

Secret

Ministère de la Guerre.
Établissement Central
Du Matériel de la
Radiotélégraphie Militaire.

N^o 234

Notice
sur les lampes-valves à 3 électrodes
et leurs applications.

Avril 1918

- 1 -

AVANT - P R O P O S

Dès le mois d'Août 1914, le service de la Radiotélégraphie Militaire a cherché à utiliser pour les besoins militaires les lampes à 3 électrodes du genre de Forest. Les recherches scientifiques et pratiques, sont poursuivies sans relâche depuis cette époque. Elles ont permis d'obtenir d'importants résultats et de créer de nombreux types " d'appareils à lampes ", qui ont été successivement mis en service dans l'Armée française et dans les armées alliées. D'autres encore sont en cours de réalisation.

Bien que des notices spéciales aient déjà été rédigées pour chacun de ces types d'appareils, il a paru nécessaire de ne pas attendre plus longtemps pour résumer les points principaux des travaux accomplis jusqu'à maintenant, en précisant les données théoriques acquises et en présentant

un exposé d'ensemble des montages des appareils déjà en service, de manière à faciliter l'instruction du personnel et la conception de perfectionnements nouveaux.

La notice qui suit a été rédigée dans ce but. Toutes les considérations théoriques ainsi que tous les montages d'appareils qui y figurent sont dûs au personnel de la Radiotélégraphie Militaire.

Les principaux artisans de cette partie de l'œuvre de la Radiotélégraphie Militaire sont indiqués ci-après, par grades et par ordre alphabétique :

Capitaine	BREMOT	Armée active
"	JOUAUST	Ingénieur-électricien
Lieutenant	BRAUVAIS	Agrégé de physique
"	MAGE	Ingénieur-électricien
S/ Lieutenant	ABRAHAM	Professeur à la Sorbonne
"	BRILLOUIN	Agrégé de physique
"	DITTE	Ingénieur-électricien
"	GUTTON	Professeur à la Faculté de NANCY

S/ Lieutenant	ROTHE	Professeur à la Faculté de NANCY
Ajudant	LAÛT	Ingénieur-électricien
"	LEVY	- id - - id -
Sergent	M. LATOUR	- id - - id -
"	PELLETIER	- id - - id -
Caporal	CARBENAY	- id - - id -
Sapeur	BIGUET	Ingénieur des usines Grammont (LYON)
"	L. BLOCH	Docteur es sciences physiques
"	E. BLOCH	Professeur au Lycée St-Louis
"	TOULY	Ingénieur-électricien
Ingénieur bénévole	H. ARMAGNAT	Ingénieur-électricien.

La rédaction de la notice qui suit a été faite par le S/Lieutenant GUTTON.

Des suppléments seront rédigés ultérieurement.

Colonel FERRIE
Directeur Technique
de la Radiotélégraphie Militaire

Mars 1918.

CHAPITRE I

PROPRIETES ET FONCTIONNEMENT DE LA LAMPE VALVE
à 3 ELECTRODES.

1. - Emission de charges négatives par un filament
incandescent.

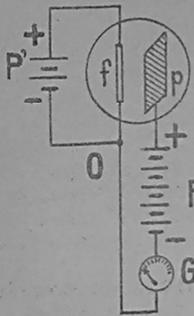


Fig. 1.

Le phénomène physique utilisé dans les lampes "valves" a été découvert par EDISON, et analysé en détail plus tard, lors des nombreuses études sur la constitution de la matière, la radioactivité, l'électro-optique.

Dans une lampe à incandescence aussi vide d'air que possible, disposons, à côté du filament (fig. 1) une plaque métallique p.

Réunissons cette plaque au pôle positif d'une pile P, et relient le pôle négatif au filament; sur le fil de jonction, intercalons un milliampèremètre G. Chauffons le filament de la lampe en y faisant passer un courant fourni par une batterie d'accumulateurs P'.

Le milliampèremètre indique que la pile P fournit un courant. Ce courant passe nécessairement de la plaque au filament dans l'espace vide d'air qui les sépare.

Nous allons très sommairement exposer comment on peut expliquer l'existence de ce courant.

Des théories modernes, d'accord avec de nombreuses expériences, ont conduit à admettre l'existence de grains immatériels très ténus d'électricité négative appelés électrons. Ces électrons sont libres à l'intérieur d'un métal et peuvent circuler entre les atomes.

Lorsqu'on réunit les deux extrémités d'un fil métallique aux pôles d'une pile pour y faire passer un courant, on entretient entre deux sections du fil une différence de potentiel et on crée, par suite, à l'intérieur de ce fil un champ électrique. Sous l'action de la force électrique les électrons se déplacent et, comme leurs charges sont négatives, ils sont entraînés en sens inverse du champ, dans le sens des potentiels croissants. De leur mouvement résulte un transport permanent de charges qui constitue le courant électrique. Le sens de ce transport est inverse de celui qu'on a l'habitude d'appeler " sens du courant ". Ce sens conventionnel, choisi autrefois, correspondrait à un transport de charges positives.

Dans les conditions ordinaires de température, les électrons ne sortent pas du métal, mais lorsque la température est très élevée, l'agitation thermique des atomes devient très intense, les électrons participent à cette agitation et un certain nombre d'entre eux peut être émis à l'extérieur.

C'est ce qui arrive dans l'expérience que nous venons de décrire, des électrons sortent du filament chauffé au blanc de la lampe à incandescence. La plaque p de la lampe, étant portée par la pile P à un potentiel plus élevé que le filament, ces électrons se trouvent dans un

champ électrique; sollicités par la force électrique, ils se déplacent, en sens inverse de celle-ci, vers la plaque et y transportent des charges négatives. Ce sont les électrons qui transportent les charges à l'intérieur vide d'air de l'ampoule.

Le courant se ferme à travers la pile P et le milliampèremètre G. La pile P fournit l'énergie nécessaire à l'entretien du courant.

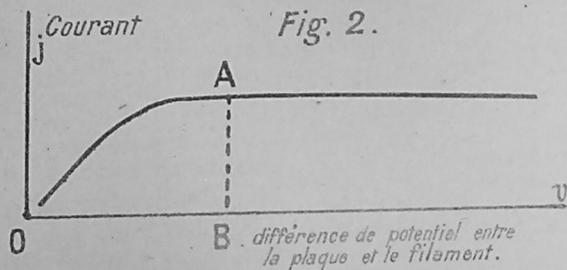
Cette énergie est en grande partie dissipée en chaleur dans la lampe, on constate, en effet, que la plaque s'échauffe et peut être portée au rouge si la force électromotrice de la pile est assez grande et la température du filament assez élevée.

2. - Courant de Saturation.

Cherchons comment varie l'intensité du courant lorsqu'on augmente le nombre d'éléments de la pile P, ce qui accroît la différence de potentiel entre la plaque et le filament.

Pour les différences de potentiel faibles, l'intensité du courant augmente d'abord linéairement, l'augmentation devient ensuite moins rapide et le courant se fixe enfin à une valeur constante. Il ne croît plus lorsqu'on continue à ajouter des éléments à la pile.

La courbe de la figure 2 représente, en fonction de la différence de potentiel entre la plaque et le filament, l'intensité du courant.



On donne le nom de " courant de saturation " au courant constant dont l'intensité est représentée par l'ordonnée AB.

L'existence d'un courant de saturation est facile à concevoir. Le nombre d'électrons qui, pour une température donnée, peuvent sortir du filament est limité. Ces électrons sont émis dans toutes les directions et en l'absence de champ de force électrique à l'intérieur de l'ampoule se diffusent autour du filament.

Lorsqu'en réunissant la plaque et le filament aux pôles d'une pile, on crée un champ de force électrique dans l'ampoule, un certain nombre d'électrons sont attirés vers la plaque, ce nombre augmente d'abord avec l'intensité du champ et on constate une augmentation d'intensité du courant. Lorsque la différence de potentiel entre la plaque et le filament est assez grande pour que tous les électrons émis soient captés par la plaque, le courant cesse d'augmenter et conserve la même intensité pour toutes les différences de potentiel supérieures à celle-ci.

Une augmentation de température du filament accroît le nombre d'électrons émis et le courant de saturation devient plus intense.

Les courbes de la figure 3 ont été relevées lors d'essais de lampes de la Radiotélégraphie Militaire, ayant seulement un filament et une plaque. Elles ont été tracées pour les températures du filament qui correspondent à des intensités du courant de chauffage de 0^a,58, 0^a,66 et 0^a,71, pour lesquelles les tensions aux extrémités du filament sont 3V,5, 4V,4 et 5V,1. Les intensités du courant de saturation sont respectivement 3millia, 14millia et 35millia. Celui-ci est atteint pour des différences de potentiel d'autant plus grandes que la température est plus élevée.

On remarque que pour les faibles différences du potentiel les courbes sont confondues et par suite, l'intensité du courant indépendant de la température.

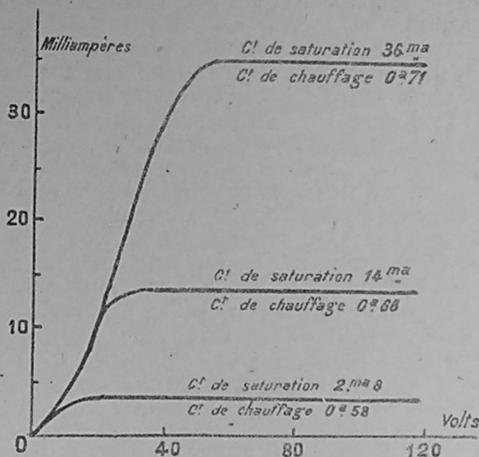


Fig. 3.

3. - Résistance apparente de l'espace filament-plaque.

Le courant n'est pas proportionnel à la différence de potentiel, l'espace entre le filament et la plaque ne se comporte donc pas comme une résistance ohmique indépendante de l'intensité du courant.

On a souvent à s'occuper de la variation très petite de l'intensité i du courant déterminée par une variation, elle-même très petite, de la différence de potentiel v . Pour ces petites variations, la lampe se comporte comme une résistance dont la valeur ρ est

$$\rho = \frac{dv}{di}$$

L'inverse de cette résistance $\frac{1}{R}$ est le coefficient angulaire de la tangente à la courbe de la figure 3, au point de coordonnées v et j .
 Pour les parties ascendantes de ces courbes, l'intensité est proportionnelle à la puissance $\frac{3}{2}$ de

la différence de potentiel, la résistance ρ à une valeur minimum de 1.500 ohms environ.
 Cette résistance augmente lorsqu'on s'approche de la saturation et devient indéfiniment grande, lorsque celle-ci est atteinte. Une augmentation de la différence de potentiel ne détermine plus d'accroissement d'intensité du courant.

4. - Lampe -valve à deux électrodes.

La lampe à deux électrodes, filament et plaque, ne laisse passer aucun courant lorsqu'on réunit la plaque au pôle négatif de la pile P. et le filament au pôle positif.

Dans ces conditions, la plaque est, en effet, à un potentiel inférieur à celui du filament, les lignes de force électrique vont du filament à la plaque, les électrons sont repoussés par celle-ci et ne peuvent l'atteindre.

La lampe constitue donc une valve, qui ne laisse passer les courants que dans un seul sens.

Si on remplace la pile P, par un appareil à force électromotrice alternative, une seule des deux alternances du courant peut passer et le courant est redressé.

Cette propriété de la valve à deux électrodes a été utilisée en Radiotélégraphie pour la détection des courants de haute fréquence d'une antenne de réception. Mais, l'emploi des lampes valves s'est surtout généralisé et les progrès qu'elles ont permis de réaliser ont surtout pris une importance capitale, lorsqu'il a été ajouté à la lampe-valve une troisième électrode.

5. - Lampe-valve à trois électrodes.

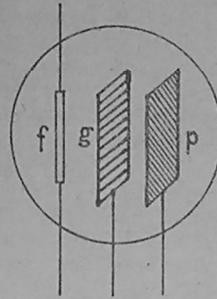


Fig. 4.

Entre la plaque p (fig.4) et le filament d'une lampe disposons une troisième électrode g constituée par un cadre métallique entre deux côtés parallèles duquel sont tendus des fils conducteurs. Cette électrode en raison de sa forme a reçu le nom de grille.

La présence de la grille modifie le champ de force électrique entre le filament et la plaque. L'importance et la nature de

cette modification dépendent du potentiel de cette grille.

Il est possible en faisant varier celui-ci de changer la forme des lignes de force électrique et l'intensité du champ à l'intérieur de l'ampoule, ce qui entraîne nécessairement des changements de trajectoire des électrons et des variations d'intensité du courant dans l'espace compris entre le filament et la plaque.

Nous verrons qu'il suffit de mettre en jeu pour modifier le potentiel de la grille, une quantité d'énergie extrêmement petite. La lampe nous fournit par suite un moyen de modifier l'intensité du courant d'une pile P même si on ne dispose pour provoquer cette modification, que d'une quantité d'énergie minime. La valve à 3 électrodes réalise ainsi un relai amplificateur d'une sensibilité exceptionnelle.

Ce relai est aussi extraordinairement fidèle car il ne comporte aucun organe mécanique.

Son inertie est tellement faible qu'il peut suivre des variations de fréquence très élevée, celle d'oscillations électriques beaucoup plus rapides que celles qu'on utilise en T.S.F. La valve à 3 électrodes conserve la faculté de fonctionner comme redresseur de courant et constitue un détecteur supérieur à la valve à 2 électrodes.

Nous verrons qu'elle sert aussi de générateur d'oscillations électriques.

6. - Sur le rôle de la grille.

Pour nous rendre compte du rôle de la grille, traçons pour divers potentiels de celle-ci, les lignes de force entre les électrodes de la lampe (fig.5); ces tracés sont figurés en l'absence d'électrons et correspondent au champ statique des électrodes.

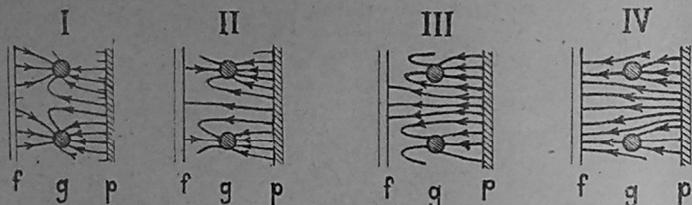


Fig. 5.

Soient *f* le filament, *g* les sections de deux fils d'une maille de grille, *p* la plaque.

Lorsque la grille est à un potentiel inférieur au filament, toutes les lignes de force issues, soit de la plaque, soit du filament aboutissent à la grille. Aucune ligne de force n'a son origine sur le filament (I).

Lorsque le potentiel de la grille s'élève, les lignes de force issues de la plaque s'approchent du filament et commencent à l'atteindre (II)

La grille arrivant au potentiel du filament, il n'y a plus de lignes de force entre la grille et le filament et le nombre de celles qui atteignent celui-ci en venant de la plaque a augmenté (III)

Enfin, lorsque le potentiel de la grille dépasse celui du filament des lignes de force issues à la fois de la grille et de la plaque atteignent le filament (IV).

La présence d'électrons entre les électrodes de la lampe modifie évidemment le champ qui serait dû aux charges statiques des électrodes. Pour les faibles intensités du champ aux environs du filament, ces électrons forment autour de celui-ci une gaine dans laquelle viennent se perdre les lignes de force issues de la plaque. Des électrons ainsi diffusés autour du filament peuvent atteindre la grille en l'absence de champ. S'il ne s'agit que de se faire une idée des causes principales des phénomènes, sans prétendre les calculer et les prévoir avec une entière rigueur, les tracés de la figure 5 pourront servir à nous rendre compte du rôle de la grille.

Lorsqu'il n'y a pas de lignes de force arrivant au filament (I), il n'y a pas de transport d'électrons de celui-ci ni vers la grille, ni vers la plaque et par suite aucun courant dans des circuits qui comprennent l'espace compris entre le filament et la grille d'une part, le filament et la plaque d'autre part.

Lorsque le potentiel de la grille s'étant élevé, des lignes de force issues de la plaque atteignent le filament (II) un courant apparaît entre le filament et la plaque. Ce courant augmente, lorsque le potentiel de la grille s'élève, celle-ci fait de moins en moins écran pour les lignes de force issues de la plaque.

Lorsqu'enfin le potentiel de la grille dépasse celui du filament (IV), des lignes de force issues à la fois de la grille et de la plaque atteignent le filament et des charges sont transportées de ce dernier à la grille et à la plaque.

On se rend ainsi compte que des variations du potentiel de la grille modifient le courant

entre la plaque et le filament.

Dans les applications de la lampe, le potentiel de la grille est, le plus souvent, peu différent de celui du filament de sorte que de petits changements du potentiel de grille, modifient d'une façon notable le champ aux environs de ce filament. Comme l'émission d'électrons vers la grille et la plaque dépend beaucoup de l'intensité du champ aux environs immédiats du filament, on obtient par de légères variations du potentiel de la grille des effets importants.

Le potentiel le long du filament n'est pas constant. De l'extrémité reliée au pôle négatif de la batterie de chauffage jusqu'à l'extrémité reliée au pôle positif, il augmente d'un nombre de volts égal à la chute ohmique de tension. Celle-ci est voisine de 4 volts pour les lampes les plus employées par la Télégraphie Militaire. Lorsqu'on élève le potentiel de la grille, les phénomènes que nous venons de décrire ne sont donc pas simultanés en face de toutes les mailles de la grille. Les courants entre le filament d'une part, la grille ou la plaque d'autre part apparaissent successivement dans toutes les mailles de grille.

7. - Courbes caractéristiques de la lampe.

L'expérience confirme ces propriétés de la lampe. Maintenons constants le potentiel de la plaque et le courant de chauffage et mesurons pour des potentiels croissants de la grille, le courant dans un circuit qui comprend l'espace entre le filament et la plaque.

Le filament étant chauffé par une batterie d'accumulateurs P' (fig.6), réunissons la plaque au pôle positif d'une pile P et par un milliampèremètre G au pôle négatif O du filament. Relions d'autre part, la grille à ce même point O. Pour modifier le potentiel de la grille, nous nous servons d'une pile P'', dont nous changerons le nombre d'éléments et le sens de la polarité. Un milliampèremètre sensible G' mesurera

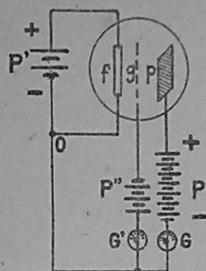


Fig. 6.

le courant entre le filament et la grille, un autre milliampèremètre G' le courant entre le filament et la plaque.

Nous constituons ainsi 3 circuits, le circuit de chauffage P'O f, un circuit fpPG que nous appellerons circuit de plaque, un circuit fgP'G' que nous appellerons circuit de grille.

Ces 3 circuits ont un point commun O dont le potentiel reste constamment celui de l'extrémité négative du filament; c'est à partir de ce potentiel que nous compterons les différences de potentiel.

Soit, par exemple, 150 volts la force électromotrice de la pile P, c'est aussi la différence de potentiel entre la plaque et le filament.

Portons d'abord la grille, en la réunissant au pôle négatif de la pile P'', à un potentiel inférieur à celui du filament, soit - 20 volts, nous n'observons pas de courant dans les circuits de grille, ni de plaque, ce qui est d'accord avec les considérations développées au paragraphe précédent.

Augmentons le potentiel de la grille, lorsqu'il atteint 16 volts, le courant dans le circuit de plaque apparaît d'abord très faible et augmente avec le potentiel de la grille pour atteindre 4,5 milliampères lorsque la pile P'' est supprimée et que la grille est au potentiel de l'extrémité négative du filament.

Le courant dans le circuit de grille, indiqué par le milliampèremètre G' commence pour un potentiel de grille très peu inférieur à celui

du point 0 mais reste extrêmement faible et n'atteint que 0,001 milliampère ou 1 microampère environ pour ce potentiel de la grille.

Lorsque la grille est au potentiel de l'extrémité négative du filament il n'y a pas de ligne de force du filament à la grille, des électrons, qui sont émis du filament avec une vitesse initiale, commencent cependant à atteindre la grille et expliquent le faible courant observé.

Portons maintenant la grille à des potentiels croissants supérieurs à celui du filament, à cet effet réunissons cette grille au pôle positif de la pile P" et augmentons le nombre des éléments.

L'intensité du courant croît dans les circuits de plaque et de grille, dans ce dernier circuit le courant à une intensité beaucoup plus faible que dans l'autre; pour la grille à + 10 volts, il est de 0, millia 05 environ, le courant de plaque étant 8, millia 5.

Le potentiel de la grille s'étant élevé à + 22 volts, le courant dans le circuit de plaque cesse d'augmenter, on a atteint le courant de saturation.

Les courbes de la figure 7 que l'on peut appeler caractéristiques de plaque et de grille de la lampe, pour le chauffage et la tension de plaque employées, sont tracées avec une échelle d'ordonnées en milliampères pour la courbe de plaque, en microampères pour la courbe de grille.

La caractéristique de plaque présente une longue région presque rectiligne, au voisinage d'une tangente d'inflexion et deux régions courbées. L'une pour les potentiels les plus bas de la grille, tourne sa concavité vers le haut, l'autre pour les plus élevés sa concavité vers le bas.

La caractéristique de grille commence aussi par une région courbée, concave vers le haut, elle devient ensuite à peu près rectiligne.

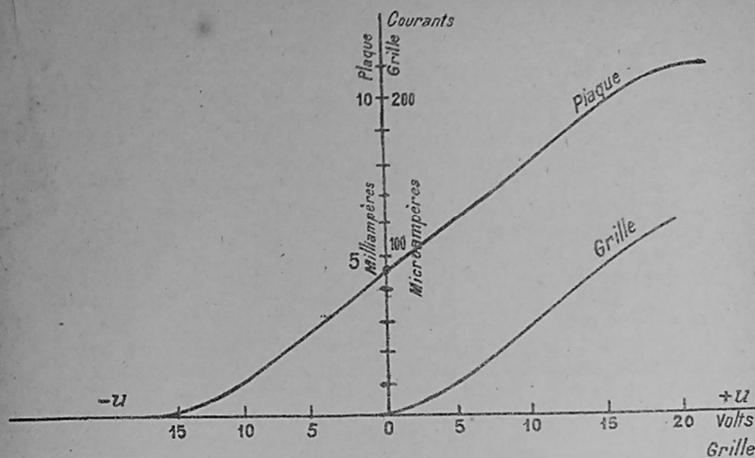


Fig. 7.

8. - Influence de la tension de plaque sur la forme des caractéristiques.

Lorsqu'on trace les caractéristiques qui correspondent à des différences de potentiel de plus en plus élevées entre la plaque et le filament, on observe que la caractéristique de plaque se déplace sans se déformer vers les abscisses négatives.

La figure 8 représente, une série de caractéristiques de plaque tracées pour des tensions de plaque de 50 à 450 volts.

Puisque le chauffage n'est pas modifié, l'intensité du courant de saturation n'est pas changée. Elle dépend, en effet, seulement du nombre d'électrons émis par le filament et par suite de sa température, mais non du potentiel de la plaque.

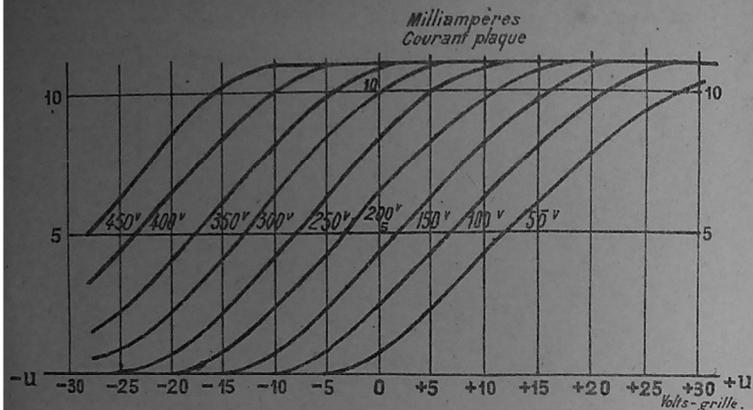


Fig. 8.

Les courbes se déplacent vers les abscisses négatives pour les tensions de plaque élevées, parce que les lignes de force issues de cette plaque atteignent le filament pour des potentiels de grille plus bas.

Le réseau de courbes de la figure 8, nous permet de trouver pour un chauffage donné, le courant de plaque en fonction des potentiels de la grille et de la plaque.

Il permet de tracer les courbes (fig.9) qui, pour un potentiel de grille donné, représentent le courant dans le circuit de plaque en fonction du potentiel de la plaque.

9. - Résistance du circuit de plaque - Facteur d'amplification.

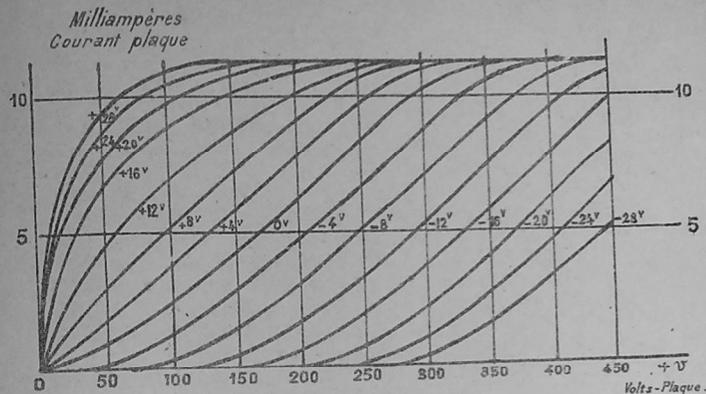


Fig. 9.

Les courbes de ces deux réseaux sont à peu près rectilignes dans d'assez larges limites. Pour les régions de très faible courbure, il est donc possible d'exprimer le courant de plaque j par une fonction linéaire du potentiel de plaque v et du potentiel de grille u .

Cette relation se présente sous la forme

$$j = av + bu - c$$

Le facteur a qui est égal à $\frac{dj}{dv}$ représente la variation du courant j pour une variation dv du potentiel de la plaque. C'est l'inverse de la résistance ρ du circuit de plaque définie comme il a été indiqué plus haut, cette résistance reste constante pour les parties caractéristiques qui correspondent aux parties rectilignes. Appelons $\rho = \frac{dv}{dj}$ la résistance du circuit de plaque.

L'équation précédente peut s'écrire

$$\rho j = v + Ku - p$$

Elle nous montre que le circuit de plaque de la lampe se comporte comme un circuit de résistance ρ , dans lequel agit une force électromotrice $v-p$, qui est celle de la pile de plaque diminuée de p et une force électromotrice supplémentaire Ku proportionnelle à la tension de grille et du même signe que celle-ci.

Une variation de tension de grille du , produit la même variation du courant de plaque qu'une augmentation K fois plus grande de la force électromotrice. Nous appellerons donc K facteur d'amplification en volts.

La variation de courant de plaque produite par une variation du du potentiel de grille serait

$$dj = \frac{K}{\rho} du$$

Le facteur $\frac{K}{\rho}$ est le facteur d'amplification en ampères. Il y a lieu de remarquer qu'il n'est ainsi défini que s'il n'y a pas de résistance autre que celle de la lampe sur le circuit de plaque, si on y ajoute une résistance R le facteur d'amplification en ampères devient

$$dj = \frac{K}{\rho + R} du$$

Les réseaux de courbes des figures 8 et 9, qui correspondent à une lampe chauffée sous une différence de potentiel de 4 volts entre les extrémités du filament, donnent pour ρ , K , et p les valeurs suivantes :

$$\rho = 24.000 \text{ ohms}$$

$$K = 10$$

$$p = 40 \text{ volts}$$

de sorte que

$$24.000 j = v + 10u - 40$$

j est exprimé en ampères.

10. - Surface caractéristique de la lampe pour une température donnée du filament.

Pour une température donnée du filament, l'intensité du courant dans le circuit de plaque j est une fonction des différences de potentiel entre la grille et le filament, u et entre la plaque et le filament v .

$$j = f(u, v)$$

Cette équation est celle d'une surface dont les sections parallèles au plan des coordonnées uj sont les caractéristiques de plaque pour différentes tensions v (fig.8).

Les sections parallèles au plan des coordonnées vj sont les caractéristiques de plaque pour différentes tensions u (fig.9).

Cette surface est tout entière comprise entre le plan des coordonnées u, v et un plan d'ordonnée OA (fig.10) égale au courant de saturation.

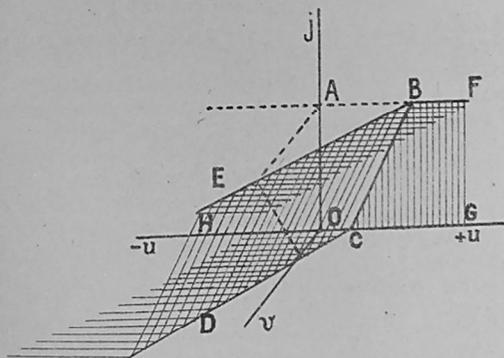


Fig. 10.

Elle présente une région peu courbée pour laquelle nous avons trouvé une équation de la forme :

$$j = v + Ku - p$$

Elle se confond donc avec la partie moyenne B C D E de ce plan.

Les sections de la surface représentées par la figure 9 montrent que cette surface passe par l'axe ou et tend pour les abscisses très grandes à se confondre avec la portion F B C G du plan des coordonnées u, j.

Elle se confond avec la région F B E du plan d'ordonnée égale au courant de saturation, et avec la région H C D du plan des coordonnées u, j.

On peut se faire une idée de la surface caractéristique en la complétant par des surfaces courbes qui raccordent entre eux ces différents plans.

11. - Influence de la température du filament sur les propriétés de la lampe. -

Recherchons maintenant comment se modifient les conditions de fonctionnement d'une lampe lorsqu'on augmente la température du filament.

Traçons par exemple (fig. 11) les courbes qui représentent les variations d'intensité du courant de plaque en fonction de la tension de grille pour une même tension de plaque mais pour des chauffages différents du filament.

Le courant commence à très peu près pour la même tension de grille; nous avons vu, en effet, que le début du courant dépend, de la forme des lignes de force électrique et de l'intensité de champ, mais est indépendant de la température du filament.

Pour les forts chauffages, l'émission d'électrons est beaucoup plus intense et l'intensité du courant de saturation beaucoup plus grande.

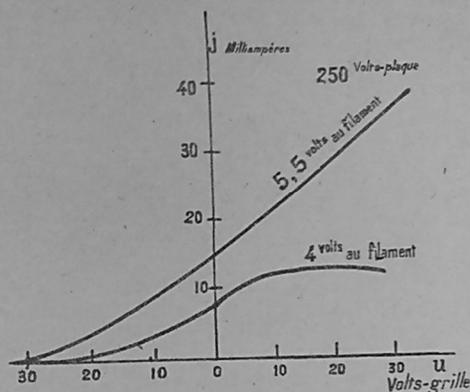


Fig. 11.

Celui-ci n'est atteint que pour des valeurs beaucoup plus considérables de la tension de grille.

Enfin, on voit sur la figure 11, que le point d'inflexion de la caractéristique correspond pour les hautes températures à une tension de grille plus élevée.

Les figures 12 et 13 représentent pour une lampe du même modèle mais pour une température plus élevée du filament, qui correspond à 5V5 entre les extrémités du filament, les mêmes caractéristiques que les figures 8 et 9. Les courants dans le circuit de plaque sont beaucoup plus intenses. L'échelle des courbes 12 et 13 est moitié de celle des courbes 8 et 9. Si pour les parties rectilignes des caractéristiques, on exprime le courant de plaque j en fonction, des tensions de grille u et de plaque v , on trouve

$$11500 j = v + 8,3 u - 100$$

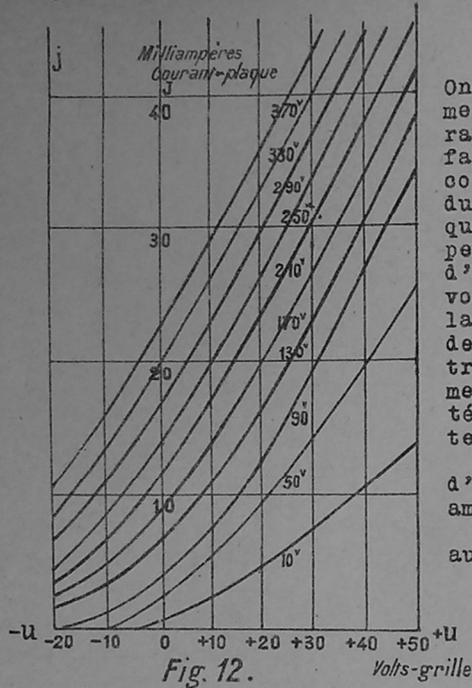


Fig. 12.

On voit que l'augmentation de température du filament fait baisser beaucoup la résistance du circuit de plaque, diminue un peu le facteur d'amplification en volts et augmente la valeur absolue de la force électromotrice supplémentaire représentée par le dernier terme de la formule.

Le facteur d'amplification en ampères $\frac{E_3}{11500}$ est augmenté.

12. - Résistance du circuit de grille.

La résistance du circuit de grille qui intervient lorsqu'il s'agit de variations très petites, est, comme nous l'avons vu pour le circuit de plaque, le rapport d'une variation de potentiel de la grille à la variation correspondante du courant. Nous avons déjà indiqué la forme de la courbe du courant, en fonction du potentiel (fig. 7). La résistance pour un point déterminé est l'inverse du coefficient angulaire de la tangente.

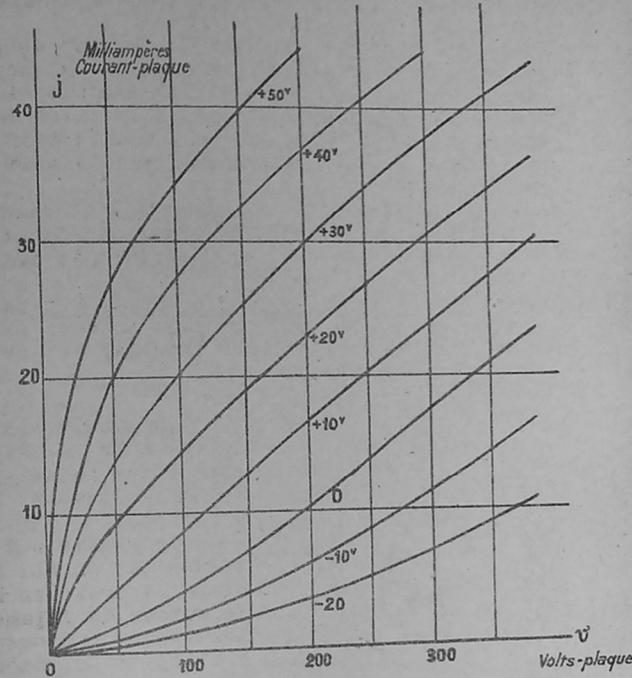


Fig. 13.

Pour la partie rectiligne de la courbe, cette résistance est plus grande que celle du circuit de plaque, dans les conditions où nous avons trouvé pour ce dernier 24000 ohms, elle est de l'ordre de 40000 ohms.

Cette résistance devient beaucoup plus considérable dans la région courbée qui correspond aux faibles potentiels de la grille et tend à devenir infinie, lorsque pour des potentiels

négatifs de la grille, le courant s'annule dans le circuit de grille.

Lorsqu'on diminue la tension de plaque le courant de grille augmente de sorte que la résistance du circuit de grille diminue si on diminue la tension de plaque. Elle passe de 80.000 ohms, par exemple, pour une tension de 80 volts à 40.000 environ pour une tension de 40 volts.

Une augmentation de chauffage diminue naturellement la résistance du circuit de grille, comme elle diminue celle du circuit de plaque.

13 Modèles de lampes de la Radiotélégraphie Militaire.

Le modèle de lampe le plus courant de la Radiotélégraphie Militaire (fig.14) est construit de la manière suivante :

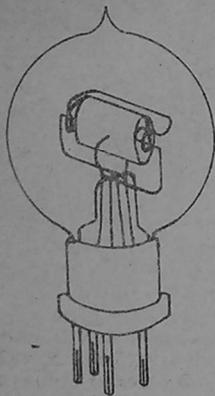


Fig. 14.

La plaque est un cylindre de nickel suivant l'axe auquel est tendu le filament de tungstène.

La grille est constituée par un fil de nickel enroulé en hélice autour du filament. Les lampes ont aussi des grilles en molybdène, métal dont la rigidité reste plus grande à haute température.

Les électrodes communiquent avec l'extérieur par le culot; 4 broches que l'on enfonce dans des douilles permettent d'établir la liaison avec les différents circuits.

Le vide dans l'ampoule est poussé aussi loin que possible.

Pour ce genre de lampes une formule de la forme

$$K = \frac{d'N \text{ Log nép. } \frac{d}{d'}}{\text{Log nép. } \frac{1}{n d''N}}$$

permet de prévoir la valeur du facteur d'amplification en volts.

N = nb. de fils de la grille par cm.

d = diamètre du cylindre de plaque.

d' = diamètre du cylindre de grille.

d'' = diamètre du fil de grille.

Voici les dimensions des petites lampes modèle de la Radiotélégraphie Militaire.

	Lampe Fotos	Lampe Métal
Plaque	Longueur 1cm,5 diamètre 1cm,0	1cm,5 1cm,0
Grille	Molybdène Longueur 1cm,6 diamètre 0cm,45 Nombre de spires 12 Pas 0cm,15 diamètre du fil 0cm,02	Nickel 1cm,9 0cm,40 11 0cm,17 0cm,03

La longueur du filament est d'environ 2cm,1. L'ampoule sphérique à 5cm,5 environ de diamètre. La tension d'alimentation normale du filament est 4 volts mais la lampe peut supporter un sur-voltage atteignant 5 volts à 5v5 aux dépens, il est vrai, de sa durée.

La tension de plaque la plus grande, compatible avec les conditions d'échauffement, est 350 volts environ.

Les caractéristiques et les données numériques dont il a été question jusqu'ici ont été relevées sur ces lampes.

Il a été établi par la Radiotélégraphie Militaire d'autres modèles de lampes plus puissants, pour lesquels les dimensions des divers organes sont plus grandes et le courant de chauffage plus élevé. Les courants de saturation sont alors plus intenses.

La construction plus robuste et divers dispositifs de refroidissement permet des élévations de température plus considérables et l'emploi de tensions de plaque allant jusqu'à 1000 volts.

Toutes ces lampes sont assez vidées pour que les centres électrisés qui interviennent dans leur fonctionnement soient presque

uniquement les électrons, et qu'il y ait très peu d'ionisation de l'air résiduel.

Ces lampes ne présentent aucun des phénomènes d'hystérésis signalés dans des lampes peu vidées et leur fonctionnement est particulièrement simple.

Le degré de vide peut être reconnu convenable de la manière suivante. Pour des tensions de grille négatives le courant du circuit de grille d'une lampe peu vidée s'inverse, le courant inverse étant transporté par des ions positifs. L'étude de ce courant permet de comparer les lampes au point de vue de leur vide et de juger de leur valeur, car il est d'autant plus faible que la lampe est mieux vidée. Il est en tous cas toujours assez peu intense pour ne pouvoir être observé qu'avec un galvanomètre sensible.

Il est seulement question ici des propriétés et applications des lampes très vidées de la Radiotélégraphie Militaire.

Il a été construit en Amérique des lampes moins vidées, dont les filaments sont peu chauffés et recouverts d'oxydes alcalino-terreux.

La présence de ces oxydes augmente l'émission d'électrons mais, à cause du vide nécessairement plus faible, les propriétés des lampes sont un peu différentes et en général plus complexes.

Nous n'avons parlé aussi que de lampes pour lesquelles la grille est constituée par un réseau de fils parallèles intercalé entre la plaque et le filament. Nous nous en tiendrons à cette forme d'électrode, presque uniquement utilisée. Mais il est facile de concevoir que tout organe, qui peut modifier le trajet des électrons sert de grille. Par exemple, il serait possible de dévier ceux-ci par un champ transversal entre les armatures d'un condensateur ou tout autre disposition analogue.

CHAPITRE II.

EMPLOI DE LA LAMPE A 3 ELECTRODES

COMME GENERATEUR D'OSCILLATIONS ELECTRIQUES.

1. - Entretien des oscillations électriques par une lampe. -

Un circuit oscillant ou une antenne, excités par des étincelles, effectuent des séries d'oscillations très amorties séparées par des temps de repos très longs vis-à-vis de la durée totale des oscillations.

Un circuit oscillant à étincelles peut donc être comparé à un pendule très amorti, mis en mouvement par une série de chocs, le temps qui s'écoule entre deux impulsions consécutives étant beaucoup plus grand que le temps pendant lequel le pendule oscille.

La lampe à 3 électrodes permet d'obtenir des oscillations électriques qui, comme celles du

pendule d'une horloge, ne sont pas amorties et conservent constamment la même amplitude.

Le pendule d'une horloge, mis en mouvement par un choc initial commande l'oscillation de l'échappement; celui-ci libère le ressort moteur qui, à chaque période, restitue au pendule l'énergie perdue pendant l'oscillation précédente.

Nous pouvons concevoir, pour des oscillations électriques une combinaison analogue : soit un circuit oscillant le long duquel une perturbation initiale a produit des oscillations. On peut se servir de ces oscillations pour faire varier périodiquement le potentiel de la grille d'une lampe. Il en résulte des variations périodiques de l'intensité du courant dans le circuit de plaque et leur fréquence est la même que celle des oscillations propres du circuit oscillant. Faisons alors induire par ce courant variable, une force électromotrice alternative dans le circuit oscillant. Cette force électromotrice peut entretenir les oscillations.

La lampe joue un rôle analogue à celui de l'échappement d'une horloge. La pile du circuit de plaque, comme le ressort moteur, restitue l'énergie perdue par le système qui oscille.

Parmi les diverses combinaisons, qui permettent d'entretenir des oscillations électriques, voici l'une des plus simples.

Soit C et L (fig.15) la capacité et la self d'un circuit oscillant. Intercalons ce circuit dans le circuit de plaque d'une lampe et portons la plaque à un potentiel supérieur à celui du filament en la reliant au pôle positif d'une pile P.

Sur le circuit de grille disposons une bobine l que nous couplons par induction avec la self L du circuit oscillant.

Chaufons le filament en y faisant passer un courant fourni par une batterie d'accumulateurs P'. Lorsqu'on allume les lampes, la pile P débite

aussitôt un courant dans l'espace compris entre le filament et la

plaque. L'intensité jo du courant qui tend à s'établir est représentée par l'ordonnée de la caractéristique (fig.16) qui correspond à la tension de grille. S'il n'y a pas de pile sur le circuit de grille cette intensité jo correspond à l'ordonnée à l'origine OA.

Nous supposons que les tensions de grille et de plaque ont été choisies de telle sorte que le point de fonctionnement A se trouve au milieu de la

branche rectiligne ascendante de la caractéristique.

L'appel de courant produit dans le circuit de plaque par l'allumage des lampes, fait naître dans le circuit oscillant une force électromotrice qui, provoque de petites oscillations.....

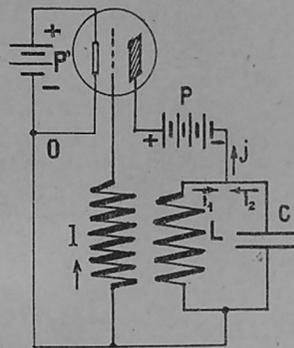


Fig. 15 .

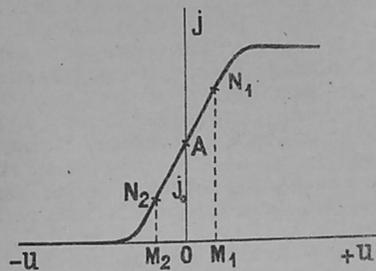


Fig. 16 .

électriques de celui-ci.

Ces oscillations induisent dans la bobine de grille l'une force électromotrice qui fait varier le potentiel de grille entre deux valeurs OM_1 et OM_2 . Le courant de plaque ne reste donc pas constant et son intensité oscille entre M_1N_1 et M_2N_2 .

Ces variations d'intensité produisent dans le circuit oscillant une force électromotrice alternative dont la période est justement la période propre du circuit. Cette force électromotrice, si elle a une phase convenable, par rapport à celle de l'oscillation primitive, augmente l'amplitude initiale des oscillations, et l'expérience montre que des oscillations stables peuvent s'entretenir.

2. - Condition d'entretien des oscillations. -

Nous nous occuperons d'abord de trouver ce que deviennent des oscillations initiales de très faible amplitude du circuit oscillant.

Le courant dans le circuit de plaque est à un instant donné, la somme d'un courant constant j_0 et d'un courant de haute fréquence j ; la différence de potentiel entre la plaque et le filament est de même la somme de la force électromotrice v_0 de la pile P, et d'une force électromotrice variable v . La différence de potentiel entre la grille et le filament est aussi la somme d'une force électromotrice constante U_0 , s'il y a une pile sur le circuit de grille et d'une force électromotrice alternative u .

En appelant ρ la résistance de la lampe, k le facteur d'amplification en volts, nous avons vu que

$$\rho (j_0 + j) = v_0 + v + k (u_0 + u) - P$$

Cette équation est valable, puisqu'il s'agit des oscillations initiales de très faible amplitude pour lesquelles le point de fonctionnement reste sur la partie rectiligne des caractéristiques.

En l'absence de toute oscillation :

$$\rho j_0 = v_0 + k u_0 - P$$

On a donc, entre le courant à haute fréquence dans le circuit de plaque et les variations de tension de la grille et de la plaque, la relation

$$(1) \quad \rho j = v + k u$$

Appelons i_1 et i_2 les courants de haute fréquence dans la self L et dans la capacité C du circuit oscillant. Nous compterons positivement ces courants dans le sens indiqué par la figure 15.

Entre les courants i_1 , i_2 et j , on a la relation

$$(2) \quad j = i_1 + i_2$$

En appelant R la résistance de la bobine L

$$(3) \quad v = -Ri_1 - L \frac{di_1}{dt}$$

Soit, d'autre part, M le coefficient d'induction mutuelle des deux bobines.

$$(4) \quad u = -M \frac{di_1}{dt}$$

Le courant i_2 a enfin une intensité

$$(5) \quad i_2 = -C \frac{dv}{dt}$$

Éliminons v , u , j et i_2 entre ces 5 équations. On obtient

$$L \frac{d^2i_1}{dt^2} + \left[R + \frac{1}{\rho} (L + kM) \right] \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C} \left(1 + \frac{R}{\rho} \right) i_1 = 0$$

Equation différentielle linéaire du second ordre. Elle nous donne le courant i_1 dans la self du circuit oscillant et nous indique, par suite, ce que deviennent les courants produits par une perturbation électrique initiale.

Nous allons discuter cette équation.

1° - Les racines de l'équation caractéristique sont réelles, si la condition suivante est satisfaite.

$$\left[R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) \right]^2 - \frac{4L}{C} (1 + \frac{R}{\rho}) > 0$$

L'intégrale de l'équation différentielle est une fonction exponentielle du temps, il n'y a pas d'oscillations. Le système est apériodique.

Si $R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) > 0,$

la fonction exponentielle est décroissante, ce qui signifie que la perturbation initiale disparaît et que le système revient à son état primitif.

Cette condition est réalisée, soit lorsque le coefficient d'induction mutuelle est positif, soit lorsqu'il est négatif et que sa valeur absolue M est plus petite que $\frac{1}{k} (L + C\rho R)$

Si, au contraire, $R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) < 0$

le courant produit par la perturbation initiale est croissant. Le coefficient d'induction mutuelle est alors nécessairement négatif et sa valeur absolue $-M$ est supérieure à $\frac{1}{k} (L + C\rho R)$.

Le courant augmenterait indéfiniment, si, la caractéristique restait rectiligne. Cette augmentation est limitée, lorsque le point de

fonctionnement atteint les régions courbes de la caractéristique pour lesquelles les conditions que nous avons supposées ne sont plus remplies.

La lampe amplifie les perturbations électriques du circuit mais celui-ci étant apériodique, il n'y a pas production d'oscillations.

2° - Les racines de l'équation caractéristique sont imaginaires si

$$\left[R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) \right]^2 - \frac{4L}{C} (1 + \frac{R}{\rho}) < 0$$

L'intégrale est alors une fonction de la forme

$$i_1 = A e^{\alpha t} \sin(\omega t + \varphi)$$

avec

$$\alpha = -\frac{1}{2L} \left[R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) \right]$$

et

$$\omega = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4L}{C} (1 + \frac{R}{\rho}) - \left[R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) \right]^2}$$

Lorsque $R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) > 0$

C'est-à-dire si M est positif ou s'il est négatif mais que sa valeur absolue $-M$ est plus petite que $\frac{1}{k} (L + C\rho R)$, α est négatif, l'exponentielle est décroissante.

La perturbation initiale fait osciller le circuit, mais cette oscillation est amortie, s'éteint et le système revient à son état primitif.

Lorsqu'enfin, les racines de l'équation caractéristique sont imaginaires et que

$$R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) < 0$$

c'est-à-dire lorsque M est négatif et que sa valeur

absolue - M est plus grande que $\frac{1}{k} (L + C \rho R)$, l'exposant α est positif, l'exponentielle est croissante.

La perturbation initiale fait osciller le circuit et l'oscillation augmente d'amplitude. Une très petite oscillation initiale augmenterait même indéfiniment, si la caractéristique de la lampe restait toujours rectiligne.

Nous verrons qu'à cause de la courbure de cette caractéristique un régime d'oscillations stables finit par être atteint. C'est ce que l'expérience confirme.

De la discussion précédente, il résulte, en résumé, que la lampe peut entretenir les oscillations d'un circuit comprenant une self et une capacité, si, le système étant périodique, la condition

$$R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) < 0$$

est satisfaite.

Cette condition, qui exige que M soit négatif et de valeur absolue - M supérieure à $\frac{1}{k} (L + C \rho R)$ est donc la condition d'entretien des oscillations.

Dans le cas limite, ou

$$R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) = 0$$

une petite oscillation initiale se conserve sans augmentation ni diminution. Un tel régime ne peut évidemment être stable, car le moindre changement des conditions électriques du circuit suffirait soit à augmenter l'oscillation, soit à la faire disparaître.

Nous appellerons condition limite d'entretien l'égalité précédente qui peut aussi s'écrire - $M = \frac{1}{k} (L + C \rho R)$

L'entretien des oscillations nécessite un coefficient d'induction mutuelle négatif entre les deux bobines. Cela signifie que l'une d'elles

étant parcourue par un courant dans le sens de la flèche (fig.15) envoie à travers l'autre un flux d'induction magnétique en sens inverse de celui qu'y produirait un courant positif.

Pour réaliser cette condition, on peut établir les connexions de la manière suivante.

Ayant couplé les bobines en les mettant bout à bout ou l'une dans l'autre, on connecte les extrémités opposées l'une à la plaque, l'autre à la grille si les bobines sont enroulées dans le même sens (fig.17) Si les bobines sont enrou-

lées en sens contraire, on connecte l'une de ces extrémités à la grille ou à la plaque et l'autre au point commun O (fig.18)

Lorsque les bobines sont disposées parallèlement l'une à côté de l'autre, le sens des connexions doit être inverse des précédents (fig.15)

Si le système est près de la limite d'entretien, une augmentation de la résistance, de la capacité ou de la self du circuit oscillant empêche les oscillations à moins qu'on augmente la valeur absolue - M du coefficient d'induction mutuelle.

Afin de nous rendre compte de l'importance relative des différentes grandeurs qui interviennent dans la condition

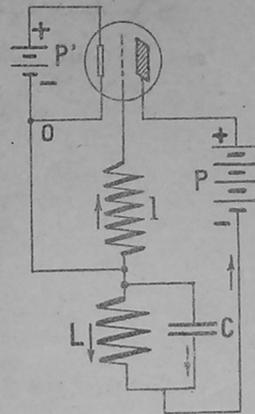


Fig. 17.

limite d'entretien, supposons une lampe pour laquelle la tension aux extrémités du filament est 5V,5, nous avons trouvé k = 8,3 et $\rho = 11500$ ohms

Imaginons un circuit oscillant de résistance 10 ohms, dont la capacité est 0m², 001 et la self 100 microhenrys. La longueur d'onde est voisine de 600 mètres. La condition d'entretien, nous donne,

$$-M > 26 \text{ microhenrys.}$$

Si la lampe était moins chauffée, si, par exemple, la tension aux bornes était de 4 volts, k serait, comme il a été indiqué, égal à 10 et ρ à 24.000 ohms, on obtiendrait

$$-M > 34 \text{ microhenrys.}$$

Si les oscillations sont à la limite d'entretien, il faut donc, pour les conserver, augmenter

le couplage des bobines lorsqu'on diminue la température du filament de la lampe.

3. - Période des oscillations. -

La pulsation des oscillations, nous a été donnée par la relation

$$\omega = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4L}{C} (1 + \frac{R}{\rho}) - \left[R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) \right]^2}$$

elle correspond à la période

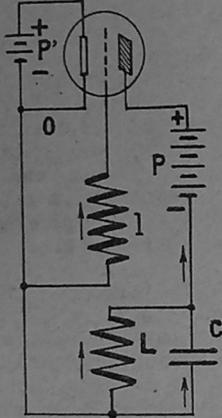


Fig. 18.

$$T = \frac{4\pi L}{\sqrt{\frac{4L}{C} (1 + \frac{R}{\rho}) - \left[R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) \right]^2}}$$

à la limite d'entretien, la période

$$T = \frac{2\pi \sqrt{LC}}{1 + \frac{R}{\rho}}$$

est extrêmement voisine de la période propre $2\pi \sqrt{LC}$ du circuit oscillant, car le rapport $\frac{R}{\rho}$ est, en général, très petit vis-à-vis de l'unité.

Si la condition d'entretien est largement satisfaite c'est-à-dire si la valeur absolue de $R + \frac{1}{C\rho} (L + KM)$ n'est pas très petite, la période

est plus longue que la période propre du circuit oscillant.

Toutes les autres conditions restant sans changement, la température du filament à une influence sur la valeur de la période, nous avons, en effet, vu précédemment qu'une diminution de température augmentait la valeur du coefficient d'induction mutuelle qui correspond à la limite d'entretien. Une diminution de température du filament rapproche donc de cette limite et produit une légère diminution de la période.

Si on introduit la valeur de la pulsation

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

dans la condition limite d'entretien, et qu'on exprime M en fonction soit de L, soit de C, on trouve

$$-M = \frac{L}{K} (1 + \frac{\rho R}{L^2 \omega^2}) \text{ ou } -M = \frac{C}{K} (\frac{1}{C^2 \omega^2} + \rho R)$$

Si donc, on décroît la période du circuit

oscillant, soit en augmentant la self, soit en augmentant la capacité, il faut, pour rester à la limite d'entretien, coupler plus fortement les deux bobines.

4. - Régime permanent d'oscillation. -

Lorsque la condition d'entretien est satisfaite, l'amplitude de l'oscillation initiale augmente. L'amplitude des variations de la tension de grille s'accroît et le point de fonctionnement A (fig. 16) oscille autour de sa position d'équilibre en se rapprochant de plus en plus, lors de son maximum d'élongation, soit de l'axe des abscisses, soit du courant de saturation. L'amplitude de variation du courant de plaque s'accroît.

Cette augmentation ne peut continuer indéfiniment. Lorsqu'en effet, le courant oscille entre deux valeurs voisines, l'une de zéro, l'autre de la saturation, un accroissement d'amplitude des oscillations ne change plus l'amplitude de variation du courant de plaque.

Puisque c'est la force électromotrice induite par le courant de plaque dans le circuit oscillant qui y entretient les oscillations, lorsque l'amplitude des variations de ce courant n'augmente plus la force électromotrice alternative qu'il induit se fixe aussi à une valeur maximum invariable et les oscillations s'entretiennent à amplitude constante.

Si l'induction mutuelle entre les bobines est peu supérieure à celle qui correspond à la limite d'entretien, l'oscillation se stabilise dès que le point de fonctionnement atteint les coudes inférieurs et supérieurs des caractéristiques, et celui-ci sort très peu des régions où les caractéristiques sont sensiblement rectilignes.

Comme les caractéristiques s'écartent peu de leur tangente d'inflexion, le long de leur branche ascendante, on se trouve lors du fonctionnement très près de la limite d'entretien dans des conditions très voisines de celles, qui seraient

réalisées, si on remplaçait les caractéristiques par des droites inclinées, limitées à l'axe des abscisses et au courant de saturation (fig. 19).

Nous allons étudier un tel fonctionnement.

Puisqu'on est très près de la limite d'entretien on peut supposer que la condition.

$$R + \frac{1}{C\rho} (L + Km) = 0$$

est très près d'être satisfaite. L'équation différentielle qui donne le courant dans le circuit oscillant se réduit alors à

$$L \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{i_1}{C} (1 + \frac{R}{\rho}) = 0$$

et admet une solution de la forme

$$i_1 = I_1 \sin \omega t$$

qui représente une oscillation pendulaire entretenue de période

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{LC}{1 + \frac{R}{\rho}}}$$

La tension alternative de grille est alors :

$$u = -M \frac{di_1}{dt} = -M\omega I_1 \cos \omega t = -M\omega I_1 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

M étant négatif, cette oscillation est en avance d'un quart de période sur le courant i_1 .

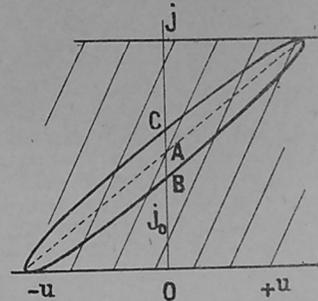


Fig. 19.

La tension de plaque est

$$v = - Ri_1 - L \frac{di_1}{dt} = - Ri_1 \sin \omega t - L \omega I_1 \cos \omega t = - I_1 \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \sin(\omega t + \varphi)$$

avec la condition

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L \omega}{R}$$

Pour les circuits à faible résistance et à grande réactance, qui sont utilisés en radiotélégraphie, l'angle φ est très voisin de $\frac{\pi}{2}$ de sorte que les tensions de plaque et de grille sont presque exactement en opposition. Lorsque la tension de grille augmente, la tension de plaque diminue.

Quant au courant alternatif du circuit de plaque, il a pour valeur

$$j = - \frac{R}{\rho} i_1 - \frac{L + KM}{\rho} \frac{di_1}{dt} = - \frac{R}{\rho} I_1 \sin \omega t - \frac{L + KM}{\rho} \omega I_1 \cos \omega t = - \frac{I_1}{\rho} \sqrt{R^2 + (L + KM)^2 \omega^2} \sin(\omega t + \psi)$$

avec la condition

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{(L + KM) \omega}{R}$$

La condition limite d'entretien donne pour $L + KM$, la valeur négative $- CR \rho$.

En posant donc:

$$\operatorname{tg} \psi' = C \rho \omega$$

$$j = - \frac{I_1}{\rho} \sqrt{R^2 + (L + KM)^2 \omega^2} \sin(\omega t - \psi') = \frac{I_1}{\rho} \sqrt{R^2 + (L + KM)^2 \omega^2} \sin[\omega t + \pi - \psi']$$

Pour une lampe de résistance 11.500 ohms un circuit oscillant de capacité 0mf,001 ou $\frac{1}{1000}$ et une longueur d'onde de 600 m qui correspond 10⁹

$$\omega = 3,14 \times 10^6$$

$$\operatorname{tg} \psi' = 36$$

Le courant de plaque est donc en avance d'un angle peu supérieur à $\frac{\pi}{2}$ sur le courant i_1 et par suite légèrement en avance sur la tension de grille. Cette avance est d'autant plus considérable que la capacité du circuit oscillant et la fréquence sont plus grandes.

On obtient la trajectoire du point de fonctionnement A (fig.19) dans le plan de coordonnées u et j, en éliminant le temps entre les expressions de cette tension et de ce courant. Cette élimination donne l'équation d'une ellipse.

$$\frac{u^2}{M^2 \omega^2} + \frac{\rho^2}{R^2} \left(\frac{L + KM}{\rho M} u - j \right)^2 = I_1^2$$

Cette ellipse de centre A coupe l'axe des ordonnées en deux points B et C dont la distance au centre est $I_1 \times \frac{R}{M}$. Elle est très aplatie, si la résistance du circuit oscillant est petite, et s'ouvre d'autant plus que cette résistance est plus grande.

Le fonctionnement très près de la condition limite d'entretien, que nous venons de décrire, est souvent recherché car c'est lui qui correspond à la plus grande intensité de courant dans le circuit oscillant. Il est possible de s'en rendre compte.

L'oscillation cesse de croître lorsque l'amplitude des variations du courant de plaque est à peu près égale au courant de saturation.

Cette amplitude maximum étant déterminée par les variations de la tension de grille, on obtiendra la plus grande intensité possible dans le circuit oscillant, si l'amplitude limite de la tension de grille est atteinte pour le plus grand courant possible.

La réalisation de cette condition amène, à diminuer autant que possible l'induction mutuelle entre les deux bobines et à fonctionner, par suite, très près de la limite d'entretien.

L'expérience confirme ces prévisions.

Si on découple les bobines, l'intensité du courant de haute fréquence augmente, puis tombe brusquement et l'oscillation cesse lorsqu'on atteint le plus petit couplage compatible avec l'entretien.

Si, comme nous l'avons supposé, le point de fonctionnement initial A (fig.16) est au milieu de la branche ascendante de la caractéristique, l'intensité maximum du courant de haute fréquence dans le circuit de plaque est égale à l'intensité j_0 du courant de plaque lorsqu'il n'y a pas d'oscillations.

Puisque nous avons trouvé pour l'intensité maximum à haute fréquence dans le circuit de plaque

$$\frac{I_1}{\rho} \sqrt{R^2 + (L + KM)^2 \omega^2}, \text{ l'équation}$$
$$j_0 = \frac{I_1}{\rho} \sqrt{R^2 + (L + KM)^2 \omega^2}$$

nous donne une limite supérieure de l'intensité du courant dans le circuit oscillant.

$$I_1 = \frac{\rho j_0}{\sqrt{R^2 + (L + KM)^2 \omega^2}}$$

Elle correspond au fonctionnement à la limite d'entretien pour lequel

$$L + KM = - C \rho R$$

La pulsation étant d'autre part très voisine de

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

La limite supérieure ainsi obtenue peut par suite se mettre sous la forme

$$I_1 = \frac{j_0}{R} \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{L} + \frac{1}{\rho^2}}}$$

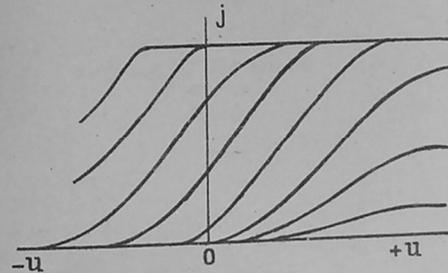
Cette intensité limite est en raison inverse de la résistance R et d'autant plus grande que la self du circuit oscillant est plus grande ou la capacité plus petite.

Le terme $\frac{1}{\rho^2}$ est très petit vis-à-vis de $\frac{C}{L}$.

Cette formule indique que l'intensité I_1 devrait décroître lorsqu'on augmente la capacité du circuit oscillant, or souvent l'expérience conduit au résultat opposé. Cela tient à ce que l'intensité peut être limitée non seulement par l'amplitude du courant de plaque comme nous l'avons supposé, mais aussi par l'amplitude de la tension de plaque.

Nous avons admis, que les variations de tension de plaque déplaçaient la caractéristique sans la déformer et que le courant de saturation était toujours atteint quelque soit la tension de plaque. Cette hypothèse cesse d'être valable pour les tensions de plaque inférieures à celle qui est nécessaire à l'obtention du courant de saturation.

Si on trace des caractéristiques pour des tensions de plaque très faibles, on observe que le courant de plaque, même pour des potentiels



de grille élevés n'atteint plus le courant de saturation et que les caractéristiques s'abaissent considérablement (fig.20)

La tension de plaque, comme nous l'avons vu, baisse lorsque la tension de

Fig. 20.

grille augmente. Si donc le courant oscillant atteint une intensité suffisante, la tension minimum de plaque peut descendre jusqu'à celle pour laquelle le courant de saturation cesse d'être atteint.

L'intensité du courant oscillant ne peut plus augmenter puisqu'un nouvel accroissement ne contribuerait plus à augmenter le courant de plaque.

On arrive ainsi à la conclusion suivante : une limite supérieure du courant oscillant est aussi celle pour laquelle l'amplitude de variation de la tension de plaque s'approche de la force électromotrice v_0 de la pile du circuit de plaque.

Nous avons trouvé pour les variations de tension de plaque

$$v = - I_1 \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \sin(\omega t + \varphi)$$

Une autre limite supérieure du courant I_1 sera donc donnée par la relation

$$v_0 = I_1 \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

d'où

$$I_1 = \frac{v_0}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}$$

Pour le fonctionnement près de la limite d'entretien pour lequel ω est égal à $\frac{1}{\sqrt{LC}}$, nous obtenons

$$I_1 = \frac{v_0}{\sqrt{\frac{L}{C} + R^2}}$$

Cette intensité limite augmente avec la capacité C. Le terme R^2 est en général négligeable vis-à-vis de $\frac{L}{C}$. L'intensité du courant dans le circuit oscillant ne peut dépasser celle qui correspond à la plus petite des deux limites que nous venons de trouver.

Suivant les cas, l'intensité sera limitée soit par l'amplitude des variations du courant de plaque, soit par l'amplitude des variations de tension de la plaque. Calculons ces deux limites pour un circuit de capacité $0\text{mf},001$, de self-induction 100 microhenrys et de résistance 10 ohms, dont la longueur d'onde est voisine de 600 mètres.

Nous supposons les oscillations entretenues par une lampe du modèle de la Radiotélégraphie militaire dont le filament est chauffé sous une tension de 5V à 5V,5, la force électromotrice de la pile de plaque étant 300 volts. L'intensité du courant de saturation est alors 60 milliampères environ, et le courant constant de plaque jo 30 milliampères.

La résistance est $\rho = 11.500$ ohms.

L'intensité - limite obtenue par la considération des variations du courant de plaque est

$$I_1 = \frac{j_0}{R} \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{L} \times \frac{1}{\rho^2}}} = 0,95$$

qui correspond à la valeur efficace

$$I_1 \text{ eff.} = \frac{I_1}{\sqrt{2}} = 0,67$$

Les variations de tension de plaque donnent d'autre part l'intensité - limite.

$$I_1 = \frac{v_0}{\sqrt{\frac{L}{C} + R^2}} = 0,95$$

$$I_1 \text{ eff.} = \frac{I_1}{\sqrt{2}} = 0,67$$

Pour le circuit considéré, ces deux limites sont égales. L'expérience montre qu'elles sont

peu supérieures à l'intensité qu'il est possible d'obtenir dans le circuit considéré en le plaçant dans les meilleures conditions.

Nous avons choisi un circuit pour lequel les deux limites sont les mêmes, supposons maintenant qu'on double la capacité et qu'on diminue la self de moitié ce qui conserve la longueur d'onde, on trouve pour les limites précédentes 0,34 et 1,35. L'intensité est plus petite et est limitée par les variations d'intensité du courant de plaque. Si, au contraire, on diminuait la capacité de moitié et qu'on double la self les limites seraient respectivement 1,35 et 0,34, c'est alors l'amplitude des variations de tension de la plaque qui limite l'intensité.

On arrive ainsi aux conclusions suivantes, pour les circuits à grande capacité la variation de courant de plaque limite l'intensité qu'il est possible d'obtenir, pour les circuits à petite capacité c'est au contraire la variation de tension de la plaque qui intervient.

Il serait avantageux de se placer toujours dans les conditions pour lesquelles les deux limites sont les mêmes. Il est possible d'y arriver lorsque l'intensité est limitée par la tension de plaque en intercalant dans le circuit de plaque, non la totalité de la self du circuit oscillant mais seulement une partie, ce qui diminue la tension alternative de la plaque. Nous nous occuperons plus loin du fonctionnement d'un appareil ainsi construit.

R2 étant, en général, négligeable vis-à-vis de L, si l'intensité du courant oscillant est limitée par l'amplitude des variations de la tension de plaque, cette intensité est à peu près indépendante de la résistance R du circuit. Elle est, au contraire inversement proportionnelle à R, si c'est l'amplitude du courant de plaque et de la tension de grille qui limite le courant.

Cette propriété permet, lors de la construction d'un appareil, de savoir laquelle des deux

limites intervient et de régler cet appareil de façon à faire coïncider les deux limites.

Nous remarquerons enfin que pour un circuit oscillant de self et de capacité données, il y a toujours une résistance pour laquelle les deux limites trouvées pour l'intensité sont égales. Sa valeur est donnée par la relation

$$\frac{I_0}{R} \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{L} + \frac{1}{\rho^2}}} = V_0 \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C} + R^2}}$$

R2 et $\frac{1}{\rho^2}$ étant négligeables.

$$R = \frac{I_0}{V_0} \frac{L}{C}$$

Cette résistance est d'autant plus petite que la capacité est plus grande ou la self plus petite. Nous verrons que c'est pour cette résistance qu'un circuit oscillant, monté comme la figure 15 l'indique, a le meilleur rendement.

Si la capacité est faible, cette résistance est grande, mais on peut retrouver le rendement maximum pour une résistance plus faible en ne couplant pas toute la self sur le circuit de plaque.

Pour les grandes capacités, au contraire cette résistance est faible, on n'arrivera pas à satisfaire à la condition de meilleur rendement si la résistance est plus grande.

5 - Stabilité des oscillations. -

Lors du fonctionnement près de la limite d'entretien, on obtient, comme nous l'avons vu, une intensité aussi grande que possible, mais le fonctionnement est peu stable.

Il est alors nécessaire de modifier l'induction des deux bobines, chaque fois qu'on change la période du circuit oscillant.

L'allumage des lampes ne produit pas toujours une perturbation initiale suffisante pour provoquer

l'amorçage, une fermeture brusque du circuit de plaque de la lampe allumée d'avance est préférable.

Comme l'oscillation se stabilise dès que le point de fonctionnement atteint les régions courbes des caractéristiques, celles-ci ne sont utilisées que dans leurs parties à peu près rectilignes, le courant est alors à peu près sinusoïdal.

De telles conditions sont à rechercher lorsqu'il s'agit d'utiliser les oscillations aux transmissions radiotélégraphiques et d'obtenir la plus grande intensité possible dans l'antenne.

Lorsqu'au contraire des oscillations peu intenses suffisent, mais qu'on recherche la stabilité afin de pouvoir changer la période sans nouveau réglage, il y a lieu d'employer de grands couplages entre les bobines afin de satisfaire très largement à la condition d'entretien.

On construit de tels appareils pour servir d'hétérodyne, lors des réceptions de transmissions radiotélégraphiques par ondes entretenues.

Lorsqu'un appareil générateur d'ondes fonctionne très loin de sa limite d'entretien, le régime stable n'est atteint que si le point de fonctionnement va jusqu'aux régions horizontales des caractéristiques.

Les variations du courant de plaque ne restent plus sinusoïdales, et les harmoniques sont plus importants.

Si, pour de trop grands couplages, un courant de plaque de même amplitude entretient une oscillation moins intense, c'est que sa phase n'est plus aussi convenable.

6. - Courant de grille. - Lors de l'amorçage des oscillations, un ampèremètre à courant continu intercalé sur le circuit de grille indique une très grande augmentation du courant moyen.

Si, en effet, le potentiel de grille, avant l'amorçage, est égal ou inférieur au potentiel de l'extrémité négative du filament, le courant de grille est nul. Pendant les oscillations, le

potentiel de grille à chaque alternance positive dépasse celui du filament et le courant de grille augmente (fig. 21). Il ne redevient nul que pendant les alternances négatives.

On obtient dans le circuit grille, un courant discontinu dont le sens reste toujours le même.

Ce courant de grille que nous n'avons pas fait intervenir dans les raisonnements qui précèdent, est très faible et son influence peu sensible.

Un milliampèremètre à courant continu intercalé sur le circuit de grille, peut servir

à s'assurer que les oscillations sont amorcées. Il est utile lorsque l'intensité efficace du courant dans le circuit oscillant est trop faible pour pouvoir être facilement mesurée par un ampèremètre thermique.

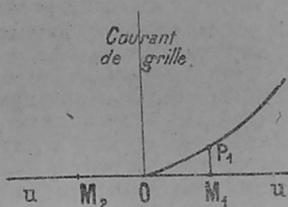


Fig. 21

7. - Courant de plaque. -

Sous avons supposé, que les tensions de grille et de plaque, le chauffage étaient réglés de telle sorte que le courant constant de plaque jo soit la moitié du courant de saturation. Le point de fonctionnement initial A (fig. 22) est alors au milieu de la branche ascendante de la caractéristique.

Lors du fonctionnement au régime permanent, le courant de plaque oscille entre une valeur à peu près nulle et le courant de saturation. La valeur moyenne de ce courant n'est donc pas modifiée par les oscillations et les indications d'un milliampèremètre intercalé sur le circuit de plaque ne

changent pas lors de l'amorçage de ces oscillations.

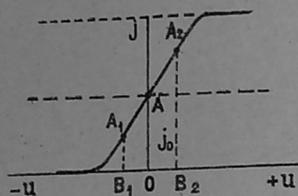


Fig. 22.

Supposons maintenant qu'ayant, par exemple, un peu diminué la tension de grille on ait amené le point de fonctionnement initial en A_1 . Le courant de plaque lorsque l'appareil n'oscille pas est inférieur à j_0 mais on constate, qu'à l'amorçage, des oscillations l'intensité moyenne du courant augmente.

L'oscillation continue à être limitée lorsque le point de fonctionnement s'approche alternativement de l'axe des abscisses et de la droite dont l'ordonnée est le courant de saturation.

Dans le cas contraire, où en élevant un peu la tension de grille, on aurait amené le point de fonctionnement initial en A_2 , le courant de plaque, lorsqu'il n'y a pas d'oscillations, est supérieur à j_0 et baisse lorsqu'on amorce les oscillations.

8. - Puissance fournie au circuit oscillant. -

Lorsque le circuit n'oscille pas, la puissance dépensée dans la lampe est le produit de la force électromotrice de plaque v_0 par le courant de plaque j_0 .

$$w_0 = v_0 j_0$$

Supposons que nous soyons dans les conditions que nous avons supposées pour rechercher le régime permanent d'oscillation; le point de fonctionnement au milieu de la branche ascendante de la

caractéristique et l'appareil réglé aussi près que possible de la limite d'entretien.

La différence de potentiel entre la plaque et le filament est alors, (page 42).

$$v_0 + v = v_0 - RI_1 \sin \omega t - L \omega I_1 \cos \omega t$$

et le courant plaque.

$$j_0 + j = j_0 - \frac{RI_1}{\rho} \sin \omega t - \frac{L+KM}{\rho} \omega I_1 \cos \omega t$$

La puissance moyenne dépensée dans la lampe devient, T étant la période d'oscillation,

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T (v_0 + v) (j_0 + j) dt$$

Cette intégrale se réduit à celle du terme constant $v_0 j_0$ et des deux termes en $\sin^2 \omega t$ et $\cos^2 \omega t$, de sorte que :

$$W = v_0 j_0 + \frac{I_1^2}{2} \left[\frac{R^2}{\rho} + \frac{L(L+KM)\omega^2}{\rho} \right]$$

Supposons l'appareil réglé très près de sa limite d'entretien, on peut admettre, approximativement, que

$$R + \frac{1}{C\rho} (L + KM) = 0$$

On obtient

$$W = v_0 j_0 + \frac{I_1^2}{2} \left(\frac{R^2}{\rho} - RCL\omega^2 \right)$$

ou enfin, puisque

$$\omega^2 = \frac{1 + \frac{R}{\rho}}{CL}$$

$$W = v_0 j_0 - \frac{RI_1^2}{2} = v_0 j_0 - RI_1^2 \text{ eff.}$$

RI_1^2 eff est la puissance dépensée dans le circuit oscillant. L'équation précédente, nous montre donc que la puissance dépensée dans la lampe diminue, lors de l'amorçage des oscillations, de la quantité dépensée dans le circuit oscillant. Quant à la puissance fournie par la pile du circuit de plaque elle ne change pas.

Ce résultat est d'accord avec le fait d'expérience suivant, la quantité de chaleur dégagée dans la lampe est beaucoup plus grande lorsque le circuit n'oscille pas que lorsque les oscillations sont amorcées.

La plaque de la lampe étant portée au rouge, lorsqu'il n'y a pas d'oscillations, redevient sombre lorsqu'on couple les bobines et qu'on amorce ces oscillations à leur maximum d'amplitude.

Nous pouvons trouver une limite supérieure du rendement d'un générateur d'oscillations réglé de manière à fournir la plus grande intensité possible. Nous avons vu que cette intensité maximum était limitée à la fois par les variations d'amplitude du courant et de la tension de plaque. Sa valeur est (page 49)

$$I_1 = \frac{jo}{R} \frac{1}{\sqrt{\frac{G}{L} + \frac{1}{\rho^2}}} = \frac{vo}{\sqrt{\frac{L}{C} + R^2}}$$

La puissance fournie par la lampe au circuit oscillant est alors

$$RI_1^2 \text{ eff} = \frac{RI_1^2}{2} = \frac{vo \cdot jo}{2 \sqrt{\left(\frac{G}{L} + \frac{1}{\rho^2}\right) \left(\frac{L}{C} + R^2\right)}}$$

$\frac{1}{\rho^2}$ et R^2 étant négligeables vis-à-vis de $\frac{C}{L}$ et de $\frac{L}{C}$.

$$RI^2 \text{ eff} = \frac{vo \cdot jo}{2}$$

$vo \cdot jo$ est la puissance moyenne fournie par la pile de plaque.

$$\frac{RI^2 \text{ eff}}{vo \cdot jo} = \frac{1}{2}$$

est donc une limite supérieure du rendement (1)

Dans cette expression n'intervient évidemment pas la puissance nécessaire pour chauffer les filaments des lampes.

La résistance d'un circuit oscillant de self et de capacité données qui correspond à cette limite du rendement est à peu près égale à

$$R = \frac{jo \cdot L}{vo \cdot C}$$

Elle est d'autant plus faible que la capacité est plus grande et la self plus petite.

(1) Pour d'autres conditions de fonctionnement que celles qui correspondent à l'intensité maximum, il est possible que le rendement atteigne de plus grandes valeurs.

Supposons, par exemple, que l'on diminue beaucoup la tension de grille, de façon à amener le point de fonctionnement initial à la partie inférieure de la caractéristique. Le courant de plaque normal est très faible.

Le courant de plaque lorsque le système oscille ne reste plus sinusoïdal, et devient une série d'impulsions courtes. Le courant moyen est alors inférieur à jo et la puissance fournie par la pile plus petite que $vo \cdot jo$. Le courant dans le circuit oscillant et la puissance RI^2 eff sont, il est vrai, diminués, mais cette diminution est plus faible que la diminution de la puissance $vo \cdot jo$ et le rendement est augmenté.

Dans tout ce qui précède nous avons supposé la résistance sur la branche - self du circuit oscillant, on arrive aux mêmes conclusions en la supposant sur la branche - capacité. La condition-limite d'entretien n'est pas modifiée et la pulsation à la limite d'entretien, donnée par l'équation,

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} + \frac{R}{P}(L + KM)\omega = 0$$

est encore très voisine de la pulsation propre du circuit.

9. - Générateur d'oscillations dans lequel la self du circuit oscillant n'est pas intercalée en totalité dans le circuit de plaque. - Antenne.

Nous avons supposé jusqu'ici que la totalité de la self du circuit oscillant était intercalée dans le circuit de plaque. Nous allons examiner, maintenant, quelles sont les conditions de fonctionnement lorsqu'on y intercale seulement une partie de la self (fig. 23)

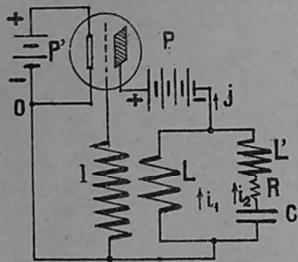


Fig. 23.

Nous supposons la résistance R en série avec la partie non couplée L' de sorte que l'ensemble de cette self, de la résistance R et de la capacité C est équivalente à une antenne reliée au pôle négatif de la pile de plaque P, la prise de terre étant connectée au point commun O.

En conservant les notations précédemment adoptées, nous pouvons écrire entre les courants i_1, i_2

et j et les tensions de grille u et de plaque v les relations

$$\rho (i_1 + i_2) = \rho j = v + Ku$$

$$v = -L \frac{di_1}{dt} = -Ri_2 - L' \frac{di_2}{dt} + v'$$

$$u = -M \frac{di_1}{dt}$$

v' étant la différence de potentiel entre les armatures du condensateur C. v' et i_2 satisfont à l'équation

$$i_2 = -C \frac{dv'}{dt}$$

En dérivant la seconde de ces relations, et en remplaçant u v et v' par leurs valeurs en fonction de i_1 et i_2 , il vient

$$\left\{ \begin{aligned} \rho (i_1 + i_2) + (L + KM) \frac{di_1}{dt} &= 0 \\ L \frac{d^2i_1}{dt^2} &= L' \frac{d^2i_2}{dt^2} + R \frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{C} \end{aligned} \right.$$

L'élimination de i_2 entre ces deux équations nous donnerait l'équation différentielle qui définit i_1 en fonction du temps. La résolution de cette équation qui est ici du 3ème ordre, nous conduirait relativement au régime d'établissement de l'oscillation à des conclusions analogues à celles que nous avons déjà développées sur un cas plus simple.

La recherche de la période et de la condition - limite d'entretien peut se faire plus simplement, il nous suffit pour les obtenir, d'après ce qui a déjà été vu, d'écrire que les équations précédentes admettent une solution de la forme

$$\begin{cases} i_1 = I_1 \sin \omega t \\ i_2 = I_2 \sin (\omega t + \varphi) \end{cases}$$

Remplaçons i_1 et i_2 par ces valeurs, et écrivons que les relations obtenues sont satisfaites pour toute valeur de t , ce qui revient à annuler séparément les coefficients de $\sin \omega t$ et $\cos \omega t$, nous obtenons :

$$\begin{cases} I_1 + I_2 \cos \varphi = 0 \\ \rho I_2 \sin \varphi + (L + KM) \omega I_1 = 0 \\ L \omega I_1 - (L' \omega - \frac{1}{C \omega}) I_2 \cos \varphi - R I_2 \sin \varphi = 0 \\ R \cos \varphi - (L' \omega - \frac{1}{C \omega}) \sin \varphi = 0 \end{cases}$$

d'où on tire en éliminant I_1 , I_2 et φ

$$\begin{cases} (L + L') \omega - \frac{1}{C \omega} + \frac{R}{\rho} (L + KM) \omega = 0 \\ R - (L' \omega - \frac{1}{C \omega}) (L + KM) \omega = 0 \end{cases}$$

La première de ces équations nous donne la pulsation ω , comme le rapport R est très petit cette pulsation a une valeur ρ très voisine de celle qui correspond à la période propre du circuit

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(L + L') C}}$$

On trouverait que cette pulsation est plus petite et par suite la période plus longue, si la condition d'entretien est, non à sa limite, mais largement satisfaite.

La seconde des équations, nous fournit la

condition limite d'entretien, en remplaçant ω par la valeur précédente, elle devient.

$$R + \frac{L + KM}{C \rho} \frac{1}{1 + \frac{L'}{L}} = 0$$

La condition d'entretien étant

$$R + \frac{L + KM}{C \rho} \frac{1}{1 + \frac{L'}{L}} < 0,$$

On retrouve la condition déjà trouvée pour $L' = 0$. On voit qu'il faut encore que $L + KM$ soit négatif, ce qui exige un coefficient d'induction mutuelle négatif dont la valeur absolue est supérieure à

$$-M' = \frac{1}{K} \left[L + CR \rho \left(1 + \frac{L'}{L} \right) \right].$$

La variation de la tension de plaque est :

$$v = -L \frac{di_1}{dt} = -L \omega I_1 \cos \omega t$$

La variation du courant de plaque

$$j = -\frac{L + KM}{\rho} \frac{di_1}{dt} = -\frac{L + KM}{\rho} \omega I_1 \cos \omega t$$

Les intensités limites du courant dans le circuit oscillant fournies soit par la considération du courant de plaque, soit par celle de la tension de plaque s'obtiennent par les relations suivantes :

$$j_0 = -\frac{L + KM}{\rho} \omega I_1 \text{ et } v_0 = L \omega I_1$$

Pour le fonctionnement près de la limite d'entretien

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(L + L') C}} \text{ et } -L + KM = CR \left(1 + \frac{L'}{L} \right)$$

On obtient donc finalement pour les valeurs limites de I_1

$$I_1 = \frac{j_0}{R} \sqrt{\frac{L}{C} \times \frac{L}{L + L'}}$$

et $I_1 = v_0 \sqrt{\frac{C}{L} \times \frac{L + L'}{L}}$

La première de ces limites est plus petite que si toute la self était sur le circuit de plaque la seconde, est au contraire plus grande.

Lorsque le circuit oscillant le long duquel ils'agit d'entretenir des oscillations à une faible capacité, et une grande self, nous avons vu que c'était l'amplitude de variation de la tension de plaque qui limitait l'intensité du courant, il y a alors lieu de n'intercaler qu'une fraction seulement de la self dans le circuit de plaque. On peut arriver ainsi à ramener les deux intensités limites à la même valeur et à faire fonctionner l'appareil à son intensité maximum et près du rendement limite $\frac{1}{2}$.

Pour un circuit de self 100 microhenrys et de capacité 0,001 microfarad dont la longueur d'onde est environ 600 mètres, nous avons montré que la condition de meilleur entretien à la limite d'accrochage était à peu près remplie si on mettait toute la self dans le circuit de plaque, ceci en supposant une lampe dont la plaque est à 300 volts et dont le courant de saturation $2 j_0$ est 60 milliampères.

L'égalité des deux limites supérieure du courant

$$\frac{j_0}{R} \sqrt{\frac{L}{C} \frac{L}{L + L'}} = v_0 \sqrt{\frac{C}{L} \frac{L + L'}{L}}$$

ou
$$\frac{L}{C} \frac{L}{L + L'} = \frac{v_0}{j_0} R$$

est en effet satisfaite pour $L' = 0$, l'intensité efficace dans le circuit oscillant est alors $0,467$ et le rendement limite $1/2$

Si, conservant la longueur l'onde, on double la self et que l'on diminue de moitié la capacité, les tensions de la plaque deviennent trop grandes et nous avons vu que l'intensité limite tombait à $0,434$.

Mais, nous pouvons encore satisfaire à l'égalité précédente en donnant à $\frac{L + L'}{L}$ la valeur $\frac{1}{4}$

c'est-à-dire en intercalant seulement le quart de la self dans le circuit de plaque, nous retrouvons l'intensité-limite $0,467$ et le rendement limite $1/2$.

On voit par là l'intérêt qu'il y a à ne mettre sur le circuit de plaque qu'une partie de la self, lorsque le circuit oscillant a une faible capacité et une grande self.

Il semblerait même que, pour une longueur d'onde donnée, il soit possible de conserver le meilleur rendement pour des capacités très faibles du circuit oscillant. Cela n'est pas exact, car il est une influence dont nous n'avons pas tenu compte, celle de la capacité entre la grille et la plaque de la lampe et de la capacité entre spires des bobines.

Si ayant diminué C, nous diminuons aussi la partie L de la self intercalée dans le circuit oscillant, nous devons continuer à satisfaire à la condition limite d'entretien, et nous sommes amenés à mettre un nombre très grand de spires sur la bobine de grille. Cela n'aurait aucun inconvénient, s'il n'intervenait aucune capacité parasite. Mais, à cause de la capacité entre spires de la bobine et de la capacité de la lampe, l'ensemble de la bobine de grille et de la lampe a une période propre qui augmente avec le nombre de tours de la bobine. Or, nous trouverons plus loin que la condition d'entretien nécessite que cette période soit plus petite que celle des oscillations entretenues par la lampe, il est par

suite impossible d'augmenter au delà d'une certaine limite la bobine de grille; pour les circuits oscillants à très faible capacité et à grande self induction, il devient impossible de se placer dans les meilleures conditions de rendement et les intensités obtenues sont plus faibles.

Les considérations développées jusqu'ici ne sont donc applicables qu'aux circuits oscillants dont le rapport de la capacité à la self est assez grand pour qu'il soit possible de négliger, comme nous l'avons fait, la capacité de la lampe.

Comme il arrive pour les circuits oscillants excités par étincelle, il est impossible, lors de la génération par des lampes, d'obtenir un bon rendement sur les circuits oscillants à faible capacité et à grande self. La raison en est la même, les tensions entre les armatures du condensateur deviennent trop grandes pour les courants intenses.

On peut, comme on le fait dans l'excitation par étincelle remédier à cet inconvénient en employant l'excitation indirecte, on entretient par une lampe des oscillations dans un circuit à grande capacité, à petite self et à résistance aussi faible que possible et on couple ce circuit avec le circuit oscillant ou l'antenne le long desquels on se propose d'entretenir des oscillations.

Un autre procédé peut consister à se débarrasser de la condition d'entretien par l'emploi d'une excitation séparée. On entretient avec une lampe L_1 des oscillations très stables et de faible intensité dans un circuit oscillant A (fig. 24). La condition d'entretien étant très largement satisfaite, on peut modifier la longueur d'onde en changeant la capacité du condensateur sans amener le décrochage des oscillations.

En mettant sur le circuit de grille d'une seconde lampe L_2 quelques spires de la self de ce premier circuit oscillant, on produit des

variations de potentiel de cette grille. Sur le

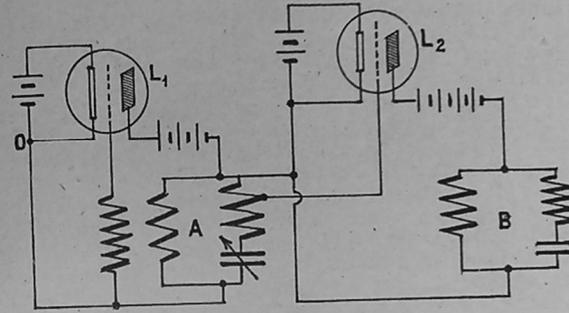


Fig. 24

circuit de plaque, on intercale le nombre de spires le plus convenable de la self du circuit oscillant B dans lequel on désire obtenir un courant de haute fréquence intense. Il est alors possible, sans amener le décrochage de régler séparément les tensions de grille et de plaque de la lampe L_2 .

Ces deux procédés que nous indiquons seulement sommairement nécessitent un réglage très précis de l'accord entre les deux circuits oscillants. C'est là un inconvénient, car ces procédés surtout favorables pour de petites antennes, le seraient aussi pour de petits postes dans l'usage desquels on recherche le plus souvent une grande simplicité de manœuvre.

Le montage d'un poste de T.S.F. à excitation séparée peut cependant être utile s'il s'agit, pour obtenir beaucoup de puissance, de coupler un grand nombre de lampes en parallèle. On

réglerait les oscillations de tension de toutes les grilles par une lampe unique et un circuit oscillant excitateur très stable.

Nous venons d'examiner le cas d'un circuit à faible capacité et grande self et de voir comment, on pourrait en ne couplant sur le circuit de plaque qu'une partie de la self retrouver un bon rendement. Dans le cas d'un circuit à grande capacité mais à self insuffisante, on ne peut employer un artifice analogue et on est obligé de réduire la résistance pour obtenir le fonctionnement le plus favorable. C'est le cas des circuits oscillants constitués par une grande capacité et un cadre à une seule spire. Comme le rayonnement de ce cadre est faible, on arrive à se placer dans de bonnes conditions en réduisant beaucoup la résistance ohmique. On construira donc le cadre avec des lames ou des tubes de grande surface.

10. - Couplage entre la grille et la plaque par une capacité. - Influence de la capacité de la lampe.

Nous avons signalé l'influence de la capacité entre la grille et la plaque de la lampe. Nous allons étudier plus complètement cette question et traiter en même temps le cas plus général d'entretien des oscillations lorsqu'on couple la plaque et la grille par un condensateur.

Ce couplage peut même être employé seul indépendamment du couplage par induction.

Disposons, en effet, entre les extrémités des bobines L et Λ (fig. 25) un condensateur γ . Lorsque le circuit oscille, la dérivation formée par ce condensateur et la bobine Λ est parcourue par un courant de haute fréquence d'intensité i_3 et la tension de grille est égale à la force électromotrice $-\Lambda \frac{di_3}{dt}$. On peut donc par ce moyen

comme par une induction mutuelle faire conduire la tension de grille par le courant oscillant et entretenir des oscillations. Nous avons vu que la

tension de grille et la tension de plaque devaient être à peu près en

opposition, cette condition est réalisée, si la dérivation formée par le condensateur et la self Λ est au-dessus de la résonance. Le courant i_3 pour le sens indiqué sur la figure est alors en retard d'un quart de période sur la tension de plaque et la force électromotrice $-\Lambda \frac{di_3}{dt}$

en retard d'une demi-période sur cette tension.

Rien n'empêche d'utiliser simultanément le cou-

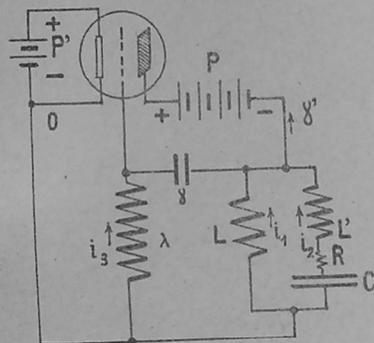


Fig. 25

plage par induction et le couplage par capacité. Si la capacité du circuit oscillant est petite et la longueur d'onde courte, la capacité de la lampe n'est plus négligeable et intervient dans les conditions de fonctionnement en produisant un couplage par capacité entre la grille et la plaque.

Etudions les conditions de fonctionnement de l'appareil générateur d'ondes de la figure 25, en supposant que les deux bobines sont couplées à la fois par le condensateur γ et par induction, soit M leur coefficient d'induction mutuelle.

A la dérivation qui comprend la self L' , la résistance R et la capacité C pourrait être substituée une antenne équivalente.

Entre les intensités i_1 i_2 i_3 et j , on a les relations suivantes :

$$j = i_1 + i_2 + i_3$$

$$-L \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_3}{dt} = -L \frac{di_2}{dt} - Ri_2 + v' =$$

$$- \lambda \frac{di_3}{dt} - M \frac{di_1}{dt} + v''$$

En appelant v' et v'' les différences de potentiel entre les armatures des condensateurs γ et C , elles sont déterminées par les équations,

$$- \gamma \frac{dv'}{dt} = i_2, \quad - \gamma \frac{dv''}{dt} = i_3$$

en dérivant et éliminant v' et v'' on obtient

$$(1) L \frac{d^2 i_1}{dt^2} + M \frac{d^2 i_3}{dt^2} = L' \frac{d^2 i_2}{dt^2} + R \frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{C}$$

$$(2) (L-M) \frac{d^2 i_1}{dt^2} = (\lambda - M) \frac{d^2 i_3}{dt^2} + \frac{i_3}{\gamma}$$

Soit ρ la résistance de la lampe et K son facteur d'amplification.

$$\rho j = v + Ku$$

avec

$$v = -L \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_3}{dt}, \quad u = -\lambda \frac{di_3}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

d'où

$$(3) \rho (i_1 + i_2 + i_3) + (L + KM) \frac{di_1}{dt} + (K\lambda + M) \frac{di_3}{dt} = 0$$

Les 3 équations (1), (2) et (3) déterminent

les intensités des courants i_1 i_2 et i_3 .

Il est inutile de les résoudre. Nous

serions amenés à une discussion analogue à celle que nous avons faite au début de ce chapitre. Nous chercherons seulement la période et la condition limite d'entretien en écrivant que les 3 équations admettent une solution de la forme :

$$i_1 = I_1 \sin \omega t \quad i_2 = I_2 \sin (\omega t + \varphi)$$

$$i_3 = I_3 \sin (\omega t + \varphi')$$

Nous remplacerons, à cet effet i_1 i_2 i_3 par leurs valeurs et écrirons que les coefficients de $\sin \omega t$ et de $\cos \omega t$ sont égaux dans les deux membres de chacune des équations.

Nous obtenons ainsi :

$$\rho (I_1 + I_2 \cos \varphi + I_3 \cos \varphi') - (K\lambda + M)\omega I_3 \sin \varphi' = 0$$

$$\rho (I_2 \sin \varphi + I_3 \sin \varphi') + (L + KM)\omega I_1 +$$

$$+ (K\lambda + M)\omega I_3 \cos \varphi' = 0$$

$$L\omega I_1 + M\omega I_3 \cos \varphi' = (L'\omega - \frac{1}{C\omega}) I_2 \cos \varphi$$

$$+ RI_2 \sin \varphi$$

$$M\omega I_3 \sin \varphi' = (L'\omega - \frac{1}{C\omega}) I_2 \sin \varphi - RI_2 \cos \varphi$$

$$(L - M)\omega I_1 = \left[(\lambda - M)\omega - \frac{1}{g\omega} \right] I_3 \cos \varphi'$$

$$0 = \left[(\lambda - M)\omega - \frac{1}{g\omega} \right] I_3 \sin \varphi'$$

Cette dernière équation donne $\sin \varphi' = 0$
 si $(\lambda - M)\omega - \frac{1}{g\omega} \gg 0$, ce qui signifie que

l'ensemble de la self λ et de la capacité g n'est pas à la résonance; nous ne considérerons pas ce cas particulier pour lequel, comme nous le verrons la condition d'entretien ne peut être satisfaite. En tirant $\sin \varphi'$ et $\cos \varphi'$ des deux dernières, $\sin \varphi'$ et $\cos \varphi'$ des deux premières et en portant ces valeurs dans les troisièmes et quatrièmes équations, on trouve les deux conditions.

$$(1) (L+L')\omega - \frac{1}{C\omega} + \left[(L'+M)\omega - \frac{1}{C\omega} \right] \frac{(L-M)\omega}{(\lambda-M)\omega - \frac{1}{g\omega}}$$

$$+ \frac{R}{\rho} \left[(L+KM)\omega + \frac{(K\lambda+M)(L-M)\omega^2}{(\lambda-M)\omega - \frac{1}{g\omega}} \right] = 0$$

$$(2) R - \frac{L'\omega - \frac{1}{C\omega}}{\rho \left[1 + \frac{(L-M)\omega}{(\lambda-M)\omega - \frac{1}{g\omega}} \right]} \left[(L+KM)\omega + \frac{(K\lambda+M)(L-M)\omega^2}{(\lambda-M)\omega - \frac{1}{g\omega}} \right] = 0$$

L'une de ces équations, nous donne la pulsation ω , en portant cette valeur dans la seconde nous aurons la condition limite d'entretien. Ces deux équations ont une forme analogue à celles que nous avons trouvé dans les cas précédemment étudiés.

Occupons nous d'abord de quelques dispositions

plus simples.
 1° - Si on fait $g = 0$ $L' = 0$, on doit retrouver le mode d'entretien (fig. 15) dont il a été traité d'abord. (Voir page 58).

L'équation (1) devient, en effet,

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} + \frac{R}{\rho} (L+KM)\omega = 0$$

équation déjà trouvée et qui donne pour la pulsation si $\frac{R}{\rho}$ est très petit

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

La seconde condition (2) se réduit

$$\text{à : } R + \frac{1}{\rho C} (L+KM) = 0$$

qui est la condition limite d'entretien déjà trouvée.

La condition d'entretien étant :

$$R + \frac{1}{\rho C} (L+KM) < 0$$

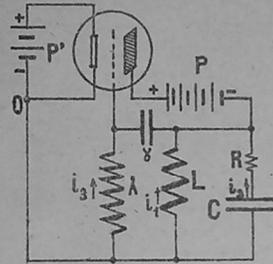


Fig. 26.

2° - Nous allons considérer maintenant, au contraire, le cas du couplage par capacité seule, le coefficient d'induction M étant nul, et nous supposons que toute la self du circuit oscillant est intercalée sur le circuit de plaque (fig. 26). Il faut dans les deux équations faire $M = 0$ et $L' = 0$.

On obtient pour l'équation (1) la forme,

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} - \frac{L}{C} \frac{1}{\lambda\omega - \frac{1}{g\omega}} + \frac{R}{\rho} \left[L\omega + \frac{K\lambda\omega^2}{\lambda\omega - \frac{1}{g\omega}} \right] = 0$$

et puisque $\frac{R}{\rho}$ est négligeable

$$\frac{1}{L\omega} - \frac{1}{C\omega} + \frac{1}{\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}} = 0$$

On reconnaît l'équation qui donne les pulsations propres d'un système oscillant à 3 dérivation, l'une ayant la self L, l'autre la capacité C, la dernière la self λ et la capacité γ.

Un tel système a deux périodes, l'équation précédents qu'on peut écrire

$$\frac{1}{\omega^4} [CL + (\lambda + L)\gamma] \frac{1}{\omega^2} + CL\lambda\gamma = 0$$

fournit, en effet, pour ω² deux racines positives. L'une de ces racines est plus petite que

$$\frac{1}{\omega^2} = \gamma\lambda$$

c'est-à-dire que l'une des périodes du système est plus petite que la période propre de la dérivation comprenant la self λ et la capacité γ. Pour cette oscillation, cette dérivation est au-dessus de la résonance et se comporte comme une self montée en dérivation sur la self L.

L'autre racine, au contraire, est plus grande que γλ, la période d'oscillation correspondante est plus grande que celle de l'ensemble de la self λ et de la capacité γ. Cet ensemble qui est au-dessous de la résonance se comporte comme une capacité en parallèle avec la capacité C.

L'équation (2) donne la condition limite d'entretien

$$R + \frac{L}{\rho C \left(1 + \frac{L\omega}{\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}}\right)} \left[1 + \frac{K\lambda\omega}{\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}}\right] = 0$$

La condition d'entretien étant

$$R + \frac{L}{\rho C \left(1 + \frac{L\omega}{\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}}\right)} \left(1 + \frac{K\lambda\omega}{\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}}\right) < 0$$

Nous pouvons l'écrire :

$$\frac{L\omega}{\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}} (R\rho C + K\lambda) + L + R\rho C < 0$$

elle ne peut être satisfaite que si

$$\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega} < 0$$

La seule oscillation du système qui peut être entretenue est donc celle de plus grande période pour laquelle la dérivation de self λ et de capacité γ est au-dessous de la résonance. Nous avons déjà signalé cette condition nécessaire.

La capacité γ qui correspond à la limite d'entretien s'obtient en résolvant par rapport à γ la condition limite d'entretien on trouve,

$$\gamma = \frac{1}{\omega^2} \frac{L + \rho CR}{L\lambda(K+1) + \rho CR(L+\lambda)}$$

et l'entretien n'est possible que pour des capacités γ supérieures à celle-ci.

Cette capacité d'autre part doit rester inférieure à γ = $\frac{1}{\lambda\omega^2}$ à partir de laquelle il a

été montré que la condition d'entretien ne pouvait plus être satisfaite.

On voit que la capacité de couplage ω doit augmenter avec la longueur d'onde. On peut réaliser facilement un appareil fonctionnant sur une gamme de longueur d'onde étendue et toujours réglé à la limite d'entretien en se servant pour coupler la grille et la plaque d'un condensateur variable. La dérivée de γ par rapport à R est positive si Kλ est plus grand que L, condition toujours réalisée, la capacité de couplage doit donc être d'autant plus grande que la résistance du circuit oscillant est plus considérable.

Si on diminue le chauffage de la lampe, on augmente la résistance ρ, la dérivée de γ par

rapport a ρ étant également positive, si $K\lambda + M$ est plus grand que L , il faut augmenter la capacité de couplage lorsqu'on diminue la température du filament.

L'expérience vérifie toutes les conclusions de cette étude.

Pour le couplage par capacité des bobines de grille et de plaque, il serait facile de retrouver la valeur des courants oscillants, leurs différences de phase, l'intensité limite de régime permanent, le rendement limite, il suffit d'opérer comme nous l'avons déjà fait, pour le couplage par induction.

On arrive à des conclusions d'ordre pratique identiques.

Quelle est maintenant l'importance qu'il faut donner à la self de grille λ ? Celle-ci, comme le montre la condition limite d'entretien près de laquelle il y a intérêt à se tenir, est d'autant plus grande qu'on emploie des capacités de couplage plus petites. Il est facile de voir qu'il y a intérêt à réduire le courant dans la self de grille, c'est-à-dire à employer une self aussi grande que possible et par suite une capacité λ petite.

Les courants dans les deux branches qui comprennent une self et une capacité sont en effet presque en phase et de même sens, ils le seraient rigoureusement si la résistance était nulle. Comme les équations l'indiquent, ils sont inverses du courant dans la self L , pour s'en rendre compte il suffit de chercher la valeur des angles que nous avons appelé φ et φ' , en se rappelant que $\lambda\omega - \frac{1}{\gamma\omega}$ est négatif.

On peut donc admettre que

$$I_1 = I_2 + I_3$$

et que I_1 se partage entre les deux dérivationes en raison inverse de leurs impédances

Or nous avons intérêt à faire passer le plus grand courant du côté de la branche capacité, si c'est sur elle que nous l'utilisons.

Il nous faudra donc augmenter autant que possible l'impédance $\frac{1}{\gamma\omega} - \lambda\omega$; si nous remplaçons γ par sa valeur tirée de la condition limite d'entretien, près de laquelle il y a toujours intérêt à se tenir

$$\frac{1}{\gamma\omega} - \lambda\omega = \frac{K\lambda + \rho CR}{L + \varphi CR} L\omega$$

Lorsque la pulsation est donnée, il y a donc lieu d'augmenter λ autant qu'il se peut et s'il est possible de le régler de façon que la capacité de la lampe suffise.

Il faut toutefois tenir compte, du fait que la capacité entre spires de la bobine λ , lui donne une période propre d'oscillation et que cette période doit être inférieure à celle des oscillations à entretenir.

Si les ondes à entretenir sont très courtes, la capacité de la lampe peut dépasser celle qui est nécessaire et empêcher le fonctionnement dans de bonnes conditions. L'étude qui suit d'un générateur couplé à la fois par capacité et par induction nous montrera comment on peut alors éviter cet inconvénient.

Le couplage par capacité seule est très favorable à l'entretien d'oscillations dans un grand cadre d'une seule spire qu'il est difficile de coupler par induction avec une bobine de grille

3° - Supposons les bobines couplées à la fois par induction et par capacité, ce qui nous met dans les conditions du générateur d'ondes étudié en détail au début mais nous permet de tenir compte de la capacité de la lampe.

Pour $L' = 0$, l'équation (1) (page 68) devient en

négligeant le terme en $\frac{R}{\rho}$

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} + \left(M\omega - \frac{1}{C\omega} \right) \frac{(L - M)\omega}{(\lambda - M)\omega - \frac{1}{\gamma\omega}} = 0$$

qui nous donne la période

L'équation (2) s'écrit.

$$R + \frac{1}{C\rho\omega \left[1 + \frac{(L-M)\omega}{(\lambda-M)\omega - \frac{1}{\gamma\omega}} \right]} \left[(L+KM)\omega + \frac{(KM)(L-M)\omega^2}{(\lambda-M)\omega - \frac{1}{\gamma\omega}} \right] = 0$$

$$\text{ou } R + \frac{(K+1)(L\lambda - M^2)\omega - \frac{L+KM}{\gamma\omega}}{C\rho \left[(L+\lambda - 2M)\omega - \frac{1}{\gamma\omega} \right]} = 0$$

Le couplage par capacité intervient pour augmenter l'effet du couplage par induction, si le coefficient d'induction M est négatif, et la dérivation de grille au-dessous de la résonance

$$(\lambda - M)\omega - \frac{1}{\gamma\omega} < 0$$

Si, au contraire, on prend un coefficient d'induction M positif l'entretien peut être conservé en couplant en même temps la grille et la plaque par une capacité suffisante.

Si on veut entretenir des ondes courtes et que la capacité des lampes produise déjà un couplage trop fort entre la plaque et la grille de la lampe, on couplera en outre les bobines par induction, mais en choisissant un coefficient d'induction mutuelle positif.

L'expérience confirme cette conclusion. Lorsqu'on construit un générateur à ondes relativement courtes en se proposant d'employer un couplage par induction, il arrive, qu'on n'obtient pas le maximum de débit même pour un couplage nul des bobines, il devient alors avantageux de retourner bout pour bout l'une de ces bobines. On arrive ainsi à compenser l'effet de la capacité excessive

des lampes et on revient ainsi à la condition limite d'entretien et à la plus grande intensité du courant oscillant

4° - Les formules générales (1) et (2) (page 68) sont applicables au cas le plus complexe qui puisse se présenter (fig 25). Une partie seulement de la self du circuit oscillant est intercalée dans le circuit de plaque. Comme dans le cas simple traité complètement au début, il y a encore intérêt à le faire pour empêcher l'intensité du courant d'être limitée par l'amplitude des variations de tension de la plaque.

L'ensemble de la self L, du condensateur C et de la résistance R peut être remplacé par une antenne équivalente.

11. - Couplage entre la grille et la plaque par la capacité du circuit oscillant.

Un moyen simple (fig. 27) d'entretenir des oscillations consiste à se servir comme self du circuit oscillant des bobines de plaque A et grille B, et d'opérer le couplage par le condensateur C de ce circuit.

Les deux bobines peuvent être ou non couplées par induction, soit M leur coefficient d'induction mutuelle L et λ leurs coefficients de self-induction.

En adoptant pour les courants les notations et les sens indiqués par la figure, les tensions de

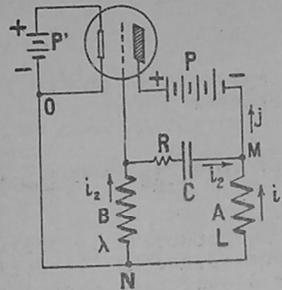


Fig. 27.

plaque et de grille sont :

$$v = -L \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$u = -\lambda \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

La relation $\rho \gamma = v + Ku$
s'écrit donc

$$(1) \rho(i_1 + i_2) + (L + KM) \frac{di_1}{dt} + (K\lambda + M) \frac{di_2}{dt} = 0$$

les courants i_1 et i_2 satisfont aussi à l'équation

$$-L \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} = -\lambda \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} - R i_2 + v'$$

En appelant v' la différence de potentiel entre les armatures du condensateur définie par

$$i_2 = -C \frac{dv'}{dt}$$

En dérivant et remplaçant v' par sa valeur en fonction de i_2 on obtient

$$(2) (L - M) \frac{d^2 i_1}{dt^2} = (\lambda - M) \frac{d^2 i_2}{dt^2} + R \frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{C}$$

L'élimination de i_1 donnerait le courant i_2 . Nous pouvons encore, pour rechercher la période et la condition limite d'entretien nous dispenser de cette élimination et écrire que les équations admettent une solution de la forme

$$i_1 = I_1 \sin \omega t \quad i_2 = I_2 \sin(\omega t + \varphi)$$

Tout calcul fait, on obtient finalement les deux équations.

$$(3) \frac{R}{\rho} (K\lambda + M) (L - M) \omega^2 - (L - M) \omega \left[(\lambda - M) \omega - \frac{1}{C\omega} \right] - R^2 - \left[(\lambda - M) \omega - \frac{1}{C\omega} \right]^2 = 0$$

$$(4) \rho(L - M) R + (K\lambda + M) (L - M) \omega \left[(\lambda - M) \omega - \frac{1}{C\omega} \right] + (L + KM) \left\{ R^2 + \left[(\lambda - M) \omega - \frac{1}{C\omega} \right]^2 \right\} = 0$$

La première équation donne la période, si on néglige le terme qui contient la quantité $\frac{R}{\rho}$ très petite en facteur, on obtient pour la pulsation propre qui correspond à une résistance R nulle.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C(L + \lambda - 2M)}}$$

La seconde équation fournit en remplaçant ω par sa valeur la condition limite d'entretien.

$$R \left[\rho(L - M) + R(L + KM) \right] = \left[\frac{K\lambda - L - M(K - 1)}{C(L + \lambda - 2M)} \right] (L - M)^2$$

La condition d'entretien étant

$$R \left[\rho(L - M) + R(L + KM) \right] < \left[\frac{K\lambda - L - M(K - 1)}{C(L + \lambda - 2M)} \right] (L - M)^2$$

Cette condition exige

$$K\lambda > L + M(K - 1)$$

L'appareil peut fonctionner avec un couplage nul entre les bobines $M = 0$, On obtient alors

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C(L+\lambda)}}$$

La condition d'entretien devient

$$R(\rho + R) > \frac{L(K\lambda - L)}{C(L+\lambda)}$$

Elle exige que $K\lambda - L$ soit positif c'est-à-dire que le produit de la self de grille par le facteur d'amplification de la lampe soit plus grand que la self de plaque. A la limite d'entretien la self de grille sera donc beaucoup plus petite que la self de plaque. Si on couple les deux bobines avec un coefficient d'induction mutuelle positif, il faut augmenter la self de grille, on doit, au contraire, la diminuer si le coefficient d'induction mutuelle est négatif.

C'est ce qui arrive, si on emploie une seule bobine (fig. 28) dont une extrémité est reliée à la plaque, l'autre à la grille et un point intermédiaire au filament. L'induction mutuelle pour les sens de courant que nous avons choisis est alors négative.

Les conditions de fonctionnement se discutent comme nous l'avons fait pour le générateur à couplage par induction, on arrive aux mêmes conclusions. On peut aussi mettre une partie de la self en série avec la résistance et la capacité et remplacer cet ensemble par une antenne.

2. - Entretien des oscillations dans un circuit oscillant intercalé sur le circuit de grille de la lampe.

Au lieu d'intercaler le circuit oscillant sur le circuit de plaque et de coupler le circuit de grille par induction (fig. 15), on peut aussi mettre le circuit oscillant sur le circuit de

grille de la lampe (fig. 29).

On dispose sur le circuit de plaque une bobine couplée avec celle du circuit oscillant. Lorsqu'une perturbation initiale produit des oscillations dans ce circuit, le potentiel de la grille varie périodiquement. Il se produit alors des variations périodiques du courant dans le circuit de plaque et la bobine disposée sur ce circuit induit dans le circuit oscillant une force électromotrice qui entretient les oscillations.

Appelons encore L, E, C et R les selfs, capacité et résistance

M l'induction mutuelle des deux bobines, i_1 le courant dans le circuit oscillant, j le courant dans le circuit de plaque couplés positivement dans le sens indiqué sur la figure.

Les tensions alternatives de plaque et de grille sont

$$v = -M \frac{di_1}{dt} - L' \frac{dj}{dt}$$

$$u = -L \frac{di_1}{dt} - R i_1 - M \frac{dj}{dt}$$

de sorte que ρ étant

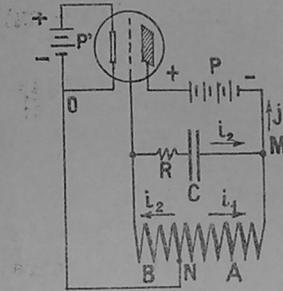


Fig. 28.

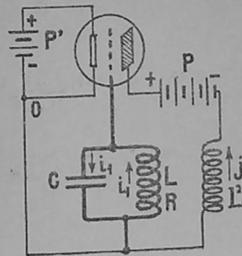


Fig. 29.

la résistance de la lampe, K son facteur d'amplification

$$\rho j = v + \epsilon u = - (M + KL) \frac{di_1}{dt} - KRi_1 - (L' + KM) \frac{dj}{dt}$$

$$\text{ou (1). } \rho j + KRi_1 + (KL + M) \frac{di_1}{dt} + (L' + KM) \frac{dj}{dt} = 0$$

D'autre part

$$-L \frac{di_1}{dt} - M \frac{dj}{dt} - Ri_1 = v'$$

en appelant v' la différence de potentiel entre les armatures du condensateur

$$i_1 = -C \frac{dv'}{dt}$$

En dérivant

l'équation précédente et en y remplaçant v' par sa valeur, il vient :

$$(2) \quad L \frac{d^2 i_1}{dt^2} + M \frac{d^2 j}{dt^2} + R \frac{di_1}{dt} + \frac{i_1}{C} = 0$$

Eliminons j entre les équations (2) et (3) et nous aurons l'équation qui détermine l'intensité i₁

$$\frac{1}{\rho} (LL' - M^2) \frac{d^3 i_1}{dt^3} + (L + L' \frac{R}{\rho}) \frac{d^2 i_1}{dt^2} + (R + L' + KM) \frac{di_1}{dt} + \frac{i_1}{C} = 0$$

En écrivant que cette équation à une solution pendulaire

$$i_1 = I_1 \sin \omega t$$

nous trouverons encore la période et la condition limite d'entretien. On obtient ainsi pour la pulsation:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C(L + L' \frac{R}{\rho})}}$$

Valeur voisine de la pulsation propre $\frac{1}{\sqrt{CL}}$ du circuit oscillant puisque $\frac{R}{\rho}$ est petit

La condition limite d'entretien est

$$R + \frac{1}{C\rho} \left[L' + KM - \frac{LL'}{L + L' \frac{R}{\rho}} - \frac{M^2}{\rho} \right] = 0$$

que l'on peut aussi écrire en introduisant la pulsation et en négligeant R vis à vis de l'unité.

$$R + \frac{M(KL + M)}{\rho} \omega^2 = 0$$

On voit que cette condition ne peut être satisfaite que si

$$-KL < M < 0$$

Le coefficient d'induction mutuelle pour les sens de courants indiqués sur la figure 29 doit donc être négative et sa valeur absolue doit être plus petite que KL. La condition d'entretien sera

$$R + \frac{M(KL + M)}{\rho} \omega^2 < 0$$

elle peut être satisfaite si M est compris entre les racines négatives de l'équation

$$M^2 + KLM + \frac{R\rho}{\omega^2} = 0$$

La valeur absolue de M doit donc être comprise entre

$$\frac{KL}{2} - \sqrt{\frac{K^2 L^2}{4} - \frac{R\rho}{\omega^2}} \text{ et } \frac{KL}{2} + \sqrt{\frac{K^2 L^2}{4} - \frac{R\rho}{\omega^2}}$$

Lorsque le circuit oscillant était intercalé sur le circuit de plaque, (page 36) on ne trouvait pas pour

l'entretien de limite supérieure de l'induction mutuelle, une trop grande induction diminuait l'intensité du courant sans amener le décrochage des oscillations, ici une induction mutuelle trop grande fait cesser l'entretien.

Nous verrons que l'entretien d'un circuit oscillant, dans les conditions que nous venons de décrire est surtout intéressant lorsqu'il s'agit de faire osciller le circuit d'une réception de T.S.F., pour obtenir des interférences avec les ondes reçues par l'antenne.

13. - Propriétés amplificatrices d'un appareil générateur d'oscillations réglé très près de sa limite d'entretien.

Lorsque l'ensemble d'un circuit oscillant et d'une lampe est réglé exactement à sa limite d'entretien, l'équation qui détermine l'intensité du courant dans le circuit oscillant, est de la forme

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \omega^2 i = 0$$

Les forces électromotrices introduites par les variations d'intensité du courant dans le circuit de plaque compensent exactement le terme en $\frac{di}{dt}$ que contient l'équation de l'oscillation libre

du circuit. Le circuit oscillant se comporte, comme si son amortissement avait disparu.

Si nous imaginons alors qu'on fasse agir sur lui une force électromotrice périodique, dont la pulsation est exactement ω , la résonance tend à amener l'amplitude de l'oscillation à devenir infinie. L'intégrale d'une équation de la forme

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + R i + \omega^2 i = A \sin \omega t$$

est, en effet, une fonction sinusoïdale dont l'amplitude augmente indéfiniment lorsque R tend vers zéro

Cette amplitude est limitée par la courbure des caractéristiques de la lampe, mais une force électromotrice très petite de pulsation exactement égale à celle du circuit oscillant y produit un courant d'amplitude beaucoup plus considérable.

Cette propriété remarquable peut être utilisée avec beaucoup d'avantage à la réception des signaux radiotélégraphiques. Elle permet, en effet, une amplification énorme de ceux-ci et cette amplification est particulièrement avantageuse, puisqu'elle ne se produit que pour les périodes en résonance avec la période propre du circuit de réception.

Cette propriété amplificatrice diminue, si le circuit oscillant est au-dessous de sa limite d'entretien, car il se comporte comme un circuit amorti, toutefois la lampe sans entretenir d'oscillations diminue beaucoup l'amortissement et une amplification très grande est encore obtenue au voisinage immédiat de la condition limite d'entretien.

Si le circuit oscillant est au-dessus de sa limite d'entretien, il est le siège d'oscillations. Si, on est très près de cette limite, la moindre courbure des caractéristiques fixe l'intensité du courant oscillant, et celui-ci n'atteint pas l'intensité qui correspond à une amplitude de variation du courant de plaque égale au courant de saturation.

Le point de fonctionnement initial étant très voisin du point d'inflexion de la caractéristique, la courbure de celle-ci varie très lentement, une force électromotrice en résonance agissant sur le circuit oscillant produit alors une notable augmentation d'amplitude des oscillations.

Cette amplification disparaît, si la condition d'entretien est assez largement satisfaite pour que l'oscillation primitive amène le point de fonctionnement jusqu'aux régions

très courbées de la caractéristique.

Ces considérations nous montrent en résumé qu'un circuit oscillant très près de sa condition limite d'entretien amplifie les oscillations qu'il reçoit de l'extérieur s'il est au-dessous de la limite d'entretien ou a ses oscillations propres considérablement augmentées, s'il est au-dessus.

Cette amplification subsiste quoiqu'amoindrie si la résonance n'est pas absolument rigoureuse.

Elle cesse si l'accord est trop imparfait ou si la condition limite d'entretien est trop loin d'être satisfaite.

14. - Entretien d'oscillations de période très courte.

Une lampe, en utilisant l'une des dispositions que nous avons décrites, entretient facilement des oscillations de très longue période, cette période peut tomber bien au-dessous de la période des vibrations acoustiques.

D'autre part, il est possible, d'entretenir des oscillations de période très courtes, aussi fréquentes que les oscillations hertziennes et dont la longueur d'onde n'est que de quelques mètres.

Les circuits oscillants de pulsation aussi grande ont une capacité extrêmement petite de l'ordre de la capacité entre la grille et la plaque d'une lampe et une self aussi faible que celle des fils les plus courts nécessaires pour établir les connexions.

Pour produire ces oscillations, on devra donc se servir de la capacité de la lampe comme capacité du circuit oscillant.

Voici une disposition (fig. 30) qui donne de bons résultats et permet d'obtenir avec une intensité de plusieurs ampères des oscillations dont la longueur d'onde peut descendre entre 2 et 3 mètres. Elle dérive de la disposition de la figure 28 pour laquelle le condensateur est supprimé pour ne conserver que la capacité de la lampe.

Le circuit oscillant est A'BB'

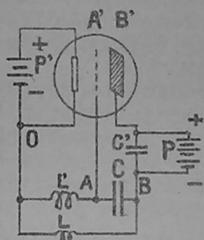


Fig. 30.

La capacité est celle de la lampe et d'un condensateur C, monté en série avec cette lampe, dont la capacité est de quelques cent millièmes de microfarads. La self est celle des fils de connexion, qui sont aussi courts que possible. Afin d'éviter d'intercaler sur le circuit la pile P qui charge la plaque, celui-ci est coupé par un condensateur C' de capacité beaucoup plus grande, $\frac{1}{1000}$ de micro-

farad par exemple, dont les armatures sont réunies aux pôles de la pile P.

Les retours des courants de plaque et grille au filament se font par deux selfs L et L' constituées par quelques tours de fil ou par un fil fin suffisamment long. On règle ces selfs par tâtonnements pour obtenir la plus grande intensité dans le circuit oscillant. Ces selfs permettent d'amener la tension de grille à avoir la phase et l'amplitude la plus convenable.

L'entretien se fait par la force électromotrice induite par les variations du courant de plaque dans le côté BB' du circuit oscillant, la longueur de ce côté doit être suffisante pour obtenir les oscillations les plus intenses.

Les oscillations obtenues par ce procédé agissent énergiquement sur des résonateurs de Hertz, et y produisent des résonances très aiguës. On s'en assure facilement en intercalant sur le résonateur un ampèremètre thermique ou en utilisant un tube à gaz raréfié.

Pour réduire la longueur d'onde, on peut employer des lampes dont la capacité entre grille

et plaque est diminuée, les fils de sortie étant scellés dans l'ampoule au lieu d'être ramenés au voisinage l'un de l'autre dans le culot (Voir fig. 44)

La facilité avec laquelle ces ondes courtes se produisent explique certaines particularités qu'on observe lors de l'emploi de générateurs d'ondes à couplage par capacité du type représenté par les figures 26, 27 ou 28.

Si, on augmente trop la capacité de couplage, on ne peut plus satisfaire à la condition d'entretien, puisque comme nous l'avons vu l'ensemble de la self de grille et de cette capacité doit être au-dessous de la résonnance. Mais la condition d'entretien peut alors être satisfaite pour le circuit à onde très courte formé par la capacité de la lampe et les connexions. Des oscillations prennent alors naissance dans ce circuit. On peut s'en assurer en disposant un thermique sur les différents fils de connexion. Dans le cas, où l'appareil fonctionne sur une antenne, un système d'ondes stationnaires très courtes peut prendre naissance le long de cette antenne ou le long de la prise de terre.

Il est possible pour de très petits changements de selfs de grille et de plaque d'obtenir, soit les ondes longues du circuit oscillant, soit les ondes très courtes, dont il vient d'être question.

15. - Montage des lampes en parallèle.

Pour mettre en jeu plus de puissance, on peut monter en parallèle les grilles et les plaques de plusieurs lampes.

Si ces lampes sont identiques le courant de saturation est proportionnel au nombre de lampes et la résistance de l'ensemble en raison inverse de ce nombre.

Si un appareil est réglé à l'intensité maximum et au meilleur rendement pour une seule lampe, il doit être modifié lorsqu'on augmente le nombre des lampes car la condition limite d'entretien

n'est plus satisfaite par les mêmes valeurs des self et des capacités.

Si on se remet à nouveau dans les meilleures conditions, la puissance fournie au circuit oscillant

$$R_{I_{eff}}^2 = \frac{v_0 j_0}{2}$$

est comme le courant de saturation $2j_0$ proportionnelle au nombre des lampes. L'intensité I_{eff} du courant dans le circuit oscillant croit comme la racine carrée du nombre de lampes.

Cette condition suppose que les lampes sont identiques, si il n'en était pas ainsi la puissance n'augmenterait pas aussi vite que le nombre des lampes, car celles-ci ne fonctionneraient pas toutes à la fois, dans les meilleures conditions.

Remarque. -

Lorsqu'un générateur d'ondes oscille, le courant moyen de grille atteint, comme il a été indiqué (page.50) une intensité beaucoup plus grande que l'intensité normale.

Si la tension de plaque est élevée, l'émission d'électrons vers la grille peut porter celle-ci au rouge. Il y a intérêt, pour la conservation de la lampe et pour diminuer la perte de puissance, à limiter le courant de grille à une valeur beaucoup plus faible.

On y arrive facilement en réunissant la grille au filament par une résistance (30.000 ohms environ) et en coupant la connexion entre cette grille et la bobine de grille par un condensateur qui transmet les variations à haute fréquence.

CHAPITRE III

EMPLOI DE LA LAMPE VALVE A 3 ELECTRODES

COMME DETECTEUR. -

1. - Sur le rôle du détecteur. -

Rappelons en quelques mots, quel est le rôle du détecteur sur un récepteur de signaux radiotélégraphiques.

Les oscillations d'une antenne ou d'un circuit oscillent, à cause de leur fréquence très élevée, ne peuvent agir directement sur un téléphone.

Le détecteur est un organe qui laisse passer inégalement les deux alternances du courant de haute fréquence. Celui-ci est alors partiellement redressé et son intensité moyenne n'est plus nulle. Il peut être considéré comme la somme d'un courant à haute fréquence et d'un courant d'intensité constante, si l'amplitude de l'oscillation est elle-même constante. On dérive le courant de haute fréquence par un condensateur en dérivation aux bornes du téléphone, le courant constant traverse seul ce dernier et provoque un déplacement de la membrane téléphonique.

Lorsque l'amplitude des oscillations a des variations de fréquence musicale comme c'est le cas pour les transmissions par étincelles, le courant dans le téléphone change périodiquement d'intensité à basse fréquence et la membrane rend un son.

Un détecteur est un ensemble de conducteurs

pour lesquels le courant n'est pas une fonction linéaire de la tension entre les extrémités. Ce courant i est représenté en fonction de la tension aux bornes u par une courbe (fig. 31)

A l'aide d'une pile ou d'un potentiomètre, amenons la tension aux bornes à une valeur $u_0 = OA$ qui correspond à une ordonnée $i_0 = AB$,

$$i = f(u)$$

étant l'équation de la courbe

$$i_0 = f(u_0)$$

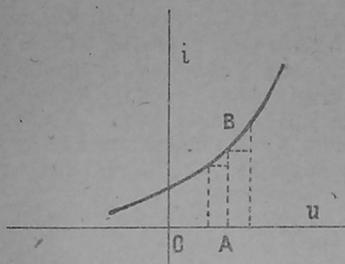


Fig. 31.

Une variation périodique à haute fréquence de la tension u fait osciller le point B autour de sa position moyenne. Si la courbe tourne sa concavité

vers le haut, aux alternances positives correspondent des accroissements d'intensité plus grands qu'aux alternances négatives et le courant moyen est augmenté.

On peut trouver l'expression de cette augmentation de la manière suivante.

Les variations de tension dues à l'arrivée de signaux radiotélégraphiques sont très faibles; appelons donc Δu et Δi les augmentations de tension et de courant à un instant donné et développons l'expression

$$i_0 + \Delta i = f(u_0 + \Delta u)$$

en nous bornant aux trois premiers termes

$$i_0 + \Delta i = f(u_0) + \Delta u_0 f'(u_0) + \Delta \frac{u_0^2}{2} f''(u_0)$$

ou puisque

$$i_0 = f(u_0)$$

$$\Delta i = \Delta u_0 f'(u_0) + \frac{\Delta u_0^2}{2} f''(u_0)$$

La valeur moyenne du premier terme est nulle puisque Δu est une fonction périodique, mais celle du second, qui conserve un signe constant, a une valeur positive non nulle. Les oscillations de la tension u_0 déterminent donc une variation d'intensité du courant dont la valeur moyenne est la valeur moyenne de l'expression :

$$\frac{\Delta u^2}{2} f''(u_0)$$

Si Δu est une fonction de la forme $a \sin \omega t$,

valeur moyenne de $\Delta i =$ valeur moyenne de $\frac{\Delta u^2}{2} f''(u_0)$:

$$\frac{f''(u_0)}{2T} \int_0^T a^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{a^2}{4} f''(u_0)$$

Cette variation est une augmentation si la courbe tourne sa concavité vers le haut, elle serait une diminution si la concavité était tournée vers le bas.

Un point d'inflexion n'est pas un point de détection puisque $f''(u_0)$ est nul.

Le point de plus grande courbure n'est pas exactement le meilleur point de détection, le rayon de courbure d'une courbe d'équation

$$y = f(x)$$

est, en effet,

$$R = \frac{[1 + f'(x)^2]^{3/2}}{f''(x)}$$

d'où on tire

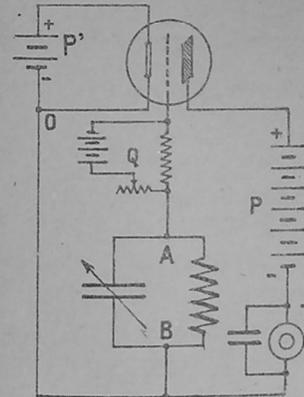
$$f''(x) = \frac{[1 + f'(x)^2]^{3/2}}{R}$$

La valeur maximum de $f''(x)$ n'est pas celle qui correspond au plus petit rayon de courbure

A courbure égale un point où la tangente est plus inclinée, c'est-à-dire $f'(x)$ plus grand, est plus avantageux.

2. - Emploi de la lampe comme détecteur en utilisant la courbure de la caractéristique de plaque.

Soit AB (fig. 32) le circuit oscillant d'un



appareil récepteur de T.S.F. Disposons ce circuit sur le circuit de grille d'une lampe dont le filament est chauffé par une batterie d'accumulateurs P' et dont la plaque est portée à un potentiel supérieur à celui du filament par une pile P.

Sur le circuit de grille, intercalons un potentiomètre Q afin de pouvoir régler à volonté le potentiel de la grille.

Le récepteur téléphonique T est sur le circuit de plaque. On dispose en dérivation à ses bornes,

Fig. 32.

pour les raisons indiquées au paragraphe précédent, un condensateur. (Voir page 88).

La caractéristique de plaque de la lampe (fig. 33) présente deux régions courbées autour des

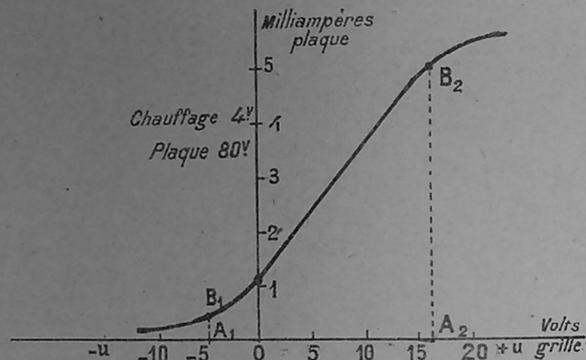


Fig. 33.

points B₁ et B₂. En abaissant la tension de grille par le potentiomètre, amenons le point de fonctionnement en B₁.

Lorsque le circuit AB oscille, la tension de grille varie périodiquement et comme nous venons de l'expliquer, la valeur moyenne du courant dans le circuit de plaque est augmentée. La membrane du téléphone est déplacée, la lampe sert donc de détecteur.

L'emploi d'une lampe, fonctionnant dans la courbure inférieure de la caractéristique de plaque, présente sur l'emploi du détecteur à cristal un très important avantage.

Le potentiel moyen de grille étant inférieur à celui du pôle négatif de la batterie d'accumula-

teurs P' le courant dans le circuit de grille reste nul.

Le détecteur n'emprunte aucune énergie au circuit oscillant. Celle qui est nécessaire au fonctionnement du téléphone est fournie par la pile P.

Dans ces conditions, la détection n'occasionne aucun amortissement du circuit de réception, l'acuité des résonances est plus grande et la syntonie bien meilleure.

La sensibilité est équivalente à celle d'une bonne galène. Elle diminue cependant un peu pour les ondes très courtes, car la capacité entre la grille et les autres électrodes de la lampe laisse passer des oscillations sans les détecter.

En augmentant le potentiel de la grille on pourrait aussi se servir de la région avoisinant le point B₂. Les conditions sont moins avantageuses car le courant dans le circuit de grille n'étant plus nul, l'amortissement du circuit de réception est augmenté.

D'autre part, le courant constant dans le circuit de plaque est beaucoup plus intense. Il détériore les téléphones en modifiant leur aimantation. On évite, il est vrai, facilement cet inconvénient en disposant sur le circuit de plaque le secondaire d'un transformateur et en reliant le téléphone à son primaire.

La résistance du circuit de plaque d'une lampe, dans les conditions où on l'emploie ici dépasse 25.000 ohms. Il y a donc lieu, si le téléphone est directement en circuit d'employer des appareils très résistants et de monter les deux écouteurs en série.

Si on se sert d'un transformateur, son impédance secondaire pour une fréquence musicale moyenne, 800 périodes environ, devra être de l'ordre de la résistance de la lampe. Le primaire sera adapté au téléphone employé.

Emploi de la lampe comme détecteur en utilisant la courbure de la caractéristique de grille.

Un autre mode de montage en détecteur est beaucoup plus employé que le précédent. Il dispense, en effet, du réglage et de l'emploi du potentiomètre et donne une plus grande sensibilité de réception.

Au lieu d'utiliser, pour le redressement des courants, la courbure de la caractéristique de plaque, on se sert de la courbure de la caractéristique de grille, c'est-à-dire de la courbe qui représente le courant dans le circuit de grille en fonction de la tension de grille. La figure 34

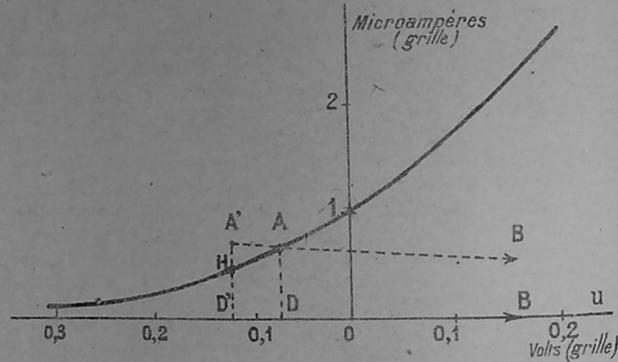


Fig. 34.

représente cette courbe pour une tension de plaque de 80 volts et une différence de potentiel égale à 4 volts entre les extrémités du filament.

Cette courbe tourne sa concavité vers le haut,

Pour les abscisses faibles l'intensité du courant est de l'ordre du microampère. La résistance apparente du circuit de grille

$$\rho = \frac{du}{di}$$

est de plusieurs centaines de mille ohms, 200.000 environ pour une abscisse nulle de la courbe de la fig 34

Au lieu d'un potentiomètre, intercalons sur le circuit de grille une grande résistance R (fig. 35) de 4 mégohms environ, et en dérivation sur cette résistance disposons un condensateur c de capacité $\frac{4}{100000}$ de microfarad environ.

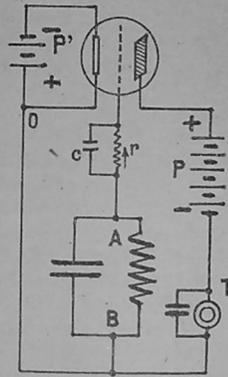


Fig. 35.

Réunissons le circuit de grille en 0 au pôle positif de la batterie d'accumulateurs P'. La courbe de la figure 34 a été tracée en prenant comme origine des potentiels, celui du pôle négatif de cette batterie, le potentiel du point 0 correspond donc à l'abscisse 4 volts, qui se trouve en B très loin hors des limites de la figure.

Le courant de grille i_0 passe par la résistance R le long de laquelle le potentiel décroît d'une quantité égale à la chute de tension Ri_0 et le potentiel u_0 de la grille est

$$u_0 = 4 - Ri_0$$

Le point d'intersection A de la droite AB d'équation

$$u = 4 - R i$$

avec la caractéristique d'équation

$$i = f(u)$$

détermine la tension de grille OD = u_0 et le courant de grille DA = i_0

La droite AB passe par le point d'abscisse 4 volts et la tangente de l'angle très aigu qu'elle fait avec l'axe des abscisses est égale à $\frac{1}{R}$. Pour la plupart des lampes de la Radiotélégraphie Militaire, on trouve que l'abscisse du point A est négative de l'ordre de 0,1 volt. La grille est à un potentiel un peu inférieur à tous les points du filament, elle n'attire donc pas les électrons; le faible courant i_0 est dû à ce que quelques uns de ceux-ci, émis par le filament, atteignent la grille malgré le champ de force inverse mais très faible.

Supposons maintenant que le circuit de réception AB oscille avec une faible amplitude, ce qui fait naître entre A et B une différence de potentiel à haute fréquence. Les oscillations de potentiel se transmettent à la grille par le condensateur c et le courant dans le circuit de grille oscille. A cause de la courbure de la caractéristique, l'augmentation d'intensité due aux alternances positives est supérieure à celle qui correspond aux alternances négatives, de sorte que la valeur moyenne du courant de grille est augmentée. On peut alors regarder le courant total, comme un courant constant d'intensité i_1 supérieure à i_0 auquel est superposé un courant à haute fréquence. Pour une capacité c de $\frac{4}{100000}$ de microfarad, une

résistance R de 4 mégohms, une longueur d'onde de 600 mètres, la réactance $\frac{1}{\omega c}$ du condensateur

est 480 fois plus petite que la résistance R de 4 mégohms, on peut donc admettre que le courant à haute fréquence est entièrement transmis par la capacité c , le nouveau courant constant i_1 passant par la résistance R .

A cause de l'augmentation $R(i_1 - i_0)$ de la chute ohmique de tension dans cette résistance la valeur moyenne du potentiel de grille baisse de

$$u_0 - u_1 = R(i_1 - i_0)$$

Soit D' le point d'abscisse u_1 , le courant moyen correspondant i_1 est représenté par l'ordonnée correspondante D'A' de la droite AB.

L'oscillation du point de fonctionnement se fait autour de la position moyenne H.

La partie D'H = i_1' du courant moyen correspond au courant normal dans oscillations, la partie H A' = i_1'' est l'augmentation du courant moyen dû aux oscillations par suite de la courbure de la caractéristique.

La lampe employée dans ces conditions détecte, car à la baisse DD' du potentiel moyen de la grille, correspond une diminution du courant moyen dans le circuit de plaque et dans le téléphone. Dans la région voisine de l'axe des ordonnées la caractéristique de plaque (fig. 33) est peu courbée et la diminution du courant de plaque est à peu près proportionnelle à la diminution moyenne DD' de la tension de grille.

L'étude du détecteur revient à déterminer l'abaissement de tension de grille DD' = $u_1 - u_0$ qui correspond à une oscillation de tension d'amplitude a transmise à la grille par le condensateur.

Nous remarquerons que a est aussi l'amplitude des oscillations de tension entre A et B, car la réactance du condensateur étant une fraction négligeable de la résistance du circuit de grille, l'oscillation de tension entre A et B est presque intégralement transmise à la grille.

Comme les variations de potentiel lors de l'arrivée des oscillations sont très faibles, nous pouvons écrire l'équation de la caractéristique autour des points A et H

$$(1) \quad i = f(u_0) + (u - u_0) f'(u_0) + \frac{(u - u_0)^2}{2} f''(u_0)$$

L'intensité du courant i'_1 représenté par D' H est alors

$$i'_1 = f(u_0) + (u_1 - u_0) f'(u_0) + \frac{(u_1 - u_0)^2}{2} f''(u_0)$$

L'intensité du courant i''_1 représenté par H A' est l'intensité moyenne du courant redressé.

$$i''_1 = \frac{f''(u_0)}{2T} \int_0^T a^2 \sin^2 \omega t = \frac{a^2}{4} f''(u_0)$$

Le courant total représenté par D'A' est

$$i_1 = i'_1 + i''_1$$

Le point A' étant sur la droite AB.

$$r(i_1 - i_0) = u_0 - u_1$$

En remplaçant i_1 , par sa valeur, on obtient l'équation qui détermine la baisse de tension de grille $u_1 - u_0$.

$$r \left[f(u_0) + (u_1 - u_0) f'(u_0) + \frac{(u_1 - u_0)^2}{2} f''(u_0) + \frac{a^2}{4} f''(u_0) - i_0 \right] = u_0 - u_1$$

ou puisque $i_0 = f(u_0)$

$$(u_1 - u_0) \left[\frac{1}{r} + f'(u_0) \right] + f''(u_0) \left[\frac{(u_1 - u_0)^2 + \frac{a^2}{4}}{2} \right] = 0$$

Cette équation a deux racines mais cela tient à ce que nous avons assimilé la courbe à une parabole, le second point d'intersection de cette parabole avec la droite AB donne une solution complètement étrangère à la question. La plus petite racine en valeur absolue convient seule.

La racine étrangère de l'équation, ayant une valeur absolue très grande, l'autre racine qui convient est voisine de

$$u_1 - u_0 = - \frac{a^2}{4} \frac{f''(u_0)}{\frac{1}{r} + f'(u_0)}$$

Elle détermine $u_1 - u_0$ lorsqu'en se servant du tracé de la caractéristique de grille on a trouvé les valeurs des dérivées. La connaissance des caractéristiques de plaque permet ensuite de connaître la diminution du courant dans le téléphone $j_1 - j_0$ pour une diminution de tension de grille $u_1 - u_0$.

Dans cette détermination il convient d'ajouter à la résistance de la lampe ρ la résistance apparente R du téléphone.

$\frac{1}{r}$ étant petit vis-à-vis de $f'(u_0)$, on est amené à choisir comme point de détéction un point voisin de celui pour lequel le rapport $\frac{f''(u_0)}{f'(u_0)}$ est

le plus grand possible.

Pour que le condensateur transmette intégralement les variations de potentiel à la grille, il doit avoir une capacité bien supérieure à celle des électrodes de la lampe. Il faut aussi, et cette condition est facilement réalisée,

que sa réactance $\frac{1}{C\omega}$ soit inférieure à la résistance apparente entre le filament et la grille. Il arrive que le détecteur devient moins sensible pour les petites ondes car la capacité de la lampe produit des dérivations du courant de haute fréquence sans le détecter.

Quoique le montage en détecteur que nous venons de décrire laisse passer par la grille un courant, il amortit très peu les oscillations, ce courant est en effet très faible. La résistance de la lampe entre la grille et le filament qui atteint 200000 ohms est bien supérieure à la résistance de quelques milliers d'ohms d'un détecteur à cristal.

Les figures 36 et 37 représentent des modes de montage en détecteur équivalents à celui qui vient d'être étudié.

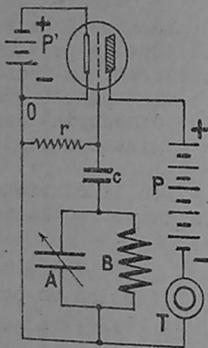


Fig. 36.

4. - Réception des transmissions par ondes entretenues - Hétérodyne. -

Lors de la réception des ondes amorties des postes à étincelles, l'arrivée de chacun des trains d'ondes qui correspondent à une étincelle, produit une variation du courant moyen détecté. La membrane du téléphone est déplacée puis revient à sa position normale avant l'arrivée du train d'ondes suivant. Elle effectue donc des oscillations de fréquence égale à celle des étincelles et rend

le son de hauteur correspondante.

Lors des transmissions par ondes entretenues, le courant moyen est modifié au début d'un signal et conserve pendant toute la durée de ce signal une intensité constante. On obtient donc seulement des déplacements de la membrane téléphonique au début et à la fin des signaux, sans percevoir aucun son durable pendant le signal.

L'oreille est peu sensible à ces petits mouvements isolés de la membrane téléphonique. Ils ne sont perceptibles que pour des transmissions intenses et ne peuvent pas facilement servir à la lecture des signaux.

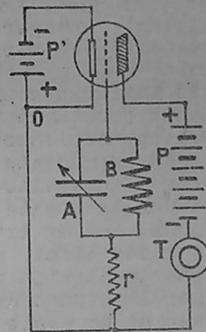


Fig. 37

Il faut donc faire en sorte que le courant moyen varie d'intensité à fréquence musicale. On employait autrefois un vibreur appelé tikker qui coupait périodiquement le circuit à haute fréquence. Ce procédé avait l'inconvénient de mal utiliser l'énergie reçue par l'antenne puisque celle-ci était perdue pendant les coupures.

Les lampes ont permis un mode de réception bien supérieur des signaux par ondes entretenues qui, loin de diminuer la sensibilité, l'augmente au contraire dans de notables proportions.

Au voisinage du circuit oscillant de réception disposons un générateur d'oscillations de l'un quelconque des types que nous avons décrit dans le précédent chapitre.

Nous construirons ce générateur, qu'on appelle hétérodyne, de façon à ce qu'il fonctionne loin de sa limite d'entretien. Il fournit ainsi des oscillations d'amplitude relativement faible mais très stables et on peut, en modifiant la capacité du circuit oscillant, changer la période dans de larges limites sans craindre le décrochage des oscillations.

Cet hétérodyne, accordé sur le circuit oscillant de réception, y induit constamment des oscillations qui, après détection, déplacent la membrane du téléphone d'une façon permanente puisqu'elles ne font que modifier l'intensité du courant tout en lui conservant une intensité constante. Si on monte le téléphone sur un transformateur elles ne produisent aucun effet.

Supposons maintenant que le circuit de réception reçoive également par l'antenne des oscillations entretenues provenant du poste correspondant, ces oscillations s'ajoutent aux précédentes et, si elles ont également la même période, l'oscillation résultante a encore une amplitude constante et reste sans action sur le téléphone.

Réglons maintenant l'hétérodyne sur une période non pas rigoureusement égale, mais un peu différente plus petite, par exemple.

L'interférence entre les deux oscillations produit un phénomène identique à celui, qu'en acoustique, on appelle battements. L'une des oscillations retarde sur l'autre et passe périodiquement par la concordance de phase ou par la phase inverse. L'amplitude est alors alternativement la somme ou la différence des amplitudes composantes. L'intervalle de temps qui sépare deux maxima d'amplitude consécutifs est le temps pendant lequel une oscillation retarde sur l'autre d'une période. La fréquence f de ces maxima est donc la différence $f_1 - f_2$ des fréquences des oscillations qui interfèrent.

Après détection, on obtient un courant moyen de fréquence

$$f = f_1 - f_2$$

Si l'hétérodyne est réglé assez près de l'accord pour que $f_1 - f_2$ baisse jusqu'aux fréquences musicales, le téléphone rend un son, qui se maintient à hauteur constante pendant toute la durée du signal.

En modifiant d'une manière continue la période de l'hétérodyne, on entend d'abord un son aigu, ce son devient de plus en plus grave, disparaît lorsque l'accord exact est réalisé puis réapparaît de plus en plus aigu.

On constate qu'en employant des récepteurs hétérodynes et des signaux à ondes entretenues, on réalise avec la même puissance des portées bien supérieures à celles que donnent les transmissions amorties et les récepteurs sans hétérodyne.

Nous allons montrer que cette augmentation de sensibilité du récepteur vient de ce que l'usage d'une réception par interférences augmente considérablement le rendement du détecteur. Celui-ci au lieu de redresser seulement partiellement les oscillations reçues par l'antenne, les redresse complètement.

U_0 étant la tension aux bornes d'un détecteur i_0 le courant constant correspondant,

$$u = f (1)$$

la relation entre la tension et le courant, nous avons vu qu'un accroissement de tension Δu produisait un accroissement de courant.

$$\Delta i = \Delta u f'(u_0) + \frac{\Delta u^2}{2} f''(u_0)$$

Si Δu est une oscillation pendulaire de la forme $a \sin \omega t$, l'accroissement moyen du courant

est la valeur moyenne de $\frac{\Delta u^2}{2} f''(u_0)$. Cette

valeur moyenne lors des réceptions amorties varie avec la fréquence des étincelles.

Dans la réception hétérodyne Δu est la somme de deux oscillations pendulaires de fréquence très voisine.

$$\Delta u = \Delta u_1 + \Delta u_2$$

Δu_1 correspondant à la transmission à recevoir, Δu_2 à l'hétérodyne

valeur moyenne de $\frac{\Delta u_2}{2} f''(u_0)$ = valeur moyenne de $\frac{(\Delta u_1 + \Delta u_2)^2}{2} f''(u_0)$

= valeur moyenne de $\frac{\Delta u_1^2}{2} f''(u_0)$ + valeur moyenne de $\frac{\Delta u_2^2}{2} f''(u_0)$ + valeur moyenne de $\Delta u_1 \Delta u_2 f''(u_0)$

Les deux premiers termes représentent des courants d'intensité constante, qui ne font pas vibrer la membrane du téléphone. Le terme $\Delta u_1 \Delta u_2$

$f''(u_0)$ au contraire change périodiquement de signe. L'une des oscillations retardant en effet, constamment sur l'autre, Δu_1 et Δu_2 sont tantôt du même signe tantôt de signe contraire. La fréquence de $\Delta u_1 \Delta u_2 f''(u_0)$ est $f_1 - f_2$.

Si cette fréquence est assez basse pour que le téléphone puisse la suivre il rend un son.

On voit que le terme utile qui, dans la réception des ondes amorties, était $\frac{\Delta u^2}{2} f''(u_0)$ est ici

$\Delta u_1 \Delta u_2 f''(u_0)$, l'un est proportionnel au carré de l'amplitude des oscillations reçues, l'autre

à la première puissance. Or pour des variations très petites $\Delta u_1 \Delta u_2 f''(u_0)$ est beaucoup plus

grande que $\frac{\Delta u^2}{2} f''(u_0)$

Comme dans tous les cas, où l'on a affaire à une fonction de la forme

$$y = A x^2$$

représentée par une parabole (fig. 38) et où l'on

désire qu'une augmentation dx de la variable produise une grande variation de la fonction, il y a intérêt à augmenter par l'addition d'une quantité constante, la valeur initiale de la variable. On a ainsi au lieu d'un accroissement utile AB , un accroissement utile $A'B'$ beaucoup plus grand. C'est pour cette raison par exemple, qu'on polarise les noyaux d'électrodes des téléphones, on ajoute ainsi à la variation d'induction produite par le courant oscillant, une induction constante.

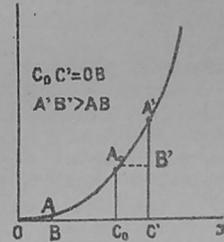


Fig. 38.

Dans la réception hétérodyne on ajoute à l'oscillation reçue de l'antenne, une oscillation constante d'amplitude plus grande, celle de l'hétérodyne.

Si l'hétérodyne induit dans le circuit oscillant une amplitude suffisante, il est même facile de voir qu'une lampe détecteur qui utilise la courbure de la caractéristique de grille supprime complètement l'effet de l'une des deux alternances

de l'oscillation à recevoir et conserve intégrale-
ment l'autre.

Supposons que l'oscillation due à l'hétérody-
ne soit assez intense pour faire dépasser au point
de fonctionnement sur la caractéristique de grille,

le point auquel le courant de grille com-
mence. Lors des variations d'amplitude de la ten-
sion de grille dues aux interférences, les chan-
gements d'amplitude négative seront sans effet sur
le courant de grille qui est déjà nul. Les change-
ments d'amplitude positive au contraire, feront
augmenter le courant de grille à peu près propor-
tionnellement à leur valeur.

Le rendement d'un détecteur qui est très petit
dans la réception ordinaire se trouve de ce fait
considérablement amélioré dans la réception hété-
rodyne.

D'autre part, une réception hétérodyne
laisse maître de choisir la hauteur de son la plus
favorable, soit celle qui étant en résonance avec
la fréquence propre de la membrane donne au télé-
phone le plus de sensibilité, soit celle pour la-
quelle les parasites sont le moins gênants.

La réception hétérodyne a de plus l'avantage
de permettre une sélection des transmissions dont
aucune résonance ne serait capable.

Un téléphone, en effet, n'est plus sensible
aux sons de fréquence supérieure à 3.000. Si donc
la différence $f_1 - f_2$ est en valeur absolue supérieu-
re à 3000 le poste n'est pas entendu. La condition
d'audition,

$$f_1 - f_2 < 3000$$

peut s'écrire, en introduisant la différence rela-
tive des fréquences,

$$\frac{f_1 - f_2}{f_1} < \frac{3000}{f_1}$$

ou en remplaçant les fréquences par les longueurs
d'ondes en mètres,

$$\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2} < \frac{3000}{3 \times 10^8} \lambda_1$$

qui montre que l'écart relatif entre deux lon-
gueurs d'ondes qui peuvent être entendues simul-
tanément est proportionnel à la longueur d'onde.

Il est très petit pour les lon-
gueurs d'ondes courtes. Sa valeur est

$\frac{1}{1000}$ pour $\lambda = 100m$ ce qui correspond à un écart
absolu de $0m,10$

$\frac{1}{100}$ " $\lambda = 1000 m$ " " " $10m$

$\frac{1}{10}$ " $\lambda = 10000 m$ " " " $1000m.$

Pour les ondes de longueur d'onde voisines de
1000 m, la sélection est suffisante pour qu'il
soit possible de faire travailler dans le même lo-
cal, des postes, qui transmettent ou reçoivent si-
multanément, sur des longueurs d'ondes dont la
différence n'est que de 20 à 30 mètres.

5. - Détecteur hétérodyne. - (1)

L'usage de l'hétérodyne complique beaucoup
la recherche du poste correspondant. Il faut,
pour que l'audition soit possible, un accord
simultané, que nous venons de voir très précis, des
circuits oscillants du récepteur et de l'hétérodyne.
Il est donc difficile d'arriver par tâtonnements
à ce double réglage.

Il est un moyen de l'éviter qui consiste à se
servir de la lampe-détecteur elle-même pour entre-
tenir des oscillations dans le circuit de récep-
tion. On évite ainsi le réglage supplémentaire
d'un hétérodyne.

Lorsque le circuit de réception est très près
d'être accordé sur la transmission, les ondes re-
çues par l'antenne interfèrent avec les ondes en-
tretienues dans le circuit lui-même. Le moindre

(1) On désigne aussi cette disposition par le
nom " autodyne ".

désaccord entre les deux fréquences suffit à faire entendre les signaux et ce désaccord est tellement petit, au moins pour les longueurs d'ondes qui ne dépassent pas quelques milliers de mètres, qu'il n'altère en rien la résonance.

La recherche d'un poste à ondes entretenues est alors aussi facile que celle d'un poste à ondes amorties.

Pour faire entretenir des oscillations dans le circuit oscillant, il suffit (fig. 39) d'ajouter

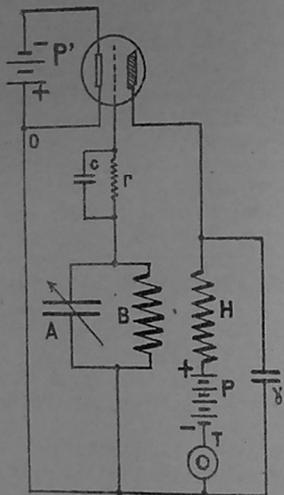


Fig. 39.

une bobine H sur le circuit de plaque de la lampe-détecteur et de coupler cette bobine avec la self B du circuit de réception AB. Nous avons vu dans le précédent chapitre que ce couplage, s'il était suffisant, provoquait l'entretien d'oscillations.

En mettant hors circuit la bobine H, on retrouve un détecteur ordinaire.

Il peut être avantageux d'ajouter entre le point commun O et la plaque un condensateur de très petite capacité, moins de $\frac{1}{10000}$ de microfarad.

Ce condensateur permet la transmission directe entre la plaque et le filament des variations

de tension à haute fréquence

Le détecteur-hétérodyne, outre qu'il simplifie le réglage, et diminue le matériel à employer, permet une grosse amplification supplémentaire des signaux et cette amplification s'ajoute à celle qui résulte déjà de l'emploi d'un récepteur hétérodyne. Nous avons montré, en effet (page 82) qu'un circuit oscillant près de sa limite d'entretien se comportait comme si son amortissement était compensé et que la moindre force électromotrice en résonance agissant sur le circuit oscillant y produisait des oscillations de grande amplitude, ou augmentait beaucoup celles qui y existaient déjà.

Si le couplage des bobines B et H est réglé près de la limite d'entretien et au-dessus de cette limite, on augmente beaucoup la sensibilité des réceptions hétérodynes.

Si, diminuant un peu le couplage, on fait cesser les oscillations en restant toutefois très près du couplage limite d'entretien, on reçoit avec une forte amplification les transmissions amorties, sans déformer leur son.

Comme l'induction mutuelle de H et B qui correspond à la limite d'entretien est d'autant plus grande que la longueur d'onde est elle-même plus grande, il y a lieu, pour profiter tout à fait de l'amplification dont il vient d'être question, de se réserver la possibilité de faire tourner l'une des bobines par rapport à l'autre.

L'amplification par un détecteur hétérodyne près de la limite d'entretien est particulièrement avantageuse. Elle ne se produit, en effet, que pour une longueur d'onde déterminée et rend plus facile l'élimination des transmissions parasites.

CHAPITRE IV

EMPLOI DE LA LAMPE VALVE À 3 ELECTRODES COMME RELAI-AMPLIFICATEUR.

Amplificateurs à transformateurs pour les basses fréquences (fréquences acoustiques).

Soient L et L' (fig.40) les extrémités d'une ligne téléphonique ou les deux fils qui amènent au téléphone les courants détectés d'une réception radiotélégraphique.

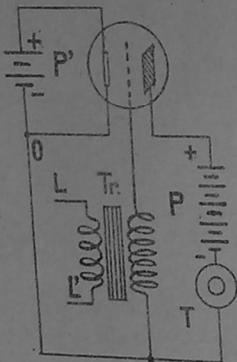


Fig. 40.

Supposons que l'énergie dont on dispose, soit trop faible pour produire dans le téléphone des sons d'intensité suffisante.

Relions L et L' au primaire d'un transformateur élévateur de tension Tr, dont le secondaire est intercalé dans le circuit de grille d'une lampe.

La plaque, étant portée par une pile P à un potentiel supérieur à celui du filament, disposons le téléphone T sur le circuit de plaque.

Choisissons le chauffage du filament et la tension de plaque de telle sorte que le point de fonctionnement soit sur une partie à peu près rectiligne de la caractéristique de plaque.

Cette condition est, par exemple, réalisée pour une différence de potentiel entre les extrémités du filament égale à 4 volts et une tension de plaque de 100 volts environ. Le point commun O étant le pôle négatif de la batterie d'accumulateurs P'.

Lorsqu'un courant téléphonique très faible traverse l'enroulement primaire du transformateur, il induit dans le secondaire une force électromotrice et le potentiel de la grille oscille autour de sa valeur initiale.

Il en résulte dans le circuit de plaque des variations périodiques d'intensité et le téléphone rend un son.

Le point de fonctionnement étant sur une partie rectiligne de la caractéristique les variations d'intensité du courant sont proportionnelles aux variations de tension de la grille et aux variations d'intensité du courant de ligne.

La forme des courants est donc conservée et la transmission téléphonique n'est pas dénaturée, mais elle est amplifiée.

La lampe sert de relai - amplificateur. La pile locale P, dont le débit est réglé par les oscillations de grille fournit au téléphone l'énergie nécessaire. La ligne téléphonique n'a plus qu'à entretenir les variations de potentiel de la grille ce qui nécessite une quantité d'énergie très petite.

Si, en effet, le potentiel initial de la grille est celui du pôle négatif de la batterie d'accumulateurs P', le courant dans le circuit de grille est très faible. Il pourrait même être nul si on diminuait un peu le potentiel constant de la grille. La grille ne débitant plus de courant, l'énergie nécessaire pour faire varier son potentiel est extrêmement petite.

Le relai ainsi constitué est donc très

sensible, il est aussi très fidèle, car il ne comporte aucun organe mécanique, aucun frottement et reproduit sans retard en les amplifiant toutes les oscillations qui lui sont transmises.

En montant le téléphone sur le circuit de plaque par l'intermédiaire d'un transformateur, on se débarrasse du courant constant pour ne conserver que ses variations.

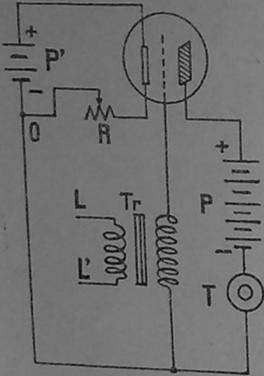
Il est un moyen très simple d'abaisser un peu le potentiel de la grille pour réduire le courant entre cette grille et le filament, ce qui diminue l'énergie empruntée par la lampe, à la ligne téléphonique et augmente l'amplification.

On dispose en général (fig. 41), sur le circuit de chauffage du filament, un rhéostat de réglage R, on le met du côté du pôle négatif de la batterie et on connecte le circuit de grille en O à ce pôle. Le potentiel de grille se trouve abaissé au-dessous du potentiel du filament d'une quantité égale à la chute de tension dans le rhéostat.

Lorsqu'on emploie des tensions faibles sur la plaque, 40 volts, la résistance apparente entre la grille et le filament à diminuer un peu le chauffage par un rhéostat, afin de faire augmenter cette résistance.

Dans le cas où l'écoute se fait sur un son de hauteur bien définie, on peut obtenir une amplification sélective en connectant les armatures d'un condensateur entre les extrémités du secondaire du transformateur. On réalise ainsi un circuit oscillant que l'on accorde sur la fréquence acoustique à amplifier.

Fig. 41.



Si l'amplification par une seule lampe est insuffisante, on l'augmente en utilisant plusieurs lampes, chacune d'elle amplifiant le courant déjà amplifié par la précédente (fig. 42).

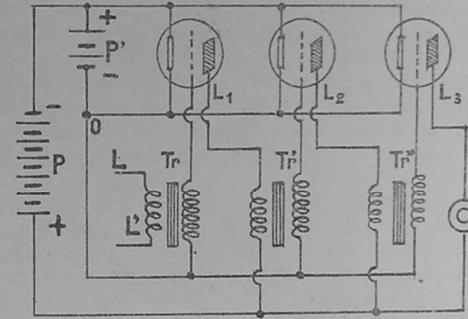


Fig. 42.

A la place du téléphone, on dispose le primaire d'un second transformateur élévateur de tension Tr' dont on intercale le secondaire sur le circuit de grille d'une seconde lampe L2.

On peut ensuite à nouveau amplifier par un troisième transformateur Tr'' et une troisième lampe. Le téléphone est intercalé dans le circuit de plaque de la dernière lampe.

Tous les filaments sont chauffés par la même batterie d'accumulateurs P'.

La même pile P fournit tous les courants dans les circuits de plaque.

Le pôle négatif de la pile P peut être relié, soit au pôle positif, soit au pôle négatif de la

pile P'. En choisissant le pôle positif comme la figure 40 l'indique, on élève le potentiel de la plaque par rapport au pôle négatif d'un nombre de volts égal à la force électromotrice de la batterie P'. Ce gain n'est pas négligeable, si on dispose pour P d'un nombre de volts peu élevé.

La construction d'un amplificateur à plusieurs étages à cause de la complexité et du nombre des circuits en présence nécessite certaines précautions.

Les enroulements des transformateurs, bobinés l'un sur l'autre, créent entre les grilles et les plaques de lampes des capacités et on se trouve en présence d'un certain nombre de circuits qui peuvent osciller.

Les circuits de plaque et de grille étant couplés soit par capacité, soit par induction, si pour l'un de ces circuits oscillants la condition d'entretien est satisfaite, des oscillations s'y produisent.

Les coefficients de self induction des secondaires des transformateurs sont très élevés, des capacités très petites peuvent alors amener la période du circuit jusqu'à celle des vibrations sonores.

Par exemple, pour une fréquence 1.600 qui correspond à peu près à la pulsation $\omega = 10.000$, la capacité d'un circuit oscillant de self induction 100 henrys est

$$C = \frac{1}{L\omega^2} = \frac{1}{10^{10}}$$

c'est-à-dire un dix-millième de microfarad.

Si des oscillations à fréquence sonore se produisent, les courants alternatifs envoyés au téléphone lui font rendre un son continu intense et tout usage de l'amplificateur devient impossible. Il faut donc s'arranger pour que les capacités parasites, qui sont surtout celles des enroulements de transformateurs, soient aussi faibles que

possible. Dans les limites où on peut le faire sans trop augmenter les fuites magnétiques, il convient donc de laisser un petit espace entre les deux enroulements.

A cause de la très grande résistance des transformateurs et du faible rapport de la capacité à la self induction des enroulements, l'induction mutuelle ou le couplage par capacité nécessaires pour satisfaire à la condition d'entretien sont élevés, ce qui permet d'éviter les oscillations. Il n'en arrive pas moins qu'un amplificateur bien réglé pour des lampes données chante quelquefois, soit parce que l'une des lampes de construction exceptionnelle satisfait à la condition d'entretien, soit par suite de défauts d'isolement qui modifient les conditions de marche. Souvent un changement d'intensité du courant de chauffage suffit à empêcher la condition d'entretien d'être satisfaite et rend à nouveau l'appareil silencieux.

La mise des circuits magnétiques des transformateurs au potentiel du pôle positif de la pile de plaque par une liaison métallique donne quelquefois de bons résultats.

Lorsque, pour augmenter l'amplification, on réduit l'intensité du courant de grille en baissant un peu le potentiel de la grille, on tend à faire chanter l'amplificateur, cela tient à ce qu'en réduisant l'énergie dissipée dans les lampes on diminue l'amortissement des circuits oscillants, ce qui y facilite l'entretien d'oscillations.

Il est possible aussi qu'un amplificateur chante lorsqu'il s'y produit à la fois deux oscillations de fréquence trop élevée pour agir sur un téléphone mais dont les battements par interférence sont à fréquence sonore.

Quel peut être maintenant le rôle des oscillations de fréquence non audible qui peuvent se produire ? Une réponse définitive à cette question est assez difficile à donner. Nous avons vu qu'un système prêt à osciller avait des propriétés amplificatrices, elles sont peut-être avantageuses dans

certain cas, mais il faut observer qu'il n'est possible d'en profiter que si les oscillations sont très faibles et de la période des oscillations à amplifier. En tous cas les oscillations trop intenses produiraient des variations considérables des potentiels de grille devant lesquelles celles qu'il s'agit d'amplifier disparaîtraient. L'amplificateur ne fonctionnerait plus.

Il est donc prudent, et c'est l'une des grosses difficultés de construction des amplificateurs à basse fréquence d'éviter autant qu'on le peut l'amorçage d'oscillations même de fréquence non audible.

2. - Sur la détermination des transformateurs et le choix du téléphone. -

Proposons nous pour un amplificateur à basse fréquence (fig. 40) de choisir le téléphone convenable. L'énergie vibratoire de la membrane est proportionnelle au carré de son amplitude de vibration, cette amplitude est proportionnelle à la variation d'attraction par l'électro polarisé et par suite à l'intensité j du courant dans l'enroulement.

L'énergie vibratoire est donc proportionnelle à j^2 .

Pour un téléphone d'un modèle donné et un courant donné, l'attraction est proportionnelle au nombre de tours des enroulements et l'énergie vibratoire au carré de ce nombre. La résistance apparente P du téléphone lui est aussi proportionnelle.

On doit donc pour trouver le téléphone le plus sensible chercher à rendre le produit Pj^2 le plus grand possible. Or pour des variations alternatives j et u du courant de plaque et de la tension de grille,

$$(P + P) j = k u$$

En appelant ρ la résistance entre la plaque et le filament et k le facteur d'amplification en volts de la lampe.

On tire de la relation précédente

$$P j^2 = \frac{P K^2 u^2}{(\rho + P)^2}$$

cette expression atteint sa plus grande valeur pour

$$P = \rho$$

ρ étant de l'ordre de 25.000 ohms, il faut choisir des téléphones très résistants et monter les écouteurs en série.

Cherchons maintenant le rapport de transformation à adopter pour le transformateur d'entrée. Soient R la résistance de la ligne téléphonique et des appareils de transmission, i_1 l'intensité du courant, n_1 et n_2 les nombres de tours du primaire et du secondaire, ψ le flux d'induction dans le circuit magnétique.

Si on admet que les chutes ohmiques de tension dans les enroulements du transformateur et que les forces électromotrices dues aux flux de fuite soient négligeables vis à vis de la force électromotrice induite par les variations du flux ψ ,

$$\begin{cases} E = R i_1 + n_1 \frac{d\psi}{dt} \\ n_2 \frac{d\psi}{dt} = u = - \rho' i_2 \end{cases}$$

u étant la variation de la tension de grille.
 ρ' la résistance du circuit de grille,
 i_2 le courant dans ce circuit, E la force électromotrice,
 de plus, on a approximativement.

$$n_1 i_1 + n_2 i_2 = 0$$

On tire de ces équations:

$$u = \frac{E}{\frac{1}{m} + m \frac{R}{\rho}}$$

La variation de tension de grille u est maximum si

$$m^2 = \frac{\rho'}{R}$$

Cette relation détermine une valeur approchée du meilleur rapport de transformation.

Pour les transformateurs intermédiaires, d'un amplificateur à plusieurs étages (fig. 42) ce rapport de transformation sera déterminé par la relation :

$$m^2 = \frac{\rho'}{R}$$

Le carré du rapport de transformation devra être à peu près le rapport de la résistance entre la grille et le filament à la résistance entre la plaque et le filament.

Les transformateurs intermédiaires employés sur les amplificateurs de la Radiotélégraphie Militaire ont un rapport de transformation de 4 à 5.

Toutes les considérations qui précèdent ne sont que grossièrement approchées et l'expérience seule peut fixer d'une façon sûre le choix du transformateur. Quant aux nombres de tours des enroulements, il est difficile de les déterminer à l'avance et l'expérience est le seul guide sûr.

On peut cependant appliquer pour restreindre les tâtonnements, le procédé habituel de détermination d'un transformateur. On recherchera en tous cas, pour éviter des oscillations qui feraient chanter l'amplificateur le mode de construction qui réduit au minimum la capacité entre enroulements.

3.- Amplificateur à transformateurs pour les hautes fréquences (fréquence des oscillations électriques)
Des transformateurs dont le noyau est formé de tôles très minces, perméables même aux fréquences

élevées, dont les enroulements ont très peu de tours et une seule couche de fil, peuvent être utilisés à l'amplification des courants à haute fréquence. Cette amplification se fait avant la détection; elle a l'avantage de ne pas introduire de sons parasites dus à l'amorçage d'oscillations à basse fréquence.

A cause des capacités parasites, la réalisation de l'amplificateur est d'autant plus difficile que la fréquence est plus élevée et que par suite la longueur d'onde des transmissions à amplifier est plus courte.

Nous donnerons plus loin un schéma de combinaison d'amplificateur haute et basse fréquence.

4. - Amplificateurs à résistances -

Un autre type d'amplificateur utilise pour transmettre la tension à amplifier d'une plaque à la grille d'une lampe suivante, non plus un transformateur, mais l'ensemble d'une résistance et d'un condensateur.

Les variations de potentiel de la grille d'une lampe L_1 (fig 43) provoquent des variations du courant dans le circuit de plaque. Sur ce circuit, on intercale une résistance R d'environ 80.000 ohms.

Les variations de la chute ohmique de tension le long de cette résistance sont transmises à la grille de la lampe suivante L_2 par un condensateur C de capacité d'autant plus grande que la fréquence des oscillations à transmettre est plus basse.

Une résistance R de quelques mégohms relie la grille de la lampe L_2 à l'un des pôles, négatif ou positif suivant les cas, de la batterie P' qui sert au chauffage des filaments.

Le potentiel moyen de la grille est ainsi maintenu à une valeur constante.

La tension à amplifier est amenée aux bornes BB'.

Si on doit amplifier des hautes fréquences

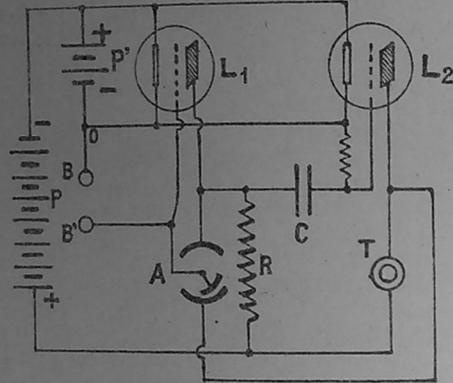


Fig. 43.

utilisées en T.S.F., on intercale entre B et B' le circuit oscillant de réception.

Pour l'amplification des transmissions téléphoniques B et B' sont reliées au secondaire d'un transformateur dont le primaire est sur la ligne.

La pile P porte les plaques à un potentiel supérieur à celui du filament. On emploie une pile de force électromotrice 80 à 160 volts.

Le téléphone T est sur le circuit de plaque de la lampe L₂.

A est un organe compensateur dont il sera seulement question plus loin.

La résistance R est choisie de façon à obtenir une variation de chute de tension R_j aussi grande que possible. Or

$$(P + R) j = K u$$

u étant la variation de tension de la grille de la

lampe L₁, K le facteur d'amplification en volts et ρ la résistance entre la plaque et le filament de cette lampe.

On augmente R_j le plus possible en augmentant la résistance R jusqu'à rendre ρ négligeable devant elle.

On doit donc choisir une résistance R bien supérieure à ρ .

On ne peut cependant augmenter par trop cette résistance R, car le courant dans le circuit de plaque deviendrait trop faible et on sortirait de la région où les caractéristiques sont rectilignes, or c'est pour les points de fonctionnement qui correspondent à ces régions que la résistance de la lampe est la plus petite et que la proportionnalité entre j et u est conservée.

L'expérience montre que pour une pile P de force électromotrice 80 volts, il n'y a pas intérêt à employer une résistance supérieure à 80.000 ohms.

Si au lieu de 80 volts, on emploie 160 volts, il est avantageux d'élever la résistance jusqu'à 200.000 ohms.

Quant à la capacité de liaison C, elle doit correspondre à une réactance $\frac{1}{\sigma \omega}$ très faible vis-

à-vis de la résistance r qui est de quelques mégohms et de la résistance de la lampe entre sa grille et son filament qui est de quelques centaines de mille ohms.

Pour R = 80.000 ohms et $r = 4$ mégohms, les valeurs suivantes sont convenables.

microFarad	fréquence	
0,000 05	> 100.000	($\lambda = 3000^m$)
0,000 15	> 30.000	($\lambda = 10000^m$)
0,001 5	> 3.000	
0,015	> 300	
0,15	> 30	
1,5	> 3	
15	> 0,3	(une oscillation en 3,3 seconde.)

On peut donc avec ce type d'appareil amplifier toute fréquence par le simple réglage de la capacité de liaison.

Nous nous occuperons d'abord de l'amplification à la fréquence des oscillations électriques.

Un amplificateur amplifie théoriquement également bien pour toute fréquence supérieure à celle pour laquelle il est réglé. En particulier, la capacité 0,015 conviendrait bien pour toutes les fréquences utilisées en radiotélégraphie, on ne pourrait y arriver par l'emploi d'un amplificateur à transformateur à haute fréquence. Malheureusement, pour les fréquences très élevées et les longueurs d'ondes courtes l'amplification est diminuée par les capacités parasites.

La capacité $\frac{1}{\omega}$ entre la grille, le filament et la plaque est en dérivation sur la résistance, en sorte que si l'onde est assez courte pour que la réactance $\frac{1}{\omega}$ devienne plus petite que la résis-

tance R l'amplification diminue beaucoup. Un amplificateur à résistance monté avec des lampes ordinaires reste bon jusqu'à 5 à 800 mètres de longueur d'onde.

On peut construire des amplificateurs pour des longueurs d'ondes plus courtes jusqu'à 200 m environ en réduisant la capacité entre les fils, qui, à travers le culot de la lampe, relie la plaque et la grille de la lampe à l'extérieur.

A cet effet (fig.44), on emploie des lampes, dont la grille et la plaque sont fixées à deux fils très éloignés l'un de l'autre qui sortent de part et d'autre de l'ampoule sphérique à travers la paroi en verre

Les lampes d'un amplificateur à résistance étant montées comme celles d'un détecteur, un tel amplificateur sert de détecteur. Dans l'amplificateur à plusieurs étages, la dernière lampe seule donne un courant redressé dans le téléphone, c'est à elle qu'est donc due la détection.

L'amplificateur haute fréquence, d'un nombre

d'étages donné est aussi sensible que l'amplificateur à basse fréquence à transformateurs mis à la suite d'un détecteur, mais il ne produit pas de bruissements et amplifie moins les parasites atmosphériques que les signaux radiotélégraphiques.

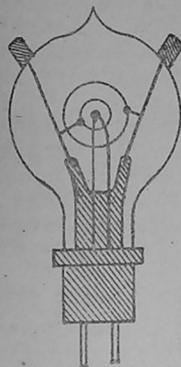


Fig. 44.

On peut par suite augmenter le nombre d'étages d'amplification, plus qu'il n'est possible dans l'amplification par transformateurs.

Dans un amplificateur à transformateurs, les entoulements décalent les courants sur les tensions d'un angle quelconque compris en-

tre 0 et 90° de sorte que les tensions de grille des lampes successives ne sont ni en phase, ni en opposition.

Dans l'amplificateur à résistance, les oscillations sur deux grilles successives sont en opposition. Lorsqu'en effet le potentiel de l'une s'élève, le courant de plaque augmente; le potentiel de la plaque et celui de la grille suivante baisse au contraire d'une quantité égale à l'augmentation de la chute de tension E_i .

A cause des capacités parasites, cette opposition de phase n'est toutefois pas rigoureusement conservée pour les très hautes fréquences. Pour augmenter l'amplification on ajoute à l'amplificateur un organe que nous appellerons "compensateur ou régulateur" c'est un petit condensateur réglable A (fig.43) formé d'une armature mobile

reliée à la grille de la première lampe et de deux armatures fixes connectées l'une à la plaque de la première lampe, l'autre à celle de la seconde.

La manoeuvre de l'armature mobile permet donc de coupler par capacité la grille de la première lampe avec l'une de ces plaques. La capacité maximum est, de part et d'autre, de l'ordre de 0,05 millièmes de microfarad.

Supposons la capacité du compensateur entre la plaque de la dernière lampe et la grille de la première lampe, cette capacité transmet une fraction $\frac{1}{p}$ des oscillations amplifiées à la grille où elles s'ajoutent à celles du circuit oscillant, puisqu'elles sont en phase avec elles. Elles sont ensuite amplifiées N fois et se retrouvent sur la plaque de la dernière lampe; une fraction $\frac{1}{p}$ est à nouveau dérivée sur la grille de la première et ainsi de suite. Au total sur la plaque de la dernière lampe l'amplification sera non plus N fois, comme cela arriverait sans compensateur mais,

$$S = N + \frac{N^2}{p} + \frac{N^3}{p^2} + \dots = N \left(1 + \frac{N}{p} + \frac{N^2}{p^2} + \dots \right)$$

Si la capacité du compensateur est assez petite pour que p soit plus grand que N, la somme précédente a pour valeur

$$S = \frac{N}{1 - \frac{N}{p}}$$

et l'amplification est augmentée dans le rapport

$$\frac{1}{1 - \frac{N}{p}}$$

Si la capacité du condensateur est assez grande pour que p soit égal ou plus petit que N, la somme précédente augmente indéfiniment, on se trouve en présence d'un régime instable, l'expérience montre que des oscillations sont entretenues dans

le circuit de réception.

Si, en effet, ce circuit oscille, les courants dans le circuit de plaque varient périodiquement d'intensité et à travers le condensateur C, un courant de haute fréquence est envoyé dans la self du circuit oscillant de réception. Il y produit une force électromotrice de self induction qui entretient les oscillations.

Nous avons vu au chapitre II que l'entretien avec une seule lampe était possible par une induction mutuelle négative du circuit de plaque sur la self de circuit oscillant. Ici l'induction est nécessairement positive, mais elle a la phase convenable, car les oscillations de la plaque de la seconde lampe sont en sens contraire de celles de la plaque de la première.

Des capacités parasites peuvent pour certaines longueurs d'ondes suffir à provoquer l'entretien des oscillations. On peut empêcher cet entretien en tournant le condensateur de façon à établir la capacité entre la grille et la plaque de la première lampe. L'induction du courant de plaque dans la self du circuit oscillant a alors la phase inverse de celle qui entretiendrait les oscillations et les empêche de s'amorcer.

La possibilité de produire des oscillations permet d'employer l'amplificateur à résistance à la fois comme détecteur et hétérodyne, lors des réceptions de signaux par ondes entretenues.

Le réglage du compensateur près de la limite d'entretien fait profiter de l'amplification dont il a été question à propos du détecteur hétérodyne. Pour l'écoute des transmissions amorties par étincelles, on règle un peu au-dessous de la limite d'entretien.

On règle au contraire, un peu au-dessus, pour l'écoute des transmissions par ondes entretenues.

Lorsque l'amplificateur comprend plus de deux étages, le compensateur permet de coupler la grille de la première lampe soit à la plaque de cette lampe, soit à la plaque d'une lampe de rang pair,

2,4 ou 6 lème.

A cause des déphasages dues aux capacités parasites il peut cependant arriver que l'entretien, pour certaines longueurs d'ondes, s'obtienne par le couplage avec une lampe de rang impair.

5. Amplificateurs à résistances pour très basses fréquences - (fréquence des courants de manipulation au Morse).

Ainsi que nous l'avons vu l'amplificateur à résistances se prête à l'amplification de variations périodiques à très basse fréquence de l'ordre d'une période par seconde ou même par deux secondes.

Il suffit d'employer des capacités de couplage suffisamment grandes.

La manipulation des signaux télégraphiques Morse constitue une sorte d'oscillation de très basse fréquence qu'il est alors possible d'amplifier.

On remplace ainsi les relais électromécaniques destinés soit à l'enregistrement graphique des signaux radiotélégraphiques, soit aux applications télémechaniques.

On amplifie d'abord les courants détectés par un amplificateur à basse fréquence. On envoie ensuite ces courants variables à fréquence musicale dans un amplificateur à très basse fréquence qui les détecte et les amplifie à nouveau. A la sortie, on obtient un courant dont les variations d'intensité moyenne suivent la manipulation des signaux.

L'amplificateur à transformateur ne satisferait à des conditions analogues qu'avec des transformateurs d'énormes dimensions étant donné la très basse fréquence pour laquelle ils devraient être construits.

Le condensateur C (fig. 45) a une capacité de 0,1 à 2 microfarads. Si l'amplificateur à basse fréquence qui précède n'a pas de transformateur téléphonique à sa sortie, on doit mettre en dérivation aux bornes d'entrée une résistance R' afin de fermer le circuit de plaque de la dernière lampe de cet amplificateur.

L'amplificateur à très basse fréquence amplifie

les variations de chute de tension le long de cette résistance R'.

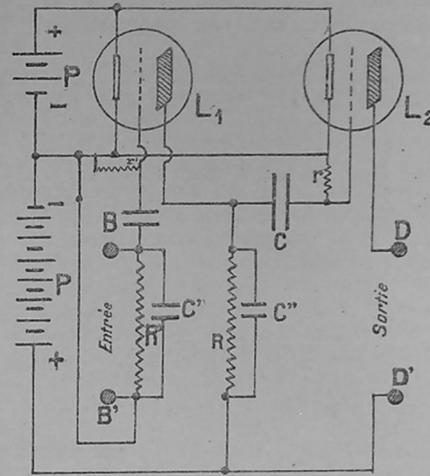


Fig. 45.

Un condensateur de capacité 0,25 microfarad également en dérivation sur les bornes d'entrée, empêche l'amplificateur à très basse fréquence de réagir sur l'amplificateur à basse fréquence qui le précède. Il est même bon de mettre aussi un condensateur C'' de même capacité, entre les extrémités de la résistance R du circuit de plaque.

Un amplificateur ainsi monté peut suivre des variations à fréquence très faible, de l'ordre de la constante de temps CR de l'ensemble de la capacité C et de la résistance R. Or cette constante de temps peut atteindre plusieurs secondes.

On constate que, lors de l'établissement d'une différence de potentiel périodique à très basse fréquence entre les bornes d'entrée, la période variable d'établissement du courant amplifié est de plusieurs périodes et dure par suite le temps de quelques signaux.

L'amplificateur suit ensuite exactement même pour des traits dont la durée atteint une seconde.

6. - Amplificateur à résonnance pour hautes fréquences (fréquences des oscillations électriques).

Un autre mode d'amplification est employé sur les récepteurs radiotélégraphiques et utilise des phénomènes de résonnance.

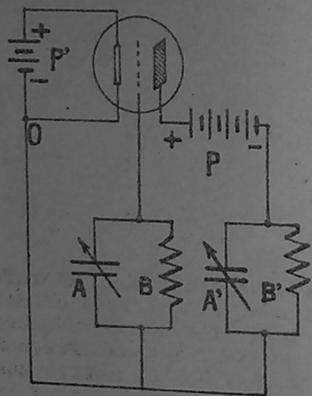


Fig. 46.

Le circuit oscillant de réception AB couplé à l'antenne (fig. 46) est intercalé sur le circuit de grille d'une lampe, dont le filament est chauffé par une batterie d'accumulateurs P'.

Sur le circuit de plaque auquel le courant est fourni par la pile P, on dispose un second circuit oscillant A'B'.

Lorsque le premier oscille, il produit une variation périodique u de tension de grille, il en résulte une variation du courant de plaque j et de la tension de plaque v

$$j = v + K u$$

ρ étant la résistance

de la lampe entre la plaque et le filament K le facteur d'amplification en volts de la lampe.

Le circuit oscillant A'B' étant accordé, son impédance, dont la valeur est $\frac{L^2 \omega^2}{R}$ est infini-

ment grande pour une résistance R infiniment petite vis-à-vis de la réactance $L\omega$. Dans ces conditions l'intensité j est nulle et $v = -K u$

La force électromotrice induite dans le circuit oscillant produit une tension de plaque v qui compense exactement l'effet sur le courant de plaque des variations de la tension de grille.

Aux bornes du circuit A'B', les oscillations de tension sont K fois plus intenses qu'aux bornes du circuit AB. On détecte les oscillations plus intenses du circuit A'B'.

L'emploi de cet amplificateur en introduisant une résonnance supplémentaire dans la réception produit aussi une sélection supplémentaire des transmissions.

Il est possible d'ajouter plusieurs étages d'amplificateurs à résonnance, comme on le fait pour les amplificateurs des autres systèmes.

Leur emploi à l'inconvénient, si la recherche rapide des postes est nécessaire, d'obliger à plusieurs réglages de résonnance. Ces appareils se prêtent donc mal à la recherche rapide des transmissions, mais ils peuvent rendre de grands services pour l'écoute de postes de longueur d'onde connue transmettant à heure fixe.

La construction de l'amplificateur à résonnance doit être l'objet de soins particuliers. Si, en effet, les deux circuits oscillants sont un peu couplés, des oscillations s'y entretiennent. On rechercherait la condition d'entretien comme nous l'avons fait au chapitre II pour divers appareils du même genre.

Il faut donc éviter autant que possible des couplages accidentels entre les bobines.

Toutefois il peut être avantageux, soit lors

des réceptions par hétérodyne, soit pour profiter de la très grosse amplification d'un circuit oscillant près de sa limite d'entretien, de disposer d'un très faible couplage réglable à volonté.

Au lieu du circuit oscillant AB, on peut intercaler sur le circuit de grille (fig. 47) tout ou

partie de la self d'antenne,

on a ainsi réalisé une réception pour laquelle le couplage entre le primaire et le secondaire se fait non plus par induction, mais par l'intermédiaire de la lampe.

Ce couplage peut être modifié à volonté, il suffit à cet effet de mettre dans le circuit de plaque un nombre variable de spires du circuit oscillant AB.

Un changement de couplage n'altère pas la période de l'an-

tenne et ne nécessite pas un nouvel accord, ce qui se produit lorsqu'on utilise un couplage par induction, comme dans les récepteurs ordinaires. On trouvera plus loin un modèle de boîte de réception utilisant une lampe dans ces conditions.

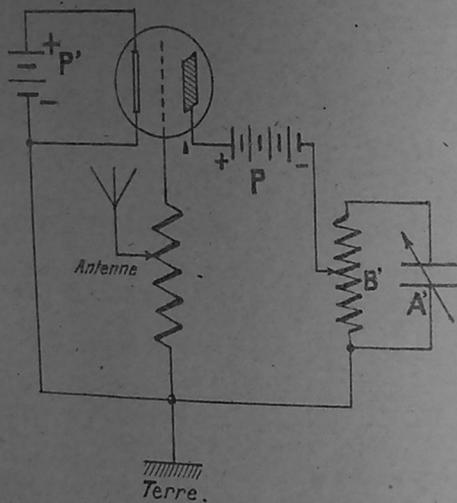


Fig. 47.

CHAPITRE V

APPLICATIONS DE LA LAMPE VALVE A 3 ELECTRODES.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE QUELQUES TYPES D'APPAREILS.

Dans ce chapitre, nous décrivons très sommairement, quelques uns des types d'appareils construits par la Radiotélégraphie Militaire.

Pour ceux qui n'y figurent pas ou pour de plus amples détails, nous renvoyons aux Notices spéciales à chacun d'entre eux.

1. - Poste radiotélégraphique ou téléphonique transmetteur - 1er type.

La figure 48 représente un poste à ondes entretenues par 3 lampes L_1 L_2 L_3 montées en parallèle.

La tension sur la plaque est environ 300 volts.

Les deux bobines de plaque A et de grille B sont couplées par le condensateur C. On peut aussi les coupler un peu par induction.

La bobine A est intercalée dans l'antenne.

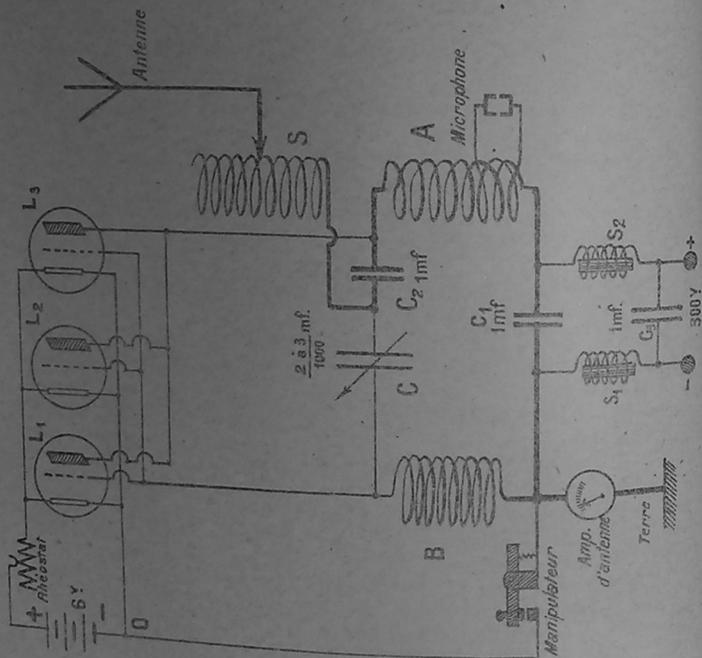
Nous avons vu au chapitre II (page 64) quelles sont les conditions d'entretien et de réglage d'un générateur d'ondes ainsi constitué.

Lorsqu'on augmente la longueur d'onde par la self d'antenne S, le condensateur variable C permet d'augmenter aussi le couplage et de régler celui-ci pour les meilleures conditions de rendement.

Le manipulateur est intercalé sur le fil de retour au point commun O des circuits de grille et de plaque.

Dans les schémas de générateurs d'ondes dont

Fig. 48.



il a été précédemment question, la pile du circuit de plaque était directement connectée à cette plaque par son pôle positif.

La source à 300 volts a été reportée ici en deçà de la bobine de plaque A, de sorte que le pôle négatif est directement connecté à la prise de terre de l'antenne. On évite ainsi que la capacité entre cette source et le sol se trouve en dérivation sur la bobine A. Cette capacité si elle est trop grande pourrait, en effet, changer les conditions de fonctionnement et même empêcher l'entretien des oscillations.

Afin de ne pas couper l'antenne, on dispose entre les bornes de la source à 300 volts un condensateur C_3 de grande capacité.

Un second condensateur C_2 évite de mettre l'antenne sous tension.

Deux bobines à noyau de fer S_1 et S_2 et un condensateur C_3 sont destinés à supprimer les ondulations de courant, lorsqu'on emploie pour fournir ce courant une dynamo.

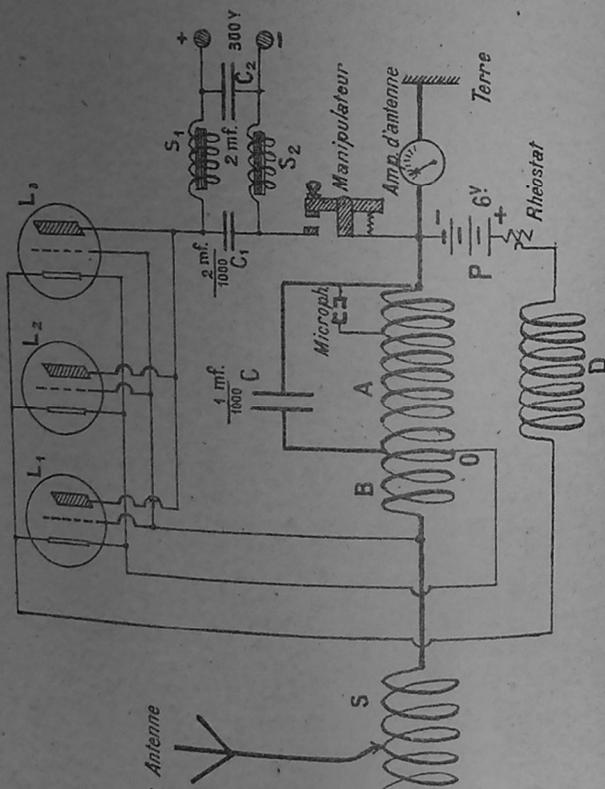
Un tel poste télégraphique peut aussi servir de poste téléphonique, il suffit, par exemple, de réunir un microphone à quelques spires enroulées sur la bobine A. Cette disposition simple suffit pour un poste de faible puissance, le courant à haute fréquence n'atteignant pas dans ce microphone une intensité exagérée.

Si on veut étendre beaucoup l'intervalle de longueur d'onde dans lequel peut transmettre un tel poste, il convient de se réserver la possibilité de modifier le nombre de spires de la bobine A et de faire varier le couplage par induction des deux bobines ou le nombre de spires de la bobine B. Ces derniers réglages ne sont pas indispensables, si l'intervalle où doit fonctionner le poste est inférieur à un octave.

2. - Poste radiotélégraphique ou téléphonique transmetteur - 2ème type.

La figure 49 représente une autre disposition

Fig. 49.



conforme au modèle de générateur d'ondes décrit au chapitre II (page 75).

Les bobines de plaque A et de grille B sont constituées par deux parties d'une même bobine. L'antenne et la grille sont connectées à l'une des extrémités, la pile de plaque et la prise de terre à l'autre. Un point O convenablement choisi est relié au filament des lampes.

Les deux bobines de plaque et de grille sont ainsi couplées par induction et par la capacité même de l'antenne.

Un condensateur variable O en dérivation sur la bobine A permet de régler les conditions d'entretien pour des longueurs d'ondes variées.

Au lieu de réunir directement les filaments des lampes à la batterie d'accumulateurs P, on peut faire passer le courant de chauffage dans la bobine A et dans une bobine D enroulée immédiatement sur celle-ci. (Pour la commodité du dessin, ces deux bobines ont été figurées l'une à côté de l'autre). On évite ainsi que la batterie P de chauffage des filaments soit portée par rapport au sol à un potentiel à haute fréquence et puisse par sa capacité avec le sol troubler les conditions d'entretien des oscillations.

Les variations de potentiel nécessaires entre la plaque et le filament sont conservées et égales à la force électromotrice induite par le flux magnétique qui traverse à la fois les bobines A et D.

Les deux sources de courant dans les circuits de chauffage et de plaque ont toutes deux un pôle réuni à la terre de sorte qu'il n'y a aucune précaution à prendre pour empêcher leur capacité avec le sol d'être gênante.

Un microphone peut être mis en dérivation sur quelques spires de la bobine A pour les transmissions radiotéléphoniques.

Les condensateurs C₁ et C₂, les selfs S₁ et S₂ comme dans le modèle précédent suppriment les ondulations de courant-plaque lors de l'alimentation du poste par une dynamo.

- Poste portatif à ondes entretenues.

Comme exemple de poste à couplage par induction (Chapitre II Page 32 et suivantes), nous donnerons le schéma d'un poste portatif.

Si on ne dispose pas de la force motrice nécessaire pour entrainer une dynamo, on est dans l'obligation de fournir le courant de plaque par une batterie de petits accumulateurs dont la force électromotrice doit être de plusieurs centaines de volts. Il en résulte une grosse augmentation du poids et de l'encombrement.

La figure 50 représente un poste dont une seule batterie P de 3 éléments d'accumulateurs fournit à la fois le courant de chauffage et le courant de plaque.

La tension est élevée par une petite bobine d'induction à vibrateur très rapide spécialement adaptée à cet usage.

Sur le circuit secondaire de cette bobine, une soupape cathodique, à électrodes d'inégales surfaces, ne laisse passer que le courant induit à la rupture. On charge ainsi un condensateur C₂ à tension à peu près constante. Une self S régularise le courant. Un condensateur C₁ transmet à la plaque les variations de tension à haute fréquence.

Les bobines de plaque A et de grille B sont couplées par induction. La bobine A sert aussi de self d'antenne. On règle l'entretien des oscillations pour diverses longueurs d'ondes en modifiant le nombre de tours utiles de la bobine B.

Le manipulateur est sur le circuit primaire de la bobine d'induction.

La figure 50 représente aussi les organes de réception. On trouvera plus loin la description d'un récepteur identique à celui-ci. Un commutateur permet de passer de la réception à la transmission.

Une petite lampe L intercalée dans le circuit de réception préalablement gradué, permet d'utiliser celui-ci comme ondemètre.

Des soupapes électrolytiques peuvent aussi servir au redressement du courant secondaire

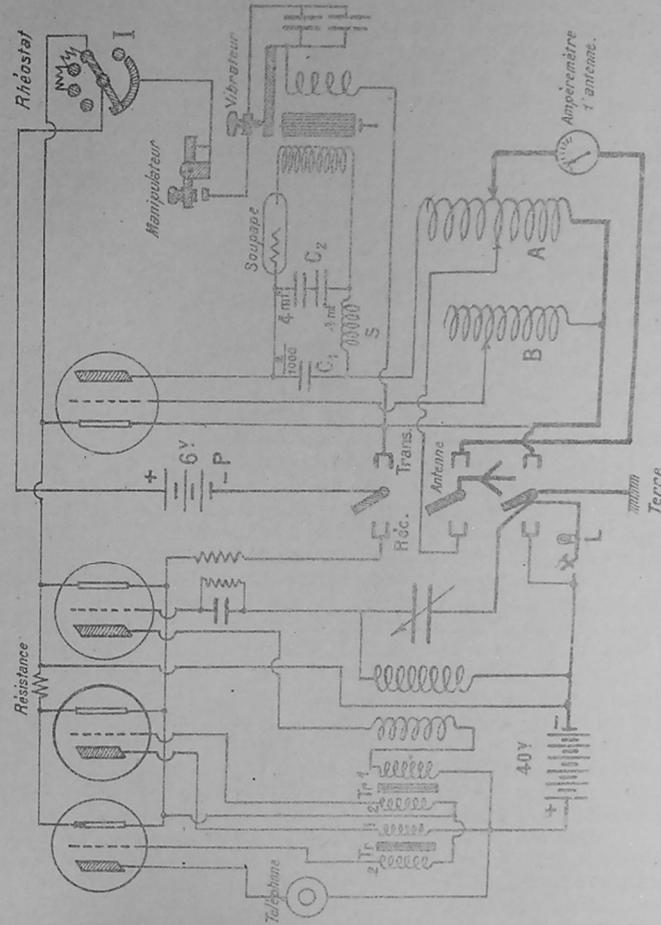


Fig. 50.

d'une bobine d'induction.

Enfin, il peut être fait usage aussi de lampes valves à deux électrodes (page 10), mais il est alors indispensable d'employer une batterie spéciale pour assurer le chauffage des filaments de ces valves.

4. - Poste radiotélégraphique ou radiotéléphonique utilisant des lampes de plus grande puissance.

Le schéma (fig 51) est celui d'un poste à plus grande puissance. On se sert de lampes de construction plus robuste dont les filaments sont alimentés à 8 volts environ et dont les plaques peuvent admettre sans échauffement exagéré une tension de 1.000 volts.

Les bobines de plaque A et de grille B et B' sont couplées par induction. La partie B de la bobine, qui est couplée à la bobine de plaque peut être tournée à l'intérieur de celle-ci afin de permettre une variation du couplage.

On utilise un nombre, variable avec la longueur d'onde, de spires de la bobine de plaque A.

Pour les émissions télégraphiques, le manipulateur est disposé dans l'antenne. Il est shunté par une résistance et un condensateur.

Si le poste fonctionne comme téléphone sans fil, on court-circuite le manipulateur.

Le microphone agit en modifiant la tension de grille, il est monté sur le circuit d'une pile de force électromotrice égale à 10 volts, les variations de courant sont amplifiées par un amplificateur basse fréquence à deux lampes. Un transformateur, à la sortie de l'amplificateur, a son secondaire réuni d'une part à la grille des lampes du poste, d'autre part au filament. Un condensateur C intercalé sur le circuit de grille laisse passer les variations à haute fréquence, tandis que 2 selfs S₁ et S₂ empêchent les courants de haute fréquence de passer par l'amplificateur.

Les variations de tension de grille n'ont pas un très gros effet sur l'intensité du courant dans l'antenne,

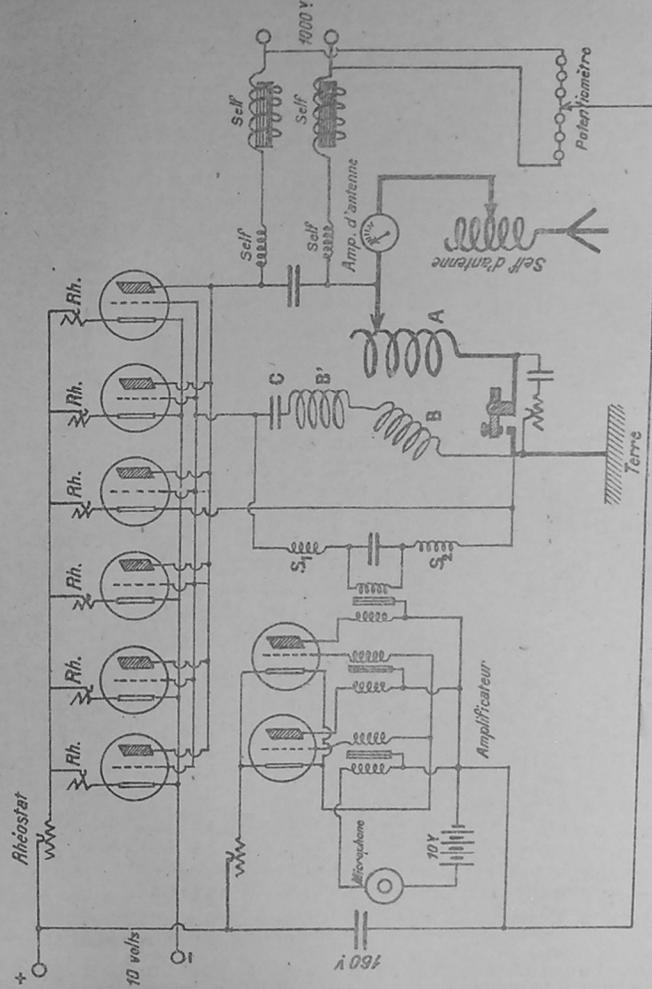


Fig. 51.

mais on s'arrange ici pour que ces variations de tension soient accompagnées de variations de la tension de plaque. Sur le circuit d'alimentation des plaques, deux selfs sans fer arrêtent les variations à haute fréquence, elles sont suivies de deux autres selfs à noyau de fer, soit L_1 leur coefficient de self induction.

La tension entre les plaques et le filament est $E - L \frac{dj}{dt}$, j étant le courant de plaque et E

la force électromotrice de la source du courant de plaque, ici 1.000 volts environ. Lorsque les variations à basse fréquence de la tension de grille font varier le courant j , la force électromotrice de self induction $L \frac{dj}{dt}$ fait varier la

tension de plaque, ce qui contribue beaucoup à changer l'intensité du courant dans l'antenne.

On arrive ainsi à faire agir énergiquement les variations de résistance du microphone sur l'intensité de ce courant.

Le microphone n'est jamais parcouru que par un courant peu intense fourni par une pile de 10 volts; il se trouve donc dans les conditions d'emploi ordinaires sur les lignes téléphoniques.

Le courant de plaque est fourni par une dynamo à 1000 volts.

Une autre dynamo fournit le courant de chauffage sous la tension de 10 volts et, sous la tension de 110 volts, l'excitation de la machine à 1000 volts, l'éclairage du poste, la ventilation des lampes pour les refroidir.

La tension de plaque (160 volts) des lampes d'amplificateur est prise sur la machine de 1000 volts par l'intermédiaire d'un potentiomètre dont les résistances sont constituées par des lampes à incandescence.

Des rhéostats permettent le réglage des différents courants.

Les appareils habituels de sécurité, interrupteurs, disjoncteurs, commutateur réception-transmission n'ont pas été reportés sur le schéma.

3. - Amplificateur basse fréquence à transformateurs.

La figure 52 représente un amplificateur

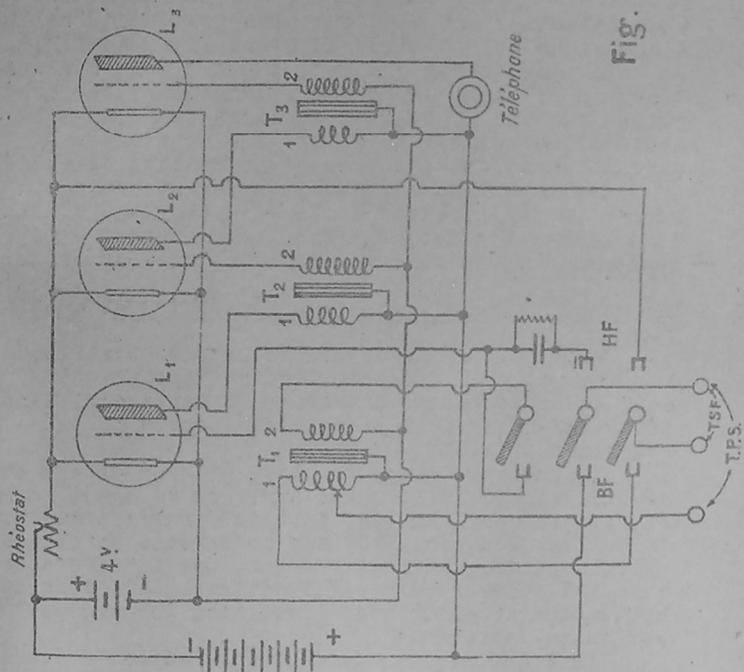


Fig. 52.

basse fréquence à transformateurs à 3 étages (page 110) pour courants téléphoniques, écoute sur les lignes, télégraphie par le sol, courants des réceptions radiotélégraphiques après détection.

Les lampes L_1 , L_2 , L_3 et les transformateurs T_1 , T_2 , T_3 amplifient les courants qui arrivent soit par les bornes marquées T.P.S, soit par les bornes marquées T.S.F. Ces deux couples de bornes correspondent à des nombres de spires différents au primaire du transformateur T, car la résistance d'un détecteur est beaucoup plus grande que celle d'une ligne téléphonique ou d'une ligne de T.P.S.

Le commutateur " H F ", " B F " permet d'utiliser la première lampe comme détecteur, les deux autres restant montées en amplificateur. On connecte alors aux bornes T.S.F. les extrémités du circuit oscillant d'un récepteur radiotélégraphique.

Les noyaux de fer des transformateurs sont réunis au pôle positif de la pile de plaque, afin de diminuer l'effet nuisible des capacités d'enroulements et la tendance de l'appareil à chanter.

6. - Récepteur radiotélégraphique hétérodyne et amplificateur basse fréquence.

Dans un même appareil, on peut combiner tous les organes d'un récepteur radiotélégraphique, self et condensateur d'antenne, circuit oscillant, détecteur-hétérodyne et amplificateur à basse fréquence (fig. 53).

La première lampe L_1 est montée en détecteur hétérodyne, comme il a été expliqué au chap III, page 107. Le circuit oscillant est intercalé sur son circuit de grille. Une bobine H, sur le circuit de plaque, entretient des oscillations qui, par interférence, avec les ondes reçues par l'antenne produisent des battements et permettent l'audition des signaux par ondes entretenues.

Lors des réceptions de transmissions amorties ou téléphoniques, un commutateur permet de mettre la bobine H hors circuit.

Si on consent à compliquer le réglage de l'appareil, on obtient le maximum de sensibilité

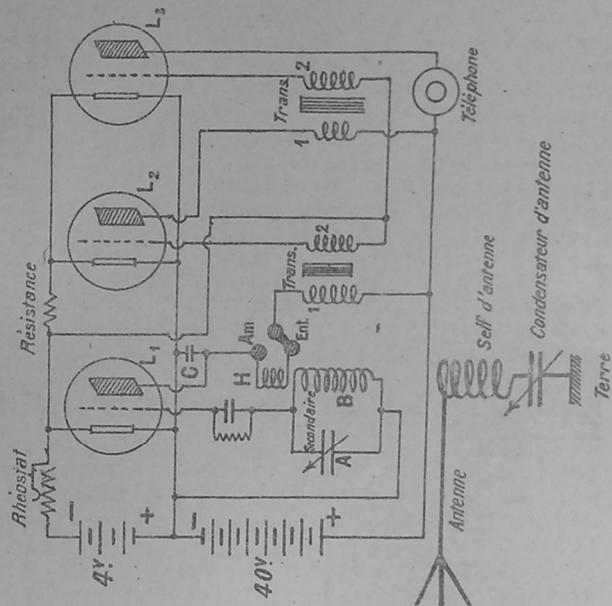


Fig. 53.

en rendant variable le couplage des bobines B et H; on peut ainsi, pour toute longueur d'onde, maintenir les oscillations à leur limite d'entretien et profiter de l'amplification qui en résulte (Voir chapitre II page 82)

Un condensateur C de capacité égale à quelques cent millièmes de microfarad est intercalé entre la plaque et le filament de la lampe L_1 . Dans le fonctionnement en hétérodyne, il transmet directement à la plaque une fraction des oscillations à haute fréquence sans changer leur phase comme le font le transformateur et la bobine H. On constate que ce condensateur améliore le fonctionnement du détecteur.

Les deux lampes L_1 et L_2 servent d'amplificateur à basse fréquence.

Amplificateur haute et basse fréquence à transformateurs.

Le schéma (fig. 54) est celui d'un amplificateur pour réceptions radiotélégraphiques.

Les oscillations reçues de l'antenne par le circuit oscillant AB sont amplifiées avant détection par les 3 lampes L_1 , L_2 et L_3 et les 3 transformateurs à haute fréquence T_1 , T_2 , T_3 (voir page 118).

Ces transformateurs, dont le nombre de tours est faible, peuvent être bobinés sur un noyau de fer en tôles très minces ou seulement constituées par deux bobines sans fer. Il importe pour éviter l'amorçage d'oscillations de réduire autant qu'on le peut les capacités entre enroulements.

La lampe L_4 détecte les oscillations. Après détection, les variations à basse fréquence dans le circuit de plaque de cette lampe sont renvoyées par le transformateur à basse fréquence F_1 sur la grille de la lampe L_2 qui les amplifie à nouveau; la lampe L_3 et le transformateur F_2 constituent un nouvel étage d'amplificateur à basse fréquence.

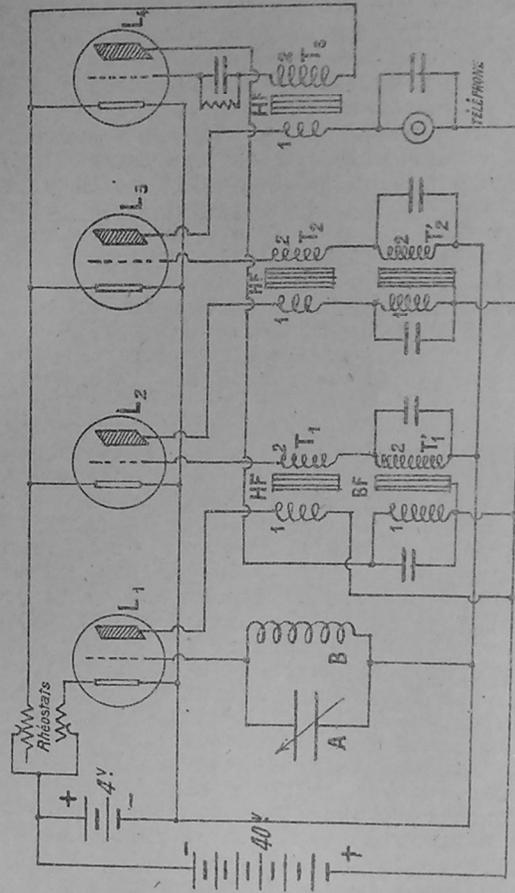


Fig. 54.

Le téléphone est intercalé dans le circuit de plaque de cette dernière lampe.

Les deux lampes L_2 et L_3 servent donc, à la fois, à l'amplification haute et basse fréquence. On doit mettre des condensateurs de 1 à 2 millièmes de microfarad en dérivation sur les enroulements de transformateurs T_1 , T_2 et du téléphone pour transmettre les variations à haute fréquence.

Les noyaux des transformateurs basse-fréquence sont reliés au pôle positif de la pile de plaque.

9. - Amplificateur haute-fréquence pour ondes courtes.

Pour les ondes courtes, un détecteur à cristal est un peu plus sensible qu'une lampe à 3 électrodes.

La capacité entre le filament et la grille (environ 5 à 10 unités électrostatiques), correspond, en effet, pour des longueurs d'ondes de 200 mètres environ à une réactance $\frac{1}{C\omega}$ comprise entre

10.000 et 20.000 ohms beaucoup plus petite que la résistance apparente entre le filament et la grille. Une partie importante des oscillations est alors dérivée par la capacité de la lampe.

Pour les ondes courtes la sensibilité d'un amplificateur haute fréquence à transformateurs est moins diminuée que celle de la lampe détecteur, à condition toutefois d'adapter les selfs des enroulements et leur période propre d'oscillations à la longueur d'onde à recevoir.

La figure 55 représente un amplificateur haute fréquence à deux lampes destiné à la réception des ondes courtes. Le secondaire du second transformateur est réuni à un détecteur à galène et à deux bornes L_1 et L_2 reliées à un amplificateur à basse fréquence.

Le circuit oscillant de réception s'intercale sur le circuit de grille de la première lampe entre les bornes B_1 et B_2 .

9. - Amplificateur haute-fréquence à résistances.
Un amplificateur haute fréquence à résistances est représenté par la figure 56. Il est construit

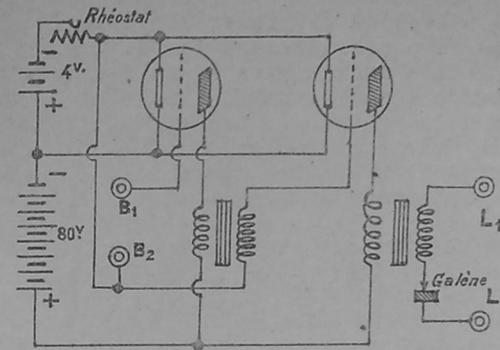


Fig. 55.

conformément aux indications données au précédent chapitre (page.119).

Deux interrupteurs I_1 et I_2 et un commutateur I_3 permettent d'utiliser deux ou quatre lampes.

Un compensateur G sert à empêcher ou à provoquer l'entretien d'oscillations dans le circuit oscillant AB . Il permet de rester toujours près de la limite d'entretien et d'obtenir ainsi l'amplification maximum.

La résistance R_1 , et la self L_1 servent à maintenir une différence de potentiel alternative à haute fréquence entre les armatures du condensateur afin que l'entretien des oscillations soit possible. On pourrait, à la rigueur, compter sur la self du milliampèremètre G et du transformateur de sortie T , mais ceux-ci sont mal adaptés à cet usage.

Il vaut mieux shunter le milliampèremètre par un condensateur, et ajouter les self et résistance R_1 et L_1 .

La résistance R_2 a le même rôle lors du fonctionnement à deux lampes seulement.

Le milliampèremètre indique l'amorçage des oscillations par une diminution du courant de plaque. (Voir page 51).

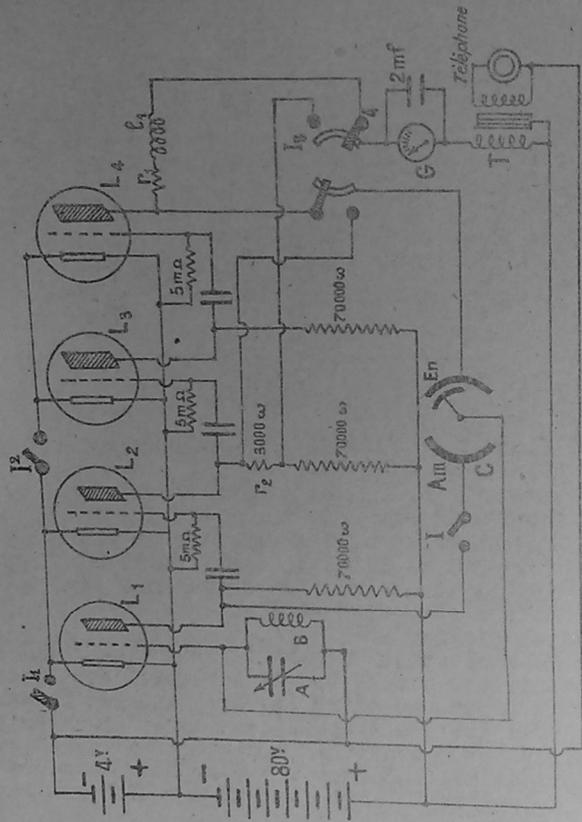


Fig. 56.

Le téléphone est relié au filament pour maintenir son potentiel constant et éviter des amorçages accidentels d'oscillations.

10. - Amplificateur haute fréquence à résistances et basse fréquence à transformateurs.
La figure 57 représente un amplificateur

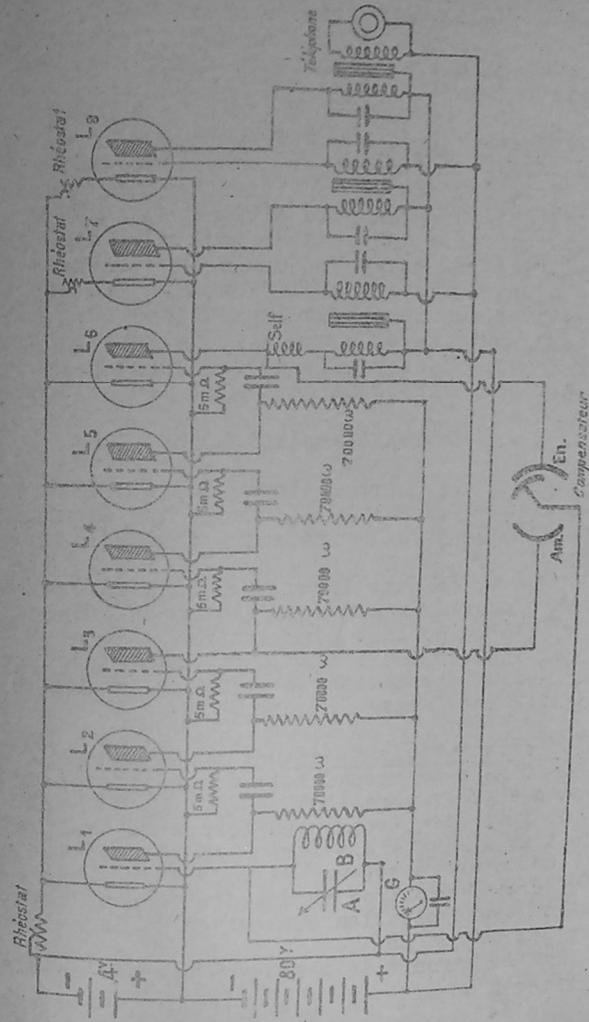


Fig. 57.

haute fréquence à résistances ayant 6 étages d'amplification. Il est suivi d'un amplificateur basse fréquence à transformateurs ayant deux étages d'amplification.

11. - Amplificateur très basse fréquence.

L'amplificateur fig.58, est un amplificateur très basse fréquence pour l'amplification des courants de manipulation (voir page 119).

Les courants détectés et déjà amplifiés par un amplificateur basse fréquence sont amenés aux bornes d'entrée de cet amplificateur. Ils ont alors la fréquence de courants téléphoniques. Une prise de téléphone, mise en court circuit automatiquement par un ressort lorsqu'elle ne sert pas, permet d'écouter les signaux et de régler les organes de réception.

Il y a 5 étages d'amplification.

Le courant plaque de la dernière lampe varie d'intensité en suivant les signaux. On envoie ce courant dans l'électro d'un Morse ou d'un relai.

On peut, en parallèle, avec la dernière lampe ajouter 3 autres lampes A B C, afin de disposer à la sortie d'un courant plus intense.

Des interrupteurs d'allumage des lampes et un commutateur permettent d'utiliser seulement une partie des lampes.

12: - Amplificateur haute fréquence à résonance.

La figure 59 représente un amplificateur à résonance (voir page.128).

On intercale, entre les bornes BB, sur le circuit de grille d'une lampe, la self du circuit oscillant d'un récepteur. Si, pour la recherche du poste correspondant, on reçoit directement sur l'antenne on connectera les extrémités de la self d'antenne aux bornes BB.

Sur le circuit de plaque on dispose un circuit oscillant C accordé sur les ondes à recevoir et une pile de plaque P.

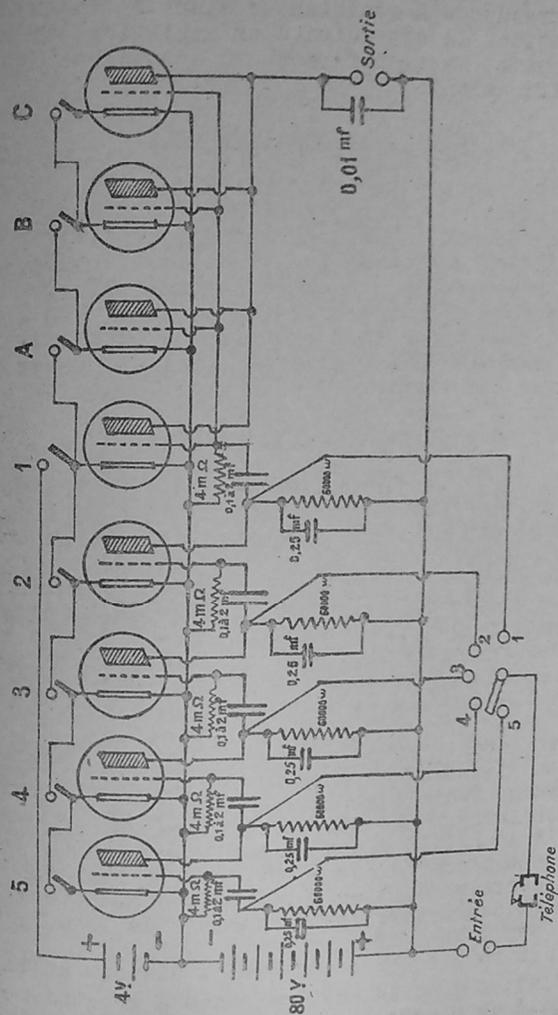


Fig. 58.

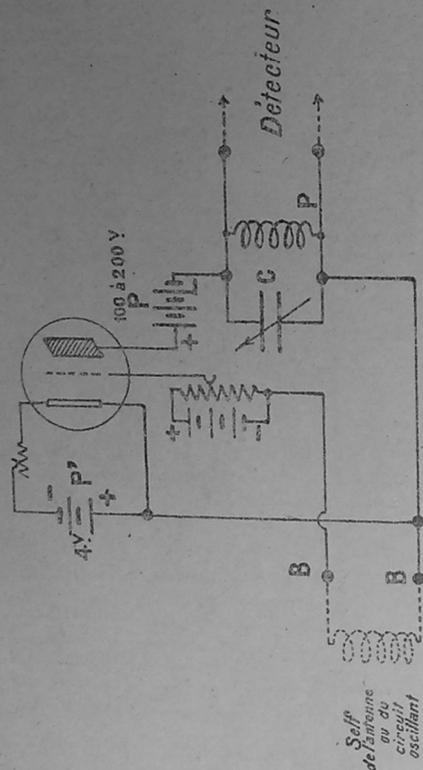


Fig. 59.

On détecte les oscillations amplifiées de ce circuit.

Le circuit de grille est réuni au pôle positif de la batterie de chauffage P et on règle la tension de grille à la valeur la plus convenable par un potentiomètre. Comme l'amplificateur ne doit pas détecter, il faut que le point de fonctionnement se trouve sur la partie rectiligne de la caractéristique de plaque. C'est ce qui est réalisé, pour une tension de plaque de 100 à 200 volts.

Il faut soigneusement éviter tout couplage entre le circuit oscillant C et la bobine de réception, car ce couplage permettrait l'entretien d'oscillations.

L'amplificateur à résonance, qui nécessite un accord exact du circuit C, introduit évidemment une complication de réglage mais c'est cependant un amplificateur très efficace car cette résonance supplémentaire permet aussi une sélection plus grande des signaux.

Il est possible de faire de tels amplificateurs à plusieurs étages, si on ne recule pas devant la nécessité d'accorder un plus grand nombre de circuits.

13. - Récepteur radiotélégraphique à couplage par lampe entre le primaire et le secondaire.

Lorsque, dans un récepteur radiotélégraphique, l'antenne est couplée par induction au circuit oscillant, il est nécessaire chaque fois qu'on modifie le couplage de modifier un peu les organes d'accord condensateur ou selfs de l'antenne et du circuit oscillant.

L'induction mutuelle ayant été changée, il en résulte, en effet, un changement de période tant de l'antenne que du circuit oscillant.

On évite cet inconvénient en employant la disposition de la figure 60, déjà signalée à la page 130. L'antenne est accordée par la self S et le condensateur C.

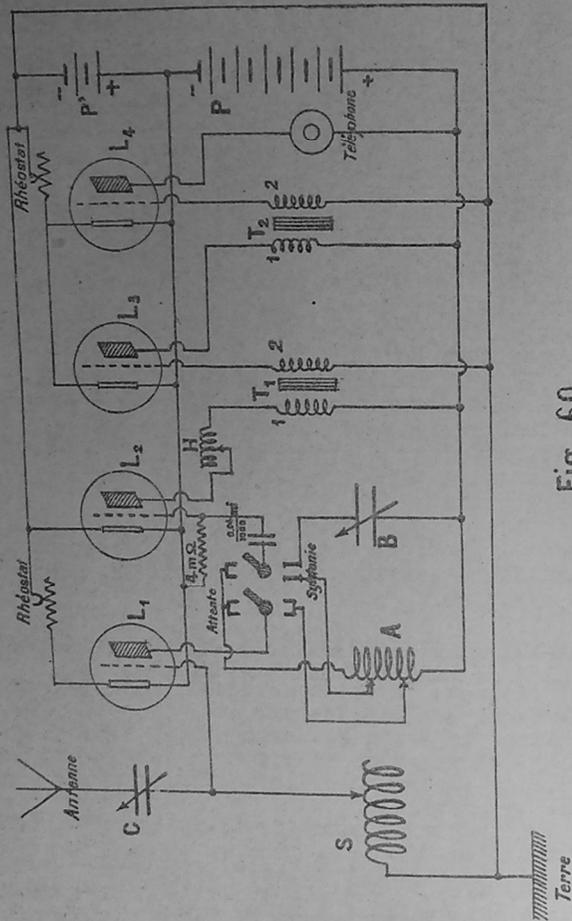


Fig. 60.

Sur le circuit de grille de la lampe L_1 on intercale la self S. Lors d'une réception les variations de tension de grille provoquent des variations du courant de plaque. Sur le circuit de plaque, on intercale un certain nombre de spires de la self A du circuit oscillant. Il n'y a ainsi aucun couplage par induction entre les bobines S et A.

Dans ces conditions le circuit oscillant étant accordé par le réglage de sa self A et de sa capacité B la résonance n'est pas altérée par des changements de la grandeur du couplage par la lampe.

La lampe L_1 , qui est montée comme celle d'un amplificateur à résonance fonctionnant sur la self même de l'antenne, en même temps qu'elle sert au couplage, augmente aussi l'intensité des signaux.

En intercalant sur le circuit de plaque un nombre variable de spires du circuit oscillant, on modifie le couplage de ce dernier avec l'antenne.

La lampe L_2 sert de détecteur, les lampes L_3 et L_4 d'amplificateurs à basse fréquence.

Un commutateur permet sur la position "syntonie" d'utiliser le circuit oscillant AB comme il vient d'être indiqué; sur la position "attente" de mettre le condensateur B hors circuit et toute la self A dans le circuit de grille du détecteur.

Le circuit oscillant est alors remplacé par une bobine apériodique. L'antenne étant accordée sur les ondes à recevoir pour cette position du commutateur, lorsqu'on passe sur la position "syntonie", il n'y a pas à retoucher à ce réglage.

Une bobine H couplée à la bobine A est intercalée dans le circuit de plaque de la lampe L_2 . Elle est destinée à faire entretenir des oscillations dans le circuit oscillant et à utiliser le détecteur comme hétérodyne. Le nombre de spires que l'on utilise est variable à volonté afin de se

tenir près de la limite d'entretien. Pour les réceptions amorties on se tient au-dessous de cette limite et on profite de l'amplification qui résulte, ainsi qu'il a été déjà expliqué, de cette disposition.

14. - Condensateur-microphone pour écoute des bruits aériens.

Le condensateur microphone est un condensateur dont l'une des armatures est une feuille de papier d'aluminium collée sur une feuille de papier tendu. L'autre armature est une toile de laiton.

L'épaisseur du condensateur est aussi faible que possible.

Lorsque la feuille de papier reçoit des sons, elle vibre et la capacité du condensateur varie. L'armature fixe est en toile métallique afin d'éviter une compression de l'air entre les armatures.

Le condensateur microphone C (fig. 61) sert de capacité à un circuit oscillant A B C dont les oscillations sont entretenues par des lampes suivant l'un des schémas précédemment indiqués, celui de la page 73, fig. 28, par exemple.

On couple au circuit A B C un second circuit oscillant M N accordé sur le premier. Lorsque le condensateur C vibre, il en résulte des altérations de la résonance qui modifient l'amplitude des oscillations du circuit M N.

En détectant et en amplifiant, on entend au téléphone les sons qui ont été reçus par le condensateur. Cette disposition est plus sensible que l'oreille.

On est malheureusement obligé d'installer l'appareil et de faire l'écoute à côté du condensateur-microphone. Il est, en effet, impossible d'éloigner celui-ci et de le relier par une ligne au reste l'appareil, car cette ligne se trouverait intercalée dans le circuit oscillant.

Le circuit M N peut être remplacé par une antenne ce qui réalise un radiotéléphone. On

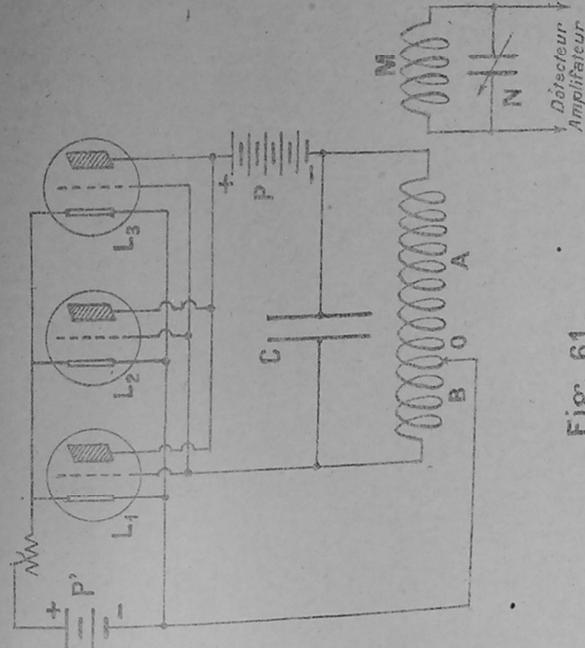


Fig. 61.

n'obtient cependant pas autant de sensibilité qu'avec un microphone ordinaire mis en dérivation sur quelques spires de la self d'antenne.

15. - Multivibrateur. -

Le multivibrateur (fig. 62) est une association de deux lampes connectées de façon à obtenir des oscillations très riches en harmoniques.

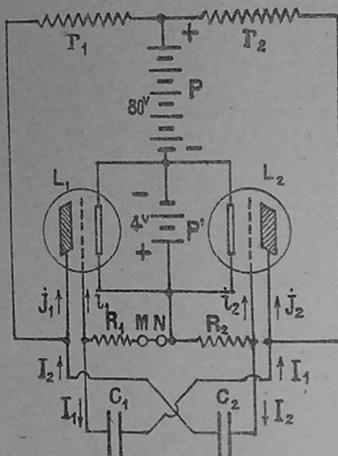


Fig. 62.

Les filaments des deux lampes L_1 et L_2 sont chauffés par une batterie d'accumulateurs P' . Sur les circuits de grille sont intercalées des résistances R_1 et R_2 en graphite aggloméré (75.000 ohms), sur les circuits de plaque, une pile P (80 volts) et des résistances en fil de mallechort r_1 et r_2 (50.000 ohms).

La plaque de chacune des lampes est couplée à la grille de l'autre par des condensateurs C_1 et C_2 dont la capacité peut être réglée entre zéro et $\frac{1}{100}$ de microfarad.

Ce montage étant parfaitement symétrique, si un régime permanent du courant est possible, les intensités dans les circuits de plaque et de grille doivent être égales, ainsi que les charges des condensateurs; or il est facile de voir qu'un tel régime est instable et ne peut s'établir.

Appelons r la valeur commune des résistances r_1 et r_2 ; R celle des résistances R_1 et R_2 ; C la capacité des condensateurs. Soient, d'autre part j_1 et j_2 les courants entre les plaques et les filaments; i_1 et i_2 les courants entre les grilles et les filaments; I_1 et I_2 les courants de charge ou de décharge des condensateurs, nous comptons positivement ces courants dans le sens des flèches indiquées sur la figure.

Les tensions de grille sont :

$$u_1 = 4 - R (i_1 + I_1)$$

$$u_2 = 4 - R (i_2 + I_2)$$

en évaluant les potentiels, ainsi que nous l'avons fait jusqu'ici, à partir de celui du pôle négatif des piles P et P' .

Les tensions de plaque sont :

$$v_1 = 80 - r (j_1 - I_2)$$

$$v_2 = 80 - r (j_2 - I_1)$$

et les charges des condensateurs,

$$q_1 = c (v_2 - u_1)$$

$$q_2 = c (v_1 - u_2)$$

Supposons qu'à un instant donné j_1 augmente, v_1 diminue et le condensateur C_2 se décharge de sorte que le courant I_2 est positif et croissant. Il en résulte une baisse de la tension de grille u_2 .

Cette baisse de la tension de grille entraîne une diminution du courant j_2 et par suite une hausse du potentiel de plaque v_2 .

Le condensateur C_1 se charge et le courant i_1 est négatif et croissant; il en résulte que u_1 augmente.

Cette augmentation accélère l'augmentation primitive du courant j_1 .

On voit donc que toute augmentation d'un courant de plaque s'accélère très rapidement. L'un des condensateurs se charge pendant que l'autre se décharge et ceci jusqu'à ce que la grille de l'une des lampes soit fortement positive et celle de l'autre fortement négative.

Les courants de grille et de plaque de cette dernière disparaissent.

Pour l'autre, le courant de plaque atteint le courant de saturation et n'augmente plus; le potentiel de grille se fixe et le courant de grille cesse aussi d'augmenter.

Un équilibre électrique dissymétrique comme celui-ci ne peut subsister dans un système symétrique. Les charges des condensateurs tendent à s'égaliser et des variations d'intensité des courants se produisent en sens inverse (1).

(1) - Les équations qui définissent les six courants sont d'une part :

$$- \frac{dq_1}{dt} = I_1 = C \left(\frac{dv_2}{dt} - \frac{du_1}{dt} \right)$$

$$- \frac{dq_2}{dt} = I_2 = C \left(\frac{dv_1}{dt} - \frac{du_2}{dt} \right)$$

et d'autre part les équations qui, pour les lampes employées, relient les courants de plaque et de grille aux tensions,

$$j_1 = f(u_1, v_1) \quad i_1 = \varphi(u_1, v_1)$$

$$j_2 = f(u_2, v_2) \quad i_2 = \varphi(u_2, v_2)$$

Ces mouvements se produisent avec une fréquence définie à la fois par les conditions dans lesquelles se trouvent les lampes, chauffage, tension de plaque et par les résistances et capacités du système.

La durée de charge ou de décharge d'un condensateur dans une résistance est d'autant plus longue que la capacité et la résistance sont plus grandes, on obtient donc des oscillations de fréquence d'autant plus basse que les capacités ou les résistances sont plus grandes. On peut réaliser les fréquences des oscillations utilisées en T.S.F. des fréquences musicales et même de plus basses fréquences.

Le multivibrateur, que nous venons de décrire, donne par exemple une fréquence voisine de 1000 lorsque les condensateurs ont une capacité de 11/1000 de microfarade. Cette fréquence peut être amenée exactement à celle de l'ut₅ (1024) par un réglage convenable du chauffage ou de la tension de plaque.

Pour de très grandes capacités et de très grandes résistances la période des oscillations peut être de l'ordre de la minute, il est alors possible de suivre les oscillations avec un milliampèremètre.

On constate une série d'inversions très brusques des courants séparées par de longs intervalles pendant lesquelles la variation d'intensité du courant est très lente.

Les oscillations du multivibrateur, et c'est là le fait intéressant, sont extrêmement riches en harmoniques, on y trouve, avec des intensités inégales, il est vrai, toute la série des harmoniques jusque vers le 150^{ième}.

Ce 150^{ième} harmonique pour un multivibrateur en ut₅ correspond à la fréquence 153600 et à la longueur d'onde 1953 mètres.

Si on détermine la fréquence fondamentale en la comparant à celle d'un diapason, ce qui peut se faire avec beaucoup de précision et si on connaît le numéro d'ordre des divers harmoniques, le multivibrateur fournit toute une série d'oscillations de longueurs d'ondes très exactement connues jusqu'aux longueurs d'ondes moyennes utilisées en T.S.F.

On peut, ensuite, construire un second multivibrateur à fréquence fondamentale plus élevée, accorder exactement cette fréquence sur l'un des harmoniques du premier et obtenir une seconde série d'oscillations de longueurs d'ondes connues allant jusqu'aux plus courtes de celles qui sont employées.

Le multivibrateur constitue donc un instrument précieux pour la vérification ou la graduation des ondemètres.

Signalons qu'on peut construire des multivibrateurs où les résistances des circuits de plaque sont remplacées par des selfs, ce sont alors ces dernières qui définissent surtout la fréquence fondamentale.

Deux bornes M N (fig. 62) permettent de faire passer le courant oscillant dans une petite bobine qui sert à coupler le multivibrateur à un circuit oscillant.

15. - Graduation d'un ondemètre au moyen du multivibrateur.

Imaginons que l'on couple la bobine (fig. 63)

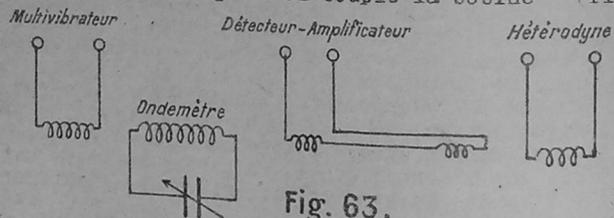


Fig. 63.

d'un multivibrateur à fréquence musicale avec le circuit oscillant d'un ondemètre. Ce dernier est excité par choc à chaque inversion brusque du courant et résonne lorsqu'il est accordé sur un harmonique du multivibrateur.

Couplons d'autre part, à l'ondemètre un détecteur, ou plutôt un amplificateur dont les lampes détectent, un amplificateur à résistances par exemple; nous entendons dans le téléphone un son à l'accord de la fréquence fondamentale du multivibrateur. Ce son passe par une série de maxima d'intensité chaque fois qu'en modifiant la capacité variable de l'ondemètre, le circuit oscillant est en résonance sur l'un des harmoniques.

On doit employer des couplages très lâches, afin d'éviter les ondes de couplage ou les réactions de l'ondemètre sur le multivibrateur qui modifieraient la période de ce dernier. L'emploi de l'amplificateur permet une audition suffisante pour des couplages très petits.

On conçoit, sans que nous donnions tous les détails des opérations, qu'on puisse, en ajoutant des capacités à l'ondemètre faire descendre sa fréquence jusqu'à celle des premiers harmoniques et compter ceux-ci pour avoir leur numéro d'ordre.

On détermine la fréquence fondamentale en accordant le son perçu sur un diapason. Le réglage se fait avec une grande précision, en ajustant les condensateurs C_1 et C_2 .

Pour déterminer le rang des harmoniques et les suivre d'octave en octave, on s'aide utilement de l'hétérodyne, on couple également un hétérodyne réglé à la fréquence f_1 près de la résonance avec un harmonique du multivibrateur de fréquence f_2 , on entend au téléphone un son de fréquence $f_1 - f_2$. Outre la fréquence fondamentale, un hétérodyne donne aussi les premiers harmoniques, si donc on accorde l'ondemètre sur l'harmonique du multivibrateur qui est à l'octave du premier, on entend sans modifier

l'hétérodyne, le son d'interférence de celui-ci avec le premier harmonique de l'hétérodyne. La fréquence de ce son est $2f_1 - 2f_2$; il est à l'octave aigu du son précédemment entendu.

Comme l'oreille entend très bien l'intervalle d'octave, il est possible ayant l'ordre d'un harmonique de trouver l'harmonique de fréquence double; d'octave en octave, on arrive ainsi à déterminer le rang des harmoniques d'ordre élevé.

L'hétérodyne sert aussi à retrouver un même harmonique, lorsqu'on a été obligé de changer le condensateur ou la self de l'ondemètre.

S'il ne s'agit que de vérifier la graduation d'un ondemètre, le rang de l'harmonique est déterminé par la graduation même à vérifier, à moins que celle-ci ne soit complètement fautive.

17. - Mesure de la résistance d'un cadre ou d'une antenne. -

L'emploi des ondes entretenues par les lampes permet de mesurer la résistance d'un cadre, d'une bobine ou d'une antenne.

Soit, par exemple, une bobine B (fig. 64) de résistance X , mise en circuit avec un condensateur C et une résistance connue R.

On règle ce circuit oscillant, à la période pour laquelle on désire connaître la résistance X.

On couple à la bobine B, en couplage très lâche, une bobine A dans laquelle un générateur d'ondes d'un des modèles décrits au chapitre II. L'observation de l'ampèremètre du circuit oscillant

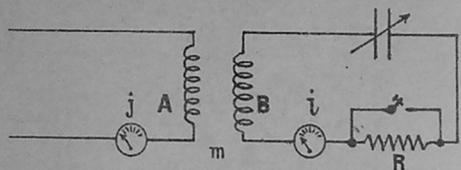


Fig. 64.

permet d'accorder exactement ce circuit oscillant et le générateur d'ondes.

Soient j l'intensité efficace du courant dans la bobine A et i l'intensité efficace dans le circuit oscillant.

Soient m le coefficient d'induction mutuelle des deux bobines; r la résistance du circuit oscillant autre que celle de la bobine B et de la résistance R.

$$i = \frac{m \omega j}{X + r + R}$$

On court circuite la résistance R, l'intensité devient

$$i' = \frac{m \omega j}{X + r}$$

d'où on tire

$$X = R \frac{i}{i' - i} - r$$

La mesure de X n'exige pas la connaissance de m, ω et j, il suffit de disposer d'un milliampèremètre à haute fréquence sensible et gradué.

Pour que le procédé de mesure soit correct, il faut un couplage très lâche entre les deux circuits, ce qui amène à employer un générateur d'oscillations aussi puissant que possible.

18. - Sur un système de transmission et de réception radiotélégraphique destiné à éliminer le brouillage par les transmissions parasites ou les perturbations atmosphériques.

L'emploi des lampes permet d'envisager la possibilité de perfectionnements notables dans la sécurité ou le secret des transmissions radiotélégraphiques.

Voici un exemple d'essai de ce genre.

Supposons qu'on produise au poste émetteur non des ondes entretenues d'amplitude constante mais des oscillations d'amplitude périodiquement variable, comme celles qui résultent de l'interférence de deux oscillations de fréquences peu différentes. On peut produire des variations d'ampli-

tude, à fréquence 10.000 par exemple, des oscillations entretenues d'une antenne de la manière suivante :

à l'aide d'un générateur d'ondes à lampes supplémentaire réglé sur la fréquence 10.000, on provoque des variations des tensions de grille ou de plaque des lampes du poste émetteur.

Au poste de réception, imaginons un récepteur ordinaire dont le circuit oscillant est accordé sur la fréquence élevée des oscillations de l'antenne. Avec un amplificateur à haute fréquence, amplifions et détectons les oscillations reçues, nous obtenons un courant moyen de fréquence 10.000.

On fait agir celui-ci sur un second circuit oscillant accordé à cette fréquence 10.000, on amplifie et on détecte une seconde fois. D'autre part, un hétérodyne à fréquence voisine de 10.000 (9.300 par exemple) produit dans le circuit oscillant des battements de fréquence audible (700 périodes).

Le courant moyen obtenu après détection à alors cette fréquence et est reçu au téléphone.

Les transmissions parasites à ondes entretenues qui ne sont pas modulées sur la fréquence 10.000 ne peuvent être entendues.

D'autre part, les transmissions amorties ou les parasites atmosphériques fournissent des trains d'ondes de durée trop courte pour donner plus d'un battement de fréquence 10.000. Leur influence faible est encore atténuée, si on a soin de se servir d'un amplificateur à résonance réglé à la fréquence 10.000 et d'un amplificateur basse fréquence à résonance réglé sur la fréquence 700.

Il ne reste qu'à éviter autant que possible, que les parasites intenses n'excitent par choc les circuits oscillants sur leur période propre.

Un mode d'utilisation peu différent du procédé qui vient d'être sommairement décrit consiste à produire les battements à fréquence 10.000, non

plus au poste transmetteur, mais au poste récepteur. A cet effet, il suffit de faire agir sur le circuit oscillant de réception accordé sur la fréquence de l'antenne, un hétérodyne réglé de façon à produire des battements inaudibles de fréquence 10.000.

Nous remarquerons, pour terminer, qu'un tel procédé peut permettre la transmission simultanée sur une même antenne de plusieurs communications télégraphiques ou téléphoniques et d'assurer leur secret.

Dans cette Notice, nous nous sommes bornés à signaler sommairement quelques applications des lampes valves à 3 électrodes parmi celles qui intéressent la Radiotélégraphie, mais ces lampes sont susceptibles d'autres applications nombreuses et dans des domaines très variés.

On les a utilisés déjà avec succès, par exemple, comme relai sur les longues lignes téléphoniques.

Elles sont d'autre part destinées à apporter de gros perfectionnements aux procédés de mesures et de recherches.

La possibilité de produire des oscillations entretenues de longueur d'onde très courte, permettra sans aucun doute des études que l'énorme amortissement des oscillations de l'étincelle rendaient inabordables ou très pénibles.

De nombreuses mesures qui n'ont pu être faites jusqu'ici sont encore nécessaires, soit pour vérifier le degré de précision de théories du genre de celles qui sont exposées dans cette Notice, soit pour fixer d'une façon certaine un mode de calcul et de construction des appareils où il est fait usage de lampes à 3 électrodes

T A B L E D E S M A T I E R E S

CHAPITRE I.

Propriétés et fonctionnement de la lampe valve à 3 électrodes. -

	Pages
1 - Emission de charges négatives par un filament incandescent	5
2 - Courant de saturation	7
3 - Résistance apparente de l'espace filament-Plaqué	9
4 - Lampe valve à 2 électrodes	10
5 - Lampe valve à 3 électrodes	11
6 - Sur le rôle de la grille	12
7 - Courbes caractéristiques de la lampe	14
8 - Influence de la tension de plaque sur la forme des caractéristiques	17
9 - Résistance du circuit de plaque - Facteur d'amplification	18
10 - Surface caractéristique de la lampe pour une température donnée du filament	21
11 - Influence de la température du filament sur les propriétés de la lampe	22
12 - Résistance du circuit de grille	24
13 - Modèles de lampes de la Radiotélégraphie Militaire	26

CHAPITRE II.

Emploi de la lampe à 3 électrodes comme générateur d'oscillations.

1 - Entretien des oscillations par une lampe	29
2 - Condition d'entretien des oscillations	32

3	- Période des oscillations	38
4	- Régime permanent d'oscillation	40
5	- Stabilité des oscillations	49
6	- Courant de grille	50
7	- Courant de plaque	51
8	- Puissance fournie au circuit oscillant ..	52
9	- Générateur d'oscillations dans lequel la self du circuit oscillant n'est pas intercalée en totalité dans le circuit de plaque. - Antenne	56
10	- Couplage entre la grille et la plaque par une capacité - Influence de la capacité de la lampe	64
11	- Couplage entre la grille et la plaque par la capacité du circuit oscillant ...	75
12	- Entretien des oscillations dans un cir- cuit oscillant intercalé sur le circuit de grille de la lampe	76
13	- Propriétés amplificatrices d'un appareil générateur d'oscillations réglé très près de sa limite d'entretien	82
14	- Entretien d'oscillations de période très courte	84
15	- Montage des lampes en parallèle	86

CHAPITRE III.

Emploi de la lampe à 3 électrodes comme
détecteur.

1	- Sur le rôle du détecteur	88
2	- Emploi de la lampe comme détecteur en utilisant la courbure de la caractéris- tique de plaque	91
3	- Emploi de la lampe comme détecteur en utilisant la courbure de la caractéris- tique de grille	94
4	- Réception des transmissions par ondes entretenuës - Hétérodyne	100
5	- Détecteur-hétérodyne	107

CHAPITRE IV.

Emploi de la lampe à 3 électrodes comme
relai-amplificateur.

1	- Amplificateurs à transformateurs pour les basses fréquences (fréquences acou- stiques).....	110
2	- Sur la détermination des transformateurs et le choix du téléphone	116
3	- Amplificateur à transformateurs pour les hautes fréquences (fréquence des oscillations électriques)	118
4	- Amplificateurs à résistances	119
5	- Amplificateurs à résistances pour très basses fréquences	126
6	- Amplificateur à résonance pour hautes fréquences	128

CHAPITRE V.

Applications de la lampe à 3 électrodes -
Description sommaire de quelques types
d'appareils.

1	- Poste radiotélégraphique ou radiotélé- phonique transmetteur - 1er type	131
2	- Poste radiotélégraphique ou radiotélé- phonique transmetteur - 2ème type	133
3	- Poste portatif à ondes entretenues	136
4	- Poste radiotélégraphique ou radiotélé- phonique utilisant des lampes de plus grande puissance	138
5	- Amplificateur basse fréquence à trans- formateurs	141
6	- Récepteur radiotélégraphique - hétérodyne et amplificateur à basse fréquence	142
7	- Amplificateur haute et basse fréquence à transformateurs	145

	Page
8 - Amplificateur haute fréquence pour ondes courtes	14
9 - Amplificateur haute fréquence à résistances	14
10 - Amplificateur haute fréquence à résistances et basse fréquence à transformateurs	14
11 - Amplificateur très basse fréquence	14
12 - Amplificateur haute fréquence à résonance	15
13 - Récepteur radiotélégraphique à couplage par lampe	15
14 - Condensateur microphone pour écoute des bruits aériens	15
15 - Multivibrateur	15
16 - Graduation d'un ondemètre au moyen du multivibrateur	16
17 - Mesure de la résistance d'un cadre ou d'une antenne	16
18 - Sur un système de transmission et de réception radiotélégraphique destiné à éliminer le brouillage	16
