

OSCILLATRICE. L'HÉTÉRODYNE offre l'exemple d'un tel montage, et Curiosus a eu raison de s'appesantir sur l'analyse de son fonctionnement. Sans revenir en détail sur les différentes phases du processus de l'entretien des oscillations, rappelons simplement que l'hétérodyne comprend essentiellement un circuit oscillant monté entre grille et cathode et couplé par induction avec un bobinage inséré dans le circuit de plaque. Les charges et les décharges alternatives du condensateur du circuit oscillant produisent le courant de haute fréquence qui s'éteindrait au terme d'un certain nombre de périodes (comme dans la figure 21 A) si, aux moments appropriés, la bobine de plaque ne réinjectait, par induction, dans la bobine du circuit oscillant, l'énergie nécessaire pour compenser les pertes. Grâce à cet apport constamment renouvelé d'énergie, les oscillations, une fois établies, sont entretenues avec une amplitude constante et une fréquence qui est celle de résonance du circuit oscillant.

C'est donc, en fin de compte, l'énergie fournie par la source du courant anodique qui entretient les oscillations de l'hétérodyne.

Dans un émetteur, les oscillations relativement faibles de l'hétérodyne (que l'on appelle *étage-pilote*) sont amplifiées par un puissant amplificateur de haute fréquence avant d'être appliquées à l'antenne d'émission. Un des étages de cet amplificateur est affecté à la modulation soit, dans le cas de la télégraphie, par interruptions du courant à l'aide d'un manipulateur, soit, — et ceci est le cas de la téléphonie, — par le courant microphonique. Ce dernier est, le plus souvent, trop faible pour pouvoir moduler la haute fréquence. Aussi le renforce-t-on dans un amplificateur de modulation avant de l'appliquer à l'étage modulateur. Ainsi, le schéma très... schématisé d'un émetteur de radiophonie se présente-t-il sous l'aspect de la figure V. Quant à celui de la figure 37, il simplifie les choses d'une façon excessive. Mais Ignotus s'en trouve satisfait...

SYMBOLES DES UNITÉS

les plus employées

On a vu précédemment quels sont les préfixes du système décimal servant à former les multiples et les sous-multiples des unités (page 31). D'autre part, on a examiné les principales unités usuelles (page 34).

Dès lors, on comprendra aisément le tableau ci-après résumant les symboles les plus fréquemment rencontrés en radio-électricité :

mV	: millivolt	mH	: millihenry
μV	: microvolt	μH	: microhenry
mA	: milliampère	μF	: microfarad
μA	: microampère	nF	: nanofarad
kW	: kilowatt	pF	: picofarad
mW	: milliwatt	kHz	: kilohertz
μW	: microwatt	MHz	: mégahertz
MΩ	: mégohm	GHz	: gigahertz
kΩ	: kilohm	THz	: térahertz

DIXIÈME CAUSERIE

Trois éléments sont indispensables dans le récepteur réduit à sa plus simple expression : le collecteur d'ondes (antenne), le détecteur et l'écouteur. Dans cette causerie, nos deux amis examinent le rôle et le mécanisme de la détection. Ils commencent, bien entendu, par la méthode la plus simple : la détection par diode. La galène de jadis et ses jeunes frères le germanium et le silicium ne sont pas oubliés. Enfin, Curiosus expose la « détection par la plaque ».

L'arrivée du train en gare.

IG. — Je vous en veux, mon cher Curiosus, de m'avoir lâché pour vos examens juste au moment où cela devenait passionnant. La dernière fois, après avoir placé le voyageur « basse fréquence » dans le train « haute fréquence », nous avons donné le signal de départ... et notre train de haute fréquence modulée court toujours.

CUR. — Il est, en effet, temps de l'arrêter. Vous savez, d'ailleurs, que les ondes s'arrêteront à la gare d'arrivée que l'on appelle « antenne de réception ». Ces ondes donnent lieu, dans l'antenne, à un courant haute fréquence modulé qui est une réplique fidèle, bien que beaucoup plus faible, du courant circulant dans l'antenne d'émission.

IG. — Je me souviens même que, pour avoir une certaine sélectivité, nous plaçons dans l'antenne de réception (ou couplerons avec elle) un circuit oscillant, aux bornes duquel se développent des tensions alternatives. Je voulais appliquer ces tensions à un écouteur téléphonique, mais vous m'avez dit que je n'entendrais rien. Et, en fait, je n'ai rien perçu.

CUR. — Il y avait à cela au moins trois raisons dont chacune à elle seule eût été suffisante. Je suppose que vous n'avez pas résisté à la tentation de démonter l'écouteur de votre téléphone après avoir fait l'autopsie du microphone.

IG. — Bien entendu. J'ai vu qu'il contient un électro-aimant placé derrière une membrane en tôle d'acier élastique.

CUR. — C'est exact. Et vous devinez que les courants qui parcourent les enroulements de l'électro-aimant, en variant la force d'attraction qu'il exerce sur la membrane, la font vibrer en engendrant des ondes sonores. Cette transformation de l'électricité en sons est inverse de celle qu'opère le microphone.

IG. — Tout cela me paraît bien clair.

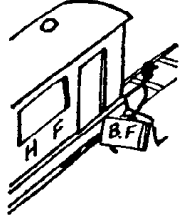
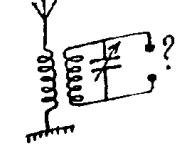
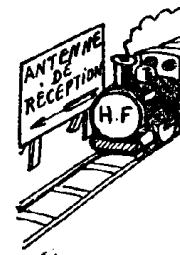
CUR. — Dès lors vous comprendrez aisément les raisons de votre échec. N'oubliez pas qu'à l'écouteur vous vouliez appliquer des tensions de haute fréquence modulée. Or, la membrane de l'écouteur est trop lourde pour osciller à une fréquence aussi élevée que celle que nous désignons par « haute fréquence » : son inertie s'y oppose formellement.

IG. — Mais, si l'on pouvait fabriquer une membrane tellement mince, tellement légère, qu'elle puisse vibrer à haute fréquence...

CUR. — ... Vous n'auriez quand même rien entendu. Car votre oreille ne vous permet pas de percevoir des sons de fréquence aussi élevée. Bien mieux, le courant de cette fréquence ne pourra pas traverser les enroulements de l'écouteur dont la self-induction lui oppose un obstacle difficile à franchir.

IG. — Mais, au fait, il ne nous intéresse point, ce courant de haute fréquence. C'est la modulation de basse fréquence que nous voulons rendre audible. Quant à la haute fréquence, son rôle de train est joué. Il ne nous reste plus qu'à en faire sortir le voyageur de basse fréquence.

CUR. — Vous avez entièrement raison. Et l'opération qui a pour but d'extraire,



de révéler la basse fréquence du courant haute fréquence modulé, porte le nom de *détection*.

Ig. — Si j'ai bien compris, la détection est le contraire de la modulation où nous incorporons la basse fréquence dans la haute fréquence.

CUR. — C'est bien cela. Dans le courant modulé, la basse fréquence est exprimée par la variation des amplitudes du courant haute fréquence. En redressant ce dernier, nous ferons apparaître la basse fréquence.

Ig. — Je ne vois pas comment ça se passe.

CUR. — C'est pourtant simple. Pour redresser le courant, il suffit de placer sur son chemin un conducteur à conductibilité unilatérale, c'est-à-dire qui le laisse facilement passer dans un sens, mais qui lui interdit le passage dans le sens opposé.

Ig. — Je ne vois pas du tout comment faire un tel conducteur-redresseur.

CUR. — Vous en connaissez cependant un : la lampe diode dans laquelle les électrons peuvent aller de la cathode à l'anode, mais non pas inversement.

Ig. — C'est vrai... Je n'y songeais plus.

Et voici comment l'on détecte...

CUR. — Eh bien, au lieu de connecter aux bornes du circuit oscillant l'écouteur seul, nous placerons en série avec lui une lampe diode (fig. 39). Dans ce cas, les tensions haute fréquence modulées (fig. 41 A) créeront à travers la diode et l'écouteur un courant unilatéral (fig. 41 B). Sans diode, nous aurions eu des impulsions haute fréquence, allant alternativement dans les deux sens. Grâce à l'action redressante de la diode, toutes ces impulsions sont dirigées dans le même sens.

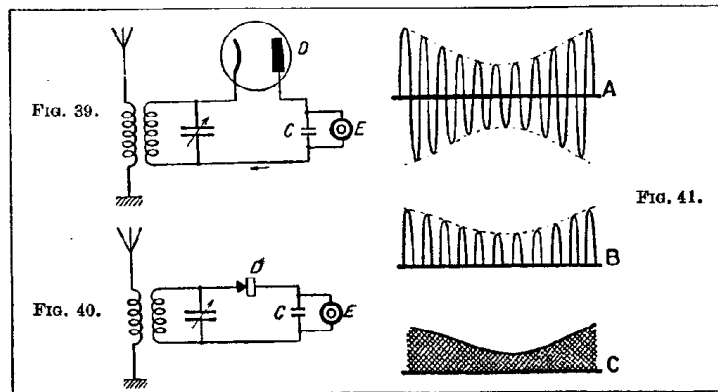


FIG. 39. — Une lampe diode D permet de redresser les oscillations qui, ainsi détectées, deviennent audibles dans l'écouteur E.

FIG. 40. — Un détecteur D à contact peut assurer la détection de courants faibles.

FIG. 41. — Oscillation H.F. modulée en A ; oscillation redressée en B ; courant basse fréquence en C.

Ig. — Euréka ! J'ai compris !... puisqu'elles vont dans le même sens, elles vont exercer sur la membrane de l'écouteur des actions qui, en se totalisant, l'attireront plus ou moins. Je dis « plus ou moins » puisque les amplitudes de ces impulsions ne sont pas égales : elles varient et c'est précisément dans cette variation que gît notre basse fréquence musicale qui fera vibrer à sa cadence la membrane de l'écouteur.

Le réservoir accumulateur-distributeur d'électrons.

CUR. — Vous avez bien deviné la marche du phénomène dans ses grandes lignes. Mais, dans nos raisonnements, nous n'avons pas tenu compte du fait que les impulsions, même unilatérales (fig. 41 B), mais de haute fréquence, ne peuvent pas traverser les enroulements de l'écouteur, et cela à cause de leur self-induction.

Ig. — Alors ?... on n'entendra rien ?...

CUR. — Si, mais à la condition de totaliser ces impulsions avant de les appliquer à l'écouteur. A cet effet, nous branchons aux bornes de l'écouteur un petit condensateur C (fig. 39) que les impulsions chargeront plus ou moins en électrons. Ensuite, ce condensateur se déchargera à travers l'écouteur. La charge est plus ou moins grande suivant l'amplitude des impulsions. Il en sera, évidemment, de même en ce qui concerne le courant de décharge (fig. 41 C), qui traversera l'écouteur et qui, lui, sera un vrai courant de basse fréquence.

Ig. — En somme, le condensateur C joue le rôle de réservoir accumulant des charges qui se succèdent très rapidement et qui les débite ensuite continuellement ?

CUR. — Votre image est excellente. Poussant l'analogie plus loin, vous pouvez comparer le condensateur C à un réservoir destiné à capter les gouttes de pluie et dont le robinet laissera couler un jet continu plus ou moins fort suivant l'intensité de la pluie.

Ignotus a compris la détection.

Ig. — J'essaierai de résumer tout ce que vous m'avez dit de la détection. Les tensions haute fréquence modulées sont redressées par la diode. Nous obtenons alors une succession d'impulsions haute fréquence unilatérales d'amplitude inégale. Ces impulsions chargent constamment le condensateur C qui débite un courant basse fréquence dans l'écouteur téléphonique... et nous entendons la musique... Ah, si j'avais une diode, ça n'aurait pas traîné !

CUR. — Inutile !... La diode n'est indispensable que lorsqu'il s'agit de redresser des tensions relativement importantes. Mais pour des tensions faibles, un détecteur à contact suffira (fig. 40).

Ig. — Vous voulez probablement parler de l'antique détecteur à galène qui se compose d'un cristal de galène et d'une pointe métallique qui s'appuie légèrement sur sa surface ?

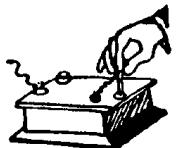
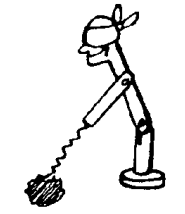
CUR. — Pas nécessairement. Un détecteur à contact peut être constitué de bien des manières. Dès que nous mettons en contact deux conducteurs présentant une dissymétrie quelconque (différence de composition chimique ou de température), la conductibilité n'est plus la même dans les deux sens. Et comme il n'existe pratiquement pas deux corps absolument identiques, on peut dire que tous les contacts sont redresseurs ! Toutefois, certains contacts possèdent des propriétés de redressement plus nettement exprimées que d'autres. C'est ainsi que le contact du sulfure de plomb (galène) avec un métal constitue un excellent détecteur qui n'a que le défaut de ne pouvoir laisser passer qu'un courant très faible et d'être instable.

Ig. — Oh oui, je sais. C'est d'ailleurs un jeu passionnant que de chercher « le point sensible » de la galène.

CUR. — Il existe d'ailleurs des détecteurs à contact exempts de ces défauts, tel le contact du cuivre et de l'oxyde de cuivre ou celui du germanium ou du silicium avec une pointe d'acier. Ces derniers détecteurs se prêtent particulièrement bien à la détection des courants de très haute fréquence, tels que ceux utilisés dans les radars.

Ig. — Quoi qu'il en soit, je vois qu'un détecteur est toujours un redresseur.

CUR. — Oui. Cependant, on peut également procéder à ce redressement d'une façon moins directe que celle que nous avons étudiée jusqu'à présent. On utilise à



cet effet une lampe amplificatrice dont la grille est polarisée, par une batterie B_g (fig. 42), à une tension négative pour laquelle le courant de plaque est presque nul (point M du coude inférieur de la caractéristique de la lampe dans la figure 43). On applique les tensions haute fréquence modulées entre la grille et la cathode. Les alternances positives donnent lieu à l'apparition d'un courant de plaque plus ou moins fort. Par contre, les alternances négatives, en rendant la grille encore plus négative qu'elle n'était, ne font pratiquement apparaître aucun courant dans le circuit de plaque.

IG. — Et je vois très bien ce qui se passe. Dans le circuit de plaque, nous avons une série d'impulsions unilatérales de courant qui se succèdent à haute fréquence et

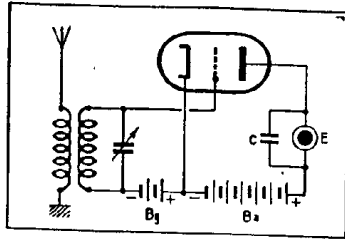
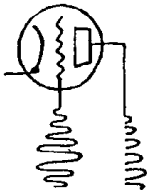


FIG. 42. — Schéma de la détection par courbure de la caractéristique de plaque.

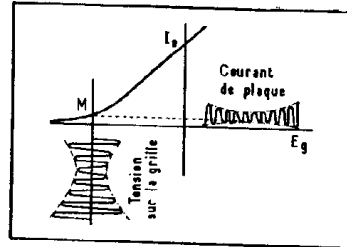
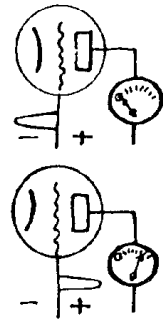


FIG. 43. — Au point de fonctionnement M des tensions alternatives de grille créent un courant redressé dans la plaque.

dont l'intensité varie. Le petit condensateur C permet de les totaliser et, en se déchargeant dans l'écouteur, il alimente celui-ci en courant de basse fréquence, exactement comme dans le cas de la détection par diode.

CUR. — Vous avez très bien compris la détection. L. méthode représentée dans la figure 42 s'appelle *détection par courbure de la caractéristique de plaque*. Vos amis vous parleront probablement aussi de la « détection par la grille ». Mais ne les croyez pas. C'est un terme qui sert à cacher l'ignorance des « techniciens » qui n'ont pas compris la technique. Sur cette prétendue détection, nous reviendrons bientôt.



Commentaires à la 10^{me} Causerie

ÉCOUTEUR.

Si la chaîne de la transmission radiophonique commence par le microphone, elle aboutit, en fin de compte, à l'ÉCOUTEUR. C'est, en effet, l'écouteur (ou son proche et plus puissant parent, le haut-parleur) qui assume les fonctions inverses de celle du microphone: la transformation des courants de basse fréquence en ondes sonores.

L'écouteur (fig. VI) se compose d'un électroaimant à noyau d'acier aimanté placé derrière une membrane mince en acier flexible. Le tout est fixé dans un boîtier en métal ou en matière moulée. Les courants variables de basse fréquence parcourant les enroulements de l'électroaimant augmentent et diminuent alternativement l'aimantation du noyau qui attire plus

DÉTECTION.

C'est bien le courant de basse fréquence qui doit parcourir l'écouteur. Il ne servirait à rien de tenter l'écoute d'un courant de haute fréquence modulé. La membrane, trop inerte, se refuserait à vibrer à une fréquence aussi élevée. Si, par miracle, elle le pouvait, le « son » produit serait d'une fréquence que l'oreille humaine ne perçoit pas... Mais, tout d'abord, le courant de haute fréquence ne peut pas circuler dans les enroulements de l'écouteur qui lui opposent une inductance trop forte. Trois raisons, dont chacune serait à elle seule suffisante, nous conduisent donc à procéder à une opération inverse de la modulation: extraire du courant de haute fréquence modulé sa composante de basse fréquence. Cette opération porte le nom de DÉTECTION.

Pour mettre en évidence la composante basse fréquence d'un courant modulé, il suffit de le redresser, c'est-à-dire de supprimer toutes les demi-périodes (ou alternances) allant dans un sens. On obtient alors des impulsions de courant allant toutes dans le même sens, se succédant au rythme de la haute fréquence et dont l'amplitude varie suivant la forme de la basse fréquence (fig. 41 B). Il suffit d'accumuler ces impulsions sur les armatures d'un condensateur de faible capacité pour que, en se déchargeant à travers l'écouteur (ou toute autre impédance), il y engendre un courant de basse fréquence (fig. 41 C). Tel est l'aspect général de la détection; voyons de plus près le mode de réalisation.

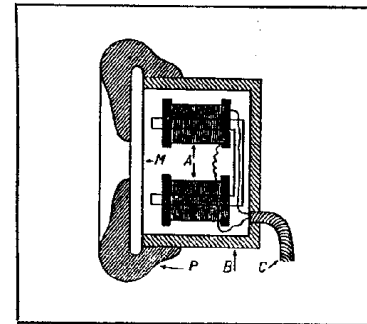


FIG. VI. — Constitution d'un écouteur : A, électroaimant; M, membrane; P, pavillon acoustique; B, boîtier; C, cordon d'arrivée du courant.

DÉTECTEURS.

ou moins la membrane. Celle-ci s'incurve donc plus ou moins à la cadence des variations du courant, et les vibrations ainsi produites se communiquent aux couches d'air environnantes, pour se propager sous forme d'ondes sonores. Si aucune des multiples transformations subies par le courant entre le microphone de l'émetteur et l'écouteur du récepteur ne l'a déformé, le son reproduit par l'écouteur sera semblable à celui qui est venu frapper le microphone.

Le redressement du courant est effectué à l'aide d'un conducteur unidirectionnel. Un tel conducteur oppose au courant une résistance relativement faible pour son passage dans un sens et beaucoup plus forte (ou même infinie) dans le sens contraire. La diode est un exemple de détecteur à résistance infinie dans le « sens interdit », puisque le courant ne peut pas passer de l'anode à la cathode. Les détecteurs dits « à contact imparfait », dont le plus connu est celui formé par une pointe métallique s'appuyant sur un cristal de galène, laissent passer le courant beaucoup plus facilement dans un sens que dans l'autre.