se contentent de la *même intensité* du courant de chauffage). On se sert alors non seulement de lampes chauffées sous 6,3 volts, mais aussi — surtout en tant que lampe finale — de tubes ayant des tensions de chauffages supérieures. Si la tension totale exigée par les filaments mis en série est inférieure à la tension du secteur, l'excédent devra être dissipé sous forme de chute de tension dans une résistance. Ainsi, un récepteur comprenant cinq lampes dont quatre chauffées sous 6,3 V et une sous 25 V, exigera, comme tension de chauffage, pour les cinq filaments mis en série

$$6{,}3 \times 4 + 25 = 50{,}2 \text{ V.}$$

Si le secteur est de 110 V, il faut donc perdre dans une résistance 60 volts environ. En admettant que le courant de chauffage soit de 0,3 A, il nous faudra (la loi d'Ohm l'indique) une résistance « chutrice » de 60 : 0,3 = 200 ohms. Evidemment, plus de la moitié de l'énergie sera dissipée en chaleur dans la résistance, ce qui rend ce système peu économique. C'est cependant le seul qu'autorise le manque de souplesse du courant continu. La résistance « chutrice » est quelquefois placée dans le cordon d'amenée du courant du secteur que l'on appelle alors « cordon chauffant ».

CAS DU SECTEUR CONTINU.

Pour l'alimentation anodique des récepteurs fonctionnant sur secteur continu, il n'est pas question — et pour cause ! — de redressement, mais le filtrage du courant s'impose néanmoins, car ce que les compagnies de distribution d'électricité appellent « courant continu » est en fait affligé d'une légère ondulation qu'un bon filtre n'a pas de mal à éliminer.

Comme nous ne pouvons pas élever la tension continue, il faut réduire au minimum la chute de tension dans la self-induction du filtre, pour que la tension filtrée appliquée aux anodes des lampes ne soit pas trop faible.

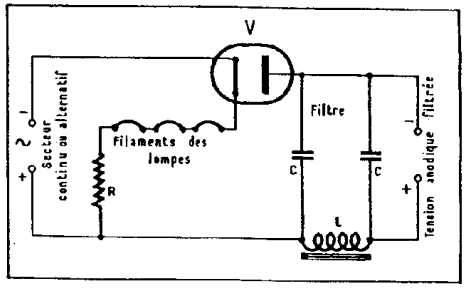


FIG. XIV. — Partie alimentation d'un récepteur « tous-courants ».

Aussi fait-on pour le filtrage du courant continu des bobinages de filtre en fil relativement gros (pour en réduire la résistance ohmique), quitte à avoir moins de spires et à compenser la trop faible self-induction qui résulte de ce fait par l'emploi de condensateurs de filtrage de capacité plus élevée. Fort heureusement, pour les tensions de l'ordre de 110 volts qu'ils ont à supporter, on parvient à faire des condensateurs électrolytiques dont la capacité dépasse 100 µF.

POSTES « TOUS-COURANTS ».

Si nous avons jugé utile d'analyser ainsi en détail la composition des récepteurs alimentés par le courant continu du secteur, ce n'est point en raison de la diffusion de ce genre d'appareils. Bien au contraire, le récepteur pour secteur continu est construit très rarement. Mais ce qui était assez répandu, ce sont les postes TOUS-COURANTS (ou à alimentation universelle) qui se branchent sur secteur continu ou alternatif et sont de composition semblable.

Dans le « tous-courants », les filaments sont chauffés d'une façon tout à fait identique, soit connectés en série avec interposition d'une résistance chutrice de tension.

Quant à la haute tension (fig. XIV), avant d'entrer dans le filtre, le courant du secteur traverse une valve monoplaque (que l'on obtient en réunissant ensemble les deux anodes d'une biplaque).

Si le courant du secteur est alternatif, il subit ainsi le redressement d'une alternance, et tout se passe comme dans une alimentation H.T. normale dans le cas d'un secteur alternatif. Si le courant du secteur est continu, deux cas peuvent se présenter : ou bien nous avons branché le récepteur à la prise de courant de telle manière que le filament de la valve est relié au positif et aucun courant ne pourra passer en sorte que le récepteur restera muet ; ou bien, ayant connecté le récepteur dans le bon sens, nous ferons aisément passer, à travers la valve, le courant continu qui, n'ayant nul besoin d'être redressé, n'en partage pas moins le sort commun avec l'alternatif.

Notons encore que les récepteurs pour continu et les « tous-courants » sont en liaison directe avec le secteur, puisque aucun transformateur n'y est interposé. Or, le secteur peut se trouver à un potentiel assez élevé par rapport à la terre. Aussi ne doit-on jamais brancher la prise de terre à de tels récepteurs sans intercalation d'un condensateur qui, tout en laissant passer la H.F. de l'antenne, s'oppose à un dangereux passage du courant du secteur vers la terre. De même on s'abstiendra de toucher aux connexions d'un tel montage lorsqu'il est sous tension. Gare aux chocs sinon à l'électrocution !...

SEIZIÈME CAUSERIE

Dans cette causerie, nos amis abordent, enfin, le principe du changement de fréquence sur lequel sont basés les récepteurs connus sous le nom de « superhétérodynes ». Le début de cette causerie nécessitera, de la part d'Ignotus — et aussi du lecteur —, une attention soutenue. Une fois le point critique dépassé, rien n'est plus simple ni plus clair que les différents montages étudiés, y compris ceux à heptode et à octode.

Ignotus met en colère son voisin.

IG. — Je ne veux pas me poser en martyr, cher Curiosus ; néanmoins, il me semble que je suis une victime de la science...

CUR. — Pourquoi donc, mon pauvre Ignotus ?

IG. — Tout à l'heure, en sortant de chez moi, j'ai rencontré dans l'escalier un voisin qui, l'air furibond, a promis de me tirer les oreilles la prochaine fois que je ferai siffler *son* récepteur. Comme si je pouvais faire siffler, chanter ou pleurer sa boîte à musique ! ! !

CUR. — Détrompez-vous, Ignotus. Avec votre détectrice à réaction (qui m'avait déjà valu d'amers reproches de votre mère), vous pouvez parfaitement faire siffler tous les récepteurs du voisinage. Il suffit, pour cela, que vous dépassiez la limite de « l'accrochage » et qu'à ce moment votre détectrice à réaction devienne un véritable petit émetteur.

IG. — Que me dites-vous là, Curiosus ? Même en admettant que les autres perçoivent les ondes émises par le mien, ces ondes ne donneront lieu à aucun son. Ne sont-elles pas dues à un courant de haute fréquence pur, sans aucune modulation musicale ?

CUR. — Il est exact que votre émetteur diffuse de la haute fréquence non modulée. Ce courant, après détection dans le récepteur de votre voisin, ne ferait rien entendre, s'il ne se superposait pas aux courants de haute fréquence des stations d'émission que votre voisin veut écouter. Or, lorsque deux courants alternatifs de fréquences différentes se superposent, il se produit entre eux un phénomène d'*interférence* ou de *battements* qui peut donner lieu à un courant de fréquence audible.

IG. — C'est bizarre. Il me semble que, en se superposant, deux courants de haute fréquence devraient produire un courant de fréquence encore plus élevée.

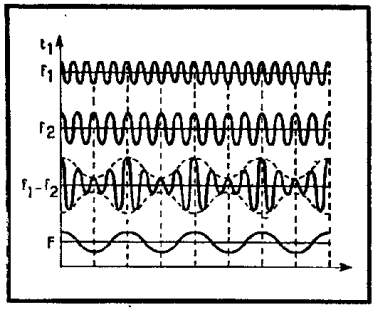
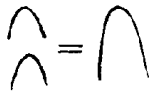
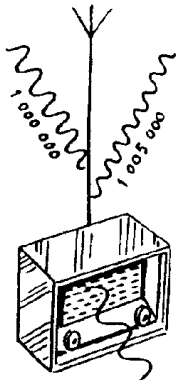
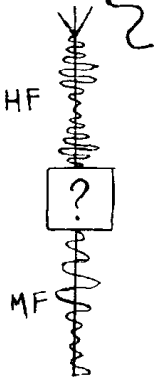


FIG. 91. — Deux oscillations f_1 et f_2, en se superposant, donnent lieu à une oscillation composée $f_1 - f_2$ qui, après détection, donne lieu au courant F.

CUR. — Examinons, si vous voulez, cette question de plus près. Supposez que nous ayons deux courants dont les fréquences (et, par conséquent, les périodes) ne sont pas tout à fait les mêmes (f_1 et f_2, fig. 91) et que ces deux courants « commencent » au même instant. Au début, ils se renforcent mutuellement, c'est-à-dire leurs amplitudes s'additionnent. Mais au bout de quelques périodes, le décalage s'accentue, les amplitudes ne s'ajoutent plus et, bientôt, au contraire, les deux courants, allant dans des







sens opposés, s'affaiblissent et peuvent même (si leurs amplitudes sont égales) s'annuler pendant le bref instant au cours duquel ils sont exactement en opposition. Mais le décalage continue, et peu à peu, s'affaiblissant de moins en moins, puis se renforçant de plus en plus, les deux courants finissent par coïncider à nouveau pendant un court instant. Et tout recommence à nouveau, car le décalage persiste... Vous voyez donc que le courant résultant est une série d'ondulations dont l'amplitude augmente et diminue périodiquement ($f_1 - f_2$ dans la fig. 91) et avec une fréquence bien inférieure à celle de nos deux courants composants. Si vous détectez ce courant résultant, vous obtenez un courant (fig. 91) de fréquence F qui caractérise la variation de l'amplitude des pulsations. La fréquence du courant résultant est égale à la différence des fréquences des deux courants composants.

IG. — Dieux, que c'est bougrement compliqué !... J'aime mieux m'imaginer un exemple concret, ne serait-ce que deux rameurs qui, *sans sortir les rames de l'eau*, rament avec des rythmes légèrement différents. Là aussi, je crois, qu'il y aura des battements. Tant que leurs mouvements coïncideront, leur petit bateau oscillera très fort. Puis il y aura un décalage, l'oscillation du bateau diminuera. Enfin, leurs mouvements seront opposés. Le bateau sera immobile. Peu à peu, les mouvements reviendront à coïncidence, et le bateau recommencera ses oscillations. Et ainsi de suite, le bateau oscillant et s'immobilisant alternativement.

CUR. — Je vois que vous avez compris le phénomène de l'interférence résultant de la composition des mouvements périodiques de fréquences différentes. Supposez maintenant que votre voisin écoute une émission faite sur une fréquence de 1 000 000 de périodes par seconde et qu'avec votre sacrée petite détectrice à réaction vous émettiez 1 005 000 p/s. Ces deux courants, se superposant dans le récepteur de votre malheureux voisin, donneront lieu à un courant dont la fréquence est égale à la différence de leurs fréquences, soit :

$$1\,005\,000 - 1\,000\,000 = 5\,000 \text{ p/s}$$

Ce courant résultant de 5 000 p/s est parfaitement audible et se manifeste sous forme de sifflement aigu. Et voilà comment vous embêtez votre voisin !

IG. — Je vous assure que je péchais par ignorance ; et maintenant que je sais, je...

CUR. — ... vous pourrez, mon ami, comprendre aisément la théorie du superhétérodyne, récepteur basé sur le phénomène d'interférence.

IG. — Serait-ce un récepteur qui siffle constamment ?

CUR. — Non... ou, si vous voulez, c'est un récepteur qui a un sifflement inaudible.

IG. — Et c'est en me donnant de telles explications que vous affirmez cependant que la Radio est très simple !...

De la haute, par la moyenne, vers la basse fréquence.

CUR. — Ne vous fâchez pas, mon cher. Dans les superhétérodynes, on crée des battements entre le courant de haute fréquence de la station écoutée et le courant de haute fréquence d'une hétérodyne incorporée dans le récepteur même. Seulement, on accorde l'hétérodyne sur une fréquence telle que le courant résultant de l'interférence ait lui-même une fréquence relativement élevée, généralement plus de 100 000 p/s ; le courant d'une telle fréquence est, évidemment, inaudible.

IG. — Je ne vois pas l'intérêt qu'il y a à remplacer ainsi une fréquence élevée par une autre, moins élevée, mais encore inaudible.

CUR. — Laissez-moi vous résumer en deux mots le mécanisme du superhétérodyne, et tout sera clair pour vous. Nous avons donc, dans le superhétérodyne, le courant de haute fréquence induit dans l'antenne par les ondes d'un émetteur et, d'autre part, un courant de fréquence un peu différente produit par l'hétérodyne locale. Ces deux courants se superposent et donnent lieu à un troisième courant de fréquence beaucoup plus basse que l'on appelle *fréquence intermédiaire* ou *moyenne fréquence* (M.F.). Ce courant est modulé de la même façon que le courant initial de

l'antenne, car le changement de fréquence n'a affecté en rien la modulation musicale que le microphone du studio d'émission a incorporée dans le courant de haute fréquence. Mais notre courant de moyenne fréquence est beaucoup plus facile à amplifier que le courant initial, car sa fréquence est plus basse et que, par conséquent, les capacités parasites auront moins d'effet sur lui. Nous l'amplifierons dans les étages d'amplification à moyenne fréquence, puis nous le détecterons, comme tout courant de haute fréquence, et enfin, après avoir amplifié le courant de basse fréquence ainsi obtenu, nous le dirigerons dans le haut-parleur.

IG. — Je vois que le superhétérodyne est un engin horriblement compliqué. Jusqu'à présent, les récepteurs que nous avons étudiés se composaient d'étages H.F., d'une détectrice et d'étages B.F. Tandis que, dans le superhétérodyne, il y a une

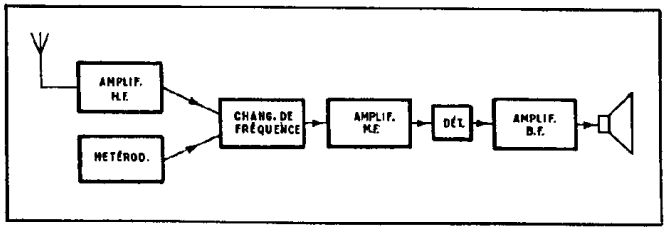


FIG. 92. — Composition schématisée d'un superhétérodyne.

hétérodyne locale, un changeur de fréquence, des étages M.F., une détectrice et des étages B.F. Et un récepteur de ce genre doit être d'un réglage très difficile : au lieu d'accorder les circuits sur une seule fréquence, comme nous l'avons vu jusqu'ici, il faut accorder le circuit d'entrée sur la fréquence de l'émission désirée, le circuit de l'hétérodyne sur une autre fréquence et les circuits de l'amplificateur M.F. sur une troisième fréquence...

Ignotus séduit par le superhétérodyne.

CUR. — Rassurez-vous, Ignotus, je ne vous ai pas encore dévoilé l'un des principaux avantages du superhétérodyne : les circuits M.F. sont accordés une fois pour toutes sur une fréquence déterminée. On s'arrange donc à régler l'hétérodyne pour chaque émission de manière que son courant, se superposant à celui d'antenne, donne toujours *la même fréquence* résultante.

IG. — Je pense qu'un exemple numérique ne serait pas superflu.

CUR. — Supposez que nous ayons un superhétérodyne dont les étages M.F. soient accordés sur 125 000 p/s. Pour recevoir une émission de 600 000 p/s (longueur d'onde : 500 mètres), il suffit d'accorder l'hétérodyne sur 725 000 p/s. En effet, la fréquence résultante sera égale à la différence des fréquences composantes, soit :

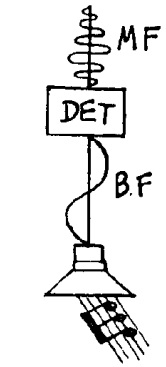
$$725\,000 - 600\,000 = 125\,000 \text{ p/s.}$$

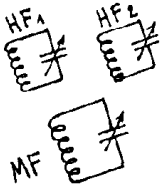
Pour recevoir une autre émission faite sur 850 000 p/s, nous accorderons l'hétérodyne sur 975 000 p/s et nous obtiendrons de nouveau :

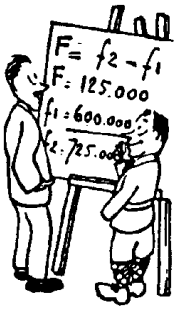
$$975\,000 - 850\,000 = 125\,000 \text{ p/s.}$$

IG. — Maintenant, je crois comprendre. En somme, les circuits d'accord M.F. n'ont pas besoin d'être accordés chaque fois qu'on passe d'une émission à l'autre. Je pense qu'on n'a même pas besoin d'y utiliser des condensateurs variables, puisque leur accord ne varie pas. Donc, dans un superhétérodyne, il n'y a que deux circuits à accorder : le circuit d'entrée (sur l'émission) et le circuit de l'hétérodyne (sur une fréquence supérieure ou inférieure à la fréquence initiale de la valeur de la moyenne fréquence). Ainsi le réglage devient donc très simple.

CUR. — Encore plus que vous ne pensez. Les deux condensateurs sont commandés,







généralement, par le même bouton. On s'arrange de manière que les deux fréquences d'accord aient une différence constante dans toutes les positions.

IG. — Mais comment réalise-t-on pratiquement la superposition des deux oscillations ?

CUR. — Il existe mille et un systèmes de changement de fréquence. Leur principe est sensiblement le même, et il suffira que je vous en décrive les principaux et — surtout — les plus usuels. Le système le plus ancien est celui qui, en quelque sorte, schématise le principe même du superhétérodyne (fig. 93). Une hétérodyne (ou, comme on dit, une *oscillatrice*) séparée V_2 comprend, dans son circuit oscillant L_2-C_2 un

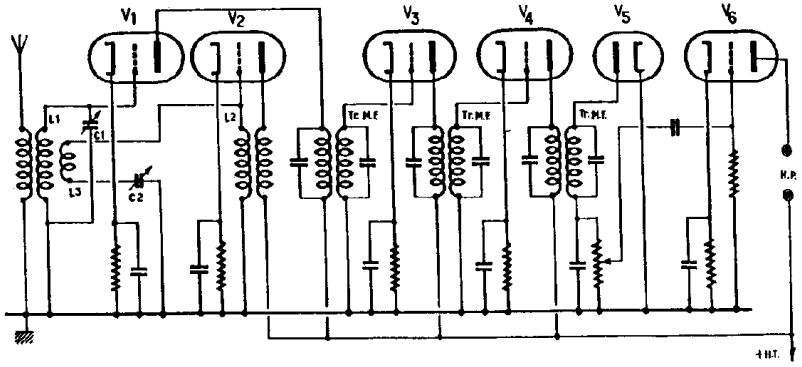


FIG. 93. — Schéma du superhétérodyne à lampe oscillatrice séparée V_2.

petit enroulement « de liaison » L_3 qui est couplé par induction avec le bobinage L_1 du circuit d'entrée. Grâce à ce couplage, l'oscillateur « injecte » ses oscillations dans le circuit L_1C_1. Ainsi, à la grille de la lampe V_1, se trouvent simultanément appliquées deux tensions alternatives : celle provenant de l'antenne et celle de l'oscillatrice. La lampe V_1 fonctionne en détectrice par courbure de la caractéristique de plaque, en raison de la polarisation appropriée qu'assure la résistance dans la cathode. Aussi, le courant de plaque représentera-t-il l'oscillation résultant de la superposition des deux oscillations appliquées à la grille : ce sera le courant de moyenne fréquence. Tel que j'ai dessiné le récepteur, il comprend ensuite deux étages d'amplification à moyenne fréquence (V_3 et V_4) à liaison par transformateurs à primaire et secondaire accordés. Ensuite vient la détectrice diode (V_5) et l'amplificatrice B.F. (V_6).

IG. — Je m'aperçois que les circuits de liaison M.F. se composent de six circuits oscillants. Je pense qu'ils doivent assurer au récepteur une sélectivité énorme.

CUR. — Certes. Et c'est là encore un avantage pratique du superhétérodyne. Dans les récepteurs à amplification directe en haute fréquence, on ne peut pas multiplier aisément le nombre des circuits accordés, ne serait-ce qu'en raison de la difficulté de régler simultanément autant de condensateurs variables. Par contre, dans les superhétérodynes, rien ne s'oppose à la multiplication du nombre des circuits oscillants, puisque leur accord, du moins en moyenne fréquence, est invariable.

IG. — Je me sens, à présent, tout à fait séduit par les avantages du changement de fréquence. Pourrais-je monter un récepteur suivant votre schéma ?

Les grilles se multiplient.

CUR. — N'y songez pas. Ce schéma est plein de défauts. Depuis longtemps, on n'applique plus les deux oscillations à la même électrode de la lampe et on évite un couplage aussi serré entre les circuits oscillants d'entrée et de l'hétérodyne.

IG. — Y a-t-il un inconvénient à ce qu'il soit serré ?

CUR. — Oui, et un grave. Leurs accords n'étant pas très différents, l'hétérodyne peut se mettre à osciller non pas sur la fréquence de son circuit L_2C_2, mais sur celle du circuit d'entrée L_1C_1 ; et nous n'aurons alors aucun changement de fréquence. On appelle cela « blocage » des oscillations.

IG. — Bien ennuyeux, cela. Je ne vois cependant pas le moyen de superposer les oscillations tout en supprimant le couplage entre les deux circuits.

CUR. — Le moyen est offert par les lampes à plusieurs grilles, ne serait-ce que par la lampe à deux grilles ou *bigrille*. L'oscillation de l'hétérodyne est appliquée (fig. 94) à la première grille et l'oscillation de l'émission captée à la deuxième grille.

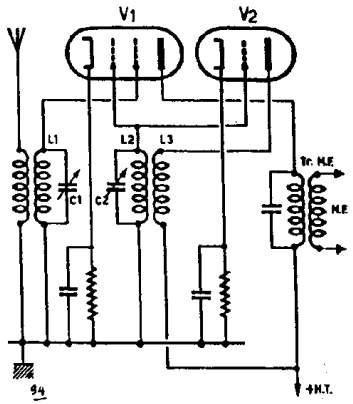


FIG. 94. — Changement de fréquence par modulatrice bigrille V_1 et oscillatrice triode V_2.

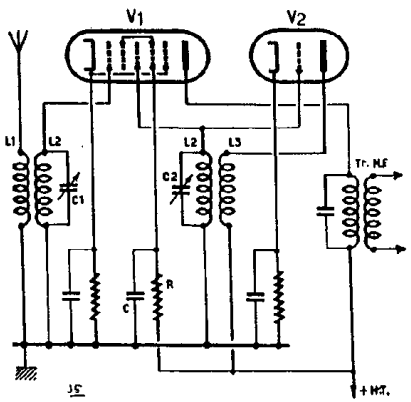


FIG. 95. — Une hexode s'acquitte des fonctions de changeuse de fréquence bien mieux que l'antique bigrille.

Ainsi, simultanément, les deux oscillations agissent sur le courant de plaque qui sera leur résultante. Vous voyez que, dans ce montage, il n'y a pas de couplage magnétique entre les circuits L_1C_1 et L_2C_2.

IG. — En effet, les deux oscillations attaquent le courant de plaque indépendamment l'une de l'autre.

CUR. — Ce montage, jadis en vogue, n'est plus utilisé de nos jours. Il a, en effet, parmi d'autres défauts, celui de présenter un couplage parasite entre les deux circuits accordés par...

IG. — ... j'ai deviné : par la capacité entre les deux grilles. Est-ce bien cela ?

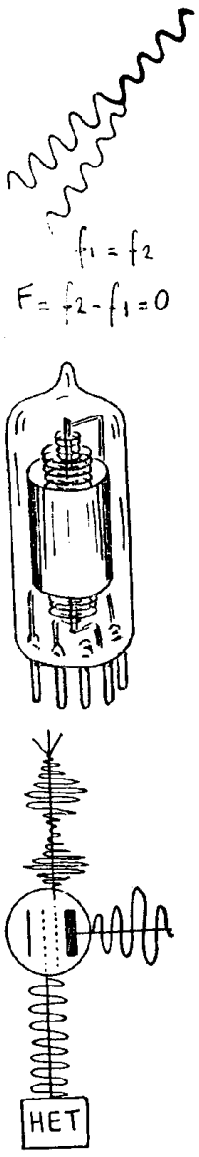
CUR. — Vous avez raison. Et puisque vous êtes en veine de deviner mes pensées, saurez-vous préconiser un remède à la situation ?

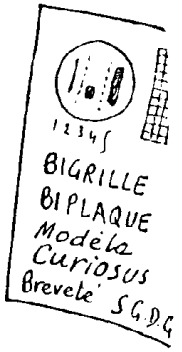
IG. — Bien entendu. Il suffit de placer entre les deux grilles une cloison séparatrice, autrement dit une grille-écran.

CUR. — On fait mieux encore, cher ami, en plaçant l'une des deux grilles, celle à laquelle est connectée l'oscillatrice locale, entre deux grilles-écrans et en ajoutant une grille suppresseuse.

IG. — Sur votre schéma (fig. 95), je vois que la grille ainsi prise en sandwich est celle qui est la plus proche de l'anode. Je n'y vois, d'ailleurs, pas d'inconvénient. Mais comment appelez-vous un tel tube à sept électrodes ?

CUR. — C'est une *hexode*. On considère, en effet, les deux grilles-écrans comme une seule électrode, en sorte qu'au total on en compte six. Et en grec, *hexa* exprime ce nombre. Avec un tel tube, on n'a plus à redouter des liaisons parasites entre le circuit accordé sur l'émission à recevoir et celui de l'oscillatrice locale équipée d'une triode.





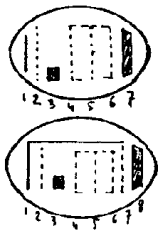
Cette dernière peut, d'ailleurs sans inconvénient, être placée dans la même ampoule que l'hexode ; et les deux systèmes d'électrodes peuvent alors avoir une cathode commune. C'est la *triode-hexode* que l'on emploie le plus fréquemment dans les changeurs de fréquence modernes.

IG. — Je vois que les deux grilles-écrans sont réunies entre elles à l'intérieur de l'ampoule.

CUR. — C'est tout à fait légitime, puisque toutes les deux sont au même potentiel que l'on peut fixer à l'aide d'une résistance chutrice de tension R reliée au pôle positif de la haute tension et découplée par le condensateur C.

Dans le royaume des grilles.

IG. — Votre triode-hexode est drôlement compliquée avec ses huit électrodes. Ne pourrait-on pas, au lieu de mettre les deux systèmes d'électrodes côte à côte, les confondre en un seul ? Je verrais volontiers une triode dont l'anode serait très petite, juste suffisante pour entretenir les oscillations de l'hétérodyne locale. Elle laisserait ainsi passer le flux des électrons vers les électrodes suivantes qui seraient les éléments de l'hexode, soit une première grille-écran, la grille à laquelle est appliqué le signal à recevoir...



CUR. — On l'appelle grille modulatrice...

IG. — Merci ! Et enfin la deuxième grille-écran et l'anode.

CUR. — Vous venez, mon cher Ignotus, de réinventer l'*heptode* (tube à 7 électrodes). Et si vous y ajoutez encore une grille suppresseuse, vous atteindrez les huit électrodes de l'*octode* (fig. 96).

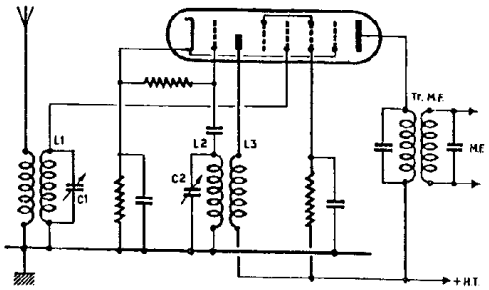
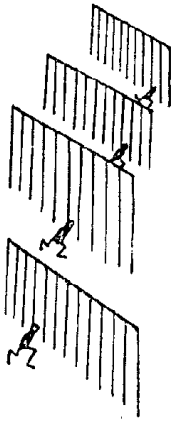


FIG. 96. — Montage de l'octode changeuse de fréquence. (La lampe heptode ne possède pas la dernière grille.)

IG. — Ça existe donc ?...

CUR. — Disons plutôt que ça existait, car on renonce actuellement aux heptodes et octodes en leur préférant les triodes-hexodes dans lesquelles la séparation s'opère mieux entre les oscillations locales et le signal à recevoir.



IG. — Vous me voyez complètement anéanti par cette abondance d'électrodes... Pour m'y retrouver, je vais essayer de résumer les rôles des différentes électrodes de l'octode :

1° Cathode qui sert, évidemment, à l'émission des électrons ;
2° La première grille qui est celle de l'hétérodyne locale. C'est donc la grille oscillatrice ;
3° La petite anode de l'hétérodyne ou anode oscillatrice ;
4° La première grille-écran destinée à éliminer l'effet de la capacité entre la grille-oscillatrice et la grille à laquelle sont appliquées les oscillations d'antenne ;
5° C'est précisément cette grille à laquelle on applique les oscillations d'antenne :
6° Deuxième grille-écran destinée à accélérer la marche des électrons ;
7° Grille suppresseuse de l'émission secondaire qui empêche les électrons de revenir de la plaque vers la deuxième grille-écran ;
8° Enfin, l'anode qui fournit le courant résultant de moyenne fréquence.

CUR. — C'est parfait, Ignotus. Je vois que vous vous y reconnaissez facilement.

IG. — Mais ce que je ne comprends pas, c'est comment les électrons, eux, arrivent à s'y reconnaître et ne se trompent pas de chemin...

Commentaires à la 16me Causerie

AMPLIFICATION DIRECTE.

Les récepteurs étudiés jusqu'à présent appartiennent à la catégorie des récepteurs à AMPLIFICATION DIRECTE. Avant d'être détecté, le courant H.F. de l'antenne y est amplifié dans un ou plusieurs étages.

Cependant, une telle amplification ne peut pas être poussée très loin, car, quelles que soient les précautions prises pour le blindage et le découplage, des accrochages spontanés sont difficilement évités si le nombre d'étages H.F. dépasse un ou deux. Les difficultés augmentent avec la fréquence, et cela non seulement à cause du risque des oscillations spontanées, mais aussi en raison de la baisse du gain même de l'amplification. Ainsi, en ondes courtes (fréquences très élevées) l'amplification s'avère-t-elle peu efficace.

Par ailleurs, la multiplication des étages H.F. a pour corollaire l'augmentation du nombre des circuits oscillants qui doivent être simultanément accordés, ce qui ne va pas non plus sans difficultés de toute nature.

La conclusion s'impose. Le récepteur à amplification directe ne doit être employé que lorsqu'on n'exige qu'une sensibilité limitée. Il est tout indiqué dans le rôle de récepteur régional. La pêche aux ondes lointaines n'est pas, en principe, de son ressort et doit être réservée au SUPERHÉTÉRODYNE.

PRINCIPE DU SUPERHÉTÉRODYNE.

Dans ce dernier montage, on commence par abaisser la fréquence des courants H.F. avant de leur faire subir une énergique amplification ; ou mieux, quelle que soit la fréquence des courants dans l'antenne, on les ramène à une fréquence donnée, toujours la même pour un récepteur donné, dite MOYENNE FRÉQUENCE (M.F.) ou fréquence intermédiaire. Dès lors, l'amplificateur M.F. n'est prévu que pour *une seule fréquence ;* on n'a donc pas besoin de varier l'accord de ses circuits en passant d'une émission à une autre ; et, comme il fonctionne à une fréquence relativement basse (mais qui n'en est pas moins encore du domaine des hautes fréquences), l'amplification y est efficace, et il est facile de parer au risque des accrochages spontanés.

Le principe et les avantages essentiels du superhétérodyne étant ainsi définis, examinons les moyens mis en œuvre pour sa réalisation.

CHANGEURS DE FRÉQUENCE A DEUX LAMPES.

L'abaissement ou, pour être plus précis, le CHANGEMENT DE FRÉQUENCE, est basé sur le phénomène des « battements » dont la physique offre de nombreux exemples dans l'étude des vibrations lumineuses (interférences), acoustiques et mécaniques (pendules couplés).

Lorsque deux mouvements périodiques de fréquences différentes se trouvent superposés, le mouvement résultant contient une composante de fréquence égale à la différence des fréquences des deux mouvements. Ainsi, en superposant deux courants de fréquences f_1 et f_2, nous obtenons un courant composé dont l'amplitude des oscillations varie à la fréquence $f_1 - f_2$ (fig. 91) ; cette dernière fréquence, dite fréquence des battements, est mise en évidence après détection du courant composé.

Ainsi opéré, un changement de fréquence n'affecte en rien la forme de la modulation B.F. qui peut se trouver incorporée dans l'un des courants composants. Si au courant H.F. modulé de l'antenne nous superposons le courant, de fréquence différente, d'un oscillateur local, le courant composé aura, après détection, une fréquence égale à la différence des fréquences du courant d'antenne et du courant de l'oscillateur local ; il sera, de plus, porteur de la même modulation B.F. que le courant incident de l'antenne.

L'oscillateur local n'est autre chose qu'une hétérodyne comprise dans le montage du récepteur même. Son oscillation peut être superposée à celle de l'antenne en établissant un léger couplage entre le circuit d'accord de l'antenne et celui de l'hétérodyne. C'est du moins ainsi que les choses se pratiquaient dans les premiers montages à changement de fréquence (fig. 93). Mais cette façon d'opérer présente un sérieux inconvénient : l'hétérodyne risque, du fait du couplage, de se « synchroniser » avec le circuit d'antenne, c'est-à-dire se mettre à osciller à la fréquence de ce dernier, au lieu de sa fréquence propre. Les deux fréquences composantes étant ainsi égales, la fréquence résultante (qui doit être égale à

leur différence) sera donc nulle, ce qui n'est point le résultat escompté ; on dit alors qu'il se produit un « blocage ».

Pour l'éviter, il faut supprimer tout couplage entre les circuits d'accord H.F. et d'hétérodyne. Blindage et découplage étant à cet effet mis en œuvre, on superpose les oscillations dans une lampe à deux grilles de commande, chacune étant affectée à l'une des deux oscillations. Le courant anodique d'une telle lampe (dite MODULATRICE) est donc commandé à la fois par la H.F. de l'antenne et par la fréquence de l'oscillateur local. Il y a donc bien superposition ; et, comme la lampe détecte le courant résultant, nous trouvons dans son courant anodique la composante M.F. recherchée (fig. 94).

LAMPES MULTIPLES OSCILLATRICES-MODULATRICES.

La même lampe peut remplir simultanément les fonctions de modulatrice et d'oscillatrice. Il suffit pour cela de placer, à la suite de la grille affectée aux oscillations locales, une petite

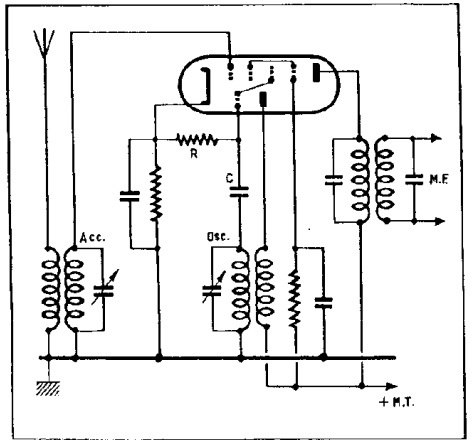


FIG. XV. — Changement de fréquence par triode-hexode.

anode auxiliaire dont le courant, par le truchement d'une bobine de réaction, servira à l'entretien des oscillations locales. Une lampe ainsi composée serait, en somme, une double triode.

la première triode étant montée en oscillatrice, la seconde en modulatrice.

Mais les capacités entre les électrodes d'une telle lampe suffiraient pour créer un couplage entre les circuits et amener de ce fait des blocages. Aussi entoure-t-on la deuxième grille (grille modulatrice) de deux grilles-écrans portées à un potentiel positif élevé et l'on obtient ainsi une lampe à sept électrodes ou HEPTODE. Pour éviter l'émission secondaire de l'anode principale, on peut encore placer, entre elle et la deuxième grille-écran, une grille suppresseuse, ce qui porte le nombre des électrodes à 8 et constitue une OCTODE.

D'autres méthodes et d'autres modèles de tubes peuvent être envisagés pour assumer la double fonction d'oscillation et de modulation qu'exige le changement de fréquence. C'est ainsi qu'une lampe peut contenir deux systèmes d'électrodes distincts ayant une cathode commune et dont le premier sert à la production des oscillations locales, alors que le second est réservé à la modulation. Tel est le cas de la triode-hexode (fig. XV) où la triode est montée en oscillatrice et l'HEXODE (lampe à 6 électrodes) en modulatrice. Noter que l'oscillation locale est appliquée à la 3e grille de l'hexode par une très courte connexion établie à l'intérieur même de certains modèles. C'est le tube changeur de fréquence le plus employé.

AMPLIFICATION M.F.

L'oscillateur local est toujours accordé de telle manière que la différence entre sa fréquence et celle de l'émission reçue dans le circuit d'accord soit égale à la valeur fixe de la M.F. Cette valeur de la M.F. est actuellement normalisée en France : pour certaines raisons, on a adopté la valeur de 455 kilohertz. Bien que légèrement supérieure à la fréquence des émetteurs de la gamme des Grandes Ondes, cette fréquence est inférieure aux fréquences des Petites Ondes et, surtout, des Ondes Courtes, ces deux gammes ayant, rappelons-le, précisément le plus grand besoin d'avoir leurs fréquences abaissées.

La valeur standard de la M.F. adoptée en France avant 1950 était légèrement supérieure : 472 kHz.

L'amplificateur M.F. comprend généralement un étage, bien plus rarement deux, et est équipé de pentodes. Les circuits de liaison sont constitués par des transformateurs à primaire et secondaire accordés sur la valeur de la M.F. Dans le cas d'un seul étage M.F., nous aurons ainsi quatre circuits accordés : deux composant le transformateur de liaison avec la changeuse de fréquence et deux compo-

sant celui qui relie l'amplificatrice à la détectrice (car après l'amplification M.F., le courant est détecté, puis amplifié en B.F.).

On conçoit aisément combien, d'une part, la présence de ces quatre circuits accordés contribue à l'accroissement de la sélectivité et combien, par ailleurs, leur réglage aurait été malaisé s'ils étaient placés dans la partie H.F. Or, ici, ils sont *accordés une fois pour toutes* sur la valeur de la M.F. et, si leurs éléments constituants sont suffisamment stables, aucune retouche n'est à faire ultérieurement.

Actuellement, les transformateurs M.F. se composent de deux enroulements en « nid d'abeille » avec, le plus souvent, un noyau en fer pulvérisé ; l'accord peut être assuré à l'aide de petits CONDENSATEURS AJUSTABLES. Une réalisation très rationnelle de ces derniers est représentée par des lamelles de mica argentées sur les deux faces, le mica jouant le rôle de diélectrique et l'argent composant les armatures. Par le grattage de la couche d'argent, on parvient à réduire la capacité à la valeur convenable. D'autres condensateurs ajustables sont constitués par des lamelles métalliques élastiques que le réglage d'une vis rapproche plus ou moins. Il existe également des modèles qui reproduisent en miniature la construction des condensateurs variables.

Cependant, le plus souvent, l'accord des transformateurs M.F. est obtenu non par la variation de la capacité, mais par celle de la self-induction des bobinages, les condensateurs d'accord étant fixes. A cet effet, les noyaux magnétiques sont rendus réglables et peuvent se déplacer à l'intérieur des bobinages, en agissant ainsi sur leur self-induction.

Quelle que soit la construction des transformateurs M.F., ils sont, avec leurs condensateurs d'accord, enfermés dans des blindages, afin d'éviter des couplages parasites par induction.

Si la présence des quatre circuits accordés M.F. (sans compter ceux qui peuvent se trouver dans la partie H.F., c'est-à-dire avant la changeuse de fréquence) contribue, comme nous l'avons dit, à l'accroissement de la sélectivité, celle-ci se trouve encore accrue par le fait même de l'abaissement de la fréquence. La démonstration de ce phénomène, cependant très simple, sortirait du cadre de nos commentaires. Qu'il nous suffise donc de mentionner ce fait qui explique la sélectivité très poussée dont jouissent les superhétérodynes.

RÉGLAGE UNIQUE.

L'un des problèmes les plus ardus que pose le superhétérodyne, est la réalisation du RÉGLAGE UNIQUE ou de la MONOCOMMANDE de ses circuits H.F. Lorsqu'il s'agit d'un récepteur à amplification directe en H.F., la monocommande est assurée d'une façon relativement simple ; il suffit que tous les circuits soient composés de bobinages de self-induction identique et qu'ils soient accordés par autant de condensateurs variables identiques ayant un axe de rotation commun et commandés par un seul bouton. De faibles écarts (dus, par exemple, à des capacités parasites entre connexions) sont rattrapés par des condensateurs ajustables de faible capacité branchés en dérivation sur les circuits oscillants.

Mais, dans le cas du superhétérodyne, le problème du réglage unique apparaît autrement complexe. Il s'agit maintenant d'accorder le circuit H.F. et le circuit de l'oscillateur sur deux fréquences distinctes, *en maintenant entre elles un écart constant* (égal à la valeur de la M.F.) tout au long de chaque gamme de réception. Ainsi, dans un récepteur dont la M.F. est accordée sur 455 kHz, il faut que la fréquence de l'oscillateur soit de 455 kHz supérieure (ou inférieure) à la fréquence du circuit d'accord H.F., et cela dans toutes les positions du condensateur variable et pour toutes les gammes. Or, les condensateurs variables accordant les deux circuits ont des capacités identiques ; pour établir une telle différence on est donc tout naturellement conduit à adopter des self-inductions différentes pour les circuits H.F. et oscillateur. De cette manière, on établit un écart entre les fréquences d'accord.

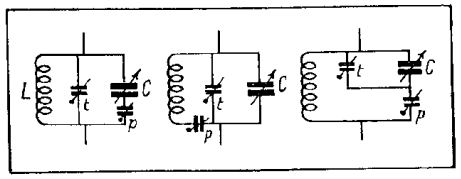


FIG. XVI. — Trois modes de connexion des trimmers t et des paddings p dans le circuit d'accord de l'oscillateur en vue d'assurer le réglage unique.

Malheureusement, cet écart ne se maintient pas constant pour *toutes* les positions du condensateur variable. Pour le rendre constant, on a recours à un artifice qui permet de modifier l'allure de la variation de l'accord du circuit oscillateur en fonction de la position du condensateur variable : on branche en dérivation sur le condensateur variable C de l'oscillateur un petit condensateur *t* appelé TRIMMER et, en série avec C, un autre condensateur ajustable *p* de capacité plus élevée, appelé PADDING.

Le branchement de ces ajustables peut être effectué suivant l'une des trois méthodes indiquées dans la figure XVI.

En nous rappelant les règles de l'association des condensateurs en série et en parallèle, nous voyons que le *trimmer vient augmenter la capacité du condensateur variable ;* par contre, mis en série, *le padding la diminue.*

Mais chacun de ces ajustables agit plus ou moins suivant que C est au début ou en fin de course. En effet, lorsque le condensateur variable est au minimum de sa capacité, le trimmer, malgré sa faible capacité, s'avère, par comparaison, important ; mais, pour la même position de C, le rôle du padding est bien effacé, car placé en série avec la capacité déjà très faible de C, il ne peut que la réduire un peu plus. Ainsi, au début de la course du condensateur variable (c'est-à-dire *pour les fréquences les plus élevées* ou les ondes les plus courtes d'une gamme) *c'est le trimmer qui joue le rôle principal* dans la correction de la capacité d'accord.

Tout autre est la situation lorsque, en fin de course, le condensateur variable atteint sa capacité maximum. Alors la faible capacité du trimmer devient, en comparaison, négligeable. Mais le padding, lui, exerce sur la capacité résultante de l'ensemble une action marquée en diminuant la capacité de C.

Ainsi, en jouant sur les capacités de nos deux ajustables, *le trimmer au début et le padding en fin de course*, parvient-on à donner, une fois pour toutes, à la variation de la capacité de l'ensemble (que produit la rotation du condensateur variable), l'allure qu'il convient. Dès lors, le condensateur variable de l'oscillatrice peut être commandé par le même bouton que celui de l'accord de H.F.

Bien entendu, le bobinage de chaque gamme doit être muni de ses trimmer et padding. L'ensemble de tous ces condensateurs est ajusté une fois pour toutes au cours de l'opération qui porte le nom d'ALIGNEMENT. Accessoirement, l'alignement doit permettre de faire coïncider les émissions reçues avec les indications portées sur le cadran étalonné du condensateur d'accord.

Dans les montages modernes, bien souvent les paddings sont fixes, et l'alignement se fait par ajustage des noyaux des bobines.

DIX-SEPTIÈME CAUSERIE

Ignotus a longuement réfléchi au sujet du superhétérodyne et lui a trouvé un défaut rédhibitoire. Heureusement, Curiosus a l'habitude de souffler sur les obstacles... et ainsi nos amis parviennent à dresser le schéma d'un récepteur parfaitement réalisable. Pour terminer cet entretien, Curiosus expose à son élève la conception et le fonctionnement de différents modèles de haut-parleurs. Mais ce n'est pas encore la fin de ces causeries !...

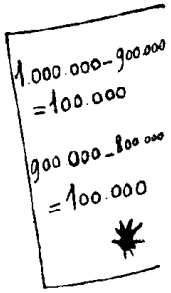
Une histoire de brigand.

IG. — J'ai eu quelque peine à « digérer » mentalement tout ce que vous m'avez appris au sujet du superhétérodyne. Heureusement, mon érudition dans le domaine de l'Histoire ancienne m'a aidé à tout comprendre.

CUR. — Nom d'une octode, si je vois le rapport qu'il y a...

IG. — Ne vous énervez pas ! Le superhétérodyne me rappelle singulièrement ce sympathique gangster de l'Antiquité qui s'appelait Procuste (ou Procruste... les dictionnaires ne sont pas d'accord là-dessus). Poussant très loin le sens de l'hospitalité, il étendait ses invités sur son lit de fer et leur coupait les pieds lorsqu'ils dépassaient le lit ou les allongeait pour qu'ils en atteignissent l'extrémité.

CUR. — Oui, je connais l'histoire de ce brigand de l'Attique, mais...



IG. — N'est-ce pas le même principe qui est à la base du superhétérodyne ? Quelle que soit la fréquence de l'émission que l'on reçoit, on s'arrange pour la changer de manière à obtenir toujours la même fréquence constante : celle sur laquelle sont accordés les circuits de liaison de l'amplificateur à fréquence intermédiaire.

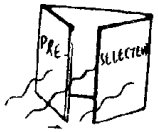
CUR. — Vous avez raison, Ignotus : le superhétérodyne est un véritable lit de Procuste pour les fréquences des différents émetteurs.

IG. — Si j'ai bien compris le principe, il n'en reste pas moins une chose qui m'inquiète beaucoup.

CUR. — Quoi donc, cher ami ?

IG. — Supposez que la moyenne fréquence soit de 100 000 p/s et que nous voulions écouter une émission faite sur 1 000 000 p/s. Il suffit d'accorder l'oscillateur sur 900 000 p/s. Car la différence entre les deux fréquences composantes sera bien égale à 100 000 p/s. Mais supposez qu'une autre émission, faite sur 800 000 p/s, parvienne également jusqu'à la lampe changeuse de fréquence. Cette fréquence, se superposant aux 900 000 p/s de l'oscillateur local, donnera lieu, elle aussi, à un courant résultant de 100 000 p/s. Donc, elle aussi sera amplifiée en moyenne fréquence et deviendra également audible !

CUR. — Votre raisonnement est juste. En effet, pour chaque accord de l'hétérodyne local, il y a deux émissions qui peuvent donner lieu à la même moyenne fréquence : l'une de ces émissions est de fréquence supérieure, l'autre inférieure à celle de l'hétérodyne local. On les appelle « fréquences-images ».

IG. — Mais c'est très ennuyeux s'il faut entendre deux émissions à la fois !

CUR. — Tout à fait de votre avis. Aussi, s'arrange-t-on de manière à ne laisser parvenir jusqu'à la lampe changeuse de fréquence que celle des deux fréquences que l'on désire. Vous avez sans doute remarqué que l'intervalle entre les deux fréquences-images est égal au double de la valeur de la moyenne fréquence. Si on adopte pour elle une valeur assez élevée, par exemple 455 kHz, les fréquences-images sont séparées par 910 kHz. Il suffit d'avoir une bonne sélectivité à l'entrée pour éliminer l'émission non désirée. A cet effet, on utilise, à l'entrée du récepteur, un circuit d'accord suffisamment sélectif, appelé « présélecteur ». On peut même multiplier le nombre des circuits accordés sur le signal à recevoir en faisant précéder le changement