les instants où le courant prend la valeur zéro.

Sa température ne subit donc que des variations peu sensibles, qui n'ont aucune influence en pratique.

Cette inertie thermique permet de comprendre qu'il est possible de chauffer les tubes munis d'une cathode, isolée du filament, à l'aide de la tension alternative du secteur.

Dans ce cas, en effet, la tension appliquée au filament du tube n'a aucune influence sur le potentiel qui existe ENTRE CATHODE et GRILLE. Celui-ci ne dépend que de la tension de polarisation normalement appliquée.

Observons enfin que, dans les circuits étudiés jusqu'à présent, on a toujours supposé que la tension H.T était fournie par une batterie.

En réalité, comme on le verra dans la prochaine leçon théorique, la tension HT est obtenue à partir d'un redresseur, suivi d'un circuit de filtrage.

D'après les explications précédentes, on comprend pourquoi cette tension doit être filtrée avec soin. Il convient en effet d'éliminer la composante alternative du secteur, qui pourrait provoquer des ronflements (si, sous l'effet de la composante alternative du secteur, la HT varie, elle fait varier le courant anodique 100 fois par seconde, et il en résulte un ronflement important).

Une petite variation de la HT est toutefois acceptable, particulièrement dans le cas de la pentode, car, comme nous l'avons vu, la variation de la tension anodique ne fait que très peu varier le courant anodique.

VI - LA POLARISATION

Dans les leçons théoriques consacrées aux tubes électroniques, nous avons vu que pour un fonctionnement normal de ceux-ci il fallait que :

- a) L'ANODE soit portée à un POTENTIEL POSITIF par rapport à la CATHODE.
- b) La GRILLE soit portée à un POTENTIEL NEGATIF par rapport à la CATHODE ou autrement dit que la CATHODE SOIT POSITIVE par rapport à la GRILLE.

Dans ces leçons, pour faciliter dans un premier temps les explications, nous avons toujours POLARISE la grille à l'aide d'une pile.

Bien que ce système soit correct, il n'est pas employé en pratique, car il conduit à introduire dans le montage un composant volumineux (la pile), présentant en outre l'inconvénient de se détériorer dans le temps.

En effet, une pile est un élément "qui s'use" et même si le courant fournit est très faible (ce qui est le cas pour la polarisation de grille ne nécessitant qu'un courant extrêmement faible) la pile se détériore lentement (même "si l'on ne s'en sert pas").

Il est par ailleurs très facile de POLARISER la grille sans source d'énergie supplémentaire, autre que celle nécessaire pour l'ALIMENTATION DE L'ANODE.

Deux systèmes de POLARISATION sont donc employés couramment.

Il s'agit de la POLARISATION AUTOMATIQUE et de la POLARISATION par COURANT GRILLE.

VI - 1 - POLARISATION AUTOMATIQUE

Avec le procédé de POLARISATION AUTOMATIQUE, il suffit d'utiliser une simple résistance et un condensateur, pour que la GRILLE soit à un POTENTIEL NEGATIF par rapport à la CATHODE.

La figure 16 représente le schéma pratique adopté.

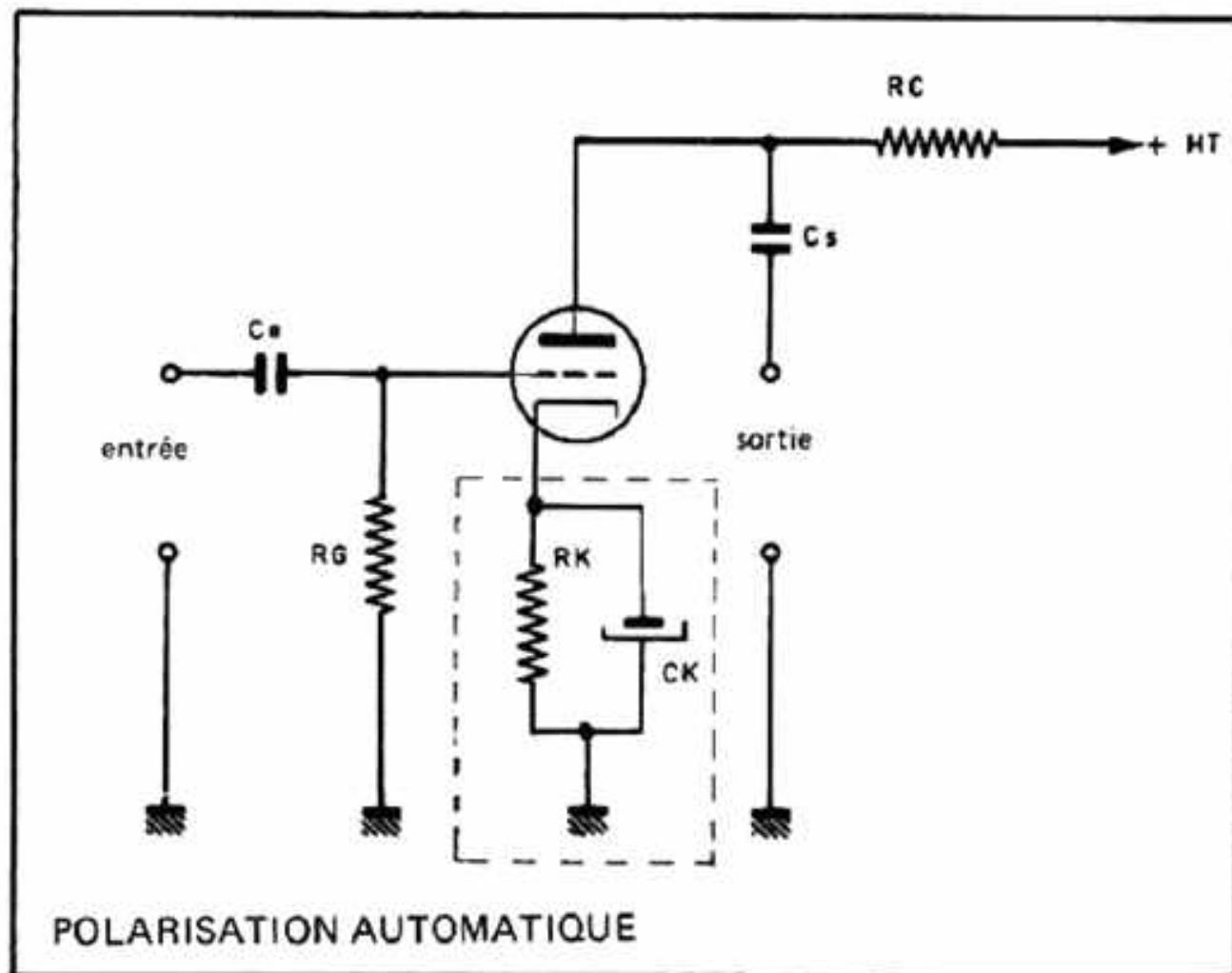


Figure 16

Dans cet exemple, le tube triode utilisé en amplificateur de tension est monté avec les éléments suivants :

Ce : CONDENSATEUR D'ENTREE. Celui-ci a pour rôle de transmettre à la GRILLE le signal variable d'entrée, tout en bloquant l'éventuelle composante continue qui pourrait exister.

C'est le cas par exemple, lorsque le montage comporte deux tubes en série, (figure 17).

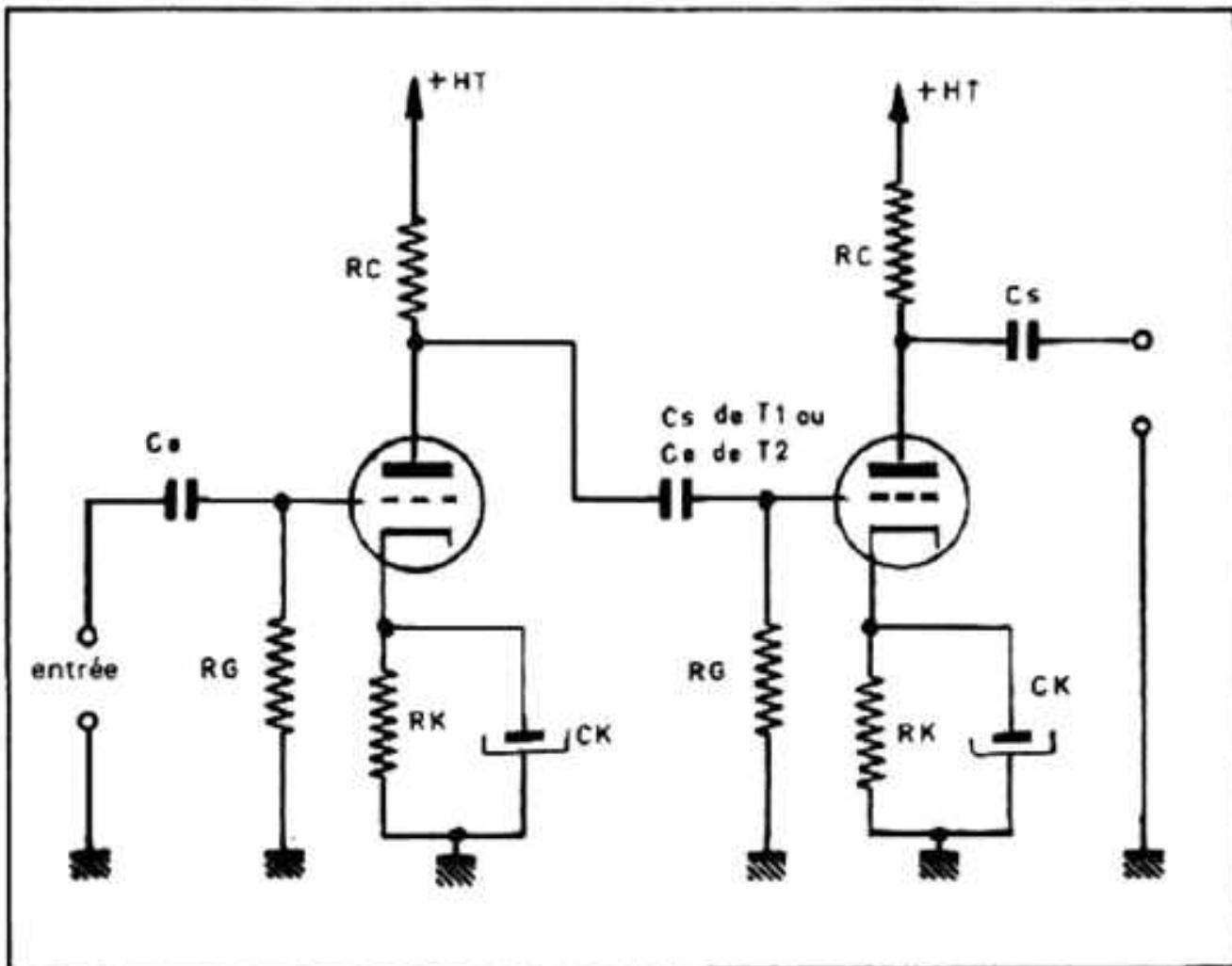


Figure 17

On voit alors que C_e est confondu avec C_s .

En effet, C_s (condensateur de sortie de T1) transmet le signal de sortie à T2, tout en bloquant la tension continue d'anode de T1. Ainsi C_s sert de condensateur de sortie pour T1 et de condensateur d'entrée pour T2.

Mais revenons au schéma de la figure 16.

RG : RESISTANCE de GRILLE (on dit aussi RESISTANCE DE FUITE DE GRILLE).

Cette résistance n'a pour rôle que de fixer le potentiel de grille et plus exactement de ramener la GRILLE A LA MASSE, c'est-à-dire à zéro volt.

Pour cette liaison, on ne peut pas évidemment relier directement la grille à la masse, car dans ce cas, le SIGNAL D'ENTREE serait court-circuité.

Pour une raison que nous verrons dans le chapitre suivant, on ne peut pas non plus utiliser une résistance de valeur trop importante.

Généralement on trouve donc pour RG une valeur comprise entre 100 et 470 k Ω . Nous verrons d'ailleurs dans les formulaires, comment calculer cette valeur qui n'est cependant jamais très critique dans un amplificateur.

RC : RESISTANCE DE CHARGE. Vous connaissez déjà le rôle de ce composant: c'est la résistance qui fait apparaître les variations de tension sous l'effet des variations de courant du tube, variations qui dépendent de la tension de grille.

RK-CK : RESISTANCE de cathode et CONDENSATEUR DE CATHODE. Sur le schéma de la figure 16, ces deux éléments sont représentés dans un cadre en pointillés, car il s'agit des deux composants assurant la polarisation.

Voyons le fonctionnement du montage ; à cet effet suivons les explications à l'aide du schéma de la figure 18, reproduisant le circuit de la figure 16.

Supposons que le courant de repos du tube (courant du tube sans signal d'entrée) soit de 10 mA (0,01A).

L'ANODE (dont le circuit de charge n'a pas été représenté, celui-ci n'intervenant pas dans le fonctionnement de la POLARISATION AUTOMATIQUE) est normalement alimentée en HT (par exemple + 250 volts).

Donc, DES LA MISE SOUS TENSION LE TUBE COMMENCE A DEBITER, la grille étant à un potentiel nul par rapport à la cathode.

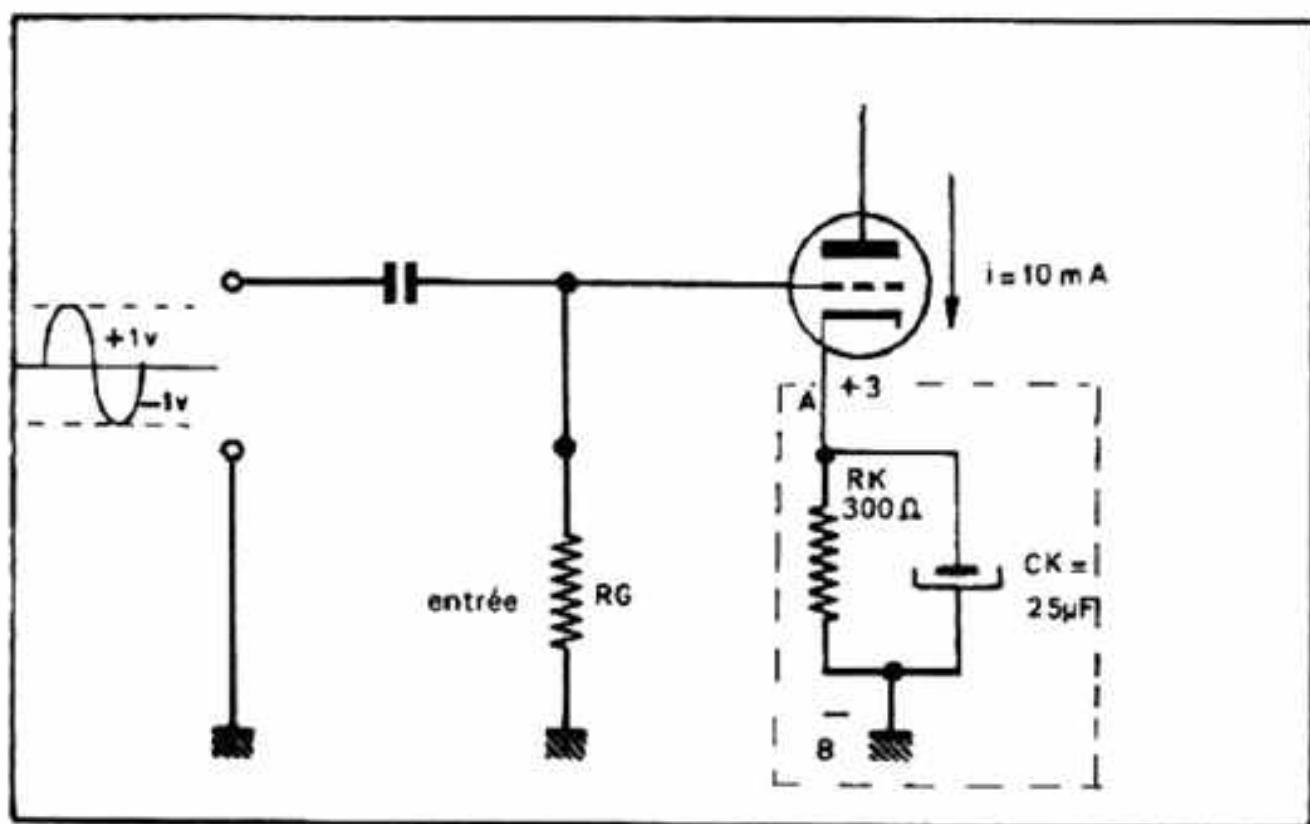


Figure 18

Dans ces conditions, le tube arriverait rapidement à la SATURATION si cette condition de fonctionnement se maintenait.

Mais, dès que le tube commence à débiter, le courant circule de l'ANODE vers la masse (sens CONVENTIONNEL).

Pour atteindre la masse, ce courant doit traverser la RESISTANCE RK = 300Ω .

Il en résulte une CHUTE DE TENSION aux bornes de RK.

En effet les CHARGES POSITIVES (sens conventionnel) s'accumulent au point A, RK représentant un obstacle.

La tension qui apparaît alors au point A peut se calculer à l'aide de la formule :

$$U = RI \text{ c'est-à-dire}$$

$$300 \times 0,01 = 3 \text{ volts}$$

Dans ces conditions nous avons :

CATHODE = + 3 volts

GRILLE = 0 volt

La GRILLE se trouve donc bien à un POTENTIEL NEGATIF PAR RAPPORT à la CATHODE.

Celle-ci servant de POINT DE REFERENCE pour les mesures, on considère qu'elle se trouve à zéro volt et l'on dit que la grille est à - 3 volts PAR RAPPORT A LA CATHODE.

Ceci est rigoureusement vrai, car on peut sans rien changer, écrire :

CATHODE = + 3 V

CATHODE = 0 V

GRILLE = 0 V

GRILLE = - 3 V

Dans les deux cas, la grille se trouve bien à - 3 Volts par rapport à la CATHODE.

Que se passe-t-il maintenant en présence d'un signal d'entrée ?

Supposons que ce signal d'entrée soit celui illustré figure 18.

Lors de L'ALTERNANCE POSITIVE de ce signal, la grille qui était à zéro volt, sera porté au potentiel de +1 V.

LA GRILLE SERA ALORS A - 2 VOLTS PAR RAPPORT A LA CATHODE.

En effet :

$$+ 1 - (+3) = -2 \text{ Volts}$$

Lors du passage de l'alternance positive à l'alternance négative, la grille repassera à zéro volt et descendra à 1 volt.

LA GRILLE SERA ALORS A - 4 VOLTS PAR RAPPORT A LA CATHODE.

En effet :

$$-1 - (+3) = -4 \text{ Volts}$$

Bien entendu cette progression se fait dans le temps et suit fidèlement l'allure du signal d'entrée.

Cela signifie que la grille passe de 0 volt à 0,1 - 0,2 - 0,3 Volt...etc, atteint 1 Volt puis, le signal d'entrée commençant à décroître, redescend vers 0 volt en passant par 0,9 - 0,8 -- 0,7 volt, etc...

La même progression se poursuit lors de l'alternance négative du signal d'entrée.

Tel quel, ce système n'est pas, théoriquement du moins, satisfaisant.

En effet, dans l'exemple donné, on considère que la CATHODE reste toujours à + 3 Volts.

C'est évidemment faux, car si le "débit de repos" est de 10 mA, ce qui donne bien $300 \times 0,01 = 3$ volts, ce DEBIT AUGMENTE LORSQUE LA GRILLE DEVIENT MOINS NEGATIVE par rapport à la cathode et DIMINUE lorsque la GRILLE DEVIENT PLUS NEGATIVE PAR RAPPORT A LA CATHODE.

Par exemple si le débit varie entre 6 et 14 mA, la TENSION POSITIVE DE CATHODE varie entre :

$$300 \times 0,006 = + 1,8 \text{ volt et}$$

$$300 \times 0,014 = + 4,2 \text{ volts}$$

Mais ce n'est pas grave ; en effet pour maintenir la CATHODE à un POTENTIEL POSITIF CONSTANT DE + 3 volts, il suffit de monter en PARALLELE sur RK, un condensateur de forte valeur capacitive (donc un condensateur ELECTROCHIMIQUE) généralement comprise entre 25 et 100 μF .

Ce condensateur se trouve CHARGE à +3 volts (tension aux bornes de RK).

Lorsque cette tension a TENDANCE A AUGMENTER sous l'influence d'une AUGMENTATION DU COURANT, le condensateur ABSORBE ce courant (c'est-à-dire se charge).

Inversement, lorsque la tension A TENDANCE A DIMINUER sous l'influence d'une DIMINUTION DU COURANT, le condensateur se DECHARGE.

Ainsi, grâce au condensateur absorbant toute augmentation du courant ou restituant celui-ci lorsque le courant du tube diminue, LA TENSION AUX BORNES DE RK, CONSERVE UNE VALEUR CONSTANTE.

On peut ici établir une comparaison entre le rôle du condensateur CK et le rôle du condensateur de filtrage dans un circuit de redressement de la tension alternative.

Dans les deux cas, le condensateur élimine (ou du moins diminue considérablement) les variations de la tension.

On peut d'ailleurs déjà noter à ce sujet que le fait que la TENSION de CATHODE ne soit pas rigoureusement constante et suive les variations du courant du tube, donc les variations du signal d'entrée, non seulement ne constitue pas un inconvénient grave, mais que cet effet est souvent volontairement recherché.

En effet lors de ces variations, tout se passe comme si l'on REDUISAIT la valeur du signal d'entrée.

Dans l'exemple donné, on a +3 volts sur la cathode en condition de repos, avec un débit de 10mA.

Lorsque sous l'influence d'un signal d'entrée et plus précisément lors de l'alternance positive de celui-ci, la grille passe à + 1 volt, le courant du tube passe de 10 à 14 mA et la tension de cathode passe de + 3 volts à :

$$300 \times 0,014 = + 4,2 \text{ volts}$$

Cela revient à dire que la grille est plus négative, donc que l'influence de la tension positive du signal d'entrée se fait moins sentir.

Inversement, lorsque sous l'influence de l'alternance négative du signal d'entrée, le courant passe de 10 à 0,006 mA, la tension de cathode passe de + 3 volts à :

$$300 \times 0,006 = + 1,8 \text{ volt}$$

Cela revient à dire que la grille est moins négative, donc que l'influence de la tension négative du signal d'entrée, se fait moins sentir.

Or, le fait de réduire la valeur du signal d'entrée se traduit par une AMPLIFICATION MOINS GRANDE, mais aussi par une restitution plus fidèle du signal de sortie par rapport au signal d'entrée.

En effet, plus l'AMPLIFICATION est élevée, plus LES RISQUES DE DISTORTIONS sont grands.

Aussi, dans certains montages, on supprime purement et simplement le condensateur CK.

Par cette opération on obtient une CONTRE REACTION D'INTENSITE qui diminue le taux d'amplification mais AMELIORE LA REPRODUCTION BF.

Nous aurons d'ailleurs l'occasion d'en reparler par la suite.

VI - 2 - POLARISATION PAR FUITE DE GRILLE

Outre la POLARISATION AUTOMATIQUE, obtenue par insertion d'une résistance entre CATHODE et MASSE, on peut, lorsque la POLARISATION nécessaire au fonctionnement du montage est relativement faible, c'est-à-dire en pratique toutes les fois que le signal d'entrée est lui-même de faible valeur, adopter un système de POLARISATION dit par FUITE DE GRILLE.

Comme nous venons de le dire, ce système ne convient que pour des polarisations assez faibles, en présence de signaux d'entrée eux-mêmes faibles, ne risquant donc pas de porter la GRILLE à un POTENTIEL POSITIF par rapport à la CATHODE.

Le schéma de la figure 19, représente le circuit, très simple, de POLARISATION PAR FUITE DE GRILLE.

Dans ce montage, la cathode est reliée directement à la masse.

Par contre, la résistance R_G qui ordinairement a une valeur maximum de l'ordre de $470\text{ k}\Omega$, est ici d'environ $10\text{ M}\Omega$.

Comment fonctionne le circuit ?

Comme vous le savez, les électrons émis par la cathode vont vers l'anode (sens électronique) en passant à travers les "mailles" de la grille.

En grande majorité, ces électrons atteignent l'anode, mais QUELQUES ELECTRONS, INEVITABLEMENT RENCONTRENT SUR LEUR CHEMIN LA SPIRALE CONSTITUANT LA GRILLE.

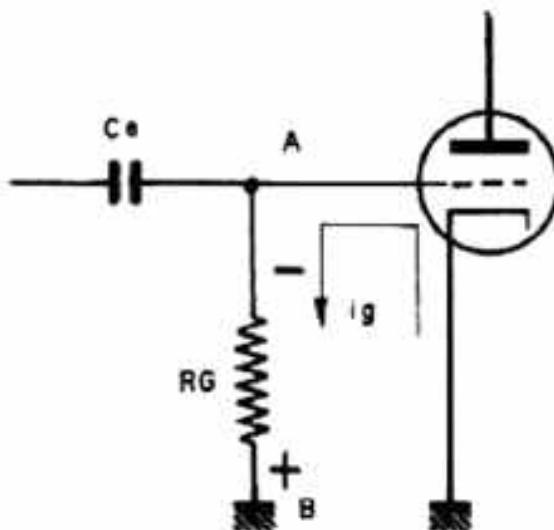


Figure 19

Ces électrons, captés par la grille, doivent pour rejoindre la masse, circuler dans le sens indiqué par la flèche ig sur le schéma de la figure 19 (ig = courant grille).

Notez bien que ce phénomène se produit dans tous les tubes, quel que soit le montage adopté, mais le nombre des électrons captés par la grille étant très faible, ceux-ci ne produisent qu'un courant insignifiant, donc négligeable dans le cas d'une résistance de grille de valeur moyenne, ce qui est généralement le cas.

Par contre, lorsque RG à pour valeur $10 \text{ M}\Omega$, ce courant fait naître aux bornes de la résistance, une TENSION qui bien que faible, peut assurer la polarisation du tube.

En effet, pour rejoindre la masse, les électrons doivent traverser RG . Celle-ci comme toute résistance, représente un obstacle.

Donc, LES ELECTRONS S'ACCUMULENT AU POINT A, qui de ce fait devient PLUS NEGATIF que le point B.

Avec ce type de polarisation on peut atteindre une TENSION NEGATIVE de l'ordre de 2 volts environ.

Avec une résistance de $10 \text{ M}\Omega$, calculons quelle est la valeur du courant nécessaire pour obtenir ces deux volts.

Il suffit pour cela d'appliquer la Loi d'Ohm.

$$I = U/R = 2/10.000.000 = 0,0000002 \text{ A soit } 0,02 \mu\text{A}$$

Nous avons bien ainsi :

$$U = RI = 10.000.000 \times 0,000.0002 = 2 \text{ volts}$$

On comprend que l'on puisse dans la plupart des cas, négliger un courant aussi faible que $0,02 \mu\text{A}$, ce qui explique que le plus souvent on explique le fonctionnement des tubes électroniques en considérant comme nul le COURANT GRILLE.

Dans le cas d'une résistance R_G de valeur normale, soit $500 \text{ K}\Omega$ un courant de $0,02 \mu\text{A}$ engendrerait une tension de :

$$U = RI = 500 000 \times 0,000 000 2 = 0,1 \text{ volt}$$

Cette tension est elle-même négligeable, compte tenu que dans la majorité des applications, les tubes fonctionnent avec une polarisation de grille supérieure à 1 volt (-10 volts environ pour un tube final BF d'amplificateur de radio ou de tourne-disques par exemple).

Par contre, en présence de faibles signaux d'entrée (à la sortie d'un étage de détection radio par exemple), une polarisation de l'ordre de -2 volts est suffisante et dans ces cas la POLARISATION PAR FUITE DE GRILLE est suffisante.

REMARQUE : Au sujet de la figure 18, nous avons expliqué le fonctionnement, en adoptant le SENS CONVENTIONNEL.

On peut tout aussi facilement adopter le SENS ELECTRONIQUE.

Dans ce cas, le courant circule de la MASSE vers L'ANODE.

Comme il s'agit de CHARGES NEGATIVES, celles-ci devant l'obstacle présenté par RK, s'accumulent au point B, qui devient ainsi NEGATIF par rapport au point A.

N'oubliez pas à ce sujet que lorsque l'on adopte le SENS CONVENTIONNEL, on parle de CHARGES POSITIVES alors que dans le SENS ELECTRONIQUE, on parle de charges négatives.

On peut donc adopter l'un ou l'autre SENS, sans modifier LA POLARITE DES TENSIONS apparaissant dans les circuits.

Dans la prochaine leçon, nous verrons plus en détail l'AMPLIFICATION et les DIFFERENTES CLASSES d'amplification.

NOTIONS A RETENIR

- La **TRIODE** présente une **CAPACITE INTERELECTODES** non négligeable. De ce fait il peut se produire des irrégularités de fonctionnement, surtout en présence de tensions HF.
- La **TETRODE** qui comprend **QUATRE ELECTRODES** (**CATHODE - GRILLE DE COMMANDE - GRILLE ECRAN et ANODE**) ne présente pas cet inconvénient, mais la **GRILLE ECRAN** provoque le phénomène de l'**EMISSION SECONDAIRE**, se traduisant par une irrégularité de la progression du courant *la*.
- La **PENTHODE** (ou **PENTODE**) comprenant **CINQ ELECTRODES** (**CATHODE - GRILLE DE COMMANDE - GRILLE ECRAN - GRILLE D'ARRET ou SUPPRESSEUSE et ANODE**) ne présente aucun des défauts de la **TRIODE** et de la **TETRODE**.

Dans ce **TUBE ELECTRONIQUE**, le **COURANT ANODIQUE** est pratiquement indépendant de la **TENSION D'ANODE** et **DEPEND SURTOUT DE LA TENSION DE LA GRILLE ECRAN** (pour une tension donnée de la grille de commande).

- La **PENTHODE** a une **RESISTANCE INTERNE** et un **COEFFICIENT D'AMPLIFICATION ELEVES**.
- La **TETRODE A FAISCEAUX DIRIGES** comprend **QUATRE ELECTRODES** comme la **TETRODE**, mais grâce à sa constitution particulière, se comporte comme une **PENTODE**.
- Pour réduire l'encombrement des montages on a réalisé des **TUBES MULTIPLES**, c'est-à-dire des tubes différents, compris dans une seule et même enveloppe.

On trouve principalement :

- La DOUBLE DIODE
- La DOUBLE TRIODE
- La DOUBLE DIODE-TRIODE
- La TRIODE PENTHODE
- La TRIODE HEXODE
- La TRIODE HEPTODE

- La POLARISATION AUTOMATIQUE consiste à insérer une RESISTANCE de valeur donnée entre CATHODE et MASSE, DE FACON A RENDRE CETTE ELECTRODE POSITIVE par RAPPORT A LA GRILLE.

EXEMPLE de calcul

Soit à calculer la valeur de la résistance de POLARISATION DU TUBE EL 84.

Pour ce tube le constructeur indique :

$$I_a = 50 \text{ mA}$$

$$I_{g2} = 10 \text{ mA}$$

Le courant total du tube (anode + écran) est donc de :

$$50 + 10 = 60 \text{ mA}$$

Le constructeur indique également :

$$- V_g = 7,3$$

Cela signifie que la grille doit être au potentiel de -7,3 volts par rapport à la cathode.

Pour obtenir cette tension, il suffit d'insérer entre CATHODE et MASSE, une résistance de :

$$R = U/I = 7,3/0,06 = 121 \Omega$$

Compte tenu des tolérances admises, on peut adopter une résistance de 120Ω .

Dans ce cas la TENSION entre GRILLE et CATHODE sera de :

$$U = RI = 120 \times 0,06 = 7,2 \text{ Volts}$$

valeur peu différente de celle indiquée par le constructeur.

QUELLE DEVRA ETRE LA PUISSANCE DISSIPABLE PAR CETTE RESISTANCE ?

Là encore, il suffit d'appliquer simplement la Loi d'Ohm :

$$P = RI^2 = 120 \times (0,06 \times 0,06) = 0,43 \text{ watt}$$

Par sécurité et afin que cette résistance ne s'échauffe pas on prendra une résistance de 1 watt.

VOYONS MAINTENANT LE CALCUL POUR LE TUBE ECL 805 (voir LEXIQUE DE TUBES).

Il s'agit d'un tube multiple (triode - pentode).

Pour la triode, le constructeur indique :

– $V_g = 0,8$ et $I_a = 5 \text{ mA}$

On peut dans ce cas, soit adopter la POLARISATION AUTOMATIQUE, soit la POLARISATION par FUITE de GRILLE.

Dans le premier cas on applique la formule :

$$R = U/I = 0,8/0,005 = 160\Omega$$

Puissance de la résistance :

$$P = RI^2 = 160 \times (0,005 \times 0,005) = 0,004 \text{ watt}$$

Une résistance de 1/4 de watt sera donc largement suffisante.

Avec la POLARISATION PAR FUITE DE GRILLE, comme on ignore la valeur du courant grille, on doit procéder par un essai et une mesure au voltmètre électronique.

a) On relie directement la cathode à la masse et l'on branche une résistance de $10 \text{ M}\Omega$ par exemple entre la grille et la masse.

b) On mesure au voltmètre la TENSION aux bornes de la résistance.

Si l'on trouve par exemple 1,2 Volt, cela signifie que le courant grille a pour valeur :

$$I = U/R = 1,2/10.000.000 = 0,000.000.12 \text{ A}$$

soit $0,012 \mu\text{A}$

c) Pour obtenir une polarisation de 0,8 volt, il faut donc une résistance de :

$$R = U/I = 0,8/0,000.000.12 = 6,6 \text{ M}\Omega$$

Pour la pentode, le constructeur indique :

— $V_g = 15$ volts et $I_a = 41$. $I_{g2} = 2,7$

Le courant total est donc de :

$$41 + 2,7 = 43,7$$

On applique la formule :

$$R = U/I = 15/0,0437 = 343 \Omega$$

On adopte dans ce cas, une valeur normalisée (330Ω)

Cette résistance devra pouvoir dissiper une puissance de :

$$P = RI^2 = 330 \times (0,043 \times 0,043) = 0,6 \text{ watt}$$

On prendra là encore une résistance de 1 watt.



EXERCICE DE REVISION SUR "THEORIE 17"

- 1 - Quelle est l'influence de la capacité entre la grille et l'anode d'une triode ?
- 2 - Quand on augmente la tension de grille écran d'une tétrode, le courant anodique augmente-t-il ou diminue-t-il ?
- 3 - Dans quelles conditions peut se produire le phénomène de l'émission secondaire d'anode ?
- 4 - Quel est le rôle de la grille supresseuse d'un tube pentode ?
- 5 - Le coefficient d'amplification d'un tube pentode est-il plus grand ou plus petit que celui de la triode ?
- 6 - Pour quelles raisons une tétrode à faisceaux dirigés se comporte-t-elle comme une pentode ?
- 7 - Qu'entend-on par *TUBE MULTIPLE* ?
- 8 - Pourquoi un tube à chauffage direct ne peut-il pas être chauffé avec une tension alternative ?

