

IG. — Bien ingénieuse cette nouvelle application du vieux principe *divide ut regnes*.

CUR. — Bravo pour votre latin... D'ailleurs, si vous voulez un schéma vraiment ingénieux, c'est celui du montage Hartley qui est une variante de la détectrice à réaction et qui est appelé ainsi du nom d'un amateur américain qui jure ne l'avoir jamais inventé. Dans ce montage (fig. 68), la même bobine L sert à l'accord du circuit de grille et à la réaction. Munie d'une prise médiane, elle forme, dans sa totalité avec le condensateur variable, un circuit d'accord de grille. Mais sa moitié inférieure est, en outre, parcourue par la composante de haute fréquence du courant de plaque. Et le condensateur C' sert à régler l'intensité de cette composante de la même façon que dans le schéma précédent.

IG. — C'est très bien, et si l'on avait appelé cela « montage Ignotus », je n'aurais pas protesté comme l'a fait mon collègue américain... Mais, tout compte fait, je ne vois pas encore en quoi le principe de la réaction peut entraver le bon fonctionnement du montage que je vous ai soumis lors de notre précédent entretien.

CUR. — Vous le comprendrez maintenant. Des réactions, c'est-à-dire des couplages entre les circuits de plaque et de grille peuvent exister dans un récepteur indépendamment de notre volonté. Echappant à notre contrôle, ils deviennent alors dangereux.

IG. — J'avoue ne pas décèler comment peuvent se produire ces couplages entre les circuits de plaque et de grille et en quoi ils peuvent constituer un danger.

La réaction est la meilleure et la pire des choses.

CUR. — Comme toute réaction, ils sont susceptibles de donner naissance à des oscillations intempestives que les techniciens appellent « accrochages spontanés ». La lampe, au lieu de fonctionner en amplificatrice, devient alors oscillatrice, ce qui n'est pas du tout son rôle. Quant aux raisons mêmes de ces couplages parasites qui produisent le phénomène de réaction, elles sont de plusieurs ordres. Supposons qu'une lampe amplificatrice comprenne un circuit oscillant LC dans la grille et un autre L'C' dans la plaque (fig. 69). Les bobines L et L', bien qu'éloignées, se trouvent l'une dans le champ magnétique de l'autre. Ainsi la bobine L' agit-elle réactivement sur la bobine L. En plus de ce couplage inductif, il peut y avoir d'autres couplages par capacités parasites formées entre les connexions voisines des circuits de grille et de plaque.

IG. — Ne peut-on pas écarter ces connexions suffisamment les unes des autres pour réduire au minimum les capacités ainsi formées ?

CUR. — C'est ce que l'on fait. Il n'en demeure pas moins une capacité dont jadis on ne pouvait se débarrasser et qui ainsi, pendant de longues années, déterminait toute l'évolution de la technique.

IG. — Quelle est donc cette maudite capacité ?

CUR. — C'est la très petite capacité que forment, à la manière d'armatures de condensateur, la grille et la plaque d'une lampe (C₁ dans la figure 69). Le couplage qu'elle établit entre les circuits de grille et de plaque suffit pour compromettre la stabilité d'un amplificateur de haute fréquence dès que le nombre d'étages dépasse un.

IG. — J'aurais considéré la situation comme épouvantable, si je ne savais pas que vous avez l'habitude d'accumuler les obstacles pour les faire disparaître ensuite en soufflant dessus. Quel est donc le remède ?

CUR. — Il y en a trois : blindage, blindage et blindage. Chaque groupe de bobinages est hermétiquement enfermé dans un boîtier métallique qui intercepte le champ magnétique et empêche les bobines d'agir par induction sur leurs semblables. C'est encore le blindage que nous utiliserons (fig. 70) à l'intérieur même de la lampe pour annuler la capacité entre la grille et la plaque.

Le blindage grille-plaque.

IG. — Là je vous arrête. Si vous placez un blindage entre la grille et la plaque, il barrera le passage aux électrons, et il n'y aura plus de courant de plaque !

CUR. — Rassurez-vous, Ignotus. Ce blindage, à l'intérieur de la lampe, sera percé de nombreux trous à travers lesquels les électrons passeront d'autant plus aisément que nous le porterons à un potentiel égal à peu près à la moitié du potentiel de la plaque, en sorte qu'il accélérera le mouvement des électrons en ajoutant son effet d'attraction à celui de l'anode. En réalité, ce blindage sera constitué par une grille à mailles serrées que l'on appelle *grille-écran*. La lampe ainsi conçue s'appelle *lampe à grille-écran* ou, étant donné qu'elle a quatre électrodes, *tétrode* (tetra, en grec veut dire « quatre »).

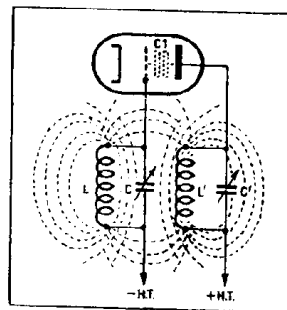


FIG. 69. — Couplages parasites par induction (champs magnétiques des bobinages en pointillés) et par capacité C₁ entre grille et plaque.

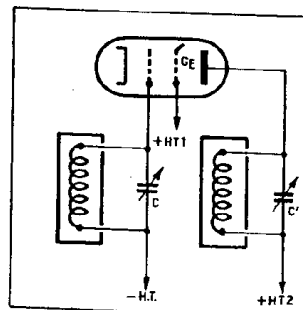


FIG. 70. — Suppression des couplages par blindage des bobines et par la grille-écran placée entre grille et plaque.

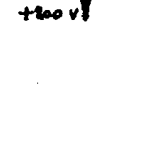
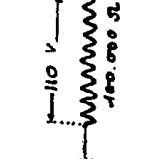
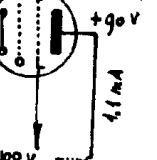
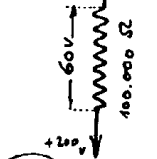
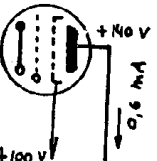
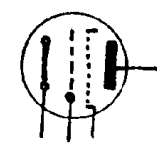
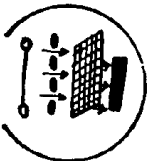
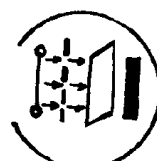
IG. — Je suis bien content d'apprendre enfin l'existence d'une lampe à plus de trois électrodes. Ça, c'est vraiment un tube moderne !

CUR. — Pas tant que cela, mon ami. Il possède, en effet, un défaut qui a obligé les techniciens, pour sa suppression, d'ajouter encore une électrode. Lorsque, pour être amplifiée, une tension alternative est appliquée à la grille de cette lampe, son courant de plaque varie évidemment. Ce courant produit, dans l'impédance qui est placée dans le circuit de plaque, des chutes de tension qui, elles aussi, varient proportionnellement à l'intensité du courant. Ces chutes de tension diminuent d'autant la tension qui reste effectivement entre la plaque et la cathode et...

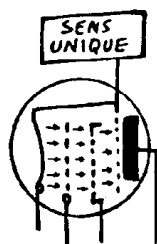
IG. — Attendez, Curiosus, un exemple numérique me ferait du bien.

CUR. — En voici un. Supposons que la source de haute tension vous donne 200 volts. Cette tension est appliquée entre la cathode (je néglige la polarisation) et l'impédance d'anode. Supposons, pour simplifier, que celle-ci soit représentée par une résistance de 100 000 ohms et que le courant anodique soit au repos de 0,6 milliampère. Dans ces conditions, la chute de tension dans l'impédance sera de 60 volts, et entre la plaque et la cathode il y aura non pas 200 volts, mais seulement 140. Je suppose, d'autre part, que la grille-écran soit portée à + 100 volts. Si nous appliquons maintenant à la grille une tension alternative qui fera varier le courant de plaque entre 0,1 et 1,1 milliampère, la chute de tension dans l'impédance variera entre 10 et 110 volts et la tension effective de la plaque par rapport à la cathode oscille entre 190 et 90 volts. Vous voyez donc que, par instants, la plaque se trouvera à un potentiel inférieur à celui de la grille-écran. Ça n'a pas l'air de vous impressionner...

IG. — Non, en effet. En quoi cela peut-il être inquiétant ?



L'émission secondaire.



CUR. — Votre ignorance vous permet de côtoyer paisiblement les pires précipices ! Pensez donc à ce qui se passe lorsque, à un tel moment, un électron émis par la cathode, après avoir traversé la grille et la grille-écran (qui en a accéléré le mouvement) tombe, tel un obus, sur la surface de la plaque. Par son choc, il arrache aux atomes de la plaque un ou plusieurs électrons qui jaillissent à la manière de gerbes d'eau que provoque la chute du corps d'un plongeur. Ces électrons se conduisent comme tous leurs semblables : ils vont vers l'électrode qui les appelle le plus fort, c'est-à-dire vers l'électrode la plus positive. Normalement, c'est la plaque, et ils réintègrent leur domicile sans perturber en rien le fonctionnement de la lampe. Mais, en l'occurrence, l'électrode la plus positive sera la grille-écran, du moins par instants. C'est donc vers elle que se précipiteront les électrons brusquement libérés de la plaque.

IG. — Formidable !... Il y aura donc un courant qui ira de l'anode à la grille-écran ? Et cette anode jouera, par rapport à la grille-écran, le rôle de cathode secondaire ?

CUR. — Parfaitement. On dit d'ailleurs qu'il se produit une *émission secondaire* allant de la plaque vers la grille-écran. Cette émission diminue d'autant le courant de plaque et le déforme par conséquent.

IG. — Nous voilà de nouveau en présence d'un obstacle. Soufflez donc là-dessus, je vous prie.

CUR. — Ce n'est pas difficile. Pour supprimer l'émission secondaire, nous interposons entre la plaque et la grille-écran, une troisième grille (*suppresseur*) à mailles très lâches qui sera portée au potentiel de la cathode (souvent elle y est reliée à l'intérieur même du tube). Cette grille empêchera les électrons de l'émission secondaire de s'éloigner de la plaque.

IG. — Eh bien, je ne suis pas fâché de faire ainsi la connaissance de la lampe à cinq électrodes qui, si mes connaissances de grec ne sont pas en défaut, doit s'appeler *pentode*.

CUR. — C'est exact. Vous voyez donc que la pentode est un perfectionnement de la tétrode et qu'elle a été créée pour éliminer les effets néfastes de l'émission secondaire. Voici comment (fig. 71) est monté un étage d'amplification avec pentode. Les résistances R_1 et R_2 placées entre les pôles de la source de haute tension servent à fixer à peu près à la moitié de cette tension le potentiel de la grille-écran. Quant au condensateur C_2 , son rôle consiste à laisser passage au faible courant de haute fréquence que produiront dans la grille-écran des électrons du courant allant de la cathode à la plaque qui s'égarent dans ses mailles. On peut également, dans la plupart des modèles actuels des pentodes, fixer le potentiel de la grille-écran en utilisant la chute de tension que le courant de cette électrode détermine dans une résistance. Supprimez, dans le schéma de la figure 71, la résistance R_1 et vous obtiendrez le schéma correspondant. La chute de tension dans R_2 fixera le potentiel de la grille-écran. Quant au condensateur C_2 , il aura toujours pour fonction de laisser passer la composante variable du courant de cette électrode.

IG. — J'espère que les blindages et les tétrodes et pentodes apportent la solution définitive au problème des couplages parasites.

CUR. — Vain espoir, Ignotus !

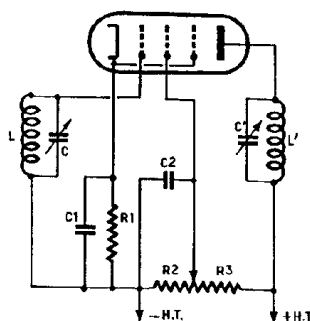
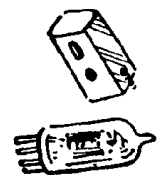


FIG. 71. — Montage d'une pentode R_1 et C_1 , polarisation ; R_2 , R_3 et C_2 , tension de la grille-écran.

Commentaires à la 13^{me} Causerie

RÉACTION.

Dans la 9^e causerie, nous avons déjà eu l'occasion d'examiner les effets d'un couplage entre les circuits de plaque et de grille de la même lampe. Grâce à un tel couplage, dit réactif, le circuit de plaque réagit sur le circuit de grille en y suscitant, à chaque variation du courant anodique, une tension induite. Cette tension peut coïncider avec les tensions propres du circuit de grille ; pour qu'une telle concordance de phase ait lieu, il suffit que les spires du bobinage de réaction soient parcourues par le courant anodique dans le sens convenable.

Si le couplage entre les deux circuits est suffisamment serré, l'énergie réinjectée dans le circuit de grille par celui de plaque suffit pour compenser les pertes qui y ont lieu et pour entretenir des oscillations qui font du montage un véritable émetteur.

Mais si le couplage n'est pas suffisamment serré, la réaction sera insuffisante pour contribuer à l'entretien d'oscillations. Cependant, en compensant une partie plus ou moins grande des pertes du circuit de grille, la réaction permet d'en réduire l'amortissement. Ainsi, les tensions variables, qui y seront développées par une lampe précédente ou par les courants d'antenne, atteindront-elles une valeur plus élevée qu'en l'absence de réaction.

La tension de grille agissant sur le courant de plaque et celui-ci réagissant sur le circuit de grille, nous obtenons une suramplification qui offre un moyen précieux pour assurer une sensibilité considérable sans avoir recours à de nombreux étages d'amplification H.F.

DÉTECTRICES A RÉACTION.

L'application classique de la réaction est représentée par la détectrice à réaction, éventuellement suivie par un ou deux étages d'amplification B.F. C'est un montage qui fut naguère très populaire. Il permet d'assurer une bonne sensibilité et une sélectivité acceptable sans que la fidélité de la reproduction soit trop mauvaise. L'amplification atteint le maximum lorsque le couplage est poussé à l'extrême limite de l'accrochage, c'est-à-dire du point à partir duquel commencent les oscillations de la lampe. Tout l'art du réglage d'une détectrice à réaction consiste justement dans la recherche de ce couplage qui, une fois dépassé, donne lieu à l'accrochage qui s'oppose à toute réception.

Il faut avouer que dans cette recherche de la sensibilité, on sacrifie la musicalité, puisque à la limite de l'accrochage le circuit devient trop sélectif, ce qui conduit à l'atténuation des notes aiguës (nous en verrons plus loin les causes). Mais que ne ferait un amateur débutant pour entendre Honolulu !...

La tension induite dépendant de la fréquence, pour chaque émission reçue il faut rechercher le degré convenable de couplage. Plusieurs moyens peuvent être envisagés à cet effet. On peut, tout d'abord, rendre l'une des deux bobines mobile par rapport à l'autre. En la rapprochant ou l'écartant, ou encore en la tournant, on peut modifier le couplage à volonté.

Mais on peut également, en laissant les bobinages fixes, régler l'intensité du courant H.F. qui parcourt la bobine de réaction. A cet effet, on dédouble la voie du courant anodique en plaçant dans l'une de ses branches la bobine de réaction en série avec un condensateur variable. Ce dernier arrêtera non seulement la composante continue du courant anodique, mais aussi, étant de faible capacité, la composante B.F. C'est la deuxième branche qui offrira un passage à ces composantes. Dans cette deuxième branche sera inclus l'élément de liaison avec la lampe suivante (transformateur B.F. ou résistance ou inductance) ou un écouteur ; de plus, en série sera branchée une BOBINE D'ARRÊT qui, grâce à sa self-induction relativement élevée, s'opposera au passage de la composante H.F., tout en laissant passer la B.F. C'est donc encore à une séparation des composantes analogue à celle de la figure VII que nous avons recours dans ce montage.

Le condensateur variable placé en série avec la bobine de réaction permet de doser à volonté l'intensité du courant H.F. qui la parcourt et de régler ainsi l'effet même de réaction. C'est une méthode pratique permettant un réglage très précis. Il en existe plusieurs variantes basées, cependant, toutes sur le même principe et ne différant entre elles que par des détails du schéma.

Il faut bien se garder de tomber dans l'erreur commune qui fait appeler cette méthode « réaction par capacité ». Il s'agit toujours ici d'une réaction due à l'effet d'induction entre deux bobinages ; le rôle du condensateur se borne à celui de robinet réglant le débit de la haute fréquence.

On peut aussi envisager la véritable réaction par capacité en plaçant un condensateur variable entre la plaque et la grille de la lampe.

Mais les résultats obtenus sont généralement décevants.

Une méthode mixte de réaction par induction et par capacité est réalisée dans le montage HARTLEY (fig. 68) où la grille et la plaque sont couplées à la fois par la capacité du condensateur d'accord et par l'induction d'une moitié

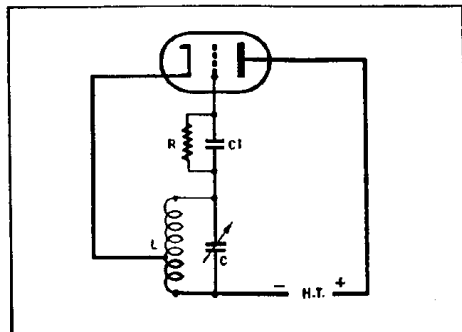


FIG. XII. — Oscillateur ECO. Le trajet du courant de plaque est tracé en gros trait.

du bobinage d'accord sur sa totalité. Là encore, le dosage de la réaction est effectué par un condensateur variable C' .

Du montage Hartley, on peut rapprocher celui de l'oscillateur à couplage électronique (fig. XII) également appelé ECO (de l'anglais *Electron Coupled Oscillator*). Utilisé souvent dans les hétérodynes, cet oscillateur ne permet pas de doser le degré de réaction, puisque la portion de bobinage en gros trait est parcourue par la totalité de la composante H.F. Certes, l'effet de la réaction deviendrait réglable si l'on rendait la prise sur le bobinage variable de manière à régler le nombre de spires parcourues par le courant de réaction.

COUPLAGES PARASITES.

Si la réaction réglable constitue souvent un moyen très apprécié pour tirer les résultats optima d'un récepteur à petit nombre de lampes, la réaction spontanée due à des couplages parasites représente l'un des phénomènes les plus ennuyeux de la pratique radio-électrique. Ces couplages parasites peuvent être classés en trois catégories : inductifs, capacitifs et par résistance commune. La dernière catégorie servira de sujet au prochain entretien de nos amis. Quant aux couplages par induction et

par capacité, ils ont lieu partout où les éléments du circuit de plaque d'une lampe voisinent avec les éléments des circuits de grille de cette même lampe ainsi que des tubes précédents.

Deux connexions voisinant sur une partie de leur parcours forment condensateur. Deux bobinages sont, sauf disposition spéciale, couplés par induction. Même les électrodes d'un tube, malgré leurs faibles dimensions, forment des capacités entre elles et aussi avec des éléments voisins du montage.

Si les couplages parasites ainsi créés sont de « bon » sens, c'est-à-dire réinjectent des circuits anodiques dans les circuits de grille des tensions en concordance de phase avec celles qui y existent, pour un certain degré de couplage des oscillations spontanées prennent naissance, et voilà votre récepteur transformé en émetteur. Pratiquement, ces « accrochages » spontanés se traduisent par des sifflements, ronflements ou, tout au moins, par de violentes déformations de l'audition, autant de phénomènes qui rendent le récepteur inutilisable.

BLINDAGE.

Pour parer à tous ces inconvénients, plusieurs moyens s'offrent au technicien. Tout d'abord une disposition judicieuse des éléments de montage évitant des connexions trop longues et des promiscuités dangereuses. En second lieu, le BLINDAGE des bobinages, des lampes et parfois même des sections entières des montages (« compartimentage »).

Des boîtiers métalliques en tôle de cuivre ou d'aluminium servent à enfermer bobinages et lampes. Grâce à ces « cages de Faraday », tous les champs électriques sont interceptés et les couplages parasites évités. Même certaines connexions doivent parfois être blindées à l'aide de souples gaines métalliques. Quant aux transformateurs B.F., ils sont blindés à l'aide de boîtiers en fer épais.

Tous les blindages doivent être connectés à un point de potentiel stable, par exemple au pôle négatif de la haute tension, de même que le châssis métallique supportant le montage.

TÉTRODE.

On va jusqu'à installer le blindage à l'intérieur des lampes, entre grille et anode. Pour que le passage des électrons puisse néanmoins s'effectuer librement, ce blindage revêt lui-même l'aspect d'un grillage dit GRILLE-ÉCRAN. Ainsi sont composées les lampes à 4 électrodes

ou TÉTRODES. Pour ne pas freiner les électrons, la grille-écran est portée à un potentiel positif élevé (en H.F. moitié de la tension anodique ; en B.F. même potentiel que la plaque). De cette manière elle sert d'accélératrice des électrons.

Grâce à la présence de la grille-écran, la capacité nuisible entre l'anode et la grille est rendue pratiquement nulle, et ainsi disparaît l'une des causes les plus pernicieuses des accrochages. A cet avantage des lampes à grille-écran, il faut ajouter celui qu'offre leur coefficient d'amplification élevé pouvant atteindre 1 000.

En effet, dans les tétrodes, le courant anodique dépend presque entièrement de la tension de la grille principale (dite GRILLE DE COMMANDE) et de la tension de la grille-écran ; quant à la tension anodique, elle exerce une très faible influence sur le courant anodique, en raison de la séparation entre l'anode et les autres électrodes qu'opère la grille-écran. Dans ces conditions, conformément à sa définition, le coefficient d'amplification doit être très élevé.

D'autre part, la pente des tétrodes étant du même ordre de grandeur que celle des triodes, pour que la relation fondamentale $K = \rho \times S$ soit satisfaite avec un K élevé, il faut que ρ le soit également. De fait, la résistance interne des tétrodes est très forte, souvent de l'ordre du mégohm.

Pour fixer la tension de la grille-écran, on emploie un montage « diviseur de tension » (on dit aussi « montage en potentiomètre ») en plaçant deux résistances en série entre les pôles de la source de haute tension. Suivant la valeur de la somme de ces deux résistances, un courant plus ou moins intense les parcourra en créant dans chacune une chute de tension proportionnelle à la valeur de la résistance (la somme de ces deux chutes de tension sera, bien entendu, égale à la tension de la source). Ainsi le point commun des deux résistances se trouvera-t-il à une tension intermédiaire que l'on peut fixer à la valeur désirée par un choix judicieux des résistances. C'est à ce point commun que sera connectée la grille-écran (fig. 71).

Comme cette électrode capte au passage un certain nombre d'électrons, il existe un faible courant de la grille-écran. Pour que ses variations ne viennent pas compromettre la stabilité de la tension de la grille-écran, un condensateur placé entre elle et la cathode dévierait la composante variable du courant directement vers la cathode.

On peut aussi, dans les lampes dont le courant de la grille-écran est stable, fixer le potentiel de cette électrode à l'aide d'une résistance chutrice de tension la reliant au positif de la haute tension. Là encore, un condensateur servira à dévier vers la cathode la composante variable du courant (fig. XIII).

ÉMISSION SECONDAIRE.

Lorsque, au terme de leur course rapide, les électrons atteignent l'anode, leur choc arrache, aux atomes de l'anode, des électrons qui sont projetés dans l'espace. Le flux de ces électrons émis par l'anode sous l'effet du bombardement électronique porte le nom d'ÉMISSION SECONDAIRE. La vitesse des électrons secondaires est relativement faible et, après une courte promenade, ils reviennent vers l'anode qui, étant positive, exerce sur eux son attraction. C'est du moins ainsi que les choses se passent dans une triode.

Mais, dans une tétrode, l'émission secondaire peut sérieusement perturber le fonctionnement de la lampe. Que l'anode tombe à

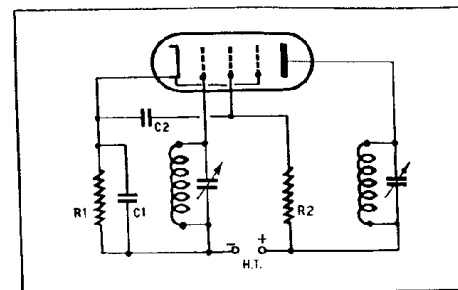


FIG. XIII. — Le potentiel de la grille-écran est fixé ici par la chute de tension dans R_1 . La composante variable est écoulee à travers C_2 vers la cathode.

un potentiel inférieur à celui de la grille-écran, et les électrons secondaires, au lieu de retomber sur l'anode, seront attirés par la grille-écran, il y aura donc à ce moment un véritable courant allant de l'anode à la grille-écran ; ce courant est de sens opposé au courant anodique normal et se retranche, par conséquent, de celui-ci. Un milliampèremètre placé dans le circuit anodique marquera une intensité égale à la différence du courant anodique normal et du courant inverse.

Dans quelles conditions pareil accident peut-il avoir lieu ? Autrement dit, comment la tension anodique peut-elle devenir inférieure à la tension de la grille-écran ? Cette dernière, rappelons-le, est fixe. Mais la tension réelle de l'anode varie à chaque instant, puisque de la tension de la source du courant anodique se retranche la chute de tension qui se produit dans l'impédance placée dans le circuit anodique.

Or, si la tension alternative sur la grille dépasse une certaine valeur, l'amplitude des variations du courant anodique peut devenir telle que la chute de tension dans l'impédance anodique ne laisse plus sur l'anode qu'une tension inférieure à celle de la grille-écran. Et c'est alors que se produit l'accident de l'émission secondaire de l'anode vers la grille-écran que nous venons d'analyser.

PENTODE.

Le remède est simple : entre la grille-écran et l'anode on interpose une grille portée au potentiel de la cathode. Cette grille supprimeuse n'aura aucun effet sur les électrons pri-

maires dans leur course rapide de la cathode vers l'anode. Mais, beaucoup plus lents, les électrons secondaires seront freinés par cette grille supprimeuse et regagneront bien sagement l'anode.

La lampe TRIGRILLE ou PENTODE ainsi constituée est donc à l'abri des accidents de l'émission secondaire. Cette question mise à part, elle possède les mêmes propriétés et les mêmes avantages que la tétrode. La pentode est, actuellement, la lampe la plus employée tant dans l'amplification H.F. que B.F. Dans les deux cas, elle procure une amplification très énergique. Et en H.F. elle présente, de plus, l'avantage de la très faible capacité grille-plaque, en évitant ainsi des accrochages spon-

Avez-vous bien assimilé tout ce qui précède ?
Si non, relisez les cent premières pages avant de poursuivre la lecture.

QUATORZIÈME CAUSERIE

Moins les circuits d'une lampe ont de rapports avec les circuits voisins, et mieux cela vaut pour le fonctionnement du récepteur. Telle est la conclusion de l'étude que nos amis ont poursuivie sur les couplages parasites. En plus du blindage préconisé précédemment, ils examinent le « découplage » qui permet d'éliminer les liaisons dangereuses... Passant à l'étude d'un schéma pratique, Curiosus apporte des précisions intéressantes sur la commutation des circuits d'accord.

Couplages inextricables.

CUR. — Jusqu'ici, nous n'avons parlé que des couplages par induction magnétique ou par capacité. Mais il existe également des couplages par résistance (ou, d'une manière plus générale, par impédance) commune.

IG. — Je n'entrevois pas où se nichent ces résistances communes.

CUR. — Voici (fig. 72), très schématiquement dessinés, trois étages d'amplification à haute fréquence. Pour plus de clarté, je n'ai dessiné que les trajets des courants de plaque i_1 , i_2 et i_3 des tubes V_1 , V_2 et V_3 respectivement. Les circuits de grille et de grille-écran sont omis. Suivez maintenant, crayon en main, les trajets des courants de plaque. Vous voyez que i_1 , quittant la cathode de V_1 , passe par LC, par les connexions marquées i_1 , par la source HT du courant de plaque et, par d'autres connexions

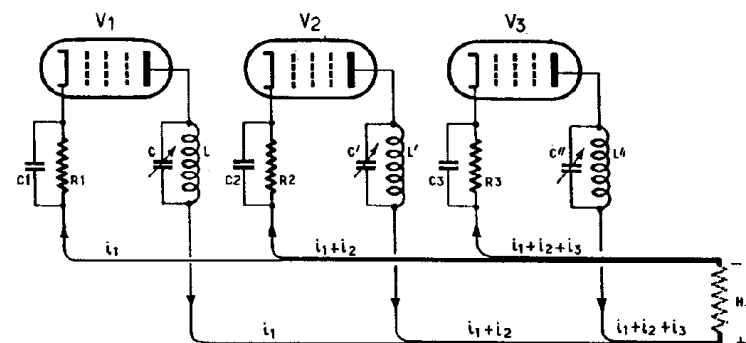
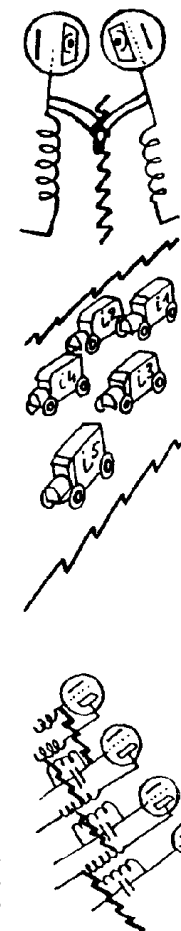


FIG. 72. — Dans ce montage, les courants de plaque de différentes lampes empruntent des trajets communs. La source de HT est symbolisée par une résistance.

marquées i_1 , et revient, à travers R_1 (résistance de polarisation), à la cathode. Maintenant, examinez de la même façon le courant de plaque i_2 de la deuxième lampe. Que voyez-vous ?

IG. — En effet, sur une partie de son trajet, il emprunte les mêmes connexions et aussi la source HT que le courant i_1 . Il en est de même en ce qui concerne i_3 ; et la source HT, ainsi que les connexions marquées $i_1 + i_2 + i_3$ sont parcourues à la fois par les trois courants. Il doit s'y produire un mélange inextricable !

CUR. — Si la source HT et les connexions ne possédaient aucune résistance, aucun mélange ne serait à craindre. Malheureusement, cela n'est pas le cas. Chacun des courants produit, dans ces résistances communes, des chutes de tension. Celles qui sont produites par les composantes continues des courants sont constantes et



ne présentent aucun inconvénient. Il n'en est pas de même en ce qui concerne les composantes variables qui, elles, produisent dans les résistances communes, des tensions variables qui se communiquent aux autres circuits. Ainsi, les tensions produites par la composante variable de i_1 se trouveront appliquées entre les cathodes et les anodes de V_1 et de V_2 . Il en sera de même pour les autres courants.

IG. — Je vois ainsi que cela constitue un terrible couplage entre toutes les lampes, car les oscillations de courant de chacune d'elles se répercutent immédiatement sur les tensions des électrodes des autres. Cela doit sans doute donner lieu à des phénomènes fort désagréables.

CUR. — Bien entendu. Suivant le cas, il se produit une diminution de l'amplification (lorsque les tensions venant des autres lampes agissent dans le sens inverse des oscillations de la lampe même) ou bien, au contraire, ces couplages donnent lieu à des « accrochages » spontanés (si les oscillations imposées par les autres lampes agissent dans le même sens que les propres oscillations de la lampe).

IG. — Mais il doit y avoir un moyen de rendre chacune des lampes indépendante des autres.

CUR. — Oui. Ce moyen, appelé *découplage*, consiste à ne pas laisser les composantes variables des courants de plaque se promener à travers tout le récepteur, par les connexions et la source HT communes.

Le triomphe de l'individualisme.

IG. — Je suppose que, à cet effet, il faut tout d'abord les séparer de la composante continue.

CUR. — C'est ce que l'on fait. Dès que le courant de plaque total est passé par l'impédance de plaque, en l'occurrence le circuit LC (fig. 73), on sépare ses composantes alternative et continue par une bifurcation analogue à celle que vous avez utilisée pour le réglage de la réaction à l'aide d'un condensateur variable. La composante alternative revient directement à la cathode à travers le condensateur C_4 qui s'oppose, par contre, au passage de la composante continue. Celle-ci emprunte le chemin de la résistance R_4 et ne revient à la cathode qu'après avoir passé par la source HT et par la résistance de polarisation R_1 . Vous voyez ainsi que le trajet de la composante alternative est limité au circuit cathode-anode (marqué en gros trait)

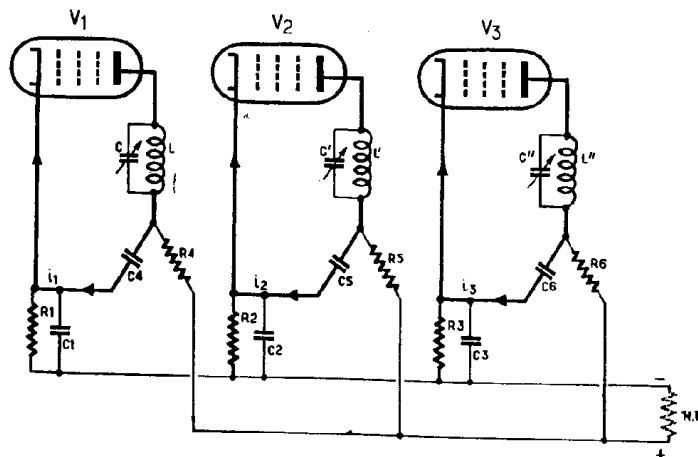


FIG. 73. — Ici, grâce au découplage, la composante alternative du courant de chaque lampe parcourt un chemin individuel marqué en gros trait.

propre à chaque lampe. Nulle part, la composante alternative d'un tube ne marche dans les plates-bandes de celles des autres lampes.

IG. — En somme, si j'ai bien compris, le découplage assure aux lampes le triomphe complet de l'individualisme.

CUR. — C'est tout à fait exact. Remarquez que, accessoirement, le découplage a aussi l'avantage, en raccourcissant les chemins des composantes alternatives, de diminuer les risques des inductions parasites. Maintenant, je peux vous dessiner (fig. 74) le schéma complet d'un étage d'amplification tel qu'on le conçoit dans les récepteurs modernes. C'est exactement la même chose que le schéma de la figure 73.

IG. — Pas tout à fait, me semble-t-il. Dans la figure 73, les condensateurs de découplage C_4 , C_5 et C_6 reviennent directement aux cathodes des lampes correspondantes. Or, dans la figure 74, le condensateur de découplage C_3 va au — HT.

CUR. — Vous avez raison. Théoriquement, cette dernière disposition est moins efficace, car la composante variable du courant de plaque, au lieu de revenir à la cathode par le condensateur de découplage seul, doit, en outre, traverser également

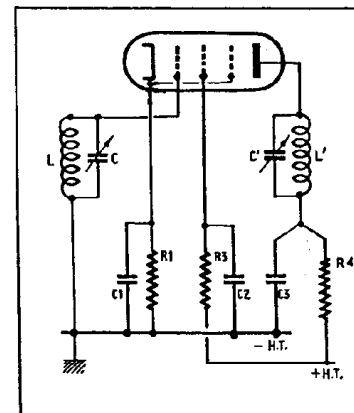


FIG. 74. — Montage découplé d'une pentode.

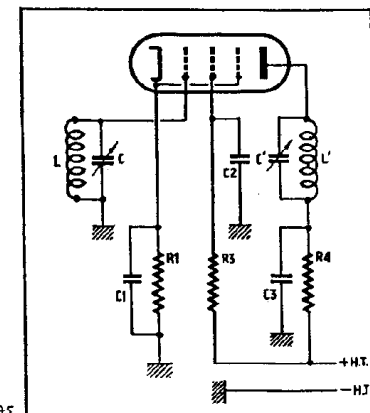
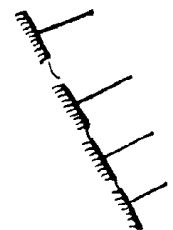
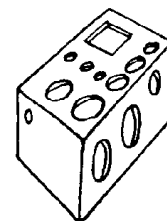
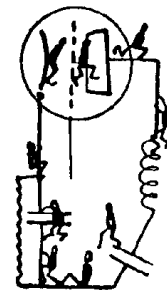


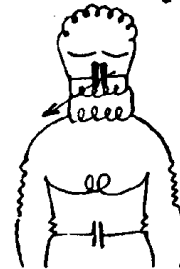
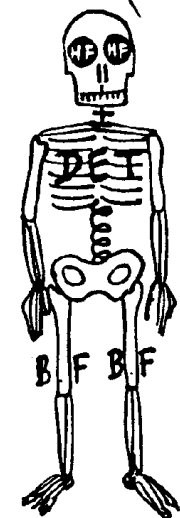
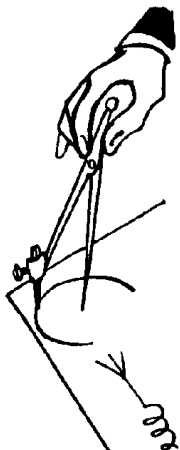
FIG. 75. — Même schéma que fig. 74 dessiné avec symbole « masse ».

le condensateur de polarisation C_1 , ce qui, évidemment, est pour elle plus fatigant. Cependant, en pratique, cette disposition offre certains avantages. Vous avez déjà remarqué sans doute que nombre de connexions d'un récepteur aboutissent au pôle négatif de la haute tension. Afin d'avoir ce pôle négatif à la plus courte distance possible des différents éléments qui y sont reliés, on établit une connexion commune de — HT en fil très fort qui parcourt tout le récepteur. Ou, ce qui est plus fréquent, mais moins recommandable, le récepteur étant monté sur un châssis métallique, c'est la masse même du châssis qui sert de connexion commune — HT. D'ailleurs, au lieu de dire qu'une connexion aboutit au — HT, on dit qu'elle va à la masse.

Du « schéma-squelette » au schéma complet.

IG. — En somme, si j'ai bien compris, il est plus facile de connecter les condensateurs de découplage à la masse du châssis, que de conduire une connexion jusqu'à la cathode.





CUR. — C'est bien cela, Ignotus. D'ailleurs, on a pris l'habitude de désigner la masse par le même symbole que la terre, en sorte que, au lieu de représenter une seule connexion commune de — HT, on dessine plusieurs « masses ». D'après cette méthode de représentation, la figure 74 sera dessinée comme le schéma de la figure 75. Mais il faut bien vous enfoncer dans la tête que, lorsque vous voyez, sur un schéma, plusieurs « masses », il ne s'agit, en réalité, que d'une unique connexion qui va au pôle négatif de la haute tension.

IG. — Et, maintenant, est-ce que je sais tout ce qu'il faut sur les dangers cachés des montages de réception pour pouvoir composer un schéma convenable d'après lequel on pourrait monter un récepteur qui fonctionne ?

CUR. — Oui, je pense que, à présent, vous connaissez à peu de chose près tout ce qu'il faut pour cela. Nous n'avons d'ailleurs qu'à reprendre le schéma que, dans votre candeur naïve, vous avez tracé au cours de notre douzième causerie, et à essayer de le rendre pratique. Dessinons-le d'abord — c'est une excellente méthode — sous une forme... schématisée.

IG. — J'espère que vous équiperez les deux étages H.F. de pentodes.

CUR. — Comme vous pouvez le constater (fig. 76), je vais même plus loin en utilisant également une pentode en deuxième étage de basse fréquence. Les pentodes

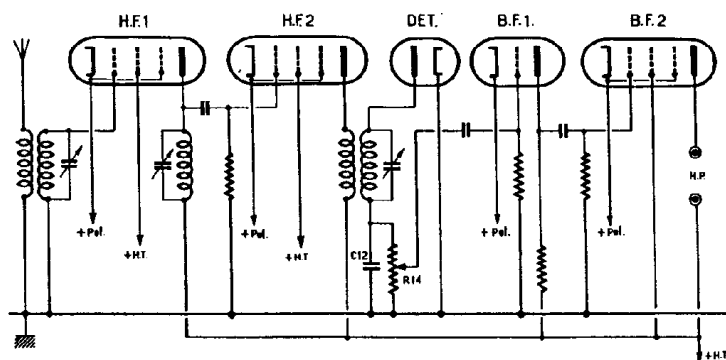


FIG. 76. — « Schéma-squelette » du récepteur à deux étages H.F.

sont, aujourd'hui, volontiers utilisées dans ce rôle. Vous voyez que, dans ce schéma, ne figurent que les circuits essentiels de liaison entre les lampes. Quant aux éléments de découplage, ainsi qu'aux résistances fixant les tensions de polarisation et des grilles-écrans, le « schéma schématisé » ne les comprend pas.

IG. — En somme, vous avez représenté le « squelette » d'un montage à deux étages d'amplification de haute fréquence, détection par diode et deux étages de basse fréquence. Pourriez-vous, maintenant, entourer ce squelette de la chair qui en fera un organisme complet ?

CUR. — Ce n'est pas difficile. Voici (fig. 77) le schéma complet. Avant toute autre particularité, remarquez les résistances de polarisation R_1 , R_2 , R_3 et R_4 ; les résistances fixant les tensions des grilles-écrans R_5 et R_6 ; les résistances de découplage R_7 , R_8 et R_9 , et tous les condensateurs correspondants de découplage marqués des mêmes numéros.

IG. — Attendez... Il y a une autre chose qui m'intrigue beaucoup : ce sont les bobinages L_1 , L_2 , L_3 , L_4 et L_5 qui ont l'air d'être en trois morceaux.

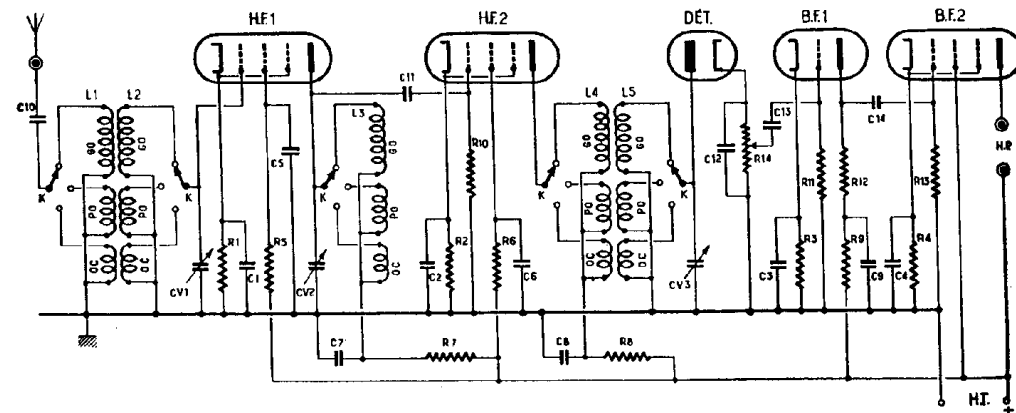


FIG. 77. — Schéma définitif du récepteur.

Il y a ondes et ondes...

CUR. — Cela nécessite une explication. Vous savez qu'il existe, dans le monde, un très grand nombre d'émetteurs de radiodiffusion. Leurs longueurs d'onde sont réparties en trois gammes principales :

- 1) *Grandes ondes* (G.O.) : de 1 000 à 2 000 mètres (300 à 150 kHz) ;
- 2) *Petites ondes* (P.O.) : de 200 à 600 mètres (1,5 à 0,5 MHz) ;
- 3) *Ondes courtes* (O.C.) : de 10 à 50 mètres (30 à 6 MHz).

A chacune de ces gammes correspond l'un des trois enroulements composant chacun de nos bobinages. On l'introduit à volonté dans le circuit à l'aide du commutateur K.

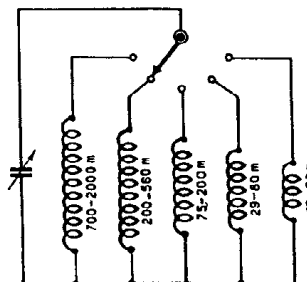
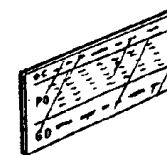
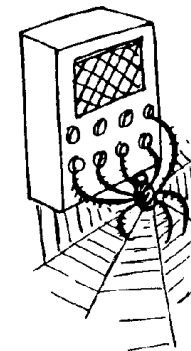


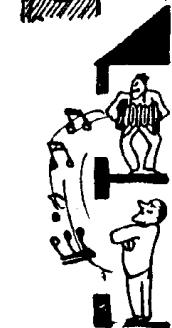
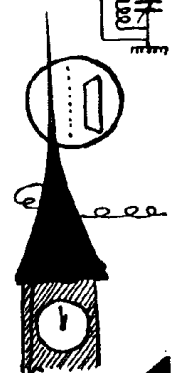
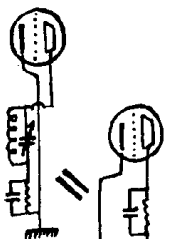
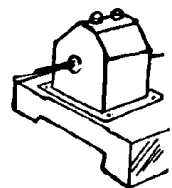
FIG. 78 et 79. — Méthode de commutation pour 3 gammes d'ondes.

IG. — Mais alors, pour régler tous ces enroulements sur la gamme voulue, il faut manœuvrer simultanément cinq commutateurs. Faut-il, comme une araignée, avoir un grand nombre de pattes pour effectuer rapidement un tel réglage ?

CUR. — Non, rassurez-vous, Ignotus : un seul bouton de commande suffit pour agir sur tous les contacts en même temps.

IG. — Heureusement qu'il n'y a que trois gammes ; sinon, cela deviendrait bougrement compliqué.





CUR. — En réalité, il y aussi des émissions faites sur d'autres longueurs d'onde. Et si vous voulez, avec des condensateurs variables de l'ordre de 500 pF, couvrir tout l'intervalle des longueurs d'onde allant de 12 à 2 000 mètres, il faut disposer de 5 valeurs de self-induction. On utilise alors un commutateur à 5 positions (fig. 78).

IG. — Heureusement qu'on n'utilise pas des ondes plus courtes.

CUR. — Erreur. En télévision et en modulation de fréquence, on utilise des ondes métriques. Et dans le radar on fait appel à des ondes de l'ordre du décimètre et du centimètre. Mais n'en parlons pas aujourd'hui.

IG. — Je regarde à nouveau le schéma du récepteur (fig. 77) et ne puis pas m'expliquer la position bizarre du condensateur C_7 . En apparence, c'est le condensateur de découplage (avec la résistance R_7) du circuit de plaque de la première lampe. Mais pourquoi se trouve-t-il placé dans le circuit oscillant même formé par L_3 et CV_2 ?

CUR. — Pour une raison bien prosaïque. Dans les condensateurs variables modernes, les armatures mobiles ne sont pas isolées du bâti métallique du condensateur (seules les armatures fixes le sont). A son tour, le bâti du condensateur est fixé sur la masse métallique du châssis qui, elle, est au potentiel négatif de la haute tension. Il est donc obligatoire que, dans notre montage, les armatures mobiles de CV_2 soient au potentiel — HT. Or, la bobine L_3 est, à travers R_7 , connectée au + HT. Il fallait donc séparer CV_2 de L_3 au point de vue tension continue, sans toutefois interrompre le circuit oscillant pour la haute fréquence. Le condensateur C_7 , qui est de grosse capacité, se prête fort bien à ce rôle : tout en laissant libre passage à la haute fréquence, il empêche le courant continu de passer entre — HT et + HT à travers R_7 .

IG. — Eh bien, cette explication éclaire pour moi un autre problème qui m'intriguait depuis un moment. Je me demandais pourquoi les organes de détection R_{14} et C_{12} qui, dans le schéma-squelette, se trouvaient entre le circuit L_3 - CV_2 et la masse, sont maintenant placés entre la masse et la cathode de la diode. Je pense que vous l'avez fait également en vue de laisser les armatures de CV_2 à la masse.

CUR. — Je vois que vous avez fort bien compris les choses et je crois que, comme les horloges les plus lentes ont sonné les douze coups de minuit, nous pourrions clore là-dessus notre entretien.

Une étymologie trompeuse.

IG. — Dites encore, pourquoi cette flèche qui s'appuie sur la résistance de détection R_{14} ?

CUR. — Cette résistance est en réalité un potentiomètre...

IG. — S'agit-il d'un instrument pour la mesure du potentiel ?

CUR. — Non, Ignotus, l'étymologie du mot vous induit en erreur. Le *potentiomètre* est une résistance sur laquelle un curseur (représenté par la flèche) permet de faire contact sur l'un des points intermédiaires.

IG. — Mais quelle est, ici, sa raison d'être ?

CUR. — Sur la résistance R_{14} , nous recueillons la tension détectée. Or il se peut qu'elle soit trop grande et que, après l'amplification B.F., elle nous procure une audition trop forte. Pour réduire l'intensité sonore, il suffit de n'appliquer à la lampe suivante qu'une partie de la tension détectée. C'est ce que permet de faire le potentiomètre R_{14} dont le curseur intercepte une partie plus ou moins grande de la tension développée. Ainsi R_{14} sert-il au réglage de l'intensité sonore.

IG. — C'est en effet une chose très utile, et je regrette que mon voisin de dessus, qui adore l'accordéon, ne s'en serve pas plus souvent.

Commentaires à la 14^{ème} Causerie

COUPLAGE PAR IMPÉDANCES COMMUNES.

Si le blindage permet de supprimer ou d'atténuer les couplages parasites dus à l'induction magnétique et à la capacité, il n'en demeure pas moins que d'autres couplages peuvent être occasionnés par des résistances (ou, plus généralement, des impédances) communes à plusieurs circuits.

Si la même impédance (ne serait-ce que la source de haute tension) est parcourue par les courants variables de plusieurs lampes, chacun y produit des chutes de tension variables qui se répercutent sur les tensions de toutes les électrodes des lampes. Suivant leur phase, de tels couplages, comme ceux étudiés précédemment, peuvent conduire à la naissance d'oscillations spontanées ou, au contraire, atténuer fortement l'amplification.

Ce qui rend néfaste l'action des impédances communes, ce sont les *composantes alternatives* des courants des lampes ; quant aux composantes continues, du fait même de leur stabilité, aucune interaction dangereuse n'est à redouter. Aussi, pour combattre ce genre de couplages, s'attaque-t-on aux composantes alternatives des courants anodiques auxquelles un DÉCOUPLAGE convenable permet d'éviter des chemins communs, en offrant à chacune d'elles un trajet individuel, court et facile.

DÉCOUPLAGE.

Puisque la fonction essentielle de la composante variable du courant anodique est de créer une tension variable dans le circuit de liaison, à la sortie de ce dernier sa mission est déjà accomplie. Le plus simple est alors de lui faire regagner le point de départ, la cathode, en lui offrant le moyen de passage à l'aide d'un condensateur de capacité suffisante. Et pour l'empêcher d'emprunter le même trajet que la composante continue, on disposera sur ce trajet-là une impédance s'opposant à son passage.

Nous sommes donc de nouveau en présence du procédé coutumier de la *séparation des deux composantes du courant anodique* (fig. VII) : d'une part, un condensateur laisse passer la composante variable et arrête le cou-

rant continu ; d'autre part, une résistance ou une bobine de self-induction convenable, tout en laissant passer le courant continu, s'oppose au passage de la composante variable.

Pour le découplage, on utilise dans la branche du courant continu des résistances ohmiques et l'on en profite pour fixer la tension anodique de chaque lampe à sa valeur optimum grâce à la chute de tension qui se produit dans la résistance de découplage.

En ce qui concerne les condensateurs de découplage, leur valeur doit être d'autant plus élevée que la fréquence des courants à découpler est plus basse et que les résistances de découplage sont plus faibles. En H.F. on utilise des condensateurs de l'ordre de 0,1 μ F, ce qui est largement suffisant, puisque pour une fréquence de 1 000 kHz (correspondant à la longueur d'onde de 300 mètres) la résistance capacitive n'est que de 1,5 ohm. En B.F. on utilise des condensateurs de découplage de l'ordre de 20 μ F ; et ces capacités élevées ne sont pas un luxe superflu, puisque leur capacité à 50 p/s est de 150 ohms.

RÉALISATION DES DÉCOUPLAGES.

Dans le montage, les éléments de découplage doivent être disposés aussi près que possible de la lampe et du circuit de liaison, de manière que les composantes alternatives retournent à la cathode par le chemin le plus court.

En pratique, les condensateurs de découplage n'aboutissent pas toujours à la cathode, mais plutôt au pôle négatif de la haute tension, ce qui oblige la composante alternative à passer, en outre, à travers le condensateur branché en dérivation sur la résistance de la cathode. Cette pratique est à condamner, puisque la capacité équivalente des deux condensateurs en série que le courant doit parcourir pour aboutir à la cathode, est inférieure à la capacité du plus faible des deux condensateurs. Mais on procède ainsi du fait qu'il est très commode de faire aboutir toutes les connexions allant au négatif de H.T. (haute tension) à une connexion commune constituée par un gros fil ou par la masse métallique du châssis ; la première solution est, d'ailleurs, à préférer. Rappelons que les blindages des bobinages, lampes et connexions, doivent, eux aussi, être connectés à

la « masse », terme servant à désigner la connexion commune du — H.T.

Et, maintenant que nous avons démontré l'utilité du découplage, notons que maints récepteurs fonctionnent mieux... sans découplage. Et cela est dû au fait que les couplages parasites peuvent créer une réaction, de phase favorable à l'amplification, sans que la limite de l'accrochage soit dépassée. Ainsi

voit-on des récepteurs de bas prix où, pour raison d'économie, le découplage est négligé, manifester une très bonne sensibilité. Cette constatation quasi paradoxale ne doit pas faire douter de l'utilité des découplages. Car il est préférable de se rendre maître des réactions et ne les appliquer qu'à bon escient là où leur effet est utile, plutôt que de laisser au hasard le soin d'en commander l'action.

QUINZIÈME CAUSERIE

Jusqu'à présent, Curlosus a laissé délibérément de côté le problème de l'alimentation. Il parlait des sources de courant de chauffage et de plaque sans en préciser la nature. Aujourd'hui, Ignotus apprendra comment sont réalisés les dispositifs de redressement et de filtrage du courant alternatif. Le cas du secteur à courant continu sera traité également, en sorte que l'alimentation n'aura plus de secret pour le lecteur.

Problèmes alimentaires.

IG. — Je me fais parfois l'impression du voyageur assoiffé qui, en vain, poursuit dans le désert un mirage tentateur. C'est ainsi que, lors de notre dernière causerie, je croyais avoir, enfin, examiné un schéma complet et définitif d'un récepteur. Mais, une fois rentré chez moi, j'ai constaté avec amertume qu'il y manquait quelque chose.

CUR. — Quoi donc, mon pauvre Ignotus ?

IG. — Une partie fort essentielle : le dispositif d'alimentation que vous vous êtes contenté de désigner par les initiales H.T. (haute tension). Cette haute tension cependant ne nous vient pas du ciel sous forme de foudre !

CUR. — Vous avez raison. Mais vous pouvez toujours supposer qu'elle est fournie au récepteur par une batterie de piles ou d'accumulateurs.

IG. — Je ne tiens pas du tout à faire de telles suppositions. Je sais fort bien que, depuis belle lurette, on n'utilise plus les piles et les accumulateurs que dans les petits postes portatifs ou dans les récepteurs destinés à des régions sauvages qui n'ont pas encore connu les bienfaits de l'électrification. Mais dans la plupart des récepteurs actuels, l'alimentation est assurée par le courant du secteur. Comme disent les annonces, « une prise de courant — et c'est tout ». Ce qui me paraît incompréhensible, c'est que le courant du secteur est, dans la plupart des endroits, alternatif, et cependant on s'en sert pour créer une tension continue entre les cathodes et les anodes des lampes...

CUR. — On y parvient en le redressant au préalable. Redresser un courant alternatif, c'est l'empêcher de circuler dans les deux sens, en lui imposant une direction unique.

IG. — En somme, le redressement n'est autre chose qu'une détection.

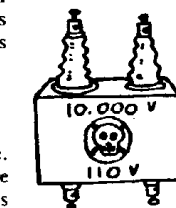
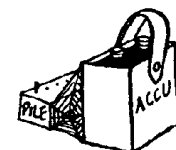
CUR. — Oui, le procédé et les moyens mis en œuvre sont les mêmes. Seulement, ici nous avons affaire à un courant de fréquence industrielle comprise entre 25 et 60 périodes par seconde (en Europe, c'est presque partout 50 et en Amérique 60 périodes par seconde) et nous avons besoin de redresser une intensité relativement élevée : plusieurs dizaines de milliampères. Pour le redressement, nous utilisons, bien entendu, une diode, dont les électrodes sont cependant plus importantes que celles de la diode détectrice. Cette diode est parfois appelée « valve » ou « redresseuse ».

IG. — Il suffit donc, en somme, de disposer une telle valve sur le trajet du courant du secteur pour lui imposer un sens unique, car les électrons ne peuvent aller que de la cathode à l'anode et non inversement.

CUR. — C'est bien cela. Cette valve (fig. 80) peut être, indifféremment, placée du côté + HT ou — HT, c'est-à-dire à la sortie ou à l'entrée des électrons. L'essentiel est d'observer que le sens de la circulation imposé par la valve soit tel que les électrons entrent dans le récepteur pour parcourir, dans ses tubes, des chemins allant des cathodes aux anodes.

Danger !... Haute tension !

IG. — Mais j'ai bien peur que la haute tension ainsi obtenue soit insuffisante. Ainsi le secteur dont je dispose ne donne que 110 volts. Or, vous m'avez dit que certaines lampes exigent entre l'anode et la cathode une tension de plusieurs centaines de volts. Que ferai-je avec mes 110 volts ?...



CUR. — Vous en perdrez tout d'abord une partie par chute de tension dans la valve qui, ne l'oubliez pas, possède une certaine résistance interne. Vous ne serez donc pas bien avancé... Heureusement, nous disposons d'un moyen très simple permettant d'élever dans la proportion voulue la tension du courant alternatif.

IG. — Quel est donc ce moyen merveilleux ?

CUR. — C'est notre vieille connaissance : le transformateur. Supposons, Ignotus, que nous ayons un transformateur possédant le même nombre de spires dans les enroulements primaire et secondaire. Si vous appliquez 110 volts au primaire, quelle tension apparaîtra aux extrémités du secondaire ?

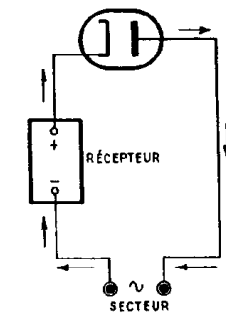
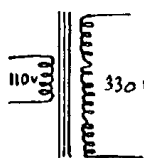
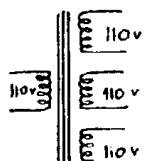


FIG. 80. — Schéma du redresseur le plus simple.

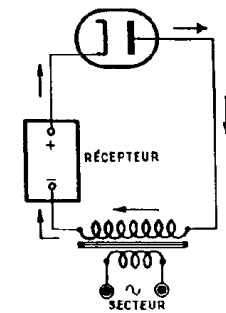


FIG. 81. — Redresseur avec transformateur élevant la tension.



FIG. 82. — En trait plein, forme du courant redressé par les dispositifs des fig. 80 et 81. — En pointillé, alternances arrêtées par la valve et non utilisées.

IG. — La même, je suppose, puisque les enroulements sont identiques.

CUR. — Bien raisonné. Maintenant, supposons que le transformateur possède plusieurs secondaires, trois par exemple, ayant toujours le même nombre de spires que le primaire. Dans ce cas, en appliquant 110 volts au primaire, nous obtiendrons toujours 110 volts sur chacun des secondaires. Réunissons donc les trois secondaires l'un à la suite de l'autre. Les tensions s'ajouteront alors, et entre le commencement du premier et le bout du troisième, nous obtiendrons 330 volts.

IG. — Je vois que nos trois secondaires ne font plus qu'un seul enroulement. Et, pour vous montrer mes facultés d'induction, j'en conclus que le transformateur permet d'élever (ou d'abaisser) une tension autant de fois que son secondaire comporte plus (ou moins) de spires que le primaire.

CUR. — Je vous en félicite, Ignotus. Vous parlez comme un traité de physique et méritez de moins en moins votre nom... Vous voyez donc que le transformateur permet d'élever aisément la tension avant le redressement du courant (fig. 81). Nous choisirons le rapport des nombres de spires (ou *rapport de transformation*) suivant la tension que nous voudrions obtenir.

L'art d'utiliser les alternances de rebut.

IG. — Il y a cependant, dans tout cela, une chose qui m'ennuie. Chaque période du courant alternatif comporte deux alternances : l'aller et le retour. Or, nous n'en utilisons qu'une seule (fig. 82). Ne pourrait-on pas, par quelque artifice, obliger également le courant de la deuxième alternance à prendre, dans le récepteur qu'il alimente, le même sens obligatoire ?

CUR. — Si, c'est réalisé dans le « redressement des deux alternances ». Nous utiliserons pour cela deux dispositifs d'alimentation identiques à celui de la figure 81. En les disposant côte à côte (fig. 83), nous voyons que, dans les deux, le courant parcourt le récepteur dans le même sens. Nous pouvons donc alimenter ainsi un seul récepteur (fig. 84). Chacune des valves redressera l'une des deux alternances. Vous pourrez, d'ailleurs, facilement suivre le chemin du courant pour chaque alternance.

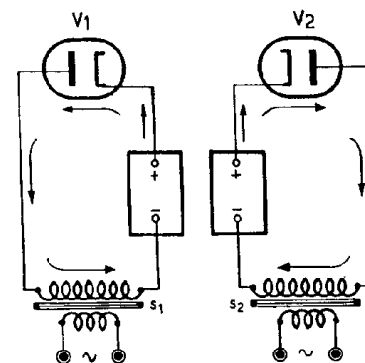


FIG. 83. — Ces deux redresseurs sont identiques à celui de la figure 81, chacun redresse une alternance.

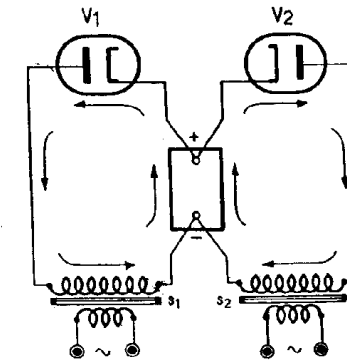


FIG. 84. — Les deux redresseurs de la figure 83 alimentent le même récepteur en redressant les deux alternances.

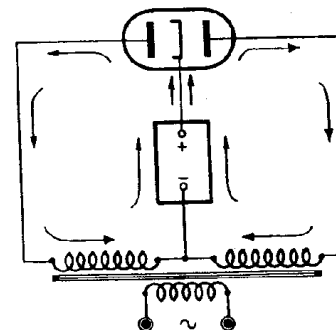


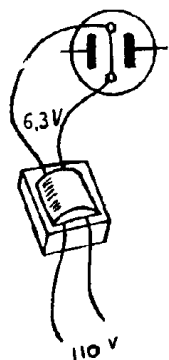
FIG. 85. — On peut remplacer les deux valves de la figure 84 par une seule valve biplaque.



FIG. 86. — En trait plein, forme du courant obtenu par le redressement des deux alternances. — En pointillé, alternance arrêtée par une plaque, mais redressée par l'autre.

IG. — En effet. Lorsque, pendant une alternance, les électrons parcourent les enroulements secondaires en allant de gauche à droite, ils traverseront le récepteur en sortant de S_1 , iront de la cathode à l'anode de V_1 et reviendront à S_1 . Par contre, ils ne pourront pas circuler dans S_2 , car le sens de l'anode à la cathode de V_2 leur est interdit. Lors de l'alternance suivante, allant dans les secondaires de droite à gauche, ils se heurteront, en sortant de S_1 , à l'anode de V_1 où ils seront arrêtés. Mais ils se promèneront facilement, en sortant de S_2 , à travers le récepteur et la valve V_2 , pour revenir vers S_2 . Dans les deux cas, les électrons traverseront le récepteur dans le même sens.

CUR. — Vous voyez donc que nous utilisons les deux alternances du courant (fig. 86). Remarquez maintenant que les deux secondaires ont un point commun. Nous remplacerons les deux transformateurs par un seul dont le secondaire comportera une prise médiane. En outre, les cathodes des deux valves sont réunies ensemble. Plaçons donc les deux valves dans la même ampoule de verre et remplaçons les deux cathodes par une cathode commune. Nous obtenons ainsi une valve à deux anodes ou valve « biplaque » dont le montage est représenté dans la figure 85.



Problèmes d'équilibre.

IG. — Mais, dans tous ces montages de redressement, comment chauffez-vous le filament de la valve pour porter la cathode qui l'entoure à la température nécessaire pour que l'émission électronique ait lieu ?

CUR. — Ce filament est chauffé par un courant alternatif sous basse tension, 4 ou 6,3 volts généralement. On peut utiliser à cet effet un deuxième transformateur abaisseur de tension. Mais, le plus souvent, la tension de chauffage est obtenue à partir d'un petit enroulement secondaire placé sur le transformateur d'alimentation en plus de l'enroulement de haute tension. D'ailleurs, étant donné le courant relativement intense que doivent fournir les valves, elles sont souvent à chauffage direct : c'est le filament lui-même qui sert alors de cathode émettrice d'électrons.

IG. — Et, dans ce cas, on le chauffe également par le courant alternatif ?

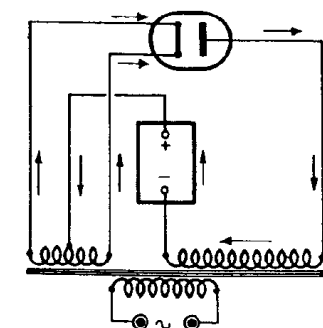
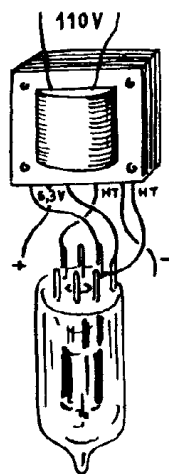


FIG. 87. — Schéma pratique du redresseur de la figure 81.

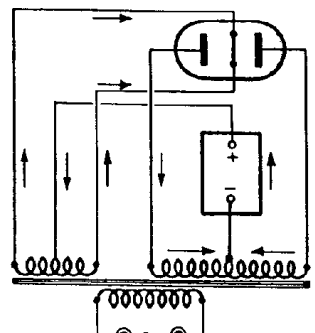


FIG. 88. — Schéma pratique du redresseur de la figure 83.

LES FLÈCHES INDIQUENT LE SENS DU COURANT REDRESSÉ

CUR. — Bien entendu. Ainsi, pratiquement, nos dispositifs de redressement à une alternance (fig. 81) ou à deux alternances (fig. 85) se présentent comme l'indiquent les figures 87 et 88 respectivement.

IG. — Pourquoi donc, dans ces schémas, au lieu d'être directement relié au filament de la valve, le récepteur est-il connecté à une prise médiane de l'enroulement de chauffage du transformateur ?

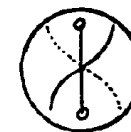
CUR. — Parce que, si la cathode des valves à chauffage indirect a le même potentiel dans tous ses points, ici, par contre, le filament qui est parcouru par du courant alternatif a dans tous ses points un potentiel variable. Par rapport à son point milieu, ses extrémités ont alternativement + 3,15 et - 3,15 volts dans les valves chauffées sous 6,3 volts.

IG. — Cela me rappelle cette balançoire que, dans ma prime jeunesse, j'ai confectionnée en mettant une longue planche en équilibre sur un trépied.

CUR. — Eh bien, le seul point de cette balançoire qui restait immobile était son



point milieu. De même dans le filament le seul point de potentiel constant est son point milieu. Seulement, comme il est difficile de l'atteindre au milieu de l'ampoule, nous connectons le récepteur au point milieu de l'enroulement de chauffage. Du point de vue potentiel, ces deux points sont équivalents. D'ailleurs, actuellement, on utilise surtout des valves à chauffage indirect, en sorte que le pôle positif de la haute tension est constitué par leur cathode même.



Eau de Cologne... et nivellement du courant redressé.

IG. — Ce qui me paraît un peu inquiétant, c'est que dans nos redresseurs c'est la cathode qui constitue le pôle positif et c'est l'enroulement de l'anode qui est le pôle négatif. Jusqu'à présent, dans les lampes du récepteur, j'ai été habitué à trouver le positif du côté de l'anode et le négatif du côté de la cathode.

CUR. — Vos inquiétudes sont vaines, Ignotus. N'est-il pas normal que ce qui sert de source d'énergie soit conçu à l'envers de ce qui la consomme ?... Et puis, n'oubliez pas que nous appelons « anode » le point par lequel les électrons sortent et « cathode » celui par lequel ils entrent. Or, *sortant* des anodes des lampes du récepteur, les électrons *entrent* dans la cathode du redresseur, *sortent* de son anode et *entrent* dans les cathodes des lampes de réception. Vous voyez que tout est normal.

IG. — En effet. Mais... excusez-moi : aujourd'hui j'ai une terrible envie de formuler des objections... Mais, dis-je, le courant que fournit le redresseur (fig. 82 ou 86) est loin d'avoir cette agréable constance qui caractérise le courant continu. Votre courant redressé, s'il ne change pas de direction, n'en est pas moins un courant d'intensité constamment variable.

CUR. — Certes, si vous l'appliquez aussi brut aux lampes du récepteur, leurs courants de plaque suivront ces variations qui se traduiront dans le haut-parleur par un épouvantable ronflement.

IG. — Mais il doit y avoir sûrement un moyen pour le rendre parfaitement continu, ce courant redressé.

CUR. — Bien entendu. Cela est obtenu par un « nivellement » ou, comme on dit, *filtrage*. Le courant redressé brut est comparable à ce jet d'eau de Cologne que donnent les pulvérisateurs bon marché à un seul ballon que l'on comprime plusieurs fois successivement. Grâce à des valves placées à l'entrée et à la sortie du ballon, le mouvement alternatif de compression et de dépression donne lieu à un mouvement unilatéral, bien que saccadé, de l'air.

IG. — C'est donc un redressement !

CUR. — Vous l'avez dit... Mais dans les pulvérisateurs plus perfectionnés on obtient un débit continu de l'eau de Cologne grâce à un deuxième ballon placé à la suite du premier. Ce deuxième ballon, dont les parois de caoutchouc sont très minces

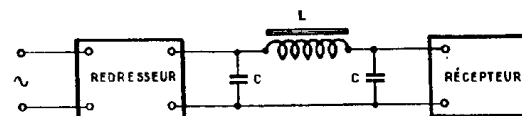
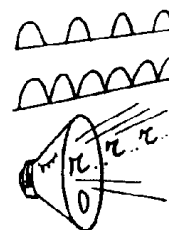
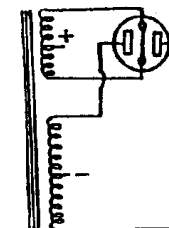
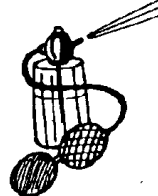


FIG. 89. — Une cellule de filtrage CLC, placée entre le redresseur et le récepteur, sert au « nivellement » du courant.

et extensibles, se gonfle au moment où le premier lui envoie une bouffée d'air. Ensuite, pendant que le premier aspire une nouvelle bouffée en se distendant, le deuxième ballon se dégonfle lentement en débitant dans l'orifice du pulvérisateur un jet régulier d'air. Ainsi, le deuxième ballon joue le rôle de réservoir destiné à égaliser le débit en emmagasinant l'excédent de l'air au moment où il en reçoit une poussée, et en se déchargeant ensuite... N'avez-vous pas souvenir de quelque chose qui joue le même rôle en électricité ?



IG. — Le condensateur !... Lui aussi est capable de se charger et de se décharger.

CUR. — C'est donc un condensateur que nous utiliserons pour le filtrage. En le plaçant entre les pôles positif et négatif du redresseur, nous en égaliserons le débit. Cependant, un condensateur, même de forte capacité, ne suffira peut-être pas. Alors faisons appel au principe du volant qui, dans les machines à vapeur et les moteurs à combustion interne, sert à égaliser l'irrégularité du mouvement produit par le va-et-vient des pistons. Par son inertie, le volant maintient la régularité du mouvement. Connaissez-vous une grandeur électrique qui, à la manière de l'inertie, s'oppose aux variations du courant ?

IG. — Bien entendu. C'est la self-induction.

CUR. — Parfait. Aussi, sur le chemin du courant redressé placerez-vous une bobine à noyau de fer (ne sommes-nous pas en très basse fréquence ?) de self-induction élevée. Enfin, nous ferons notre filtre (fig. 89) par un deuxième condensateur qui servira à parfaire le nivellement. D'ailleurs, quand on veut obtenir un filtrage très soigné, on peut utiliser consécutivement deux ou trois « cellules » de filtrage composées comme celle de la figure 89. Mais, ordinairement, après le filtrage par une seule cellule, le courant est suffisamment filtré pour être utilisé, sans donner lieu à des ronflements.

IG. — Une dernière question : comment chauffe-t-on les lampes du récepteur ? Je pense, également par le courant alternatif.

Derniers mots sur le chauffage.

CUR. — Et vous ne vous trompez pas. A cet effet, sur le transformateur d'alimentation, on dispose un troisième secondaire de basse tension qui sert au chauffage des filaments des lampes. Pour que ces filaments soient à un potentiel constant et déterminé, cet enroulement est, parfois, relié au pôle négatif de la haute tension.

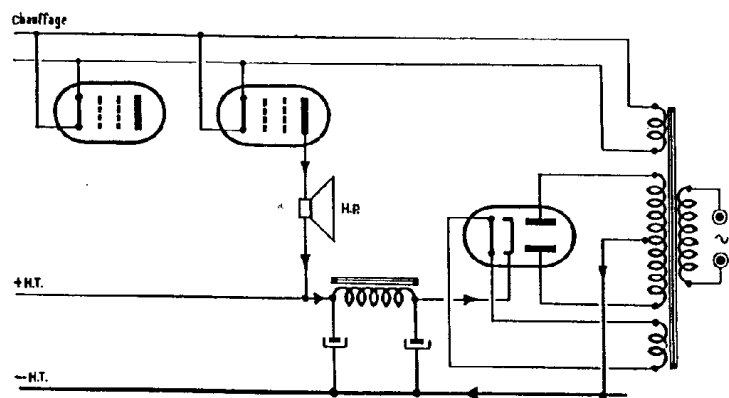


FIG. 80. — Alimentation complète d'un récepteur sur courant alternatif du secteur : chauffage, redressement HT par une valve biplaque à chauffage indirect et filtrage HT.

Là encore, pour que l'équilibre soit parfait, on établit la connexion au point médian de l'enroulement de chauffage. Et voilà, Ignotus, vous connaissez maintenant tout ce qu'il faut savoir sur l'alimentation des récepteurs (fig. 90).

Ignotus commet une faute inexcusable.

IG. — Ce n'est pas du tout mon avis. N'oubliez pas que j'ai un oncle qui est dessinateur humoriste, à qui j'ai promis de monter un récepteur et qui est desservi par un secteur à courant continu sous 110 volts.

CUR. — « Desservi », c'est bien le mot !... Car, dans le cas du courant continu, à moins d'utiliser un moteur électrique entraînant une machine génératrice de courant, il ne faut pas songer à élever la tension.

IG. — Et le transformateur ?...

CUR. — Ignotus ! Vous me faites rougir de votre ignorance ! Avez-vous donc oublié, malheureux, que le transformateur est basé sur le principe de l'induction et qu'il n'y a induction que lorsqu'il y a variation de courant ?...

IG. — C'est pourtant vrai. Je n'y ai pas songé. Par conséquent le transformateur ne sert à rien en courant continu. Mais comment faire alors ?

CUR. — Se contenter de la tension disponible, dont on dissipe en pertes le moins possible. Il existe, heureusement, des lampes spécialement étudiées pour ce cas qui, même avec une tension de plaque de 100 volts, possèdent encore un bon rendement. Bien entendu, nous n'avons pas besoin de « redresser » le courant continu. Il est néanmoins nécessaire de le filtrer.

IG. — Filtrer le courant continu ? ? ?... Mais puisqu'il est continu ! ! !...

CUR. — Ne vous énervez pas, ami. Le courant du secteur que nous appelons « continu » est, en réalité, sujet à une légère ondulation. Cela est dû au mode même de sa production par des machines dites « à courant continu », mais qui, en fait, font du courant alternatif redressé à l'aide d'un redresseur synchrone appelé « collecteur ».

IG. — C'est bougrement compliqué et je n'y comprends rien.

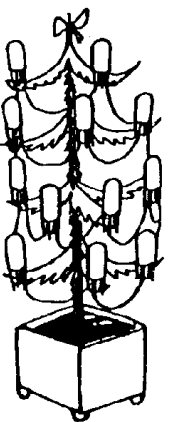
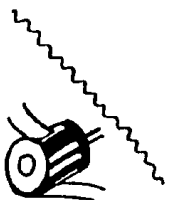
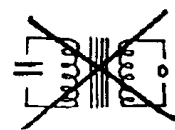
CUR. — Si vous aviez quelques notions rudimentaires sur les machines électriques, vous m'auriez compris. Mais ces notions ne sont nullement nécessaires pour notre étude de la Radio. Il suffit que vous sachiez que, en raison de sa légère ondulation, le courant continu du secteur doit être filtré par un filtre analogue à celui de la figure 89, avant d'être admis aux lampes du récepteur.

IG. — Et le chauffage ?

CUR. — Là encore, le continu se manie avec moins de souplesse que l'alternatif. Dans l'impossibilité d'abaisser sa tension à l'aide d'un transformateur, on peut produire une chute de tension dans une résistance judicieusement calculée, de manière à n'appliquer aux filaments que juste la tension nécessaire. D'ailleurs, pour le chauffage par courant continu, on réalise des lampes dont le filament est chauffé sous une tension de plusieurs dizaines de volts. Enfin, on peut connecter ces filaments en série. Ainsi cinq filaments, nécessitant chacun 20 volts, reliés en série, nécessitent 100 volts. On peut, sans danger, leur appliquer les 110 volts du secteur de votre oncle.

IG. — C'est donc le même principe qui sert à composer des guirlandes lumineuses pour les arbres de Noël à l'aide de plusieurs ampoules de faible tension connectées en série.

CUR. — Bien entendu. Et maintenant, Ignotus, que vous connaissez tous les mystères angoissants de l'alimentation sur alternatif et continu, ai-je le droit d'aller me reposer ?...



Commentaires à la 15^{me} Causerie

PROBLÈME DE L'ALIMENTATION.

L'alimentation d'un récepteur nécessite deux sources de courant : la source H.T. fournissant le courant anodique et la source de basse tension fournissant le courant de chauffage. La première doit avoir une tension continue de l'ordre de 100 à 250 volts. Quant au chauffage, excepté des lampes spécialement prévues pour l'emploi de batteries, il peut être indifféremment assuré par le courant continu ou alternatif.

En ce qui concerne la tension de polarisation, nous avons déjà vu comment elle est obtenue à partir de la haute tension par la chute de tension dans une résistance intercalée dans le circuit de la cathode.

Laissons de côté le cas du *poste-batteries* où piles ou accumulateurs procurent toutes les tensions nécessaires et où l'on utilise des lampes à chauffage direct consommant un courant très faible sous une tension de l'ordre de 2 volts ou de 1,5 volt. Ce type de récepteur tend à disparaître étant remplacé par le poste à transistors.

CAS DU SECTEUR ALTERNATIF.

Le cas le plus fréquent est celui du récepteur alimenté par un secteur à courant alternatif. Un cordon muni d'une fiche sert à amener le courant d'une prise au primaire d'un transformateur d'alimentation, après passage à travers l'interrupteur de mise en marche du récepteur. Une sage précaution consiste à placer dans ce circuit un fusible qui, en cas de court-circuit accidentel, arrête par sa fusion l'admission du courant.

Le primaire d'un transformateur d'alimentation peut comporter plusieurs prises prévues pour différentes tensions du secteur. En France, on trouve des secteurs de 110, 117, 130, 150, 220 et 240 volts (et même certaines autres valeurs). Si la tension d'un secteur dit « de 110 volts » n'est pas bien stable, pour prévenir les effets néfastes d'une surtension, il est prudent de brancher le transformateur sur la prise du primaire prévue pour 130 volts.

Généralement, le transformateur d'alimentation comprend trois secondaires : chauffage des lampes, chauffage de la valve et H.T. Tous les trois comportent des prises médianes, du moins dans les montages courants.

Les valves utilisées sont en majorité à deux plaques ; si l'on veut ne redresser qu'une seule

alternance, on a toujours la ressource de réunir les deux plaques en réalisant ainsi une anode commune. Les valves étaient jadis chauffées sous 4 volts (lampes européennes) ou 2,5 volts (lampes américaines). Actuellement, la tension de chauffage de la plupart des valves est de 6,3 volts. Et, de plus en plus, on se sert de valves à chauffage indirect, ce qui permet de brancher la connexion de + H.T. directement à la cathode (au lieu du milieu du secondaire « chauffage valve »).

En ce qui concerne le secondaire H.T. qui développe le courant anodique, ses extrémités sont connectées aux plaques de la valve et c'est son point médian qui constitue le pôle négatif de H.T. On ne doit pas perdre de vue le fait qu'à chaque alternance la tension appliquée à la valve est celle d'une moitié de l'enroulement de H.T. Ainsi, si la tension totale du secondaire H.T. est de 600 volts, c'est une tension de 300 volts seulement qui subit l'action de redressement à chaque instant donné ; il ne faut donc pas s'attendre à trouver une tension redressée de 600 volts.

Les fabricants des transformateurs d'alimentation ont la bonne habitude d'indiquer non seulement les tensions données par les enroulements secondaires, mais aussi les intensités des courants. Il ne faut pas se méprendre sur le sens de ces dernières indications : il ne s'agit pas d'intensités que les enroulements débiteront *dans tous les cas*, mais simplement d'intensités qu'il ne faut pas dépasser sous peine de provoquer un échauffement anormal. Plus le fil est gros et, par conséquent, moins résistant, plus l'enroulement qu'il compose peut fournir de milliampères sans échauffement notable. Quant à savoir quel sera le débit de chaque secondaire, il suffit de calculer la résistance totale du circuit sur lequel il débite et d'appliquer la loi d'Ohm.

FILTRAGE.

Le courant obtenu après redressement est *unidirectionnel* sans être pour autant un courant continu. Pour être utilisable, il doit être filtré. Or, on peut considérer un tel courant comme résultant de la coexistence de deux courants : un continu et un variable. Dès lors, le problème du filtrage se réduit à ceci : laisser passer la composante continue tout en éliminant la composante variable.

Nous avons déjà eu l'occasion de résoudre un problème analogue dans l'étude du découplage. La solution consiste à offrir à la composante variable le chemin commode d'un

condensateur tout en lui interdisant une autre direction par une impédance qui laisse passer la composante continue. En l'occurrence, on prend comme impédance une inductance de résistance ohmique relativement faible, que l'on place sur le parcours du courant (dans les récepteurs les plus simples on utilise une résistance ohmique). Le condensateur servant à dévier la composante variable est branché en dérivation sur le système redresseur. Enfin, un deuxième condensateur, placé à la sortie de la CELLULE DE FILTRE, complète ainsi sa composition et permet d'éliminer le résidu de la composante alternative qui a pu traverser l'inductance.

Si l'on a besoin d'un filtrage particulièrement soigné, *deux cellules de filtrage* peuvent être mises en série ; dans ce cas, les deux condensateurs du milieu peuvent être remplacés par un seul, commun aux deux cellules et dont la capacité doit être double de celle de chacun des condensateurs extérieurs.

Comme la fréquence des variations est très basse (dans le cas d'un secteur à 50 p/s, nous aurons une fréquence de 100 p/s, puisque chaque période, dans le redressement des deux alternances, donne lieu à deux variations), les self-inductions et les capacités des filtres doivent avoir des valeurs relativement importantes. Les self-inductions mesureront plusieurs dizaines de henrys et seront composées d'enroulements à noyaux de fer. Quant aux condensateurs, leur capacité étant de plusieurs microfarads, l'emploi d'un diélectrique solide tel que le papier paraffiné conduirait à des encombrements prohibitifs. On se sert d'un modèle spécial appelé CONDENSATEUR ÉLECTROLYTIQUE.

CONDENSATEURS ÉLECTROLYTIQUES.

Les condensateurs de ce genre contiennent un liquide ou une pâte que l'on appelle ÉLECTROLYTE. Dans cet électrolyte est plongée une armature en aluminium d'une surface relativement importante. On multiplie l'étendue de la surface en lui faisant subir un traitement approprié de gravure chimique.

Lorsqu'une tension est appliquée entre l'électrolyte et l'aluminium (ce dernier étant porté au potentiel positif), le courant qui s'établit provoque aussitôt la décomposition de l'électrolyte ; comme résultat de cette décomposition, une couche d'alumine entoure l'aluminium et, en l'isolant ainsi, interrompt le courant. L'épaisseur de cette couche étant infime (de l'ordre du millième de millimètre !), on conçoit combien est importante la capacité du condensateur dont l'aluminium et l'électrolyte représentent les deux armatures.

Remarquons que le condensateur électrolytique, contrairement à ceux que nous avons examinés jusqu'à présent, est *polarisé* : il est obligatoire d'appliquer le positif de la tension à l'armature en aluminium. En inversant les polarités, on risque de le détériorer. Il ne faut donc pas appliquer à un tel condensateur une tension alternative (à moins de lui superposer une tension continue supérieure et appliquée dans le « bon sens »).

Chaque modèle de condensateur est prévu pour une certaine tension de service indiquée par le fabricant et qu'il ne faut pas dépasser. La capacité même de ce condensateur dépend de la tension appliquée entre ses armatures ; elle diminue lorsque la tension augmente.

Si le condensateur électrolytique « claque » sous l'effet d'une surtension instantanée (c'est-à-dire si une étincelle éclate entre ses armatures), le mal n'est pas bien grave, puisque la couche d'alumine se reforme aussitôt. On ne peut pas en dire autant du condensateur au papier ; le papier se carbonise sous l'effet d'une étincelle, perd ainsi ses belles qualités d'isolant et établit entre les armatures un court-circuit plus ou moins franc.

Les condensateurs électrolytiques sont en général présentés dans des boîtiers métalliques qui établissent le contact avec l'électrolyte et servent ainsi à brancher le négatif. Les valeurs courantes de capacité sont comprises entre 8 et 32 μ F.

On les utilise non seulement pour le filtrage, mais partout où un découplage est pratiqué dans la partie B.F. et notamment pour le découplage des résistances de polarisation.

CHAUFFAGE DES FILAMENTS.

En ce qui concerne le chauffage, si la tension jadis universellement employée en Europe était de 4 volts (et en Amérique de 2,5 volts), aujourd'hui les deux continents se sont mis d'accord en adoptant 6,3 volts comme valeur standard pour chauffage par courant alternatif. Cela n'exclut pas l'existence de nombreux modèles chauffés sous des tensions variées allant même jusqu'à 110 volts (ce qui évite la nécessité d'un transformateur abaisseur de tension).

Dans les postes fonctionnant sur secteur alternatif, les filaments sont branchés en dérivation sur l'enroulement de chauffage du transformateur d'alimentation.

Le cas est différent lorsqu'il s'agit de récepteurs alimentés par le secteur à courant continu. Puisqu'on ne peut plus avoir ici recours à un transformateur qui, avec très peu de pertes, abaisse à la valeur exigée la tension du secteur, on connecte les filaments des tubes en série (il faut, bien entendu, que toutes les lampes

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.

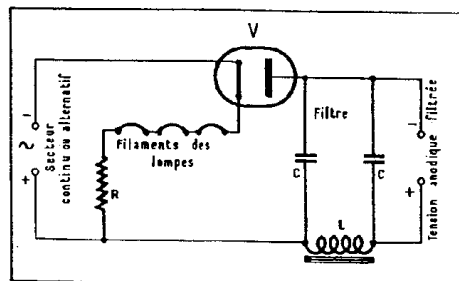


FIG. XIV. — Partie alimentation d'un récepteur « tous-courants ».

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 μ F.

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 monopolaire (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.

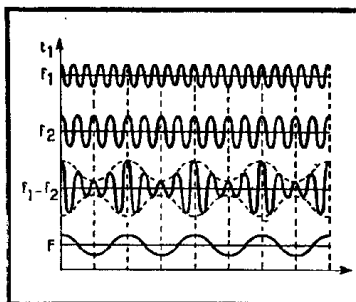
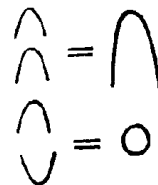
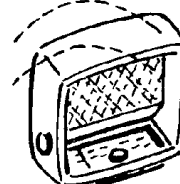
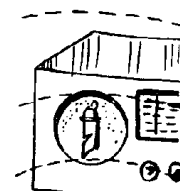
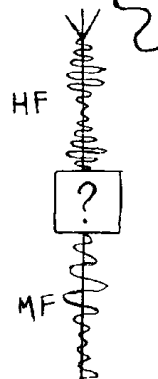
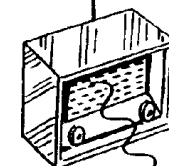
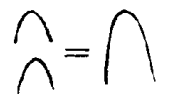


FIG. 91. — Deux oscillations f_1 et f_2 , en se superposant, donnent lieu à une oscillation composée $f_1 - f_2$, qui, après détection, donne lieu au courant F.

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'accroît, 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'amplifions dans les étages d'amplification à moyenne fréquence, puis nous le détectons, 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

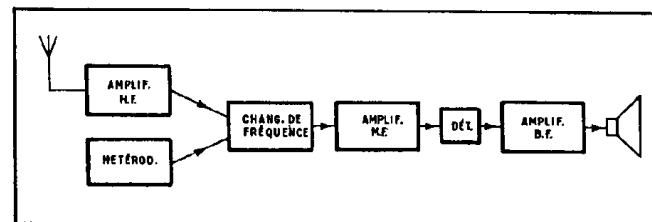


FIG. 92. — Composition schématisée d'un superhétérodyne.

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 :

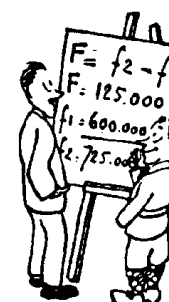
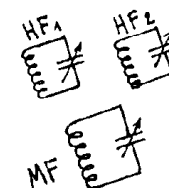
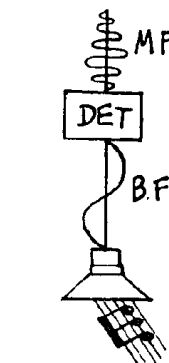
$$725\,000 - 600\,000 = 125\,000 \text{ p/s.}$$

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,



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 Ignoutus, de réinventer l'*heptode* (tube à 7 électrodes). Et si vous y ajoutez encore une grille suppressive, vous atteindrez les huit électrodes de l'*octode* (fig. 96).

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 suppressive 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, Ignoutus. 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...

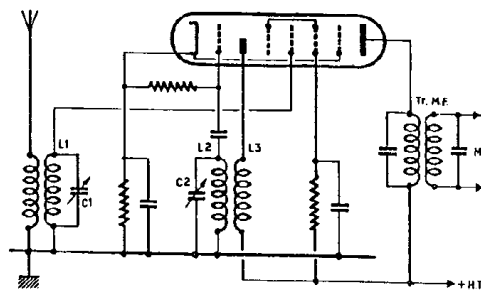
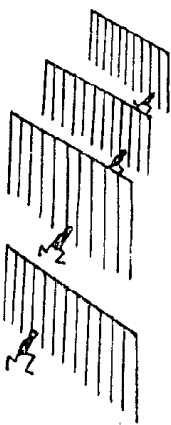
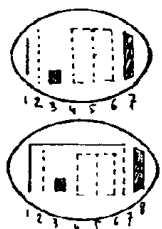
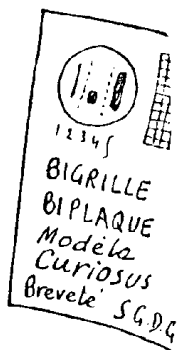


FIG. 96. — Montage de l'octode changeuse de fréquence. (La lampe heptode ne possède pas la dernière grille.)

Commentaires à la 16^{me} 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 À 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

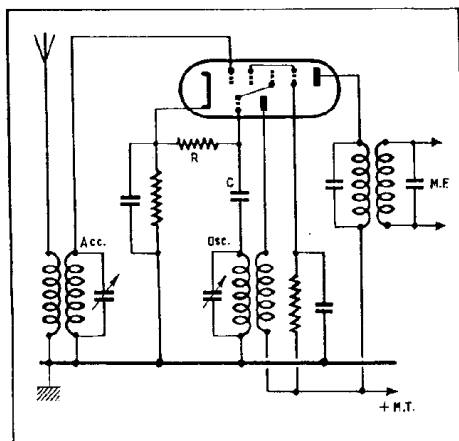


FIG. XV. — Changement de fréquence par triode-hexode.

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 suppressive, 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 3^e 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 constitutifs 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 ardues 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.

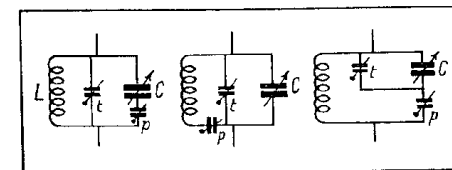


FIG. XVI. — Trois modes de connexion des trimmers t et des paddings p dans le circuit d'accord de l'oscillateur en vue d'assurer le réglage unique.

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 atteignent 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 !

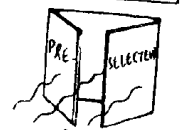
CUR. — Tout à fait de votre avis. Aussi, s'arrange-t-on de manière à ne laisser parvenir jusqu'à la lampe changeuse de fréquence que celle des deux fréquences que l'on désire. Vous avez sans doute remarqué que l'intervalle entre les deux fréquences-images est égal au double de la valeur de la moyenne 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



$$\begin{aligned} 1\,000\,000 - 900\,000 \\ = 100\,000 \\ 900\,000 - 800\,000 \\ = 100\,000 \end{aligned}$$



ENTRÉE INTERDITE
Aux
FRÉQUENCES IMAGES

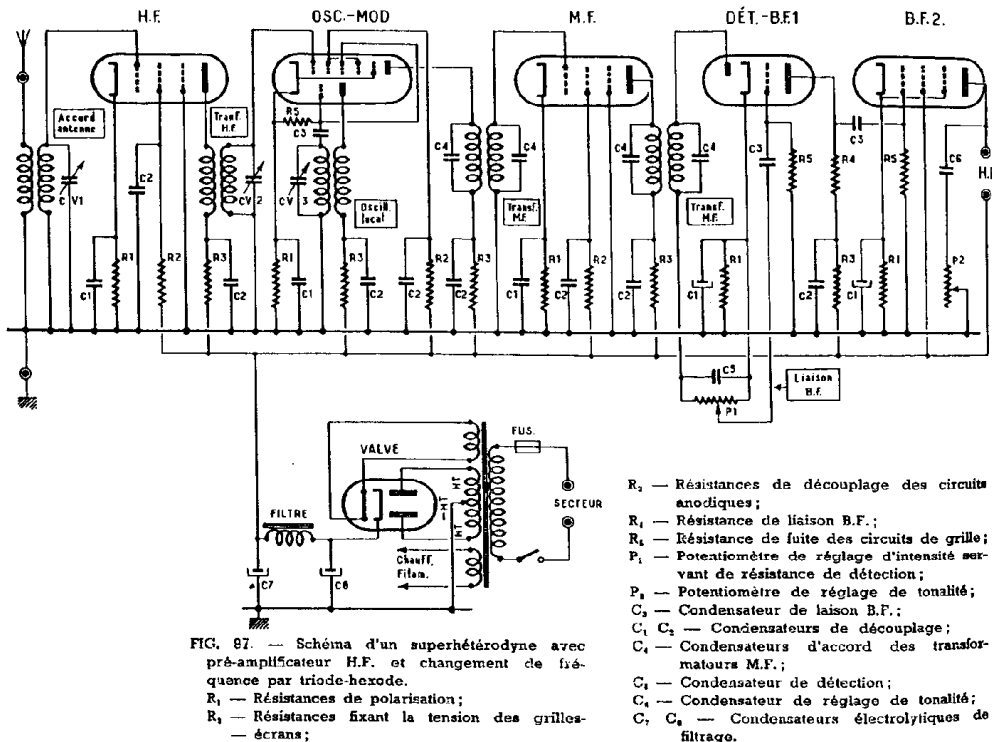


de fréquence d'une *préamplification* à haute fréquence, ce qui accroît la sensibilité tout en éliminant mieux les fréquences-images.

IG. — Je préfère cette dernière méthode. Il me semble qu'il est bon, avant de lui faire subir l'épreuve du changement de fréquence, de renforcer un peu le courant de haute fréquence qui arrive à l'antenne affaibli par un long voyage... Ne pensez-vous pas que, maintenant que nous connaissons le superhétérodyne, il est temps de songer sérieusement au récepteur de votre marraine qui l'attend depuis si longtemps. Pourriez-vous en dessiner le schéma ?

Le poste de marraine.

CUR. — Le voici tout prêt (fig. 97). Vous voyez que, *grosso modo*, il se compose d'un étage de préamplification à haute fréquence, d'une octode changeuse de fréquence, d'une pentode amplificatrice à moyenne fréquence, d'une diode-triode



combinée qui assure la détection et la préamplification de la basse fréquence et, enfin, d'une pentode chargée de la puissante amplification finale. Vous connaissez déjà séparément tous les éléments de ce schéma, y compris l'alimentation sur le courant alternatif du secteur.

Le haut-parleur à travers les âges.

IG. — Il y a pour moi, cependant, encore un élément de l'ensemble qui ne m'est guère familier : le haut-parleur.

CUR. — En effet, nous avons omis d'en parler jusqu'à présent.

IG. — Je suppose, d'ailleurs, qu'il est fait de la même façon que l'écouteur téléphonique, mais avec des aimants plus puissants et une membrane plus grande.

CUR. — C'est ainsi qu'étaient constitués les premiers haut-parleurs. En outre, pour assurer une meilleure diffusion du son, on les munissait d'un long pavillon en forme de col de cygne, emprunté à la technique des anciens phonographes. Ça faisait un bruit de ferraille, mais les premiers auditeurs se déclaraient positivement ravis...



FIG. 98 (à gauche). — Coupe d'un haut-parleur électromagnétique à pavillon.



FIG. 99 (à droite). — Haut-parleur électro-magnétique à palette vibrante et à diffusion du son par membrane conique.

Dans ces haut-parleurs, la petite membrane en fer remplissait deux fonctions à la fois : d'une part, elle transformait le courant variable de basse fréquence en oscillations mécaniques ; d'autre part, en communiquant celles-ci aux couches d'air environnantes, elle créait des ondes sonores.

IG. — C'est beaucoup trop pour un pauvre petit bout de fer.

CUR. — C'est ce que les techniciens ont dû constater. On procéda alors à une séparation des fonctions. La membrane à tout faire a été remplacée d'une part par une palette de fer élastique qui vibrait sous l'influence du champ variable de l'électro-aimant ; d'autre part, une large membrane conique en papier ou en matière pareillement légère, recevait, par l'intermédiaire d'une tige qui les réunissait, les vibrations de la palette et les transmettait à une assez grande masse d'air.

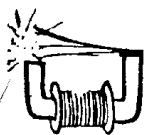
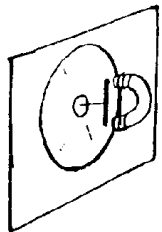
IG. — Cela me paraît tout à fait bien. Pourquoi donc parlez-vous de ce haut-parleur au passé ?

CUR. — Car on ne s'en sert plus en raison d'un grave défaut dont il était affecté. Il s'agit de la trop faible amplitude de l'oscillation de la palette vibrante. Dès qu'elle vibrait trop fort, elle cognait l'aimant !

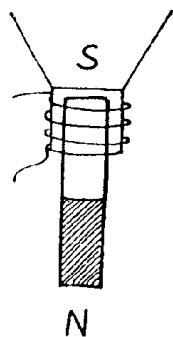
IG. — Ne pouvait-on pas la placer plus loin de celui-ci ?

CUR. — En augmentant la distance, on réduisait l'influence du champ magnétique et, par là, affaiblissait l'amplitude des vibrations. Votre suggestion nous fait tomber de Charybde en Scylla.

IG. — A-t-on fini par inventer un autre système exempt de ce défaut ?



Un haut-parleur moderne.



CUR. — Précisément, le haut-parleur électrodynamique est venu remplacer avantageusement les haut-parleurs électromagnétiques, basés sur le vieux principe du téléphone. Dans l'électrodynamique, il y a un électro-aimant, constitué par une bobine B sans noyau, qui est plongée dans un champ magnétique constant et très puissant, créé par un aimant A (fig. 100). La bobine B est parcourue par le courant de basse fréquence. Elle devient donc, à son tour, un petit aimant dont les pôles changent alternativement de sens. Aussi, tantôt est-elle attirée par l'aimant A qui tend à l'absorber, tantôt en est-elle repoussée. Cette bobine est fixée au centre d'une membrane conique M, à qui elle communique ses vibrations. Vous voyez qu'ici rien ne vient limiter l'amplitude des oscillations, sinon l'élasticité de la membrane.

IG. — C'est vraiment ingénieux. Mais, sur votre dessin, je vois que la bobine mobile B a très peu de place pour se loger.

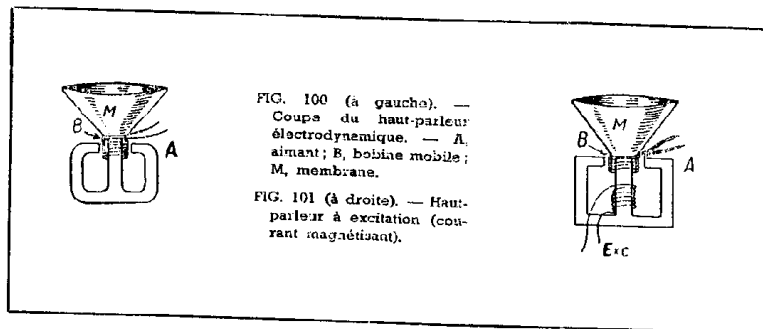


FIG. 100 (à gauche). — Coupe du haut-parleur électrodynamique. — A, aimant; B, bobine mobile; M, membrane.

FIG. 101 (à droite). — Haut-parleur à excitation (courant magnétisant).

CUR. — En effet, pour concentrer le champ magnétique constant, on laisse très peu de place entre les pôles de l'aimant. Ainsi, — et aussi pour être très légère, — la bobine mobile ne comprend-elle que peu de spires enroulées en une seule ou, tout au plus, en deux couches. Le fil est très fin d'ailleurs. Toutefois, il ne risque pas d'être « grillé » par le courant de plaque de la lampe de sortie : ce dernier ne le parcourt pas directement, seule la composante variable agit par l'intermédiaire d'un transformateur abaisseur de tension dont la présence est, en outre, imposée pour d'autres raisons.

IG. — Quant à l'aimant permanent, il doit, je pense, être assez fort.

CUR. — Vous ne vous trompez pas. D'ailleurs, étant donné le prix élevé des bons aciers magnétiques, on employait naguère des électro-aimants, en plaçant un enroulement d'aimantation (ou, comme on dit, d'excitation) à l'intérieur même du « pot » formé par l'aimant.

IG. — Et d'où prenait-on le courant d'aimantation ?

CUR. — Pour les gros haut-parleurs, on se servait, à cet effet, d'un redresseur séparé avec filtre. Mais, pour les haut-parleurs normaux des récepteurs radio, on utilisait, comme courant d'excitation, le courant total des plaques, en faisant jouer, à l'enroulement d'excitation, le rôle de la self-induction du filtre (fig. 101)

IG. — C'est bougrement pratique ! On a ainsi gratuitement le courant d'excitation !

CUR. — Pas tout à fait. Car, dans l'enroulement d'excitation, il se produit une assez grosse chute de tension dont il faut tenir compte en prévoyant une tension redressée plus grande.

IG. — Il me semble que, maintenant que je connais le haut-parleur qui est le chaînon final de la longue chaîne de la transmission radio-électrique, je n'ai plus rien à apprendre en Radio.

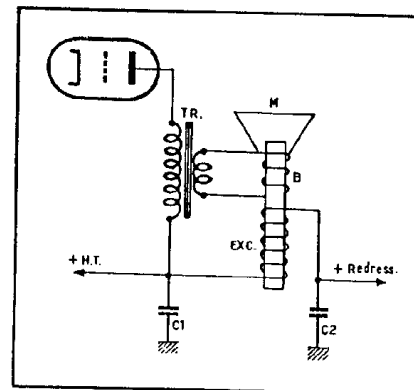
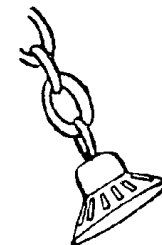
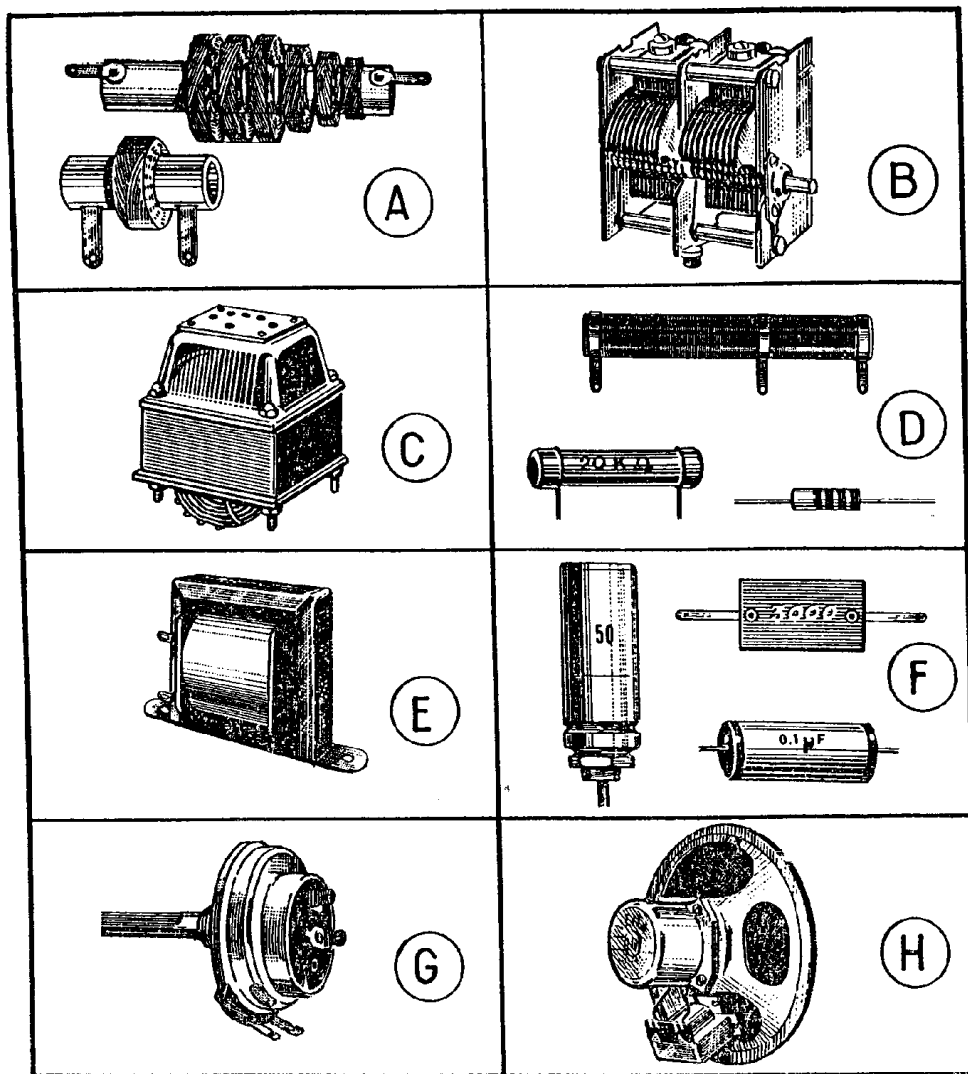


FIG. 102. — Le bobinage d'excitation servant d'impédance de filie.

CUR. — En effet, nous aurions pu arrêter là nos causeries, car vous connaissez dans leurs grands traits tous les principes fondamentaux de la Radio. Mais un récepteur moderne est équipé d'un certain nombre de dispositifs ayant pour but d'en faciliter le réglage ou d'en améliorer la reproduction musicale. Nous étudierons donc les plus utiles de ces dispositifs de manière à parfaire ainsi votre éducation technique.



Quelques accessoires utilisés dans les montages radio-électriques



A, bobinages de haute fréquence. — B, condensateur variable (double). — C, transformateur d'alimentation. — D, résistances fixes. — E, transformateur de basse fréquence. — F, condensateurs fixes. — G, potentiomètre. — H, haut-parleur électrodynamique.

Commentaires à la 17^{me} Causerie

FRÉQUENCES-IMAGES.

Si, dans un superhétérodyne, la moyenne fréquence est accordée sur une fréquence F , et l'hétérodyne sur une fréquence f , deux fréquences des ondes parvenant à l'antenne sont susceptibles d'être reçues : d'une part celles de fréquence $f + F$, d'autre part celles de fréquence $f - F$.

En effet, la différence de chacune de ces fréquences avec la fréquence de l'hétérodyne donne la fréquence F sur laquelle est accordé l'amplificateur à fréquence intermédiaire :

$$(f + F) - f = F \\ f - (f - F) = F.$$

Ainsi, dans un superhétérodyne à M.F. accordée sur 50 kHz, lorsque l'hétérodyne est accordée sur 750 kHz, nous pouvons recevoir aussi bien les émissions faites sur 800 kHz (puisque $800 - 750 = 50$) que celles faites sur 700 kHz (puisque $750 - 700 = 50$).

Or, si la sélectivité du circuit d'entrée n'est pas suffisante pour éliminer l'une des deux fréquences recevables, nous entendons les deux émetteurs simultanément.

Pour éliminer la « fréquence-image » gênante, il faut filtrer le courant d'antenne par des circuits très sélectifs. On peut prévoir à cet effet une PRÉ-AMPLIFICATION H.F. de manière que, avant d'atteindre la lampe changeuse de fréquence, le courant d'antenne soit amplifié et filtré non seulement par le circuit d'accord d'antenne, mais aussi par un circuit de liaison sélectif placé entre l'amplificatrice H.F. et la changeuse fréquence.

On peut également constituer le circuit d'accord d'antenne de façon à lui assurer une sélectivité très poussée. Nous verrons comment c'est réalisable en examinant plus loin les filtres de bande.

M.F. DE VALEUR ÉLEVÉE.

Cependant, le problème de l'élimination des fréquences-images se trouve résolu d'une façon radicale par l'emploi d'amplificateurs M.F. accordés sur des fréquences relativement élevées, telle la fréquence standard actuelle de 455 kHz. Il faut noter que l'écart entre les deux fréquences-images est égal au double de la fréquence de M.F. :

$$(f + F) - (f - F) = 2 F.$$

Dans l'exemple numérique donné plus haut, pour un récepteur avec M.F. 50 kHz, les deux fréquences-images étaient de 800 et 700 kHz. Leur écart, 100 kHz, est bien le double de la M.F.

En adoptant pour la M.F. une valeur élevée, nous écartons les deux fréquences-images à tel point que, pour peu que le circuit d'entrée du récepteur soit sélectif, l'élimination est totale. Ainsi, lorsque la M.F. est de 455 kHz, l'écart des fréquences-images est de 910 kHz. L'émission indésirable se trouve rejetée tellement loin de l'émission à recevoir qu'on peut être assuré qu'elle ne passera pas. Bien mieux, dans les gammes des petites et des grandes ondes, cet écart de 910 kHz suffit pour rejeter la fréquence-image en dehors de chaque gamme dans un domaine de fréquences où, par conséquent, les chances sont peu élevées de trouver un émetteur puissant.

HAUT-PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE.

En passant maintenant à l'étude des HAUT-PARLEURS, notons que les haut-parleurs électromagnétiques ne sont, aujourd'hui, employés qu'exceptionnellement, soit dans certains récepteurs portatifs alimentés par batteries, soit dans des récepteurs de prix très bas. Le haut-parleur le plus utilisé est l'électrodynamique, rarement à excitation par courant, le plus souvent à aimant permanent en acier à haute teneur en cobalt et en aluminium.

La sensibilité du haut-parleur électrodynamique dépend essentiellement de l'intensité du champ magnétique dans lequel est plongée la bobine mobile. On l'augmente en réduisant au minimum l'entrefer (distance entre les pôles de l'aimant). Aussi la bobine mobile, qui se déplace dans un espace très limité, doit-elle être bien maintenue dans la bonne voie pour ne pas venir au contact de l'aimant, ce qui donnerait lieu à des frottements déformant le son. Le maintien de la bobine dans la position qu'elle doit occuper ou son « centrage » est assuré par une pièce ajourée en matière élastique, fixée d'une part à la membrane à sa jonction avec la bobine mobile, d'autre part à l'aimant, soit à l'intérieur soit à l'extérieur de la membrane. Grâce à l'élasticité de cette pièce appelée « speeder », le mouvement normal de la membrane n'est nullement entravé, mais tout déplacement latéral lui devient interdit.

La bobine mobile comprend seulement quelques dizaines de tours de fil fin bobinés en une ou deux couches.

La membrane est généralement faite en pâte de carton imprégnée pour rester insensible à l'humidité. L'épaisseur diminue en allant du sommet vers la base du cône que forme la membrane. Les bords sont ondulés de manière à assurer une grande liberté de mouvement. Les extrémités sont fixées à une armature métallique qui prend appui sur l'aimant et porte le nom curieux de « saladier ». Souvent, le transformateur servant à établir la liaison entre la dernière lampe du récepteur et la bobine mobile est fixé à l'extérieur du « saladier ». Le primaire de ce transformateur comporte parfois une prise médiane servant à brancher le positif de haute tension dans le montage push-pull.

CONDITIONS DE BONNE REPRODUCTION.

Le haut-parleur doit être monté sur une planche massive, de dimensions relativement importantes percée d'un trou du diamètre de la membrane. Cette planche constitue un ÉCRAN ACOUSTIQUE (ou BAFFLE) et a pour objet d'empêcher que les ondes sonores projetées par la face « avant » (concave) de la membrane viennent immédiatement en contact avec celles projetées par la face « arrière » (convexe). Le résultat d'un tel « court-circuit acoustique » serait la disparition des notes graves et l'atténuation du registre moyen. En allongeant le chemin des

ondes « arrières », on sauvegarde la fidélité de la reproduction.

A défaut d'un véritable écran acoustique, l'ébénisterie d'un récepteur pourra assumer ces fonctions, à condition d'être massive et grande. Malheureusement, ces conditions sont rarement remplies, car on oublie trop le rôle essentiel de l'ébénisterie dans l'acoustique du récepteur. De là la mauvaise qualité musicale d'un grand nombre de récepteurs dont la partie électrique ne laisse cependant rien à désirer.

Un haut-parleur électrodynamique ne peut pas reproduire avec une fidélité parfaite toute la gamme des fréquences musicales. Ceux dont la membrane est de petit diamètre et, de ce fait, légère, reproduisent mieux les fréquences élevées (notes aiguës). Ce sont des haut-parleurs à grande membrane qui, par contre, font mieux l'affaire dans les notes graves. Aussi, dans certains récepteurs, utilise-t-on simultanément deux haut-parleurs, dont un pour les notes graves et moyennes, l'autre pour les notes aiguës. A l'aide d'un système de capacités et self-inductions, on sépare dans le courant les composantes, de manière à canaliser vers chaque haut-parleur les courants qu'il reproduit le mieux.

L'emploi de plusieurs haut-parleurs est particulièrement commode lorsqu'on les place dans une ENCEINTE ACOUSTIQUE distincte du récepteur proprement dit. On appelle ainsi un meuble spécialement conçu pour assurer la diffusion des ondes sonores engendrées par les haut-parleurs sans compromettre l'équilibre des divers registres des fréquences.

DIX-HUITIÈME CAUSERIE

Le problème du réglage et de la stabilité de la puissance sonore constitue l'un des chapitres les plus passionnants de la radio. Rendre la puissance sonore réglable, est aisé. Mais la maintenir à un niveau constant, l'est moins : le « fading » tend à varier constamment l'intensité de l'audition... Curieusement exposera le mécanisme de ce néfaste phénomène et montrera comment, dans les récepteurs actuels, le régulateur antifading en neutralise les effets.

Réflexions sur la réflexion des ondes.

IG. — La lecture des annonces des constructeurs Radio exerce sur moi les plus tristes effets. J'y découvre des termes absolument barbares, tel que, par exemple, *antifading*. Je suppose que c'est un emprunt fait à la langue anglaise, dans le genre de footing et de camping.

CUR. — Certes. Et, en bon français, cela se traduit par « régulation automatique de l'intensité sonore ». Cette régulation permet de maintenir constante la puissance de l'audition malgré les effets du fading.

IG. — Je vois que vous revenez aux mots anglais. Qu'est-ce donc que ce fameux fading auquel on oppose l'antifading ?

CUR. — *Fading* veut dire « évanouissement ». C'est un phénomène que l'on a constaté depuis longtemps en observant que certaines émissions lointaines sont, à la réception, reproduites avec une intensité qui varie sans raison apparente. Ces variations d'intensité, qui peuvent être lentes ou rapides et qui, par moments, rendent l'émission complètement inaudible, ont fortement intrigué les savants.

IG. — Je pense qu'elles ont surtout ennuyé les auditeurs, car les nuances que le fading vient imprimer à la musique ne correspondent probablement pas aux intentions du compositeur dont elles déforment ainsi les œuvres. Mais je pense que l'on a découvert les raisons du fading et, du même coup, le moyen de le combattre.

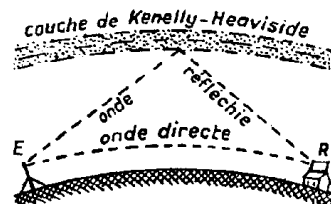


FIG. 103. — L'onde de l'émetteur E parvient à l'antenne de réception R par deux chemins différents : en suivant la surface du globe et après réflexion dans les hautes couches de l'atmosphère.

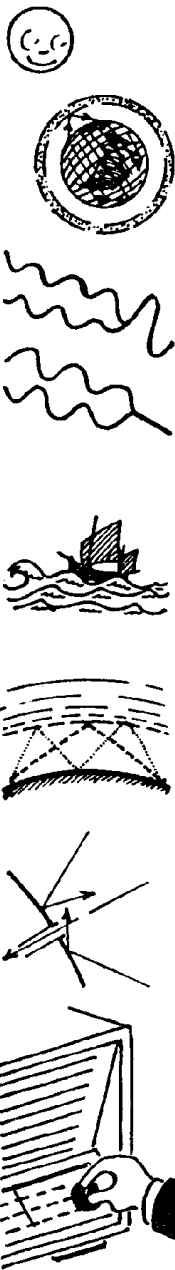
CUR. — Il en serait ainsi au cas où les raisons du fading résideraient dans l'émetteur ou le récepteur. Mais c'est entre les deux que le phénomène se produit ! Les ondes, émises avec une intensité constante, parviennent à l'antenne de réception avec des fluctuations notables.

IG. — Le fading serait donc une anomalie de la propagation des ondes hertziennes ?

CUR. — Parfaitement. D'après les théories actuelles, les ondes se propagent en suivant plusieurs chemins distincts. Il y a, d'une part, l'onde « terrestre » qui suit la surface du globe ; elle s'affaiblit relativement vite, dissipant son énergie dans tous les conducteurs qu'elle rencontre sur son trajet et dans lesquels elle fait naître des courants de haute fréquence. Mais il y a, d'autre part, des ondes qui, de l'antenne d'émission, partent en s'élevant sous un angle plus ou moins grand...

IG. — Celles-là sont pour nous perdues ; elles s'envolent sans doute dans les espaces interplanétaires ?





CUR. — Erreur ! A une certaine hauteur (120 km environ), elles se heurtent à une couche de gaz qui constitue, pour les ondes, un véritable miroir contre lequel elles se réfléchissent pour être rejetées vers le sol. Cette couche est appelée *ionosphère* ou, — d'après le nom de ceux qui, les premiers, émettent l'hypothèse de son existence, — « couche de Kennelly-Heaviside » (fig. 103).

IG. — Ainsi, d'après vous, une antenne de réception serait influencée par deux ondes à la fois, provenant toutes les deux du même émetteur : une onde terrestre et une onde réfléchie par l'ionosphère ?

CUR. — Parfaitement. Remarquez que les longueurs des trajets accomplis par ces deux ondes sont assez inégales : alors que l'une, en suivant la surface du globe, a pris le chemin le plus direct, l'autre est allée se promener dans les couches supérieures de l'atmosphère avant de parvenir à destination. Au moment où les deux ondes se rencontrent dans l'antenne de réception, elles peuvent se trouver en cadence (ou « en phase ») et, dans ce cas, elles se renforceront mutuellement. Mais elles peuvent aussi y arriver à contretemps (ou « en opposition de phase ») ; alors leurs impulsions, opposées l'une à l'autre, s'affaibliront ou même s'annuleront mutuellement.

IG. — Cela n'explique pourtant pas le fading qui fait constamment varier l'intensité de la réception. Venant du même émetteur à la même antenne de réception, les deux ondes devraient donner lieu à une réception plus ou moins forte ou faible, mais dont l'intensité n'a aucune raison de varier dans le temps.

CUR. — Il en serait ainsi si l'ionosphère était un miroir rigide et immobile. En fait, elle peut être assimilée à une mer avec ses vagues, ses tempêtes et ses marées. La surface de l'ionosphère est constamment mouvante, et sa hauteur même subit d'importantes variations diurnes et saisonnières. Aussi, la longueur du trajet de l'onde réfléchie est-elle variable. Tantôt elle vient renforcer l'onde terrestre, tantôt, par contre, elle l'affaiblit. Et c'est cela qui provoque les fluctuations constantes dans l'intensité de l'audition.

IG. — Mais vous m'avez dit que l'onde terrestre s'affaiblit relativement vite au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de l'émetteur. Je pense donc qu'à partir d'une certaine distance de celui-ci, on ne se trouve plus en présence que de la seule onde réfléchie. Il n'y aura donc plus de fading ?

CUR. — Hélas, il peut y avoir plusieurs ondes réfléchies, ayant suivi des trajectoires différentes, et ayant subi plusieurs réflexions de l'ionosphère et du sol qui, lui aussi, agit sur les ondes à la manière d'un miroir.

IG. — En somme, il n'y aura pas moyen de supprimer le fading ?

La lutte contre le fading.

CUR. — Tant qu'on permet à plusieurs ondes de parvenir au récepteur, le fading persiste. On ne peut l'atténuer qu'à l'aide d'antennes d'émission spéciales qui rayonnent les ondes sous un seul angle au-dessus de l'horizon ou, encore, à la réception, par des collecteurs d'ondes qui sélectionnent, parmi toutes les ondes qui leur parviennent, une seule venant sous un angle déterminé.

IG. — Si c'est cela l'antifading, ça doit être bigrement compliqué !

CUR. — Non, mon cher Ignotus. Tout en essayant de réduire l'acuité du fading par la conception particulière des antennes d'émission, on admet que l'antenne de réception reçoit des ondes fortement affectées par des fluctuations d'intensité. On s'efforce de maintenir constante l'intensité de l'audition en modifiant en conséquence l'amplification du récepteur.

IG. — On compense donc, si je comprends bien, les variations des ondes par la variation inverse de l'amplification. Quand les ondes arrivent plus faibles on augmente l'amplification et on la diminue quand les ondes deviennent plus fortes.

CUR. — C'est bien ainsi que l'on procède. Lorsque, par suite du fading, un signal (c'est-à-dire l'onde d'une émission) nous parvient très faible, nous augmentons la

sensibilité du récepteur en accroissant l'amplification des étages H.F. (et, si c'est un superhétérodyne, également des étages M.F.).

IG. — Cependant, je ne vois pas par quel moyen on peut modifier l'amplification d'une lampe.

Le mystérieux « point X ».

CUR. — Vous savez que plus la pente d'une lampe est grande, plus elle amplifie. Or, pour la même lampe, la pente varie suivant le point de la courbe caractéristique sur lequel la lampe fonctionne. Ce « point de fonctionnement » est déterminé par la polarisation de la grille et...

IG. — Je vous arrête, Curiosus. Je sais parfaitement bien que la caractéristique d'une lampe n'a pas la même pente dans ses divers points. La pente est maximum dans la partie rectiligne de la courbe ; si nous polarisons la grille davantage, nous entrons dans la zone du coude inférieur où la pente diminue rapidement. Mais c'est là, vous me l'avez assez répété, une zone interdite : l'amplification n'est correcte que dans la partie rectiligne.

CUR. — C'est parfaitement exact lorsqu'il s'agit de lampes normales et d'amplitudes de tension à amplifier relativement importantes, comme celles que nous rencontrons dans les étages de basse fréquence. Mais, dans la haute ou moyenne fréquence, les amplitudes sont encore très faibles. Et, là, il suffit que la caractéristique de la

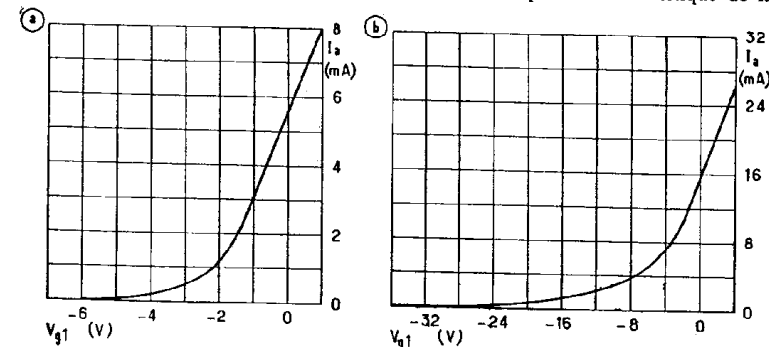


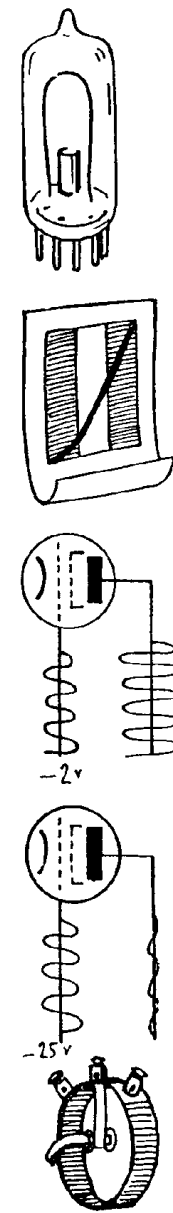
FIG. 104. — Courbes d'une lampe « à pente fixe » en a et « à pente variable » en b.

lampe soit, autour du point de fonctionnement, approximativement rectiligne. On fait donc des lampes spéciales dont la pente varie très progressivement, en sorte que leur caractéristique ne présente pas de coude prononcé. Ces lampes sont dites à *pente variable*. Cela ne signifie certes pas que la pente des autres soit constante, mais que dans ces lampes spéciales on a le droit d'utiliser des points de fonctionnement de pentes différentes.

IG. — Si j'avais connu l'existence des lampes à pente variable, je n'aurais formulé aucune objection. Telle que vous l'avez présentée, la caractéristique de la lampe à pente variable montre que, si l'on polarise suffisamment sa grille, non seulement elle n'amplifiera pas, mais même affaiblira grandement les oscillations soumises à la grille.

CUR. — C'est ce qu'il faut. C'est ainsi que nous réussirons à ramener à un niveau sonore normal l'intensité de signaux trop forts... Pratiquement, pour régler l'amplification des lampes à pente variable, on se sert d'un dispositif permettant, à l'aide d'un potentiomètre P (fig. 105), d'en varier la polarisation.

IG. — Mais c'est épouvantable ! Il faut alors que l'auditeur, sans lâcher un instant le bouton du potentiomètre, le tourne constamment pour compenser les





variations dues au fading ! Je ne goûterais aucun plaisir à écouter de la musique dans de telles conditions...

CUR. — Il existe, heureusement, la possibilité de rendre ce réglage automatique. Pour cela, il suffit de trouver dans le récepteur un point tel que, lorsque les signaux deviennent plus forts, il devienne plus négatif et inversement. En connaissez-vous un ?

IG. — Je n'en vois pas.

CUR. — Regardez ce schéma (fig. 106) de la détection par diode que vous connaissez depuis longtemps. Le point en question est l'extrémité X de la résistance R. Le courant H.F. redressé par la diode y crée, par rapport à la masse, une tension négative. Cette tension est d'autant plus grande que l'est l'intensité *moyenne* des signaux appliqués à la diode.

IG. — J'ai compris ! Vous appliquez cette tension du point X aux grilles des lampes H.F. ou M.F. à pente variable. Quand les signaux deviennent forts, le point X devient plus négatif, et sa tension, appliquée aux grilles des lampes H.F. ou M.F.,

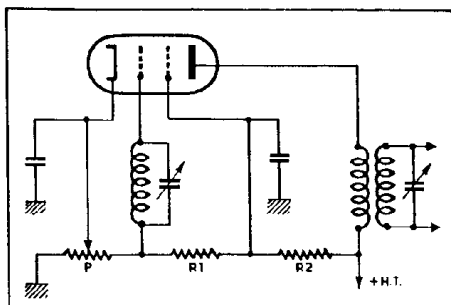
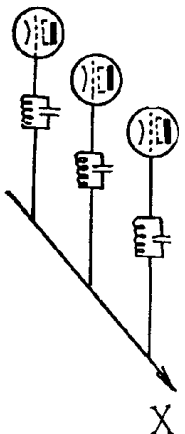


FIG. 105. — Réglage de l'amplification à l'aide du potentiomètre P faisant varier la polarisation de la lampe.

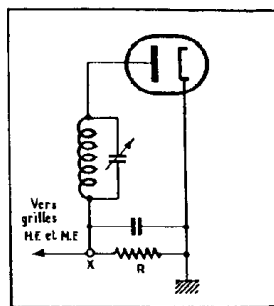


FIG. 106. — Suivant l'intensité moyenne des signaux, le point X deviendra plus ou moins négatif.

en réduit l'amplification. Par contre, lorsque, affectés par le fading, les signaux deviennent plus faibles, ils développent au point X une tension moins négative ; cette tension permet aux lampes H.F. et M.F. d'amplifier davantage. En fin de compte, ce dispositif compensera toutes les fluctuations de l'intensité des signaux et maintiendra constante l'intensité sonore, seule chose qui nous importe.

CUR. — Je vois que vous avez parfaitement saisi le fonctionnement du régulateur antifading. Vous remarquerez qu'il opère, en quelque sorte, le « nivellement par le bas » : seuls les signaux les plus faibles bénéficient de toute la réserve de sensibilité du récepteur ; au fur et à mesure que la force des signaux croît, l'antifading réduit dans le même rapport l'amplification.

La radio à l'usage des sourds.

IG. — Une objection, si vous me permettez. Supposez que, dans la musique, il y ait un éclat de grosse caisse, par exemple. Est-ce que, à ce moment, le régulateur ne produira pas une réduction instantanée de l'amplification ? Autrement dit, l'antifading, tel que vous me l'avez décrit, doit, à mon avis, « comprimer » en quelque sorte les nuances de la musique.

CUR. — Votre objection est valable, Ignoutus. Aussi, afin d'éviter l'action des variations *instantanées* du courant détecté par la diode et de ne faire agir sur les lampes H.F. et M.F. que la valeur *moyenne* des signaux, intercale-t-on, entre le point X et

les grilles des lampes, un système retardant le passage des tensions et les totalisant en quelque sorte pour en faire passer la moyenne. Ce système se compose d'une résistance R_1 de valeur élevée et d'un condensateur C. La résistance s'oppose au passage instantané des tensions ; le condensateur nivelle les tensions instantanées. L'action de l'ensemble R_1C offre une certaine analogie avec celle de la self-induction et du condensateur dans le filtre d'alimentation (fig. 107).

IG. — Comme je vois, dans tout récepteur à détection par diode, il suffit d'ajouter une résistance et un condensateur pour obtenir un régulateur antifading. C'est merveilleusement simple !

CUR. — Je vous ferai remarquer que, parfois, pour obtenir la tension de régulation pour antifading, on se sert d'une diode différente de celle qui assure la détection (fig. 108). Cette deuxième diode est comprise dans la même ampoule que la première et utilise la même cathode. Les tensions alternatives sont appliquées à la deuxième anode à travers un petit condensateur de liaison C' . Le courant détecté crée dans la résistance R' une tension qui, prise au point X, est, à travers le dispositif R_1C , appliquée aux grilles des lampes commandées par le régulateur.

IG. — J'aime mieux ce schéma dans lequel, grâce à votre double diode, il y a une séparation des fonctions de la détection et de la régulation.

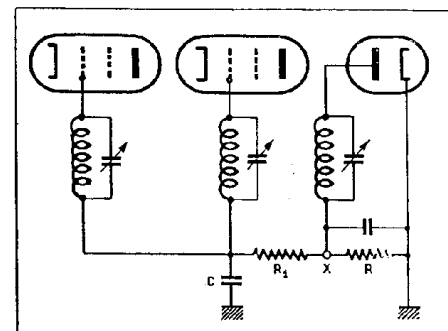


FIG. 107. — Deux lampes H.F. soumises à l'action de l'antifading commandé de X à travers R_1 .

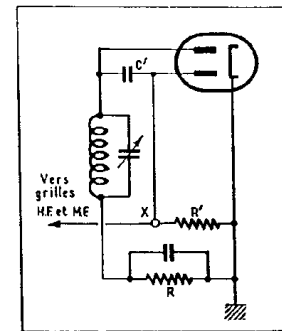


FIG. 108. — La double diode permet de séparer les fonctions de détection et de régulation antifading.

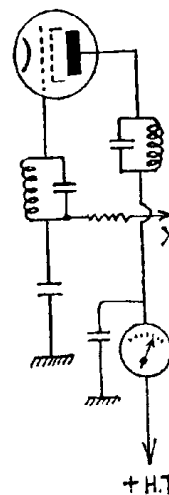
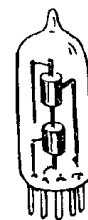
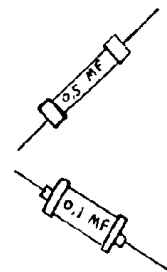
CUR. — Pourriez-vous, Ignoutus, répondre à une question qui est une « colle ». Savez-vous comment varie le courant moyen de plaque d'une lampe H.F. ou M.F. commandée par l'antifading, suivant l'intensité des signaux ?

IG. — Voyons. Quand les signaux sont plus forts, la grille de la lampe recevra du point X une tension plus négative. Donc le courant de plaque deviendra plus faible.

CUR. — C'est parfait. Remarquez, maintenant, que le même phénomène se produira lorsque, en réglant les condensateurs d'accord, vous passerez sur la position de l'accord exact. Car, à ce moment, la tension appliquée à la diode est la plus forte. Par conséquent, en intercalant un milliampèremètre dans le circuit anodique d'une lampe H.F. ou M.F. commandée par l'antifading, nous pourrions juger de l'accord exact par le minimum du courant de plaque.

IG. — En somme, avec un tel milliampèremètre, même un sourd pourrait accorder le récepteur avec précision ?

CUR. — Bien entendu, car ce milliampèremètre constitue un indicateur visuel d'accord. Mais à quoi servirait-il à un sourd ?...



Commentaires à la 18^{me} Causerie

COMMANDE AUTOMATIQUE DE VOLUME.

Le problème du réglage de l'intensité sonore (ou, comme on dit, du volume) d'un récepteur apparaît, à l'examen approfondi, plus complexe qu'il ne semble être de prime abord. Il s'agit, en effet, de pouvoir régler l'intensité moyenne d'une audition suivant le désir de l'auditeur et la maintenir ensuite parfaitement stable à ce niveau. Or, les fluctuations de la tension développée par les ondes hertziennes dans l'antenne du récepteur, s'opposent à une telle stabilité du volume sonore.

Le FADING (ou évanouissement) des ondes, dû à des réflexions simples ou multiples sur les couches supérieures de l'atmosphère, est une cause fréquente des fluctuations du signal. Cependant, l'intensité des signaux reçus peut également varier dans une installation mobile (par exemple, récepteur installé sur voiture automobile) du fait du déplacement du récepteur par rapport à des masses métalliques constituant écran ou réflecteur ; ainsi, le passage sous un pont métallique ou encore entre deux immeubles en ciment armé se traduira par un affaiblissement notable du signal.

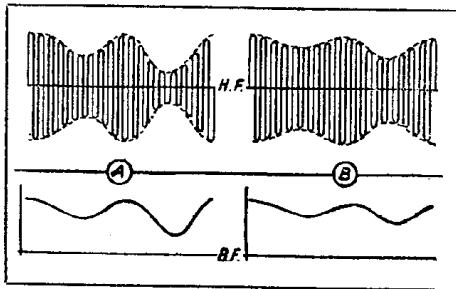


FIG. XVII. — L'émission en A est plus profondément modulée qu'en B. Dans la partie inférieure du dessin sont représentés les courants détectés.

Aussi le dispositif permettant de parer aux effets des fluctuations du signal reçu et que l'on appelle RÉGULATEUR ANTIFADING, mérite d'être désigné par le terme plus général de COMMANDE AUTOMATIQUE DE VOLUME (C.A.V.).

Un régulateur idéal devrait permettre l'obtention automatique de la même intensité sonore pour toutes les émissions reçues. Pratiquement, le régulateur antifading ne pourrait assurer une telle constance d'intensité sonore qu'à la condition que tous les émetteurs aient la même PROFONDEUR DE MODULATION. Qu'appelle-t-on ainsi ? Comme on le voit dans la figure XVII, un courant H.F. peut être modulé plus ou moins profondément par un courant de fréquence musicale. Les deux courants H.F. de notre figure ont la même amplitude maximum. Mais celui de A est modulé plus profondément que celui de B. Et, après détection, les deux courants modulés donneront lieu aux courants B.F. représentés dans la partie inférieure de notre figure, où l'on voit que le courant A, plus profondément modulé, donne naissance à un courant B.F. plus fort que B.

NÉCESSITÉ D'UNE COMMANDE MANUELLE.

Or, l'action de tous les régulateurs antifading se borne à *maintenir constante la tension H.F. appliquée à la détectrice*. En sorte que la présence d'un régulateur n'assure pas la même intensité sonore pour toutes les émissions. Il peut donc arriver, et la chose est courante, qu'une émission lointaine, mais profondément modulée, donne lieu à une audition plus puissante que celle d'un émetteur local faiblement modulé.

Le but essentiel d'un régulateur antifading est de maintenir constante l'intensité sonore d'une émission donnée pendant tout le temps de l'audition. Ainsi, la présence d'un régulateur antifading n'exclut, en aucune façon, la nécessité d'un réglage manuel d'intensité sonore permettant d'amener le volume du son à l'ampleur désirée, quelle que soit la profondeur de la modulation.

Comme ce réglage manuel d'intensité sonore ne doit affecter en rien les tensions à l'entrée de la détectrice qui, elles, ne sont commandées que par le régulateur automatique, le réglage manuel doit être placé dans la partie B.F. du récepteur. Il est habituellement réalisé à l'aide d'un potentiomètre permettant, dans un circuit de liaison, de n'appliquer à la grille de la lampe suivante qu'une partie plus ou moins grande de la tension disponible. Fréquemment, c'est

sur la résistance du circuit de détection même que l'on prélève ainsi une partie seulement de la tension détectée.

ANALOGIE HYDRAULIQUE.

Maintenant que nous avons délimité le cadre de l'action du régulateur automatique, nous pouvons en exposer le principe fondamental.

D'après celui-ci, le régulateur utilise une tension développée par le courant moyen détecté pour agir sur les électrodes des tubes qui précèdent le détecteur, de manière à en diminuer l'amplification lorsque l'intensité du signal augmente.

Une très simple analogie hydraulique nous aidera à déchiffrer le sens de cette formule. L'intensité des signaux à l'entrée du récepteur sera figurée par le niveau du liquide dans un récipient A (fig. XVIII). Le niveau du liquide

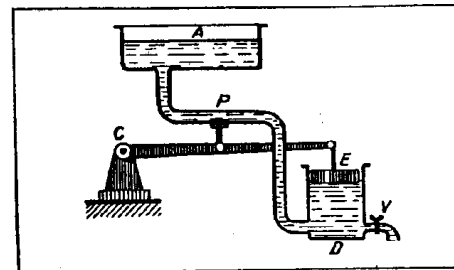


FIG. XVIII. — Dispositif hydraulique analogue au régulateur antifading.

dans le vase D représentera la tension appliquée à la détectrice. On remarquera qu'un tuyau établit la communication entre les deux récipients et qu'un robinet V permet au liquide de s'écouler du récipient D. Si notre installation se limitait aux dispositifs décrits, des variations de niveau dans A auraient pour effet des variations de niveau dans D (effet de fading). Mais un régulateur est prévu pour assurer la constance du niveau dans D. Il se compose d'un flotteur E solidaire d'un levier maintenu par la charnière C et supportant un bouchon P. Lorsque, par suite d'une augmentation du niveau dans A, le niveau dans D monte également, le flotteur E, en s'élevant, fait monter le bouchon P, de sorte que le débit du liquide diminue et le niveau dans D descend aussitôt. On comprend que, pratiquement, le niveau dans D est ainsi maintenu constant.

De même, dans un récepteur à régulateur antifading, une augmentation d'intensité du signal à l'entrée produit une augmentation du courant moyen détecté. Ce courant provoque dans une résistance une chute de tension qui, sous forme de polarisation, est appliquée aux électrodes d'une ou de plusieurs lampes précédentes, de manière à en atténuer le pouvoir amplificateur.

Mais ce qui nous intéresse en fin de compte, c'est le débit du liquide ou, côté radio, l'intensité sonore résultante. Or, en hydraulique, le débit de notre dispositif dépend non seulement des niveaux mais aussi de la nature du liquide et, principalement, de son poids spécifique. Si nous n'avons affaire qu'à un seul liquide, la quantité que le robinet V laisse passer par seconde demeure constante quel que soit le niveau en A. Mais si nous faisons passer tantôt du mercure, tantôt de l'huile, le débit ne sera plus le même pour ces deux liquides. C'est alors qu'intervient utilement le robinet V qui, en dernier ressort, déterminera le débit pour chaque liquide.

Pour en revenir à nos moutons de la radio, la nature du liquide, — le lecteur attentif l'aura deviné, — correspond à la profondeur de la modulation ; et le robinet V joue le rôle de réglage manuel d'intensité sonore placé dans la partie B.F. du récepteur.

Remarquons également que le régulateur hydraulique ne permet, en somme, que de diminuer le débit du liquide en empêchant ainsi une augmentation du niveau dans D. Si, pour une raison quelconque, le niveau dans A devenait trop faible, le niveau dans D baisserait également, sans que le régulateur puisse remédier à cette baisse. Il en est, encore une fois, de même en radio. Le régulateur antifading ne fait que réduire plus ou moins la sensibilité du récepteur.

Ainsi le régulateur antifading procède-t-il à un véritable « nivellement par le bas ». Il ne doit être appliqué qu'aux récepteurs possédant une suffisante réserve de sensibilité.

C'est donc, il faut bien insister là-dessus, la tension même développée par les signaux amplifiés sur la détectrice qui servira à la régulation antifading. Cette tension doit rester constante. Dès qu'elle aura tendance à varier, soit dans le sens de l'accroissement, soit dans le sens de la diminution, elle agira sur les tubes précédents, en variant leur amplification et en neutralisant ainsi les effets des fluctuations du signal dans l'antenne.

TUBES A PENTE VARIABLE.

C'est en modifiant leur pente que l'on varie l'amplification dans les lampes qui précèdent la détectrice. La pente, nous l'avons vu en